



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : OTHMANI Zakia & BAGHDADI Amina

DOMAINE : Sciences et Technique

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : Structures

Thème

Etude statistique des principales pathologies des constructions dans la wilaya de Laghouat

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. ZAIDI Ali	Professeur	Président
Mr. LAKHDARI Med Fateh	M.A. A	Examineur
Mr. MERAH Ahmed	M.C. A	Rapporteur

Promotion : Septembre - 2020

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tenons d'abord à remercier Dieu pour nous avoir donné la force et la patience pour venir à bout de ce mémoire.

C'est un grand sentiment de satisfaction et de joie qui nous anime, et que nous voudrions légitimement partager avec tous ceux qui nous ont soutenues de près ou de loin par leurs conseils, leurs aides et leurs encouragements.

*Nous tenons à manifester nos reconnaissances à notre encadreur **Mr Ahmed Merrah**, pour la confiance qu'il nous a accordée, pour ses conseils qui ont éclairé le déroulement de nos travaux et qui nous ont aidés dans nos périodes de doute.*

*Nous remercions également monsieur **A. Hosni** ; directeur de l'agence de contrôle technique des constructions de Laghouat '**CTC**' de nous avoir acceptés au sein de son agence pour effectuer ce projet de fin d'étude et de nous avoir fournir tous les renseignements dont nous avons besoin sur la société et sur son fonctionnement.*

Nos remerciements vont également à messieurs membres de jury ; de nous avoir fait l'honneur d'examiner et de porter un regard critique sur notre travail.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de loin ou de près à réaliser ce modeste travail.



DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à:
Ma très chère mère pour son amour, sa tendresse et
sa compréhension. Je lui dois une fière chandelle,
À la mémoire de mon cher père,
À la mémoire de ma grande sœur
Mes belles sœurs surtout ma petite Sœur Khaoula,
Mes beaux-frères,
A ma binôme Amina
Toute ma famille,
Et à Toutes mes amies.
A toute personne ayant contribué de près ou de loin
à la réalisation de ce travail

Othmani Zakia





DEDICACES

A mon ange dans la vie, au sens de l'amour et au sens de la tendresse et de dévotion...

*A ma **très chère mère** que je ne pourrais cesser de la remercier, qui m'a toujours soutenu et encouragé tout le long de mes études.*

*A celui qui m'a tout fourni. A qui m'efforce pour mon confort et mon succès, **mon cher père***

A ma chère sœur

A mes frères

A ma binôme Zakia

A tous mes amis

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Baghdadi Amina

ملخص

تعرضت بعض المباني القديمة والجديدة في ولاية الأغواط ، وهي منطقة من جنوب الجزائر ، لاضطرابات عديدة ، يمكن تصنيف أسبابها على أنها عيوب إنجاز ، تصميم ، وجعل بطبيعة تربة الأساس (عدوانية التربة).

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على التدهورات الرئيسية للمنشآت المعروفة في هذه المنطقة ، والأسباب الأكثر شيوعاً التي أدت إلى ظهورها ، وكذلك دراسة وتصنيف هذه الأضرار حسب مناطق هذه المنطقة و تحديد المناطق الأكثر تضرراً من هذه الأضرار. من خلال هذه الدراسة الإحصائية التي تتكون من جمع ومقارنة وتصنيف ثم تحليل تقارير الخبراء التي أعدتها هيئة المراقبة التقنية للمباني بولاية الأغواط والتي اعتمدنا عليها لإجراء هذا البحث. ركز عملنا على جانبيين ، تحديد الأمراض وتشخيصها.

بعد تحديد أمراض المنشآت التي لوحظت في مدينة الأغواط ، قمنا بتجميع الحلول التي اقترحتها هيئة المراقبة التقنية للمباني بولاية الأغواط والتي اقترحنا لها حلولاً أخرى بناءً على الحالات التي تمت ملاحظتها. أخيراً ، تم اقتراح إجراءات وقائية لكل حالة مرضية بالإضافة إلى توصيات لتقليل معدل الضرر الذي يصيب الهياكل في الأغواط وتجنب نفس الأخطاء للمنشآت المستقبلية.

كلمات مفتاحية: علم الأمراض؛ اعمال البناء؛ الخبرة. إحصاء ؛ التشخيص ؛ الأغواط

Résumé

Quelques constructions, nouvelles anciennes de la wilaya de Laghouat, une localité qui fait partie de sud de l'Algérie, ont subi de nombreux désordres dont les causes peuvent être classés en défauts de réalisation, de conception, et aux méconnaissances de la nature du sol de fondation (agressivité du sol).

Cette étude a pour objectif de faire la lumière sur les principales dégradations des constructions connus dans cette localité, et les raisons les plus courantes qui ont conduit à leurs apparitions, ainsi qu'à étudier et classer ces dommages selon les diverses régions de cette localité et d'identifier les zones les plus touchés par ces dommages. À travers cette étude statistique qui consiste à recueillir et rassembler, classer puis analyser les rapports d'expertises élaborés par le CTC et sur lesquelles nous nous sommes appuyés afin de mener cette recherche. Notre travail s'est focalisé sur deux aspects, l'identification des pathologies et leurs diagnostics.

Après avoir recensé les pathologies des constructions constatées dans la ville de Laghouat, nous avons synthétisé des solutions proposées par le CTC auxquelles nous avons suggéré d'autres solutions en fonction des cas constatés. Enfin, des mesures préventives pour chaque cas pathologique ainsi que des recommandations ont été suggéré afin de réduire le taux de dégradations des ouvrages au niveau de Laghouat et d'éviter les mêmes erreurs pour les futures constructions.

Mots clés : pathologie ; constructions ; expertise ; statistique ; diagnostic ; Laghouat

Abstract

Some buildings, new and old in the wilaya of Laghouat, a locality which is part of southern Algeria, have suffered numerous disorders, the causes of which can be classified as production defects, design, and ignorance of the nature of the foundation soil (soil aggressiveness).

The objective of this study is to shed light on the main deteriorations of buildings known in this locality, and the most common reasons which led to their appearances, as well as to study and classify these damages according to the various regions of this locality and identify the areas most affected by these damages. Through this statistical study, this consists of collecting and collating, classifying and analyzing the expert reports drawn up by the CTC and on which we relied in order to carry out this research. Our work has focused on two aspects, the identification of pathologies and their diagnoses.

After having identified the pathologies of the constructions observed in the city of Laghouat, we synthesized the solutions proposed by the CTC to which we suggested other solutions depending on the cases observed. Finally, preventive measures for each pathological case as well as recommendations were suggested in order to reduce the rate of damage to the structures at Laghouat level and to avoid the same errors for future constructions.

Keywords: pathology; constructions; expertise; statistics; diagnostic; Laghouat

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1-2

Chapitre I : Principales pathologies des constructions en zones arides

I.1. Introduction 4

I.2. Pathologies liées aux sols 4

I.2.1. Mouvement du sol/Tassement 4

I.2.2. Le risque de tassement différentiel et de fissuration 5

I.2.3. Les causes possibles de tassement différentiel..... 5

I.2.3.1 La présence de rocher dans le sol 5

I.2.3.2. Les constructions sur terrain en pente : Les pentes 6

I.2.3.3. Les maisons établies sur un «mauvais» sol de type remblai 6

I.2.4. Pathologies ayant rapport avec la reconnaissance du sol de fondation..... 7

I.2.4.1. L'importance d'une reconnaissance de sol..... 7

I.2.4.2 Etude de sol incomplet 8

I.2.4.3. Mauvaise interprétation de l'étude de sol 8

I.2.4.4. Causes dues à la prise en compte du seul taux de travail du sol de fondation..... 8

I.2.5. Les désordres sur les habitations liés à l'argile gonflante 9

I.2.5.1. Solutions 11

I.2.6. Causes chimiques dues aux agents agressifs dans le sol 12

I.2.6.1 Attaques Sulfatiques 12

I.3. Pathologies liées à la conception..... 13

I.3.1. Les insuffisances au niveau de l'étude..... 13

I.3.2. Au niveau de la conception des fondations 15

I.3.3. Au niveau de la conception des sous-sols 15

I.3.4. Au niveau de la descente de charge et les joints de ruptures	15
I.3.5. Étude de stabilité insuffisante ou incomplète d'un mur de soutènement	16
I.3.6. Drainage des eaux	17
I.3.7. Critères de Conception des structures	18
I.4. Pathologies liées à la réalisation	19
I.4.1. Introduction	19
I.4.2. Mauvaise étanchéité	19
I.4.3. Défauts de bétonnage	19
I.4.3.1. Une composition de béton non convenable	19
I.4.3.2. L'excès d'eau de gâchage	19
I.4.3.3. La mise en place du béton sans vibration ou avec vibration imparfaite	19
I.4.3.4. Bétonnage dans des conditions de température très sévères	20
I.4.3.5. Mauvaise reprise de bétonnage	20
I.4.4. Erreurs de ferrailage	20
I.4.4.1. Disposition défectueuse des armatures	21
I.4.4.1.1. Absence d'armatures de peau	21
I.4.4.1.2. Diamètre d'armature non convenable	21
I.4.4.1.3. Nuance d'armature non convenable	21
I.4.4.1.4. Longueur de recouvrement insuffisante	22
I.4.4.1.5. Absence ou insuffisance d'armatures transversales	22
I.4.4.1.6. Coudage des armatures en attente	23
I.4.4.1.7. Enrobage des armatures insuffisant	23
I.4.5. Erreurs dans les opérations de coffrage	23
I.4.5.1. Mauvaise exécution des coffrages	23
I.4.5.2. Déplacement des coffrages	23
I.4.6. Erreurs dans les opérations de décoffrage	24

I.4.7. L'importance d'entretien.....	25
I.5. Origines des pathologies des constructions	27
I.5.1. Physiques.....	27
I.5.1.1. Le retrait.....	27
I.5.2. Électrochimiques.....	28
I.5.2.1. La corrosion des armatures.....	28
I.5.2.1.1. La carbonatation.....	28
I.5.2.1.2. Pénétration des chlorures.....	29
I.5.2.1.3. Les dégradations dus à la corrosion se manifestent par.....	29
I.5.2.1.4. Modes de protection des armatures.....	30
I.5.3. Dégradations mécaniques.....	30
I.6. Principales dégradations qui affectent les structures en béton.....	31
I.7. Conclusion	32
 Chapitre II : Principales pathologies des constructions dans la wilaya de Laghouat	
II.1. Introduction.....	33
II.1. Présentation de l'organisme de contrôle technique des constructions CTC Laghouat	33
II.1.1. Evolution.....	33
II.1.2. Activités	33
II.1.3. Les missions du contrôle technique	34
II.1.4. Etapes du contrôle technique	34
II.1.5. Références.....	35
II.2. Les démarches adoptées pour l'établissement d'un rapport d'expertise.....	35
II.2.1. Le rôle d'une expertise d'une construction.....	35
II.2.2. Les phases de diagnostic et d'expertise	36
II.2.2.1. Documenter la structure (identification de la structure).....	37

II.2.2.2. Evaluation Technique de l'ouvrage (Constat / Diagnostic) La première visite est une visite pour l'évaluation technique de l'ouvrage existant, objet de l'intervention.	37
II.2.2.3. Diagnostic et expertise approfondie en fonction des conclusions de la phase, et si un diagnostic approfondi est nécessaire, l'enquête sur les éléments structuraux de l'ouvrage sera effectuée principalement par	38
II.2.2.4. Examen des solutions de réparation / Renforcement (Etudes - Engineering).	42
II.3. Les principales pathologies dans la région sud de la wilaya	43
II.3.1. Nature de sol de la région sud de Laghouat	43
II.3.2. Description des cas pathologiques expertisés	44
II.3.2.1. Cité universitaire 2000 lits les Sœurs BEDJ	44
II.3.2.2. Ecole Taher Belhout -Laghouat	45
II.3.2.3. Ecole Elaoufi Eltaib (RDC).....	45
II.3.2.4. Un bâtiment R+3 avec vides sanitaire une de Laghouat	46
II.3.2.5. Le bureau de marché public situé à l'intérieur de l'A.P.C Laghouat	46
II.3.2.6. Hôpital 45 lits (d'hémodialyse) Laghouat.....	47
II.3.2.7. Bâtiment polyclinique 08 Mai 1954 Laghouat.....	48
II.3.2.8. Le musée communal –Laghouat.....	49
II.3.2.9. Un hôtel à Ain Madhi (pour le transformer en maison de jeune).....	49
II.3.2.10. 200 logement El Mardja-Boukhanfous	49
II.3.2.11. Ecole Primaire Gasmi Mouhamed et les Logements D'astreinte Tadjrouna	50
II.3.3. Les fissures.....	51
II.3.4. L'humidité.....	54
II.3.5. Dégradations de l'étanchéité.....	55
II.3.6. Les désordres au niveau des revêtements et des enduits.....	56
II.3.7. Corrosion des armatures.....	59
II.3.8. Épaufures du béton et fers apparents	60
II.3.9. Défauts au niveau des joints.....	60
II.3.10. Défauts au niveau des canalisations.....	61

II.4. Conclusion.....	Erreur ! Signet non défini.
------------------------------	------------------------------------

Chapitre III : Synthèse des différentes pathologies des constructions à Laghouat

III.1. Introduction	64
III.2. Classement des pathologies par région.....	64
III.2.1. Région d'Oasis-Nord Laghouat.....	64
III.2.2. Région centre-ville Laghouat	65
III.2.3. Région d'oasis sud (Laghouat)	67
III.2.4. Région de M'amoura Laghouat	67
III.2.5. Région de 800 (Laghouat)	67
III.2.6. Région de Tadjrouna.....	68
III.2.7. Région d'Ain Madhi.....	69
III.3. Classement des pathologies par cause	69
III.3.1. Pathologies dues au tassement différentiel	69
III.3.2. Pathologies dues à l'effet de l'eau	70
III.3.3. Pathologies dues à des défauts de réalisations (Malfaçons)	71
III.3.4. Pathologies dues à la négligence et au manque d'entretien.....	72
III.4. Les solutions proposées pour les cas pathologiques recensés.....	74
III.4.1. Les constructions reposées sur des terrains très accidentés.....	75
III.4.2. Renforcement et réparation des infrastructures	76
III.4.2.1. Micro -pieux.....	76
III.4.2.2 Injections de sol	77
III.4.2.3. Renforcer une fondation : reprise en sous-œuvre (superficielle).....	77
III.4.3. Procédés de réparation des fissures	77
III.4.3.1. Collage par résine époxy (injection des fissures).....	77
III.4.3.2. Evidage et calfeutrement.....	78
III.4.3.3. Agrafage.....	78
III.4.3.4. Pour les fissures à l'intersection des murs.....	79

SOMMAIRE

III.4.4. Lutte contre l'humidité	81
III.4.4.1. Procédés contre les remontées capillaires	81
III.4.4.2. Remèdes contre les infiltrations directes de la pluie	84
III.4.5 Solutions pour la corrosion des armatures	86
III.4.5.1. Ragréage	86
III.4.5.2. Bétons projetés	86
III.4.5.2.1. <i>Technique de projection</i>	86
III.4.5.2.2. <i>Mode opératoire</i>	87
III.4.5.3. Traitement électrochimique	87
III.4.5.3.1. <i>Protection cathodique</i>	87
III.4.5.3.2. <i>Protection galvanique</i>	87
III.4.5.4. Inhibiteurs de corrosion	88
III.4.6. Renforcement des poteaux	88
III.4.6.1. Renforcement par chemisage en béton armé	88
III.4.6.2. Renforcement par gainage métallique (Chemisage en acier)	89
III.4.7. Travaux de démolition	91
III.5. Discussion de solutions proposées	92
III.5.1. Micro pieux et injection de sol	92
III.5.2. Réparation des fissures par injection	93
III.5.3. Béton projeté / Ragréage (Avantages et inconvénients)	94
III.5.4. Protection cathodique et inhibiteur de corrosion	96
III.5.6. Technique de chemisage des poteaux (acier / béton armé)	97
III.5. Conclusion	99
Conclusion générale et recommandations	
Conclusion générale	100-102
Recommandations	103

Références Bibliographiques

Liste des figures

Figure I. 1 : Tassement différentiel (présence de rocher dans le sol) avec la solution [7].	6
Figure I. 2 : Remblais instables (insuffisamment tasse) [4]	7
Figure I. 3 : Construction est fissure car les pieux d'angle n'ont pas atteint substratum rocheux [10].	8
Figure I. 4 : Tassements différentiels peu probables [10].	9
Figure I. 5 : Tassements différentiels inévitables [10].	9
Figure I. 6 : Retrait gonflement des argiles [5]	10
Figure I. 7 : Tassement et fissurations liés à la sécheresse [3].	11
Figure I. 8 : Vue des désordres provoqués par des marnes gonflantes [3].	11
Figure I. 9 : Attaques sulfatiques [11]	13
Figure I. 10 : Renversement de l'ouvrage (erreur de conception) [10].	14
Figure I. 11 : La discontinuité entre poteau peut provoquer le cisaillement au niveau des poutres porteuses [10].	14
Figure I. 12 : Fondation de type différent [3].	15
Figure I. 13 : Radier charge inégalement [3].	15
Figure I. 14 : Sous-sol partiel avec charge non uniforme [3].	16
Figure I. 15 : Effondrement d'une partie de murs de soutènement (constat-causes) [13].	17
Figure I. 16 : Mauvais positionnement d'un système de drainage [tire de emmons, p.-h.; concrète repaire and maintenance illustrated] [15].	18
Figure I. 17 : Nécessite de joint de dilatation [5].	18
Figure I. 18 : Formation de nids d'abeilles dans un élément de béton arme [tire de emmons, p.-h. ; concrete repaire and maintenance illustrated] [15].	20
Figure I. 19 : Basculement d'un balcon [10].	21
Figure I. 20 : La rotation du mur de soutènement due au mauvais emplacement des armatures d'attente [10].	21
Figure I. 21 : Mauvaise mise en place des ferrailages (défaut de recouvrement, de liens entre ferrailages, attente de liaisons des poteaux). (Source Socabat) [8].	22
Figure I. 22 : Absence d'armatures transversales au niveau du nœud (poteau- poutre) [10].	22
Figure I. 23 : Eclat de béton autour de l'armature d'un poteau insuffisamment enrobée [17].	23
Figure I. 24 A : La fissure interne du béton est due au déplacement du coffrage.	24
Figure I.24.B: Le mouvement de la paroi du moule a provoqué la fissure externe	24

Figure I.24.C : La déformation du fond de moule est due à l'affaissement du sol servant de support de coffrage.....	24
Figure I. 25 : Influence d'un décoffrage trop hâtif et d'une mauvaise conception de coffrages [tire de emmons, p.-h.; concrete repair and maintenance illustrated]. [15].	25
Figure I. 26 : La stagnation des eaux dans les caves.....	26
Figure I. 27 : Etat des vides sanitaires.....	26
Figure I. 28 : Un Dallage en béton prévu tout autour d'un bâtiment reste nécessaire [10].	26
Figure I. 29 L'existence d'une crevasse sous la conduite d'eau pluviale peut être la cause de sinistre [10].	26
Figure I. 30 : Principales causes de dégradations des bétons armés ou précontraints [20].	27
Figure I. 31 : L'attaque des armatures par le milieu qui les enrobe [3].	28
Figure I. 32 : Système de protection cathodique [25].	30
Figure I. 33 : Les cinq familles principales de dégradations [27].	31
Figure II. 1 : Analogie (médecine/génie civil) [31].	36
Figure II. 2 : Essai de scléromètre (mesure de résistance de béton) [32].	38
Figure II. 3 : Essai d'ultrason (mesure de résistance de béton) [33 ; 34].	39
Figure II. 4 : Corrosimètre type canin (détermine l'état de corrosion des armatures par mesure des potentiels de surface) [35]	39
Figure II. 5 : Mesure de l'enrobage de béton et détecteurs d'armatures par profomètre [36].	40
Figure II. 6 : Recherche de conduites et cartographie de réseaux enterrés (position, profondeurs) par géoradar [37]	40
Figure II. 7 : Scanner laser 3d [38].	41
Figure II. 8 : Mise en place d'un carottier (carottage horizontale et vertical) [39].	41
Figure II. 9 : Sondages en fondation avec des partenaires géotechniciens [40].	42
Figure II. 10 : Objectif de dégradation minimum sondage tous matériaux [40].	42
Figure II. 11 : Cite universitaire sœurs Bedj Laghouat (source : Google maps).	44
Figure II. 12 : Ecole Taher Belhout, Laghouat (source: Google maps)	45
Figure II. 13 : Ecole Elaoufi Eltaib, Laghouat (source : Google maps).	46
Figure II. 14 : Image satellite montrant l'emplacement de l'APC- Laghouat (source : Google maps).	47
Figure II. 15 : Hôpital 45 lits (d'hémodialyse) (source : Google maps)	48
Figure II. 16 : Polyclinique 8 mai 1945 (source : Google maps)	48
Figure II. 17 : Musée communale, Laghouat (source : Google maps).	49

Figure II. 18 : 200 logements Boukhanfous, Laghouat (source : Google maps)	50
Figure II. 19 : Image satellite montrant l'emplacement de primaire Gasmi Mohamed (source : Google maps)	50
Figure II. 20 : Fissures horizontales et verticales sur les murs [44]	52
Figure II. 21 : Fissures horizontales [44]	52
Figure II. 22 : Fissures inclinées à 45° sur les murs (intérieures et extérieures) [44]	53
Figure II. 23 : Fissures sur les longrines [44]	53
Figure II. 24 : Trace d'humidité et d'infiltrations d'eau [44]	54
Figure II. 25 : Empreinte d'humidité sur les murs [44].	55
Figure II. 26 : Mauvaise état de l'étanchéité (terrasse) [44]	56
Figure II. 27 : Décollement des enduits sur mur extérieur	57
Figure II.28 : Eclatement et fissuration	57
Figure II. 29 : Décollements des enduits sur plafond	58
Figure II. 30 : Décollement de revêtement mural (faïence).	58
Figure II. 31 : Dégradations du béton à la base d'un poteau et corrosion des armatures	59
Figure II. 32 : Corrosion des armatures transversales.	60
Figure II. 33 : Joint mal traité plancher terrasse	61
Figure II. 34 : Joint mal traité	61
Figure II. 35 : Organigramme de dégradation des ouvrages causés par des fuites d'eau. [48]	62
Figure III. 1 : Elargissement et calfeutrement des fissures. [49]	78
Figure III. 2 : Réparation des fissures par la technique d'agrafage [31]	79
Figure III. 3 : Réparation des fissures à l'intersection des murs par l'utilisation des fers plats. [49]	80
Figure III. 4 : Rigidifications des intersections des murs par l'utilisation des briques. [49]	80
Figure III. 5 : Réalisation de chaînage en béton armé au niveau de l'intersection des murs. [49]	81
Figure III. 6 : Drainages au pied du mur. [49]	82
Figure III. 7 : Isolation horizontale du mur. [49]	83
Figure III. 8 : Principe d'évacuation de l'humidité par drain. [49]	83
Figure III. 9 : Cloison de doublage à lame d'air mobile [49]	84
Figure III. 10 : Différents étapes de renforcement des poteaux au moyen d'une enveloppe en béton armé (chemisage). [52]	89
Figure III. 11 : Différents étapes renforcement d'un poteau par gainage métallique [52]	90

Liste des tableaux

Tableau III. 1 : Causes et facteurs d'influence des principales pathologies.....	73-74
Tableau III. 2 : Produits d'injection (avantages et inconvénients) [54]	93-94
Tableau III. 3 : Tableau comparatif (ragréage v/s béton projeté) [24]	96
Tableau III. 4 : Etude comparatives des deux méthodes de protection [24]	97
Tableau III. 5 : Comparatif de deux méthodes de chemisage [55].....	98

Introduction générale

Introduction générale

L'un des principaux objectifs recherchés dans le domaine de génie civil est de construire des ouvrages et des constructions, qui présentent une bonne résistance et une longue durabilité, qui leur permettent d'être exploités au fil des années (une durée de service plus long), avec des conditions de sécurité et de confort complètes.

Dans le cadre de cet objectif, les chercheurs et les ingénieurs en génie civil ont créé des codes et des règles à suivre dans les conceptions et les calculs des constructions, ces codes assurent la sécurité nécessaire des ouvrages avec l'application des coefficients de sécurité adoptés selon le type des cas étudiés.

Cependant, les constructions en béton armé sont exposées à plusieurs dommages durant leurs vies. Ces dommages ont plusieurs origines, souvent des origines externes qui proviennent de l'environnement auquel les constructions sont exposées, comme les facteurs climatiques qui sont l'une des raisons les plus importantes du vieillissement et de la détérioration des ouvrages.

Et il existe également des origines des dégradations qui nous pouvons dire internes liées aux constructions eux-mêmes, et à la façon dont elles sont conçues et réalisées, certain défaut au niveau de conception, de calcul...etc. et de mise en œuvre favorisant l'apparition des désordres et peuvent provoquer un risque d'effondrement partiel ou totale des constructions.

L'étude des pathologies des constructions a permis de mieux connaître et comprendre les désordres et les dégradations qui affectent les constructions afin d'identifier les causes qui conduisent à la détérioration de l'état des constructions et par la suite connaître comment lutter contre ces cas pathologiques et les remèdes qui peuvent être appliqués pour elles.

L'identification des causes probables des cas pathologiques se fait avec l'application de diagnostic convenable de ces cas par des personnes qui ont des connaissances qualifiées et des expériences suffisantes (les experts). Les investigations se font avec l'utilisation des méthodes techniques et des moyens nécessaires et convenables pour chacun des cas étudiés.

Le but de notre travail modeste est de donner un aperçu des différentes pathologies principales connus aux constructions de la wilaya de Laghouat et d'expliquer les raisons qui

ont conduit à l'apparition de ces pathologies et présenter l'ensemble des solutions de préventions proposées pour ces cas pathologiques.

Lors de notre visite effectuée au contrôle technique des constructions (CTC) de **Laghouat**, nous avons recueilli les informations nécessaires sur les dommages aux constructions qui ont été enregistrées au niveau de la wilaya de Laghouat, nous avons basé sur les rapports d'expertises faites par ses experts et ingénieurs pour plusieurs cas des constructions étudiées.

En effet, notre étude se subdivise en trois chapitres :

- Le premier chapitre consiste en une recherche théorique et une collecte d'informations sur les principales pathologies des constructions en zones arides ainsi une classification de ses causes en trois taches essentielles :
 - ✓ Pathologies liées au sol
 - ✓ Pathologies liées à la conception
 - ✓ Pathologies liées à la réalisation.
- Le deuxième chapitre contient dans sa première partie une présentation détaillé de **CTC Laghouat** et ses fonctions, et les différentes techniques et étapes qui montrent comment faire l'expertise et le diagnostic des constructions afin d'enquêter sur les causes des dégradations, puis il été arrivé à l'identification des principales pathologies des constructions qui sont connu à la willaya de Laghouat (partie sud de la wilaya).
- Le dernier chapitre est divisé en trois grandes parties, qui présentent une classification des pathologies des constructions par région, puis une classification par causes et finalement les solutions et les mesures préventives nécessaires préconisés pour lutter ou remédier ces cas pathologiques.

Enfin, une conclusion générale qui résume les principaux résultats et l'ensemble des recommandations à entreprendre pour les études à venir.

***Chapitre I : Principales pathologies des constructions en zones
arides***

I.1. Introduction

Les constructions peuvent connaître des désordres durant leur vie qui sont dus aux diverses sollicitations ou agressions, ces désordres affectent les matériaux de construction et diminuent leurs caractéristiques dans le temps et provoquent parfois des dommages dangereux tels que l'effondrement totale d'une construction.

De plus, l'étude de l'origine des pathologies permettra de trouver des solutions et remèdes pour ces cas pathologiques et aussi pour mieux concevoir et construire les ouvrages afin d'obtenir une durabilité importante.

Le but de ce chapitre est d'identifier les différentes pathologies des constructions en béton armé et surtout en zone arides, on s'intéresse aussi à mettre l'accent sur les causes de ces pathologies. Ce chapitre est structuré comme suit :

- ✓ Pathologies liées aux sols
- ✓ Pathologies liées à la conception
- ✓ Pathologies liées à la réalisation.

I.2. Pathologies liées aux sols

L'objectif de cette partie est de voir les différents désordres des constructions qui peuvent résulter du comportement du sol. En général les désordres des constructions liées au comportement de sol sont plus connus, car le sol est en contact directement avec les fondations. Celles-ci jouent un rôle d'intermédiaire entre la construction et le sol et assurent une certaine stabilité au bâtiment. [1]

Le comportement du sol dépend à la fois de sa nature et de son état de compacité. Il se traduira suivant les cas par des tassements faibles ou importants, égaux ou inégaux qui seront plus ou moins acceptés par l'ouvrage. [2]

I.2.1. Mouvement du sol/Tassement

Le sol est un matériau comme les autres, il a aussi une limite élastique, et une certaine aptitude à la plasticité. Ceci nous permet de donner des explications du phénomène des tassements. [3]

Un tassement est une déformation verticale qui se produit lorsqu'on sollicite un sol par des surcharges. Cette déformation dépend de plusieurs paramètres, on peut citer :

- Les charges appliquées ; la nature du sol ; les dimensions et la forme des fondations ; le temps ; la nature des fondations et de la structure.

Si ces déformations sont uniformes, on ne devait pas avoir de désordre au niveau de la structure. Mais, ce sont les tassements différentiels qui causent les désordres. [4]

I.2.2. Le risque de tassement différentiel et de fissuration

Un tassement différentiel est le signe d'un mouvement d'enfoncement (ou d'effondrement local) de l'assise d'une construction. Il intervient lorsqu'une partie de l'ouvrage s'enfonce davantage dans le sol, que le reste de la construction. La nature du sol et la prise en compte de ses contraintes, lors de la construction, jouent un grand rôle dans l'apparition de ce phénomène, dont les conséquences visibles sont des fissures sur les murs. [5]

À titre d'exemple, un tassement différentiel de 1 cm entre deux points d'appui distants de 5 m suffit à provoquer la fissuration. [6]

Les tassements entraînent principalement des dommages structuraux : fissures de cisaillement en diagonale ou fissures de traction horizontales et verticales sur les murs extérieurs. [6]

I.2.3. Les causes possibles de tassement différentiel

I.2.3.1. La présence de rocher dans le sol

L'implantation du bâtiment sur un sol hétérogène, renfermant des inclusions rocheuses qui constituent autant de points durs ou, au contraire, des débris végétaux (tourbes) ou des matières organiques en décomposition (vases) qui forment des zones compressibles. [6]

Il faut réaliser une étude de sol permet d'estimer l'importance du tassement différentiel et de proposer une solution optimisée pour le projet. [7]

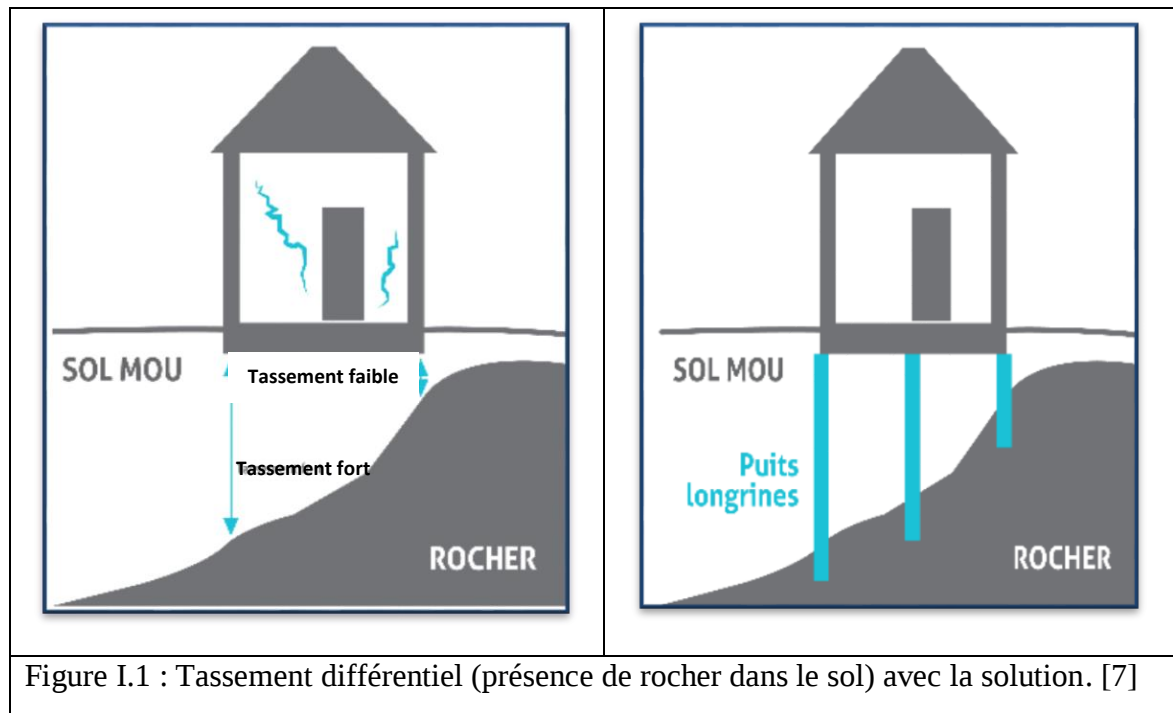


Figure I.1 : Tassement différentiel (présence de rocher dans le sol) avec la solution. [7]

I.2.3.2. Les constructions sur terrain en pente : Les pentes

La construction d'une maison sur une pente nécessite des aménagements spécifiques.

En effet, les terrains situés dans des pentes ont toujours une légère tendance à se déplacer vers le bas de celle-ci : on parle de phénomène de reptation. Le terrain a tendance à emporter les fondations de la maison et à provoquer des désordres sur celles-ci. Cette configuration nécessite donc l'ancrage des fondations amont et aval dans des terrains homogènes via des fondations renforcées, avec des redans correctement ferrailés. [8]

I.2.3.3. Les maisons établies sur un «mauvais» sol de type remblai

Un sol non remanié est un sol qui n'a pas été touché par l'homme. Ce sol a été compacté naturellement avec le temps. Il a une bonne capacité à supporter un bâtiment avec une semelle de fondation appropriée. Par contre, si le sol a été remanié par l'homme, il a perdu la compaction naturelle. Il faut donc le compacter mécaniquement. Mais avant il faut excaver jusqu'à ce qu'on atteigne la profondeur où se trouve le sol non remanié et ensuite remblayer avec du matériel propice à la compaction mécanique. La compaction doit se faire selon un processus contrôlé.

Cette opération peut être coûteuse. En faisant la part des choses, il se pourrait très bien que l'option d'installer des pieux préventifs soit la moins coûteuse et aussi valable. [9]

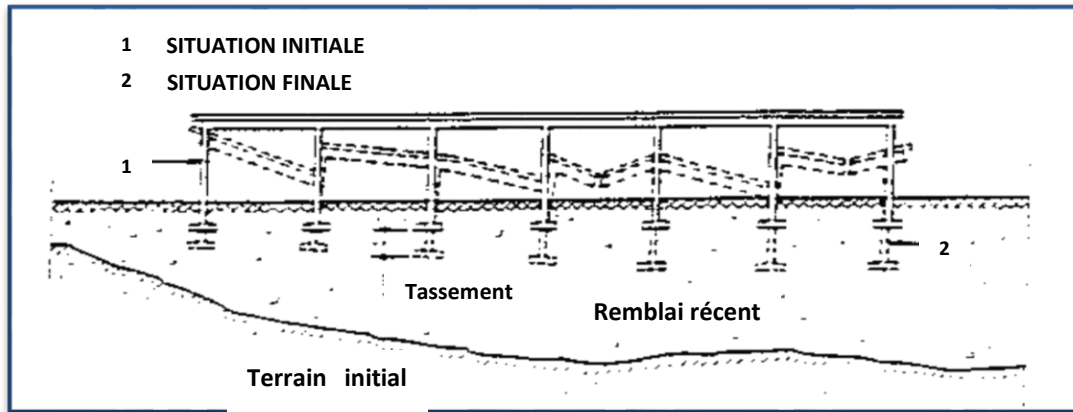


Figure I.2 : Remblais instables (insuffisamment tassés) [4].

Il faut réaliser une étude de sol permet d'estimer l'épaisseur du remblai ou de remaniement afin d'ancrer les fondations dans un sol homogène en nature et compacité [7].

I.2.4. Pathologies ayant rapport avec la reconnaissance du sol de fondation

I.2.4.1. L'importance d'une reconnaissance de sol

Afin d'éviter tout risque de désordres sur la future construction, notamment de fissuration, il est recommandé de faire réaliser une étude de sol. Cette étude a pour objectif d'adapter la construction envisagée aux caractéristiques du terrain et à sa nature. Elle permet, en outre, de mettre en œuvre les fondations de la maison, en fonction des forces et faiblesses du sol.

L'étude de sol permet de :

- Mesurer la composition, la densité et la capacité de résistance du sol ;
- Identifier la profondeur des couches de sol dures ;
- Évaluer la charge que le sol peut supporter sans s'effondrer ;
- Donner des indications au constructeur et, notamment, de poser les contraintes.

L'étude de sol doit être effectuée par des professionnels de la géologie [5].

L'absence de reconnaissance de sol préalable fait échapper à l'ingénieur constructeur plusieurs paramètres utiles liés au sol de fondation ce qui peut conduire à des fondations établies à une profondeur non convenable ou à un mode de fondation inadapté au terrain (Figure I.3). [10]

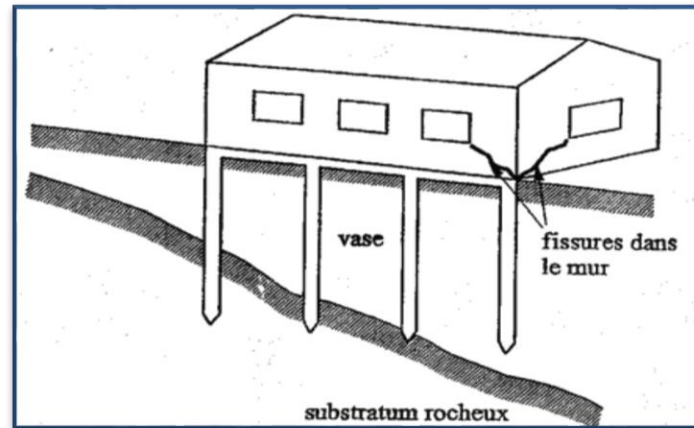


Figure I.3 : Construction est fissurée car les pieux d'angle n'ont pas atteint substratum rocheux. [10]

I.2.4.2 Etude de sol incomplet

Un rapport d'étude de sol est parfois très superficiel, lorsqu'il se borne par exemple seulement à la détermination de la profondeur du bon sol et à sa capacité portante qui restent insuffisantes pour le choix du mode de fondation approprié ainsi que pour le choix du type de liant à utiliser pour les éléments de constructions en contact avec le sol en question. [10]

I.2.4.3. Mauvaise interprétation de l'étude de sol

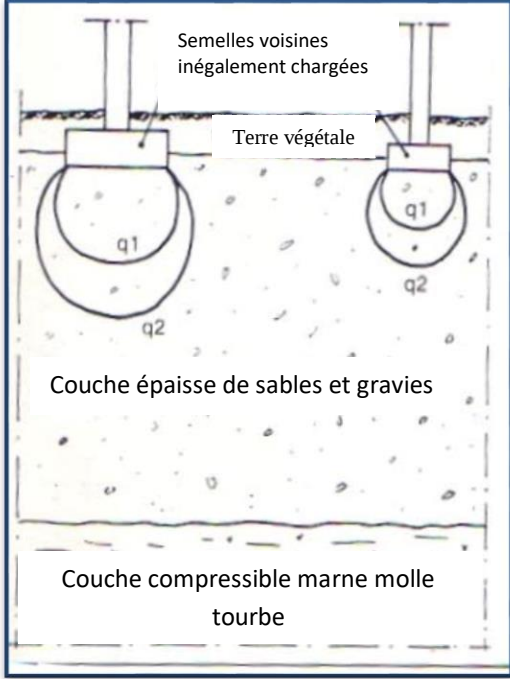
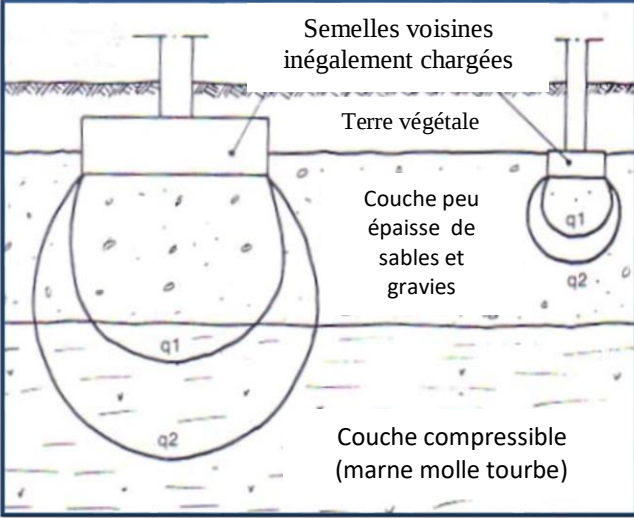
Dans le cas où les essais in situ ou de laboratoire sont réalisés d'une façon médiocre, cela mène automatiquement à des résultats non représentatifs du sol en question, d'où résulte une mauvaise interprétation ce qui conduit à des fondations non convenables. [10]

I.2.4.4. Causes dues à la prise en compte du seul taux de travail du sol de fondation

Il arrive parfois à l'ingénieur chargé de dimensionnement des fondations de se contenter du seul paramètre qui est la capacité portante de la couche considérée comme bon sol et ne s'intéresse pas aux couches sous-jacentes, pour ce cas particulier le problème n'est pas très grave lorsque le terrain de fondation est homogène et de bonne qualité : par exemple des semelles reposant sur une couche épaisse de sable et de gravier (Figure I.4). [10]

Par contre, lorsque le terrain comporte en surface une couche résistante, mais relativement mince, supportée par une couche plus compressible (par exemple de la vase ou de l'argile molle, comme cela arrive souvent dans les plaines alluviales), les semelles les plus chargées vont solliciter fortement la couche molle sous-jacente, alors que les semelles moins chargées,

donc plus petites, la solliciteront moins (Figure I.5), ce qui provoque les tassements différentiels importants qui se traduiront dans le bâtiment par des fissures notables. [10]

	
Figure I.4 : Tassements différentiels peu probables. [10]	Figure I.5: Tassements différentiels inévitables. [10]

I.2.5. Les désordres sur les habitations liés à l'argile gonflante

Le volume des sols argileux superficiels peut varier suite à un changement de leur teneur en eau. Concrètement, les sols argileux se contractent en période de sécheresse et gonflent lorsqu'il pleut. En été, les conditions météorologiques souvent extrêmes (forte chaleur et pluie abondante) provoquent des tassements différentiels. Les mouvements de terrain, liés à ce phénomène de retrait-gonflement, se traduisent alors par l'apparition de fissures affectant des constructions. [5]

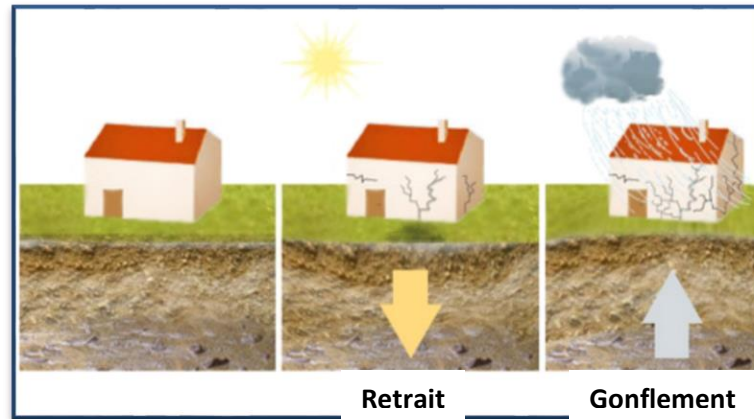


Figure I.6 : Retrait gonflement des argiles. [5]

Les sols de fondation argileux se rétractent progressivement de l'extérieur vers l'intérieur de l'ouvrage, jusqu'à se décoller de la sous-face des semelles ; il en résulte un porte-à-faux de la fondation qui, tassant de façon différentielle, provoque des fissures dans la structure. S'ensuivent des désordres progressifs conduisant parfois à la ruine de l'ouvrage. [3]

Dans les cas graves, les fissures peuvent atteindre une largeur d'ouverture de l'ordre de 30 à 40 mm : on parle alors de fractures ou lézardes.

Le diagnostic des désordres : en alternance saisonnière normale, les variations de teneur en eau de sols perturbent son équilibre hydrique sur moins d'un mètre de profondeur. [6]

En revanche, une sécheresse prolongée entraîne une forte évaporation d'eau entre la surface et le banc argileux sur une profondeur de 2 à 4 m. Ce phénomène provoque une importante diminution du volume du sol argileux, ce qui se traduit par un retrait pouvant atteindre une dizaine de centimètres.

Ces mouvements du sol ne sont pas uniformes sous les bâtiments car ceux-ci forment un écran contre l'évaporation. Des efforts différentiels importants apparaissent donc entre le centre du pavillon et sa périphérie, d'où l'apparition de fissures ou de lézardes.

Ce processus peut être aggravé par la présence, à proximité du pavillon, de végétaux dont les besoins en eau sont importants : chênes, peupliers, frênes... [6]

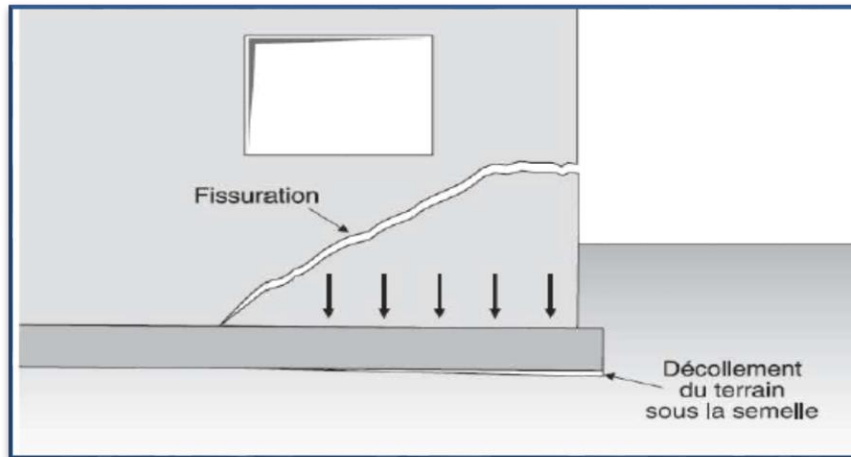


Figure I.7 : Tassement et fissurations liés à la sécheresse. [3]



Figure I.8 : Vue des désordres provoqués par des marnes gonflantes. [3]

I.2.5.1. Solutions

En cas de sol gonflant, il faut prendre les dispositions suivantes :

1. Etancher les alentours de la construction.
2. Adopter des couches tampons de sol stable.
3. Eviter de faire circuler les canalisations sous la construction.
4. Adopter une structure souple dans son ensemble et rigide par blocs avec oies joints ne dépassant pas 15 m. [4]

5. Préférer le vide sanitaire en présence d'argile et réaliser une étude de sol avec essais en laboratoire permettant d'adapter le type et la profondeur des fondations en fonction de la susceptibilité de sol au retrait_ gonflement. [7]

I.2.6. Causes chimiques dues aux agents agressifs dans le sol

Les composés formés au cours de l'hydratation du ciment (solides ou solution interstitielle), par ailleurs, les sels du milieu environnant (sol) sont susceptibles de réagir avec ces mêmes composés (composés sulfatés, eaux douces, nitrates d'ammonium...) ; dans ce qui suit, nous allons présenter le phénomène des attaques sulfatiques quand le sulfate est présent dans le sol.

I.2.6.1 Attaques Sulfatiques

Les sulfates en provenance de l'environnement (terres, milieu aqueux) peuvent réagir avec le béton pour former de l'ettringite (sel de Candlot). Cette cristallisation s'accompagne d'une expansion très importante et peut se produire aussi bien durant la phase plastique du durcissement (ettringite primaire) qu'après le durcissement (ettringite secondaire).

Seule l'ettringite secondaire est préjudiciable au béton, les contraintes internes causées par l'expansion entraînant la fissuration et la ruine de la structure. Toutefois, même en l'absence de source extérieure de sulfates, un échauffement excessif du béton en cours de durcissement peut également donner lieu à la formation d'ettringite, notamment lors d'un traitement thermique (destiné à accélérer le développement de la résistance du béton) ou lors du dégagement de la chaleur d'hydratation dans le béton de masse. C'est la raison pour laquelle la température maximale est généralement limitée à quelque 65 °C durant la phase de durcissement.

En décalcifiant les composés primaires de la prise présents dans le ciment durci (C-SH), les sulfates peuvent aussi altérer la résistance mécanique du béton et donc affecter la stabilité de l'ouvrage. [11]

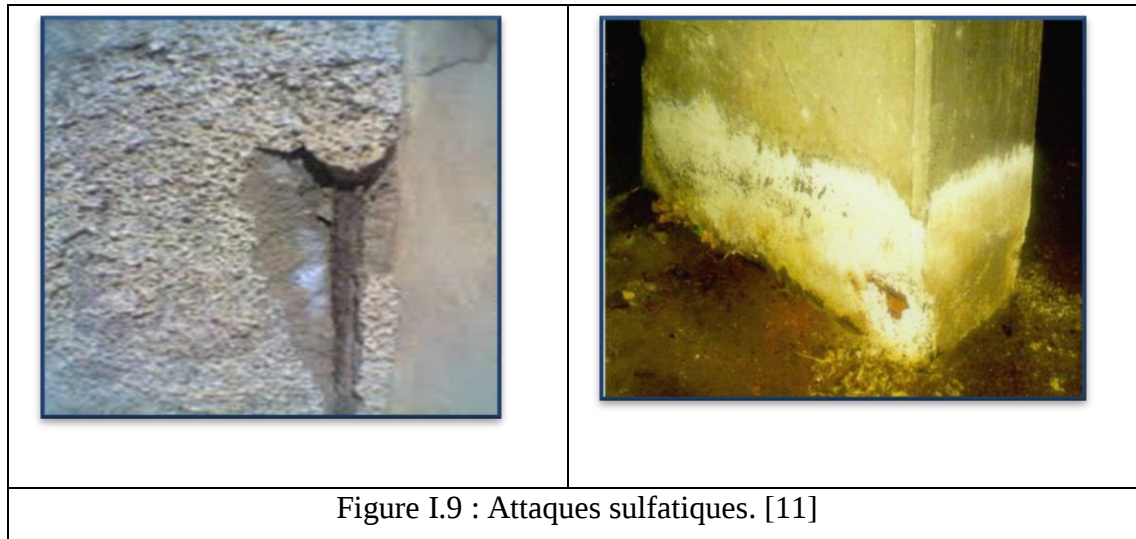


Figure I.9 : Attaques sulfatiques. [11]

I.3. Pathologies liées à la conception

Les pathologies liées à la conception sont diverses, elles peuvent être :

I.3.1. Les insuffisances au niveau de l'étude

Les défaillances constatées au niveau des études peuvent être indiquées comme suit:

1. Le non prise en compte durant le calcul d'un facteur jugé indispensable pour le dimensionnement des éléments de construction comme par exemple l'effet du vent, du séisme. Etc...
2. Le non prise en compte des dispositions constructives
3. La sous-estimation de certaines surcharges
4. Le manque de détails au niveau des plans d'exécution
5. Absence de certaines indications nécessaires aux plans d'exécution (ex : nuance d'acier)
6. Erreur de cotation.

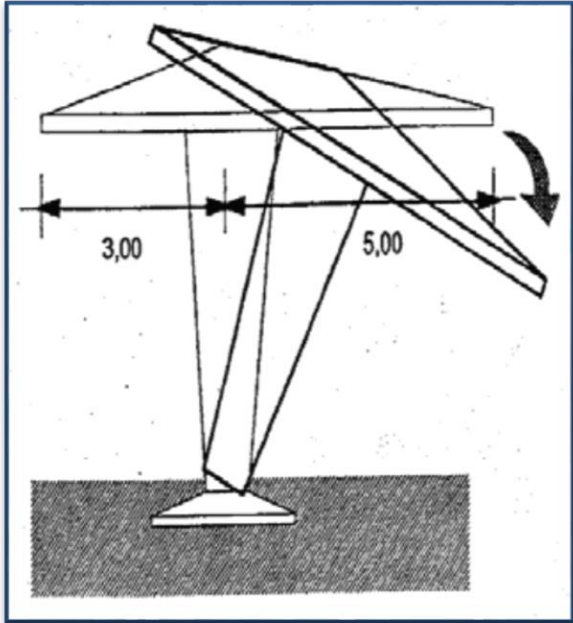
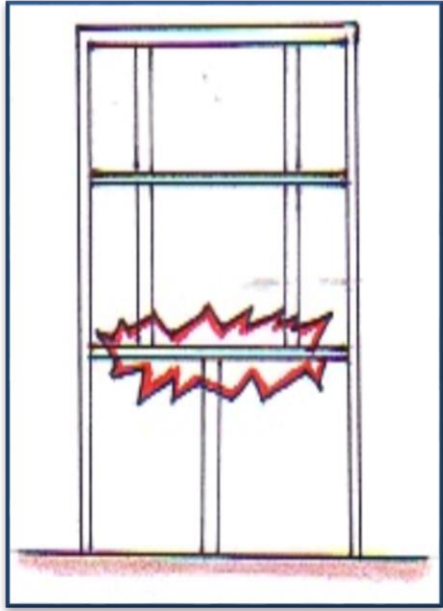
Ces défaillances peuvent être la cause d'apparition de désordre de divers degrés.

L'étude d'un projet de construction qui se fait par la non prise en compte d'un ou de plusieurs facteurs indispensables comme par exemple l'effet du vent, du séisme, de la température, des tassements, des agents agressifs etc..., entraîne le plus souvent des désordres de divers degrés.

[10]

- ✓ *Les erreurs dues à la non prise en compte des conditions d'équilibre résultant de la statique rationnelle comme c'est le cas de :*

1. L'absence de contreventement pour résister aux forces horizontales dues à l'action du vent ou du séisme
2. L'instabilité sous l'action de charges verticales. (Figure 10)
3. La poussée des voûtes ou de fermes non équilibrées.
4. L'existence d'une discontinuité entre les éléments porteurs. (Figure 11)
5. Le choix d'un matériau non adéquat avec les conditions climatiques.

	
Figure I.10 : Renversement de l'ouvrage (Erreur de conception). [10]	Figure I.11 : La discontinuité entre poteau peut provoquer le cisaillement au niveau des poutres porteuses. [10]

6. Instabilité – Non-respect des règles de la statique

Il s'agit de s'assurer que l'ouvrage sera en équilibre, ce qui impose les 2 conditions fondamentales :

$\overrightarrow{OR} = 0$ La résultante de forces appliquées est nulle.

$\overrightarrow{OG} = 0$ La somme des moments des forces appliqués est nulle.

Ces conditions doivent, bien entendu, être vérifiées, tant pour l'ouvrage considéré dans sa globalité, que pour chaque élément constitutif de l'ouvrage.

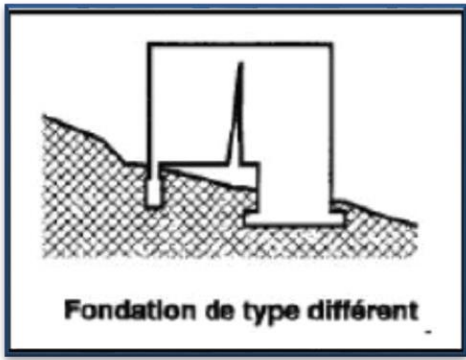
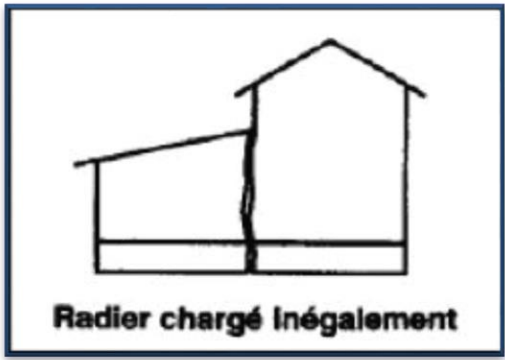
Ainsi, dans le cas d'un ouvrage soumis à 3 forces, celles-ci doivent être concourantes et les réactions normales aux surfaces en contact, sauf en cas de frottement. [12]

Il conviendra de faire l'inventaire de toutes les actions exercées sur l'ouvrage, de bien examiner le mode de transmission des efforts, et de s'assurer de leur continuité jusqu'aux fondations, ce qui impose de vérifier que des éléments résistants sont bien disposés là où les efforts sont appliqués. Et ce, bien entendu, en se plaçant dans toutes les conditions et phases de construction, y compris les plus défavorables.

Enfin, on ne peut trop recommander aux concepteurs et calculateurs de conforter un calcul, d'autant plus qu'il est complexe, par une méthode graphique. [12]

I.3.2. Au niveau de la conception des fondations

- ✓ Fondations différentes sous un même ouvrage, (figure 12)
- ✓ Radier chargé inégalement, (figure 13). [3]
- ✓ Ancrage insuffisant des semelles de fondation ;
- ✓ Problème de dessouchage ;
- ✓ Fosse à proximité des fondations canalisant des eaux souterraines, ou réalisée sans blindage occasionnant un tassement ;
- ✓ Terrain en pente, plateforme en déblai avec les fondations amont et aval non ancrées dans la même couche de sol ;

 Fondation de type différent	 Radier chargé Inégalement
Figure I.12 : Fondation de type différent. [3]	Figure I.13 : Radier chargé inégalement. [3]

I.3.3. Au niveau de la conception des sous-sols

- ✓ Sous-sol partiel sans ossature renforcée et désolidarisée.
- ✓ Dallage réalisé sur terre-plein en lieu et place d'un plancher sur vide sanitaire.
- ✓ La présence d'un sous-sol partiel implique des différences d'ancrage et donc, des fondations hétérogènes. [8]

I.3.4. Au niveau de la descente de charge et les joints de ruptures

- ✓ Des blocs de poids différents peuvent se fissurer‘‘
- ✓ Les désordres induits par des tassements différentiels se situent aussi souvent à la jonction entre deux blocs de poids différents.
- ✓ Aussi et dans l’idéal, les fondations d’un bâtiment doivent être ancrées dans le sol à la même altitude, afin de pouvoir supporter la totalité du poids de la construction. (Figure I.14).
- ✓ L'erreur due à l'absence de joint de rupture malgré l'hétérogénéité du sol de fondation ainsi à l’existence des charges très variables transmises par l'ouvrage au sol.
- ✓ L'erreur due à l'absence du joint de dilatation malgré l'écart considérable de température

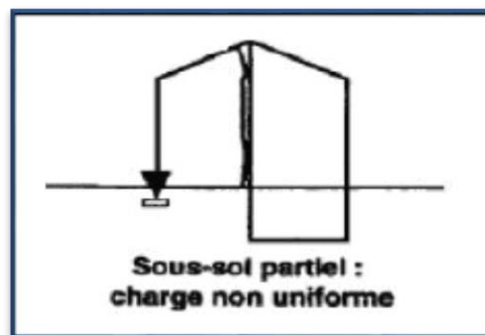


Figure I.14 : Sous-sol partiel avec charge non uniforme. [3]

I.3.5. Étude de stabilité insuffisante ou incomplète d’un mur de soutènement

- ✓ Par exemple dans le cas des murs de soutènement, il y a lieu de s'assurer que les stabilités au glissement sur la base, au renversement, au poinçonnement et au glissement général sont satisfaisantes, et que les tassements attendus restent admissibles, (figure I.15)



Figure I.15 : Effondrement d'une partie de murs de soutènement (constat-causes). [13]

I.3.6. Drainage des eaux

- ✓ Absence ou mauvaise conception des systèmes de drainage et d'évacuation des eaux, ce qui peut se traduire par des infiltrations plus ou moins agressives dans l'ouvrage et par une augmentation des efforts de poussée à l'arrière du mur. Dans le cas des ouvrages en maçonnerie, l'eau attaque les liants hydrauliques, désorganisant les maçonneries et accentuant les désordres dus aux effets dynamiques des charges routières. [14]
- ✓ Lorsque le dispositif d'évacuation des eaux de pluie entourant la maison est insuffisant ou inadapté (contre-pente, absence d'étanchéité des canalisations, etc.), les fondations risquent de se déchausser progressivement. C'est ce qu'on appelle le phénomène d'affouillement des fondations. En présence de fondations déchaussées, la structure d'ensemble de la construction tend à se déformer, sous l'influence de tassements différentiels. Les tassements différentiels, quant à eux, multiplient les risques d'apparition de désordres sur l'édifice, tels que les fissures. [5]

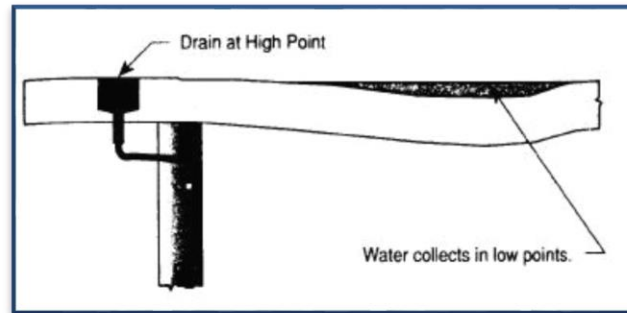


Figure I.16 : Mauvais positionnement d'un système de drainage [tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*]. [15]

I.3.7. Critères de Conception des structures

En choisissant des critères de conception appropriés on peut diminuer considérablement le stress environnemental sur la structure.

Parmi les principaux critères de conception qui contrôlent la durabilité d'une structure de béton on retrouve :

1. Le calcul des aciers d'armature et le choix de l'épaisseur de recouvrement des armatures (corrosion).
2. Le choix des enduits protecteurs ou des imperméabilisants
3. Le choix d'une géométrie particulière de la structure qui permettrait de diminuer le stress environnemental (forme et disposition des colonnes et des poutres) [15]
4. S'assurer de la présence de chaînages et raidisseurs
5. Vérifier la présence de joints de dilatation (figure I.17)

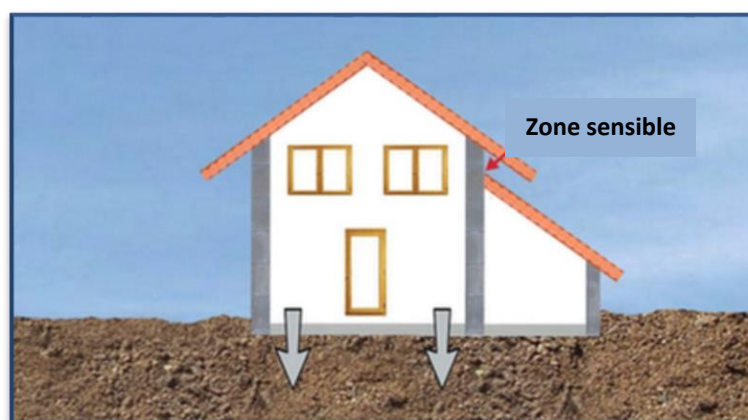


Figure I.17 : Nécessité de joint de dilatation. [5]

I.4. Pathologies liées à la réalisation

I.4.1. Introduction

Le béton est un des rares matériaux de construction où les composants sont rassemblés au site, ou près du site de construction, pour ensuite être dosés, malaxés et mis en place dans les coffrages pour obtenir un produit fini. Il existe un très grand nombre de variables qui contrôlent ce type de production. Il y a donc toujours une possibilité qu'il y ait un maillon faible dans la chaîne de production qui fasse en sorte que la durabilité de l'ouvrage soit handicapée.

- ✓ Si les méthodes de mise en place et de mûrissement ne permettent pas au béton de développer toutes ses qualités, la durabilité de l'ouvrage pourra être considérablement réduite. [15]
- ✓ Les fautes d'exécution des travaux sont les causes majeures qui provoquent des dégradations plus au moins graves au niveau des constructions, nous allons énumérer dans ce qui suit celles qui sont les plus fréquentes :

I.4.2. Mauvaise étanchéité

Elle facilite l'apparition d'efflorescences ainsi que la pénétration d'agent agressif et son corollaire : la corrosion des aciers. [16]

I.4.3. Défauts de bétonnage

Parmi les défauts de bétonnage rencontrés on mentionne :

I.4.3.1. Une composition de béton non convenable

Un béton de composition mal étudiée est au final un béton de qualité médiocre qui ne répond pas aux conditions exigées par les règles de la construction.

I.4.3.2. L'excès d'eau de gâchage

Un béton confectionné avec un excès d'eau est dans la plupart des cas exposé au phénomène de ségrégation défini auparavant et qui affecte le plus souvent les poteaux, les voiles et les poutres.

I.4.3.3. La mise en place du béton sans vibration ou avec vibration imparfaite

Un béton frais mis en place dans les fonds de moules sans vibration ou avec une vibration imparfaite est un béton caractérisé par une compacité moindre, ce qui le rend perméable et

moins résistant mécaniquement. Il faut noter que la ségrégation du béton et sa faible compacité sont dans la plupart des cas les causes principales des fuites qui apparaissent au niveau des réservoirs et des cuves utilisés pour le stockage des différents liquides pouvant favoriser ainsi la corrosion des armatures et l'apparition de taches de rouille sur les parois.

I.4.3.4. Bétonnage dans des conditions de température très sévères

Le bétonnage qui se fait au moment de la baisse de température sans prendre des précautions nécessaires entraîne le retard l'hydratation du ciment avec risque d'apparition de gel dans la masse de béton provoquant ainsi sa détérioration. Par temps chaud, l'eau de gâchage s'évapore créant ainsi un déficit (en eau) qui influe négativement sur la qualité du béton obtenu.

I.4.3.5. Mauvaise reprise de bétonnage

La reprise de bétonnage qui se fait sans la prise en compte de dispositions particulières influe négativement sur la qualité du béton. [10]

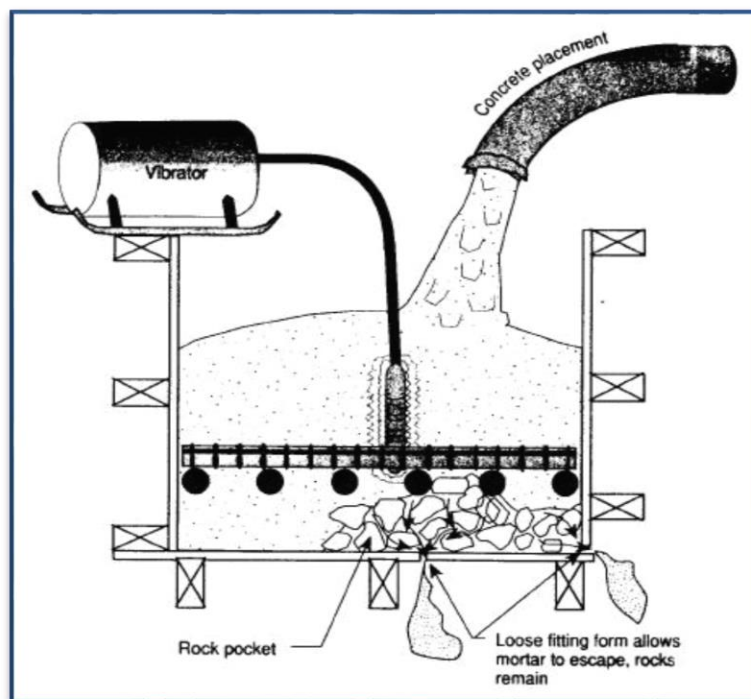


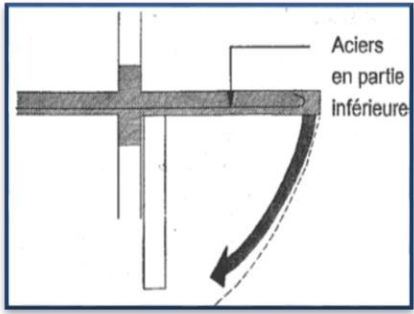
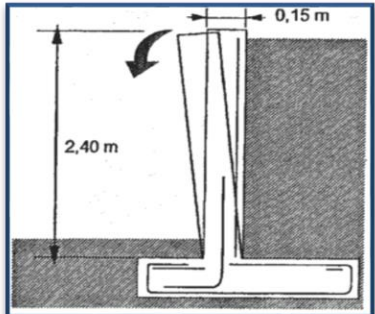
Figure I.18 : Formation de nids d'abeilles dans un élément de béton armé [tiré de Emmons, P.-H.; *Concrete repair and maintenance illustrated*]. [15]

I.4.4. Erreurs de ferrailage

Nous allons évoquer dans ce qui suit les cas d'erreurs de ferrailage dont certains ont été la cause de sinistres :

I.4.4.1. Disposition défectueuse des armatures

Il arrive parfois aux ouvriers de placer par erreur des armatures principales au niveau de la partie comprimée en laissant toute la partie tendue sans armature, ce cas se constate surtout au niveau des balcons et des auvents. Les figures (I.19 et I.20) montrent à titre d'exemples les cas de dispositions incorrectes

	
Figure I.19 : Basculement d'un balcon. [10]	Figure I.20 : La rotation du mur de soutènement due au mauvais emplacement des armatures d'attente. [10]

I.4.4.1.1. Absence d'armatures de peau

L'absence d'armatures horizontales intermédiaires appelée "armatures de peau" au niveau des âmes des poutres de grandes hauteurs est l'une des causes d'apparition de fissures verticales situées dans les plans transversaux des poutres considérées.

I.4.4.1.2. Diamètre d'armature non convenable

L'utilisation des barres de très faible diamètre pour certains éléments de construction peut être la cause de dégradation de ces derniers.

I.4.4.1.3. Nuance d'armature non convenable

Lors des calculs des éléments en béton armé, l'ingénieur choisit des armatures de nuance bien déterminée, il s'avère que pendant l'exécution, certaines entreprises ne respectent pas ce choix et utilisent des armatures de nuance inférieure à celle prévue dans les calculs qui doit être reportée sur les plans de ferrailage, ceci peut porter atteinte à la sécurité de l'ouvrage en question.

I.4.4.1.4. Longueur de recouvrement insuffisante

Le non-respect de la longueur de recouvrement des barres longitudinale peut être la cause de sinistre. [10]

Le manque de recouvrement des armatures mène vers la corrosion qui créer des fissures parallèles aux armatures, des épaufrures et de éclats. [16]



Figure I. 21 : Mauvaise mise en place des ferrailages (défaut de recouvrement, de liens entre ferrailages, attente de liaisons des poteaux). (Source Socabat). [8]

I.4.4.1.5. Absence ou insuffisance d'armatures transversales

L'absence ou l'insuffisance d'armatures transversales au niveau des pièces élancées conduit le plus souvent à des fissures inclinées qui peuvent se constater surtout au niveau des pieds des poteaux et aux extrémités des poutres. Il faut signaler que dans la plupart des cas les chefs de chantiers laissent les nœuds des poteaux sans armatures transversales comme le montre la figure I.22.



Figure I. 22 : Absence d'armatures transversales au niveau du nœud (poteau- poutre). [10]

I.4.4.1.6. Coudage des armatures en attente

Par suite d'erreurs d'emplacement des barres d'attente, les chefs de chantiers sont conduits dans la plus parts des cas à les couder, celles-ci donnent lieu à des poussées au vide.

I.4.4.1.7. Enrobage des armatures insuffisant

Le non-respect de l'épaisseur prévue pour l'enrobage reste la cause principale de la corrosion des armatures. [10]



Figure I. 23 : Eclat de béton autour de l'armature d'un poteau insuffisamment enrobée. [17]

I.4.5. Erreurs dans les opérations de coffrage

Plusieurs incidents sont survenus aux chantiers pour cause d'erreurs commises durant l'opération de coffrage, parmi ces erreurs on mentionne les cas suivants : [10]

I.4.5.1. Mauvaise exécution des coffrages

L'absence d'écarteur de coffrage peut entraîner des nids de cailloux ou des défauts de bétonnage. [16]

I.4.5.2. Déplacement des coffrages

Le déplacement des coffrages peut être dû :

- À la poussée du béton frais contre les parois des coffrages (Figures I.24.A et I.24.B)
- Au mouvement du terrain servant comme appui (cas d'un sol gonflant ou compressible) (Figure I.24.C)
- À la déformation des étais (flambage)
- À l'état du bois de coffrage (bois défectueux),

e. À l'assemblage défectueux des éléments de coffrage, etc.

Il faut noter que le déplacement des coffrages provoque la formation de fissures internes ou externes au matériau béton comme la montre la figure ci-dessous. [10]

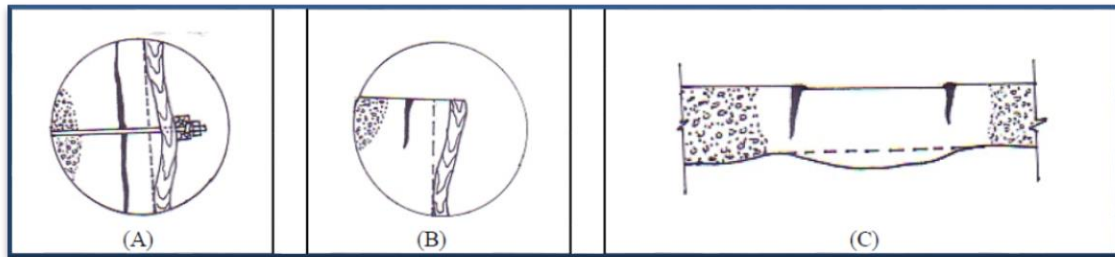


Figure I.24.A: La fissure interne du béton est due au déplacement du coffrage [10].

Figure I.24.B: Le mouvement de la paroi du moule a provoqué la fissure externe [10].

Figure I.24.C : La déformation du fond de moule est due à l'affaissement du sol servant de support de coffrage [10].

I.4.6. Erreurs dans les opérations de décoffrage

Les décoffrages hâtifs des planchers en béton armé en cours de durcissement sont souvent la cause de désordres spectaculaires. [10]

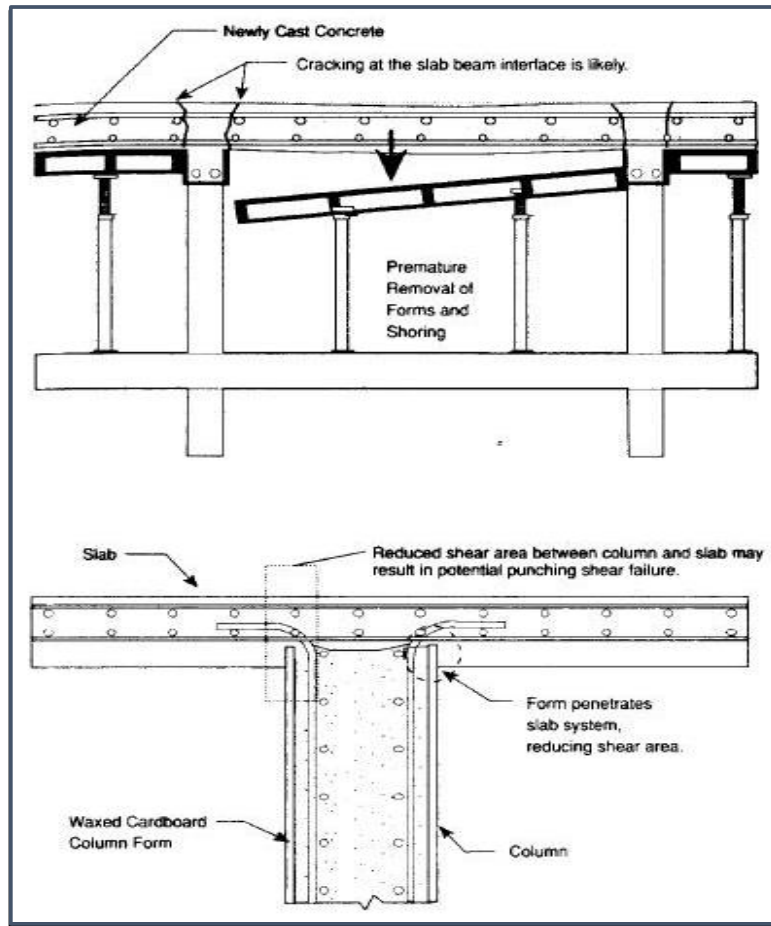


Figure I. 25 : Influence d'un décoffrage trop hâtif et d'une mauvaise conception de coffrages
[tiré de Emmons, P.-H.; Concrete repair and maintenance illustrated]. [15]

I.4.7. L'importance d'entretien

L'entretien a pour but d'améliorer ou maintenir la sécurité structurale et éviter ou retarder certain type de dégradation des structures, c'est un facteur négligeable, malgré qu'il soit nécessaire surtout pour certaines parties des ouvrages qui doivent être maintenues dans le temps, comme l'étanchéité, le revêtement, qui n'ont en général qu'une durée de vie limitée. L'entretien et la maintenance devront être assurés par le personnel d'exploitation, ce qu'on appelle l'entretien courant.

- La stagnation des eaux potables ou usées dans les caves (figure I.26), où les pompes à eaux perdent de l'eau ;
- Les vides sanitaires sont devenus des endroits d'accumulation des eaux usées, (figure I.27) ce qui engendre des attaques chimiques par les différents produits qu'elles contiennent, comme : les graisses et huiles d'origine végétale et animale réagissent avec l'hydroxyde de

calcium pour former des sels d'acides gras. L'effet de dégradation sur le béton dépend principalement de la solubilité dans l'eau des produits de réaction formés. [18]



Figure I.26 : La stagnation des eaux dans les caves



Figure I.27 : Etat des vides sanitaires



Figure I.28 : Un dallage en béton prévu tout autour d'un bâtiment reste nécessaire. [10]



Figure I.29 : L'existence d'une crevasse sous la conduite d'eau pluviale peut être la cause de sinistre. [10]

Ces principales pathologies liées aux sols, à la conception et à la réalisation peuvent se manifester par plusieurs mécanismes, ceux-ci sont cités dans ce qui suit :

I.5. Origines des pathologies des constructions

A peine confectionné et mis en place, le béton est déjà soumis à de nombreuses sollicitations, inhérentes à ses propres constituants, à ses conditions de mise en œuvre ou de fonctionnement et à l'environnement. Avec le temps, ce matériau complexe réagit avec cet environnement. [19]

Selon l'organigramme de la figure (I.30), les sollicitations sont d'ordre :

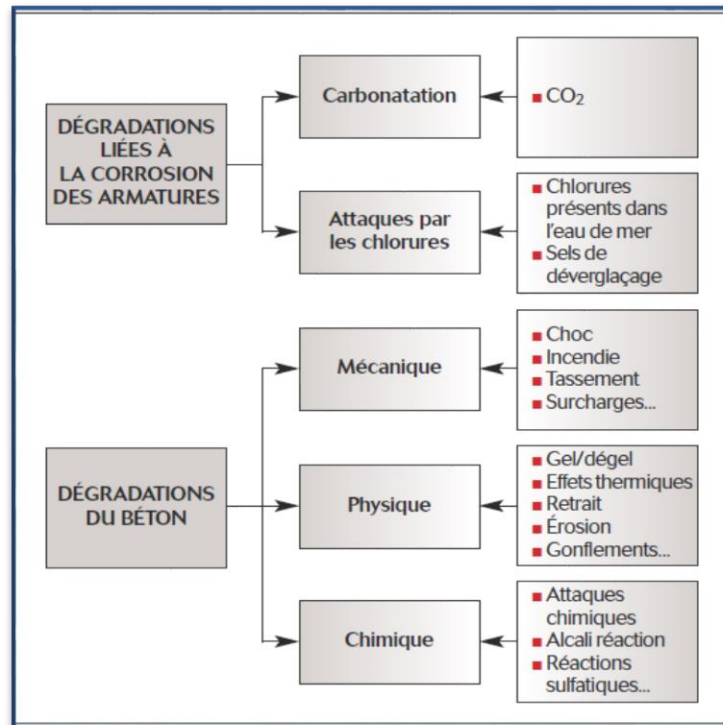


Figure I.30 : Principales causes de dégradations des bétons armés ou précontraints. [20]

I.5.1. Physiques

Ce sont essentiellement des déformations (de retrait, thermiques, mécaniques)

I.5.1.1. Le retrait

Correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant ou après la prise des bétons. Lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées par le ferrailage ou la présence de joints, ces variations dimensionnelles donnent lieu à l'apparition de fissurations précoces, d'ouverture conséquente. Les fissurations liées au retrait doivent être différencées des phénomènes de fissuration fonctionnelle des ouvrages, ces derniers étant généralement maîtrisés par les règles de calcul, et restent compatibles avec la bonne tenue des ouvrages dans le temps, notamment en raison des faibles ouvertures des fissures. [21]

I.5.2. Electrochimiques

Ce sont les processus de corrosion des armatures. [19]

I.5.2.1. La corrosion des armatures

La norme ISO 8044 (1999) « Corrosion des métaux et alliages – Termes principaux et définitions » définit la corrosion comme étant une « interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même, de son environnement ou de son système technique constitué par les deux facteurs. » Précisons que cette interaction est généralement de nature électrochimique.

Dans le cas des structures en béton armé, la tenue des armatures passives ou précontraintes vis-à-vis de la corrosion est le principal facteur à prendre en compte lorsqu'on veut étudier la durabilité des différents types d'ouvrages (bâtiment résidentiel, bâtiment industriels, ouvrages de génie civil tels que les ponts, les structures portuaires...). Dans ce cas, l'origine de la corrosion des armatures est double :

- ❖ La carbonatation du béton d'enrobage par le dioxyde de carbone environnant ;
- ❖ Où l'attaque de la couche passive par les ions chlorure. [22]

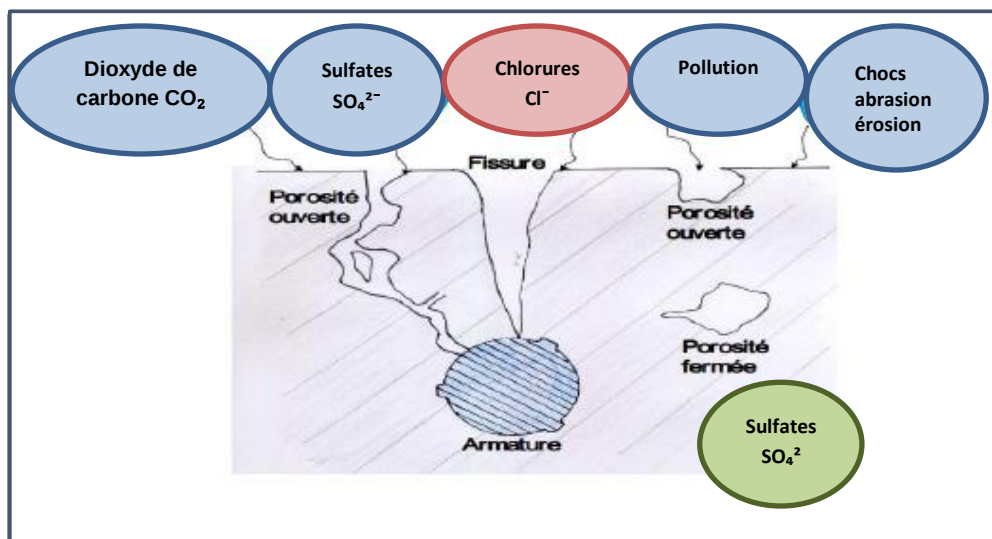


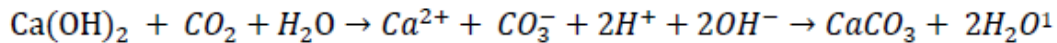
Figure I. 31 : L'attaque des armatures par le milieu qui les enrobe. [3]

I.5.2.1.1. La carbonatation

La carbonatation est l'un des deux principaux phénomènes responsables de la corrosion des armatures et de la dégradation des structures en béton armé. Les structures les plus touchées par ce phénomène sont les structures exposées à de très fortes concentrations en

dioxyde de carbone telles que les tunnels routiers, les ouvrages urbains ou encore les parkings souterrains. [23]

Ce phénomène correspond à une réaction chimique induite par la pénétration du dioxyde de carbone CO_2 de l'air dans le béton. La réaction chimique établit comprend comme réactifs le CO_2 présent dans l'atmosphère en faible proportion, qui se dissout dans l'eau et forme l'acide H_2CO_3 . L'acide réagit avec la portlandite (hydroxydes de Calcium) pour former des carbonates de calcium et de l'eau, selon la formule suivante :



La portlandite est essentielle pour maintenir un PH élevé, ce qui protège les armatures du béton armé et empêche la formation de micro-organismes. Et lorsqu'elle n'est plus suffisamment accessible pour réguler le PH, le milieu s'acidifie, permettant ainsi la corrosion des armatures. [24]

1.5.2.1.2. Pénétration des chlorures

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

De très faibles concentrations en chlorures forment le composé FeOOH sur la couche passive, puis les ions instables de FeCl_3 consomment les ions hydroxydes présents ce qui conduit à une diminution du PH.

La circulation des électrons libérés par la réaction d'oxydation vers les sites cathodiques engendre des piles électrochimiques sur l'armature conduisant à la décomposition de l'acier dans les zones anodiques. Donc au niveau du béton rien n'est visible, et on ne voit au bout d'un certain temps que les conséquences : corrosion des armatures. [24]

1.5.2.1.3. Les dommages dus à la corrosion se manifestent par

- Des expansions qui conduisent à la formation des fissures.
- Perte de l'adhérence des barres et la diminution de leur diamètre effectif, qui engendrent une perte de capacité en traction.
- Un éclatement de béton, car la rouille résulte de la formation de produits fortement gonflants qui dépendent de l'état de l'oxydation dont le volume peut être jusqu'à six fois supérieures au volume initial.

- Perte de section des barres d'acier. [16]

I.5.2.1.4. Modes de réparation des armatures

Quatre possibilités peuvent être envisagées :

- La purge des bétons dégradés et leur remplacement, avec éventuellement un traitement de protection des armatures (passivation) ; n'est praticable que si on peut éliminer en totalité les polluants du béton.
- La mise en œuvre d'une protection cathodique.
- La déchloruration des bétons, suivie de leur réalcalinisation. On extrait les chlorures par électrolyse avant d'apporter des ions OH^- ,
- La mise en œuvre d'inhibiteurs de corrosion à la surface du béton qui vont diffuser en profondeur et passiver les armatures. [25]
- PROTECTION CATHODIQUE : Par anodes sacrificielles, Par courant imposé. [25]

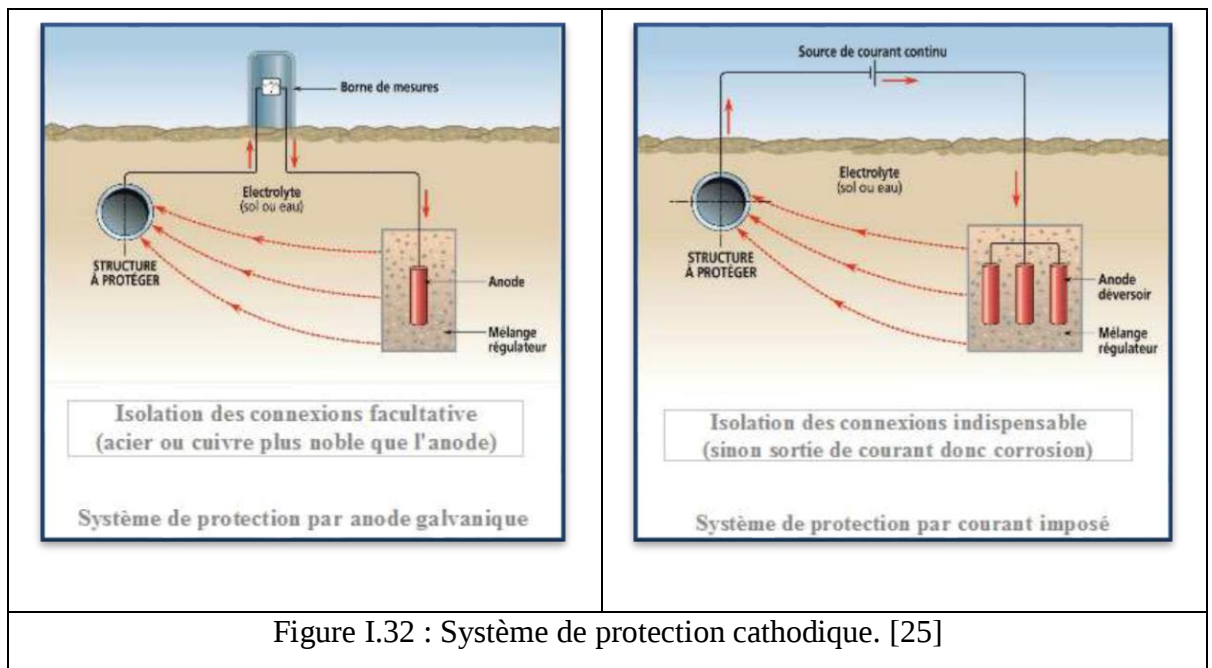


Figure I.32 : Système de protection cathodique. [25]

I.5.3. Dégradations mécaniques

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

permanente ou d'un tassement des appuis sont en effet plus lents à se manifester, notamment en raison du fluage du béton. Outre une inspection in situ, une étude de stabilité sera nécessaire afin d'évaluer l'action d'une surcharge éventuelle. [11]

I.6. Principales dégradations qui affectent les structures en béton

Les pathologies peuvent être classées en plusieurs familles :

- Les dégradations superficielles ;
- Les déformations ;
- Les fissurations ;
- Les dégradations d'ordre structurel. [26]

La figure I.33 présente les cinq familles principales des dégradations qui affectent les structures en béton. [27]

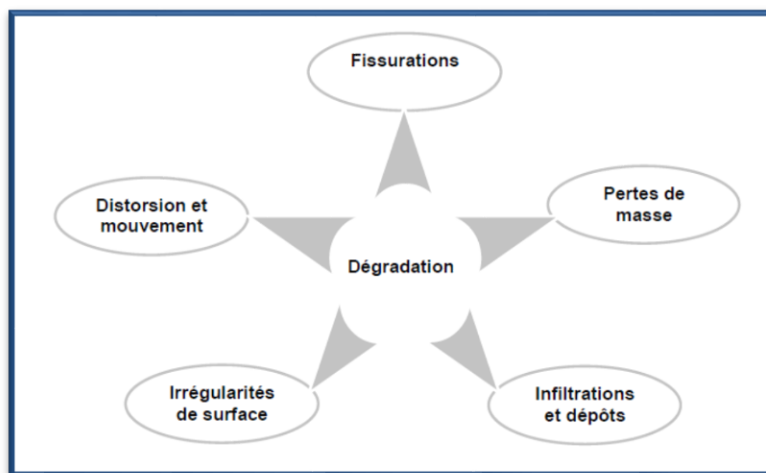


Figure I.33 : Les cinq familles principales de dégradations. [27]

I.7. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons mis en évidence trois principales causes de dégradations des structures en béton armé et qui sont liées au sol (support de la structure), à la conception et à la réalisation. Ces trois origines de pathologies ont été largement discutées lors de ce chapitre et les conclusions suivantes peuvent être décrites :

1. La connaissance du sol est primordiale pour la durabilité de la construction
2. Une bonne conception de l'ouvrage est nécessaire à la stabilité de la construction
3. Une bonne maîtrise de réalisation à travers des entreprises qualifiées peut augmenter la durée des ouvrages en béton armé.

***Chapitre II : Principales pathologies des constructions dans la
wilaya de Laghouat.***

II.1. Introduction

Dans ce chapitre nous essayons d'identifier les principales pathologies des constructions dans la région de Laghouat. Nous avons commencé avec une présentation brève de l'organisme de Contrôle Technique de Construction **CTC/Sud- Laghouat** et ses activités, nous avons discuté sur les démarches adoptées pour l'établissement d'un rapport d'expertise, puis nous avons présenté les principales pathologies des constructions qui sont connu à la wilaya de Laghouat (partie sud) et ça à travers une analyse qui se base sur les constatations des désordres mentionnées dans les rapports d'expertises de **CTC/Sud-Laghouat**.

II.1. Présentation de l'organisme de contrôle technique des constructions CTC Laghouat**II.1.1. Evolution**

Le CTC, Organisme National de Contrôle Technique de la Construction, est créé par ordonnance n°71 / 85 bis du 29 décembre 1971. [28]

À l'issue de quinze années d'existence et de développement, cet organisme a été restructuré en 1986, à la faveur de la première grande réforme économique du pays, en Cinq entreprises distinctes. [29]

Aujourd'hui, le CTC exerce son activité de Contrôle Technique de la Construction à travers ses cinq Directions Régionales (Centre, Est, Ouest, Sud-Est et Sud-Ouest), toutes sous l'administration de la Direction Générale sise à Alger. [28]

L'agence de Laghouat appartient à la direction régionale (Sud-Est) qui est située à Ghardaïa.

II.1.2. Activités

L'activité principale de (CTC/Laghouat) est la normalisation des risques de la construction dans le cadre de la prévention des aléas techniques susceptibles d'être rencontrés dans la réalisation des bâtiments et des ouvrages de génie civil conformément à la loi sur l'assurance décennale. [29]

L'application de la réglementation et la satisfaction du client sur le plan professionnel constituent l'objectif de toute l'organisation de l'activité au CTC/Laghouat. [29]

II.1.3. Les missions du contrôle technique

La mission de contrôle technique confiée au CTC par le maître d'ouvrage doit permettre d'assurer au mieux la prévention des aléas techniques susceptibles d'être rencontrés.

Pour cela, il est nécessaire d'en définir la nature, caractérisée par le choix des aléas techniques dont la prévention est recherchée, et le domaine d'intervention, constitué par l'ensemble des ouvrages et éléments d'équipements indissociables, sur lesquels porte la mission.

La notion de contrôle implique quant à elle l'existence d'un objet à contrôler et d'un référentiel par rapport auquel s'exerce ce contrôle. [28]

Les missions de contrôle technique se classent en une mission de base incontournable qui est celle de la Normalisation des Risques (**Mission de base M1 ou mission NR**), et en des missions additionnelles ou complémentaires qui couvrent les principaux Corps d'Etat Techniques (**Mission M2, M3 et M4**). [28]

Le contrôle technique de normalisation des risques porte sur la solidité des ouvrages et des éléments d'équipement indissociablement qui font corps avec les ouvrages de viabilité, de fondation, d'ossature, de clos et de couvert. [28]

Généralement pour toute mission d'expertise technique sur les bâtiments et ouvrages et particulièrement lors des catastrophes naturelles. [29]

- Séisme
- Inondations et autres....
- Pour l'évaluation des dommages sur le bâti
- Le CTC fait partie intégrante du module « conseil et expertise » du plan « ORSEC » national et local. [29]

II.1.4. Etapes du contrôle technique

Ce contrôle comporte les quatre phases principales suivantes :

- Contrôle technique des documents de conception,
- Contrôle technique des documents d'exécution,
- Contrôle technique de la réalisation des ouvrages et des équipements indispensables,
- Vérification de levée de réserves avant la réception de l'ouvrage. [29]

II.1.5. Références

Le contrôle technique est mis en œuvre conformément aux :

- Documents techniques réglementaire (DTR) algériens ou à défaut ceux en vigueur en certificats ou rapports d'essais préalables,
- Guides techniques et règles professionnelles établies et éprouvées.
- Règlement parasismique algérien (RPA). [29]

II.2. Les démarches adoptées pour l'établissement d'un rapport d'expertise

Les opérations de Diagnostic et d'Expertise consistent à réduire le degré d'endommagement d'un ouvrage et accroître le niveau de sécurité. [28]

Les Centres de Diagnostic et d'Expertise CDE interviennent à la demande des Maîtres d'ouvrage, pour effectuer les opérations de diagnostic et d'expertise et donner un avis d'ordre technique, sur du bâti existant ou des ouvrages anciens, soumis à leur examen.

Les opérations de Diagnostic et Expertise portent sur le constat visuel, avec ou sans mesures et essais, sur les parties visibles et accessibles des ouvrages existant, au moment de l'intervention, et sont généralement demandées par les maîtres de l'ouvrages dans le cadre de travaux de:

- Réparation,
- Renforcement,
- Extension,
- Transformation structurelles, en raison du caractère spécifique de l'ouvrage existant,
- Réfection des systèmes d'étanchéité [28]

II.2.1. Le rôle d'une expertise d'une construction

Disposer d'un rapport d'expert en construction peut vous être utile à différents effets :

- Comprendre l'origine d'une pathologie immobilière (humidité, fissure, etc.)
- Estimer le montant des dommages et le coût des réparations
- Mettre en valeur une malfaçon et affirmer la responsabilité d'un mauvais artisan
- Préparer des poursuites contre un constructeur, un artisan ou une agence immobilière

Tout comme un économiste de la construction, l'ingénieur aide à estimer le montant des travaux de rénovation. Mais son rôle premier reste avant tout de mettre en valeur un défaut de

construction ou d'une vérité technique, et de conseiller le client sur les solutions à entreprendre. [30]

II.2.2. Les phases de diagnostic et d'expertise

Le diagnostic est un acte intelligent qui consiste à identifier les anomalies ou dysfonctionnements qui apparaissent dans un ouvrage et à donner leurs causes probables. Habituellement, le terme diagnostic désigne la réalisation des examens nécessaires à la formulation de conclusions, la définition précise des pathologies ainsi que l'identification des causes probables. [31]

Tout comme nous avons pu établir l'analogie sur les acteurs et concepts entre la médecine et le génie civil nous pouvons aussi formuler une équivalence entre les deux processus de diagnostic comme le décrit la figure 2-1. [31]

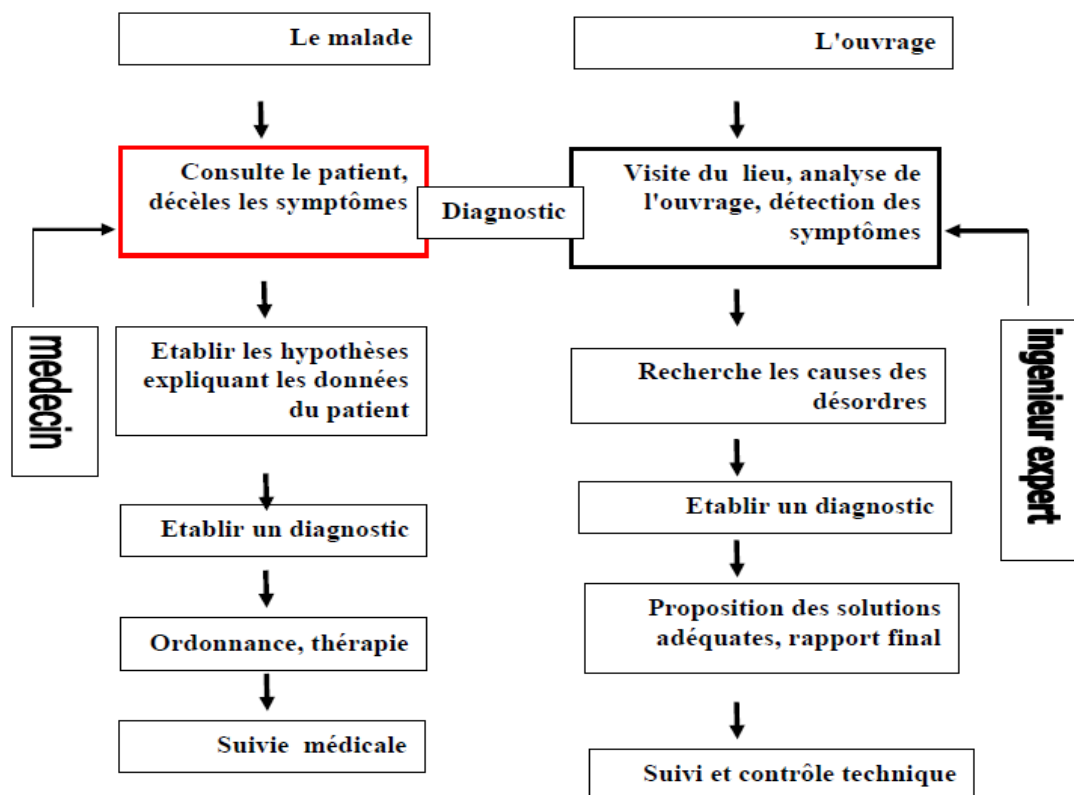


Figure II.1 : Analogie (médecine/génie civil). [31]

L'opération de Diagnostic et d'expertise s'exécute en trois (04) phases :

II.2.2.1. Documenter la structure (identification de la structure)

Cette étape vise à rassembler le maximum d'informations concernant la conception, la construction, l'entretien et l'utilisation de la structure, ces informations peuvent être obtenues par :

- Les dossiers techniques de la structure (plans d'architectures, plans de génie civil, photos...)
- Le cahier de chantier, les P.V de réunions et tout autre document de surveillance.
- Les résultats d'essais de contrôle des matériaux.
- Le type d'intervention après réception :
 - entretien
 - réparation "pourquoi et comment"

Si le projet concerné ne possède pas un dossier technique, dans ce cas on essaye de constituer le dossier d'identification par :

- La prise des photos.
- Le descriptif de la structure (conception, matériaux, année approximative de construction)
- Dessiner la structure (établir les plans d'architectures)
- Entretien avec le /les propriétaire(s). [31]

II.2.2.2. Evaluation Technique de l'ouvrage (Constat / Diagnostic) La première visite est une visite pour l'évaluation technique de l'ouvrage existant, objet de l'intervention

Lors de cette visite, l'ingénieur méthode a un constat visuel avec éventuellement des sondages pour lui permettre l'évaluation des désordres, ainsi que l'identification des pathologies et de leurs causes probables.

Un tissu de cette intervention, l'ingénieur doit être capable d'établir un inventaire des désordres, identifiant une éventuelle évolution de ces désordres dans le temps, évaluateur de l'état de conservation et de stabilité de la structure, préconisateur des recommandations techniques et déterminant des objectifs de la réparation et la protection préconisées, afin d'émettre un rapport à fournir au Maître de l'ouvrage comme un outil d'aide à la décision

Livrable : Rapport de l'évaluation technique de l'état de l'ouvrage (Constat Technique). [28]

II.2.2.3. Diagnostic et expertise approfondie en fonction des conclusions de la phase, et si un diagnostic approfondi est nécessaire, l'enquête sur les éléments structuraux de l'ouvrage sera effectuée principalement par :

- Des essais non destructifs, au moyen des appareils d'essai pour l'auscultation des éléments structuraux (scléromètre, Ultrason, corrosimètre, profomètre, géoradar, scanner 3D, ..).
- Des essais destructifs in situ (sondage, carottage, ..), avec analyse en laboratoire.

Après analyse et interprétation des résultats un rapport final est établi,

Livrable : Rapport de Diagnostic approfondi et Expertise avec mesures et Essais, documenté et analysé. [28]



Figure II.2 : Essai de scléromètre (mesure de résistance de béton). [32]



Figure II.3 : Essai d'ultrason (mesure de résistance de béton). [33] [34]



Figure II.4 : Corrosimètre type CANIN (détermine l'état de corrosion des armatures par mesure des potentiels de surface). [35]



Figure II.5 : Mesure de l'enrobage de béton et détecteurs d'armatures par profomètre S. [36]



Figure II.6 : Recherche de conduites et cartographie de réseaux enterrés (position, profondeurs) par géoradar. [37]



Figure II.7 : Scanner laser 3D. [38]

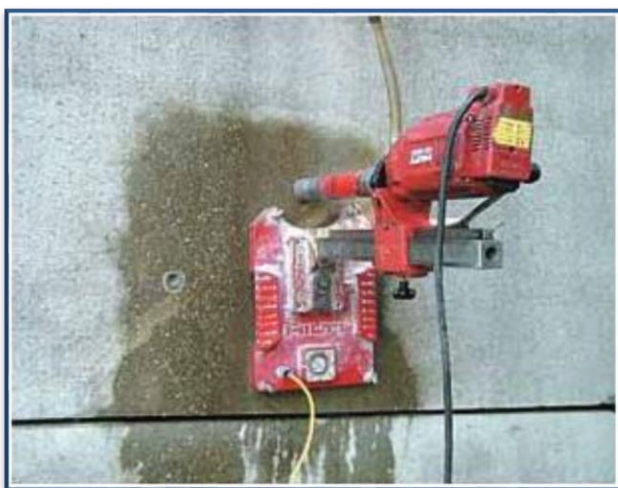


Figure II.8 : Mise en place d'un carottier (Carottage horizontale et vertical). [39]



Figure II.9 : Sondages en fondation avec des partenaires géotechniciens. [40]



Figure II.10 : Objectif de dégradation minimum sondage tous matériaux. [40]

II.2.2.4. Examen des solutions de réparation / Renforcement (Etudes - Engineering)

Si des recommandations de réparation et / ou de renforcement se dégagent à l'issue de la phase 2, et que le Maître de l'ouvrage engage une étude de détail par un bureau d'étude spécialisé, ces études sont soumises au Centre de diagnostic et d'expertise CDE, pour examen et avis. Cette phase est conclue par l'examen du dossier technique de la solution de renforcement et / ou la réparation envisagée par le bureau d'étude.

Le dossier soumis est constitué : - Du dossier graphique de l'existant (plans d'architecture et plans de structure et note de calcul de l'existant).

- Des Plans de détails d'exécution de la solution optimale préconisée pour le renforcement et ou la réparation.

- D'une Note de Calculs justificatifs de la résistance et de la stabilité de la structure après renforcement.

Livrable : Rapport d'examen des plans - Avis sur les travaux de renforcement / réparation / réfection, suivi d'un contrôle des travaux sur site [28]

Les résultats de l'expertise sont consignés dans un rapport, accompagnés du rapport du spécialiste, éventuellement, et illustré de photos.

Il est très important que l'expert indique avec suffisamment de précision ce qu'il a vu et ce qu'il n'a pas vu, quelles sont les parties sur lesquelles ont porté les constatations et surtout quelles sont les parties qu'il n'a pas pu examiner parce qu'elles étaient inaccessibles. Il s'est engagé dans un premier temps, à examiner les parties visibles et accessibles, et il a exclu tout démontage et tout essai destructif ; mais il est évident que si l'expert a un doute sur certaines parties, il doit demander qu'elles soient rendues accessibles et proposer un examen complémentaire, voire des essais destructifs et des analyses. [41]

A titre d'un exemple un modèle d'un rapport d'expertise est structuré avec les tâches suivantes :

- 1) Préambule (convention)
- 2) Cadre référentiel (l'ensemble de références adoptées)
- 3) Objet du rapport
- 4) Méthodologie d'intervention
- 5) Description sommaire de l'ouvrage (les principales dimensions de l'ouvrage/ plan de masse...)
- 6) Typologie du système structurel (exemple : système auto stable, type de plancher, type de fondation...)
- 7) Constatations des désordres & commentaires (désordres et leurs causes)
- 8) Recommandations et conclusion (solutions et remèdes)

II.3. Les principales pathologies dans la région sud de la wilaya

Dans cette partie nous présentons quelques aspects des cas pathologiques qui sont les plus connues dans la région sud de la wilaya de Laghouat, et ceci à travers une analyse qui se base sur les constatations des désordres mentionnées dans les rapports d'expertises de **CTC/Sud-Laghouat**.

II.3.1. Nature de sol de la région sud de Laghouat

La connaissance de la nature de sol est l'une des étapes les plus importantes de l'étude des constructions et de leurs dommages, car le sol est considéré comme la base de la construction,

comme nous le savons le sol a des effets sur la construction et certaines dégradations qui apparaissent sur la construction sont dues au type et aux caractéristiques de sol.

D'après les rapports d'expertise de CTC/ Laghouat, la plupart des constructions qui ont été expertisées reposent sur des sols de type argileux sensibles à l'infiltration des eaux causant un changement de leurs caractéristiques mécaniques et physiques. Ces sols argileux de couleur brunâtre (sols agricoles) qui ne présentent pas un risque de gonflement. On remarque aussi que certaines constructions reposent sur des sols hétérogènes (présence de roches calcaire).

II.3.2. Description des cas pathologiques expertisés

Les cas pathologiques qui sont concerné par cette étude sont des cas réels enregistrés au niveau de la partie sud de wilaya de Laghouat. Dans ce qui suit, nous allons citer ces cas pathologiques :

II.3.2.1. Cité universitaire 2000 lits les Sœurs BEDJ

Il s'agit d'une construction (R+ 3), qui a été réalisé à la fin de l'année 2002. Les pathologies ont apparus au niveau du bloc cuisine, hébergements et réfectoire.

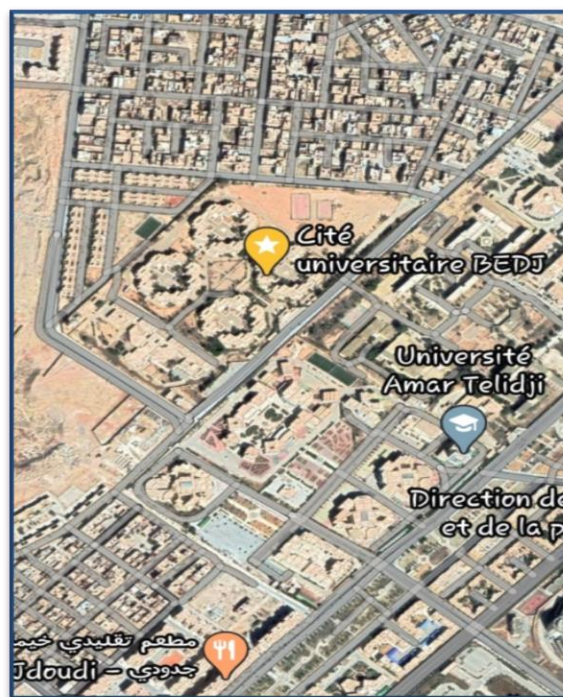


Figure II.11 : Cité universitaire Sœurs Bedj Laghouat (Source : Google maps)

II.3.2.2. Ecole Taher Belhout -Laghouat

Il est situé dans la cité Ksar Elbzaïem, à proximité du marché couvert Makdar Laghouat

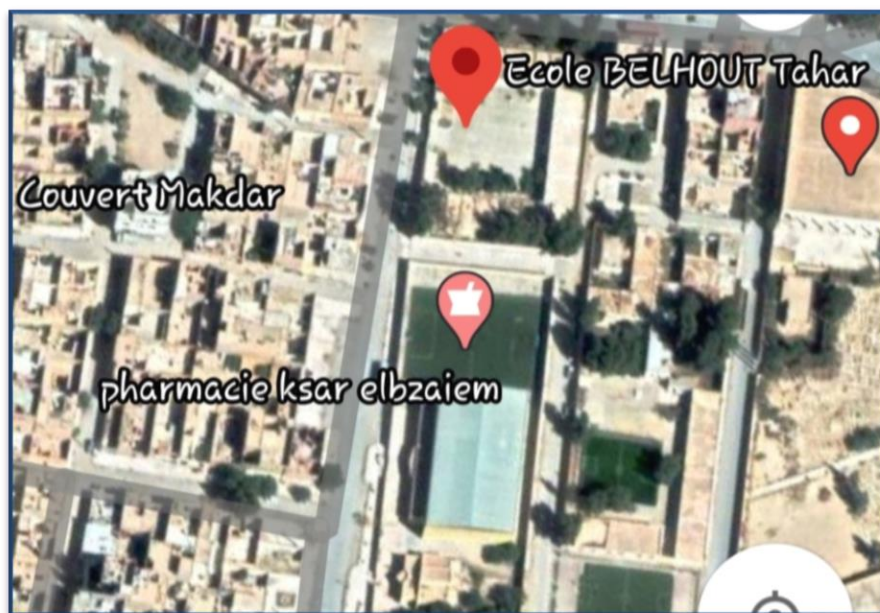


Figure II.12: Ecole Taher Belhout, Laghouat (Source: Google maps)

II.3.2.3. Ecole Elaoufi Eltaïb (RDC)

Il s'agit d'une construction R+1, Situé à l'oasis nord (Route lycée Saddek Talbi).



Figure II.13 : Ecole Elaoufi Eltaib, Laghouat (Source : Google maps)

II.3.2.4. Un bâtiment R+3 avec vides sanitaire une de Laghouat

C'est un bâtiment à usage d'habitation, réceptionné en 1985, il fait partie d'un groupe de 6 bâtiments jumelés.

II.3.2.5. Le bureau de marché public situé à l'intérieur de l'A.P.C Laghouat

Il s'agit d'une construction qui a été construite au début des années 80 comme une extension à l'ancienne commune de (R+1)



Figure II.14 : Image satellite montrant l'emplacement de L'APC- Laghouat (Source : Google maps)

II.3.2.6. Hôpital 45 lits (d'hémodialyse) Laghouat

L'hôpital est situé au centre-ville de Laghouat, délimité par le boulevard de l'indépendance, l'avenue Docteur Saaadane et la rue Rezzoug Bachir.

Il est construit durant les années 1930.

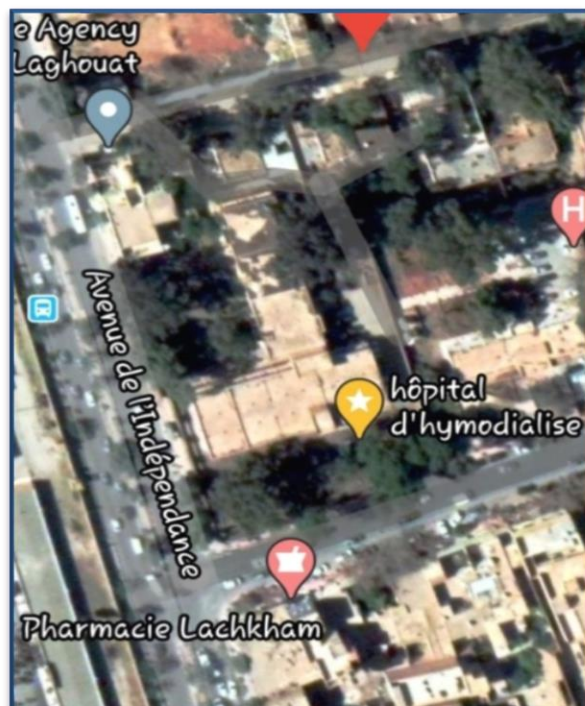


Figure II.15 : Hôpital 45 lits (d'hémodialyse) (Source : Google maps)

II.3.2.7. Bâtiment polyclinique 08 Mai 1954 Laghouat

Une Construction (R + 0), qui a réalisés à la fin des années 1970, situé dans la cité 250 logement El-Maamoura.

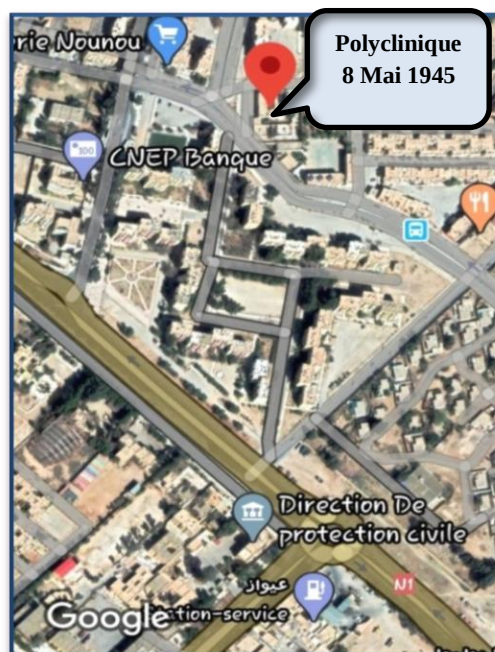


Figure II.16 : Polyclinique 8 Mai 1945 (Source : Google Maps)

II.3.2.8. Le musée communal –Laghouat

Il s'agit d'une construction culturelle, situé à la rue de Gharbia, il a réalisé pendant la période coloniale française.

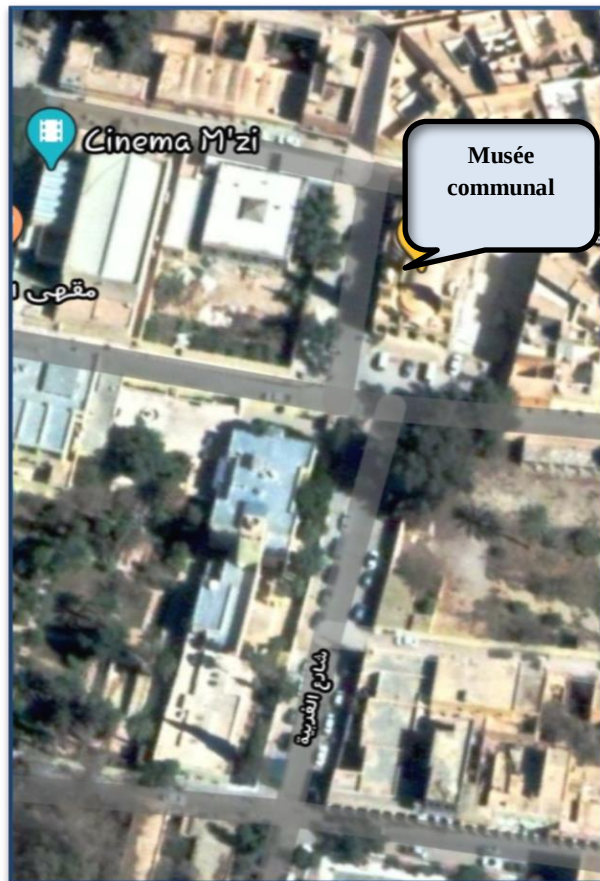


Figure II.17 : Musée communale, Laghouat (Source : Google Maps)

II.3.2.9. Un hôtel à Ain Madhi (pour le transformer en maison de jeune)

Il s'agit d'un projet qui concerne un Hôtel à Ain Madahi en vue de la transformer en maison de jeune. Auquel les travaux ont été arrêtés au stade des poteaux RDC.

-Le projet a été abandonné plus 10 ans.

II.3.2.10. 200 logement El Mardja-Boukhanfous

Il s'agit d'une construction en (R+3) située à Laghouat à proximité d'El Mardja, la pathologie de ce logement est apparue pendant la réalisation

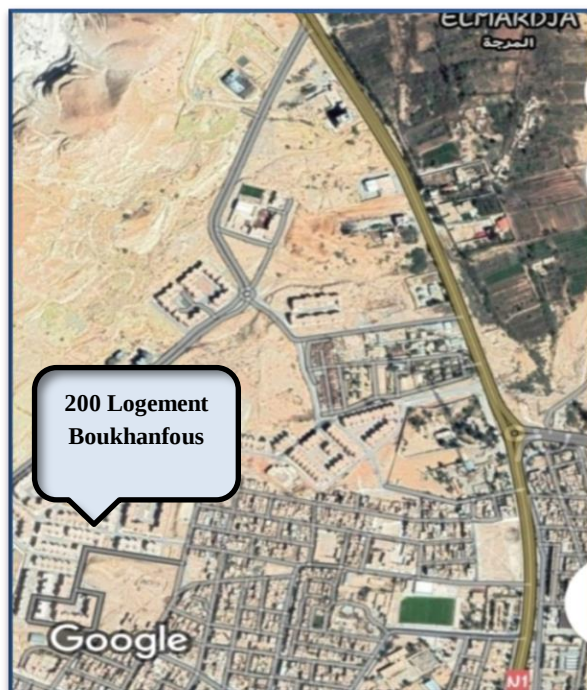


Figure II.18 : 200 logements Boukhanfous, Laghouat (Source : Google Maps)

II.3.2.11. Ecole Primaire Gasmi Mouhamed et les Logements D'astreinte Tadjrouna

L'école et les logements sont situés à Tadjrouna à environ 90 Km à l'ouest de la ville Laghouat, ils ont été construits durant les années 1971__1972



Figure II.19 : Image satellite montrant l'emplacement de primaire Gasmi Mouhamed
(Source : Google Maps)

II.3.3. Les fissures

Le béton seul, est un matériau fragile lorsque soumis à un effort de traction. Cette fragilité du béton s'exprime par l'apparition quasi obligatoire de fissures dans la vie de l'ouvrage dès qu'il sera soumis à la plus minime des contraintes de traction. [42]

Une fissure est le signe d'une première manifestation d'un désordre possible. Elle est jugée dangereuse pour un ouvrage lorsqu'elle compromet sa durée de vie, en laissant infiltrer les eaux dans l'ouvrage ou en affaiblissant progressivement la résistance mécanique des éléments structuraux qui le composent. [43]

Les fissures sont l'une des pathologies les plus fréquentes dans les constructions et de même pour les cas pathologiques des constructions à Laghouat.

Dans la plus part des constructions de Laghouat contrôlés par le CTC, on a remarqué que les fissures sont constatées généralement au niveau des façades, des murs (extérieurs et intérieurs) et les cloisons (extérieures et intérieures). Il y a des cas où les fissures sont constatées dans des autres endroits des constructions tels que : les poteaux, les planchers, les jonctions (planchers-murs porteurs...), les longrines, les ouvertures (linteaux, appuis des fenêtres ...), fissures de l'amorce poteau et de semelle...

Ces fissures ont des différentes formes :

- Fissures horizontales
- Fissures verticales
- Fissures obliques (inclinés à 45°, fissures en diagonales...)
- Fissurations cadrés verticales et horizontales

Et même l'emplacement de ces fissures est différent soit :

Dans les parties supérieures, inférieures, ou intermédiaires de l'ouvrage



Figure II.20 : Fissures horizontales et verticales sur les murs [44]



Figure II.21 : Fissures horizontales [44]

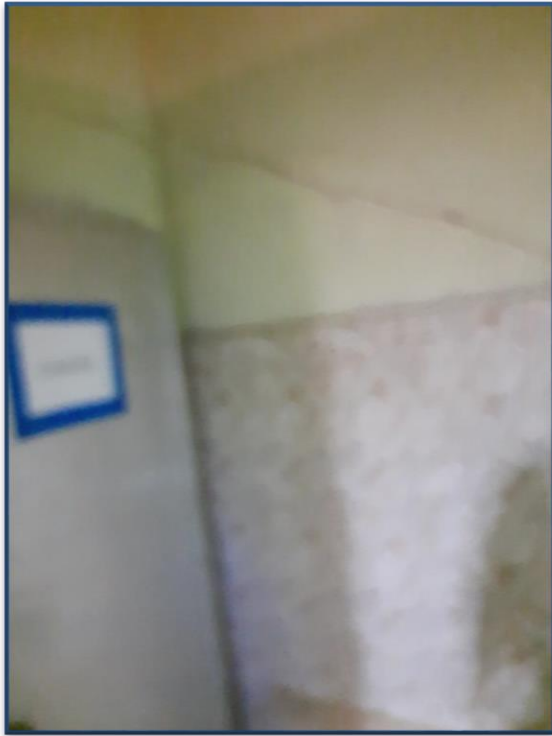


Figure II.22 : Fissures inclinés à 45° sur les murs (intérieures et extérieures) [44]



Figure II.23 : Fissures sur les longrines [44]

II.3.4. L'humidité

Les sources d'humidité excessive dans un bâtiment sont nombreuses : l'air ambiant se charge d'humidité générée par les douches, les lessives, la cuisine, les plantes en trop grand nombre et les occupants eux-mêmes.

L'humidité peut également provenir de fuites d'eau, d'infiltrations ou de remontées capillaires. De même, un défaut de construction des murs ou d'épaisseur de vitrages donne lieu à des ponts thermiques où l'humidité va s'installer. [45]

Nous avons remarqué que l'humidité apparaissait à plusieurs endroits des constructions, selon l'origine d'où il venait :

- Sur les soubassements des murs
- Sur les bases des murs
- Sur les fondations (semelle bloc)
- Sur les longrines
- Sur les plafonds
- Sur les voiles périphériques

En plus de l'humidité nous avons vu que l'effet de l'eau joue un rôle dans les dommages des constructions à Laghouat, dans plusieurs cas il y a des traces des infiltrations d'eau et de remonté capillaire. L'eau est l'ennemi numéro 1 du béton et la cause principale de nombreux problèmes dans les constructions. Les origines de l'eau dans la construction peuvent être directes (les eaux de pluie), ou indirectes comme les infiltrations des canalisations.



Figure II.24 : Trace d'humidité et d'infiltrations d'eau. [44]



Figure II.25 : Empreinte d'humidité sur les murs. [44]

II.3.5. Dégradations de l'étanchéité

Dans plusieurs cas, on trouve des dysfonctionnements majeurs du système d'étanchéité avec une étanchéité dégradée et défectueuse sur les planchers (dégradations de la terrasse), ce problème nécessite plus d'attention car il peut être la cause principale de plusieurs dommages des constructions. Dans le même sujet, il y a des cas où les gargouilles sont bouchées et la toiture est dysfonctionnée ce qui entraîne une mauvaise évacuation des eaux pluviales.



Figure II.26 : Mauvais état de l'étanchéité (terrasse) [44]

II.3.6. Les désordres au niveau des revêtements et des enduits

En général, ces désordres se manifestent par des décollements, effritements et parfois éclatements des enduits dans plusieurs endroits surtout pour les murs et les plafonds. Pour les revêtements ce sont des affaissements au niveau des carrelages, des revêtements (chape de ciment), et des dallages en plus décollement des carrelages et revêtements muraux (faïence).



Figure II.27 : Décollement des enduits sur mur extérieur [44]



Figure II.28 : Eclatement et fissuration [44]



Figure II.29 : Décollement des enduits sur plafond [44]



Figure II.30 : Décollement de revêtement mural (faïence). [44]

II.3. 7. Corrosion des armatures

La corrosion des armatures est un phénomène très dangereux car elle affecte la résistance de béton et sa durée de vie (durabilité), elle réduit le pourcentage de fer dans le béton ce qui conduit à l'affaiblissement de la construction. [46]

Cette pathologie qui n'est pas négligeable a été enregistrée dans plusieurs éléments de construction surtout dans celles qui sont exposées et non protégées au niveau des armatures des poteaux et des longrines (longitudinales et transversales).

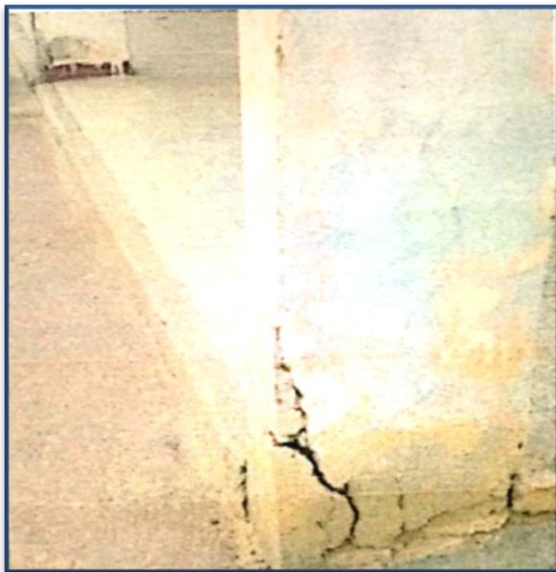


Figure II.31 : Dégradation du béton à la base d'un poteau et corrosion des armatures. [44]



Figure II.32 : Corrosion des armatures transversales. [44]

II.3.8. Épaufrures du béton et fers apparents

Ce sont des défauts de surface dont il faut distinguer l'origine : l'épaufrure due à un choc accidentel sur le parement, l'arête d'un élément de béton durci ou les éclats de béton occasionnés par l'oxydation des fers dans le béton. Cette réaction augmente le volume des aciers, ce gonflement entraîne un éclatement du béton en périphérie de l'armature. [47]

Parfois on trouve qu'elles sont accompagnées par des fissures.

Ces pathologies ont été enregistrées surtout pour les poteaux (notamment à la base des poteaux sur les coins) et pour les planchers étages composé des dalles pleines celles-ci qui sont dégradées avec des armatures apparentes rouillées qui peuvent se casser facilement cela entraîne des modifications à la construction et la fragilise avec une perte de résistance.

II.3.9. Défauts au niveau des joints

Parfois on trouve des joints qui sont bloqués avec une continuité des revêtements dans les ouvrages ou des joints qui sont mal exécutés et dans des autres cas on trouve que les joints n'existent pas à la construction.



Figure II.33 : Joint mal traité plancher terrasse [44]

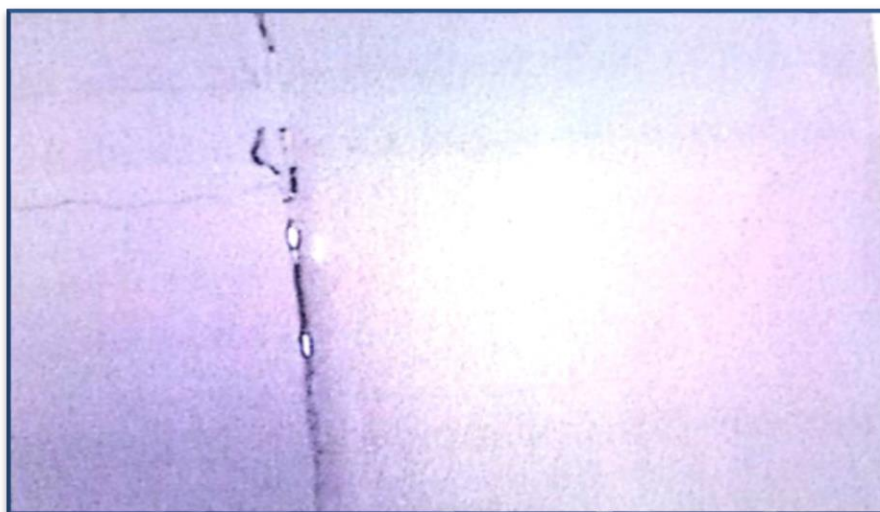


Figure II.34 : Joint mal traité [44]

II.3.10. Défauts au niveau des canalisations

Ces défauts sont des fuites et des défaillances au niveau de :

- Les canalisations des réseaux d'assainissement
- Les regards d'assainissement d'évacuations des eaux pluviales
- Les réseaux d'évacuation des eaux usées
- Les réseaux d'évacuation sanitaire.
- Les caniveaux d'évacuation des eaux à l'intérieur sont apparents

Ainsi il existe des réseaux qui sont anarchique et non réglementaire parfois présence des fosses septiques non fonctionnelles à proximité des constructions, et des canalisations qui sont rouillées.

L'analyse du comportement des bâtiments et ouvrages construits sur des sols à structure instable plus particulièrement les cas rencontrés dans la commune de Laghouat a permis de conclure que l'origine de ces problèmes peut être répertorié selon la suit :

- L'affaissement non uniforme du sol et fondation.
- La présence de l'eau sous les sols initialement fait perdre au sol ses caractéristiques mécaniques

Ces défauts de fuites d'eau qui sont dus à l'absence d'entretien des canalisations peuvent être l'un des principales causes des pathologies des constructions à Laghouat.



Figure II.35: Organigramme de dégradation des ouvrages causés par des fuites d'eau. [48]

II.4. Conclusion

Selon ce que nous avons vu dans ce chapitre, nous avons conclu que les pathologies des constructions de la ville de Laghouat (partie sud) ne sont pas relativement graves, et que la plus parts de ces pathologies sont des pertes de service. Les constructions qui ont connu des dommages majeurs sont ceux qui sont anciens et sans entretien, mais on ne peut pas nier que certaines constructions existantes ont plusieurs dommages et sont trouvés dans état très dégradé (ruine) qui nécessite leur démolition et de les reconstruire.

***Chapitre III : Synthèse de différentes pathologies des
constructions à Laghouat***

III.1. Introduction

A travers le chapitre précédent, les principales pathologies des constructions de la ville de Laghouat ont été recensées. Dans ce chapitre nous nous intéressons à analyser ces pathologies afin d'établir un classement par régions situées dans la ville de Laghouat. Ce classement est basé sur les causes et les facteurs d'influence de ces cas pathologiques. On aboutit vers la fin à une classification complète des dégradations selon leurs causes d'apparition.

De plus, suivant l'importance et les causes des dégradations qui affectent les constructions, nous proposons un ensemble de solutions pour les cas pathologique recensés, suivi d'une discussion détaillée sur les solutions proposées.

III.2. Classement des pathologies par région

Le classement a été fait selon l'emplacement des constructions étudiées. Ce classement a abouti à 7 régions principales qui sont : Oasis Nord (Laghouat), Centre-ville (Laghouat), Oasis sud (Laghouat), Maamoura (Laghouat), 800 (Laghouat), Tadjrouna, Ain Madhi.

III.2.1. Région d'Oasis-Nord (Laghouat)

Les désordres constatés dans les constructions appartenant à cette région sont généralement, les suivants :

- ✓ **Les fissures** : ces fissures sont divisées en fissures importantes (dangereuses) et fissures moins importantes (peu nuisibles), elles apparaissent dans la construction au niveau des murs porteurs (extérieur et intérieur), de différents types (droites et inclinées)
- ✓ **L'humidité** : des traces d'humidité apparaissent au niveau des murs et longrines provient essentiellement de l'effet d'eau infiltré.
- ✓ **Décollement de l'enduit** : un décollement de l'enduit constaté sur la partie basse des poutrelles.
- ✓ **Corrosion des armatures** : s'accompagne de déformation du béton qui entoure les barres d'armatures, on trouve une dégradation de béton avec corrosion des barres, exposées à la base des poteaux

✓ **Dégradation de l'étanchéité** : Concerne l'étanchéité de la terrasse

✓ **Détérioration au niveau des réseaux d'évacuation d'eau** :

Ce problème est très connu et touche plusieurs systèmes d'évacuation d'eau, pour les regards et les siphons qui présentent des stagnations d'eau, ceci provoque la saturation des sols. On constate que les conduites des siphons transportant de l'eau sont collectées d'une manière anarchique et non réglementaire dans certains endroits tels que les balcons. L'évacuation des eaux pluviales dans certain cas est acheminée directement dans le sol et déverse souvent au pied des murs, ce qui conduit à l'affaissement du sol sous les fondations.

III.2.2. Région centre-ville (Laghouat)

En ce qui concerne cette région, de nombreux dommages différents ont été observés sur les constructions, Certains blocs des constructions menace ruine (effondrement), car elles ont été trouvées dans un état de grands dommages qui pourraient constituer un danger pour les résidents de ces constructions, de plus la structure de ces bloc n'est pas conforme aux règlements (très mal conçue) par conséquent, il est recommandé de démolir et reconstruire à nouveau et conforme à une étude établie au préalable.

Les principales dégradations constatées sont :

- ✓ **Les fissures** : de nombreuses zones de fissuration importantes au niveau des éléments porteurs, surtout sur les murs porteurs en maçonnerie, (extérieurs et intérieurs) avec un type différent (droites, inclinés et verticales) et même sur les planchers, et des fissures importantes sur les cloisons intérieures. Dans certains cas l'apparition de fissure importante sur les murs extérieurs a fait l'objet des infiltrations des eaux pluviales à l'intérieur (problème danger)
- ✓ **L'humidité** : ce problème est l'un des dégradations les plus dominants qui touchent cette région, de source des pluies ou des infiltrations d'eau. L'effet de l'eau, c'est la cause principale de cette pathologie.

L'humidité a été constatée au niveau des murs sous forme de traces, qui sont dues aux infiltrations des eaux pluviales, ceci est dû au non prise des précautions nécessaires. En plus de l'humidité, il y a des traces de remonté capillaire sur les soubassements de murs porteurs extérieurs.

- ✓ **Corrosion et rouille des armatures :** Les planchers sont les éléments qui ont été les plus touchés par la rouille et la corrosion des armatures, Certaines zones des planchers sont très dégradées, en particulier au niveau de la chaufferie et ou niveau des solives (rouille). Les voutains qui s'effritent facilement et les parties des planchers étage (dalle pleine) est dégradé avec des armatures apparentes rouillées pouvant se casser facilement.

Des traces de fuites d'eau sur les planchers avec présence des fissurations sont les causes principales de la rouille des solives.

- **Désordres au niveau des enduits et des revêtements :** ces désordres sont :
 - ✓ Décollement de l'enduit,
 - ✓ L'effritement des enduits intérieurs. (Infiltration des eaux pluviales),
 - ✓ Affaissements des revêtements sol le long des caniveaux,
 - ✓ Affaissement du carrelage au niveau des locaux sanitaires.
- **Dégradation de l'étanchéité :** concerne la terrasse essentiellement, l'étanchéité de la terrasse n'est pas conforme à la réglementation en vigueur, par conséquent elle est totalement dégradée et défectueuse avec présence des traces de fuite d'eau sur les planchers.
- ✓ **Défauts au niveau des joints de dilatation :** comme l'étanchéité des joints n'est pas réalisée selon la réglementation en vigueur, on remarque que les joints de dilatation sont obturés par des matériaux tel que déchets de bois, gravier ...etc. On remarque aussi l'absence de couverts joints, ceci entraîne le blocage des joints et par conséquence, on aboutit à la fissuration de part et d'autre du joint.
- ✓ **Défauts au niveau des canalisations :** Les réseaux d'assainissement et d'A. E. P sont exécutés d'une manière anarchique, les conduites d'eau sont apparentes (absence de protection) et sont situées près des murs, de plus, la présence des fosses septiques et des regards qui ne sont pas fonctionnels et non étanches à proximité des blocs des constructions. Dans certain cas il y a des fuites d'eau potable provenant des conduites de réseaux, dans d'autres cas l'évacuation des eaux de sanitaires est apparente et elle est située à proximité des constructions, de plus ces conduites sont rouillées.

III.2.3. Région d'oasis sud (Laghouat)

Cette région concerne essentiellement la zone de **Ksar elbzaïem**

- ✓ **Les fissures** : il s'agit d'une fissuration verticale, horizontale et diagonale qui a été enregistré principalement sur les murs.
- ✓ **L'humidité** : sous formes des traces qui sont causées par l'infiltration d'eau pluviale au-dessus des murs, l'absence d'évacuation des eaux pluviales et le dallage périphérique de protection est la cause principale de l'humidité.
- ✓ **Dégradation de l'acrotère et la gargouille bouchée** : cela est dû à la stagnation des eaux pluviales (Manque d'entretien).

III.2.4. Région de M'amoura (Laghouat)

- ✓ **Les fissures** : les murs présentent une fissuration verticale ouverte en haut et fissurations diagonales, ces fissures proviennent essentiellement d'un mouvement de fondation que se manifeste par un tassement différentiel.
- **L'humidité** : elle touche les murs et les plafonds ;
- ✓ Des taches et des traces à la base des murs à cause de l'existence des infiltrations d'eau (défaillance des conduites des réseaux)
- ✓ Traces d'humidité sur plafond
- **Dégradation des revêtements** : ce sont principalement dus à un décollement au niveau des carreaux de carrelage.
- **Au niveau de l'étanchéité** : on constate dans certaines constructions l'absence de l'étanchéité des terrasses (manque de protection).
- **Au niveau des joints** : il y a des joints de dilatation qui sont mal traités et non convenablement exécutés.

III.2.5. Région de 800 (Laghouat)

- ✓ **Les fissures** : il y a des variations dans les endroits d'apparition des fissures, on constate la présence de ces fissures sur plusieurs éléments structurel avec différentes orientations (droites, inclinés 45°...) :

- Fissures sur les longrines, fissures droites et inclinées sur les murs extérieurs et intérieurs.
 - Fissures inclinées au niveau des linteaux des portes par insuffisance d'ancrage.
 - Fissures droites au niveau de la partie supérieure des façades, fissure droite au niveau de la partie inférieure (appuis de fenêtres).
- ✓ **L'humidité** : ce désordre a été enregistré sous forme des empreintes et des traces au niveau des murs et au niveau des plafonds.
- ✓ **Rouille et corrosion des armatures** :

Ces deux problèmes ont été constatés surtout au niveau des longrines. On observe une dégradation du béton et apparition des armatures longitudinales et transversales corrodés au niveau des longrines.

De plus l'enrobage extérieur insuffisant des longrines, provoque avec le temps la corrosion des aciers transversaux en présence d'eau.

- ✓ **Désordres au niveau des enduits et des revêtements** :
- Décollement des enduits sur les murs extérieurs.
 - Décollement des enduits sur les plafonds dans les endroits froids
 - Décollement de revêtement mural (faïence).
 - Affaissement des aménagements extérieurs.
- ✓ **Défauts au niveau des joints** :
- Les joints ne sont pas protégés et se trouvent bloqués par continuité des revêtements muraux.
- ✓ **Défauts au niveau des canalisations** :
- Raccordement anarchique des conduites des eaux ménagères et des conduites des eaux potables.
 - Caniveaux bouchés par mauvaise protection (Mauvaise qualité des caniveaux, couverture en bois).
 - Traces d'eau potable importantes sont constatées causées par des fuites de longue durée d'un robinet hors service. Ceci conduit à la saturation du sol et provoque des tassements.

III.2.6. Région de Tadjrouna

Pour cette région, il y a des logements qui ne sont pas exploités et se trouvent dans un état dégradé (quelques cloisons sont détachées), le mur de protection de ces logements est

complètement remblayé par le sable de dune et devient inefficace (effet de crue d'oued), Cela conduit à un danger qui dû au site d'implantation de ces logements (site à proximité d'oued Zergoune). Cet oued présente une grande menace pendant son crue.

- ✓ **Les fissures** : ces fissures sont souvent moins importantes et non nuisibles. Ils ont été observés sur les murs porteurs de quelques logements étudiés.
- ✓ **L'humidité** : l'humidité a affecté les planchers sous forme des traces et aussi on constate la présence des traces d'eau qui sont visibles sur les murs intérieurs.
- ✓ **Au niveau de l'étanchéité** : on constate une défaillance au niveau de l'étanchéité des terrasses.
- ✓ **Au niveau des canalisations** : on remarque la présence des fuites d'eau usées à côté de certaines constructions à cause de la défaillance des conduites d'évacuation des eaux usées.

III.2.7. Région d'Ain Madhi

Le principal défaut constaté c'est le manque de résistance de certains éléments porteurs (poteaux) ;

- ✓ **Manque de résistance au niveau des poteaux** : D'après une campagne ultrasonique effectuée sur les poteaux, la résistance à la compression est inférieure à 160 bars, cette résistance faible caractérise la plupart des poteaux testés.

III.3. Classement des pathologies par cause

III.3.1. Pathologies dues au tassement différentiel

Le tassement différentiel est la cause principale de plusieurs pathologies telles que les fissures. Les fissures structurelles qui sont apparues sur les constructions étudiés en particulier ceux qui sont sur les murs, les cloisons, et les longrines..., sont des fissures qui proviennent essentiellement d'un mouvement des fondations (l'affaissement de parties de celles-ci), qui se manifeste par un tassement différentiel de sol. Ce tassement différentiel est le résultat de facteurs d'influence qui sont les suivants :

- Le type de sol et son agressivité (souvent argileux)
- La mauvaise réalisation des fondations (semelles)
- La présence des espaces verts et d'arbres à proximité des murs des constructions (provoque l'affaissement du sol)

- La saturation de sol en eau par la mauvaise évacuation des eaux (pluviales, usées, ménagés, potables) et ceci dû au fait des fuites au niveau des canalisations (réseaux d'assainissement ou/et des réseaux d'AEP) et dysfonctionnement des regards ... (le manque d'entretien).

III.3.2. Pathologies dues à l'effet de l'eau

L'effet de l'eau joue un grand rôle dans l'apparition de plusieurs désordres dans les constructions (l'humidité, les désordres d'enduits et revêtements, rouille et corrosion des armatures, dégradation de béton ...), cette eau provient à la construction sous forme d'infiltration directe qui est due aux eaux pluviales (façade exposée à la pluie) et elle provient aussi des infiltrations des eaux existantes dans la construction à cause de la défaillance des conduites des réseaux (potables, ménagés, usées et sanitaires) et de l'eau qui s'élève par remonté capillaire, l'ensemble des désordres qui ont causé par l'action de l'eau sont :

- ✓ L'humidité : On trouve que les taches d'humidité (traces ou empreintes) proviennent essentiellement des fuites d'eaux ou des infiltrations des eaux pluviales (mauvaise ou absence d'évacuation) ou par remonté capillaire constater notamment sur les soubassements des blocs (murs), et elle provient aussi de condensation (chambre froid).
- ✓ Les désordres au niveau des revêtements et des enduits : ce sont des décollements, effritement et éclatement venant des infiltrations d'eau sous l'enduit, qui engendre des problèmes d'humidité dans le temps, cela est dû à l'absence d'évacuation des eaux pluviales, à l'absence de dallage périphérique de protection et des remontées capillaires. On remarque aussi le décollement des carreaux de carrelage (revêtements), affaissement du revêtement (chape du ciment), dans les endroits qui présentent une stagnation d'eau surtout le long des caniveaux, regards détériorés et locaux sanitaires,
- ✓ Corrosion des armatures : la corrosion des armatures est le résultat de l'oxydation du l'acier et de la rouille de ce dernier, cela est dû au contact de l'acier des armatures avec l'eau, de plus certains aciers rouillés ont causé des épaufrures du béton, notamment aux coins de poteaux.
- ✓ Dégradation de l'étanchéité : cette dégradation est due à la stagnation d'eau à la terrasse et une mauvaise évacuation des eaux pluviales. Ce problème a été accentué

par la dégradation de l'acrotère et la gargouille bouchée. L'étanchéité est dégradée et elle est défectueuse avec la présence des traces de fuite d'eau sur les planchers.

III.3.3. Pathologies dues à des défauts de réalisations (Malfaçons)

Il existe beaucoup des dommages des constructions qui sont dues à des malfaçons de réalisations. Certains défauts ont causé les dommages des constructions ou du moins ont provoqué une augmentation du risque de ces dommages. Parmi les plus importantes de ces erreurs, nous mentionnons les suivantes :

- ✓ Les fissures : il y a des fissures qui ont été enregistrés au niveau des linteaux des portes à cause de l'insuffisance d'ancrage des linteaux, aussi la fissuration diagonale intérieure et extérieure sur le mur (le coin de fenêtre) de façade principale (mauvaise réalisation des appuis de fenêtres).
- ✓ Le non-respect des plans : Un élément de malfaçons a été relevé à savoir des coulages de semelle en pleine fouille ou les épaisseurs de semelle présentant certaines différences par rapport au plan, il y a des cas où il a été constaté un non alignement de la semelle par rapport à ces axes.
- ✓ Protection des armatures : Enrobage extérieur insuffisant dans la longrine au niveau de la partie excavée (coté tassé). Ce qui a provoqué avec le temps, la corrosion des aciers transversaux causé par la présence de l'humidité.
- ✓ Défauts d'étanchéité : l'utilisation d'une mauvaise étanchéité (au niveau des terrasses) qui n'est pas conformément aux normes. Ce qui a provoqué le dysfonctionnement du système de l'étanchéité (totalement dégradée), celle-ci facilite le passage de l'eau à travers la terrasse vers les éléments (les planchers, murs...) ce qui a entraîné plusieurs dégradations dans les constructions notamment la corrosion des armatures (solives de plancher) et l'apparition des traces des fuites d'eau et d'humidité (planchers, murs).
- ✓ Mauvaise qualité de béton : l'utilisation de béton de faible résistance à la compression ; béton de moyenne à faible adhérence.
- ✓ Conception des réseaux : concerne le non-respect des règles d'installation des canalisations d'eau, (potable) ou usagée, ainsi que leurs emplacements. Celles-ci sont placés près des murs porteurs des constructions, ce qui provoque de nombreux dommages, notamment des fissures et de l'humidité. On constate des fissures sur des murs et surtout au niveau des locaux ou des conduites collectant des eaux potables

sont posées d'une manière anarchique et non réglementaire, le raccordement anarchique des conduites des eaux usées peut être aussi une cause de dégradation des constructions. Dans plusieurs cas, il n'existe aucune protection de ces réseaux tels que l'utilisation d'une qualité des caniveaux (couverture en bois) et l'absence d'étanchéité des canalisations.

- ✓ Etat des joints de dilatation : les défauts remarquables qui sont liées à une mauvaise réalisation des joints tels que ; le blocage des joints avec continuité des revêtements, le traitement anarchique et non réglementaire des joints au niveau des murs..., conduisent à la disfonctionnement des joints ce qui favorise l'apparitions des fissures au niveau des construction notamment sur les murs.

III.3.4. Pathologies dues à la négligence et au manque d'entretien

L'entretien et la maintenance des constructions, est l'un des facteurs les plus importants pour la durabilité et la sauvegarde de la construction, celle-ci nécessite une prudence permanente, la non prise en compte de ce facteur conduit à la dégradation rapide des ouvrages, ces dégradations sont traduites par des dommages des constructions provoquant la diminution de la durée de vie de la construction. On remarque que la négligence de l'entretien des constructions au niveau de Laghouat est la cause principale de plusieurs dommages, nous citons les plus répandus :

- ✓ La non vérification des systèmes d'évacuation des eaux (dégradation de l'acrotère, les gargouilles bouchées, caniveaux mal protégés, fuites des réseaux ...). Le manque d'entretien au niveau de ces systèmes engendre des infiltrations et des stagnations de ces eaux, ce qui provoque des dommages dans constructions tels que le tassement différentiel, les fissures, l'humidité, la corrosion et la rouille des armatures.
- ✓ L'étanchéité des fenêtres (vitre, claustrât, Gabarit en fer) doit être assurée.
- ✓ Le non traitement des joints provoque leur disfonctionnement, ce qui se traduit par l'apparition des fissures dans les constructions.
- ✓ Le non traitement des revêtements et l'étanchéité (terrasse), qui sont généralement des éléments fragiles qui nécessitent de les maintenir pour ne pas détériorer l'état de construction.

- ✓ Le non vérification de l'étanchéité des ouvertures dans les constructions tels que les fenêtres a fait l'objet des infiltrations d'eau vers l'intérieur de construction ce qui a provoqué certaines pathologies comme l'humidité et les désordres d'enduits (décollement, effritement...)

Le tableau III.1 représente les cas pathologiques les plus reconcentrés de la willaya de Laghouat (partie sud) avec les principales causes et facteurs d'influence de leurs apparitions.

Tableau III. 1 : Causes et facteurs d'influence des principales pathologies

Pathologies enregistrés	Causes et facteurs d'influence
➤ Fissures (murs porteurs, les cloisons, les longrines, les planchers) ➤ Fissures au niveau des linteaux ➤ Fissures et épaufrure au niveau des poteaux	➤ Tassement différentiel provoque le mouvement des fondations (sols argileux, saturations des sols en eaux, mauvaise réalisation des fondations (défaut d'aplomb des semelles ...), présence des arbres, absence des joints, absence d'entretien. ➤ Défauts de réalisations (mauvaise mise en œuvre (insuffisance ancrage des linteaux)). ➤ Corrosion des armatures, mauvaise qualité du béton (faible adhérence).
➤ L'humidité (murs, longrines, plafonds...	➤ Infiltration d'eaux pluviales (Engorgement de canalisation des eaux pluviales, manque d'entretien) ➤ Remonté d'eau capillaire ➤ Défaut de conception (étanchéité de terrasse) ➤ Mauvaise conception des canalisations ➤ Absence de dispositif de drainage le long des murs
➤ Décollement des enduits ➤ Effritement des enduits ➤ Affaissement des revêtements	➤ L'effet de l'humidité ➤ Les infiltrations d'eaux pluviales ➤ Mauvaise évacuation des eaux

➤ Corrosion et rouille des armatures (poteaux, le plancher terrasse, plancher étage)	➤ Les traces de fuites d'eau sur les planchers avec présence des fissurations ➤ Dégradation du béton exposition des barres a l'air et l'eau ➤ Enrobage insuffisant. ➤ Mauvaise conception de l'étanchéité
➤ Dégradation de l'étanchéité (terrasse)	➤ Mauvaise réalisation (défauts dans sa pose, mauvaise qualité des matériaux utilisés, n'est pas conforme à la réglementation) ➤ Absence d'entretien (acrotère dégradé gargouille bouché) par conséquent Stagnation des eaux pluviales (mauvaise qualité du système d'évacuation des eaux.) ➤ Vieillessement de la construction

III.4. Les solutions proposées pour les cas pathologiques recensés

Après les constatations des principales pathologies et l'étude des causes probables des dégradations des constructions de quelques régions de Laghouat (Sud), il est nécessaire de prendre des mesures préventives et des solutions efficaces pour lutter contre ces cas pathologiques et remédier aux anomalies.

Toutefois, on peut dire qu'il est nécessaire de prévoir une réhabilitation pour rétablir les caractéristiques physiques et mécaniques initiales de la structure. En outre, pour retarder ou limiter des pathologies similaires, il est possible de protéger la structure par différents moyens, selon les différentes pathologies et la durée de pérennisation espérée. [24]

La plupart des solutions proposées par le CTC sont un ensemble de conseils et de recommandations qui sont résumés dans des méthodes techniques pour prévenir les dommages des bâtiments et éviter leur développement, et dans les précautions à prendre afin de ne pas détériorer l'état des constructions.

Généralement les solutions qu'ils sont proposés par le CTC portent sur les actions suivantes :

- entretien de l'ouvrage.
- renforcement de la structure.
- démolition de l'ouvrage
- restriction de service.

-réhabilitation ou restauration. [31]

III.4.1. Les constructions reposées sur des terrains très accidentés

La sensibilité du sol à l'eau (argile) et la présence d'infiltration des eaux aux fondations sont les principales causes de la majorité des dégâts constatés. Pour minimiser leur effet, il est nécessaire de mettre en place des dispositifs pour protéger les constructions, ces dispositifs sont résumés en 4 catégories :

- 1) - Mettre en place un système de drainage efficace des eaux de pluie ;
- 2) - Prévoir une contre-pente pour éviter la remontée des eaux pluviales ;
- 3) - S'assurer de l'état des canalisations et des réseaux enterrés ;
- 4) - Entretenir le système d'évacuation des eaux pluviales.[5]

Pour la plupart des constructions qui sont implantées sur des terrains argileux, le CTC recommande de prendre les précautions suivantes :

- 1) Eviter toutes fuites d'eau des conduites (d'assainissement, les réseaux d'AEP au niveau des constructions, et toute stagnation d'eau pour éviter la saturation du sol (sol argileux) et les désordres qui peuvent surgir à l'avenir sur les constructions et cela avec les dispositions suivantes :
 - Les réseaux d'AEP et d'assainissements doivent être suffisamment étanches et ne présentent aucune discontinuité, notamment au droit des emboitements des conduites et l'ensemble des appareillages sanitaires et apparents ou accessibles à l'intérieur des constructions pour l'entretien.
 - Les réseaux d'assainissement doivent être étanches avec un joint souple au niveau de raccord et les regards doivent être posés sur un rattrapage en gros béton posé sur un sol stable (à l'extérieure).
 - La reprise totale de tous les réseaux d'évacuation défectueux et ce conformément aux prescriptions techniques et réglementaires (application d'un revêtement hydrofuge afin de protéger le béton de surface contre les effets d'humidité et des agressions environnementales).
 - La vérification de toutes les conduites d'évacuation en assurant leur connexion au collecteur principal avec une pente suffisante pour le drainage des eaux usées.

- Un système d'évacuation des eaux pluviales efficace tel que des caniveaux en béton armé, ces derniers doivent être obligatoirement installés loin des fondations.
 - La réalisation d'un dallage périphérique efficace (revêtement), qui sera penté vers l'extérieur, afin de protéger les fondations, plus un système d'étanchéité.
- 2) Le remblai périphérique autour de blocs des constructions doit être bien compacté et étanche (couche imperméable).
 - 3) Éliminer les espaces verts et les arbres toute hauteur et à proximité de tous les blocs car les arbres pourrait provoquer un tassement différentiel, et un endommagement de fondation.
 - 4) La nécessité de l'existence des joints (Sols argileux), le joint de dilatation sera vide de tout matériau et comblé par un matériau élastique (mastic, polystyrène), avec utilisation des couverts joints.

III.4.2. Renforcement et réparation des infrastructures

III.4.2.1. Micro -pieux

La technique des micro -pieux consiste à exécuter des pieux de faible diamètre (60 à 250mm), forés à l'aide d'outils permettant de traverser et d'identifier, avec le même matériel, la roche, la maçonnerie, le béton et les couches de sol justifiant la consolidation.

Dans la majorité des cas, les micros - pieux sont forés par rotation. Ce procédé de forage est parfaitement adapté à la reprise en sous-œuvre au voisinage d'ouvrages existants.

Le bétonnage des micro- pieux s'effectue généralement en pression et on utilise un béton fortement dosé en ciment. Ce procédé confère aux micros -pieux une très grande adhérence au terrain et une bonne résistance. D'où une charge portante par frottement latéral élevée par rapport à leur section.

La disposition et le nombre des micros -pieux sont directement fonction des qualités des fondations auxquelles on doit les associer. On peut :

- Soit les sceller à la maçonnerie existante, à l'intervalle défini, par une voûte de décharge de micro -pieu à micro -pieu ;
- Soit créer une structure additionnelle pour obtenir un écartement plus grand entre micro - pieux ; mais sa réalisation nécessite des travaux de démolition et de déblais plus important ; de plus, elle est souvent difficile à intégrer dans la fondation existante. [49]

III.4.2.2 Injections de sol

La technique consiste à combler par injection sous pression les vides ou fissures du sol afin d'augmenter sa résistance à la compression.

Les produits d'injection sont, selon les cas, constitués de coulis de ciment éventuellement additionné de pouzzolanes de cendre volante, de plastifiant et d'accélérateur de coulis d'argiles colloïdale ou de bentonite, de coulis à base de produit chimique liquide ou de résines organiques. [49]

III.4.2.3. Renforcer une fondation : reprise en sous-œuvre (superficielle)

La réparation et/ou le renforcement d'ouvrages de fondation par la reprise en sous-œuvre concernent, soit les ouvrages anciens, soit des ouvrages plus récents dont l'infrastructure se révèle déficiente ou inadaptée ou dont la destination change, apportant des charges nouvelles à l'ouvrage. Le principe de base consiste, soit à reporter le niveau de fondation à un niveau inférieur, où le terrain est de meilleure qualité, soit à augmenter la surface de la fondation au niveau, où elle a été initialement réalisée. [50]

III.4.3. Procédés de réparation des fissures

III.4.3.1. Collage par résine époxy (injection des fissures)

On fait recours à cette technique si la fissure est évolutive et si le remplacement de l'élément fissuré semble impossible. Le but de cette technique est de recoller les surfaces disjointes par injection de la résine dans les fissures.

- A noter que cette méthode n'est pas applicable lorsque les fissures sont trop nombreuses.

Cette opération consiste à :

- Forer des trous dans la fissure à intervalle régulier.
- Nettoyer préalablement les fissures à l'aide d'un jet d'eau
- Cacheter la fissure entre les joints d'injection au moyen d'un mastic d'étanchéité.
- Injecter la résine jusqu'à ce qu'elle coule dans les sections adjacentes. [31]

III.4.3.2. Evidage et calfeutrement

Cette technique est retenue pour les fissures stabilisées de moyenne largeur. Elle consiste à agrandir la fissure dans sa partie visible et à lui introduire le produit de calfeutrement approprié.

L'évidage se fait avec la scie à béton en ouvrant la fissure assez largement pour que le matériau de calfeutrement puisse pénétrer avec une largeur minimale de 6 mm [31].

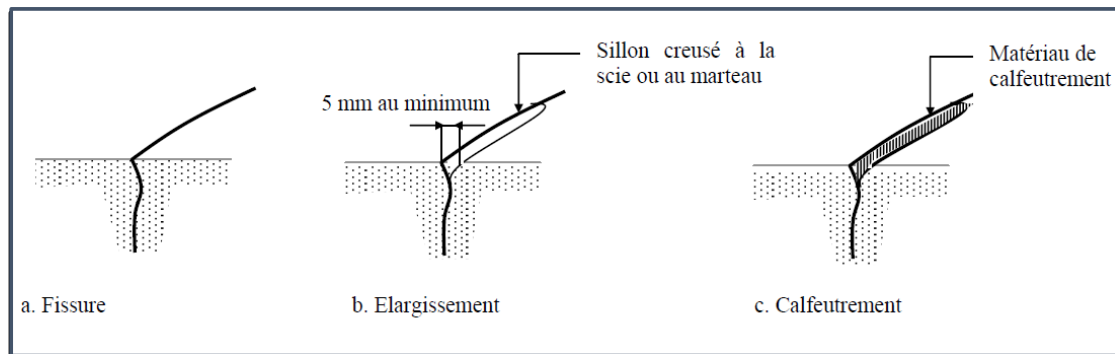


Figure III. 1 : Elargissement et calfeutrement des fissures. [49]

III.4.3.3. Agrafage

La technique d'agrafage vise à restituer à une section de béton fissurée sa résistance à la traction en posant un cavalier (Figure III.2). [31]

Mise en œuvre

Le traitement par agrafage nécessite :

- Le choix de cavaliers convenables (diamètre, résistance, largeur.)
- La préparation du support.
- Positionner les cavaliers selon le plan d'exécution.
- Obturer les trous d'agrafage. [31]

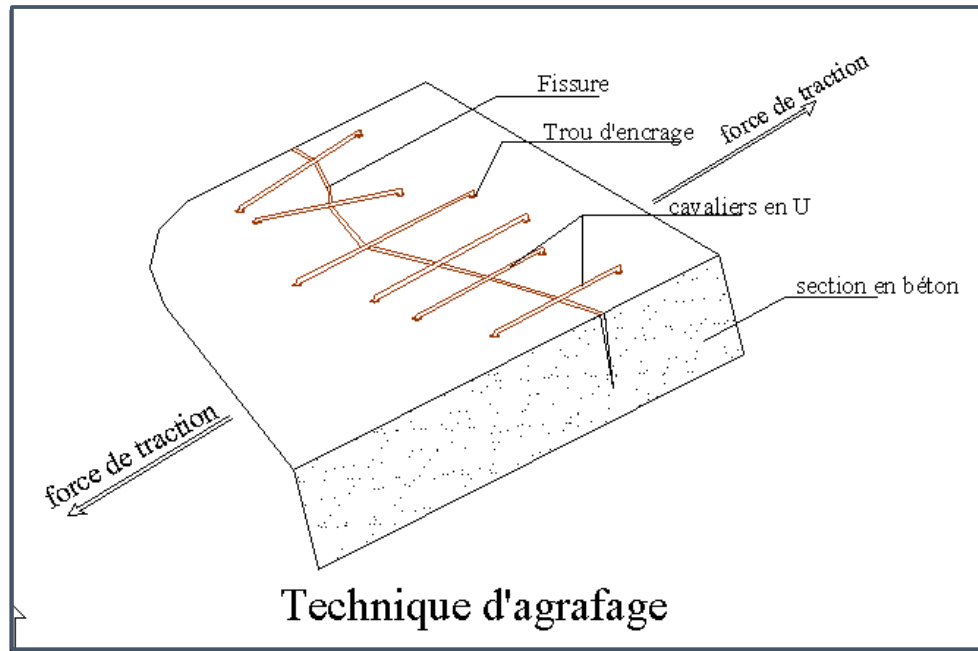


Figure III. 2 : Réparation des fissures par la technique d'agrafage [31]

III.4.3.4. Pour les fissures à l'intersection des murs

En prenant en considération la faiblesse des constructions en maçonnerie, les procédures de réparation doivent être combinées avec celles de rigidification des intersections :

- Le premier procédé de rigidification des intersections consiste à réaliser des liaisons avec des fers plats, la fissure est ensuite réparée en utilisant un treillis soudé, sur chaque face, scellé aux deux murs et recouvert d'un enduit de ciment (Figure III.3). [49]
- Le deuxième procédé consiste à placer des briques- liaison ou des moellons -liaison communes aux deux murs tous les 70 cm environ avec un mortier très riche en ciment. La fissure est colmatée avec un mortier en ciment (Figure III.4).
- Le troisième procédé consiste à renforcer les murs au niveau des intersections par la réalisation de chaînages en béton armé (Figure III.5). [49]

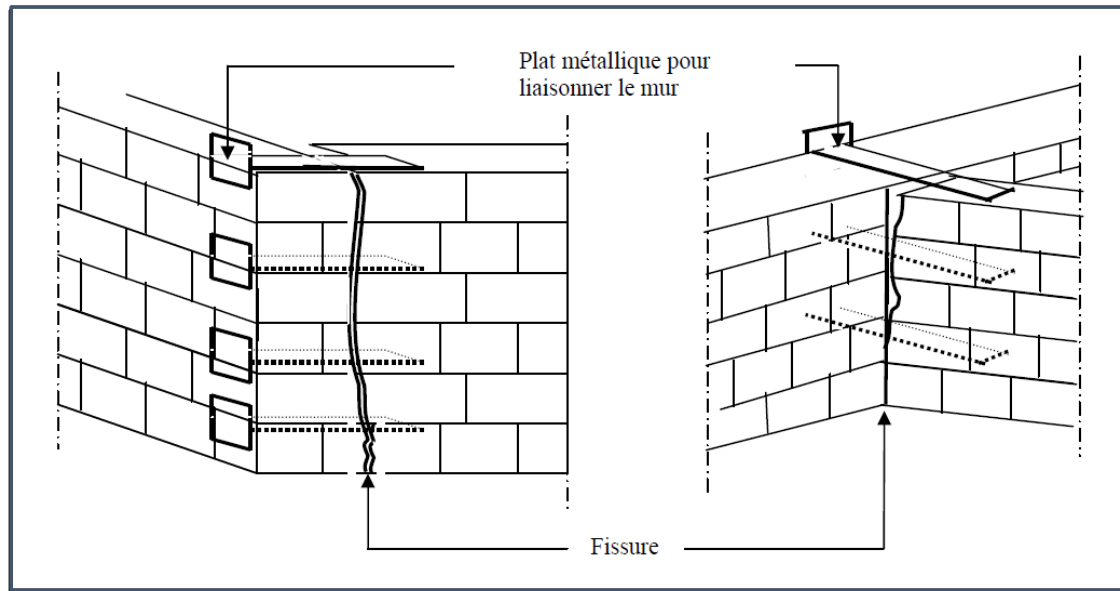


Figure III. 3 : Réparation des fissures à l'intersection des murs par l'utilisation des fers plats.

[49]

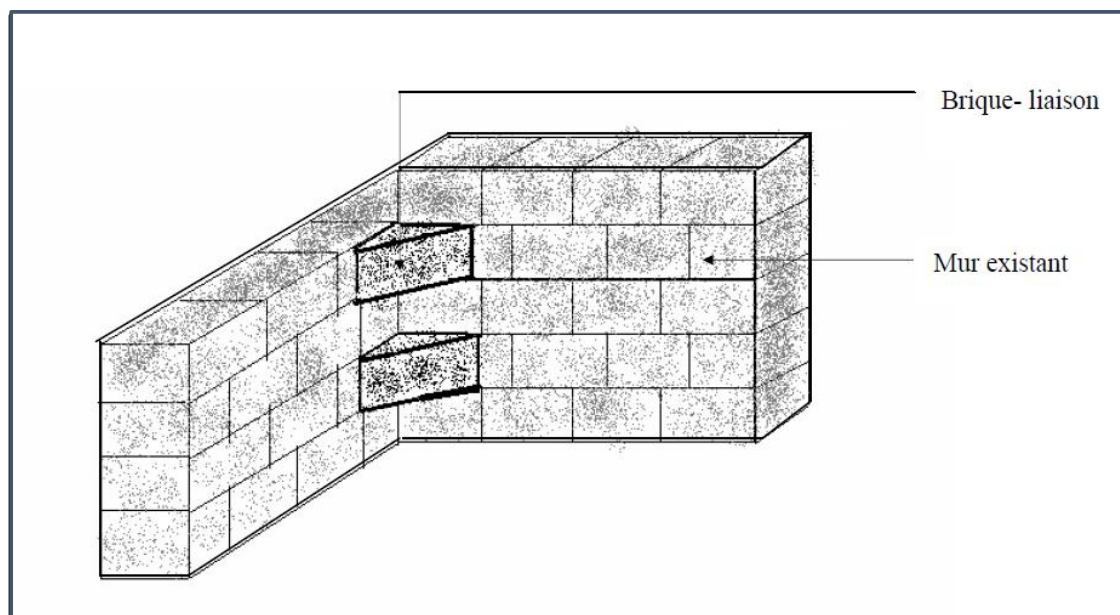


Figure III. 4 : Rigidification des intersections des murs par l'utilisation des briques. [49]

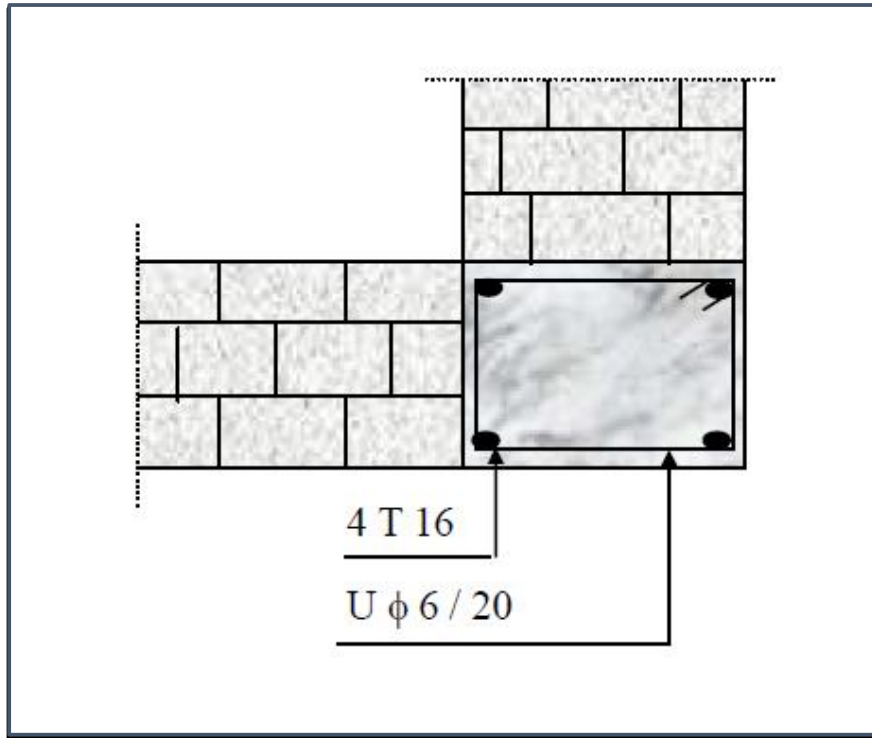


Figure III. 5 : Réalisation de chaînage en béton armé au niveau de l'intersection des murs. [49]

III.4.4. Lutte contre l'humidité

III.4.4.1. Procédés contre les remontées capillaires

* Solutions simples :

-Dans la plupart des cas, il suffit d'améliorer l'entourage immédiat du bâtiment pour évacuer l'eau loin du mur le plus vite possible, en révisant les pentes de terrain avoisinant.

-Les matériaux utilisés dans les parties du mur qui sont au contact du sol, ne doivent pas être poreux ni présenter la caractéristique de retenir l'eau, comme les enduits plâtre par exemple.

-Les murs doivent respirer et être ventilés. Une bonne ventilation des caves et le remplacement des enduits à la chaux sont à préconiser. [49]

* Drainage au pied du mur:

-Dans les cas graves, un système de drainage est nécessaire le long du mur au pied des fondations ou à une faible distance du mur (Figures III.6). L'eau recueillie dans les drains doit pouvoir être évacuée sur l'égout ou plus bas, sur un matériau en pente, si la proximité d'autres bâtiments ne l'empêche pas. [49]

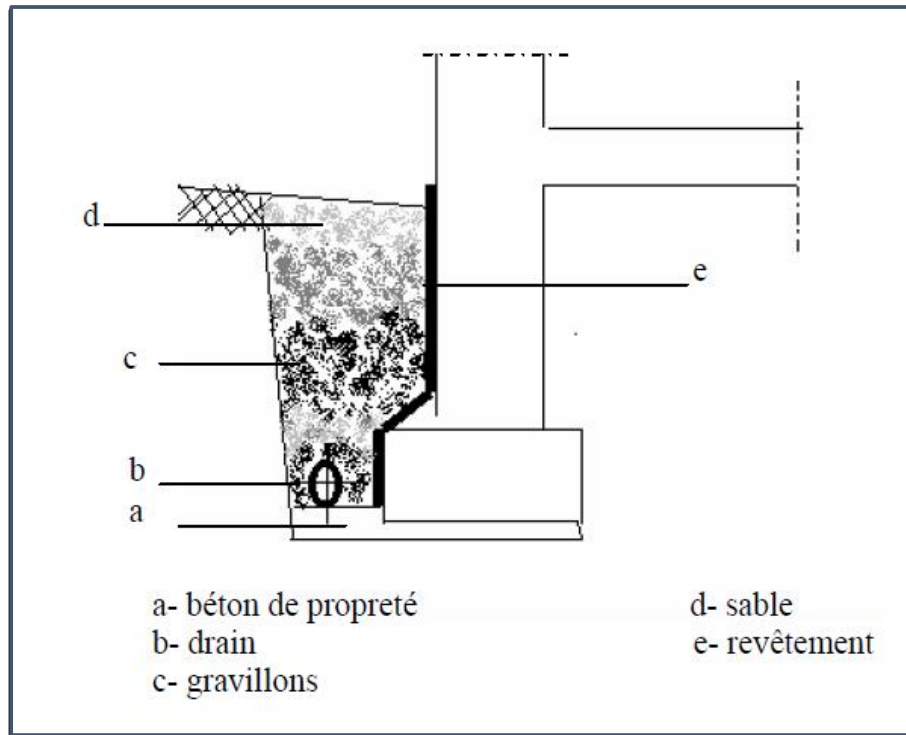


Figure III. 6 : Drainage au pied du mur. [49]

** Isolation horizontale du mur :*

La mise en place d'une isolation horizontale dans le mur existant est possible, malgré la difficulté de l'opération.

On peut procéder de deux manières différentes :

- ✓ Soit en sciant le mur et en introduisant dans son épaisseur progressivement des écrans étanches.
- ✓ Dans ce cas, on peut utiliser comme écran : une chape bitumineuse armée à armature métallique, une couche de mortier synthétique étanche, une couche de mortier de ciment avec un hydrofuge ou encore une feuille de plomb.
- ✓ Soit en injectant dans des trous forés un produit imperméabilisant qui forme en pénétrant une barrière étanche à l'eau.

L'isolation horizontale empêche de monter dans le mur mais ne facilite pas l'évacuation de l'eau. Cette solution ne sera pas retenue en conséquence dans le cas d'une humidité trop forte au pied des fondations (Figure III.7). [49]

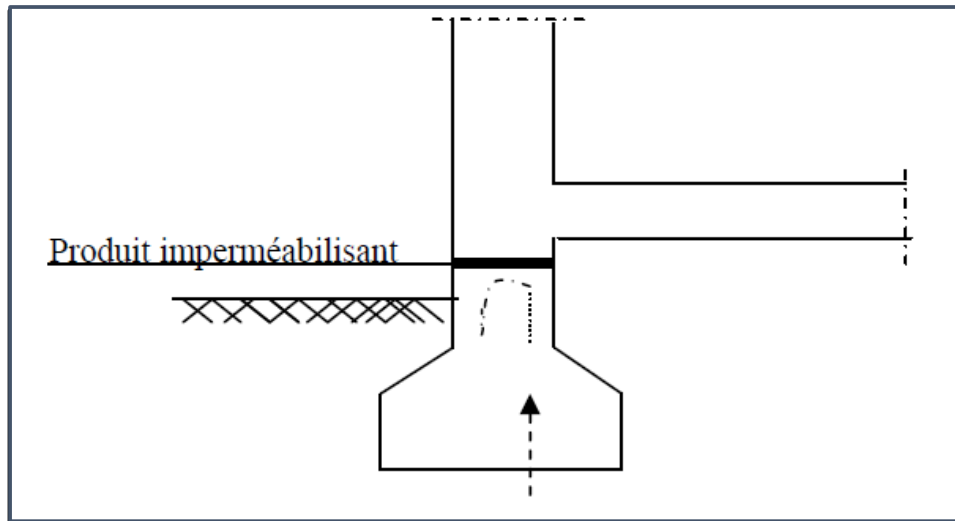


Figure III. 7 : Isolation horizontale du mur. [49]

** Assèchement des murs à l'aide des drains :*

La pose des drains dans le mur est une méthode d'assèchement des murs couramment pratiquée.

Le drainage permet l'évacuation d'excès de l'humidité qui a pu monter dans le mur.

De nombreux forages dans la maçonnerie risquent de l'affaiblir, d'où la nécessité d'une attention toute particulière lors des travaux. Des drains en terre cuite scellés avec un mortier maigre seront préférés aux drains en plastique moins résistants (Figures III.8). [49]

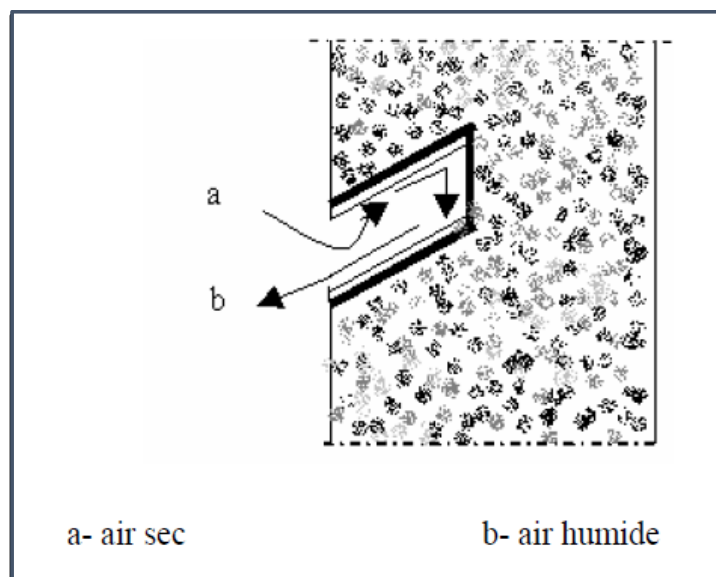


Figure III. 8 : Principe d'évacuation de l'humidité par drain. [49]

**Cloison de doublage :*

Si on utilise la cloison de doublage isolante côté intérieur du mur, il est indispensable de ventiler la lame d'air vers l'extérieur, ainsi elle sèche le mur (Figure III.9)

Sans cette précaution, il y a le risque certain d'aggravation des dégâts, l'humidité restant emprisonnée et même remontant plus haut dans le mur.

Pour les mêmes raisons et d'une manière générale, l'application des enduits et des revêtements étanches qui empêchent la libération des vapeurs d'eau contenues dans le mur est à proscrire.

[49]

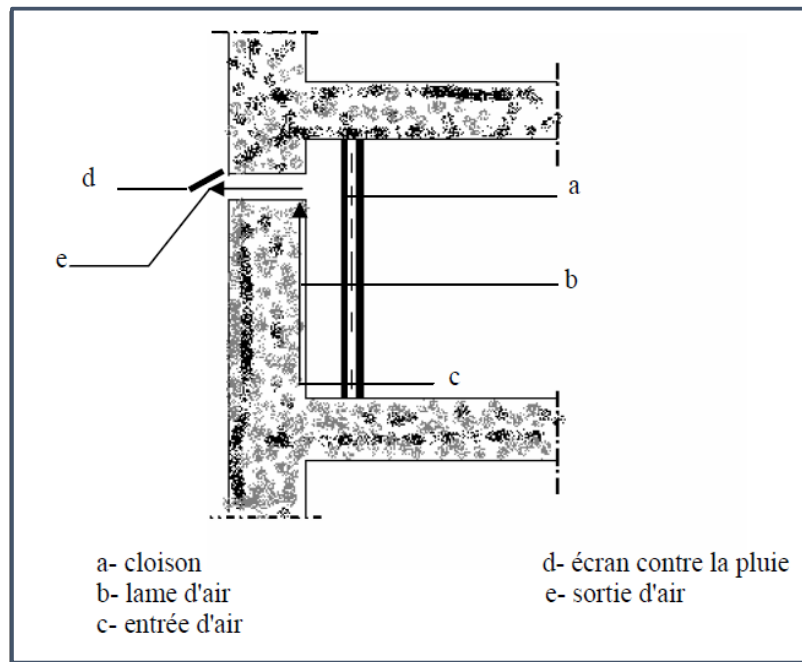


Figure III. 9 : Cloison de doublage à lame d'air mobile [49]

III.4.4.2. Remèdes contre les infiltrations directes de la pluie

** L'étanchéité des toitures :*

Des ruptures dans l'étanchéité des toitures provoquent l'infiltration de l'eau dans le mur. Il en est de même lorsque l'étanchéité laisse à désirer dans le voisinage des souches ou lorsque les gouttières ou les descentes d'eaux pluviales sont bouchées ou abîmées.

Le nettoyage et la remise en état de tous ces ouvrages suffiront pour remédier à la pénétration de l'eau dans les murs. [49]

** L'étanchéité des façades :*

L'eau de pluie battante frappe directement la façade et pénètre dans le mur.

✓ L'hydrofugation :

Dans le cas des façades en pierre ou en brique, il est indispensable de refaire les joints abîmés au mortier de chaux ou mortier adhésif. La réfection des joints supprimera la possibilité de grandes entrées d'eau dans le mur.

Le traitement d'hydrofugation de surface freine sensiblement la pénétration de l'humidité dans le mur tout en maintenant la perméabilité du mur à la vapeur d'eau sous pression. Il est important de laisser le mur respirer pour permettre l'évacuation de l'humidité qui a pu pénétrer dans le mur. [49]

✓ Revêtements d'imperméabilisation

Il existe les revêtements d'imperméabilisation à la base de polymères applicables sur les enduits ciment, le béton ou la maçonnerie traditionnelle.

Ces revêtements sont soumis en place à la brosse ou au rouleau. Ils remédient efficacement à la porosité excessive des matériaux ou des enduits et aux fissurations capillaires, formant un film adhérent et souple arrêtant les infiltrations d'eau tout en restant perméable à la vapeur d'eau sous pression. [49]

✓ Revêtement d'étanchéité :

Sur les façades qui ont tendance à la fissuration, on peut appliquer un revêtement spécial d'étanchéité des façades du type résine acrylique armé, l'armature généralisée étant constituée par une feuille de fibre minérale, tissée ou non tissée, placée entre deux couches d'imperméabilisation.

Ce revêtement résiste efficacement aux nouvelles fissures survenues dans le support. Il peut être appliqué sur le revêtement de façades en pâte de verre ou revêtement céramique avec les joints non étanches. [49]

✓ Enduits :

Les procédés traditionnels, tel un enduit au mortier, sont applicables sur des façades à parement continu. Dans ce cas, on utilisera de préférence le mortier de plâtre à la chaux, et pour obtenir une étanchéité efficace d'une façade en maçonnerie perméable à la pluie, on l'appliquera en trois couches. [49]

✓ Peintures d'extérieur :

Les peintures et émulsions plastiques respirantes de qualité extérieure, peintures à la pliolite ou peintures fibreuses peuvent protéger une façade contre la pluie et seront d'autant plus durables et efficaces que le mur est moins poreux. [49]

III.4.5 Solutions pour la corrosion des armatures

Les solutions de réparation du béton armé dégradé par corrosion des armatures permettent de réparer durablement le parement en béton et évitent de nouveaux désordres. Pour chaque ouvrage, le choix de la solution adoptée sera fonction en particulier du processus de dégradation (carbonatation, chlorure...), du niveau de propagation de la corrosion, des caractéristiques du béton et des agressions du milieu environnant. [20]

III.4.5.1. Ragréage

C'est la technique traditionnelle de réparation des bétons. Il permet dans un premier temps de reconstituer les sections d'armatures qui ont disparu, de stopper le phénomène de corrosion des aciers par passivation. Puis, le principe est de protéger les armatures par reconstitution manuelle ou mécanique de l'enrobage à l'aide de mortier de réparation. Les étapes de la réparation sont les suivantes :

- éliminer les zones de faible cohésion
- dégager l'armature corrodée jusqu'à une zone où celle-ci est saine
- nettoyer l'armature
- remplacer l'armature si la perte de section est trop forte
- passer les armatures corrodées par application de produit
- reconstituer manuellement l'enrobage de béton à l'aide de mortier de réparation [51]

III.4.5.2. Bétons projetés

Le béton projeté est de plus en plus utilisé pour réparer des surfaces de béton endommagées par des problèmes de corrosion. La mise en place du béton par projection permet l'application rapide du béton sur des surfaces verticales ou horizontales sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des coffrages. [51]

III.4.5.2.1. Technique de projection

Projeté avec une force assez importante, le béton se place et se compacte au même instant, ce qui le diffère du béton conventionnellement coulé et ensuite vibré.

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

Différentes méthodes vont présenter de différents résultats. Par voie sèche, le rapport E/C est évidemment plus faible, on obtiendra alors une résistance plus élevée que par voie humide. Mais on aura un dégagement de poussière plus important et un risque de détérioration d'un support fragile. [24]

III.4.5.2.2. Mode opératoire

La mise en œuvre se fait à l'aide d'une machine à projeter qui est transportée à travers un boyau et projetée pneumatiquement à très grande vitesse sur une surface. L'air expulsé et le béton compacté, par la puissance de projection et l'impact sur la surface, permettent au matériau de se supporter sans affaissement, même sur une surface en surplomb.

Il est possible d'appliquer un passivant (par brossage, par application au pinceau, etc.) sur les armatures réparées pour diminuer les risques de réapparition de la corrosion. Cette application peut se faire dans le cas du béton projeté par voie humide, mais n'est pas possible lors de la projection par voie sèche, parce que la protection serait abîmée. [24]

III.4.5.3. Traitement électrochimique

III.4.5.3.1. Protection cathodique

La protection cathodique par courant imposé consiste à diminuer à l'aide d'un courant électrique ($2\text{ à }20\text{ mA/m}^2$) le potentiel électrique de corrosion de l'armature jusqu'à une valeur seuil (potentiel de protection) pour laquelle la vitesse de corrosion de l'acier est négligeable. Cette technique permet de restaurer la passivité des armatures, elle est installée de manière définitive et donc protège la structure en permanence.

Les dimensions des anodes et la capacité du générateur de courant sont définies en fonction des dimensions des armatures (diamètres, longueurs) et des surfaces à traiter.

Il convient de rétablir préalablement au traitement la continuité électrique des armatures et parfois de protéger la surface du béton après traitement pour éviter de nouveaux désordres.

Un générateur électrique impose un courant qui circule de l'anode (pôle positif : treillis en titane ou en carbone disposé sur toute la surface de la zone à traiter et enrobé par un matériau à base de liants hydrauliques) vers l'armature (pôle négatif : cathode). [20]

III.4.5.3.2. Protection galvanique

Une anode active dite sacrificielle est placée sur le parement de la surface à traiter (film de zinc...) ou dans l'enrobage (pastille de zinc). Elle est connectée aux armatures. Il se crée ainsi

un courant galvanique sans alimentation électrique. L'électrolyte (eau contenue dans la capillarité du béton et dans les hydrates des pâtes de ciment) assure la bonne conductivité électrique entre l'anode et la cathode. [20]

III.4.5.4. Inhibiteurs de corrosion

Les inhibiteurs de corrosion sont appliqués à la surface des bétons à traiter. Ils vont migrer dans la zone d'enrobage vers les armatures assurant ainsi leur protection contre la corrosion en abaissant la vitesse de corrosion de l'acier. L'inhibiteur est appliqué directement sur la surface du béton après préparation du support (enlèvement de la laitance, des salissures, des revêtements éventuels...) par pulvérisation sous forme liquide en plusieurs passes ou par application directe sous forme gélifiée sur la surface. Il pénètre dans le béton par capillarité. Cette technique permet de protéger les armatures de la corrosion sans avoir à purger le béton carbonaté et donc en conservant l'aspect initial du parement de l'ouvrage. [20]

La pénétration des inhibiteurs au sein du béton dépend de nombreux paramètres dont la porosité du béton, le degré d'humidité, le niveau de carbonatation, la teneur en chlorures...

La technique fonctionne sous réserve d'une teneur limitée en chlorures dans le béton et fonctionne d'autant mieux pour les armatures faiblement enrobées. Souvent le traitement doit être complété par la mise en œuvre d'un revêtement de protection. [20]

III.4.6. Renforcement des poteaux

III.4.6.1. Renforcement par chemisage en béton armé

Le chemisage de poteau consiste à renforcer le poteau par placement de nouvelles armatures longitudinales placés aux coins de la section transversale, l'épaisseur de la gaine doit être suffisante pour mettre en place les armatures transversales avec un espacement réduit pour assurer un confinement adéquat, cependant la résistance du nouveau béton doit être égale ou supérieure à celle du béton existant. On doit alors respecter toutes les dispositions constructives.

Pour l'exécution du chemisage la surface du béton existant doit être rendue rugueuse par décapage, puis bien nettoyée des débris et des poussières. La surface doit être humidifiée avant la mise en place du nouveau béton. [10]

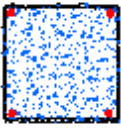
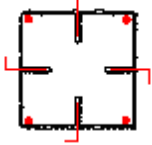
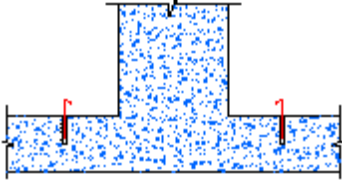
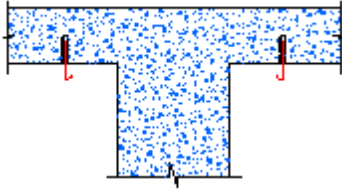
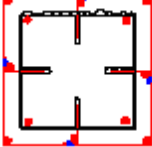
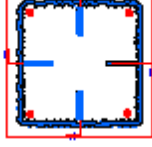
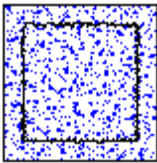
	
1- Nettoyage et sablage du support initial de béton du poteau	2- Ancrage et scellement de chevilles pour fixation d'armatures additionnelles.
	
3-Scellement d'armatures d'ancrage sur le plancher en amont du poteau	4-Scellement d'armatures d'ancrage sous le plancher en aval du poteau.
	
5-Fixation des armatures additionnelles sur les tiges d'ancrage.	6-Etalage d'une couche de résine sur la surface de béton primitif.
	
7-Coulage de l'enveloppe en béton riche et fluide.	

Figure III. 10 : Différents étapes de renforcement des poteaux au moyen d'une enveloppe en béton armé (chemisage). [52]

III.4.6.2. Renforcement par gainage métallique (Chemisage en acier)

Cette méthode permet d'améliorer la résistance et la ductilité du poteau, elle consiste à placer des profilés longitudinaux (cornières) et les lier ensemble avec des fers plats soudés aux profils d'angle, les vides existants entre ces profils et la surface du poteau doivent être rempli

avec un coulis de ciment ou de résine puis couvrir l'ensemble avec une gaine de béton pour la protection contre la corrosion et le feu. [10]

Il existe aussi une procédure qui consiste à envelopper entièrement le poteau dans un tube métallique soudé le long du poteau, les vides qui existent entre le poteau et le tube en acier doivent être bourrés par un coulis de ciment.

L'obtention d'une section rectangulaire se fait par soudure de deux plaques en acier de forme L ou par soudure de quatre plaques verticales.

Le poteau enrobé doit être protégé contre la corrosion et le feu. [10]

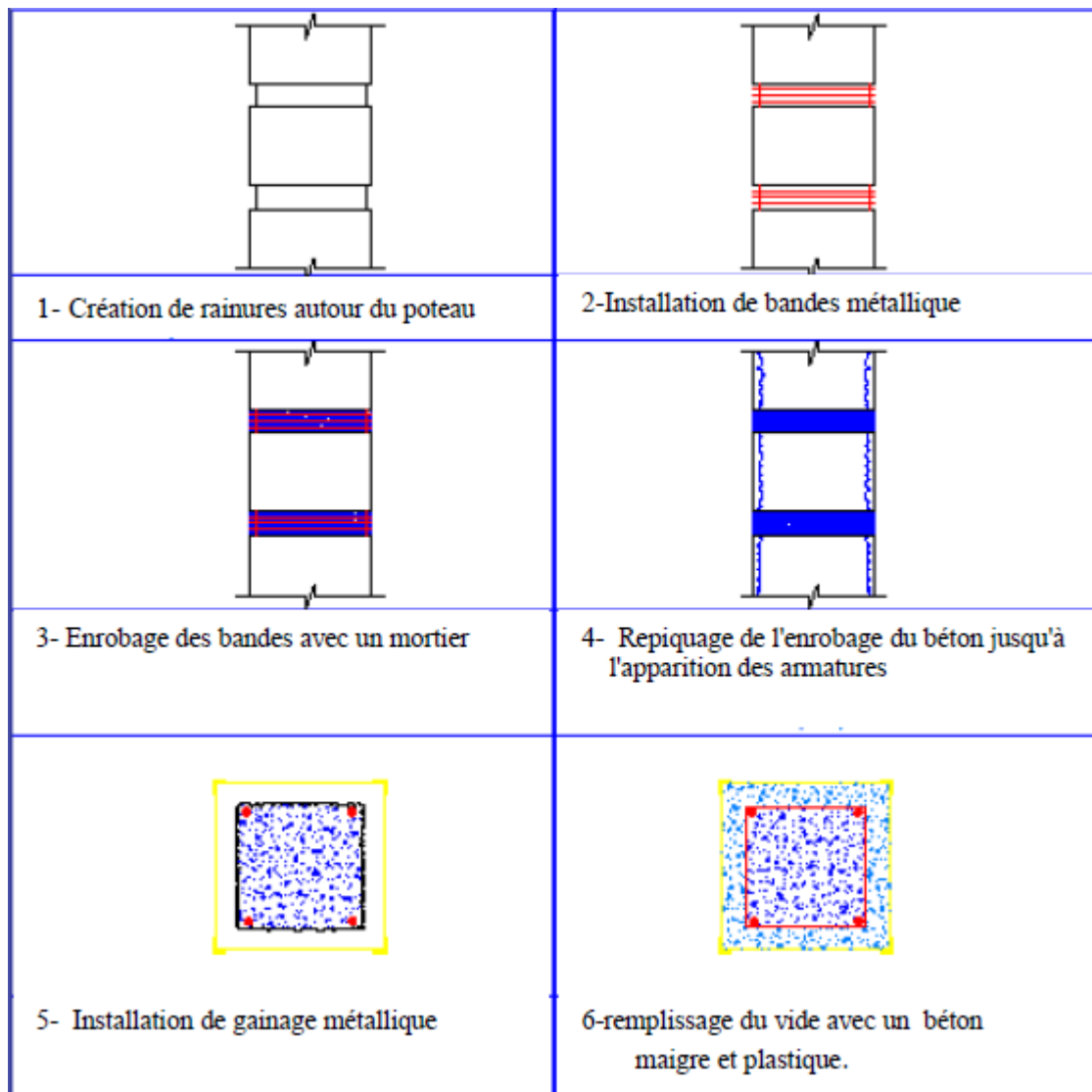


Figure III. 11 : Différents étapes renforcement d'un poteau par gainage métallique [52]

III.4.7. Travaux de démolition

La démolition d'une construction est recommandée comme une solution des cas pathologiques selon le degré des dégradations, si les désordres constatés sont graves, à ce moment-là il est obligatoirement nécessaire de reprendre la construction, les travaux de démolition est appliqué aussi sur les éléments de construction on peut dire c'est une démolition partielle

A Laghouat Les éléments les plus concernés par la démolition comme solution envisagé par le CTC sont :

- Les poteaux dont la résistance est faible
- Les murs gravement fissurés
- Les linteaux dont l'ancrage insuffisant pour les portes et les fenêtres (en assurant un ancrage minimal réglementaire).
- Les dalles pleines à l'étage (la démolition doit être accompagnée de toutes les mesures de sécurité nécessaires pour préserver les murs porteurs, à savoir (étagage, ne pas utiliser les gros moyens de démolition.)

D'autre cas, la démolition n'est pas appliquée seulement sur les éléments de construction elle est appliquée totalement sur la construction (blocs), ces constructions se trouvent dans état très dégradé et menace ruine (peuvent engendrer un risque pour les utilisateurs) et aussi ne sont pas conforme aux règlements, par conséquent, il est recommandé de démolir et reconstruire un nouveau conforme à une étude établie au préalable, le CTC est recommandé de prendre des précaution pour l'opération de démolition :

- ✓ La démolition des blocs concernés doit faire l'objet d'une opération judicieuse. L'utilisation de gros moyens de vibration est à proscrire.
- ✓ La construction de nouveaux blocs doit être précédée d'une étude préalable et non contrôlée rigoureuse.
- ✓ La réfection des blocs doit faire l'objet d'un suivi rigoureux par un bureau d'étude dûment agréé.

III.5. Discussion des solutions proposées

L'étape de détermination des remèdes et des solutions pour le cas pathologique c'est une étape très importante, elle repose sur des connaissances qualifiées et nécessite plus de prudence, de plus le choix d'une solution convenable dépend d'un ensemble de critères qu'il faut absolument adopter. Ces critères favorisant une méthode et un matériau par rapport à les autres, on peut distinguer :

- Le coût de réparations et les frais complémentaires d'entretien de réparations ;
- Degré 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 (démolition) ;
- Sécurité de structure (avant, pendant et après la réparation) ;
- La disponibilité des matériaux de réparation et les capacités des entrepreneurs dans l'utilisation des matériaux spéciale ou les procédures exceptionnelles avec succès ;
- 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 ;
- Les contraintes de chantier tell que les difficultés d'accès, l'absence des surfaces nécessaires pour l'application des méthodes de réparation, les conditions climatiques défavorable ;
- 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...) [53]

III.5.1. Micro pieux et injection de sol

- Micro pieux est une technique délicate dont le prix est relativement élevé.

Le faible encombrement du matériel à utiliser permet de résoudre le problème des accès difficiles et des volumes de manœuvre exigus. [49]

- L'injection de sol est simple dans son principe, elle doit cependant n'être appliquée qu'en tenant compte des conditions particulière à chaque cas. Elle n'est notamment pas utilisable dans tous les sols, certain n'étant pas injectable et d'autres risquant d'absorber des volumes énormes de coulis sans aucun effet de consolidation. Elle nécessite par ailleurs de grande précaution lors de sa mise en œuvre (risque de fissuration du bâtiment traité ou de désordre dans les bâtiments voisin).

Cette technique ne peut donc être appliquée avec succès et économie qu'après une sérieuse étude géologique et uniquement par entreprise spécialisée ayant une grande expérience dans ce domaine. [49]

-Pour les cas étudiés à Laghouat la solution de reprise de travaux en sous œuvre des fondations est l'un des solutions de renforcement qui a été proposé par le CTC surtout pour les constructions anciennes telles que le musée communal par exemple. Il est recommandé que les fondations soient vérifiées et renforcées si nécessaire par augmentation de dimensions dont le coffrage sera déterminé à l'ouverture des fouilles et ceci conformément à la consistance réelle du sol.

III.5.2. Réparation des fissures par injection

Le tableau (III.2) présente une comparaison des produits les plus utilisés dans la réparation des fissures par injection.

D'après les solutions adaptées de CTC, Nous avons remarqué que l'injection par coulis de ciment est le plus utilisable dans la réparation des constructions à Laghouat à cause de sa disponibilité et peut être appliqué d'une manière non complexe (simple) avec moins des frais.

Le CTC recommande des solutions convenables pour chaque un cas des fissures :

-Comme longrines fissurées, il est recommandé de réaliser un voile en béton armé sous ces longrines pour résister au tassement de celle-ci. Et ça après Le décapage total de la couche du béton fissuré et endommagé jusqu'à atteindre la surface saine du support (longrine).

-Pour les fissures sur les murs, il est recommandé de reprendre les murs gravement fissurés et la réparation des murs dont les fissures légères, en utilisant des ligatures (le long des fissures) pour colmater les fissures. Ces ligatures seront en acier **TOR** avec un enduit au ciment

Tableau III. 2 : Produits d'injection (Avantages et inconvénients) [54]

Type de produit	Avantages	Inconvénients
Coulis de ciment	* Faible coût. * Possibilité de mise en Œuvre par des moyens simples.	* Retrait. * Ségrégation-Ressuage (produit hétérogène).

Silicates	* Long temps d'injectabilité. * Viscosité réglable par addition d'eau. * Injection des fissures $\geq 0,2\text{mm}$.	* Retrait en milieu asséché. * Emploi délicat. * Injection de vides importants déconseillée.
Résines époxydiques	* Faible viscosité : Injection des fissures $\geq 0,2\text{mm}$. * Propriétés mécaniques élevées. * Bon comportement en présence d'humidité.	* Emploi délicat. * Coût élevé.

III.5.3. Béton projeté / Ragréage (Avantages et inconvénients)

La réparation par le béton projeté se caractérise par les avantages suivants :

- Pas de coffrage.
- Possibilité d'obtenir des textures particulières.
- Technique avantageuse lorsque l'accès est restreint (pas de coffrage).
- Peut être utilisé pour stabiliser des pentes rocheuses. [51]
- Lorsque les surfaces de béton à réparer sont importantes, la méthode du béton projeté est une option souvent utilisée. Puisque ce type de réparation est relativement rapide à mettre en œuvre, mais nécessite du matériel particulier.
- Ce procédé permet de produire un béton plus dense, homogène et imperméable, ayant une surépaisseur moins poreuse, plus durable et peu sensible aux attaques chimiques.
- La résistance en compression du béton projeté a, selon la norme NBN EN 14487-1, un minimum de 40 MPa. Un mélange soigneusement réalisé, permet l'application de ce béton sur toutes les surfaces même les surfaces verticales et en surplomb. [24]

➤ *Avantages des deux méthodes de projection*

a) Par voie sèche

- Ce procédé peut-être arrêté et continué à tout moment durant les travaux. En effet, le contact ciment-eau ne se fait qu'à la lance, il n'y a aucune prise possible par avant si la

production du béton est interrompue. Des résistances élevées sont facilement obtenues puisqu'il permet d'avoir de faibles rapports eau-liant (ciment). [24]

- possibilité d'utiliser des granulats de grande dimension (15 à 20 mm)
- Un compactage énergétique
- Une bonne adhérence sur le support.
- Une pénétration en grande profondeur dans les pores.
- Une éventuelle projection en plafond sans accélérateur de prise [52]

b) Par voie mouillée

- Le contrôle de la qualité est simple, puisque l'on utilise un béton conventionnel (le dosage des constituants du mélange est connu) [24]
- Composition uniforme de la couche projetée
- Pas de rebondissement violent.
- Pas de production de poussières. [52]

➤ ***Inconvénients des deux méthodes de projection :***

a) Par voie sèche

- Le dosage de l'eau dans le mélange se fait directement à la lance, par le lancier, ce qui complique le contrôle de la qualité. [24]
- Pertes de volume du béton projeté importantes par rebondissement.
- Production de poussières.

b) Par voie mouillée

- Ici le procédé ne peut être arrêté, car le mélange eau-ciment est préalable. [24]
- Dosage en eau et en ciment plus élevé pour assurer une plasticité nécessaire.
- Compactage faible.
- Nécessité d'accélérateurs de prise. [52]

* Pour la méthode de ragréage, nous avons présenté au tableau suivant une comparaison de l'utilisation de cette méthode avec l'utilisation de la méthode de béton projeté (points forts et points faibles de chaque méthode).

Tableau III. 3 : Tableau comparatif (Ragréage v/s Béton projeté) [24]

	Remplacement du béton par ragréage avec passivant	Remplacement du béton par béton projeté
Avantages	- Petites destructions localisées de béton, pas de risque de déstabilisation de la structure. - Adapté aux petites surfaces.	- Mise en place du mortier de réparation plus rapide. - Béton moins poreux, donc moins sensible aux chlorures. - Adapté aux grandes surfaces.
Inconvénients	- Beaucoup de main d'œuvre nécessaire. - Délais plus long. - Nécessite un revêtement imperméabilisant.	- Risque de déstabilisation suite à une enlevée importante du béton. - Surcharges possibles => recalcul de la structure. - Pas adapté aux petites surfaces.

III.5.4. Protection cathodique et inhibiteur de corrosion

➤ Protection cathodique (Avantage)

Dans l'application de la protection cathodique, deux méthodes principales sont utilisées, à savoir :

1. anodes sacrificielles : un métal très actif (anode) est relié à la barre d'armature et placé dans le même électrolyte. L'anode polarise le métal vers des valeurs cathodiques.
2. courant imposé : une anode inerte est raccordée à l'armature et un courant continu est appliqué pour décaler le potentiel vers des valeurs cathodiques.

Les procédés cathodiques produisent une alcalinité sur la surface des armatures. A l'intérieur du béton, le courant est transporté par les ions proportionnellement à leur concentration. Les ions positifs se déplacent dans la même direction que le courant (de l'anode à la cathode), et les ions négatifs dans la direction opposée. Ainsi dans un béton contaminé par des chlorures, la circulation du courant présente une réduction de la teneur en chlorure à la surface des armatures ou une réduction de la pénétration de chlorure dans le béton.

Ces effets sont avantageux dans le sens où ils favorisent une augmentation du rapport $\text{OH}^- / \text{Cl}^-$ et favorisent ainsi les phénomènes de passivation. C'est pourquoi cette méthode est particulièrement adaptée lorsque la corrosion est causée par la contamination de chlorure. [24]

➤ **Protection cathodique (Désavantage)**

- La perte d'adhérence entre le béton et renforts :

À des potentiels très négatifs, lorsque des densités de courant élevées sont appliquées, une perte d'adhérence entre les barres d'armature et le béton peut se produire. De nombreuses incertitudes demeurent quant à ce phénomène. Pour une polarisation à long terme, un potentiel limite inférieure est indiquée (-1,1 V par rapport à l'électrode au calomel saturée¹⁰).

- Fragilisation par l'hydrogène

L'effet potentiellement néfaste le plus important est la fragilisation de l'acier par l'hydrogène atomique généré en réaction cathodique.

➤ **Comparaison entre les deux méthodes**

Le tableau suivant présente les avantages et les inconvénients qui caractérisent les deux méthodes ;

Tableau III. 4 : Etude comparatives des deux méthodes de protection [24]

	Protection cathodique	Inhibiteur de corrosion
Avantages	Empêche l'activité de corrosion	Possibilité d'application seule sur béton afin de protéger les aciers
Inconvénients	Nécessite une purge de support et réparation des épaufrures Les armatures doivent former un réseau électrique	Efficacité contestée Difficulté de contrôle de mise en œuvre Nécessite une purge de support et réparation des épaufrures Les armatures doivent former un réseau électrique si forçage
Durée de vie estimée	30 ans	10 ans

III.5.6. Technique de chemisage des poteaux (acier / béton armé)

Cette technique vise à restituer au poteau en premier lieu sa résistance initiale (résistance à la compression, homogénéité, résistance à l'effort tranchant...) et à lui donner un nouvel état de résistance. Système expert Cependant, le béton et l'acier sont soumis à d'importantes sollicitations dans les infrastructures, à la pollution, à la corrosion, et à d'autres actions

extérieures qui tendent à les détériorer. De plus, les techniques de renforcement par chemisage en acier ou béton armé présentent souvent des mises en œuvre difficiles, impliquant des durées de travaux pouvant être assez longues. Le renforcement d'un élément par l'augmentation de sa section de béton (chemisage), influe directement sur la masse de la structure, comparativement aux autres moyens de renforcements, qui se caractérisent par leur légèreté relative. [52] [55]

Chemisage en béton = augmentation de la section → Crée une différence de masse à l'étage spécifié au renforcement → Cette différence crée une excentricité considérable entre le centre de masse et le centre de torsion → Augmentation de la rigidité de l'étage → Crée une différence de rigidité entre étages → Augmentation de la descente de charges de la structure → Redimensionnement des fondations. [52]

La technique de chemisage a été utilisée comme solution recommandée par le CTC/ Laghouat. Un exemple dans le cas des semelles fissurées et écrasées :

-Pour reprendre les charges transmises le CTC a recommandé de réaliser des contre semelles avec chemisages des amorces jusqu'au niveau has RDC.

Le tableau III.5 présente un comparatif entre les deux méthodes de chemisages (en acier / en béton).

Tableau III. 5 : Comparatif de deux méthodes de chemisage [55]

	Chemisage en acier	Chemisage en béton armé
Avantages	- L'augmentation des sections est faible - mise en œuvre rapide	- peu coûteux - ne nécessite pas de main d'œuvre hautement qualifiée
Inconvénients	- coût élevé - nécessité d'une main d'œuvre qualifiée - sensibilité à la corrosion ; entretien régulier nécessaire	- augmentation de la section (et de l'encombrement) et du poids de la structure - corrosion et autres pathologies du béton armé - nécessité de coffrages ; travaux assez longs

III.5 Conclusion

A travers ce qui précède nous aboutissons aux conclusions suivantes :

- Les régions les plus endommagées de la wilaya de Laghouat sont celles dont les constructions sont anciennes et souffrent d'un problème de vieillissement tel que la région de centre-ville
- Le tassement différentiel est l'un des causes les plus fréquentes des dégradations à Laghouat
- Le manque d'entretien (l'insuffisance de la maintenance) est l'un des facteurs qui sont à la base d'une grande majorité des désordres des constructions de Laghouat, il provoque l'accélération des dégradations.
- Le non-respect des règlements et des normes surtout au niveau de réalisation des ouvrages est à l'origine de plusieurs défauts remarquables.
- Le choix d'une solution convenable pour les cas pathologiques est une tâche très importante qui nécessite quelques connaissances et intelligence, il passe généralement par des critères techniques (facile a mise en œuvre) et économique (moins coûteux)
- La réparation ou la démolition de constructions endommagées implique des entreprises spécialisées avec grande expérience (bureau d'étude dûment agréé)
- L'exécution des travaux de réparation nécessite une réalisation soignée et des contrôles réguliers tout au long de la vie de construction.

Conclusion générale et recommandations

Conclusion générale

L'étude des pathologies des constructions est considérée comme l'un des domaines de grande importance dans le monde, et elle soulève une grande préoccupation dans la spécialisation du génie civil, du fait que ces pathologies affectent grandement la durabilité et la sécurité des ouvrages et peuvent entraîner des pertes matérielles et même humaines en cas d'effondrement.

Ce travail de recherche qui fait partie de ce domaine nous a permis d'identifier les différents types de dégradations affectant les constructions surtout pour les zones arides, et nous a permis de montrer qu'il existe plusieurs causes des dégradations. Celles-ci se manifestent sous plusieurs formes (fissuration, tassement, humidité, infiltration d'eau, corrosion des armatures...), ces causes sont très diverses, et il est possible qu'un seul défaut soit impliqué dans plusieurs facteurs causaux, ce qui rend les choses un peu compliquées dans la détermination des causes probables. Certains défauts qui apparaissent au niveau des ouvrages n'affectent pas seulement l'apparence des constructions comme on le croit, mais peuvent également être preuve de dommages plus graves qui conduisent à la détérioration de l'état des constructions, c'est pourquoi nous devons attacher une attention particulière à l'étude de dégradations. Un bon diagnostic est donc un facteur très important pour améliorer l'état des constructions.

L'expertise et le diagnostic des ouvrages est une discipline qui se base sur des connaissances qualifiées des règles de conception et de construire des ouvrages, aussi sur le comportement des matériaux (béton, acier...), il permet de comprendre l'origine des désordres et les malfaçons au niveau des constructions à travers des investigations visuel et des moyens techniques (essais destructifs ou non destructifs...) puis la propositions d'ensemble des solutions harmoniques et des remèdes convenables (travaux de réparation, de renforcement...) pour limiter au moins le degré de dégradations des structures ou retarder leurs endommagement.

L'expertise des constructions en béton armé dans la wilaya de Laghouat a montré qu'il y a plusieurs types des dégradations survenues, qui conduisent à la mauvaise durabilité des constructions et à la diminution de leurs fonctionnements, ces dégradations proviennent de résultats de différentes causes et facteurs d'influence notamment ceux liés aux sites d'implantation et au sol sur lesquels les constructions ont été fondées.

Cette étude qui consiste essentiellement à une collecte des pathologies des constructions de la wilaya de Laghouat et à un classement par région et par causes de ces cas pathologiques, nous amène aux conclusions suivantes :

- Les régions les plus endommagées de la wilaya de Laghouat sont celles dont les constructions sont anciennes et souffrent d'un problème de vieillissement tel que la région de centre-ville par contre les régions les moins endommagées sont celles dont les constructions sont modernes tel que la région de Oasis-Nord
- Il existe plusieurs constructions à Laghouat qui sont réalisées d'une manière anarchique et sur des sites dangereux tels que la région de Tadjrouna proximité d'Oued Zergoune (menace de crue) et région de Mardja qui se traduit une topographie complexe (terrain inondable en cas de forte pluie)
- Absence d'étude détaillée des propriétés des sols surtout pour les sols argileux, avec manque de précautions comme l'absence des joints de rupture.
- Le tassement différentiel des constructions est un problème plus connus et très populaire à la région de Laghouat en raison de la nature argileuse de sol et sa sensibilité à l'eau.
- L'agressivité des sols par la présence des sulfates (provient des infiltrations des eaux usées) est le facteur qui influe sur la dégradation d'infrastructure.
- Le manque d'entretien (l'insuffisance de la maintenance) est l'un des facteurs qui sont à la base d'une grande majorité des désordres des constructions de Laghouat, il provoque l'accélération des dégradations.
- Le non-respect des règlements et des normes surtout au niveau de réalisation des ouvrages est à l'origine de plusieurs défauts remarquables.
- Les défauts ou erreurs de mise en œuvre entraînent la mauvaise qualité du béton (faible résistance, faible adhérence) jouent un rôle primordial dans le vieillissement ou la dégradation des ouvrages.
- L'organisme de contrôle technique des constructions de Laghouat donne des recommandations qui résument une proposition des solutions, comment les appliquer et les précautions à prendre, mais la réalisation de ces solutions et leurs clarification précise sont effectuées par des institutions et des bureaux dument agréés de grandes compétences et expérience sur la réparation, restauration, renforcement et démolition des constructions.

- Le choix d'une solution convenable pour les cas pathologiques repose sur des critères techniques (facile a mise en œuvre) et économique (moins coûteux)
- Le défaut de conception est un facteur remarquable dans la dégradation des ouvrages de Laghouat surtout en ce qui concerne les erreurs d'étanchéité, les joints, les canalisations.

Recommandations

Dans le cadre de lutte contre les dommages aux ouvrages et de leur protection contre divers désordres qui l'affligent et afin de réduire le taux de fréquence des dégradations des constructions à Laghouat et d'éviter les mêmes erreurs dans le futur nous préconisons les points suivants:

- S'assurer qu'il y a une étude de sol dans les meilleures conditions et l'accès à un bon sol pour la réalisation.
- Dans les cas des constructions reposées sur des sols argileux, il faut prendre les précautions nécessaires telles que la présence des joints de rupture.
- Il y doit avoir une harmonie et une collaboration entre les concepteurs et les réalisateurs des constructions (ingénieurs et entrepreneurs).
- Le respect total des plans doit être assuré lors de mise en œuvre par un contrôle strict de l'achèvement.
- Lorsque des défauts et des dégradations apparaissent, ils doivent être réparés immédiatement afin que l'état de la construction ne se détériore pas, ce qui aggrave la situation et les travaux de réparation deviennent plus intensifs et donc des frais appliqués plus élevés.
- Il faut s'assurer du bon fonctionnement des armatures par leurs protections (produits) car l'enrobage des armatures est l'un des facteurs d'influence sur la durabilité.
- L'ajout d'une spécialisation à l'université de Laghouat liée aux pathologies des constructions, et ouvre des nouveaux horizons aux étudiants. La formation dans cette spécialité est très importante vu qu'elle forme des ingénieurs spécialisés dans ce domaine.
- Etablissement des guides des pathologies par région et des cartes géographiques qui permettent de recenser les cas pathologiques enregistrés dans la wilaya de Laghouat.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] A. Aklil et L. Achiou, « *Les pathologies structurelles et humides dans le vieux bâti : cas de l'ancienne ville de Bejaïa* », Bejaia: Université Abderrahmane Mira , 2013-2014.
- [2] F. Ghomari, « *PATHOLOGIE DES CONSTRUCTIONS GCL 566* », Tlemcen: université Aboubekr Belkaid.
- [3] «PATHOLOGIE DES STRUCTURES Chapitre 4 Pathologies Des Fondations,» [En ligne]. Available: « <https://fr.scribd.com/document/333199530/PATHOLOGIE-DES-STRUCTURES-Chapitre-4-Pathologies-Des-Fondations> ». [Accès le 05 février 2020].
- [4] «GUIDE DE PATHOLOGIE EN BATIMENT,» [En ligne]. Available: « <http://www.cpsedit.ma/index.php/documents/category/13-guide?download=788-> ». [Accès le 03 février 2020].
- [5] «Tous les secrets pour prévenir l'apparition de fissures,» décembre 2014. [En ligne]. Available: « <https://www.conseil-construction.fr/wp-content/uploads/2014/12/Guide-Prevenir-Apparition-Fissures.pdf> ». [Accès le 21 février 2020].
- [6] J. Argaud, « « Principales pathologies d'une construction en 6 thèmes »,» 2 octobre 2009. [En ligne]. Available: <http://jacquesargaud.canalblog.com/archives/2009/10/02/3272837.html>. [Accès le 16 février 2020].
- [7] «LES TASSEMENTS DIFFÉRENTIELS DU SOL : QUELLES CAUSES ET QUELLES SOLUTIONS ?,» 23 Octobre 2017. [En ligne]. Available: <https://www.be-gph.fr/blog/135-les-tassements-differentiels-du-sol-queelles-causes-et-queelles-solutions.html>. [Accès le 25 février 2020].
- [8] IFSTTAR, «Retrait et gonflement des argiles Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse guide 3,» Juillet 2017. [En ligne]. Available: https://www.ifsttar.fr/fileadmin/user_upload/editions/ifsttar/guidetechnique/2017-

GTI4.3-guidetechnique-Ifsttar.pdf. [Accès le 25 février 2020].

- [9] «Les problèmes de sol,» [En ligne]. Available: <http://info-pieux.com/les-problemes-de-sol/>. [Accès le 27 février 2020].
- [10] C. Derardja, « *Types, causes et remèdes des dégradations des constructions existantes* », Biskra: université de Biskra, , 2004.
- [11] E. ITMAIZEH, « *PATHOLOGIE DE STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ* », Tebessa: Université de Larbi Tébessi, 2016.
- [12] T. d. l'Ingénieur, « *Pathologie générale - Pathologie de béton* ».
- [13] J.L. Nédellec, «Séminaire sur la pathologie des murs de soutènement à La Réunion,» 16 juin 2010. [En ligne]. Available: http://risquesnaturels.re/pdf/murs_soutenement.pdf.
- [14] «PATHOLOGIE DES STRUCTURES Chapitre 3 Pathologie Des Murs de Soutènement,» [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/document/333199553/PATHOLOGIE-DES-STRUCTURES-Chapitre-3-Pathologie-Des-Murs-de-Soutenement>. [Accès le 05 février 2020].
- [15] «DURABILITÉ ET RÉPARATIONS DU BÉTON GCI – 714,» Université de Sherbrooke, [En ligne]. Available: <https://www.yumpu.com/fr/document/read/52130775/durabilite-et-reparations-du-beton-universite-de-sherbrooke>.
- [16] K. Gadri, « *Contribution a l'étude d'un béton de sable avec fibres et résine destine pour la réparation mince des structures* », Biskra: université Mohamed Khider, Biskra, 2007.
- [17] *La pathologie des façades*, Juin 2011.
- [18] S. Haouara 1, A. Guettala 2, «« LES FACTEURS D'INFLUENCE SUR LA DÉGRADATION DES OUVRAGES EN BÉTON ARME DANS LA RÉGION DE BISKRA »,» Université Mohamed Khider – Biskra, Algérie, Juin 2005. [En ligne]. Available: <http://www.webreview.dz/IMG/pdf/17-Haouara.pdf>.
- [19] S. Audisio. & G. Béranger, « *Anti corrosion et Durabilité dans le bâtiment, le génie*

civil et les ouvrages industriels », p. 361.

- [20] «*Les solutions techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages de génie civil en béton*», 2011.
- [21] C. Carde, «*« Le retrait des bétons »*», Septembre/Octobre 2006. [En ligne]. Available: « <http://doc.lerm.fr/wp-content/uploads/2013/08/retrait-carde.pdf> ».
- [22] J. MAI-NHU, « *Corrosion des armatures du béton : couplage carbonatation/chlorures en présence de cycles hydriques* », L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE, 2013.
- [23] J. MAI-NHU, «*« Corrosion des armatures : intérêt des inhibiteurs de corrosion et méthodologies pour le suivi durant la vie de l'ouvrage »*», Décembre 2015 .
- [24] J. Abou Zeid, «*« Méthodes de réparation et de protection des ouvrages en béton armé »*», Institut des Sciences Appliquées et Économiques - Université libanaise ISAE – Cnam Liban Centre du Liban associé au Conservatoire national des arts et métiers – Paris, [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/doc/299458167/Methodes-de-Reparation-Et-de-Protection-Des-Ouvrages-en-Beton-Arme>.
- [25] «*« La pathologie du béton »*», 07 novembre 2016. [En ligne]. Available: https://www.experts-cebtpi.org/uploads/event/file/16/Pathologieb_ton07112016.pdf.
- [26] S. KESTELOOT, « *Cour PATHOLOGIES* », [En ligne]. Available: <http://iutgc.bethune.free.fr/Feuilles/ZoneEtudiants/FI2emeAnnee/C6.pdf>.
- [27] M. A. BOUABDALLAH, A. BOUABDALLAH et H. ABDELHADI, A. FERHAOUI et N. BOUALLA, « *DIAGNOSTIC DES DÉGRADATIONS DES OUVRAGES EN BÉTON-ARME ET MÉTHODOLOGIE D'INTERVENTION* », Séminaire national de « Génie Civil », Université Badji Mokhtar-Annaba, 20 & 21 November 2007. [En ligne]. Available: https://www.researchgate.net/publication/337907774_DIAGNOSTIC_DES_DEGRADATIONS_DES_OUVRAGES_EN_BETON-ARME_ET_METHODOLOGIE_D'INTERVENTION.
- [28] «*Organisme National de Contrôle Technique de la Construction*», [En ligne]. Available:

«<http://ctc-dz.org/> ».

- [29] «Etude d'un mur de soutènement sans et avec un contrefort » Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 2011.
- [30] «Quand faut-il faire intervenir un bureau d'expertise en bâtiment ?,» [En ligne]. Available: « <https://expertises-mazet.fr/expert-technique-en-batiment/> ».
- [31] B. MAHFOUDI , « *Système expert Pour le diagnostic des structures bâtiment* », 2006.
- [32] [En ligne]. Available: « <http://coursgeniecivil.blogspot.com/2013/07/essai-de-sclerometre.html>».
- [33] [En ligne]. Available: « https://www.impbautest.ch/fr/mesures-a-lultrason-_content---1--1187.html».
- [34] [En ligne]. Available: « <https://lnhc-dz.com/essais-contrôle-béton/> ».
- [35] [En ligne]. Available: « <https://www.proviteq.com/corrosimetre-type-canin.html> ».
- [36] [En ligne]. Available: « <https://www.proviteq.com/detecteur-d-armatures-profometer-s.html> ».
- [37] «GEORADAR,» [En ligne]. Available: « http://www.geodesis.ch/wp-content/uploads/2017/03/FICHE_GEORADAR_V1.pdf ».
- [38] [En ligne]. Available: « <http://www.mon-guide-web.com/wp-content/uploads/2019/08/numrisation-laser-3d-800x300.jpeg> ».
- [39] S. Hannachi , « *EVALUATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION DU BETON SUR SITE : APPLICATION DE LA METHODE COMBINEE* », CONSTANTINE: UNIVERSITÉ MENTOURI CONSTANTINE 1, 2015.
- [40] «« Pôle diagnostic et expertise »,» 2019. [En ligne]. Available: http://www.cogeci.fr/sites/default/files/2019-05/plaquette_diagnostics_expertises_cogeci_2019.pdf.
- [41] «« EXPERTISE BÂTIMENT : LE DIAGNOSTIC TECHNIQUE D'UNE

- CONSTRUCTION EXISTANTE »,» 17 Octobre 2017. [En ligne]. Available: « https://expertises.org/fiche_pratique/expertise-batiment-le-diagnostic-technique-dune-construction-existante ».
- [42] « Fissuration du béton.,» [En ligne]. Available: « <http://www.guidebeton.com/fissuration-beton> ».
- [43] «Pathologies des bâtiments traditionnels dans le contexte spécifique des médinas marocaines, GUIDE DE RÉFÉRENCE,» [En ligne]. Available: « <http://commun.net/cms/uploads/3d6b5c151dcfc155c69a4f43717510f7e1ec433c/10.%20Guide%20Pathologies%20des%20batiments.pdf> ».
- [44] «Les rapports d'expertise de contrôle technique de constructions,» Laghouat.
- [45] «« BÂTIMENT Prévenir l'excès d'humidité : Choisir les bons matériaux »,» [En ligne]. Available: « <http://www.cnisam.fr/IMG/pdf/CNISAM-MATERIAUX-HUMIDITE-web.pdf> ».
- [46] M. Esam , « *Reasons of Cracks in Reinforced Concrete Structures, Methods of Repair* », University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences, 2015.
- [47] [En ligne]. Available: « <https://unikalo.com/peintures-facade/guide-technique-facade/eclats-de-maconnerie-et-fers-apparents/> »..
- [48] M. Lechani, S. Kenal et N. Hannachi, « *Etude statistique des sinistres dans l'est de l'algérois* ».
- [49] K. OUZAA , « *RÉHABILITATION DES STRUCTURES* », Oran: Université des sciences et de la technologie d'Oran MOHAMED BOUDIAF U.S.T.O , 2014-2015..
- [50] «« RÉHABILITATION ET MAINTENANCE DES BÂTIMENTS Chapitre 3 »,» [En ligne]. Available: <https://fr.scribd.com/document/333201848/REHABILITATION-ET-MAINTENANCE-DES-BATIMENTS-Chapitre-3>.
- [51] L.GUELMINE , « *Pathologies des Constructions* », Bordj Bou Arreridj,: Université Mohamed El Bachir El Ibrahim , 2019..

- [52] H. BELHANNACHI , «« REHABILITATION ET RENFORCEMENT DES POTEAUX EN BETON ARME »,» Juillet 2009. [En ligne]. Available: <https://bu.umc.edu.dz/theses/gcivil/BEL5452.pdf>.
- [53] S. Hamlaoui , «« Maintenance, entretien et réparation des ponts »,» 09 Décembre 2012. [En ligne]. Available: http://thesis.univ-biskra.dz/424/1/maintenances_entretien_et_reparation_des_sols.pdf.
- [54] R. LABDAOUI , « *Etude qualitative des solutions de confortement des structures endommagées par des séismes cas de portique en béton armé* ». Alger:UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE HOUARI BOUMEDIENE,2008.
- [55] R. SADONE, « *Comportement de poteaux en béton armé renforcés par matériaux composites, soumis à des sollicitations de type sismique, et analyse d'éléments de dimensionnement.* »,Paris:l'université Paris-Est,2011.

ملخص:

تعرضت بعض المباني القديمة والجديدة في ولاية الأغواط ، وهي منطقة من جنوب الجزائر ، لاضطرابات عديدة ، يمكن تصنيف أسبابها على أنها عيوب إنجاز ، تصميم ، وجعل بطبيعة تربة الأساس (عدوانية التربة).

تهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على التدهورات الرئيسية للمنشآت المعروفة في هذه المنطقة ، والأسباب الأكثر شيوعاً التي أدت إلى ظهورها ، وكذلك دراسة وتصنيف هذه الأضرار حسب مناطق هذه المنطقة وتحديد المناطق الأكثر تضرراً من هذه الأضرار. من خلال هذه الدراسة الإحصائية التي تتكون من جمع ومقارنة وتصنيف ثم تحليل تقارير الخبراء التي أعدتها هيئة المراقبة التقنية للمباني بولاية الأغواط والتي اعتمدنا عليها لإجراء هذا البحث. ركز عملنا على جانبين ، تحديد الأمراض وتشخيصها.

بعد تحديد أمراض المنشآت التي لوحظت في مدينة الأغواط ، قمنا بتجميع الحلول التي اقترحتها هيئة المراقبة التقنية للمباني بولاية الأغواط والتي اقترحنا لها حلولاً أخرى بناءً على الحالات التي تمت ملاحظتها. أخيراً ، تم اقتراح إجراءات وقائية لكل حالة مرضية بالإضافة إلى توصيات لتقليل معدل الضرر الذي يصيب الهياكل في الأغواط وتجنب نفس الأخطاء للمنشآت المستقبلية.

كلمات مفتاحية: علم الأمراض؛ أعمال البناء؛ الخبرة. إحصاء ؛ التشخيص ؛ الأغواط.

Résumé :

Quelques constructions, nouvelles anciennes de la wilaya de Laghouat, une localité qui fait partie de sud de l'Algérie, ont subi de nombreux désordres dont les causes peuvent être classés en défauts de réalisation, de conception, et aux méconnaissances de la nature du sol de fondation (agressivité du sol).

Cette étude a pour objectif de faire la lumière sur les principales dégradations des constructions connus dans cette localité, et les raisons les plus courantes qui ont conduit à leurs apparitions, ainsi qu'à étudier et classer ces dommages selon les diverses régions de cette localité et d'identifier les zones les plus touchés par ces dommages. À travers cette étude statistique qui consiste à recueillir et rassembler, classer puis analyser les rapports d'expertises élaborés par le CTC et sur lesquelles nous nous sommes appuyés afin de mener cette recherche. Notre travail s'est focalisé sur deux aspects, l'identification des pathologies et leurs diagnostics.

Après avoir recensé les pathologies des constructions constatées dans la ville de Laghouat, nous avons synthétisé des solutions proposées par le CTC auxquelles nous avons suggéré d'autres solutions en fonction des cas constatés. Enfin, des mesures préventives pour chaque cas pathologique ainsi que des recommandations ont été suggéré afin de réduire le taux de dégradations des ouvrages au niveau de Laghouat et d'éviter les mêmes erreurs pour les futures constructions.

Mots clés : pathologie ; constructions ; expertise ; statistique ; diagnostic ; Laghouat

Abstract:

Some buildings, new and old in the wilaya of Laghouat, a locality which is part of southern Algeria, have suffered numerous disorders, the causes of which can be classified as production defects, design, and ignorance of the nature of the foundation soil (soil aggressiveness).

The objective of this study is to shed light on the main deteriorations of buildings known in this locality, and the most common reasons which led to their appearances, as well as to study and classify these damages according to the various regions of this locality and identify the areas most affected by these damages. Through this statistical study, this consists of collecting and collating, classifying and analyzing the expert reports drawn up by the CTC and on which we relied in order to carry out this research. Our work has focused on two aspects, the identification of pathologies and their diagnoses.

After having identified the pathologies of the constructions observed in the city of Laghouat, we synthesized the solutions proposed by the CTC to which we suggested other solutions depending on the cases observed. Finally, preventive measures for each pathological case as well as recommendations were suggested in order to reduce the rate of damage to the structures at Laghouat level and to avoid the same errors for future constructions.

Keywords: pathology; constructions; expertise; statistics; diagnostic; Laghouat