



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR - EL OUED

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT HYDRAULIQUE ET GENIE CIVIL

2EME MASTER EN GENIE CIVIL

OPTION : MATERIAUX EN GENIE CIVIL

THEME:

DIAGNOSTIC DE QUELQUES CONSTRUCTIONS A L'USAGE D'HABITATION (CAS D'OUED RIGH)

ORGANISE PAR

- ❖ HANI Saber
- ❖ AYATI Brahim
- ❖ HEBIEB Bensalem

ENCADRE PAR

**Dr. DJEDID Tarek
Dr. SEK Lakhdar**

REMERCIEMENT

Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nos remerciements à nos parents, pour leurs soutiens et leurs encouragements pendant toute la vie et qui continueront à nous aider dans tous les projets de l'avenir. Ainsi que tous les membres de nos familles qui ont participé de près ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre Encadreur

Dr. DJEDID Tarek

pour l'encadrement de ce mémoire son aide, sa patience et sa confiance qu'elle nous a accordée. Nous tenons à remercier les membres de jury pour avoir accepté de juger notre travail.

Mes sincères remerciements vont également à tous les enseignants, du département de Génie Civil de l'université d'EL-OUED, qui a participé à notre formation.

Mes remerciements s'adressent également à **Dr. Abdelfattah AOUADJ** , Directeur de CTC Sud Centre d'El oued, pour tous les renseignements qu'ils ont pu nous fournir et leur soutien.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

« **MERCI** »

Résumé

La durabilité des structures en béton armé dépend de leur comportement dans les conditions climatiques et environnementales auxquelles elles sont exposées, et qui subissent des changements physiques et chimiques permanents dus à des agressions extérieures et intérieures, conduisant à l'apparition de pathologies nécessitant notre intervention pour élaborer un plan d'étude des cas de détérioration du béton, à commencer par le diagnostic qui repose sur diverses techniques et méthodes telles que l'observation ciblée par l'observation directe (fissures, corrosion de l'armature, carbonatation de la surface extérieure, etc.) ou par des tests non destructifs du béton pour évaluer ses propriétés mécaniques, physiques et chimiques (résistance à la compression, à l'humidité, carbonatation, porosité, etc.). Une fois les pathologies et leurs causes identifiées, nous formulons des propositions et des conseils pour les réparer selon des méthodes et techniques appropriées, qui varient en fonction de la nature et de la gravité des dommages, dans le but de prolonger la durabilité du béton armé. Cependant, la faisabilité de ces réparations n'est possible qu'en mettant en place des mécanismes préalables de surveillance, de maintenance et de renforcement.

الخلاصة

تعتمد ديمومة الهياكل الخرسانية المسلحة على سلوكها فيما يتعلق في الظروف المناخية والبيئية التي تحيط بها والتي تخضع لتغيير فيزيائي و كيميائي دائم ناتج عن عدوان خارجي أو داخلي ما يؤدي إلى ظهور أمراض في الخرسانة المسلحة تستدعي تدخلنا لأجل وضع خطة لدراسة حالات تدهور الخرسانة ابتداء بالتشخيص الذي يعتمد على عديد التقنيات والطرق كالملاحظة الهادفة بالمشاهدة المباشرة (التشققات ,صدأ حديد التسليح , تآكل السطح الخارجي....) أو بالاختبارات الغير تحطيمية للخرسانة لتقييم خصائصها الميكانيكية والفيزيائية وكذا الكيميائية (مقاومة الانضغاط , الرطوبة , التكرين ,المسامية...) وبمجرد معرفة وتحديد الأمراض و أسبابها نقوم بتقديم اقتراحات ونصائح لإصلاحها وفق طرق وتقنيات صحيحة والتي تختلف حسب نوعية ودرجات الأضرار بهدف إطالة وديمومة الخرسانة المسلحة إلا أن جدوى تلك الإصلاحات لا يتحقق إلا بوضع آليات السبق في المراقبة والصيانة والتعزيز.

Abstract

The durability of reinforced concrete structures depends on their behavior in the climatic and environmental conditions to which they are exposed, and which undergo permanent physical and chemical changes due to external or internal aggression, leading to the appearance of pathologies requiring our intervention to develop a study plan for cases of concrete deterioration, starting with the diagnosis which is based on various techniques and methods such as targeted observation through direct observation (cracks, corrosion of the reinforcement, carbonation of the exterior surface, etc. .) or by non-destructive testing of concrete to evaluate its mechanical, physical and chemical properties (resistance to compression, humidity, carbonation, porosity, etc.). Once the pathologies and their causes have been identified, we formulate proposals and advice to repair them using appropriate methods and techniques, which vary depending on the nature and severity of the damage, with the aim of extending the durability of the reinforced concrete. . However, the feasibility of these repairs is only possible by putting in place prior monitoring, maintenance and reinforcement mechanisms.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES

DIAGNOSTIC DE QUELQUES CONSTRUCTIONS A L'USAGE
D'HABITATION (CAS D'OUED RIGH)



TABLE DES MATIÈRES

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Table des matières.....	I
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	X
Liste des courbes.....	XI
Liste des acronymes.....	XII
Liste des symboles.....	XIII
Introduction général	Page A-B

CHAPITRE : I DEGRADATION DES OUVRAGE EN BETON ARMEE

I. Généralités et définitions.....	Page 04
I.1. Généralités	Page 04
I.2. Quelques définitions	Page 04
❖ Pathologie	Page 04
❖ Désordre	Page 04
❖ Sinistre	Page 04
❖ Ruine	Page 05
❖ Remède.....	Page 05
❖ Réparation	Page 05
✓ Restauration.....	Page 05
✓ Réhabilitation	Page 05
I.3. Facteurs de dégradation	Page 05
I.3.1. Classification des facteurs	Page 05
I.3.1.A. Facteurs humains	Page 05
I.3.1.B. Gestion de l'ouvrage	Page 05
I.3.1.C. Facteurs environnementaux	Page 06
I.3.1.D. Classification des causes selon leurs natures	Page 06
A. Les problèmes d'ordre physiques	Page 06
B. Les problèmes d'ordre chimique	Page 06
❖ La corrosion par les chlorures	Page 08





A. Action des chlorures	Page 08
B. Action du dioxyde de carbone (CO ₂) (carbonatation)	Page 08
❖ La réaction sulfatique	Page 09
A. Introduction.....	Page 09
B. Dégradations dues aux attaques sulfatiques dans le béton.....	Page 10
C. Sources des produits Sulfatés.....	Page 11
✚ Sources externes des produits sulfatés.....	Page 11
✚ Sources internes des sulfates.....	Page 12
D. Réactions sulfatiques différées (retardées)	Page 12
E. Réaction sulfatique externe (RSE)	Page 12
• Mécanisme de base de dégradation	Page 12
✚ Les étapes du mécanisme de l'attaque sulfatique	Page 12
F. Réaction sulfatique interne (RSI)	Page 14
• Définition	Page 14
• Prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne (RSI)	Page 15
a. Principe de la démarche préventive	Page 15
b. Précautions à appliquer	Page 16
G. Les réactions alcali – granulats	Page 17
H. Le phénomène de la carbonatation.....	Page 18
I. Action des bactéries	Page 19
I.4.dégradations des armatures métalliques	Page 20
I.4.1 corrosion des armatures d'aciers en milieu humide corrosion électrolytique :	Page 20
I.4.2 corrosion des armatures d'aciers par l'oxygène.....	Page 20
I.4.3 corrosion des armatures d'aciers par des agents chimiques agressifs:	Page 21
I.5. Classification des causes selon la période	Page 21
I.5.1 Les causes intervenant durant le processus de production	Page 21
I.5.2 Les causes intervenant durant la durée de vie du bâtiment	Page 21
I.6. Classification des causes selon le type de sollicitation	Page 19
I.6.1 modifications internes de l'équilibre	Page 22
I.6.2 modifications externes de l'équilibre	Page 22
I.6.3 facteurs de dégradations et mécanismes associés:	Page 23
I.7. Types de pathologie :	Page 24
I.7.1 fissuration:	Page 24
I.7.2 distorsion et mouvement :	Page 24





I.7.3 infiltrations et dépôts.....	Page 25
I.7.4 irrégularités de surface :	Page 25
I.7.5 pertes de masse :	Page 25
I.8. La fissuration pathologique:	Page 25
I.9. Classification des dégradations :	Page 26
➤ Les désordres bénins :	Page 26
➤ Les désordres évolutifs :	Page 26
➤ L'effondrement :	Page 27
Conclusion :	Page 27
<u>CHAPITRE : II</u> METHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC D'UN OUVRAGE EN BETON ARME	
II. Méthodologie de diagnostic d'un ouvrage en béton armé:	Page 29
II.1. Introduction:	Page 29
II.2.Procédure à suivre.....	Page 29
II.2.1. Visite préliminaire.....	Page 30
II.2.2. Inspection détaillée.....	Page 30
II.2.3. Préparation de l'inspection.....	Page 30
II.2.4. Inspection.....	Page 31
II.2.5. Investigations in situ.....	Page 31
II.3. Méthodes de mesure de la corrosion des armatures dans le béton.....	Page 31
II.3.1. Méthodes non destructives.....	Page 31
A. Relevé visuel.....	Page 32
B. Le relevé du ferrailage.....	Page 33
C. L'auscultation sonique.....	Page 34
D. Scléromètre.....	Page 35
II.3.2. Méthodes destructive.....	Page 36
A. Carottage d'éléments en béton armé.....	Page 36
B. Prélèvements d'aciers.....	Page 37
II.4. Objectifs du diagnostic de corrosion:	Page 38
A. Mesure du potentiel de corrosion:	Page 39
B. Test de la carbonatation.....	Page 40
C. Mesure de la densité des carottes:	Page 41
II.5. Conclusion sur le diagnostic.....	Page 42





CHAPITRE : III DIAGNOSTIQUE ET EXPERTISE D'UN BATIMENT DESTINEE A USAGE D'HABITATION CAS OUED RIGHE

Problématique.....	Page 44
III.1. Description du projet :	Page 44
• Fiche technique.....	Page 45
III.2. Méthodes non destructives.....	Page 46
III.2.1. Diagnostic des désordres constatés.....	Page 46
III.2.2. Relevé visuel.....	Page 46
A. Test à la carbonatation:.....	Page 48
B. Test a la chlorures:.....	Page 49
C. Essais d'humidité de béton durci	Page 49
D. Essais des températures de béton durci	Page 50
E. Les analyses chimiques	Page 51
1. Les résultats des analyses chimiques de l'eau potable:	Page 51
• Eau potable:	Page 51
• Eau forage.....	Page 52
2. Les résultats des analyses chimiques de l'eau rencontrée dans le sol.....	Page 52
F. Le scléromètre.....	Page 52
G. L'ultrasonique.....	Page 54
H. Les essais DRX.....	Page 56
I. Les essais de l'infrarouge.....	Page 49
➤ Résultats de DRX et analyse de l'infrarouge.....	Page 62
III.3. Méthodes destructive:	Page 62
III.3.1. L'intervention du laboratoire a consisté aux tâches suivantes	Page 62
A. Calcul la densité du béton à l'aide d'une balance hydrostatique.....	Page 62
Mesure de la densité des carottes.....	Page 62
B. Essai de compression: norme NA 17004.....	Page 62
C. Analyse chimique des matériaux composants le béton	Page 63
III.4. CONCLUSION	Page 66
III.5. Recommandations.....	Page 67
CHAPITRE : IV LES METHODES DE REPARATION DU BETON ARME DES OUVRAGES DEGRADEES	
IV.1 Introduction	Page 69
IV.2 Méthode de réparation	Page 69
IV.2.1. Définitions	Page 69
IV.2.2. Réparation des ouvrages en béton armé	Page 69





IV.3 Réparation des surfaces	Page 69
IV.3.1 Dégagement des armatures	Page 69
A. Armatures passives additionnelles Cas d'utilisation	Page 70
B. Armatures passives additionnelles Etudes préliminaires	Page 70
IV.3.2 Réparation avec remplacement d'armatures	Page 71
a) Choix des matériaux.....	Page 71
b) Renforcement avec ajout d'armatures	Page 71
IV.3.2 Le ragréage	Page 72
1. Préparation de surface	Page 72
2. Les techniques conseillées	Page 73
3. Les techniques peu conseillées	Page 73
4. Les techniques déconseillées	Page 73
5. Nettoyage de la surface	Page 73
6. Protection des aciers	Page 73
IV.3.4 Les produits	Page 74
A. LH avec ajout	Page 74
B. Préparation probable sur chantier	Page 74
IV.4 Application manuelle	Page 75
✓ Bétonnage en place	Page 75
✓ Le béton projeté	Page 76
✓ La technique consiste à	Page 76
✓ Projection par voie sèche	Page 76
✓ Projection par voie mouillée	Page 77
✓ Intérêt de la technique	Page 77
✓ Des cas similaires.....	Page 77
IV.5 Conclusion	Page 79
Conclusion générale.....	Page 31
Références Bibliographiques.....	Page 83





LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I :

Figure I.1: L'attaque sulfatique interne et externe au béton	Page 09
Figure I.2: Dégâts dus à une attaque sulfatique externe d'ettringite.....	Page 10
Figure I.3: Dalle en béton fissurée suite à une formation retardée.....	Page 10
Figure I.4: Efflorescences et décolorations blanchâtres ou jaune de la surface.	Page 10
Figure I.5: Fissuration réseau provoquant des éclatements du béton et décollements de la surface	Page 11
Figure I.6: Fissures dans la masse du béton et décollement entre la pâte de ciment et le granulat	Page 11
Figure I.7: Destruction complète du béton.....	Page 11
Figure I.8: Diagramme des conditions requises pour l'apparition de la RAG.....	Page 15
Figure I.9: Détérioration du béton par l'eau.....	Page 17
Figure I.10: Principe de la formation de la carbonatation.....	Page 19

CHAPITRE II :

Figure II.1 : fissurometre digital.....	Page 33
Figure II.2 : détection par fenêtres et résultats.....	Page 34
Figure II.3 : L'auscultation sonique.....	Page 35
Figure II.4 : Scléromètre.....	Page 36
Figure II.5 : Carottage d'éléments en béton armé.....	Page 37
Figure II.6 : Prélèvement d'aciers.....	Page 38
Figure II.7 : mesure de potentiel de corrosion.....	Page 39
Figure II.8 : la cartographie de potentiel de corrosion.	Page 40
Figure II.9 : Test a la carbonatation.....	Page 41
Figure II.10 : balance hydrostatique.....	Page 41
Figure II .11 : Essais de la compression des carottes.....	Page 42

CHAPITRE III:

Figure III.1: Vue aérienne de plans satiation de projet du Citer 150 Logements LPL.....	Page 44
Figure III.2: Vue aérienne de projet du Citer 150 Logements LPL.....	Page 45
Figures III.3: Corrosion avancée des armatures au niveau des éléments en béton armé (niveau des Poutres et palies d'escaliers).....	Page 47
Figure III.4: La perte de l'adhérence acier-béton et de la rouil	Page 47





Figure III.5: Appariation des taches mauvaise qualité du béton ainsi le chute de l'enrobage...	Page 47
Figure III.6: Eclatements de l'enrobage au niveau des poutres.....	Page 47
Figure III.7 Fissures et Gonflement et des parements chlore.....	Page 48
Figure III.8 attaque des poutrelles par le chute des parements inferieurs des planchers (corps creux)	Page 48
Figure III.9 Présence des regards d'évacuation des eaux usées dégradés au voisinage des bâtiments.	Page 48
Figure III.10 Des fuites au niveau de l'alimentation en eau potable et traces liées a la traces liées a la Présence du sel.	Page 48
Figure III.11 Fissures et gondolement de l'enrobage au niveau de la zone nodal poteaux et poutres.....	Page 48
Figure III.12 remonter par capillarite de l'agressivité de sol... ..	Page 48
Figures III.13 Front de carbonatation déterminée par pulvérisation d'une solution de Phénolphtaléine sur une surface fraîche	Page 49
Figures III.14 Migration de chlorure, précipitation visible blanc de chlorure d'argent.....	Page 49
Figures III.15: Essais d'humidite	Page 49
Figures III.16 Essais des températures.....	Page 50
Figures III.17: essais du scléromètre.....	Page 53
Figures III.18: appareil ultrasonique.	Page 55
Figures III.19: balance hydrostatique.....	Page 62
Figures III.20: Essais de la compression des carottes.....	Page 63
CHAPITRE IV:	
Figure IV.1 : Dégagement des armatures selon la norme NF P 95.101.....	Page 70
Figure IV.2: Remplacement des armatures.....	Page 71
Figures IV.3 L'image montre un poteau en béton armé en cours de chemisage.....	Page 72
Figures IV.4 : Renforcement avec ajout d'armatures de poutre.....	Page 72
Figure IV. 5: Enlèvement du béton dégradé et détournage des armatures.....	Page 73
Figures IV. 6: Mise en place d'un passivant si nécessaire.....	Page 74
Figure IV. 7 : Les mortiers de réparation PCI Nano crêt®.....	Page 74
Figures IV.8: Ragréage manuelle de mortier.....	Page 74
Figure IV. 9 : Coulage de béton.....	Page 75
Figure IV. 10 : Projection par voie sèche.....	Page 76
Figure IV.11: Projection par voie mouillée.....	Page 77



LISTE DES FIGURES



Figure IV.12: Consiste à renforcer la dalle endommagée pour plus de sécurité.....	Page 78
Figure IV.13: Démolition et Décapage du béton détérioré avec un bon nettoyage de l'armature de prose métallique (intérieur)	Page 78
Figure IV.14: Protection la armature de nervure et poutrelle, poutre et en utilisant (Sika monotop1010)(Anti-corrosion).	Page 78
Figure IV.15: Résine époxydique de reprise de bétonnage (Sika dur A/B) pour collage de béton frais sur béton durci.	Page 78
Figure IV.16: Enlever et gratter la rouille un brosse métallique et ragréage manuelle de poutre intérieur et extérieur de mortier de réparation en (SIKAMONOTOP SF126) .et (SIKAMONOTOP 4012)	Page 79
Figure IV.17: Remoulage et coulage le delle et élément structurelle à l'aide d'un vibreur.	Page 79
Figure IV.18: Réalisation de l'étanchéité à base de bitume.	Page 79





LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I :

Tableau I .1 : Classes d'Exposition	Page 07
Tableau I .2 : Sources des Sulfates	Page 11
Tableau I .3 : Solubilité des différents sulfates dans l'eau à 20°C.....	Page 14
Tableau I .4 : Catégorie d'ouvrage.....	Page 15
Tableau I .5 : Classes d'exposition spécifiques à la RSI.....	Page 16
Tableau I .6 : Niveaux de prévention.....	Page 16
Tableau I .7 : température maximale susceptible d'être atteinte au cœur du béton.....	Page 16
Tableau I.8 : Classification des facteurs de dégradations et leurs mécanismes associés....	Page 23/24

CHAPITRE II :

Tableau II .1 : Résultats d'essais d'auscultation sonique des bétons-(CEBTP)	Page 35
--	---------

CHAPITRE III:

Tableau III.1: fiche technique.....	Page 45
Tableau III.2 : résultats des humidités de bloc 09.	Page 50
Tableau III. 3 : Résultats des températures de bloc 09.	Page 51
Tableau III.4 : Résultats des analyses chimiques de l'eau potable.....	Page 51
Tableau III.5 : Résultats des analyses chimiques de l'eau forage.....	Page 52
Tableau III.6 : Résultats des analyses chimiques de l'eau rencontrée dans le sol.	Page 52
Tableau III.7 : Résultats des essais scléromètre de bloc 09.	Page 53
Tableau III.8 : Résultats des essais scléromètre de bloc 16.	Page 54
Tableau III.9 : Résultats d'essais d'auscultation sonique des bétons-(CEBTP) référence.	Page 55
Tableau III.10 : Résultats des essais ultrasonique de bloc 09.	Page 55
Tableau III.11 : Résultats des essais ultrasonique de bloc 16.	Page 56
Tableau III.12. Résultats des essais de la densité des carottes de bloc 09.	Page 58
Tableau III.13. Résultats des essais de la résistance à la compression simple RC des carottes de bloc 09.	Page 58
Tableau III.14. Analyse chimique des matériaux composants le béton de bloc 09.	Page 60





LISTE DES COURBES

CHAPITRE I :

Courbe I.1: Expansion linéaire de cubes de mortier immergés dans diverses solutions de sulfate.....	Page 14
Courbe I.2: Gradient de ph en fonction de la profondeur carbonatée.....	Page 18

CHAPITRE III:

Courbe III.1: Résultats des essais de DRX d'échantillon 01.....	Page 57
Courbe III.2: Résultats des essais de DRX d'échantillon 02.....	Page 58
Courbe III.3: Résultats des essais de DRX d'échantillon 03.....	Page 58
Courbe III.4: Résultats des essais de DRX d'échantillon 04.....	Page 59
Courbe III.5: Résultats des essais d'infrarouge d'échantillon 01.....	Page 60
Courbe III.6: Résultats des essais d'infrarouge d'échantillon 02.....	Page 60
Courbe III.7: Résultats des essais d'infrarouge d'échantillon 03.....	Page 61
Courbe III.8: Résultats des essais d'infrarouge d'échantillon 04.....	Page 61





LISTE DES ACRONYMES

NF :	Norme française
CN :	Canadien norme
EN :	Européen norme
DRX :	Diffraction des rayons X
IR :	Infrarouge
LCPC :	Laboratoire central des ponts et chaussées
LPL :	Logements promotionnels libres
RAG :	Réaction alcali granulats
RSI :	Réaction sulfatique interne
RHP :	Réhabilitation de l'habitat Précaire
PH :	Potentiel hydrogène
CEBTP :	Centre Expérimental et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics
ASTM :	American Standards of Technical Material
COV :	Composé organique volatil
OPGI :	Office National de Promotion et de Gestion Immobilière
DPU :	Durée pratique d'utilisation
TDS :	Total des solides



LISTE DES SYMBOLES



E/c : Rapport eau / ciment .

E : Le potentiel (mv)

fcm : Résistance moyenne à la compression du béton .A

V : Vitessé de propagation du son (m/s) .



INTRODUCTION GENERALE

DIAGNOSTIC DE QUELQUES CONSTRUCTIONS A L'USAGE
D'HABITATION (CAS D'OUED RIGH)



INTRODUCTION GENERALE

La durabilité des ouvrages en béton armé dépend de leur comportement face aux conditions climatiques et environnementales qui existent dans les milieux où ils sont construits. Ces ouvrages sont souvent exposés à de nombreuses agressions physico-chimiques auxquelles ils doivent résister afin de remplir de façon satisfaisante pendant leur période d'utilisation, toutes les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus.

Lorsqu'ils ne peuvent résister à ces agressions, des désordres dont le plus fréquent est la corrosion des armatures apparaissent dans le béton de ces structures.

Ces désordres sont généralement dus à des défauts de conception, à une mauvaise mise en œuvre ou à des causes accidentelles ; ils hypothèquent la durabilité, la résistance et la stabilité des ouvrages et peuvent entraîner leur dégradation, leur ruine.

Aujourd'hui, la plus part des infrastructures en génie civil sont en béton armé, dont la majorité et surtout les ouvrages routiers ont atteint un seuil de dégradation important et même parfois la fin de leur vie utile. Il est donc temps de les réhabiliter ou de les remplacer.

Le remplacement de ces ouvrages pose en plus du problème de financement, le problème de mise en service et les délais précieux lors de leur remplacement.

De même il y a plusieurs structures dégradées qui ne doivent pas obligatoirement être démolies. Alors il est nécessaire de chercher d'autres méthodes telle que la réparation pour prolonger leur vie utile.

Il existe actuellement plusieurs méthodes de protection ou de réparation. Celles-ci agissent directement au niveau de l'acier (revêtements organiques ou métalliques des armatures, inhibiteurs de corrosion, protection cathodique) ou au niveau du béton, soit en empêchant la pénétration d'éléments agressifs (revêtement du béton par des peintures spéciales), soit en réhabilitant la qualité du béton (changement des parements, déchloruration, ré-alcalinisation).





Des études faites à travers le monde montrent que la corrosion des armatures est responsable de la dégradation de 75% des ouvrages en béton armé et absorbe la plus grande partie des ressources financières destinées aux activités d'entretien et de renouvellement des ouvrages de génie civil; ceci est la preuve que ce phénomène doit être pris très au sérieux.

Que de nombreux ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion des armatures exigent de nouvelles interventions peu de temps seulement après qu'ils aient été réparés pour la même raison a attiré notre attention et nous a amené à penser que la corrosion qui fait tant de mal à nos ouvrages en béton armé n'est pas traitée avec tout le sérieux qui doit lui être dû.

Cela peut résulter du fait que beaucoup d'ingénieurs et de techniciens ne procèdent pas au préalable à des investigations sérieuses pour évaluer l'ampleur des dégâts dans la structure avant d'engager des travaux de réparation, soit par leur méconnaissance du phénomène de la corrosion et de la démarche à suivre pour résoudre les problèmes de corrosion, soit alors qu'ils ne se fient uniquement qu'à l'apparition des dégradations visuelles sur l'ouvrage telles que : les tâches de rouille, les infiltrations d'eau, l'éclatement du béton, les fissures...Les conséquences qui en découlent sont : la non détection des dégradations cachées qui vont se propager avec le temps, le risque de baser les travaux sur un concept erroné, la mauvaise évaluation du coût des réparations.

Pour remédier à cette situation et œuvrer à la réhabilitation efficace et durable des ouvrages en béton, nous avons décidé de travailler pour notre mémoire de fin d'étude, sur le thème « DIAGNOSTIC DE QUELQUES CONSTRUCTIONS A L'USAGE D'HABITATION (CAS D'OUED RIGH)».

Les objectifs visés par notre étude sont :

- Expliquer les mécanismes de la Dégradations et le déférant pathologie du béton armé.
- Présenter les techniques et méthodologie de diagnostic d'un ouvrage en béton armé.
- Diagnostique et expertise d'un bâtiment destinée à usage d'habitation cas oued Righ
- Les méthodes de réparation du béton arme des ouvrages dégrades



CHAPITRE I

DEGRADATION DES OUVRAGE EN BETON ARMEE

DIAGNOSTIC DE QUELQUES CONSTRUCTIONS A L'USAGE
D'HABITATION (CAS D'OUED RIGH)

**I. DEGRADATION DES OUVRAGE EN BETON ARMEE****I.1. Généralités :**

Les bâtiments sont soumis à un processus permanent de dégradation physique à cause de leur usage et sous l'action de l'environnement extérieur.

Ils sont, malgré leur aspect et leurs différents composants très sensibles à l'action des facteurs climatiques (du soleil, de la pluie, du froid ou la chaleur) et de toutes les autres actions naturelles. L'action des usagers est aussi l'une des causes de la détérioration progressive de leurs différents éléments.

Traditionnellement les matériaux de construction étaient recherchés dans la nature, à proximité du lieu de la construction, notamment la pierre, le sable, la terre et le bois. A titre d'exemple, la pierre calcaire est la plus utilisée dans la construction en Algérie.

I.2. Quelques définitions :**❖ Pathologie :**

Ce terme est depuis peu utilisé en bâtiment. L'étude des désordres et surtout l'étude statistique, systématique et ordonnée des désordres et des sinistres sont en effet, relativement récents.

La signification de ce terme issu de la science médicale est la suivante:

D'après le Robert : « Science qui a pour objet l'étude et la connaissance des causes et symptômes des maladies ».

Si l'on applique cette définition au bâtiment, les maladies seraient les désordres qui, en s'aggravant, donnent lieu à des sinistres ; ces derniers pouvant conduire à la ruine des ouvrages.

D'après le Littré : « Science qui traite de tous les désordres survenus soit dans la disposition des organes, soit dans les actes qu'ils remplissent ».

La transposition de ce terme au bâtiment est assimilable à la notion de transformation, réparations après désordres ou sinistres et, à la limite, reconstruction.

❖ Désordre :

On peut retenir :

D'après le Robert : « Altération, perturbation, trouble ».

D'après le Littré : « Dérangement, dérèglement, vice, perturbation, trouble »

❖ Sinistre :

D'après le Robert : « événement catastrophique naturel qui occasionne des dommages, des pertes... ».

D'après le Littré : « pertes et dommages qui arrivent aux assurés surtout en cas d'incendie, de naufrage... ».

Ce terme est couramment utilisé en matière d'assurance.





C'est en fait l'aggravation des désordres qui conduit aux sinistres et éventuellement à la ruine partielle ou totale d'un ouvrage.

❖ **Ruine :**

D'après le Robert, une ruine est la «grave dégradation d'un édifice allant jusqu'à l'écroulement partiel ou total». Le Littré donne une autre définition: «destruction d'un bâtiment qui tombe de lui-même ou que l'on fait tomber». En d'autres termes, la ruine constitue l'état ultime, limite ou final d'une construction ou d'un ouvrage après destruction partielle ou totale. «Tomber en ruine» signifie «crouler, s'effondrer». Il y a donc gradation des dommages puisque l'on arrive à l'effondrement ou à la destruction totale ou partielle de l'ouvrage.

❖ **Remède :**

L'origine de ce mot est médicale:

D'après le Robert, «Remèdes» désigne «tout ce qui est employé au traitement d'une maladie». Un terme analogue est proposé est celui de «solution».

❖ **Réparation :**

Ce terme correspond aux opérations nécessaires au maintien de l'ouvrage après sa construction.

On peut distinguer deux types de réparations: petites et grosses.

- **Restauration:** Les travaux de restauration visent à remettre un bâtiment ou un ouvrage dans son état originel du fait de son intérêt architectural ou historique
- **Réhabilitation:** Des travaux de réhabilitation visent à la fois à renforcer un bâtiment et à le remettre en état en le dotant des éléments de confort moderne: Apport d'isolation thermique, Modernisation des installations intérieures (réseaux: électricité, chauffage, fluides, sanitaire).

I.3. Facteurs de dégradation :

I.3.1. Classification des facteurs :

I.3.1.A. Facteurs humains :

- Mauvaise conception et/ou mise en œuvre.
- Vandalisme.
- Usure.
- Endommagement.
- Excavations et autres fouilles.
- Guerres...

I.3.1.B. Gestion de l'ouvrage :

- Maintenance.





- Entretien.
- Etude de faisabilité.
- Etude de management à long terme.

I.3.1.C. Facteurs environnementaux :

- Climat –température.
- Humidité.
- Agents atmosphériques.
- Vent, pluies, neige...
- Eaux.
- Eaux souterraines.
- Conditions hydrogéologiques du sol (nappe phréatique).
- Infiltrations pollution.
- Pollution biologique.
- Pollution du sol.
- Pollution chimique.
- Phénomènes physiques-séisme.
- Infrastructures environnantes.
- Trafic.
- Vibrations.
- Transports lourds-inondations.
- Excavations.
- Menaces des bâtiments environnants.
- Installations souterraines.
- Catastrophes naturelles.

I.3.1.D. Classification des causes selon leurs natures :

Il existe différents processus de dégradations dont voici une liste non exhaustive

A. Les problèmes d'ordre physiques :

Les problèmes au moment de la conception et de la réalisation de l'ouvrage :

Ceux -ci peuvent conduire à des irrégularités de surface (mauvaise résistance locale), à des zones d'enrobage trop faible (risque accru de corrosion), à des fissures dues à une surcharge, à des problèmes au niveau de la dilatation en cours d'hydratation ou lors de l'exploitation de l'ouvrages.les problèmes liés à l'erosions par le vent, le sable, la pluie ou l'humidité. Il existe des cas de corrosion des armatures, suite à ces différents paramètres

B. Les problèmes d'ordre chimique :



La norme NF EN 206-1 : Spécifications, performances, production et conformité (remplacée par NF 206-1/CN), impose des exigences pour la résistance du béton aux diverses conditions environnementales auxquelles il est soumis pendant la durée d'utilisation de la structure. Ces conditions environnementales sont résumées par des classes d'exposition (regroupées en 6 familles)

- ✓ **Classe X0** : Aucun risque de corrosion ou d'attaque
- ✓ **Classe XF1, XF2, XF3, XF4** : Attaques gel/dégel avec ou sans agents de déverglaçage
- ✓ **Classe XS1, XS2, XS3** : Corrosion induite par les chlorures présents dans l'eau de mer
- ✓ **Classe XC1, XC2, XC3, XC4** : Corrosion induite par carbonatation
- ✓ **Classe XD1, XD2, XD3** : Corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine
- ✓ **Classe XA1, XA2, XA3** : Attaques chimiques

Tableau I.1 : Classes d'Exposition

DESIGNATION DE LA CLASSE	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT	EXEMPLES ILLUSTRANT LE CHOIX DES CLASSES D'EXPOSITION
1 Aucun risque de corrosion ni d'attaque		
X0	Très sec	Béton à l'intérieur de bâtiments ou le taux d'humidité de l'air ambiant est très faible
2 Corrosion induite par carbonatation		
XC1	Sec	Béton à l'intérieur des bâtiments avec humidité de l'air faible
XC2	Humide, rarement sec	Éléments de structure de rétention des eaux ; un grand nombre des foundations
XC3	Humidité modérée	Béton à l'intérieur de bâtiments ou le taux d'humidité de l'air ambiant est moyen ou élevé ; béton extérieur abrité de pluie
3 Corrosion induite par les chlorures		
XD1	Humidité modérée	Surfaces en béton directement exposées à des embruns contenant des chlorures
XD2	Humidité, rarement sec	Piscines, béton exposé à des eaux industrielles contenant des chlorures
XD3	Périodes d'humidité alternant avec des périodes sèches	Éléments de ponts ; chaussées ; dalles de parc de stationnement de voitures
4 Corrosion induite par les chlorures de l'eau de mer		
XS1	Exposé à l'air véhiculant du sel marin, mais pas en contact direct avec l'eau de Mer	Structures sur ou à proximité d'une côte
XS2	Immergé	Éléments de structures marines
XS3	Zones de marnage ; soumises à des éclaboussements ou à des embruns	Éléments de structures marines
5 Attaques gel/dégel		





XF1	Saturation modérée en eau sans agent de déverglaçage	Surfaces verticales de bétons exposées à la pluie et au gel
XF2	Saturation modérée en eau avec agent de déverglaçage	Surfaces verticales de bétons des ouvrages routiers exposées au gel et à l'air véhiculant des agents de déverglaçage
XF3	Forte saturation en eau, sans agent de déverglaçage	Surfaces horizontales de bétons exposées à la pluie et au gel
XF4	Forte saturation en eau, avec agents de déverglaçage	Routes et tabliers de pont exposés aux agents de déverglaçage et surfaces de bétons verticales directement exposées aux éclaboussures d'agents de déverglaçage et au gel
6 Attaques chimiques		
XA1	Environnement à faible agressivité chimique	
XA2	Environnement d'agressivité chimique modérée	
XA3	Environnement à forte agressivité chimique	

Liés à la composition du béton ou à son environnement :

Le phénomène de la carbonatation, la corrosion par les sels, les réactions sulfatique, les réactions alcali-granulats et les problèmes liés aux bactéries se développant dans le béton.

❖ La corrosion par les chlorures:

A. Action des Chlorures :

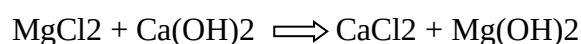
On distingue deux effets nocifs des chlorures :

- 1^{er} effet : sur les aciers des armatures du béton armé : la corrosion des aciers.
- 2^{eme} effet : sur le béton. L'action des chlorures sur le béton peut causer l'altération du liant lorsque les chlorures sont présents en proportions élevées.

On peut résumer l'action des chlorures sur le béton comme suit :

- Une partie des chlorures est fixée par le C-S-H.
 - Une partie se combine au (C3A) sous forme des monochloroaluminates de calcium (C3A.Ca Cl₂.10H₂O), qui est instable, et qui donne en présence de sulfates : l'ettringite (C3A.3CaSO₄.32H₂O), qui peut causer un gonflement et éventuellement la fissuration du béton.
- Remarque : le C3A.Ca Cl₂.10H₂O est aussi appelé sel de Friedel.

- Le chlorure de magnésium réagit également avec la portlandite, suivant la réaction d'échange suivante :



Portlandite

Brucite

La brucite est insoluble et se dépose à la surface du béton, tandis que le chlorure de calcium réagit avec les aluminates pour former du mono-chloro-aluminate.

B. Action du Dioxyde de Carbone (CO₂) (Carbonatation)

Il réagit sur la portlandite selon la réaction suivante :





Carbonate de calcium

Le carbonate de calcium précipite à la surface du béton sous forme d'aragonite et de calcite qui colmate les pores.

❖ La réaction sulfatique :

A. Introduction

Les sulfates représentent un risque majeur d'agression chimique pour le béton. L'attaque du béton par des sulfates provoque l'expansion du béton. Selon l'origine des sulfates, on peut avoir des attaques sulfatiques internes ou externes.

LES SULFATES (Sources : Externe et/ou Interne au béton)

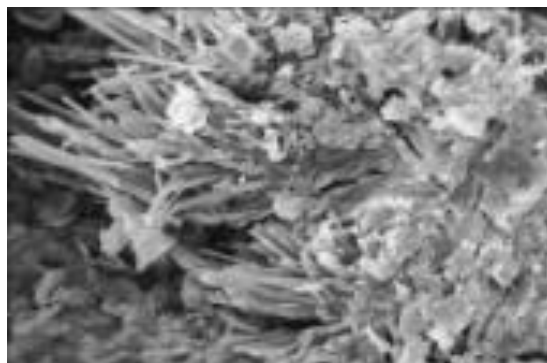
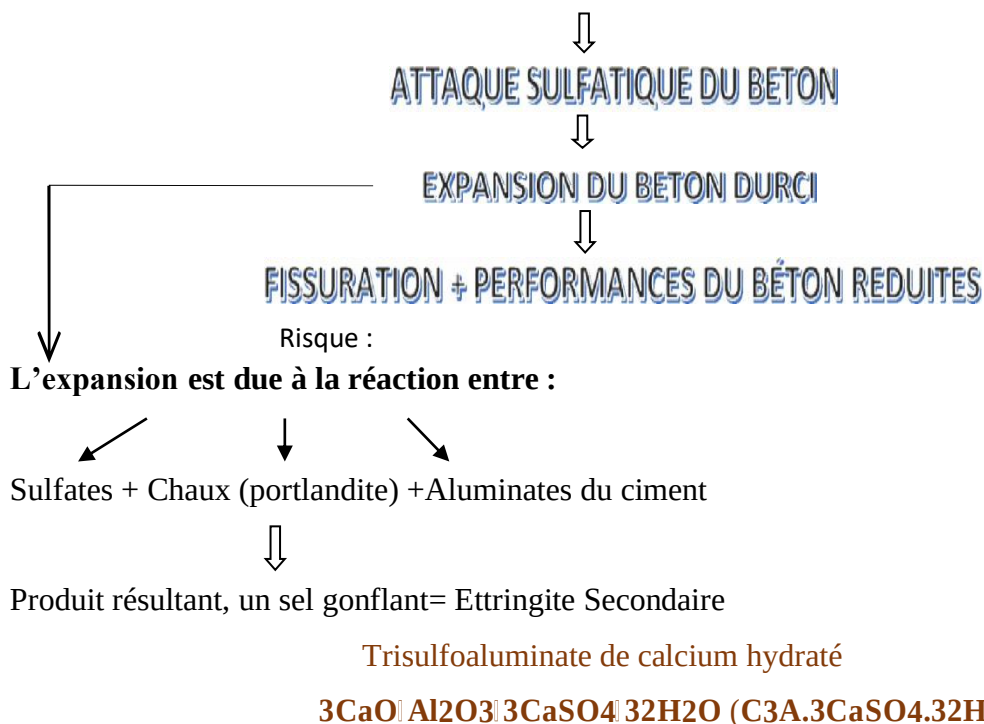


Figure I.1: L'attaque sulfatique interne et externe au béton

On distingue deux formes d'ettringite :





- **Ettringite Primaire** : bien cristallisée, se forme aux premiers âges de l'hydratation au moment de la prise du ciment donc en phase fluide du béton. Cette ettringite ne constitue aucun danger pour le béton.
- **Ettringite Secondaire** : mal cristallisée, se produit lorsque le béton est déjà durci, cette ettringite peut alors provoquer un gonflement qui peut éventuellement causer la fissuration et la dégradation du béton. Notons, qu'à basse température ($<10^{\circ}\text{C}$) l'attaque sulfatique donne lieu à ce qu'on appelle de la **Thaumasite** ($\text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 15 \text{H}_2\text{O}$), qui mène surtout à la transformation du béton en une sorte de masse ramollie. [1]

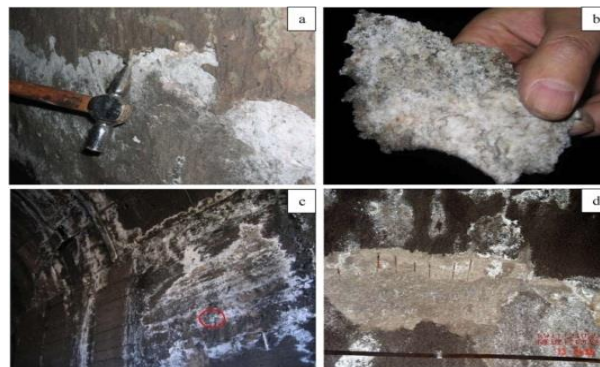


Figure I.2: Dégâts dus à une attaque sulfatique externe d'ettringite



Figure I.3: Dalle en béton fissurée suite à une formation retardée

Effet de l'attaque sulfatique (externe et interne) sur le béton (Figure I.2 et Figure I.3)

B. Dégradations dues aux attaques sulfatiques dans le béton

Les attaques par des sulfates produisent les dégradations suivantes: [1]



Figure I.4: Efflorescences et de colorations blanchâtres ou jaune de la surface.



Figure I.5: Fissuration réseau provoquant des éclatements du béton et décollements de la surface.



Figure I.6: Fissures dans la masse du béton et décollement entre la pâte de ciment et le granulat.



Figure I.7: Destruction complète du béton

C. Sources des produits Sulfatés

Tableau I.2 : Sources des Sulfates

Sources des Sulfates	Sources Externes	Attaque sulfatique externe
	Sources Internes	Attaque sulfatique interne

La différence entre les attaques sulfatique externes et internes : l'attaque externe commence par la surface puis pénètre peu à peu vers le cœur (en fonction de la perméabilité du béton).

✚ Sources externes des produits sulfatés

- Eaux souterraines sulfatées (ou eaux séléniteuses) se chargent au contact des sols sulfatés ou contaminées.
- Sols riches en sulfates, sols alluviaux ou argileux qui peuvent contenir des pyrites qui s'oxydent en sulfates au contact de l'air et de l'humidité. Les sulfates sous forme de sels solides n'attaquent pas le béton, il faut qu'ils soient en solution pour qu'ils réagissent avec la pâte du ciment hydratée.



Remarque : dans les sols et eaux souterraines on retrouve le MgSO_4 , K_2SO_4 , Na_2SO_4 , CaSO_4 ; mais c'est surtout les trois premiers types de sulfates, qui se trouvent en concentrations élevées plutôt que le CaSO_4 , car ayant les solubilités les plus élevées (Tableau 5).

➤ Milieu marin.

➤ Les attaques bactériologiques qui se produisent dans les structures en contact avec des eaux usées. Lors de longs séjours des eaux usées, l'activité bactérienne entraîne la formation d'hydrogène sulfuré (H_2S) gazeux, qui se transforme en acide sulfurique (H_2SO_4), réagissant avec la portlandite ensuite avec les aluminates du ciment, pour former de l'ettringite secondaire. [2]

✚ **Sources internes des sulfates** : Constituants du béton :

➤ Granulats : granulats riches en pyrites ou sulfures de fer mal cristallisés (qui en s'oxydant donnent des sulfates ferreux qui attaquent la portlandite), granulats pollués, granulats de nature minéralogique sulfatique...

➤ Eau de gâchage.

➤ Excès de gypse dans le ciment (la teneur du gypse dans un ciment courant $\sim 5\%$).

D. Réactions sulfatiques différées (retardées) :

Se produit lors d'une élévation de la température du béton (chaleur d'hydratation, traitement thermique), dans ce cas la réaction sera incomplète entre le C3A et le gypse. Cette réaction se produit à long terme quand le béton est durci : formation d'ettringite secondaire.

E. Attaque sulfatique d'origine externe :

Mécanisme de base de dégradation

✚ **Les étapes du mécanisme de l'attaque sulfatique :**

- ❖ Mise en contact : surface béton/solution agressive
- ❖ Pénétration dans le béton des anions SO_4^{2-} et des cations associés (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ + ...)
- ❖ Substitution (Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ + ...) $\rightarrow$ Ca^{2+} (de la pâte de ciment) $\rightarrow$ formation de gypse
- ❖ Réaction : ions sulfates avec aluminates du béton et formation d'ettringite. La cristallisation

de l'ettringite engendre des contraintes, si elles dépassent R_t du béton $\rightarrow$ Fissuration du béton

$\rightarrow$ la perméabilité du béton augmente $\rightarrow$ accentuation de l'attaque sulfatique.

✚ Schématiquement, la formation de l'ettringite se fait en deux étapes :

- Formation du Gypse dit Secondaire :

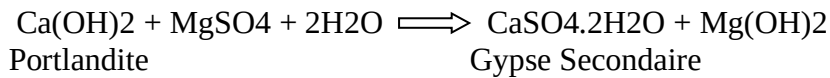
Les sulfates attaquent la portlandite pour former du gypse secondaire par substitution ionique, exemple :

- ❖ **Les sulfates d'alcalins** (sulfate de sodium Na_2SO_4 ou sulfate de potassium K_2SO_4) :

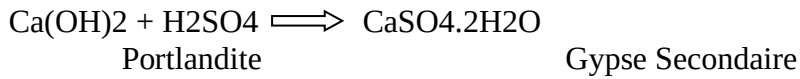




❖ **Le sulfate de magnésium $MgSO_4$:**

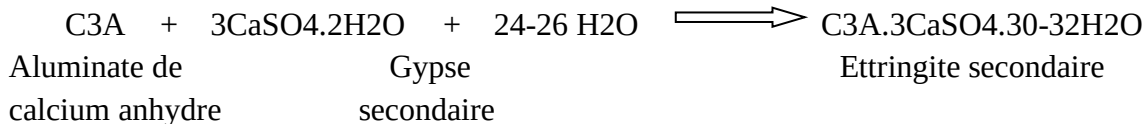


❖ **L'acide sulfurique H_2SO_4 :**

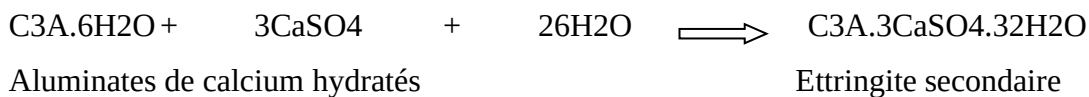
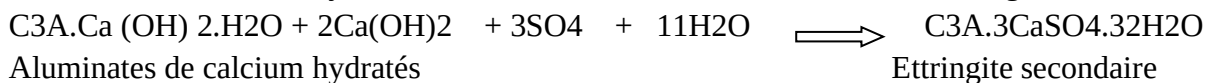
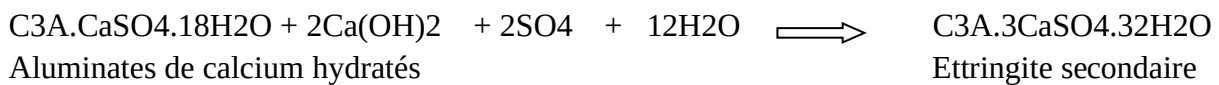


- Réaction entre le gypse secondaire et les aluminates de calcium du ciment :

- Soit à partir de reliquats de C_3A anhydre (C_3A qui n'a pas réagi)



- Soit à partir d'aluminates hydratés, dont il existe plusieurs formes, exemple :



➤ La formation de l'ettringite nécessite un apport important d'eau, car sa cristallisation demande 32 molécules d'eau. Donc ce type de dégradation se rencontre dans les environnements humides.

➤ Donc les produits les plus sensibles à l'attaque sulfatique sont les aluminates et la portlandite.

➤ L'importance de l'expansion du béton due à l'ettringite dépend de la solution interstitielle, particulièrement la concentration en portlandite.

➤ La détérioration du béton par les sulfates → mécanismes physico-chimiques nuisibles :

- Expansion par formation d'ettringite secondaire ;
- Perte des propriétés liantes des C-S-H et consommation de la portlandite et d'aluminates de calcium : altération de certains hydrates.

- Perte de masse du béton en surface.

➤ L'effet destructeur de l'attaque sulfatique dépend surtout de :

- De la concentration des ions sulfatés SO_4^{2-}
- Les cations associés. Ainsi les sulfates les plus agressifs sont : les sulfates de Magnésium

qui est très fortement agressif, d'ammonium, de calcium et de sodium.

Généralement la nocivité d'un sulfate est en fonction de sa solubilité. (voir Tableau I.3).

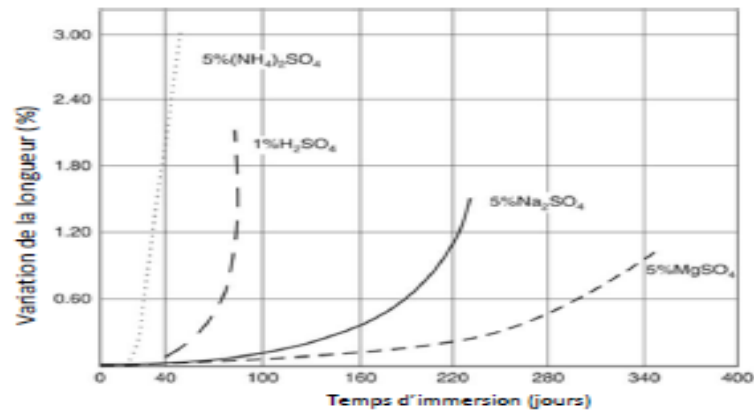




Tableau I.3 : Solubilité des différents sulfates dans l'eau à 20°C

Sulfate	K_2SO_4	Na_2SO_4	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	$CaSO_4$	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Solubilité (g/l)	111	58	194	440	260	2,1	1,2

Remarque : le magnésium est très agressif parce qu'il peut avoir deux actions néfastes, formation de l'ettringite, et réaction du Mg avec le C-S-H et formation de M-S-H sans propriétés liantes.



Courbes I.1: Expansion linéaire de cubes de mortier immergés dans diverses solutions de sulfate [3]

F. Réaction sulfatique interne (RSI)

• Définition :

Une réaction sulfatique interne (RSI) survient lorsque l'origine des ions sulfatés est interne au béton,

Ils sont déjà présents dans les constituants du béton (ciment, granulats). Cette attaque intervient surtout dans des bétons soumis à un traitement thermique (préfabrication) ou dans des éléments massifs de béton (épaisseur > 80 cm).

Sous des températures élevées pendant le durcissement du béton (> 60° C), il se forme surtout des monosulfites et carbonates au lieu de l'ettringite. En présence d'eau (ou d'humidité), ces monophasés peuvent réagir avec les sulfates disponibles le béton et former de l'ettringite secondaire (le béton est déjà durci) : détérioration interne du matériau béton. Description des désordres : fissuration multidirectionnelle à maille assez large (10-30 cm) désordres assez similaires à la RAG.

Trois conditions doivent être réunies simultanément pour la manifestation de la RSI.



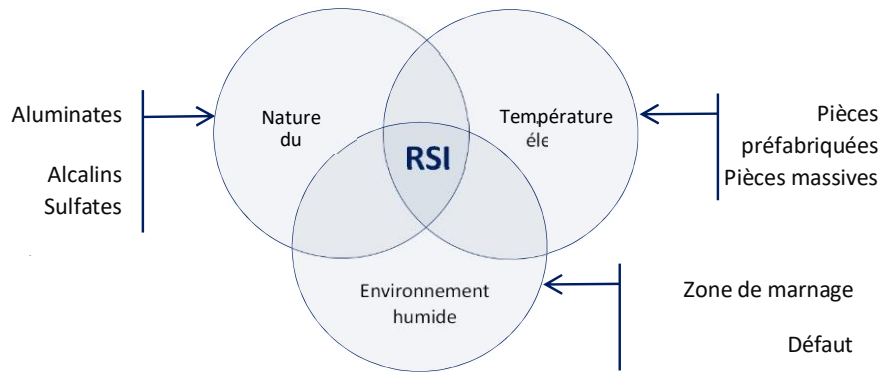


Figure I.8: Diagramme des conditions requises pour l'apparition de la RAG

- **Prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne (RSI)**

Le guide « Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne »

Propose des dispositions pour limiter les risques potentiels de RSI :

- ✓ Au niveau de la conception et du dimensionnement des ouvrages et de la formulation,
- ✓ Lors de la fabrication et du transport du béton,
- ✓ Au cours de la mise en œuvre : il faut éviter le coulage des ouvrages en périodes de forte chaleur ou de mettre en œuvre tous les moyens nécessaires pour réduire la température du béton.

Objectifs des dispositions :

- D'éviter les contacts prolongés du béton avec l'eau,
- De limiter la température atteinte au cœur du béton.

❖ **Principe de la démarche préventive :**

- 1) Déterminer le niveau de prévention à atteindre (Tableau III) en fonction de :
 - a. Catégorie de l'ouvrage (ou la partie d'ouvrage) : importance de l'ouvrage (Tableau I).
 - b. Classe d'exposition en fonction des actions dues à l'environnement (Tableau II).
- 2) Appliquer la (ou les) solution(s) possible(s) au regard des précautions liées au niveau de prévention retenu. Ensuite, à vérifier que la formulation prévue pour le béton est satisfaisante.

Tableau I.4 : Catégorie d'ouvrage

Catégorie d'ouvrage	Niveau de conséquences d'apparition des désordres	Exemples d'ouvrage ou de parties d'ouvrage
I	Faibles ou acceptables	Ouvrage en béton de classe de résistance < C16/20 Eléments non porteurs de bâtiment
II	Peu tolérable	Eléments porteurs de la plupart des bâtiments et ouvrages de Génie civil
III	Inacceptable ou quasi inacceptable	Bâtiments pour réacteurs de centrales nucléaires Barrages, tunnels Ponts et viaducs exceptionnels





Tableau I .5 : Classes d'exposition spécifiques à la RSI

Classe d'exposition	Description de l'environnement	Exemples informatifs
XH1	Sec ou humidité modérée	Partie d'ouvrage en béton située à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est faible ou moyen Partie d'ouvrage en béton située à l'extérieur et abritée de la pluie
XH2	Alternance d'humidité et de séchage Humidité élevée	Partie d'ouvrage en béton située à l'intérieur de bâtiments où le taux d'humidité de l'air ambiant est élevé Partie d'ouvrage en béton non protégée par un revêtement et soumis aux intempéries
XH3	En contact avec l'eau Immersion permanente Stagnation d'eau à la surface Zone de marnage	Partie d'ouvrage en béton submergée en permanence dans l'eau Eléments de structure marine Partie d'ouvrage en béton régulièrement exposée à des projections d'eau

Tableau I .6 : Niveaux de prévention

Catégorie d'ouvrage	Classe d'exposition		
	XH1	XH2	XH3
I (Risque faible ou acceptable)	As	As	As
II (Risque peu tolérable)	As	Bs	Cs
III (Risque inacceptable)	As	Cs	Ds

❖ **Précautions à appliquer :**

Limitation de la température maximale susceptible d'être atteinte au cœur du béton T_{max} .

(T_{limite} est la température limite du béton ne pouvant être dépassée)

Tableau I .7 : température maximale susceptible d'être atteinte au cœur du béton

Niveau de prévention	Température maximale du béton (T_{max})	Température limite du béton (T_{limite})	Conditions à respecter si température comprise entre T_{max} et T_{limite}
As	85°C	-	-
Bs	75°C	85°C	Maîtrise du traitement thermique, ou ciment adapté, ou Essai de performance (*)
Cs	70°C	80°C	Maîtrise du traitement thermique, ou Ciment adapté, ou Essai de performance (*)
Ds	65°C	75°C	Ciment adapté Validation de la formulation par un laboratoire indépendant expert en RSI





(*) L'essai de performance accéléré sur béton (LPC n° 66), développé par le LCPC, évalue la durabilité du couple « Formule de béton - Echauffement du béton », caractérise le risque de gonflement d'un béton vis-à-vis de la RSI et valide une formulation de béton.

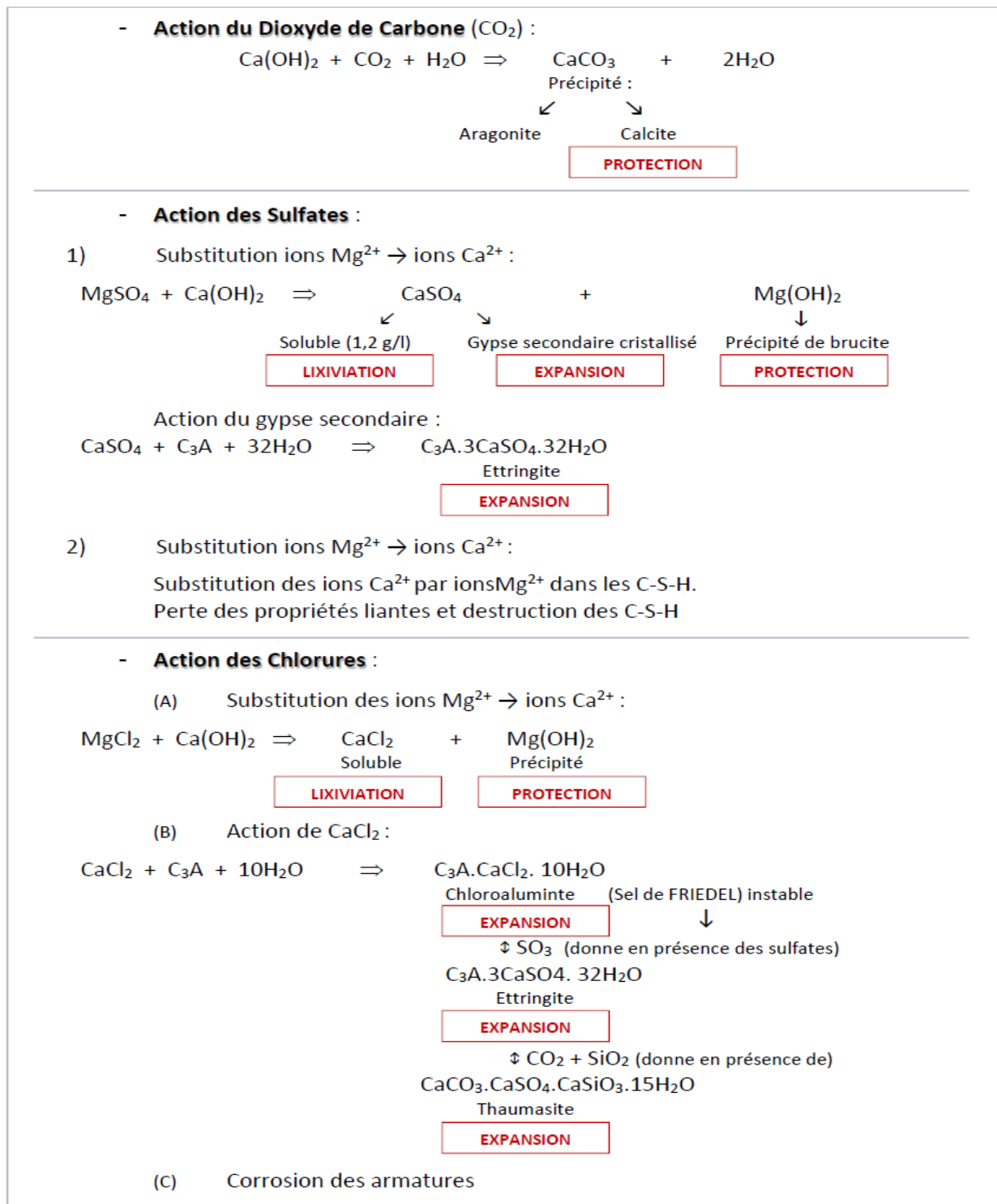


Figure I.9: Détérioration du béton par l'eau [2]

G. Les réactions alcali – granulats :

Parmi les trois réactions alcali granulats, nous retrouvons la réaction alcali-silice comme étant la





plus répandue (R.A.G.). Les autres réactions alcali-granulats étant les réactions alcali silicates et alcali carbonates.

La réaction alcali-silice impose trois conditions : la présence d'alcalis dans le ciment, la présence de silice en suffisance dans les granulats et la présence d'eau.

Les conséquences de la réaction alcali-silice apparaissent sous formes de fissurations dans les ouvrages tels que les ponts, les routes,.... ces fissures sont en général dans le sens de la contrainte et des armatures. Par contre, lorsqu'il n'y a pas de contraintes particulières, l'ouvrage prend un aspect "faïencé".

Malheureusement, les fissures peuvent être à l'origine d'autres réactions de dégradation et peuvent entraîner l'affaiblissement de la structure.

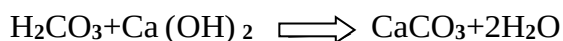
H. Le phénomène de la carbonatation

La teneur en CO₂ de l'air naturellement de 0,03% varie avec la température, la pression et le milieu (agglomération, industries, ...) et peut atteindre 0,10 %.

La carbonatation se produit si l'humidité relative de l'air se situe entre 50 et 75 %. Ce dioxyde de carbone CO₂ réagit avec l'eau: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Ca}(\text{OH})_2$

Lors de l'hydratation du ciment (processus de durcissement), il y a formation d'hydroxyde de calcium Ca (OH)₂, conférant à la pâte de ciment un caractère fortement basique. Les fers d'armature obtiennent ainsi une protection naturelle contre la corrosion.

La pénétration d'acide carbonique, CO₂ normalement présent dans l'air, permet la formation de carbonate de calcium, CaCO₃ selon la réaction chimique suivante :



La combinaison de l'hydrate de chaux (contenu dans le ciment) et de l'acide carbonique de l'air forme du calcaire en libérant de l'eau, le pH du béton baisse et la corrosion des aciers commence.

Le caractère basique du milieu, et de ce fait la protection naturelle contre la rouille, est ainsi perdu.

Le pH descend en dessous de 11-11,5 ce qui est un minimum pour la passivité. Dès ce point, l'acier en contact avec de l'eau et de l'oxygène corrode.

Cette réaction, catalysée par l'humidité atmosphérique progresse de l'extérieur vers l'intérieur du béton et provoque la neutralisation progressive de l'alcalinité du ciment : le milieu basique perd cette alcalinité et son pH devient inférieur à 9. La protection naturelle des armatures n'est alors plus assurée.

Le dioxyde de carbone attaque les ouvrages en béton lorsqu'il se transforme en H₂CO₃ en présence d'eau. Cet acide réagit avec la chaux présente dans le ciment hydraté. Le produit de la

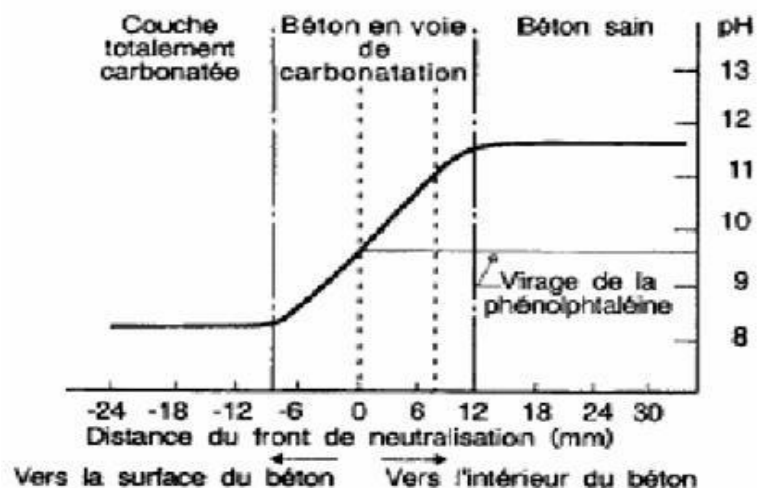




réaction est alors le CaCO_3 (calcite).

Pour avoir une carbonatation, il faut donc de l'air, de l'eau et de la "chaux libre". Les conséquences sont doubles :

*la chaux décomposée implique une diminution du pH, ce qui a des conséquences sur la tenue des armatures. Cette attaque se produit sur quelques centimètres du béton. Au-delà, il n'y a aucun signe d'attaque par le dioxyde du carbone.



Courbes I.2: Gradient de pH en fonction de la profondeur carbonatée

*le produit de la réaction permet une imperméabilisation du béton. Cette seconde conséquence est favorable car elle empêche l'absorption des autres éléments agressifs.

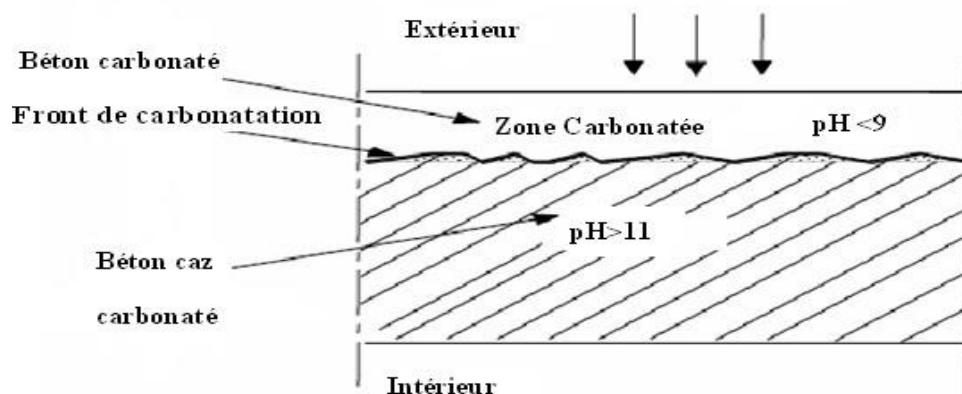


Figure I.10: Principe de la formation de la carbonatation

I. Action des bactéries :

La dégradation des bétons par les microorganismes se produit essentiellement en milieu anaérobie riche en matière organique tel que les effluents résiduels.

Les bactéries qui prédominent dans ces milieux sont de type sulfato-réducteur.





Elles se développent dans des effluents de pH compris entre 5 et 9,5, à des températures s'échelonnant de -5°C à $+75^{\circ}\text{C}$ et dans des milieux caractérisés par un potentiel d'oxydo - réduction assez bas.

L'augmentation dans le milieu de la teneur en sulfures provenant de la réduction des composés oxydés du soufre (sulfate, thiosulfate) par les bactéries sulfurogènes conduit à la formation de sulfures qui dégazent dans l'atmosphère sous forme d' H_2S . Dans les ouvrages comportant une partie émergée tels que les ouvrages d'assainissement, les sulfures gazeux peuvent se ré condenser sur les parois en béton et s'oxyder en acide sulfurique et sulfates sous l'action de bactéries aérobies (de type Thio bacilles, Thio oxydants, Etc. .)

L'acide ainsi produit conduit à une dégradation du béton par une succession de réactions chimiques qui aboutissent essentiellement à la formation de gypse. Ce dernier peut ensuite réagir avec l'aluminate tricalcique du ciment et former de l'ettringite entraînant le gonflement puis l'éclatement du béton.

Les principaux paramètres qui influent sur la vitesse de dégradation des bétons par les bactéries sont :

- la composition du milieu et notamment la composition en H_2S qui influence la croissance des bactéries. En dessous d'une teneur en sulfures inférieure à 1 mg/l dans l'effluent, l'attaque du béton est faible. Elle ne devient importante qu'à partir de 5 mg/l l'humidité: elle est nécessaire à la fois pour la formation du bio film et pour le développement de l'attaque acide ;
- la température : Elle joue surtout un rôle sur la réactivité de la biomasse produisant les sulfures ;
- la vitesse d'écoulement et notamment la formation de turbulences.

I.4.Dégradations des armatures métalliques :

I.4.1 Corrosion des armatures d'aciers en milieu humide corrosion électrolytique :

La corrosion des aciers dans le béton armé qui est une des causes principales de sa dégradation est un phénomène électrochimique dont le principe est la formation de micro piles à la surface du métal dans un milieu aqueux contenant des sels dissous (chlorure, carbonate, nitrates, ...). Tout enrichissement du milieu aqueux interstitiel ou atmosphérique humide par ce type de composés représente par conséquent un risque de dégradation des armatures métalliques par diffusion des composés chimiques à travers les capillaires du béton ou fissures éventuelles.

I.4.2 Corrosion des armatures d'aciers par l'oxygène:

Après le décapage du film de chaux passivant par le gaz carbonique, l'oxygène peut atteindre les armatures : il se forme alors un hydroxyde ferreux puis ferrique. Cette attaque chimique contrairement à la corrosion électrolytique se situe en tous les points de l'armature et ne nécessite pas d'environnement électrolytique.



**I.4.3 Corrosion des armatures d'aciers par des agents chimiques agressifs:**

En atmosphère industrielle, le milieu ambiant très agressif contient des acides, des bases ou des oxydants qui peuvent s'infiltrer dans le béton et attaquer directement le métal.

L'eau de pluie peut entraîner certains agents agressifs tels que le dioxyde de soufre SO₂ provenant de la combustion des impuretés du pétrole et du charbon ou les oxydes d'azote provenant des combustions dans les moteurs. Cette pluie s'acidifie et l'on peut observer un pH de l'ordre de 2,5 dans certains grands centres industriels. Cette eau agressive peut dissoudre des sels du ciment et dépassiver les armatures.

I.5. Classification des causes selon la période :

Les défaillances commises à l'origine, tout au long du processus de production d'un bâtiment, ou pendant sa durée de vie, se cumulent et deviennent responsables des désordres qui fragilisent la structure de façon aiguë ou chronique.

I.5.1 Les causes intervenant durant le processus de production :

Une défaillance totale ou partielle :

- dans l'appréciation des données d'entrée :
 - Environnement géotechnique ;
 - Caractéristiques du sol de fondation ;
 - Nature et importance des sollicitations ;
 - Réglementation urbanistique.
- dans les études techniques :
 - Conception architecturale ;
 - Conception des fondations ;
 - Dimensionnement ou «Calcul» de structures ;
 - Réseaux urbains.
- dans la mise en œuvre :
 - Qualité et quantité de matériaux du gros œuvre ;
 - Défauts d'exécution ;
 - Non respect des durées de coffrage du béton armé ;
 - Négligences au niveau du réseau de plomberie et de l'étanchéité du bâtiment.

I.5.2 Les causes intervenant durant la durée de vie du bâtiment :

- Modification exogène de l'environnement géotechnique :
 - Fouille ou construction d'un ouvrage en mitoyenneté.
 - Variation saisonnière du volume du sol.
 - Variation du niveau de la nappe phréatique.





- Infiltration d'eau.
- Affouillement.
- Modification endogène des conditions d'usage :
 - Surexploitation.
 - Surélévation.
 - Suppression d'un élément de la structure.
- Manque d'entretien :
 - Premices de désordres non réparées.
 - Défauts de plomberie négligés.
 - Étanchéité non entretenue.
- Ou tout simplement par vieillissement :
 - Cas du parc historique colonial

I.6. Classification des causes selon le type de sollicitation :

Ici, le désordre est compris comme une incapacité de la structure à faire face à une modification interne ou externe de son état d'équilibre.

I.6.1 Modifications internes de l'équilibre :

Elles sont dues :

- soit à une surcharge de la structure, qui devient sous dimensionnée ;
- soit à une dégradation de la structure par vieillissement (perte de matière, modifications internes) qui se traduit par une perte de résistance mécanique des matériaux qui la composent.

I.6.2 Modifications externes de l'équilibre :

Elles sont dues à des sollicitations supplémentaires qui proviennent :

Soit du sol :

- Sols compressibles ou expansifs.
- Tassements différentiels.
- Fluage.
- Affouillement.
- Glissement.

Soit de l'eau :

- Charges hydrauliques.
- Affouillement.
- Humidité sur les murs et plafonds.
- Infiltration dans soubassements, toitures, joints, murs et plafonds.

Soit de la température :



- Dilatation thermique.
- Retrait.

I.6.3 Facteurs de dégradations et mécanismes associés:

Les facteurs de dégradation par le biais de mécanismes divers se traduisent en perturbation, altérations et désordres divers.

Dix (10) grandes familles de peuvent être identifiées à savoir:

- 1 . Perturbation de l'équilibre thermique
- 2 . Perturbation de l'équilibre hydrique
- 3 . Altération mécanique
- 4 . Altération photochimique
- 5 . Altération chimique
- 6 . Pollution particulaire
- 7 . Pollution chimique
- 8 . Pollution biologique
- 9 . Dégradation importante, destruction
- 10 . Risques sanitaires pour les personnels et les visiteurs

Tableau I-8 : Classification des facteurs de dégradations et leurs mécanismes associés

	Facteurs de dégradation	Quelques mécanismes associés
Environnement global	Température sèche	Transfert énergétique, gel
	Pression de vapeur	Transfert hydrique
	précipitations	Ruissellement, infiltration
	vent	Effort mécanique, transfert de particules, de gaz
	Irradiation solaire	Transfert énergétique, activation photochimique
	Cours d'eau	Inondation
	Nappe phréatique	Remontées capillaires
	Substrat géologique	Séisme
	Radon	Désintégration radioactive
Env, urb	Activités urbaines (circulation automobile, industries, etc.)	Transfert de particules, de gaz , vibrations





enveloppe	Structure	Transfert de charges, transfert énergétique, transfert radiatif, transfert hydrique
	Matériaux	Emission particulaire, émission de COV
Environ.interne	Animaux	Nidification, déjection
	Végétaux	Développement racinaire
	Visiteurs	Transfert énergétique, transfert radiatif, transfert hydrique, transfert biologique, vol, vandalisme
	Aménagements techniques	Incendie, inondation, transfert énergétique, transfert hydrique, transfert biologique, transfert de particules, de gaz

I.7. Types de pathologie :

Il y a lieu d'abord de concevoir que l'on rencontre des types bien distincts de défauts visibles en surface du béton. Nous recenserons donc parément les fissures et les éclatements qui en sont les plus courants.

Les fissures sont généralement dues à des effets mécaniques de pressions ou tensions, tels que contractions thermiques, défauts de stabilité et de construction, etc.

La détermination précise des causes d'une détérioration quelconque du béton est un sujet complexe.

Ceci s'explique par le manque de connaissance et la complexité des phénomènes qui affectent ce matériau, à leur évolution dans le temps, ainsi qu'à leur concomitance

À ce sujet, la plupart des références consultées se limitent à citer et définir brièvement les divers dommages du béton.

Cependant, toutes les méthodologies reconnaissent cinq (05) familles principales de dégradations qui affectent le béton:

I.7.1 Fissuration:

- ✓ Fissures isolées
- ✓ Fissures en réseau
- ✓ Fissures principalement parallèles
- ✓ Fissures coïncidant avec l'armature
- ✓ Fissures accompagnées de déamination
- ✓ Fissures distribuées aléatoirement

I.7.2 Distorsion et mouvement :





- ✓ Flambement
- ✓ Éclatement sous compression
- ✓ Cambrement
- ✓ Tassements différentiels
- ✓ Gonflement de la masse de béton
- ✓ Tassement
- ✓ Déversement
- ✓ Voilement

I.7.3 Infiltrations et dépôts

❖ Infiltration:

- ✓ Infiltration dans les joints ou joints d'étanchéité
- ✓ Infiltration dans les fissures
- ✓ Infiltration à travers la masse de béton

❖ Dépôts:

- ✓ Décoloration
- ✓ Efflorescence
- ✓ Exsudation
- ✓ Incrustations

I.7.4 Irrégularités de surface :

- ✓ Bullage
- ✓ Nids d'abeille
- ✓ Joints froids apparents
- ✓ Surfaces irrégulières
- ✓ Faïençage
- ✓ Poussière et débris

I.7.5 Pertes de masse :

- ✓ Écaillage
- ✓ Éclatements

Il existe plusieurs pathologies des constructions dont essentiellement les fissures et la corrosion des armatures

I.8. La fissuration pathologique :

Les méthodes de calcul du béton armé intègrent cette limite d'ouverture des fissures de 0,3 mm et la contrôlent par les armatures (ferraillage passif, principe du béton armé). C'est pourquoi une fissure d'origine mécanique dont l'ouverture est supérieure à 0,3 mm doit être





considérée comme pathologique car elle est le témoignage d'un fonctionnement de la structure vis-à-vis de son dimensionnement, et présente un risque potentiel pour la pérennité de l'ouvrage à cause de l'atteinte de la limite élastique de l'acier et sa plastification. Si l'acier est plastifié, sa déformation augmente sous une sollicitation.

Mécanique constante, sa section diminue, donc la contrainte devrait augmenter, ce qui entraîne une rupture à plus ou moins long terme.

Une fissure qui résulte de la carbonatation du béton, de l'attaque par les chlorures ou sulfatiques, ou de l'alcali réaction, est considérée comme pathologique dès son apparition et ne dépend pas de son ouverture, car elle est le témoin d'une « maladie » du béton.

D'une pile électrochimique entre deux métaux (en contact) qui diffèrent par leur potentiel de corrosion. Le métal ayant le potentiel de corrosion le plus négatif, subit une corrosion accélérée provoquée par l'autre métal.

-La corrosion caverneuse : Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant ainsi une pile électrochimique. Cette attaque sélective du métal est observée dans les fissures et autres endroits peu accessibles à l'oxygène.

-La corrosion par piqûres : Elle est produite par certains anions, notamment les halogénures, et plus particulièrement les chlorures, qui attaquent les métaux protégés par film d'oxyde mince. Elle induit des activités de quelques dizaines de micromètre de diamètre.

-La corrosion sous contraintes : C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique.

I.9 Classification des dégradations :

On observe généralement trois typologies que l'on peut classer par gravité croissante :

➤ Les désordres bénins :

Ils ne mettent pas en cause la stabilité de la construction :

- Humidité ;.
- Pertes d'enduit .
- Fissures de dilatation ou de retrait .
- Fissures stables dans les planchers datant du décoffrage et qui n'évoluent pas .
- Fissures dites en hachures dues à la dilatation de la terre cuite ou à l'humidité.

➤ Les désordres évolutifs :

Ce sont les désordres qui, sans correction, connaîtront un processus évolutif qui peut conduire à la ruine.

En général, ils apparaissent comme une déformation importante des éléments de la structure ou





une incapacité à résister aux efforts de source interne e ou externe.

Ils se manifestent par :

- Des déformations excessives des éléments de l'ossature (flèche, voilement, flambement, déversement, cloquage) qui s'accompagnent toujours par :
- Des fissures, d'abord sur les murs de remplissage (fendage, fissures à 45°,.....); et des fissures éventuelles sur l'ossature béton ;
- Des désolidarisations entre murs et ossature
- Des pertes de continuité dans la structure
- Des mouvements de dallage
- Des glissements ou inclinaisons d'ensemble, dus au mouvement du sol etc.

➤ **L'effondrement :**

C'est le stade ultime de la pathologie. Il se produit par enfouissement, par glissement ou par renversement, en raison d'un cisaillement en chaîne des éléments de la structure.

Conclusion :

En synthèse, le béton peut être attaqué par divers agents physiques et chimiques, pathologies qui peuvent réduire sa durée de vie. Le béton est un matériau durable lorsqu'il est : bien formulé et bien mis en œuvre. Et pour traite le singe de dégradation de béton, il faut pratiquer un bon diagnostic suivi par suggestion de quelques méthodes de réparation.



CHAPITR II

METHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC D'UN OUVRAGE EN BETON ARME

DIAGNOSTIC DE QUELQUES CONSTRUCTIONS A L'USAGE
D'HABITATION (CAS D'OUED RIGH)



II. Méthodologie de diagnostic d'un ouvrage en béton armé:

II.1. Introduction:

Le guide technique "Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton" définit six étapes dans le processus conduisant à une action de réparation.

Le diagnostic intervient dans les deux premières étapes de ce processus.

La première étape, appelée « étape de mise en évidence de la dégradation », peut être déclenchée par une opération de surveillance (cas des ouvrages d'art par exemple), une opération d'entretien, ou à la suite d'un évènement accidentel (chute de morceaux de béton par exemple).

Elle débouche sur le transfert de l'information vers les responsables qui sont ainsi sensibilisés au problème observé.

La deuxième étape est le « diagnostic » proprement dit, ou recherche d'une pathologie à partir des symptômes. Il est demandé dans le cadre :

- D'une étude spécifique.
- De travaux de réfection ou de rénovation, de renforcement.
- D'une inspection régulière mettant en évidence des désordres.
- D'une expertise.
- Ou d'une démarche préventive...

Il est à noter que ce texte ne remplace pas " l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art ", qui constitue un document de référence pour les ouvrages routiers, et qui décrit les modalités de cette surveillance.

II.2.Procédure à suivre:

La procédure à suivre pour un diagnostic, s'intègre dans une démarche globale qui peut mener jusqu'à des travaux de réparation.

La découverte des désordres sur une structure entraîne généralement :

- la mise en œuvre de mesures de sauvegarde si nécessaire (purges, filet de protection...).
- la réalisation d'une visite préliminaire et de certaines autres opérations dans le but d'établir un pré-diagnostic.
- la mise au point d'un programme d'investigation.
- le lancement des opérations liées au diagnostic...

L'ingénieur chargé des opérations de diagnostic doit avoir des compétences sur la physico-chimie des matériaux, l'instrumentation, les méthodes de réparation et de traitement. Dans les cas délicats, il devra s'associer avec un ingénieur spécialiste des structures (pour les problèmes d'ordre





mécanique), ou un ingénieur chimiste de laboratoire (pour les problèmes liés aux gonflements du béton, etc.).

II.2.1 Visite préliminaire:

La visite préliminaire a pour objet d'améliorer la compréhension de l'état et du fonctionnement de la structure, de préciser les conditions environnementales, les désordres visibles, l'accessibilité des parties dégradées. Cette inspection débouche sur un pré-diagnostic et sur un programme d'investigation. Elle comprend :

- la collecte des informations nécessaires à la compréhension de l'ouvrage : historique, documents, dossiers, rapports, implantation, orientation, date de construction, plans de coffrage et de ferrailage, environnement (nature chimique, vents dominants), matériaux (ciment, agrégats, dosage), etc.
- un examen succinct de l'intégralité de la structure, et le relevé de tous les symptômes avec prise de photographies.

On utilisera les moyens d'accès les plus adaptés :

Il est nécessaire de voir de près les surfaces dégradées. Quelques tests simples (profondeur de carbonatation, présence de chlorures, alcali-réaction) pourront être envisagés à cette étape, afin d'orienter le programme d'analyse futur).

Après cette visite, l'ingénieur doit être capable :

- ✓ D'émettre un pré-diagnostic sur les causes probables des désordres.
- ✓ D'effectuer la mise au point du programme des investigations. Ce dernier tiendra compte de toutes les sujétions relatives à l'accès, l'environnement, la présence d'énergie électrique etc.
- ✓ D'évaluer si la mise en jeu des responsabilités et garanties est nécessaire.
- ✓ Et de faire évoluer les mesures de sauvegarde (limitation du trafic, mise sous surveillance renforcée...).

Il doit également estimer le coût probable et la durée des investigations, si celles-ci sont raisonnables au vu de la valeur vénale de l'ouvrage...

II.2.2. Inspection détaillée:

L'inspection visuelle de la totalité de la structure est mise en œuvre afin de détecter tous les signes de détérioration, et d'identifier toutes les sources potentielles de désordres.

Elle comprend les deux phases suivantes :

II.2.3 Préparation de l'inspection:





Il s'agit tout d'abord de vérifier et compléter les informations recueillies lors de la visite préliminaire, de rechercher des documents de synthèse déjà établis, tels que les précédents rapports d'expertise, etc.

Les moyens d'accès seront recensés et définis au préalable, et toutes les dispositions prises (sécurité, accès, nettoyage, etc.).

II.2.4. Inspection:

L'inspection proprement dite comprend le relevé, éventuellement sur plans, de tous les désordres visibles, et de tous renseignements utiles quant à l'aspect du parement :

- La présence d'anciens revêtements, ou de produits d'imprégnation,
- L'apparence de la surface du béton, stalactites, efflorescences, traces de rouille.
- La présence de fissures, (ouverture, réseau).
- La détérioration de la peau du béton.
- Les armatures apparentes et les épaufrures.
- La déformation de la structure.
- La détection de zones sonnantes creuses.
- Les traces d'humidité.

Ce relevé sera effectué en se référant à un guide des défauts.

II.2.5. Investigations in situ:

Le programme des investigations est établi en tenant compte des contraintes et impératifs suivants :

- ✚ l'importance de la structure.
- ✚ la nature, la gravité et l'intensité des phénomènes, la sécurité des personnes.
- ✚ les délais et les coûts.
- ✚ l'accessibilité.
- ✚ l'environnement,etc.

II.3. Méthodes de mesure de la corrosion des armatures dans le béton :

II.3.1. Méthodes non destructives:

Le principe de ces méthodes de diagnostic réside dans le fait que l'on analyse l'ouvrage ou une partie de l'ouvrage sans porter atteinte à son intégrité.

Ceci est à privilégier dans différents cas, par exemple les bâtiments classés monuments historiques, pour lesquels il est difficile de faire accepter aux architectes des bâtiments d'Algérie qu'il soit utile d'effectuer des prélèvements de la structure pour pouvoir la caractériser.





Ces méthodes sont à favoriser aussi dans le cas d'ouvrage dont la structure est très atteinte et affaiblie.

Effectuer des prélèvements sur ce type de structure risque de la fragiliser encore plus. Pour les ouvrages en béton armé, il existe différentes méthodes non destructives.

A. Relevé visuel:

Le diagnostic visuel consiste à aller sur site et d'analyser chaque élément de la structure en détail. Ainsi, cela permet dans un premier temps de connaître les caractéristiques géométriques de chaque élément et aussi les matériaux constitutifs.

Ce la permet d'évaluer le comportement global de l'ouvrage, de connaître les éléments porteurs ainsi que l'acheminement des charges dans la structure.

Dans un second temps, il est nécessaire de répertorier les différentes pathologies présentent sur la structure .Les principaux désordres rencontrés pour les structures en béton armé sont les suivants :

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

Il est nécessaire de répertorier tous ces éléments sur des plans, soit existant soit à créer, et de créer un dossier photographique des principaux désordres afin de pouvoir les visualiser au mieux.

Dans tous les cas le diagnostic visuel doit permettre de :

- Qualifier les désordres, car chaque type a une origine et des conséquences particulières.
- Déterminer les caractéristiques d'une pathologie permet de savoir quelle sorte de traitement sera nécessaire afin de stopper le phénomène.
- Quantifier les désordres, car selon son ampleur, des méthodes de réparation plus ou moins lourdes seront à envisager.
- Localiser les désordres afin de pouvoir déterminer son origine et ainsi agir à la source du problème. S'il est seulement prévu de réparer l'élément sans s'attaquer à ce qui engendre .
- la pathologie, la réparation risque de ne pas être pérenne et l'on verra rapidement apparaitre de nouvelles pathologies similaires.

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





- ✚ Un appareil photo
- ✚ Un mètre
- ✚ Un distance mètre
- ✚ Un pied à coulisse
- ✚ Un fissuromètre (réglette en plastique transparente munie de traits de largeurs calibrées que l'on place successivement sur la fissure à observer pour estimer sa largeur)
- ✚ Le nécessaire pour prendre des notes

Cette première étape permet de définir la gravité des pathologies, mais aussi de classer les différents éléments en fonction de la priorité auxquels ils doivent être réparés.

L'investigation visuelle permet aussi de prévoir quels sont les autres moyens de diagnostic les plus adaptés à mettre en œuvre afin de répondre pleinement à la problématique.

Ces investigations complémentaires ont pour but de préciser les désordres observés lors du relevé visuel, mais aussi de recueillir des informations complémentaires concernant leur constitution ainsi que leur état.



Figure II.1 : Fissuromètre digital

B. Le relevé du ferrailage:

Le relevé du ferrailage peut se faire à l'aide d'un pachomètre de type "Ferro scan". Cet appareil est un système de détection portable pour un examen d'armatures non destructif.

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

Le principe de fonctionnement repose sur l'émission d'un flux magnétique par l'appareil.

Le pachomètre détecte la diffusion de ce champ magnétique ainsi que les modifications de la résonance magnétique induite par la présence d'aciers.

Ainsi, l'appareil mesure la variation électromagnétique due à la présence d'éléments ferromagnétiques, les armatures.





La détermination du diamètre et de l'enrobage repose sur le fait que plus une armature a un diamètre important, plus le signal reçu par l'appareil sera important. A contrario, plus l'épaisseur d'enrobage sera importante, plus le signal sera faible.

Ainsi, la profondeur d'auscultation avec cet appareil est limitée (généralement de l'ordre de 10 à 15 centimètres selon le type de bétons et le type d'armatures).

Le schéma ci-dessous montre la réponse obtenue selon la densité d'armatures, avec à droite une seule armature, au milieu trois armatures relativement espacées et à gauche trois armatures rapprochées

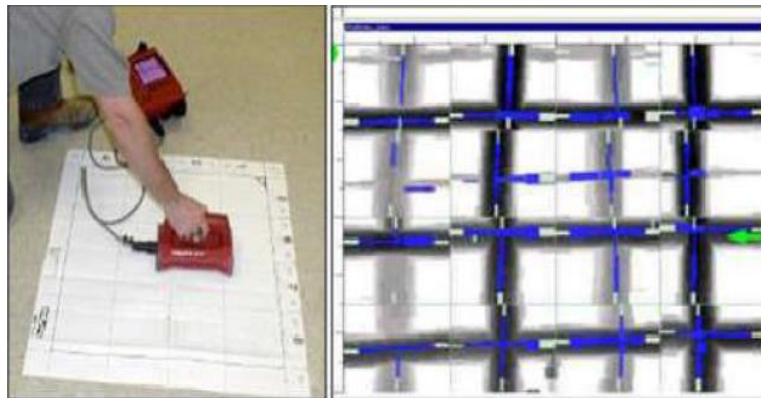


Figure II.2 : Détection par fenêtrage et résultats

C. L'auscultation sonique: (NF EN 10250-4)

L'auscultation sonique permet de mesurer le temps de propagation d'un train d'ondes sonores entre deux points.

Une partie de l'auscultateur, le transducteur, produit des ultrasons.

Grâce aux propriétés piézoélectriques des matériaux, l'énergie électrique émise est transformée en énergie mécanique ultrasonore.

L'appareil mesure le temps nécessaire à l'onde pour atteindre le récepteur qui la convertit en signal électrique.

Connaissant la distance de l'émetteur possible de connaître la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu.

Ce procédé permet de caractériser l'homogénéité physique du béton ainsi que son état d'altération. En effet, cette méthode de diagnostic permet entre autres de localiser des défauts, des vides ou autres malfaçons dans le béton.

Le principe est que les lames d'air emprisonnées dans le matériau transmettent très peu l'énergie des ultrasons, ainsi, la vitesse mesurée sur l'ensemble de l'élément sera plus faible que pour un béton homogène.

Il existe principalement deux types de mesures à effectuer sur site :





- Les mesures en transparence : cette méthode consiste à déterminer le temps de propagation des ondes sonores longitudinales à travers un élément. Pour procéder à ce type de mesure, il faut placer l'émetteur et le récepteur sur les deux faces opposées de l'élément à ausculter.

- Les mesures de surface : cette méthode s'effectue principalement lorsqu'une seule des faces de l'élément est accessible lors des investigations.

Elle peut aussi être utilisée pour déterminer la profondeur d'une fissure ou bien la présence de couches multiples dans un même élément.

Pour réaliser cette mesure, il faut placer l'émetteur et le récepteur sur la même face plane de l'élément à ausculter.

L'émetteur reste sur un même point, tandis que le récepteur se déplace en effectuant à chaque fois une mesure.

Il est à noter qu'il existe une règle a été conçue par le CEBTP afin d'avoir des espacements donnés et ne pas faire des erreurs sur les distances mesurées.

Le tableau suivant donne les résultats d'essais obtenus par le CEBTP sur l'auscultation sonore des bétons :

Tableau II .1 : Résultats d'essais d'auscultation sonore des bétons-(CEBTP)

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

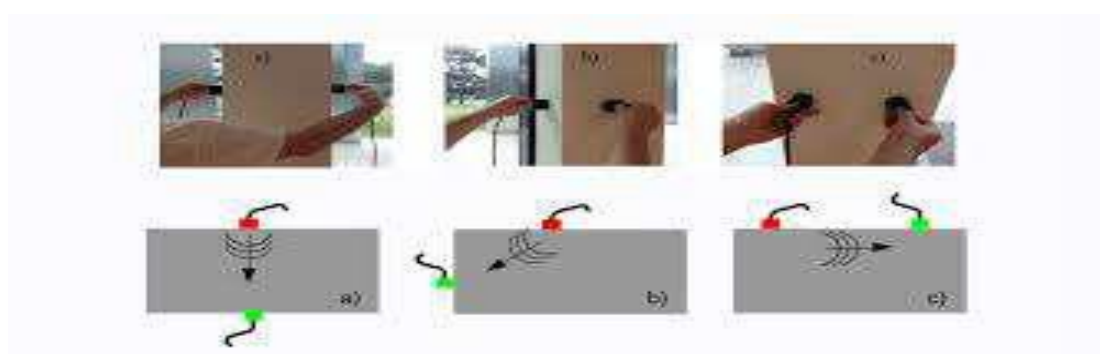


Figure II .3 : L'auscultation sonore (NF EN 10250-4)

D. Scléromètre:

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





Pour déterminer la dureté du béton, une bille d'acier est projetée sur une sonde en contact avec l'ouvrage à inspecter.

Lors de son rebond, la bille entraîne un index coulissant sur une règle de mesure.

Plus le rebond sera important, plus le matériau sera dur.

Il convient de réaliser un certain nombre d'essais sur l'élément à ausculter, vingt-sept dans la norme actuelle, afin d'obtenir un résultat cohérent.

L'indice sclérométrique I_s de l'élément diagnostiqué est la médiane de 27 mesures effectuées sur la zone d'ouvrage testé. Par report de l'indice sclérométrique sur un abaque, considéré.

Il est important de savoir que différents paramètres peuvent influencer sur les résultats, tels que l'on obtient la résistance à la compression estimée de l'élément l'inclinaison du scléromètre ou encore l'homogénéité du béton.

Il peut être intéressant de coupler ces résultats avec des essais de résistance à la compression sur des prélèvements de la zone étudiée.



Figure II .4 : Scléromètre (NF EN 10250-2)

II.3.2. Méthodes destructive:

Les investigations destructives dans les structures en béton armé peuvent prendre plusieurs formes.

Soit on y a recours pour effectuer un prélèvement de matériau pour connaître ses caractéristiques géométriques, mécaniques et chimiques, soit c'est pour avoir accès à des éléments interne ou sous-jacent à la structure.

Cela permet aussi de connaître leur état d'altération en profondeur ainsi que l'ampleur des pathologies.

Parmi les investigations destructives, on recense principalement les techniques suivantes :

A. Carottage d'éléments en béton armé:

Le recours au carottage du béton armé peut avoir plusieurs objectifs.

✚ Tout d'abord dans un dallage afin de permettre la réalisation d'essais géotechniques sur le sol en place tel que des pénétromètres dynamiques ou des tarières. Ceci pour caractériser le sol sous la structure dans le cadre d'une rénovation ou d'une restructuration de l'ouvrage.





✚ Afin de pouvoir déterminer les caractéristiques chimiques et mécaniques d'un élément en béton de la structure, en effectuant des essais de compressions sur les carottes prélevées, mais aussi des analyses chimiques et microscopiques afin de déterminer les différents constituants et leur quantité. Cela permet de déterminer quel type de ciment a été utilisé ainsi que le rapport E/C.

✚ Déterminer les caractéristiques des couches constituant de l'élément (épaisseur du revêtement, de la chape, du béton,...) La norme NF EN 13791 de septembre 2007 indique deux méthodes pour « l'évaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton ».

La méthode à utiliser varie selon le nombre d'éléments carottés dans la structure concernée, mais dans tous les cas, elle permet d'estimer la classe de résistance du béton.

Cette méthode nécessite le recours à une carotteuse et il peut être nécessaire de déterminer préalablement le ferrailage de l'élément afin d'éviter d'avoir des aciers dans la carotte.

Ceci pour deux raisons : d'une part, cela fragilise plus la structure si les aciers prélevés ont un rôle important, d'autre part les résistances à la compression obtenue, sur une carotte dans laquelle il y a présence d'acier, sont faussées.

Pour les mêmes raisons, il faut éviter de carotter un élément sur une fissure.



Figure II .5 : Carottage d'éléments en béton armé

B. Prélèvements d'aciers:

Le prélèvement d'acier peut s'avérer utile notamment lorsqu'un recalcul d'une structure est demandé.

Dans ce cas, il est important de connaître les aciers présents dans un ouvrage. Ainsi, en prélevant des aciers, cela permet de déterminer leur type, que ce soit des aciers Haute Adhérence, lisse, TOR, etc. mais aussi leurs caractéristiques mécaniques telle que la limite d'élasticité de l'armature.

Tous ces éléments sont nécessaires afin de pouvoir déterminer quelles sont les charges pouvant s'appliquer sur l'élément et s'il est nécessaire de prévoir de renforcer la structure soit avec des tissus





de fibre de carbone ou par ajout d'armatures afin de pouvoir répondre aux besoins du client ou des utilisateurs.

Le prélèvement d'aciers peut se faire par tronçonnage de l'armature, après l'avoir préalablement dégagé du béton adjacent. Il est préférable de le faire dans des zones saines pour ne pas risquer de fragiliser encore plus la structure à cet endroit.

Il peut parfois s'avérer utile de prélever localement des armatures dans des zones touchées par des pathologies, telle que la corrosion des armatures afin de pouvoir déterminer son avancement ainsi que la section restante d'acier pouvant être exploitée afin de déterminer les quantités d'armatures nécessaires à rajouter pour redonner à l'élément au minimum sa section d'aciers initiaux.



Figure II .6 : Prélèvement d'aciers

II.4. Objectifs du diagnostic de corrosion:

Les objectifs d'un diagnostic de corrosion sont :

- l'identification de l'origine (carbonatation, chlorures externes ou internes, autres),
- l'évaluation de l'étendue dans l'espace.
- la prédiction de l'évolution probable, dans le temps ou dans l'espace.
- l'estimation des conséquences sur la sécurité de l'ouvrage ou des personnes.
- la définition des suites à donner et entre autres le principe des solutions de réparation.

Des considérations d'ordre esthétique sont par ailleurs à prendre en compte dans de nombreux cas : bâtiments, monuments historiques, du fait de la nature des matériaux de base, de leur texture, de leur couleur et de la nature du ciment. Ceci est à prendre en compte dans l'établissement du programme d'investigations.



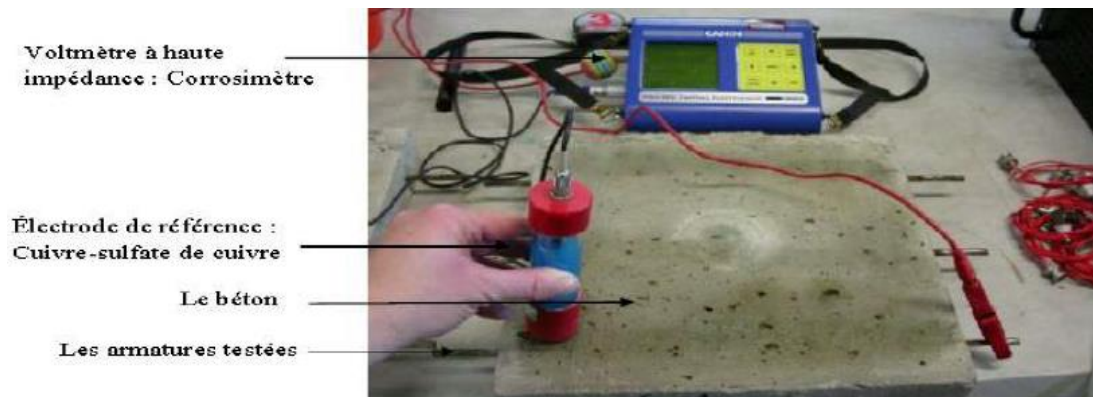


Figure II .7 : Mesure de potentiel de corrosion

A. Mesure du potentiel de corrosion:

La mesure du potentiel de corrosion ne peut se faire que si le ferrailage est continu et s'il n'y a pas de revêtement de surface pouvant agir comme isolant. Si le ferrailage est discontinu, il est toujours possible de mettre en place des pontages électriques.

Le principe de la mesure du potentiel de corrosion est de mettre à nu une armature puis de la connecter à une borne d'un millivoltmètre à haute impédance.

Une électrode de référence est placée sur le parement, elle-même reliée à une autre borne du millivoltmètre.

Elle est dite de référence, car elle a un potentiel constant du à un équilibre électrochimique.

Il est important de veiller à ce que la jonction entre le béton et l'électrode soit humide afin d'établir une conduction électrique.

Cela permet de diminuer la résistance entre l'électrode de référence et le béton ainsi que le potentiel de jonction entre interstitielle du béton l'électrolyte contenu dans l'électrode de référence et la solution Une fois les branchements faits, il faut réaliser les mesures des potentiels des zones auscultées en déplaçant l'électrode de référence.

La norme ASTM C876-91 fait une corrélation entre le potentiel mesuré et la probabilité de corrosion. Ainsi, en utilisant une électrode Cu/CuSO₄ on a la relation suivante :

- ✚ Si $E > -200$ mV alors la corrosion est peu probable (probabilité inférieure à 10%)
- ✚ Si $-350 < E < -200$ mV alors la corrosion est possible (probabilité de cinquante pour cent)
- ✚ Si $E < -350$ mV alors la corrosion est très probable (probabilité de 50 à 90%)

Cependant, il est important de noter le fait que différents paramètres peuvent influencer sur les résultats obtenus, tels que :

✓ L'hygrométrie de surface, il peut y avoir une diminution de 100 mV entre une mesure sur surface humide et une mesure quand c'est sec.





✓ Pour des milieux agressifs comme la présence de chlorures, la conductivité est augmentée et les potentiels sont plus négatifs.

✓ Lorsque le béton est carbonaté, les potentiels sont plus positifs.

En effectuant ainsi des mesures en de nombreux points d'un élément, il est possible d'effectuer une cartographie complète de la probabilité de corrosion.

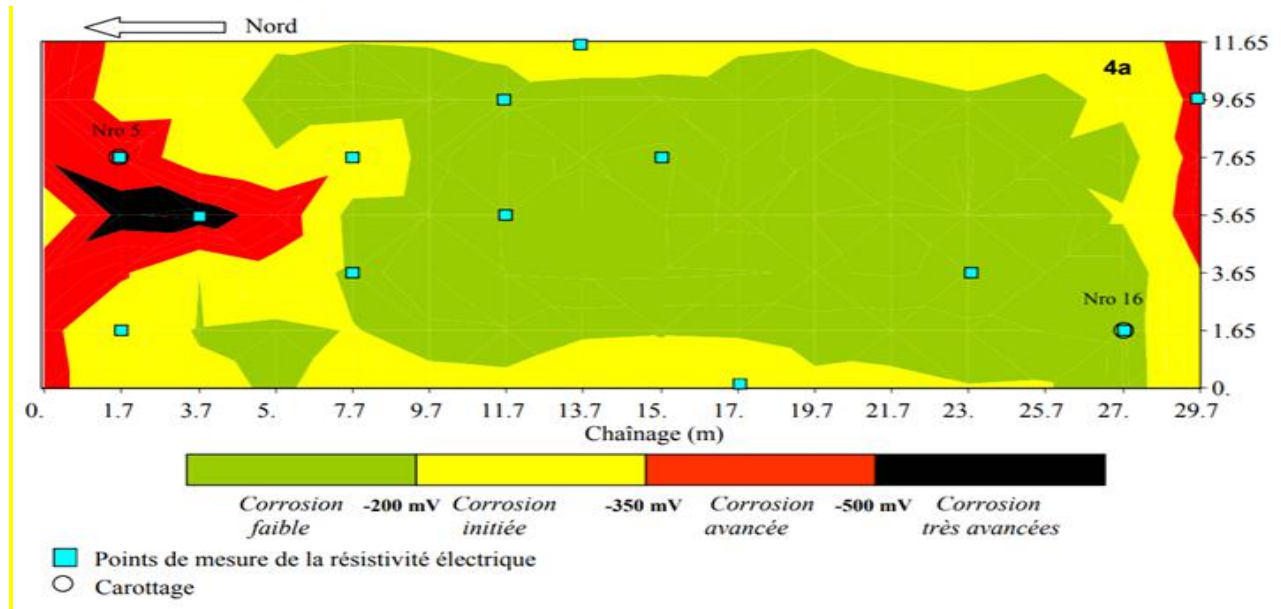


Figure II .8 : La cartographie de potentiel de corrosion.

B. Test de la carbonatation:

Le principe du test à la carbonatation repose sur le fait que le pH du béton carbonaté est plus faible que celui du béton sain.

Pour déterminer la zone carbonatée, il est généralement utilisé un indicateur coloré tel que la phénolphthaléine.

La phénolphthaléine est un composé organique de formule $C_{20}H_{14}O_4$. L'utilité de ce composé est qu'il change de couleur selon le pH de l'élément avec lequel il entre en contact.

Il fait partie des indicateurs de pH ou indicateur coloré.

Ce changement de couleur est dû à une modification de la structure chimique de la molécule lors du passage de la forme protonée (milieu acide) à la forme déprotonnée (milieu basique).

La couleur que prend la phénolphthaléine dépend du pH. Elle sera rose pour un pH compris entre 8,2 et 12 et incolore au-delà et au-deçà de cette zone de virage.

Cet essai se réalise généralement sur une coupe fraîche de béton. Il faut y pulvériser la solution de phénolphthaléine, si la phénolphthaléine ne réagit pas, il faut approfondir la coupe dans le béton par paliers d'un centimètre et répéter les étapes précédentes jusqu'à ce que la phénolphthaléine vire au rose.





Puis il est nécessaire de mesurer l'épaisseur entre le parement extérieur et la zone à laquelle commence la coloration du béton. Cela nous donne la profondeur de carbonatation du béton de cette zone.

Il peut être utile de réaliser cette mesure en différents points d'un élément afin de pouvoir cartographier les profondeurs de carbonatation associées. Il peut s'avérer intéressant de coupler les mesures de profondeur de carbonatation avec les mesures d'enrobages données par exemple avec un pachomètre de type Ferro scan. En effectuant un certain nombre de mesures.[4]



Figure II .9 : Test a la carbonatation

C. Mesure de la densité des carottes:

On utilisant une balance destinée à mettre en évidence la poussée d'Archimède par la méthode de la pesée hydrostatique. Elle sert aussi à déterminer la densité d'objets non solubles dans l'eau et plus denses que l'eau ou la densité de liquides. Son fonctionnement s'appuie sur le fait que le poids apparent d'un objet change quand il est plongé dans l'eau.



Figure II .10 : Balance hydrostatique

Essai de compression (NF-EN-12390-3 et NF-EN-12390-13:

Un essai de compression est réalisé sur trois des éprouvettes cylindriques afin de déterminer la résistance en compression moyenne du matériau:



Figure II .11 : Essais de la compression des carottes

II.5. Conclusion sur le Méthodologie de diagnostic :

Dans cette partie nous avons vu l'importance du diagnostic dans l'opération de réhabilitation d'un ouvrage ainsi que des différents moyens disponibles pour le réaliser.

C'est l'étape clé qui permet de déterminer les types de pathologies dont souffre l'ouvrage ainsi que leur ampleur.

Ce la permet aussi de faire des prévisions quant à l'évolution de ces troubles.

Mais c'est avant toute chose, l'étape qui va permettre de mettre en œuvre la méthode de réparation la plus adaptée. Cela permet aussi d'évaluer la cause de ces problèmes.

Cette cause peut être tout simplement le vieillissement naturel de la structure, mais cela peut aussi être à cause de l'environnement alentours.

Afin de rendre les réparations pérennes, il est nécessaire de mettre en œuvre des travaux de protection adaptée, mais aussi de travailler sur l'origine du problème afin d'éviter l'apparition rapide de nouvelles pathologies semblables.

CHAPITRE III

DIAGNOSTIQUE ET EXPERTISE D'UN BATIMENT DESTINEE A USAGE D'HABITATION CAS OUED RIGHE

DIAGNOSTIC DE QUELQUES CONSTRUCTIONS A L'USAGE
D'HABITATION (CAS D'OUED RIGH)



Problématique

L'objet de notre travail est l'établissement d'un diagnostic technique qui consiste en ce qui suit :

- L'évaluation des dommages et désordres subis par un ensemble immobilier .
- L'interprétation de l'origine probable des désordres, en précisant le lien objectif entre les causes et effets .
- Donner un avis sur l'état de conservation de l'ouvrage diagnostiqué .
- La préconisation de recommandations techniques portant sur les solutions à adopter quant à la remise en état de l'ouvrage .
- Faire une conclusion.
- Il est à signaler que le présent diagnostic technique est basé sur l'examen technique visuel des éléments constitutifs de l'ouvrage objet de notre travail avec l'identification de leurs signes d'altération, y compris le constat des désordres apparents tels qu'ils ont pu être observés lors de notre intervention.

III.1. Description du projet :

Le projet est un Citer 150 Logements LPL daïra de Djamaa-Sidi Amrane Wilaya de EL-Meghaier, du programme des 1500 logements de réhabilitation de l'habitat Précaire (RHP), il est composé d'un nombre des bâtiments en R+1 comptent 04 logements de type F3.



Figure III.1: Vue aérienne de plans satiation de projet est un Citer 150 Logements LPL

Chapitre III : DIAGNOSTIQUE ET EXPERTISE D'UN BATIMENT DESTINEE A USAGE D'HABITATION CAS OUED RIGHE



Figure III.2: Vue aérienne de projet est un Citer 150 Logements LPL

Tableau III.1: fiche technique

FICHE TECHNIQUE	
Intitule De L'opération De Diagnostic :	Citer 150 Logements LPL daïra de Djamaa-Sidi Amrane Wilaya de EL-Meghaier
Maitre D'ouvrage:	Office de Promotion et de Gestion Immobilière de la Wilaya d'El-Oued
Maitre D'œuvre:	03 BET
Entreprise De Réalisation:	03 Entreprises
Usage Actuel De L'ouvrage:	Bâtiments Habitations
Statut Juridique De L'ouvrage:	Bâtiments Logements Sociales
Période De Réalisation De L'ouvrage Existant:	2013-2015
Année De Mise En Exploitation:	2020
Désignation Du Bâtiment Et/ou De L'ouvrage:	Bâtiments de 04 Logements
Typologie De La Structure :	Béton Armé
Nbre De Niveaux Du Bâtiments / Hauteur De L'ouvrage:	RDC+1
Nbre De Blocs De Bâtiments / Nbre D'ouvrages endommagés :	10 Bloc .ETPlus
Contrôle De L'ouvrage Existant Par Le CTC:	OUI
Disponibilité De Documents :	Rapport de Sol. Plans d'Architecture. Plans de Génie Civil
Situation Actuelle:	Occupé
Etat De L'ouvrage Existant (Gros Œuvres) :	Achévé





III.2. Méthodes non destructives :

Le principe de ces méthodes de diagnostic réside dans le fait que l'on analyse l'ouvrage ou une partie de l'ouvrage sans porter atteinte à son intégrité.

Ceci est à privilégier dans différents cas, par exemple les bâtiments classés monuments historiques, pour lesquels il est difficile de faire accepter aux architectes des bâtiments d'Algérie qu'il soit utile d'effectuer des prélèvements de la structure pour pouvoir la caractériser.

III.2.1 Diagnostic des désordres constatés:

Cette partie présente des renseignements sur le processus d'évaluation de béton dans les structures existantes.

L'étape diagnostic a permis l'adaptation des méthodes de réparation les plus convenables et l'évaluation des causes des dégradations.

Ces causes peuvent être engendrées du processus de vieillissement naturel de la structure et aussi l'environnement immédiat.

Afin de conserver les réparations et les rendre durables, il est nécessaire de réaliser des travaux de protection adaptés, pour éviter l'apparition de nouvelles pathologies semblables.

III.2.2 Relevé visuel:

Un état des lieux basé sur des constatations et relevées est effectué pour déceler toute présence de désordres apparents ou de pathologie affectant tout ou une partie des ouvrages existants.

L'examen s'est porté sur les parties visibles et accessibles de l'ouvrage et le présent constat ne tient pas compte des anomalies non décelables, ni des vices cachés de la structure, dans les fondations ou dans le sol

À partir des visites des lieux, des relevés et des contrôles effectués sur les différents composants des blocs. Ce relevé a permis de :

- ✓ Appareil photos – (pour prise des photos).
- ✓ Laser Distomètre x310/120m leica.

- **Qualifier les désordres:** pour chaque type à une origine et des Conséquences particulières.
- **Quantifier les désordres** : selon son ampleur, des méthodes de réparation plus ou moins lourdes seront à envisager.
- **Localiser les désordres** : afin de pouvoir déterminer son origine et ainsi agir à la source du problème.





Figures III.3: Corrosion avancée des armatures au niveau des éléments en béton armé (niveau des Poutres et palies d'escaliers)



Figure III.4: La perte de l'adhérence acier-béton et de la rouille



Figure III.5: Appariation des taches mauvaise qualité du béton ainsi le chute de



Figure III.6: Eclatements de l'enrobage au niveau des poutres



Figure III.7 : Fissures et Gonflement et des parements chlore



Figure III.8 : Attaque des poutrelles par le chute des parements inferieurs des planchers (corps creux)



Figure III.9 : Présence des regards d'évacuation des eaux usées dégradés au voisinage des bâtiments.



Figure III.10 : Des fuites au niveau de l'alimentation en eau potable et traces liées a la traces liées a la Présence du sel.



Figure III.11 : Fissures et gonflement de l'enrobage au niveau de la zone nodal poteaux et poutres



Figure III.12 : Remonter par capillarite de l'agressivité de sol

A. Test à la carbonatation:

Le principe du test à la carbonatation repose sur le fait que le pH du béton carbonaté est plus faible que celui du béton sain. Pour déterminer la zone carbonatée, il est généralement utilisé un indicateur coloré tel que la phénolphthaléine.



Figures III.13 :Front de carbonatation déterminée par pulvérisation d'une solution de Phénolphtaléine sur une surface fraîche.

B. Test a la chlorures:

Le principe du test à la présence de chlorure dans le béton durci peut être détectée qualitativement en pulvérisant une surface de béton fraîchement brisée avec un indicateur approprié (typiquement 0,1N AgNO_3). Généralement la présence de chlorure sera révélée par un changement de couleur.



Figures III.14 : Migration de chlorure, précipitation visible blanc de chlorure d'argent

C. Essais d'humidité de béton durci : Le principe du test est de mesurer l'humidité du béton armé dégradé, et les résultats dans les tableaux ci-dessous:



Figures III.15: Essais d'humidite

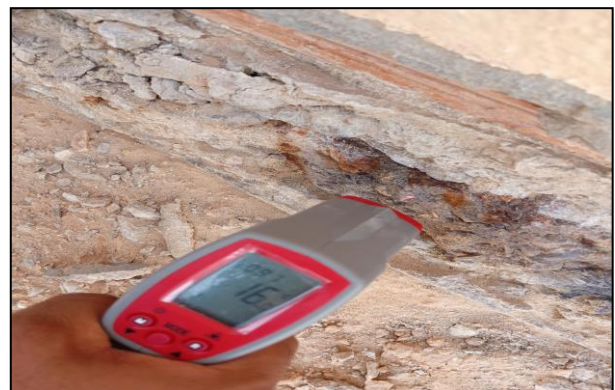


Tableau III.2 : Résultats d'humidite de bloc 09.

Bloc 09	Eléments	Essais	Résulta (%)	Moyenne (%)	Remarque
	Poteaux	1	9,00	9,47	On remarque que les résultats d’humidité Sont élevés par rapport à celles des poteaux
		2	9,40		
		3	10,00		
	Poutres	1	26,00	30,00	
		2	31,00		
		3	33,00		
	Volées d'escalier	1	19,00	22,33	
		2	22,00		
		3	26,00		
	Longrines	1	37,00	37,00	
		2	39,00		
3		35,00			

D. Essais des température de béton durci :

Le principe du test est de mesuré la température du béton armé dégradé . et les résultats dans le tableaux ci-dessous:



Figures III.16 : Essais des températures.



Tableau III. 3 : Résultats des températures de bloc 09.

Bloc 09	Eléments	Essais	Résulta (c°)	Moyenne (c°)	Remarque
	Poteaux	1	16,00	15,00	On remarque que les résultats de la température Sont normaux
		2	14,00		
		3	15,00		
	Poutres	1	17,00	15,33	
		2	15,00		
		3	14,00		
	Volées d'escalier	1	16,00	15,67	
		2	16,00		
		3	15,00		
	Longrines	1	14,00	14,33	
		2	14,00		
3		15,00			

E. Les analyses chimiques :

1. Les résultats des analyses chimiques de l'eau potable:

Norme européenne NF EN 1008 - juillet 2003et Norme française NF P 18-211, Physico-chimique (eau de gâchage du béton), tous les résultats des mesures dans les tableaux suivants:

- Eau potable:**

Tableau III.4 : Résultats des analyses chimiques de l'eau potable

Paramètre	Unité	Résultats	Norme
PH	/	108,	4,00≥
Conductivité	µs/cm	50,022	/
TDS	Mg/l	2516,89	1200≤
Salinité NaCl	g/l	0,95	/
Sulfate SO ₄	Mg/l	854,24	2000≤
Chlorure CL ⁻	Mg/l	1084,57	1000≤





Remarque :

- La analyse chimique de l'eau potable contiennent un taux de considérable de la Sulfate CaSO_4 , et taux élevée de Chlorure CL^- et total des solides dissous (TDS).

. **Eau forage:** tous les résultats des mesures dans les tableaux suivants:

Tableau III.5 : Résultats des analyses chimiques de l'eau forage

Paramètre	Unité	Résultats	Norme
PH	/	7.85	$\geq 4,00$
Conductivité	$\mu\text{s}/\text{cm}$	4227,42	/
TDS	Mg/l	2880,35	≤ 1200
Salinité NaCl	g/l	1.45	/
Sulfate SO_4	Mg/l	1180,91	≤ 2000
Chlorure CL^-	Mg/l	1097,38	≤ 1000

Remarque :

- La analyses chimiques de l'eau forage contiennent un taux de considérable de la Sulfate CaSO_4 , et taux élevée de Chlorure CL^- et total des solides dissous(TDS) .

2. Les résultats des analyses chimiques de l'eau rencontrée dans le sol:

Norme européenne NF EN 1008 - juillet 2003 et Norme française NF P 18-211 Physico chimique, nous avons repris tous les résultats des mesures dans les tableaux suivants:

Tableau III.6 : Résultats des analyses chimiques de l'eau rencontrée dans le sol.

Paramètre	Unité	Résultats	Norme
PH	/	6.85	$\geq 4,00$
Conductivité	$\mu\text{s}/\text{cm}$	5525,0	/
TDS	Mg/l	2855.0	≤ 1200
Salinité NaCl	g/l	2,91	/
Sulfate SO_4	Mg/l	1650.75	≤ 2000
Chlorure CL^-	Mg/l	1284.24	≤ 1000

Remarque :

Les analyses chimiques de l'eau de l'eau rencontrée dans le sol contiennent un taux de considérable de la Sulfate CaSO_4 , et taux élevée de Chlorure CL^- et total des solides dissous(TDS).

F. Le Scléromètre:

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



Chapitre III : DIAGNOSTIQUE ET EXPERTISE D'UN BATIMENT DESTINEE A USAGE D'HABITATION CAS OUED RIGHE



Pour déterminer la dureté du béton, une bille d'acier est projetée sur une sonde en contact avec l'ouvrage à inspecter. Lors de son rebond, la bille entraîne un index couissant sur une règle de mesure. Plus le rebond sera important, plus le matériau sera dur. et les résultats dans le tableaux ci-dessous: (NF EN 10250-2).



Figures III.17: Essais du scléromètre

Tableau III.7 : Résultats des essais scléromètre de bloc 09. (NF EN 10250-2)

Bloc 09	Eléments	Essais	Résulta (N/mm²)	Rés-moyenne N/mm²	Rés-moy (N/mm²) ±	Remarque
	Poteaux	1	28,30	26,70	26,70 ± 5,5	fcm=20(N/m m²)
		2	25,80			
		3	26,00			
	Poutres	1	12,60	12,23	12,23 ± 4	
		2	11,20			
		3	12,90			
	Volées d'escalier	1	15,60	15,65	15,65 ± 4	
		2	16,45			
		3	14,90			
	Longrines	1	22,60	26,10	26,10 ± 5,5	
		2	29,40			
3		26,30				

fcm=20(N/mm²)(référence de la formulation de béton ordinaire).

Remarque :

- Les résultats de la résistance à la compression concernant Poutres et Volées d'escalier sont très faibles en comparaison avec les poteaux e longrine.
- La résistance à la compression de béton des Poteaux et des Longrines est moyenne .





Tableau III.8 : Résultats des essais scléromètre de bloc 16.

Bloc 16	Eléments	Essais	Résulta (N/mm²)	Rés-moyenne N/mm²	Rés-moy (N/mm²) ±	Remarque
	Poteaux	1	32,50	28,47	28,47 ± 5,5	fcm=20(N/mm²)
		2	24,90			
		3	28,00			
	Poutres	1	22,60	20,90	20,90 ± 5,5	
		2	21,60			
		3	18,50			
	Volées d'escalier	1	17,00	15,10	15,10 ± 4	
		2	13,50			
		3	14,80			
	Longrines	1	24,00	26,83	26,83 ± 5,5	
		2	28,90			
3		27,60				

$f_{cm}=20(N/mm^2)$ (référence de la formulation de béton ordinaire).

Remarque :

- Les résultats de la résistance à la compression concernant Poutres et Volées d'escalier sont très faibles en comparaison avec les poteaux e longrine.
- La résistance à la compression de béton des Poteaux et des Longrines est moyenne .

G. L'Ultrasonique:

L'auscultation sonique permet de mesurer le temps de propagation d'un train d'ondes sonores entre deux points. Une partie de l'auscultateur, le transducteur, produit des ultrasons.

Grâce aux propriétés piézoélectriques des matériaux, l'énergie électrique émise est transformée en énergie mécanique ultrasonore. L'appareil mesure le temps nécessaire à l'onde pour atteindre le récepteur qui la convertit en signal électrique. Connaissant la distance de l'émetteur possible de connaître la vitesse de propagation de l'onde dans le milieu.

Ce procédé permet de caractériser l'homogénéité physique du béton ainsi que son état d'altération. En effet, cette méthode de diagnostic permet entre autres de localiser des défauts, des vides ou autres malfaçons dans le béton. et les résultats dans le tableaux ci-dessous: (NF EN 10250-4)





Figures III.18: Appareil ultrasonique.

Le tableau suivant donne les résultats d'essais obtenus par le CEBTP sur l'auscultationsonique des bétons:

Tableau III.9 : Résultats d'essais d'auscultation sonique des bétons-(CEBTP) référence.

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

Tableau III.10 : Résultats des essais ultrasonique de bloc 09. (NF EN 10250-4)

	Eléments	Essai s	Temps T(s)	Distance L (m)	$V=L/T$ (mm/ms)	Moyenne (mm/ms)	Remarque
Bloc 09	Poteaux	1	$66,55 \times 10^{-6}$	25×10^{-2}	3756,57	3639,69	
		2	$69,45 \times 10^{-6}$	25×10^{-2}	3599,71		
		3	$70,17 \times 10^{-6}$	25×10^{-2}	3562,78		
	Poutres	1	$112,45 \times 10^{-6}$	25×10^{-2}	2223,21	2392,78	
		2	$105,66 \times 10^{-6}$	25×10^{-2}	2366,08		
		3	$96,56 \times 10^{-6}$	25×10^{-2}	2589,06		
	Volées d'escalier	1	$50,10 \times 10^{-6}$	18×10^{-2}	3592,81	2565,94	
		2	$62,12 \times 10^{-6}$	15×10^{-2}	2414,68		
		3	$59,16 \times 10^{-6}$	10×10^{-2}	1690,33		
	Longrines	1	$69,45 \times 10^{-6}$	28×10^{-2}	4031,68	3597,67	
		2	$66,32 \times 10^{-6}$	22×10^{-2}	3317,25		
		3	$49,36 \times 10^{-6}$	17×10^{-2}	3444,08		



Remarque :

- Les résultats de la vitesse de propagation du son concernant Poutres et Volées d'escalier sont très faibles en comparaison avec les poteaux e longrine ce qui signifie le béton est de mauvaise qualité.(Voir tableau Résultats d'essais d'auscultation sonique des bétons-(CEBTP) référence).

- Les résultats de la Vitesse de propagation du son des Poteaux et des Longrines est moyenne , ce qui signifie le béton est de qualité moyenne qualité. (Voir tableau Résultats d'essais d'auscultation sonique des bétons-(CEBTP) référence) . et les résultats dans le tableaux ci-dessous:

Tableau III.11 : Résultats des essais ultrasonique de bloc 16. (NF EN 10250-4)

	Eléments	Essais	Temps T(s)	Distance L (m)	V=L/T (mm/ms)	Moyenne (mm/ms)	Remarque
Bloc 16	Poteaux	1	$67,12 \times 10^{-6}$	25×10^{-2}	3724,67	3825,43	
		2	$66,30 \times 10^{-6}$	25×10^{-2}	3770,74		
		3	$62,8 \times 10^{-6}$	25×10^{-2}	3980,89		
	Poutres	1	$60,45 \times 10^{-6}$	22×10^{-2}	3639,37	3270,20	
		2	$59,20 \times 10^{-6}$	20×10^{-2}	3378,38		
		3	$64,45 \times 10^{-6}$	18×10^{-2}	2792,86		
	Volées d'escalier	1	$73,33 \times 10^{-6}$	18×10^{-2}	2454,66	2554,52	
		2	$71,48 \times 10^{-6}$	15×10^{-2}	2098,49		
		3	$32,15 \times 10^{-6}$	10×10^{-2}	3110,42		
	Longrines	1	$52,67 \times 10^{-6}$	20×10^{-2}	3797,23	3606,14	
		2	$50,32 \times 10^{-6}$	18×10^{-2}	3577,11		
		3	$49,36 \times 10^{-6}$	17×10^{-2}	3444,08		

Remarque :

- Les résultats de la vitesse de propagation du son concernant Poutres et volées d'escalier sont très faibles en comparaison avec les poteaux e longrine ce qui signifie le béton est de mauvaise qualité. (Voir tableau Résultats d'essais d'auscultation sonique des bétons-(CEBTP) référence).

- Les résultats de la Vitesse de propagation du son des Poteaux et des Longrines est moyenne, ce qui signifie le béton est de qualité moyenne qualité. (Voir tableau Résultats d'essais d'auscultation sonique des bétons-(CEBTP) référence).

H. Analyses par DRX:

La diffraction des rayons X (DRX) est l'une des techniques analytiques les plus importantes dans la caractérisation des matériaux cristallins à grains fins, tels que les bétons, mortiers . En principe, la



Chapitre III : DIAGNOSTIQUE ET EXPERTISE D'UN BATIMENT DESTINEE A USAGE D'HABITATION CAS OUED RIGHE



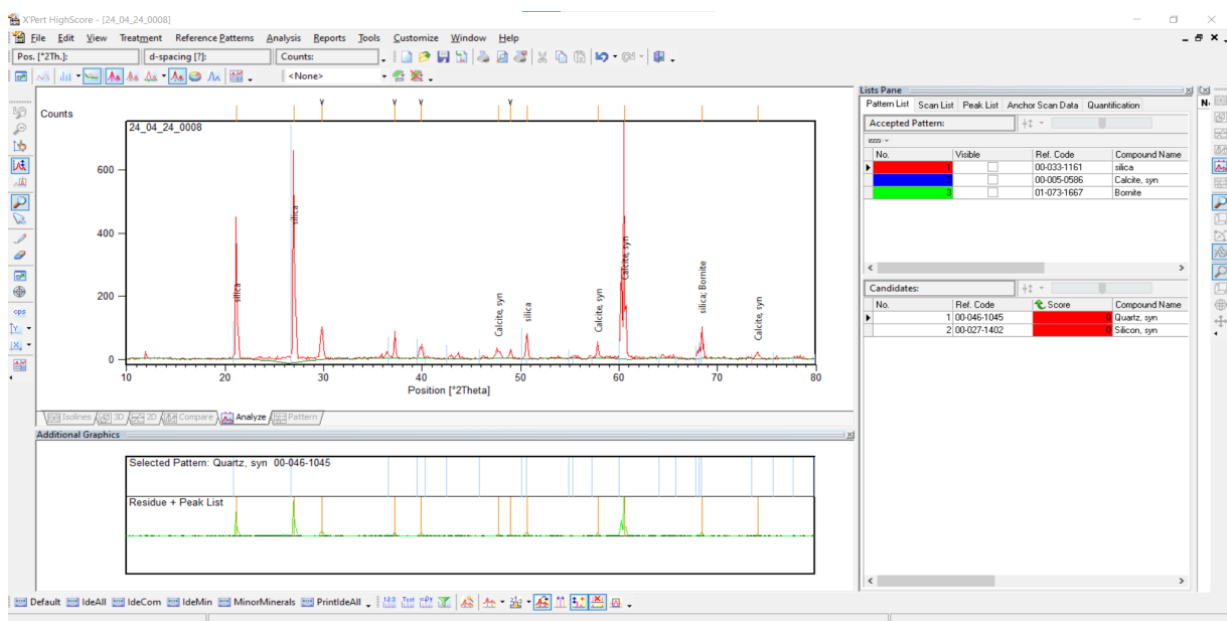
méthode n'est pas adaptée à la matière amorphe, toutefois, la matière amorphe diffuse les rayons X et elle peut être partiellement cristallisée. La puissance de la DRX réside dans la fourniture rapide et fiable, si elle est effectuée de manière appropriée, de données quantitatives sur les propriétés structurales des cristaux et l'abondance des phases individuelles contenues dans les matériaux cimentaires.

La méthode est généralement consiste à bombarder l'échantillon avec des rayons X, et à regarder l'intensité de rayons X qui est diffusée selon l'orientation dans l'espace. Le rayonnement provoque l'émission de son spectre. Ce spectre est appelé diffraction par rayon X (DRX) car le mode d'excitation concerne les photons.

Le spectre est formé de raies caractéristiques des différents éléments présents dans l'échantillon.

Résultats des essais de DRX

- Echantillon 01



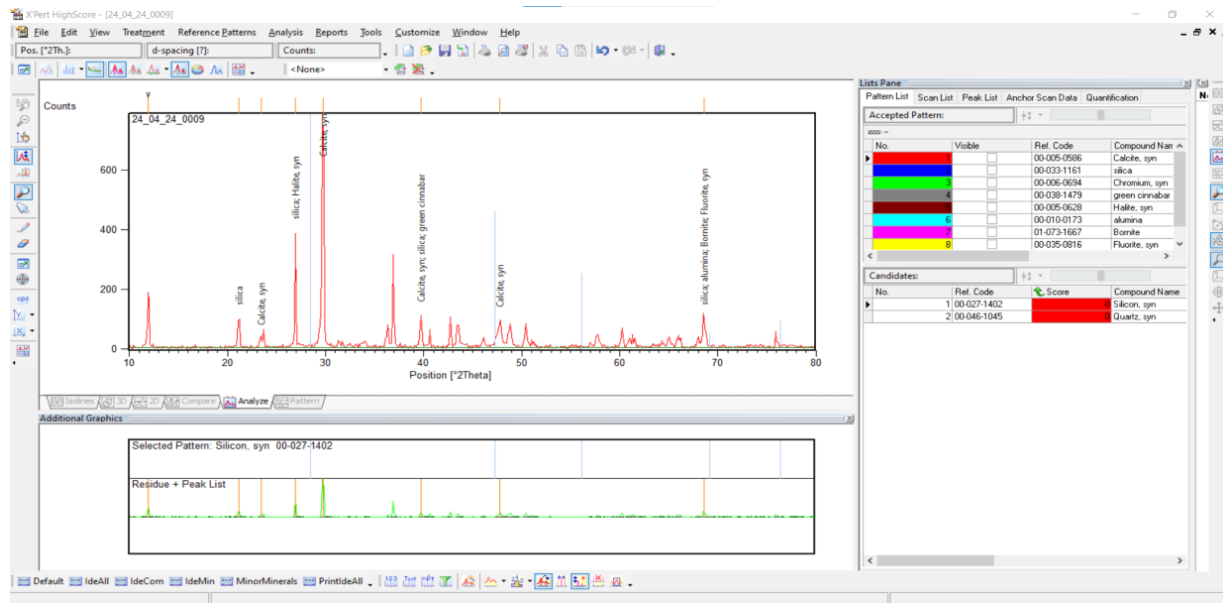
Courbes III.1: Résultats des essais de DRX d'échantillon 01



Chapitre III : DIAGNOSTIQUE ET EXPERTISE D'UN BATIMENT DESTINEE A USAGE D'HABITATION CAS OUED RIGHE

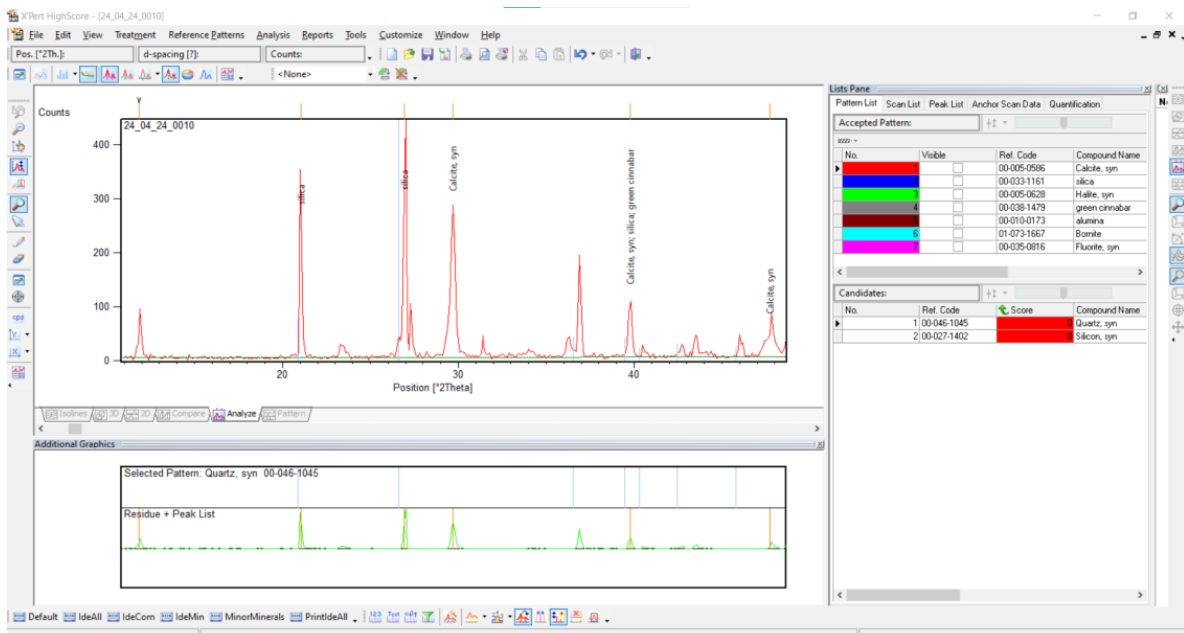


• Echantillon 02



Courbes III.2: Résultats des essais de DRX d'échantillon 02

• Echantillon 03



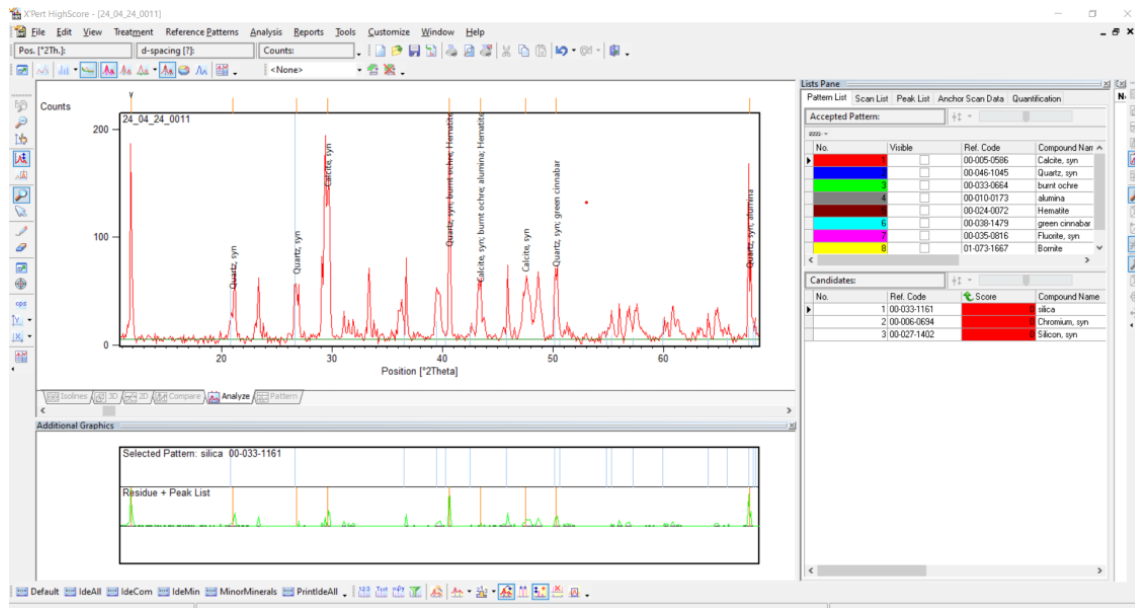
Courbes III.3: Résultats des essais de DRX d'échantillon 03



Chapitre III : DIAGNOSTIQUE ET EXPERTISE D'UN BATIMENT DESTINEE A USAGE D'HABITATION CAS OUED RIGHE



• Echantillon 04



Courbes III.4: Résultats des essais de DRX d'échantillon 04

I. Analyses par spectroscopie infrarouge:

La spectroscopie FT-IR est une technique basée sur l'interaction entre un rayonnement IR et un échantillon pouvant être solide, liquide ou gazeux. elle mesure les fréquences aux quelles l'échantillon absorbe le rayonnement, ainsi que l'intensité de ces absorptions. Les fréquences sont utiles pour l'identification de la composition chimique de l'échantillon car les groupes fonctionnels chimiques sont responsables de l'absorption du rayonnement à différentes fréquences.

La concentration d'un composant peut être déterminée en fonction de l'intensité d'absorption.

Les spectres FT-IR ont été enregistrés en utilisant un spectrophotomètre SHIMADZU IRAffinity-1.

Les spectres des échantillons du béton ont été enregistrés en broyant les échantillons en poudre, en béton armé.

Plus précisément, la gamme de fréquences dans l'infrarouge moyen (4000 à 400 cm^{-1}) avec une résolution de 8 cm^{-1} .

Trente scans ont été enregistrés à chaque fois.

Résultats des essais d'infrarouge :

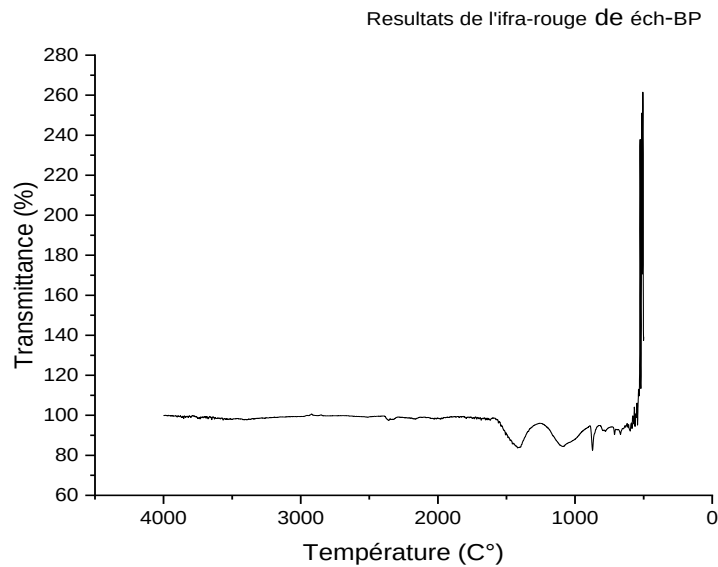


Chapitre III : DIAGNOSTIQUE ET EXPERTISE D'UN BATIMENT DESTINEE A USAGE D'HABITATION CAS OUED RIGHE



- Echantillon 01

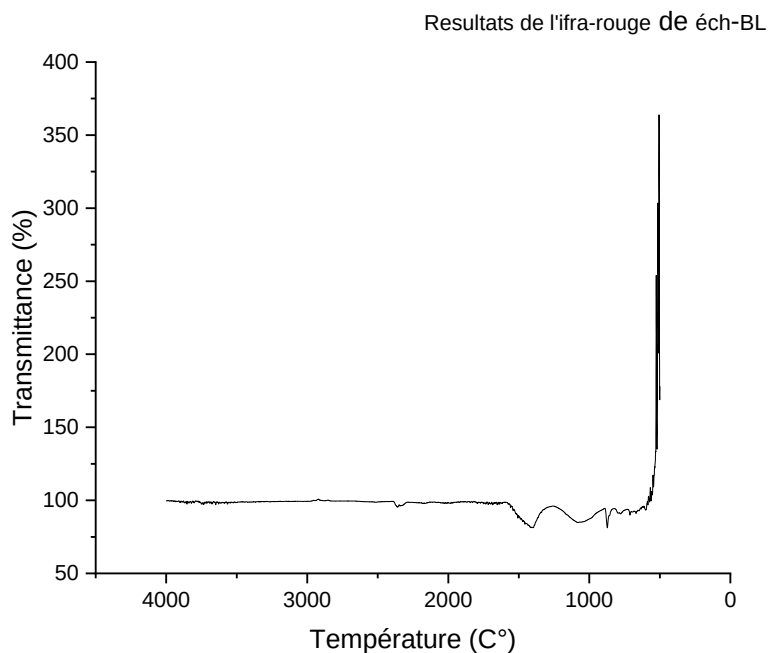
T= 874.0776	T= 1081.87	T= 1418.387
Calcaire	Aragonite	calcaire



Courbes III.5: Résultats des essais d'infrarouge d'échantillon 01

- Echantillon 02

T= 872.1491	T= 1082.834	T= 1404.888
calcaire	aragonite	calcaire



Courbes III.6: Résultats des essais d'infrarouge d'échantillon 02



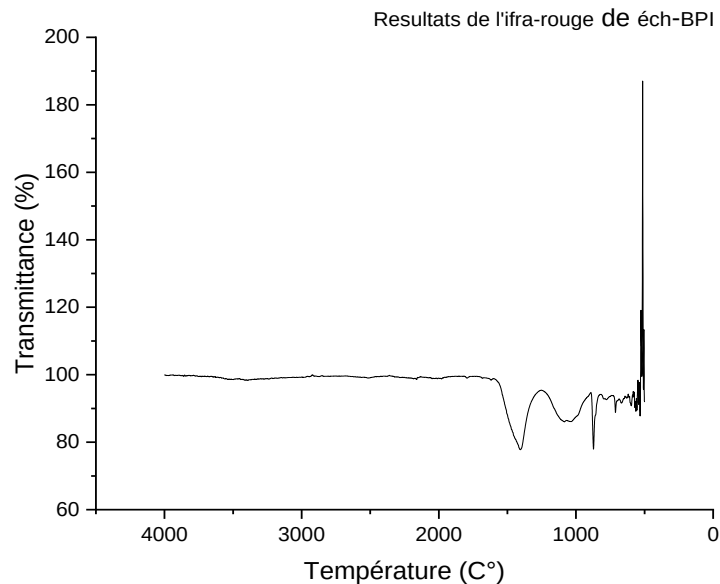
Chapitre III : DIAGNOSTIQUE ET EXPERTISE D'UN BATIMENT DESTINEE A USAGE D'HABITATION CAS OUED RIGHE



- Echantillon 03

T= 871.667. T= 1397.656

calcaire calcaire

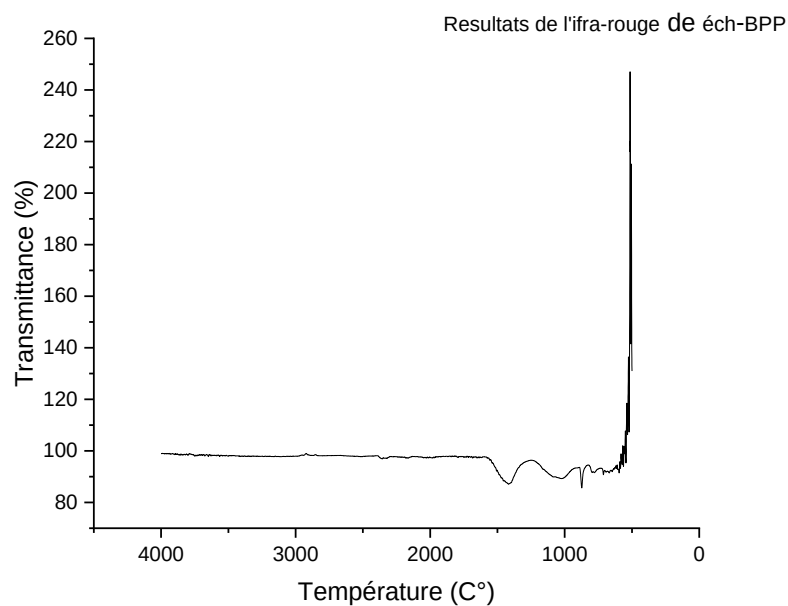


Courbes III.7: Résultats des essais d'infrarouge d'échantillon 03

- Echantillon 04

T= 874.0776. T= 1418.869

calcaire calcaire



Courbes III.8: Résultats des essais d'infrarouge d'échantillon 04





➤ Résultats de DRX et analyse de l'infrarouge

L'analyse de DRX donne le composant de chaque échantillon étudié et l'analyse par IR prouve que les matériaux ne contiennent que la famille de calcite et que les composants de la pâte n'existent plus

Il est apparu que les deux analyses contiennent principalement le calcite (gravier) mais la pâte qui englobe les différents constituants n'apparaît pas !

III.3. Méthodes destructive:

III.3.1. L'intervention du laboratoire a consisté aux tâches suivantes :

Prélèvement trois 03 carottes au niveau des structures des logements endommagés (BLOC 09).

A. Calcul la densité du béton à l'aide d'une balance hydrostatique:

❖ Mesure de la densité des carottes:

On utilisant une balance destinée à mettre en évidence la poussée d'Archimède par la méthode de la pesée hydrostatique. Elle sert aussi à déterminer la densité d'objets non solubles dans l'eau et plus denses que l'eau ou la densité de liquides. Son fonctionnement s'appuie sur le fait que le poids apparent d'un objet change quand il est plongé dans l'eau, et les résultats dans le tableau ci-dessous:



Figures III.19: Balance hydrostatique

Tableau III.12. Résultats des essais de la densité des carottes de bloc 09. [14]

Carotte n°	Poids d'éprouvette (gr)	Poids d'éprouvette + Paraffine (gr)	Poids de Paraffine (gr)	Poids de l'éprouvette dans l'eau (gr)	Volume de paraffine (cm ³)	Volume d'éprouvette (cm ³)	Densité g/cm ³
Carotte n°1	1850	1910	60	985	66,67	858,33	2,16
Carotte n°2	1585	1615	30	836	33,33	745,67	2,13
Carotte n°3	1725	1775	50	928	55,56	791,44	2,18

B. Essai de compression: norme NA 17004:





- ❖ Les résultats des essais d'écrasement sur des carottes prélevées conformément a la essai de compression (NF-EN-12390-3 et NF-EN-12390-13):

Un essai de compression est réalisé sur trois des éprouvettes cylindriques afin de déterminer la résistance en compression moyenne du matériau et les résultats dans le tableau ci-dessous:



Figures III.20: Essais de la compression des carottes

Tableau III.13. Résultats des essais de la résistance à la compression simple RC des carottes de bloc 09. [14]

N°	Carottes n°	Démontions de la carotte (cm)	Résistance à la compression simple RC en bar (%)
01	Carotte n°01	Diamètre = 9 cm Hauteur = 18 cm	214
02	Carotte n°02		209
03	Carotte n°03		217

❖ **Observations :**

- ✓ Densité moyenne : $2,15 \text{ g/cm}^3$.
- ✓ Résistance moyenne à la compression simple RC = **213** bar.

❖ **Remarque :**

- ✓ La densité des 03 carottes de béton sont moyenne.
- ✓ Les résultats de la résistance à la compression simple RC concernant les 03 carottes sont moyenne.

C. Analyse chimique des matériaux composants le béton :



Tableau III.14. Analyse chimique des matériaux composants le béton de bloc 09. [14]

Carotte n°03	Sulfate CaSO ₄ , 2 H ₂ O %	CaCO ₃ %	INSOLUBLE %
Echa n° 01 Sable +ciment	06,34	34,70	50,0
Echa n° 02 Gravier (blanchâtre)	/	86,90	13,0

Remarque : Les matériaux composants le béton contiennent un taux de considérable de la Sulfate CaSO₄, 2 H₂O.

Causes probables des désordres et interprétations:

Les causes probables des anomalies citées ci-dessus se résument dans les points suivants :

- Les éclatements des bétons des paillasse et paliers des escaliers est dû essentiellement à :
 - ✓ la corrosion des armatures enrobées dans le béton .
 - ✓ une mauvaise compacité de béton.
 - ✓ l'enrobage très faible et insuffisant.
- Quant à La corrosion avancée des aciers, et la chute de plaques de béton des paillasse et paliers d'escaliers, ces dernières révèlent d'une carbonatation avancée du béton mis en œuvre.
- Les infiltrations des eaux sous les faces et les parements des paillasse et paliers des escaliers, sont dues essentiellement :
 - ✓ l'utilisation en abondance des eaux pour nettoyage.
 - ✓ l'absence de revêtements sur les volées d'escaliers et les dalles pleines a rendu ces éléments perméables, et ne protègent plus leur béton contre la carbonatation.
 - ✓ les fuites d'eau provenant des citernes installées anarchiquement sur les terrasses et d'autres endroits.
- La réalisation des jonctions entre la maçonnerie et la structure en béton (poteaux) qui ne répond pas aux exigences réglementaires de construction est à l'origine de décollement et détachement des murs des poteaux.
- Le basculement nettement visible des murs en maçonnerie sur les paliers de repos est dû essentiellement au fléchissement de ces derniers,
 - Les défauts d'exécution des paliers intermédiaires sont à l'origine du fléchissement de ces derniers (manque d'attaches d'armatures, espacement et écartement entre nappe inférieure et supérieure non respecté).
- Il ressort de cette expertise que les causes probables sont comme suit :





❖ Le non compacité du béton, l'éventuelle utilisation du sable qui contient des impuretés acides et de l'eau potable saline de la région pour la confection du béton et l'usage quotidien de l'eau potable par les habitants ont favorisé les attaques chimiques du béton. Ces attaques se manifestent par :

✓ **L'attaque externe** : due à la présence d'un milieu agressif contenant des sulfates et/ou des chlorures, la dégradation est, dans ce cas, progressive de la surface vers le cœur du béton;

✓ **L'attaque interne** : due à la présence des sulfates et/ou du chlore dans le ciment, le sable ou les granulats, affecte l'ensemble du béton et se manifeste par un gonflement qui conduit à la fissuration. Ils sont soit :

❖ Causés par les Réactions Sulfatiques Internes (RSI) dont les mécanismes de destruction sont fonction de la concentration des ions sulfates dans la solution d'eau externe ou interne dans la pâte de ciment. En effet, si le milieu dans lequel a lieu la réaction comporte plusieurs vides (pores, bulles d'air, fissures), les produits de réaction s'y accumuleront et pourront gonfler librement. Cette réaction Sulfatique interne illustre la tendance d'un gonflement du matériau et une fissuration de la structure. La cause du gonflement est attribuée à la formation d'Ettringite qui présente, sous certaines conditions, des caractères expansifs.

❖ On causées par l'infiltration des chlorures qui corrodent les ferrailage des bétons.

❖ Les ions chlorures pouvant pénétrer par les fissures ou le réseau poreux du béton pour aller corroder les aciers.

❖ Ces attaques chimiques peuvent détériorer très significativement le béton dans un laps de temps relativement court (10 à 15 ans).

❖ La dégradation du béton armé sous l'effet des attaques chimiques de béton au niveau des longrines et des éléments porteurs ((poutres et portes à faux)) des planchers favorisent des fissures horizontales et en escalier au niveau de la maçonnerie.

❖ La flexibilité différentielle des éléments poutre provoqué des efforts sur la maçonnerie causent des fissures .

❖ La flexibilité des portes à faux déclenche l'apparition des fissures verticales et horizontales au niveau des interfaces (maçonnerie – structures). Le mode de conception initialement choisi vis-à-vis des éléments porteuses comme les dalles plans en porte à faux est insuffisant pour assurer le critère de rigidité, les murs en maçonnerie supportés par les dalles en porte à faux présentent des fissures horizontales et verticales et ne s'accommodent pas à leur flexibilité.





❖ Les infiltrations des eaux au niveau des fondations ont pu induire au lessivage du sable en-dessous des semelles isolées, ce qui a pu provoquer le tassement des semelles isolées porcher de ces venues d'eaux.

❖ Selon les analyses chimiques effectuées sur plusieurs régions, les sols contiennent de fortes concentrations de sulfates et de chlorures exprimés en SO_4 , Dans de la non utilisation d' un ciment HTS, leurs présences peut dégrader significativement le béton des éléments en infrastructure tels que, les semelles isolées, amorces poteaux, longrines et dallages dont les effets peuvent se manifester par la fissuration de la maçonnerie du RDC et la détérioration du carrelage du RDC.

III.4. CONCLUSION :

A la lumière des observations citées ultérieurement, le degré de dégradation des blocs varie d'un bloc à un autre. Certains blocs, tel que le bloc 09 et bloc 16 ..., sont profondément endommagés tandis que d'autres sont partiellement endommagés. En considérant :

- La faible résistance et la non compacité des bétons utilisés.
- Les attaques chimiques internes et externes du béton .
- La température élevée de la région qui est considéré comme un fort catalyseur des réactions chimiques;
- La forte dégradation des éléments porteurs .
- La constante exposition des blocs aux agents agressifs (usage quotidien de l'eau potable riche en chlorure et en sulfate).
- L'agressivité chimique du sol de la région .
- La dégradation des regards d'évacuation des eaux usées .
- Les fuites du réseau d'alimentation en eau potable.

Vu le caractère évolutif de ces pathologies et son expansion rapide dans le temps, nous proposons qu'une décision concernant ce site doit être prise dans l'immédiat. Deux options se présentent :

✚ Procéder à des travaux de confortement structurel de l'ensemble des blocs touchés par ces désordres en s'assurant d'éliminer l'effet des attaques chimiques du béton, stopper l'effet corrosif des ronds à béton et de respecter les règles de l'art de la construction. L'opération est certes faisable du point de vue technique, mais eu égard de la généralisation de cette pathologie sur l'ensemble des éléments porteurs et autres. Cette action pourrait s'avérer extrêmement couteuse et difficilement mise en oeuvre dont l'atteinte de l'objectif n'est pas évidente. D'où nous concluons et proposons qu'une réflexion sur la démolition et reprise peut être envisagée. Cette action est plus maîtrisée en





termes de faisabilité et probablement moins couteuse (cela ne peut être affirmé qu'à travers une étude de coût).

✚ Procéder à la reprise de ces blocs.

III.5. RECOMMANDATIONS

Il est recommandé de prendre en compte les dispositions préventives suivantes :

- Prémunir toutes les parties de l'ouvrage susceptibles d'amorcer ce type de pathologie.
- Il convient donc de les mettre à l'abri de tout contact avec l'eau ou toute autre source d'humidité.
- La protection des enduits extérieurs et intérieurs :

Si les résultats des analyses chimiques du laboratoire confirment la présence excessive des sulfates dans le mortier d'enduit utilisé sur les parements extérieurs et intérieurs des maçonneries de remplissage, il est recommandé d'appliquer un badigeonnage imperméabilisant sur l'ensemble de ces parements.

Limiter les variations de teneur en eau du sol à proximité de l'ouvrage en respectant les dispositions suivantes :

- ✓ Les évacuations des eaux usées et pluviales.
- ✓ Assurer l'étanchéité des regards d'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales.
- ✓ Les réservoirs de collecte des eaux pluviales doivent être équipés d'un système empêchant le déversement des eaux de trop-plein dans le sol proche de la construction.
- ✓ Les eaux de ruissellement superficielles ou souterraines doivent être détournées à distance de l'habitation en mettant en couvre un réseau de drainage .
- ✓ La surface du sol aux abords de la construction doit être imperméabilisée.
- ✓ Le risque de rupture des canalisations enterrées est minimisé par l'utilisation de matériaux flexibles avec joints adaptés.

Il est également recommandé, compte tenu de l'attaque par les sulfates qui peut se manifester à tout moment du fait de leur présence dans le béton et dans le milieu avoisinant, de procéder à des diagnostics périodiques et à un suivi des ouvrages. Tout cas pathologique lié à l'attaque Sulfatique interne doit être repéré immédiatement et traité.



CHAPITR IV

LES METHODES DE REPARATION DU BETON ARME DES OUVRAGES DEGRADEES

DIAGNOSTIC DE QUELQUES CONSTRUCTIONS A L'USAGE
D'HABITATION (CAS D'OUED RIGH)



IV.1 Introduction :

Dans le secteur du bâtiment, il existe plusieurs interventions de maintenance, de réparation et de renforcement, correspondant à des métiers différents. Mais dans tous les cas, il est indispensable de bien connaître l'existant, d'être « réactif » aux gens et aux choses et de mesurer l'enjeu véritable de chaque opération envisagée.

Toutefois, il faut noter que les domaines d'action auxquels correspondent ces interventions, bien que comportant une partie commune qui est bien sûr le diagnostic, doivent être distingués l'un de l'autre.

IV.2 Méthode de réparation :

IV.2.1. Définitions :

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

IV.2.2. Réparation des ouvrages en béton armé :

Suite à un propre diagnostic, les procédés de réparation d'un ouvrage ne viennent pas seulement ramener les sections d'origine de l'acier et du béton, mais aussi rétablir les caractéristiques mécaniques des différents éléments concernés. C'est-à-dire remettre la possibilité à la structure de reprendre au mieux les efforts qui lui sont appliqués. [9]

IV.3 Réparation des surfaces :

IV.3.1 Dégagement des armatures :

La préparation des surfaces à réparer est très importante pour la longueur de vie des réparations. Il convient dans un premier temps de dégager toutes les zones de faible cohésion. S'il y a corrosion des armatures, il est important de dégager les aciers corrodés pour arriver à une zone saine apparaisse ; plusieurs techniques sont valables pour vérifier qu'on atteint des zones sous corrosion (burinage, repiquage, bouchardage, jet d'eau, sablage).

Pour être sûr d'une bonne réparation, il est d'usage d'obtenir un dégagement comme le montre le schéma suivant selon AFNOR : [9]



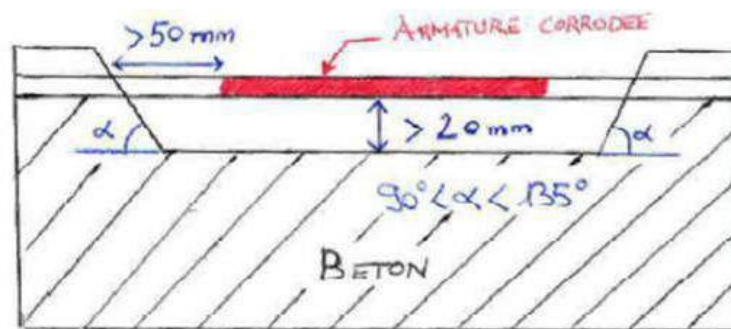


Figure IV.1 : Dégagement des armatures selon la norme NF P 95.101

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

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

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

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

C. Armatures passives additionnelles Cas d'utilisation :

➤ Remplacement d'armatures de béton armé:

Structure affectée par des désordres mettant en jeu sa capacité portante (modification des caractéristiques mécaniques des armatures suite à un incendie, rupture des armatures suite à un choc, forte réduction des armatures suite à la corrosion...).[7]

➤ Ajout d'armatures de béton armé:

Changement d'affectation (mise en place d'équipements augmentant les charges permanentes), renforcement de la structure (précontrainte additionnelle nécessitant l'augmentation de la section en béton armé).

D. Armatures passives additionnelles Etudes préliminaires :

- Caractéristiques et état des armatures de béton armé (HA ou lisse, diamètre, limite d'élasticité et contrainte de rupture, soudabilité, importance de la corrosion...).
- Caractéristiques et état du béton (composition, résistance, défauts, désordres...).
- Types d'actions subies par la structure (statiques et dynamiques);
- Capacité portante de la structure.
- Agressivité de l'environnement.



- Exigences du Maître d'Ouvrage (maintien du gabarit par exemple). [6]

IV.3.2 Réparation avec remplacement d'armatures :

a) Choix des matériaux:

+ Armatures:

- Si désordres limités à une partie de la structure, (cas courants de chocs), les armatures BA sont remplacées après travaux de préparation adaptés.
- Si désordres liés à la corrosion et concernant une partie importante de la structure et quel 'environnement est agressif, il est envisageable de remplacer les armatures BA par des armatures non corrodables, (inoxydables, matériaux composites). [10]

+ Mortier ou béton:

Caractéristiques du béton ou mortier de ré-enrobage des armatures remplacées doivent être compatibles avec les caractéristiques du béton existant et l'agressivité de l'environnement de l'ouvrage.

Principe de remplacement d'un ferrailage endommagé par un choc au niveau du talon d'une poutre en BA: enlèvement du béton endommagé, dégagement des armatures transversales et longitudinales endommagées puis mise en place du ferrailage de remplacement. [10]

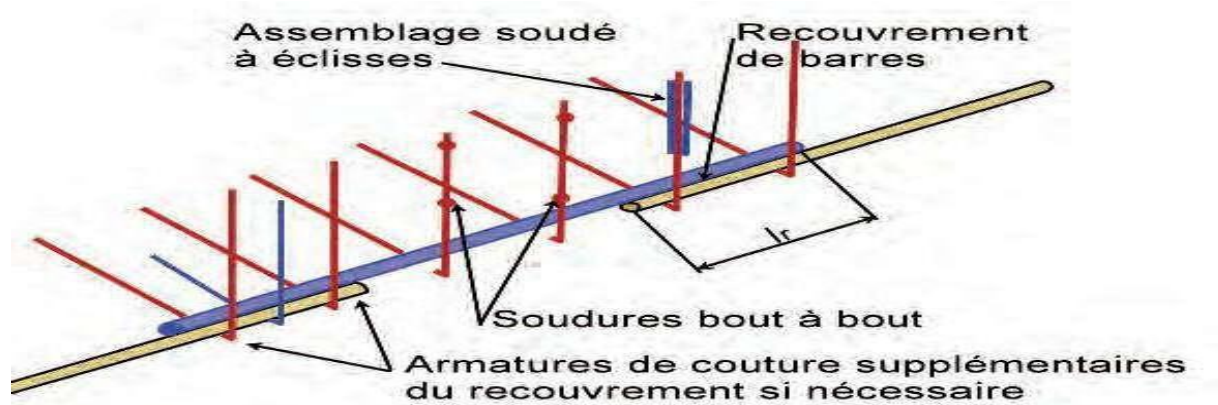


Figure IV.2: Remplacement des armatures

b) Renforcement avec ajout d'armatures :

- Exemple de renforcement d'une poutre par ajout de béton et d'armatures passives (Insuffisance de capacité portante vis-à-vis de la flexion et de l'effort tranchant).

* **Le chemisage des poteaux en béton armé** : une technique de renforcement efficace, le chemisage est une technique de renforcement des structures en béton armé qui consiste à augmenter leur section transversale en les entourant d'une nouvelle couche de béton armé.

* **Principe du chemisage des poteaux** : Le chemisage des poteaux est une technique couramment utilisée en génie civil pour renforcer les structures existantes. Elle permet d'augmenter

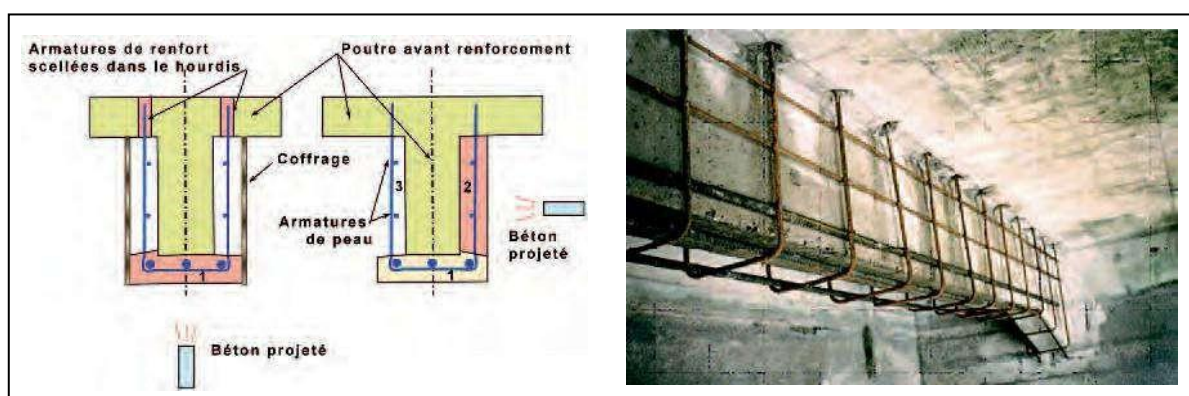




la capacité portante des poteaux, de corriger les défauts de construction ou de protéger les poteaux contre les agressions extérieures.



Figures IV.3 : L'image montre un poteau en béton armé en cours de chemisage



Figures IV.4 : Renforcement avec ajout d'armatures de poutre

IV.3.2 Le ragréage :

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

Afin de limiter la réapparition de corrosion dans les zones réparées on choisit de mélanger des inhibiteurs de corrosion dans la formulation de ce mortier. [6]

1. Préparation de surface :

Objectif de la préparation de surface : créer un support sain, propre, rugueux afin d'assurer une bonne adhérence sur la surface de reprise :

- Enlever les parties de béton non adhérentes
- Enlever le béton contaminé par les chlorures ou la carbonatation
- Si les armatures doivent être complètement dégagées, prévoir de 1 à 2 cm (détourage des aciers)



- Bords de la zone dégagée francs et taillés, (angle compris entre 90 et 135), pour assurer une
- bonne liaison mécanique entre le matériau d'origine et celui d'apport [6]

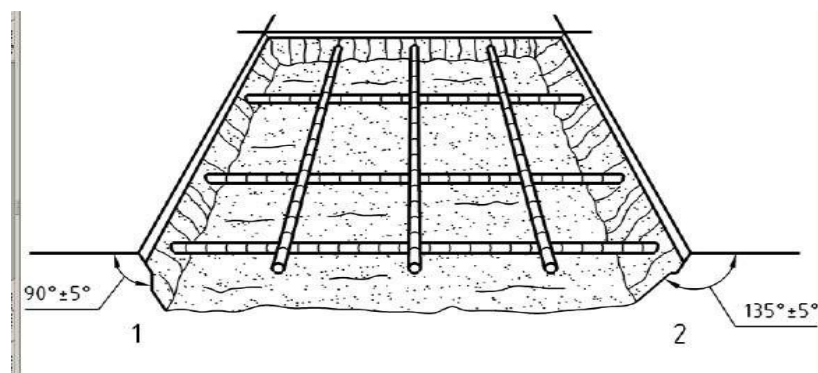


Figure IV. 5: Enlèvement du béton dégradé et détournage des armatures [rero béton. Res 2008]

2. Les techniques conseillées :

- Hydro démolition (fortes épaisseurs)
- Sablage (à sec ou humide)
- Décapage à l'eau à très haute pression
- Piquage au petit marteau pneumatique

3. Les techniques peu conseillées :

- Bouchardage et burinage

4. Les techniques déconseillées :

- Le brise-béton
- Décapage thermique et décapage chimique
- Rabotage mécanique
- Ponçage

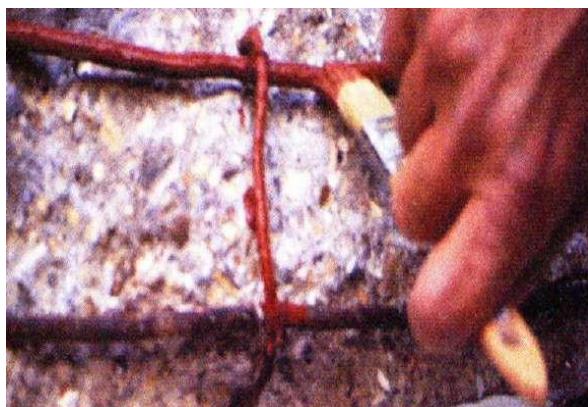
5. Nettoyage de la surface :

- Lavage à l'eau sous pression
- Brossage, aspiration, soufflage...
- Selon compatibilité avec le produit de réparation [6]

6. Protection des aciers :

- Décapage des aciers
- Revêtement anticorrosion (passivant), sans déborder sur le béton, si mortier ou béton ne peut être mis en œuvre immédiatement et/ou en épaisseur suffisante.
- Barbotine à base de liants hydrauliques (mettre en œuvre le mortier ou béton de recouvrement avant prise de la barbotine).





Figures IV. 6: Mise en place d'un passivant si nécessaire



Figure IV. 7 : Les mortiers de réparation PCI Nano crêt®

- Les mortiers de réparation PCI Nano crêt permettent d'obtenir une qualité optimale et sont extrêmement faciles à appliquer, application des PCI Nano crêt R4 / R3 par projection.

IV.3.4 Les produits :

A base de liants hydrauliques (LH, ie H) : NF EN 197-1 & 197-2, NF 314 (ciment prompt naturel), 315 & 316 (ciment alumineux fondu), 317 (PM), 318 (CP), 319 (ES)...

A. LH avec ajout :

- Granulats
- Fibres
- Adjuvants

B. Préparation probable sur chantier :

- soit à partir de mortiers industriels prêts à l'emploi (CE et NF).
- soit par malaxage des différents composants (béton projeté).

Pour améliorer la liaison entre support et mortier, application d'un produit d'adhérence (résine ou liants hydrauliques modifiés).

A base de liants hydrauliques modifiés par polymères organiques (LHM, ie PCC) : Deux formes :

- Mono composant : composant sous forme de poudre et ajout d'eau sur chantier.





- Bi composant :
- Composant A : polymère + eau nécessaire à l'hydratation du ciment.
- Composant B : ciment, sable, fines, ajouts et additions. Mélange sur chantier sans addition d'eau. NF EN 1504-3, marquage CE - Certains produits admis à la marque NF.

Pour améliorer la liaison entre support et mortier, application d'un liant hydraulique modifié ou à défaut humidification du support.

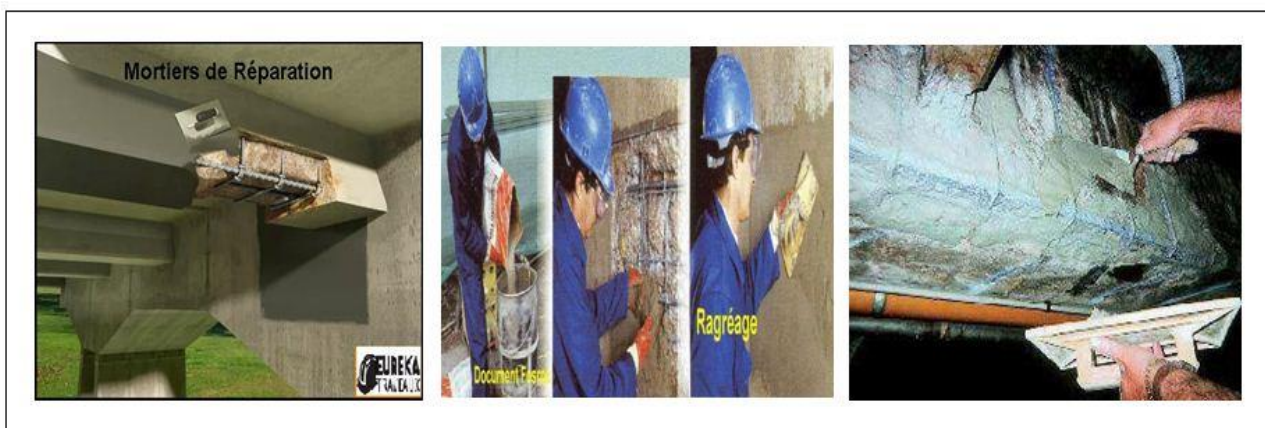
A base de résines synthétiques (LR, ie PC ou P) : Utilisés lorsque les deux types de produits précédents ne peuvent être mis en œuvre (réparation sous l'eau, forte résistance à l'abrasion...). Nécessité d'un personnel d'exécution spécialement formé et qualifié pour l'emploi des résines. Mise en œuvre nécessitant le respect rigoureux de la durée pratique d'utilisation (DPU) en fonction des conditions du chantier, (température, hygrométrie...).

Couche d'accrochage parfois nécessaire entre mortier et support, (spécifique à chaque produit et fonction de la qualité du support). [6]

IV.4 Application manuelle :

La mise en place des mortiers est réalisée classiquement à la truelle en serrant fortement pour éviter les bulles d'air et obtenir ainsi une bonne adhérence.

Pour le dressage des arêtes, une règle peut être utilisée.



Figures IV.8: Ragréage manuelle de mortier

✓ Bétonnage en place :

Coulage ou injection de béton ou mortier

Pour des volumes de béton importants ou des épaisseurs de béton d'au moins 5 à 10 cm :

- Pour le coulage, possibilité de connexions avec le support.
- Ajustement nécessaire des coffrages.
- Eviter l'emprisonnement d'air... [6]

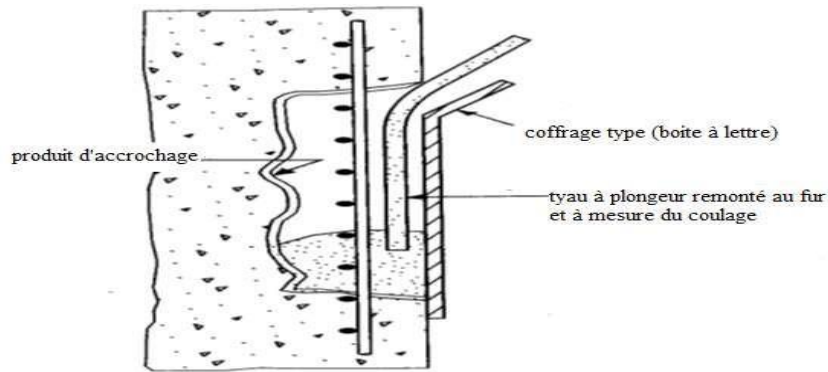


Figure IV. 9 : Coulage de béton

✓ **Le béton projeté :**

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

✓ **La technique consiste à :**

1. Malaxer et homogénéiser les constituants (ciment, granulats, adjuvants, fibres...) à l'état sec ou en incorporant l'eau de gâchage .

2. Transporter le mélange par des canalisations avec l'aide d'une pompe. [11]

3. Projeter le matériau sur le support A revêtir grâce à un jet d'air comprimé.

Il existe deux techniques de projection: Par voie sèche ou par voie mouillée.

La différence entre les deux techniques est liée à la manière dont l'eau de gâchage du béton est introduite (soit lors du malaxage du béton, soit lors de l'application du béton). [5]

✓ **Projection par voie sèche :**

Le mélange sec (granulats, ciment et éventuellement accélérateur de prise et adjuvants) est fabriqué dans un malaxeur puis propulsé par de l'air comprimé vers la lance de projection. Cette lance est associée à une lance de projection d'eau (et éventuellement d'accélérateur de prise sous forme liquide) [11]

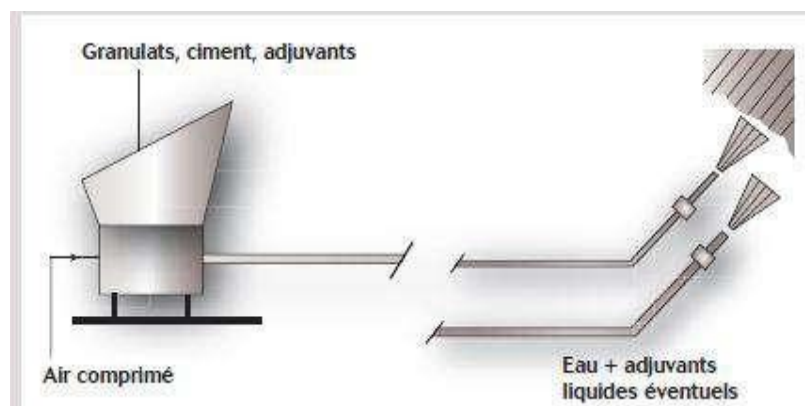


Figure IV. 10 : Projection par voie sèche



✓ Projection par voie mouillée :

Le mélange comprenant l'eau est stocké après malaxage dans une trémie.

Il est ensuite pompé jusqu'à la lance de projection et projeté grâce à l'air comprimé

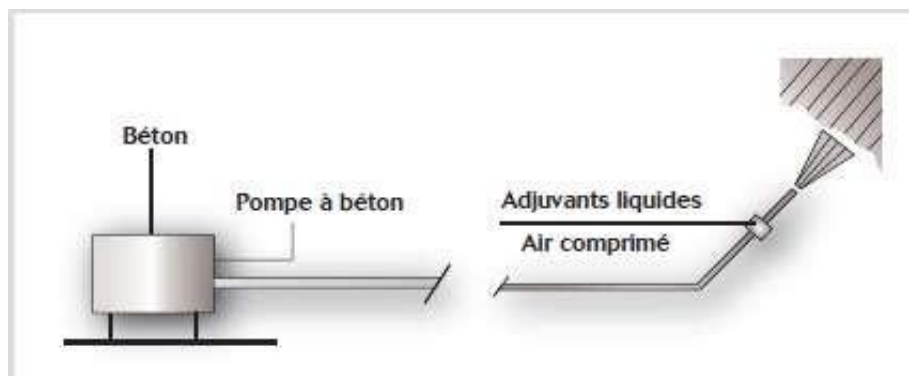


Figure IV.11: Projection par voie mouillée

✓ Intérêt de la technique :

La technique du béton projeté permet de réaliser des couches de béton de faible épaisseur qui épousent le support et y adhèrent parfaitement.

Elle est utilisée en travaux neufs ou en réparation d'ouvrages anciens (réparations locales, confortements d'ouvrages, renforcements de structures...).[11]

Le choix de la technique de projection est fonction :

1. De l'importance du chantier.
2. La technique par voie sèche qui offre une grande souplesse d'utilisation est privilégiée pour des chantiers de faible importance ou nécessitant des arrêts fréquents .
3. de la nature des travaux à effectuer .
4. des cadences de réalisation souhaitées la technique par voie humide permet des capacités de production élevées .
5. des performances mécaniques à obtenir : la technique par voie sèche permet d'obtenir des résistances élevées.

L'adjonction de fibres (dosage 35 à 50 kg/m³) offre au béton projeté des propriétés complémentaires, fonction du type de fibres : limitation des effets du retrait, amélioration des résistances mécaniques, meilleure cohésion du béton à l'état frais. [5]

✓ Des cas similaires :

Intervention des agents de maintenance de l'OPGI de El Oued appliquée au niveaux d'un bâtiment détérioré Dans la commune de Hassani Abdel Karim : Novembre 2022

Ce processus s'est déroulé en plusieurs étapes, avec des spécifications techniques de



document technique de les renforts (DTR), et sous la supervision d'un représentant du CTC et d'un représentant de l'OPGI El Oued, Utiliser tous les additifs des préparations (SIKA) , Il est nécessaire de prendre en compte la sécurité et la sûreté des travailleurs dans cette restauration en renforçant toute la surface endommagée, Ces étapes sont présentées dans les images suivantes : [8]



Figure IV.12: Consiste à renforcer la dalle endommagée pour plus de sécurité[8]



Figure IV.13: Démolition et Décapage du béton détérioré avec un bon nettoyage de l'armature de prose métallique(intérieur) [8]

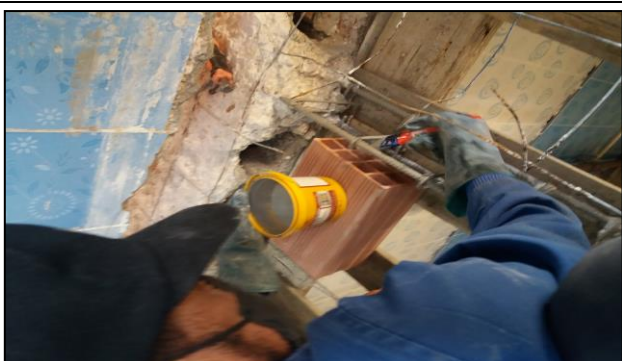


Figure IV.14: Protection la armature de nervure et poutrelle, poutre et en utilisant (Sika monotop1010)(Anti-corrosion). [8]



Figure IV.15: Résine époxydique de reprise de bétonnage (Sika dur A/B) pour collage de béton frais sur béton durci. [8]



Figure IV.16: Enlever et gratter la rouille un brosse métallique et ragréage manuelle de poutre intérieur et extérieur de mortier de réparation en (SIKAMONOTOP SF126) .et (SIKAMONOTOP 4012)[8]



Figure IV.17: Remoulage et coulage le dalle et élément structurelle à l'aide d'un vibreur.[8]



Figure IV.18: Réalisation de l'étanchéité à base de bitume.[8]

IV.5 Conclusion :

Le béton armé est un des matériaux de construction les plus couramment utilisés sur tout en domaine de la construction. Toutefois, en raison de changements dans les spécifications de conception, le vieillissement, les conditions environnantes, etc. - il y a un besoin de procédures pour la réparation et prévention des superstructures et des infrastructures en béton armé de bâtiment.

C'est nécessaire pour que l'ouvrage réponde à l'évolution des besoins des propriétaires et pour éviter une réapparition rapide de nouvelles pathologies semblables.

Donc il est nécessaire de souligner le fait que ce n'est pas simplement protéger l'ouvrage.

Il faut avant tout travailler sur l'origine des désordres afin d'arrêter le problème à la source.

CONCLUSION GENERALE

DIAGNOSTIC DE QUELQUES CONSTRUCTIONS A L'USAGE
D'HABITATION (CAS D'OUED RIGH)



CONCLUSION GENERALE

Après cette étude Nous avons constaté qu' en synthèse, les pathologies du béton armé résultent souvent d'une combinaison complexe de plusieurs facteurs tels que sollicitations, à savoir :

- ❖ Charges et sollicitations pour les quelles l'ouvrage a été conçu.
- ❖ Environnement de l'ouvrage ou partie de l'ouvrage :
 - ✓ Actions atmosphériques.
 - ✓ Milieu ambiant particulièrement agressif.
 - ✓ Sols en contact agressifs.

Ce paramètre doit être considéré pour optimiser la formulation des bétons, c'est ce qu'on appelle: la Durabilité, qui peut concerner le matériau seul ou l'ouvrage(ou une partie de l'ouvrage).

La durabilité de l'ouvrage caractérise sa capacité à conserver les fonctions d'usage : fonctionnement structurel, sécurité et confort des usagers. Cette durabilité dépend de nombreux paramètres:

- Qualité des matériaux utilisés : béton... Mais aussi de la qualité :
- Des conceptions.
- Des réalisation selon les « règles de l'art » : Fabrication (malaxage...), mise en œuvre soignée : vibration correcte, cure adaptée , prise en compte de conditions climatiques lors du bétonnage...
- Du respect des valeurs d'enrobage minimales des armatures.
- Des opérations d'entretien et de maintenance.

Donc, durant sa vie, le béton peut être attaqué par divers agents physiques et chimiques, pathologies qui peuvent réduire sa durée de vie .Le béton est un matériau durable lorsqu'il est : bien formulé et bien mis en œuvre. Un béton durable est d'abord un béton compact et peu perméable. Cette compacité est obtenue en réduisant la porosité et la fissuration précoce du béton.

Pour assurer une durabilité du béton, il faut garantir en plus de la compacité

Le diagnostic des pathologies du béton armé est une étape cruciale dans la préservation et la maintenance des structures. Il nécessite une expertise technique approfondie ainsi que l'utilisation d'outils et de techniques appropriés pour identifier avec précision les problèmes potentiels.

Des méthodes d'inspection visuelle, des tests non destructifs et des analyses approfondies peuvent être utilisés pour évaluer l'état de santé des structures et détecter les signes de dégradation,





tels que les fissures, la corrosion des armatures ou les déformations structurelles. Une fois les pathologies identifiées, il est essentiel de réaliser une analyse approfondie des causes sous-jacentes afin de développer des stratégies de réparation et de renforcement adaptées. Ces interventions doivent être planifiées et exécutées avec soin pour garantir la sécurité et la durabilité continues de la structure.

Enfin, ces bâtiments sont notre centre d'intérêt et nécessitent le suivi régulier et la mise en œuvre de programmes de maintenance préventive sont essentiels pour prévenir la réapparition des pathologies et assurer la longévité des ouvrages en béton armé. En investissant dans le diagnostic précoce et la gestion proactive des problèmes, il est possible de prolonger la vie utile des structures et de minimiser les coûts de réparation à long terme.





Références Bibliographiques

- [1] Guide technique, Choix et application des produits de réparation et de protection.
- [2] Les techniques d'auscultation des ouvrages en béton armé– B. GODART – LCPC
- [3] CATED (guide CATED des techniques du bâtiment) fissuration.
- [4] Institut des Sciences Appliquées et Économiques - Université libanaise ISAE – Cnam Liban
Centre du Liban associé au Conservatoire national des arts et métiers – Paris 'Information et communication pour l'ingénieur Génie Civil' –ENG 222.
- [5] Michel (L.), 2012] Michel (L.), Pathologie, diagnostic, prévention et maintenance des structures. 2012. Pp11.
- [6] Dr. Ir. P. Boeraeve Cours de Béton armé Dernière impression le 30/01/2009 21:14:00.
- [7] [Baroghel-Bouny, 2005] V. Baroghel-Bouny, Nouvelle approche de la durabilité du béton. Indicateurs et méthodes, Éditions Techniques de l'Ingénieur, Base Structure et Gros Œuvre, Rubrique Bétons Hydrauliques, C 2 245, 2005.
- [8] Rapport OPGI = office de promotion et de gestion immobilière de la wilaya de el oued.
- [9] Guide technique du STRRES FABEM7 Réparation et renforcement de structures par des armatures passives additionnelles .
- [10] Guide technique du STRRES FABEM1 Reprise des bétons dégradés.
- [11] Guide technique du STRRES FABEM5 Béton projeté .
- [12] Rapport d'expertise fissurés et éclatements du béton au niveau du projet 60 logement sis a Sidi Amrane wilaya de Oued Souf. CNERIB : centre national d'étude et recherche intègre du bâtiment.
- [13] Rapport de diagnostic convention n° 2019.309.039 enter CDE OUARGLA et DIRECTION DE LOGEMENT DE WILAYA D'EL OUED
- [14] Expertise projet 60 logement sis a Sidi Amrane EL OUED par GEOBAT (LABORATOIRE & BUREAU TECHNIQUE ET GEOTECHNIQUE)

