

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE abbés LAGHROUR DE KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE



Département de génie civil

N° de série :.....

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Spécialité : Génie civil

Option : structures

**Etude et expertise des causes de
dégradations des ouvrages en béton
dans la région de khenchela**

REALISE PAR :

M. ZEHANA abdeldjouad.

M. MALKIA Mohamed.

M. REGHIS saber.

DIRIGE PAR:

M. BENADDI hachemi MCB

Année universitaire 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

Nous tournons nos premières pensées à Dieu que nous le remercions, le tout puissant, le miséricordieux, qui nous a donné l'opportunité de mener à bien ce travail.

C'est avec un grand plaisir que Nous m'adresse mes sincères remerciements à l'égard de mon encadreur Mr **BENADDI Hachemi** MCB d'avoir largement contribué à la réalisation de ce projet de fin d'étude par son disponibilité, soutien, encouragement, et son expérience.

Nous tenons à remercier les services technique de (OPGI – CTC – DTP). De la wilaya de Khenchela

Nous ne terminerons pas sans avoir exprimé des remerciements envers toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet. Pour réaliser ce travail, plusieurs personnes nous ont assistés, chacune de sa manière.

Nous tenons à remercier tout le corps professoral de faculté des sciences et de la technologie Université ABBES Laghrour, Khenchela

Enfin nous n'oublions pas de remercier l'ensemble du personnel de l'université

ABBES LAGHROUR KHENCHELA

إِهْدَاء

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله ،أولا باول احمد الله تعالى على ماوفقني اليه اما بعد
اهدي هذا العمل المتواضع

❖ إلى امي و أبي رحمهما الله برحمته الواسعة واسكنهما فسيح جناته

❖ إلى زوجتي الغالية على دعمها و صبرها

❖ إلى أولادي الاعزاء – الطاهر , حمزة , ابراهيم , السعدية , اسراء , عبد الصمد

❖ إلى اخوتي و اخواتي و كل عائلاتهم

❖ إلى كل من رافقني في هذا المشوار زملائي صابر و محمد .

❖ اليك انت ايها القارئ

زهانة عبد الجواد



إِهْدَاء

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله , اما بعد اهدي هذا العمل المتواضع

إلى أبي الذي كان رفيق دربي و سندي في الحياة رحمه الله برحمته الواسعة .

الى أمي الغالية التي لطالما تدعمني و تشجعني.

الى زوجتي الغالية و اولادي طه تيم الله , أنس

الى إخوتي و أخواتي و كل من رافقني و شجعني سواء من قريب او بعيد

الى رفاق الدراسة و البحث صابر و عبد الجواد .

مالكية محمد



إِهْدَاء

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله، أولاً باول احمد الله تعالى على ماوفقني اليه اما بعد

اهدي هذا العمل المتواضع

الى ابي الذي كان رفيق دربي وسندي في الحياة رحمه الله برحمته الواسعة

الى امي الغالية

الى اخوتي و اخواتي وكل من رافقني و شجعني سواء من قريب او بعيد

الى رفقاء الدراسة محمد و عبد الجواد .

رغيس صابر



RESUME

L'expertise des ouvrages dégradés est une discipline qui se base sur une profonde Connaissance sur le comportement des matériaux, c'est donc un art qui mérite la même valeur que de celui de la conception. Elle a montré que la mauvaise durabilité des structures en béton est due aux multiples facteurs d'influence qui se diffèrent selon le type d'ouvrages et son milieu environnant. Mais pour connaître la durabilité du béton, il faut étudier son comportement vis à vis d'un certain nombre de mécanismes qui le dégrade, surtout la corrosion.

L'objectif de ce travail est modeste mais précis, c'est d'arriver à rassembler le facteur d'influence sur la dégradation des ouvrages en béton armé dans la région de kenchela, afin de choisir la réparation optimale qui sera la plus durable sous les contraintes économiques imposées et sous les conditions d'exploitation de l'ouvrage.

Il consiste à procéder à un diagnostic ou une enquête sur plusieurs types d'ouvrages (ponts, bâtiments...etc.) pour collecter le maximum d'information sur les ouvrages dégradés de la région ; en commençant par l'inspection visuelle détaillée pour : reconnaître la nature des désordres, décrire leur localisation, et analyser leur évolution, afin d'aboutir aux causes principales caractérisants les problèmes touchant la région.

ABSTRACT

The expertise of degraded structures is a discipline which bases it self on a profound knowledge on the behavior of materials, it is so an art which deserves the same value as of that of the conception. It showed that the bad durability of structures in concrete is due to the multiple factors of influence which postpone according to the type of structures and its surrounding environment. But to know the durability of the concrete, it is necessary to study his behavior face to a certain number of mechanisms which degrades it, especially corrosion.

The objective of this work is modest but precise, it is to manage to collect factor of influence on the degradation of structures in reinforced concrete in kenchela 's region, to choose the optimal repair which will be the most durable under compulsory economic constraints and under conditions of exploitation of the structure. It consists in proceeding to a diagnosis or an inquiry on several types of structures (bridges, buildings etc.) to collect the maximum of information about structures degraded with the region ; by beginning with the visual inspection detailed for : to recognize the nature of disorders, to describe their location, and to analyze their evolution, to end in main causes of problems getting the region

ملخص

ان خبرة الهياكل المتدهورة هي تخصص قائم على الفهم العميق لسلوك المواد و له قيمة مثل التصميم , و للبيئة تأثير على متانة و رداءة الهياكل الخرسانية و لمعرفة متانة الخرسانة لابد من دراسة سلوكها و الاسباب التي تؤدي الى تدهورها و خاصة التأكل و التشققات .

الهدف من هذا العمل المتواضع هو النجاح في معرفة جميع العوامل التي تؤثر على تدهور الهياكل الخرسانية المسلحة في ولاية خنشلة من اجل اختيار الطرق و الحلول المثلى لإصلاح الهياكل حتى تكون اكثر ديمومة في ظل الظروف الاقتصادية المفروضة .

هذا العمل يتألف من اجراء خبرة لعدة انواع من الهياكل (مبانى و جسور) لجمع الخبر قدر ممكن من المعلومات حول الهياكل المتدهورة في المنطقة و البدء في الفحص البصري التفصيلي من اجل التعرف على طبيعة الاضطرابات و تحليل تطورها و معرفة الاسباب الرئيسية المؤثرة على هذه الهياكل .

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	01
<i>PARTIER I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</i>	
I.1-INTRODUCTION	03
I.2- LA DURABILITE DES OUVRAGES EN BETON	04
I.2.1- Définitions.....	04
I.2.2- Notions de durabilité	04
I.2.3- Le béton ordinaire durable.....	05
I.2.3.1- Les composants du béton.....	05
I.2.3.1.1- Le ciment.....	05
a) Définition.....	05
b) Constituants du ciment portland.....	06
c) Hydratation du ciment.....	07
I.2.3.1.2- L'eau de gâchage.....	09
a) Critères sensoriels.....	10
b) Critères chimiques.....	10
c) Critères mécaniques.....	11
I.2.3.1.3- Les granulats.....	13
a) Définition.....	13
b) Formes et propriétés des granulats.....	13
I.2.3.1.4- Les adjuvants.....	15
a) Les définitions des adjuvants selon leur fonction.....	16
I.2.3.1.5- Les ajouts.....	16
I.2.3.2- Formulation du béton.....	16
I.2.3.3- La mise en œuvre du béton.....	17
I.3- DEGRADATION DU BETON	18
I.3.1 -Définition.....	18
I.3.2- Les origines des dégradations du béton.....	18
I.3.2.1- Dégradation d'origine chimique.....	18
I.3.2.1.1- L'écoulement des fluides dans le béton.....	18
a) Influence du réseau poreux	18
b) Ecoulement, diffusion et absorption.....	19
I.3.2.1.2- La Carbonatation.....	20
a) Définition de la carbonatation.....	20
b) Description du phénomène de la carbonatation.....	20
c) Les conséquences de la carbonatation.....	22

I.3.2.1.3- L'attaque des chlorures	23
a) L'origine des chlorures.....	23
b) Concentration critique de chlorures.....	23
c) Pénétration des chlorures.....	24
d) Les conséquences de l'attaque des chlorures.....	25
I.3.2.1.4- La corrosion des armatures.....	26
a) Le mécanisme de base de la corrosion (La corrosion de l'acier).....	26
b) La corrosion atmosphérique.....	27
c) La corrosion des armatures dans les structures en béton armé.....	27
d) La corrosion par attaque des chlorures.....	29
e) Les facteurs influant sur la corrosion des armatures.....	30
f) Les conséquences de la corrosion.....	31
I.3.2.1.5- L'attaque des sulfates.....	32
a) L'origine des sulfates.....	32
b) Description des réactions sulfatiques.....	32
c) Les conséquences des réactions sulfatiques.....	34
I.3.2.1.6- Alkali-réaction.....	34
a) Définition.....	34
b) Les types de réactions.....	34
c) Les conséquences de l'alkali-réaction.....	36
I.3.2.1.7- Les eaux pures.....	36
I.3.2.1.8- Attaque des acides.....	36
I.3.2.2- Dégradation d'origine physique.....	37
I.3.2.2.1- Retrait, tassement.....	37
I.3.2.2.2- Gel-dégel	37
I.3.2.2.3- Les sels fondants	38
a) Définition.....	38
b) L'effet nuisible.....	38
I.3.2.3- Dégradation d'origine mécanique	38
I.3.2.3.1- Chocs.....	38
I.3.2.3.2- Abrasion, érosion	38
I.3.2.3.3- La cavitation	39
I.3.2.3.4- Délamination	39
I.3.2.4 -Autres types de dégradation	39
a) Incendie.....	39
b) Attaque bactériologique	39

I.3.3- Les symptômes et manifestation de dégradations.....	40
I.3.3.1- Les caractéristiques des fissures.....	43
I.3.3.1- Les différentes formes de fissuration.....	44
I.3.3.2- Types de fissuration selon leurs causes d'apparition.....	44
a) La fissuration fonctionnelle du béton armé.....	44
b) La fissuration accidentelle.....	44
c) La fissuration précoce.....	44
I.3.4 -Les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages	48
I.3.4.1- Les facteurs liés à la nature des matériaux	49
a) Influence des propriétés des matériaux entrant dans la fabrication du béton.....	49
b) Caractéristiques mécaniques du béton et paramètre de formulation.....	55
I.3.4.2- Les facteurs climatiques et environnementaux	55
a) L'atmosphère.....	56
b) Les conditions climatiques.....	56
c) Conditions environnementales.....	57
I.3.4.3- Les facteurs liés à la conception des structures	59
a) Les principaux critères de conception.....	59
b) Les désordres induits par défauts de conception.....	59
I.3.4.4- Les facteurs liés à la mise en œuvre	61
a) Les désordres induits par défauts de mise en œuvre.....	61
I.3.4.5- Les facteurs liés aux méthodes d'entretien.....	63
I.3.4.6- Les facteurs liés aux conditions d'exploitation.....	64
I.3.4.7- Les facteurs accidentels.....	64
I.4 -CONCLUSION.....	65

PARTIE II: ETUDE ET EXPERTISE SUR LES OUVRAGES DEGRADEES

CHAPITRE I : EXEMPLES DES OUVRAGES DEGRADEES DANS

LA REGION DE KHENCHELA

I.1- INTRODUCTION :	67
I .2- OUVRAGES D'HABITATION :	68
I.2.1 -Les 36 logements collectifs communs El Mahmel :	71
I.2.1.1 - Description de la structure :.....	71
I.2.1.2 - Les désordres constatés :	72
I.2.1.3 - Causes de dégradation :	73
I.2.1.4 –Solutions proposées:	74

I.2.2- Cité DIKA Khenchela :	75
I .2.2.1- Description de l’ouvrage :	75
I .2.2.2-Inspection de l’ouvrage :	77
I .2.2.3-Annalyse:	81
I .2.2.4 – Solutions proposées:	82
I .3- OUVRAGES D’EQUIPEMENT :	83
I .3.1- Ecole Primaire AOUIDANE Bachir Fidh Labiadh à commune de Djellal :	83
I .3.1.1- Description de l’ouvrage :	83
I .3.1.2- Inspection de l’ouvrage :	83
I .3.1.2.1- Constat de l’état des lieux :	84
I .3.1.2.2-Analyse:	85
I .3.1.2.3- Solutions proposées:	86
I .3.2-Hammam Leknif à Baghai (w. de Khenchela) :	86
I .3.2.1-Description de l’ouvrage :	86
I .3.2.2-Inspection de l’ouvrage :	86
I .3.2.3-Analyse:	89
I .3.2.4- Solutions proposées:	89
I .3.3-Lycée Taouzianet wilaya de Khenchela :	90
I .3.3.1-Description de l’ouvrage :	90
I.3.3.2-Inspection de l’ouvrage :	90
I .3.3.2.1-Constat de l’état des lieux.....	90
I .3.3.2.2- Analyse:	91
I .3.3.2.3- Solutions proposées:	92
I .3.4-Ecole primaire GOURMAT Abderrahmane el Mahmel wilaya de Khenchela :	92
I .3.4.1-Description de l’ouvrage :	92
I.3.4.2-Inspection de l’ouvrage :	92
I .3.4.2.1-Levé des sections de coffrage des éléments de structure :	93
I .3.4.2.2-Essais de contrôle de qualité des bétons:	94
I .3.4.2.3-Essai a l’auscultateur dynamique :	95
I .3.4.2.4-Annalyse:	96
I .3.4.2.5- Solutions proposées:	96
I .3.5-Centre d'entraînement des équipes nationales de Khenchela :	97
I.3.5.1-Situation géographique :	97
I.3.5.2-Description de l’ouvrage :	98
I.3.5.3-Causes possibles de dégradation :	98
I.3.5.4- Analyse:	100
I.3.5.5- Solutions proposées:	101

I.3.5.5.1- le micropieu:	101
I.3.5.5.2- L'injection de résine :	101
I .3.6- Département science et technologie Université ABBES Laghrou, Khenchela.....	102
I.3.6.1-Description de l'ouvrage :	102
I.3.6.2- : Causes de dégradation :	103
I.3.6.3- Solutions proposées:	103
I.4- OUVRAGES D'ART :	104
I.4.1- Ouvrage d'art sur oued Aïn touila RN88 PK117+000 :.....	104
I.4.1-Presentation de l'ouvrage :	104
I.4.1.1-Situation géographique :	104
I.4.1.2-Description de l'ouvrage :	105
I.4.1.3-Fiche d'identification :	106
I.4.1.4-Photographies :	107
I.4.1.5-Constat photographique :	109
I.4.1.6-Analyse:	113
I.4.1.6.1-Ségrégation du béton :	113
I.4.1.6.2-Nids de cailloux avec armatures apparentes et corrodées :	113
I.4.1.6.3-Fissures inclinées :	113
I.4.1.6.4-Fissures verticales :	113
I.4.1.6.5-Défectuosité des équipements :	113
I.4.1.7- Solutions proposées:	113
I.4.1.7.1- Réparation des bétons ségrégués ou éclatés.....	114
I.4.1.7.2- Travaux de renforcement :	114
I.4.2-ouvrage d'art sur oued laghrour babar RN80 PK221+150 :	115
I.4.2.1-Situation géographiques:	115
I.4.2.2-Description de l'ouvrage:	116
I.4.2.3-Fiche d'identification.....	117
I.4.2.4-Photographies :	118
I.4.2.5-Constat photographique :	119
I.4.2.6-Analyse:	124
I.4.2.6.1-Défaut dans l'aspect des parements (ragréage généralisé).....	124
I.4.2.6.2-Béton désagrégé de mauvaise qualité	124
I.4.2.6.3-Nids de cailloux	124
I.4.2.6.4-Eclatement du béton avec armatures dénudées.....	124
I.4.2.7- Solutions proposées:	124
I.4.2.7.1-Reconstitution des bétons dégradés et éclatés :	124
I.4.2.7.2-. revêtement de protection sur les parements en béton :.....	124

I.4.3-ouvrage d'art sur oued siear commune de chechar CW 08 PK27+000:	127
I.4.3.1-Description de l'ouvrage :	127
I.4.3.2-Causes de dégradation :	128
I.4.3.3-Solutions proposées:	128
<i>CHAPITRE II : CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS</i>	
II.1-CONCLUSION :	129
II.2-RECOMMANDATION :	130
II.2. 1-Exécution :	131
II.2.2-Aspect du béton :	131
CONCLUSIONS GENERALES	134
BIBLIOGRAPHIE:	136

Liste des figures

PARTIER I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1: Aiguilles d'étringite.....	08
Figure I.2: Evolution de la résistance en compression des composants du ciment [6].....	09
Figure I.3: Influence du degré d'interconnectivité sur la perméabilité de la pâte de ciment [1]....	13
Figure I.4: Influence de l'angularité des granulats sur le pourcentage de vides [9].....	16
Figure I.5: Représentation schématique de l'auréole de transition [6]	19
Figure I.6: Carbonatation du béton	20
Figure I.7: Profondeur carbonatée en fonction de la racine du temps [6].....	22
Figure I.8: Effet des chlorures	25
Figure I.9: Rôle des chlorures dans la corrosion par piqûre	26
Figure I.10: Piqûre profonde causée par une attaque de chlorure.....	26
Figure I.11: Représentation schématique du mécanisme de la corrosion le béton [1].....	28
Figure I.12: Cinétique de la corrosion des armatures [24].....	29
Figure I.13: Phases de dégradation par corrosion du béton armé.....	29
Figure I.14: Volume relatif des produits d'oxydation du fer [25].....	32
Figure I.15: Schéma présentant le ressuage.....	45
Figure I.16: Tassement du béton bloqué par le lit supérieur d'armatures.....	45
Figure I.17: Principales sortes de fissures susceptibles d'affecter [24].....	46
Figure I.18: Causes de fissuration du béton frais et du béton durci [41].....	48
Figure I.19: Béton d'été et d'hiver, [35].....	54
Figure I.20: Formation de nids de cailloux dans Un élément de béton armé.....	62

PARTIE II: ETUDE ET EXPERTISE SUR LES OUVRAGES DEGRADEES

Figure I.1: Plan de masse des 36 logements.....	71
Figure I.2: Repérage des Axes.....	77
Figure I.3 : Repérage des Axes.....	95

Liste des tableaux

PARTIER I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1: Constituants d'un ciment Portland [7]	06
Tableau I.2: Conditions pour qu'une eau soit utilisable (critères sensoriels) [8]	10
Tableau I.3: Conditions pour qu'une eau soit utilisable (critères chimiques) [8]	11
Tableau I.4: Conditions pour qu'une eau soit utilisable (critères mécaniques) [8]	11
Tableau I.5: Disposition constructive pour l'enrobage en fonction de l'environnement.....	30
Tableau I.6: Principaux symptômes de la dégradation du béton [12]	43
Tableau I.7: Causes des différentes sortes de fissurations et remèdes [32]	47
Tableau I.8 : Choix du ciment selon l'agressivité du milieu [11]	50
Tableau I.9: Principales actions des impuretés.....	53
Tableau I.10: Variation de l'épaisseur carbonatée.....	55

PARTIE II: ETUDE ET EXPERTISE SUR LES OUVRAGES DEGRADEES

CHAPITRE I : EXEMPLES DES OUVRAGES DEGRADEES DANS LA REGION DE KHENCHELA

Tableau I.1 : Ensemble des ouvrages dégradés à usage équipement de la région.....	68
Tableau I.2: Essai a l'auscultateur dynamique bloc n° 01[47].....	78
Tableau I.3: Essai a l'auscultateur dynamique bloc n° 02[47]	79
Tableau I.4: Essai a l'auscultateur dynamique bloc n° 03[47]	80
Tableau I.5: Essai a l'auscultateur dynamique poutres porteuses. [47]	81
Tableau I.6 : Essai a l'auscultateur dynamique [47]	95

Liste des photos

PARTIER I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Photo I.1: Fissure.....	41
Photo I.2: Microfissures.....	41
Photo I.3: Faïençage.....	41
Photo I.4: Ecaillage.....	42
Photo I.5: Epaufrure.....	42
Photo I.6: La désintégration.....	42
Photo I.7: Distorsion.....	42
Photo I.8: Les Fuites.....	42
Photo I.9: Taches de rouille.....	42
Photo I.10: Délamination.....	42
Photo I.11: Echelonnage de surface.....	42

PARTIE II: ETUDE ET EXPERTISE SUR LES OUVRAGES DEGRADEES

CHAPITRE I : EXEMPLES DES OUVRAGES DEGRADEES DANS LA REGION DE KHENCHELA

Photo I.1: Fissures obliques à l'intérieur dues au tassement différentiel.....	70
Photo I.2: Fissures à l'extérieur dues au tassement.....	70
Photo I.3: Fissures à l'extérieur dues au tassement.....	70
Photo I.4: Les 36 logements collectifs commune El Mahmel.....	71
Photo I.5 : Eclatement du béton d'enrobage.....	72
Photo I.6 : Fissuration des poteaux.....	72
Photo I.7 : d'humidité dans la structure.....	72
Photo I.9 : fissures légères.....	72
Photo I.10 : Ruissellement sur les murs.....	72
Photos I.11 : La remontée capillaire.....	72
Photo I.12: Fissuration des poutres.....	75
Photo I.13 : Fissuration des poteaux.....	75
Photo I.14 : Ruissellement sur les poutres.....	76
Photo I.15 : dégradation aux niveaux des poteaux.....	76
Photo I.16 : Situation géographique.....	76
Photo I.17: Ecole Primaire AOUIDANE Bachir.....	83
Photo I.18-19: Corrosion et déformation des armatures.....	84
Photo I.20-21: Fissures verticales, horizontales et obliques.....	84
Photo I.22: Rupture des jonctions poteaux poutres.....	85
Photo I.23-24: Corrosion et déformation des armatures.....	85
Photo I.25-26: Fissures verticales, horizontales et obliques.....	85
Photo I.27 : Hammam Leknif à Baghai.....	86
Photo I.28-29: Fissures inclinées au niveau des murs porteurs.....	87
Photo I.30-31: Ouverture du joint de dilatation.....	87
Photo I.32-33: Fissures au niveau des portes.....	87
Photo I.34-35: Déformation du plancher.....	88

Photo I.36-37: Fissures au niveau des voûtes.....	88
Photo I.38-39: Traces d'infiltrations des eaux.....	88
Photo I.40 : Lycée Taouzianet.....	90
Photo I.41: Dégradation du béton due à la corrosion des armatures	91
Photo I.42: réseau d'assainissement.....	91
Photo I.43: Dégradations intérieures dues aux infiltrations de la dalle pleine.	91
Photo I.44: dislocation de chaînage de passage couvert en tête du fait du tassement.....	91
Photo I.45 : Ecole primaire GOURMAT Abderrahmane el Mahmel wilaya de Khenchela.....	92
Photo I.46 : sections de coffrage des éléments.....	93
Photo I.47 - 48 : ferrailage adopté au niveau des poteaux.....	93
Photo I.49 - 50 : longueur de recouvrement.....	94
Photo I.51 : longueur de recouvrement.....	94
Photo I.52 : Essais de contrôle de qualité.....	95
Photo I.53 : situation géographique.....	97.
Photo I.54 : .Centre d'entraînement des équipes nationales de Khenchela.....	97
Photo I.55 : Sol organiques compressibles..	99.
Photo I.56 : l'instabilité des talus.....	99
Photo I.57 : présence au voisinage d'arbres.....	99
Photo I.58 : Nappe d'eau.....	100
Photo I.59 : Sol saturé.....	100
Photo I.60 : Département science et technologie Université ABBES Laghrour, Khenchela.	102
Photo I.61, 62,63 : infiltrations des eaux.....	102
Photo I.64-65 : Traces d'infiltrations des eaux.....	103
Photo I.66 : Ouvrage d'art sur oued aïn touila RN88 PK117+000.....	104
Photo I.67 : Situation géographique.....	104
Photo I.68 : Vue générale sens Khenchela.....	107
Photo I.69 : Vue en élévation Aval.Mur de front de culée sens Khenchela.....	107
Photo I.70 : Superstructure, Infrastructure	108
Photo I 71 : Garde-corps côté aval.....	108
Photo I 72 : Poutre adjacente à la poutre de rive amont.	109
Photo I 73 : Parement du talon de la poutre.....	109
Photo I 74: Béton de l'âme ségrégé.....	110
Photo I 75: Ségrégations et ragréages généralisés.....	110
Photo I 76 : Fissures inclinées mitoyennes.....	111
Photo I 77 : Vue de près d'une fissure.....	111
Photo I 78 : Ancrage des armatures d'attente d'entretoises dans l'âme des poutres.....	112
Photo I 79 : Intrados de dalle amont sens Khenchela.....	112
Photo I 80 : Extrait d'une vue satellitaire Google Earth au droit de l'ouvrage.....	115
Photo I 81 : Repérage général.....	115
Photo I 82 : Vue en élévation.....	118
Photo I 83 : Superstructure : Traverse. Infrastructure.....	118
Photo I 84 : Superstructure : Traverse. Infrastructure.....	119
Photo I 85 : Partie supérieure du pied droit.....	119
Photo I 86 : Face latérale piédroit.....	120
Photo I 87 : Face latérale piédroit.....	120
Photo I 88: Façade mur en aile coté amont.....	121

Photo I 89: Façade mur en aile coté amont.....	121
Photo I 90: Façade mur en aile coté amont.....	122
Photo I 91: Façade mur en aile coté amont.....	122
Photo I 92: Lit d'oued coté Aval.	123
Photo I 93: Lit d'oued coté Aval.	123
Photo I.94: ouvrage d'art sur oued siear commune de chechar CW 08 PK27+000:.....	127
Photo I.95: D'éclatement de béton.....	128
Photo I.96: Flambement de la pile.....	128

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est un matériau qui possède des qualités, techniques et économiques si intéressantes, ces multiples application lui permettent d'occuper la première classe des matériaux de construction les plus utilisés à notre époque et la deuxième classe mondiale des produits consommés après l'eau potable. Mais les problèmes de dégradation ont engendré des inquiétudes à travers le monde entier, à cause des dépenses importantes pourvues lors de la réparation.

Les structures en béton armé sont conçues et réalisées pour une durée de service qui est définie par le concepteur et maîtrisée par le constructeur. Pendant cette durée, la structure ne doit pas se dégrader à un point tel qu'elle ne remplit plus ses fonctions. L'expertise des ouvrages a montré que la mauvaise durabilité des structures en béton est due aux multiples

Facteurs d'influence qui se diffèrent selon le type d'ouvrages et son milieu environnant. Cette discipline se base sur une profonde connaissance sur le comportement des deux matériaux béton et acier, et elle mérite la même valeur que celle de la conception. Cependant, il est évident de prendre en considération l'ensemble de la résistance mécanique et la durabilité dès l'étape de conception pour éviter les travaux de réparation et leurs dépenses économiques.

Ce mémoire est structuré en deux parties :

La première partie consacrée à la recherche bibliographique, qui porte sur des Connaissances générales qui sont très utiles pour arriver à un stade de réflexion permettant de Connaître le mécanisme de dégradation, selon le phénomène de manifestation. Il se consacre aussi à trier les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages.

La dernière partie est structurée en deux chapitres :

Chapitre I : exemples des ouvrages dégradés dans la région de kenchela à partir des visites sur site dans le mais de reconnaître la nature des cordes, décrire leur localisation, et analyser leur évolution, afin d'arriver aux facteurs caractérisant les problèmes touchant la région et exposant les techniques, matériaux et solutions de réparation.

Chapitre II : Des conclusions générales et perspectives sont exposées sous la forme des points brièvement cités.

Une liste de documents est donnée à la fin de ce mémoire pour permettre d'éclaircir les références de la recherche bibliographique.

PARTIE I

ETUDE

BIBLIOGRAPHIQUE

I.1- INTRODUCTION :

La durabilité des ouvrages en béton est une nouvelle exigence des maîtres d'ouvrages de 21ème siècle. Les performances du béton armé, son coût économique ont fait de lui le matériau de construction le plus utilisé à notre époque. Bien que l'on ait très longtemps cru que les ouvrages réalisés en béton étaient indestructibles, l'influence des détériorations sur les structures en béton a mis en évidence les problèmes de vieillissement et engendré des inquiétudes de plus en plus vives parmi les clients à qui sont destinés ces ouvrages. Il existe un très grand nombre de structures en béton âgées de 40 ans à 90 ans qui sont encore en excellent état, comme il existe aussi de très nombreux cas où une mauvaise durabilité a provoqué la ruine complète ou partielle des

Ouvrages [1].

Le béton résiste bien et pour longtemps aux agressions lorsqu'il est correctement dosé, mais son comportement dépend aussi d'un ensemble de facteurs dont les principaux sont: les conditions climatiques et environnementales, la conception, sa mise en œuvre, l'entretien, les conditions d'exploitation, et la composition et la qualité de ces constituants. Une fissure constitue le premier signe d'une première manifestation visuelle de dégradation, mais la corrosion a déjà commencé dans les zones voisines sans provoquer de désordres visibles. Quel que soit l'origine de la dégradation, cette dernière se développe progressivement avec le temps et la situation s'aggrave de plus en plus jusqu'à la ruine totale de l'ouvrage. Pour éviter une telle catastrophe on doit faire un diagnostic afin d'aboutir à des solutions pour une réparation réussie.

I.2 -LA DURABILITE DES OUVRAGES EN BETON :**I.2.1- Définitions :**

La durabilité, c'est concevoir un ouvrage avec une prévision de son comportement dans le temps, compte tenu des sollicitations qu'il subit et des déformations imposées. P.C. KREIGER définit la durabilité des matériaux en général comme une perte de performance (comportement rapporté à l'usage) en fonction du temps. Il analyse les paramètres généraux ou spécifiques intervenant, et les manifestations pathologiques possibles: détériorations, déformations, changements de propriétés des matériaux [2].

Jacques BARRON [3], trouve que la définition de la durabilité se diffère selon l'ingénieur et le maître d'ouvrage. Ce dernier, n'accepte que la durabilité objectif: c'est que l'ouvrage doit avoir une durée de vie indéterminée. Cette définition paraît naïve car la durabilité d'un ouvrage n'est pas une caractéristique mesurable dont la maîtrise peut régler une durée d'utilisation. Pour 30 ans ou pour 100 ans, l'ouvrage est conçu pareillement et s'il peut rester pendant deux siècles utiles, il doit exister. La vocation d'un ouvrage est de servir aussi longtemps que possible moyennant un minimum d'entretien et une surveillance régulière [8].

Il est utile d'ajouter que le concept de durabilité ne signifie pas une durée de vie infinie, pas plus qu'il ne signifie que le béton doit résister à n'importe quelle agression [4]. Pour obtenir un ouvrage durable il faut: [1, 4]

- Utiliser un matériau durable: C'est à dire qu'il résiste aux mécanismes de détérioration auxquels il peut être exposé;
- Concevoir la structure en fonction des facteurs environnementaux: Il est essentiel que chaque structure en béton puisse conserver sa résistance et continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile;
- Exercer un bon contrôle de la qualité des matériaux et des techniques de construction.

1.2.2- Notions de durabilité :

La première condition d'avoir un ouvrage durable, c'est d'utiliser un matériau durable. Pour connaître la durabilité du béton, il faut étudier son comportement vis à vis d'un certain nombre de mécanismes qui le dégrade ou adopter un critère global de référence pour caractériser la qualité du béton.

- Le critère de premier ordre, est la résistance en compression. Puisqu'une résistance à la compression élevée est un indice de bonne qualité du béton, et elle dépend de la porosité du béton.

• Plusieurs études et relevés sur le terrain montrent que les causes principales de la mauvaise performance du béton sont plus ou moins liées à la facilité avec laquelle un fluide ou un ion pénètre dans la porosité du béton [5]. Un béton est plus durable s'il répond à la qualité de résister à la pénétration des agents extérieurs, qui est caractérisée par deux grandeurs physiques :

Perméabilité et diffusivité.

Le premier est : la facilité de pénétration ou déplacement des fluides (liquides et gaz) à l'intérieur du béton sous l'effet d'une pression motrice, ce déplacement dépend de la taille des espaces poreux dans lesquels s'écoule le fluide ainsi que de leur interconnexion. Cependant, le mouvement des différents fluides dans le béton ne se fait pas seulement par écoulement à travers le réseau poreux, mais aussi par des mécanismes de diffusion et d'absorption, de telle sorte que, en réalité, nous sommes plutôt concernés par ce que l'on pourrait appeler la «pénétrabilité» du béton [4], mais on utilise le terme «perméabilité».

La deuxième grandeur est relative à un déplacement chimique sous l'effet d'un gradient de concentration et elle ne dépend que de l'interconnexion des pores.

I.2.3- Le béton ordinaire durable : (le bon béton)

Le béton est un matériau durable si sa composition est adaptée à son usage et si la mise en œuvre est soignée, pour ces deux conditions, on constate qu'un bon béton est un matériau qui présente de nombreux avantages, citons [6]:

- Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien;
- Il se moule, épousant toutes les formes;
- Il acquiert de bonnes résistances en compression;
- De nombreuses possibilités existent pour obtenir des surfaces de béton architectoniques;
- Il résiste bien au feu et aux agressions chimiques et physiques usuelles;
- Associé aux armatures en acier, le béton armé offre des possibilités de construction très étendues;
- Les ressources nécessaires à sa fabrication existent en quantités presque illimitées.

I.2.3.1 -Les composants du béton :

I.2.3.1.1- Le ciment :

a) Définition :

Le ciment (du latin caementum, signifiant moellon, pierre de construction) est une matière pulvérulente, formant avec l'eau ou avec une solution saline une pâte plastique liante, capable d'agglomérer, en durcissant, des substances variées. Il désigne également, dans un sens plus large, tout matériau interposé entre deux corps durs pour les lier.

C'est une gangue hydraulique durcissant rapidement et atteignant en peu de jours son maximum de résistance. Après durcissement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau. Son emploi le plus fréquent est sous forme de poudre, mélangée à de l'eau, pour agréger du sable fin, pour produire du mortier, ou des graviers (granulats), pour produire du béton. Le mot « ciment » peut désigner différents matériaux comme : Le plâtre

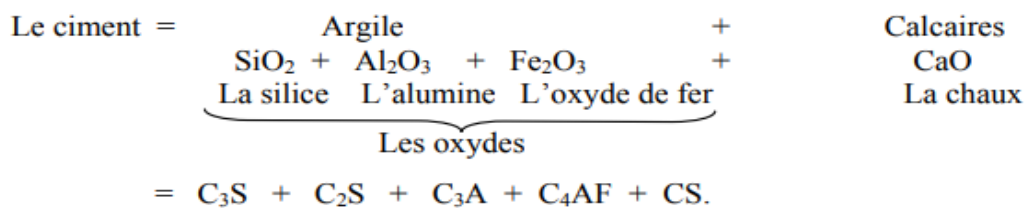
La chaux commune,

La pouzzolane naturelle

Le ciment prompt,

Le ciment Portland ou ciment artificiel

b) Constituants du ciment portland :



Les principaux constituants du ciment portland sont exposés dans le **tableau I.1**.

Tableau I.1: Constituants d'un ciment Portland [7]

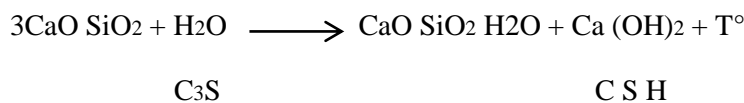
Constituant du ciment anhydre	Teneur dans CPA	Composants après hydratation
Minéraux Constituants principaux (symboles)		(symbole ou formule)
Alite Silicate tricalcique (C3S)	45 – 65 %	Silicates hydratés (CSH) et Ca(OH)
Bélite Silicate bicalcique (C2S)	15 – 25 %	
Célite Aluminate tricalcique (C3A)	< 15 %	Aluminates (tels que C4AH12) Aluminoferrite hydratée et Ca (OH)2
Alluminoferrite tétracalcique (C4AF)	< 10 %	
Gypse Sulfate de calcium (CS)	< 3 %	Sel de Candlot dite ettringite

c) Hydratation du ciment : [6]

L'hydratation du ciment est la réaction chimique entre l'eau et le ciment qui donne comme résultat la pâte de ciment hydratée. Il s'agit donc des séquences réactionnelles des principaux composés du ciment avec une dominance pour le C₃S et le C₃A à court terme.

• Aspect chimique: L'hydratation du clinker portland repose sur des mécanismes complexes, et pour mieux comprendre l'hydratation du ciment de façon globale, on va étudier l'hydratation de chaque constituant principal de ciment isolé:

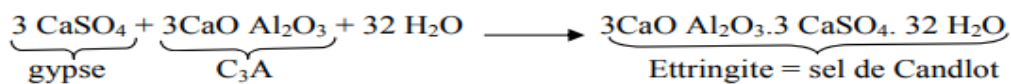
-Le silicate tricalcique (C₃S): La dissolution du silicate tricalcique (C₃S) donne des ions calcium, silicate et hydroxyle qui se combinent pour donner deux hydrates:



- Le silicate de calcium hydraté (C S H) qui a une structure intermédiaire entre les cristaux et les gels.

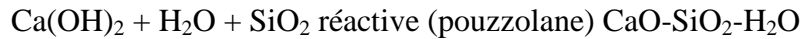
- La chaux hydratée (Ca (OH)₂ ou CH) appelée la portlandite, qui est bien cristallisée sous forme de larges feuillets hexagonaux. Cette « gâchette chimique » va déclencher une formation rapide de C-S-H [6].

Alors la portlandite et les C-S-H remplissent peu à peu les pores, et le matériau devient dense et solide ce qui est appelé par la prise. L'aluminate tricalcique (C₃A): L'hydratation de l'aluminate tricalcique est très rapide et violente surtout en absence des sulfates et donne des aluminates hydratés qui bloquent l'hydratation des autres composants et résultent un mauvais béton, ce qui mène à utiliser le gypse comme régulateur de prise pour le C₃A. La réaction de l'aluminate tricalcique s'écrit:



- ✓ Le silicate bicalcique (C₂S): Le C₂S donne les mêmes résultats que le C₃S, et les réactions d'hydratation sont les mêmes sauf qu'elles sont plus lentes.
- ✓ L'alumino ferrite tétracalcique (C₄AF): Il possède une séquence réactionnelle proche de celle de C₃A avec une vitesse plus faible et il dégage peu de chaleur et participe peu au développement de la résistance.
- ✓ La réaction pouzzolanique: Les cendres volantes et les fumées de silice peuvent mener des réactions pouzzolanique mais en phase liquide pour assurer le transport des ions, sans

consommer d'eau supplémentaire. Cette réaction développe des silicates de calcium hydratés avec la silice réactive de ces fines en consommant des cristaux de chaux résultants de l'hydratation des C_3S et C_2S . Cette réaction démarre lentement, au bout de quelques jours pour les fumées de silice à quelques semaines pour les cendres volantes, selon leur origine.

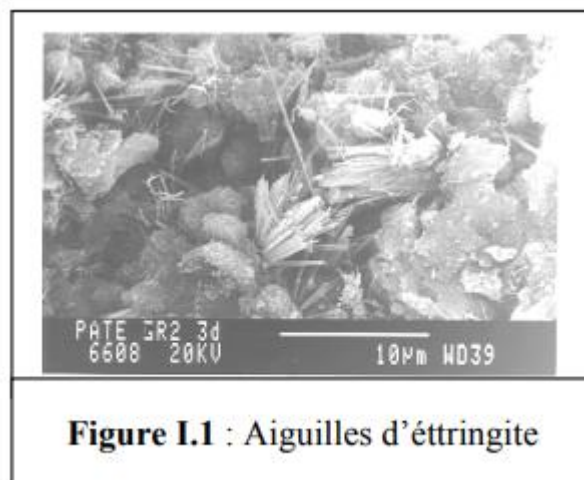


(La réaction pouzzolanique forme des C-S-H stables dans l'eau) [1].

• **Aspect physique:**

- Au bout d'une heure de gâchage, le béton est maniable et peut être mis en œuvre malgré que certains grains soient recouverts d'une mince couche de C-S-H et d'autres sont soudés par cette colle. A ce stade, les cristaux d'étringite sont invisibles même au microscope électronique, c'est la période dormante.

- Jusqu'à l'âge de deux heures dans laquelle l'évolution et la formation de C-S-H se poursuivent lentement avec l'allongement des cristaux d'étringite (TSA) sous forme d'aiguilles (Figure I.1) à partir des ions sulfates provenant de la dissolution du gypse et des ions aluminates provenant du C3A: la pâte s'épaissit mais reste plastique.



- Au bout de quatre à cinq heures, la prise commence dont toutes les réactions s'accroissent et la couche de C-S-H s'épaissit autour des grains au point qu'un état rigide est atteint.

- Au bout de trois jours, l'hydratation est avancée et les cristaux de gypse sont complètement consommés et l'étringite se dissout pour fournir des ions sulfates et permettra la réaction de l'excès de C3A. Les cristaux de portlandite sont développés et de taille importante donnant une couche continue enrobant le contact du grain de sable.

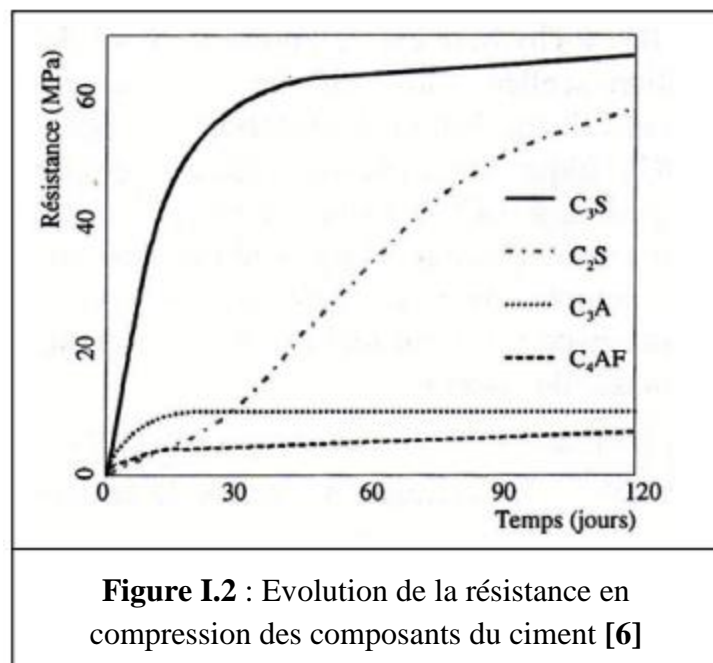
- Au bout d'un mois, la majorité du volume est occupée par les hydrates (C-S-H et la portlandite), qui constituent réellement l'espèce structurante du ciment portlandite et reste des

grains de clinker non hydratés et tant que l'humidité existe, l'hydratation se poursuit plus lentement jusqu'à épuisement du clinker.

- Une pâte de ciment hydratée contient: 50 à 70% de C-S-H et 25 à 27% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est l'hydrate qui joue le rôle principal sur la durabilité car la chaux passive les armatures du béton armé, et elle permet de mobiliser une réaction pouzzolanique avec certains fines réactives, en formant des C-S-H secondaires.

• **Aspect mécanique:**

Les mécanismes d'hydratation du ciment transforment un milieu fluide en un corps solide, par développement de la microstructure car la porosité de pâte diminue au fur et à mesure de l'avancement des réactions d'hydratation, ce qui développe les performances mécaniques, en particulier la résistance en compression. Les deux composants majeurs en terme de résistance sont le C_3S et le C_2S voir (**Figure I.2**), car le premier améliore la résistance au première âge, par contre le deuxième participe à long terme.



I.2.3.1.2- L'eau de gâchage : [8]

Toutes les eaux ne peuvent pas être utilisées pour gâcher du béton, car parfois elles contiennent un excès d'impuretés qui dégrade les propriétés physiques et mécaniques du béton et menacer sa durabilité. Les critères qui permettent d'évaluer l'aptitude à l'emploi d'une eau de gâchage ne doivent pas être confondus avec ceux qui permettent de juger de l'agressivité d'une eau vis-à-vis d'un béton durci, rappelons qu'une eau très pure est une excellente eau de gâchage, mais

qu'elle est agressive vis-à-vis du béton durci. Selon la norme européenne EN 1008, évaluation de l'aptitude d'une eau à être employée, différents critères sont à satisfaire:

a) Critères sensoriels (olfactifs et visuels): voir le (tableau I.2)

- L'odeur: une eau malodorante doit être suspectée de contenir des matières organiques en décomposition.
- La vue: après la décantation, si l'eau garde une couleur foncée, doit être considérée comme douteuse.

Tableau I.2: Conditions pour qu'une eau soit utilisable (critères sensoriels) [8]

Type d'essai	Méthode d'essai	Utilisable si	Renvoi aux conditions du tableau I.4
Couleur	Inspection visuelle dans un cylindre de mesure placée devant un arrière-plan blanc (laisser se décanter les matières en suspension)	Incolore, voire légèrement jaunâtre	Foncé ou coloré (rouge, vert, bleu)
Huile ou matières grasses	Inspection visuelle	Trace uniquement Emulsion d'huile	Pellicules d'huile
Détergents	Agiter vigoureusement l'échantillon d'eau dans un cylindre	Légère formation de mousse, stabilité de la mousse < 2 min	Formation importante de mousse, stabilité de la mousse > 2 min.
Matières en suspension	Cylindre de mesure de 80 cm ³	≤ 4 cm ³	> 4cm ³
Odeur	Ajouter HCl	Aucune odeur, voire pas plus d'une légère odeur	Forte odeur (par exemple, sulfure d'hydrogène)
Valeur de pH	Papier indicateur / indicateur liquide	≥ 4	< 4
Substances humiques	Dans une éprouvette verser 5 cm ³ de soude caustique à 3 ou 4 %. Agiter. Procéder à l'inspection visuelle au bout de 3 min	Plus pâle que brun jaunâtre	Plus foncé que brun jaunâtre

b) Critères chimiques: il s'agit du dosage de l'eau en chlorures, sulfates, phosphates, nitrates,...etc. voir le (tableau I.3)

Tableau I.3: Conditions pour qu'une eau soit utilisable (critères chimiques) [8]

Ions à considérer	Utilisable si	Renvoi aux conditions du tableau I.4	Impropres à l'utilisation si
Chlorures (Cl ⁻) :			
- Béton précontraint/coulis	≤ 600 mg/l		
- Béton armé	≤ 2 000 mg/l		> 600 mg/l *
- Béton non armé	≤ 4 500 mg/l	> 4 500 mg/l	> 2 000 mg/l *
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	≤ 2 000 mg/l	> 2 000 mg/l	
Sucre:			
- Glucose	≤ 100 mg/l	> 100 mg/l	
- Saccharose	≤ 100 mg/l	> 100 mg/l	
Phosphates (P ₂ O ₅)	≤ 100 mg/l	> 100 mg/l	
Nitrates (NO ₃ ⁻)	≤ 500 mg/l	> 500 mg/l	
Zinc (Zn ²⁺)	≤ 100 mg/l	> 100 mg/l	
Sulfures (S ²⁻) **	≤ 100 mg/l	> 100 mg/l	
Sodium (Na ⁺) ***	Au total ≤ 1 000 mg/l		> 1 000 mg/l
Potassium (K ⁺)			
<p>* L'eau peut néanmoins être acceptée si la teneur maximale en chlore (Cl⁻ du béton est inférieure à 0,2 % par kg de ciment pour le béton précontraint, 0,4 % par kg de ciment pour le béton armé, 1 % par kg de ciment pour le béton non armé).</p> <p>** N'est exigé que pour les bétons et les coulis en contact direct avec les aciers précontraints.</p> <p>*** N'est exigé qu'en cas de risque de réaction des granulats avec les alcalins (granulats potentiellement réactifs).</p>			

c) Critères mécaniques :

L'aptitude d'une eau considérée comme douteuse se vérifie sur deux types d'essai :

- Un essai de prise sur mortier,
- Un essai de résistance mécanique à 7 jours sur mortier ou béton. Une eau douteuse peut être utilisée comme eau de gâchage si elle n'altère pas la prise et la résistance au-delà de certaines valeurs limites précisées dans la norme (Tableau I.4)

Tableau I.4: Conditions pour qu'une eau soit utilisable (critères mécaniques) [8]

Type d'essai		Sur le résultat	Par rapport au témoin*
Temps de prise	Début Fin	≥ 1h **	± 25 % **
		≤ 12 h	± 25 %
Résistance à la compression à 7 jours			≥ 90 %
<p>* Le mortier témoin est gâché avec de l'eau potable.</p> <p>** Supposons que le mortier témoin ait un temps de début de prise de 100 min. L'eau pourra être utilisée si le temps de début de prise reste compris entre 75 et 125 min (condition par rapport au témoin). En aucun cas il ne peut être inférieur à une heure (condition sur le résultat).</p>			

- Le rapport E/C: E est le volume de l'eau par unité de volume de béton, c'est l'eau en contact avec le ciment, et elle est égale à: $E = \text{eau introduite dans la bétonnière} + \text{eau totale contenue dans les granulats} - \text{eau contenue dans les pores des granulats poreux}$.

Le rapport E/C est l'une des valeurs caractéristiques les plus importantes du béton. Le ciment ne peut lier qu'une quantité d'eau équivalente à 40 % de sa masse, ceci correspond à un rapport E/C de (0.40).

Le rapport E/C exerce une grande influence sur la porosité de la pâte de ciment hydraté, si E/C est élevé (la quantité d'eau plus élevée que le ciment), les grains de ciment seront très éloignés les uns des autres et complètement hydraté et un surplus important d'eau qui engendrera une très importante porosité capillaire. La perméabilité du béton sera très grande et ses propriétés mécaniques seront très faibles. Inversement, si le E/C est faible (la quantité d'eau est très faible par rapport à la masse de ciment), toute l'eau pourra réagir avec le ciment et il ne restera que très peu de porosité capillaire. La perméabilité du béton sera très faible et ses propriétés mécaniques seront très élevées.

Théoriquement on peut montrer que: [1]

- $E/C = 0.36$ (cas théorique idéal), tout le ciment ne peut s'hydrater par manque d'eau, mais s'il y a une quantité d'eau extérieure (le béton est conservé dans l'eau par exemple), la fraction du ciment qui reste peut s'hydrater avec cette eau externe et suffira à combler tout juste les vides créés par la contraction Le Chatelier.

- D'un point de vue strictement chimique, un rapport $E/C = 0.22$, suffit pour hydrater tout le ciment. Cependant, Power a montré que pratiquement et d'un point de vue physicochimique, il faut un rapport E/C minimal de (0,42) [1].

En pratique les gros grains de ciment ne s'hydratent jamais complètement à cause de la coquille d'hydrates très dense qui couvre chaque grain et empêche l'intérieur du grain de réagir avec l'eau environnante. La réduction du rapport E/C permet de diminuer le volume total des pores (de 40% à moins de 20%) en réduisant leur diamètre et le réseau sera plus discontinu, finalement la réduction de la perméabilité de la pâte (**Figure I.3**).

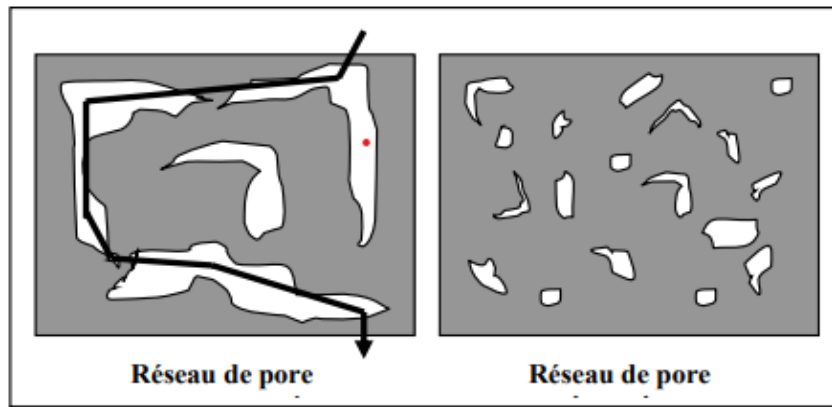


Figure I.3: Influence du degré d'interconnectivité sur la perméabilité
De la pâte de ciment [1]

I.2.3.1.3- Les granulats :

a) Définition : C'est l'ensemble des grains minéraux inertes de dimensions comprises entre 0 et 125 mm qui constituent le squelette du béton, comme le sable et le gravillon.

Les granulats occupent les trois quarts du volume d'un béton. Pour confectionner des bétons de bonne qualité. On distingue trois types de granulats:

- Les granulats naturels, originaires de roches meubles ou massives extraites in situ sans subir aucun traitement autre que mécanique (concassage, broyage, criblage, lavage, sélection);
- Les granulats artificiels: Originaires de transformation thermique de roches, de minerais, de sous-produits industriels, et de la démolition des ouvrages en béton (les granulats recyclés);
- Les granulats légers.

b) Formes et propriétés des granulats :

La courbe granulométrique représente la distribution, en pourcentage, des poids des matériaux passant dans des tamis et passoirs de dimensions normalisées. Par convention, on nomme:

- ✓ **Sables:** les grains de dimensions comprises entre 0,08 mm et 5 mm,
- ✓ **gravillons:** ceux dont les dimensions sont comprises entre 5 mm et 25 mm et
- ✓ **cailloux:** ceux de dimensions supérieures à 25 mm.

Le poids volumique de ces granulats est de l'ordre de 25 à 35 kN/m^3 , soit environ $2\ 500$ à $3\ 500 \text{ kg/m}^3$) et leur poids volumique apparent d'environ 14 à 16 kN/m^3 . On utilise pour les ouvrages courants, des granulats constitués de sable et des gravillons

Des propriétés spécifiques aux granulats jouent un rôle majeur dans les caractéristiques d'un béton telles que:

La forme et la surface des grains ont une incidence considérable sur l'ouvrabilité du béton frais. Le rapport longueur/largeur/hauteur devrait être $1: > 0.4: > 0.4$. Les grains optimaux sont de forme sphérique et cubique.

- Au niveau de la mise en œuvre du béton: La granulométrie; l'angularité; la teneur en eau. Les granulats de forme aplatie et colonnaires de surface rugueuse ont une influence néfaste sur l'ouvrabilité et augmentent les besoins en pâte de ciment..

- Les granulats durs, secs et propres doivent permettre une bonne liaison avec la pâte de ciment.

- Le pourcentage des vides d'un béton dépend de la forme des particules, selon la (figure I.4) et d'après les données de Shergold [9], pour un échantillon constitué d'un mélange de deux granulats de proportions variables, l'un est anguleux et l'autre est arrondi. On constate la diminution du pourcentage des vides avec l'augmentation de la proportion des particules arrondies. Plus les grains sont de forme sphérique et lisse, meilleures seront l'ouvrabilité et la compactibilité du béton frais.

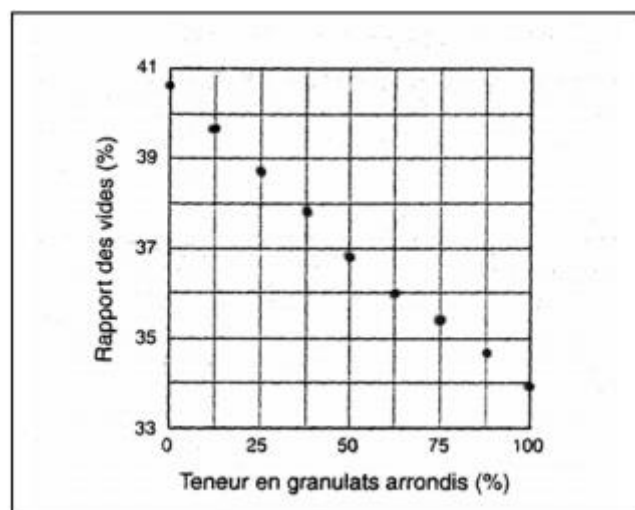


Figure I.4: Influence de l'angularité des granulats sur le pourcentage de vides [9]

- Au niveau du comportement mécanique et des performances à long terme: affinité vis à vis des ciments; résistance mécanique; gélivité; alcali réaction potentielle; teneur en chlorure et sulfates. Des granulats à arêtes vives et rugueux ayant une surface spécifique assez importante ont une influence positive sur la résistance mécanique.

• Propriétés des granulats: la propreté de la surface des granulats de toutes traces de particule d'argile développe la liaison entre les granulats et la pâte de ciment. Il semble que le rapport entre la résistance de la liaison et la résistance de la pâte de ciment hydraté augmente avec l'âge [10].

Les sables provenant de mer, rivière ou désert contiennent du sel et doivent être traités pour éviter le risque de corrosion des armatures par des chlorures.

- **Densité des granulats:** un béton lourd nécessite des granulats de hautes densités [6].

I.2.3.1.4 -Les adjuvants :[11]

Les adjuvants sont des substances liquides ou des poudres que l'on ajoute aux autres composants du béton lors du malaxage, en quantité ne dépassant pas 5 % de la teneur en liants (généralement le ciment). Par des effets physiques et/ou chimiques, ils modifient les propriétés du béton frais et/ou du béton durci et faciliter la mise en œuvre des bétons.

Les définitions des adjuvants selon leur fonction

- ✓ **Plastifiant réducteur d'eau:** à consistance égale, il permet une réduction du dosage en eau et, à dosage en eau constant, il permet une augmentation de l'affaissement au cône d'Abrams.

Par rapport au témoin	
Réduction du dosage en eau	$\geq 5 \%$
Résistance à la compression, à 7 et 28 jours	$\geq 110 \%$

- ✓ **Super plastifiant-haut réducteur d'eau:** même définition précédente, mais la réduction de l'eau et l'augmentation de l'affaissement au cône sont plus marquées.

Par rapport au témoin et à consistance constante	Réduction du dosage en eau	$\geq 12 \%$
	Résistance à la compression, à 1 jours	$\geq 140 \%$
	Résistance à la compression à 28 jours	$\geq 115 \%$
Par rapport au témoin et à dosage en eau constant	Augmentation de l'affaissement au cône d'Abrams à partie d'une valeur initiale de 30 ± 10 mm	≥ 120 mm
	Affaissement au cône d'Abrams après 30 minutes	≥ 30 mm

- ✓ **Rétenteur d'eau:** il réduit le départ d'eau par ressuage.

Par rapport au témoin	
Quantité d'eau ressuée	$\leq 50 \%$

- ✓ **Entraîneur d'air:** il permet la formation, au moment du malaxage, d'un réseau uniforme de petites bulles d'air qui subsiste dans le béton durci.

Quantité d'air entraîné (en plus de la quantité d'air occlus dans le béton témoin)	$\geq 2.5 \%$
Facteur d'espacement entre les bulles d'air	≤ 0.2 mm

- ✓ **Accélérateur de prise:** il avance le début de prise, il sert surtout à maintenir un temps de prise raisonnable par temps froid et il réduit aussi le temps de prise aux températures plus élevées.

Par rapport au témoin, à la même température	
Temps de début de prise à 20°C	$\geq 2.5 \%$
Réduction du temps de début de prise à 5° C	$\leq 0.2 \text{ mm}$

- ✓ **Accélérateur de durcissement:** il accélère le développement de la résistance du béton à court terme. Il sert à réduire les délais d'exécution.

Par rapport au témoin, à la même température	
Résistance à la compression, à 24 jours et à 20°C	$\geq 120 \%$
Résistance à la compression à 48 jours et à 5°C	$\geq 130 \%$

- ✓ **Retardateur de prise:** il retarde le début de prise et prolonge l'état plastique où le béton est moulable.

Il sert à augmenter la durée pendant laquelle le béton peut être transporté et mis en place ou à ménager la continuité des reprises de bétonnage.

Par rapport au témoin (mesures faites à 20°C)	
Augmentation du temps de début de prise	$\geq 90 \text{ min}$
Augmentation du temps de fin de prise	$\leq 360 \text{ min}$

I.2.3.1.5 -Les ajouts :

Les ajouts sont des matériaux ayant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment, et quelquefois au béton. Ils permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui donner des propriétés spécifiques. Contrairement aux adjuvants, les ajouts doivent être pris en compte dans le calcul de la composition du béton.

I.2.3.2 -Formulation du béton :

La composition du béton traduit la proportion de chacun de ses constituants. Vers les années 1900, chaque constructeur (Boussiron, Coignet, Hennebique, et Monier) avait ses formules en fonction du type de construction et du milieu environnant. Les formules usuelles correspondaient à 300 kg de ciment (valeur moyenne entre 250 et 500), 400 litres de sable et 800 litres de gravillon. Plus précisément, le dosage en ciment dépendait de la partie de l'ouvrage considérée : 250 kg dans les semelles et les massifs de fondation, 300 à 350 kg dans les planchers et les poteaux, 350 à 400 kg dans les tabliers de ponts, 400 à 500 kg dans les ouvrages à la mer [12].

La bonne formulation consiste à rechercher conjointement deux qualités essentielles: l'ouvrabilité et la résistance mais la notion de durabilité est abordée de façon normalisée dépendamment de l'environnement d'exposition en répondant aux:

- Normes réglementaires;
- Adéquate à la classe de l'agressivité de l'environnement de l'ouvrage;

- Performances mécaniques auxquelles le béton doit satisfaire À titre d'exemple la composition type pour 1 m³ de Béton: Sable 600 kg + Gravier 1200 kg + Ciment 350 kg + Eau 180 l

I.2.3.3 -La mise en œuvre du béton :

Une mise en œuvre soignée est une précaution nécessaire pour aboutir à une bonne durabilité.

- **Malaxage:** Le malaxage du béton est souvent effectué dans des malaxeurs, qui doivent assurer: un malaxage uniforme des constituants du béton et décharger le béton (vidage) sans modifier cette homogénéité, puisqu'un déchargement n'est correct que lorsque tout le béton peut être déchargé rapidement sans qu'une ségrégation se produise. Le temps de malaxage varie selon le type de malaxeur, et il dépend du nombre de tours que la cuve du malaxeur doit effectuer, en général 20 tours suffit, mais il faut toujours respecter la vitesse optimale donner par le fabriquant du malaxeur.

Les malaxeurs brassent énergiquement le mélange pendant environ 60 secondes. Le malaxage dans les bétonnières s'effectue par gravité pendant environ 2 à 3 minutes.

- **Le transport:** Les bétonnières portées sur châssis de camion, d'une capacité utile de 4 à 10 m³, permettent le transport du béton préalablement fabriqué en malaxeur ou en bétonnière. Leur cuve est animée d'une rotation à faible vitesse afin de maintenir l'homogénéité du béton. Le béton peut aussi être transporté par bennes ou par tapis convoyeurs.

Il est repris par des bennes de faible capacité et amené au droit des coffrages au moyen de grues.

Il est parfois acheminé à pied d'œuvre par des pompes à béton qui permettent son transport dans des canalisations sur environ 300 m horizontalement et 150 m verticalement.

- **Mise en place et vibration:** Il convient lors de la mise en place du béton, de s'assurer d'un remplissage parfait du coffrage et d'une compacité optimale puisque la compacité est bien évidemment complémentaire à la porosité et nous avons : compacité + porosité = unité [6]. La compacité est réalisée par la vibration du béton fluide de façon interne par des aiguilles vibrantes immergées dans le béton ou de façon externe à l'aide de coffrage vibrant
- **La cure:** la cure permet d'éviter la dessiccation, par conséquent la fissuration du béton pendant la prise, elle conduit également à améliorer les propriétés du béton principalement en surface. Une cure mal appliquée ou trop tard engendre la fissuration précoce due au retrait plastique. Elle est plus efficace si elle est par humidification de surface ou l'interposition d'une feuille de polyane ou la projection d'un produit de cure permet de diminuer la dessiccation du béton frais

I.3- DEGRADATION DU BETON :

I.3.1 Définition: 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 soumis à un processus permanent des dégradations physiques et chimiques sous l'effet des agressions extérieures.

La dégradation progressive des matériaux et équipements est imputable aux :

- facteurs climatiques (le soleil, la pluie, la neige, la grêle, le vent, le gel, l'air salin en bord de mer...).
- facteurs atmosphériques (la pollution de l'air) ;
- facteurs chimiques (réactions chimiques).
- facteurs physique.

I.3.2 -Les causes des dégradations du béton :

I.3.2.1 -Dégradation chimique : Les altérations chimiques sont dues aux écoulements des agents agressifs qui entrent en contact avec la pâte de ciment et entraînent la dissolution (la lixiviation) des hydrates surtout la chaux ce qui provoque par suite la formation de produits expansifs qui créent de très grandes pressions internes et une intense fissuration.

I.3.2.1.1 -L'écoulement des fluides dans le béton : La cause principale de toutes les dégradations d'origine chimique est la possibilité de pénétration ou d'écoulement des fluides dans le béton, qui dépend de la perméabilité du béton et par suite de sa porosité. La porosité interne du béton et de la pâte de ciment hydraté gouverne la durabilité des ouvrages en béton car, plus la porosité diminue, plus la perméabilité diminue, cette faible perméabilité retarde la pénétration des fluides agressifs.

a) Influence du réseau poreux - Morphologie de la porosité:

La porosité du béton est constituée de plusieurs familles de vides, par ordre décroissant de diamètre on retrouve: [1, 6]

- Les vides d'air attrapés et les défauts de compaction ($\varnothing > 1\text{mm}$): ils ne sont généralement pas remplis d'eau.
- Les bulles d'air entraînées ($10\ \mu\text{m} < \varnothing < 1\ \text{mm}$).
- Les pores capillaires ($0,01\ \mu\text{m} < \varnothing < 5\ \mu\text{m}$) : de plus grande taille qui correspondent aux espaces entre les grains de ciment non comblés par les hydrates;
- Les pores du gel de ciment hydraté ($\varnothing < 40\ \text{Å}$): elles contiennent de l'eau qui est en partie adsorbée à la surface des feuillets de C-S-H, cette eau est relativement stable et difficile à extraire par séchage.

Les pores correspondant à la perméabilité sont ceux dont le diamètre est d'au moins 120 ou 160nm [4], à condition qu'ils soient continus. Les pores qui ne sont pas importants en ce qui concerne la perméabilité ou l'écoulement, c'est les pores discontinus et qui contiennent de l'eau adsorbée dont l'ouverture est étroite même s'ils ont de gros diamètres. L'effet des vides d'un diamètre inférieur à 20 nm semble négligeable [13].

• Interface pâte-granulat:

La zone d'interface représente un volume allant jusqu'au tiers, à la moitié du volume total de la pâte de ciment durci et cette région a une microstructure différente de celle que l'on trouve au cœur de la pâte de ciment.

Au voisinage de cette interface, les mécanismes d'hydratation sont modifiés dès le début des réactions à causes de la présence d'un excès d'eau qui résulte:

- Une augmentation locale du volume des pores dans lesquels les hydrates peuvent se développer;
- La formation d'un gradient de teneur en eau. Cette zone inter faciale influencée par la présence des granulats est appelée auréole de transition [6] (Figure I.5).

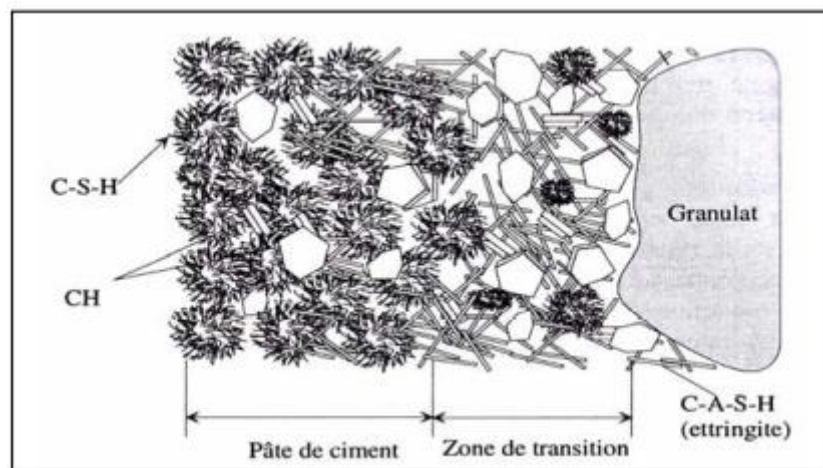


Figure I.5 : Représentation schématique de l'auréole de transition [6]

b) Ecoulement, diffusion et absorption : [4]

La mobilité des fluides à travers le béton est appelé la perméabilité au sens très large du terme, mais cette mobilité enveloppe trois mécanismes:

- L'écoulement: est le déplacement d'un fluide sous l'effet d'un gradient de pression.
- La diffusion: est le mécanisme par lequel un fluide se déplace sous l'effet d'un gradient de concentration, la propriété du béton qui lui associée est appelé la diffusivité. Les gaz diffusent à travers un espace rempli d'eau 10⁴ à 10⁵ fois plus lentement que dans un espace rempli d'air.

- L'absorption: est le résultat des mouvements capillaires dans les pores du béton qui sont ouverts sur le milieu ambiant. Il n'y pas d'absorption d'eau dans un béton complètement sec ou dans un béton saturé.

I.3.2.1.2- La Carbonatation :

a) Définition de la carbonatation :

La carbonatation est un phénomène chimique lié à l'émission de gaz carbonique dans l'atmosphère.

C'est une pathologie de béton armé qui, avec le temps, atteint des couches de plus en plus importantes.

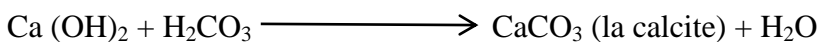
Elle dégrade les Définition : bétons armés et elle est notamment responsable de la mise à nu de leurs armatures en acier

b) Description du phénomène de la carbonatation :

L'air contient 0,03% en volume de gaz carbonique (CO_2), Cette teneur en dioxyde dépend de la pression et de la température. Le gaz carbonique est inerte lorsqu'il est sec, et il se dissout aisément dans l'eau pour donner un acide faible (H_2CO_3):



Et comme le béton est un matériau basique, alors il est vulnérable aux attaques acides, le H_2CO_3 réagit avec la solution interstitielle basique du béton, plus précisément tous les hydrates contenus du ciment surtout la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour donner comme produit final du carbonate de calcium en libérant de l'eau:



L'attaque commence à la surface et le CO_2 pénètre par diffusion dans la phase liquide. Ces réactions sont en générale lentes et ne se produit que si le gaz peut pénétrer dans les pores du béton **(Figure I.6)**

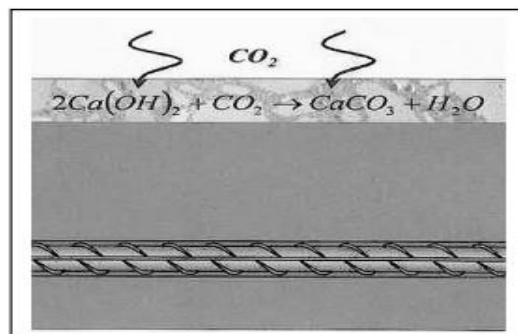
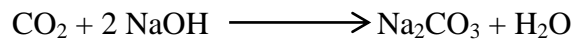
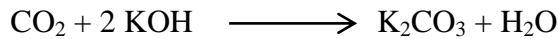
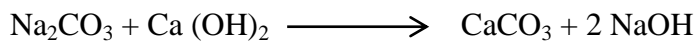


Figure I.6 : Carbonatation du béton

En présence de bases alcalines (NaOH, KOH) la solubilité de la chaux est relativement faible et la réaction est ralentie. Cependant les bases alcalines se carbonatent aussi :

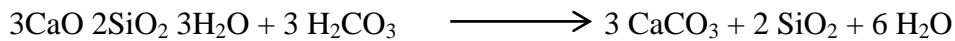


Ensuite la chaux se carbonate en plus grande quantité, car la carbonatation des bases alcalines augmente la solubilité de la chaux:

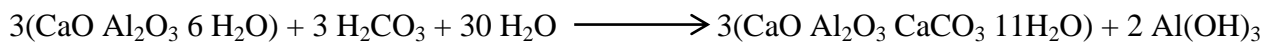


Dans le ciment portland, d'autres composés peuvent réagir: [14]

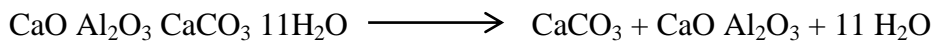
✓ La tobermorite (silicate de calcium) C-S-H:



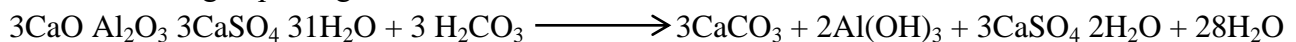
✓ Les aluminates:



puis la carboaluminate se décompose en alumine et carbonate:



✓ L'ettringite peut également se carbonater:



La carbonatation du béton est un phénomène progressif, car elle atteint des couches plus profondes avec le temps, et avec une vitesse décroissante parce que le CO_2 doit diffuser à travers le réseau poreux y compris la zone de surface du béton déjà carbonatée.

Cette vitesse est fonction.

de deux paramètres importants sont: la perméabilité et le taux d'humidité relative du milieu ambiant, alors on distingue:

- Dans les environnements secs, la quantité d'eau est insuffisante pour dissoudre le CO_2 .
- Dans les environnements très humides, le béton est saturé, ce qui ralentie considérablement la diffusion du CO_2 , car cette dernière dans l'eau est quatre fois plus lente que dans l'air [1].

La profondeur de pénétration de la carbonatation est de l'ordre de 2mm au bout d'un an, 8 mm au bout de 10 ans et 20 à 25 mm au bout de 50 ans. Toutefois, dans les ouvrages réels, les résultats de mesures sont très dispersés [12].

En fin, la profondeur carbonatée est d'autant plus importante que le rapport E/C est élevé (Figure I.7).

On démontre que la relation entre l'épaisseur de carbonatation x et le temps t est: $x = k t^{1/2}$ [14]
Où k est une constante, ses valeurs sont souvent supérieures à 3 ou 4 mm/an^{0.5} pour un béton de faible résistance [15].

Pour mesurer la profondeur de la carbonatation, on utilise un moyen pratique la phénolphtaléine, qui est un indicateur de base et acide, par changement de couleur selon le pH car le béton carbonaté a un pH < 9 (presque 8 selon quelques auteurs):

- pH > 9,2 —————> violet;
- pH < 9,2 —————> neutre.

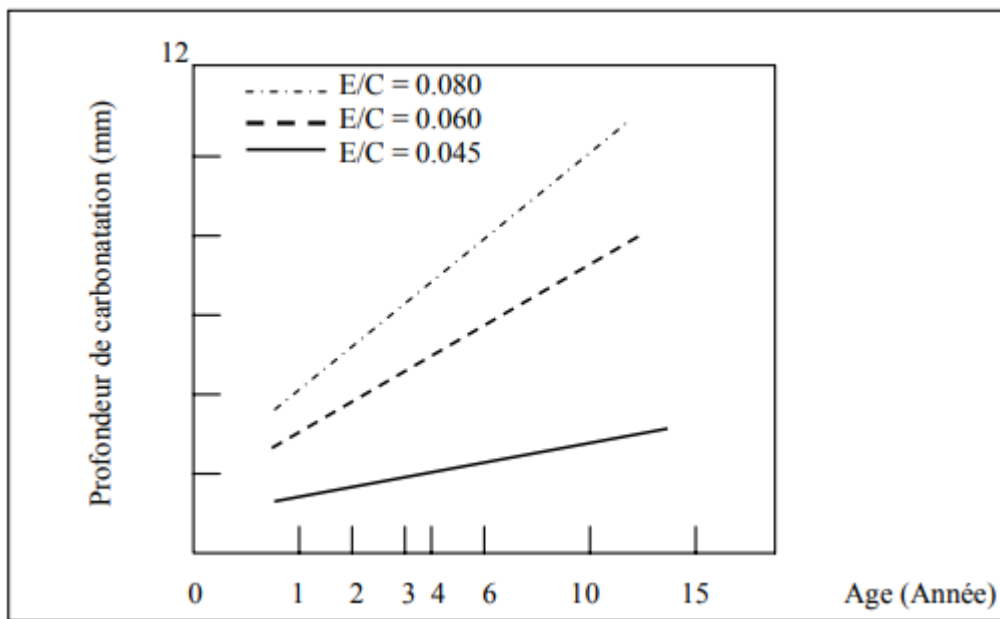


Figure I.7: Profondeur carbonatée en fonction de la racine du temps [6]

c) Les conséquences de la carbonatation : [4, 16]

L'action du CO₂ se manifeste même à de faible teneur comme le cas du milieu rural (0.03 %). Dans un laboratoire non climatisé, elle peut atteindre et dépasser 0.1 %; dans les grandes villes, la moyenne est de 0.3 % et exceptionnellement peut atteindre 1 % ou dépasser cette valeur comme le cas du béton de parois des tunnels destinés à la circulation routières, le taux de carbonatation du béton augmente avec la teneur en CO₂. Ces conséquences sont:

- La fausse prise: La poudre de ciment conservée à l'air se transforme lentement, les grains les plus fins s'hydratent et se carbonatent ce qui cause une augmentation du temps de prise du liant, une baisse de résistance mécanique et un certain montage.

- Le retrait augmente avec la carbonatation deux fois plus importante que le retrait hydraulique après prise.

- Si la carbonatation est plutôt favorable pour le béton, dans la mesure où elle referme la surface vis-à-vis des agressions extérieures (dépôts de calcaire), au contraire elle est très dommageable pour les armatures qui se retrouvent à un pH où elles ne sont plus passivées et peuvent alors se corroder. Si la carbonatation du béton parvient au voisinage des armatures en acier qui peuvent alors amorcer leur processus de corrosion, d'autant plus rapidement que des ions agressifs comme les chlorures sont présents en quantité importante [12].

- La carbonatation peut être bénéfique, et parmi ses effets positifs on a :

- La réduction de la porosité, puisque le CaCO_3 occupe un volume plus important que le Ca(OH)_2 qu'il remplace;

- L'hydratation du ciment anhydre par l'eau libérée par le Ca(OH)_2 lors de la carbonatation. Ces changements sont bénéfiques et conduisent à une augmentation de la dureté de surface, une augmentation de la résistance de la surface [17], une diminution de la perméabilité superficielle [18], une réduction des mouvements d'humidité [19], et une résistance accrue aux formes d'attaque dépendantes de la perméabilité.

I.3.2.1.3 -L'attaque des chlorures :

Les ions chlorures sont les plus agressifs, vis-à-vis des armatures [14]. Une teneur élevée en ion chlore (> 0.5% de la masse de ciment) provoque la corrosion si le béton est dans un environnement humide (avec une présence suffisante de O_2 et H_2O pour soutenir la réaction). Dans les bétons carbonatés, même une très faible teneur en chlorures peut provoquer la dé passivation des aciers d'armature [1].

a) L'origine des chlorures :

La présence des chlorures peut avoir deux origines:

- **Externe:** par pénétration du milieu ambiant (eau de mer, eau souterraine, sel de déverglaçage..)
- **Interne:** Il y a plusieurs provenances internes de chlorures comme:
 - Les adjuvants chlorurés incorporés lors du gâchage, comme le CaCl_2 pour accélérer la prise;
 - Certains granulats contiennent le Cl, comme le sable de mer;
 - L'eau de gâchage peut contenir des chlorures.

b) Concentration critique de chlorures : [4]

Il n'existe pas une valeur universellement admise pour une limite de la teneur en chlorures, elle est exprimée en % de la masse du ciment dans les normes européennes et en % du béton dans les normes de l'Amérique du Nord. Par exemple, la norme européenne ENV206 1992 et la norme britannique BS 8110: partie 1: 1985; limite la teneur totale en chlorures d'un béton armé à 0.40 % de la masse de ciment. On sait que la teneur en chlorures dépend de son mode de détermination

puisque: Chlorures totaux (chlorures libres dans la solution interstitielle) > chlorures solubles dans l'acide > chlorures solubles dans l'eau.

Ce n'est pas la teneur totale en chlorures qui influence la corrosion, car une partie des chlorures est liée chimiquement aux produits de l'hydratation du ciment, une autre partie est liée physiquement en étant adsorbée sur les parois des pores de gel, et seule la partie restante appelée chlorure libre qui est disponible pour les réactions agressives avec les armatures.

Dans le projet de révision de la norme européenne, les ions chlore seraient limités à:

- ✓ 1 % pour les bétons non armés;
- ✓ 0.4 % pour les bétons armés;
- ✓ 0.10 % pour les bétons précontraint classés 0.10;
- ✓ 0.20 % pour les bétons précontraint classés 0.20; les classes 0.10 et 0.20 dépendent des dispositions en vigueur là où le béton est utilisé.

c) Pénétration des chlorures :

La pénétration des ions de chlorures dans le béton se passe par divers mécanismes:

- L'entraînement mécanique de ces corps par l'eau qui pénètre dans le béton sous l'action d'une humidification ou d'une pression, ce mécanisme dépend de la perméabilité du béton.

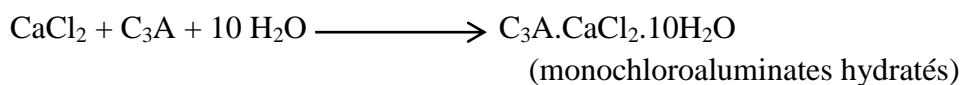
- Le mécanisme de diffusion, qui concerne un béton constamment humide au contact d'une solution saline. La pénétration des ions chlorures est donc due à un gradient de concentration.

- Les mouvements d'eau, tels que les cycles d'humidification séchage.

- Pénétration par réaction chimique. Les ions chlorures pénètrent dans le béton et réagissent soit:

- Avec le silicate de calcium hydraté (CSH) surtout par adsorption

- Avec les aluminates tricalciques (C₃A) pour donner le chloroaluminate, selon la réaction suivante:



Le monochloroaluminates hydratés est un hydrate relativement stable dans le béton, il permet de fixer des chlorures dans le béton, ce qui réduit la teneur en chlorures soluble et limite les risques de corrosion, pour cela les ciments riches en C₃A offrent une meilleure protection contre la corrosion des aciers d'armature. Mais le problème de corrosion n'apparaissent que si les ions de chlorures non fixés atteignent la surface des armatures. La vitesse de pénétration des chlorures dépend encore de la porosité de la pâte de ciment. Elle décroît avec le rapport E/C de façon exceptionnelle et dépend bien sûr de la concentration de la solution environnante en sel [6].

La présence des additions telles que les laitiers et les cendres volantes diminue la pénétration des chlorures.

d) Les conséquences de l'attaque des chlorures :

L'attaque des chlorures se distingue par l'entraînement de la corrosion des armatures avec une présence suffisante d'O₂ et H₂O pour soutenir la réaction. Ils sont en général distribués de manière hétérogène. Ils s'introduisent dans la couche passive, remplaçant un peu de l'oxygène et augmentant à la fois sa solubilité sa perméabilité et sa conductivité ionique.

La dégradation de la couche passive est un phénomène local, ce qui conduit à une corrosion par piqûre où Cl⁻ est élevé (Figure I.8. (a) et (b)). La présence de chlorures favorise également la formation de chlorure ferreux (FeCl₂), qui est soluble dans le faible pH qui existe à l'anode, empêchant par conséquent la fabrication de ion Fe₂₊ qui pourrait freiner le processus de corrosion (Figure I.9.(a)). A quelques distances de l'anode, où la concentration de pH et d'oxygène (O₂) est plus élevée, le chlorure ferreux (FeCl₂) se dégrade, le Fe(OH)₂ précipite, le Cl⁻ et H⁺ retournent à l'anode (Figure I.9.(b)).

Ainsi le processus se produit sans cesse et au lieu de s'étendre le long de la barre d'acier, la corrosion se poursuit localement à l'anode pour la formation des piqûres profondes voir (Figure I.10).

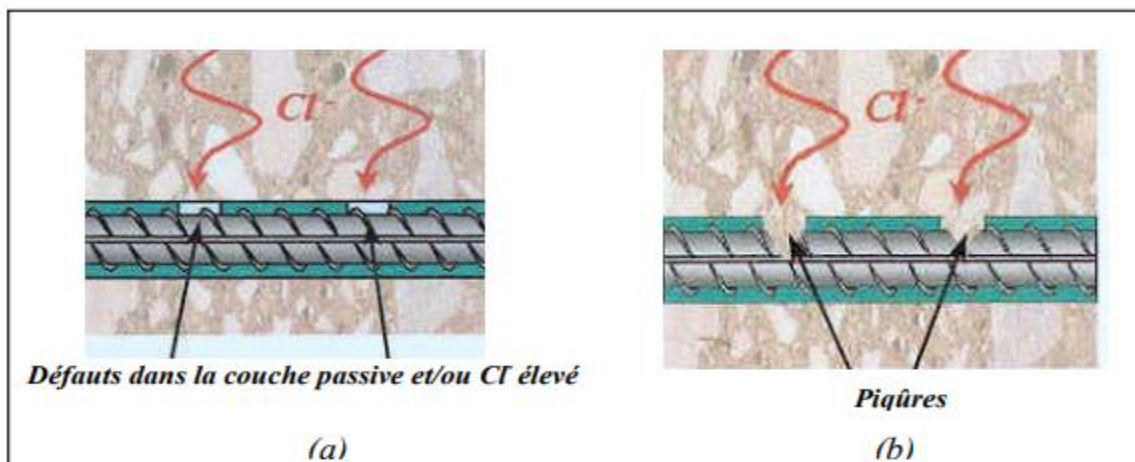


Figure I.8: Effet des chlorures

(Extrait de <http://www.vectorgroup.com/CorrosionOverview.pdf>)

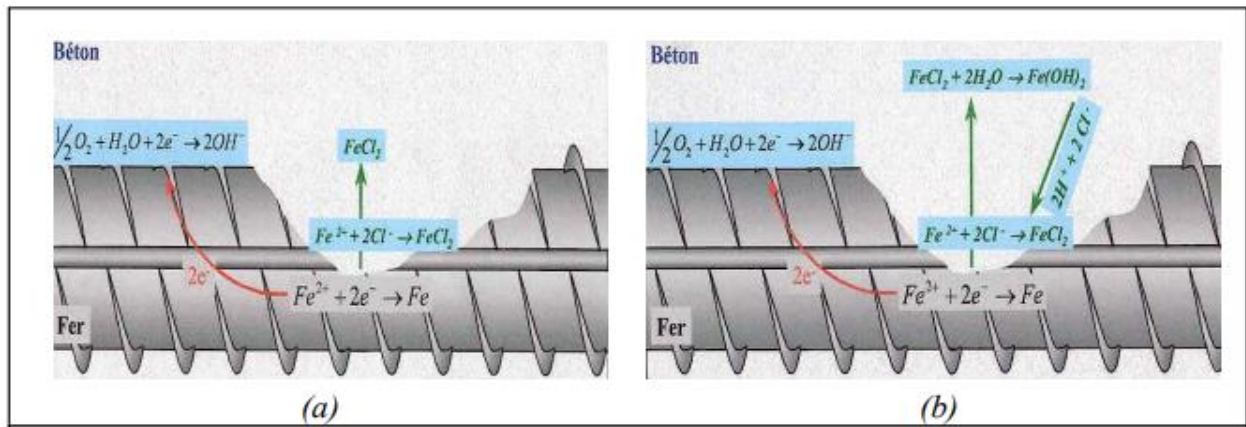


Figure I.9: Rôle des chlorures dans la corrosion par piqûre
(Extrait de <http://www.vectorgroup.com/CorrosionOverview.pdf>)



Figure I.10: Piqûre profonde causée par une attaque de chlorure
(Extrait de <http://www.vectorgroup.com/CorrosionOverview.pdf>)

I.3.2.1.4 -La corrosion des armatures :

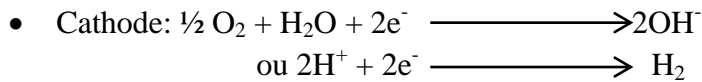
Le chercheur B. Benmokrane déclare que: « La corrosion de l'acier dans le béton armé fait fissurer et éclater le béton. On voit ainsi littéralement tomber en ruine une part importante des structures construites partout au monde dans la foulée de la Seconde guerre mondiale» Les armatures dans le béton armé se corrodent sous l'effet de la présence d'ions chlorures, d'une carbonatation et d'une humidité aérée dans l'enrobage qui touche les armatures.

a) Le mécanisme de base de la corrosion :(La corrosion de l'acier)

Dans les ouvrages de génie civil, la corrosion de l'acier qui se manifeste de manière prédominante est la corrosion dite en solution ou corrosion humide, correspondant à un phénomène de nature électrochimique, car il s'agit à la fois de réaction chimique et de transfert d'électrons. Son principe est simple: une pile se forme entre le métal et une impureté (par exemple une trace de calamine) en raison des différences de potentiel entre les deux éléments [20]. Les réactions chimiques de base dans les régions anodiques et cathodiques sont les suivants:

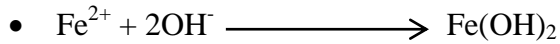
- Anode: $Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

Ensuite, se produit une réaction cathodique de réduction de l'eau ou de l'hydrogène:



La dernière ne se produit généralement qu'en milieu acide.

La rouille apparaît lorsque les ions ferreux (Fe^{2+}) réagissent avec les ions (OH^-) pour former de l'hydroxyde ferreux $Fe(OH)_2$:



b) La corrosion atmosphérique : [12]

Les armatures d'acier sont exposées à l'atmosphère lors du stockage aux chantiers, ce qui engendre leur rouille avant le coulage du béton. Cette rouille de surface est en fait recherchée car elle améliore l'adhérence du béton sur l'acier.

Le pH* naturellement supérieur à 13 qui règne à l'intérieur du béton empêche la corrosion de se propager. Mais au fil des années, du dioxyde de carbone s'infiltré dans le matériau et provoque de nouvelles réactions chimiques qui diminuent le pH. S'il y a parallèlement de l'eau en excès, la corrosion peut alors reprendre là où elle avait commencé. Mais la présence de poussières et autres dépôts solides étrangers à la surface de l'acier peut abaisser la valeur de ce seuil et favoriser l'apparition de la corrosion. Certains composants, tel le sulfate d'ammonium, induisent et favorisent la corrosion à l'endroit où ils se déposent. Il en résulte que la pollution atmosphérique qui est malheureusement très importante dans les sites urbains, accélère le processus de la corrosion.

Les agents agressifs les plus courants sont l'anhydride sulfureux (issu de combustion des fuels domestiques et industriels) et les chlorures hygroscopiques tel les chlorures de lithium, de calcium et de magnésium, on trouve parfois que la corrosion est plus active dans les sites abrités que ceux qui sont complètement exposés, car la pluie délave les condensations fortement acides provenant des couches plus hautes de l'atmosphère. La température joue également un rôle essentiel dans l'accélération du processus chimique d'oxydation: par exemple une augmentation de 10°C double la vitesse de réaction.

c) La corrosion des armatures dans les structures en béton armé :

a corrosion des aciers d'armature dans le béton armé est issue d'un processus électrochimique

[1]. Pour que l'acier dans le béton se corrode (formation de la rouille) il faut la présence [21]:

- ✓ D'un électrolyte avec une forte conductibilité (ionique);
- ✓ De l'oxygène à la zone cathodique;
- ✓ D'une dissolution non inhibée

(Dé passivation de l'acier par l'attaque des chlorures ou par la carbonatation). Au départ, les armatures noyées dans le béton sont au contact d'une solution d'hydroxyde de calcium dont le pH est supérieur ou égal à 12,5. Cette solution développe un film passif d'oxyde (Fe_2O_3) stable, il empêche l'oxygène d'arriver jusqu'au métal, mais à un pH inférieur à 10, le film passif sera détruit lors de la carbonatation ou quand les ions chlorures atteignent la surface de l'acier. Alors la corrosion de l'acier se développe selon le processus électrochimique classique. L'anode et la cathode sont reliées par le métal conducteur qui permet le passage des électrons, et le béton présent le milieu électrolyte, qui assure le transport des ions par diffusion (Figure I.11).

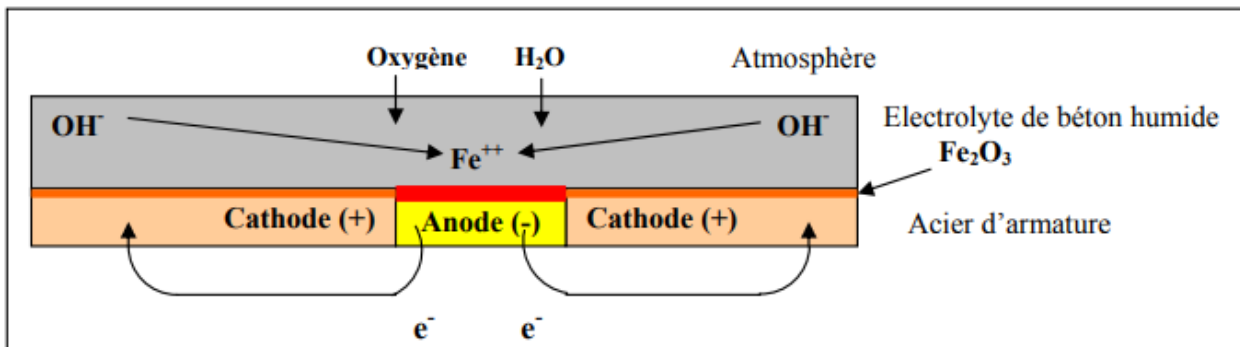


Figure I.11: Représentation schématique du mécanisme de la corrosion des aciers d'armature dans le béton [1]

Les réactions d'oxydation se poursuivent pour former un mélange des nouveaux produits dont certains sont très expansifs: $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, Fe_3O_4 .

Selon Tutti [22], l'évolution de la corrosion des aciers d'armature s'effectue généralement en deux étapes (**Figure I.12**):

➤ **Phase d'amorçage:**

Lorsque tout le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ s'est carbonaté, la valeur du pH descend à 8,3 [23]. Alors l'acier enrobé par la pâte de ciment hydraté forme rapidement une couche mince d'oxyde passif collante à la surface de l'acier en formant une protection totale à l'égard de la corrosion, car elle isole le métal de l'électrolyte (et de l'oxygène), ce phénomène est appelé par « la passivation». Pour que la couche passive reste efficace, elle doit être : dense, continue, uniforme, très adhérente sur la surface de métal.

Lorsqu'un front de pH plus faible atteint les alentours de la surface des armatures, la couche passive disparaît «la dé passivation» (**point A de la figure I.12**) du métal et la corrosion se produit en présence d'oxygène et d'humidité.

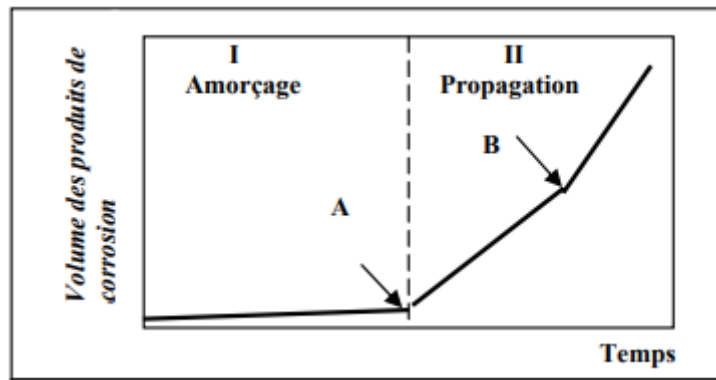


Figure I.12 : Cinétique de la corrosion des armatures [24]

➤ **Phase de propagation:**

Le développement des réactions d'oxydation à la surface des armatures induit le développement de la rouille et résulte un gonflement pouvant fissurer et provoquer l'éclatement du béton d'enrobage (Figure I.13 la phase finale).

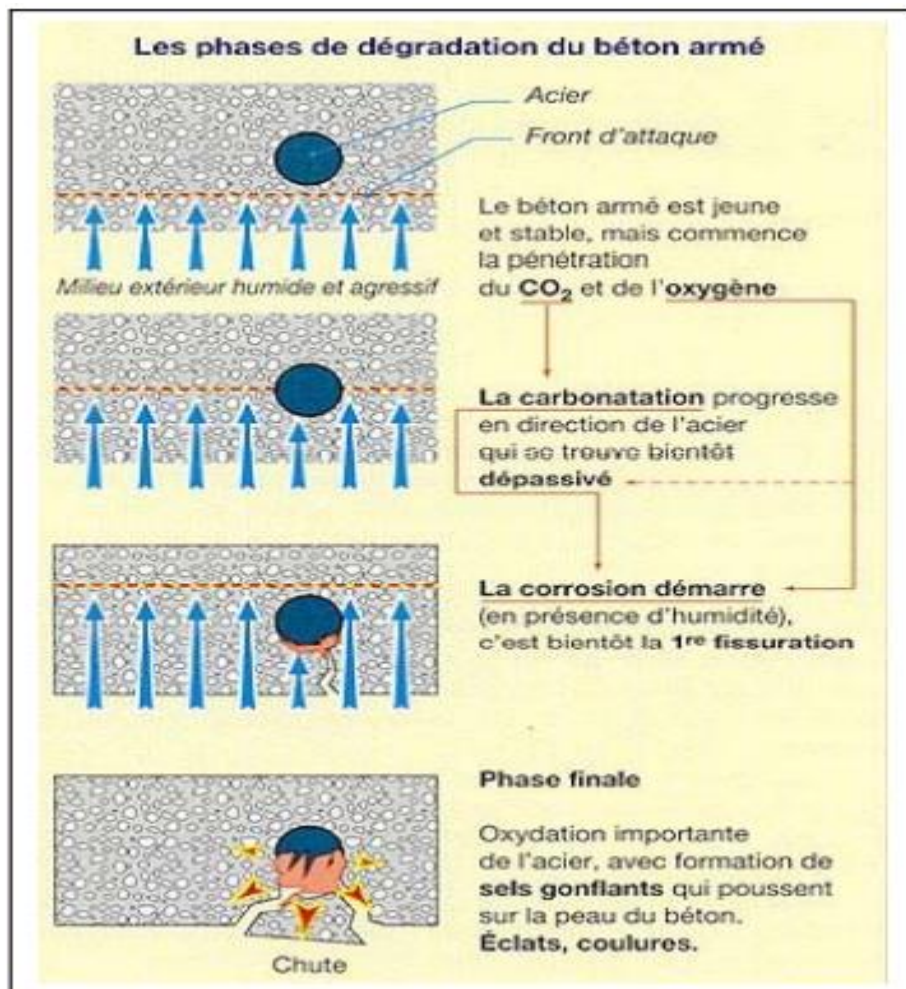


Figure I.13: Phases de dégradation par corrosion du béton armé

d) La corrosion par attaque des chlorures :

Voir les conséquences de l'attaque des chlorures (page 23).

e) Les facteurs influant sur la corrosion des armatures

• **L'enrobage:** Lorsqu'une structure en béton armé se trouve dans un environnement agressif, la première partie critique de toute la structure est l'enrobage qui est la première défense pour la protection des armatures contre la corrosion, cette capacité de protection offerte par le béton aux armatures dans le béton armé s'évalue par:

- La qualité du béton d'enrobage, en particulier la porosité et l'innocuité des constituants du béton vis-à-vis des armatures;

- L'épaisseur d'enrobage qui dépend du niveau d'agressivité du milieu d'exposition. Donc le béton d'enrobage a comme rôle d'assurer:

- La transmission des forces par adhérence entre le béton et l'acier;

- La protection physique des aciers, en constituant une barrière vis-à-vis des agents agressifs

(Tableau I.6);

- La protection chimique grâce au pH élevé de la solution interstitielle du béton qui assure la passivité de la couche protectrice formée sur les armatures.

- **Conseil de l'expert:** Toute armature d'une pièce ou d'un mur en béton armé a un rôle bien déterminé, et sa mise en place dans le coffrage doit être avec une grande précaution et selon les plans, surtout en ce qui concerne la distance minimale de la surface. Par ailleurs, les épaisseurs d'enrobage sont définies avec précision par les règles de l'art (**DTU 23.1, DTU 21 et règles BAEL**).

Tableau I.5: Disposition constructive pour l'enrobage en fonction de l'environnement (BAEL 91) [6]

Expositions	Enrobage*
Ouvrage à la mer ou exposés aux émissions ou aux brouillards salins	5 cm
Parois coffrées ou non, soumises à des actions agressives, des intempéries ou des condensations, ou en contact d'un liquide	Si $f_c < 40$ Mpa, 3 cm Si $f_c > 40$ Mpa, 2 cm
Parois dans les locaux couverts et clos non exposés aux condensations	1 cm

* **L'enrobage :** est défini comme la distance de l'axe d'une armature à la paroi la plus voisine diminuée du rayon nominal de cette armature

• **L'humidité:** L'humidité du béton influe de deux façons sur la corrosion ou la passivation des armatures. En premier lieu, si l'humidité du béton est faible, la pénétration de certains gaz est facilitée. Par contre la corrosion des armatures ne se produit qu'en présence de liquide [7]. Le taux de corrosion le plus élevé est observé dans les couches superficielles des pièces en béton soumises à des alternances régulières de sécheresse et d'humidité [12].

- **La carbonatation:** Voir la partie (I.4.2.1.2 La Carbonatation)
- **Agents agressifs:**

- **La teneur en chlorure:** Lorsque la teneur en chlorure dépasse la valeur critique, la couche de recouvrement ne peut plus protéger l'acier

- **L'oxygène:** L'oxygène dissous dans un liquide aqueux joue un rôle primordial dans la réaction dite cathodique de la corrosion des aciers, ainsi plus la teneur en oxygène est élevée, plus la vitesse de dissolution du métal est grande.

f) Les conséquences de la corrosion :

La durée de vie d'un ouvrage vis-à-vis la corrosion des aciers est souvent décrite à travers les deux étapes: [7]

- La 1^{ière} étape est appelée la phase d'initiation, qui correspond au temps nécessaire à l'apparition d'une corrosion depuis la mise en œuvre de l'ouvrage, mais à cette phase là les destructions sont invisibles;

- La 2^{ième} étape est la phase de propagation de la corrosion et qui conduira à la ruine totale de l'ouvrage. Généralement la détection de la dégradation est simple et intervient au cours de cette phase, car les destructions deviennent visibles et la réparation devient vraiment difficile. Les dommages dus à la corrosion se manifestent par:

- Des expansions qui conduisent à la formation de fissures qui provoquent éventuellement le décollement du couvert de béton (l'enrobage) (**Figure I.13**);

- Perte de l'adhérence des barres et la diminution de leur diamètre effectif, qui engendrent une perte de capacité en traction;

- Un éclatement du béton car la rouille résulte de la formation de produits fortement gonflants qui dépendent de l'état de l'oxydation dont le volume peut être jusqu'à 6 fois supérieur au volume initial (**Figure I.14**);

- Perte de section des barres d'acier.

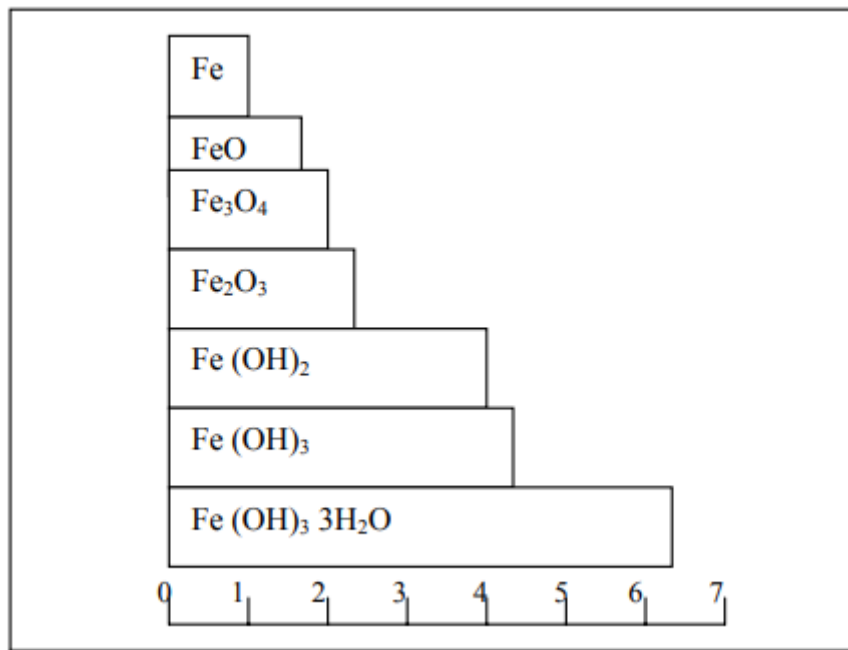


Figure I.14: Volume relatif des produits d'oxydation du fer [25]

I.3.2.1.5- L'attaque des sulfates :

a) L'origine des sulfates : [12]

Les sulfates présentent un risque majeur d'agression chimique pour le béton, ils peuvent être d'origine naturelle, biologique ou provenir de pollutions domestiques et industrielles. Les réactions sulfatiques les plus courantes sont provoquées par les granulats ou des agressions extérieures de sulfates qui se trouvent dans la nature:

- Action des eaux souterraines sulfatées, les concentrations les plus élevées sont en général dues à la présence de sulfates de magnésium (MgSO_4) ou de sulfates alcalins ($\text{K}_2\text{SO}_4 - \text{Na}_2\text{SO}_4$);
- Action de l'eau de mer (contenant 2,2 g/l de MgSO_4);
- La plupart des sols contiennent des sulfates sous la forme de gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou de l'anhydrite (CaSO_4), on peut rencontrer des concentrations élevées (> 5 %) comme l'Afrique du Nord, prairies Canadiennes et la région Parisienne sous formes de: Na_2SO_4 (58 g/L), $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (194 g/L), K_2SO_4 (111 g/L), $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (440 g/L), CaSO_4 (2.1 g/L).
- Action des pluies acides emmenant avec elles le dioxyde de soufre contenu dans l'atmosphère.

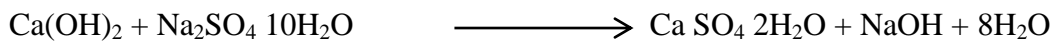
b) Description des réactions sulfatiques :[4, 12]

Les réactions sulfatiques sont provoquées par l'action des sulfates qui attaquent la portlandite (La chaux hydratée $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou CH) pour former du gypse secondaire qui réagit avec les aluminates pour former le sel de Candlot (l'ettringite). La formation de l'ettringite secondaire s'effectue soit à partir des résidus de C_3A anhydre, soit à partir des MSA (monosulfoaluminates de

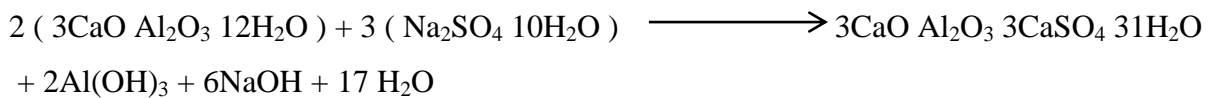
calcium hydratés). Cette réaction commence par la surface puis pénètre peu à peu vers le cœur du matériau avec une vitesse de pénétration qui est fonction de la perméabilité du béton vis-à-vis des ions de sulfates, cette réaction développe des pressions de cristallisation et engendre une fissuration interne sous l'effet du gonflement et accélère la pénétration des sulfates, et le front de dégradation progresse dans le temps.

On trouve très fréquemment du sulfate de sodium, de potassium, de magnésium et de calcium dans les sols et les eaux souterraines qui réagissent avec la pâte de ciment durci selon les réactions chimiques suivantes:

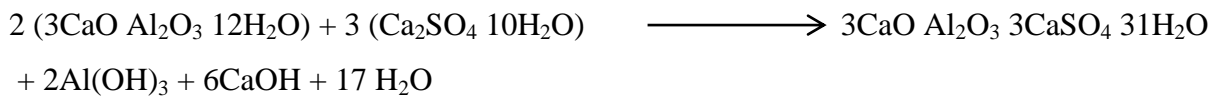
- Le sulfate de sodium attaque la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$:



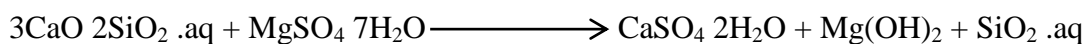
- La réaction avec l'aluminat de calcium hydraté peut-être formulée de la façon suivante [26]:



- Le sulfate de calcium n'attaque que l'aluminat de calcium hydraté pour former un sulfoaluminat de calcium ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) connu sous le nom d'ettringite. Le nombre de molécules d'eau peut être 32 ou 31 selon la pression de vapeur ambiante [27]



- Le sulfate de magnésium attaque les hydrates de silicate de calcium aussi bien que le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et l'hydrate d'aluminat de calcium. La réaction est de type:



Cette réaction se poursuit jusqu'à ce qu'elle soit terminée car la solubilité de MgSO_4 est très faible, et dans certaines conditions, l'attaque par le sulfate de magnésium est plus sévère que celle des autres sulfates, mais la conséquence finale de l'attaque au sulfate de magnésium est destruction des C-S-H.

Action des ions sulfure: [12]

L'hydrogène sulfuré n'a pas d'action directement nocive sur le béton. Mais la présence de bactéries aérobies catalyse l'oxydation des sulfures en soufre, puis en sulfates en produisant de l'acide sulfurique; ce dernier entraîne alors un lessivage de l'hydroxyde de calcium par réaction acide-base et une expansion sous forme d'ettringite selon le processus décrit précédemment.

Il existe une relation entre la teneur en C_3A du ciment et le gonflement produit par l'attaque sulfatique, pour cela certains ciments leur désignation complétée par les lettres ES, signifiant qu'ils sont pour des travaux en eaux à haute teneur en sulfates car ils sont limités par des dosages en C_3A , C_4AF , et SO_3 , ce qui leur donne une résistance augmentée à l'agression des sulfates en cours de

prise. Les ciments avec ajout de laitier présente généralement un bon comportement face à l'attaque sulfatique sans considération supplémentaire de la composition du clinker.

c) Les conséquences des réactions sulfatiques : [4, 1]

L'attaque par les sulfates peut détériorer très significativement le béton dans un laps de temps relativement court (10 à 15 ans). Selon deux mécanismes physico-chimiques:

- Expansion du béton à cause de la formation de produits expansifs: suite à la fissuration, la perméabilité augmente et l'eau agressive peut pénétrer plus facilement, ce qui accélère le rythme de destruction;
- Perte des propriétés liantes des C-S-H, qui engendre une chute de résistance du béton.
- Les bétons attaqués par les sulfates ont un aspect caractéristique blanchâtre avec un caractère de gonflement du béton. Les fissures produites sont généralement assez fines et organisées en un réseau de mailles, appelé par le faïençage ou écaillage et gagnant progressivement toute la masse jusqu'à ce que le béton devienne friable ou se désintègre.

I.3.2.1.6 -Alcali-réaction :

Une pathologie du béton, souvent appelée « cancer du béton », fait intervenir les alcalins du ciment et la silice de certains granulats. C'est pourquoi on l'appelle l'alcali-réaction-granulats.

Ce phénomène de détérioration a été identifié pour la première fois en 1940 dans un barrage en Californie [6], puis dans les années cinquante en Australie, au Danemark et en Angleterre.

a) Définition :

On définit l'alcali-réaction comme la réponse des minéraux des granulats du béton à un déséquilibre avec leur milieu ambiant ou bien c'est la réaction entre les granulats et le liant pour former des produits gonflants ayant la morphologie d'un gel. Cette réaction s'amorce à la surface du granulat et se produit surtout à l'interface granulat-pâte de ciment.

Les alcalis: La concentration en ions alcalins K^+ et N^+ augmente rapidement dans les premiers jours après le gâchage du béton, voire pendant les premières semaines, pour ne fluctuer. Normalement que de façon mineure par la suite [28]. Les alcalins peuvent provenir de tous les ingrédients du béton

b) Les types de réactions :

Lors de l'incorporation des granulats dans le milieu béton, ils se trouvent plongés dans un environnement hyperalcalin, imposé par la portlandite (pH de 13) ce qui est différent à leur milieu naturel. Si ces granulats sont de nature calcaire, aucun problème ne touche le béton. En pratique, l'alcali-réaction est favorisée par:

- La teneur en alcalins disponibles c'est à dire granulats potentiellement réactif;
- Humidité relative supérieurs à 80 à 85%;
- Concentration en alcalin (K, Na).

L'alcali-réaction, dans son sens le plus large, couvre les trois phénomènes:

• **La réaction alcali-silice (A-S):**

C'est la réaction la plus fréquente qui fait intervenir les alcalins du ciment et la silice de certains granulats, et on peut la décrire de la façon suivante:

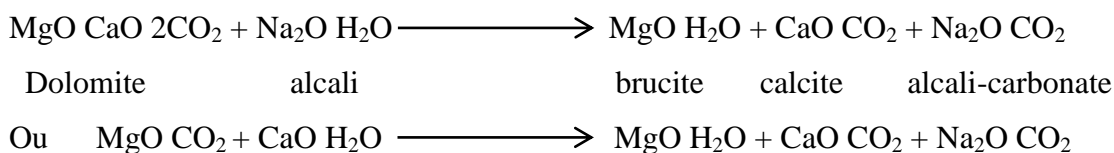
- Les alcalins qui proviennent du ciment ou de l'altération des granulats du béton en milieu basique qui migrent au sein de la solution interstitielle présente dans les pores du béton pour entrer en contact avec les particules de silice réactive présente à la surface ou les pores des granulats pour former à la fin un gel de silicate alcalin.
- Ensuite ce gel de silicate alcalin se combine avec le calcium (Ca^{++}) provenant de la pâte du ciment (la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$) pour former un gel silico-calco-alcalin qui absorbe une grande quantité d'eau et possède la propriété d'être gonflant. Il provoque alors une expansion du béton. La dimension des particules siliceuses affecte la vitesse de réaction: les particules fines (20 à 30 μm) provoquent une dilatation après un ou deux mois, alors que, avec les particules plus grossières, la dilatation peut se produire après plusieurs années [29].

• **La réaction alcali-silicate (A-s):**

C'est les réaction impliquant les silicates, se produisant avec les roches complexes, polyphasées, métamorphiques et sédimentaires de type granites, andésites, argilites, etc. elles sont dues principalement à la présence de silice très finement divisée et très réactive dont la réaction les hydroxydes alcalins conduit à la formation de gels de composition très voisine de celle des gels observés dans les réactions alcalis-silice [30].

• **La réaction alcali-carbonate (A- C):**

La réaction alcali-carbonate influence certaines pierres calcaires dolomitiques à grains fins contenant des argiles, elle s'exprime comme suit: [31]



Dans les deux cas la dolomite disparaît et la brucite et la calcite se forment. La brucite peut se cristalliser ou former un gel, les effets expansifs de la réaction peuvent donc être dus à la pression de la croissance des cristaux, à la pression de gonflement par imbibition du gel ou à la pression osmotique créés dans les cellules osmotiques à travers des membranes semi-perméables

Formées [32, 33].

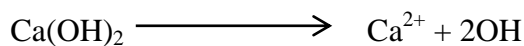
c) Les conséquences de l'alcali-réaction

Les désordres apparents sur les bétons soumis à l'alcali-réaction se manifestent en plusieurs aspects: de la fissuration superficielle à un gonflement, en passant par des dégradations locales selon les conditions limites de l'ouvrage:

- Les réactions alcali-silice sont destructrices et elles se manifestent par des fissures de largeur qui varie de 0.1 mm jusqu'à 10 mm et pénètrent rarement à plus de 25 mm, ayant un aspect irrégulier ressemblant à une immense toile d'araignée, souvent soulignées par des traces d'humidité et des exsudations de gels, ces fissures permettent d'observer à l'intérieur du béton de nombreuses fissures qui traversent les granulats ainsi que la pâte de ciment environnante.
- Formation de cônes d'éclatement lorsqu'il s'agit de réactivité très rapide contenue dans les granulats proches du parement.
- Ces fissures typiques peuvent être accompagnées de déformations d'ensemble ou différentielles de l'ouvrage, de dés affleurement des fissures et, dans des cas extrêmes, de ruptures d'armatures [12].

I.3.2.1.7- Les eaux pures : [7]

L'eau pure peut lessiver le béton (lixiviation), en dissolvant les constituants basiques du ciment, ce qui augmente la porosité et accélère la dégradation dans les zones béton dans laquelle l'eau pure circule. Par exemple la chaux selon la réaction suivante:



Si l'eau n'est pas très pure et le béton est assez poreux, il se produit un phénomène d'entraînement de constituant du béton vers l'extérieur (suintement, efflorescence, fuite de laitance, etc.). Et si l'eau coule dans le béton de haut en bas, il peut se former des stalactites.

I.3.2.1.8 -Attaque des acides :

Le béton résiste mal aux acides ou des composés qui peuvent se transformer en acide. Les acides sont originaires d'habitude de l'industrie, comme ils peuvent même être dus à l'activité urbaine.

Plusieurs acides organiques et inorganiques peuvent arriver dans l'eau de mer comme une conséquence d'activité bactériologique. La source des acides peut même être due à la pollution aérienne par les gaz bioxyde de carbone, le bioxyde de soufre et des oxydes d'azote. La concentration d'acide qui entre en contact avec des structures en béton armé peut atteindre des valeurs importantes. L'attaque acide peut être comme une conséquence d'activité bactérienne, quand l'eau souterraine contient des composés de soufre ferreux.

I.3.2.2-Dégradation d'origine physique :

Les altérations physiques sont dues à des surcharges, à des sollicitations excessives, aux frottements, aux chocs thermiques, aux gonflements, des différences de dilatation thermique des granulats ou aux retraits. Elles entraînent l'érosion et la fissuration du béton [34].

I.3.2.2.1 -Retrait, tassement :

Le retrait est la réduction dimensionnelle, en l'absence de chargement, due essentiellement à l'évaporation de l'eau excédentaire interne. On distingue:

- Le retrait plastique: créé par la dessiccation de la pâte de ciment au début du phénomène d'hydratation;
- Le retrait par auto-dessiccation de la pâte de ciment au cours de l'hydratation;
- Le retrait thermique dû aux effets des gradients de température qui se manifestent dans le béton lors de la dissipation de la chaleur d'hydratation;
- Le retrait à long terme du béton durci ou retrait proprement dit, dû à l'évaporation de l'eau contenue dans le béton à la poursuite de l'hydratation du liant. Les facteurs qui interviennent dans le développement de fissures de retrait sont: le phasage de bétonnage, l'existence de joints verticaux régulièrement espacés ou de supports horizontaux suffisamment lubrifiés, la qualité de la cure, la conception de ferrailage de peau destiné à répartir la fissuration de retrait, la température et l'humidité relative du milieu environnant, le choix de la composition du béton (E/C, adjuvant)

I.3.2.2.2 -Gel-dégel :

La détérioration par le gel ne se produit qu'en régions froides, pour cela ce mécanisme ne sera pas détaillé dans cette étude puisque la région de Biskra est totalement différente.

Les cycles de gel-dégel provoquent une expansion de la masse du béton jusqu'à fissurer le matériau s'il est de mauvaise qualité. Car la transformation de l'eau en glace se traduit par une augmentation de volume de 9 % qui provoque une expulsion de l'eau hors des capillaires [12]. Selon Whiting [35], Les bétons suffisamment âgés, lorsqu'ils sont secs, résistent naturellement aux cycles de gel-dégel sans précaution particulière. C'est le cas, en général, des surfaces verticales des ouvrages dans les parties hautes. Les risques de dégradation par le gel n'existent que lorsque le béton est en contact de l'eau, dans un état saturé ou voisin de la saturation. Lorsque les conditions en service font que la température d'un béton saturée passe en dessous du point de congélation, l'eau contenue dans les pores d'une roche et donne lieu à une expansion. Le gonflement induit par le gel augmente au fur et à mesure que le béton est soumis à des cycles répétés de gel-dégel.

I.3.2.2.3- Les sels fondants : (Les produits de déglçage ou de dévergçage)

a) Définition :

Ces produits sont des sels utilisés pour dégager la neige et la glace qui s'accumulent sur les surfaces horizontales de béton exposées aux cycles de gel-dégel, tels les revêtements routiers et les tabliers des ponts. Les sels fondants les plus utilisés sont les chlorures de sodium (NaCl) et de calcium (CaCl₂)

b) L'effet nuisible :

Les sels fondants ont un effet nuisible sur la durabilité du béton, car ils provoquent la détérioration par écaillage de la surface exposée, et parfois même la corrosion des armatures. Les sels engendrent des pressions osmotiques qui créent des mouvements d'eau vers la surface de la dalle où le gel a lieu [36]. Développant une pression hydraulique [37], On peut dire que le mécanisme est similaire à celui de gel-dégel mais plus sévère, car le sel provoque d'abord la fonte de la neige ou de la glace est donne de l'eau qui peut former des flaques au milieu de la glace environnante, en constituant une solution salée et possédant un point de congélation inférieur à celui de l'eau douce. Une partie de cette solution est absorbée par le béton qui peut devenir saturé [4]. La glace continue à se fondre et l'eau des flaques devient de plus en plus

Diluée et son point de congélation augmente graduellement jusqu'à une valeur voisine de celui de l'eau douce, alors le gel se produit de nouveau. En conséquence, on peut dire que les sels fondants augmentent la saturation et probablement le nombre de cycles de gel-dégel [4].

- **Remarque:** Mehta et Gerwick ont regroupé les principales causes physiques de détérioration du béton en deux grandes catégories [1]:
- Dégradation de surface: Abrasion, Erosion, Cavitation, Ecaillage.
- Fissuration interne (Cracking): Gradient d'humidité ou de température, Pressions de cristallisation, Chargement structural, Exposition aux températures extrêmes (Gel-Feu).

I.3.2.3 -Dégradation d'origine mécanique :

I.3.2.3.1 –Chocs : [12]

Les désordres de ce genre concernent beaucoup plus les ponts. Les chocs les plus fréquents sont ceux des poids lourds hors gabarit, les chocs des véhicules contre les barrières de retenue, ils peuvent créer des épaufrures, des éclats important de béton, voir même des ruptures d'aciers.

I.3.2.3.2 -Abrasion, érosion : [12]

Ces phénomènes se rencontrent essentiellement dans des structures de génie civil en contact avec la circulation intense d'eau comme les barrages (érosion des évacuateurs de crue), et dans les structures soumises à des charges mécaniques répétées comme les chaussées en béton. L'érosion du

béton est un type d'usure qui peut survenir lorsque le béton est en contact avec de l'eau en mouvement.

I.3.2.3.3 -La cavitation :

C'est la formation des bulles de vapeur lorsque la pression locale absolue chute à la valeur de la pression de vapeur de l'eau à la température ambiante, les bulles ou cavités peuvent être importantes, isolées et elles éclateront plus tard, l'eau s'engouffre à très grandes vitesses dans un espace précédemment occupé par la vapeur. Des pressions élevées s'exercent sur de petites surfaces pendant de très courts laps de temps. Plusieurs de ces cavités subissent des pulsations à hautes fréquences, ce qui semble aggraver les dégâts sur une plus grande surface [38].

I.3.2.3.4 –Délamination :

Dans certains pays comme les Etats unis et le Canada, l'action conjuguée des sollicitations climatiques, des sels anti-verglas et du trafic circulant directement sur le béton constitutif des hourdis de ponts a provoqué des délaminations du béton sur un nombre considérable d'ouvrages d'art [12]. Parfois ça mène à des chutes de plaques de béton et à la création des trous dans les tabliers de pont.

I.3.2.4 -Autres types de dégradation :

a) Incendie : [12]

Ce genre de dégradation affecte beaucoup plus les bâtiments que les ponts. L'incendie a pour effet thermique d'élever rapidement la température au sein du béton. A titre d'exemple, la température atteinte un point situé dans le talon d'une poutre à 5 cm du parement est d'environ 150°C après 30 min, 600 °C après 2 heures et 850 °C au bout de 4 heures, en tenant compte que les granulats contenant du quartz se fissurent à 573 °C ; et à 800°C, on atteint la décarbonatation de CaCO₃ avec libération de chaux vive plus la décohérence des granulats calcaires. Sur le plan mécanique, la création des microfissures, des écaillages, avec des éclatements et des disparitions de béton, à cause de la vaporisation brutale de l'eau.

Le diagnostic de la profondeur et de l'étendue du béton altéré par incendie nécessite de recourir à des moyens d'auscultation tels que le scléromètre (in situ) et le prélèvement de carottes pour des mesures de vitesse du son, des analyses en laboratoire par diffractométrie des rayons X et par examen au microscope électronique à balayage [39].

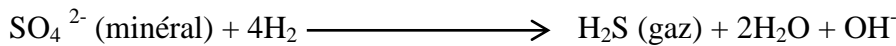
b) Attaque bactériologique : [1, 12]

La destruction peut survenir à cause la production de certains acides (H₂S, H₂SO₄) ou suite à la formation de produits expansifs dans les sols ou dans le béton (le gypse).

• **Mécanisme de base:** Les principaux types de bactéries sont :

✓ **Bactérie sulfo-réductrice:** (*Desulfovibrio desulfuricans*): L'activité bactérienne dans les milieux anaérobiques se résume en deux actions:

- La production des sulfures qui seront ensuite transformés en hydrogène sulfuré (H_2S), ce dernier est un acide faible très toxique et ça sent mauvais;

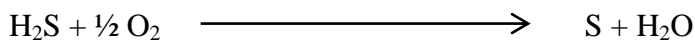


- L'action du H_2S sur le béton selon les deux réactions suivantes:

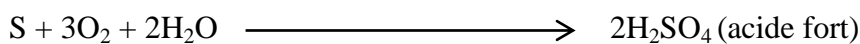


✓ **Bactérie produisant des sulfates** (*Thiobacillus concretivorus*): L'activité bactérienne dans les milieux **aérobiques** se résume en deux actions:

- L'oxydation du H_2S : les bactéries de ce type oxyde l'hydrogène sulfuré gazeux (H_2S)



- L'oxydation du S (au contact de l'atmosphère): Les bactéries transforment le S en acide fort très corrosif (H_2SO_4)



Ce dernier, attaque la portlandite pour former du gypse qui réagit à son tour avec les aluminates du ciment pour donner de l'ettringite.

• **Les conséquences de l'attaque bactériologique:**

- **Agression de surface:** Au cœur du béton, les bactéries anaérobiques transforment les sulfates

SO_4^{2-} en donnant (H_2S) qui se condense sur les parois (la surface), et se décompose sous forme de

S par la bactérie aérobie et le transforme en acide sulfurique (H_2SO_4) (bactéries sulfatoréductrices).

- **Agressivité et soulèvement des sols:** La production de l'acide sulfurique accentue l'activité bactérienne et donne des produits expansifs dans les sols ou dans le béton, comme pour le cas des soulèvements des dalles sur sol suite à la formation de gypse. Les températures constantes et élevées sous les dalles des bâtiments sont propices à l'activité bactériologique.

I.3.3 -Les symptômes et manifestation de dégradations : [16, 4, 14, 12]

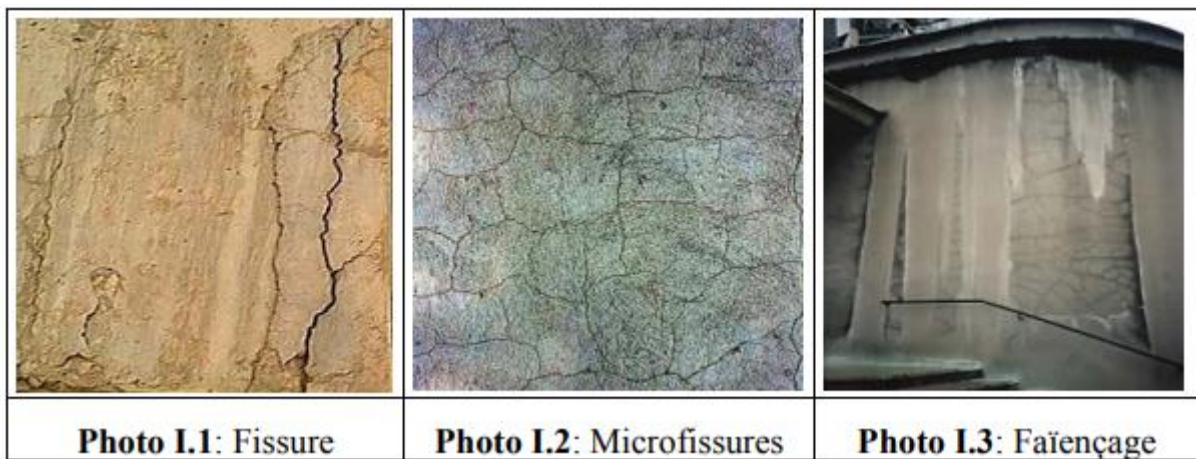
La pathologie des ouvrages en béton nous enseigne qu'il existe une multitude de symptômes de dégradations.

- **Fissures:** Ce sont des ouvertures linéaires au tracé régulier dont la largeur est comprise entre 0,2 et 2mm. (Photo I.1). Une fissure est une rupture entre deux parties du matériau qui ne sont plus liées et qui deviennent séparable. Toutes les fissures ne sont pas dangereuses et ne présentent pas toutes la même gravité.

- **Microfissures:** Des ouvertures de moins de 0,2 mm (Photo I.2)

- **Faïençage:** Un réseau de microfissures se présentant sous la forme d'un dessin géométrique à mailles irrégulières qui peut dépasser 100 mm, et il peut apparaître sur les dalles ou les murs lorsque la zone superficielle du béton présente une teneur en eau plus importante qu'à l'intérieur

(Photo I.3).



- **L'écaillage:** Décollement de la couche de mortier laissant les granulats à nu et pouvant se poursuivre par un délitage de la surface sous forme d'écaille, alors c'est un effet superficiel (Photo I.4).

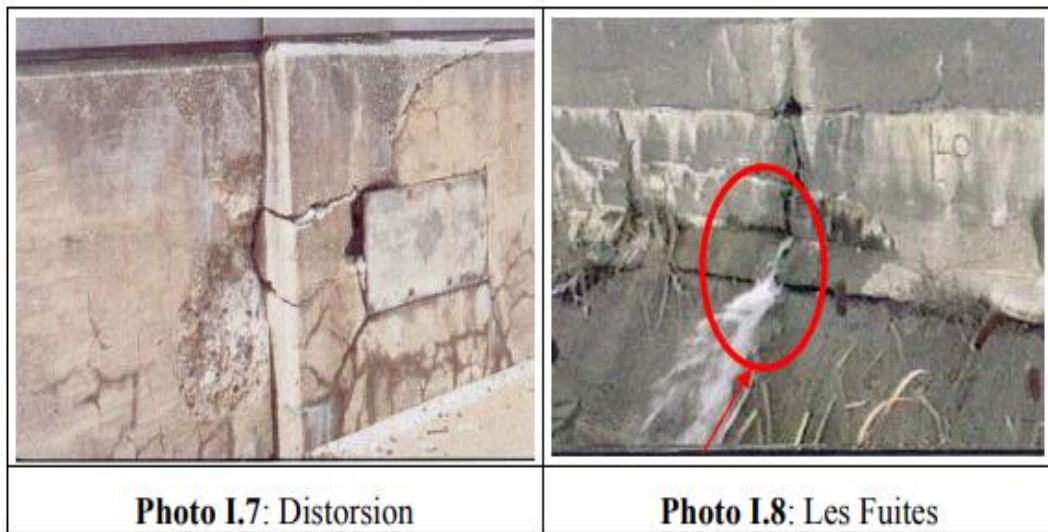
- **Les épaufrures:** C'est des fragments de béton détachés de la masse de l'ouvrage (Photo I.5).

- **La désintégration:** désorganisation de la peau du béton pouvant se poursuivre par une destruction avancée du béton d'un élément de l'ouvrage, et parfois assimilable à un pourrissement du matériau (Photo I.6) L'existence d'épaufrures ou de désintégration localisée du béton entraîne une redistribution de contraintes vers les parties saines de la structure.



-Distorsion: (Photo I.7)

- Fuites: (Photo I.8)



- Taches de rouille: (Photo I.9)

- Délamination: (Photo I.10)

- Echelonnage de surface: (Photo I.11)



Chaque type de ces différents types de fissurations exposées ci-dessus, n'apparaît qu'après un phénomène de dégradation précis, par exemple la dégradation par corrosion ne se manifeste que par

des fissures ou /et des épaufrures. Le (tableau I.6), rassemble les différents symptômes de dégradation selon leurs causes.

Tableau I.6: Principaux symptômes de la dégradation du béton [12]

	Fissures	Épaufrures	Écaillage	Désagrégation	En activité ou en évolution
Carbonatation					
Corrosion des armatures	X	X			OUI
Dégradation interne (alcali-réaction,...)	X				OUI
Attaque bactériologique	X			X	OUI
Attaque sulfatique (externe)	X		X	X	OUI
Retrait, tassement	X				NON
Gel-dégel	X		X	X	OUI
Chocs	X	X			NON
Abrasion, érosion				X	OUI
Défauts d'exécution	X	X			NON
Incendie	X		X	X	NON

La fissuration : est le symptôme le plus fréquent, qui peut compromettre la durabilité en permettant la pénétration des agents agressifs, pour cela le constructeur doit:

- Connaître le mécanisme de formation des fissures et les causes les plus probables;
- Eviter ou limiter les fissures;
- Réparer durablement et suffisamment tôt les fissures qui apparaissent. Ce qui rend utile de connaître les caractéristiques des fissures

I.3.3.1 Les caractéristiques des fissures :

Les caractéristiques des fissures se résument en :

- **L'âge et l'évolution:** Car une fissure risque avec le temps de se trouver partiellement bouchée par la formation de cristaux de calcite, la végétation ou la poussière et devenir difficile à injecter. L'évolution d'une fissure est connue entre deux examens successifs et elle dépend de la variation de l'ouverture d'une fissure dans le temps.
- **Le tracé:** Le tracé d'une fissure se définit par son orientation et sa longueur mesurable. L'orientation par rapport à certaines directions (parallèles, obliques,...), l'orientation est souvent révélatrice de son origine, lorsque la fissure est continue sur l'axe de d'orientation, elle est dite

fissure franche et si l'axe d'orientation est défini par plusieurs fissures successives, elle est dite discontinue;

- **L'ouverture:** On définit l'ouverture d'une fissure par l'ouverture maximale relevée sur le tracé, elle peut s'évaluer facilement à l'œil nu sur son tracé en prenant un repère sur un réglet ou avec le fissuromètre.

- **La profondeur:** Une fissure est dite traversant, lorsqu'elle est visible sur deux faces de la structure. Une fissure est dite aveugle, si elle est traversant mais bouchée sur la face non accessible de la structure, elle est souvent d'ouverture importante. Une surface est dite de surface, si l'ouverture est maximale en surface et s'annule au sein du matériau;

- **L'activité:** L'activité caractérise la variation dimensionnelle de l'ouverture de la fissure dans le temps. Une fissure est dite morte, si l'ouverture reste constante quelles que soient les variations de températures ou de charges, et elle est dite active si l'ouverture varie en fonction de facteurs extérieurs.

La fissuration d'une structure en béton armé, lorsqu'elle est peu visible et limitée aux zones en traction, peut être en général considérée comme normale [12].

I.3.3.2 -Types de fissuration selon leurs causes d'apparition :

a) La fissuration fonctionnelle du béton armé :

En fonctionnellement normal du béton armé, les éléments travaillant en traction ou en flexion se fissurent, mais ces fissures sont maîtrisées, ce qui signifie qu'elles sont limitées par des règles fixant la limite admissible d'ouverture des fissures en fonction de l'agressivité du milieu. Cette fissuration est nécessaire pour assurer un taux de travail satisfaisant aux aciers, elle est la seule fissuration acceptable du béton. le béton est fissuré dès que sa déformation dépasse 0,15 ‰, interdire la fissuration du béton c'est limiter la contrainte à 30 MPa et à abaisser considérablement

b) La fissuration accidentelle :

Les codes de calcul prennent en compte la fissuration accidentelle d'une manière globale grâce à la notion d'armature adhérente minimale intervenant dans la condition de non fragilité.

Les performances du béton armé (portées, élancement, etc).

c) La fissuration précoce : [39]

Beaucoup d'expertises portent sur des problèmes de fissures entraînant souvent les pénétrations d'eau ou des agents agressifs surtout **la fissuration précoce** qui présente des ouvertures importantes et qui n'a rien à voir avec la fissuration fonctionnelle du béton armé. Les fissures précoces sont préjudiciables à la durabilité des ouvrages en béton. Les causes de ces

fissures sont liées aux variations dimensionnelles du béton. Ces fissures n'apparaissent que sous certaines conditions particulières de fabrication ou de mise en œuvre. Les trois causes principales de la fissuration précoce sont:

• **Le tassement qui accompagne le ressuage: (Figure I.17 A, B, C)**

Le ressuage: est une exsudation superficielle d'une partie de l'eau de gâchage à la face supérieure du béton frais (**Figure I.15**). Ce phénomène est en relation avec un tassement progressif du squelette sous l'effet de la pesanteur, il se manifeste avant la prise sous les conditions suivantes:

- La présence d'armatures au voisinage de la surface supérieure qui constitue des points fixes et gêne localement le tassement (**Figure I.16**);
- Le tassement différentiel de deux Bétons voisins sur des hauteurs très différentes.

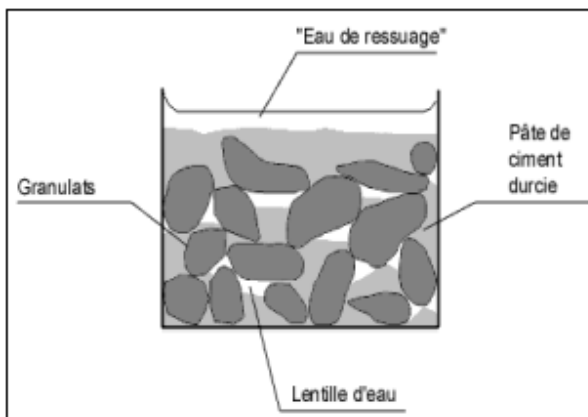


Figure I.15: Schéma présentant le ressuage

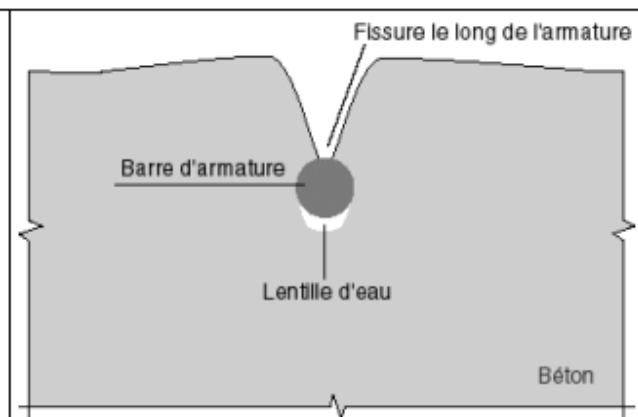


Figure I.16: Tassement du béton bloqué par le lit supérieur d'armatures

Pour prévenir cette fissuration il faut agir au niveau de:

- La formulation: Rétention de l'eau par un dosage en fine suffisant, réduction du dosage en eau à l'aide d'adjuvant, dimension adéquat des gros granulats.
- La mise en œuvre du béton: ne pas mettre les armatures en vibration.
- La conception: plane des ferrailages géométrique.

Notons que parfois un peu de ressuage ne nuit pas, comme dans le cas des structures présentant une grande surface horizontale et une hauteur réduite car l'eau ressuée protège la surface d'une dessiccation trop rapide, par contre trop de ressuage est toujours néfaste.

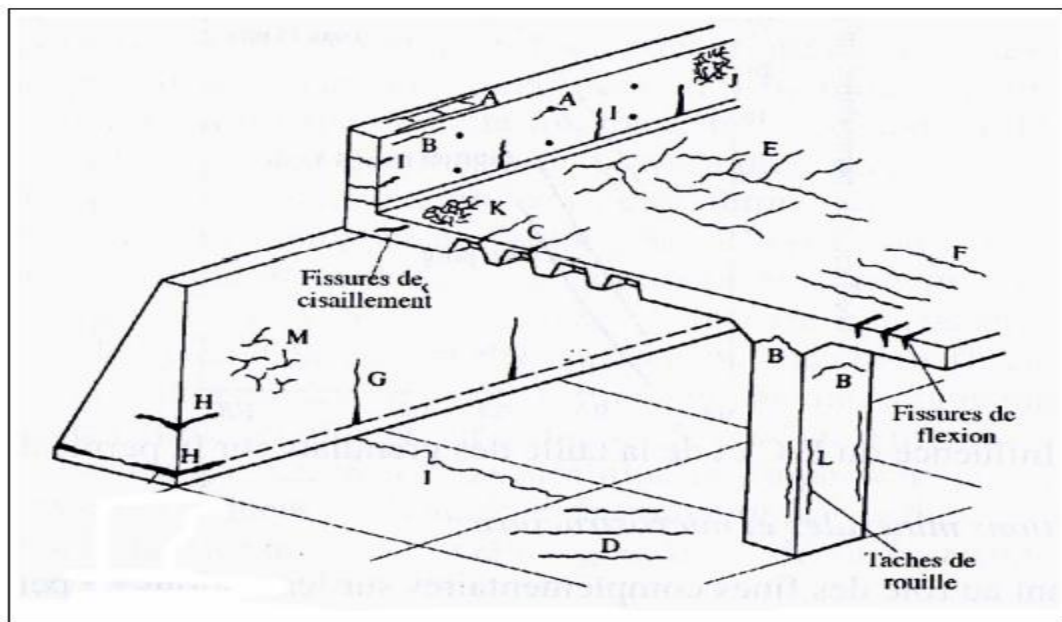


Figure I.17: Principales sortes de fissures susceptibles d'affecter [24]

- **Le retrait plastique:** **Figure I.17 D, E, F** Le retrait plastique (le retrait précoce): est le retrait du béton frais résultant d'une dessiccation exogène qui a lieu avant et pendant la prise. Pour éviter ce retrait, il faut suivre les étapes de la cure efficace exposée dans (I.3.3.3).
- **Le retrait thermique après prise:** **(Figure I.17 G, H)** La prise du ciment s'accompagne d'un dégagement de chaleur et d'un échauffement du béton; après la prise, ce dégagement de chaleur ralentit et le béton se refroidit. Le retrait thermique après prise est la contraction du béton due à ce refroidissement.
- **Le retrait d'auto-dessiccation:** **(Figure I.17 G, H)**, La réaction du ciment et de l'eau s'accompagne d'une dessiccation du béton sans départ d'eau à l'extérieur. Cette auto-dessiccation peut provoquer un retrait comme la dessiccation proprement dite.

Le symptôme caractérisant le retrait sur un ouvrage est la fissuration qui peut être soit orientée, soit multidirectionnelle [40]. Selon l'ordre chronologique d'apparition des fissures de retrait on trouve les différents types suivants:

- Fissures apparaissant une ou deux heures après le bétonnage, appelées aussi cassures de béton frais: elles sont provoquées par le tassement du béton frais dans les coffrages et le ressuage qui l'accompagne;
- Fissures apparaissent juste après le décoffrage: dues aux retraits d'auto-dessiccation (contraction Le Chatelier) ou dues aux retraits thermiques;
- Fissures apparaissant plusieurs jours ou plusieurs mois après le décoffrage: créées par le retrait de dessiccation (retrait à long-terme), à cause du départ de l'eau en excès dans le béton.

Comme il existe des cas simples de fissures:

- Des fissures perpendiculaires à la direction de la contrainte principale de traction;
- Des fissures parallèles de l'effort exercé sont dues à des contraintes de compression;
- Des fissures de fluage dues à une sous-estimation de ce phénomène;
- Des fissures de dalles dues à un tassement de sols;
- Des fissures de cloisons dues à une flèche exagérée d'une poutre porteuse sous dimensionnée;
- Des fissures au droit ou à l'extrémité de dalles de plancher chauffant ou de dalles de terrasses insuffisamment protégées thermiquement. La (**figure I.18**) donne l'ensemble des causes de fissuration du béton frais et du béton durci. Le (**tableau I.7**) donne les causes des différentes sortes de fissurations et remèdes.

Tableau I.7: Causes des différentes sortes de fissurations et remèdes [32]

Type de fissuration	Repère Figure I.17	Sous division	Localisation la plus fréquente	Cause première (exceptés retrait)	Causes secondaire (facteur)	remèdes	Délais d'appari-tion
Mouvement du béton frais	A	Proximité des armatures et des étrépillons	Grande hauteur	Excès de ressuage	Conditions de séchage au jeune âge trop rapide	Réduire le ressuage ou vibration plus soutenue	10mn à 3h
	B	Effet des voûtes	Partie haute des colonnes				
	C	Changement d'épaisseur					
Retrait plastique	D	Diagonal	Chaussées et dallages	Dessiccation rapide du béton frais	Vitesse de ressuage faible	Améliorer la cure au jeune âge	30mn à 6h
	E	Aléatoire	Dalles armées	Dessiccation du béton plus armatures en surface			
	F	Proximité des armatures	Dalles armées				
Retrait thermique endogène	G	Déformation empêchée par l'extérieur	Mur épais	Exothermie trop importante	Refroidissement rapide	Réduire la chaleur et/ou isoler	1 j à 2 ou 3 semaines
	H	Déformation empêchée par l'intérieur	Pièces épaisses	Gradient de température élevé			

Retrait de dessiccation exogène	I		Murs et dalles minces	Distance insuffisante entre les joints	Retrait excessif, cure inefficace	Réduire le dosage en eau, améliorer cure	Quelques semaines ou mois
divers	J	Contre les coffrages	Surface laide	Coffrage imperméable	Formule riche en ciment, mauvaise cure	Améliorer la cure et la finition	1 à 7 jours, parfois plus tard
	K	Béton de surface	dalles	Talochage excessif			
Corrosion des armatures	L	naturel	Colonnes et poutre	Enrobage insuffisant	Béton de mauvaise qualité	Remédier aux causes	Plus de 2 ans
Réaction alcali-silice	M		Sites humides	Granulats réactifs et teneur en alcalis élevée		Eliminer les causes	Plus de 5 ans

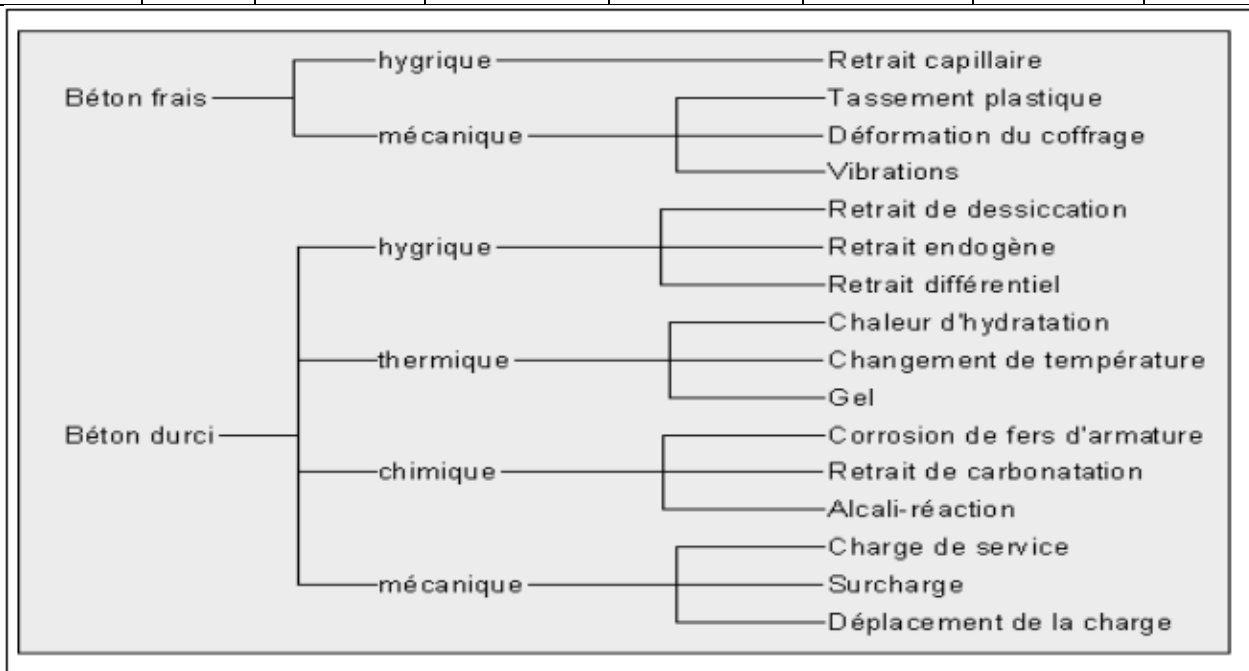


Figure I.18: Causes de fissuration du béton frais et du béton durci [41]

I.3.4- Les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages :

Souvent, on ne détecte la dégradation d'un ouvrage qu'après qu'elle devienne visible c'est à dire au cours de la phase de propagation, et c'est souvent tardivement, car la réparation devient lourde sur le plan technique que financier. Pour cela, il convient de prévoir les effets à long terme de ces agressions. Cette prévision est fondée sur les facteurs qui influencent sur la dégradation de l'ouvrage afin d'aboutir à des formulations adéquates du béton et définir des paramètres d'exécution de l'ouvrage en fonction de son environnement.

I.3.4.1 Les facteurs liés à la nature des matériaux La composition d'un béton peut être l'origine de dégradation d'un ouvrage par exemple une forte perméabilité accélère la carbonatation donc la corrosion des armatures. Les caractéristiques du béton qui contrôlent sa durabilité peuvent être regroupées en grandes familles [1].

a) Influence des propriétés des matériaux entrant dans la fabrication du béton :

Les propriétés du béton ont une influence directe sur la durabilité de l'ouvrage, dont la composition chimique et minéralogique déterminant sa sensibilité à un environnement, et la microstructure avec des facteurs de transfert interne.

• **Type de ciment:** En général, la spécification des limites plus ou moins conventionnelles de la composition chimique et/ou minéralogique des matériaux et plus particulièrement du ciment, constitue la façon la plus facile et la plus rapide de résoudre sans efforts certains problèmes les plus importants dans la durabilité du ciment et du béton. Ceci implique le transfert total en majeure partie de la responsabilité sur le ciment lui-même [31].

Déjà, en 1956 lors d'une conférence faite à Paris à l'ITBTP, le professeur Lafuma rapportait le dialogue suivant qu'il entendait fréquemment entre l'utilisateur et le fabricant:

- L'utilisateur: «mon béton est fissuré, le ciment en est la cause.»
- Le fabricant: «mon ciment est excellent, mais vous ne savez pas l'employer» [16].

Pour avoir de meilleures performances en milieux agressifs, comme l'eau de mer ou de granulats réactifs, on doit choisir le type de ciment qui convient. Par exemple [1, 16]:

- En milieu marin, il peut être nécessaire d'utiliser un ciment à faible teneur en l'aluminate tricalcique (C3A);
- Pour limiter les risques de réaction alcalis-granulats on peut choisir un ciment à faible teneur en alcalis;
- Un ciment trop résistant les tous premiers jours (et pourtant très réactif) n'est pas conseillé pour exécuter des enduits ou faire des ouvrages en grande masse.

Quatre classes d'environnement sont définies, allant de « faiblement agressif » à très fortement agressif » selon les caractéristiques de la région de Khenchela, c'est à dire ne pas prendre en considération les mesures concernant la présence des eaux de mer ou les zones de marnage. Les critères de classification et les types de ciment à choisir dans chacun des cas sont précisés dans le **tableau I.8**. Et il est important de noter que pour les ouvrages situés dans un environnement classé A1, aucune mesure particulière n'est à envisager si ce n'est celle consistant à réaliser des bétons compacts de bonne qualité en respectant les règles de l'art. Toutefois en présence d'un milieu acide

et d'utilisation de CPA-CEM I, il est nécessaire de rechercher un ciment présentant une teneur réduite en C₃A et C₃S.

Lorsque les concentrations des différents agents agressifs énumérés dans le tableau sont inférieures aux valeurs indiquées, l'environnement est considéré comme « non agressif » et classé « A0 ».

Tableau I.8 : Choix du ciment selon l'agressivité du milieu [11]

Classe d'agressivité	Concentration des agents agressifs	Mesure particulière n'est à envisager	Choix du ciment
A1 un milieu faiblement agressif	- CO ₂ agressif : 15 à 30 mg/l - SO ₄ ²⁻ : 250 à 600 mg/l - NH ₄ ⁺ : 100 à 300 mg/l - % de SO ₄ ²⁻ dans le sol sec : 0,4 à 0,6 - 1200 et 2300 mg/l de SO ₄ ²⁻ extrait du sol par l'eau, dans un rapport eau/sol de 2/1; - 6,5 > pH > 5,5.	Aucune mesure particulière n'est à envisager si ce n'est celle consistant à réaliser des bétons compacts de bonne qualité en respectant les règles de l'art	Dans un milieu acide et d'utilisation de CPA-CEM I, il est nécessaire de rechercher un ciment présentant une teneur réduite en C ₃ A et C ₃ S
A2 Un milieu moyennement agressif	- CO ₂ agressif : 30 à 60 mg/l - SO ₄ ²⁻ : 600 à 1500 mg/l - Mg ²⁺ : 300 à 1500 mg/l - NH ₄ ⁺ : 30 à 60 mg/l - % de SO ₄ ²⁻ dans le sol sec : 0,6 à 1,2 - 2300 et 3700 mg/l de SO ₄ ²⁻ extrait du sol; - 5,5 > pH > 4,5.	- Un dosage en ciment $\geq 550 \sqrt{D}$ (D: dimension max des granulats en mm); - le rapport E/C $\leq 0,55$; - Prévoir un enrobage des armatures ≥ 30 mm	CPA-CEM I CPJ-CEM II/A CPJ-CEM II/B CHF-CEM III/A CHF-CEM III/B CLK-CEM III/C CLC-CEM V CA CNP
A3 Un milieu fortement agressif	- CO ₂ agressif : 60 à 100 mg/l - SO ₄ ²⁻ : 1500 à 6 000 mg/l - Mg ²⁺ : 1500 à 3 000 mg/l - NH ₄ ⁺ : 60 à 100 mg/l - 4,5 > pH > 4 - % de SO ₄ ²⁻ dans le sol sec : 1,2 à 2,4 - 3700 à 6700 mg/l de SO ₄ ²⁻ extrait du sol, dans le rapport eau/sol = 2/1	-le niveau de protection 2 avec, les dispositions suivantes : - Utiliser un dosage en ciment $\geq 700 \sqrt{D}$; - le rapport E/C $\leq 0,50$; - prévoir un enrobage des armatures ≥ 40 mm;	- Présence de sulfates : CPA-CEM I CPJ-CEM II CHF-CEM III/A CLK-CEM III/C CLC-CEM V CA CNP - milieu acide: CHF-CEM III/B CLK-CEM III/C CLC-CEM V

<p style="text-align: center;">A4</p> <p>Un milieu très fortement agressif</p>	<ul style="list-style-type: none"> - CO², agressif > 100 mg/l; - SO₄²⁻ > 6000 mg/l; - Mg⁺⁺ > 3000 mg/l; - NH₄⁺ > 100 mg/l; - pH < 4; - % de SO₄²⁻ dans le sol sec > 2,4; - SO₄²⁻ extrait du sol > 6700 mg/l. 	<p>le respect des mêmes dispositions que celles assurant pérennité des ouvrages soumis à une agressivité de classe A3 avec une protection externe du type enduit, peinture ou une protection interne imprégnation.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de sulfates : CPA-CEM I CPJ-CEM II CHF-CEM III/A CLK-CEM III/C CLC-CEM V CA CNP - milieu acide: CHF-CEM III/B CLK-CEM III/C CLC-CEM V
---	--	--	---

• **Les granulats:**

- **La taille:** Les granulats influencent fortement l'ouvrabilité du béton frais et les propriétés du béton. Plus les grains ne sont petits, plus la surface devant être recouverte par la pâte de ciment fluide est haute.

- **La forme:** Plus les granulats sont arrondis, plus l'ouvrabilité du béton frais est meilleure, et plus les grains sont anguleux, la résistance à la traction-flexion du béton est bonne.

- **Résistance à la compression:** Plus la résistance des granulats est importante, plus la résistance définitive du béton sera élevée.

- **Masse volumique brute des grains:** la masse volumique brute et la porosité dépendent fortement du type et de la résistance des granulats (légers). Plus la masse volumique brute est faible, plus l'isolation thermique est élevée, plus la résistance à la compression et l'isolation acoustique sont faibles.

- Certains granulats sont gélifs, c'est à dire qu'ils sont sensibles à l'action des cycles de gèdégel. Et d'autres peuvent réagir avec les alcalis du ciment pour former des produits expansifs et faire fissurer le béton (réaction alcalis-granulats), donc les granulats ne sont pas réellement inertes.

- **La propreté des granulats:** excès d'argile, présence de pyrites de fer, et des sulfates, gonflent et fissurent le béton par expansion.

• **L'eau de gâchage : [11]**

Il y a différentes origines des eaux: Les eaux de pompage en provenance de nappes phréatiques, l'eau des réservoirs, l'eau de mer, les eaux de rejets industriels, les eaux de recyclages de l'industrie de béton elle-même, mais elles ne peuvent pas toutes être utilisées pour gâcher du

béton, car parfois elles contiennent un excès d'impuretés qui dégrade les propriétés physiques et mécaniques du béton et menacer sa durabilité.

• La plus utilisable est celle qui sert de référence, l'eau potable distribuée par le service public. Un excès d'eau entraîne un excès de retrait et une perte de résistance. Les eaux ne présentent pas les mêmes risques vis-à-vis du béton:

➤ **L 'eau de mer:** Les principaux éléments nocifs dans l'eau de mer sont:

- Le chlore: sous forme de chlorures de sodium et de magnésium (environ 30 g/l);
- Le sulfate: sous forme de sulfates de magnésium, de calcium et de potassium (environ 3.7 g/l);
- Les micro-algues (très variable).

- ✓ **Les eaux acides:** Elles peuvent être nocives à cause de l'anion qui est lié à l'ion H^+ , en général c'est Cl^- ou SO_4^{2-} . L'ion H^+ n'est pas nocif car il est neutralisé par les produits basiques contenus dans le ciment, cette acidité est mesurée en général par le pH.
- ✓ **Les eaux de recyclage:** Le respect de l'environnement conduit le producteur de béton à installer un système de récupération des eaux soit qui ont déjà été utilisées pour gâcher du béton, soit des eaux de lavages du matériel (malaxeur, camions, etc.), pour pouvoir les recycler notamment à l'aide de bassins de décantation. Les matières en suspension (les éléments fins ou les composés chimiques qui proviennent du ciment, des adjuvants et des granulats) peuvent déroger. Lorsque ces eaux restent conformes aux spécifications de la norme EN1008, elles sont utilisables sans danger
- ✓ **Les eaux de rejets industriels:** Elles devraient être utilisées qu'après une vérification approfondie de leur non-nocivité car c'est eaux peuvent contenir des impuretés qui interviennent des réactions complexes avec le ciment. Les principaux modes d'action des impuretés des eaux de gâchage sont donnés brièvement dans le **tableau I.9**.

Tableau I.9: Principales actions des impuretés les plus courantes susceptibles d'être rencontrées dans une eau de gâchage [41]

Composants	Types d'action à craindre
Sulfates	<ul style="list-style-type: none"> - En faible proportion : peut modifier la prise et le durcissement du ciment (qui contient une proportion optimale de sulfate de calcium). - En forte proportion : il y a avec le ciment accompagné de gonflement (trisulfoaluminate de calcium ou ettringite) préjudiciable à la durabilité du béton. - L'ion soufre est également un oxydant puissant qui peut corroder les armatures, notamment les câbles de précontraints.
Chlorures	<ul style="list-style-type: none"> - En faible proportion : accélération de la prise et réaction avec le ciment (chloroaluminate de calcium). En forte proportion : corrosion des armatures des câbles de précontrainte et de toutes les pièces métalliques (inserts) incorporées au béton
Sels de : Zinc, Cuivre, Plomb, Etain, Manganèse	<ul style="list-style-type: none"> - Retardateur de prise. - Les chlorures de zinc et de cuivre sont très puissants. - Le nitrates de plomb est, en outre, un puissant inhibiteur de durcissement.
Iodates, Phosphates Arséniates, Borates, itrates	<ul style="list-style-type: none"> - En rencontre surtout les sels de sodium particulièrement solubles. Ce sont tous de puissant réducteur de la résistance. - Les oxydants comme les iodates ou les nitrates peuvent également faire craindre une corrosion des câbles de précontrainte.
H ⁺ OH ⁻	<ul style="list-style-type: none"> - Le pH faible n'est dangereux qu'à cause des précaution d'emploi qu'il impose. La très forte basicité du ciment le neutralise sans conséquence. - Les sels de sodium (NaOH) et de potassium (KOH) sont de puissant accélérateur, mais ils réduisent les résistances à 28 jours.
Na ⁺ K ⁺	<ul style="list-style-type: none"> - Les sels de sodium et de potassium sont, en général, très solubles et donc très courants dans les eaux. - En forte proportion, ils peuvent être à l'origine de réactions alcalines avec les granulats ou d'efflorescences inesthétiques.
Les huiles	<p>Organiques ou minérales, leur effet peut varier d'un ciment à l'autre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - En très faible proportion, leur effet lubrifiant est plutôt favorable à la réduction de l'eau de gâchage et à l'augmentation des résistances ; - En plus forte proportion, elles réduisent la bonne liaison pâte-granulats et font chuter les résistances.
Les sucres	<p>Réagissent avec le ciment pour donner des els de calcium (saccharate de calcium).</p> <ul style="list-style-type: none"> - En faible quantité : ce sont de puissant retardateur. - En plus forte proportion : ce sont des inhibiteurs de durcissement.
L'acide humique	<ul style="list-style-type: none"> - Réagit avec le ciment : en quantité suffisante, il peut entraîner une inhibition du durcissement.
Les détergents	<p>Sont par nature de puissants agents moussants. Même en faible quantité, l'air qu'ils entraînent au malaxage réduit la compacité du béton et donc ses résistances.</p>
Les algues en suspension	<p>Sont des produits organiques ayant une puissante action d'entraînement d'air. Cet air entraîné réduit la compacité du béton et dons ses résistances.</p>
Les argiles en suspension	<ul style="list-style-type: none"> - En raison de leur structure minéralogique, les argiles augmentent la demande en eau des bétons et, en augmentant le rapport E/C, contribuent à réduire les résistances mécaniques. - En enrobant les granulats, les argiles peuvent également réduire la qualité de la liaison pâte-granulat et donc réduire les résistances mécaniques.

• **Ajouts minéraux:** Les ajouts minéraux peuvent améliorer ou diminuer la durabilité du béton, tout en fonction du type et du dosage de l'ajout minéral, car les fortes teneurs en cendres volantes (>30%) et en laitiers (>50%) peuvent accélérer significativement la vitesse de carbonatation du béton. Dans ce cas une cure humide prolongée est de rigueur [1]

• **Les adjuvants:** Lorsque la température augmente à la fin du printemps, la durée d'ouvrabilité et le délai de mise en œuvre peuvent être conservés par adjonction de fluidifiants ayant un léger effet retardant. En été, il est nécessaire d'utiliser des retardateurs plus efficaces, afin d'éviter un raidissement et une prise trop précoces (S1) voir (**Figure I.19**). Après une période transitoire avec des températures "normales", on utilise à l'automne lorsqu'il fait plus frais des superplastifiants un léger effet accélérateur. En hiver, lorsqu'il fait froid, on utilise des antigels. Ils abaissent le point de gel de l'eau de gâchage et accélèrent l'hydratation si fortement, que le retard lié à la température est compensé (W2).

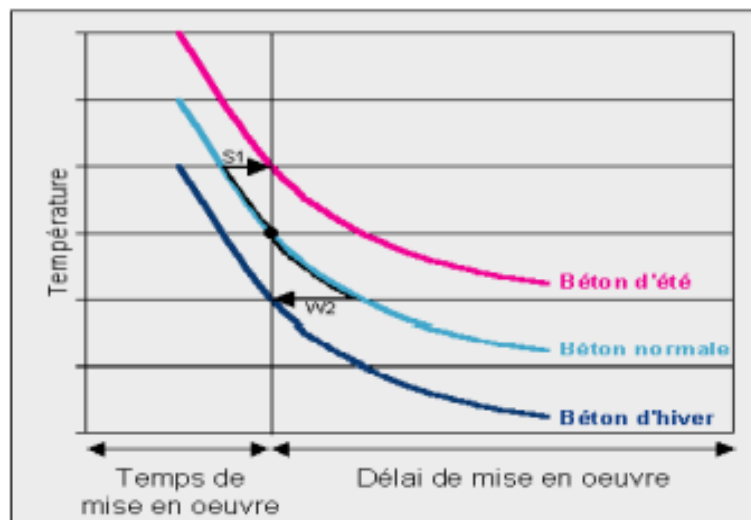


Figure I.19: Béton d'été et d'hiver, des durées d'ouvrabilité et des délais de mise en œuvre constants à différentes températures [35]

• **Formulation du béton:** Mauvaise formulation du béton qui engendre une porosité trop élevée; c'est le cas d'un surdosage en eau ou d'un sous-dosage en ciment. Une porosité trop importante du béton est assurément le facteur le plus nuisible pour sa durabilité; elle facilite en effet la circulation de l'eau et des solutions agressives au sein du matériau, et favorise la corrosion des armatures [12]. A l'inverse d'un bon béton, un mauvais béton est un béton qui perd son homogénéité, qui ne s'écoule pas dans le coffrage ou au contraire qui se présente comme une soupe, qui présente des déficiences de résistances ou des nids de cailloux, qui ne résiste pas aux agressions de son environnement et se dégrade [6].

b) Caractéristiques mécaniques du béton et paramètre de formulation :

- **Résistance en compression:** Une résistance à la compression élevée est un indice de bonne qualité du béton, elle est généralement le signe d'un rapport E/C faible qui donne une qualité de la pâte de ciment.
- **Résistance à la traction:** Une bonne résistance à la traction est souhaitable [1].
- **Le rapport E/C:** Le rapport E/C exerce un rôle prépondérant dans presque tous les mécanismes de destruction qui peuvent affecter le béton. Une réduction du E/C est bénéfique et la qualité d'un béton après durcissement est d'autant meilleure, car elle entraîne une diminution de:
 - La porosité de la pâte de ciment hydraté;
 - Perméabilité de la pâte et du béton.
 - La profondeur de carbonatation voir le **tableau I.10**

Tableau I.10: Variation de l'épaisseur carbonatée en fonction du dosage en ciment et d'E/C [19]

Rapport E/C	Dosage en ciment (kg/m ³)	Epaisseur carbonatée au bout de 5 ans (mm) Test à la phénolphtaléine
0,5	630	2,8
	320	5,8
	290	6,6
	260	7,4
0,6	630	6,2
	320	6,7
	290	8,7
	260	10,2
0,7	630	8,9
	320	10,1
	290	13,1
	260	17,4

La diminution du rapport E/C améliore considérablement la protection contre la corrosion [1].

- **Vide d'air:** La production d'un bon réseau de bulles d'air entraînées est importante pour obtenir un béton durable face aux cycles de gel-dégel.

I.3.4.2- Les facteurs climatiques et environnementaux :

Les différents mécanismes à la source des dégradations sont très souvent en fonction des conditions climatiques et du type d'exposition du béton [1].

L'ouvrage en béton va subir au cours de sa vie l'action du milieu extérieur: Cycle d'humidification et de séchage–Cycles de chaud et de froid (des variations thermiques trop importantes font fissurer le béton si des dispositifs n'ont pas été prévus pour éviter les contraintes qui en résultent).

a) L'atmosphère :

En zones urbaines ou industrielles, l'air pourra renfermer des gaz nocifs pour les matériaux pour le béton comme les oxydes de carbone et des hydrocarbures provenant des gaz d'échappements des voitures, de l'anhydride sulfureux SO₂ qui forme l'acide sulfurique et des sulfates, on trouve même de chlorhydrique C₁H du à l'inflammation des matières plastiques contenues dans les déchets ménagers, sans oublier le gaz ammoniac NH₃. La pluie en tombant va se charger d'acides et son pH pourra descendre à 5 et parfois en dessous de 4, l'air renfermant des particules solides va polluer les façades (salissures) [16].

b) Les conditions climatiques :

Les conditions climatiques des pays chaud-secs et chaud-humides: température ambiante, humidité, vitesse du vent, radiation solaire...etc. C. JAEGERMANN expose les différents types de détérioration, accélérés par les conditions climatiques, du béton, des éléments en béton et des structures en béton armé, que l'on rencontre dans les pays chauds, la plupart étant des pays en développement:

- Fissures dues au retrait plastique, au retrait du au séchage, aux différences de température et à la combinaison de ces facteurs.
 - Dommage dus à l'utilisation de matériaux défectueux pour la fabrication du béton: granulats, eau de gâchage, et de conservation.
 - Dégradation due aux sols contenant différentes concentrations de sel soluble, en particulier dans les zones à forte évaporation.
 - Dommages dus aux embruns dans les zones côtières.
 - Dégradation accélérée par suite de la corrosion des armatures.
 - Efflorescences, changements de couleurs et développements biologiques sur les façades de béton.
- C. JAEGERMANN donne des recommandations pour assurer une meilleure durabilité du béton dans ces pays: Approvisionnement en matériaux, surveillance et main d'œuvre.

Il insiste sur la nécessité de mener des observations in situ et d'adapter les règlements, méthodes d'essais et techniques de construction [42].

- Climat chaud et sec (Mexique par exemple), les problèmes de durabilité sont beaucoup plus rares. Les exigences touchant à la qualité du béton y sont généralement moins sévères [1].

Action de la température sur les matériaux: Au cours de durcissement du fait de séchage naturel du béton les variations de teneur en eau entraînent des variations dimensionnelles anisotropes vraiment

importantes, créant des contraintes supérieures à celles dues aux charges d'exploitation, ainsi des fissurations importantes dues au retrait de dessiccation.

Un bétonnage par temps chaud (température extérieure $>35^{\circ}\text{C}$), accélère la prise et diminue rapidement la plasticité du béton et accroît la fissuration après la mise en œuvre. L'augmentation de la vitesse d'hydratation du ciment, crée des écarts de températures entre le cœur des pièces coulées et leur surface ce qui augmente la fissuration lors du refroidissement.

• **Climat tempéré chaud et humide :[1]**

- Attaque par les eaux agressives.
- Réactions alcalis-granulats.
- Pour les taux d'humidité inférieurs à 80%, l'oxygène atteint facilement les régions anodiques mais la faible conductivité du béton limite la vitesse de corrosion.
- Lorsque le taux d'humidité est voisin de 80%, la vitesse de corrosion atteint des valeurs très élevées.

• **Climat tempéré froid : [1] Cycle de gel-dégel et taux d'humidité élevé**

- Fissuration interne due au gel-dégel.
- Ecaillage dû aux sels fondants.
- Corrosion des armatures.
- Réactions alcalis-granulats.

Dans les régions froides, les cycles de gel-dégel amèneront, si le béton contient une teneur en eau supérieure au degré critique de saturation au moment du gel, des fissures caractéristiques. Les eaux très pures provenant de la fonte des neiges, des terrains éruptifs, possèdent un fort pouvoir dissolvant (en particulier pour la chaux du ciment qui se dissout à raison de 1,8 g/l) [16].

En dissoudront certains sels, on trouve: des eaux riches en sulfates de calcium (eau séléniteuse), des eaux riches en sulfate de magnésium qui est très agressif (eau magnésienne).

• **Climat sec :[1]**

-Carbonatation Parfois, si le climat est très sec, la quantité d'eau est insuffisante pour dissoudre de CO_2 , alors la carbonatation sera trop lente.

c) Conditions environnementales (situation de l'ouvrage) :[16, 43]

• **Les eaux industrielles:** Les canalisations et égouts en béton qui véhiculent les déchets industriels qui contiennent en général des acides:

- Acides minéraux: sulfurique, nitrique, chlorhydrique et phosphorique.
- Acides organiques (moins dangereux que les premiers): formique, lactique, oxalique, et tartrique.

- Les sols peuvent contenir des substances agressives comme les sulfates, des matières organiques, et des bactéries. L'agressivité des sols dépend aussi de leur teneur en eau et du renouvellement de celle-ci.

Tout gonflement externe dû à l'agressivité du milieu provoque des fissures, et déclare la destruction de l'ouvrage. Celui-ci pourra aussi tout au long de sa vie subir certaines vibrations génératrices de fissures.

- **Les terres agricoles:** Il s'agit des bâtiments destinés à: l'élevage des animaux ou le stockage comme les silos où l'agression rencontrée se caractérise par attaque chimique, car les bétons sont surtout soumis en surface à des attaques variées provenant des lisiers, des fumiers, et purins, des produits de fermentations des fourrages ensilés....

L'attaque est due à: des acides organiques (pH arrive à 2.5), des substances sucrées, de sels d'ammonium, comme en rencontre les acides lactiques, nitrique, humiques, carboniques, ces attaques touchent les aciers du béton et la chaux du ciment, mais les produits d'agression sont mal définis car les attaques chimiques sont très complexes.

- Environnement marin: La mer exerce des actions d'ordre:

- **Mécanique:** cette action est due aux chocs répétés des vagues, de la houle, des courants, des galets (pierres), et corps divers en suspension dans l'eau, qui résulte des effets de: Erosion– usure– martèlement–arrachage des morceaux de béton de faible résistance due aux d'autres effets de la mer. Alors le béton est soumis à des actions dynamiques de l'eau et des cycles de fatigue.

- **Physique:** La zone de marnage est soumise à des cycles d'humidification et de séchage et l'eau de mer progressent par absorption capillaire dans la zone située au-dessus de la ligne supérieure atteinte par le niveau d'eau le plus haut. Ces mouvement d'eau, dans le béton, sont d'autant plus importants que l'air extérieur est plus chaud, plus sec et que la vitesse du vent est plus élevée. Après ces cycles de froid et de chaud, de séchage et d'humidification, Le béton subit des contraintes de retrait et de gonflement hydraulique, et aussi un phénomène d'efflorescence et de cristallisation due à la formation des sels après le départ de l'eau par évaporation, et parfois pour certaines régions le cycle de gel-dégel s'ajoute aux phénomènes déjà cités.

- **Chimique:** Les eaux de mer contiennent tout un ensemble de sels, le sulfate de magnésium étant le plus dangereux pour le béton, et les chlorures les plus nocifs pour les armatures du béton armé. Le pH de l'eau de mer varie le plus souvent entre 7,5 et 8,4. La pénétration de l'eau de mer à l'intérieur du béton ne réduit pas de manière significative le pH de l'eau interstitielle dans la pâte de ciment durci : la plus faible valeur signalée est de 12.

• Les aciers qui ne sont pas suffisamment bien protégés par une couche de béton compact sont rapidement corrodés. Des fissures parallèles aux armatures commencent par apparaître, ce qui accélère encore le processus de destruction. C'est le cas pour les clôtures, les pièces minces, les poteaux télégraphiques, les balcons, les bandeaux des bâtiments.

I.3.4.3 -Les facteurs liés à la conception des structures :

Une structure mal conçue peut avoir une durabilité déficiente malgré l'utilisation d'un béton de bonne qualité [1]. Des insuffisances au niveau d'une ou plusieurs des étapes du processus qui mène de la conception à la livraison finale des ouvrages peuvent avoir des conséquences importantes sur la durabilité et la performance générale de l'ouvrage.

L'expertise des ouvrages dégradés a montré que la mauvaise durabilité des structures en béton n'est pas uniquement liée à une imperméabilité insuffisante du béton mais plutôt à une étanchéité déficiente de l'ouvrage due à des problèmes de conception, fissuration, et des problèmes de joints. L'étanchéité des éléments doivent être en mesure de retenir les agents agressifs pour empêcher de contaminer et de corroder des éléments structuraux, elle dépend principalement des critères de conception et des techniques de construction.

a) Les principaux critères de conception : [1]

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

- Tous les aspects liés au système de drainage et d'évacuation des eaux (pour diminuer les problèmes de gel-dégel et d'écaillage)
- . - Le calcul des aciers d'armatures et le choix de l'épaisseur de recouvrement des armatures (corrosion).
 - Le choix des enduits protecteurs ou des imperméabilisants.
 - Le choix d'une géométrie particulière de la structure qui permettrait de diminuer le stress environnemental (forme et disposition des colonnes et des poutres).

Exemple: Dans le cas d'un pont routier, il est important de prévoir un drainage adéquat pour limiter les accumulations d'eau et de sels fondants.

Il faut aussi prévoir un recouvrement du béton suffisant pour offrir une bonne protection contre la corrosion des aciers d'armature.

b) Les désordres induits par défauts de conception : [44, 16]

Les erreurs de conception se traduisent essentiellement par des fissures de type divers (fissurations longitudinales, transversales ou même d'effort tranchant)

- . • Fissures dues à des erreurs de conception:
 - Avoir de trop grandes différences de section d'un élément à l'autre (ayant comme conséquences des variations importantes de dilatation dues aux variations de température).
 - Mettre en contact des matériaux de natures trop différents et surtout n'ayant pas les mêmes coefficients de dilatation thermique et de module de déformation.
 - Commettre des erreurs quant aux isolations thermiques à placer (ou les oublier).
 - Sous-dimensionner certains éléments travaillant à des taux élevés.
- Des erreurs de dimensionnement des appareils d'appui.
 - Négliger des chaînages.
 - Oublier certains joints de rupture ou de dilatation.
 - Négliger les dispositions permettant l'évacuation rapide des eaux de pluie.
- Défauts d'étanchéité dus à l'absence de chape.
- Des erreurs sur la connaissance géologique et hydrodynamique des sols sont beaucoup plus fréquentes, parfois pour des raisons d'économie ou même de négligence, les maîtres d'ouvrages comptent sur une coupe de terrain d'un site éloigné de plusieurs centaines de mètres au lieu de faire une campagne de reconnaissance sur le site considéré.

Il convient donc de connaître les très importants pour le projeteur:

- Variation importante de la géologie locale;
- Remontées importantes de la nappe phréatique;
- Existence de zones instables ou de surfaces de glissement de terrains
- Insuffisance d'essais de laboratoire ou in situ pour l'étude mécanique des sols et surtout la détermination de la portance du sol superficiel;
- Les tassements ultérieurs probables;
- La répartition des pressions en profondeur.

Certains sols se modifient dans le temps, en particulier; en cas de venu d'eau (période humide, gonflement des argiles), et en cas de départ d'eau (période de sécheresse, arbres trop près des maisons), et certains arbres peuvent passer sous les fondations et faire fissurer les murs.

- Fissures dues à des erreurs dans les calculs et dans les plans d'exécution du bureau d'études.
- Erreurs dans l'évaluation des charges, d'où des sections trop minces travaillant à des taux de contrainte trop élevés (méconnaissance des surcharges d'exploitation).
- Oubli d'armatures sur les plans ou erreurs dans les diamètres.
- Mauvaises répartitions des aciers amenant parfois le phénomène «de poussée au vide».

- Oubli des aciers de peau, surtout dans le cas de pièces minces élancées (le rôle de ferrailage est dans ce cas de mieux répartir les fissures qui sont alors très fines et peu visibles).
- Coffrages mal calculés, trop minces non rigidifiés et partant, déformables (fissures qui s'amorcent avant la fin de la prise).

I.3.4.4 Les facteurs liés à la mise en œuvre : [16]

Les principaux points à surveiller concernant la mise en œuvre sont:

- Les méthodes de mise en place du béton: il faut adopter une technique appropriée de mise en place du béton dans les coffrages pour éviter les nids d'abeilles et la ségrégation. Il faut aussi surveiller les techniques de finition de surface.
- La mise en place des aciers d'armature.
- Les méthodes de mûrissement et de cure: Une mauvaise technique de mûrissement réduit presque toujours la capacité du béton à résister à la plupart des types d'agressions.
- Vérifier la rigidité, l'étanchéité et la conception des coffrages.
- Prendre les mesures nécessaires pour éviter le ressuage excessif et le retrait plastique.
- Adopter des mesures de protection nécessaires pour éviter le gel du béton au très jeune âge.

a) Les désordres induits par défauts de mise en œuvre : [44, 16, 12]

Les erreurs de mise en œuvre sont dues à une insuffisance des documents d'exécution ou à des manques dans l'organisation ou le contrôle de la qualité ou encore au non-respect de certaine règle de l'art.

Si l'on voulait établir une liste complète et détaillée de toutes les erreurs d'exécution répertoriées à ce jour, un livre entier ne serait probablement pas suffisant [12].

• Défauts de malaxage:

- Un malaxage trop court, et d'une mise en place défectueuse.
- Un déchargement très lent des malaxeurs à tambour non inclinable peut causer la ségrégation, car les plus gros granulats peuvent rester dans le fond du malaxeur et seront enrobés d'un peu de pâte car le mortier sort en premier.

• **Défauts de transport du béton:** La fabrication et le transport des bétons présentent des faiblesses à l'origine des problèmes. Et il n'existe pas des essais pour contrôler rapidement la composition d'un béton juste à son arrivée au chantier, sauf l'essai au cône d'Abrams peut parfois donner l'alerte. Les mauvaises conditions transport peuvent remettre en cause la qualité obtenue à la fabrication en favorisant la ségrégation du béton (variation dans la répartition des éléments) ou en

provoquant un raidissement du béton par un départ d'eau résultant d'un retard de livraison ou d'une température extérieure trop élevée.

• **Défauts de cure:**

- Non-protection de la surface de béton les tout premiers jours amenant des fissures de retrait par perte d'eau (la cure doit être faite correctement).
- Des fissures de retrait conséquence de mauvais phasages de bétonnage (le traitement de surface assurant la protection contre une éventuelle dessiccation est parfois négligé).

• **Défauts de mise en place de ferrailage:**

- Non-respect des plans de ferrailage (erreurs dans la disposition des aciers).
- Mauvaise disposition des armatures: le manque de recouvrement des armatures est les défauts le plus courant, avec l'insuffisance de l'enrobage mène vers la corrosion des aciers. - Vibration trop forte au-dessus des barres de diamètres importants placées trop près de la surface induit la fissuration précoce.

• **Défauts de coffrage:**

- Des fissures apparues en cours de prise des bétons dues à la raideur de certains coffrages.
- Mauvaise exécution des coffrages, comme l'absence d'écarteurs de coffrage peut engendrer une insuffisance d'enrobage et la création de nids de cailloux (**Figure I.20**), qui peuvent aussi être provoqués par des fuites de laitance aux joints entre coffrages ; ou de défauts de bétonnage par effet de bouchon des granulats coincés entre les armatures et le coffrage.

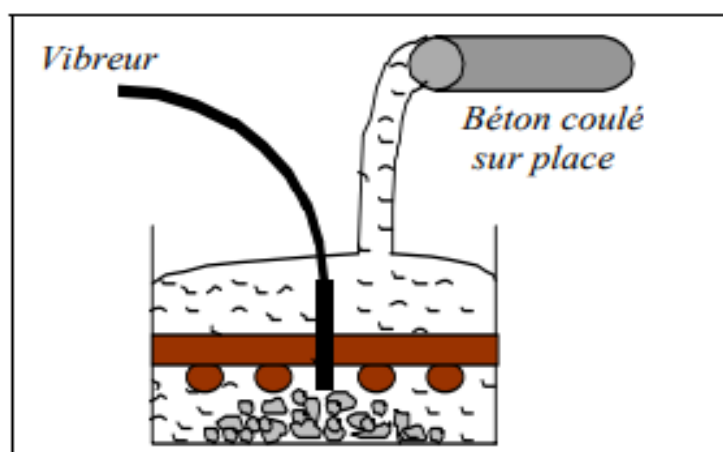


Figure I.20: Formation de nids de cailloux dans Un élément de béton armé

• Défauts généraux:

- Une vibration trop brève ou pas assez puissante peut provoquer des défauts d'homogénéité, une ségrégation qui peut nuire la résistance du matériau;
- Négligence dans les reprises de bétonnage.
- L'oubli des joints de retrait (sciage tardif de dalles de route, d'autoroute, d'aérodrome).
- Des pertes de laitance ou des défauts d'arêtes par défaut d'étanchéité des coffrages.
- Mauvaise étanchéité, surtout pour les ponts, elle favorise de manière importante la dégradation du béton car elle facilite l'apparition d'efflorescences et la corrosion des armatures;
- Des dysfonctionnements majeur du système d'étanchéité qui se traduit en particulier par des corrosions d'armatures et par la dégradation de certaines structures en maçonnerie.
- Un talochage trop poussé faisant remonter la laitance (parfois un saupoudrage de ciment sur des surfaces horizontales amenant du faïençage).

I.3.4.5- Les facteurs liés aux méthodes d'entretien :

Des programmes d'entretien ou de protection sont nécessaires afin de reconstituer, améliorer ou maintenir la sécurité structurale pour éviter ou retarder certains types de dégradations des structures. Certaines parties des ouvrages doivent être maintenues dans le temps, comme l'étanchéité, le revêtement, qui n'a en général qu'une durée de vie limitée.

Il faut donc les renouveler régulièrement pour prolonger la vie utile d'un ouvrage. Par exemple:

- Un nettoyage régulier des joints de dilatation permet d'éviter qu'ils se bloquent, car un mauvais fonctionnement de ces joints peut engendrer des efforts parasites néfastes pour la performance à long terme des ouvrages;
- Le remplacement des membranes d'étanchéité perforées ou fendues de certains types de joints de dilatation diminue les risques de dégradation des sous structures (infiltration d'eau et des chlorures);
- Nettoyage des conduites de drainage ou d'évacuation des eaux de pluies;
- Nettoyage des joints de dilatation des pavements routiers en béton, pour éviter l'éclatement des joints;
- Scellement des fissures. [1]

Ces opérations sont assurées par le personnel d'exploitation, ce qu'on appelle l'entretien courant. En France, et depuis plusieurs années, la direction des routes a mis en œuvre un programme permanent d'entretien des ouvrages ; malgré les contraintes budgétaires, la prise de conscience de la nécessité d'un entretien suivi est la plus forte, et d'importants progrès ont été dans

cette voie. Et, cependant, ce programme se heurte aussi à une inerte politique: il faut convenir en effet que pour un élu, il est plus valorisant de couper le ruban d'inauguration d'un ouvrage neuf que de consacrer le même budget à des réparations que l'on souhaite effectuer, en général, avec la plus grande discrétion [45].

I.3.4.6 -Les facteurs liés aux conditions d'exploitation :

Au fil des années, avec le développement des systèmes de transport routier, les véhicules sont devenus de plus en plus lourds et le trafic de plus en plus dense et ses effets sont multiples : - Effets pondéraux: les embouteillages, l'utilisation anormale d'une bande d'arrêt d'urgence comme voie de circulation ou de stockage, ...etc.

- Effets dynamiques ou abrasifs résultants de la circulation des engins lourdement chargés sur un tablier qui n'est pas encore protégé par sa couche de roulement. Une autre composante importante des actions de trafics est constituée par les efforts de freinage (effort horizontal très important).

- Effets de répétition entraînant parfois la fatigue: les actions des circulations ferroviaires sur les ouvrages ferroviaires sont multiples, complexes et fortement agressives. Elles engendrent des sollicitations intenses et répétées, dont le niveau n'a fait qu'augmenter au fil des années [12].

I.3.4.7 -Les facteurs accidentels :

Les causes accidentelles sont multiples, dont les principales sont:

- Travaux ou fouilles à proximité des ouvrages;
- Incendies, explosions, inondation, etc., sans parler des séismes.
- Efforts horizontaux non prévus au projet.

Les chocs de véhicules sur les ponts sont des accidents fréquents, les conséquences doivent être prises en compte dans la conception et le calcul des appuis afin d'éviter l'effondrement.

I.4 -CONCLUSION :

La dégradation d'un matériau est la perte de performance ou de son comportement en fonction du temps. Par contre, sa durabilité, c'est la conservation de son comportement dans le temps. La première condition d'avoir un ouvrage durable, c'est d'utiliser un matériau durable.

Il faut étudier son comportement vis à vis d'un certain nombre de mécanismes qui le dégrade ou adopter un critère global de référence pour caractériser la qualité du béton. Le critère de premier ordre, est la résistance en compression, qui dépend de sa porosité, mais plusieurs études montrent qu'un béton est plus durable s'il répond à la qualité de résister à la pénétration des agents extérieurs. Cette pénétration est due à la perméabilité du béton et à l'écoulement des agents agressifs, elle est la cause principale des dégradations d'origine chimique telle que : la carbonatation, l'attaque des chlorures, la corrosion des armatures, l'attaque des sulfates, des eaux pures, des acides et l'alcali-réaction. Comme il peut avoir d'autres origines de dégradation : physique (Retrait, tassement, Gel-dégel et l'effet des sels fondants), mécanique (Chocs, Abrasion, érosion, ...etc.) ainsi que d'autres dégradations telles que les incendie, l'attaque bactériologique.

La pathologie des ouvrages en béton montre qu'il existe une multitude de symptômes de dégradations, le plus fréquent est la fissuration qui peut avoir plusieurs formes: faïençage, l'écaillage, épaufrure, la désintégration... etc.). Chaque type de fissuration n'apparaît qu'après un phénomène de dégradation précis, par exemple la dégradation par corrosion ne se manifeste que par des fissures ou /et des épaufrures. Souvent, on ne détecte la dégradation d'un ouvrage qu'après qu'elle devienne visible et c'est tardivement, car la réparation devient lourde sur le plan technique que financier. Pour cela, il convient de prévoir les effets à long terme de ces agressions, en se basant sur les facteurs qui influencent sur la dégradation de l'ouvrage tels que: Les facteurs liés à la nature des matériaux, les facteurs climatiques et environnementaux, la conception des structures, la mise en œuvre, l'entretien, les conditions d'exploitation, ainsi que les facteurs accidentels.

Un diagnostic préalable de l'ouvrage constitue la base nécessaire pour le choix d'une stratégie de réparation adéquate et pour permettre une évaluation plus précise des coûts. Les divers matériaux et méthodes à assurer la réparation des ouvrages dégradés font l'objet de la prochaine partie. Mais il est nécessaire que ces matériaux soient effectivement employés et que la durabilité sera assurée.

PARTIE II

ETUDE ET EXPERTISE

SUR LES OUVRAGES

DEGRADES

CHAPITRE I :**EXEMPLES DES OUVRAGES DEGRADEES DANS LA REGION DE KHENCHELA****I.1- INTRODUCTION :**

La région de Khenchela comme d'autres régions du territoire algérien, a connu ces dernières années une grande évolution dans le domaine de construction. Selon le bilan effectué par l'office de promotion et de gestion immobilière (O.P.G.I.) pour les dix dernières années (entre 2010- 2020)[46] plus de 30.000 logements sont réalisés avec 2000 logements inscrits dans le programme de l'année 2021, dont la réalisation est en cours. Malgré cette évolution, les problèmes de dégradation inquiètent toujours les personnes du domaine, car plus de 150 logements dont la plupart âgés moins de 20 ans ont subi des dégradations principalement dues à la corrosion. Il est nécessaire de signaler que ce problème a touché des constructions de différentes natures : équipement, habitation, ouvrages d'art

Un certain nombre d'expertises ont été faites sur la dégradation des ouvrages dans la région de khenchela. Parmi ces expertises, celles qui ont confirmé que la cause principale été l'agressivité du sol, surtout dans le cas où la partie infrastructure été touchée, mais pour le reste la qualité des matériaux utilisés, la réalisation de l'ouvrage, son exploitation ou l'environnement ont été la cause qui n'avait jusque-là fait l'objet que de très peu d'études. Ce chapitre s'est fixé pour l'objectifs de:

- Mettre en évidence les différents facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages et leurs fréquences;

- Analyse des travaux de réparation des ouvrages qui sont la conséquence des désordres;

- Il s'appuie sur des données recueillies au cours des visites sur site pour les ouvrages au cours de réparation, et des dossiers d'expertise obtenus au niveau de l'agence locale de contrôle technique de la construction (C.T.C.) Est pour les ouvrages déjà dégradés. Le contenu de ce chapitre se présente en Quelques exemples sur les ouvrages dégradés dans la région de khenchela. Cette partie a ciblé différentes familles d'ouvrages:

- Ouvrages d'habitation (bâtiments);

- Ouvrages d'équipement;

- Ouvrages d'art;

I.2- OUVRAGES D'HABITATION :

La dégradation des ouvrages à usage d'habitation a connu la même croissance que celle de la réalisation. Jusqu'à maintenant plus de 150 logements de différents sites de la région ont réclamé des symptômes de dégradation, après une période de moins de vingt ans depuis l'année de la réalisation.

Tableau I.1 : Ensemble des ouvrages dégradés à usage équipement de la région.

Ouvrage	L'année de réalisation	R + n	L'année de dégradation	La cause principale de la dégradation
Ecole Primaire AOUIDANE Bachir Fidh Labiadh à Djellal	1980	RDC	2001-2005	-Corrosion -Rupture des jonctions
Hamman Leknif à Baghai (w. de Khenchela)	1960	RDC+1	1991-1998	- Fissures - Corrosion
lycée Taouzianet wilaya de Khenchela.	1987	RDC+1	2004-2008	- Fissures - Corrosion
Ecole Primaire ghormat APC EL MAHMEL	1990	RDC	2010-2015	- Fissures - Corrosion
Les 36 logements collectifs commune El Mahmel	1992	RDC+3	2016-2018	-Corrosion - Fissures
Les logements collectifs DIKA commune de khenchela	1960	RDC+4	2016-2018	-Corrosion - Fissures
Centre d'entraînement des équipes nationales de Khenchela	2013	RDC+6	2022	-Le tassement différentiel -la instabilité des talus -Nappe d'eau
Département science et technologie Université ABBES Laghrou, Khenchela	2001	RDC+2	2015	- étanchéité
Ouvrage d'art sur oued ain touila RN 88 PK 117+000	1991	/	2015	- Fissures - Mauvaise qualité du béton - étanchéité
Ouvrage d'art sur oued Laghrou Babar RN80 PK221+150	1991	/	2013	- Mauvaise qualité du béton - étanchéité
ouvrage d'art sur oued sieur commune de chechar CW 08 PK27+000:	2005	/	2018	-Choc mécanique

On remarque que les causes principales de dégradation sont la corrosion et le tassement dus à :

- ✓ L'agressivité du sol, par la présence des sulfates.
- ✓ L'attaque des sulfates, se manifeste par:

- Le sulfate contenu dans le sol se dissout dans les eaux (pluviale ou usée) pénétrant dans le sol qui ont une capacité de mouillage élevée et pénètrent rapidement et en profondeur dans le béton de l'infrastructure. Ils réagissent avec l'aluminate de calcium hydraté et l'eau pour former le très volumineux sulfate tricalcique d'aluminate, appelé également tri sulfate ou étringite:



- Expansion du béton à cause des sulfates solubles dans l'eau (Les sulfates de sodium) qui endommagent le béton en attaquant la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et donnant des cristaux de gypse, en engendrant le gonflement par suite d'une augmentation du volume qui peut arriver à 8 fois du volume initial : [4]



- Perte des propriétés liantes des C-S-H, qui engendre une chute de résistance du béton à cause de sulfate de magnésium, qui attaque les hydrates de silicate de calcium:



Cette réaction se poursuit jusqu'à la destruction des C-S-H.

- ✓ L'attaque bactériologique, qui se manifeste par:

- Dégradation des regards, car l'activité bactérienne dans les milieux anaérobiques, commence par la production des sulfures qui seront ensuite transformés en hydrogène sulfuré (H_2S), cet acide très toxique et ça sent mauvais:



La production de l'acide sulfurique accentue l'activité bactérienne et donne des produits expansifs dans les sols ou dans le béton suite à la formation de gypse. Ce gaz (H_2S) lessive les composants du béton selon les deux réactions suivantes:



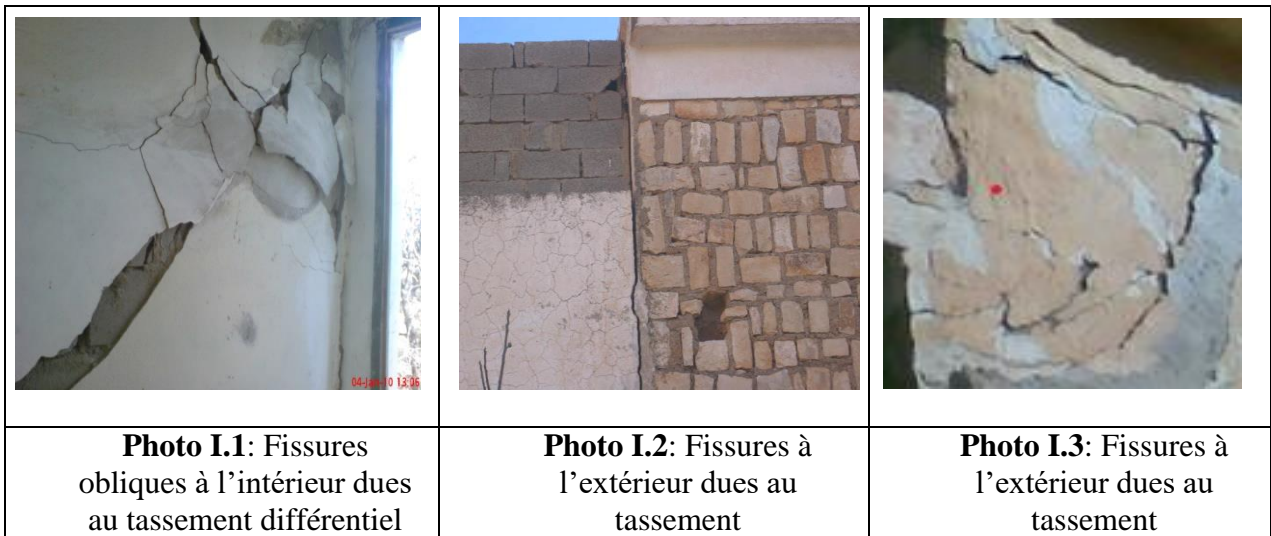
Les températures constantes et élevées sous les dalles des bâtiments (dans les vides sanitaires) sont propices à l'activité bactériologique. [1]

- ✓ Les vides sanitaires en état polluant comme lieu d'accumulation des eaux usées et les eaux de pluie, cette dernière est une eau pure qui peut lessiver le béton (lixiviation), en dissolvant les constituants basiques du ciment, par exemple la chaux selon la réaction suivante:



Ce qui augmente la porosité et accélère la dégradation.

- ✓ La cause fondamentale est la mauvaise qualité du béton, qui s'affirme par la dégradation des ouvrages en une durée de vie très courte (moins de 20 ans), cette mauvaise qualité qui permet l'infiltration des agents agressif à l'intérieur du béton.
- ✓ Le tassement s'est manifesté par:
 - Fissures verticales et obliques au niveau de la maçonnerie dans les murs de façades et les cloisons (**Photo I.1, I.2, I.3**);



- Gonflement du carrelage du trottoir périphérique et affaissement de ce dernier dans d'autres endroits avec une pente vers le bâtiment;
- Ouverture apparentes du joint de dilatation.

Prenons comme exemple détaillé le cas des 36 logements collectifs commune el Mahmel khenchela.

I.2.1 -Les 36 logements collectifs communs El Mahmel :

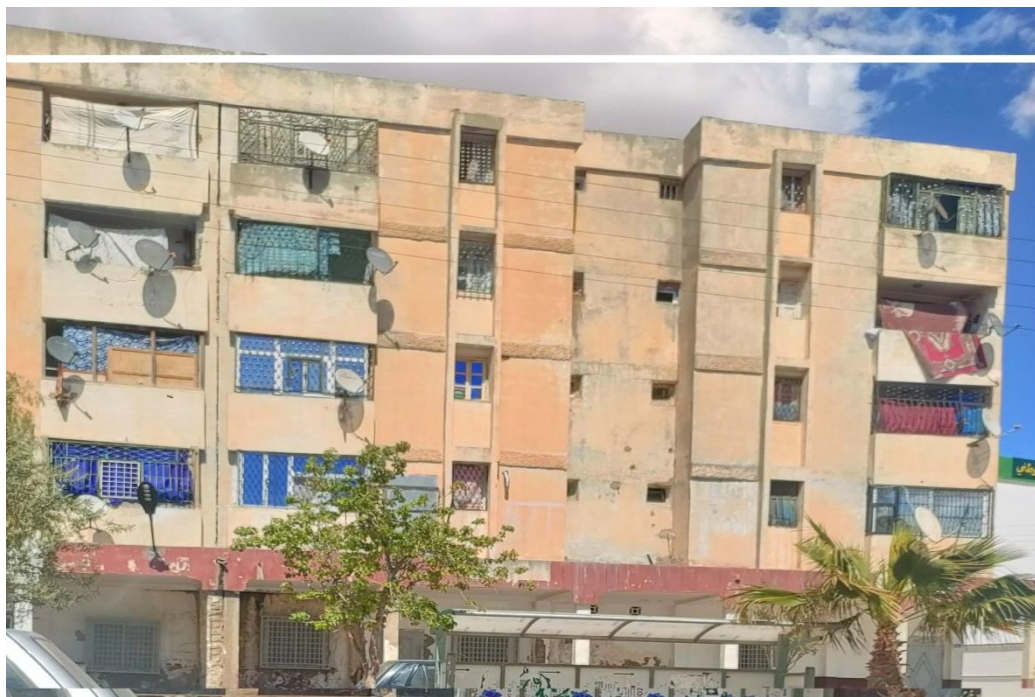


Photo I.4: Les 36 logements collectifs commune El Mahmel

I.2.1.1 - Description de la structure :




La cité des 36 logements collectifs est constituée 04 bâtiments, chacun composé d'un rez de chaussée et de trois étages (R+4) et comprend deux logements 8 appartements et deux logements 10 appartements. Leur réalisation a été entamée en 1992. La structure est en portique de béton armé traditionnel, avec plancher en corps creux d'épaisseur totale (16+4) cm.,.

**36 Logts Collectifs**

Figure II.1: Plan de masse des 36 logements

I.2.1.2 - Les désordres constatés :

- Dégradation par corrosion des armatures aux niveaux des poteaux (**Photo I.5**), avec gonflement du béton;
- Fissuration le long de ferrailage des poteaux dues à la corrosion; (**Photo I.6**),
- Présence d'humidité dans la structure. (**Photo I.7**)
- Fuites des eaux usées dues à la fissuration des regards, ce qui a été remarqué pour la majorité des blocs;

		
<p>Photo I.5 : Eclatement du béton d'enrobage</p>	<p>Photo I.6 : Fissuration des poteaux</p>	<p>Photo I.7 d'humidité dans la structure</p>

- Quelques fissures légères touchant la maçonnerie au niveau de la superstructure (**Figure I.9**)
- Altération du mortier appliqué au crépissage extérieur à cause de la défaillance de certaines canalisations et descente d'eau caractérisée par ruissellement sur les murs (**Photo I.10**);
- La remontée capillaire des stagnations des eaux pluviales tout autour des constructions ou dues à l'arrosage abondant au voisinage immédiat des bâtiments (**Photos I.11**);

		
<p>Photo I.9 : fissures légères</p>	<p>Photo I.10 : Ruissellement sur les murs</p>	<p>Photos I.11 : La remontée capillaire</p>

I.2.1.3 - Causes de dégradation :

L'apparition des armatures rouillées confirment que la cause n'est pas un mouvement du sol, mais est une agression chimique qui a attaqué le béton, ce qui a commandé à faire des analyses chimiques sur différents composants d'un échantillon de béton récupéré dans les parties endommagées ainsi que sur un échantillon de sol avant d'entamer la réparation du bloc n°03. Ces analyses ont montré qu'il y a une présence importante d'ions SO₄ dans les granulats composant le béton ainsi que le sol.

Alors, on conclut les principales causes de la détérioration de ces blocs:

- L'attaque des sulfates, qui se manifeste par:

- Expansion du béton à cause de la formation de produits expansifs, car les sulfates solubles dans l'eau (Les sulfates de sodium) peuvent également endommager le béton sous forme de cristaux de gypse [CaSO₄·2H₂O] en attaquant la portlandite Ca(OH)₂:



En engendrant le gonflement par suite d'une augmentation du volume qui peut arriver à 8 fois du volume initial;

- Perte des propriétés liantes des C-S-H, qui engendre une chute de résistance du béton à cause de sulfate de magnésium, qui attaque les hydrates de silicate de calcium:



Cette réaction se poursuit jusqu'à ce qu'elle soit terminée car la solubilité de MgSO₄ est très faible, et la conséquence finale est la destruction des C-S-H.

- L'attaque bactériologique, qui se manifeste par:

- Dégradation des regards, car l'activité bactérienne dans les milieu anaérobiques, commence par la production des sulfures qui seront ensuite transformés en hydrogène sulfuré (H₂S), cet acide très toxique et ça sent mauvais:



Ce gaz (H₂S) lessive les composants du béton selon les deux réactions suivantes:



- Au cœur du béton, les bactéries anaérobiques transforment les sulfates SO₄²⁻ en donnant (H₂S) qui se condense sur les parois, et se décompose sous forme de S par les bactéries aérobie et le transforme en acide sulfurique (H₂SO₄). La production de l'acide sulfurique accentue l'activité

bactérienne et donne des produits expansifs dans les sols ou dans le béton suite à la formation de gypse.

- Les températures constantes et élevées sous les dalles des bâtiments (dans les vides sanitaires) sont propices à l'activité bactériologique.

Finalement toutes ces causes mènent sur la corrosion des armatures et l'altération du béton.

I.2.1.4 –Solutions proposées:

Après avoir élaboré un diagnostic adéquat on propose :

- Les zones de béton dégradées doivent être enlevées pour retrouver la surface saine du béton.
- Après l'enlèvement des parties friables et le dégagement des armatures, les opérations de brossage et de grattage pour éliminer la rouille peuvent s'opérer.
- Un inhibiteur de rouille est possible et peut être appliqué.
- En cas de diminution sensible de la section des aciers, il y aura lieu de renforcer ou de remplacer.
- L'épaisseur de recouvrement minimale des armatures devra être respectée dans tous les cas car celle-ci est un facteur important pour sa protection.
- Appliquer une peinture définitive avec propriété de protection du béton contre la carbonatation et/ou talochage traditionnel des parties réparées

I.2.2- Cité DIKA Khenchela :



Cité DIKA Khenchela

I .2.2.1- Description de l'ouvrage :

L'ouvrage objet du présent avis technique concerne un bâtiment d'habitation composée de plusieurs blocs isolés. L'ouvrage est situé dans la commune de khenchela cité DIKA, l'assiette du projet présente une pente faible. Le bâtiment a été réalisé, selon l'entreprise DIKA, dans les années 60. La structure des blocs est en murs porteurs avec des planchers en dalles pleines.



Photo I.12: Fissuration des poutres



Photo I.13 : Fissuration des poteaux



Photo I.14 : Ruissellement sur les poutres



Photo I.15 : dégradation aux niveaux des poteaux



Photo I.16 : Situation géographique

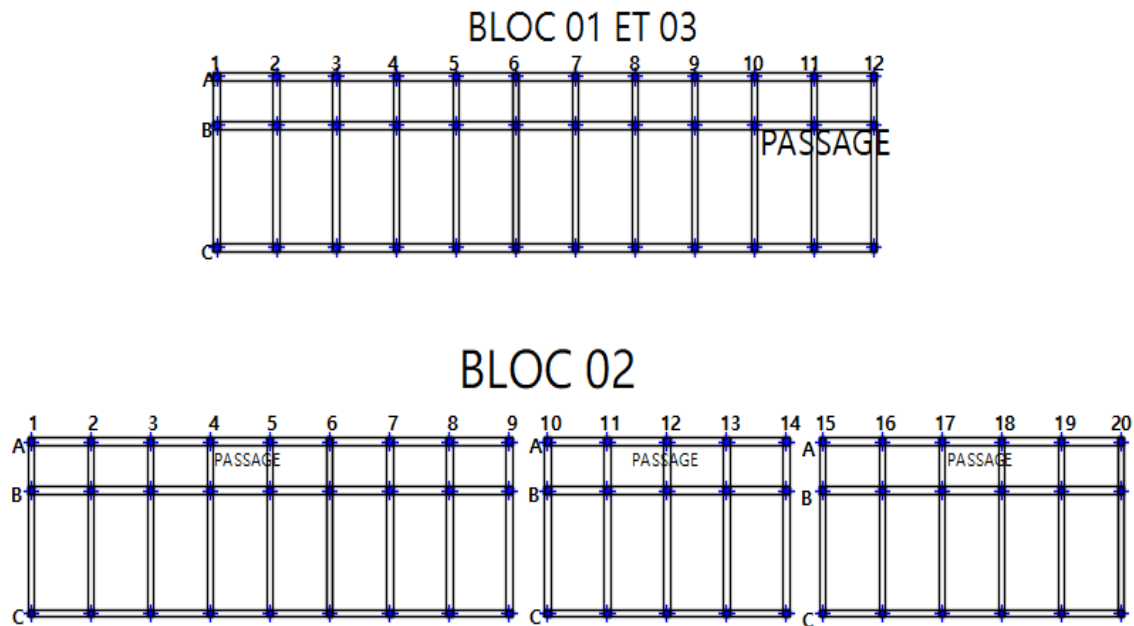


Figure II .2: Repérage des Axes

I .2.2.2-Inspection de l'ouvrage :

Après notre consultation (Auscultation) in situ, il nous a paru nécessaire de suivre les étapes suivantes :

- ❖ Levé des sections de coffrage des éléments de structure
- ❖ Essais de laboratoire par sondage non destructifs à l'ultra son et scléromètre sur les éléments de structure.
- ❖ Vérification des contraintes et analyse des résultats
- ❖ Proposition éventuelle de confortement de l'ouvrage

Après coordination avec les services techniques (CTC – EST) annexe kenchela qui nous a donné les résultats suivants

**ESSAI A L'AUSCULTATEUR DYNAMIQUE
ULTRASON-SCLEROMETRE (méthode combinée).**

BLOC N° 01**Tableau I.2:** Essai a l'auscultateur dynamique bloc n° 01[48]

Désignation des éléments	Epaisseur en (cm)	Indice Sclérométrique	Lecture à l'auscultateur Temps en (s)	Vitesse en m/s	Résistance en Bars	OBS
BLOC N° 01 NIVEAU 1ère ETAGE						
Poteau A-2	19,5	33	52	3750	170	
Poteau A-3	20	33	51,3	3899	200	
Poteau A-4	20	33	50,6	3953	210	
Poteau A-5	20	28	60,3	3317	110	
Poteau A-6	20	32	54,6	3663	155	
Poteau A-7	20	30	57,6	3472	130	
BLOC N° 01 NIVEAU 2ème ETAGE						
Poteau A-3	19,5	30	55	3545	135	
Poteau A-4	20	28	60	3333	<100	
BLOC N° 01 NIVEAU 3ème ETAGE						
Poteau A-3	20	26	78	2564	<100	
Poteau A-4	20	28	62	3226	<100	
Poteau A-5	19,5	28	62,5	3120	<100	
Poteau A-8	20	28	66	3030	<100	
BLOC N° 01 NIVEAU 4ème ETAGE						
Poteau A-3	19,5	28	64	3047	<100	
Poteau A-4	20	26	70	2857	<100	
Poteau A-5	20,5	30	60	3417	115	
Poteau A-8	19,5	26	77,5	2516	<100	
BLOC N° 01 NIVEAU 5ème ETAGE						
Poteau A-4	20	26	71	2817	<100	
Poteau A-5	19,5	26	76	2566	<100	
Poteau A-8	20	26	75	2667	<100	

BLOC N° 02

Tableau I.3: Essai a l'auscultateur dynamique bloc n° 02[48]

Désignation des éléments	Epaisseur en (cm)	Indice sclérométrique	Lecture à l'auscultateur Temps en (s)	Vitesse en m/s	Résistance en Bars	OBS
BLOC N° 02 NIVEAU 1° ETAGE						
Poteau A-2	19	30	54	3519	135	
Poteau A-3	21	31	58	3621	150	
Poteau A-4	21	32	56	3750	170	
Poteau A-6	20	28	60	3333	<100	
Poteau A-7	19,5	28	58	3362	<100	
Poteau A-8	19,5	28	57,5	3391	<100	
Poteau A-10	19	30	54,5	3486	120	
Poteau A-13	21,5	30	63	3413	110	
Poteau A-2	19	30	54	3519	135	
BLOC N° 02 NIVEAU 2° ETAGE						
Poteau A-13	22,5	26	77	2922	<100	
Poteau A-12	22	28	70	3143	<100	
Poteau A-6	21	31	57	3684	160	
BLOC N° 02 NIVEAU 3° ETAGE						
Poteau A-12	22	28	80	2750	<100	
Poteau A-11	21,5	26	76	2829	<100	
Poteau A-15	22	33	53	4151	240	
Poteau A-18	22	28	67	3284	<100	
BLOC N° 02 NIVEAU 4° ETAGE						
Poteau A-11	21	28	67	3134	<100	
Poteau A-12	21	28	70	3000	<100	
BLOC N° 02 NIVEAU 5° ETAGE						
Poteau A-11	21	28	58	3621	160	
Poteau A-12	21	26	77	2727	<100	

BLOC N° 03

Tableau I.4: Essai a l'auscultateur dynamique bloc n° 03[48]

Désignation des éléments	Epaisseur en (cm)	Indice sclérométrique	Lecture à l'auscultateur Temps en (s)	Vitesse en m/s	Résistance en Bars	OBS
BLOC N° 03 NIVEAU RDC						
Poutre B-7-8	18	30	49	3673	165	
Poutre B-8-9	15	26	108	1389	<100	
Poutre C-8-9	14,5	30	41	3537	130	
Poteau A-6	18,5	28	60	3083	<100	
Poteau A-7	18,5	30	51	3627	160	
BLOC N° 03 NIVEAU 2° ETAGE						
Poteau A-3	21,5	33	51	4216	250	
Poteau A-4	19,5	33	52	3750	170	
BLOC N° 03 NIVEAU 3° ETAGE						
Poteau A-3	21,5	28	65	3308	<100	
Poteau A-4	21,5	28	66	3258	<100	
Poteau A-9	19,5	28	65,5	2977	<100	
Poteau A-10	19,5	28	56	3482	130	
BLOC N° 03 NIVEAU 5° ETAGE						
Poteau A-3	19,5	28	56	3482	130	
Poteau A-4	19,5	26	66	2955	<100	
Poteau A-10	19	26	77	2468	<100	

-POUTRES PORTEUSES**Tableau I.5:** Essai a l'auscultateur dynamique poutres porteuses. [48]

Désignation des éléments	Epaisseur en (cm)	Indice sclérométrique	Lecture à l'auscultateur Temps en (s)	Vitesse en m/s	Résistance en Bars	OBS
BLOC N° 01 NIVEAU 1^{ère} ETAGE						
Poutre 1-2-B	15,5	30	50,5	3069	< 100	
BLOC N° 01 NIVEAU 3^{ème} ETAGE						
Poutre 1-2-B	16	32	45,2	3540	145	
BLOC N° 02 NIVEAU RDC						
Poteau B-6	34	30	109	3119	< 100	
BLOC N° 02 NIVEAU 1^{ère} ETAGE						
Poutre 6-7-B	15,5	30	47,7	3249	110	
BLOC N° 02 NIVEAU 2^{ème} ETAGE						
Poutre 6-7-B	15,5	32	44	3523	140	
BLOC N° 02 NIVEAU 3^{ème} ETAGE						
Poutre 6-7-B	16	32	45,6	3509	140	
BLOC N° 02 NIVEAU 4^{ème} ETAGE						
Poutre 6-7-B	16	28	71,6	2235	< 50	
BLOC N° 02 NIVEAU 5^{ème} ETAGE						
Poutre 6-7-B	15,5	28	57,7	2686	< 50	
BLOC N° 03 NIVEAU 1^{ère} ETAGE						
Poutre 11-12-B	15,5	30	47	3298	120	
BLOC N° 03 NIVEAU 2^{ème} ETAGE						
Poutre 11-12-B	15,5	33	41,4	3744	170	
BLOC N° 03 NIVEAU 3^{ème} ETAGE						
Poutre 11-12-B	15,5	30	50	3100	< 100	
BLOC N° 03 NIVEAU 4^{ème} ETAGE						
Poutre 11-12-B	15	28	60,7	2471	< 50	

I .2.2.3-Annalyse:

Les différents essais de contrôle de qualité ont révélé des résistances de béton nettement inférieures aux normes requises [47] (selon le règlement parasismique algérien version 2003 qui préconise une résistance minimale de 200 bars pour les éléments en béton armé Article 7.2.1).

I .2.2.4 – Solutions proposées:

L'ouvrage en question, présente des non-conformités par rapport aux normes techniques en vigueur et ce, du point de vu résistances des bétons qui sont dans leurs ensembles inférieurs à 100 bars et vu l'insuffisance des longueurs de recouvrement du ferrailage des poteaux en attente qui sont nettement inférieurs aux normes.

Nous estimons que les travaux de confortement nécessiteraient une enveloppe financière assez importante par rapport à un nouvel ouvrage.

A cet effet, Par ailleurs nous vous sensibilisons que la bâtisse tel quelle actuellement nécessite un confortement pour répondre au règlement parasismique algérien, nous vous recommandons de prévoir les travaux de confortement suivante :

- Chemisage en béton armé des poteaux de 10cm de part et d'autre.
- Chemisage des poutres principales repérage des axes de 10 cm
- Chemisage des poutres porteuses repérage des axes de 10 cm
- Afin d'éviter des problèmes d'étanchéité, nous recommandons également de prévoir un complexe d'étanchéité au niveau du plancher conformément au DTU 43.3s
- Vu les travaux de confortement, nous vous recommandons vivement de prendre attache avec un bureau d'études d'ingénierie pour établir les plans détaillés de renforcement pour une réparation structurelle de la structure et le suivi des travaux de réalisation.

I.3- OUVRAGES D'EQUIPEMENT :

La dégradation des ouvrages à usage équipement a connu la même croissance que celle de la réalisation, mais vu que la croissance de réalisation du premier type d'ouvrage est très importante que celle du deuxième, la dégradation des ouvrages du deuxième types paraît moindre.

I.3.1- Ecole Primaire AOUIDANE Bachir Fidh Labiadh à commune de Djellal :



Photo I.17: Ecole Primaire AOUIDANE Bachir

I.3.1.1- Description de l'ouvrage :

L'ouvrage objet du présent avis technique concerne une école primaire composée de plusieurs blocs isolés. L'ouvrage est situé dans la commune de Djellal, l'assiette du projet présente une pente assez importante. L'école a été réalisée, selon l'A.P.C, dans les années 80. La structure des blocs est en murs porteurs avec des planchers en dalles pleines, l'infrastructure pour ce type de structure est généralement conçue en semelles filantes sous murs.

I.3.1.2- Inspection de l'ouvrage :

Afin de mettre un avis concernant la structure des blocs deux classes et deux logements de l'école primaire AOUIDANE Bachir Fidh Labiadh à Djellal, il nous a paru nécessaire de suivre les étapes suivantes :

- ✓ Constat de l'état des lieux
- ✓ Analyse
- ✓ Recommandation

I.3.1.2.1- Constat de l'état des lieux :

Le constat de l'état des lieux nous a permis de relever les désordres suivants :

- Fissures : horizontales, verticales et obliques, déformation, affaissement, dislocation, descellement et altération du matériau constitutif du joint au niveau des murs porteurs.
- Perte des caractéristiques mécanique du béton des planchers (béton friable à la main)
- Effondrement d'une partie du plancher au niveau du bloc deux classes
- Corrosions, déformations excessives des armatures des planchers en dalles pleines
- Déformations et fissures des plates-formes
- Cloquage et décollement des enduits
- Rupture des jonctions poteaux planché au niveau du passage couvert des classes
- Traces d'infiltration des eaux au niveau des planchers (absence d'un dispositif d'étanchéité terrasse)



Photo I.18-19: Corrosion et déformation des armatures et effondrement d'une partie du plancher terrasse.



Photo I.20-21: Fissures verticales, horizontales et obliques au niveau des murs & fissures et déformation de la plateforme.



Photo I.22: Rupture des jonctions poteaux poutres



Photo I.23et24: Corrosion et déformation des armatures, cloquage et décollement des enduits des planchers terrasses.



Photo I.25et26: Fissures verticales, horizontales et obliques, dislocation, affaissement au niveau des murs

II .3.1.2.2-Analyse:

Les désordres constatés au niveau de la structure des blocs sont très avancés, dus essentiellement à :

-L'absence d'étanchéité au niveau des planchers terrasse à provoquer des infiltrations des eaux au niveau des dalles pleines provoquant la corrosion des armatures et la perte des caractéristiques mécanique du béton.

-L'assiette du projet présente une pente très importante d'où l'accumulation des eaux pluviales au droit du projet. Ces eaux auraient modifiées les caractéristiques du sol d'assise engendrant des affaissements.

I .3.1.2.3- Solutions proposées:

Les désordres constatés au niveau de la structure des blocs sont très avancés, les blocs en question (blocs deux classes et deux logements) présentent des risques d'effondrement imminent. A cet effet, nous recommandons vivement de prévoir un périmètre de sécurité pour éviter tout accident et d'entamer des travaux de démolition.

I .3.2-Hammam Leknif à Baghai (w. de Khenchela) :



Photo I.27 : Hammam Leknif à Baghai

I .3.2.1-Description de l'ouvrage :

L'ouvrage concerné par le présent avis technique est le Hammam Leknif à Baghai bâti à l'époque coloniale, la structure est blocs est en poteaux poutres et en mur porteur de pierre de taille. L'infrastructure est de type superficiel coulé sur place.

I .3.2.2-Inspection de l'ouvrage :

L'état général de la bâtisse est assez vétuste, il a été constaté des désordres comme suit :

- ✓ Fissures inclinées au niveau des murs porteurs
- ✓ Déformation du plancher
- ✓ Traces d'infiltration des eaux et décollement des enduits au niveau des planchers terrasses
- ✓ Déplacement de quelques cloisons au niveau des consoles
- ✓ Fissures au niveau des portes
- ✓ Eclatement du béton d'enrobage d'armatures par endroit
- ✓ Ouverture du joint de dilatation
- ✓ Fissures au niveau des voûtes du hammam



Photo I.28-29: Fissures inclinées au niveau des murs porteurs



Photo I.30-31: Ouverture du joint de dilatation



Photo I.32-33: Fissures au niveau des portes



Photo I.34-35: Déformation du plancher



Photo I.36-37: Fissures au niveau des voûtes



Photo I.38-39: Traces d'infiltrations des eaux, décollements des enduits et absence d'un système d'étanchéité terrasse

I .3.2.3-Analyse:

Les différents désordres constatés sont très probablement causés :

- ✓ Tassements différentiels ou/et infrastructure inadaptée des murs porteurs en pierre de taille provoquant ainsi des fissures inclinées et la déformation du plancher.
- ✓ Les traces d'infiltration des eaux et le décollement des enduits ont été provoqués par l'absence de complexe d'étanchéité au niveau des plancher terrasse.
- ✓ Absence de linteaux au niveau des ouvertures (portes).
- ✓ Bâtisse vétuste.

I .3.2.4- Solutions proposées:

Vu l'état général de la bâtisse et les désordres constatés; nous estimons que cet ouvrage est non seulement insalubre et vétuste mais se trouvent dans **un état d'instabilité avancé nécessitant une enveloppe financière importante** pour assurer relativement une certaine normalisation des risques étant donné qu'il s'agit d'une ancienne construction existante, nous citons entre autres :

- ✓ Renforcement du mur porteur en pierre de taille
- ✓ Renforcement du plancher par l'intermédiaire d'appuis verticaux
- ✓ Réalisation des complexes d'étanchéité y compris acrotères, descentes et forme de pentes
- ✓ Reprise des portes en prévoyant des linteaux
- ✓ Reprise des zones présentant des affaissements de sols.

I .3.3-Lycée Taouzianet wilaya de Khenchela :



Photo I.40 : Lycée Taouzianet

I .3.3.1-Description de l'ouvrage :

La bâtisse objet du présent avis technique est un bloc limitrophe composée de deux joints construits dans les années 1987 implanté dans un terrain presque plat.

La structure est de type portiques auto stables (poteaux/poutres) en béton armées et reposée sur des semelles isolées, les planchers sont en corps creux

Les terrasses sont inaccessibles.

I.3.3.2-Inspection de l'ouvrage :

Afin de mettre un avis concernant la structure de réfectoire, lycée Boumaaraf à Taouzianet, il nous a paru nécessaire de suivre les étapes suivantes :

- ✓ Constat de l'état des lieux
- ✓ Analyse
- ✓ Recommandation

I .3.3.2.1-Constat de l'état des lieux

Le constat de l'état des lieux nous a permis de relever les désordres suivants :

La dégradation des bétons due à la corrosion des armatures au niveau de quelques poteaux centraux.

- ✓ Cloquage et décollement des enduits
- ✓ Traces d'infiltration des eaux au niveau de plancher.



Photo I.41: Dégradation du béton due à la corrosion des armatures à cause de la présence d'eau.



Photo I.42: réseau d'assainissement.



Photo I.43: Dégradations intérieures dues aux infiltrations de la dalle pleine.



Photo I.44: dislocation de chaînage de passage couvert en tête du fait du tassement

I.3.3.2.2- Analyse:

Les désordres constatés au niveau de la structure de la classe sont très avancés, dus essentiellement à :

L'absence d'étanchéité au niveau de plancher terrasse a provoqué des infiltrations des eaux au niveau de la dalle pleine entraînant la corrosion des armatures et la perte des caractéristiques mécanique du béton.

L'assiette du projet présente une pente assez importante d'où l'accumulation des eaux pluviales au droit du projet. Ces eaux auraient modifiées les caractéristiques du sol d'assise engendrant des affaissements.

I.3.3.2.3- Solutions proposées:

Les désordres constatés au niveau de la structure de la classe sont très avancés, la classe en question présente des risques d'effondrement partiel ou total. A cet effet, nous recommandons vivement de prévoir un périmètre de sécurité pour éviter tout accident.

Au vu des désordres nous estimons que les travaux de confortement qui peuvent, ou qui doivent être engagés, non seulement ne restitue pas le confort escomptés mais surtout ils nécessitent une enveloppe financière importante par rapport au coût de la classe.

I.3.4-Ecole primaire GOURMAT Abderrahmane el Mahmel wilaya de Khenchela :



Photo I.45 : Ecole primaire GOURMAT Abderrahmane el Mahmel wilaya de Khenchela.

I.3.4.1-Description de l'ouvrage :

L'ouvrage objet du présent avis technique concerne une école primaire composée d'un bloc isolé. L'ouvrage est situé dans la commune de El mahmel, L'école a été réalisée, selon l'A.P.C, dans les années 90, La structure est de type portiques auto stables (poteaux/poutres) en béton armées et reposée sur des semelles isolées, les planchers sont en corps creux Les terrasses sont inaccessibles.

I.3.4.2-Inspection de l'ouvrage :

Après notre consultation (auscultation) in situ, il nous a paru nécessaire de suivre les étapes suivantes :

- ❖ Levé des sections de coffrage des éléments de structure
- ❖ Sondage au niveau de l'infrastructure

- ❖ Essais de laboratoire par sondage non destructifs à l'ultra son et scléromètre sur les éléments de structure.
- ❖ Vérification des contraintes & analyse des résultats
- ❖ Proposition éventuelle de confortement de l'ouvrage
- ❖ Détail d'exécution

I .3.4.2.1-Levé des sections de coffrage des éléments de structure :

- ❖ Les sections de coffrages et ferrillages relevées sur place par nos services sont comme suit :
- ❖ Poteaux : (30*30) cm
- ❖ Poutres porteuses (30*50) cm
- ❖ Chaînage (30*30) cm
- ❖ Plancher en corps creux
- ❖ La dégradation des bétons due à la corrosion des armatures



- ❖ Le ferrillage adopte au niveau des poteaux et comme suit :



❖ Poteaux (30*45) cm : 8T14 avec une longueur de recouvrement de 50 à 56cm



Photo I.49 - 50 : longueur de recouvrement

Poteaux Ø 30 cm : 5T14 avec une longueur de recouvrement de 45 à 50 cm



Photo I.51 : longueur de recouvrement

Poutres porteuses (30*60) :5T14 +2T12 +3T14

I .3.4.2.2-Essais de contrôle de qualité des bétons:

Après coordination avec les services techniques (CTC – EST) annexe kenchela qui vous a donné les résultats suivants

I.3.4.2.3-Essai a l'auscultateur dynamique :

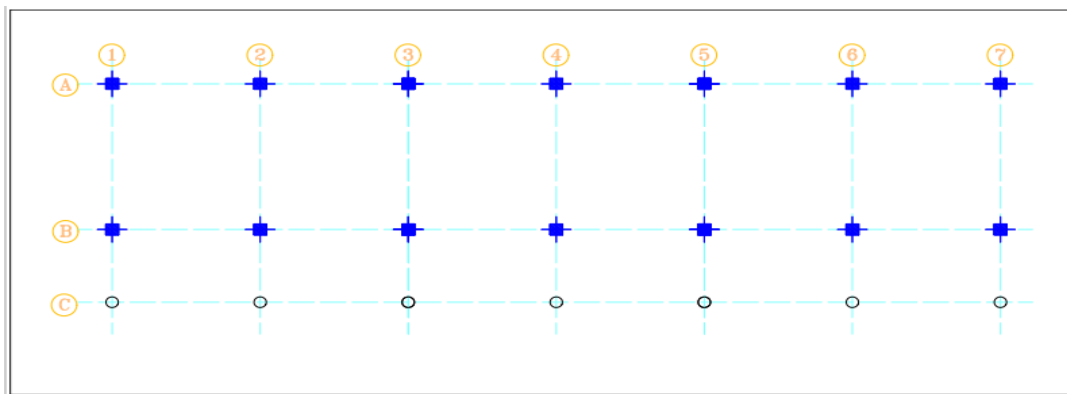


Figure I.3 : Repérage des Axes



Photo I.52 : Essais de contrôle de qualité

Tableau I.6 : Essai a l'auscultateur dynamique [48]

Désignation des éléments	Epaisseur en (cm)	Indice Sclérométrique	Lecture à L'auscultateur Temps : en (us)	Vitesse : en m/s	Résistance en Bars	Observations
Niveau rez-de-chaussée						
Poteau A-2	30	31	97.40	3080	<100	Résistance s de béton nettement inférieures aux normes
Poteau A-4	29.5	32	93.40	3158	<100	
Poteau A-6	30	32	95.25	3150	<100	
Poutre porteuse AB-2	29.5	32	90,64	3255	<100	
Poutre porteuse AB-4	30	30	99.60	3012	<100	
Poutre porteuse AB-6	30	33	98.60	3043	<100	

I .3.4.2.4-Annalyse:

Les différents essais de contrôle de qualité ont révélé des résistances de béton nettement inférieures aux normes requises (selon le règlement parasismique algérien version 2003 qui préconise une résistance minimale de 200 bars pour les éléments en béton armé Article 7.2.1).

En notant également que le ferrailage des poteaux en attente ne répond pas à la condition de recouvrement $50\varnothing$ préconisé par la réglementation parasismique algérienne RPA 2003.

I .3.4.2.5- Solutions proposées:

L'ouvrage en question, présente des non-conformités par rapport aux normes techniques en vigueur et ce, du point de vu résistances des bétons qui sont dans leurs ensembles inférieurs à 100 bars et vu l'insuffisance des longueurs de recouvrement du ferrailage des poteaux en attente qui sont nettement inférieurs aux normes.

Un confortement de l'ouvrage nécessiterait des travaux en sous-œuvre (confortement des semelles), le confortement des poteaux, du plancher dalle et de prévoir des murs porteurs au milieu et la périphérie des salles de cours.

Nous vous recommandons de prévoir les travaux de confortement suivant :

- ❖ Chemisage en béton armé des poteaux de 10cm de part et d'autre.
- ❖ Chemisage des poutres porteuses file (2, 4,6) voir repérage des axes de 10 cm
- ❖ Tous les murs périphériques et de cloisons sous poutres porteuses file (1, 3, 5,7) seront repris en parpaing plein d'épaisseur de 15cm au min. avec une ceinture en béton à l'extrémité du mur de 10 cm au minimum pour assurer une certaine continuité entre les murs en parpaing pleins et les poutres.

Afin d'éviter des problèmes d'étanchéité, nous recommandons également de prévoir un complexe d'étanchéité au niveau du plancher conformément au DTU 43.3s

I .3.5-Centre d'entraînement des équipes nationales de Khenchela :

I.3.5.1-Situation géographique :

L'ouvrage expertisé au niveau du Hammam Essalhine la commune d'El Hamma, site touristique et thérapeutique, à 7 km dans la wilaya de Khenchela

Il est repéré au moyen du G.P.S. par ces coordonnées Latitude/Longitude.



Photo I.53 : situation géographique



Photo I.54 : .Centre d'entraînement des équipes nationales de Khenchela

Le 23/05/2023

I.3.5.2-Description de l'ouvrage :

L'ouvrage objet du présent avis technique concerne un centre d'entraînement de

L'équipe nationale à Khenchela (CREN) composée de plusieurs blocs isolés. L'ouvrage est situé dans la commune de El hamma , Ce projet, situé en zone peu sismique, n'est pas équipé de plateformes antisismiques. Jusqu'à maintenant il n'ya pas d'étude approfondit et aussi le coté géotechnique on ne prend pas beaucoup en considération La structure en cours de construction par COSIDER et La base du projet a une pente très raide.

I.3.5.3-Causes possibles de dégradation :

- In suffisance d'études de sols approfondies ou études incomplètes.
- la poussée des terres qui peut atteindre plusieurs tonnes/m²
- Présence d'eau et de nappes souterraines non détectée **Photo I.58**
- Défaut d'évaluation de la stabilité des ouvrages avoisinants (murs, bâtiments...)
- la instabilité des talus (charges supplémentaires en tête de talus, vibrations, angles de talutage). **Photo I.56**
- Non-respect des préconisations du bureau d'études géotechniques (exemple : non-respect des pentes de talus).
- Absence de mise en œuvre de dispositifs de soutènement des terres et des ouvrages.
- Connaissance insuffisante des entreprises sur les méthodologies de réalisation en sécurité d'ouvrages géotechniques provisoires.
- Les travaux sont réalisés par l'entreprise (Excavation) engendré un tassement de l'immeuble
- Des désordres analogues peuvent être provoqués par la présence au voisinage immédiat du bâtiment d'arbres dont les racines pompent l'eau jusque sous les fondations, ou par des variations du niveau de la nappe le cas échéant. **Photo I.57**
- L'apport de liquides dans les zones au voisinage immédiat du bâtiment agit également sur l'assise des fondations, le sol devient saturé et perd une grande partie de sa résistance mécanique : la reprise des charges n'est plus uniforme et entraîne des tassements différentiels. **Photo I.55**
- Fondations inadaptées : Le rapport inadéquat entre la pression exercée sur le sol d'assise et la portance du terrain est une cause fréquente de tassement structurel. La présence de sols compressibles ou sous-consolidés est également une cause de graves désordres. Les tassements ne sont pas immédiats et s'opèrent lentement sous l'effet de la descente de charge du bâtiment. La stabilisation des tassements peut prendre de nombreuses années, voire des décennies, pour les sols organiques compressibles. **(Photo I.54)**
- Remblais : Les terrains remaniés ou rapportés perdent leur capacité portante ; les tassements différentiels qui en résultent peuvent causer des désordres importants à moyen ou à long terme.



Photo I.55 : Sol organiques compressibles



Photo I.56 : l'instabilité des talus



Photo I.57 : présence au voisinage d'arbres



Photo I.58 : Nappe d'eau



Photo I.59 : Sol saturé

I.3.5.4- Analyse:

Les études géotechniques permettent de déterminer la nature du sol et d'analyser les risques de tassements différentiels.

On peut alors décider un type de fondations à mettre en œuvre, ainsi que leurs dimensions et leur profondeur minimale requise.

Pour une sécurité optimale, il est recommandé de vérifier la capacité portante du sol après creusement des fouilles et de terrasser plus en profondeur si celle-ci n'est pas suffisante.

Les sols argileux ne sont pas la seule cause de tassements différentiels : un terrain en pente peut déséquilibrer la structure et nécessite donc des fondations plus encastrée à l'amont, le dimensionnement des fondations et des murs doit être bien calculé, de même que des racines d'arbres peuvent venir perturber vos fondations et créer des tassements différentiels.

-Pour savoir si les fissures qui apparaissent sur votre maison sont des liées à un tassement différentiel, vous pouvez faire appel à des professionnels des fissures pour qu'ils effectuent une expertise et concluent sur leur origine.

-En effet, les fissures de tassements différentiels ne sont pas caractéristiques car elles apparaissent aussi bien sur les murs qu'au plafond et en sous-sol ou à l'étage.

-Si des fissures apparaissent, le mieux est de contacter un expert qui déterminera leur cause.

-Lorsqu'une expertise a été effectuée et que vous êtes sûrs que les fissures ont pour origine des tassements différentiels, de nombreuses entreprises sont compétentes afin de vous proposer plusieurs solutions pour empêcher l'apparition de nouvelles fissures et pour réparer celles existantes : **le micropieu, les plots alternés, l'injection de résine.**

I.3.5.5- Solutions proposées:

I.3.5.5.1- les micropieux :

Le micropieu est une solution très efficace. Il consiste à accrocher des pieux aux fondations existantes, jusqu'à une profondeur où le terrain est stable.

Il existe plusieurs types de micro-pieux dont les micro-pieux de type II (scellement au coulis de manière gravitaire) et les micro-pieux de type III (injection du coulis) ;

I.3.5.5.2- L'injection de résine :

- ✓ L'**injection de résine** permet de consolider un sol
- ✓ L'**injection de résine** expansive (RPE) est très utilisée après le tassement dû à une sécheresse.

La méthode consiste à forer des points d'injection et y introduire la résine à l'aide d'outils spécifiques. La diffusion de la résine dans le sol permet de le consolider.

Cette technique est parfois déconseillée pour les sols argileux et les sols très organiques mais dans les autres cas elle est rapide et efficace.

I.3.6- Département science et technologie Université ABBES Laghrou, Khenchela

I.3.6.1-Description de l'ouvrage :

L'ouvrage objet du présent avis technique concerne Département science et technologie Université ABBES Laghrou, Khenchela composée de plusieurs blocs isolés. L'ouvrage est situé dans la commune de El hamma , Ce projet, situé en zone peu sismique.



Photo I.60 : Département science et technologie Université ABBES Laghrou, Khenchela



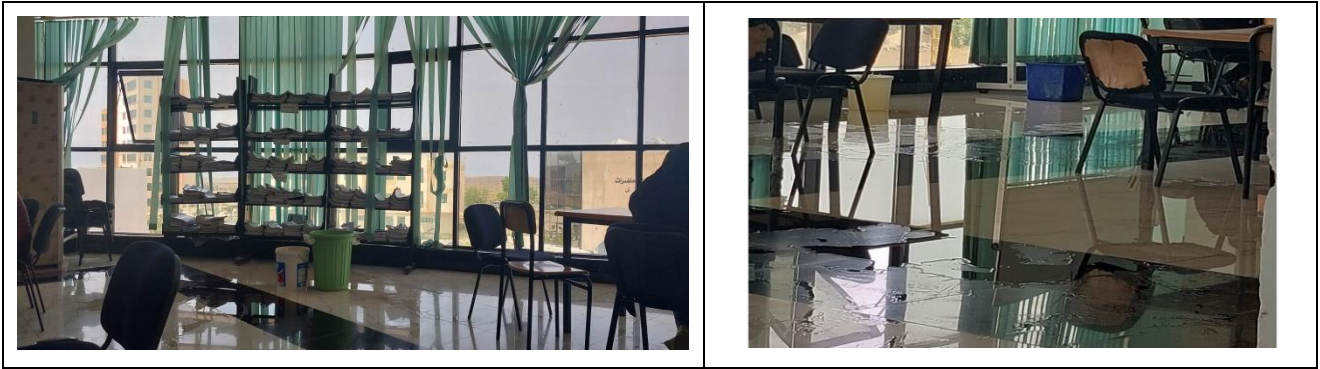


Photo I.64-65 : Traces d'infiltrations des eaux

I.3.6.2- : Causes de dégradation : Etanchéité mal exécuté

I.3.6.3- Solutions proposées: refaire le système d'étanchéité de tous les blocs

I.4- OUVRAGES D'ART :



Photo I.66 : Ouvrage d'art sur oued aïn touila RN88 PK117+000

I.4.1-Presentation de l'ouvrage :

I.4.1.1-Situation géographique :

L'ouvrage expertisé est situé au PK117+000 de la route nationale RN88 au niveau du franchissement de l'oued Aïn Touila.

Il est repéré au moyen du G.P.S. par ces coordonnées Latitude/Longitude.

*Extrait d'une vue
satellitaire Google
Earth au droit de
l'ouvrage.*



Latitude :
35° 25' 58.15" N

Longitude :
07° 27' 26.59" E

Photo I.67 : Situation géographique

I.4.1.2-Description de l'ouvrage :

L'ouvrage, s'inscrivant dans un alignement droit et enjambant l'oued Aïn Touila avec un biais de 84.672 grades sur 23.35 m de longueur, est un pont à poutre sous-chaussée en béton armé à une seule travée de 15.30 m de portée.

Il supporte une chaussée de 6.20 m de largeur et deux trottoirs, de 1.90 m d'envergure côté amont et 2 m côté aval, munis de garde-corps métalliques tubulaires.

Le tablier est composé de six (06) poutres rectangulaires en béton armé de 0.95 m de hauteur et 0.33 m de largeur surmontées d'une dalle de répartition participante en béton armé de 0.25 m d'épaisseur.

Ce tablier, rigidifié au droit des lignes d'appui par une entretoise de 0.45 m de hauteur et 0.50 m de largeur servant de points de levage lors des opérations de vérinage, prend appui sur deux (02) culées massives, à murs en retour fondées superficiellement (selon la banque de données des ouvrages d'art), par le biais d'appareils d'appui constitués d'un empilement de tôles d'acier et de plaques en caoutchouc (200x300 mm, 04 tôles d'acier de 198x298x 3 mm et 03 plaques de caoutchouc de 200x300x10 à 12 mm).

Les culées sont dotées de protection en perrés maçonnés entourant la totalité de la culée sens Aïn Touila et protégeant les versants de talus de la culée sens Khenchela.

Les joints de chaussée sont de type couvert et de structure inconnue.

Le drainage des eaux de surface est assuré par deux lignes de gargouilles (08 au total), munies de descentes en acier DN60 traversant l'épaisseur de la dalle, une située sous trottoir et l'autre située sous chaussée.

Ce pont implanté dans une zone de faible sismicité n'est pas équipé de plots parasismiques. L'ouvrage, construit en 1991 par l'entreprise ETPH GUENTRE MIHOUB, dispose d'un itinéraire de déviation sur l'ancien ouvrage désaffecté situé du côté aval.

I.4.1.3-Fiche d'identification :

RENSEIGNEMENTS GENERAUX		
Classement RPOA 2008 :	Zone I - Groupe 1	
Coordonnées G.P.S. :	Latitude : 35° 25' 58.15" N - Longitude : 07° 27' 26.59" E	
Date d'inspection :	15/03/2023	
Temps :	Ensoleillé	
Température :	30°	
RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS		
Identifiant :	Fr_O.Aïn Touila_N88_117.000	
Désignation :	Ouvrage d'Art sur Oued Aïn Touila RN88 PK117+000	
Service Gestionnaire :	D.T.P. Khenchela / S.T.P. Aïn Touila	
Localisation :	Aïn Touila	
Voie Portée :	RN88	
Obstacle Franchi :	Oued Aïn Touila	
Itinéraire de déviation :	Ancien ouvrage désaffecté situé du côté aval	
RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES		
Géométrie	Type :	Pont à poutres sous-chaussée en béton armé
	Tracé :	Alignement droit
	Biais :	84.672 grades
	Nbr. travées/ouvertures :	01
	Portée (s) :	15.755 m
	Ouverture (s) :	15.03 m
	Gabarit (s) :	1.50 m sens Khenchela et 4 m sens Aïn Touila
	Longueur :	23.348 m
	Largeur :	10.10 m (6.20 m de chaussée, Trottoirs 1.90 m amont et 2 m aval)
	Superficie :	166.92 m²
Superstructure	Type :	Poutres sous-chaussée surmontée d'une dalle participante
	Matériau :	Béton Armé
	Comportement :	Isostatique
	Nombre de poutres :	06
	Nombre d'entretoises :	02 (aux abouts)
Infrastructure	Type culées :	Massive à murs en retour
	Matériau culées :	Béton armé
	Fondation culées :	Superficielle
	Protection culées :	Perrés maçonnés
Equipements	Plots parasismiques :	Inexistants
	Garde-corps :	Tubes métalliques
	Joints de chaussée :	Couverts (02 U) de 05 cm de soufflé
	Appareils d'appui :	Empilage de tôles d'acier et plaques en caoutchouc (12 U)
	Système de drainage :	Gargouilles munies de tubes d'acier DN60 (08 U)
Historique	Année construction :	1991
	Entreprise :	ETPH GUENTRE MIHOUB
	Archive :	Indisponible
	Date dernière inspection :	Non inspecté

I.4.1.4-Photographies :



Photo I.68 :
Vue générale
sens Khenchela.

Photo I.69 :
Vue en
élévation Aval.





Photo I.70
Superstructure :
Intrados de dalle,
poutres et
entretoise
d'about.
Infrastructure :
Mur de front de
culée sens
Khenchela.



Photo I.71
Garde-corps
côté aval.

I.4.1.5-Constat photographique :

Partie inspectée : Poutres



Photo I.72
Poutre
adjacente à la
poutre de rive
amont.

Photo I.73
Parement du
talon de la
poutre.



Constataion : Défaut d'aspect des parements (planéité).

Parties concernées : Parements de poutres.

Cause : Défaut d'exécution lié à la mise en œuvre des coffrages.

Partie inspectée : Poutres



Photo I.74
Béton de l'âme
ségrégué.

Photo I.75
Ségrégations et
ragréages
généralisés.



Constatation : Ségrégations des bétons.

Parties concernées : Poutres (généralisées).

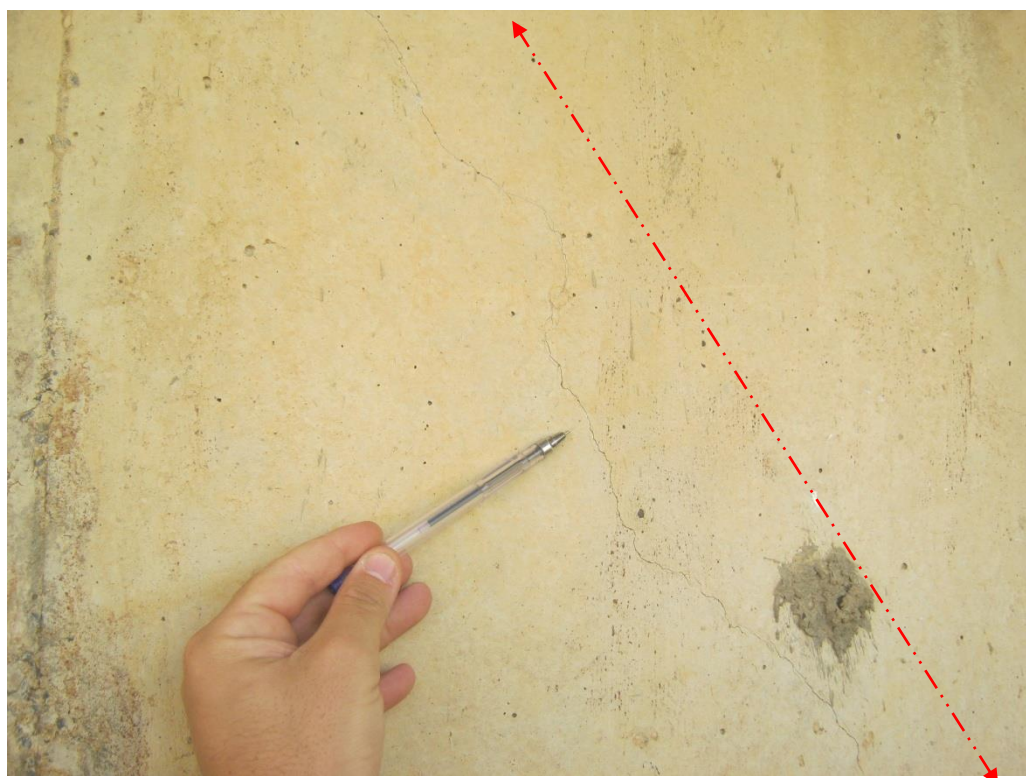
Cause : Défaut d'exécution du à un ferrailage dense, une pervibration de trop et/ou à une perte de laitance.

Partie inspectée : Poutres



Photo I.76
Fissures
inclinées
mitoyennes.

Photo I.77
Vue de près
d'une fissure.



Constatation : Fissures inclinées.

Parties concernées : Parements latéraux de poutres au droit des zones d'appui.

Cause : Probablement des fissures mécaniques dues à une insuffisance structurelle vis-à-vis de l'effort tranchant.

Partie inspectée : Entretoises**Photo I.78 :**

Ancrage des armatures d'attente d'entretoises dans l'âme des poutres.



Constatacion : Armatures dénudées corrodées et mal-ancrées.

Parties concernées : Jonction entretoises/poutres.

Cause : Défauts de conception et/ou d'exécution.

Commentaires : Ces barres doivent être munies de crochets aux extrémités afin d'assurer un ancrage adéquat.

Partie inspectée : Hourdis**Photo I.79 :**

Intrados de dalle amont sens Khenchela.

Constatacion : Efflorescences.

Parties concernées : Intrados de hourdis sous trottoir côté amont sens Khenchela et au droit de toutes les descentes d'eau.

Cause : Défectuosité ou absence d'étanchéité sous trottoir et autour des gargouilles.

I.4.1.6-Analyse:**I.4.1.6.1-Ségrégation du béton :**

La ségrégation du béton est une conséquence directe de la perte de laitance.

I.4.1.6.2-Nids de cailloux avec armatures apparentes et corrodées :

Si la corrosion des armatures en zone de ségrégation n'est pas annihilée pendant cette phase préliminaire elle va se développer inexorablement au point de conduire aux éclatements du béton plus profondément

I.4.1.6.3-Fissures inclinées :

Cette dégradation, très généralisée par endroit, touche les zones d'about sur toutes les poutres de l'ouvrage.

I.4.1.6.4-Fissures verticales :

On constate des fissures verticales dans la zone médiane des poutres au niveau de l'âme.

I.4.1.6.5-Défectuosité des équipements :

La défectuosité des équipements de l'ouvrage touche aux éléments suivants :

- ✓ L'étanchéité de la dalle ;
- ✓ Les joints de chaussée et de trottoirs ;
- ✓ Les gargouilles.
- ✓ Usure des appareils d'appuis : Les appareils d'appuis sur l'ensemble de l'ouvrage doivent être remplacés.

I.4.1.7- Solutions proposées:**I.4.1.7.1- Réparation des bétons ségrégués ou éclatés**

Ces travaux visent les zones de béton ségrégué, altéré sur de faibles épaisseurs (≤ 10 mm) ou de faible enrobage avec traitement des armatures apparentes.

L'opération est réalisée selon l'enchaînement de tâches suivant :

- ▲ Piquage du béton dégradé par des moyens manuels ou mécaniques jusqu'à atteindre les zones de béton sain ;
- ▲ Brossage énergétique des armatures mises à nu (corrodées ou pas) ;
- ▲ Soufflage à l'air comprimé des zones piquées ;
- ▲ Traitement des armatures à l'aide d'un revêtement anticorrosion.
- ▲ Application d'un primaire d'accrochage à base d'émulsion de résine époxyde ; et la mise en œuvre d'un mortier hydraulique à base d'émulsion de résine époxyde.
- ▲ Ces travaux concernent les zones de bétons éclatés et dégradés sur des épaisseurs de plus de 10 mm.
- ▲ La reconstitution est réalisée selon le phasage suivant :
- ▲ Piquage du béton dégradé par des moyens manuels ou mécaniques jusqu'à atteindre les zones de béton sain ;
- ▲ Brossage énergétique des armatures mises à nu (corrodées ou pas) et scellement éventuel d'aciers de remplacement à l'aide de résine de scellement ;
- ▲ Soufflage à l'air comprimé des zones piquées ;
- ▲ Traitement des armatures à l'aide d'inhibiteur de corrosion ;

Pour les zones de moins de 5 cm de profondeur, le béton est reconstitué par application d'un primaire d'accrochage à base d'émulsion de résine époxyde et la mise en œuvre d'un mortier hydraulique à base d'émulsion de résine époxyde ;

Pour les zones de plus de 5 cm de profondeur, le béton est reconstitué par mise en œuvre ; d'un mortier hydraulique à base de résines époxydes et de fumées de silice ; ou d'un micro-béton à base de fumées de silice.

I.4.1.7.2– Travaux de renforcement :

Les travaux de renforcement concernent exclusivement le tablier de l'ouvrage où nous avons observés des désordres significatifs d'une insuffisance de portance

Cette insuffisance de portance se traduit par l'apparition de fissures obliques sur les âmes des poutres indiquant une déficience à l'effort tranchant et l'apparition des fissures verticales à mi travée indiquant une déficience au moment de flexion

Pour cette raison, nous proposons au maitre de l'ouvrage deux alternatives :

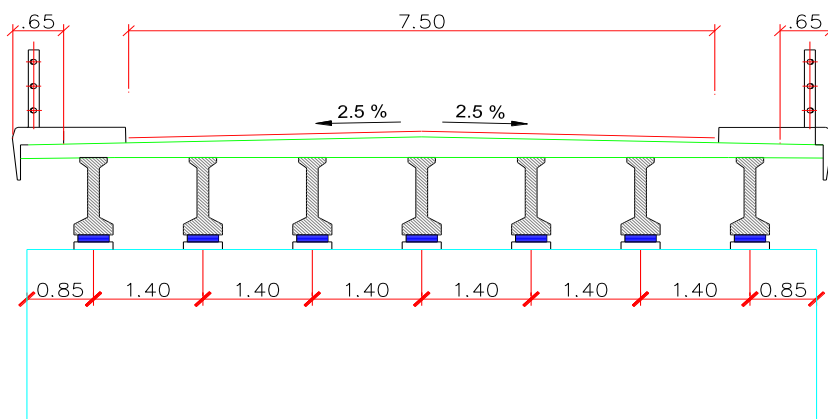
Renforcement du tablier par tissu en fibre de carbone (TFC) ;

Reconstruction du tablier.

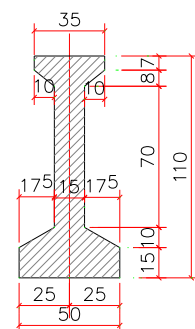
- **Renforcement du tablier par tissu en fibre de carbone :**

Le renforcement des tabliers par tissu en fibre de carbone sera assuré par l'application des de tissus en fibre de carbone à mi portée (effort de flexion) au droit des membrures inférieures des poutres. Pour supplier la déficience à l'effort tranchant, il sera appliqué trois de TFC aux endroits préconisé et figurant dans la note de calcul.

COUPE SUR CULEE



Détails poutres



I.4.2-ouvrage d'art sur oued laghrour babar RN80 PK221+150 :**I.4.2.1-Situation géographiques:**

L'ouvrage expertisé est situé au PK221+150 de la route nationale RN80 au niveau du franchissement de oued Laghrour Babar.

Il est repéré au moyen du G.P.S. par ces coordonnées Latitude/Longitude.

Photo I.80

Extrait d'une
vue satellitaire
Google Earth au
droit de
l'ouvrage

Latitude

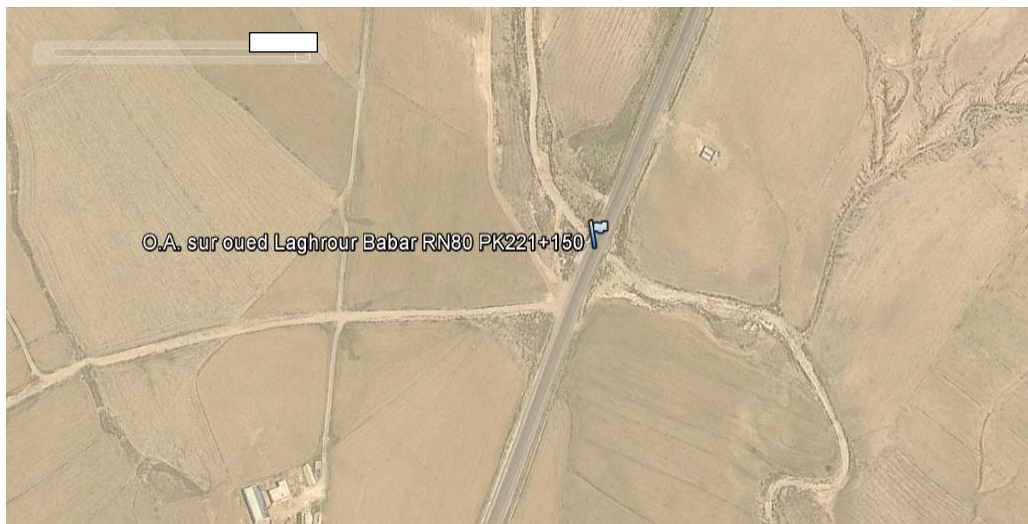
35° 16' 18.31''

N

Longitude :

07° 07' 49.62''

E

**Photo I.81**

Repérage
général.

I.4.2.2-Description de l'ouvrage:

L'ouvrage d'art est un pont cadre fermé a deux cellules ces dernières sont construites en deux temps.

La cellule sens Babar est plus ancienne que celle du sens Khenchela.

Le gabarit hydraulique de la cellule amont sens Khenchela est plus important que celui de la cellule sens Babar. Du coté aval les deux cellules ont le même gabarit hydraulique.

La date de construction de l'ouvrage est inconnue seule l'extension qui remonte à 1991. Les deux ouvertures des cellules sont presque identiques de dimensions 2.80 m côté droit et 2.85 m côté gauche (coté amont), avec un tirant d'air variable qui est de 2.80 m sens Khenchela et de 2.35 m sens Babar du coté amont. Il est doté également de murs en ailes en béton armé solidaire du cadre, supportant une chaussée de 7.50 m de largeur et d'accotements de 3.35 m coté aval et de 5.30 m coté amont.

I.4.2.3-Fiche d'identification :

RENSEIGNEMENTS GENERAUX		
Classement RPOA 2008 :	Zone I - Groupe 1	
Coordonnées G.P.S. :	Latitude : 35° 16' 18.31"N - Longitude : 07° 07' 49.62"E	
Date d'inspection :	12/04/2023	
Temps :	Voilé	
Température :	30°	
RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS		
Identifiant :	Fr_O.Laghrour_N80_221.150	
Désignation :	Ouvrage d'Art sur Oued Laghrour Babar RN80 PK221+150	
Service Gestionnaire :	D.T.P. Khenchela / S.T.P. Babar	
Localisation :	Ain Djerboua	
Voie Portée :	RN80	
Obstacle Franchi :	Oued Laghrour Babar	
Itinéraire de déviation :	Inexistant	
RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES		
Géométrie	Type :	Cadre fermé multicellulaire
	Tracé :	Alignement droit
	Biais :	100 grades
	Nbr. travées/ouvertures :	02
	Portée (s) :	/
	Ouverture (s) :	2.80m, 2.85m
	Gabarit (s) :	2.35m, 2.80m (tirant d'air)(coté amont)
	Longueur :	14.45 m
	Largeur :	16.15 m (Chaussée : 7.5 m & Accotements : 5.30 m amont, 3.35 m aval)
	Superficie :	100.93 m²
Superstructure	Type :	Dalle
	Matériau :	Béton Armé
	Comportement :	Hyperstatique
Infrastructure	Type culées :	Piédroit
	Matériau culées :	Béton armé
	Fondation culées :	Radier général
	Protection culées :	Murs en aile en béton armé solidaires des culées
	Nombre piles :	01
	Type piles :	Piédroit
	Matériau piles :	Béton armé
	Fondation piles :	Radier général
Protection piles :	Non	
Equipements	/	/
Historique	Année construction :	Indisponible
	Entreprise :	Indisponible
	Archive :	Indisponible
	Année extension :	1991
	Entreprise :	Indisponible
	Archive :	Indisponible
	Date dernière inspection :	Non inspecté

I.4.2.4-Photographies :

Photo I.82

Vue en élévation.



Coté Amont



Photo I.83

Superstructure :

Traverse.

Infrastructure :

Piédroits avec

goussets sens

Babar à la

jonction avec la

traverse.

Murs en aile

solidaires du

cadre.

Equipements :

Une seule

glissière sens

Babar.

Coté Aval

Photo I.84Superstructure :

Traverse.

Infrastructure :

Piédroits avec
goussets sens
Babar à la jonction
avec la traverse.
Murs en aile
solidaires du cadre.

Equipements :

Aucun équipement.

**I.4.2.5-Constat photographique :****Partie inspectée** Piédroits**Photo I.85**

Partie
supérieure du
piéd droit.

**Constataion** Efflorescence.**Parties concernées** : Partie supérieure du pied droit et de la traverse, coté Babar.**Cause** : Perte de l'étanchéité et absence des systèmes d'évacuation d'eau

Partie inspectée : Pied droit

Photo I.86
Face latérale
piédroit.

Constatation : Béton désagrégé de mauvaise qualité.

Parties concernées : L'ancien ouvrage au niveau des piédroits (sens Babar).

Cause : Mauvaise formulation en granulats, proportion élevée du sable et dosage en ciment faible.

Partie inspectée Piédroit

Photo I.87
Face latérale
piédroit.



Constatation Nids de cailloux localisés dans l'ancien ouvrage.

Parties concernées : Il touche les mêmes zones de désagrégation mais d'une façon très circonscrite.

Cause : Mauvaise formulation du béton en granulat (proportion élevée du sable) et faible dosage en ciment.

Partie inspectée : Murs en ailes**Photo I.88**

Façade mur en aile coté amont.

Photo I.89

Façade mur en aile coté amont.

**Constatation :** Eclatement du béton avec armatures dénudées.**Parties concernées :** Murs en aile cellule sens Babar.**Cause:** La mauvaise qualité du béton.

Partie inspectée : Murs en ailes



Photo I.90

Façade mur en aile coté amont.

Constatation : Nids de cailloux localisés dans l'ancien ouvrage.

Parties concernées : Mur en aile coté amont sens Babar.

Cause : Mauvaise formulation du béton et/ou défaut d'exécution (coffrage défaillant).

Partie inspectée : Murs en ailes

Photo I.91

Façade mur en aile coté amont.



Constatation : Désagrégation.

Parties concernées : Murs en ailes sens Babar.

Cause: Mauvaise formulation en granulats, proportion élevée du sable et dosage en ciment faible.

Partie inspectée : Lit d'oued



Photo I.92
Lit d'oued coté
Aval.

Photo I.93
Lit d'oued coté
Aval.



Constatation : Réduction de la section hydraulique (écoulement moins important sur la deuxième cellule sens Babar)

Parties concernées : Entrée de la deuxième cellule sens Babar

Cause: Absence d'entretien du lit d'oued (travaux de recalibrage).

I.4.2.6-Analyse:**I.4.2.6.1-Défaut dans l'aspect des parements (ragréage généralisé)**

Cette dégradation touche uniquement la cellule côté Babar (l'Ancien Ouvrage).

I.4.2.6.2-Béton désagrégé de mauvaise qualité

Cette pathologie dévisage uniquement la cellule côté Babar (l'Ancien Ouvrage)

I.4.2.6.3-Nids de cailloux_ Cette dégradation concerne :

- ✓ Piedroit de l'ancien Ouvrage;
- ✓ Mur en aile coté amont sens Babar;

I.4.2.6.4-Eclatement du béton avec armatures dénudées

Elle touche les murs en aile cellule sens Babar

I.4.2.7- Solutions proposées:**I.4.2.7.1-Reconstitution des bétons dégradés et éclatés :**

Ces travaux concernent les zones de bétons éclatés et dégradés sur des épaisseurs de plus de 10 mm.

La reconstitution est réalisée selon le phasage suivant :

- ▲ Piquage du béton dégradé par des moyens manuels ou mécaniques jusqu'à atteindre les zones de béton sain ;
- ▲ Brossage énergétique des armatures mises à nu (corrodées ou pas) et scellement éventuel d'aciers de remplacement à l'aide de résine de scellement ;
- ▲ Soufflage à l'air comprimé des zones piquées ;
- ▲ Traitement des armatures à l'aide d'inhibiteur de corrosion ;

Pour les zones de moins de 5 cm de profondeur, le béton est reconstitué par application d'un primaire d'accrochage à base d'émulsion de résine époxyde et la mise en œuvre d'un mortier hydraulique à base d'émulsion de résine époxy ;

Pour les zones de plus de 5 cm de profondeur, le béton est reconstitué par mise en œuvre ; d'un mortier hydraulique à base de résines époxydes et de fumées de silice ; ou d'un micro-béton à base de fumées de silice.

I.4.2.7.2-Mise en œuvre d'un revêtement de protection sur les parements en béton :

Le produit à mettre en œuvre doit un système d'imperméabilisation et d'étanchéité, à base de liants hydrauliques (poudre composée de ciment, de charges et d'adjuvants chimiques de haute qualité) et de résines en dispersion.

Ce mélange en fait doit être un revêtement non toxique, imperméable à l'eau et à l'air, de bonne résistance à l'abrasion et à l'érosion.

Ce produit doit être essentiellement destiné à réaliser les imperméabilisations sur les supports en bétons armés, une fois appliqué, devra résister durablement aux pressions et contre-pressions d'eau.

Le produit doit également être en conformité total avec les spécifications des DTU 20-12-52-1, relatifs à la protection des bétons armés.

Après application du produit, la surface des parements en béton traitées doit être rendue de couleur uniforme.

Ce produit doit offrir également un excellent effet antisalissure et un excellent effet anti adhérent.

Sous forme semi-pâteuse ou liquide, le produit à utiliser doit donner après séchage, un revêtement souple, étanche et d'une grande élasticité.

Le produit ne doit pas modifier l'aspect du support existant et offrir une très grande adhérence sur les supports en béton armé.

Dans le cas où le produit est appliqué en plusieurs couches, le temps de recouvrement (application de la couche suivante) ne doit pas dépasser 12 heures à 20°C et 75 % d'humidité relative (hygrométrie) minimum.

En traitement préventif, il doit faciliter le nettoyage des surfaces et lutte contre le vieillissement notamment pour des parements en béton armé.

Le produit qui devra être utilisé ne doit en aucun cas modifier l'aspect des supports (pas d'effet filmogène) donc non pigmenté.

Il doit aussi :

- ✓ Laisser respirer le support (perméabilité aux gaz) ;
- ✓ Pouvoir s'appliquer sur supports verticaux ou horizontaux ;
- ✓ Ne doit contenir aucun solvant : Ininflammable et non toxique.

Le produit doit être à base de solution de composé d'hydrofugeant actif réagissant au contact de l'eau pour former une barrière étanche à toutes remontées capillaires.

Le produit doit être prêt à l'emploi et devra s'appliquer au pulvérisateur, au pinceau, à la brosse ou au rouleau, en une ou plusieurs couches et ceci jusqu'à saturation du support.

Le produit doit pouvoir s'appliquer sur support légèrement humide.

Le temps de séchage du produit ne devra en aucun dépasser 24 heures, son efficacité maximale doit se produire au plus tard sept (07) jours après son application.

Le produit doit en fait créer un revêtement élastique de mise en œuvre facile et qui doit donner, après séchage, un film non coloré étanche et imperméable.

Le produit doit posséder un coefficient d'élasticité très élevé et doit être particulièrement efficace dans le traitement des microfissures et des surfaces en mouvement.

Le produit ne doit pas se craqueler, il doit résister aux rayons UV et être imperméable à l'eau et ne perd pas ses propriétés d'étanchéité et d'élasticité même en cas de variations climatiques importantes.

Ainsi, le traitement de la corrosion des armatures ne doit pas entraîner une dégradation du béton en place qui serait due à l'incompatibilité de deux produits en présence.

L'action des produits de protection des armatures ne doit pas engendrer, vis-à-vis du béton, des actions secondaires préjudiciables au bon fonctionnement de la structure.

I.4.3-ouvrage d'art sur oued siear commune de chechar CW 08 PK27+000:

Photo I.94: ouvrage d'art sur oued siear commune de chechar CW 08 PK27+000:

I.4.3.1-Description de l'ouvrage :

L'ouvrage, s'inscrivant dans un alignement droit et enjambant l'oued commune de chechar un pont à poutre sous-chaussée en béton armé à deux travée de 16.00 m de portée.

Il supporte une chaussée de 8.00 m de largeur et deux trottoirs, de 1.20 m d'envergure côté amont et 1.40 m côté aval, munis de garde-corps métalliques tubulaires.

Le tablier est composé de six (06) poutres rectangulaires en béton armé de 0.95 m de hauteur et 0.33 m de largeur surmontées d'une dalle de répartition participante en béton armé de 0.25 m d'épaisseur.

Ce tablier, rigidifié au droit des lignes d'appui par une entretoise de 0.45 m de hauteur et 0.50 m de largeur servant de points de levage lors des opérations de vérinage, prend appui sur deux (02) culées massives, à murs en retour fondées superficiellement (selon la banque de données des ouvrages d'art), par le biais d'appareils d'appui constitués d'un empilement de tôles d'acier et de plaques en caoutchouc (200x300 mm, 04 tôles d'acier de 198x298x 3 mm et 03 plaques de caoutchouc de 200x300x10 à 12 mm).

Ce pont implanté dans une zone de faible sismicité n'est pas équipé de plots parasismiques.

L'ouvrage, construit en 2005 par l'entreprise SERO –EST BATNA, dispose d'un itinéraire de déviation sur l'ancien ouvrage désaffecté situé du côté aval.



Photo I.95:déclatement du béton



Photo I.96:Flambement de la pile

I.4.3.2-Causes de dégradation :

Choc mécanique du à une crue comportant de l'oued ce choc à provoquer :

- ✓ Déclatement du béton de la pile centrale.
- ✓ Un flambement de la pile (acier).
- ✓ Faiblesse de la capacité portante.

Solutions proposées:

Vu les cause cites ci-dessus on propose

- ✓ Essayer de reprendre le pont à son état initial, en utilisant des vérins hydraulique a fin d'entamer les travaux de renforcement avec un raidisseur.
- ✓ Renforcement de différentes piles en les groupant en un mur raidisseur.
- ✓ On fait rappel à la DTP de kenchela de prendre nous remarques en considération afin de permettre à l'ouvrage cite en cours de répondre son efficacité et l'ouvrier devant les usages de la route.

CHAPITRE II :

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

II.1-CONCLUSION :

Théoriquement, dans les constructions en béton de ciment, on cherche généralement à produire des surfaces uniformes et sans défauts apparents. Dans la réalité, ce n'est malheureusement pas toujours le cas : les surfaces de béton montrent souvent des irrégularités ou des détériorations. Parmi les défauts les plus courants : la décoloration, la ségrégation, l'écaillage, la fissuration, l'infiltration, la désagrégation. Il est important de déterminer les causes des défauts. Cela facilite le choix de la technique de réparation et permet d'éviter que le problème ne se reproduise. Les causes sont multiples, dont la plus fréquente est la mauvaise qualité du béton due à la qualité des ingrédients ou leurs quantités, ainsi que la mise en œuvre du béton.

La plupart des exemples des ouvrages dégradés sont dus à des phénomènes de dégradation d'origine chimique (la corrosion, l'attaque des sulfates, l'attaque bactériologique) résultants de la perméabilité du béton. Cependant la mauvaise qualité du béton est la principale cause de détérioration. Et pour réaliser un béton durable il faut prendre en compte :

- La Formulation adéquate d'un béton de qualité (la résistance f_{c28} , E/C, le dosage en ciment) ;
- Malaxage ;
- Délais et moyen de transport
- Mise en place et vibration.

L'eau potable de la ville est utilisable dans la préparation des bétons, avec la recommandation de la refroidir en la stockant durant la nuit où l'eau à la source atteint une température de 35°C (cas rencontrés en été). En effet le rapport E/C n'est pas respecté, et c'est la cause fondamentale de la mauvaise qualité du béton. L'augmentation de la quantité d'eau (pour la maniabilité), même si on augmente la quantité de ciment (pour la qualité), pour préserver un rapport E/C optimal mais augmente le prix du mélange dont le ciment est l'ingrédient le plus coûteux. Cependant l'utilisation des adjuvants permis de dénouer cette impasse et de crée des mélanges maniabiles et de bonne qualité, qui restent économiques

Le bétonnage à des températures élevées (> 35°C), engendre une résistance à long terme plus faible, à cause de l'hydratation trop rapide du ciment et une évaporation importante de l'eau. La vitesse d'hydratation étant proportionnelle à la température de mûrissement, il est évident que la résistance du béton est alors accélérée. L'évaporation est aussi plus forte, ce qui augmente le retrait plastique et les risques de fissuration du béton. Lorsque la température augmente à la fin du printemps, la durée d'ouvrabilité et le délai de mise en œuvre peuvent être conservés par adjonction de fluidifiants ayant un léger effet retardant. En été, il est nécessaire d'utiliser des retardateurs plus efficaces, afin d'éviter un raidissement et une prise trop précoces. Sinon il faut éviter au maximum le coulage du béton pendant la période chaude.

Alors, il est confirmé que la qualité des constituants du béton est un facteur fondamental influent sur la dégradation des ouvrages en béton armé dans la région de kenchela. Ce qui exige dorénavant un contrôle strict et intensif envers les carrières et les sablières de la région. Ainsi qu'une information précise doit être communiquée à toutes les entreprises de construction sur les facteurs de dégradations et la gravité des conséquences si on n'arrive pas à les maîtriser.

Les différentes opérations de la mise en œuvre ont un rôle très important dans la qualité du béton. Un travail inadéquat (les défauts cités dans la partie 1), peut occasionner certains problèmes comme : ségrégation, ressuage, présence de vides dans la masse de béton, étanchéité réduite, mauvaise adhérence entre les différentes couches de béton, etc. Ces défauts engendrent une diminution de la résistance et de la durabilité du béton, comme la durée de mûrissement qui doit être assez longue, sinon la résistance et la durabilité du matériau pourront s'en trouver amoindries. Sur la majorité des chantiers, les méthodes de cure sont absentes, et si une cure est exécutée, elle consistera à un arrosage à l'aide d'un tuyau.

Le défaut de conception le plus rencontrée, est lié aux problèmes d'étanchéité, ce qui engendre une dégradation du béton due à l'effet des eaux pluviales. Sans oublier l'absence des joints de chaussée dans la plupart des ponts qui permet l'écoulement des eaux pluviales à travers les endroits les plus critiques.

II.2-RECOMMANDATION :

Cependant, dans les conditions normales, il est recommandé de ;

- Le béton doit obligatoirement être mis en œuvre pendant les 120 minutes à compter à partir du départ de la centrale.
- De plus le béton doit être mis en œuvre au plus tard 30 minutes après son déversement.
- Le serrage du béton se fait exclusivement par vibration dans la masse et par couche d'une épaisseur maximale de 30 cm.
- Le bétonnage est interdit par pluie abondante ou lorsque la température est supérieure à 35°C.
 - ✓ [™] Les recommandations essentielles concernant le bétonnage pendant les périodes des grandes chaleurs afin que la durée d'ouvrabilité et le délai de mise en œuvre restent à peu près constants tout au long de l'année (été et hiver), les délais d'ouvrabilité réduits en été sont compensés par :
 - Il est préférable de procéder à un coulage pendant la nuit, pour éviter le bétonnage dans une ambiance où il fait plus de 40°C ;
 - Sinon le béton normal doit être retardé par l'utilisation d'un retardateur de prise ;
 - Imprégner le coffrage d'eau avant le bétonnage ;
 - Refroidissement des graviers par arrosage ou isolation dans un silo à granulats à l'abri du soleil ;
 - Eviter l'utilisation des ciments à forte chaleur d'hydratation ;
 - Eviter le surdosage en ciment.
 - Dans la mesure du possible utiliser une eau de gâchage fraîche en été ;
 - Ne pas malaxer le béton trop longtemps ;
 - La protection du béton frais contre les vents secs ;
 - Procéder à une cure du béton au moins pendant les premiers sept jours, mêmes en utilisant des moyens traditionnels ;
 - Bonne organisation du chantier, afin que la mise en œuvre (le compactage et le traitement ultérieur) puisse s'effectuer aussi rapidement que possible.

- Aménager les horaires de travail pour procéder au bétonnage le soir ou la nuit, lorsque la température et l'évaporation sont réduites ;
- Eviter d'exposer le ciment à des températures trop élevées, ce qui risquerait de provoquer une prise – éclair, durcissement presque instantané du ciment mis en contact avec l'eau. [47]

Utilisation des produits de cure externes convienne pour les surfaces de béton non pigmentées, sur lesquelles on n'applique plus de couche. Les bétons qui seront enduits de résine synthétique, présentant une mauvaise accessibilité seront idéalement fabriqués en utilisant un produit de cure interne. Après le bétonnage, la protection contre la dessiccation est déjà existante et la poursuite des travaux de construction n'est pas affectée par les travaux de cure. Les coûts et les risques d'erreur liés à une cure conventionnelle sur le chantier sont supprimés. Dans des conditions extrêmes, lorsqu'il y a beaucoup de vent, que l'humidité relative de l'air est faible et/ou que la température est élevée, il convient de prendre des mesures supplémentaires. On peut par exemple décoffrer plus tard, mettre un paravent en place, recouvrir de films ou arroser.

- ✓ Les ouvrages dégradés dus à des défauts de conception surtout dans le cas de l'autoconstruction ont été révélés de l'absence de plusieurs connaissances chez les exécutants, il est recommandé de rappeler les principales connaissances qui doivent être prise en compte :

II.2. 1-Exécution :

- L'enrobage des armatures est d'au moins 3 cm ;
- De plus le béton doit être mis en œuvre au plus tard 30 minutes après son déversement ;
- Les surfaces destinées à la reprise sont rugueuses, nettoyées et enduites d'un lait de ciment ;
- Les ouvrages terminés ou dont la construction est interrompue sont protégés contre la dessiccation et les intempéries.
- la qualité des armatures et du ferrailage
- le maintien de la propreté des constituants (béton, coffrage et acier)
- la ségrégation du béton
- le temps de malaxage - le délai de mise en œuvre

II.2.2-Aspect du béton :

Le béton apparent possède une surface devant satisfaire certaines exigences techniques. il convient de tenir compte que l'utilisation de méthodes de mise en œuvre propres et précises est très importante telles que :

- Utiliser des coffrages en bois propres, usagés, présentant une absorption homogène ;
- Veiller à ce que le coffrage soit parfaitement étanche au niveau des joints ;
- Appliquer très régulièrement une huile de décoffrage de haute qualité ;
- Compactage optimal, et ne pas vibrer trop près du coffrage ;
- Eviter dans la mesure du possible les joints de travail ;
- Cure optimale, enlever le coffrage aussi tard que possible. Ces mesures ont également des effets bénéfiques sur la durabilité du cœur du béton.

- ✓ Il est recommandé de fabriquer des bétons dont la plasticité, doit être mesurée par l'affaissement du béton dans le cône d'Abrams, sur place avant le coulage dans le coffrage.
- ✓ L'utilisation du béton dans la construction des ouvrages nécessite un contrôle des qualités de ce matériau, en particulier sa résistance. Ce contrôle est tellement nécessaire et les dépenses supplémentaires qu'il entraîne inévitablement sont justifiées. Il ne faut pas oublier que le béton est un matériau dont la composition et la préparation sont effectuées sur chantier par un personnel insuffisamment qualifié et que, pour garantir la qualité du matériau encore sous forme de béton frais, il est évident qu'il soit fréquemment de contrôler la qualité des matériaux employés, la composition et le malaxage du mélange. Mais ce béton qui est mis en œuvre dans des coffrages n'est pas un matériau simple et stable car il en cours d'évolution rapide. Un contrôle doit donc être exercé sur la qualité du béton après durcissement concernant la résistance et la durabilité.

Ce contrôle doit être exécuté par du personnel qualifié pour que son rôle soit avant tout préventif : par exemple, contrôler la qualité des granulats sur le camion à l'arrivée au chantier, ne serait-ce que par un simple coup d'œil (calibre et propreté en particulier); prévoir des dispositions permettant d'assurer correctement une précision suffisante des dosages qu'ils soient pondéraux et volumétriques et il faut les contrôler. Il faut surveiller aussi le malaxage, le dosage en eau et la plasticité, le transport, la mise en œuvre et pourchasser toute cause de ségrégation, faire une vibration suffisante mais sans excès, et réaliser une cure efficace du béton contre la dessiccation. Enfin, il faut contrôler la résistance du béton par des prélèvements pour confection d'éprouvettes permettant de vérifier que la résistance demandée est bien atteinte et cela arrivera que lorsque les conditions précédentes aient été satisfaites.

La conservation des ouvrages comprend l'ensemble des dispositions à prendre pour garantir la durabilité des ouvrages, elle commence après la réception de l'ouvrage et s'étend avec la durée d'utilisation de celui-ci, car le non suivi des ouvrages permet le développement et l'aggravation des dégâts qui peut causer à long terme la ruine de l'ouvrage. Ce qui explique l'importance du facteur d'entretien durant la vie de l'ouvrage.

La conservation des ouvrages, suit des activités divisées en deux phases :

- **La surveillance** : a pour objectif d'apprécier l'état de l'ouvrage et de ses éléments et les mesures à prendre et elle comporte :
 - **L'observation** : elle dépend de la conscience du personnel d'exploitation qui doit l'assurer. C'est un contrôle simple et régulier de vérification de l'aptitude au service des éléments de l'ouvrage ;
 - **L'inspection** : c'est pour constater l'état de l'ouvrage en procédant à des examens visuels, pour reconnaître à temps les dégâts touchant l'ouvrage et déterminer leurs origines en détectant les éléments touchés. Cette inspection doit être effectuée tous les cinq ans par un service de contrôle qualifié sur l'ensemble de l'ouvrage, ce qu'on appelle l'inspection principale. Cette dernière est intercalée par des inspections intermédiaires se limitant sur des éléments d'ouvrage bien déterminés pour un suivi d'évolution des dégâts. Et suite à l'apparition d'un événement particulier une inspection spéciale sera effectuée
 - **Le mesurage de contrôle** : c'est des mesures instrumentées lors d'une inspection pour reconnaître à temps un comportement anormal ou une situation où une valeur limite est atteinte.
- **L'entretien** : C'est dans le but de reconstituer, améliorer ou maintenir la sécurité structurale. Il comporte deux niveaux :

- **La maintenance** : C'est un entretien courant pour préserver l'aptitude au service de l'ouvrage par des opérations simples et régulières assurées par le personnel d'exploitation. - La remise en état : c'est des interventions comportant généralement des travaux pour éliminer les causes des dégradations. On l'appelle le gros entretien.

CONCLUSIONS GENERALES

La dégradation des ouvrages dans la région de kenchela est devenue un sujet incontournable, après les problèmes survenus ces dernières années sur des différents sites de la région et pour des ouvrages de toute nature : équipement, habitation et ouvrage d'art.

Les résultats de cette étude permettent d'avoir une bonne connaissance de l'état réel des différents ouvrages réalisés. Même si parfois on ne s'appuie que sur des observations visuelles

Imaginons le nombre de logements menacés par la dégradation à cause de la mauvaise qualité du béton si on n'arrive pas à maîtriser les lacunes, puisqu'on a conclu que :

- Les ouvrages présentent de nombreux désordres qui auraient pu et dû être facilement évités si les causes qui les génèrent avaient été maîtrisées ;
- Les structures déjà réparées peuvent subir un certain nombre de désordres dont l'origine n'apparaît pas clairement par défaut de diagnostic approfondi ou défaut de réparation ;
- Plusieurs connaissances que l'ont croyaient acquises, des règlements et des recommandations que l'on croyait bien connues étaient souvent négligés.

Les résultats font ressortir un certain nombre de points jugés déjà connus, cependant ils méritent essentiellement de recadrer toutes les observations et les diagnostics en retenant leur prédominance :

- Les défauts ou erreurs de mise en œuvre jouent un rôle primordial dans le vieillissement ou la dégradation des ouvrages.
- Les effets thermiques ont été pendant longtemps insuffisamment pris en compte, même pour les structures plus récentes.

En éliminant les chocs thermiques par l'utilisation des adjuvants et assurer une bonne cure, est la bonne solution pour augmenter la durabilité des constructions, surtout dans le cas de coulage des bétons pendant l'été.

- L'agressivité des sols par la présence des sulfates est le facteur de premier ordre pour la dégradation des ouvrages surtout en infrastructure
- Les défauts de conception est un facteur remarquable dans le domaine de l'auto construction et moins rencontré pour les constructions étatiques ou collectives.
- Le manque d'entretien vient en quatrième position car il cause des désordres moins graves que ceux causés par les autres facteurs, mais ils sont les plus populaires et les plus rencontrés. Et c'est le facteur qui accélère la dégradation.

Vu que le temps de cette recherche est limité, des lacunes sont évidentes, car l'étude s'appuie sur des observations visuelles et peut passer à côté d'informations capitales pour la pérennité des ouvrages existants et les seules données disponibles sont celles obtenues au niveau de l'agence de C.T.C. Est, O.P.G.I., et la direction des travaux publics (D.T.P.)

Le béton peut constituer un matériau de construction présentant une durabilité exceptionnelle sans qu'il soit nécessaire de recourir à des mesures de protection de surfaces spécifiques, sous réserve que sa composition soit correcte et sa mise en œuvre réalisée avec soin. Au cours des dernières décennies, l'utilisation d'ajouts et/ou d'adjuvants s'est avéré être un choix technologique judicieux pour parvenir à ces résultats. La meilleure solution pour combattre les effets de la corrosion de toute nature est un béton de hautes performances exemptes de fissures et imperméable à l'eau avec une couverture généreuse. La qualité du béton peut être augmentée considérablement par un rapport E/C très bas, sous réserve d'utiliser un super-fluidifiant permettant de préserver une ouvrabilité et une compactibilité satisfaisantes.

L'expertise des ouvrages est une discipline qui se base sur une profonde connaissance sur le comportement des matériaux, c'est donc un art qui mérite la même valeur que de celui de construire. Et il doit être intégré dans la formation de l'ingénieur pour que ce dernier puisse reconnaître et éviter les défauts touchants les structures.

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BARON J. & OLLIVIER J. P., «La durabilité des bétons», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1996, 453 p.
- [2] KREIGER P. C., «Facteurs d'environnement affectant les constructions et leur durabilité», Séminaire du 17 au 19 novembre 1981 avec la collaboration de l'UNESCO, organisé par le collège international des sciences de la construction. Institut international d'architecture Méditerranéenne, Conseil international de la langue française, 1983, page 251.
- [3] BARON J. & OLLIVIER J. P., «La durabilité des bétons», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1996, 453 p.
- [4] NEVILLE Adam M., «Propriétés des bétons», édition Eyrolles, 2000, 806 p.
- [5] FIGG J., «Methods of measuring the air and water permeability of concrete», Magazine of concrete research, Vol.25, N°85, 1973, pp 213-219.
- [6] CHANVILLARD G., «Le matériau béton: Connaissances générales», Les cours de l'ENTPE, édition ALÉAS, Octobre, 1999, 174 p.
- [7] RAHARINAIVO A. & ARLIGUIE G. & CHAUSSADENT T. & GRIMALDI G. & POLLET V. & TACHÉ G., «La corrosion et la protection des aciers dans le béton», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1998, 167 p.
- [8] FAGERLUND G., «Studies of the destruction mechanism at freezing of porous materials», Proceeding of the sixth international congress on the problems raised by frost action, Le Havre, France, Fondation française d'études nordique, pp. 166-196.
- [9] SHERGOLD F. A., «The percentage voids in compacted gravel as measure of its angularity», Mag. Concr. Res., 5, N°.13, 1953, pp. 3-10.
- [10] ALEXANDER K. M., «A study of concrete strength and mode of fracture in terms of matrix, bond and aggregate strengths Tewksbury Symp, On Fracture, University of Melbourne, August, 1963, 27 pp.
- [11] BARON J. & OLLIVIER J. P., «LES BETON. Base et données pour leur formulation», édition Eyrolles, 1997, 522 p.
- [12] CALGARO J. A. & LACROIX R., «Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1997, 665 p.
- [13] OLDER I. & ROSSLER M., «Investigations on the relationship between porosity, structure and strength of hydrated Portland cement pastes. II. Effect of pore structure and the degree of hydration», cement and concrete Research, 15, N°.3, 1985, pp.401-10.
- [14] TACHÉ G. & VIÉ D., «Diagnostic des ouvrages en béton armé, facteurs de vieillissement des ouvrages», Centre expérimental du bâtiment et des travaux publics. CEBTP, annales du bâtiment et des travaux public, Février, 1998, pp.27-33.

- [15] CURRIE R. J., «Carbonatation depths in structural-quality concrete», Building Research Establishment Report, Watford, U. K., 1986, 19 pp.
- [16] VENUAT M., «La pratique des ciments. Mortiers, et béton», Tome 2, Pratique du bétonnage – Pathologie et applications. , 2e édition, 1989, 220 p.
- [17] LEBER I. & BLAKEY F. A., «Some effects of carbonatation dioxyde on mortars and concrete», J. Amer. Conc. Inst, 53, Sept, 1956, pp. 295-308.
- [18] VERBECK G. J., «Carbonatation of hydrated portland cement», ASTM, Sp. Tech, Publ. N°.205, 1958, pp. 17-36.
- [19] GIRARD C., «La carbonatation du Béton armé», Division ST–Technical Facilities Management (ST/TFM) CERN, Genève, Suisse.
- [20] «La corrosion des métaux dans la construction», Collège international des sciences de la construction, Eyrolles, 1976.
- [21] CARPIO PEREZ J. J., «Etude de la dépassivation et de la repassivation des armatures métalliques dans les bétons», Document OA9, Laboratoire central des ponts et chaussées, Paris, France, 1991, 168 p.
- [22] TREMBLAY D., «Béton de ciment», TUUTTI K., Corrosio of steel in concrete. , Swedish Cement and Concrete Research Institute, Ed, 1982, 273 p.
- [23] PAPADAKIS V.G.& FARDIS M.N. & VAYENAS C.G., «Effect of composition., environmental factors and cement-lime mortar coating on concrete carbonation, Materials and structures», 25, N° 149,1992, pp 293-304.
- [24] EN 206, «Béton - Part 1: Spécification, performances, production et conformité», Comité Européen de Normalisation (CEN), Bruxelles, 1999.
- [25] MEHTA P.K., «Concrete structure, properties and materials», Prentice-Hall, New Jersey,1986, 450 p.
- [26] LEA F.M., «The Chemistry of Cement and Concrete», Arnold, London, 1970.
- [27] DRON R. & BRIVOT. , «Le gonflement étringitique», Bulletin Liaison Laboratoires Pont et Chaussées, 161, Mai – Juin, 1989, pp.25-32.
- [28] LONGUET P. & BURGLLEN L. & ZALWER A., «La phase liquide du ciment hydraté», Rev. Matér. Constr., 676, 1973, pp. 35-41.
- [29] DIAMON S. & THAULOW N., «A stady of expansion due to alkali-silica reaction as conditioned by the grain size of the reactive aggregate», Cement and Concrete Research, 4, N°. 4, 1974, pp. 591-607.
- [30] HORNAIN H., «Mécanismes physico-chimiques d'alcalis-réactions», Etat des connaissances à travers les derniers colloques, congrès et publications, Béton 303, N°517, Octobre, 1993, pp. 108-109.

- [31] CALLEJA J., «Quelques considérations fondamentales sur le problème de la durabilité du béton, Application aux réactions alcali-granulat», Séminaire du 17 au 19 novembre 1981 avec la collaboration de l'UNESCO organisé par le collège international des sciences de la construction. Institut international d'architecture Méditerranéenne, Conseil international de la langue française, 1983, pp.1-33.
- [32] BUCK A.D., «Control of reactive carbonate rocks in concrete – Tech.», Report C 75-3, US Waterways Experimental Station, 1975.
- [33] HADLEY D. W., «Alkali reactivity of carbonate rocks ; expansion and dedolomitizationProc», Highway Res, Board, 40, 1961, pp. 462-474.
- [34] REGOURD M., «Altération et durabilité des bétons», Centre d'études et de recherches de l'industrie des Liants Hydrauliques (CERILH), Paris, durabilité des bétons et des pierres, Séminaire du 17 au 19 novembre 1981 avec la collaboration de l'UNESCO. Organisé par le collège international des sciences de la construction. Institut international d'architecture Méditerranéenne, Conseil international de la langue française, 1983, page 109.
- [35] WHITING D., «Durabilité of high-strength concrete, in: Concrete durability», K. And B. Mather intern. Conf., J.M. Scanlon, Ed., 1987, ACI, SP-100, 1, pp. 169-186.
- [36] POWERS T.C., «Resistance to weathering – freezing and thawing», ASTM Sp. Tech. Publ. N°169, 1956, pp 182-7.
- [37] ACI 201.2R-92, «Guide to durable concrete», ACI Manual of concrete practice, Part 1: Materials and General properties of concrete, Detroit, Michigan, 1994, 41 pp.
- [38] KOZIREV S. P., «Cavitation and cavitation-abrasive wear caused by the flow of liquid carrying abrasive particles over rough surfaces», Translation by The British Hydromechanics research Association, Feb, 1965.
- [39] «Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie», Béton projeté, Norme NF P 95-102, juin, 1992.
- [40] ACKER P., «Retrait et fissuration du béton», Documents scientifiques et techniques de l'Association française pour la construction, septembre, 1992.
- [41] CEB Bulletin d'information, «Durable concrete structures», No. 183, 1992.
- [42] JAEGERMANN C., «Problèmes d'altérations et de durabilité du béton sous les climats chauds», Séminaire du 17 au 19 novembre 1981 avec la collaboration de l'UNESCO, organisé par le collège international des sciences de la construction. Institut international d'architecture Méditerranéenne, Conseil international de la langue française, 1983, page 254.
- [43] GJØRV O. E. & VENNESLAND O., «Sea salts and alkalinity of concrete», ACI Journal, 73, N°9, 1976, pp. 512-16.

[44] FARGEOT B., «Les facteurs d'influence sur le vieillissement des ouvrages d'art», Rapport de synthèse du projet national KRONOS1, Annales du bâtiment et de travaux publics, Septembre, 2000, pp. 43-50.

[45] LACROIX R., «Maintenance et réparation des ponts», Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, 1997, pp 11-17.

[46] l'office de promotion et de gestion immobilière (O.P.G.I.) kenchela.

[47] Selma HAOUARA, mémoire de magister, spécialité : génie civil, université de Biskra

[48] contrôle technique de la construction de l'est C.T.C.-EST, agence de kenchela.

