REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AHMED DRAIA- ADRAR
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TECHNOLOGIE
OPTION : MATERIAUX EN GENIE CIVIL

جامعة أدرار - الجزائر

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER EN GÉNIE CIVIL

Thème :

Dégradation des bétons en zones arides

Présenté par :

➥ HADJARI Fatima Zohra

Devant le jury composé de :

Mr. ABDELDJALIL. M.	Univ. d'ADRAR	Président
Mr. HAMOUDA. A.	Univ. d'ADRAR	Examinateur
Dr. DJAFARI. D.	Univ-ADRAR	Encadreur

Année Universitaire : 2020 / 2021

DEDICACE

Je dédie le fruit de ce travail

A mes très chers parents.

A mon fiançai.

A tous les membres de ma famille

A tous mes amis.

A tous les étudiants de Génie civil.

Remerciement

Louange à Dieu tout puissant pour tout ce qu'il m'a donné afin que je puisse terminer ce travail.

Tout d'abord, je tiens à remercier tout particulièrement mon encadreur du mémoire, Dr DJAFARI Driss.

Je remercie tous mes enseignants de l'Université d'Adrar qui m'ont enseigné tout au long de formation en licence et en master. Mes remerciements vont spécialement à Mr M'HAMMED Abdeljalil et Dr BENNACER Lyacine, pour leur soutien moral.

Résumé

Le phénomène de dégradations des bétons en zones arides est une fonction à multi-variables et parfois à une forte combinaison de ces variables. Le présent travail est une synthèse bibliographique sur les causes internes (endogènes) et externes (exogènes) des structures en bétons en zones arides sur leurs durabilités. Les solutions proposées pour la réhabilitation des structures en bétons dégradés en zones arides sont parmi les objectifs de ce travail.

Mots clés : Zone aride, Béton, Durabilité, Environnement et Dégradations.

Abstract

Concrete deterioration in dry areas is a multivariate phenomenon and sometimes the result of several environmental variables. This work within the framework of a bibliographical synthesis of the internal and external causes of concrete structures in dry areas on their durability and sustainability. Suggested solutions to rehabilitate degraded concrete structures in arid areas are among the objectives of this work.

Keywords: Dry area, Concrete, Sustainability, Environment, Degradation.

ملخص

تدهور الخرسانة في المناطق الجافة هي ظاهره متعددة المتغيرات وفي بعض الاحيان محصله عده متغيرات بيئية. هذا العمل يندرج في إطار توليف ببليوغرافي للأسباب الداخلية (الداخلية) والخارجية (الخارجية) للهياكل الخرسانية في المناطق الجافه على متانتها واستدامتها. الحلول المقترحة لإعادة تأهيل الهياكل الخرسانية المتدهورة في المناطق القاحلة هي من بين أهداف هذا العمل.

الكلمات المفتاحية: المنطقة الجافة، الخرسانة، الاستدامة، البيئة، التدهور.

TABLE DE MATIERES

Introduction générale

CHAPITRE I : les facteurs climatique en zone aride

I.1. Introduction…….....1

I.2. Les zones arides en Algérie…… ……..... 2

I.3. Les facteurs du climat aride et chaud…….....….4

I.3.1. Température…….....4

I.3.2. Humidité relative…….....6

I.3.3. Radiation solaire…….....6

I.3.4. Les vents…….....6

CHAPITRE II : Comportement du béton sous conditions environnementales extraimes.

II.1. Généralité…….....……8

II.1.1. Caractéristique de béton frais…….....……...8

II.1.1.1. Dimensions des granulats …….....……..8

II.1.1.2. Ouvrabilité …….....8

II.1.1.3. Caractéristiques physiques …….....8

II.1.2. Caractéristiques de béton durci…….....……..9

II.1.2.1. La résistance à la compression …….....……...9

II.1.2.2 La résistance à la traction …….....……...9

II.1.2.3. Retrait…….....…….9

II.1.2.5. Dilatation…….....……...10

II.2. Matériaux béton…….....……...10

II.2.1. Granulats…….....……...10

II.2.1.1 Origine et formation…….....……..11

II.2.1.2. Classes granulaires.....…11

II.2.1.3.1. Caractéristique importantes des granulats…….....……..12

II.2.1.3.1. Caractéristiques mécaniques …….....…..…12

II.2.1.3.2 caractéristiques physiques ……..……13

II.2.1.3.2.1. Masse volumique et notion associée …….....13

II.2.1.3.2.2. porosité…….....….....13

II.2.1.3.2.3 compacité…….....……..…....13..

II.2.1.3.2.4. la densité…….....……..…..13

II.2.2. Ciment 13

II.2.2.3. Fabrication du ciment …….....……...14

II.2.2.4. Caractéristiques de ciment…….....……..…...14

II.2.2.4.1 caractéristiques mécaniques…….....……..14

II.2.2.4.2. Caractéristiques physiques.....….....15

II.2.3. Eau de gâchage …….....…….....16

II.2.3.1. Catégorie des eaux.....….....17

II.2.3.2. Caractéristiques l'eau de gâchage …….....……....17

II2.3.2.1. Caractéristiques physique……...…….....…….17

II 2.3.2.2. Caractéristique chimique …….....……17

Chapitre III : les dégradations du béton

III-1 Introduction …….....….....……...19

III-2 Pathologies des ouvrages …….....…….…..…19

III-3 Pathologies structurales .....….....20

III-3-1 Description et phénomène des dégradations potentielles...../..…....20

III-3-2 Les principales causes physique de la dégradation structurale….....…20

III-3-3 L'origine des dégradations …….....…..…20

IIII-4 Cas des constructions en béton armé…….....22

III-5 Les causes de dégradation du béton…….....23

I-5 Retrait .....…..23

I-5-1 Retrait de séchage…….....……...23

I-5-2 Retrait plastique …….....……...23

I-5-3 Retrait endogène …….....……...24

I-5-4 Retrait thermique …….....……..…25

II- Erosion du béton…….....…...…26

III-La corrosion .....….....26

III-1 Aperçu général sur la corrosion du béton…….....…….....27

III-2 Processus de la corrosion…….....…….....27

III-3 Facteurs influents la corrosion …….....…….29

III-3-1 Les ions chlorurent .....….....29

III-3-2 La température ……..….....…....31

IV- Causes dues aux variantes de température ambiante…….....….32

V- Causes dues au milieu environnement…….....…33

V-1 Classification des environnements agressifs …….....…….33

VI – Conclusion générale 37

Bibliographie 39

Listes des figures

Figure I.1 : Variation annuelle de la température et de l'humidité relative en zone aride….....…....3

Figure 1.2 : Effet de facteurs climatiques en zones aride sur l'évaporation ……..5

Figure II.1. Série des tamis …….....…..12

Figure III.1. Causes physiques de la détérioration du béton…… ….....…....21

Figure III.2 Fissure vertical au niveau de clôture…….....……..…..23

Figure III.3. Le soulèvement du dallage à provoquer l'éclatement du carrelage 23

Figure III.4. Flambement du poteau.....….....23

Figure III.5. Retrait de béton.....….....25

Figure III.6. Fissurométre .....…....26

Figure III.7. Érosion du béton .....….....27

Figure III.8. Représentation schématique de processus de base de la corrosion..….....28

Figure III.9. Les étapes de la corrosion des aciers dans le béton…….....……....…..28

Figure III.10. Modèle de PAGE .....….....30

Figure III.11. Corrosion piqures liée aux chlorures ……...……..….31

Figure III.12. fissure transversale dans la corniche et l'acrotère .....…....32

Figure III.13.l'eau qui traverse les fissures …….....…..33

Figure III.14 les types des agents agressifs d béton……..…....34

Figure III.15 les attaques sulfuriques sur un poteau …….....…34

Figure III.16 éprouvette de béton dégradée après 5 ans du contact avec des sols riche en sulfate …….....…..35

Figure III.17 agression du béton par activité des chlorures ……...….....35

Liste des tableaux

Tableau I.1. Les zones-arides et semi-aride en Algérie ……..….2

Tableau II.1. Résistance maximale et minimale de ciment ……15

Tableau II.2. Les valeurs garanties que la fabrication doit respecter à 100%.....15

Tableau II.3. Quantité nécessaire d'eau …….16

Tableau III.1.Principales dégradation en fonction des conditions climatique …..….22

Introduction générale :

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Ses caractéristiques de résistance mécanique, thermique, d'isolation phonique et son aptitude au vieillissement lui accepté une place importante dans le domaine de construction et travaux publics.

Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

Pour assurer la durabilité des bétons, il faut non seulement s'intéresser aux méthodes de formulation, de fabrication et de la mise en œuvre, mais aussi aux conditions d'environnement.

Les travaux de recherches effectués sur la durabilité des bétons ont montrés que l'impact environnemental joue un rôle très important. Dans ce contexte les milieux extérieurs sont considérés agressifs pour les bétons.

Les sulfates représentent un risque majeur d'agression chimique pour le béton. Ils sont parmi les causes plus rencontrées de la dégradation des ponts dans le monde après la corrosion des armatures.

Le présent manuscrit entre dans le cadre d'une recherche bibliographique sur les conditions et fortes paramètres environnementaux activant le phénomène de dégradation des bétons en zones arides (Cas des zones arides en Algérie), Ce mémoire est composé de trois chapitres et une introduction générale ainsi qu'une conclusion générale.

Le premier chapitre est consacré pour mètre en reliefs les facteurs climatiques déterminants les zones arides. Le deuxième chapitre a fait l'objet du comportement du béton sous conditions environnementales entraimes. Le dernier chapitre est consacré aux causes de dégradations de bétons en zones arides et enfin une conclusion générale rassemble toutes les remarques et notes sur ce phénomène cicatrisant nos structures en bétons.

CHAPITRE I : LES FACTEURS CLIMATIQUES INFLUENÇANT LES STRUCTURES EN ZONE ARIDE

-1 introduction :

Un climat aride est un climat caractérisé par une sécheresse et une aridité permanente qui dure toute l'année, un manque important d'eau liquide au sol et dans l'air ambiante (on parle plus précisément d'aridité) ce qui restreint fortement le développement de la vie animale et végétale Un indice était développé par E. Martonne en 1926 permet la caractérisation de l'aridité, il s'agit de calculer la moyenne annuelle des précipitations en mm par la température moyenne augmentée de 10°, soit P/(T+10). Ce quotient est inférieur à 5 pour les déserts, et compris entre 5 et 10 pour les bordures.

Les zones chaudes se caractérisent par une durée d'ensoleillement très importante atteignant 3500 à 4000 heures par an et une faible humidité relative exceptées. Ces zones se caractérisent aussi par des vents forts.

D'après les caractéristiques citées auparavant, il est temps pour que notre pays « Algérie » dois prendre en considération ces effets pour étoffer les normes utilisées pour la fabrication des bétons.

- **Indices d'aridité :**

. Il existe une multitude d'indices et de formules, certaines basées sur des critères climatologiques, d'autres biogéographiques. Parmi tous ces indices, les plus connus restent ceux d'Emmanuel de Martonne (1926 à 1941et de Bagnouls et Gaussen (1953 à 1957)

- **Indice d'aridité de Martonne :**

L'indice d'aridité de Martonne, noté I, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. :

$$I = {}^{P}/_{T} + 10 \qquad \text{I, 1}$$

P désigne les précipitations totales annuelles et T la température moyenne annuelle;

Pour un mois :

$$I = 12P/\ T+10 \qquad \text{I, 2}$$

Où P désigne les précipitations totales mensuelles et T, la température moyenne mensuelle

- **Indice de Gaussene :**

  Selon Gaussen, un mois est dit aride, quand :

$$p < 2 \times T \qquad \text{I, 3}$$

P : précipitations totales en millimètres sur 1 mois.

T : température moyenne en °C sur le même mois.

I.2. Les zones arides en Algérie :

Zones arides :

Deux million de Km² est la superficie de zones arides (Tableau I.1) couvrent le territoire Algérien, c'est une partie du grand Sahara qui s'étend du Maroc à l'ouest à la Libye à l'est. Elle est caractérisée par ses Les températures élevées excédant parfois 50 °C durant les mois chauds, au contraire durant l'hiver qui se caractérise par de très basses températures **[1]**

A travers les informations et caractéristiques des zones arides (Figure I.1), il est clair qu'elles influent sérieusement sur le bétonnage ce qui va accélérer la dégradation des structures en béton

Les zones semi –arides	*Les zones arides*
Laghouat	Adrar
Djelfa	Béchar
Saïda	Ain Salah
El-Beidh	Tindouf
Ghardaïa	Biskra
Tbessa	Ouargla
Tiaret	Ilizi

Tableau(I.1) : Les zones –aride et semi- aride en Algérie

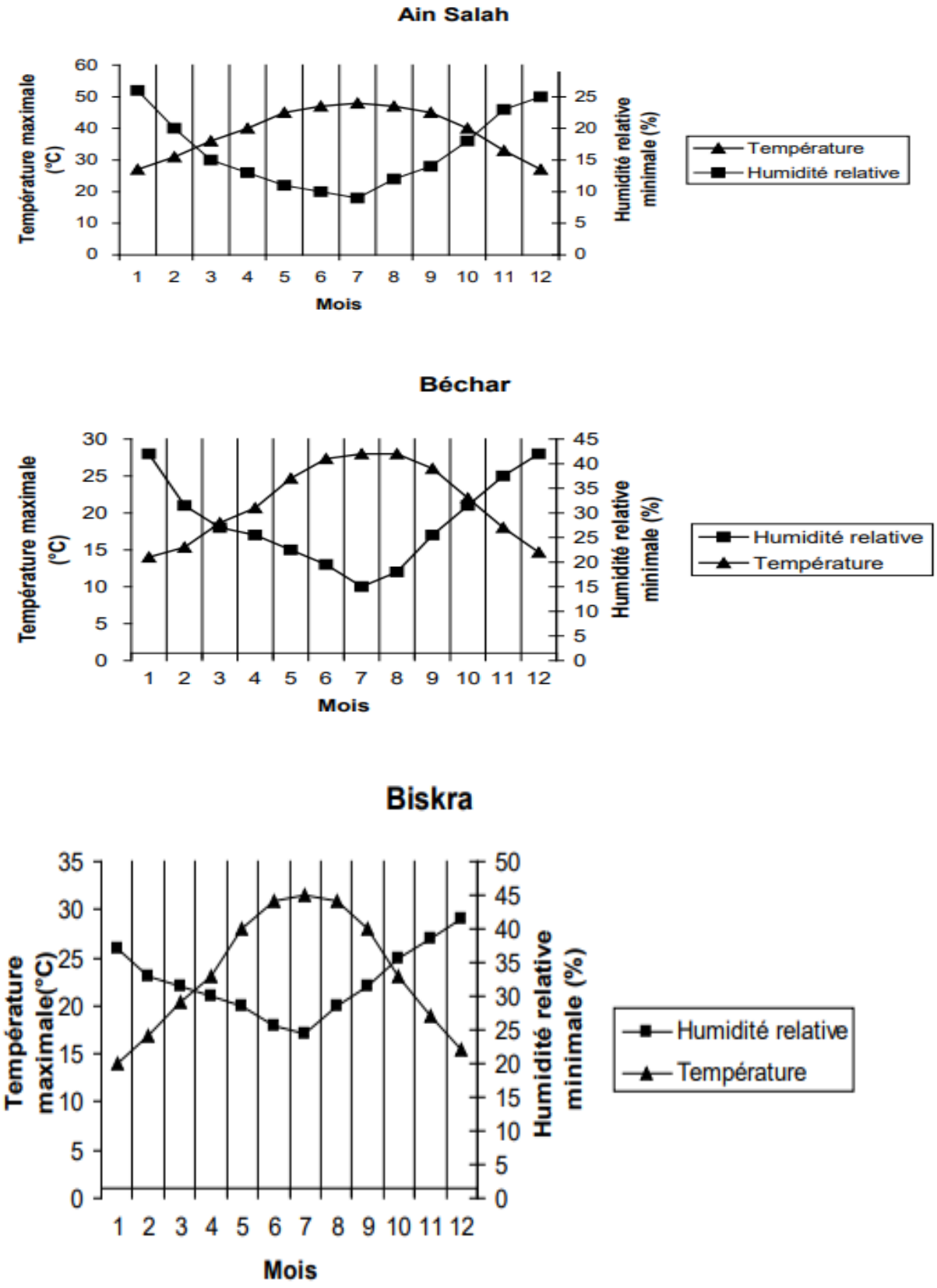

Figure I.1 : Variation annuelle de la température et de l'humidité relative en zone aride. **[1]**

1-3 Facteurs des climats chauds :

Les zones arides sont caractérisées par trois importants actes environnementaux tel que :

1. La haute température ;
2. La faible humidité relative ;
3. Le vent à grande vitesse. (Figure I. 2)

La combinaison des trois événements conduit sans doute à l'endommagement du béton. A l'état frais et température élevée on aura une accélération d'évaporation d'eau, les mouvements thermiques et les contraintes deviennent importants, les réactions chimiques sont accélérées.

1-3-1 Température :

La température journalière, en Algérie, atteint souvent 40 ° C sur les côtes et plus que cela à l'intérieur durant les mois de mai, juin, juillet et août (les mois les plus chauds de l'année). La température moyenne maximale, en été, peut dépasser 45 ° C, alors que la moyenne minimale s'étale de 25 ° C à 30 ° C, pour la même période. Quand cette température ambiante est combinée avec 11 heures d'ensoleillement direct, il est compréhensible que la température à la surface du béton et du coffrage puisse être aussi élevée. De plus, une variation de plus de 20 ° C peut arriver en 24 heures au sud, ce qui provoque de sévères contraintes thermiques dans le béton et spécialement quand il est ferme. **[1]**

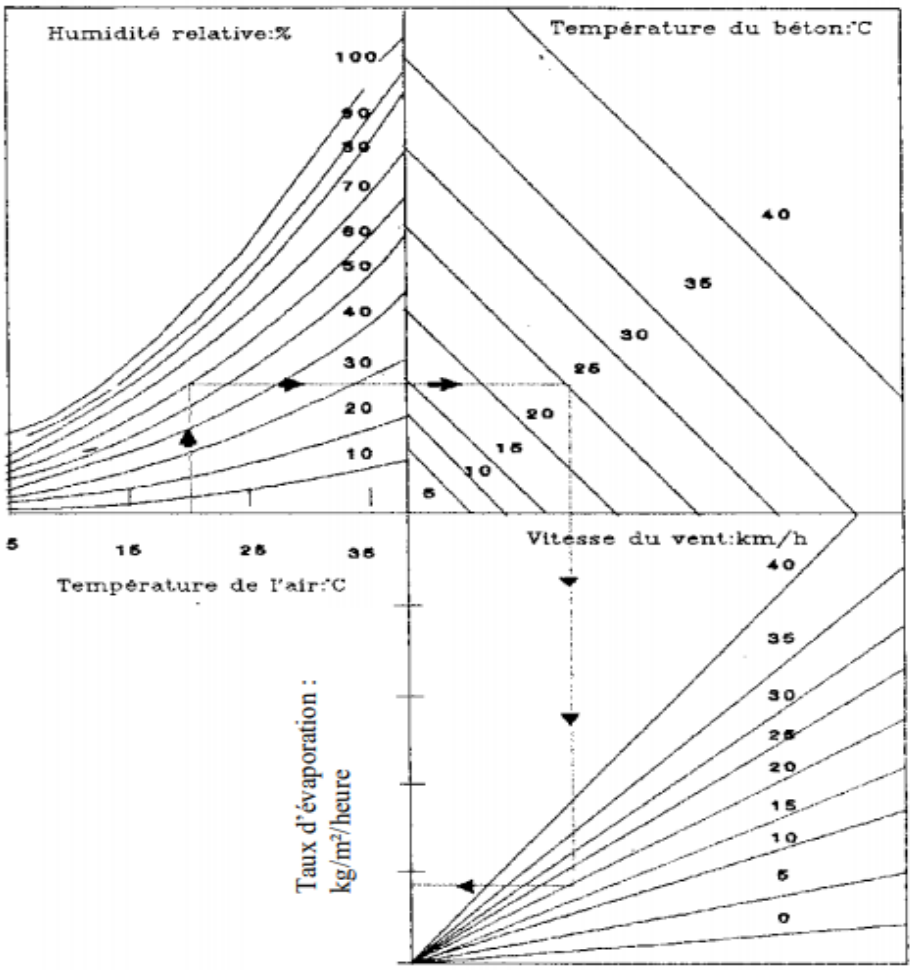

Figure 1.2 : Effet des facteurs climatiques en zone aride sur l'évaporation. **[1]**

1-3-2 Humidité relative :

L'humidité relative de l'air ou degré hygrométrique, couramment notée φ, correspond au rapport de la pression partielle de la vapeur d'eau contenue dans l'air sur la pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur) à la même température. Elle est donc une mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale à en contenir dans ces conditions. Ce rapport changera si on change la température ou la pression bien que l'humidité absolue de l'air n'ait pas changée. Elle est mesurée à l'aide d'un hygromètre.

A noté qu'une augmentation de la température est souvent accompagnée par une réduction de l'humidité relative.

1-3-3 Radiation solaire :

La haute radiation solaire peut résulter en un échauffement d'une série de matériaux et matériels utilisés dans la production du béton, résultant en une haute température initiale du mélange. Les cieux au sud du pays sont généralement clairs. Les moyennes journalières des heures d'ensoleillement sont de 7 à 8 heures en hiver et de 10 à 11 heures en été. **[1]**

1-3-4 Vents :

Les **vents** sont le mouvement au sein d'une atmosphère , les vents des zones- arides sont caractérisés par la sécheresse et la température élevée en plus de la vitesse du vent, ce qui affecte négativement la sécurité et la durabilité du béton.

Conclusion :

Comme c'est cité auparavant, le tiers de la surface du territoire Algérien forme les zones arides et semi-arides. Ces zones sont caractérisées par une forte température et une basse humidité durant toute l'année. Pour cela plusieurs recherches ont étudiées l'impact de ces facteurs sur la durabilité et les caractéristiques des structures en béton.

CHAPITRE II : COMPORTEMENT DU BÉTON SOUS CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES EXTRAIMES.

II-1 Généralité :

Le béton occupe une place prépondérante parmi les principaux des matériaux de construction.

Le béton est un mélange de plusieurs composants très différent dont les uns sont actifs et les autres inertes présentent des caractéristiques qui sont fonction de celle de ces composants.

La multiple possibilité d'emploi du béton impose de définir parfaitement ses caractéristiques physiques dans les deux états frais et durci. **[3]**

II.1.1.Caractéristiques de béton frais :

L'ouvrabilité du béton reste parmi les objectifs les plus cherchés en état frais. Cette caractéristique est fortement liée x granulats utilisés dans la composition de ce béton.

II.1.1.1.dimensions des granulats :

Il ne faut pas perdre de vue qu'un béton tire du granulat une bonne part de sa résistance et plus particulièrement du gros granulat. d'où la nécessité d'employer des granulats de qualité, et de dimension maximale.la pate de ciment intervenant comme une sorte de « colle » entre les différentes grains du granulats, le dosage en ciment devra être d'autant mus élevé que les grains seront plus fin ;en effet, si l'on considère la surface spécifique d'un granulat (surface totale des grains par unité de volume) cette surface qui « consomme de la colle « si l'on peut dire décrit rapidement en fonction de la grosseur des grains ».

II.1.1.2 Ouvrabilité :

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du béton frais; une bonne ouvrabilité comporte une marge de sécurité. L'ouvrabilité dépend de la qualité de l'ouvrage ; la compacité et la résistance réelle du béton dans l'ouvrage lui-même.

II.1.1.3. Caractéristiques physique :

La compacité et la porosité sont des caractéristiques physiques essentielles du béton.

- La compacité est améliorée en augmentant la proportion d'élément fin dans les granulats.

Une bonne compacité est de l'ordre de 0.85 pour le béton fabriqué sur le chantier entraine une meilleur résistance aux contrainte mécanique et une bonne durabilité.

- La porosité est inférieure à 3% pour les bétons à très faible permutabilité destinés des ouvrages particuliers tell que radiers, tuyaux, ect ...

II.2.2. Caractéristiques mécaniques du béton durci :

Le béton a son état durci est caractérisé par sa résistance mécanique importante à la compression et sa faible « relativement » résistance à la traction.

II..2.1 La résistance à la compression :

La résistance à la compression est la caractéristique fondamentale du béton durci. Elle varie en fonction de l'âge du béton et augmente dans le temps. Le béton est défini par la valeur

De sa résistance à la compression à 28 jours (fc_{28}). Elle dépend de plusieurs paramètres tel que : la classe de ciment, son dosage, la qualité, la quantité d'eau de gâchage, la qualité

De granulats et la proportion de sable ou fin. Elle est mesurée par des essais sur des éprouvettes normalisées. Pour un béton courant la résistance à 28 jours par les formules suivantes :

$$\left.\begin{array}{l} f_{cj} = \frac{f_{c28}}{4{,}76+0{,}93j} j \text{ , si } f_{c28} \leq 40\ MPa \\ f_{cj} = \frac{f_{c28}}{4{,}76+0{,}95j} j \text{ , si } f_{c28} \succ 40\ MPa \end{array}\right\} \qquad \text{II.1}$$

II.1.2.2 La résistance à la traction :

Peu de recherches ont été faites pour déterminer la résistance à la traction à hautes températures, vu la complexité de la réalisation des essais. La plupart des observations,

De l'évolution de la résistance en traction en fonction de la température, sont réalisées après

Le refroidissement par fendage

II.1.2.3 retrait :

Le retrait est une diminution de volume liée à la dessiccation du béton, au moment de la mise en œuvre puis au cours du vieillissement de l'ouvrage. Cette diminution crée des contraintes de traction dans le matériau. Si ces contraintes sont plus importantes que la limite de rupture du béton, il y a rupture du matériau, ce qui se traduit par des fissures.

II.1.2.4 Dilatation : [3]

Le coefficient de dilatation thermique du béton est évalué à 10×10^{-5}, pour une variation de ± 20 c° on obtient $\frac{\Delta l}{l} = \pm$ 2% $\times$ longueur, il dépend en particulier de la nature et de la qualité propre du béton.

Pour un chainage en B.A de 20 m de longueur et un écart de température de 20 c °, on a une dilatation de : 2%×2000 cm = 0.4 cm.

II.1.2.5. Fluage :

C'est un phénomène de déformation différée sous l'effet d'une charge fixe indéfiniment appliquée. Lorsque le béton est soumis à une charge extérieure permanente, outre une déformation instantanée au moment du chargement et une déformation de retrait.

Le fluage dépend essentiellement :

- De la charge appliqué ; sous des charges modérés (celle aux quelle, sont soumis les ouvrages d'art), on peut considérer qu'il est proportionnel à la charge appliquée.
- De l'âge auquel s'effectue le chargement.
- De la nature du béton ; le module d'élasticité du béton est en général un bon indicateur ;
- De ferraillage des pièces.

II.2. Matériau béton :

Le béton est un matériau artificiel fait de cailloux, de graviers et de sable, réunis entre eux au moyen d'un liant généralement hydraulique. Familier. Tout ce qui **est** solide, inattaquable, sûr ou bien peu malléable, rigide. [3]

III.2.1. Granulats :

Le béton est un matériau composite utilisé largement dans le monde de la construction.
Il est constitué par de matériaux granulaires (sables, graviers) enrobés par un liant hydraulique comme par exemple le ciment ou le bitume.

.

II.2.1.1. Les granulats : Origine et formation:

Les granulats naturels viennent toujours de banc de roche massive. Les granulats d'un gravier se distinguent par leurs formes : sphérique, cubiques et allongées.

Ces granulats « roulés » de formes généralement arrondie, sont plus naturellement utilisés dans les bétons, car ils sont souvent utilisables tel qu'eux même si un simple lavage s'avère parfois nécessaire pour fraction argileuse et fournissent du béton de bonne maniabilité.

II.2.1.2. Classes granulaires :

Les granulats sont définis comme l'ensemble des grains inertes compris entre 0 mm et 40 mm (sable, graviers et cailloux) dont l'origine peut être naturel ou artificiel [NF P 15-010] [13].

Les dimensions de ces granulats varient d'un dixième à plusieurs dizaines de millimètres. La norme française XP P 18-540 donne une définition des principales divisions granulométriques des granulats :

- Sable avec 1 mm< D = 6,3 mm
- Gravillon avec d = 1 mm et D = 125 mm
- Gravier avec D > 6,3 mm.

La classe des granulats est définie par tamisage à travers d'une série de tamis (Figure II.1) dont les mailles ont les dimensions suivant en mm : 0.063 – 0.08 – 0.1 – 0.125 – 0.16 – 0.2 – 0.25 0.315 – 0.4 – 0.5 – 0.63 – 0.8 – 1 – 1.25 – 1.6 – 2 – 3. 15 - 4 - 5 – 8 – 10 – 12.5 – 14 – 16 – 20 – 25 – 31.5 – 40 – 50 – 63 – 80 – 100 – 125 . [5]

Figure II-1 Série des tamis.

A l'aide de ces tamis, on trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamis sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique. Cette dernière ; limite la taille moyenne des grains et la quantité suffisante pour la formulation du béton.

II.2.1.3 Caractéristiques importantes des granulats :

II.2.1.3.1 Caractéristiques mécaniques :

La résistance des granulats de béton joue un rôle très important pour donner une résistance mécanique élevée et propre de béton.

Cette dernière est définie par deux essais géotechniques sur les granulats (essai de LOS ANGELES et MICRO-DEVAL).

II.2.1.3.2. Caractéristiques physique :

II.2.1.3.2.1. Masse volumique et notion associée :

On distingue deux masses volumiques :

A : Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue est donc le rapport de la masse du granulat sur le volume réel auquel on a soustrait le volume des pores (ouverts et fermés). Elle est égale à la masse volumique réelle dans le cas des matériaux non poreux.

B : Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un granulat est la masse volumique d'un mètre cube

du granulat pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

II.2.1.3.2.2. Porosité :

La porosité est l'ensemble des vides (pores) d'un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz). C'est une grandeur physique comprise entre 0 et 1 (ou, en pourcentage, entre 0 et 100 %).

II.2.1.3.2.3.La compacité :

La compacité est le rapport du volume de matière plein au volume total. L'indice de vide est le rapport de la porosité à la compacité.

II.2.1.3.2.4. La densité :

La densité est le rapport entre la masse d'un certain volume d'un corps et la masse d'un égal volume d'eau.

II.2.2 Ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Les ciments peuvent être classés en fonction de leur composition et de leur résistance normale. [9]

II.2.2.1. Fabrication du ciment :

La fabrication de ciment passe par un enchainement de l'extraction de la roche de calcaire jusqu'au broyage du clinker (Figure II.2)

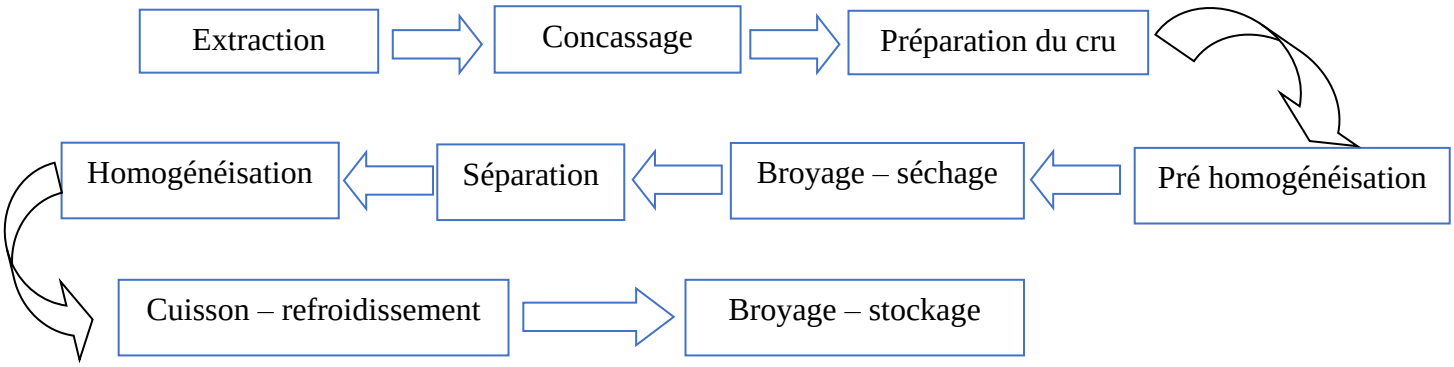

Figure II. 2 : Etapes de fabrication des ciments hydrauliques

II.2.2.2. Caractéristique de ciment : [3]

Plusieurs données physiques et mécaniques permettent de caractériser les ciments, soit par biais de la poudre elle – même, soit sur un mortier de composition normalisée.

II.2.2.2.1. Caractéristiques mécaniques :

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimée en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivant :

Classe de ciment	Résistance à 2 jours en (MPa)	Résistance minimale à 28 jours en (MPa)	Résistance maximale à 28 jours en (MPa)
32.5	-	≥32.5	≤52.5
32.5R	≥13.5	≥ 32.5	≤ 52.5
42.5	≥12.5	≥42.5	≤62.5
42.5R	≥20	≥ 42.5	≤ 62.5
52.5	≥ 20	≥52.5	-
52.5R	≥30	≥ 52.5	-

Tableau II.1 Résistance maximale et minimale de ciment. [5]

La classes « R » dite rapide, présentent des caractéristiques mécaniques plus élevé et trouvent leur inerte particulièrement dans certains circonstances telles que le bétonnage par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication etc….**[3]**

Le tableau suivant donne les valeurs garanties que la fabrication doit respecter à 100%.

Classe de ciment	Résistance garantie à 2 jours (MPa)	Résistance garantie à 7 jours en (MPa)	Résistance garantie A 28 jours en (MPa)
32.5	-	-	30
32.5R	12	17.5	30
42.5	10	-	40
52.5R	18	-	40
52.5	18	-	50
52.5R	28	-	50

Tableau II.2 Les valeurs garanties que la fabrication doit respecter à 100%. [5]

II.2.2.2.2. Caractéristique physique :

A/ Prise :

Le phénomène de prise, qui s'accompagne d'une dégradation de chaleur plus ou moins important, est lié à de nombreux paramètre :

1. Type de ciment,
2. Finesse de mouture,
3. Température,
4. La présence de matière organique dans l'eau,

B/ Durcissement :

Le durcissement est un phénomène d'hydratation qui se poursuit pendent des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécanique continuent de croitre.

C/ Le gonflement :

Bien que non normalisé, il soit utile de rappeler qu'il se rétracte dans l'air, le ciment augmente de volume lorsqu'il est immergé dans l'eau. **[3]**

D/ Retrait : **[3]**

C'est la diminution du volume apparent de la matière. On le mesure sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4× 4 cm, conservé dans l'air à une température de 20 C° et une hygrométrie de 5 %.

II.2.3. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est essentielle pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Elément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, notre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées.. [9]

Quantité d'eau nécessaire	
A l'hydratation du liant	23à28% du poids du liant
Au mouillage des granulats secs	
$1m^3$ de pierres 25/63 1 m^3de gravillons $1m^3$de sable 0.4/5 $1m^3$de sable fin 0/0.4	12 25 110 330

Tableau .II.3 Quantité nécessaire d'eau. **[4]**

II.2.3.1. Catégorie des eaux :

Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection de béton, on trouve ;

- Les eaux potables (qui bien évidemment conviennent)
- Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonnières ou des camions malaxeurs à condition de vérifier leur aptitude dans le cas de changement de ciment ou d'adjuvant d'une gâchée à l'autre, sont utilisables.
- Les eaux de pluie et de ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent conformes aux prescriptions de la norme conviennent également.

II.2.3.1.1. Caractéristiques l'eau de gâchage : [3]

II.2.3.1.2. Caractéristique physique :

L'eau de gâchage des bétons doit être propre : les tolérances réglementaires sont les suivantes :

- 2 g / litre pour le béton de haut qualité à résistance élevé, et béton à faible perméabilité.
- 5 g / litre pour le béton à faible résistance peu ou non armé.

II.2.3.1.3. Caractéristiques chimique : [3]

L'eau de gâchage des bétons ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :

- 15g/litre pour le béton de haute qualité à résistance élevé et béton à faible perméabilité.
- 30g/litre pour le béton à faible résistance peu ou non armé.

Conclusion :

Le bétonnage en zones chaudes et arides provoque une augmentation de la température du béton. Cette dernière causera un effet négatif sur la cohésion du béton durci par l'apparition des microfissures après sa prise. Les microfissures dans le béton durci présentent des zones de concentrations de contraintes et des pistes de carbonatation d'où les premiers pas vers la dégradation.

CHAPITRE III : DÉGRADATIONS DU BÉTON.

III.1 INTRODUCTION :

Les dégradations qui affectent les constructions existantes peuvent se manifester sous plusieurs formes, c'est pourquoi nous jugeons utile de procéder à leur classement dans le but de faire une distinction entre elles, c'est ainsi que nous sommes aboutis à classer ces dégradations suivants trois types distincts:

- ✓ dégradations affectant la construction dans son ensemble
- ✓ dégradations touchant les éléments de la construction
- ✓ dégradations concernant les matériaux de construction.

Dans toutes les études d'ouvrages en génie civil, les codes et règlements de calcul offrent un coefficient de sécurité important allant dans le sens de la sécurité. Il en résulte théoriquement que l'effondrement d'un ouvrage est un phénomène rare. Tout ouvrage bien conçu, doit alors supporter, sans faiblir, les charges auxquelles il est soumis. Pourtant, de nombreux ouvrages, ne manquent pas de poser le problème de sinistralité. [7]

III.2 Pathologie des ouvrages :

Il a longtemps, l'homme faisait des constructions sans se rendre compte les changements climatique et les matières agressives d'environnement qui pouvaient réagir négativement sur les propriétés de la construction comme :

a) Actions mécaniques :

C'est ainsi qu'on ne calcule pas (sauf exception) la valeur :

1- Des moments de flexion exercés dans les éléments par leur rotation aux appuis.

2- Des longueurs de flambement des poteaux portant des planchers superposés.

3- Des tassements différentiels entre semelles de fondation grandeur différentes, bien qu'exerçant sur le sol la même pression.

b) Actions hygrothermiques :

Chaque matériau possède un équilibre qui lui est propre vis-à-vis l'état hygrométrique et de la température de l'air environnant. Il tend vers cet équilibre, plus ou moins lentement et modifie son évolution quand l'ambiance évolue.

D'une manière générale, les matériaux augmentent de volume avec l'augmentation de leur teneur en eau et leur température et diminuent de volume dans le cas contraire. La chaleur agit

de deux manières : en dilatant par effet thermique et en diminuant humidité relative de l'air ambiant entraînant une réduction de teneur en eau des matériaux et un retrait.

Le béton fraîchement coulé est gorgé d'eau et en séchant, il perd son eau et accuse un retrait.

c) **actions chimiques et biologiques :**

Ce phénomène entraîne pour certains matériaux des dégradations. Les calcaires peuvent se désagréger en milieux nitrurés. La cohabitation des matériaux présentent des lois de comportement différentes et sont capables de s'altérer les uns les autres en causant certains désordres. [7]

III.3 Pathologies structurales :

III.3.1 Les principales causes physiques de la dégradation structurale :

Ont regroupé les principales causes physiques de détérioration des structures de béton en deux grandes catégories.

A. Dégradations de surface
   - Abrasion
   - Érosion.
   - Cavitation.
   - Écaillage

B. Fissuration interne :
- Gradients d'humidité ou de température.
- Pressions de cristallisation.
- Chargement structural.
- Exposition aux températures extrêmes : Gel – Feu

III.3.3 L'origine des dégradations :

Les facteurs climatiques et environnementaux :

Le climat joue un rôle fondamental dans la dégradation des propriétés chimique et physiques du béton, il faut donc tenir compte de type de climat le moins nocif pour le béton.

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

Climat tempéré froid	• Cycles de gel-dégel et taux d'humidité élevé • Fissuration interne due au gel-dégel • Écaillage dû aux sels fondants • Corrosion des armatures • Réactions alcalis-granulats
Climat tempéré chaud et humide	• Attaque par les eaux agressives • Réactions alcalis-granulats
Climat sec	• Carbonatation

Tableau III-1: Principales dégradation en fonction des conditions climatiques. [6]

III.4 Dégradations des éléments de la construction

Ce type de dégradation touche un ou des éléments dans la construction par exemple

(Un poteau, une semelle, une dalle, longrine, des murs …) ce type de dégradation peut provoquer un danger ou un risque à la construction et les autres éléments.

III.4.1 Cas des constructions en béton armé [6]

Principales causes et conséquences :

Les dégradations du béton peuvent être d'ordre mécanique, à la suite de chocs, de vibration, d'affaissements géotechniques...etc. Ces dégâts se traduisent souvent par l'apparition de fissures ou d'éclats qu'il convient de repérer et d'identifier.

Les principales causes de dégradation des bétons proviennent des attaques physiques mécaniques et chimiques supportées dans le temps par les structures placées dans un environnement plus ou moins agressif. Les dégradations peuvent provenir de défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée, soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons.

Pour ces types de construction, la structure est en générale en béton armé alors que les éléments de séparation peuvent être le plus souvent en parpaings agglomérés, en briques et rarement en carreaux de plâtre. Les types de dégradation qui affectent les éléments des constructions en bétons armés sont le plus souvent :

- la fissuration d'une façon générale Figure III. 1

- l'affaissement des dallages

- le soulèvement des dallages Figure III. 2

- le flambement des poteaux Figure III.3

Figure III.2 Fissure verticale au niveau d'une clôture en parpaing de 20 cm d'épaisseur.

Figure III.3 : Le soulèvement du dallage a provoqué l'éclatement des carrelages.

Figure III.4 : Flambement du poteau.

III.4 Les causes de dégradation affectant le béton armé :

I -Retrait :

Le retrait est un phénomène physique présent au sein de toutes les matières poreuses, depuis l'arbre jusqu'à éponge… Il est généralement consécutif à la disparition de l'eau depuis un matériau vers l'air ambiant, par évaporation.

Au même titre que l'éponge sur le bord de votre évier de cuisine, lorsqu'un matériau perd de l'eau, sa taille diminue : il devient plus petit. Ce rétrécissement est appelé retrait. Pour une éponge, ce retrait se traduit par une légère courbure et un changement de couleur. Pour le béton, les fissures en sont les possibles conséquences visibles. [17]

I.1 Le retrait de séchage (encore appelé retrait de dessiccation) :

C'est le phénomène le plus connu. Il se développe dans le béton au cours de son durcissement, pendant les premiers mois. Il est plus important en surface que dans la masse du béton. C'est un retrait causé par l'évaporation de l'eau contenue dans la porosité du béton, à partir des surfaces libres soumise à l'air ambiant ayant un degré d'humidité inférieur à celui du béton. Ce processus de séchage génère une diminution de volume du béton.

La perte d'eau est progressive et décroissante au cours du temps. Les facteurs qui influencent l'amplitude de la perte d'eau, et donc le retrait de séchage, sont la porosité du béton, le degré hygrométrique de l'air ambiant, et le rapport surface. D'un point de vue pratique, ce n'est pas tant le retrait de séchage qui est important, mais plutôt la fissuration qu'il peut provoquer. Le mécanisme de fissuration est le suivant : le retrait de séchage commence toujours à se développer au niveau de la surface du béton exposée à l'air sec. Les forces de tension, qui apparaissent alors près de la surface, sont équilibrées par des forces de compression intérieures au béton. Des fissures s'ouvrent dès lors que les efforts de tensions dépassent la résistance à la tension du béton. Ces efforts de tension étant libérés chaque fois que la partie extérieure du béton se fissure.

I.2 Le retrait plastique :

Le retrait plastique résulte d'un séchage rapide du béton en phase plastique. Le retrait plastique n'est ni plus ni moins que le retrait de séchage qui se déroule lorsque le béton n'a

pas encore durci. L'ampleur du retrait plastique est influencée par la quantité d'eau qui s'évapore en surface, qui est elle-même fonction de la température, de l'humidité relative ambiante et de la vitesse du vent. Si la quantité d'eau évaporée est beaucoup plus importante que l'apport provenant du ressuage du béton, il peut en résulter des fissures dues à des contraintes de traction en peau supérieures à la résistance du béton. Cette fissuration dépend non seulement de la vitesse d'évaporation en surface, mais aussi de la rigidité et

de la résistance précise du béton à ce moment. Les fissures de retrait plastique sont généralement espacées de 15 à 50 cm et peuvent être très profonde. [19]

Figure III .5. Retrait du béton. [18]

I-3 Le retrait endogène :

(Encore appelé retrait d'auto dessiccation, ou retrait chimique d'hydratation du ciment) : il se produit dans le béton en cours de durcissement par suite du développement des réactions chimiques entre le ciment et l'eau. Ces réactions sont appelées réactions d'hydratation car en présence d'eau, les constituants du ciment donnent naissance à de nouveaux constituants hydratés qui apparaissent sous forme de microcristaux ayant l'aspect d'aiguilles dont le développement et l'enchevêtrement provoquent la prise et le durcissement progressif du ciment. La consommation d'eau résultant de l'hydratation du ciment.

Ce retrait est un phénomène normal, inévitable, inhérent à la nature même du ciment. Il est irréversible et continue d'augmenter pendant plusieurs mois tant que l'hydratation

Du ciment se prolonge. Son intensité est proportionnelle au dosage en ciment. Il varie entre 300 et 800 µm/m selon la formulation. Lorsqu'il est empêché, ce retrait peut provoquer des fissures. [17]

I-4 Le retrait thermique :

Est lié au retour à température ambiante des pièces en béton ayant au préalable subi une élévation de température due aux réactions exothermiques d'hydratation du ciment. Ce retour à température ambiante est accompagné par une contraction qui génère des déformations empêchées susceptibles de conduire à l'apparition de phénomènes de fissuration. Ce type de retrait, qui ne concerne que des pièces d'épaisseur supérieure à 60 à 80 cm, se manifeste de quelques dizaines d'heures après la mise en œuvre, jusqu'à quelques semaines, sa durée étant dépendante de la nature des éléments en béton considérés (plus une pièce est massive, et plus la contraction thermique sera lente). [20]

Figure III.6. Fussiomètre réglette qui s'utilise pour la détermination de la largeur des fissures [15]

II- Érosion du béton :

Les agents d'environnement (vent, pluies, l'eau par sons écoulement) provoque le phénomène d'érosion du béton et réduisent l'enrobage des armatures qui facilite la pénétration des agents agressives.

Érosions : Perte de matière résultant du frottement d'un corps solide et d'un fluide contenant des particules solides en suspension et en mouvement. **[11].** La figure III. 4 montre quelques exemples de ce type d'érosion.

(A) **(B)**

Figure III.7 : Erosion du béton : (A) sans érosion, (B) avec érosion [7]

III-LA COROSSION :

La corrosion des armatures est une des causes majeures de dégradation des structures et ouvrages en béton armé. La durée de vie de ces structures en béton armé est conditionnée par la réponse aux agressions physiques et chimiques de l'environnement, ainsi que par la capacité des matériaux constitutifs à se protéger contre ces attaques. Pour optimiser le dimensionnement et réaliser des ouvrages plus résistants et plus durables, les concepteurs ont besoin de connaître le processus de corrosion et ses interactions environnementales et structurelles. [11]

Avant d'aborder le problème de dégradation de l'acier, il est parait nécessaire de porter

la clarification suivante: Les métaux usités dans la construction se subdivisent en deux groupes: les métaux ferreux et métaux non ferreux.

Les métaux ferreux : représentent un alliage du fer avec le carbone. Outre le carbone, ces métaux peuvent contenir de petites quantités de silicium, de manganèse, de phosphore, de soufre et d'autres éléments chimiques. Afin de communiquer aux métaux des propriétés spécifiques on leur ajoute quelques substances que l'on appelle élément d'alliage tels que cuivre, nickel, chrome, etc.. [6]

Le fer est un métal qui s'obtient après échauffement du minerai de fer en utilisant comme combustible le coke qui fond le minerai et en même temps sert de réducteur de fer Suivant la teneur en carbone les métaux ferreux se subdivisent en aciers et fontes.

La fonte est un alliage de fer - carbone dont la teneur en carbone est de 2 à 4,3%. Dans les fontes spéciales la teneur en carbone peut atteindre 5% et plus. Le silicium, le manganèse, le phosphore et le soufre présents dans la fonte influent sensiblement sur ses propriétés.

Le soufre et le phosphore augmentent la fragilité alors que l'addition du chrome, du nickel, du magnésium, de l'aluminium et du silicium communique à la fonte une plus grande résistance à la chaleur, à l'usure par abrasion et à la corrosion.

Aperçu général sur la corrosion dans le béton et son diagnostic

Pour le phénomène de corrosion dans le béton, le mécanisme est généralement divisé en deux étapes : l'étape d'initiation, qui correspond à la pénétration des agents agressifs à travers le béton jusqu'à l'armature, et l'étape de propagation, qui correspond à l'accélération de la corrosion et donc du niveau de détérioration des structures. Durant cette deuxième étape, la vitesse de corrosion n'est pas constante mais est variable selon les paramètres environnementaux, notamment la teneur en eau et la température.

II-2 Processus de la corrosion :

Les processus fondamentaux de la corrosion des aciers dans le béton sont illustrés sur les figures III.8

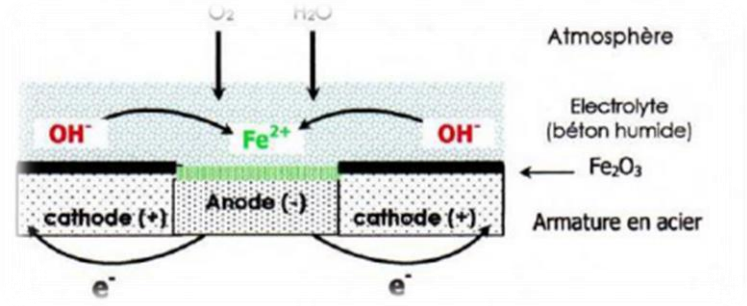

Figure III.8 : Représentation schématique de processus de base de la corrosion des aciers dans le béton. [7]

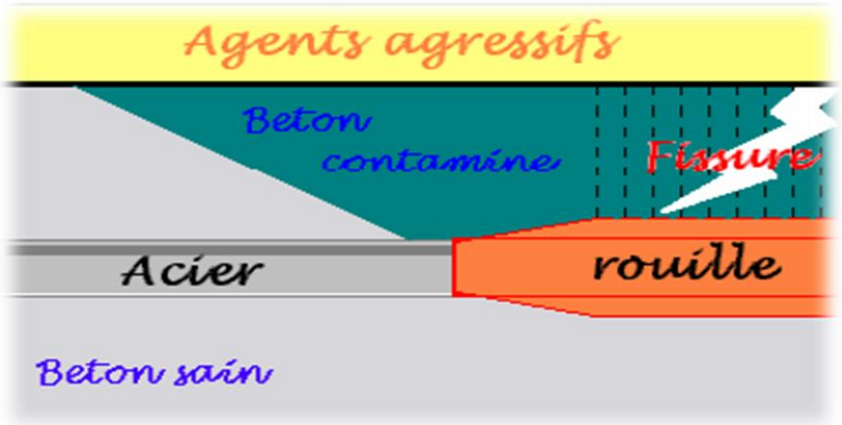

Figure III.9 : Les étapes de la corrosion des aciers dans les bétons, Induite par des agents agressifs. [7]

L'agent agressif pénètre dans l'entourage puis déclenche la formation de rouille. Celle-ci se développe et peut fissurer l'enrobage.

L'oxygène qui peut diffuser dans le béton via le réseau poreux, se dissout dans la solution interstitielle et finit par atteindre la surface de l'acier. Sur cette surface, dans la zone catholique, l'oxygène est réduit en ion hydroxyde (OH^+) Quelque soit la réaction cathodique mise en jeu, la production d'ions hydroxyde fait augmenter le PH de la solution interstitielle au niveau de la zone cathodique. La réaction anodique correspondante est la dissolution de l'acier. Celle-ci entraîne une diminution de la section de l'acier qui peut finir par rompre. Sous certaines conditions, le cas lorsque le béton a été carbonaté et que le pH de la solution interstitielle est descendu en dessous de 9 ou lorsqu'une qualité suffisante d'ions chlorure (Cl^-) a pénétré dans le béton, saturé en eau, et atteint l'armature de ce fait, la section de l'acier peut continuer de se réduire et la rupture de l'armature se produire. Ce processus, préjudiciable

à la durée de vie d'un ouvrage, est favorisé lorsque le béton est saturé en eau car l'évacuation des ions Fe2+ de la surface de l'acier est facilitée.

La corrosion devient préjudiciable lorsque la vitesse de corrosion de l'acier est très élevée et que les produits de corrosion, ne pouvant être évacués de la zone de corrosion, s'accumulent à la surface de l'acier, des fissures apparaissent. Ces fissures vont accélérer la pénétration des espèces agressives et de ce fait les processus de corrosion. **[8]**

Un processus corrosion → fissures → pénétration d'espèces agressives → plus de corrosion → plus de fissures → plus d'espèces agressives ... s'instaurent.

III.3 Facteurs influents de la corrosion :

La tenue, face à la corrosion des armatures dans le béton est fonction des paramètres concernant l'acier et le béton ainsi que des propriétés existantes à leur interface.

Cela est déterminé par la composition de la solution interstitielle du béton et des caractéristiques métallurgiques de l'acier. Les facteurs environnementaux (humidité, température, dioxyde de carbone, ions chlorure) ne peuvent affecter directement le processus de corrosion mais ils peuvent causer des dégradations du béton et accélérer l'entrée d'espèces agressives rendant la solution interstitielle en contact avec l'acier plus corrosive. Lorsqu'ils atteignent les armatures, les ions chlorure et le dioxyde de carbone sont tenus pour responsables de la plupart des cas de corrosion des structures en béton armé. La température et l'humidité, tout comme les autres facteurs pouvant détériorer le béton, jouent aussi un rôle important dans la corrosion des armatures.

La corrosion de l'acier n'est donc pas dépendante d'un unique paramètre mais de plusieurs dont les interactions concourent ou non à la corrosion. **[8]**

III.3.1 Les ions chlorurent :

Les chlorures présentés dans le béton peuvent être introduits soit lors du gâchage, soit provenir du milieu environnant.

Dans le cas de la corrosion induite par les chlorures, la réaction débute lorsque la concentration en chlorures près des armatures atteint un seuil critique. Cette concentration critique nécessaire pour initier la réaction de corrosion a été investiguée dans les dernières décennies. Dans la littérature, la concentration critique de chlorures est habituellement

exprimée en pourcentage de masse du liant ou en pourcentage de la masse totale de béton. Dans les deux cas, la masse de chlorures considérés dans les calculs correspond à la masse totale de chlorures trouvée dans le matériau. D'autres auteurs préfèrent exprimer la concentration limite comme un rapport entre la concentration en chlorure libre (trouvé dans la solution) et les ions hydroxydes (OH^-). Cette dernière méthode semble plus précise, considérant que la réaction de corrosion est sensible au pH de la solution des pores autour

Des armatures.

Les travaux récents suggèrent que la concentration critique est influencée par la qualité de l'acier (acier standard, acier avec époxy, acier inoxydable). De plus pour tout type d'acier, la concentration critique varie significativement selon les auteurs

Les principaux effets de chlorures sur la corrosion d'acier sont :

- Les chlorures sont adsorbés dans la couche protectrice d'oxyde.
- Le fer oxydé réagit en complexe soluble

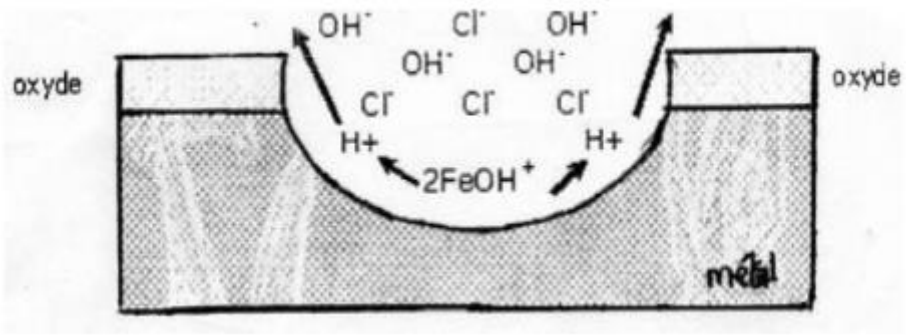

Figure III.10: Modèle de PAGE et al. Attaque de l'acier par les ions chlorure [7]

Sur le plan pratique, les paramètres qui peuvent influer sur cette teneur critique en chlorure sont : le dosage en ciment (et le rapport Eau/Ciment), la valeur du pH, la nature du ciment (fixation de chlorure, etc.) et celle des additifs éventuels (cendres, etc.), la température moyenne, la teneur en oxygène et l'humidité du béton. L'état d'enrouillement initial des armatures a également un effet sur la valeur de la teneur critique en chlorure.

Le seuil critique est considéré atteint s'il y a 0,2 à 0,4% d'ions chlorure par rapport à la masse du ciment. Il est à noter que la teneur en chlorure qui amorce une corrosion n'est pas reliée à la vitesse de corrosion des armatures, une fois dé passivées.

Figure III.11: Corrosion par piqûres liées aux chlorures. [7]

III.3.2 La température : [8]

La variation de température influence le potentiel de la réaction qui est régi par la loi de Nernst selon l'équation (III.5).

D'après Liu et Weyers, une augmentation de la température accroît la vitesse de corrosion. Ce phénomène peut s'expliquer d'une part par le fait que les processus anodiques (oxydations des composants de l'acier) et cathodiques (réduction des protons en milieu acide) sont activés thermiquement. Il en résulte un courant d'échange c'est-à-dire une vitesse de corrosion augmentant avec la température. Une élévation de 10 à 20°C multiplie par deux la vitesse de corrosion en situation de corrosion active. Le changement de température dans le béton entraîne le changement d'autres paramètres. Cornell et Schwertmann ont expliqué dans leurs études que la température avait une influence directe sur la nature des oxydes formés dans le béton L'effet total de la température sur le taux de corrosion dans le béton est très complexe et contrôlé par l'interaction de plusieurs autres structures.

L'élévation de température augmente la vitesse de la réaction mais peut également agir sur un autre facteur de corrosion. Par exemple, l'abaissement de solubilité de l'oxygène dans l'eau, lorsque la température augmente, est un cas où la corrosion se ralentit par manque d'oxygène. D'autre part, en milieu aéré, une élévation de température facilite la diffusion de l'oxygène dans la solution augmentant le courant d'échange. Le modèle développé montre une relation entre le courant de corrosion et la température de la forme suivante :

$$i_{1=i_2} \times e^{2283\ \frac{1}{T2} - \frac{1}{T1}}. \qquad \text{(III.5)}$$

Lorsque l'on plonge une éprouvette en béton armé dans un bain à différentes températures, on constate que le courant circulant dans le système électrode/ électrolyte change. La densité de courant de corrosion passe de 1µA/cm 2 à 5µA/cm 2 lorsque la température s'élève de 5°C à 40°C. **[7]**

VI- Causes dues aux variations de température :

Lorsque le matériau est soumis à des conditions de séchage en même temps que l'hydratation évolue, les déformations plastiques qui en résultent sont une combinaison complexe de mécanismes apparaissant à différentes échelles. Les résultats (déformations plastiques et phénomènes corollaires) sont présentés suivant deux conditions de séchage (avec et sans vent). [10]

Au niveau des constructions se trouvent des parties qui sont exposées à d'importantes variations de températures journalières et saisonnières, et, par suite, subissent des mouvements alternés (dilatation et contraction) dont les effets peuvent être préjudiciables pour les parties de construction considérées. On signale que parmi les sinistres rencontrés et qui sont dus principalement aux variations de température se trouvent leur origine dans le gros œuvre en béton armé du dernier étage, à savoir les toitures terrasses, les corniches et les acrotères comme le montrent les cas de figures : [6]

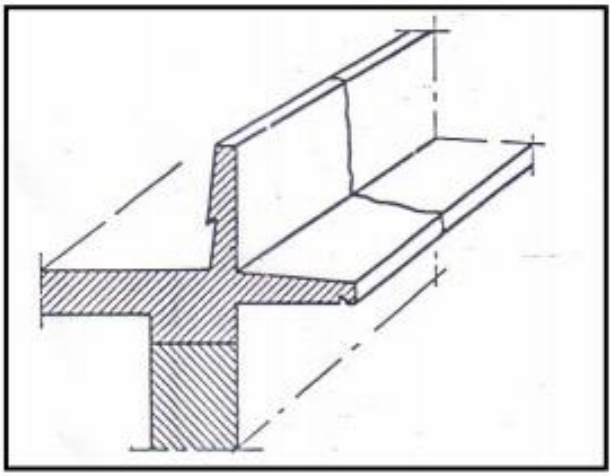

Figure III.12. Fissure transversale dans la corniche et l'acrotère. [14]

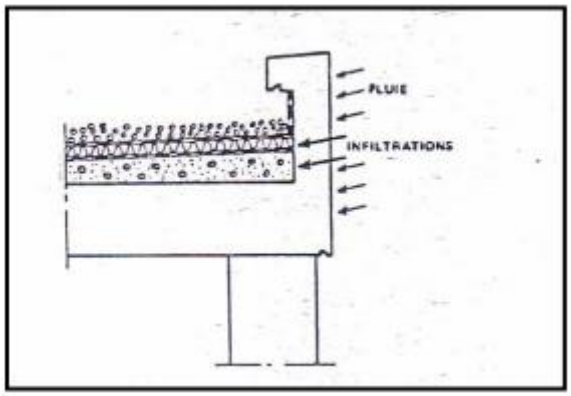

Figure III-13 L'eau qui traverse les fissures peut s'infiltrer derrière l'étanchéité. [14]

V-Causes dues au milieu environnant :

Les constructions subissent quelque changement d'environnement telle que : le vent, les pluies, les eaux courent et une variation de température, tous ceux-ci réagis et influent sur les propriétés des bétons, par exemple les eaux peuvent –être saturé de sulfate, le vent et la température sont deux facteurs essentiel de érosion et la sécheresse, et n'oublions pas le sol qui peut contenir des agents agressifs dent la source est dégagement des usines.

V-1 Classification des environnements agressifs

La durabilité du béton est très souvent liée à sa capacité d'empêchement des agents agressifs de pénétrer à travers sa porosité. Certains environnements sont agressifs pour le béton, ils peuvent occasionner des attaques acides importantes.

Selon la norme **NF P18-011, Normalisation Française, AFNOR, Juin1992** trois catégories d'environnements agressifs peuvent être distinguées: [6]

- milieux gazeux: gaz, vapeurs
- milieux liquides: eaux douces, eaux de mer, solutions de sels, d'acides ou de bases, eaux résiduaires, liquides organiques (huiles, pétrole, solvants)
- milieux solides: sols, produits de stockages qui agissent par extraction ou dissolution, le plus souvent par l'eau, des agents nocifs. L'agressivité du milieu dépend:
- de la concentration de l'agent agressif
- de la viscosité (huiles)
- de l'humidité relative (H.R.)

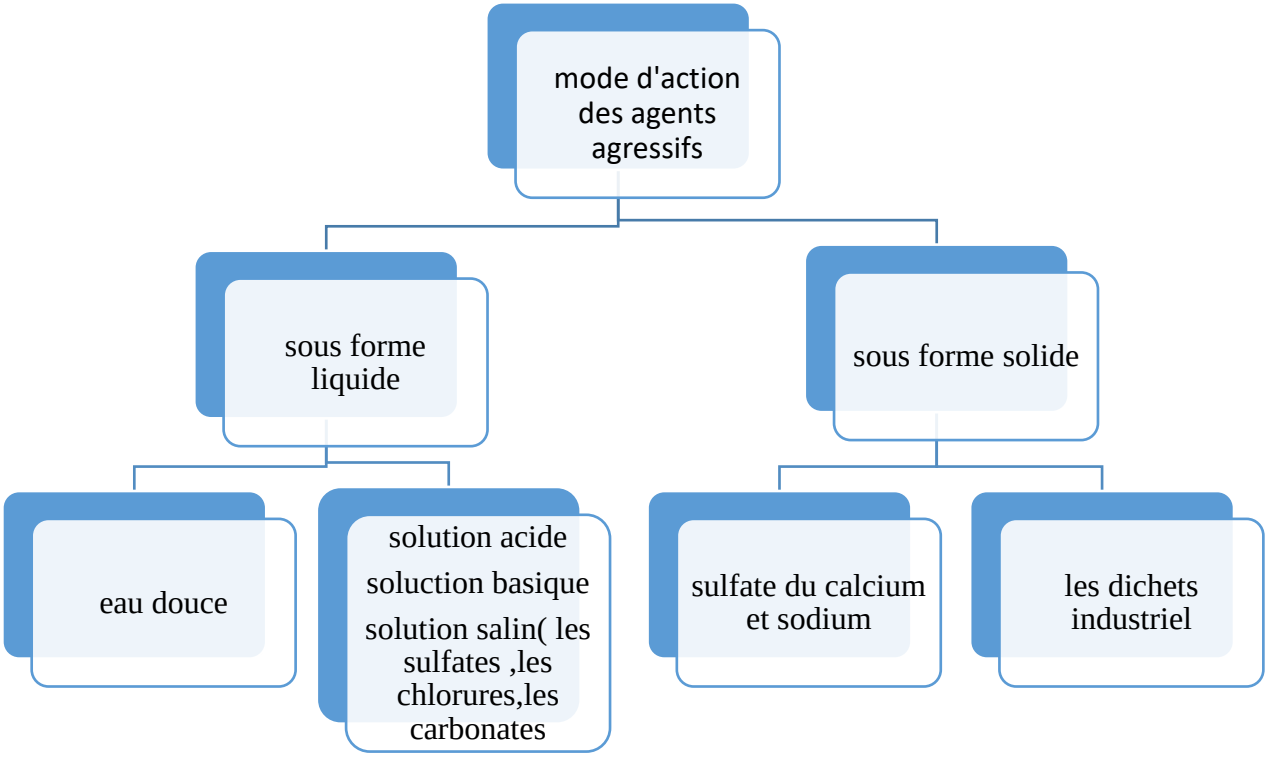

Figure III.14.Organigramme : les types des agents agressifs du béton.

Figure III.15. Les attaques sulfuriques sur un poteau [16]

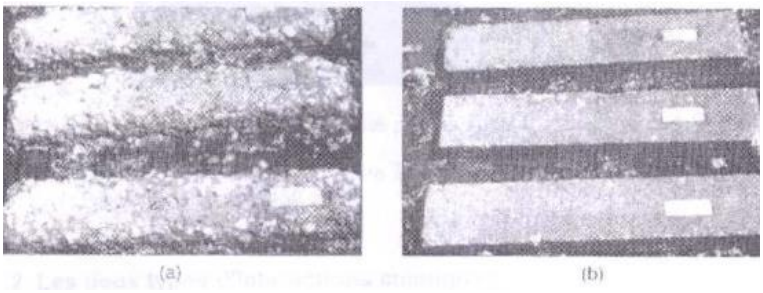

Figure III -16 : Eprouvette de béton dégradée après 5ans de contact avec des sols riches en sulfates. [12]

Figure III -17 : Agression du béton par activité des chlorures. *[12*]

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale :

Avant de construire, l'ingénieur doit prendre en considération les paramètres environnementaux surtout quand il s'agit de zones arides. Ces dernières sont caractérisées par de forte température et agents agressifs pouvant dégrader le matériau béton.

Plusieurs recherches ont montrés que le bétonnage en zones chaudes et arides provoque une augmentation de la température du béton. Pour cela, elle causera un impact négatif sur la cohésion du béton après son durcissement par le développement des microfissures. Ces dernières présentent des zones de concentrations de contraintes et des pistes de carbonatation d'où les premiers pas vers la dégradation.

Dans cette optique il est plus que nécessaire de rajouter des études climatiques et environnementales pour les sites de réalisation de telles structures en bétons en zones arides.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : KH.CHAABI. 2003 « Bétonnage et comportement du béton en milieu aride » ; Mémoire de magister. Université HOUARI BOUMEDIENNE, Algérie.

[2] : A.WAHIBA, B.SAMIA 2013 « Comportement mécanique d'un béton de sable dans un milieu agressif » ; Mémoire de licence. Université AHMED DRAIA DARAR,

[3] :KH.KARIMI. 2009« Contrôle de qualité de béton frais et durci » ; mémoire de licence. Université AHMED DRAIA ADRAR.

[4] : GERARD KARSENTY. « La fabrication du bâtiment » 1997, le gros œuvre, l'ingénieur de l'école centrale de Lyon, paris.

[5] : GEORGES DREUX, JEANFESTA « nouveau guide du béton et de ses constituants », 1957, ISBN 2-212-10231-3, paris.

[6] :CH.DERARDJA ; 2004 « Type, causes et remèdes des dégradations des constructions existantes » ; Mémoire de magister. Université BISKRA.

[7] :M.GHOBRINI ; 2019 « L'IMPACT DE LA CORROSION DES ARMATURES SUR LES DEGRADATIONS DU BETON ARME » ; Mémoire de master. Université ab el Hamid ibn badis Mostaganem.

[8] :T.DJEDID. 2012 « ETUDE DE L'EFFET DE LA CORROSION DES ARMATURES SUR LA DURABILITE DES OUVRAGES EN BETON ARME » ; Mémoire de magister. Université Mohamed khider BISKRA.

[9] : B.MESSIAD.2018 « Etude comparative de la durabilité entre les bétons autoplaçents et le béton ordinaire » Mémoire master. Université 08 mai 1945 GUELMA

[10] : F.LEKDIM. 2010 « Etude de la durabilité des bétons armés confectionnés à partir des sables de concassage ». Mémoire de magister .Université Bejaia.

[11] : S.SAADOUN.2010 « Synthèse et caractérisation d'inhibiteurs bi-fonctionnels : application à la corrosion des aciers de construction ». Mémoire magister. Université FARHAT ABBAS Sétif.

[12] : S.BENSAFIR. 2010 « Mécanisme d'altération des matériaux cimentaires soumis au milieu frottements agressifs ». Thèse de Doctorat. Université de MASCARA.

[13] : NF P 15-010, Liants hydrauliques - Guide d'utilisation des ciments ,1997.

[14] : Louis LOGAIS «Les toitures terrasses- pathologie du gros œuvre-», Annales de L'institut technique du bâtiment et des travaux publics, 1974.

Les sites internet :

[15] https://www.conseil-construction.fr/astuce-surveiller-fissures/

[16]https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/10/02-GASSER-141022_Agressions_attaques_beton_approche_performantielle_ENPC.pdf

[17] https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/le-retrait-du-beton/

[18]https://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:ASR_concrete_pillar_National_Gallery_of_Canada_01.jpg

[19]https://www.cstc.be/homepage/download.cfm?lang=fr&dtype=publ&doc=cstc_artonline_2009_2_no3.pdf

[20] http://doc.lerm.fr/wp-content/uploads/2013/08/retrait-carde.pdf.