



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGÉNIEUR EN SCIENCES DE LA MER**

Spécialité : ENVIRONNEMENT MARIN

Thème :



Présenté par :

- **BECHAR Ibtissem**
- **AHTOUT Samira**

Soutenu le 05/09/2015 devant le jury suivant :

Mme BACHARI F.	Professeur	(ENSSMAL)	Présidente
Mr. HAMDI B.	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
Mr. BELKESSA R.	Professeur	(ENSSMAL)	Co-Promoteur
Mr. MEZOUAR K.	Maître de Conférences B	(ENSSMAL)	Examineur

Remerciements

Nous tenons en premier lieu à remercier le **BON DIEU** de nous avoir procuré : santé, patience et aussi courage pour accomplir ce travail, sans oublier de présenter notre gratitude à tous le membre de nos familles pour leurs efforts inlassable qu'ils ne cessent de déployer pour nous.

Ensuite, nous tenons à remercier de façon précise notre promoteur Monsieur **Hamdi.B**, et notre Co promoteur Monsieur **Belkessa, R**, pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Nous adressons nos remerciements au membre du jury : à notre présidente de jury : Madame **Bachari H.F**, à notre examinateur monsieur **Mezouar, K**, qui nous fait honneur en acceptant d'examiner et de juger notre travail.

Sans oublier l'ensemble du laboratoire d'habitat et de construction du centre de Oued Smar qui nous ont orienté en encouragé durant notre stage et de nous avoir fourni des données qui nous on été indispensable, et nous adressons aussi nos vifs remerciements à notre ami **Aoudj Cherif**, pour l'énorme aide qui nous a porté durant notre travail.

Enfin, que tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude et nos remerciements les plus sincères.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail: D'abord a mon binôme avec qui j'ai partagé le sacrifice, et tous les efforts pour bien munir ce travail

Mes très chers parents :

Mon cher père qui m'a tant aidé avec son soutien pour que je Termine mes études

Ma mère qui n'a pas cessé de prier, pour son affection et Son amour.

Mes frères Rayane et Nabil et ma sœur Nabila et Toute ma famille de loin et de près

✓ *Tous mes amis de l'ENSSMAL : Hanane, zahira, Siham, Houda, Basset ;Adlane,,Skander, Aziz Et Toute la promotion Environnement*

Particulièrement, à tous les gens avec qui j'ai passé mes très bon Moment.

Sans oublier la famille de ma binôme Samira

Ibtissem

*Je dédie ce travail, à ma très chère mère D
à qui je dois tout, à mon père A qui m'a
toujours soutenu, à mes sœurs Karima,
Farida et Souhila, à mon frère Louhab et
mon petit frère M'hand, à mon binôme
Iblissem, à mon mari Akli avec qui j'ai
partagé le sacrifice, à mes beaux-parents
ma mère F et mon père L.*

Ahlout Samira

Sommaire

Liste de figures

Liste de tableaux

Introduction.....10**Chapitre I : Généralités**

I. Définition du trait de côte 12

II. Agressivité du milieu marin sur les infrastructures..... 12

II.1.Composition de l'eau de mer..... 12

III.Le béton..... 13

III.1. Définition 13

III.2. Types du béton 13

III.3.Les constituants du béton 15

III.4.Propriétés du béton durci 18

III.4.1.Résistance à la compression..... 18

III.5.Adhérence armature-béton 18

III.5.1. Le stockage des armatures 18

IV. Corrosion des aciers dans le béton..... 18

IV.1. Définition de la corrosion 19

IV.2. Types de corrosion..... 19

IV.3. Processus de la corrosion 21

IV.4. Pénétration des corps agressifs à travers le béton..... 22

IV.4.1.Les étapes de la corrosion 22

IV.4.3.1.Définition de la carbonatation..... 23

IV.4.3.2. Mécanismes de carbonatation 23

IV.4.3.3.Conséquence de carbonatation..... 24

IV.4.4. Action des ions chlorures..... 25

IV.5. Facteurs influençant la durabilité du béton..... 27

V. Les classes d'exposition d'un béton..... 27

Chapitre II : Présentation du site d'étude

I. La zone d'étude : Sidi Fredj..... 29

I.2. Présentation de site d'étude : La Plage ouest Sidi Fredj..... 29

I.3.Contexte géologique de la zone d'étude 30

I.3.1. Géologie régionale..... 30

I.3.2. Géologie locale 30

II.Evolution de trait de cote de la zone d'etude.....30

II.1. Les principaux facteurs hydrodynamiques dans la plage ouest Sidi Fredj..... 31

II.1.1. Pluviométrie 31

II.1.2. Les vents..... 31

II.1.3. les réseaux Hydrographiques..... 32

II.1.4. Les houles.....	32
III. Erosion de la plage ouest sidi Fredj	33
III.1. Causes de l'érosion marine au niveau de ce site.....	34

Chapitre III : Matériels et méthodes

I. Moyens et procédure pour mener l'évolution de trait de côte	38
I.1. Aperçu du logiciel ArcGis 9.2 :.....	38
II.Presentation du plan de la station de recherche ENSSMAL.....	39
II.1. Etude sur terrain	40
II.1.2. Type de Prélèvements :	40
II.1.2.2.Principe de prélèvement	40
II.3.Marquage et identification.....	41
III. Analyse en laboratoire :	42
III.1 Essai mécanique.....	42
III.1.1.Essais de compression (NF EN 12504-1)	42
III.2. Essais chimiques liées à la corrosion des armatures	45
III.2.1. Essai n°1: La mise en évidence des zones carbonatées (carbonatation).....	46
III.2.2. Essai n°2 : La détermination de la teneur en chlorures libres dans le béton)	47

Chapitre IV : Résultats et discussion

I. Interprétation des résultats des essais sur les carottes de béton.....	52
I.1.Observation visuelle de la station	52
I.2. Description des carottes	52
I.3.Résultat de l'examen visuel des carottes	52
I.5.Interprétation des essais chimiques	53
Conclusion	57
Bibliographie	58

Liste de figures

Figure n° 1: Abrasion ,phénomène mécanique.....	12
figure n° 2:Béton armé (Rossi ,1998)	13
Figure n° 3: Béton précontraint (Rossi ,1998).....	14
Figure n° 4: Béton à haute performance	14
Figure n° 5:Répartition d'un pont grâce à l'utilisation d'un béton projeté.....	15
Figure n° 6: Béton fibré	15
Figure n° 7: Granulats.....	16
Figure n° 8: Ciment portland	16
Figure n° 9: Les moules cylindriques, cubiques et les éprouvettes pour mesurer la résistance en compression (NF EN 12504-1 août 2000)	18
Figure n° 10: Béton corrodé.....	18
Figure n° 11: Corrosion uniforme.....	19
Figure n° 12: Corrosion galvanique	19
Figure n° 13: Corrosion cavernueuse.....	20
Figure n° 14: Corrosion par piqure	20
Figure n° 15: Fissuration sur métal sous l'effet d'une contrainte	21
Figure n° 16: Processus de corrosion (Broomfiolo, 1994)	22
Figure n° 17: Evolution de la corrosion dans les éléments en béton armé (Tutti, 1982 in Amrani ,2012)	23
Figure n° 18: Mécanisme de carbonatation au niveau de béton (Olivier , 2008)	24
Figure n° 19: Etapes de la corrosion des aciers dans le béton , induite par des agents agressifs (Ndzana, 2007).....	25
Figure n° 20: Modèle de Page et al , attaque de l'acier par les ions chlorures.....	26
Figure n° 21: Schématisation de l'évolution de la dégradation du béton et de l'acier (Thai,2007)	26
Figure n°22: Situation géographique de la plage ouest Sidi fredj (Google Earth.2010)	29
Figure n°23: Evolution de trait de cote du littoral ouest de Sidi fredj(1933-2015)	30
Figure n°24 : Jetée militaire près de Sidi Fredj (2015).....	31
Figure n°25 : Partie restante de la plage ouest (2011)	31
Figure n°26 : Partie restante de la plage ouest (2015)	31
Figure n°27 : Etat de la station ENSSMAL(2011).....	33
Figure n°28 : Etat de la station ENSSMAL (2015)	33
Figure n°29 : Etat de la station ENSSMAL (2011).....	33
Figure n°30: Etat de la station ENSSMAL (2015)	33
Figure n°31 : Etat de la station ENSSMAL (2011)	34
Figure n°32: Etat de la station ENSSMAL (2015)	34
Figure n°33 : La plage de centre thalassothérapie(Google Earth).....	35
Figure n°34 : Centre de thalassothérapie	35
Figure n°35: Emplacement anarchique des digues	35
Figure n°36: Taches de sels sur les murs extérieurs de la station ENSSMAL (2015).....	36
Figure n°37: Plan présentatif de la station de recherche Sidi Fredj ENSSMAL (BenAtou,2008).....	34
Figure 38: Carotteuse équipée : a- Bati, b-Carottier, c-Moteur	40

Figure 39: Prélèvement des carottes sur piliers	41
Figure n° 40: Carottes n°2.4.5.....	41
Figure 41: Carottes découpées de hauteur 13cm et diamètre 6.5cm.....	43
Figure n°42: Liquéfaction du soufre	43
Figure n°43: 1 ^{ère} extrémité de la carotte dans un moule rectifié.....	44
Figure n° 44: 2 ^{ème} extrémité de la carotte mise dans le moule rectifié	44
Figure n°45 :Carottes surfacées	44
Figure n°46: Carotte mise dans la presse à béton	44
Figure n°47: Rupture de la carotte sous l'effet de l'écrasement	45
Figure n°48: Marquage des résultats dans une fiche minute	45
Figure n°49: Echantillons mis dans des récipients après broyage et tamisage	48
Figure n°50 : Préparation de la dilution	48
Figure n°51 : Echantillon mis dans un bain de sable	49
Figure n°52 : Filtration des échantillons dans un erlen meyer.....	49
Figure n°53: Echantillons mis dans un bain de sable après filtration	49
Figure n°54: Echantillons à l'état de refroidissement	50
Figure n°56: Dosage des chlorures	50
Figure n°57: Variation des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes.....	54
Figure n°58: Schéma représentant de la profondeur des zones carbonatées des carottes 02 et 04	54
Figure n°59: Schéma représentant la profondeur de carbonatation de carotte 05.....	55

Liste de tableaux

Tableau n° 1: Concentration des éléments principaux pour une eau de salinité de 35g/kg (d'après Culkin, F, 1965) 13

Tableau n° 2: Types de béton en fonction de leur masse volumique (Ollivier, J.P, 2008)..... 15

Tableau n° 3: Classes d'exposition d'un béton (selon la norme NF EN 206-1) 27

Tableau n° 4: Les fréquences en pourcentage d'apparition de la houle dominante U.S.N.W.C. (1963-1970). (L.E.M , 2002)..... 32

Tableau n° 5: Identification des prélèvements 42

Tableau n° 6: Illustration des résultats de l'examen visuel des carottes 52

Tableau n° 7: Résultats des essais de la résistance à la compression pour les carottes du béton (norme NF EN 12504-1) 53

Tableau n° 8: Profondeur de carbonatation pour chaque carotte 55

Tableau n° 9: Corrélation entre la profondeur de carbonatation et la résistance à la compression pour les différentes carottes 55

Tableau n° 10: Teneur en chlorures pour chaque échantillon exprimée en pourcentage 56

Introduction

La plage ouest Sidi Fredj est un site intéressant et remarquable, cette plage est bordée par plusieurs habitations, complexes touristiques y compris une station marine et laboratoire de recherche ENSSMAL.

Cette station date du temps coloniale, elle a été conçue comme siège administratif et lieux pour les activités de recherche en 1983.

Aujourd'hui cet espace devient un territoire à risque, subissant une récession intense de la cote, cela présente une menace réelle sur les infrastructures côtière notamment la bâtisse ENSSMAL et mènera à leurs dégradation.

Pour l'objectif visé par notre étude, est de : faire un diagnostic de la zone en vue d'étudier l'impact de l'évolution de trait de côte sur la station ENSSMAL.

Ensuite présenter les techniques d'investigation pour la détection de la corrosion des armatures de béton de cette station

Pour mener à bien notre travail, ce dernier a été partagé en quatre parties :

Le premier chapitre est consacré aux généralités, ou nous allons parler du béton, ces différents types, les dégradations que peut subir ce dernier lors de son exposition en un milieu marin.

Le second chapitre concerne la présentation du site d'étude et ses caractéristiques. Ainsi le problème de recul du trait de côte connu dans cette zone, et qui a déjà fait l'objet de quelques travaux d'études qui ont été réalisés en 1995, 2002 en 2005 et en 2011 montrant l'évolution continue du linéaire côtier de la région.

Le troisième chapitre traite des moyens matériels utilisés sur terrain et au laboratoire, et des méthodes appliquées pour les différentes analyses.

Le quatrième chapitre est consacré aux différents résultats et interprétations des essais mécaniques et chimiques. Effectués au laboratoire.

Chapitre I

Généralité

I. Définition du trait de côte :

Le trait de côte est défini comme étant une ligne qui marque la limite jusqu'à laquelle, peuvent parvenir les eaux marines, c'est l'extrémité du jet de rive lors des fortes tempêtes survenant aux plus hautes mers de vives eaux. Elle est caractérisée par le bord de l'eau calme lors des plus hautes mers possible (APPL, 2009).

II. Agressivité du milieu marin sur les infrastructures:

L'action agressive du milieu marin se présente en effet sous plusieurs aspects :

1. Mécanique : l'action des vents, des mouvements des eaux, de la pression, induit dans la structure des efforts dynamiques et statiques. L'eau en mouvement est chargée de bulles d'air ou de particules solides peut produire des phénomènes d'abrasion selon la (Figure n°1) (Amrani ,2012).

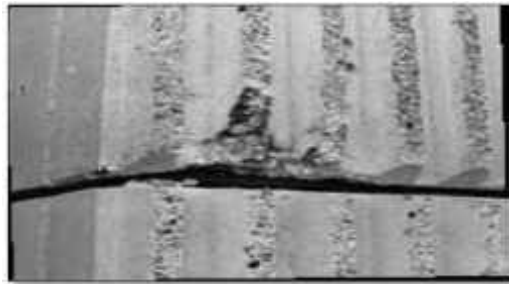


Figure n° 1: Abrasion ,phénomène mécanique

2. Physique : Le matériau peut subir des cycles d'humidification, séchage, gel, dégel

3. Chimique: Les matériaux réagissent avec des constituants de l'eau de mer se dégradent ainsi par voie chimique ou électrochimique (Bernard et al ,2004).

4. Biologique : Induite généralement par les bactéries, cet aspect de l'agressivité de l'environnement marin soulève deux problèmes dont on a pris conscience récemment avec l'utilisation de matériaux de plus en plus variés pour les constructions marines.

Ces différentes actions peuvent se combiner et aboutir à des mécanismes d'attaque complexes, comme la corrosion fatigue, et la prédominance de telle ou telle combinaison d'actions, caractérise l'agressivité de chaque zone d'exposition(Bernard et al ,2004).

II.1.Composition de l'eau de mer

A partir d'analyse d'échantillons d'eau de mer prélevés dans différentes mer du globe, on a constaté que si la masse totale des sels qui y sont dissous peut varier, le rapport des concentrations des différents éléments est stable (loi de Marcet ou Dittmar) (Tableau n°1).

Tableau n°1 : Concentration des éléments principaux pour une eau de salinité de 35g /kg (Culkin ,1965)

Eléments	Concentration (mg/kg)
Chlorures(Cl^-)	19353
Sulfates (SO_4^{2-})	271
Bicarbonates(HCO_3^{2-})	142
Bromures(Br^-)	67
Fluorures(F^-)	1
Bore	4
Sodium (Na^+)	10160
Magnesium(Mg^{2+})	1249
Calcium (Ca^{2+})	413
Potassium(K^+)	387
Strontium(Sr^{2+})	8

III.Le béton

III.1. Définition

Le béton est le matériau de construction reconstituant artificiellement la roche, composé de granulats, de sable, de ciment et éventuellement d'adjuvants pour modifier les propriétés. C'est le matériau de construction le plus utilisé au monde, que ce soit en génie civil ou en travaux publics (Galoul et al, 2014).

L'étude de la composition du béton a donc été scindée en deux parties :

- La première traitant des ciments de leurs propriétés et l'emploi qui diffèrent selon la nature de leurs constituants et de leurs conditions de fabrication.
- La seconde traitant des autres composants qui sont les granulats, les adjuvants et l'eau (Geoffroy, 2008)

III.2. Types du béton

Selon le domaine d'utilisation

1. Béton armé

Le béton possède une grande résistance à la compression et une résistance moindre à la traction. L'acier par contre, possède de grandes performances en traction.

Dans le béton armé (Figure n°2) chaque constituant joue son rôle au mieux de ses performances : le béton travaille en compression et l'acier en traction (Rossi ,1998).



Figure n° 2: Béton armé (Rossi ,1998)

2. Béton précontraint

Pré-contraindre le béton consiste à lui appliquer lors de sa fabrication une contrainte permanente de compression. Ce gain en compression dans le béton va ensuite s'opposer à la traction que vont générer les charges appliquées à l'ouvrage (poids propre, charge d'exploitation, charge climatique, ...) (**Rossi ,1998**). (Figure n°3).



Figure n° 3: Béton précontraint(**Rossi ,1998**).

3. Béton à haute performance

Un béton hautes performances (BHP) (ou béton à hautes performances) (Figure n°4), est un béton caractérisé par une très forte résistance à la compression, et des propriétés exceptionnelles à l'état frais (notamment en termes de viscosité), à court ou à long terme (**Hannachi et al, 2011**).



Figure n° 4: Béton à haute performance

4. Béton projeté

Le béton projeté ou gunite, est un béton propulsé, après malaxage, sur un support sous forme de jet, en couches successives. Il permet de réaliser les formes les plus complexes (dômes, coques, etc.). Il est également souvent utilisé dans les travaux souterrains ou en technique de réparation ou de soutènement (**Rossi ,1998**). (Figure n°5).



Figure n° 5: Répartition d'un pont grâce à l'utilisation d'un béton projeté

5. Béton fibré

Ce sont des bétons dans lesquels ont été incorporées des fibres de nature, dimension et géométrie diverses (figure n°6), Elles sont des composants filiformes de faible longueur, d'origine minérale, métallique ou organique. Dans le but de leur conférer certaines propriétés (Rossi ,1998).



Figure n° 6 : Béton fibré

Selon la masse volumique :

Selon la classification européenne, il y a trois classes de béton qui sont représentées ci-dessous dans le tableau suivant :

Tableau n° 2: Types de béton en fonction de leur masse volumique (Ollivier, 2008)

Types de béton	Béton léger	Béton normal	Béton lourd
Masse volumique (Kg /m ³)	De 800 à 2000	De 2000 à 2600	Supérieur à 2600

III.3.Les constituants du béton

III.3.1.Les granulats

Le granulat est constitué d'un ensemble de grains minéraux sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou minéraux, qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes :

Fillers ; sablons ; sables ; graves ; gravillons ; ballast ; enrochements.

Leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production (Houst *et al*, 1986) (Figure n°7).



Figure n° 7: Granulats

III.3.2. Les additions minérales

Sont des particules de faibles dimensions qui, ajoutées en quantités suffisamment importantes. Grâce à leur propriétés physico chimique ils améliorent notablement certaines propriétés du béton tel que l'ouvrabilité du béton frais, la résistance, la compacité et la durabilité du béton durci (Kerbouche, 2009).

III.3.3. Le Ciment

Les ciments portland sont des liants hydrauliques composés principalement de silicates de calcium hydrauliques qui font prise et durcissent en vertu d'une réaction chimique avec l'eau appelée hydratation. Lorsqu'on ajoute la pâte (ciment, air et eau) aux granulats, elle agit comme une colle et lie ensemble les granulats pour former une masse semblable à de la pierre. Le béton est le matériau le plus polyvalent et le plus répandu (Silhadj, 2006), (Figure n°8).



Figure n° 8: Ciment portland

III.3.4. Les adjuvants

Un adjuvant est un « produit dont l'incorporation dans le béton à faible dose (5% du poids de ciment) provoque des modifications de certaines propriétés du béton à l'état frais et/ou durci ».

La norme **NF EN 934-2** fixe les prescriptions et les exigences pour les adjuvants utilisés dans le béton. Elle s'applique aux adjuvants pour bétons non armés, armés et précontraints utilisés dans les bétons fabriqués sur chantier, prêts à l'emploi et préfabriqués.

III.3.4.1. Classification des adjuvants

1. Adjuvants modifiant l'ouvrabilité du béton

1.1. Plastifiants-réducteurs d'eau (NF EN 934-2)

Ils améliorent la durabilité du béton durci (tenue en gel et en milieu agressif).

1.2. Plastifiant rétenteur d'eau (NF EN 934-2)

Les plastifiants rétenteurs s'améliorent la stabilité, le ressuage est diminué, la rétention d'eau augmentée, l'homogénéité et la cohésion sont plus forte.

2. Les adjuvants modifiant certaines propriétés du béton

2.1. Entraîneurs d'air (NF EN 934-2)

Ils entraînent et stabilisent un grand nombre de bulles de petites dimensions .c'est l'ouvrabilité, et l'homogénéité et la résistance au gel qui sont accrus le plus sensiblement avec l'utilisation avec ces adjuvants. L'emploi d'entraîneurs d'air est essentiel pour éviter le cheminement du pétrole dans des parois en béton armé.

2.2. Hydrofuges de masse (NF EN 934-2)

Ce sont des adjuvants qui améliorent l'étanchéité à l'eau sous pression des bétons et les protègent de l'humidité en arrêtant l'absorption capillaire.

3. Adjuvants modifiant la prise et le durcissement

Ces adjuvants sont des produits solubles dans l'eau qui modifient d'une part la solubilité des constituants en ciment et d'autre part la vitesse de dissolution de ces constituants.

3.1. Accélérateurs de prise (NF EN 934-2)

Adjuvant qui diminue le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide (le « temps de prise » est diminué).

3.2. Accélérateurs de durcissement (NF EN 934-2)

Adjuvant qui augmente la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise (le « temps de durcissement » est diminué).

3.3. Retardateurs de prise (NF EN 934-2)

Adjuvant qui augmente le temps de début de transition du mélange, pour passer de l'état plastique à l'état rigide (le « temps de prise » est augmenté).

III.3.5. Eau de gâchage

L'eau dans le béton sert à **hydrater** le ciment. Toutes les eaux ne sont pas utilisables car elles peuvent contenir des éléments qui modifient le comportement et les propriétés du béton (temps de prise, résistance, durabilité, aspect du béton...).

L'eau couramment utilisée est celle du réseau d'eau potable. Toutefois, elle peut provenir du pompage d'eau des nappes phréatiques ou de cours d'eau (**Qualit, 2009**).

III.4. Propriétés du béton durci

III.4.1. Résistance à la compression

La Résistance à la compression est le résultat d'une série d'essais qui permet de déduire la capacité d'un matériel pour résister à des forces de compression (Michel, 2010), la machine d'essai utilisée dans ce cas doit être adaptée au diamètre des carottes. L'essai de compression est réalisé selon la norme **NF EN 12504_1 Aout 2000**. (Figure n°9).

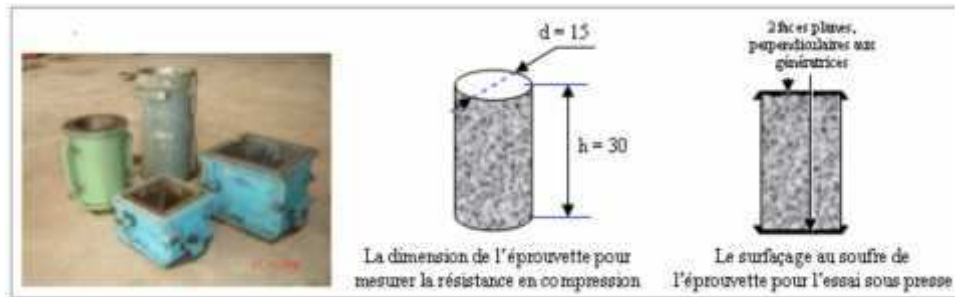


Figure n°9: Les moules cylindriques, cubiques et les éprouvettes pour mesurer la résistance en compression (NF EN 12504_1 Aout 2000)

III.5. Adhérence armature-béton

La liaison de l'armature et de béton appelée adhérence, assure la participation conjointes des deux constituants du béton armé. Cette participation sera d'autant plus homogène que l'adhérence sera uniforme tout au long de choc barre, l'uniformité de l'adhérence dépend de plusieurs paramètres fonction des deux matériaux en contact (Palewski, 1964).

III.5.1. Le stockage des armatures

Aux cours de stockage toutes les armatures doivent être protégés des agents qui peuvent altérer : humidité, embruns marin, les boues, et doivent être approvisionnées sur le chantier progressivement en vue de leurs assurer une certaine protection, elles peuvent être livrées graissées (Palewski, 1964).

IV. Corrosion des aciers dans le béton

La corrosion des aciers dans le béton (figure n° 10) est l'une des principales pathologies des ouvrages maritimes, elle entraîne des couts très importants de maintenance de réparation, et peuvent dans certains cas mettre en cause la sécurité des structures et des usagers (Evrmlı, et al 2014).



Figure n° 10: Béton corrodé

IV.1. Définition de la corrosion

Le terme corrosion vient du latin "corroder" qui signifie rongé, attaquer. La corrosion affecte tous les métaux. Elle résulte d'interactions physico- chimiques entre le matériau et son environnement entraînant des modifications de propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques, optiques, esthétiques, etc.) la corrosion a été défini en présence d'une phase liquide, comme un processus électrochimique. (Wagner et Traud, 1938 in Amrani, 2012)

IV.2. types de corrosion

Il existe plusieurs types de corrosions :

IV.2.1. Corrosion uniforme

C'est une perte de matière plus ou moins régulière sur toute la surface. Cette attaque est observée sur les métaux exposés aux milieux acides (Uhlig, 1971). (Figure n°11)



Figure n° 11:Corrosion uniforme

IV.2.2. Corrosion galvanique ou corrosion bimétallique

Elle est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux métaux qui diffèrent par leur potentiel de corrosion. Le métal ayant le potentiel de corrosion le plus négatif, subit une corrosion accélérée provoquée par l'autre métal (Uhlig, 1971). (Figure n°12)



Figure n° 12:Corrosion galvanique

IV.2.3. Corrosion caverneuse

Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant ainsi une pile électrochimique. Cette attaque sélective du métal est observée dans les fissures et autres endroits peu accessible (Uhlig, 1971).



Figure n° 13 : Corrosion caverneuse

IV.2.4. Corrosion par piqûre

Elle est produite par certains anions, notamment les halogénures, et plus particulièrement les chlorures, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. Elle induit typiquement des cavités de quelques dizaines de micromètres de diamètre (Uhlig, 1971).



Figure n° 14: Corrosion par piqure

IV.2.5. Corrosion sous contrainte

C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et d'une réaction électrochimique (Uhlig, 1971)



Figure n°15: Fissuration sur métal sous l'effet d'une contrainte

IV.3. Processus de la corrosion

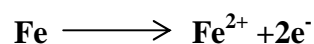
Dans la plupart des cas (corrosion galvanique, caverneuse, par piqûres, etc.), c'est la formation d'une pile de corrosion qui est à l'origine de la corrosion (**Bernard et al, 2004**).

IV.3.1. Pile de corrosion

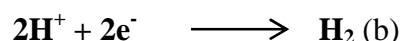
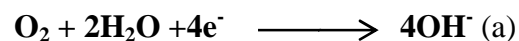
Une pile de corrosion est une pile électrochimique qui se forme lorsque deux parties d'une structure possèdent un potentiel électrique différent. La différence de potentiel résulte souvent des hétérogénéités du matériau ou du milieu environnant. La surface de l'acier est alors constituée d'une multitude de micro-piles, elles-mêmes constituées de zones dites anodiques où les électrons sont libérés et de zones cathodiques où les électrons sont consommés.

En milieu aqueux, le processus de corrosion électrochimique de l'acier peut être décrit de manière simplifiée par deux réactions électrochimiques élémentaires simultanées (**Guy, 2003**)

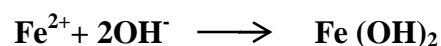
Dans la zone anodique, l'acier se dissout :



Les ions ferreux Fe^{2+} passent dans la solution et peuvent s'oxyder ultérieurement en ions ferriques Fe^{3+} . Dans la zone cathodique, les électrons produits sont consommés afin de maintenir l'équilibre électronique. Les réactions cathodiques correspondantes sont la réaction de l'oxygène dissous dans l'eau(a) ou la réduction du proton avec dégagement d'hydrogène (b) :



Les ions hydroxyde OH^{-} formés dans la solution peuvent ensuite se combiner aux ions ferreux Fe^{2+} et précipiter en hydroxyde ferreux à la surface de l'acier, lorsque les concentrations en ions ferreux et hydroxyde le permettent (**Chapon, 1984**).



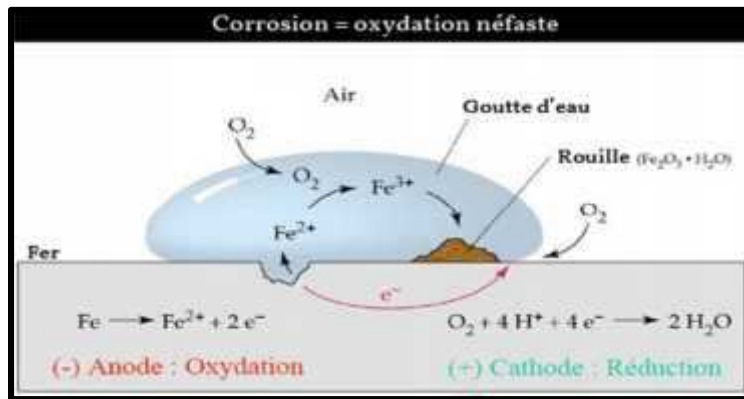


Figure n°16: Processus de corrosion (Broomfiolo, 1994)

Les réactions chimiques ci-dessus se produisent parce qu'avant d'être placée dans le coffrage, une armature en acier est rouillée puisqu'elle a d'abord été exposée à l'atmosphère. Lorsque le béton frais est mis en place autour de cet acier, l'eau de gâchage pénètre à travers les pores de la rouille, où elle forme progressivement de la ferrite de calcium hydraté ($4\text{CaO}, \text{Fe}_2\text{O}_3$). Mais surtout, cette eau réagit avec l'acier métallique et forme sur celui-ci une fine couche d'hydroxyde de fer [$\text{Fe}(\text{OH})_2$] et de calcium [$\text{Ca}(\text{OH})_2$]. Tous ces produits au voisinage de l'acier donnent à la solution interstitielle du béton un pH élevé, de l'ordre de 13. L'eau de gâchage du béton permet donc de former autour de l'acier des produits, qui le protègent par passivation. Plus exactement, sous la rouille, une armature est recouverte d'une fine couche protectrice de produits blancs, à base de ferrite et d'hydroxyde de calcium. Une telle protection disparaît si des agents agressifs s'infiltrèrent dans le béton et provoquent de nouvelles réactions chimiques qui diminuent le pH du béton (Gerard *et al*, 2002).

IV.4. Pénétration des corps agressifs à travers le béton

La pénétration de ces corps peut être due à divers mécanismes : capillarité, sous l'effet de gradients de pression, par diffusion. Et les agents agressifs pouvant pénétrer dans le béton sont variés (les chlorures, le CO_2 , les sulfates) (Gerard *et al*, 2002).

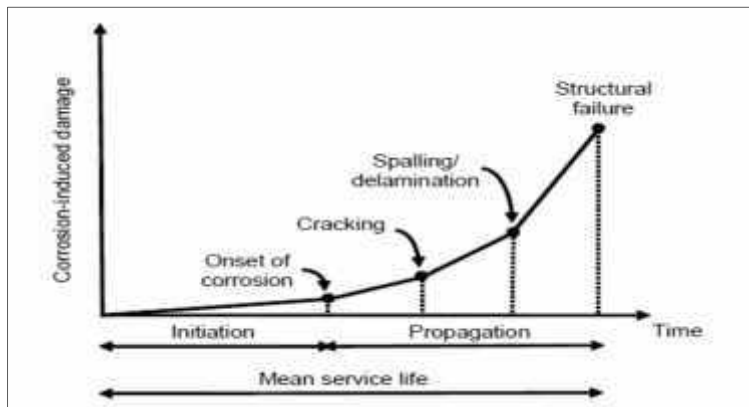
IV.4.1. Les étapes de la corrosion

Dans la durée de vie d'une structure en béton armé, on peut distinguer deux périodes : une période d'initiation et une période de propagation.

a) Initiation Dans cette première phase les éléments agressifs tels que les chlorures, le CO_2 et les sulfates présents dans le milieu environnant pénètrent dans le béton ; La durée de cette première période est déterminée par la vitesse de neutralisation du béton d'enrobage (Vincent, 2009).

b) Propagation

Elle commence lorsque les corps agressifs se trouvent à des concentrations assez fortes au niveau des armatures, elle correspond à la croissance de la rouille, puis l'acier se corrompt jusqu'à ce que la section des aciers soit inférieure à une valeur acceptable. Qui peut ensuite faire éclater le béton d'enrobage. La façon la plus simple et la plus efficace de prédire la durée de vie des ouvrages consiste à évaluer la phase d'initiation (ou d'incubation) de la corrosion (Vincent, 2009).



Onset of corrosion : de- passivation de l'acier

Cracking : formation des fissures

Spalling/delamination : Ecaillage de béton

Structural failure : destruction de la structure

Figure n°17: Evolution de la corrosion dans les éléments en béton armé (Tutti, 1982 in Armani, 2012)

IV.4.2. Dé-passivation des armatures

Si un acier est préalablement recouvert de produits passivants (cas du béton sain), cette protection est altérée le plus souvent par l'introduction de deux agents pouvant se présenter simultanément : le dioxyde de carbone CO_2 (carbonatation) et l'ion chlorure Cl^- (chlorures) en excès au niveau des armatures. Il se produit alors une dé-passivation.

Le mécanisme de dé-passivation comprend les étapes suivantes :

- la couche passivante est détruite localement là où la teneur en chlorure ou en dioxyde de carbone est très forte ;
- de la rouille se forme là où la passivation a disparu ;
- la rouille se transforme en des oxydes (ou hydroxydes) poreux si la teneur en oxygène est assez élevée.

Lorsque le pH du béton est inférieur à environ 9, les teneurs critiques en chlorures et en carbonates provoquant la dé-passivation de l'acier sont très faibles et correspondent à des eaux naturelles, potables. C'est pourquoi, en pratique, ce pH est souvent considéré comme étant la valeur critique de dé-passivation des aciers (Ghomrani et al, 2011).

IV.4.3. Carbonatation

IV.4.3.1. Définition de la carbonatation

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel qui concerne tous les bétons et qui conduit à la formation de carbonates de calcium par réaction entre les composés des ciments (principalement la portlandite) et le dioxyde de Carbone atmosphérique CO_2 présent dans l'air à un taux moyen de 0.03% en volume (Goyvaerts, 2012).

IV.4.3.2. Mécanismes de carbonatation

Le CO_2 présent dans l'atmosphère peut être à l'origine d'une carbonatation des matrices cimentaires. Il se diffuse alors sous forme gazeuse dans la porosité du béton ou du mortier et se dissout suivant la réaction suivante : $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

Dans l'eau l'acide carbonique (H_2CO_3), se comporte comme un diacide faible dont la dissociation a lieu en deux phases désignées par les réactions :



Les ions OH^- proviennent de l'autoprotolyse de l'eau : $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{OH}^- + \text{H}^+$

La portlandite se dissout suivant la réaction suivante : $\text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\text{H}^+} \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$

Ainsi les ions Ca^{2+} de calcium sont libérés au cours de la réaction, réagissant avec les ions carbonates pour former du carbonate de calcium :



Ce phénomène a pour conséquence d'abaisser le pH du milieu et de conduire à la dissolution des hydrates du ciment.

L'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) notamment affecté. Notons aussi que les ciments contiennent également des oxydes d'alcalins (Na_2O et K_2O) qui se retrouvent sous forme de bases alcalines dans la solution interstitielle (NaOH et KOH). Ces espèces alcalines permettent de maintenir une basicité au-delà de la valeur imposée par la portlandite. Ainsi cet hydrate joue un rôle fondamental dans la protection des armatures du béton (Olivier, 2008).



Figure n°18: Mécanisme de carbonatation au niveau de béton (Olivier, 2008)

IV.4.3.3. Conséquence de carbonatation

Si le pH diminue trop, la couche de passivation des aciers constituée d'oxydes et d'hydroxydes ferreux devient instable. Il s'ensuit une corrosion rapide, dite généralisée, sur toute la surface de l'armature. Les produits de corrosion, qui sont expansifs, endommagent le parement (fissuration,

épaufrures, etc.), forment des coulées de rouilles inesthétiques et conduisent à la réduction de la section d'acier des armatures. Une conséquence secondaire du phénomène de carbonatation correspond à une densification de la zone carbonatée par rapport au béton sain. Cette densification, peut, dans certaines conditions conduire à une diminution relative de 10 à 15% de la porosité de la zone carbonatée, formant ainsi une barrière diffusionnelle limitant les phénomènes de transfert.

A partir d'une distance de 25 à 30mm à l'intérieur du béton, il n'y a plus d'échange gazeux grâce aux dépôts de calcaire de la pâte du ciment. Le Ph reste stable à une valeur d'environ, la corrosion ne se manifeste pas (Dooms et al ,2008).

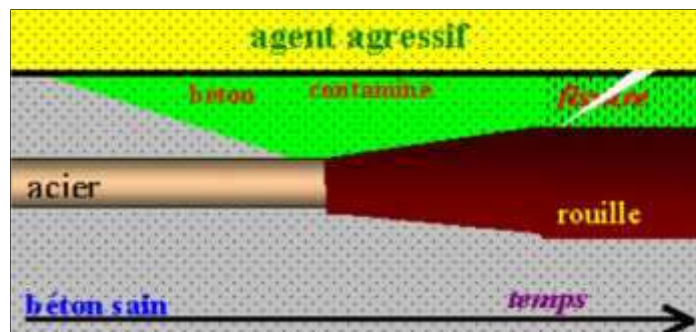


Figure n°19: Etapes de la corrosion des aciers dans le béton, induite par des agents agressifs (Ndzana ,2007)

IV.4.4. Action des ions chlorures

La corrosion des armatures générée par les ions chlorures est la principale cause de dégradation des structures en béton armé.

Les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion sous deux effets :

- Diminuer la résistivité de l'électrolyte ce qui facilite le transport des ions d'un site à un autre
- Permettre un amorçage plus rapide de la corrosion en dé-passivant la couche superficielle.

La corrosion qui en résulte sous forme de piqûres à la surface de l'acier est une corrosion localisée. Les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve fortement augmentée.

Les chlorures existent sous deux formes dans le béton :

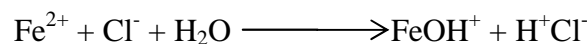
- Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle ;
- Les chlorures piégés ou liés qui sont combinés à des hydrates du ciment et à des agrégats, ou absorbés physiquement sur les parois des pores (Belarouci, 2011).

Une fois pénétrées dans le béton ils se passent aux réactions chimiques :

$\text{CaCl}_2 + \text{C}_3\text{A}$ (Aluminate tricalcique) \longrightarrow $(\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$, relativement stables dans le béton,

$\text{MgCl}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$ (brucite), provoque une dissolution de liant.

Au sein de la piqûre, les ions chlorures s'associent avec l'ion hydrogène de l'eau pour former de l'acide chlorhydrique.



Ces réactions acidifient la solution dans la piqûre, abaissant fortement le pH entre 3,8 et 5. Les ions hydroxyde de la phase interstitielle du béton se combinent alors avec les ions ferreux Fe^{2+} ayant diffusé hors de la piqûre tandis que la réaction cathodique est la même que dans le cas de corrosion en absence de chlorure.

Tant que la solution à l'intérieur de la piqûre est acide, la dissolution de l'acier reste active et les piqûres croissent en profondeur. Ce mécanisme est schématisé (Figure n°20) par le modèle de **(Page et al in Amrani, 2012)** Les piqûres continuent de croître si la concentration locale en ions chlorure est suffisante (la concentration des chlorures doit augmenter tandis que celle des ions hydroxyde doit diminuer). Si ce n'est pas le cas, la repassivation de l'acier est possible.

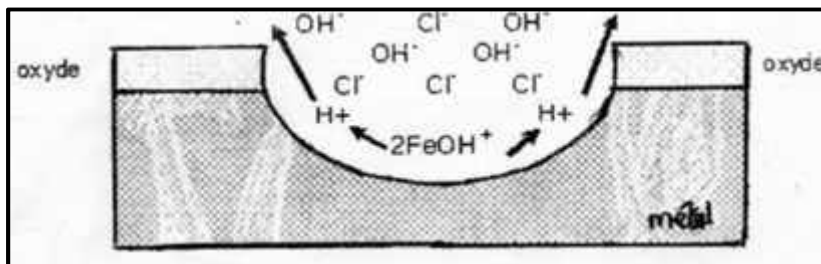


Figure n°20: Modèle de **Page et al.** Attaque de l'acier par les ions chlorures

Ainsi, une trop faible concentration en ions chlorure dans la solution interstitielle ne détruira pas le film passif. Il existe donc une teneur critique en ions chlorure ou un rapport en concentration chlorures/hydroxydes noté $[Cl^-] / [OH^-]$. Dès que le rapport $[Cl^-] / [OH^-]$ dépasse le seuil critique égal à 1, la solution est instable : elle devient plus acide. Cette instabilité correspond à la formation de produits de corrosion qui, en présence d'oxygène ne protègent pas l'acier. Mais lorsque ce rapport est inférieur à 1, les chlorures n'ont pas d'effet sur cette solution qui reste donc stable (**Balarouci, 2011**).

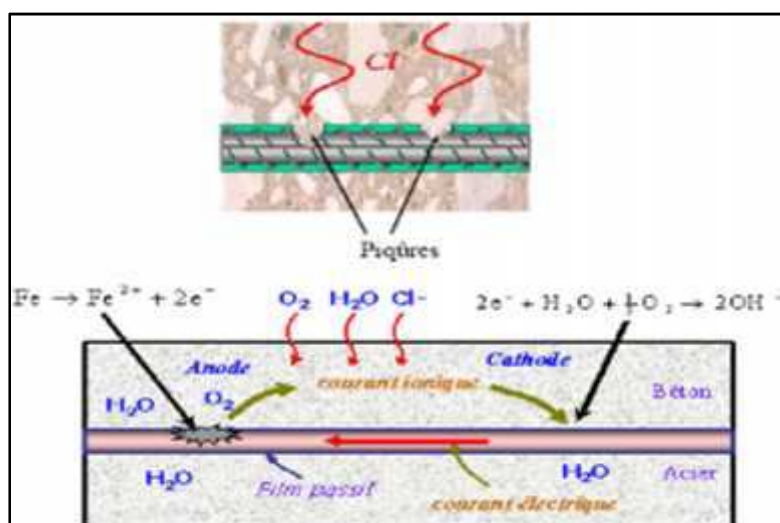


Figure n°21: Schématisation de l'évolution de la dégradation du béton et de l'acier (**Thai, 2007**)

IV.5. Facteurs influençant la durabilité du béton

IV.5.1. Le rapport eau /ciment (E /C)

Un rapport E/C faible diminue la porosité, la perméabilité et retarde la pénétration des ions agressifs rapport E/C faible diminue. Pour le dosage en ciment, il est responsable de la quantité de matière susceptible de se carbonater, plus ce dosage est élevé plus il y'a de matière pour la carbonatation. Et puisque la carbonatation provoque la diminution de porosité, il y'aura un freinage de la vitesse de pénétration de gaz carbonique, c'est-à-dire l'augmentation du dosage de béton à un effet ralentisseur sur la propagation de la carbonatation (Touil et al ,2011).

IV.5.2. Perméabilité

Une faible perméabilité retarde la pénétration des ions agressifs.

IV.5.3. La nature du ciment

Le ciment avec des constituants secondaires (laitiers...etc.) ont naturellement une teneur en composé susceptible de se carbonater inférieure à celle du ciment portland, ainsi, la profondeur de carbonatation des ciments avec des ajouts est supérieure à celle du ciment portland (Touil et al ,2011).

IV.5.4. Recouvrement

Il faut prévoir un bon recouvrement (60 mm) des aciers d'armature pour éviter la corrosion métallique(Touiletal ,2011).

V. Les classes d'exposition d'un béton :

La détermination rigoureuse des classes d'exposition auxquelles est soumis le béton nécessite une analyse par étapes successives de l'ensemble des actions environnementales potentielles. Cette démarche peut être décomposée en cinq étapes.

Etape 1 : prise en compte des conditions climatiques.

Etape 2 : prise en compte de la localisation géographique de l'ouvrage par rapport à la mer.

Etape 3 : prise en compte de l'exposition du béton à l'air et à l'humidité.

Etape 4 : prise en compte de l'action des chlorures d'origine autre que marine.

Etape 5 : prise en compte du contact avec le sol et des eaux de surface ou souterraines

Tableau n° 3: Classes d'exposition d'un béton (selon la norme NF EN 206-1)

Risque de corrosion	}	X0	Aucun risque de corrosion
		XC	Corrosion induite par carbonatation
		XD	Corrosion induite par les chlorures ayant une origine autre que marine
		XS	Corrosion induite par des chlorures présents dans l'eau de mer
Attaques	}	XF	Attaque gel- dégel avec ou sans agents de déverglaçage
		XA	Attaque chimique

Chapitre II

Présentation du site d'étude

I. La zone d'étude : Sidi Fredj

I) Situation géographique

La presqu'île de Sidi Fredj se situe à une vingtaine de kilomètres à l'ouest d'Alger. C'est une localité étendue sur un kilomètre au bord de la mer, orientée vers le Nord-Ouest, sur 1km selon le grand axe et sur 200m selon le petit axe elle forme le cap Est de la baie de Bou Ismail et la limite Ouest de la baie d'EL Djamilia.

C'est un promontoire rocheux en saillie par rapport aux côtes sableuses limitrophes caractérisées par deux pointes :

- La pointe de Marabout à l'est où se situe le port de plaisance de Sidi Fredj.
- La pointe de St janvier à l'Ouest à la limite de la baie d'EL Djamilia.

Les coordonnées géographiques :

Elle se situe entre $2^{\circ} 50' 48''$ Est de longitude et $36^{\circ}45'17''$ Nord de latitude jusqu'à $2^{\circ}50'41''$

Est de longitude et $36^{\circ} 45' 06''$ Nord de latitude avec 1.33km de l'attitude

2) De point de vue administratif

La localité de Sidi Fredj appartient à la commune de Staouéli, daïra de Zeralda et Wilaya d'Alger.

Elle couvre une superficie de 69ha dont 1.6 ha boisée, délimitée au :

Nord : par la mer Méditerranée.

Sud : par la forêt domaniale d'environ 96ha.

I.2. Présentation de site d'étude : La Plage ouest Sidi Fredj

La plage Ouest Sidi Fredj est délimitée au Nord par la digue du centre de thalassothérapie et au Sud par la digue du centre de repos de l'ANP(Figure n°22). Cette plage est bordée par plusieurs habitations. Cette plage est très fréquentée durant la période estivale.

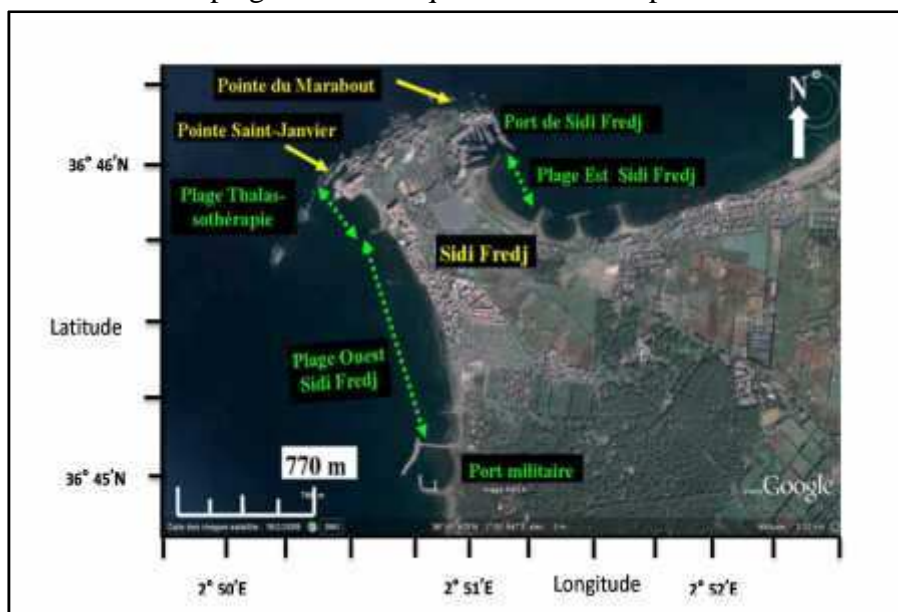


Figure n°22: Situation géographique de la plage ouest Sidi Fredj (Google Earth.2010)

I.3. Contexte géologique de la zone d'étude :

I.3.1. Géologie régionale

Les affleurements de la presqu'île de Sidi-Fredj sont les prolongements de l'important ensemble cristallin de la grande Kabylie, auquel se rattache le massif granitique de Thénia (**Leclaire, 1972**).

De point de vue géologique la presqu'île de Sidi-Fredj est caractérisée par deux ensembles :

Le socle dont les affleurements sont considérés comme une partie du massif d'Alger qui est formé par des roches métamorphiques (gneiss, micaschistes et calcaires métamorphiques (**Degiovanni, 1973**).

Les formations sédimentaires déposées au-dessus du socle sont d'âge pliocène, calabrien et enfin quaternaire.

I.3.2. Géologie locale

Notre zone d'étude regroupe toutes les formations géologiques citées. En effet le socle métamorphique forme le promontoire Est, les ilots et le platier rocheux.

Les formations quaternaires constituent une partie de l'arrière plage sur laquelle repose actuellement le mur de protection et le parking du complexe, une partie du platier rocheux est constituée de grès de plages anciennes.

II. Evolution de trait de côte de la zone d'étude

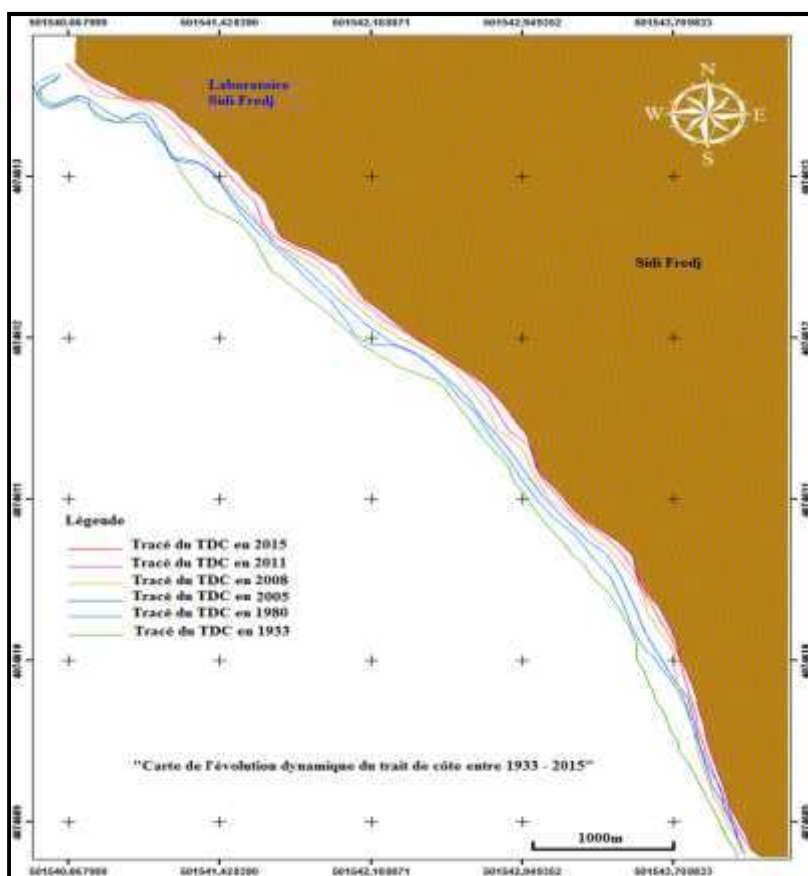


Figure n°23: Evolution de trait de côte du littoral ouest de Sidi Fredj (1933-2015)

La mobilité du trait de côte depuis 1933 jusqu'au 2015 classe la plage Ouest de Sidi Fredj dans une situation très désespérée. Un linéaire côtier d'environ 750m de longueur a complètement disparu ne laissant qu'une partie de plage de 150m de longueur au voisinage de la jetée militaire.



Figure n° 24: Jetée militaire près de Sidi Fredj (2015)



Figure n° 25: Partie restante de la plage ouest (2011)



Figure n° 26: Partie restante de la plage ouest (2015)

II.1. Les principaux facteurs hydrodynamiques dans la plage ouest Sidi Fredj

II.1.1. Pluviométrie

En période hivernale: la pluviométrie est relativement importante de Décembre à mai, se situant entre 15 et 108 mm

En période estivale: la pluviométrie est réduite, de juin à septembre avec une quantité variant entre 4 à 25 mm (Haoua et Laloui, 2006 in Sadaoui, 2011).

II.1.2. Les vents

La répartition des vents dans la région de Sidi Fredj est liée au régime des houles tout le long de l'année. Les données recueillies par le laboratoire d'étude maritime (LEM) indiquent que dans cette région les vitesses de vent les plus fréquentes se situent entre 6 et 10m/s

On relève à ce titre :

- Une dominance hivernale caractérisée par les vents d'Ouest et Nord-Ouest.
- Une dominance estivale caractérisée par le vent Nord-est

II.1.3. les réseaux Hydrographiques

La dynamique sédimentaire de la zone de Sidi Fredj est influencée essentiellement par Oued Mazafran et celui de Beni Messous ;

L'Oued Mazafran qui tire son nom de la couleur de ses eaux : El Ma Essafra (eau jaune) ; constitue l'un des principaux cours d'eau de la Mitidja et le plus important débouchant dans la baie de Bou-Ismaïl. Il est formé principalement par la confluence de trois Oueds secondaires qui sont l'Oued Djer, Bouroumi et la Chiffa et reçoit comme affluent Oued Fatis.

L'Oued de Beni Messous se situe à droite de cap du Sidi Fredj et au centre de la baie d'EL Djamila. Il traverse les communes de Beni Messous et de Chéraga au Nord, de Bouzaréah au Nord-est, de Dely Ibrahim à l'Est et d'Ain Benian à l'Ouest. Il débouche au niveau de la plage « les Dunes » qui font partie de la baie d'El Djamila.

II.1.4. Les houles

L'analyse des données de la houle faite par le **LEM (1983)** d'après U.S naval Weather command pour la période de 1963 à 1970 montre qu'on ne peut considérer que deux périodes (Tableau n°4) L'une hivernale avec prédominance au large des houles Ouest à Nord-Ouest. L'autre estivale avec prédominance au large des houles de Nord-est à l'Est. La situation géographique de la zone d'étude fait que la houle provenant du secteur Nord-est déferle sur la partie externe de la pointe et sur les îlots vers le Sud-ouest, alors que le plan d'eau intérieur reste généralement calme.

En saison hivernale, caractérisée par des houles d'Ouest à Nord-Ouest, le chapelet d'îlots prolongeant la pointe St-Janvier joue le rôle de brise-lame et protège également l'anse de ces houles.

Les seules agitations qui pourraient avoir un effet important seraient les houles de Sud-ouest et elles sont très rares, voire amoindries après construction de l'épi.

Tableau n° 4: Les fréquences (%) d'apparition de la houle dominante U.S.N.W.C. (1963-1970). (**L.E.M, 2002**)

Direction	période		
	Moyenne festival	Moyenne hivernale	Moyenne annuelle
nord	7.766%	9.266%	8.50%
Nord est	26.016%	10.533%	18.30%
Nord-ouest	4.433%	8.816%	6.60%
ouest	17.266%	33.183%	25.10%

Le tableau ci-dessus montre que les houles les plus fréquentes dans cette zone sont de direction Ouest avec une fréquence annuelle de 25.10 % et Nord-est avec une fréquence annuelle de 18.30 % et ce, selon deux saisons de l'année :

-**En hiver** les houles les plus importantes et violentes viennent du secteur Ouest avec une fréquence saisonnière de 33.18 %, elles exercent une attaque frontale sur le rivage qui est à l'origine de son érosion pendant la saison et la formation de barres sous-marines. (L.E.M).

-**En été** les houles les plus fréquentes sont celles du secteur Nord Est avec une fréquence saisonnière de 26.01 %.

III. Erosion de la plage ouest sidi Fredj

La dynamique des plages reste principalement sous l'influence de paramètres naturels tels que la houle, les courants, les vagues, la marée, le vent, l'érosion des sols, l'augmentation du niveau de la mer. Pourtant de nos jours, les activités de l'homme ont fortement modifié la dynamique du littoral et tendent à supplanter les causes naturelles.



Figure n° 27: Etat de la station ENSSMAL(2011) Figure n° 28: Etat de la station ENSSMAL (2015)



29: Etat de la station ENSSMAL (2011) Figure n° 30: Etat de la station ENSSMAL(2015)



Figure n° 31: Etat de la station ENSSMAL (2011) Figure n° 32: Etat de la station ENSSMAL (2015)

En comparant les photos de 2011 et 2015, nous remarquons une nette régression de la côte. Actuellement, Il y'a un contact direct entre l'eau de mer et les infrastructures côtières.

La description de l'évolution de trait de côte requiert donc d'analyser des dynamiques marines. La mer, grâce à l'action combinée des vagues et des courants constituent le principal facteur d'évolution morphologique de la cote sous le triple effet de l'érosion, du transport et de l'accumulation des sédiments côtiers.

III.1. Causes de l'érosion marine au niveau de ce site

a. Les raisons de la fragilité naturelle

La modification de profil de la côte ouest de Sidi Fredj est provoquée par des variations des volumes des matériaux déposés ou enlevés.

L'étude faite par (**Chenibet, 1995 in sadaoui, 2011**) montre la présence d'une large plage de plusieurs 10 aines de mètres.

Les houles, par l'énergie qu'elles dissipent à l'approche de la cote et suivant l'obliquité de leur attaque vis-à-vis du rivage, provoqueront des transits perpendiculaires, ce qui entraine un déficit sédimentaire et érosion.

L'étude de l'angle d'incidence de la houle nous renseigne sur la présence de courants de retour en hiver, et d'une faible dérive littorale dirigeant du Nord vers le Sud. Le site d'étude est donc soumis à un transport littoral peu important d'autant plus qu'on assiste à un départ saisonnier du sable vers le large.

b. Impact humain sur l'évolution de la plage Ouest

Une autre cause de dégradation de la plage ouest est due à la réalisation du projet du complexe de thalassothérapie et le port dans la zone militaire.

Les études réalisées au niveau de **LEM** ont pu donner le renseignement suivant :

L'ensablement du port militaire est dû à l'apport sédimentaire de site en provenance **de l'ouest.**

Par conséquent, le port, par sa présence, contribue à la fois à la sauvegarde de la partie restante de la plage Ouest, qui se trouve au pied de la jetée militaire, et à la disparition du reste.

c. Impact du complexe de Thalassothérapie

Après la réalisation du complexe de Thalassothérapie (Figure n° 34), un fait de constatation démontre que des volumes sédimentaires parcourant toute la zone se trouvent piégés au niveau de l'épi, induisant ainsi un dépôt de sable à l'amont et une érosion à l'aval.

La plage de la Thalassothérapie se trouve ainsi coincée avec des sédiments piégés entre le complexe et l'épi. Il faut noter que des injections de sable ont été effectuées (4000 à 5000 m³) pour agrandir la largeur de la plage touristique.



Figure 33: La plage de centre re de thalassothérapie
thalassothérapie (GoogleEarth)

Pour protéger ces constructions, les habitants ont placé des blocs d'environ 300 Kg, et ceci de manière anarchique formant ainsi de courtes jetées (Figure n°35).

Ces enrochements, n'ont fait qu'aggraver la situation, donnant ainsi naissance à des poches de sable réparties le long de cette plage. Cette situation s'explique par l'ampleur de la dérive littorale et du déferlement ponctuel des vagues à haut potentiel énergétique sur les autres parties, (laboratoire de recherche ENSSMAL).



Figure n°35: Emplacement anarchique

Le contact direct de l'eau de mer avec cette bâtisse montre que cette dernière pourra être affectée par des ions agressifs présents dans l'eau de mer (Figure n°36). Cette photo montre des taches de sel qui sont dus aux embruns marins.



Figure n°36: Taches de sels sur les murs extérieurs de la station ENSSMAL (2015)

Chapitre III

Matériels et méthodes

I. Moyens et procédure pour mener l'évolution de trait de côte

Suite au manque de données sur notre zone d'étude, on s'est référé aux travaux menés par Sadaoui M. en 2011 ayant élaboré une étude d'évolution du trait de côte entre la période 1933-2011. Pour avoir une étude plus récente, on a dû emprunter une carte à partir de la base de données de Google Earth datant de 2015.

I.1. Aperçu du logiciel ArcGis 9.2 :

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées. (Aoudj et Bouaziz, 2014).

Le logiciel ArcGIS 9.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

ArcCatalog: est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme WINDOWS ou DOS (copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc.). Il est vivement conseillé d'utiliser ArcCatalog pour effacer les fichiers car ces fichiers sont accompagnés d'autres fichiers que l'explorateur de Windows, s'il est utilisé, ne permet pas de les effacer automatiquement.

Pour étudier l'évolution du trait de côte du littoral Ouest de Sidi Fredj, nous avons utilisé le logiciel SIG, qui est ArcGis 9.2 tout en procédant par :

- Le scan de la carte résultante (1933-2011) ;
- Géo référencement de la carte résultante (1933-2011) sous le système de coordonnées horizontales projetées: Nord_Sahara_1959_UTM_Zone_31N ;
- Sous ArcCatalog, création de cinq (05) couches "*layers*" pour chaque année, géo référencement sous le même système de coordonnées horizontales projetées, puis digitalisation de chaque tracé ;
- Géo référencement de la carte extraite (2015) sous le même système de coordonnées horizontales projetées;
- Création de sixième couches "*layer*", géo référencement sous le même système de coordonnées horizontales projetées ;
- Création d'une autre couche, sous le nom "*évolution.shp*", le but de réunir et superposer les six traits de côte issus de la digitalisation ;
- Superposition des six tracés.
- Mesure de la surface du polygone liant les deux tracés 2011 et 2015 à l'aide de la règle numérique d'ArcMap.

II. Présentation du plan de la station de recherche ENSSMAL

Le plan de station de recherche de l'ENSSMAL située à Sidi Fradj est donnée par la figure n°37

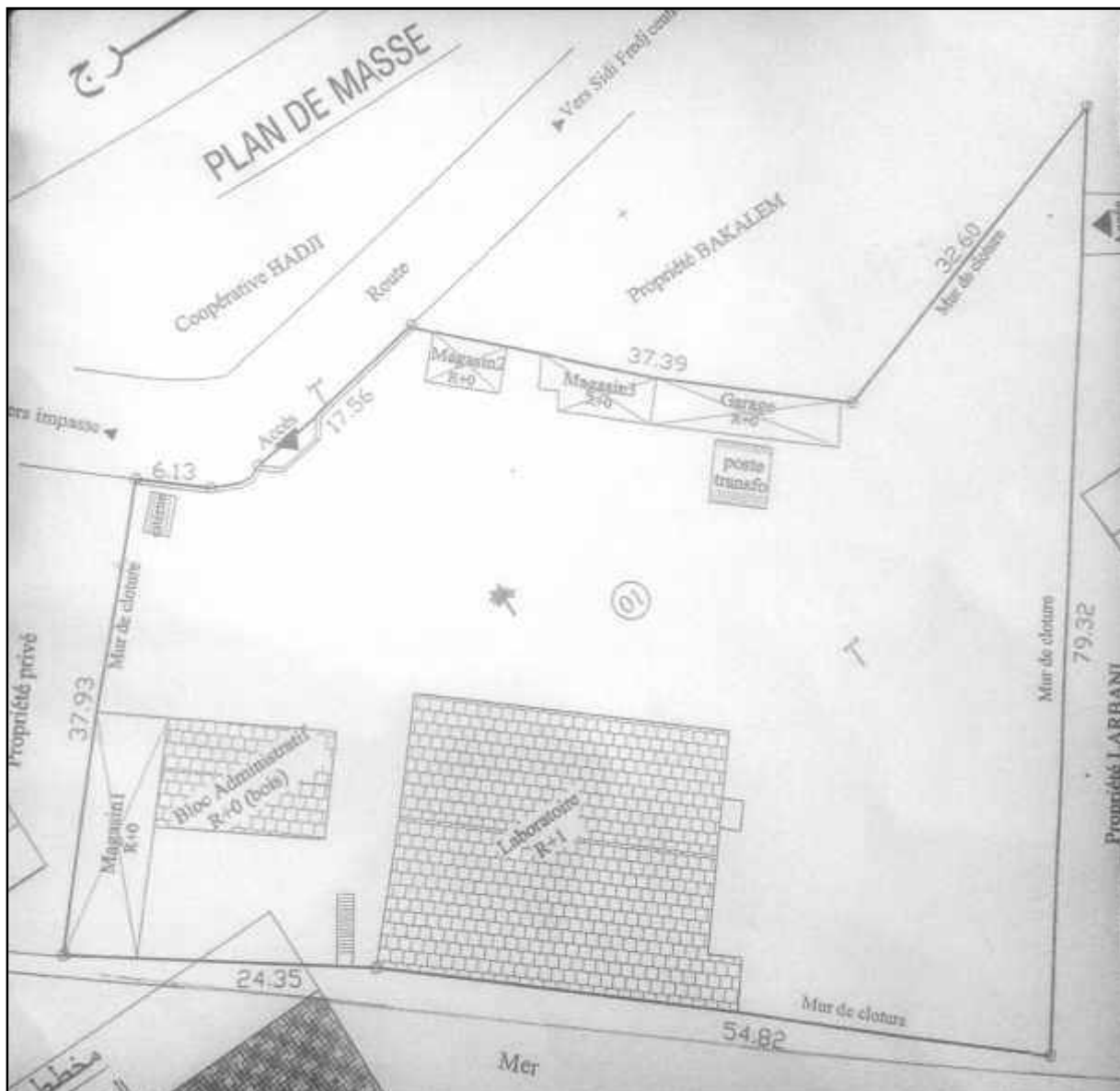


Figure n°37: Plan représentatif de la station de recherche Sidi Fredj ENSSMAL (Ben Atou, 2008)

Le plan de la bâtisse ENSSMAL montre que cette station présente différentes parties et cases constitutives (magasins, bloc administratif, laboratoires, garage) avec une superficie de 960.000 m².

Ce bâtiment a subi deux tremblements de terre :

-Tremblement de terre d'octobre 1989 dont l'épicentre est situé à moins de 20 km de la station de recherche.

-Tremblement de 23 Mai 2003 dont l'épicentre est situé à Boumerdès a causé d'énormes dégâts à la structure du bâtiment ; il a été classé par les organismes de contrôles techniques (CTC) « orange », bâtiment a conforté.

Des travaux de confortement de la face maritime du bâtiment ont été exécutés par la wilaya d'Alger en construisant des murs de soutènements.

Pour les essais de vérification de la qualité du béton de la bâtisse, nous avons limité notre champ à la face maritime du bâtiment.

II.1. Etude sur terrain

Une sortie de terrain a été effectuée le 08 juin 2015 qui a comme objectif de réaliser des prélèvements de béton à l'aide d'un carottier.

II.1.2. Type de Prélèvements :

Le carottage a été effectué selon la norme Afnor **NF EN 12504-1**

II.1.2.1. Définition :

Le carottage c'est le découpage des échantillons de béton ou carottes, d'une structure à l'aide d'une machine ou carotteuse dont la partie active est le carottier (**Gauthier, 2011**)

II.1.2.2.Principe

Les carottes extraites au moyen d'un carottier, sont soigneusement examinées. Leurs extrémités sont préparées par rectification ou par surfaçage, puis testés en compression.

La carotteuse est équipée de 3 éléments : a-bâti, b-carottier, c-moteur)



Figure n° 38: Carotteuse équipée : a-bâti; b- carottier; c- moteur

Bâti : il est rigide et parfaitement immobilisé par rapport à la structure dont on veut extraire les carottes. Le positionnement se fait à l'aide de différents moyens, dans notre cas le carottage est horizontal, le positionnement donc se fait par étayage.

La fixation a été particulièrement soignée afin d'éviter toute vibration préjudiciable à la qualité de la carotte (**Hervé, 2000**).

Carottier : c'est un outil dont la couronne est constituée de segments de 2 à 4mm d'épaisseur, l'espace entre segment est nécessaire à l'évacuation de l'eau de refroidissement

et des débris de forage. Après montage le carottier doit tourner parfaitement rond sans voilage ni battement excessifs (**Hervé, 2000**).

Moteur : le moteur est de type électrique. Sa puissance dépend de diamètre de la carotte à prélever. Dans notre cas, le diamètre est de 65mm ce qui a nécessité une puissance de 2KW (**Hervé, 2000**).

Nous avons prélevés 3 carottes cylindriques dans 3 endroits différents.

C2, C4, C5 sont prélevées dans différents piliers porteurs de la bâtisse.



Figure n° 39: Prélèvement des carottes sur piliers



Figure n° 40: Carotte n°2.4.5

L'objectif est de tester la résistance à la compression du béton et le taux de contamination chimique par les ions constituant l'eau de mer

II.3. Marquage et identification

Immédiatement après l'opération de carottage, nous avons marqué les carottes par des références. Il est à noter que l'orientation de l'extraction de la carotte dans l'ouvrage de béton a été repérée.


III. Analyse en laboratoire :

Les analyses des différents paramètres ont été réalisées selon la norme **NF EN 12504-1**

Les carottes de béton prélevées ont été transportées au niveau de laboratoire de l'habitat et de la construction du centre « L.H.C.C » pour la mesure de résistance à la compression de béton, mesure de la profondeur de carbonatation et mesures des ions chlorures.

L'essai de carbonatation a été effectué le jour même de prélèvement. Pour le dosage des chlorures et la résistance à la compression, nous étions obligé d'attendre 48h pour les effectuer et ce conformément à la norme citée plus haut.

Tableau n° 5: Identification des prélèvements

références	illustrations	observations
C2, C4 C5		<p>Longueur variant entre 14cm 23.5 cm Diamètre : .6.5cm</p>

III.1 Essai mécanique

III.1.1. Essais de compression (NF EN 12504-1)

Résistance à la compression de béton : trois carottes utilisées dans ce cas (C2, C4, C5)

Objectif de l'essai

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton, qui peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes.

Principe de l'essai

Les carottes étudiées sont soumises à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de la carotte (Abdelouahid, 2010).

Equipement nécessaire

Une machine d'essai qui est une presse de force et de dimension appropriées à l'éprouvette à tester et répondant aux prescriptions de la norme européenne NF EN 12504-1 (Figure n° 41)

Un moyen pour rectifier les extrémités des éprouvettes : surfaçage au soufre,

L'essai donc est réalisé selon les étapes suivantes :

1- Découper les carottes selon la norme : NF 12504-1 août 2000



Figure n° 41: Carottes découpées de hauteur 13cm et diamètre 6.5cm

Rectification des extrémités des carottes (surfaçage)

Conformément à la norme NF EN 12504-1, l'essai de compression a été effectué sur des éprouvettes cylindriques dont les extrémités ont été préalablement rectifiées. En effet, si les éprouvettes étaient placées telles quelles sur les plateaux de la presse, on ne serait pas assuré de la planéité des surfaces au contact et de leur perpendicularité aux génératrices de l'éprouvette. La rectification consiste donc à rendre ces surfaces planes et perpendiculaires aux génératrices de l'éprouvette. Pour parvenir à ce résultat la méthode employée s'appelle **le surfaçage au soufre**.

Le surfaçage au soufre est décrit dans la norme NF EN 12504-1. Il consiste à munir chaque extrémité de l'éprouvette d'une galette à base de soufre respectant les deux exigences : planéité et perpendicularité aux génératrices.

La planéité est assurée de la façon suivante : le mélange soufre, porté à une température de $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, est liquéfié (Figure n° 42) et versé sur une platine dont le fond a été rectifié.

La perpendicularité est obtenue grâce à un dispositif de guidage qui maintient les génératrices de l'éprouvette perpendiculaires au fond rectifié du moule.



Figure n° 42: Liquéfaction du soufre



Figure n° 43: 1^{ère} extrémité de la carotte dans un moule rectifié



Figure n° 44: 2^{ème} extrémité de la carotte mise dans le moule rectifié



45: Carottes surfacées

Figure n°

Conduite de l'essai de rupture

La carotte, une fois rectifiée, a été centrée sur la presse d'essai(Figure n° 46).

La charge de rupture, P , est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. Soit S la section orthogonale de la carotte ; la résistance, F_c , est exprimée en MPa(**Abdelouahid ,2010**)

L'étape est la suivante :

3- mettre les carottes surfacées dans la presse à béton pour les écraser (10 à 15 min).



Figure n° 46: Carotte mise dans la presse à béton



Figure n° 47: Rupture de la carotte sous l'effet de l'écrasement

Enfin la dernière étape consiste à prendre les résultats, marquer pour chaque carotte la charge (Figure n°48) exprimée en KN (kilo newton) ainsi que la valeur de la résistance la compression exprimée en MPa.



Figure n°48: Marquage des résultats dans une fiche minute

La résistance en compression est donc à associer à la méthode d'essai (ou à la référence à la norme utilisée). Si **P** est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en compression du diamètre vertical, la résistance en compression sera :

$$F_{cj} = P/S$$

Avec : j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai ; S = surface du cylindre.

III.2. Essais chimiques liées à la corrosion des armatures

Deux modes opératoires ont été établis par le laboratoire L.H.C.C pour l'analyse des chlorure et la mise en évidence des zones carbonatées sur les échantillons de béton massifs (carottes) et l'autre pour déterminer les chlorures libres dans le béton durci.

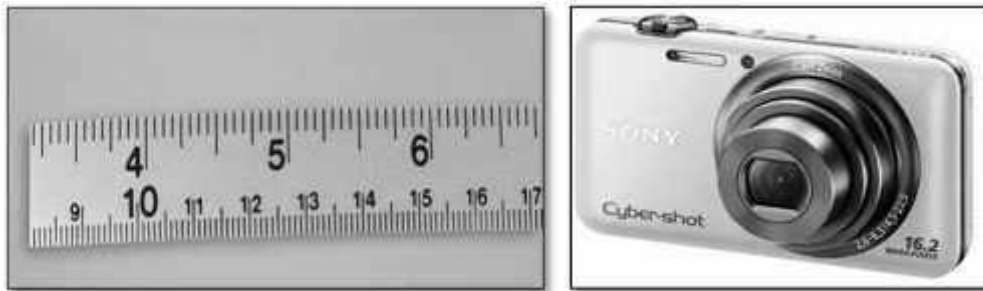
III.2.1. Essai n°1 :

La mise en évidence des zones carbonatées (carbonatation) a été réalisée conformément à la norme (NF EN 12504-1)

III.2.1.1. Principe

Cet essai permet d'estimer la profondeur de carbonatation d'un échantillon du béton. Il a été effectué sur une surface fraîchement découverte d'un indicateur coloré (**Trucry, 2010**).

a- Appareillage :



Règlette graduée Appareil photographique

b. Réactifs :



Solution de phénolphtaléine à 0.5%.

III.2.1.3. Mode opératoire

L'essai a été réalisé sur trois échantillons (**carotte n° 2, carotte n° 4, carotte n° 5**)

-Élimination des poussières à l'air comprimé.

- le phénolphtaléine présente une zone de virage vers PH= 10, les zones non carbonatées se colorent en rose violatre et les zones carbonatées reste incolores.

III.2.2. Essai n°2 :

La détermination de la teneur en chlorures libres dans le béton a été réalisée selon la norme (NF EN 12504-1)

III.2.2.1.Principe

Ce mode opératoire a pour objet de préciser les conditions et la méthode de détermination des chlorure libres dans le béton. Après extraction à l'eau chaude des chlorures présents dans l'échantillon, on effectue leur dosage par précipitation à l'aide des nitrates d'argent (Gauthier, 2011).

a. Appareillage

Les appareils utilisés pour cet essai sont :



Broyeur mécanique

Un tamis de maille 0.2 mm



Balance de précision 10^{-3}

Bain de sable



Étuve



Pipette de 10ml

Réactifs :

- Eau Distillée- Solution D'acide Nitrique (HNO_3) Concentré 30%
- Solution de Nitrated'argent (AgNO_3 , 0.1N)
- Indicateur Sulfaté de fer et d'ammonium III (Ferric Alum)
- Solution de thycyanate (KSCN)

III.2.2.2.Mode opératoire

Avant chaque dosage, l'échantillon de béton a subi 3 opérations :

- Séchage, broyage et tamisage



Figure n°49: Echantillons mis dans des récipients après broyage et tamisage

Le protocole de dosage des ions chlorure a nécessité plusieurs opérations :

- Mise en solution des chlorure avec 100ml d'eau distillée



Figure n°50: Préparation de la dilution

- Chauffage de l'échantillon Pendant 15mn



Figure n°51: Echantillon mis dans bain de sable

- Filtration des échantillons dans un erlenmeyer à l'aide d'un entonnoir et laver 4 fois de suite le résidu avec l'eau distillée.



Figure n°52: Filtration des échantillons dans un erlenmeyer

- Addition de 10ml d'acide nitrique concentré 30% à, puis ajout encore 5 ml de nitrate d'argent de concentration 0.1N et mettre à chauffer.



Figure n°53: Echantillons mis dans un bain de sable après filtration

- Refroidissement des échantillons.



Figure n°54: Echantillons à l'état de refroidissement

-Dosage des chlorures extraits par KSCN



Figure n° 56: Dosage des chlorures

-Le Calcul de la teneur en chlorures se fait par la méthode ORASCOM :

$$0.3545 \cdot (5 - (V_{\text{KSCN}}/2)) / m$$

V_{KSCN} : volume de la solution KSCN nécessaire pour le dosage de l'échantillon

m : masse de la prise d'essai en grammes.

Chapitre IV

Résultats et discussions

I. Interprétation des résultats des essais sur les carottes de béton

Une notion dont il est très important de tenir compte lors de l'examen d'une série de mesures, c'est la dispersion des résultats. Il peut très bien arriver que des essais isolés offrent une idée fautive de la qualité réelle du béton. Dans ce cas, il ne faudrait jamais se baser sur une seule valeur mais sur la moyenne d'au moins trois mesures effectuées sur le même élément (S.N, 1965)

Ci-dessous nous présentons les résultats obtenus des essais effectués sur les carottes de béton : Avant de discuter des résultats des carottes et les essais sur ces dernières nous exploitons les informations des différentes sorties sur terrain.

I.1.Observation visuelle de la station :

Après une observation visuelle de la station on a constaté qu'il y'a pas beaucoup de fissurations sur les murs de cette dernière, certaines peuvent être notées d'un endroit à un autre mais cela peut être probablement dû aux réactions alcali granulat qui se passe à l'intérieur du béton d'enrobage.

I.2. Description des carottes :

Tableau n° 6: Illustration des résultats de l'examen visuel des carottes

Observation	Description
	<p>Matrice cimentaire grise claire</p> <p>Granulats : répartition homogène des granulats</p>
	<p>Bullage peu ou pas important</p> <p>Acier : absence</p>

I.3.Résultat de l'examen visuel des carottes

Les carottes ont un diamètre de 6,5cm et une longueur variant entre 14 et 23cm .Le fait que l'échantillon ait été coupé d'une façon nette nous a permis, lors de l'examen visuel, de dire que la matrice cimentaire apparaît de couleur gris clair avec absence apparente de bullage sur son contour ,

Cette couleur peut être expliquée par la continuité des réactions d'hydratation au fond du béton, ce qui influe par la suite positivement sur l'augmentation de la résistance mécanique.

Les granulats sont bien repartis dans la pâte de ciment.

Aucune barre d'acier d'armature n'a été interceptée dans les trois carottes. Il y a absence totale des vides sur les trois carottes. Aucune fissuration n'est visible sur ces carottes. Donc le béton examiné est d'apparence saine.

I.4. Interprétation des résultats d'essais liés à la résistance en compression :

Les données acquises sur l'essai de la compression des carottes de bétons sont donnés comme suit :

Tableau n° 7: Résultats des essais de la résistance à la compression pour les carottes du béton (norme NF EN 12504-1)

désignation	Dimensions (cm)			enlacement H /D	Poids (Kg)	Densité (t /m ³)	compression		Coeff. Corr.	R.C Corrigée (MPa)
	H	*	D				Charge (KN)	R.C (MPa)		
Carotte N° :02	13.0	*	6.5	2.00	0.990	2.29	89.8	27.1	1.000	27.1
Carotte N° :04	13.0	*	6.5	2.00	0.983	2.28	109.0	32.8	1.000	32.8
Carotte N° :05	13.0	*	6.5	2.00	0.995	2.31	117.5	35.4	1.000	35.4

Coeff corr. : le coefficient de correction

R.C : résistance à la compression.

H : hauteur en centimètre

D : diamètre en centimètre

t/ m³ : tonne / mètre cube

KN : kilo newton

MPa : Méga pascal

Les résultats de la résistance à la compression obtenus pour les carottes prélevées dans les murs extérieurs varient de 27.1 MPa à 35.4 MPa pour un résultat moyen de 31.7MPa.

Ces résultats sont conformes à l'exigence de la norme 12504-1 ce qui signifie que la résistance de ce béton est bonne.

Aussi le diamètre des carottes a une influence sur le résultat de la mesure, dans le sens que la résistance augmente quand le diamètre diminue. Une diminution du diamètre de 100 à 50 mm provoque une augmentation de la résistance d'environ 10%. Le rapport hauteur/diamètre de la carotte à lui aussi une influence. La résistance déterminée augmente quand le rapport décroît (Trüb, 1978).

Donc les résultats de la résistance des carottes que nous avons prélevées peuvent aussi être expliqués par le diamètre de ces carottes, ce dernier étant moyen a pu mûrir à une bonne résistance.

Pour le rapport hauteur /diamètre, cette figure (Figure n°57)ci-dessous montre bien que toute augmentation de l'élanement de la carotte diminuera sa résistance.

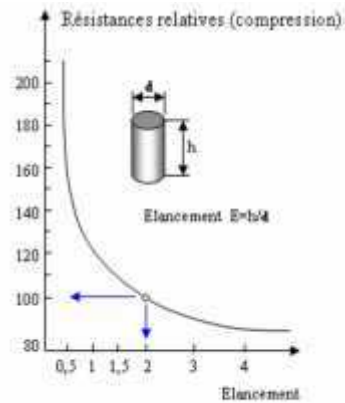


Figure n°57: Variation des résistances en compression d'un béton en fonction de la forme et des dimensions des éprouvettes

L'élanement de nos carottes est égal à 2 et cela nous a aussi permis de dire que la résistance de ce béton est bonne

I.5. Interprétation des essais chimiques

Pour les essais concernant la carbonatation, nous avons obtenu les résultats suivants :

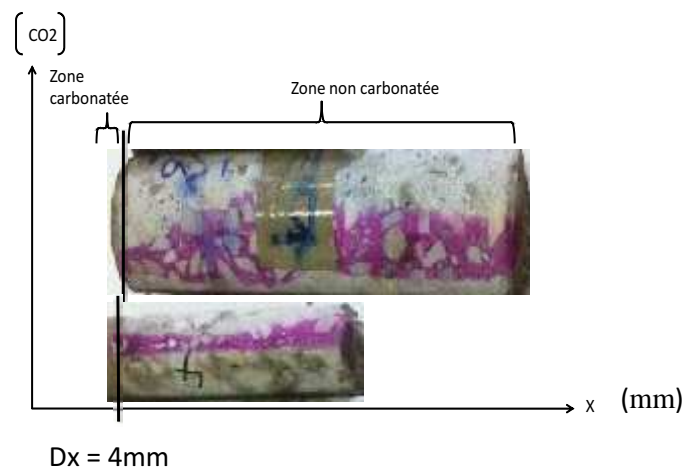


Figure n°58: Schéma représentant la profondeur des zones carbonatées des carottes 02 et 04

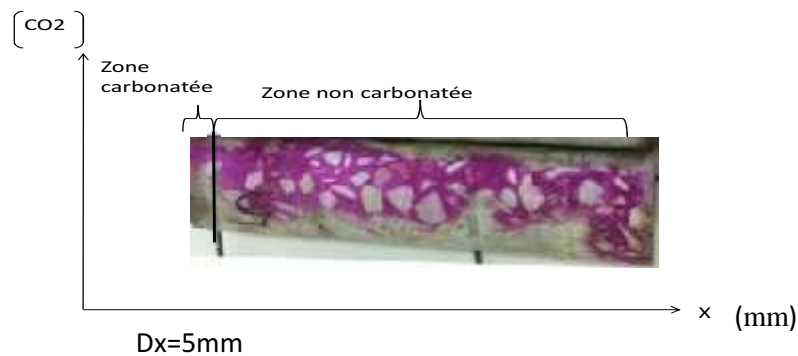


Figure n°59: Schéma représentant la profondeur de carbonatation sur la carotte 03

Tableau n° 8: Profondeur de carbonatation pour chaque carotte

Carotte (n°)	Profondeur de carbonatation (mm)
02	4
04	4
05	5

Selon ces résultats on remarque que la profondeur de carbonatation varie seulement de 4 à 5 mm pour les carottes n°2,4 et 5 prélevées à différents endroits sur le mur de la station de recherche. Ceci nous a permis de dire que nous sommes en présence d'un béton ayant subi une légère carbonatation, cela peut être expliqué par le fait que le béton est encore frais, aussi on peut dire que le taux d'humidité est insuffisant pour que la carbonatation aura lieu.

(Remarque : le processus de carbonatation se déroule à un taux d'humidité entre 70 et 80%).

Tableau n° 9: Corrélation entre la profondeur de carbonatation et la résistance à la compression pour les différentes carottes

Carotte n°	02	04	05
Résistance à la compression (Mpa)	27.1	32.8	35.4
Profondeur de carbonatation (mm)	4	4	5

D'après le tableau ci-dessus pour une profondeur moyenne de la carbonatation de 4.33 mm, nous avons une résistance moyenne de 31.76Mpa ce qui contribue à une meilleure corrélation entre ces deux paramètres, restent à dire encore que ces résultats sont fiables.

Essai n°2 : détermination de la teneur en chlorures

Tableau n°10: Teneur en chlorures pour chaque échantillon exprimée en %.

Carotte (n°)	V_{KSCN}(ml)	Teneur en chlorures (%)
02	0.5	0.084
04	0.5	0.084
05	7	0.027

Les résultats de cet essai donnent une teneur en chlorure pour la carotte n°2 et 4 d'environ 0.084% et pour la carotte n°5 est de 0.027%.

D'après la norme NF EN 12504-61 Août 2000 ces valeurs ne dépassent pas le seuil critique d'amorçage de la corrosion qui est le 0.4% donc on est hors atteinte de corrosion.

Conclusion

La conception d'un ouvrage en béton nécessite d'apprécier à priori l'ensemble des contraintes environnementales et les agressions potentielles qu'il aura à subir pendant toute sa durée de service.

Nous avons pu étudier un cas d'un béton armé exposé à un milieu fortement agressif qui est le milieu marin.

La localisation de la station ENSSMAL fait que cette dernière est exposée au risque de la régression linéaire qui mènera probablement à son affectation dans le temps à venir.

L'étude menée à travers ce mémoire est basée sur la réalisation des essais mécaniques (résistance à la compression), et chimique (la carbonatation et la diffusion des ions chlorure) sur des carottes prélevées des murs extérieurs de la bâtisse afin de voir les conséquences de l'avancement de l'eau de mer sur cette station.

Les résultats montrent que l'évolution du trait de côte ressenti dans la plage ouest Sidi Fredj entre 1933 et 2015 sont traduits par une érosion intense Ceci pourrait bien être expliqué par la dynamique sédimentaire de la zone et les facteurs anthropiques plaçant notre bâtisse dans une situation désespérée.

Pour les résultats des essais mécaniques sur le béton concernant la résistance à la compression, ces essais montrent que le béton est de forte résistance selon la norme utilisée.

Les résultats des analyses chimiques concernant la carbonatation et la diffusion des ions chlorures dans le béton montrent qu'il n'y a pas une affectation du béton par ces agressions chimiques malgré qu'il y ait un avancement de la mer vers la bâtisse. Ces résultats peuvent être expliqués par le fait que le béton de cette bâtisse est encore frais, vu qu'il est nouvellement conforté.

Donc, **à présent** on peut dire que ce béton est un béton ordinaire, de bonne qualité qui pourra résister aux différentes agressions.

L'objectif de notre étude et de bien munir dans l'avenir les implantations des infrastructures côtières et de bien gérer l'espace pour ne pas être contraint un jour à protéger ces ouvrages contre l'érosion et la submersion de la mer

Ce projet de fin d'étude a donné lieu à une plate-forme de base de données récente qui pourra être utile lors de la conception des ouvrages ou bien pour une étude future de la zone.

Abdelouahid, E. (2010). Essais Labo Béton. Office de la formation professionnelle et de la promotion du travail, direction recherche et ingénierie de formation, 49 p.

Amarni, L. (2012). Durabilité des éléments en béton Armé en milieu agressif : corrosion des armatures. Mémoire de magister : génie civil. Université Mouloud Mammeri, 100 p.

Aoudj, C., Bouaziz, T. (2014). Fonctionnement et dynamique morfo-sédimentaire du littoral Est de Bejaïa. Mémoire d'ingénieur : aménagement du littoral .ENSSMAL, 150 p.

Baron, J., Olivier, J. (2002). La durabilité des bétons, presses de l'école nationale des ponts et chaussées, 453 p.

Belarouci, A. (2011). Influence de la température sur le transfert des ions chlorures dans les bétons. Mémoire de magistère : matériau béton. Tlemcen : université Aboubekr belkaid, 131 p.

Bernard, N. et al. (2004). Prévention et lutte contre la corrosion. Lausanne : presse polytechnique romandes, 775 p.

Bernard, N. et al. (2004). Prévention et lutte contre la corrosion. Lausanne : presse polytechnique romandes, 775 p.

Chapon, J. (1984). Travaux maritimes. Paris : Eyrolles, 365 p.

De giovanni, C. (1973). Etude de sédimentologie dynamique à la presqu'île de Sidi-Freuch (Ouest d'Alger), thèse de doctorat, Géologie marine et sédimentologie, Université D'Aix Marseille, 105 p.

Dooms, B., Pullet, V., Masselmans, G. (2008). Prévenir la corrosion des armatures induite par la présence de chlorures dans le béton, 14 p.

Evrarnli, H. et al. (2014). Etude de la dégradation d'une canalisation de conduite d'eau en béton armé. Maroc : laboratoire d'Electrochimie, matériaux et environnement, 9 p.

Galoul, R., Rahiche, M. (2014). Durabilité des BFUP élaborés à base de CP2 et du sable de dunes dans différents milieux agressifs. Mémoire de Master : contrôle qualité des matériaux. Boumerdès : université M'hamed Bougara, 69 p.

Gauthier, J. (2011). Programme de carottage et d'essais de caractérisation du béton., 21 p.

Geoffroy, C. (2008). Guide d'utilisation du béton en site maritime. Centre d'étude technique maritime et fluviale, 135 p.

Gérard, B., Henri, M. (2002). Corrosion des métaux et alliages. Paris : Lavoisier. 411 p.

Ghomani, F. et al. (2011). Maladies des ouvrages en béton armé, étude expérimental. 8^e séminaire techniques de Lafarge université de Tlemcen, 13-14 décembre 2011, Alger, 13 p.

Goyvaerts, R. (2012). Protection du béton contre l'intrusion de liquides et de gaz selon le principe 1 de la norme EN 1504-9.

- Guy, T. (2003).** Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion. Document, scientifiques et techniques. AFGC, CEFACOR, 107 p.
- Hannachi, S., Guettache. M.N. (2011).** Le contrôle non destructif des ouvrages en béton : mémoire d'ingénieur. Université Mentouri, Constantine, 126 p.
- Hervé, B. (2000).** Carottes de Béton durci. CERIB, Fiche n° 363.
- Houst, Y., Pfeffekern, J., Walter, H. (1986).** Détermination du dosage en ciment des bétons et mortiers durci. Chantiers/suisse, pp. 21-24.
- Kerbouche (2009).** Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques et la durabilité des mortiers : mémoire de magister- L'ENSET d'Oran, 120 p.
- Leclaire, L. (1972).** Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares. (Pré continent algérien). Mémoire du muséum national d'histoire naturelle.
- Mahiout, Z. (2009).** Evolution temporelle des caractéristiques des eaux de la plage Ouest Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur : environnement marin. Alger : ENSSMAL, 59 p.
- Michel, M. (2010).** Détermination des indicateurs de durabilité. La TITA 21 oct. 2010.
- Ndzana, A., Tchoumi, S. (2007).** Réhabilitation des ouvrages en béton armé dégradés par la corrosion des armatures. Diplôme des Professeurs des lycées d'Enseignement Technique 2è grade : bâtiment et travaux.
- NF EN 12504-1.** Essai pour béton durci, Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes. 2000.
- Oualit, M. (2009).** Indicateurs de durabilité du béton dans le contexte Algérien. Mémoire de Magistère : matériaux de structures. Boumerdès : université M'hamed Bougara, 127 p.
- Palewski. (1964).** Congrès international de la corrosion marin et des salissures. 8-12 Juin 1964 France.
- Rossi, P. (1998).** Les bétons de fibre métallique. Paris, l'école nationale des ponts et chaussées.
- Sadaoui, M. (2011).** Diagnostic et paramètres environnementaux du littoral Ouest de Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur : environnement marin. Ecole nationale supérieure des sciences de la mer et de l'aménagement du Littoral, 126 p.
- Silhadj, Y. (2006).** L'influence de la nature du ciment sur le comportement des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques : mémoire de magister-USTMB d'Oran, 117 p.
- Thai Quang, N. (2007).** Modélisations physico-chimiques de la pénétration des ions chlorures dans les matériaux cimentaires : thèse de doctorat- l'école nationale des ponts et chaussées.
- Trüb, U.A. (1978).** Bulletin du ciment. Band, Vol. 33 (8), pp. 46-47.

Trucry, P. (2010). Durée de vie des ouvrages : rapport de synthèse sur les essais de carbonatation accélérée, 24 p.

Uhlig, H.H. (1971). Corrosion and corrosion central. New York: Wiley, 11 p.

Vincent, L. (2009). Initiation et propagation de la corrosion dans un élément de béton armé, 116 p.