



République algérienne démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la
recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar_ El Oued

Faculté Technologie

Département De Génie civil

Mémoire présente pour l'Obtention du diplôme de **Master en Génie Civil**

Option : matériaux en Génie civil

Thème :

Incidence des eaux de la région d'El Oued sur les infrastructures des bâtiments

Réalisé par:

- Aribi Farah
- Cheradid Nour elhouda
- Touahar Yousra

Encadré par Dr :

I. SOULIMANE

Les membres de jury :

- | | | |
|----------------------|--------------------|-----------|
| – Dr LABIODH Bachir | Université El Oued | Président |
| – Dr KAAB Zohir | Université El Oued | Examineur |
| – Dr SOULIMANE Ilyes | Université El Oued | Encadreur |

Année universitaire 2020/2021

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

Nous remercions d'abord grâce à ***Dieu*** pour la santé et le courage qu'il nous a donnés pour accomplir cette modeste œuvre.

Nous tenons à remercier le ***Dr. SOULIMANE I*** pour sa supervision de ce mémoire.

Ce faisant, nous remercions les travailleurs du Laboratoire des Sciences Appliquées de l'Université ***Qasadi Marabbah_Ouergla*** pour leur supervision bienvenue du travail expérimental.

Nous exprimons également notre plus haute reconnaissance et notre plus grand respect à nos distingués professeurs du Département de ***génie civil*** pour leur soutien et leurs conseils durant la marche universitaire.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont fait tous les efforts possibles pour que cela projet.



تعتبر المياه الجوفية مهمة على كوكب الأرض لما لها من أهمية بالغة في مجالات عديدة؛ كالصناعية، الغذائية وكذا المعمارية، ولأنها تتواجد على مستوى طبقات الأرض فإن عملية صعودها ووجودها بالقرب من البنى التحتية للمباني وتأثيرها خاصة على الصلب فهذا يؤدي إلى تدهورا خطيرا للهياكل مثل: فقدان المقاومة وعدم الاستقرار.

وفي إطار هذا العمل قمنا بإنجاز دراسة حول قضبان من حديد التسليح الجديدة وأخرى قديمة، وهذا من أجل معرفة فرق المقاومة بينهما، ومدى تأثير العناصر العدائية الموجودة في المياه الجوفية على مستوى منطقة الوادي. وبعد تحليل هذه الدراسة استنتجنا أنه لا يوجد فرق في المقاومة وهذا راجع لقصر مدة التآكل أي أنه كلما كان عمر الهيكل أكثر من خمسين سنة، فهنا يمكن الاستنتاج بوجود فرق، ونستطيع أيضا استنتاج أن هناك عدة أسباب للانهييار؛ فنذكر على سبيل المثال: خصائص وتركيبية الخرسانة، تأثير الظروف المناخية بالمنطقة على نوعية الخرسانة.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، الصدأ، التدهور، الحديد، الأساسات.

Résumé

L'eau souterraine est importante sur la planète parce qu'elle est cruciale dans de nombreux domaines ; Comme industrielle, la nourriture et l'architecture, parce qu'ils sont situés au niveau des couches de la Terre, le processus de leur élévation et de leur présence près de l'infrastructure des bâtiments et de leur impact, particulièrement sur l'acier, conduit à une détérioration grave des structures telles que : Perte de résistance et d'instabilité.

Dans le cadre de ce travail, nous avons réalisé une étude des barres de fer nouvelles et anciennes, afin de déterminer la différence de résistance entre elles et la mesure dans laquelle les éléments agents agressifs dans les eaux souterraines affectent le niveau de la vallée. Après analyse de cette étude, nous avons conclu qu'il n'y a pas de différence de résistance, ce qui est dû à la courte durée de La corrosion, c'est-à-dire l'âge de plus de 50 ans de la structure, ici on peut conclure qu'il y a une différence, et nous pouvons également conclure qu'il y a plusieurs causes d'effondrement ; Par exemple : Les caractéristiques et la composition du béton, l'impact des conditions climatiques dans la région sur la qualité du béton.

Mots clés : Eau souterraine, corrosion, dégradation, acier, fondations.

Summary

Groundwater is important on the planet because it is crucial in many areas; as industrial, food and architecture, because they are located at the level of the layers of the Earth, the process of their elevation and presence near the building infrastructure and their impact, particularly on steel, leads to severe deterioration of structures such as: Loss of resistance and instability.

As part of this work, we conducted a study of new and old iron bars to determine the difference in resistance between them and the extent to which the aggressive elements in the groundwater affect the level of the valley. After analysing this study, we concluded that there is no difference in strength, which is due to the short duration of the corrosion, that is to say the age of the structure over 50 years, here we can conclude that there is a difference, and we can also conclude that there are several causes of collapse; For example: The characteristics and composition of concrete, the impact of climatic conditions in the region on the quality of concrete.

Key words: Groundwater, Corrosion, degradation, iron, foundations.

Table des Matières

LISTE DES TABLEAUX	A
LISTE DES FIGURES	B
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : GENERALITES	
I.1. PRESENTATION DE LA SITUATION.....	3
I.1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA REGION DE OUED SOUF	3
I.1.2. CLIMAT DE LA RÉGION	6
I.1.3. ÉTUDE DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES [2].....	6
I.1.3.1. La précipitation :	6
I.1.3.2. La température	6
I.1.3.3. L'humidité.....	6
I.1.3.4. Le vent	7
I.2. GENERALITE DES EAUX	7
I.2.1. RESSOURCES DES EAUX	7
I.2.2. EAU SOUTERRAINS.....	7
I.2.3. ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU	8
I.2.4. ANALYSE DES RÉSULTATS	9
I.3. LA "DIFFUSION" ACCÉLÉRÉE DES IONS CHLORE SOUS CHAMP ÉLECTRIQUE (MÉTHODE ASTM 1202).....	10
I.4. L'ACIER.....	11
I.4.1. DÉFINITION DE L'ACIER.....	11
I.4.2. CLASSIFICATION DES ACIERS	11
I.4.3. DÉFINITION D'ACIER DE CONSTRUCTION	11
I.4.4. LA CORROSION	12
I.4.4.1. Définition	12
I.4.4.2. Modes de corrosion [13]	12
I.4.4.3. Les différents types de corrosion	13
I.4.4.4. Les facteurs influençant la corrosion des armatures.....	19
I.5. MECANISME DE CORROSION DES ARMATURES DU BETON.....	21
I.5.1. GENERALITES.....	21
I.5.2. CARBONATATION	22
I.5.3. ROLE DES CHLORURES.....	23
I.5.4. VITESSE DE CORROSION.....	24
I.5.6. TENEUR CRITIQUE EN IONS CHLORE.....	26
I.6. PROCESSUS DE CORROSION [39].....	27

CHAPITRE II : AUSCULTATION ET L'IMPACT DES EAUX SOUTERRAINES SUR LES FONDATIONS ET PROCEDURES EXPERIMENTALES

II.1. L'INFRASTRUCTURE	30
II.1.1 FONDATION	30
II.1.1.1. DÉFINITION.....	30
II.1.2. RADIER GÉNÉRALE.....	32
II.1.2.1. Principaux types de radier	32
II.1.3. L'IMPACT DES EAUX SOUTERRAINES SUR LES FONDATIONS	33
II.2. L'AUSCULTATION	33
II.2.1. DEFINITION.....	33
II.2.2. AUSCULTATION DES FONDATIONS.....	33
II.3. LES PROBLEMES STRUCTURELS DANS LES REGLES ET LES FONDATIONS	34
II.3.1. ROUILLE ET DOMMAGES AU BÉTON.....	35
II.3.2. ATERRISSAGE DANS LES RÈGLES	35
II.3.3. NIDIFICATION ET VIDE	36
II.3.4. ERREURS DE BARRES D'ARMATURE	36
II.3.5. DÉFAUT DE RÉSISTER AUX CONTRAINTES	37
II.4. DES BARRES D'ARMATURE	37
II.4.1. CAUSES DE CORROSION.....	37
II.4.2. L'EFFET DE L'EAU SUR LA BARRE D'ARMATURE	37
II.5. PROCEDURES EXPERIMENTALES	39
II.5.1. ESSAIS DE TRACTION.....	39
II.5.2. PRINCIPE DE L'ESSAI.....	39
II.5.3. BUT DE L'ESSAI	39
II.5.4. MACHINE DE TRACTION	40
II.5.5. NOTIONS DE SECURITE [50].....	40
II.5.6. MATERIELS UTILISES	41
II.5.7. MODE OPERATOIRE DE L'ESSAI	42
CHAPITRE3 : ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS	
III.1. LES RESULTES OBTENU	47
III.2. LES CALACULES	49
III.3. LES COURBES	55
□ ZONES CARACTERISTIQUES DU DIAGRAMME	56
III.4. ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS	56
CONCLUSION	58
REFERENCES	59

Liste des tableaux

N°	Titre de tableau	Page
I.1	Analyse physico-chimique de l'eau	9
I.2	Valeur limites pour les classes d'exposition correspondant aux attaques chimiques de sols naturels et eaux souterraines selon la norme NF EN 206-1.	9
III.1	Dimensions et les forces ruptures des barres	47
III.2	Diamètres des barres anciennes	48
III.3	Les contraintes rupture et élastique des barres nouveaux	49
III.4	La section des barres	51
III.5	Les contraintes rupture et élastique de barre ancienne	52
III.6	La déformation et l'allongement des barre nouvelle	53
III.7	La déformation et l'allongement des barres anciennes	53

Liste des Figures

N°	Titre de figure	Page
I.1	Les limites administratives de la wilaya d'El Oued.	3
I.2	Les zones (les secteurs) dans la wilaya d'El Oued.	4
I.3	Carte administrative de la zone d'étude	5
I.4	La zone de sidi Abdallah	8
I.5	Principe de fonctionnement de diffusion accéléré des ions chlore ASTM CI 1202	10
I.6	Exemple de la corrosion généralisée dans un tube d'acier	13
I.7	Fissuration (pile locale) due à un défaut de dépôt de Sn sur l'acier.	15
I.8	Exemple d'un tube d'un circuit de refroidissement attaqué par la corrosion bactérienne.	16
I.9	Différentes installations touchées par la corrosion bactérienne.	17
I.10	Morphologie de piqûres : piqûre profonde (a), piqûre occluse (b), piqûre hémisphérique(c).	17
I.11	Corrosion par piqûre : réaction anodiques et cathodiques	18
I.12	Cinétique du comportement des armatures et du béton d'enrobage	23
I.13	Modèle de PAGE d'attaque de l'acier par les ions chlore	25
I.14	Produits de corrosion d'acier dans un milieu selon le rapport Cl^-/OH^-	26
I.15	Réactions anodique, cathodique, d'oxydation et d'hydratation pour corroder l'acier	28
I.16	Volume relatif d'acier et de ses oxydes provenant de Mansfield Corrosion	29
II.1	Semelle superficielles (a : isolée)	31
II.2	Quelques types courants de fondation sur radier	32

II.3	Des fondations démolies	34
II.4	Divers changements apportés à échantillons de barres d'acier au fil du temps	38
II.5	La machine de traction	40
II.6	Matériels utilisés	41
II.7	Mesure des éprouvettes	42
II.8	Placer l'éprouvette dans la machine	43
II.9	La force de la rupture	44
II.10	L'éprouvette nouvelle après la rupture	45
II.11	L'éprouvette ancienne après la rupture	45
II.12	Le nettoyage des éprouvettes anciennes	46
II.13	Mesurez au pied à coulisse	46
III.1	Le diagramme de traction pour l'éprouvette nouvelle	55
III.12	Le diagramme de traction pour l'éprouvette ancienne	55



Introduction Générale

Introduction générale

La durée de vie des bâtiments en béton n'est pas inférieure à cinquante ans, conformément aux normes internationales pour la conception des structures en béton, et ces bâtiments doivent pendant cette période résister à tous les facteurs naturels et opérationnels qui affectent la qualité et la durabilité de la structure (ses composants structurels) sans avoir besoin de réparations principales avec un engagement d'effectuer l'entretien périodique et préventif nécessaire.

La région de l'oued SOUF fait partie des oasis dont certaines souffrent depuis des années d'un problème majeur qui est le problème du phénomène de montée des eaux, ce phénomène qui a affecté de nombreux aspects de la vie publique, notamment la construction ; Ce qui provoque l'érosion de l'armature en acier des fondations, ce qui entraîne la détérioration de l'infrastructure du bâtiment.

La corrosion de l'acier d'armature est le problème le plus important des problèmes rencontrés par les structures en béton armé, ce qui nécessite d'étudier ce problème en raison de l'apparition de fissures, ce qui facilite la pénétration d'ions nocifs qui provoquent la rupture de la couche protectrice entourant l'armature. L'acier, ce qui conduit à la corrosion d'une section de l'acier d'armature.

Dans ce contexte, plusieurs études ont étudié les causes de ce phénomène, et d'autres études ont été assignées pour tenter de connaître les mécanismes de détérioration des structures en béton dans de telles circonstances.

Dans le même contexte, nous avons décidé d'étudier le mécanisme de l'impact des eaux souterraines de la zone de la vallée sur les infrastructures, d'en connaître les causes et d'essayer d'y apporter des solutions.

Nous avons divisé cette recherche en trois chapitres après l'introduction générale :

Le premier chapitre comprenait la localisation de l'oued SOUF et le climat de la région, ainsi que les analyses des eaux souterraines et les causes de l'érosion de l'acier d'armature ;

Quant au deuxième chapitre, nous avons réalisé des essais sur des échantillons extraits de bâtiments démolis, de l'effet des eaux souterraines sur les fondations et des procédures expérimentales qui ont été menées sur les barres d'armature ;

Le troisième chapitre a porté sur l'analyse et la discussion des résultats obtenus ;

Enfin, la conclusion.



Chapiter 1 :

Généralités

Chapitre 1 : Généralités

I.1. Présentation de la situation

I.1.1. Situation géographique de la région d'OUED SOUF

La zone d'étude est située dans la Wilaya d'El Oued, l'une des principales oasis du Sahara septentrional Algérien. Elle est située au Sud-Est de l'Algérie à une distance de 650 km de la capitale, au Nord-Est du Sahara septentrional.[1]

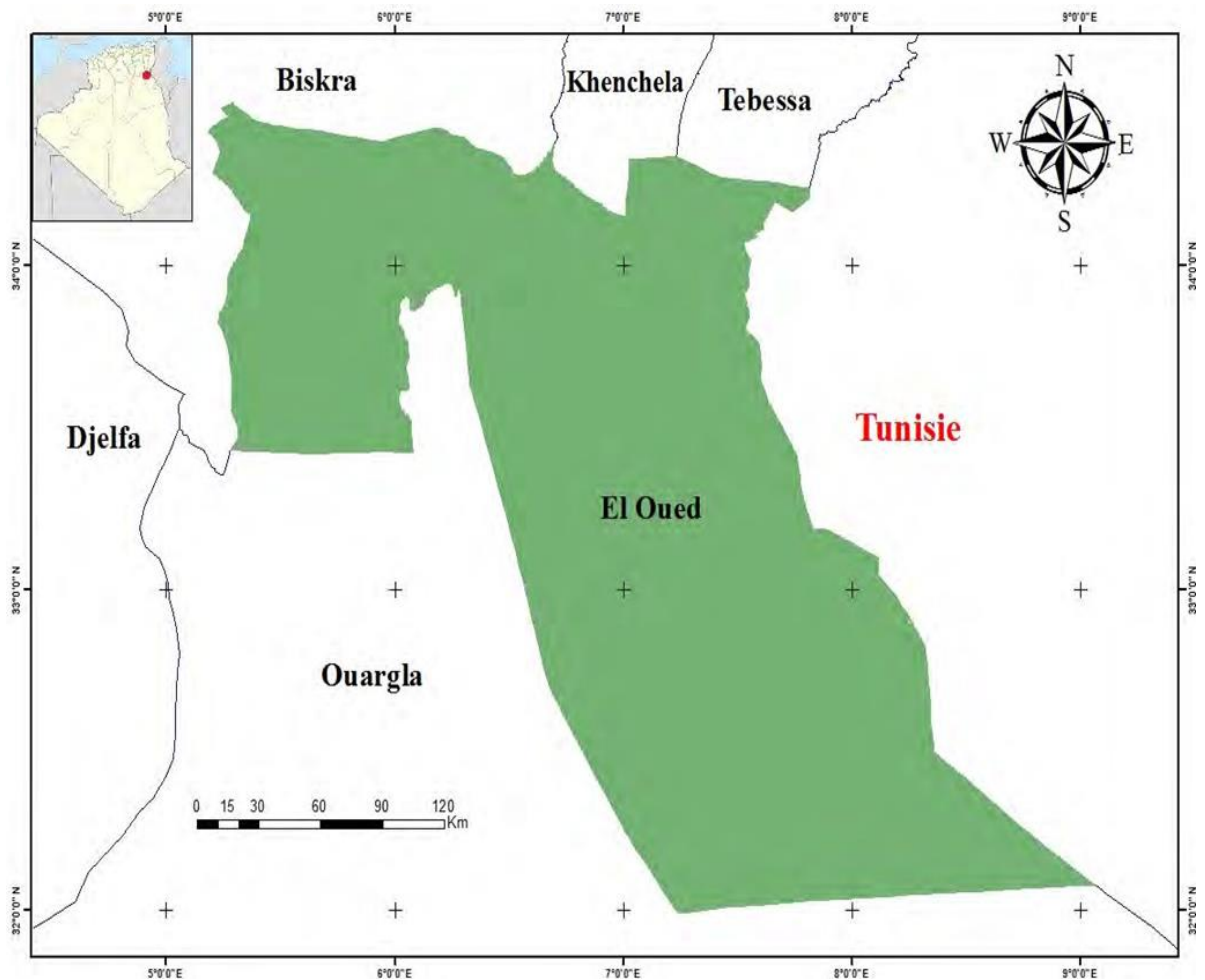


Figure I.1 : Les limites administratives de la wilaya d'El Oued.

Elle occupe une superficie de 44.586 km², et est limitée par les Wilayas de Khenchela et Tebessa au Nord, au Nord-Est par la Wilaya de Biskra, au Sud et Sud-Est par la Wilaya de Ouargla et à l'Est par la frontière Tunisienne (**Figure I.1**).[1]

Traditionnellement Oasis du Souf, situées au niveau du croisement de deux trajets de caravanes commerciaux ; le premier chemin qui arrive de la région du Djéride Tunisien jusqu'à la région de Ouargélane (Ouargla). La deuxième de la région du Zab de Biskra passe par El Bir (puits) Djedid jusqu'aux Oasis de Ghadames au Sud-Est (Frontière libyenne). Les limites des Oasis du Souf sont l'Erg oriental jusqu'aux abords du Chott Melghir, Où s'étire une masse de palmeraies limitée à l'Est par la frontière Tunisienne et à l'Ouest par l'immense oasis de l'Oued-Righ (**Figure I.2**). Les limites de cette oasis atteignent la frontière libyenne au sud.[1]

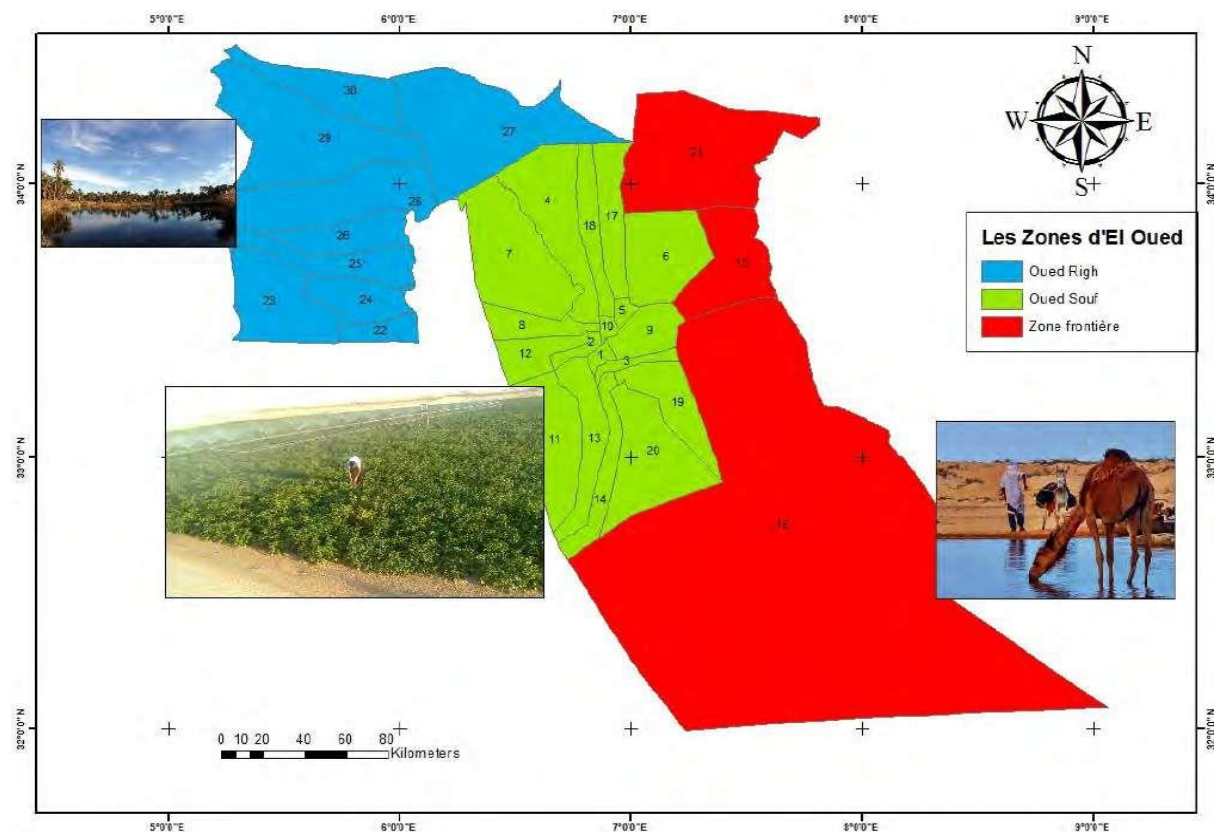


Figure I.2 : Les zones (les secteurs) dans la wilaya d'El Oued.

La région d'étude s'étend sur 18 communes (El Oued, Bayadha, Robbah, Kouinine, Guemmar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khelifa, Reguiba, Mihouensa, Oued Alenda, Oglia, Nakhla, Ourmes et Trifaoui), une superficie d'environ de 11200 Km², limitée par les coordonnées géographiques suivantes : les longitudes 06°20' et 07°50' Est et les latitudes 32°50' et 34°30' Nord (Figure I.3). [1]

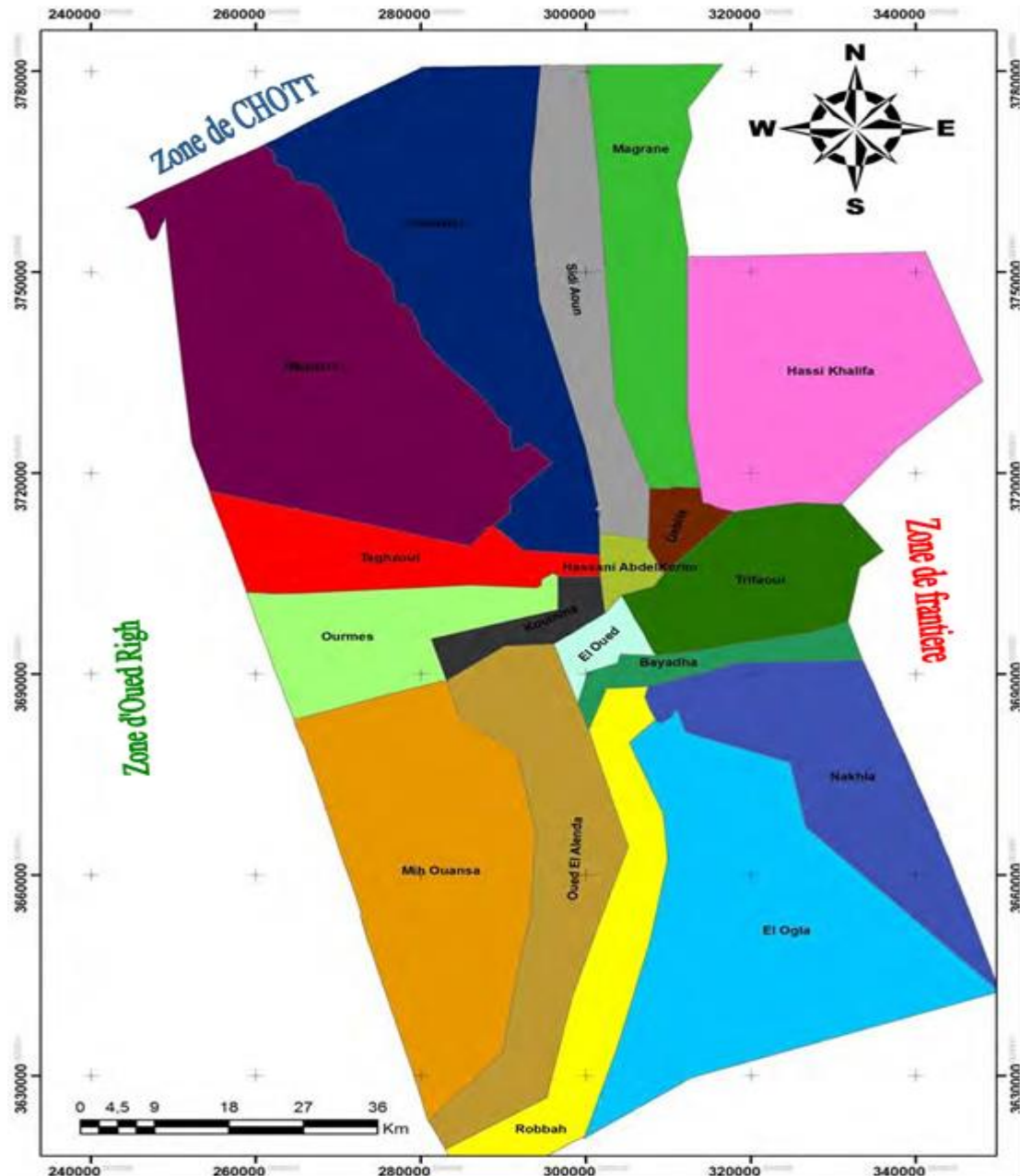


Figure I.3 : Carte administrative de la zone d'étude.

I.1.2. Climat de la région

L'état de l'atmosphère peut se caractériser par la mesure des différentes grandeurs physiques comme la température, les précipitations, l'humidité, le vent,..etc

Le climat de la région est de type saharien caractérisé par un été chaud et sec où la température peut atteindre 54°C et un hiver doux. Les principales contraintes climatiques restent la fréquence régulière des vents et leur violence connue sous le nom de Sirocco ainsi que des vents de sables durant le printemps. [2]

I.1.3. Étude des paramètres climatiques [2]

I.1.3.1. La précipitation :

La précipitation est un facteur fondamental pour caractériser le climat d'une région. Ce terme précipitation désigne des cristaux de glace ou des gouttelettes d'eau qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation à l'intérieur des nuages, sont devenus trop lourds pour demeurer en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol.

I.1.3.2. La température

La température dans cette région est constamment variable. Les écarts entre la nuit et le jour dépassent parfois 21°C.

A l'ombre, les minimax de températures progressent régulièrement de 3°C à 25°C, alors que les maximas de 15°C à 40°C et c'est selon la durée de l'ensoleillement. Ces valeurs sont élevées entre le début du mois de Janvier et la fin du mois de Juillet.

I.1.3.3. L'humidité

L'humidité est un état de climat qui représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère, elle a des effets sur les altérations chimiques telles que l'oxydation

I.1.3.4. Le vent

Les vents sont fréquents, les plus violents se situent au printemps. La direction dominante est Nord-est, à l'exception des mois d'hivers dont la direction est Sud Ouest. Le sirocco (Chihili) présente le vent caractérisant la saison d'été souffle fréquemment dans la région, prenant un sens Sud-Nord et jeter des courants d'air chaud parfois avoisiner des vagues de sables. Il faut aussi parler des vents de sables qui ont leurs saisons de prédilection entre février et avril (durant le printemps). Mais heureusement, les véritables tempêtes restent très rares

I.2. Généralité des eaux

L'eau est un composé chimique simple, liquide à température ambiante. A pression ambiante (1 atmosphère), l'eau est gazeuse au-dessus de 100 C° et solide en dessous de 0 C°. Sa formule chimique est H₂O, c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène. L'eau se trouve presque partout sur la terre et elle est vitale pour tous les organismes vivants connus, près de 70% de la surface de la terre est recouverte d'eau, essentiellement sous forme d'océans. Une étendue d'eau peut être un océan, une mer, un lac, un étang, une rivière, un ruisseau, un canal. La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par son cycle biogéochimique, le cycle de l'eau.[3]

I.2.1. Ressources des eaux

Les réserves disponibles en eau naturelle sont constituées d'eaux souterraines (nappe souterraines) des eaux terrestres (barrage, lacs, rivière), des eaux de mer, en eaux de mer[3]

I.2.2. Eau Souterrains

Les eaux qui ne sont ni réévaporées, ni retournées à la mer par ruissellement, s'infiltrant dans le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des

terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes.[3]

I.2.3. Analyse physico-chimique de l'eau

L'eau souterraine sont la source de vie la plus importante de la planète, représentant 97 % de l'eau douce. Ils sont stockés dans les couches du sol à différentes profondeurs.[4]

L'objectif de cette composante est d'analyser physico-chimique les eaux souterraines de la zone de sidi Abdallah dans la willaya de l'oued (**Figure I.4**), sue la base d'une étude de l'effet des composants sur l'acier et de la manière dont ces composants accélèrent la corrosion. Et comparez -le à l'eau minérale.



Figure I.4 : La zone de sidi Abdallah

Après avoir effectué l'analyse ; nous obtenons les résultats suivants :

Tab I.1 : analyse physico-chimique de l'eau

Point d'eau	Ca ⁺⁺ [mg/l]	Mg ⁺⁺ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Cl ⁻ [mg/l]	pH	SO ₄ ⁻ [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]	NO ₂ [mg/l]
Hotel loss D20	637,27	75,35	0,10	588,22	3373,00	420,00	47,81	0,01
L'eau Minérale	62,00	30,01	/	0,8	7,8	68,00	/	0

Tab I.2 : valeur limites pour les classes d'exposition correspondant aux attaques chimiques de sols naturels et eaux souterraines selon la norme NF EN 206-1.

Caractéristique chimique	XA1	XA2	XA3
Eau de surface souterraine			
SO ₄ ²⁻ en mg/L	≥ 200 et ≤ 600	> 600 et ≤ 3000	> 3000 et ≤ 6000
pH	≤ 6.5 et ≥ 5.5	< 5.5 et ≥ 4.5	< 4.5 et ≥ 4.0
CO ₂ agressif en mg/L	≥ 15 et ≤ 40	> 40 et ≤ 100	> 100
NH ₄ ⁺ en mg/L	≥ 15 et ≤ 30	> 30 et ≤ 60	> 60 et ≤ 100
Mg ²⁺ en mg/L	≥ 300 et ≤ 1000	> 1000 et ≤ 3000	> 3000
Sols			
SO ₄ ²⁻ en mg/Kg	≥ 2000 et ≤ 3000	> 3000 et ≤ 12000	> 12000 et ≤ 24000
Acidité en ml/ Kg	>200 baumann Gully	N'est pas rencontré dans la pratique	

I.2.4. Analyse des résultats

En partant du tableau I.2 ; on trouve dans les eaux souterraines et les eaux minérales d'être faiblement agressive, la corrosion des barres d'armature sont causées par l'utilisation de chlorure de calcium comme accélérateur et la présence d'humidité à l'intérieur et à l'extérieur du béton. Et la présence de produits chimiques tels que les sulfates solubles dans l'eau.

D'après les résultats obtenus dans le tableau I- 1, nous constatons que dans les eaux souterraines, il ya un pourcentage élevé de chlore, donc l'acier ici se corrode rapidement, mais dans l'eau minérale, il se trouve donc ici nous disons qu'il s'érode lentement.

I.3. La "diffusion" accélérée des ions chlore sous champ électrique (méthode ASTM 1202)

La résistance à la pénétration des ions chlore est indirectement estimée en mesurant la charge totale (en coulomb) qui passe au travers d'une éprouvette de béton (diam. $95 \approx 50$ mm) maintenue sous une tension électrique de 60 V pendant 6 heures. (**Fig I.5**).

Cette procédure, relativement simple et rapide, ne donne qu'une estimation de la résistance à la pénétration des ions chlore en utilisant une mesure indirecte principalement basée sur la conductivité du béton .

En dépit de cet inconvénient on a pu montrer que les résultats caractérisent bien le niveau de protection d'un béton contre la corrosion des aciers d'armature puisque la charge totale qui traverse l'éprouvette est étroitement.

Liée à la mobilité des ions et à la conductivité de la pâte de ciment On a aussi montré qu'il existe une certaine corrélation entre la charge totale et la mobilité des ions chlore [10]

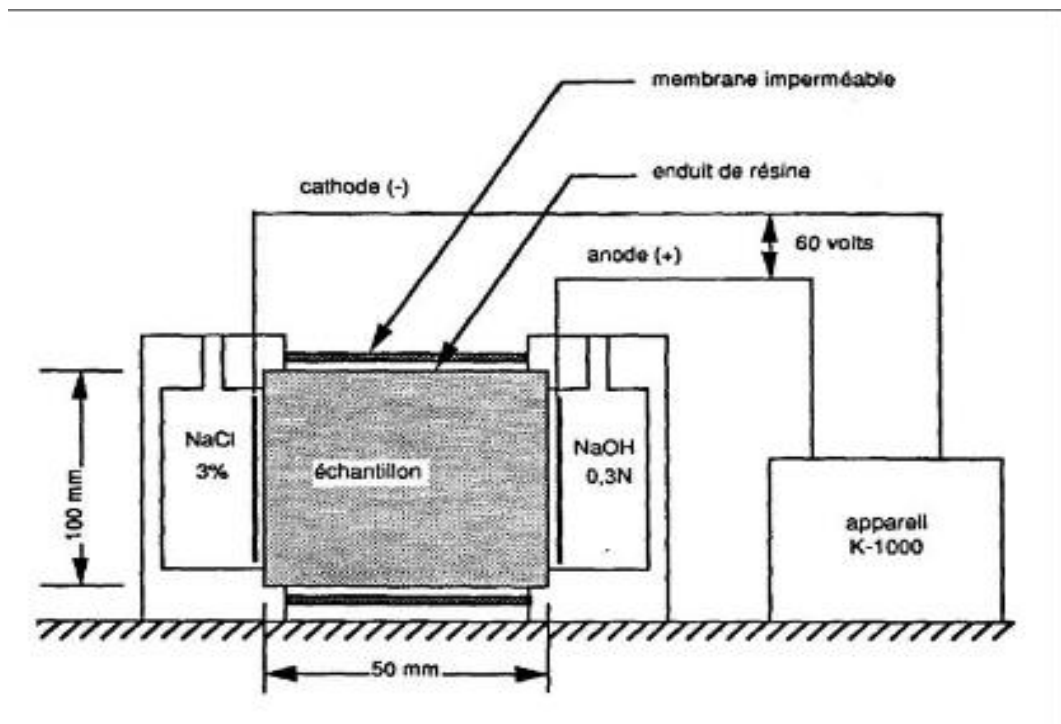


Figure I.5: principe de fonctionnement de diffusion accéléré des ions chlore ASTM CI 1202

I.4. L'acier

I.4.1. Définition de l'acier

L'acier est un alliage de fer contenant moins de 2 % de carbone. Il peut être répertorié selon cette teneur en carbone qui fixe son niveau de dureté maximale à l'état trempé. Un acier de haute teneur en carbone sera employé pour sa grande dureté alors qu'un acier de teneur plus faible est moins dur et plus malléable. Il contient généralement de petites quantités d'autres éléments outre le fer et le carbone, incorporés, volontairement ou non, au cours de son élaboration. On peut également y ajouter des quantités plus importantes d'éléments d'alliage ; il est considéré alors comme un acier allié. [11]

I.4.2. Classification des aciers

Du fait du nombre élevé d'éléments ajoutés au fer et de la gamme étendue de leur teneur, les aciers présentent un très grand nombre de nuances différentes. On peut classer les divers types d'alliages à base de fer selon leur composition chimique ou selon leur domaine d'utilisation. L'adoption de cette dernière nous permet de recenser quatre familles d'aciers :

- Les aciers au carbone d'usage général.
- Les aciers de traitements thermiques, alliés ou non.
- Les aciers à outils.
- Les aciers inoxydables. [11]

I.4.3. Définition d'acier de construction

Les aciers de construction sont des aciers au carbone et au manganèse présentant un niveau minimal garanti de résistance (limite d'élasticité et résistance à la traction) et une ductilité satisfaisante. Ils conviennent à de nombreuses applications et sont disponibles auprès des distributeurs et centres de service dans les combinaisons de dimensions et de formes les plus courantes. [12]

I.4.4. La corrosion

I.4.4.1. Définition

La Corrosion est caractérisée par la dégradation d'un matériau sous l'action d'agents atmosphériques ou chimiques. La corrosion est le phénomène de dégradation le plus répandu dans les unités de procédés. Il est à l'origine de la majorité des défaillances d'équipements sous pression.

On estime que la corrosion détruit un quart de la production annuelle mondiale d'acier, ce qui représente environ 150 millions de tonnes par an ou encore 5 tonnes par seconde. Or, la corrosion ne se limite pas à l'acier, mais affecte tous les métaux ainsi que les polymères et céramiques. Elle résulte d'interactions chimiques et/ou physiques entre le matériau et son environnement. [13]

I.4.4.2. Modes de corrosion [13]

A. Corrosion électrochimique

Certains auteurs confondent la corrosion galvanique et électrochimique, tandis que d'autres réservent le terme de galvanique au cas où deux métaux ou alliages différents préexistent dans le circuit.

B. Corrosion chimique

C'est le cas de dissolution d'un métal dans un acide ou une base. Ce type de corrosion met généralement en jeu les mêmes processus électrochimiques que précédemment, mais provient d'une arrivée accidentelle d'un polluant chimique (acide ou base provenant du procédé, régulation de pH défaillante).

C. Corrosion biochimique

La corrosion biochimique peut être définie comme un phénomène dans lequel les bactéries jouent un rôle primordial, soit en accélérant un processus déjà établi, soit en créant un terrain favorable à son établissement.

I.4.4.3. Les différents types de corrosion

A. Corrosion généralisée [14]

L'attaque est sur toute la surface métallique en contact avec un milieu corrosif. La dissolution du fer dans l'eau par oxydation illustre la corrosion généralisée. (**Figure I.6**)

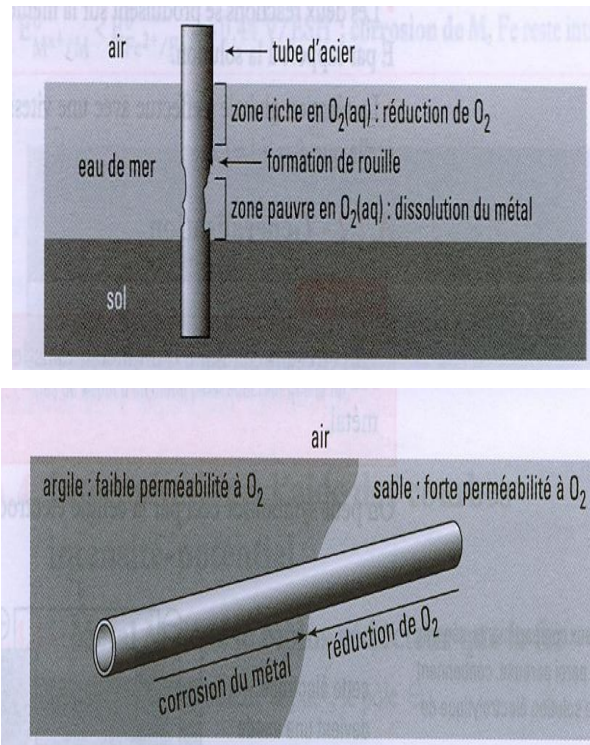


Figure I.6: Exemple de la corrosion généralisée dans un tube d'acier

B. Corrosion atmosphérique [15]

La corrosion atmosphérique désigne la réaction de l'oxygène de l'air à température ambiante avec un métal lorsqu'à la surface de ce dernier l'humidité et les polluants forment un film d'électrolyte.

La vitesse de la corrosion atmosphérique dépend de la vitesse des réactions partielles aux interfaces métal- électrolyte et oxyde-électrolyte. Elle est donc en ce sens comparable à la corrosion en milieu liquide à ceci près qu'il n'y a pas évacuation des produits de corrosion par l'électrolyte et que ce dernier peut éventuellement s'évaporer

complètement lors des phases de séchage pour se former lors de phase d'humidité élevée.

Le phénomène de corrosion atmosphérique va donc dépendre étroitement des polluants présents dans l'air ambiant et de son degré d'humidité.

La corrosion atmosphérique de l'acier peut schématiquement être décrite par la réaction suivante :



Le composé FeOOH, qui peut être considéré comme de l'hématite Fe₂O₃ hydratée (2) désigne globalement la rouille, qui est en fait un mélange complexe de différentes phases cristallines et amorphe d'oxyde et de d'hydroxydes de fer et dont la stœchiométrie ne correspond qu'approximativement à la formule globale FeOOH. Les trois composants principaux de la rouille sont respectivement :

- La lépidocrocite γ -FeOOH de structure rhomboédrique.
- La goethite FeOOH de structure rhomboédrique.
- La magnétite Fe₃O₄ de structure cubique.

La composition de la rouille varie en fonction des conditions climatiques et la durée d'exposition, Elle varie de plus entre l'intérieure et l'extérieure de la couche.

- La partie extérieure est la plus souvent poreuse et principalement constituée de goethite et de lépidocrocite.
- La partie intérieure, adjacente au métal, est en générale relativement dense et formée de magnétite et de phases amorphes de FeOOH.

Lorsque l'on expose une surface d'acier humide à l'atmosphère, elle se recouvre rapidement d'un film mince de produits de corrosion. Cette réaction de formation de la rouille est d'autant plus rapide que la surface est contaminée par des polluants comme les ions sulfates.

C. Corrosion Galvanique (piles)

Ce type de corrosion est dû au contact de deux métaux différents, il est souvent appelé pile. Des règles sont à respecter lorsque des matériaux métalliques de natures différentes sont présents dans une installation, ou assemblés entre eux. **(Figure I.7) [16]**

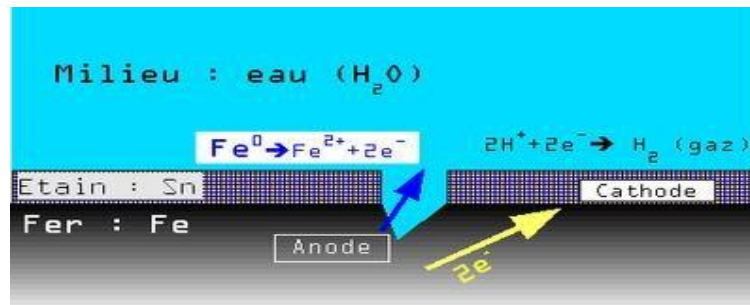


Figure I.7 : Fissuration (pile locale) due à un défaut de dépôt de Sn sur l'acier.

Les conditions pour qu'une telle pile fonctionnent dans la réalité, sont les suivantes :

- Présence et contact électrique de deux métaux différents, proches l'un de l'autre,
- Présence d'un électrolyte conducteur,
- Existence d'une différence de potentiel suffisante entre ces deux métaux. Le potentiel pris par un métal, dans une solution, est un potentiel d'abandon, différent du potentiel d'équilibre. Différentes tables donnent des potentiels de dissolution. En général, on se réfère à une solution de chlorure de sodium, ou d'eau de mer. Les potentiels pris par le métal peuvent toutefois différer d'un milieu à l'autre.
- Rapport de surface entre les deux métaux tel que petite anode /grande cathode.

Lorsque les deux métaux ne sont pas en contact, ils se corrodent chacun, de manière indépendante.

D. Corrosion Bactérienne

La corrosion biologique (bactérienne) se manifeste souvent sous forme de tubercules (tumeur) très rapprochées qui provoquent éventuellement des corrosions cavernueuses. L'amas (assemblage) tuberculiforme, feuilleté, est très souvent creux à l'intérieur et contient parfois une masse fluide noirâtre (**Figure I.8**) [17].



Figure I.8: Exemple d'un tube d'un circuit de refroidissement attaqué par la corrosion bactérienne.

La corrosion bactérienne peut être définie comme un phénomène où les bactéries jouent un rôle primordial (essentiel) soit en accélérant un processus déjà établi soit en créant un terrain favorable à son établissement.

En effet, on peut considérer que les bactéries jouent un rôle d'accélérateur de corrosion électrochimique, en empêchant la polarisation de se produire par :

- Fixation de l' H_2 cathodique (bactérie sulfato - réductrices).
- Transformation de sels ferreux en hydroxydes ferrique (Ferro-bactéries) [17].

Dans les circuits de refroidissement aérés, c'est la corrosion électrochimique en présence d'oxygène qui sera la plus à craindre surtout sous les dépôts, par aération différentielle. Un mauvais équilibre calco-carbonique ainsi qu'un taux de concentration trop élevé peut entartrer sévèrement une installation. L'encrassement biologique et la corrosion bactérienne sont les autres problèmes de ces installations, avec les légionelles qui sont dispersées par les tours aéroréfrigérantes [15]. (**Figure I.9**)

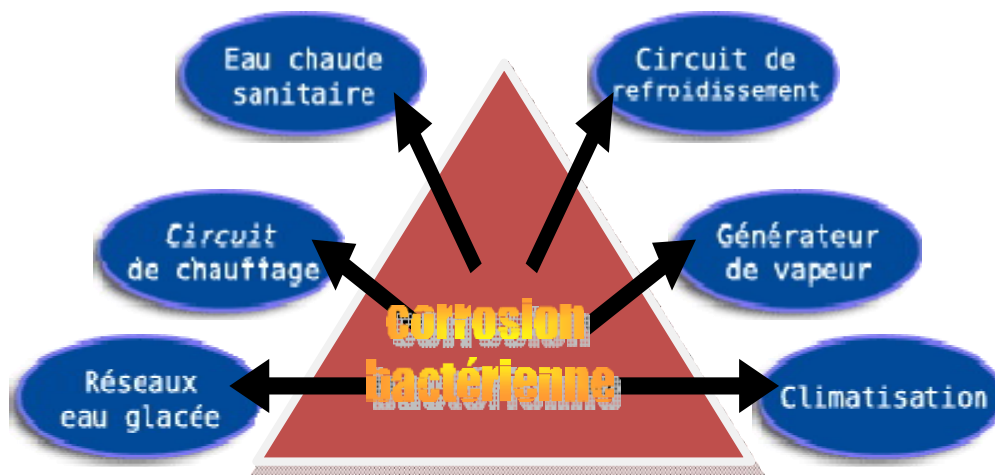


Figure I.9 : Différentes installations touchées par la corrosion bactérienne.

E. Corrosion par piqûre

La corrosion par piqûre désigne une attaque locale d'une surface passive. Elle nécessite la présence d'anions agressifs, notamment les ions Cl^- , Br^- , I^- et d'un oxydant. Elle se manifeste par la formation de petites cavités (piqûres), alors que la surface passive reste intacte. Le nombre et la forme des piqûres de corrosion varient selon les conditions expérimentales (**Figure I.10**) : on trouve des piqûres profondes montrant une attaque cristalline (a), des piqûres occluses (b) et des piqûres hémisphériques brillantes (c). Cette dernière morphologie apparaît souvent lors d'essais potentiostatiques. La dimension des piqûres varie de quelques micromètres à quelques millimètres. [14]

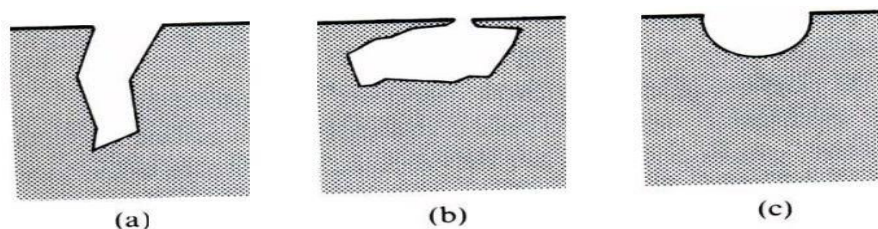


Figure I.10: Morphologie de piqûres : piqûre profonde (a), piqûre occluse (b), piqûre hémisphérique(c).

La **Figure I.11** représente schématiquement le mécanisme de corrosion par piqûre. En présence d'oxygène ou d'un oxydant, tel que le FeCl_3 . Une pile de corrosion se forme entre la surface extérieure, passive et cathodique, et l'intérieur de la piqûre, actif et anodique. Le rapport de surfaces anode/cathode étant petit, la corrosion peut devenir très rapide à l'intérieur de la piqûre. Bien qu'une petite quantité de métal se dissolve, les cavités ainsi créées deviennent très profondes, au point de percer la paroi d'un tuyau.

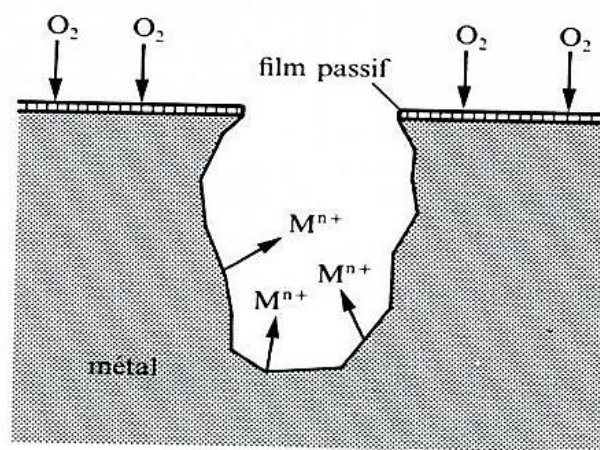


Figure I.11 : Corrosion par piqûre : réaction anodiques et cathodiques

La vitesse moyenne de corrosion, déterminée par gravimétrie, ne permet donc pas d'apprécier l'importance d'une telle corrosion. Pour cette raison, on caractérise le degré d'attaque par le coefficient de piqûration F_p (pitting factor), défini par :

$$F_p = L_{\max} / L_{\text{av}} \quad (\text{I.3})$$

Où, L_{\max} désigne la profondeur maximum de pénétration, mesurée normalement à l'aide d'un microscope optique et L_{av} la profondeur moyenne de dissolution, déterminée par perte de poids.

I.4.4.4. Les facteurs influençant la corrosion des armatures

A. Composition du béton :

Tout ce qui conditionne la solution et la porosité du béton est un facteur pouvant affecter ou non la corrosion. Le type et la teneur en liant, les additions minérales et le rapport Eau/Ciment (E/C) déterminent la performance d'un béton. Le choix de la formulation du béton et la nature de ses principaux composants constitue une approche pour augmenter la résistance à la corrosion de ce matériau. Toutes modifications de cette formulation, produisant une augmentation de la compacité ou une réduction de la perméabilité, ont généralement un effet favorable sur la résistance à la corrosion. Notamment le rapport E/C a une très grande influence sur la porosité, plus il est important plus la porosité du béton est grande. Facilitant ainsi la pénétration des espèces agressives puis la corrosion de l'acier, l'effet du rapport E/C est bien plus important que du type de liant utilisé. [18]

B. Enrobage

L'épaisseur de l'enrobage en béton détermine le temps que vont mettre les espèces agressives pour arriver à l'armature. Parfois la durée de vie d'une structure peut être fortement améliorée en augmentant l'épaisseur de l'enrobage, barrière mécanique freinant, voire stoppant la pénétration d'espèce participant à la corrosion des armatures. [18]

C. Température

Le comportement à la corrosion dépend d'un ensemble des paramètres physiques (température, densité, humidité ...). La température joue un rôle important sur le taux de la corrosion de l'acier dans le béton. Lors du changement de température ambiante, d'autres paramètres sont modifiés comme le degré de saturation et la résistivité du béton, et ce sont alors les effets couplés qu'il faut considérer [19]. 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 facteurs. Mais cet effet reste tout de même plus complexe dans certains cas, une élévation de la température peut jouer un rôle sur la solubilité de l'oxygène (O₂)

dans l'eau et ainsi diminuer la vitesse de corrosion si le (O_2) est moins disponible. À l'inverse, en milieu aéré, la température facilite la diffusion de l'oxygène et accélère la corrosion en augmentant le courant d'échange. D'autres études ont montré que la température avait une influence sur la nature des produits de corrosion formés. [20]

D. Effet d'humidité

L'humidité joue le rôle du milieu électrolytique au voisinage de l'armature est donc un paramètre déterminant dans le processus de corrosion. Car la vitesse de corrosion dépend fortement de ce taux, celui-ci influençant directement la conductivité, la résistivité électrique et la diffusion de l'oxygène. Lorsque la teneur en eau augmente, deux effets opposés se produisent : la diminution de la perméabilité à l'oxygène, qui a un effet limitatif, et celle de la résistivité qui stimule le processus de la corrosion [19]. Plusieurs auteurs ont démontré l'existence d'une humidité relative critique de l'ordre de HR 60 % en dessous de laquelle aucun phénomène de corrosion notable ne se produit. Selon ces auteurs, la vitesse de corrosion serait maximale pour des HR de 90 à 95 % et le courant d'échange cathodique serait limité par la diffusion de l'oxygène. [20]

E. Oxygène

L'oxygène affecte également l'évolution des réactions cathodiques. En l'absence de l'oxygène (O_2), même dans une situation de passivation, la corrosion ne progresse pas en raison de la polarisation cathodique. Ainsi, la corrosion des aciers d'armature ne constitue généralement pas un problème majeur dans le cas des structures ou des parties de structures constamment immergées puisque l'oxygène ne parvient que très difficilement à atteindre les armatures [21]. Plus la teneur en oxygène est importante, plus la vitesse de dissolution de l'acier augmente avec. [15]

F. Autres agents agressifs

Les compositions chimiques de l'environnement sont des agents agressifs vis-à-vis de la corrosion des armatures en B.A, comme l'utilisation de sels de déglçage, l'environnement marin, sols à forte teneur en sel, exposition aux produits chimiques (acides, ...), ...etc. Par ailleurs, les sels contenus dans l'eau pénétrant le béton, peuvent contribuer à la formation de produits de corrosion sur l'acier. Ainsi, les ions sulfate agissent qualitativement comme les ions chlorure et certains sels solubles tels les perchlorates, les acétates, les halogénures autres que les chlorures peuvent aussi être corrosifs pour les armatures. [18]

I.5. Mécanisme de corrosion des armatures du béton

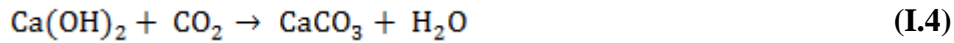
I.5.1. Généralités

Dans la solution interstitielle du béton sain, les ions Fe^{2+} , produit de la dissolution anodique, peuvent rester sous la forme $Fe(OH)_2$ ou être oxydés en ions Fe^{3+} (qui se trouvent sous la forme $Fe(OH)_3$, formant le mince film passif à la surface de l'acier). Dans ce cas, l'acier est protégé et il n'y a pas de dommages détectables dus à la corrosion[22].

La dépassivation de l'acier dans le béton se produit le plus souvent par l'action de deux agents qui peuvent se présenter simultanément : le dioxyde de carbone, CO_2 (carbonatation), et les chlorures se trouvant au niveau des armatures. Ces deux agents interagissent entre eux puisque la carbonatation peut affecter la diffusion de chlorures au sein du béton en changeant la structure des réseaux poreux [22]. La carbonatation pourrait provoquer une réduction de la porosité totale et une redistribution de la taille des pores. Cela pourrait rendre la pénétration des chlorures plus difficile [23]

I.5.2. Carbonatation

L'état de corrosion actif fait suite à la carbonatation du béton d'enrobage qui correspond à la formation de carbonate de calcium (CaCO_3) à partir de la portlandite, et à une diminution simultanée du pH de la solution interstitielle du béton[24]:



$$\text{pH} > 12 \quad \text{pH} < 9.5$$

Dans un tel béton la couche passive ne résiste pas et la corrosion démarre.

Par ailleurs, lorsque la teneur en chlorures atteint ou dépasse une valeur critique (voire la partie de teneur critique en ions chlore), la couche passive ne peut plus protéger l'acier.

La dépassivation nécessite un taux de Cl^- élevé si l'alcalinité de la solution interstitielle est suffisamment élevée. Par contre, si le pH est inférieur à 9.5, la teneur critique en chlorure nécessaire pour provoquer la dépassivation est plus faible. La présence d'ions chlore attaque le film d'oxyde mais n'a pas d'influence sur la composition et la structure des produits de corrosion. C'est l'oxygène qui détermine la composition chimique de ces produits.[24]

Le processus de corrosion des aciers dans le cas d'un béton initialement sain s'effectue généralement en trois étapes (**Fig I.12**) :

- La phase d'initiation (phase A) : l'acier est stabilisé par la couche de passivation qui empêche la formation de rouille, mais au cours de cette période, les agents agressifs pénètrent dans la structure poreuse du béton d'enrobage.
- La phase d'amorçage ou de propagation (phase B) correspondant à la dépassivation progressive de l'acier lorsque les agents agressifs ont atteint l'interface acier-béton.
- Durant la deuxième phase se produit la propagation de la rouille produite par les réactions d'oxydation à la surface du métal. La formation des produits d'oxydation provoque un gonflement qui finit par provoquer la fissuration de l'enrobage (phase C).

En pratique, on doit donc faire en sorte que la période d'amorçage soit la plus longue possible. On peut allonger cette étape en prévoyant des épaisseurs de recouvrement suffisantes et en choisissant une formule de béton permettant de diminuer sa perméabilité (eau, gaz) [25].

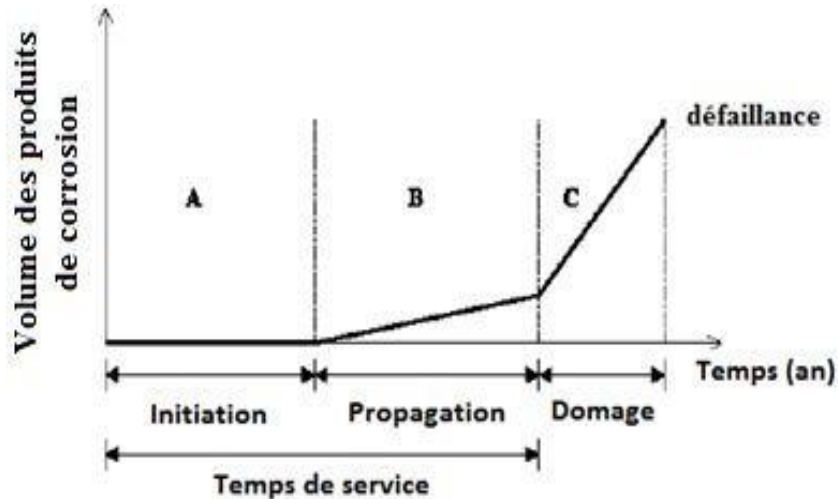


Figure I.12 : Cinétique du comportement des armatures et du béton d'enrobage [25].

I.5.3. Rôle des chlorures

Les chlorures peuvent exister dans le béton selon les trois formes suivantes :

- Libres et dissous dans la solution interstitielle
- Absorbés physiquement sur les parois des pores du béton
- Chimiquement liés, principalement sous la forme de chloroaluminates résultant des réactions chimiques entre les chlorures et des phases du ciment hydraté.

Ces trois formes sont en équilibre et leurs proportions respectives varient en fonction de nombreux facteurs tels que la teneur globale en chlorures, la nature du ciment, la composition et l'humidité du béton, son âge ou la température. D'un point de vue de la corrosion des armatures, ce sont les chlorures libres dissous (la première forme), qui participent au phénomène de corrosion.

Les chlorures présents dans le béton peuvent avoir été introduits lors du gâchage, ou avoir pénétré à partir du milieu environnant.

La vitesse de pénétration des chlorures dans les pores du béton varie selon la structure poreuse et les conditions d'exposition. En milieu saturé, elle peut être décrite par un processus de diffusion respectant la loi de Fick :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_a \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (\text{I.5})$$

Où :

D_a : est le coefficient de diffusion apparent qui prend en compte la possibilité de « Piégeage » des ions chlore par réaction chimique avec les aluminates ou par adsorption à la surface des pores et $C(x,t)$ est la concentration en ions chlore, à une profondeur x au bout du temps t .

Les chlorures qui pénètrent dans le béton peuvent en effet réagir chimiquement avec le C_3A du ciment. Cette réaction produit des monochloroaluminates hydratés ($C_3A.CaCl_2.10H_2O$) qui sont des hydrates relativement stables dans le béton.

La formation des chloroaluminates permet de fixer des chlorures dans le béton, ce qui réduit en conséquence la teneur en chlorures libres et, par le fait même, les risques de corrosion. Ce phénomène explique pourquoi les ciments riches en C_3A offrent en général une meilleure protection contre la corrosion des aciers.

I.5.4. Vitesse de corrosion

La vitesse de corrosion des barres d'armature est plus grande en présence de chlorures.

Les chlorures ont deux effets dans les mécanismes de corrosion :

- Ils diminuent la résistivité de l'électrolyte, ce qui facilite le transport des ions d'un site à l'autre ;
- Ils dépassent les aciers par destruction locale de la couche superficielle (piqûres). Aux endroits où la couche a été détruite, l'acier se dissout (zone anodique), alors que le reste de la surface encore passivée correspond à la zone cathodique. Les chlorures agissent

aux zones anodiques en augmentant la vitesse de corrosion [26]. La surface des zones anodiques est plus petite que celle des zones cathodiques ce qui accélère encore la vitesse de corrosion [27].

Le rapport cathode/anode élevé favorise la progression localisée et en profondeur de la corrosion, formant des piqûres ou une corrosion caverneuse [28]. Les réactions de corrosion au niveau de la cellule caverneuse sont encore mal comprises. Le mécanisme de ce type de corrosion est complexe car la composition de la solution à l'intérieur de la piqûre est modifiée par rapport à celle de la solution interstitielle qui l'entoure [29].

Au fond de la piqûre, les ions chlore s'associent avec l'ion hydrogène de l'eau pour former de l'acide chlorhydrique et sont constamment recyclés :



Ces réactions engendrent une importante baisse du pH, entre 3.8 et 5 [30], [31].

La dissolution du fer est alors accélérée. Les ions ferreux Fe^{2+} diffusés hors de la piqûre se combinent avec les ions hydroxyles de la solution interstitielle tandis que la réaction cathodique est la même que dans le cas de corrosion en absence de chlorure. La (Figure I.13) montre le schéma de la corrosion par les ions chlorure [32].

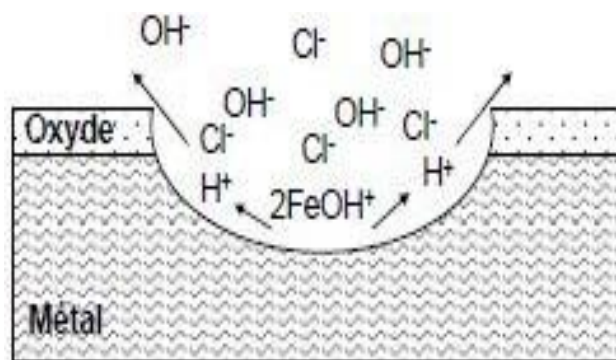


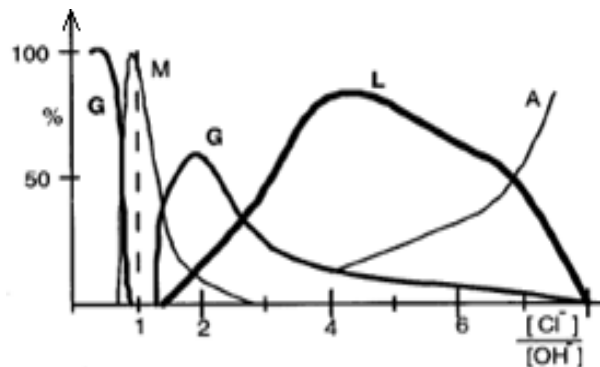
Figure I.13: Modèle de PAGE d'attaque de l'acier par les ions chlore [33].

Plus la concentration en chlorure au niveau des armatures est grande, plus la vitesse de corrosion est élevée. Une fois la corrosion amorcée, il est plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation.

I.5.6. Teneur critique en ions chlore

Pour exprimer la teneur critique des ions chlore nécessaire pour l'amorçage de la corrosion, il est habituel de considérer le rapport Cl^-/OH^- , des ions activant Cl^- par rapport aux ions passivant OH^- [34].

La valeur moyenne du rapport Cl^-/OH^- suffisante pour lancer la corrosion des aciers, dans une solution alcaline dont l'intervalle de pH est de 11.6 à 12.4, est de l'ordre de 0.6. Si le pH est de 13.2, le rapport critique est de l'ordre de 0.83. D'autres études ont démontré que la teneur critique en Cl^- est associée à un changement de nature des produits d'oxydation à la surface de l'acier. Lorsque $Cl^- < OH^-$, il se forme de l'hydroxyde ferreux stable ; lorsque le $Cl^- > OH^-$, l'hydroxyde formé est instable, cette instabilité correspond à la formation de produit de corrosion. (Fig I.14) montre l'influence du rapport Cl^-/OH^- sur les produits de la corrosion.



FigI.14: Produits de corrosion du fer dans un milieu selon le rapport Cl^-/OH^- (G : goethite (α -FeOOH) ; L : lépidocrocite (γ -FeOOH) ; A : akaganéite (β -FeOOH) ; M : magnétite (Fe_3O_4)). [35]

Qui a étudié la corrosion des aciers immergés dans une solution alcaline, a constaté l'existence d'une relation linéaire entre le pH et la concentration des chlorures [36] :

$$pH = 0.83 \log C_{Cl^-} + K \quad (I.8)$$

Où :

C_{Cl^-} : la concentration critique de Cl^- ,

K : une constante.

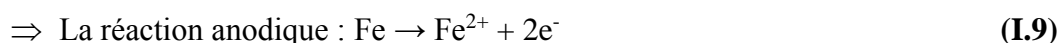
La difficulté de mesurer la teneur en ions OH^- dans le béton au contact de l'acier, a conduit à utiliser un autre type d'indication, à savoir le pourcentage en ions chlore par rapport

au poids de ciment ou de béton. Des essais de laboratoire [37] suggèrent que la propagation de la corrosion s'amorce pour une concentration en ions chlore de l'ordre de 0,5% en poids de Ciment.

D'après Broomfield [38], le seuil critique correspond plus exactement au moment où le rapport Cl^-/OH^- devient supérieur à une valeur comprise entre 0,6 et 1,0. Ce seuil est atteint lorsque la concentration en chlorures solubles est approximativement de 0,2 à 0,4% par rapport à la masse de ciment.

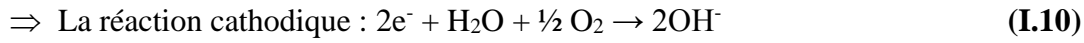
I.6. Processus de corrosion [39]

Une fois que la couche passive s'est décomposée, des zones de rouille apparaîtront sur la surface de l'acier. Les réactions chimiques sont les mêmes, que la corrosion se produise par attaque au chlorure ou carbonatation. Lorsque l'acier dans le béton se corrode, il se dissout dans l'eau interstitielle et libère des électrons :



Les deux électrons ($2e^-$) Créés lors de la réaction anodique doivent être consommés ailleurs sur la surface de l'acier pour préserver la neutralité électrique. En d'autres termes, nous ne pouvons pas avoir de grandes quantités de charges électriques accumulées en un

seul endroit sur l'acier. Il doit y avoir une autre réaction chimique pour consommer les électrons. C'est une réaction qui consomme de l'eau et de l'oxygène :



Ceci est illustré à la figure I.16. Vous remarquerez que nous générons des ions hydroxyle dans la réaction cathodique. Ces ions augmentent l'alcalinité locale et renforceront donc la couche passive, ce qui éloignera les effets de la carbonatation et des ions chlorure sur la cathode. Notez qu'il faut de l'eau et de l'oxygène à la cathode pour que la corrosion se produise.

Les réactions anodiques et cathodiques ((I.9) et (I.10)) ne sont que les premières étapes du processus de création de la rouille. Cependant, cette paire de réactions est essentielle à la compréhension de la corrosion et est largement citée dans toute discussion sur la corrosion et la prévention de la corrosion de l'acier dans le béton.

Si le fer venait à se dissoudre dans l'eau interstitielle (l'ion ferreux Fe^{2+} de l'équation (I.9) est soluble), le béton ne se fissurerait ni ne s'effondrerait. Plusieurs autres étapes doivent se dérouler pour que la rouille se forme. Ceci peut être exprimé de plusieurs manières et on en montre un ici où l'hydroxyde ferreux devient l'hydroxyde ferrique puis l'oxyde ferrique hydraté ou la rouille :

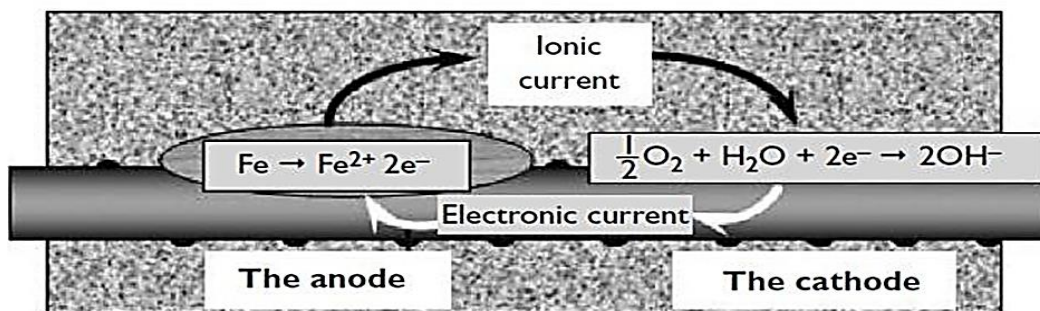
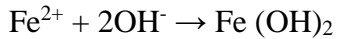
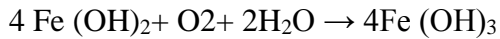


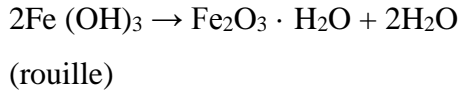
Figure I.15: Réactions anodique, cathodique, d'oxydation et d'hydratation pour corroder l'acier.



(I.11) Hydroxyde ferreux



(I.12) Hydroxyde de fer



(I.13) Oxyde ferrique hydraté

Le processus de corrosion complet est illustré à la figure I.15 ; L'oxyde ferrique non hydraté Fe_2O_3 a un volume environ deux fois supérieur à celui de l'acier qu'il remplace lorsqu'il est complètement dense. Quand il s'hydrate, il gonfle encore plus et devient poreux. Cela signifie que l'augmentation du volume à l'interface acier / béton est de six à dix fois celle indiquée à la (fig I.16). Cela conduit à la fissuration et à l'écaillage que nous observons comme conséquence habituelle de la corrosion de l'acier dans le béton et de la rouille friable rougeâtre/ brune que nous voyons sur la barre et aux taches de rouille que nous voyons aux fissures dans le béton.

Plusieurs facteurs dans l'explication donnée dans cette section sont importants et seront utilisés plus tard pour expliquer comment nous mesurons et arrêtons la corrosion. Le courant électrique ainsi que la génération et la consommation d'électrons dans les réactions anode et cathode sont utilisés dans les mesures de potentiel d'une demi-cellule et la protection cathodique. La formation d'ions hydroxydes alcalins protecteurs est utilisée dans la protection cathodique, l'élimination du chlorure électrochimique et la réalcalinisations. Le fait que les réactions cathodiques et anodiques doivent s'équilibrer pour que la corrosion se poursuive est utilisé dans la protection des armatures en revêtement époxy.

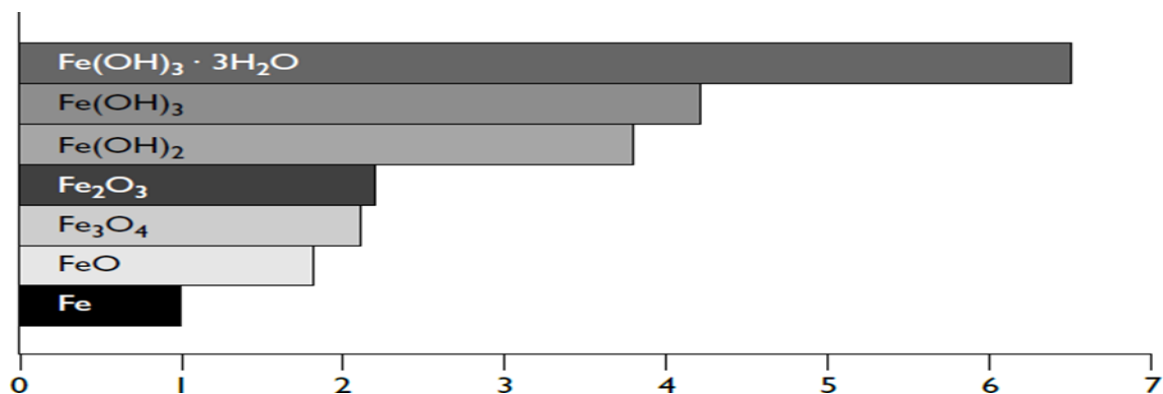


Figure I.16 : Volume relatif de fer et de ses oxydes provenant de Mansfield Corrosion.



Chapitre 2 :

**Auscultation et l'impact des eaux souterraines
sur les fondations et procédures
expérimentales**

Chapitre II : Auscultation et l'impact des eaux souterraines sur les fondations et procédures expérimentales

Les fondations ou bases armées et les colonnes sont le garant de la vie du bâtiment, de sa stabilité et de la précision de l'exécution d'une dimension bien achevée, en évitant de nombreux problèmes. Les fondations assurent le transport des charges provenant des colonnes, des murs, des plafonds et d'autres éléments du bâtiment et les distribuent au sol[40].

II.1. L'infrastructure

On appelle infrastructure, la partie inférieure d'un ouvrage reposant sur un terrain d'assise auquel sont transmises toutes les charges supportées par l'ouvrage, soit directement (cas des semelles reposant sur le sol ou cas des radiers) soit par l'intermédiaire d'autres organes (cas des semelles sur pieux par exemple). Donc elles constituent la partie essentielle de l'ouvrage [41].

II.1.1 Fondation

II.1.1.1 Définition [42]

Les fondations sont des éléments de la structure ayant pour objet de la transmission des charges de la superstructure au sol, cette transmission se fait soit directement (cas des semelles reposant sur le sol ou cas des radiers), soit par l'intermédiaire d'autres organes (cas des semelle pieux). On distingue deux types de fondation selon leurs modes d'exécution et selon la résistance aux sollicitations extérieures :

A. Fondations superficielles

Le principe d'une fondation superficielle peut être retenu si les sols sont assez homogènes et s'ils comportent des couches porteuses assez proches de la surface. On distingue 3 types de semelles pour les fondations superficielles :

- Les semelles isolées : des sections carrées, ou circulaires et supportant des charges Ponctuelles.
- Les semelles filantes (ou continues) : sont des fondations de très grande longueur par rapport à leur Largeur et supportant un mur ou une paroi.
- Les radiers (ou dallage) : est une dalle plane, constituant l'ensemble des fondations d'un bâtiment, elle est adaptée lorsque la portance du sol est faible et que sa compression est homogène.[42]

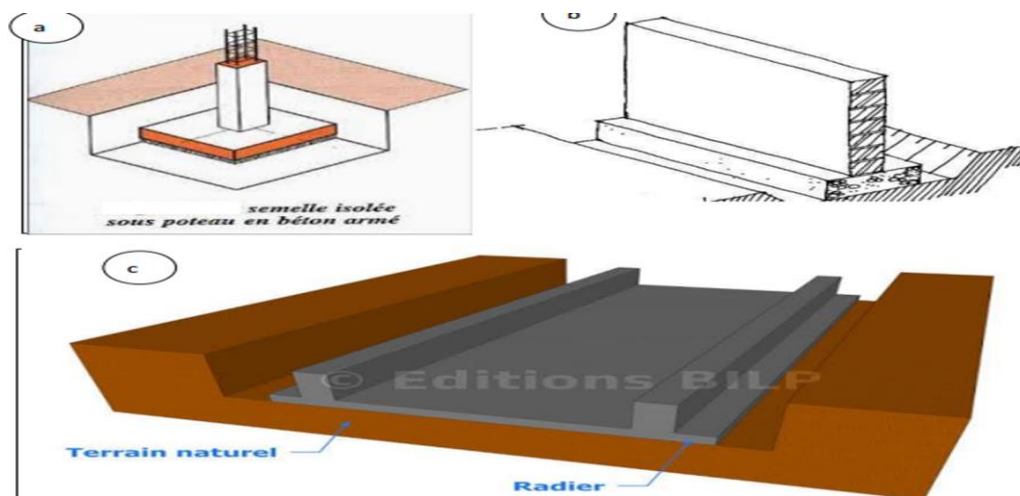


Figure II.1 : Semelle superficielles (a : isolée)

B. Fondations profondes

Lorsque le terrain superficiel sur lequel repose une fondation n'est plus capable de résister aux sollicitations qui lui sont transmises, on a recours à une fondation profonde (pieu) qui permet d'atteindre le substratum le « bed rock » ou un sol plus résistant et de mobiliser le frottement latéral des couches transverses.

Ce cas se présente souvent lorsque les couches superficielles sont peu résistantes, molles et compressibles, par exemple le cas des Argiles, vases, des tourbes, et dans le cas où il serait impossible d'améliorer la portance de ces couches.

Si la fondation était exécutée directement sur ces couches compressibles, des tassements incompatibles à la stabilité de l'ouvrage se produiraient.[42]

II.1.2. Radier générale

Un radier est une dalle plane, éventuellement nervurée, constituant l'ensemble des fondations d'un bâtiment, il s'étend sur toute la surface de l'ouvrage.

II.1.2.1. Principaux types de radier

- Radier dalle ou radier à dalle plate, ce type de radier, caractérisé par une épaisseur constante, est conçu en cas d'une disposition régulière de poteaux avec une charge faible transmise au sol
- Radier à dalle sur des socles sous les poteaux, il est conçu en cas de charges élevées provenant des poteaux
- Radier nervurer, constitué d'un grillage de poutres sous la dalle et dont les nœuds correspondent aux poteaux, ce type de fondation est adéquat en cas d'efforts de flexion importante et un grand espacement entre les poteaux,
- Radier a dalle sous socles sous les poteaux, il est conçu en cas de charges élevées provenant des poteaux
- Radier cellulaire ou radier –caisson, il est aussi conçu en cas de charges élevées transmises de sol [43]

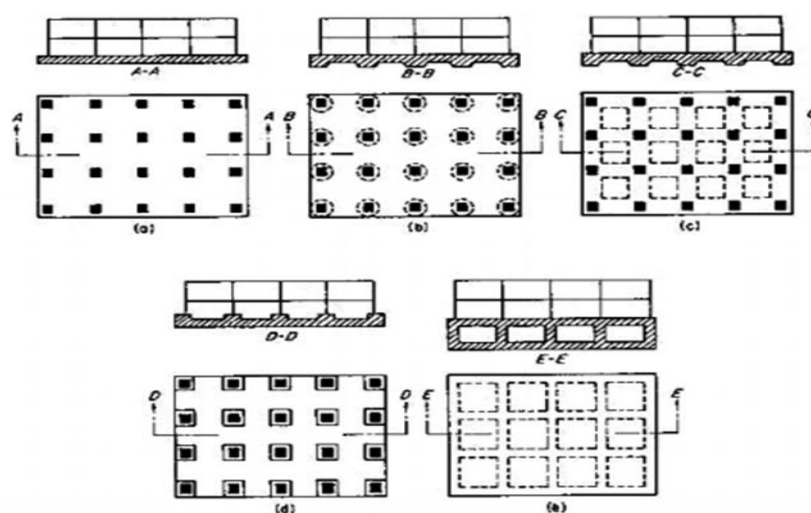


Figure II.2: Quelques types courants de fondation sur radier : (a) Radier-dalle, (b) radier à dalle sur socles, (c) radier nervurer, (d) radier à dalle sous socles, (e) radier cellulaire ou caisson [44]

II.1.3. L'impact des eaux souterraines sur les fondations

Que les eaux souterraines est l'un des plus grands problèmes dirigés par les fondations et ceux parce qu'il contient des produits chimiques nocifs affectant les barres d'armature et le béton, parmi les effets qui peuvent être observés sont :

- L'acier est complètement corrodé.
- Les factures climatiques et les catastrophes naturelles.
- Modification du plan de construction.
- Le béton armé est invalide.
- La base est inclinée et a une torsion.
- Il y a des dégâts dans le béton et c'est montré en changeant la couleur en gris.
- La base armée est courte et n'atteint pas la profondeur [45].

II.2. L'auscultation

II.2.1. Définition

L'auscultation d'un élément de fondation (pieu béton armé ou non, barrette, paroi moulée, inclusion rigide, pieu métallique, palplanche, micropieu, etc) permet de contrôler (tests de conformité) ou d'évaluer (expertise) ses caractéristiques, son intégrité et sa portance.

Cette auscultation est réalisée à l'aide de méthodes non-destructives (de type vibratoire ou acoustique) ou destructive (par carottage ou forage destructif). [46]

II.2.2. Auscultation des fondations

L'est devenu nécessaire pour évaluer l'apparition de problèmes liés aux fondations et en déterminer la cause profonde, et pour cela, nous examinons les fondations pour trouver la cause de l'impact des eaux souterraines qui ont conduit à la détérioration et aux dommages des barres d'armature. Trouver un traitement approprié afin d'éviter ou d'éviter de tomber dans le problème de la détérioration des fondations due à l'érosion des barres d'armature.

Par exemple, nous avons pris des photos des fondations démolies [45]



Figure II.3 : Des fondations démolies.

II.3. Les problèmes structurels dans les règles et les fondations [47]

Seront examinés dans cette partie et brièvement les problèmes de construction les plus importants auxquels les éléments de construction sont exposés dans les bâtiments et les installations, qu'ils soient anciens ou modernes, qui sont en construction et comprennent ; les problèmes structurels les plus importants dans les règles et les fondations sont les suivants :

- Rouille et dommages au béton ;
- Atterrissage des règles ;
- Nidification et aspirateurs ;
- Erreurs de barres d'armature ;
- Défaut de résister aux contraintes.

II.3.1. Rouille et dommages au béton

La rouille se produit dans les barres d'armature dans les bases à la suite de l'exposition à l'eau, qui constitue une couche entre les barres de fer et le béton, entraînant la séparation du béton des couches de fer et leur destruction pour de nombreuses raisons, dont les plus importantes sont :

- Ne pas utiliser un système d'isolation approprié.
- Fissures et fissures dans le béton qui permettent à l'eau d'entrer.
- Il n'y a pas assez de couverture concrète pour les règles.
- Un défaut de résister aux contraintes auxquelles les règles sont exposées, ce qui conduit à l'émergence de fissures mobiles qui endommagent le système d'isolation.

II.3.2. Atterrissage dans les règles

Le déclin des bases est le résultat de l'exposition du sol transportant ces bases à l'eau qui affecte les caractéristiques du sol, ce qui conduit à un changement de forme et de taille à l'aide des charges qui les dominent et leurs causes sont nombreuses :

- Défaut d'examiner le sol et de prendre les précautions nécessaires ;
- Ne choisissez pas le type approprié de règles telles que (séparé, véhicule, tapis ou capoli...) ;
- Fuite d'eau provenant des salles d'inspection, des puits ou des réservoirs d'eau à proximité ;
- L'émergence de nouvelles excavations adjacentes aux règles et aux fondations, ce qui modifie l'équipement du sol ;
- Votre sang ne sas pas bien le sol ;
- L'utilisation de déchets de construction, bélier et autres en négligeant le gouvernail.

L'un des signes les plus importants de l'atterrissage dans les bâtiments est :

- L'apparition de fissures dans les murs et les aspects des colonnes ;
- Séparation des murs des médicaments de la terre ;
- Des fractures se produisent dans la vitre des fenêtres et les portes ne s'appliquent pas.

II.3.3. Nidification et vide

Nidification du béton (séparation granulaire) ou suspension de béton (l'apparition de vides et de lacunes à l'intérieur des colonnes) qui est l'un des problèmes les plus importants qui se produisent et sa cause se limite à une mauvaise mise en œuvre et les raisons les plus importantes qui montrent ces problèmes :

- Ne pas utiliser de vibreur lors de la coulée ;
- Utilisez des moules en bois mort ;
- La distribution des barres d'armature ne permet pas le passage des gravats lors de la coulée ;
- Ne pas mélanger le matériau correctement lors de la coulée sur place ;
- N'utilisez pas de moules en bois et compensez-les avec des aspects du sol qui absorbent l'eau dans le béton ;
- Le manque de béton propre sous les règles.

II.3.4. Erreurs de barres d'armature

Il en résulte souvent des erreurs dans l'armement, qu'il s'agisse d'erreurs de conception en premier lieu telles que l'augmentation ou la pénurie ou d'erreurs résultant de la mise en œuvre, ce qui conduit à des problèmes tels que :

- Fissures résultant d'une faible résistance aux contraintes auxquelles les règles et les fondations sont exposées ;
- La séparation des colonnes ou des cols des colonnes à la suite de la mauvaise liaison des barres d'armature communes entre elles et les fondations et les règles ;
- L'apparition de l'histoire perspicace entre les colonnes et les fondations ;
- Le manque de couverture en béton suffisante en raison de l'enlèvement du fer.

II.3.5. Défaut de résister aux contraintes

Se produit lorsque du béton prêt à l'emploi est fourni qui n'est pas conforme aux spécifications du béton conçu pour la construction ou en changeant les composants des mélanges de béton sur place tels que l'augmentation de la teneur en eau et autres, ce qui modifie les propriétés du béton telles que la résistance à basse pression, ce qui rend l'élément de construction dangereux et peut avoir besoin d'être étudié par des spécialistes pour le traiter ou le renforcer.

II.4. Des barres d'armature

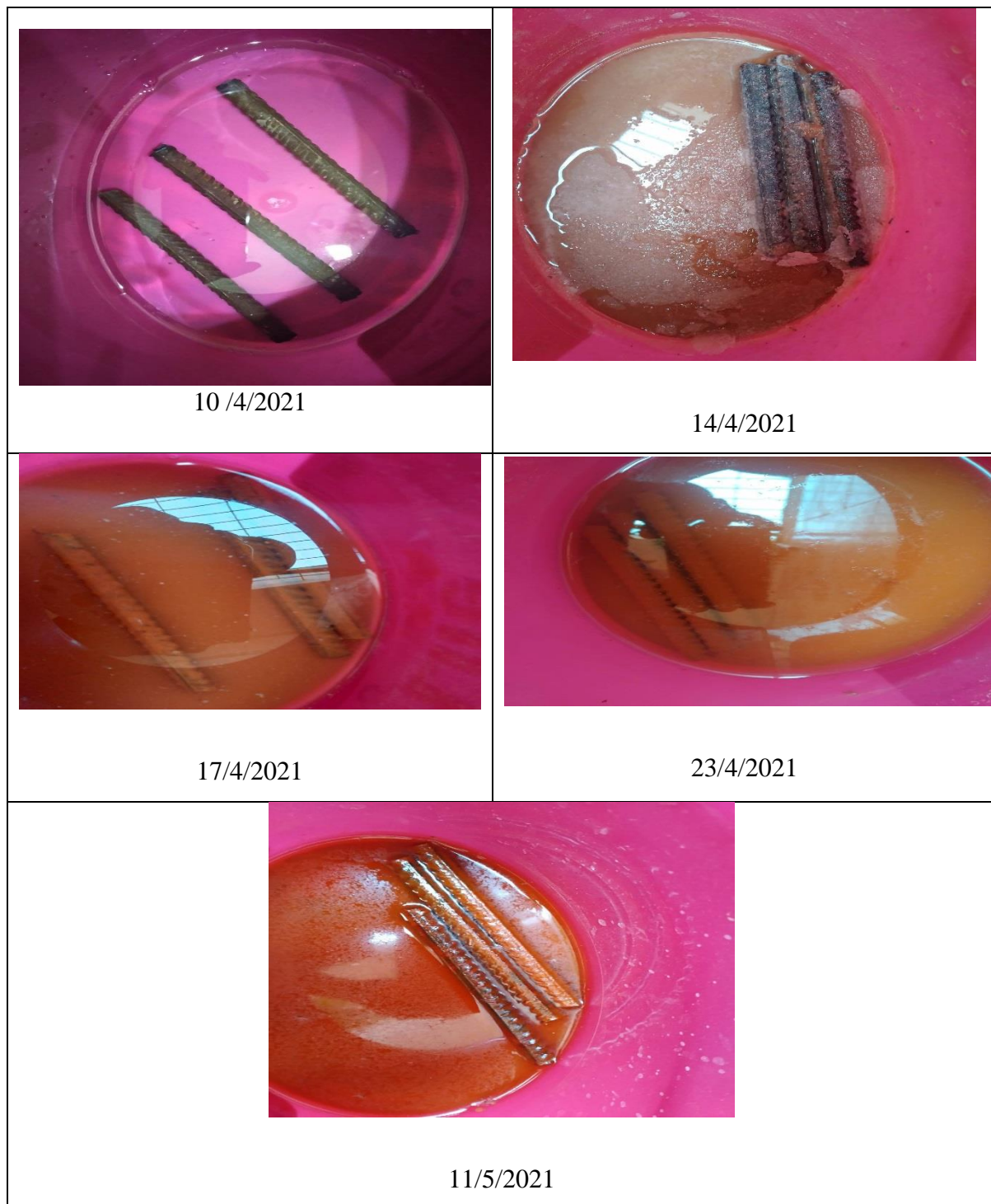
II.4.1. Causes de corrosion

- Près des fondations des sites de drainage, que ce soit pour les usines ou les déchets humains.
- Corrosion due à la négligence de l'entretien et au traitement immédiat des fuites d'eau.
- Niveaux élevés des eaux souterraines sans tenir compte lors de la conception et de la mise en œuvre.
- Travaux de forage à côté des fondations sans prendre de précautions.
- Fuite d'eau, qu'elle soit due à la pluie ou autre, et chute soudaine du sol. [48]

II.4.2. L'effet de l'eau sur la barre d'armature

Nous avons trois échantillons de barres de fer (longueur = 15 cm) mis dans l'eau (eau prélevée dans la région de Sidi Abdullah), nous avons remarqué :

- Un changement dans la couleur des barres et l'eau placée en eux (la couleur de la rouille).
- Déposez quelques sels sur les côtés des barres.



**Figure II.4 : Divers changements apportés à échantillons de barres de fer au fil du temps
[photo original]**

II.5. Procédures Expérimentales

II.5.1. Essais de traction

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture.

II.5.2. Principe de l'essai

Cet essai ou expérience consiste à placer une petite barre du matériau à étudier entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur la barre jusqu'à sa rupture. On enregistre l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit ensuite en déformation et contrainte .

II.5.3. But de l'essai

- Connaître le fonctionnement d'une machine de traction ;
- Déterminer les caractéristiques de résistance du matériau testé ;
- Mettre en évidence la relation de comportement élastique en traction ;
- Mettre en évidence les domaines élastique et plastique de la loi de comportement d'un acier ;
- Exploiter la courbe de traction et interpréter les résultats.

II.5.4. Machine de traction

Toutes les machines comportent un dispositif permettant d'appliquer un effort sur éprouvettes et des systèmes de mesure pour déterminer d'une part la charge et d'autre part l'allongement. Quel que soit le dispositif de chargement, il doit assurer un effort de traction pure, donc un alignement rigoureux des axes d'amarrage de l'éprouvette. [49]



Figure II.5 : La machine de traction [photo originale]

II.4.5. Notions de sécurité [50]

Les machines de traction les plus basiques ont une capacité de l'ordre de 20 kN, soit l'équivalent de 2 tonnes, ou encore le poids de 2 voitures. Il est très important d'être conscient et mis en garde des risques encourus en cas de fausse manœuvre ou de négligence durant l'utilisation de la machine.

Il est important donc de prendre en compte les précautions suivantes :

- Faire l'essai en présence de l'enseignant responsable du TP.
- Un seul manipulateur sur la machine.
- Ranger la zone d'essai, ne laisser pas des objets (éprouvette ou d'outil) qui traînent sur la machine.
- Pas de mouvement en vitesse rapide sans surveiller que les mors ne viennent écraser ou pincer, un doigt, une main ou l'éprouvette.
- Pas d'intervention manuelle sur la machine en cours d'essai (sauf l'arrêt d'urgence).

II.4.6. Matériels utilisés

- Machine d'essai de traction universelle.
- Epreuve des aciers (longueur =40cm).
- Règle.
- Pied à coulisse.
- Brosse de fer.




		
Brosse de fer.	Pied à coulisse	L'éprouvette nouvelle et ancienne

Figure II.6 : Matériels utilisés [photo originale]

II.4.7. Mode opératoire de l'essai

A. Etape 01

- Les essais se feront sur la machine universelle de traction.
- Les essais sont effectués sur 01 éprouvette en acier soumise à un effort de traction F jusqu'à la rupture.
- Nous avons deux types des éprouvettes à tester (éprouvette nouvelle et ancienne).
- Prendre les différent mesures de l' éprouvette .



Figure II.7 : Mesure des éprouvettes [photo originale]

- Placer l'éprouvette dans la machine et installé dans l'axe du mâchoire (l'éprouvette est central pour l'homogénéité de la force) ; configurer les mâchoires supérieur et inférieur.



Figure II.8 : Placer l'éprouvette dans la machine [photo originale]

- Mettez l'affichage (zéro).
- Démarrer la machine.
- La lecture de la force (force de la rupture) exercée se fait directement sur le dispositif relié à la machine.



Figure II.9 : La force de la rupture [photo originale]



Figure II.10 : L'éprouvette nouvelle après la rupture [photo originale]



Figure II.11 : L'éprouvette ancienne après la rupture [photo originale]

B. Etape 02

Après le nettoyage des éprouvettes anciennes à brosse de fer.



Figure II.12 : Le nettoyage des éprouvettes anciennes [photo originale].

- Mesurez au pied à coulisse le diamètre de l'éprouvette.

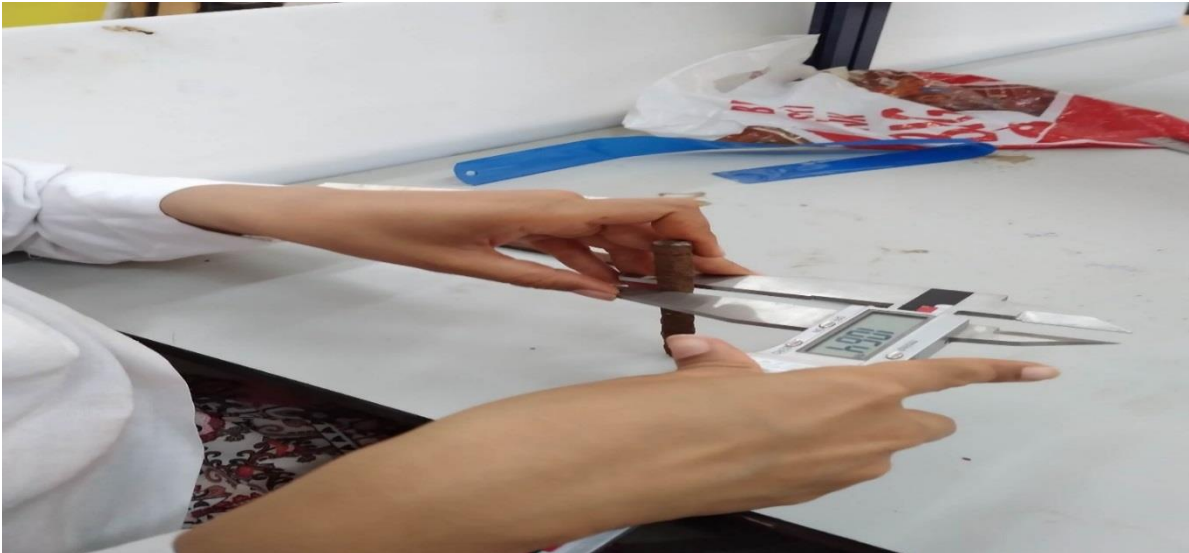
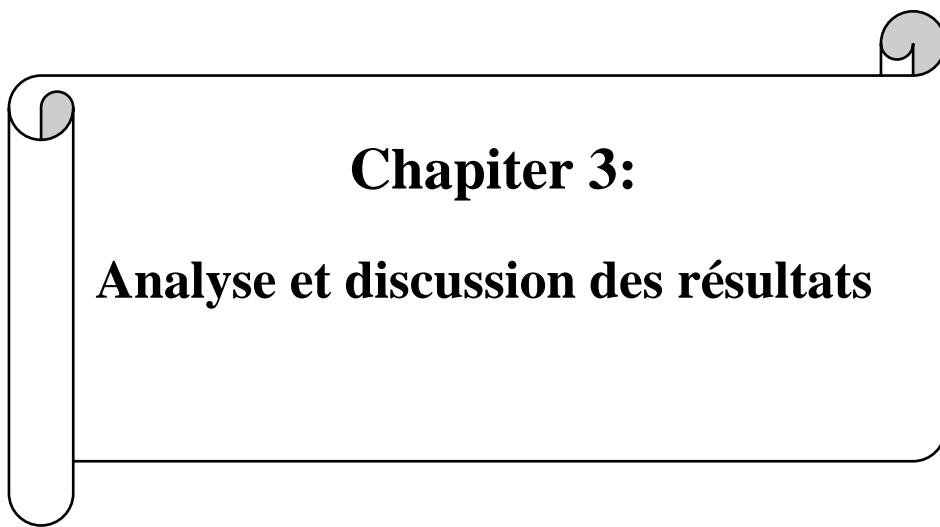


Figure II.13 : Mesurez au pied à coulisse [photo originale]



Chapiter 3:
Analyse et discussion des résultats

Chapitre3 : Analyse et discussion des résultats

Dans ce chapitre, nous analyserons et discuterons les résultats que nous avons obtenus en réalisant une expérience de traction sur des échantillons de barres d'armature (nouvelles et anciennes prélevées sur des fondations démolies).

III.1. Les résultats obtenu

- La première étape, nous avons pris des échantillons de barres d'armature anciennes et nouvelles et les avons mesurés par règle, puis les avons mis dans la machine de traction pour enfin obtenir la force de la rupture.

Après avoir l'expérience, nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau III.1 : Dimensions et les forces ruptures des barres

Barre	L_i (cm)	L_f (cm)	F(KN)
Eprouvette nouvelle	39,1	41,5	70,3
	39 ,5	42	78,7
	39,8	43	78,6
Eprouvette ancienne	39,2	40 ,9	69,6
	39,2	41,1	67,3
	38,2	41	80,1
	39 ,6	41,1	79,8
	39,5	41	78,6
	38,8	39 ,6	64,2
	39 ,7	40,8	60,9

- Dans la deuxième étape, nous préparons les éprouvettes des barres armatures sur les quels l'expérience de traction a été maniée et extrayons le diamètre maximal et minimal à l'aide de la machine pied à coulisse numérique ; afin de calculée la surface réelle nous faisons ce processus 4 fois dans un fer car le diamètre est différent, c'est pour l'éprouvette ancienne.

Quand l'éprouvette nouvelle, son diamètre est constant $D = 12\text{mm}$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (\text{III.1})$$

$$S = \frac{\pi \cdot 144}{4} = 113,04 \text{ mm}^2$$

En peut-on amène brousse pour enlever la rouille de fer et on le frotte et on mesure à nouveau le diamètre après avoir fait cela, nous résumons les résultats dans le tableau suivants :

Tableau III.2 : Diamètres des barres anciennes

	Avant brossage		Après brossage	
	D _{max}	D _{min}	D _{max}	D _{min}
1	10,91	13,27	9,34	9,34
	10,53	13,57	10,19	10,19
	10,39	13,16	10,22	10,22
	10,29	12,76	10,14	10,14
2	10,94	13,27	9,60	12,54
	9,86	12,26	9,50	12,03
	11,24	13,26	9,52	12,15
	11,22	14,10	10,07	13,34
3	10,64	13,24	10,44	13,03
	11,24	13,53	9,89	11,78
	9,33	12,05	9,12	11,25
	10,37	13,40	10,29	12,97
4	10,20	12,70	10,07	12,24
	10,23	13,31	10,03	12,62
	11,43	13,60	11,31	13,06
	11,00	14,00	10,32	13,05
5	10,87	13,27	9,95	12,85
	10,79	13,65	10,01	13,18
	9,97	12,78	11,12	12,60
	11,47	13,78	10,84	12,73
6	10,27	13,50	8,89	13,20
	10,69	12,50	10,25	12,23
	11,24	13,03	10,28	12,50
	10,13	12,60	9,57	12,31
7	10,89	12,91	10,31	12,20
	10,00	11,93	9,38	11,48
	10,13	13,19	9,47	11,90
	10,30	13,00	10,13	12,81

III.2. Les calcules

A. L'essai de traction donne plusieurs valeurs importantes :

- Le module de Young E ou module d'élasticité longitudinale
- La limite élastique σ_e qui sert à caractériser un domaine conventionnel de réversibilité

$$\sigma_e = F_e / S_0$$

avec σ_e en MPa, F_e en N, S_0 en mm^2 , S_0 : Section de l'éprouvette

- La limite à la rupture σ_r $\sigma_r = F_r / S_0$

Ou ; σ_r en MPa, F_r en N, S_0 en mm^2

B. Calcul la contrainte de la limite rupture et la limite élastique :

- **éprouvette nouvelle :**

On a la surface $S = 113,04 \text{ mm}^2$

$$\sigma_r = 70,3 \times 10^3 / 113,04 = 621,90 \text{ N/mm}^2$$

les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III. 3: les constraints rupture et élastique des barres nouveaux

F (N)	$70,3 \cdot 10^3$	$78,7 \cdot 10^3$	$78,6 \cdot 10^3$
σ_r (N/mm ²)	621,90	696,21	695,32
σ_e (N/mm ²)	435.33	487.34	486.72

– **Remarque 1**

Après avoir testé la résistance à la traction du fer , nous avons obtenu la résistance au stade de la rupture , et nous ne l' avons pas obtenu dans la phase élastique, et de lui la loi du passage de la phase de rupture à la phase élastique est :

$$\sigma_e = 0,7 \sigma_r \quad \sigma_e = 621,90 \times 0,7 = 436,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_r = F/S \quad \sigma_r = 70,3 \times 10^3 / 113,04 = 621,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{e \text{ Moy}} = 435,33 + 487,34 + 486,72 / 3 = 469,79 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{r \text{ Moy}} = 621,90 + 696,21 + 695,32 / 3 = 671,14 \text{ N/mm}$$

– **Remarque 2**

Lors d calcul de la moyenne les valeurs doivent être proches et nous constatons que la valeur de la première puissance est loin es autres valeurs , car lors de l'expérience nous avons utilisé 3 barre .

- **éprouvette** ancienne : tout d'abord calculez la section réelle :

D'après la loi d'ellipse , on trouve : $S = \frac{\pi ab}{4}$

$$D_{\min} = a \quad D_{\max} = b$$

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.4: la section des barres après brossage et avant brossage

Barre	Après brossage		Avant brossage	
	Surface (mm ²)	moy	Surface (mm ²)	moy
1	96.39	101.31	113.40	109.11
	106.76		112.22	
	100.81		107.38	
	101.30		103.12	
2	94.55	95.16	114.01	112.56
	89.76		94.94	
	90.84		117.05	
	105.50		124.25	
3	106.84	95.93	110.64	106.86
	91.50		119.44	
	80.58		88.23	
	104.82		109.13	
4	96.80	104.50	101.74	85.27
	99.41		106.94	
	116.01		122.08	
	105.77		120.95	
5	100.41	105.61	113.29	113.29
	103.61		115.68	
	110.04		100.07	
	108.38		124.14	
6	92.16	96.02	108.89	107.28
	98.45		104.95	
	100.92		115.03	
	92.53		100.25	
7	98.79	93.44	110.41	103.55
	84.57		93.69	
	88.50		104.94	
	101.91		105.16	

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III. 5 : les contraintes rupture et élastique de barre ancienne

Barre	$\bar{\sigma}_e$ (N/mm ²)		$\bar{\sigma}_r$ (N/mm ²)	
	Après brossage	Avant brossage	Après brossage	Avant brossage
1	480.9	446.53	687.00	637.91
2	495.06	432.83	707.23	618.33
3	584.48	524.70	834.98	749.58
4	534.56	935.85	763.63	935.85
5	520.97	485.65	744.25	693.79
6	468.03	418.90	668.61	598.43
7	456.23	411.68	651.75	588.12

C. Calcule les moyennes des contraintes :

- La limite élastique : $\bar{\sigma}_{e\text{ moy}} = \bar{\sigma}_{e1} + \bar{\sigma}_{e2} + \bar{\sigma}_{e6} / 3$

– Avant brossage :

$$\bar{\sigma}_{e\text{ moy}} = 446.53 + 432.83 + 418.90 = 432.74 \text{ N/mm}^2$$

– Après brossage :

$$\bar{\sigma}_{e\text{ moy}} = 480.9 + 495.06 + 468.03 = 481.33 \text{ N/mm}^2$$

- La limite rupture : $\bar{\sigma}_{r\text{ moy}} = \bar{\sigma}_{r1} + \bar{\sigma}_{r2} + \bar{\sigma}_{r6} / 3$

– Avant brossage :

$$\bar{\sigma}_{r\text{ moy}} = 637.91 + 618.33 + 598.43 = 618.22 \text{ N/mm}^2$$

– Après brossage :

$$\bar{\sigma}_{r\text{ moy}} = 687 + 707.23 + 668.61 = 687.61 \text{ N/mm}^2,$$

Remarque 3 :

Lors de calcul, nous avons permis de comparer trois l'éprouvette avec le nouveau barre

D. Calcule déformation :

- Pour l'éprouvette nouvelle: $\varepsilon = \Delta L / L_0$

Avec:

ΔL : allongement total de la poutre ; $\Delta L = L_f - L_i$

L_0 : longueur initiale de l'éprouvette

On en déduit alors l'allongement relatif en A (%) : $A = \frac{L_f - L_i}{L_i} \times 100$

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.6: la déformation et l'allongement des barre nouvelle

Barre	1	2	3
ΔL (mm)	24	25	32
ε	0.061	0.063	0.080
A %	6.1	6.3	8

- Pour l'éprouvette ancienne :

Tableau III.7 : la déformation et l'allongement des barres anciennes

Barre	1	2	3	4	5	6	7
ΔL (mm)	17	19	28	15	15	8	11
ε	0.043	0.048	0.073	0.038	0.038	0.021	0.028
A %	4.3	4.8	7.3	3.8	3.8	2.1	2.8

E. La courbe de traction :

$\bar{\sigma}_m$ = la contrainte maximale de la rupture .

$\bar{\sigma}_{eH}$ = la contrainte à la limite supérieure élastique .

$\bar{\sigma}_{el}$ = la contrainte à la limite inférieure élastique remplace $F_{e0.2}$ %

• **Eprouvette nouvelle :**

$$\bar{\sigma}_m = 696.21 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{eH} = 486.72 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{el} = 435.12 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_r = 671.14 \text{ N/mm}^2$$

$$\tan \alpha = \Delta \bar{\sigma} / \Delta \varepsilon \rightarrow \tan \alpha = (486.72 - 435.33) / 2 \approx 87.8^\circ$$

calcul la déformation de la rupture :

$$\bar{\sigma} = \varepsilon \times E \rightarrow \varepsilon = 671.14 / 2 \times 10^5 = 0.033$$

• **Eprouvette ancienne :**

$$\bar{\sigma}_m = 707.23 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{eH} = 495.06 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_{el} = 468.03 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\sigma}_r = 687.6103 \text{ N/mm}^2$$

$$\tan \alpha = \Delta \bar{\sigma} / \Delta \varepsilon \rightarrow \tan \alpha = (495.06 - 468.03) / (4.8 - 4.3) \approx 45.56^\circ$$

F. calcul le déformation de la rupture :

$$\sigma = \epsilon \times E \rightarrow \epsilon = 687.61 / 2 \times 10^5 = 0.034$$

III.3. Les courbes

Le courbe de traction tracée lors de l'essai et de la forme $\sigma \text{ (N/mm}^2\text{)} = f(\epsilon \text{ \%})$

- L'éprouvette nouvelle

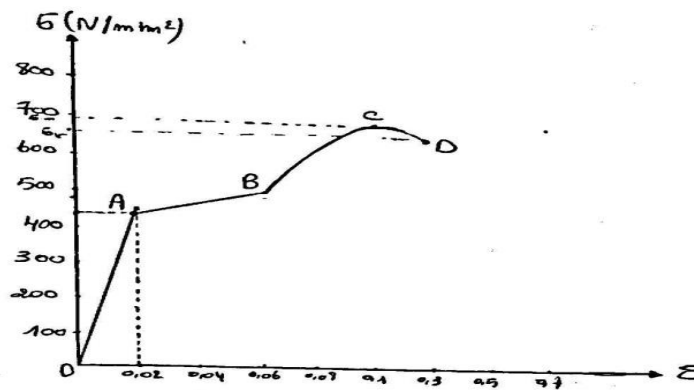


Figure III.1 : Le diagramme de traction pour l'éprouvette nouvelle

- L'éprouvette ancienne :

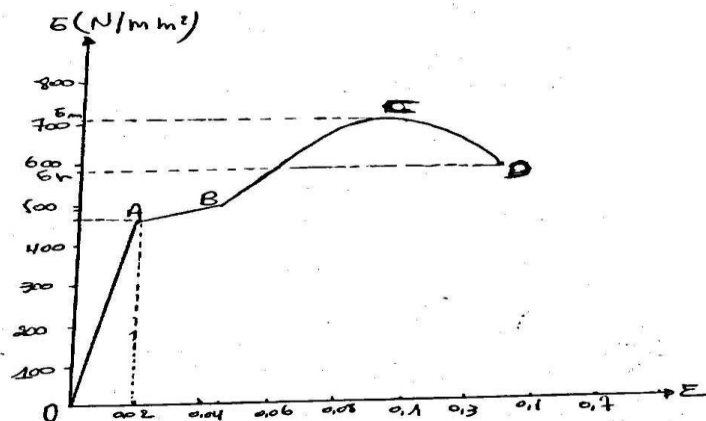


Figure III.2: Le diagramme de traction pour l'éprouvette ancienne

❖ Zones caractéristiques du diagramme

OA : domaine déformation élastique (réversible)

AB : domaine palier de plastique

BC : domaine de déformation plastique reparte

CD : domaine de déformation non reparte, en C il y'a formation de la striction de l'éprouvette puis rupture en D

III.4. Analyse et discussion des résultats

- Sur la base des résultats obtenus mathématiquement, nous concluons qu'il y a une différence dans la surface entre la nouvelle et l'ancienne barre d'armature, ce qui signifie que l'intérieur de la zone de barre ne change pas mais à l'extérieur est différent avant l'écho et après l'écho.

- La résistance n'a pas changé et est restée la même parce que la résistance ne change qu'après 60 ans ou plus après l'érosion de la barre.

III.5. L'interprétation des résultats

En analysant les résultats de laboratoire, nous obtenons que nous expliquions la différence dans les résultats :

- la présence d'une légère différence de résistance et cela est dû aux effets qui ont causé l'érosion des barres d'armature à la suite de son impact avec l'eau (eaux souterraines) trouvée dans le sol sous les fondations ;

- Et fournit cette eau sur des éléments hostiles nocifs tels que : sulfates, chlore et une augmentation du rapport pH ;

- Nous mentionnons également que les composants du béton contribuent en soi à

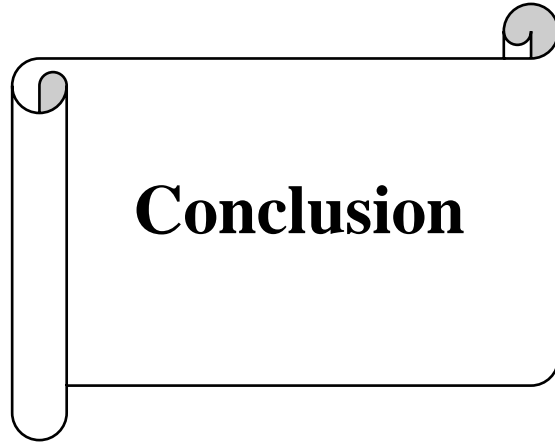
- Les fondations varient en fonction de la qualité de la barre d'armature et il existe deux types, FeE400 ; Fe E500, et la différence entre eux dans la durabilité du processus de traction parce que le premier porte FeE400 =400 MPa et le second porte Fe500 =500 MPa et afin de déterminer la qualité de la barre d'abord le plancher doit être étudié et d'autre

part après que nous calculons généralement l'acier le plus couramment utilisé dans la région est FeE400;

III.6. Propositions de solutions

Pour éviter la corrosion de l'acier d'armature dans les structures en béton, en particulier les fondations, nous proposons quelques solutions pour éviter le problème de corrosion :

- Utilisation de béton à faible coefficient de perméabilité pour empêcher l'eau d'atteindre les armatures ;
- Enrobant les barres ou les barres d'armature de matériaux spéciaux (époxy, zinc galvanisé), le revêtement agit comme un moyen d'isoler l'acier du milieu environnant ;
- L'utilisation de ciment résistant au sel ;
- Empêcher la pénétration d'oxygène dans le béton.



Conclusion

A travers l'étude que nous avons menée et liée à l'impact de l'eau dans la zone de la vallée du Souf sur l'infrastructure, il a été constaté que cette eau ces derniers, en contact avec le milieu dans lequel l'ouvrage en béton est placé, elles s'infiltrent dans le corps de béton.

La corrosion de la barre d'armature se fera par l'entrée de ces éléments nocifs dans celle-ci, et donc son interaction avec elle, la transformera de son état normal en oxydes qui ne peuvent résister aux contraintes.

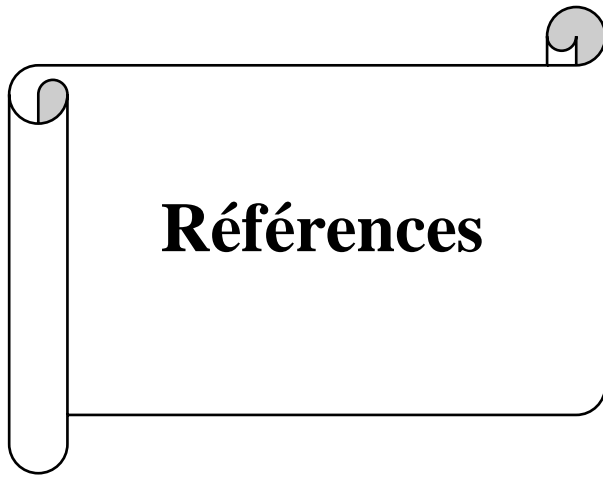
Après avoir réalisé cette étude analytique, nous avons pu tirer les conclusions suivantes :

- Résumer les principales causes de l'érosion des turbulences économiques dans la région ;
- Environnement hostile ;
- La mauvaise qualité des composants tangibles et leur incompatibilité dans la plupart des cas ;
- Fuite d'eau à travers une couche de béton ;
- Le niveau élevé des eaux souterraines à certains endroits, surtout en hiver ;
- L'effet des conditions climatiques sur le béton, surtout en été (température jusqu'à 50°C);
- Manque de suivi et d'entretien régulier ;
- Défauts de réalisation.

Les perspectives :

Il est recommandé de mener davantage de recherches à l'avenir, en tenant compte de l'élargissement du sujet de recherche dans les directions suivantes :

- Étudier la relation entre les diamètres d'acier et l'augmentation de la corrosion ;
- Étude des moyens de protéger contre la rouille des barres d'armature ;
- Fournir la couverture appropriée pour les barres d'armature et appliquer les exigences du code dans l'étude et la mise en œuvre



Références

Références

[1] Miloudi Abdelmonem (2018), Mécanisme et remèdes de la remontée des eaux dans la région d' oued Souf , impact sur l'environnement de la région

[2] : BEKKARI SAID – ZIDI ABDALLAH(2019) : Impact de nouveau point de rejet (chott HALLOUFA) sur l'environnement de Oued Souf

[3] HadeF Djihad, Hasni Malika(2017), Etude de la qualité physico_chimique et bactériologique des eaux de l'Oued de boutane région de Khemis_Miliana W. Ain Defla

[4] Abdaoui Jihan Rim (2006) , Mémoire pour l'obtention d'un master en préparation de cerles régionaux , université du Mentouri constantine .

[5] Tarek DJEDID (2012),étude de l'effet de la corrosion des armatures sur la durabilité des ouvrages en béton armé, thèse Magister en modélisation des matériaux et structures, université Mohamed Khider, Biskra

[6] YAHIA Lazhar (2013), étude de la corrosion localisée par piquet des aciers inoxydables 304L et 430 : effet de la déformation à froid par traction et laminage, these Doctorat en science des matériaux métallurgie, université Constantine 1.

[7] L.L Shreir (1976), corrosion , chap. Localized corrosion , Ed . Newned , pp. 1-130.

[8] Mehta, P.K. (1992) Sulfate attack on concrete —a critical review. Materials science of concrete III. American Ceramic Society, Westerville, OH.

[9] Mehta, P.K. (1986) Concrete: structure, properties, and materials. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 105—169

[10] Fedral Higway Administration(1981), ASTM C 12020, 'standard Test Method for Electrical indication Of Concertr's Ability to Resist Chloride Ion penetration.

[11] MAROUF.H (2012), Caractérisation structurale et mécanique du joint soudé de la liaison bimétallique Acier Ordinaire E36/ Acier anti-usure, these Magister

[12] <http://www.industry.arcelormittal.com/> 29/4/2021 à 1 :30.

Références

- [13] Document interne fourni par la Division fluide de MITTAL Annaba.
- [14] D.Landolt (1997), Corrosion et chimie de surface des métaux, presses polytechnique et universitaire romandes.
- [15] BELLAL Youcef (2011), protection d'acier de construction vis_à_vis de la corrosion par des dérivés iniques, these Magister en génie electrochimie, université Ferhat Abbas, Setif
- [16] http://www.funsci.com/fun3_fr/elechim/elechim.htm. 30/4/2021 à 11 :30
- [17] N. Deghlifet et R.Rahmia (2002), Introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de corrosion,.
- [18] MEKKAOUI ALAOUI Meryem (2014), Etude du comportement de l'acier inoxydable UR45N et l'acier au carbone C38 dans différents milieux simulant le béton, thèse de doctorat Université Mohammed V, Rabat.
- [19] Ngoc Tru VU (2011), Contribution à l'étude de la corrosion par carbonatation du béton armé :approche expérimentale et probabiliste, thèse de doctorat, l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, page 34
- [20] Haifa NAHALI (2015), Evaluation de l'efficacité inhibitrice de Na_3PO_4 contre la corrosion des armatures du béton. Apport de l'émission acoustique dans la caractérisation et le contrôle de l'anticorrosion, thèse de doctorat, L'institut national des sciences appliquées, Lyon.
- [21] Jonathan MAI-NHU (2013), Corrosion des armatures du béton: couplage carbonatation/chlorures en présence de cycles hydriques thèse de doctorat, université de TOULOUSE.
- [22] R.G. Patel, L.J. Parrot and D.C.Killoh (1997), "Gradients of microstructure and diffusion properties in cement pastes caused by drying", Cement and Concrete Research, 15, 334, 1985.

Références

- [23] V.T. Ngala, C.L. Page, “Effects of carbonation on pore structures and diffusional properties of hydrated cement pastes”, *Cement and Concrete Research*, 27, 995.
- [24] K. Tuutti (1997), “Corrosion of steel in concrete” Swedish cement and concrete institute, Stockholm, p747.
- [25] Cudeville A (2011), *Recycler le béton* (archive), pour la science.
- [26] A. Blankvoll (1997), “History of the gimsoystraumen bridge repair project, International Conference-Repair of Concrete Structures”, *From Theory to Practice In a Marine Environment*, Norvège, p53.
- [27] A. Raharinarivo, J.M. Genin (1986), “Sur la corrosion des armatures du béton en présence des chlorures”, *Matériaux de constructions*, p36 - 65.
- [28] A. Neville (1995), “Chloride attack of reinforced concrete: an overview”, *Materials and Structures*, p63.
- [29] C.L. Page, N.R. Short and W.R. Holden (1986), “The influence of different cements on chloride induced of reinforcing steel”, *Cement and Concrete Research*, p16 - 79.
- [30] K. Byforts (1990), “Chloride-initiated reinforcement corrosion (chloride binding) CBI report 1:90”, Swedish Cement and concrete Research Institute, Stockholm.
- [31] J. Van Muylder, L. Vansathler, R. Winand and M. Pourbaix (1978), “Electrochemical behavior of iron in localized corrosion cells in the presence of chloride”, *th int. Cong. on Metal*.
- [32] *Corr*, Rio de Janeiro, p705.
- [33] C.L. Page, P. Lambert and P.R.W (1991). “Vassie, Investigations of reinforcement corrosion I: The pore electrolyte phase in chloride-contaminated concrete”, *Materials and Structures*, p24, 243.
- [34] D.A. Haussmann (1967), “Corrosion in concrete. How does it occur?”, *J Material protection*, p198,.
- [35] A. Raharinarivo, G et al (1998), “La corrosion et la protection des aciers dans le béton, Collection du laboratoire central des ponts et chaussées”.
- [36] V.K. Gouda, “Corrosion and corrosion inhibition of reinforcing steel, *British Corrosion Journal*”, 198, 1970.

Références

[37] J. Baron, J.P. Ollivier, “La durabilité des bétons”, Presses de l'École Nationale des Pontset Chaussées, Paris, 453, 1992.

[38] J.P. Broomfield, “Assessing Corrosion Damage on Reinforced Concrete Structures Corrosion and Protection of Steel in Concrete”, Edited by Narayan Swamy, Sheffield Academic Press, 1994.

[39] Gummow, R.A., Wakelin, R.G. et Segall, S.M. (1998). AC Corrosion – A New Challenge to Pipeline Integrity. NACE Corrosion 98. Paper No. 566.

[40] <https://mail-attachments.googleusercontent.com/attachment.googleusercontent.com> تفاصيل تسليم القواعد والأساسات المدنية، مجلتك المعمارية، مقال منشور على الموقع <https://mail-attachments.googleusercontent.com/attachment.googleusercontent.com> تاريخ الزيارة 2021/5/29 على الساعة 11:20

[41] Bakour, Azzedine (2008), Ecole de Technologie Supérieure université Québec : comportement aspects Structuraux et Géotechnique, these Magistère en Génie de la construction à l'école de Technologie Supérieure, Montréal.

[42] Roger FRANK (2003), calcul des fondation superficielles et profondes édition technique de l'ingénieur

[43] Das B ,M (1984) principales of fondation engineering , edition : Brooks /Cole Engineering Division , Wadsworth , Inc ,Belmont ,California , ISBN : 0-534- 03052-1,595.

[44] Bowles J, E (1997) foundation analysis &design , edition Mc Graw –Hill Inc, 5thedition , 1002

[45] بن صغير رضا، مقال حر، معلومات حول الأساسات، مكالمة هاتفية ، 2021/5/29 (مقابلة شخصية)

[46] <https://esiris-group.com> _30/5/2021 à 12 :30

[47] <http://www.startimes.com> 11/06/2021 à 23 :15.

[48] <http://sites.google.com> 8/06/2021 à 11:05.

[49] Brrais.A, Fares.M (2020), Rapport de essai de traction, partie 1, these Master, universite Bagji Mokhtar, Annaba.

[50] Youcef Kaboua (2016),