

N° d'ordre : /2007/DM

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ HADJ LAKHDAR DE BATNA

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR
DEPARTEMENT DE MECANIQUE

MEMOIRE PRESENTE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE

MAGISTERE

EN

MÉCANIQUE

Option : SCIENCE DES MATERIAUX

PAR

NOUI FATEH

**Influence de l'Aggressivité des Sols sur les Aciers
A17 et 14NC14**

Soutenu le:

Devant le Jury :

ABBASSI Ammar	M.C.A	Université de BATNA	Président
BRIOUA Mourad	M.C.A	Université de BATNA	Rapporteur
MIHI AbdelKader	M.C.A	Université de BATNA	Co rapporteur
ZEDIRA Hamma	Prof.	C. Universitaire de KHENCHELA	Examineur
BENBOUTA Rachid	M.C.A	Université de BATNA	Examineur

Année Universitaire 2009 / 2010

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement les Dr. M. BRIOUA et A. MIHI d'avoir accepté de diriger ce travail et de m'avoir prodigué de conseils et des orientations pour la réalisation de ce manuscrit.

Je remercie vivement Dr. A. ABBASSI d'avoir accepté de juger ce travail et de présider le jury de soutenance.

Mes remerciements vont également aux Drs. H. ZEDIRA et R. BENBOUTA pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail et d'avoir bien voulu m'honorer de leur présence parmi le jury de soutenance.

J'adresse particulièrement mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail et particulièrement Dr. H. BENTEMAM, M^{er} NACER le responsable du laboratoire de chimie, M^{er} M. BENAOUF technicien au niveau du laboratoire de corrosion, sans oublier le responsable du laboratoire d'agronomie.

Je tiens à remercier également tous les membres du laboratoire de corrosion du département, ainsi que M^{me} N. BOUZEGHAIA pour son aide et son soutien.

Mes remerciements sont particulièrement adressés à monsieur M. MENASRIA pour son soutien moral.

Mes remerciements vont aussi :

- A l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation ainsi que tout le personnel administratif qui, à titres divers, a participé au bon déroulement de ce travail.
- A tous ceux qui, par leur encouragement ou leur amitié, ont contribué à l'aboutissement de ce travail.

Sommaire

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I **Généralités sur la corrosion**

I.1.	Introduction.....	3
I.2.	Processus de la corrosion	3
I.2.1.	Corrosion chimique	3
I.2.2.	Corrosion électrochimique	3
I.2.3.	Corrosion biochimique	4
I.2.4.	Corrosion avec érosion	4
I.3.	Morphologie de la corrosion	4
I.3.1.	Corrosion uniforme.....	4
I.3.2.	Corrosion intergranulaire	4
I.3.3.	Corrosion par piqûre.....	5
I.4.	Les facteurs de la corrosion.....	5
I.4.1.	Facteurs dépendant du métal.....	5
a/	Facteurs métallurgiques.....	5
b/	Facteurs lié aux conditions d'emploi.....	5
I.4.2.	Facteurs dépendant du réactif.....	5
I.5.	Mécanisme de la corrosion.....	6
I.5.1.	Aspect électrochimiques.....	6
I.5.2.	Aspects thermodynamiques de la corrosion.....	7
I.6.	Diagramme de Pourbaix.....	8
I.7.	Diagramme d'Evans.....	9
I.8.	Taux de corrosion.....	9
I.9.	Passivation.....	10

Chapitre II

Corrosion dans les sols

II.	Corrosion dans les sols	11
II.1.	Le sol comme un milieu agressif.....	11
II.1.1.	Aspect géologique des sols.....	11
II.1.1.1.	Introduction	11
II.1.1.2.	Formation des sols.....	11
II.1.1.3.	Principales caractéristiques du sol et de la roche.....	11
II.1.1.4.	Structure des sols.....	12
II.1.1.4.1.	Grosseur des grains.....	12
II.1.1.4.2.	Forme.....	12
II.1.1.4.2.1.	Particules cubiques ou sphériques.....	13
II.1.1.4.2.2.	Particules en plaquettes.....	13
II.1.1.4.2.3.	Particules en bâtonnets où aiguilles.....	13
II.1.1.4.3.	Texture	13
II.1.1.4.4.	Structure élémentaire.....	13
II.1.1.5.	Caractéristiques physiques communes aux différents sols.....	15
II.1.1.6.	Propriétés des particules fines.....	16
II.1.1.6.1.	Propriétés colloïdales.....	16
II.1.1.6.2.	Surface spécifique.....	17
II.1.1.6.3.	Famille minéralogique.....	17
II.1.1.6.3.1.	Classification.....	17
a/	La kaolinite.....	17
b/	La montmorillonite.....	17
c/	L'illite.....	17
II.1.1.6.4.	Activité.....	18
II.1.1.6.5.	Sensitivité.....	18
II.1.2.	Composition de l'air.....	19
II.1.3.	Relations de l'eau par la corrosion	20
II.1.4.	Signification des fluctuations dans le contenu d'eau.....	21
II.1.5.	Facteurs affectant la corrosivité des sols.....	21
II.1.6.	La corrosion électrochimique.....	22
II.1.7.	Relation eau-air dans les sols.....	23
II.1.8.	Piles d'aération différentielle dans le sol.....	24
II.1.9.	Valeur du pH et acidité dans le sol	25
II.1.10.	Potentiel redox du sol	25
II.1.11.	Résistivité du sol.....	26
II.1.12.	Corrosion microbiologique.....	27
II.1.13.	Caractéristiques des piqûres.....	27
II.1.14.	Le compactage du sol.....	28

Chapitre III Procédure expérimentale

III.1.	Matériaux utilisés.....	29
III.2.	Préparation des surfaces.....	30
III.2.1.	Polissage mécanique.....	30
III.2.2.	Dégraissage	30
III.3.	Sols utilisés	30
III.4.	Méthodes d'évaluation du taux de corrosion.....	31
III.4.1.	Méthode de la masse perdue.....	31
III.4.1.1.	Test de corrosion dans les différents sols.....	31
III.4.2.	Méthode de polarisation (Courbes de polarisation)	31
III.5.	Description de la cellule électrochimique utilisée.....	32
III.6.	Conductivité	32
III.7.	Analyses chimiques des sols.....	33
III.8.	La diffraction de rayons X.....	33

Chapitre IV Résultats et interprétations

IV.1.	Introduction.....	34
IV.2.	Etude de la tenue à la corrosion	34
IV.2.1.	Méthode de la masse perdue (milieu humide).....	34
IV.2.1.1.	Comparaison des résultats obtenus.....	39
IV.2.1.1.1.	L'influence du sol	39
IV.2.1.1.2.	L'influence du type de sol de différentes régions sur l'acier A17.....	42
IV.2.1.1.3.	L'influence du type de sol de différentes régions sur l'acier 14NC14.....	43
IV.2.2.	Méthode de polarisation	45
IV.3.	Étude de l'influence du pH sur la corrosivité des aciers A17, 14NC14.....	47
IV.4.	Étude de l'influence de la conductivité sur la corrosivité des aciers A17, 14NC14	48
IV.5.	Analyse par rayon X.....	49
Conclusion.....		55
Références Bibliographiques		56

Introduction générale

Introduction générale

L'étude du sol comme un milieu corrosif est nécessaire en raison du grand nombre de conduites enterrées, et de réservoirs comme leur détérioration peut représenter un véritable problème économique et environnemental à travers les années.

De nombreux paramètres peuvent influencer sur la corrosivité du sol, mais les méthodes les plus fréquemment utilisées pour mesurer la corrosivité sont seulement représentatives.

Comme la détérioration du matériau causée par les interactions entre le matériau et l'environnement a été mise en évidence, donc l'étude du sol comme environnement corrosif est devenue nécessaire afin d'utiliser une protection plus adéquate des structures enterrés, évitant ainsi la production de fuites et, par conséquent, la contamination du sol.

Selon Trabanelli et al. [1]. le sol peut être considéré comme un système hétérogène de pores avec des caractéristiques colloïdales. L'espace entre les particules du sol peut être remplie avec de l'eau ou du gaz.

Ferreira [2]. mentionne que le sol, lorsqu'il est comparé à d'autres environnements, comme l'atmosphère ou l'eau de mer, reste difficile à être classé par une corrosivité potentielle, en raison de sa grande complexité. D'après les spécialistes de la corrosion l'eau de mer, présente des caractéristiques bien définies et la même chose peut être dite par rapport à l'atmosphère, et pour laquelle des classifications standardisées sont utilisés: atmosphères urbaine, marine, industrielle ou rurale.

La corrosivité du sol peut être considérée comme la capacité de l'environnement à produire et à développer le phénomène de corrosion. Le sol est défini comme un électrolyte et ceci peut être compris au moyen de la théorie électrochimique [3].

Dans ce travail nous avons étudié l'influence de l'agressivité des sols sur les aciers 14NC14 et A17.

De ce fait, une analyse physico- chimique des sols choisis a été réalisée dans un but de déterminer le nombre d'éléments présents dans la composition du sol et ainsi trouver l'action de la corrosivité de cet environnement.

Aussi, des essais de corrosion, des matériaux considérés, dans les différents sols choisis ont été effectués, utilisant par techniques de la masse perdue et de la polarisation électrochimique.

Une caractérisation par rayon x des matériaux testés dans les différents sols choisis, a été faite.

Le manuscrit réalisé comprend quatre chapitres :

Le premier chapitre discute les généralités sur la corrosion. Le deuxième chapitre traite la corrosion dans les sols. La méthode expérimentale, réalisée dans travail, est abordée au troisième chapitre. Le quatrième chapitre présente et discute les résultats obtenus dans cette étude.

Enfin, une conclusion générale parachevé le travail effectué dans ce manuscrit.

Chapitre I

Généralités sur la Corrosion

- Introduction
- Processus de la corrosion
- Morphologie de la corrosion
- Les facteurs de la corrosion
- Mécanisme de la corrosion
- Diagramme de Pourbaix
- Diagramme d'Evans
- Taux de corrosion
- Passivation

I. Généralités sur la corrosion

I.1. Introduction

La corrosion est définie comme une interaction physico-chimique entre un métal et son environnement entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même, de son environnement ou du système technique constitué par les deux facteurs [4].

I.2. Processus de la corrosion

La corrosion d'un métal ou d'un alliage peut se développer suivant différents processus qui caractérisent chacun un type de corrosion:

- corrosion chimique
- corrosion électrochimique
- corrosion biochimique
- corrosion accompagnée d'érosion

I.2.1. corrosion chimique

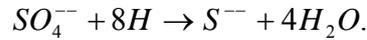
Il s'agit d'une réaction hétérogène entre une phase solide, le métal, et une phase gazeuse ou liquide. Dans le cas où le réactif est gazeux, apparaît un phénomène dit de corrosion sèche. Si le réactif est un liquide, il se produit une attaque du métal avec formation d'un produit de corrosion à sa surface même.

I.2.2. corrosion électrochimique

Elle se produit lorsqu'il existe une hétérogénéité, soit dans le métal, soit dans le réactif. L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile; un courant électrique circule entre anodes et cathodes et les zones qui constituent les anodes sont attaquées. Il est important de noter que le produit final de corrosion se développe en général à une certaine distance de la zone corrodée, dans la région où se rencontrent les produits élémentaires de corrosion anodiques et cathodiques [5].

I.2.3. Corrosion biochimique:

C'est l'attaque bactérienne des métaux en particulier dans les canalisations enterrées. Certaines bactéries comme les *Desulfovibrio* peuvent réduire les sulfates par l'intermédiaire d'hydrogène:



L'hydrogène provient par exemple des régions cathodiques. Il y a donc dépolarisation des cathodes et formation accélérée de Fe^{2+} aux anodes [3].

Enfin,
$$S^{--} + Fe^{2+} \rightarrow FeS.$$

I.2.4. Corrosion avec érosion

Lorsque les produits de corrosion forment un dépôt adhérent et continu à la surface du métal, ils ralentissent en général la vitesse de la corrosion. Cette couche peut être éliminée en certains points par abrasion du métal due au mouvement du liquide lui-même, ou bien à celui des particules solides qu'il contient. Il y a alors accélération de la corrosion.

Ces différents types de corrosion n'interviennent en général pas indépendamment les uns des autres, ce qui a pour effet de rendre plus complexe l'interprétation des phénomènes [5].

I.3. Morphologie de la corrosion

I.3.1. Corrosion uniforme

Elle se manifeste avec la même vitesse sur toute la surface du métal. On l'observe aussi bien dans le cas de la corrosion sèche que dans la corrosion humide [5].

I.3.2. Corrosion intergranulaire

Elle se manifeste aux joints intergranulaires. Elle est due en général à la précipitation d'une phase ou à la formation préférentielle d'un produit de corrosion aux joints de grains. C'est un type de corrosion particulièrement dangereux (la quantité de métal attaquée est faible et les caractéristiques mécaniques du métal sont altérées car les fissures produites affaiblissent le métal). En effet, la charge à la rupture et l'allongement des échantillons corrodés prennent alors des valeurs plus faibles [5].

I.3.3. Corrosion par piqûres

Elles se localisent en certains points de la surface métallique. Ce type de corrosion peut avoir plusieurs origines, en particulier l'existence d'une solution de continuité dans une couche protectrice recouvrant le métal ou bien encore la présence de gouttelettes d'un électrolyte à la surface. Bien que la quantité de métal attaqué soit faible, ce type de corrosion est très dangereux car il se produit en profondeur et peut conduire à la perforation rapide de tôles épaisses. On observe une diminution de la charge de rupture et de l'allongement des échantillons corrodés [5].

I.4. Les facteurs de la corrosion [6]

I.4.1. Facteurs dépendant du métal

a- Facteurs métallurgiques

- Composition
- Traitements thermiques
- Traitements mécaniques
- Traitements de surface, revêtements

b- Facteurs lié aux conditions d'emploi

- Forme des pièces
- Procédés d'assemblage
- Sollicitations mécaniques
- Etat de surface

I.4.2. Facteurs dépendant du réactif

- Nature
- Concentration
- pH
- Teneur en oxygène
- Température
- Pression
- Impuretés
- inhibiteurs

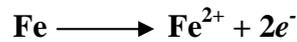
I.5. Mécanisme de la corrosion

I.5.1. Aspects électrochimiques

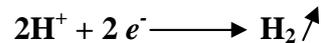
Dans le cas des matériaux métalliques, la corrosion est d'origine électrochimique, c'est-à-dire qu'elle consiste en une réaction chimique marquée par un transfert d'électrons entre deux espèces chimiques. Habituellement, les atomes métalliques perdent ou donnent des électrons lors d'une réaction dite d'**oxydation**. Ainsi, le métal hypothétique M de valence n (ou ayant n électrons de valence) peut s'oxyder selon la réaction [6, 7, 8] :



où M devient un ion positif $n+$ en perdant ses n électrons de valence et e^{-} symbolise un électron. Par exemples :

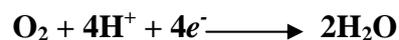


Certains métaux se corrodent dans des solutions acides en donnant comme réaction cathodique, la réduction des protons:



D'autres réactions de réduction sont possibles, selon la nature de la solution à laquelle est exposé le métal :

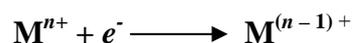
- milieu acide aéré :



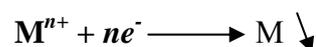
- milieu neutre ou basique aéré :



- réduction des ions :



- dépôt du métal :



I.5.2. Aspects thermodynamiques de la corrosion

Le but de l'étude thermodynamique d'un processus de corrosion est de déterminer les domaines de formation des différentes espèces possibles et d'en déduire les conséquences.

Cette étude repose sur l'application de la formule classique de Nernst donnant la tension d'oxydoréduction d'un système [9] :



$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ox]}{[Red]}$$

R : constante des gaz parfaits, égale à $8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mole}^{-1}$

F : Faraday égale à 96500 C/mole

$K_e = \frac{[Ox]}{[Red]}$: Constante d'équilibre chimique de la réaction.

E^0 : Potentiel standard de l'électrode

[Ox] : espèces oxydées

[Red] : espèces réduites

Tableau (I-1) : Potentiels standards ou normaux à 25°C

(Série de Nernst) [7]

Electrode	Potentiel en volt par rapport à l'électrode d'hydrogène
Or $\text{Au} \rightleftharpoons \text{Au}^{+++} + 3e^-$	+1.42
Platine $\text{Pt} \rightleftharpoons \text{Pt}^{++} + 2e^-$	+1.20
Argent $\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + e^-$	+0.80
Mercure $\text{Hg} \rightleftharpoons \text{Hg}^{++} + 2e^-$	+0.79
Oxygène $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- = 4\text{OH}^-$	+0.40
Cuivre $\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{++} + 2e^-$	+0.34
Hydrogène $2\text{H}^+ + 2e^- = \text{H}_2$	0
Plomb $\text{Pb} \rightleftharpoons \text{Pb}^{++} + 2e^-$	-0.13
Etain $\text{Sn} \rightleftharpoons \text{Sn}^{++} + 2e^-$	-0.14
Nickel $\text{Ni} \rightleftharpoons \text{Ni}^{++} + 2e^-$	-0.23
Cobalt $\text{Co} \rightleftharpoons \text{Co}^{++} + 2e^-$	-0.30
Cadmium $\text{Cd} \rightleftharpoons \text{Cd}^{++} + 2e^-$	-0.40
Fer $\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{++} + 2e^-$	-0.44
Chrome $\text{Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}^{+++} + 3e^-$	-0.60
Zinc $\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{++} + 2e^-$	-0.76
Aluminium $\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{+++} + 3e^-$	-1.66
Magnésium $\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Mg}^{++} + 2e^-$	-2.34

I.6. Diagramme de Pourbaix

Les diagrammes de Pourbaix indiquent les limites thermodynamiques de stabilité du métal considéré par rapport à ses ions dans le milieu et aux produits de réactions, en fonction du pH et de la tension. Ces diagrammes, établis généralement pour une température de 25°C, ont été calculés à partir des valeurs des énergies libres de formation normalisée des différents produits de réaction. Ils doivent toutefois être considérés comme des schémas de réactions possibles ou non de façon énergétique. Le comportement d'un métal dans un milieu déterminé et, en particulier, une indication sur la vitesse des réactions exigent des études expérimentales cinématiques, comme l'établissement des courbes de polarisation.

Le diagramme de la figure (I.1) représente donc les conditions théoriques de corrosion, de passivation et d'immunité du fer dans l'eau à 25°C, pour les différents pH mesurés à la surface de l'échantillon.

L'examen de ce diagramme montre deux zones de protection du fer : la passivation et l'immunité. L'immunité demeurant la solution idéale.

Dans les zones de ce diagramme de Pourbaix, la corrosion est possible lorsque les ions solubles du métal sont stables, le métal résistant probablement à la corrosion dans les zones où les oxydes sont stables. Là où le métal demeure stable, la corrosion est impossible de façon thermodynamique; c'est la zone d'immunité (zone de la protection cathodique) [10].

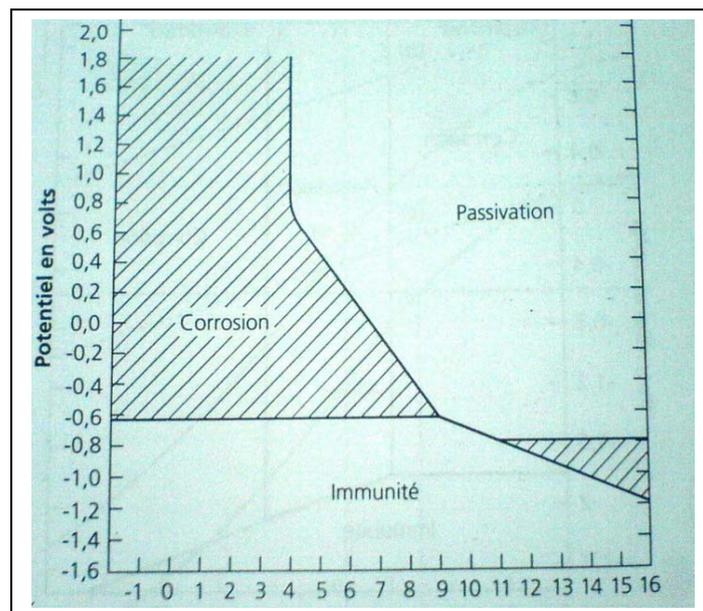


Fig. I.1 : Diagramme simplifié fer-eau.

I.7. Diagrammes d'Evans

Pour définir la vitesse des réactions sur la possibilité des verser les éléments en présence. La densité apparente de courant représente l'intensité totale du courant réparti sur la surface entière du métal, sans tenir compte de la distribution des anodes et des cathodes sur la surface. Habituellement, le rapport entre la densité de courant et le potentiel ne peut être déterminé qu'expérimentalement.

Ces diagrammes prennent la forme montrée à la figure (I.2) où E est le potentiel mixte, le potentiel d'équilibre.

On doit privilégier la présentation graphique des résultats expérimentaux sous la forme densité de courant-potentiel. Les diagrammes ainsi obtenus sont appelés "diagrammes d'Evans".

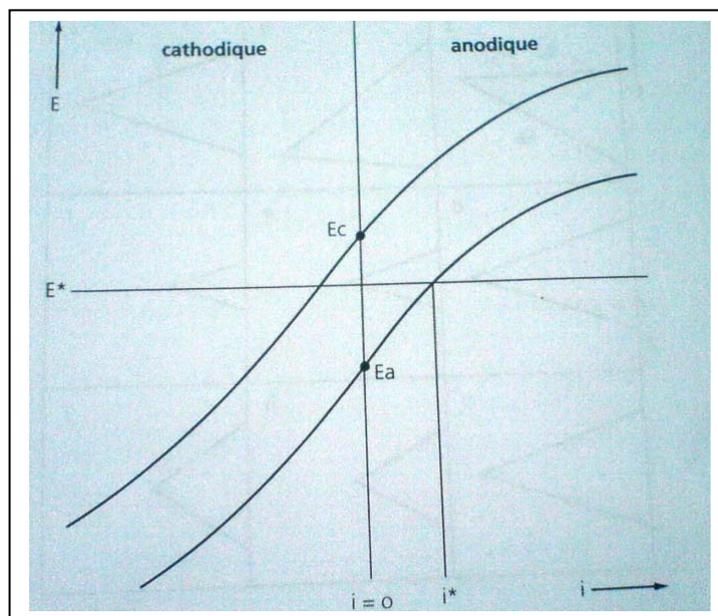


Fig. I.2 : Diagramme densité de courant-potentiel.

I.8. Taux de corrosion

Le taux de corrosion se définit comme une perte de poids par unité de surface et de temps. Valeur de base du concepteur, c'est aussi la valeur de comparaison du comportement des différents métaux et de l'influence des modifications du milieu [10].

Ce taux de corrosion s'exprime par l'équation suivante:

$$T_c = 534 W/DTA \quad \text{avec :}$$

T_c = taux de corrosion en millième de pouce de pénétration par année (mpa), où :
 $0,001 = 1\text{mpa}$.

- W = perte de poids en milligramme
 D = densité de l'échantillon en g/cm^3
 A = surface de l'échantillon en pouce carrés
 T = temps d'exposition en heures

I.9. Passivation

La surface d'un matériau métallique exposé à un milieu aqueux se recouvre assez fréquemment d'un *film passif* qui est une couche barrière très fine généralement formée d'oxydes et/ou d'oxy-hydroxydes qui diminue de façon très importante la vitesse de corrosion sans toutefois la stopper complètement. C'est ainsi que les aciers inoxydables, les alliages de nickel contenant du chrome, les alliages d'aluminium, le titane, de magnésium, oxydable.

Les réactions cathodiques sont possibles sur une surface passive quoique certains films passifs isolants les ralentissent aussi de façon considérable.

La caractéristique anodique d'un matériau passivable se présente sous la forme schématisée sur la figure (I.3), avec trois domaines:

- Un domaine d'activité ($E < E_{pp}$) où le métal subit une corrosion active;
- Un domaine de passivité ou domaine passif, où la surface du métal est protégée par une couche oxydée dite couche passive ou film passif;
- Un domaine de corrosion rapide à haut potentiel ($E > E_{tr}$ ou $E > E_r$) : suivant les cas, il peut s'agir soit d'une dissolution uniforme due à la redissolution de la couche passive et l'on parle alors de domaine de transpassivité, soit d'une corrosion localisée qui prend généralement la forme d'une corrosion par piqûre [4].

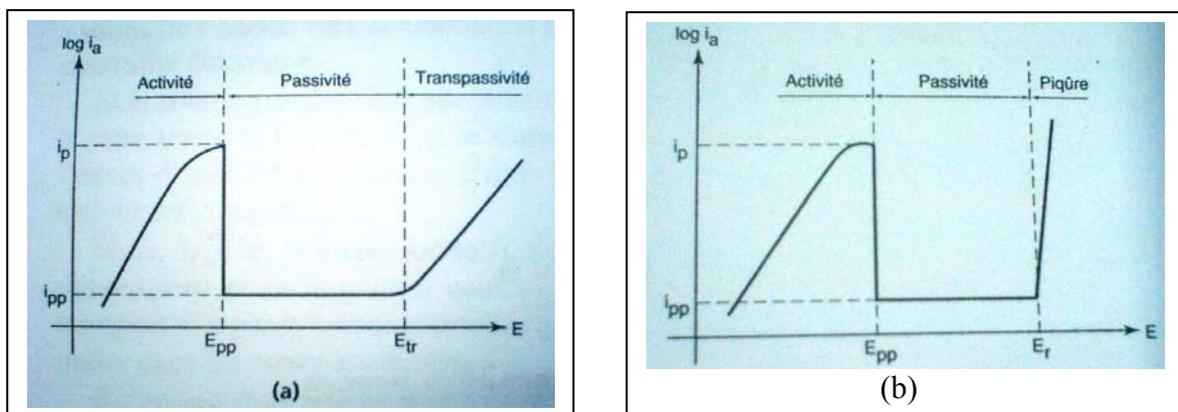


Fig. I.3 : Caractéristique anodique d'un matériau passivable.

a) Transpassivité à haut potentiel. b) Piqûre à haut potentiel [4].

Chapitre II

Corrosion dans les Sols

- Le sol comme un milieu agressif
- Aspect géologique des sols
- Introduction
- Formation des sols
- Principales caractéristiques du sol et de la roche
- Structure des sols
- Caractéristiques physiques communes aux différents sols
- Propriétés des particules fines
- Composition de l'air
- Relations de l'eau par la corrosion
- Signification des fluctuations dans le contenu d'eau
- Facteurs affectant la corrosivité des sols
- La corrosion électrochimique
- Relation eau-air dans les sols
- Piles d'aération différentielle dans le sol
- Valeur du pH et acidité dans le sol
- Potentiel redox du sol
- Résistivité du sol
- Corrosion microbiologique
- Caractéristiques des piqûres
- Le compactage du sol

II. Corrosion dans les sols

II.1. Le sol comme un milieu agressif

II.1.1. Aspect géologique des sols

II.1.1.1. Introduction

Le sol a été défini de plusieurs manières, souvent selon les intérêts particuliers de la personne proposant la définition. Dans la discussion du sol comme facteur environnemental dans la corrosion, aucune définition ou limitation stricte ne sera appliquée; en revanche, l'interaction complexe de tous les matériaux de terre relèvera de la portée de la discussion. Elle est évidente, seulement une approche générale à la matière peut être donnée, et aucune tentative ne sera faite de donner complètement les informations détaillées sur n'importe quelle facette simple de la matière [11].

II.1.1.2. Formation des sols

La terre est recouverte d'une couche plus ou moins solide de roches basaltiques et granitiques d'une épaisseur de 10 à 40 km. Au dessus se trouve le sol. Il s'agit d'une mince couche d'épaisseur variable de matériaux non consolidés à cause des effets géologiques tels que les altérations qui provoquent la désintégration des roches en petites particules. L'altération physique comprend le gel et dégel, variation de température, et activité humaine, animale ou végétale. Comme altération chimique, on cite l'oxydoréduction et la carbonatation. On peut considérer l'érosion autant qu'une altération mécanique [11, 12].

II.1.1.3. Principales caractéristiques du sol et de la roche

Le sol est un matériau hétérogène et anisotrope comportant des minéraux et des matériaux organiques. La présence de l'air et de l'eau font du sol un matériau complexe à effet du temps. Son comportement est non linéaire et irréversible d'où la nécessité de combiner des essais en laboratoire et en place, de procéder à une analyse théorique et une modélisation, d'avoir une expérience cumulée et un bon jugement pour la réussite d'une étude géotechnique [11].

II.1.1.4. Structure des sols

Le sol est un matériau constitué de particules. Les dimensions de ces particules peuvent être uniformes ou variées, allant des cailloux de 10 cm et s'étendant jusqu'aux particules fines de moins du micron. Outre que la grosseur des grains, les particules possèdent d'autres caractéristiques telles que la forme, la texture et la structure élémentaire.

II.1.1.4.1. Grosseur des grains

Lorsque le sol est constitué de grains de dimensions variables, l'analyse granulométrique (voir ci-dessous) permet d'étudier la répartition des particules selon leurs grosseurs. Toutefois, on peut commencer par une description grossière à l'œil nu (Tableau.II.1).

Tab. II.1: Propriétés texturales des sols.

Propriétés	Graviers, Sables	Silt	Argiles
Grosseur	Gros grains, visibles à l'œil nu	Grains fins, invisibles à l'œil nu	Grains fins, invisibles à l'œil nu
Caractéristiques	Granulaire Pulvérulents Non plastiques	Granulaire Pulvérulents Non plastiques	Cohérents Plastiques
Effet de l'eau	Peux d'importance	Important	Très important
Effet de la distribution granulométrique	Important	Sans grande importance	Sans grande importance

II.1.1.4.2. Forme

Il s'agit de la description de la forme géométrique du grain (Fig. II.1).

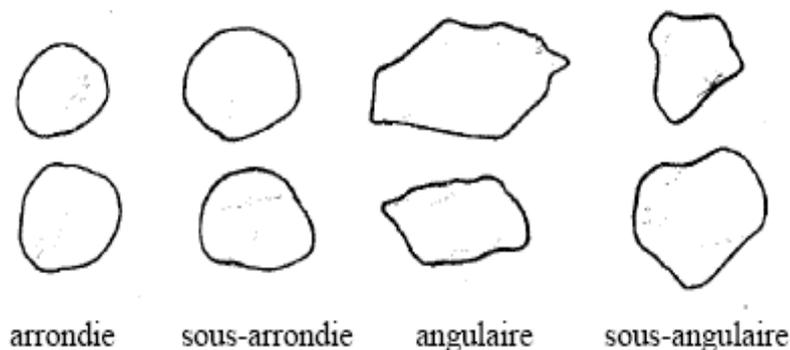


Fig. II.1 : Quelques formes typiques de grains grossiers

1. Particules cubiques ou sphériques.

Elles prédominent dans les sols à gros grains. Pour une description plus précise, on utilise les adjectifs : arrondies, sous-arrondies, angulaires et sous-angulaires.

2. Particules en plaquettes

Typique des sols à grains fins.

3. Particules en bâtonnets ou aiguilles.

Cette forme est moins répandue dans le sol.

II.1.1.4.3. Texture

Pour sa description on utilise les adjectifs polis, mats, doux, rugueux, striés, givrés [11].

II.1.1.4.4. Structure élémentaire

Les particules de toutes dimensions et toutes formes s'arrangent dans le sol pour former des structures variées. Les particules des sols à gros grains ont un arrangement élémentaire de sorte que chaque grain est solidement installé entre ses voisins telles les structures élémentaires extrêmes (la plus compacte et la plus lâche), structure dense, structure lâche et structure en nid d'abeille (Fig. II.2). Dans les argiles, on peut trouver des structures en nid d'abeille et des structures floconneuses qui sont moins résistantes (Fig. II.3). Les sols relevant de ce dernier type posent des problèmes redoutables tels que le gonflement et le tassement. Les grains d'argile en forme de plaquettes, peuvent s'arranger de plusieurs façons (Fig. II.4). Lorsque le sol comporte des grosseurs de grain variable (gros ou fine), les arrangements se diversifient entre agrégats, amas et matrices (Fig. II.5).

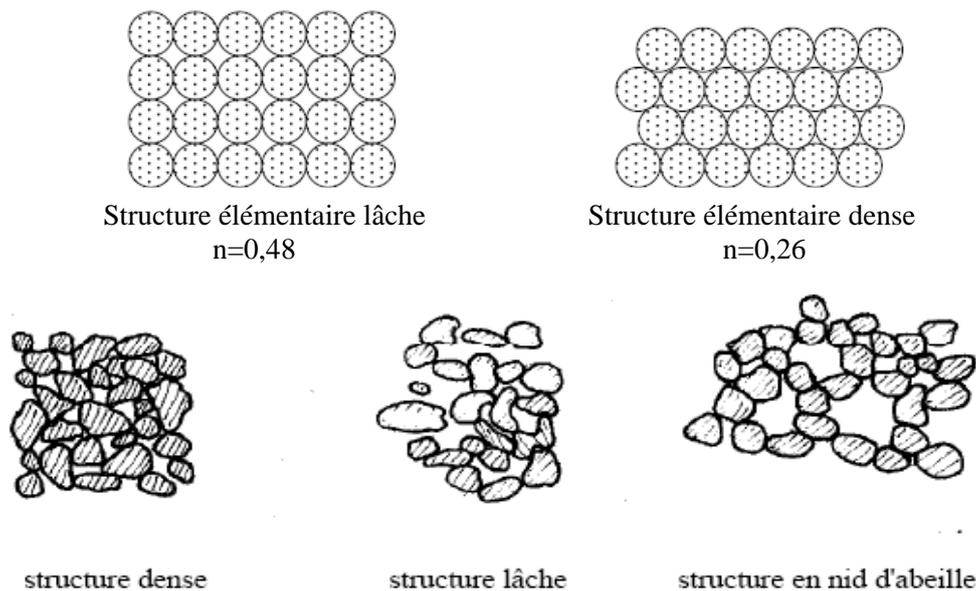


fig. II.2 : Arrangement de sols à grains grossiers

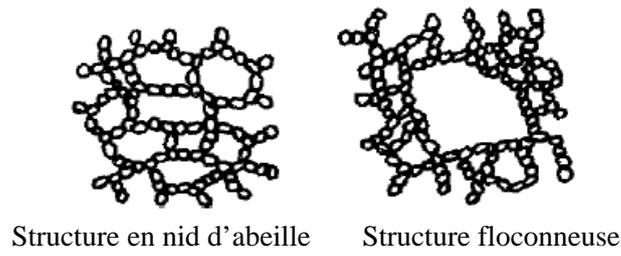


Fig. II.3: Arrangement de sols à grains fins

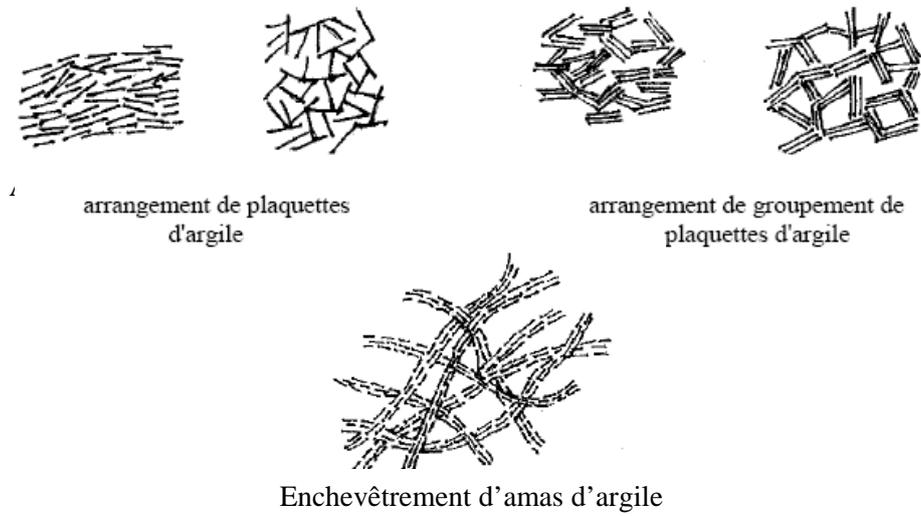


Fig. II.4: Différents arrangements de plaquettes d'argile

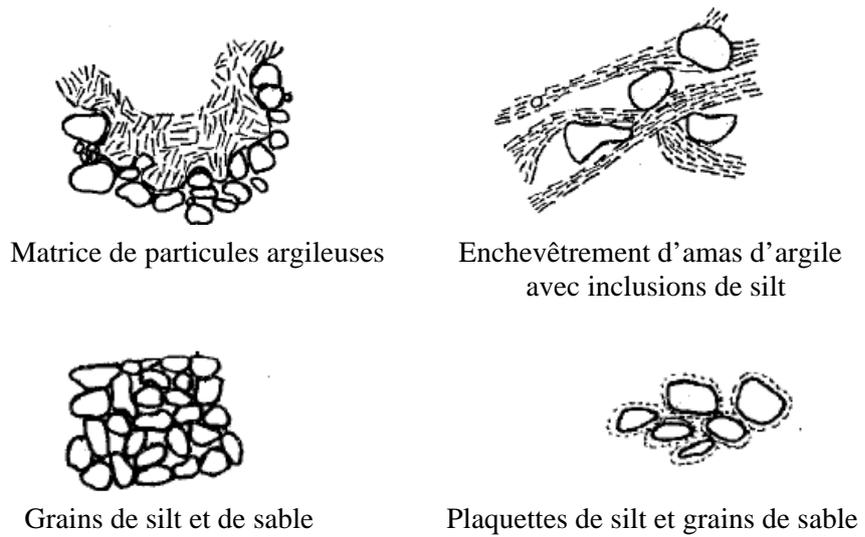


Fig. II.5: Arrangement de particules solides de différentes grosseurs

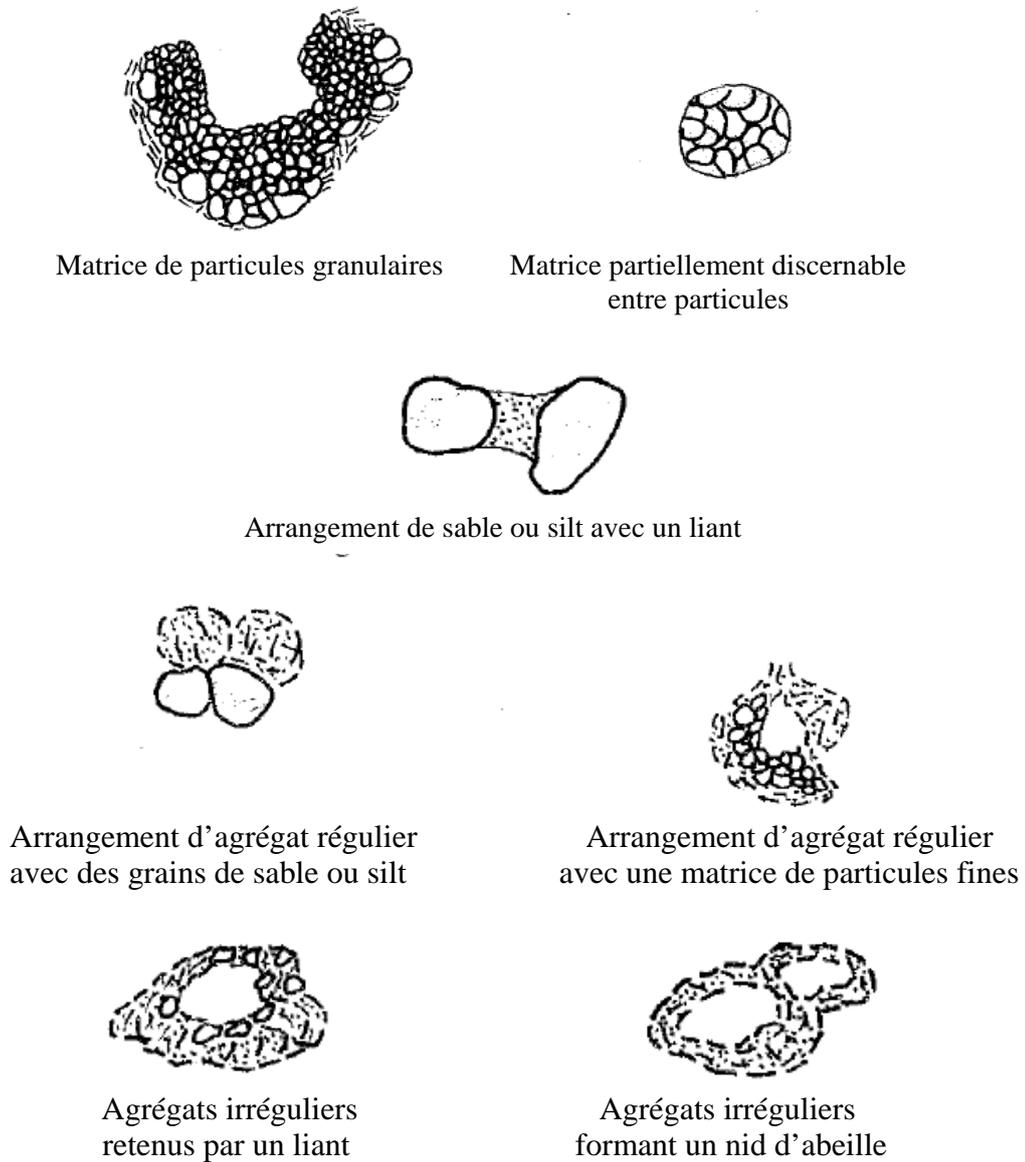


Fig. II.5 : (suite) Arrangement de particules solides de différentes grosseurs

II.1.1.5. Caractéristiques physiques communes aux différents sols

- ✓ Masses et poids volumiques
- ✓ Porosité et compacité
- ✓ Indice des vides
- ✓ Densité relative ou indice de densité
- ✓ Teneur en eau
- ✓ Degré de saturation [12].

II.1.1.6. Propriétés des particules fines

Dans le sol, les particules fines et particulièrement les argiles possèdent des caractéristiques spécifiques par rapport aux grosses particules. Ces propriétés jouent de grands rôles dans le comportement mécanique des sols [11].

II.1.1.6.1. Propriétés colloïdales

De nombreuses propriétés des argiles peuvent s'expliquer sur la base des phénomènes physico-chimiques qui se produisent à la surface des grains. En effet, chaque particule d'argile est chargée d'électricité négative sur sa surface extérieure. L'eau contenue dans le sol est alors soumise à un champ électrique près de la surface des grains. Les molécules de l'eau au voisinage des grains n'ont plus les propriétés physiques de l'eau normale : c'est de l'eau liée ou solide. Alors chaque grain est enveloppé dans un film d'eau de nature spéciale dite eau adsorbée dont l'épaisseur est de l'ordre de cinq millimicrons (Fig. II.6). Cette eau a des effets négligeables sur les sables et les limons, mais elle a un rôle essentiel dans le comportement des argiles. On conclut que le comportement du sol fin peut être sensiblement modifié par la présence d'ions de divers types dans l'eau interstitielle. C'est pourquoi on précise souvent la nature du cation qui prédomine dans les couches adsorbées. D'autre part, cela montre que la surface extérieure du grain joue un rôle principal dans le comportement de l'argile. Ce rôle est accentué par l'énorme développement de la surface du grain par rapport à sa masse. On est donc amené tout naturellement à définir la surface spécifique ou surface du grain contenu dans l'unité de volume ou de masse [11].

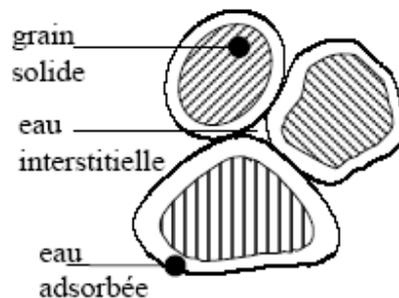


Fig. II.6 : Eau interstitielle et eau adsorbée

II.1.1.6.2. Surface spécifique

Elle est définie par le rapport entre la surface d'un solide et sa masse ou son volume.

$$S_s = \frac{\text{surface}}{\text{volume}}$$

II.1.1.6.3. Famille minéralogique

II.1.1.6.3.1. Classification

Les propriétés physiques des couches adsorbées dépendent aussi de la nature du minéral qui constitue le grain. L'étude des couches adsorbées et des minéraux argileux est importante pour bien comprendre le comportement des argiles que la granulométrie seule ne saurait expliquer. C'est ainsi que nous classons les minéraux argileux en différents groupes : famille, espèce et variété. Les trois familles les plus connues sont la kaolinite, la montmorillonite et l'illite [11].

a/ La kaolinite

Les argiles de la famille de la kaolinite sont les constituants essentiels de la plus part des argiles utilisées en céramique. Leur surface spécifique ne dépasse pas 20 à 30 m²/mg. Les phénomènes de surface sont donc peu intenses. Autrement dit, ces minéraux sont relativement inactifs. La formule chimique de cette famille est du type Si₂Al₂O₅(OH)₄ pour une demi maille, elle est donc assez riche en alumine [11].

b/ La montmorillonite

Les sols de la famille de la montmorillonite peuvent absorber de l'eau dans des proportions considérables, donnant lieu à des gonflements caractéristiques. Ceci est dû au fait que les liaisons d'un feuillet à l'autre sont faibles à cause de la structure floconneuse, et l'eau pénètre facilement entre les feuillets. D'autre part, la surface spécifique de cette famille est élevée, elle peut dépasser 150 m² /g, ce qui donne une grande importance aux phénomènes de surface. La montmorillonite est alors une famille de minéraux argileux actifs. La formule chimique des montmorillonites est du type Si₄Al_(2-x)Mg_xO₁₀(OH)_{2x} (cations échangeables) nH₂O.

c/ L'illite

Les argiles de la famille de l'illite sont parmi les minéraux les plus répandus à la surface de la terre. La structure de l'illite est analogue à celle des micas, mais la matière est

beaucoup plus finement divisée. La formule chimique pour une demi-maille de l'illite est de la forme $\text{Si}_{(4-x)}\text{Al}_x\text{Al}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{K}$.

II.1.1.6.4. Activité

Les valeurs des limites de liquidité et de plasticité dépendent en tout premier lieu de l'importance relative des grains les plus fins au sein du mortier (l'ensemble des grains de dimension inférieure à 0,4 mm). Par définition, l'activité est le rapport de l'indice de plasticité exprimé en % à la teneur en argile exprimée en % :

$$A = \frac{I_p}{\text{fraction argileuse}}$$

La teneur en argile dite aussi fraction argileuse est le rapport du poids des grains secs de dimension inférieure à deux micromètres au poids total du mortier :

$$T_{\text{arg}} = \frac{M(\Phi < 2 \mu\text{m})}{M_t}$$

L'activité est caractéristique du minéral constituant les particules fines. Lorsque la teneur en argile est assez forte, les grains de dimensions supérieures à deux micromètres sont noyés dans l'argile et ne se touchent pratiquement pas. Les limites d'Atterberg du sol considéré sont donc celles des particules d'argile, on peut admettre donc que les grains de dimensions supérieures à deux micromètres ne retiennent pratiquement plus d'eau. L'échelle d'activité généralement utilisée est la suivante (Tab. II.2).

Tab. II.2: Échelle d'activité

Activité	Nature de l'argile
<0,75	Inactive
[0,75 – 1,25]	Normale
>1,25	Active

II.1.1.6.5. Sensitivité

Une argile naturelle qui est manipulée à teneur en eau constante s'amollit en général au cours de l'opération. On appelle sensibilité de l'argile le rapport de ses résistances à la compression simple avant et après remaniement.

$$S_t = \frac{\text{résistance à la compression simple avant remaniement}}{\text{résistance à la compression simple après remaniement}} = \frac{\tau_r (\text{intacte})}{\tau_r (\text{remaniée})}$$

Une échelle de sensibilité est proposée dans (Tab. II.3), mais en général, les argiles dont la teneur en eau naturelle est voisine de la limite de liquidité sont assez sensibles. La perte de résistance peut avoir deux causes : la destruction de la structure acquise par l'argile au cours de la sédimentation ou la perturbation des couches adsorbées. La première cause est irrécupérable, par contre la seconde peut être restituée dès que la manipulation cesse car l'argile retrouve en partie sa cohésion initiale [11].

Tab. II.3: Échelle de sensibilité

sensitivité	Nature de l'argile
[2 - 4]	Normale
]4 - 8]	Sensible
>8	Très sensible

II.1.2. Composition de l'air

L'air sec au voisinage du sol est un mélange gazeux incolore et homogène. Il est approximativement composé en fraction molaire ou en volume de :

- 78,08 % de diazote ;
- 20,95 % de dioxygène ;
- moins de 1 % d'autres gaz dont :
 - les gaz rares principalement de l'argon 0,93 %, du néon 0,0018 % (18 ppm), du krypton 0,00011 % (1,1 ppm), du xénon 0,00009 % (0,9 ppm) ;
 - le dioxyde de carbone 0,038 % (380 ppm).

Il contient aussi des traces d'hydrogène 0,000072 % (0,72 ppm), mais aussi d'ozone, ainsi qu'une présence infime de radon.

L'air typique de l'environnement terrestre est souvent humide car il contient de la vapeur d'eau. Il peut aussi contenir du dioxyde de soufre, des oxydes d'azote, de fines substances en suspension sous forme d'aérosol, des poussières et des micro-organismes.

Au voisinage du sol, l'air contient une quantité très variable de vapeur d'eau, qui dépend des conditions climatiques, et en particulier de la température. En effet le phénomène de saturation de vapeur varie fortement avec la température :

Tab. II.4 : La variation de phénomène de saturation de vapeur d'eau avec la température

Température de l'air	à -10 °C	à 0 °C	à 10 °C	à 20 °C	à 30 °C	à 40 °C
% de vapeur d'eau	de 0 à 0,2 %	de 0 à 0,6 %	de 0 à 1,2 %	de 0 à 2,4 %	de 0 à 4,2 %	de 0 à 7,6 %

Jusqu'à environ 80 km d'altitude, la composition de l'air est assez homogène, la seule variation remarquable est celle du taux de la vapeur d'eau.

Tab. II.5 : Composition de l'air sec

Nom	Formule	Proportion
Diazote	N ₂	78,08 %mol
Dioxygène	O ₂	20,95 %mol
Argon	Ar	0,934 %mol
Dioxyde de carbone	CO ₂	382 ppmv
Néon	Ne	18,18 ppmv
Hélium	He	5,24 ppmv
Monoxyde d'azote	NO	5 ppmv
Krypton	Kr	1,14 ppmv
Méthane	CH ₄	1,7 ppmv
Dihydrogène	H ₂	0,5 ppmv
Protoxyde d'azote	N ₂ O	0,5 ppmv
Xénon	Xe	0,087 ppmv
Dioxyde d'azote	NO ₂	0,02 ppmv
Ozone	O ₃	0–0,01 ppmv
Radon	Rn	6,0×10 ⁻¹⁴ ppmv

Tab. II.6 : Variation de volume de CO₂ et O₂ en dessous du sol en fonction de profondeur

Printemps			Été		
Profondeur (m)	O ₂ % de V	CO ₂ % de V	Profondeur (m)	O ₂ % de V	CO ₂ % de V
0	20.9	0.03	0	20.7	0.03
0.3	19.4	1.0	0.3	19.5	2.2
0.6	0.25	2.5	0.6	18	3.4
0.9	0.25	6.2	0.9	17	5.1

II.1.3. Relations de l'eau par la corrosion

Aucune corrosion ne se produit dans un environnement complètement sec. Dans le sol, l'eau est nécessaire pour l'ionisation de l'état oxydé sur la surface en métal. L'eau est nécessaire également pour l'ionisation des électrolytes de sol, de ce fait accomplissant le

circuit pour l'écoulement d'un courant maintenant l'activité corrosive. Indépendamment de sa participation au procédé fondamental de corrosion, arroser nettement les influences plus des d'autres facteurs concernant la corrosion dans les sols [13].

II.1.4. Signification des fluctuations dans le contenu d'eau

Excepté des zones au-dessous du niveau des eaux souterraines permanentes où l'environnement eau est saturé, et pour des zones du sable extérieur sec, la variation continue peut être prévue pour se produire dans la teneur en eau des sols. Ce dépend habituellement des précipitations, de la neige, de l'inondation et de telles influences climatiques, bien que les pratiques en matière d'irrigation dans beaucoup de zones agricoles influencent la teneur en eau et par conséquent les taux de corrosion.

Les pertes d'eau du sol représentent la somme de mouvement de haut en bas des pertes de la gravité de l'eau et de surface par évaporation. Les activités de l'homme, autre que des procédures de drainage ou l'utilisation à long terme de l'eau des pompes dans les zones industrielles, n'influencent pas habituellement le mouvement de haut en bas de l'eau. Sur l'autre main, des pratiques agricoles ont un grand effet sur les pertes extérieures d'évaporation.

Comme mentionné plus tôt, il y a un rapport inverse entre les volumes de l'eau et la concentration en oxygène dans le sol. Comme sols sécher, les conditions deviennent plus aérobies et les taux de diffusion de l'oxygène deviennent plus hauts. L'alternance humide-sèche ou anaérobie-aérobie, temporelle ou spatiale, mène à des taux de corrosion plus élevés qu'être obtenu dans un environnement constant. La formation d'Oxygèneconcentration-cellule est augmentée. Cette même fluctuation dans des relations de l'eau et d'air mène également à une plus grande variation d'activité biologique dans le sol [13].

II.1.5. Facteurs affectant la corrosivité des sols

Parmi les facteurs qui interviennent dans la corrosivité d'un sol donné, il y a:

1. la porosité (aération),
2. la conductibilité électrique,
3. les sels dissous comportant des dépolarisants ou des inhibiteurs,
4. l'humidité
5. l'acidité ou l'alcalinité.

Un sol poreux peut retenir l'humidité pour une longue période de temps, ou peut faciliter une aération optimale, ces deux facteurs tendant à augmenter la vitesse de corrosion initiale. Le problème est cependant plus complexe car les produits de corrosion formés dans un sol aéré peuvent être plus protecteurs que ceux formés dans un sol non aéré. Dans la plupart des sols, en particulier s'ils ne sont pas bien aérés, la corrosion prend la forme de piqûres profondes. Une corrosion localisée de ce genre est évidemment plus "endommageant" pour une conduite qu'une corrosion généralisée plus élevée se produisant uniformément. Un autre facteur à considérer, dans les sols mal aérés contenant des sulfates, est l'existence de bactéries qui réduisent les sulfates et qui peuvent conduire à des vitesses de corrosion plus élevées que celles trouvées dans n'importe quel sol [14].

II.1.6. La corrosion électrochimique

La corrosion d'un métal dans un sol résulte de l'activité de piles d'où le terme de « pile de corrosion ». Elles se forment à la surface du métal et elles correspondent donc à un système d'oxydo - réduction.

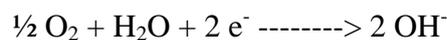
Selon la nature des sols, nous pourrions distinguer des réactions cathodiques différentes.

Les réductions du proton H^+ ou de l'eau se produiront de préférence dans des sols très acides ou dans des sols neutres privées d'oxygène.

La réduction de l'eau : $2 H_2O + 2 e^- \rightarrow 2 OH^- + H_2 (g)$

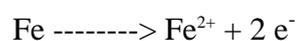
la réduction du proton H^+ : $2 H^+ + 2 e^- \rightarrow H_2 (g)$

Par contre dans un sol oxygéné, nous aurons la réduction de l'oxygène. C'est le cas le plus rencontré.



La présence d'oxygène à la surface du métal dépend de la structure du sol : son épaisseur, sa porosité, son humidité et plus particulièrement son taux de saturation.

La réaction anodique se limite à la réaction suivante :



De plus, lorsqu'une canalisation traverse des sols de nature différente, le potentiel d'équilibre du métal avec chacun de ces milieux peut être différent. Ceci entraîne la formation d'une pile car il y a mise en place d'une zone anodique et d'une zone cathodique.

La différence de potentiel d'équilibre entre l'acier enfoui dans le sable et l'acier enfoui dans l'argile est environ de 0,3V. La partie de la conduite située dans l'argile est anodique et sera donc corrodée par rapport à celle placée dans le sable. On peut distinguer deux types de corrosion selon la localisation des réactions anodiques et cathodiques : une corrosion dite absolue et une corrosion dite relative.

La corrosion absolue serait due à des micropiles de corrosion dans lesquels les zones anodiques et cathodiques sont très petites et très proches les unes des autres. La corrosion se caractérise par un phénomène régulier et uniforme. Elle peut être considérée comme peu dangereuse à court terme.

Par contre la corrosion relative est due à des macropiles de corrosion. Elle est plus préoccupante car elle peut provoquer une perforation des canalisations. Elle est caractérisée par des zones anodiques et cathodiques ayant des dimensions de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres. Les macropiles sont surtout liées à l'hétérogénéité de la composition du sol et à l'aération différentielle. Ces deux phénomènes sont dépendants l'un de l'autre.

Comme nous l'avons dit précédemment, la nature du sol agit sur la concentration en oxygène du sol. La variation de ce taux, le long d'une canalisation provoque la formation des macropiles. Ainsi, les secteurs les plus aérés fonctionnent comme des cathodes vis à vis de ceux qui le sont moins qui deviennent des anodes. Ceci est remarqué lors de la présence dans un sol sableux d'une masse argileuse (zone imperméable) au contact de la conduite, ou d'un passage d'une conduite d'un sol relativement sec à un sol humide, d'une différence de la profondeur de pose, ou encore de nappes. Tous ces phénomènes peuvent faire varier la concentration de l'oxygène au contact de la canalisation [15].

II.1.7. Relation eau-air dans les sols

Le sol comme milieu corrosif peut être considéré comme un corps poreux, formé de constituants hygroscopiques, plus ou moins solides, solubles et partiellement colloïdaux et

d'organismes vivants, et contenant de l'eau et de l'air dans les pores. Au dessus du niveau d'eau dans le sol, les pores capillaires les plus fins (dans le sol) sont toujours remplis avec de l'eau, alors que les pores les plus larges sont remplis avec de l'air. Les argiles et les sols organiques ont une abilité particulièrement élevée à retenir l'eau à cause de leur nature colloïdale.

Une certaine quantité d'eau dans le sol est une exigence pour que la corrosion ait lieu. La présence de l'oxygène est aussi nécessaire pour le processus de corrosion dans le sol. Cependant, la corrosion de l'acier a lieu sous les conditions anaérobiques en présence et à la participation de ce qu'on appelle (sulphate reducing bacteria). Dans ce cas, le processus cathodique est l'évolution d'hydrogène, qui est facilité par le métabolisme bactérien et par le sulfure de fer, qui est formé comme un produit de corrosion.

Une fonction de l'eau du sol, d'une extrême importance est elle de la régulation de l'air supplée. Si le volume du pore du sol est partiellement rempli avec de l'eau, le transfert d'oxygène vers la surface du métal a lieu, le long de la majeure partie du chemin de transport, au moyen de la diffusion en phase gazeuse. Si d'un autre côté comme est le cas en dessous du niveau d'eau dans le sol, le volume du pore du sol est complètement rempli avec de l'eau, celui-ci agit comme un barrage et obstrue fortement l'approvisionnement de l'air vers la surface du métal.

La diffusion de l'oxygène dans l'eau est d'environ 10^4 plus faible que celle dans l'air.

Avec une augmentation de la quantité d'eau dans le sol, le taux de corrosion, au début, augmentera dû à une plus grande surface humidifiée et une conductivité améliorée. Lorsque la quantité d'eau se rapproche de la valeur de saturation correspondant au remplissage complet des pores du sol, souvent la moitié du volume du sol, le taux de corrosion diminue rapidement à une faible valeur dû à la forte obstruction d'approvisionnement en oxygène.

L'importance de la quantité d'eau pour le transport d'oxygène explique pourquoi le taux de corrosion est considérablement plus élevé au dessus du niveau d'eau dans le sol qu'en dessous de celui-ci [13].

II.1.8. Piles d'aération différentielle dans le sol

La surface d'une construction métallique dans la couche supérieure de la croûte terrestre forme plusieurs piles d'aération différentielle comme conséquence de la composition du sol, qui varie d'un point à un autre.

Plusieurs cas de corrosion de tubes en acier ou de câbles électriques enterrés sont ainsi causés par les piles d'aération qui sont formées là où les tubes ou les câbles passent à travers les types de sol avec des quantités d'eau différentes et par conséquent avec des capacités différentes de transport d'oxygène. Une telle corrosion est particulièrement commune dans les champs d'argile, qui contiennent aussi des types de sol, de taille de particules plus grossières tels que le sable, le gravier etc. dans de telles piles d'aération, l'anode est entourée par l'argile, la cathode par des types de terre plus grossiers [15].

II.1.9. Valeur du pH et acidité dans le sol

Le pH des sols est d'une grande importance pour la corrosivité du sol par rapport aux métaux tels que le cuivre, le plomb et le zinc, apparemment comme une conséquence de la dissolution des films d'oxyde passivants. Pour le fer et l'acier, le pH du sol est moins important. Cependant, les sols acides de pH 3,5-4,5 sont habituellement plus fortement corrosifs, même vis-à-vis de l'acier, que le sont les sols faiblement acides ou neutres de $\text{pH} > 5$. D'un autre côté, il doit être observé qu'une réaction alcaline qui, dans l'eau, correspond habituellement à une corrosion faible de l'acier, ne se comporte pas toujours de la même manière dans le sol. Dans le sol, au dessus du niveau d'eau, le facteur décisif pour le taux de corrosion est habituellement la conductivité électrique, qui est souvent élevée dans les sols alcalins, dans lesquels l'acier montre souvent des taux de corrosion élevés. La production bactériologique de l'ammonia peut aussi augmenter le pH et le taux de corrosion, particulièrement sur le cuivre.

Comme règle, les sols minéraux profonds sont moins acides que les sols à surface riche en humus [16].

II.1.10. Potentiel redox du sol

Des tentatives ont été faites pour obtenir une mesure de la corrosivité du sol en mesurant les potentiels redox. Comme dans les autres environnements, le potentiel de corrosion d'un certain métal peut être juste pris. Comme une mesure de la corrosivité du sol en question puisque, à un certain taux de corrosion, le potentiel de corrosion est élevé ou faible en fonction de la polarisation anodique ou cathodique, c'est-à-dire laquelle d'entre-elles est dominante. A la place, il est nécessaire d'utiliser une électrode inerte, habituellement une électrode de platine brillante, qui donne un potentiel d'électrode assez bien défini (par rapport à une électrode de référence souhaitable, souvent une électrode Cu/CuSO_4). Le

potentiel de l'électrode en platine est déterminé par la quantité de substances oxydées et réduites dans le sol.

Assez souvent, le potentiel redox des sols est déterminé par l'équilibre entre les ions Fe^{2+} et Fe^{3+} . Comme règle, les valeurs élevées du potentiel redox sont obtenues dans les sols bien aérés et les valeurs faibles dans les sols riches en substances organiques et épuisés d'oxygène. Aussi, le potentiel redox à un certain point ne peut être pris comme une mesure de la corrosivité en ce point. D'un autre côté, la variation du potentiel redox le long d'une certaine longueur donne une indication où des piles d'aération différentielle peuvent avoir lieu. Dans une construction enterrée de longueur considérable, les zones anodiques et par conséquent les attaques de corrosion peuvent être attendues dans les endroits où le potentiel redox est faible. La différence de potentiel entre le sol aéré et désaéré peut atteindre 1V. Un potentiel redox très faible indique un risque potentiel présence de la bactérie desulphovibrio [18].

II.1.11. Résistivité du sol

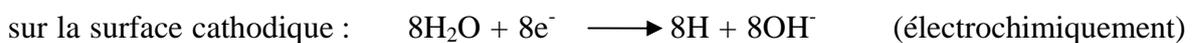
Généralement, la meilleure mesure de la corrosivité du sol est sa conductivité, habituellement exprimée comme l'inverse de la résistivité. La résistivité du sol est principalement déterminée par la quantité de sel dans l'eau des pores.

A la surface des sols qui ne sont pas trop acide, on trouve la relation : $\rho S = 750000$ où ρ est la résistivité en $\Omega \cdot \text{cm}$ et S est la quantité de sel en mg/l. la quantité de sel, S , est souvent mesurée indirectement en mesurant ρ . Si l'approvisionnement d'air au sol est relativement bon, comme est souvent le cas de la croûte sèche au dessus du niveau d'eau du sol, ainsi, l'épuisement d'oxygène ne limite pas le processus cathodique ou favorise la présence de la bactérie (desulphovibrio). La corrosivité du sol est, en première approximation, inversement proportionnelle à sa résistivité, qui donc détermine les courants se déplaçant dans les piles d'aération différentielle. La relation entre la résistivité (ρ en Ωcm) et le taux de corrosion (T , $\mu\text{m}/\text{an}$) de l'acier dans la surface des sols peut être exprimée par l'équation $(\rho+300) T = 40000$.

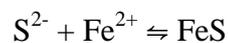
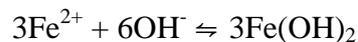
Pour des $\text{pH} > 6$, cette relation concorde très bien avec les résultats des essais de terrain. A des pH plus bas, on peut trouver des taux de corrosion plus élevés que ceux de l'équation ci-dessus. Ceci est particulièrement vrai pour les résistivités élevées.

II.1.12. Corrosion microbologique

Un type spécial de corrosion du sol est appelé corrosion microbologique. Cependant, même ce type de corrosion est basiquement de nature électrochimique, c'est une forme d'attaque du fer et de l'acier ayant lieu, particulièrement, dans les couches profondes, des sols argileux saturés d'eau en présence de bactérie indépendamment de la présence d'air et donc dite être anaérobique. L'espèce plus connue de micro-organisme est appelée *Desulphovibrio*. L'activité bactériale est considérée dépendre de la dépolarisation de l'évolution cathodique de l'hydrogène, qui est utilisé par les bactéries dans leur métabolisme. La réaction cathodique et aussi par conséquence la réaction de la dissolution du métal sont facilitées en ce sens. Les réactions partielles dans le processus de corrosion concerné peut donc être écrites comme suit:



les ions S^{2-} et HS^- , ainsi que H_2S sont catalyseurs puissants des processus cathodiques et anodiques. Ensuite, suivent les réactions secondaires :



FeS est un conducteur électronique et une cathode très efficace pour l'évolution d'hydrogène. La réaction totale peut être ensuite écrite comme :



Il est typique de ce type de corrosion, que la rouille noire formée contient en dehors de Fe_3O_4 , des quantités énormes de FeS .

II.1.13. Caractéristiques des piqûres

Il faut remarquer que tant que les dimensions des échantillons sont l'ordre de quelques centièmes à quelques dizaines de centimètres, les vitesses de corrosion par piqûres indiquées représentent des valeurs minimales plutôt que maximales. la profondeur des piqûres dans un temps donné augmente légèrement avec la dimension des échantillons probablement du fait de l'augmentation de la surface cathodique par piqûre, ce qui entraîne des densités de courant plus élevées aux piqûres. En plus de ce facteur, des courants vagabonds ou macro-piles, quand ils existent, augmentent la profondeur de la piqûre à des

valeurs supérieures à celles obtenues sur de petits échantillons où de telles piles ne peuvent pas intervenir.

La vitesse à laquelle les piqûres apparaissent dans le sol, sous certaines conditions, tend à décroître avec le temps et suit l'équation : $P = kt^n$, où P est la profondeur de la piqûre la plus profonde pour un temps t, k et n sont des constantes. On pense que les valeurs de n pour les aciers passent de 0.1 environ pour un sol bien aéré à 0.9 pour un sol mal aéré. Plus la valeur de n est petite, plus la vitesse de corrosion a tendance à diminuer avec le temps. Quand n approche de l'unité, la vitesse de pénétration des piqûres tend vers une valeur constante et la pénétration est proportionnelle au temps.

Les piqûres ont tendance à se développer de préférence au-dessous d'une conduite que sur le dessus. Ce phénomène est parfois suffisamment important pour qu'il soit intéressant de faire tourner la conduite de 180° après une période donnée d'exposition afin d'en augmenter la durée de vie. Des piqûres au bas de la conduite résultent du contact permanent avec le sol, tandis qu'au sommet par suite de sa position, la conduite tend à se détacher du sol, en produisant un espace rempli d'air [14].

II.1.14. Le compactage du sol

Compactage des sols définie comme l'élimination des vides d'air entre les particules du sol, et est mesurée par la compression mécanique d'une quantité de matière dans un volume donné.

Lorsque le compactage du sol se produit régulièrement, la résistivité du sol est constante et en général sa corrosivité est diminuée. La perméabilité du sol est réduite avec le compactage et à condition de drainage est adéquat et le sol non-agressif (neutre ou alcalin), la corrosion devrait être diminuée. Cependant, l'effet du compactage est liée à la cohésion du sol. Dans les sols argileux, le taux de corrosion augmente rapidement après enfouissement avec compactage dû à des agglomérats sur le métal provoquant attaque localisée. Les sols bien drainés granulaires présentant des teneurs en humidité de moins de 5 pourcent ne sont pas agressifs, mais diminuent avec le compactage de drainage croissante conduisant à des augmentations marginales de la corrosion.

Chapitre III

Procédure Expérimentale

- Matériaux utilisés
- Préparation des surfaces
- Sols utilisés
- Méthodes d'évaluation du taux de corrosion
- Méthode de la masse perdue
- Test de corrosion dans les différents sols
- Méthode de polarisation
- Description de la cellule électrochimique utilisée
- Conductivité
- Analyses chimiques des sols
- La diffraction de rayons X

III. Procédure expérimentale

III.1. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans notre travail sont les aciers A17 et 14NC14. Les éprouvettes sont de forme cylindrique avec les dimensions suivantes :

une longueur de 6 cm et un diamètre de 0.42 cm pour les éprouvettes de l'acier A17, une longueur de 5cm et un diamètre de 1 cm pour l'acier 14NC14, figures (III.1 et III.2).

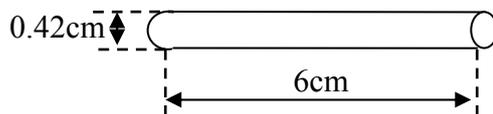


Fig.III.1: Forme et dimensions de l'éprouvette en acier A17.

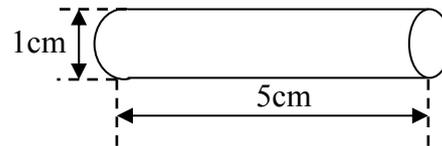
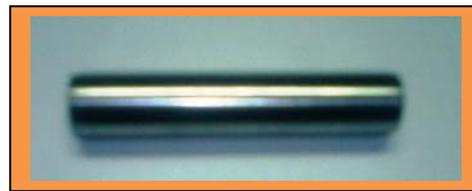


Fig.III.2: Forme et dimensions de l'éprouvette en acier 14NC14.

Les compositions chimiques des aciers A17 et 14NC14 sont données dans les tableaux suivants :

Tableau.III.1 : Composition chimique de l'acier A17.

Constituant	Teneurs(%)
C	0.08 à 0.12
Mn	0.45 à 0.70
P	< 0.025
S	< 0.025
Si	< 0.25

Tableau.III.2 : Composition chimique de l'acier 14NC14.

Constituant	Teneurs(%)
C	0.14
Ni	3.5
Cr	–

III.2. Préparation des surfaces

Les techniques de mise en œuvre, pour la préparation des surfaces, sont: le polissage et le dégraissage.

III.2.1. Polissage mécanique

Le polissage a été effectué manuellement, sous eau à l'aide de papiers abrasifs de granulométrie de plus en plus fine.

III.2.2. Dégraissage

Les échantillons polis ont été dégraissés à l'eau distillée, pour éliminer toutes les matières étrangères, et ensuite séchés à l'air.

III.3. Sols utilisés

Les sols utilisés sont présentés ci-dessous :

Six types de sols ont été collectés à partir de différents endroits. Les types de sols ont été classés et nommés S1, S2, S3, S4, S5 et S6

S₁ : sol à gros grains, près des lacs, région d'Oum-El-Bouaghi ;

S₂ : sol à grains fins, près des lacs, région d'Oum-El-Bouaghi ;

S₃ : sable, région de Barika ;

S₄ : sol à gros grains, région de Batna ;

S₅ : sol à grains fins, région de Batna ;

S₆ : sable, région de Biskra.

Notons que:

- Les dimensions des gros grains sont comprises entre $[1 \div 2.8]$ mm,
- Les dimensions des grains fins sont inférieurs à 1mm.



Fig. III.3 : sols de différentes tailles.

III.4. Méthodes d'évaluation du taux de corrosion

III.4.1. Méthode de la masse perdue

Le but de la méthode pondérale est de mesurer la perte de poids, des échantillons métalliques immergés dans le réactif, pendant un temps donné.

Le taux de corrosion est déterminé d'après la formule suivante :

$$T = \frac{\Delta m}{S.t} \quad (\text{III.1})$$

Où :

$\Delta m = m_0 - m$: masse perdue.

m_0 : masse de l'échantillon avant le test en mg.

m : masse de l'échantillon après le test en mg.

S : surface totale immergée dans l'environnement considéré en dm^2 .

t : temps de l'expérience en jours.

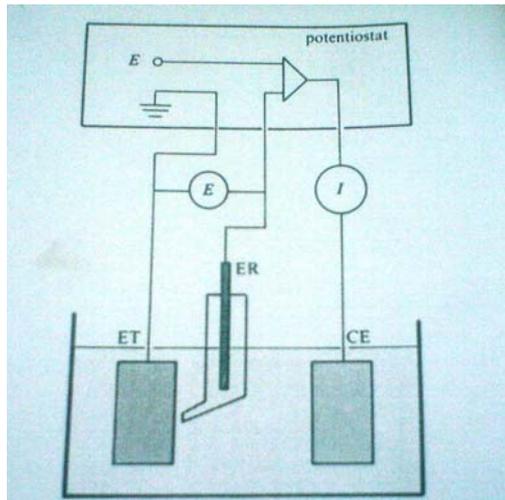
III.4.1.1. Tests de corrosion dans les différents sols

Cette méthode de caractérisation consiste à plonger les échantillons en acier A17 et 14NC14, à la température ambiante, dans des bâteaux, contenant un sol mouillé, pour des durées de 10, 20, 30, 40 et 50 jours.

Après cette période d'immersion, les échantillons sont retirés, nettoyés à l'aide d'une brosse en nylon, rincés à l'eau distillée, puis séchés à l'air et ensuite repesés.

III.4.2. Méthode de polarisation (Courbes de polarisation)

La vitesse des réactions d'électrode dépend du potentiel. Par ailleurs, elle varie linéairement avec la densité de courant, selon la loi de Faraday. La densité de courant, mesurée en fonction du potentiel donne une courbe de polarisation qui renseigne sur la cinétique des réactions d'électrode en jeu. Selon la méthode employée, contrôle du potentiel ou contrôle du courant, on obtient respectivement les courbes de polarisation potentiostatique, $i = f(E)$, ou de polarisation galvanostatique, $E = f(i)$ [9].



ET: électrode de travail,
ER: électrode de référence,
CE: contre-électrode.

Fig. III.4: Schema synoptique du dispositif de détermination d'une courbe de polarisation potentiostatique.

La méthode usuelle pour déterminer les courbes de polarisation consiste à:

- ✓ Plonger l'électrode dans le milieu agressif pour constater, après un certain temps, s'il s'établit un potentiel mixte sans courant extérieur;
- ✓ Brancher l'électrode sur un circuit en engendrant un courant extérieur déterminé;
- ✓ Le potentiostat utilisé, de type PGP201, est relié directement à un ordinateur équipé d'un logiciel (voltamaster1, version 3.04) qui permet de tracer les courbes $i=f(E)$.

III.5. Description de la cellule électrochimique utilisée

- ✓ La cellule électrochimique utilisée est un béccher contenant le sol et les électrodes.
- ✓ Le volume du milieu utilisé (sol, sable) est de 450ml,
- ✓ La surface effective de l'électrode en acier classe A est de 4.095cm^2 ,
- ✓ La surface effective de l'électrode en acier 14NC14 est de 16.485cm^2 .

III.6. Conductivité

La méthode utilisée pour mesurer la conductivité électrique des sols consiste:

- ✓ En la préparation d'une mélange de 5g de sol ou de sable et 50 ml d'eau distillée à température ambiante;
- ✓ La solution préparée est agitée pour une durée de 30min, après un certain temps de stabilité du mélange, on effectue la mesure de la conductivité du milieu considéré;

III.7. Analyse chimique des sols

- ✓ Les solutions préparées contiennent 10g du milieu considéré et 50 ml d'eau distillée. L'ensemble est agité pour une durée de 60min.
- ✓ Ensuite, on prend 10ml du mélange obtenu que l'on dilue dans 90 ml d'eau distillée,
- ✓ La composition chimique de chaque sol utilisé est déterminée à l'aide d'un *spectrophotomètre* à lumière, et par l'analyse chimique, existant au niveau du département de chimie de la faculté des sciences de l'université Hadj Lakhdar de Batna.

Les résultats de l'analyse chimique de la solution obtenue pour chaque sol, sont montrés sur le tableau (III.3).

Tableau III.3: Résultats de la composition chimique des différentes milieux.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Cl (mg/g)	—	—	7.1	3.5	—	10.65
Ca (mg/g)	80.16	76.8	87.36	17.76	30.24	76.8
Mg (mg/g)	32.06	30.72	34.444	7.104	12.86	30.72
SO_4^{2-} (mg/g)	38.4	38.4	67.2	28.8	28.8	38.4
Na (mg/g)	0.066	0.052	0.158	0.207	0.243	0.123
K (mg/g)	0.022	0.013	0.045	0.052	0.052	0.024
NO_2^- (mg/g)	0.069	0.2125	0.119	0.827	0.075	0.0236
NO_3^- (mg/g)	0.305	0.941	0.529	3.66	0.330	0.1045

III.8. La diffraction de rayons X

L'analyse par la technique de diffraction de rayons x, a été réalisée avec un appareil Bruker Analytical x-ray Systems du laboratoire des RX de l'université Mohamed khider de Biskra. Il a été utilisé pour caractériser les produits de corrosion.

Chapitre IV

Résultats et interprétations

- Introduction
- Etude de la tenue à la corrosion
- Méthode de la masse perdue (milieu humide)
- Méthode de polarisation
- Étude de l'influence de PH sur la corrosivité des métaux A17, 14NC14
- Étude de l'influence de la conductivité sur la corrosivité des métaux A17, 14NC14
- Analyse par rayon X

IV. Résultats et interprétations

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les résultats obtenus à partir des essais de corrosion réalisés dans différents milieux, en utilisant les techniques de la masse perdue et de la polarisation.

IV.2. Etude de la tenue à la corrosion

IV.2.1. Méthode de la masse perdue (milieu humide)

Sur les figures (IV.1 à IV.12), sont représentés les taux de corrosion dans une solution aqueuse, calculés à l'aide de l'équation (III-1), en fonction du temps d'essai, pour les deux types d'aciers à savoir l'acier 14NC14 et A17.

a/ Echantillon A17

1^{er} cas : Milieu(1), sol « S1 », sol à gros grains

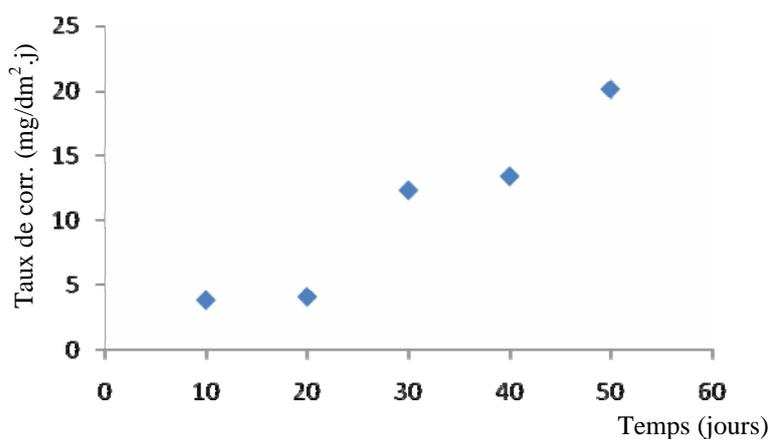


Fig. IV.1 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier A17, milieu S1.

2^{ème} cas : Milieu(2), sol « S2 », sol à grains fins

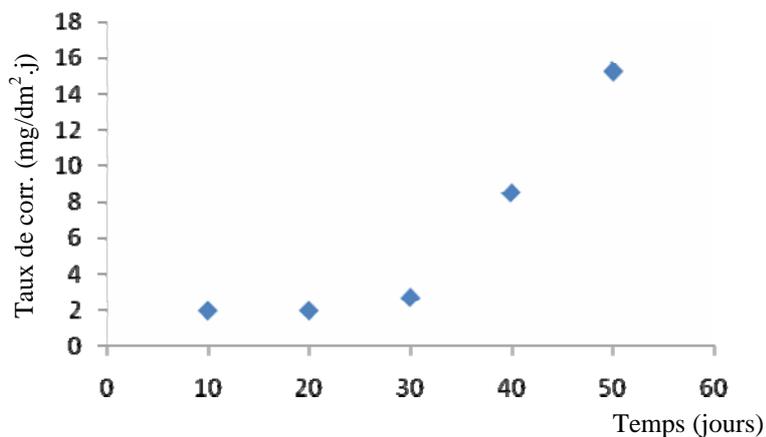


Fig. IV.2 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier A17, milieu S2.

3^{ème} cas : Milieu(3), sable « S3 »

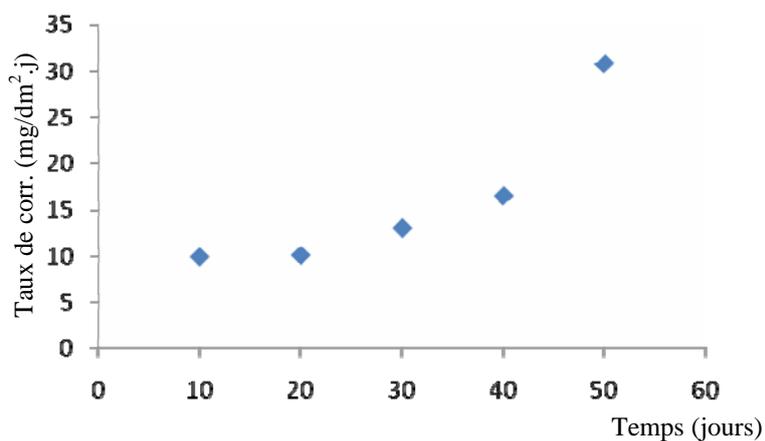


Fig. IV.3 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier A17, milieu S3.

4^{ème} cas : Milieu(4), sol « S4 », sol à gros grains

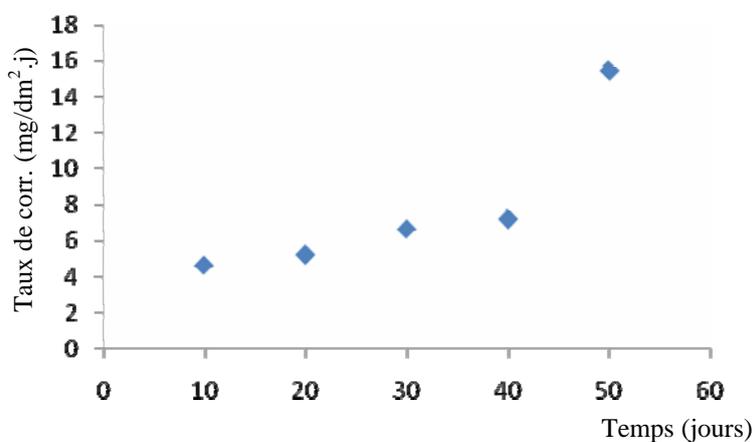


Fig. IV.4 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier A17, milieu S4.

5^{ème} cas : Milieu(5), sol « S5 », sol à grains fins

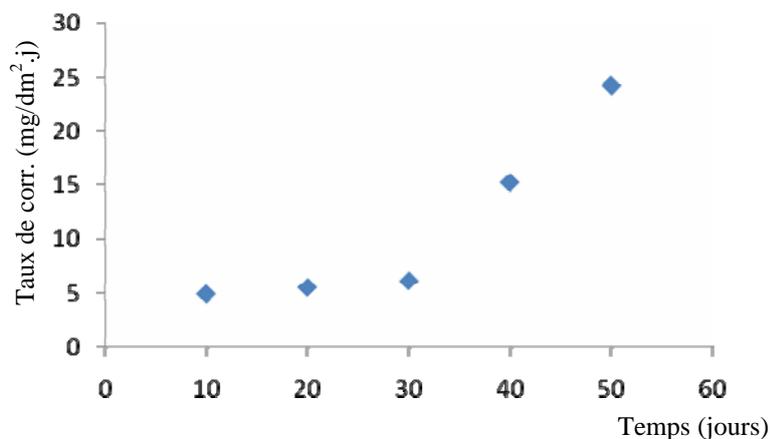


Fig. IV.5 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier A17, milieu S5.

6^{ème} cas : Milieu(6), sable « S6 »

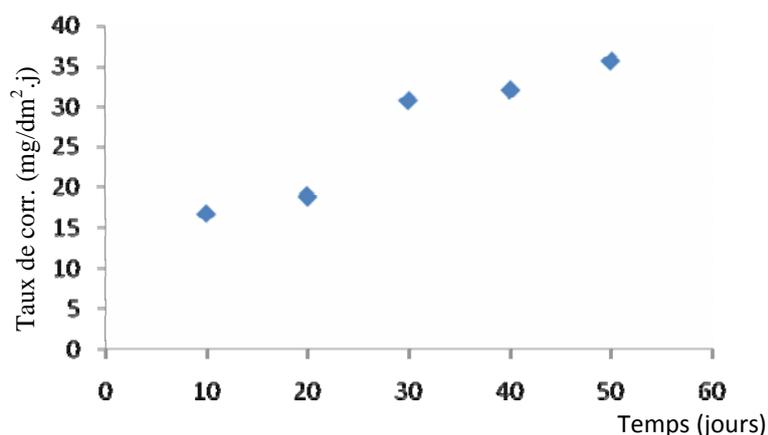


Fig. IV.6 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier A17, milieu S6.

D'après les figures (IV.1 à IV.12), nous constatons que le taux de corrosion augmente de manière croissante au-delà de la durée de 30 jours d'essai.

D'après les résultats obtenus, nous pensons que quelque soit le milieu considéré lors des essais réalisés, le matériau subit une corrosion due à la présence de l'eau dans les pores du sol et d'oxygène créant ainsi une pile d'aération différentielle.

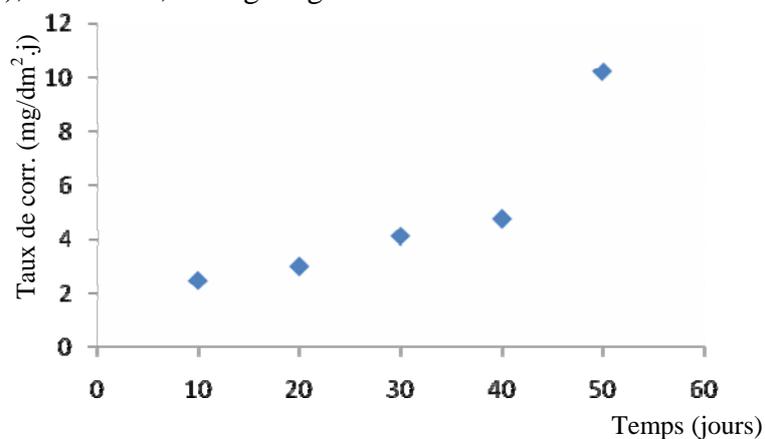
b/ Echantillon 14NC14**1^{er} cas : Milieu(1), sol « S1 », sol à gros grains**

Fig. IV.7 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier 14NC14, milieu S1.

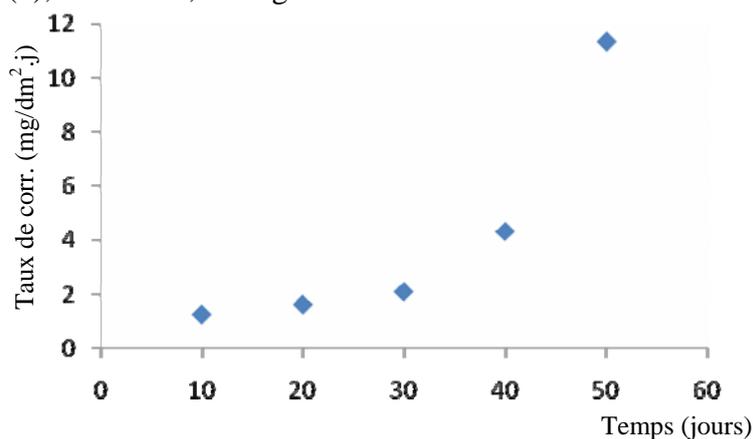
2^{ème} cas : Milieu(2), sol « S2 », sol à grains fins

Fig. IV.8 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier 14NC14, milieu S2.

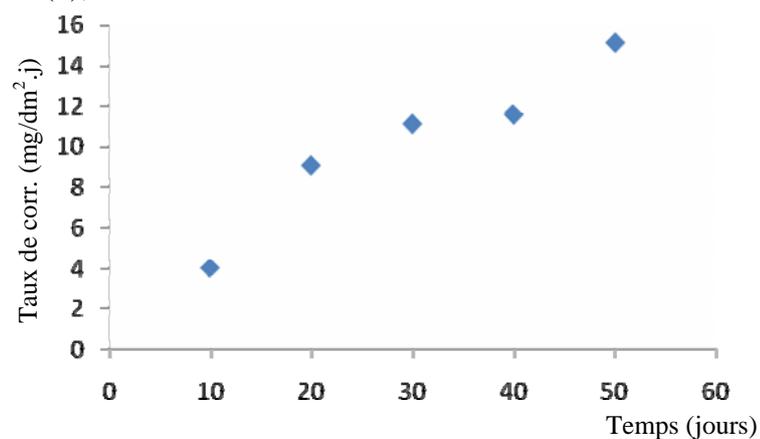
3^{ème} cas : Milieu(3), sable « S3 »

Fig. IV.9 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier 14NC14, milieu S3.

4^{ème} cas : Milieu(4), sol « S4 », sol à gros grains

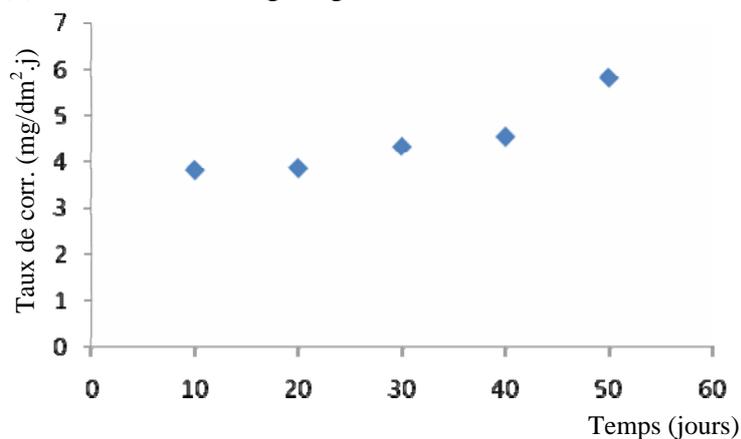


Fig. IV.10 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier 14NC14, milieu S4.

5^{ème} cas : Milieu(5), sol « S5 », sol à grains fins

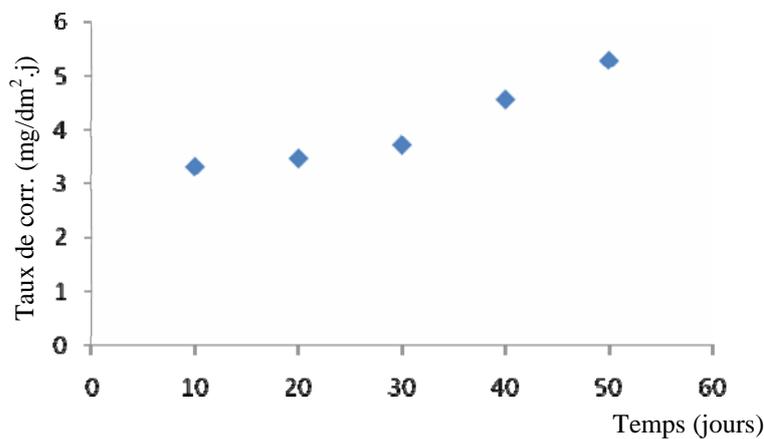


Fig. IV.11 : Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier 14NC14, milieu S5.

6^{ème} cas : Milieu(6), sable « S6 », sol à gros grains

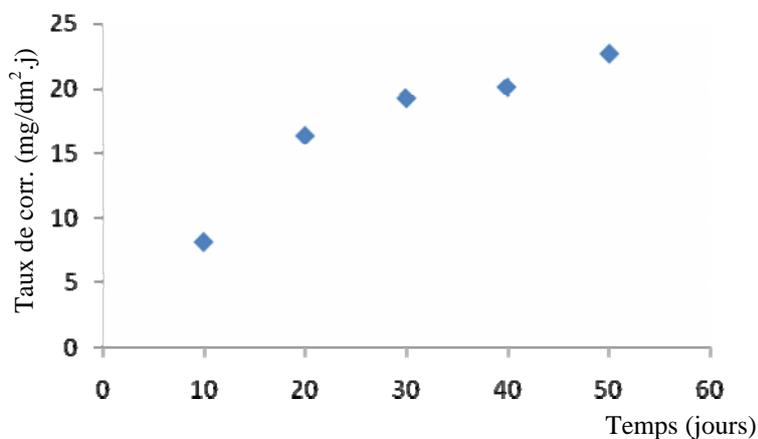


Fig. IV.12: Variation du taux de corrosion en fonction du temps d'essai, acier 14NC14, milieu S6.

On remarque :

D'après les figures (IV.1 à IV.6) obtenues pour l'acier A17, nous pouvons dire que :

- Le taux de corrosion varie de manière non uniforme et cela est dû à une dissolution de la surface des matériaux à cause des inclusions et des précipités dans le métal, ainsi que l'hétérogénéité des sols, l'aération et le taux d'humidité joue un rôle important sur le processus de corrosion.
- Le même phénomène est observé sur les figures (IV.7 à IV.12) obtenues pour les éprouvettes 14NC14. Notons que le taux de corrosion dans ce cas est plus faible que celui enregistré pour les échantillons A17 dans les différents milieux.

IV.2.1.1. Comparaison des résultats obtenus

IV.2.1.1.1. L'influence du sol

a/ Milieu S1

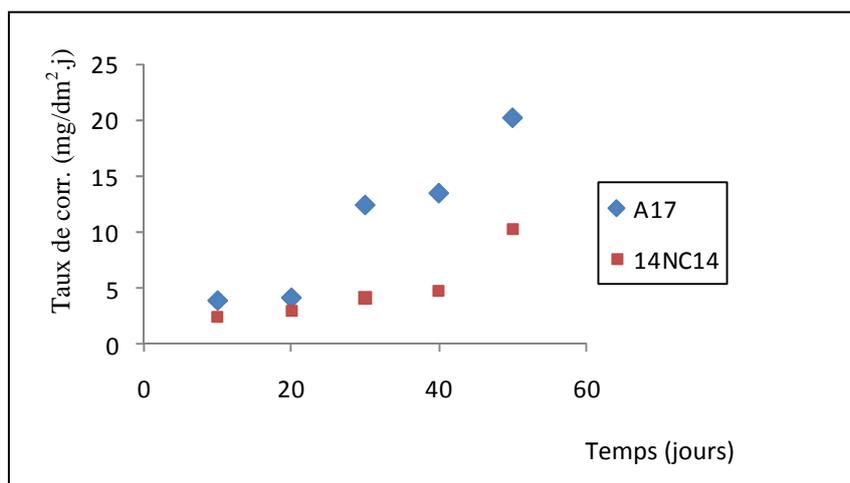


Fig. IV.15: Schéma illustrant l'influence du milieu S1 sur le taux de corrosion des aciers A17, 14NC14.

D'après la figure (IV.15), on remarque que :

- Pour l'acier 14NC14, durant le temps d'essai, le taux de corrosion reste petit,
- Pour l'acier A17, dans la période de 20 jours le taux de corrosion est petit, et augmente à partir de la durée de 30 jours,
- Pour les figures (IV.16 à IV.20) on observe que le jour de l'augmentation de taux de corrosion de l'acier A17 est varié d'un milieu à l'autre, et déterminer que le temps est influer sur la corrosion des métaux.

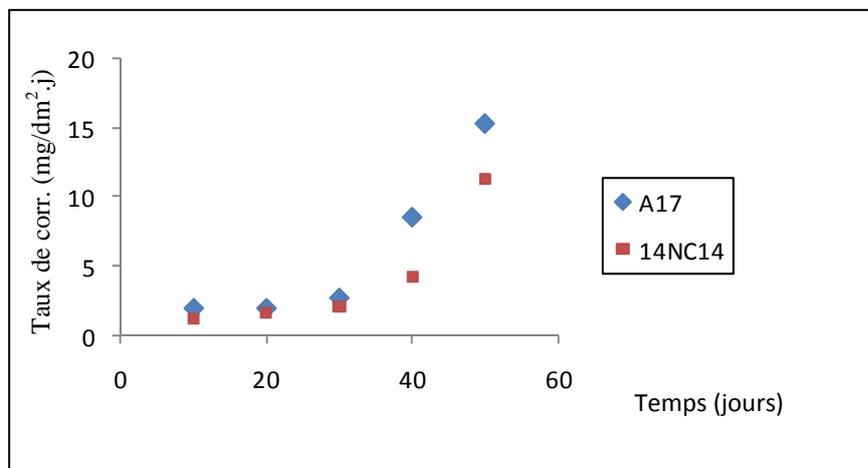
b/ Milieu S2

Fig. IV.16 : Schéma illustrant l'influence du milieu « S2 » sur le taux de corrosion des aciers A17, 14NC14.

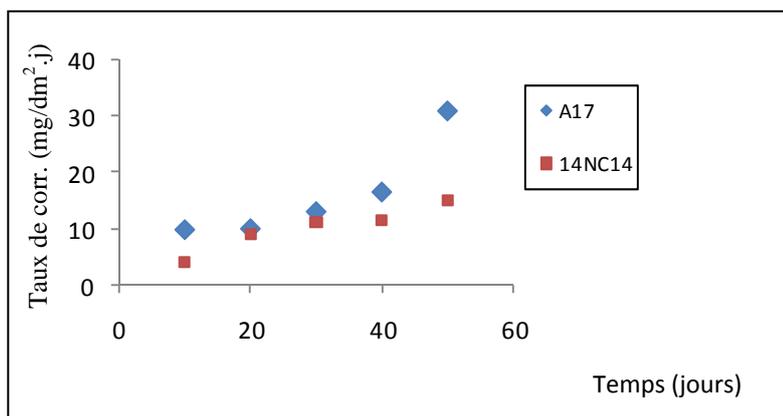
c/ Milieu S3

Fig. IV.17 : Schéma illustrant l'influence du milieu « S3 » sur le taux de corrosion des aciers A17, 14NC14.

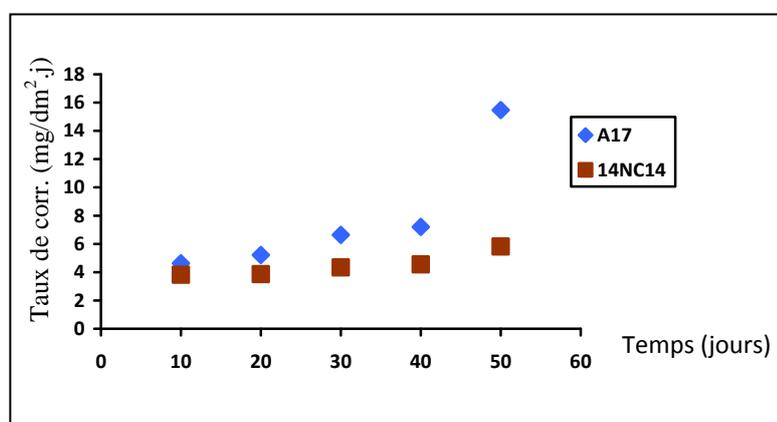
d/ Milieu S4

Fig. IV.18 : Schéma illustrant l'influence du milieu « S4 » sur le taux de corrosion des aciers A17, 14NC14.

e/ Milieu S5

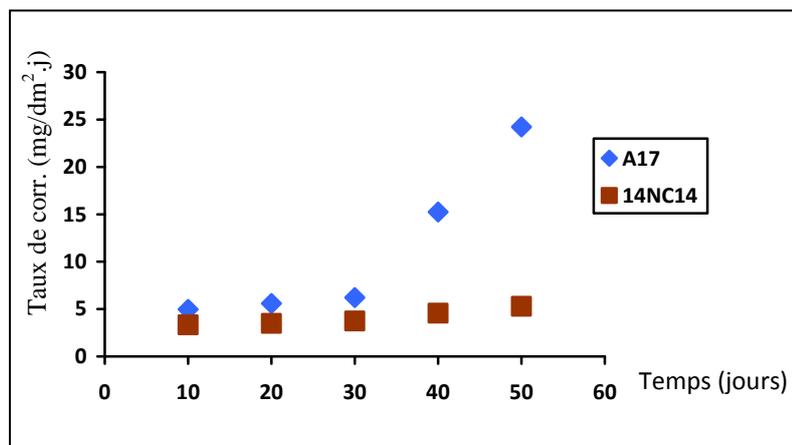


Fig. IV.19 : Schéma illustrant l'influence du milieu « S5 » sur le taux de corrosion des aciers A17, 14NC14.

f/ Milieu S6

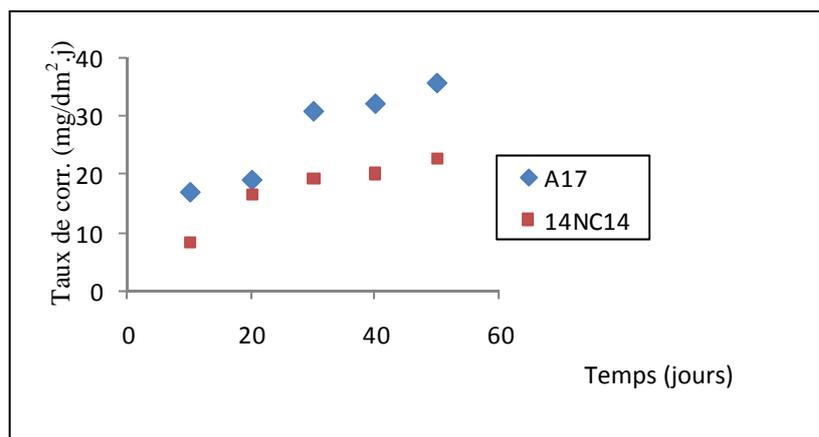


Fig. IV.20: Schéma illustrant l'influence du milieu « S6 » sur le taux de corrosion des aciers A17, 14NC14.

En comparant les figures (IV.15 à IV.20), on remarque que:

- L'acier 14NC14 est plus résistant à la corrosion, dans les différents milieux considérés, que l'acier A17.

IV.2.1.1.2. L'influence du type de sol de différentes régions sur l'acier A17

a/ Sables

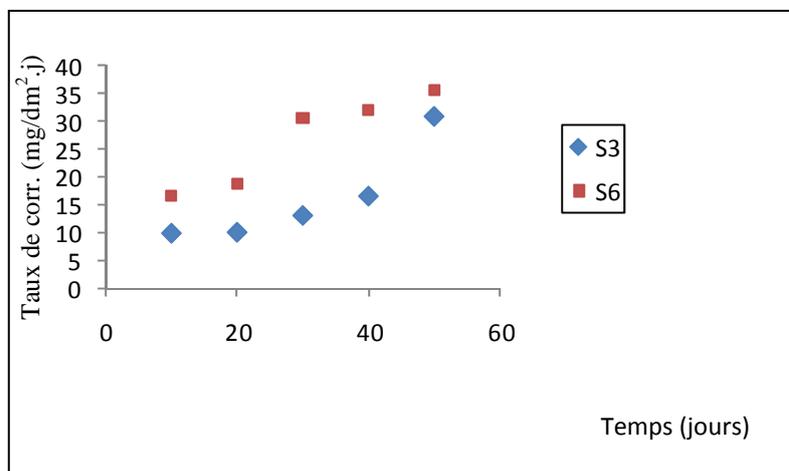


Fig. IV.21: Schéma illustrant l'influence des milieux « S3, S6 » sur l'acier A17.

b/ Sols à grains fins

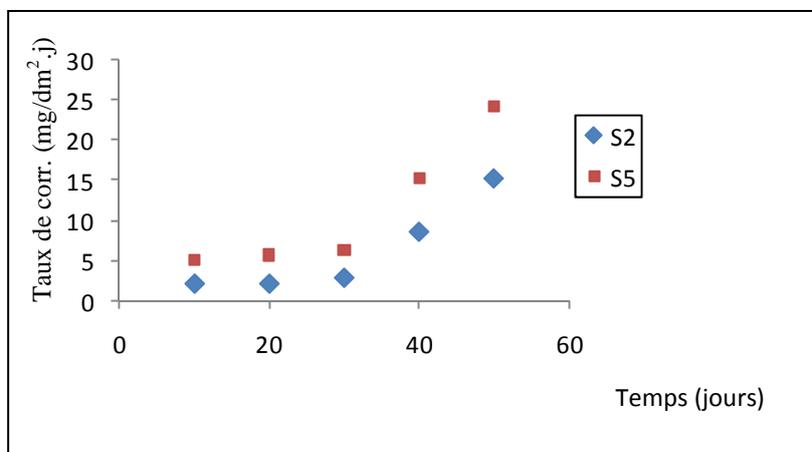


Fig. IV.22: Schéma illustrant l'influence des milieux « S2, S5 » sur l'acier A17.

c/ Sols à gros grains

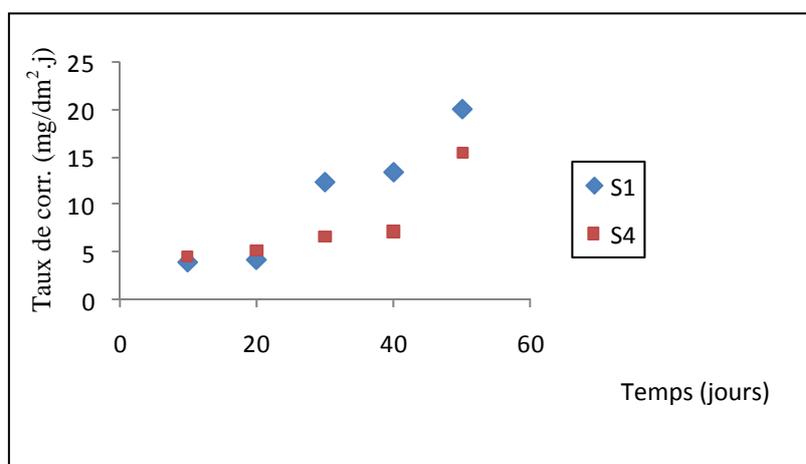


Fig. IV.23: Schéma illustrant l'influence des milieux « S1, S4 » sur l'acier A17.

D'après les résultats obtenus par comparaison :

Figures (IV.21) on constate que :

- Le milieu S6 est plus corrosif que le milieu S3.

Figures (IV.22), les sols à grains fins :

- Le taux de corrosion est nettement élevé dans le milieu S5 que dans le milieu S2,

Figures (IV.23), les sols à gros grains:

- Le sol à gros grains S1 est plus corrosif que le sol à gros grains type S4.

IV.2.1.1.3. L'influence du type de sol de différentes régions sur l'acier 14NC14

a/ Sables

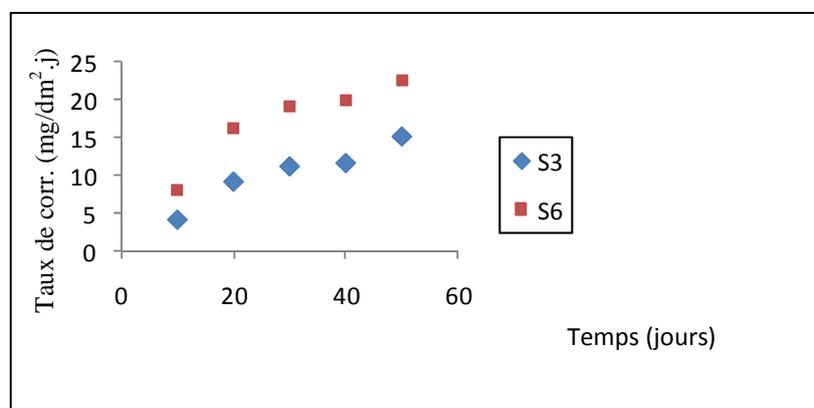


Fig. IV.24: Schéma illustrant l'influence des milieux « S3, S6 » sur l'acier 14NC14.

b/ Sols à grains fins

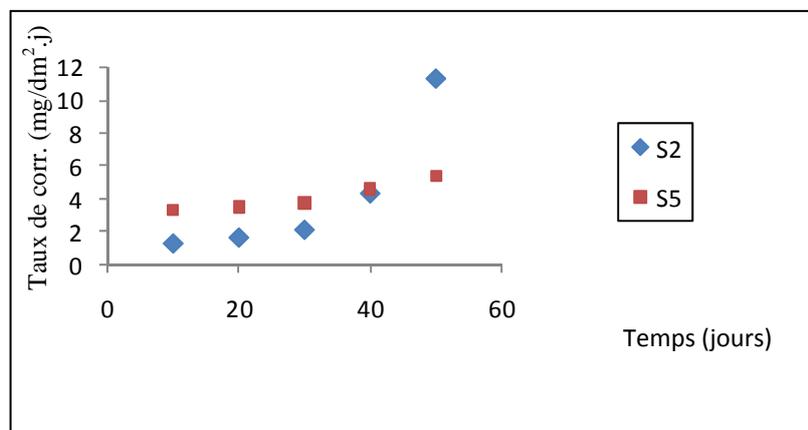


Fig. IV.25: Schéma illustrant l'influence des milieux « S2, S5 » sur l'acier 14NC14.

c/ Sols à gros grains

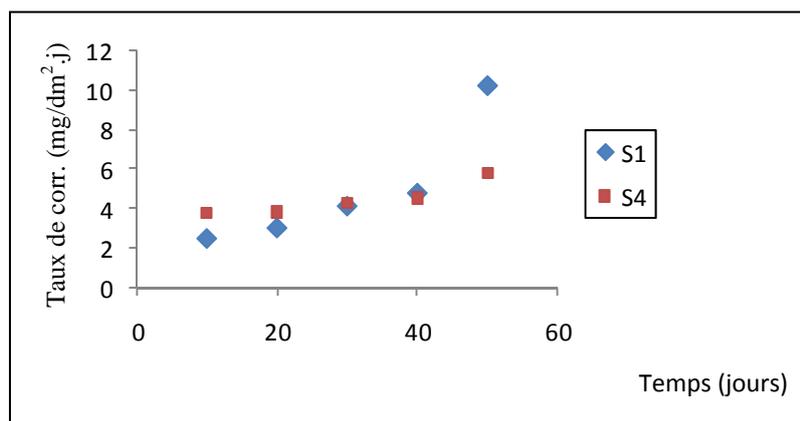


Fig. IV.26: Schéma illustrant l'influence des milieux « S1, S4 » sur l'acier 14NC14.

D'après les résultats obtenus par comparaison :

Figures (IV.24) on constate que :

- Le milieu S6 est plus corrosif que le milieu S3.

Figures (IV.25), les sols à grains fins :

- Le taux de corrosion est nettement élevé dans le milieu S2 que dans le milieu S5.

Figures (IV.26), les sols à gros grains :

- Le sol à gros grains S1 est plus corrosif que le sol à gros grains type S4.

IV.2.2. Méthode de polarisation

a/ Echantillon A17

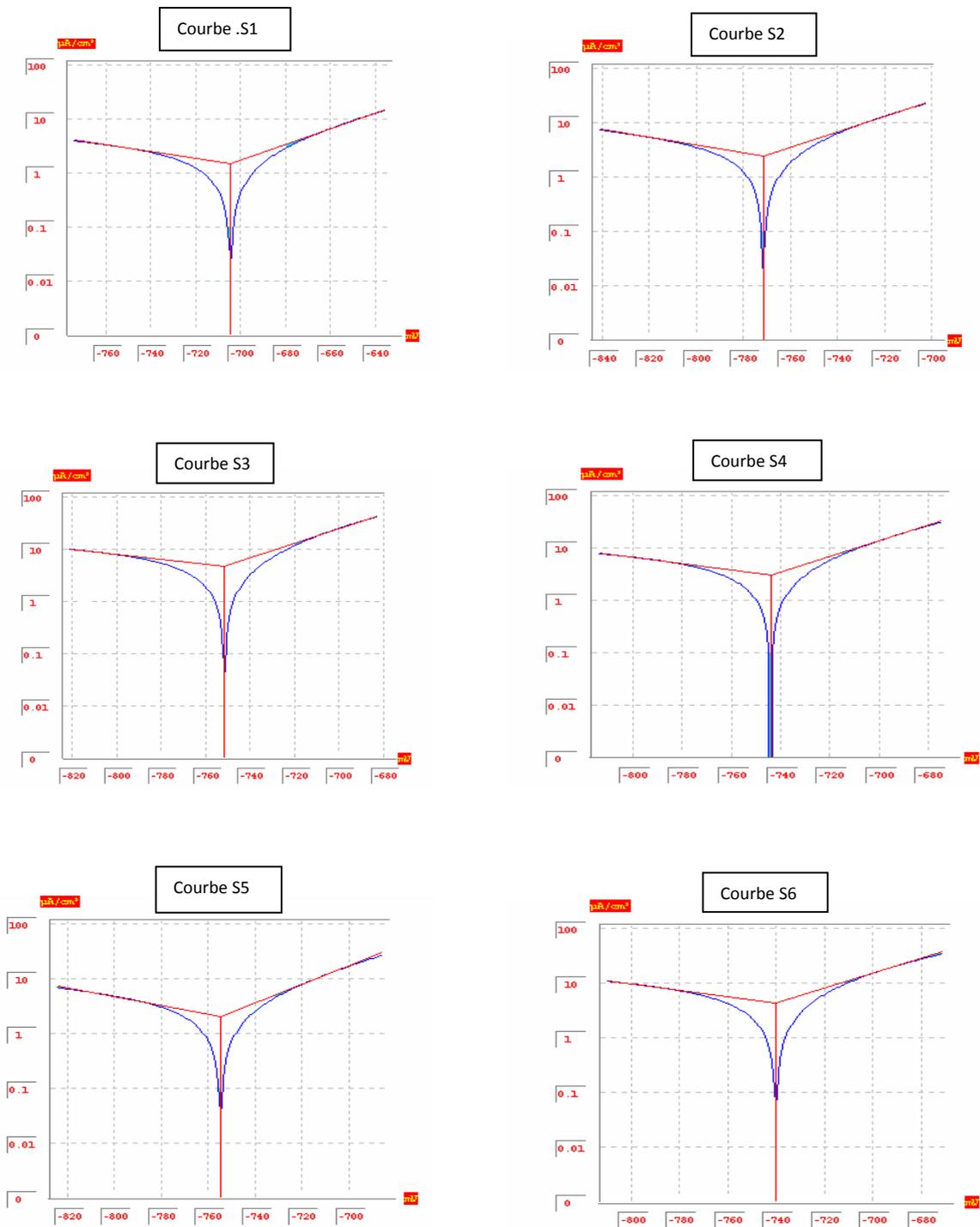


Fig. IV.27 : Courbes de polarisation, acier A17 dans différents milieux (S1, S2, S3, S4, S5 et S6).

Le sol S1 a présenté une densité de courant plus élevée que d'autres échantillons. Ceci peut être expliqué, sans doute, par la plus grande quantité des ions présente une mobilité élevée; elle augmente la conductivité et, par conséquent, diminue la résistivité.

b/ Echantillon 14NC14

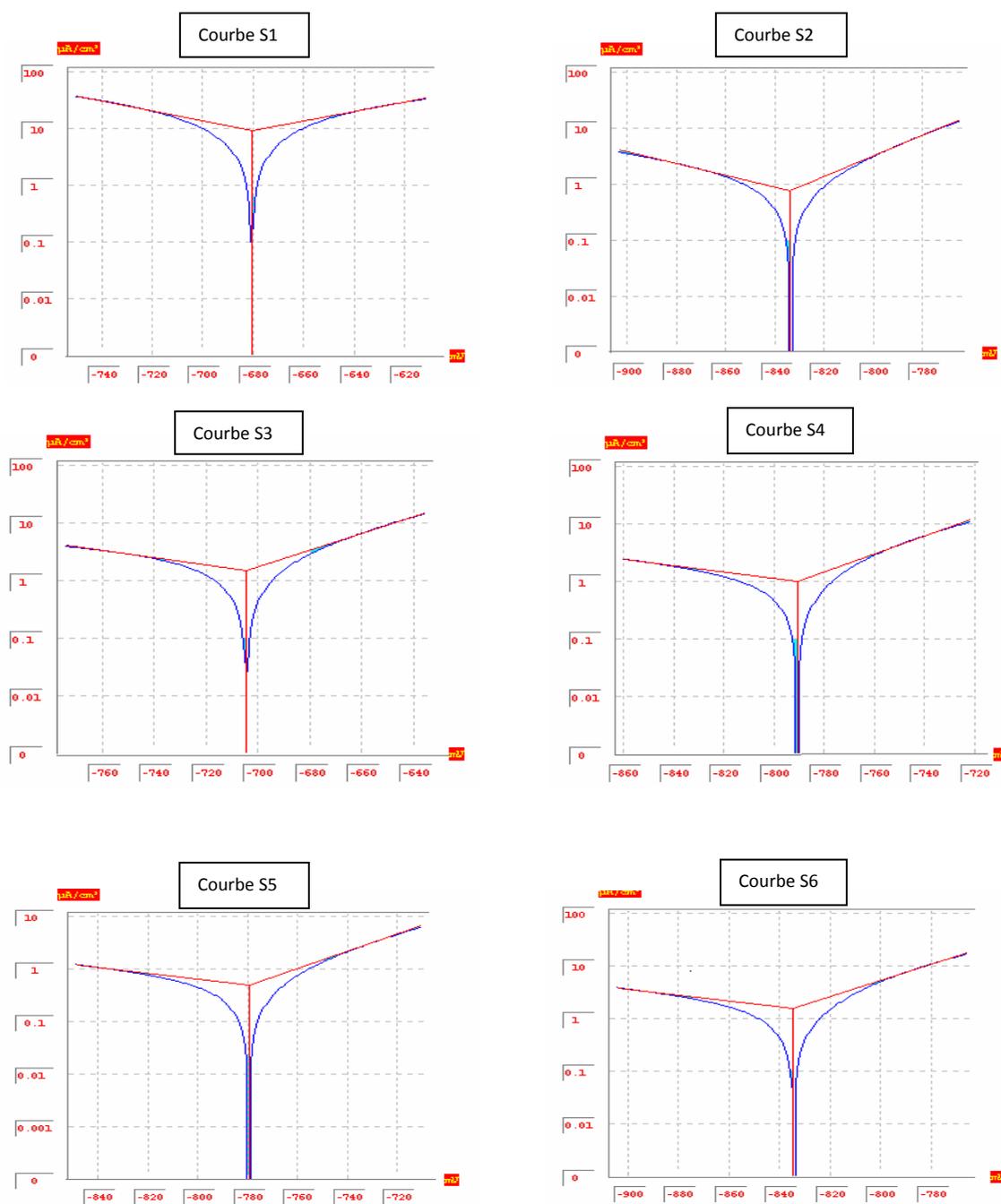


Fig. IV.28 : Courbes de polarisation, acier 14NC14 dans différents milieux (S1, S2, S3, S4, S5 et S6).

Les résultats obtenus d'après les figures (IV.27), (IV.28), confirment que le milieu S1 plus agressive que les autres milieux, mais l'acier 14NC14 résiste mieux à la corrosion.

Par comparaison des résultats obtenus dans ce travail, l'acier 14NC14 résiste à la corrosion, puisqu'on a pu atteindre des taux de corrosion de l'ordre de 0,001 mm/an alors que les taux minimaux obtenus pour l'acier A17 ont été de 0,002 et 0,003 mm/an, c'est-à-dire le taux de corrosion de l'acier 14NC14 est plus faible que celui de l'acier A17.

IV.3. Étude de l'influence du pH sur la corrosivité des aciers A17, 14NC14

Tab. IV.17 : les mesures de pH pour les différents milieux.

milieu	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
<i>pH</i>	8.12	8.22	8.37	9.01	8.87	8.67

a/ Acier A17

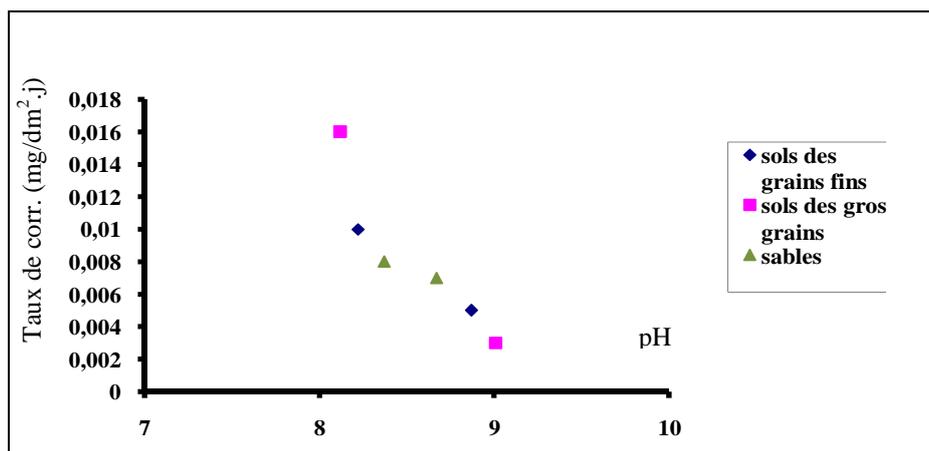


Fig. IV.29 : Variation du taux de corrosion de l'acier A17 en fonction du pH.

b/ Acier 14NC14

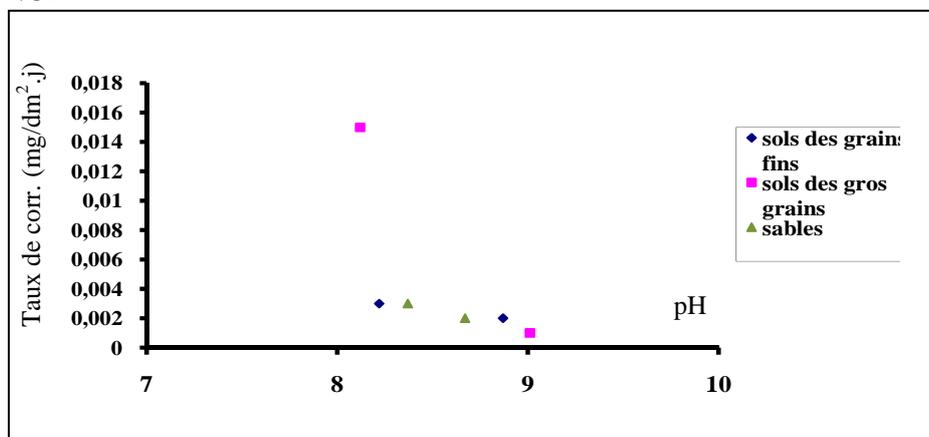


Fig. IV.30 : Variation du taux de corrosion de l'acier 14NC14 en fonction du pH.

Sur les figures (IV.29), (IV.30), sont montrées les courbes du taux de corrosion en fonction du pH. Nous constatons encore que dans les sols à gros grains, le taux de corrosion est très élevé par rapport aux sols à grains fins, car un sol poreux peut retenir l'humidité pendant plus longtemps, ou peut faciliter une aération optimale. Ces deux facteurs tendent à augmenter la vitesse de corrosion initiale. Le problème est peut être cependant plus complexe dans le car où les produits de corrosion formés dans un sol aéré peuvent être plus protecteurs que ceux formés dans un sol non aéré.

IV.4. Étude de l'influence de la conductivité sur la corrosivité des aciers A17, 14NC14

Tab. IV.18 : les mesures de la conductivité pour les différents milieux.

milieux	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
Conductivité (μS)	1992	1945	1921	204	292	1396

a/ Acier A17

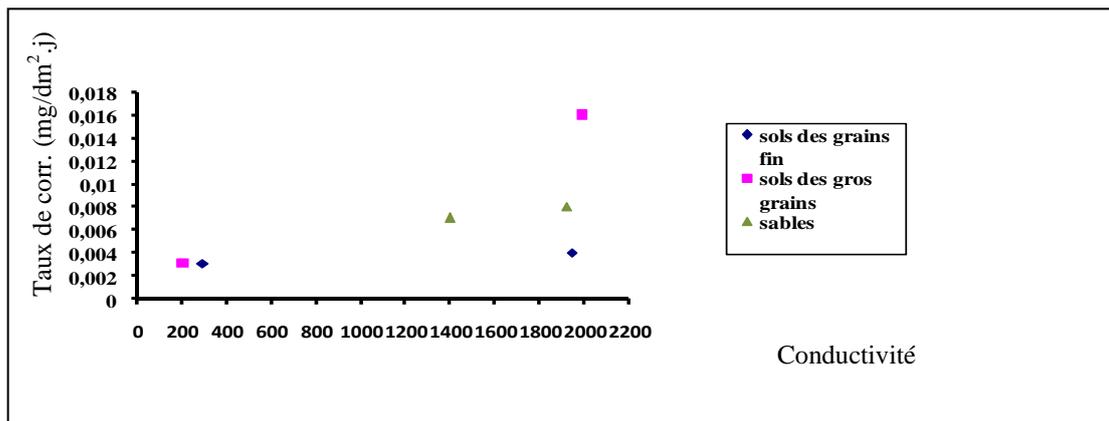


Fig. IV.31 : Variation du taux de corrosion de l'acier A17 en fonction de la conductivité.

b/ Acier 14NC14

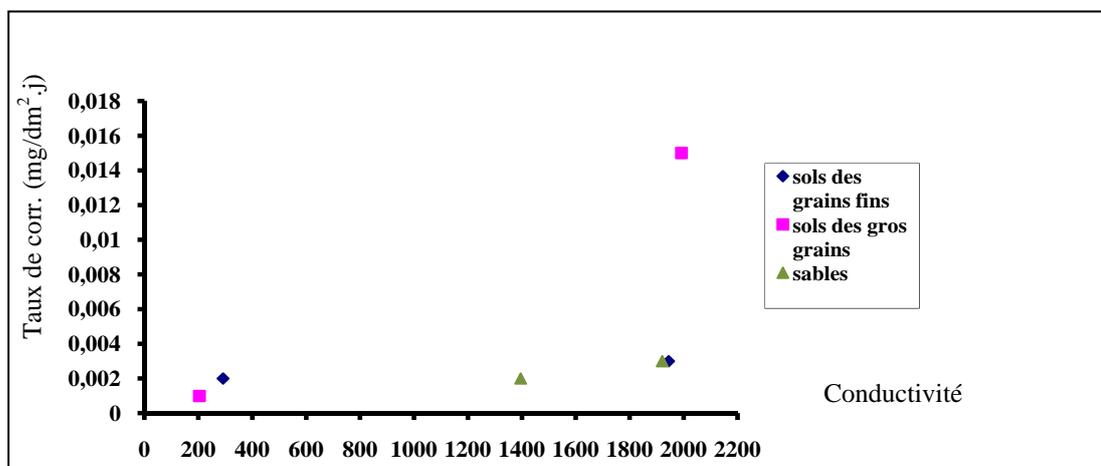


Fig. IV.32 : Variation du taux de corrosion de l'acier 14NC14 en fonction de la conductivité.

D'après les courbes des figures (IV.31), (IV.32) nous constatons que l'augmentation du taux de corrosion dépend de la quantité des sels solubles dans l'eau qui se trouve dans les pores des sols, et présente une mobilité élevée; elle augmente la conductivité et, par conséquent, diminue la résistivité.

Un sol peu conducteur, soit par manque d'humidité, soit par manque de sels dissous ou des deux à la fois, est en général moins corrosif qu'un sol très conducteur. Mais la conductibilité seule n'est pas une preuve suffisante de la corrosivité ; il a été démontré que les caractéristiques de polarisation anodique ou cathodique peuvent également jouer un rôle.

IV.5. Analyse par rayons X

L'analyse par diffractométrie a été réalisée sur sept éprouvettes de l'acier 14NC14, dont l'une d'entre elles représente l'acier tel que reçu, alors que le reste d'entre elles représente celles testées dans les différents milieux.

Nous avons pris le diagramme de diffraction de l'acier 14NC14 non corrodé, comme référence figure (IV.33)

IV.5.1. Epreuve telle que reçue

Tab.19 : Résultats d'analyse du diffractogramme de l'acier 14NC14 brut de livraison.

N° de pic	2θ	I (u.a.)	I (%)	$d_{hkl}=\lambda/2\sin\theta$
1	44.64	168	100	2.027
2	64.8	25	14.88	1.437
3	82.4	46	27.38	1.169

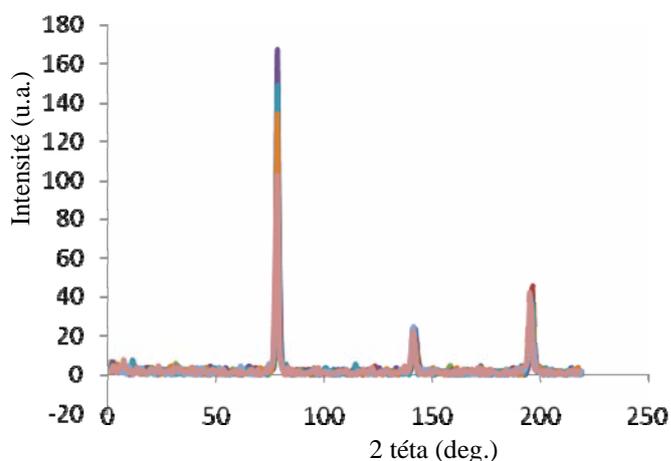


Fig. IV.33 : Diagramme de diffraction de l'acier 14NC14 brut de livraison.

IV.5.2. Eprouvette testée dans le milieu S1

Dans cette étape de notre travail nous exposons les résultats obtenus par diffraction des différentes éprouvettes corrodées dans les différents sols (S1, S2, S3, S4, S5 et S6), pendant une durée de 50 jours.

Tab.20 : Résultats d'analyse du diffractogramme de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S1.

<i>N° de pic</i>	2θ	<i>I (u.a.)</i>	<i>I (%)</i>	$d_{hkl}=\lambda/2\sin\theta$
1	44.64	183	100	2.027
2	64.8	35	19.12	1.437
3	82.08	68	37.16	1.1727

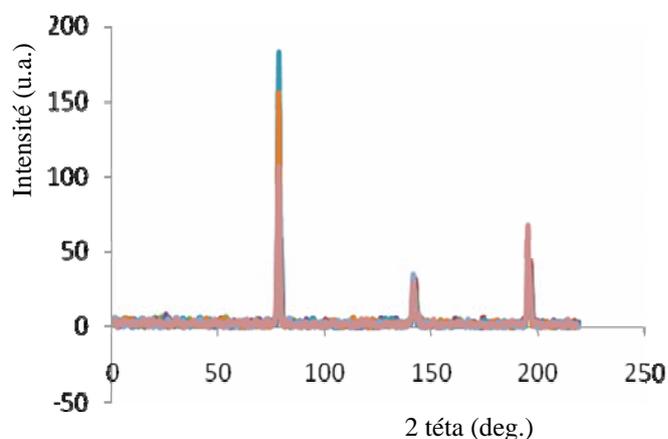


Fig. IV.34 : Diagramme de diffraction de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S1.

IV.5.3. Eprouvette testée dans le milieu S2

Tab.21 : Résultats d'analyse du diffractogramme de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S2.

<i>N° de pic</i>	2θ	<i>I (u.a.)</i>	<i>I (%)</i>	$d_{hkl}=\lambda/2\sin\theta$
1	44.64	121	100	2.027
2	65.12	23	19	1.430
3	82.08	51	42.15	1.1727

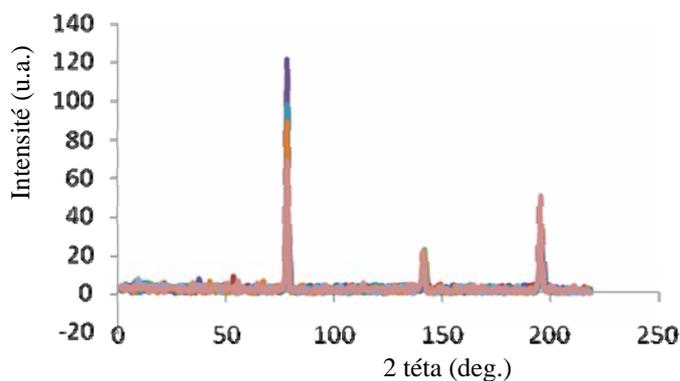


Fig. IV.35 : Diagramme de diffraction de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S2.

IV.5.4. Eprouvette testée dans le milieu S3

Tab.22 : Résultats d'analyse du diffractogramme de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S3.

N° de pic	2θ	$I (u.a.)$	$I (%)$	$d_{hkl}=\lambda/2\sin\theta$
1	44.64	152	100	2.027
2	65.12	25	16.45	1.430
3	82.4	50	32.9	1.169

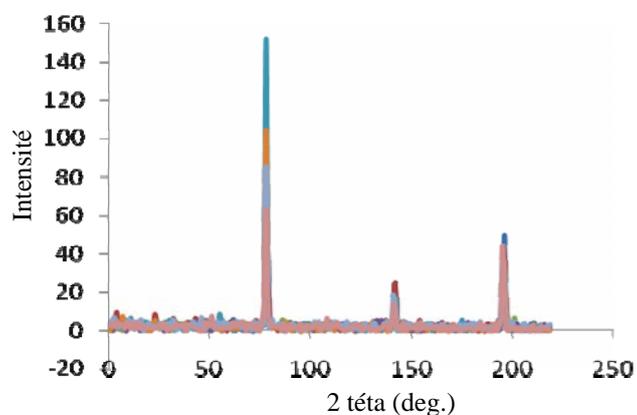


Fig. IV.36 : Diagramme de diffraction de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S3.

IV.5.5. Eprouvette testée dans le milieu S4

Tab.23 : Résultats d'analyse du diffractogramme de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S4.

N° de pic	2θ	$I (u.a.)$	$I (%)$	$d_{hkl}=\lambda/2\sin\theta$
1	44.64	167	100	2.027
2	64.8	31	18.56	1.437
3	82.08	60	35.92	1.1727

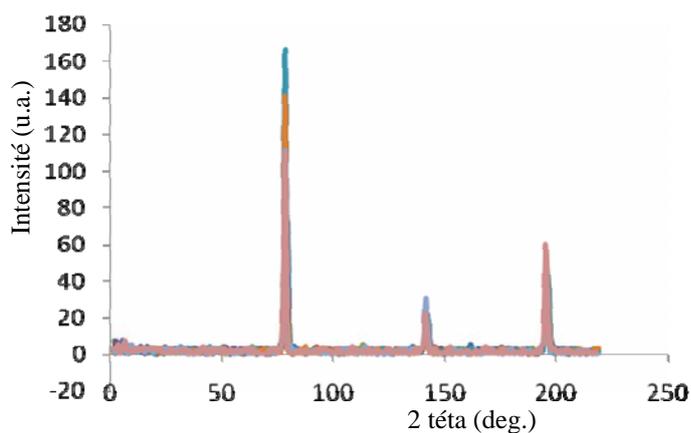


Fig. IV.37 : Diagramme de diffraction de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S4.

IV.5.6. Eprouvette testée dans le milieu S5

Tab.24 : Résultats d'analyse du diffractogramme de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S5.

N° de pic	2θ	$I (u.a.)$	$I (%)$	$d_{hkl}=\lambda/2\sin\theta$
1	44.64	124	100	2.027
2	64.8	28	22.58	1.437
3	82.4	55	44.35	1.169

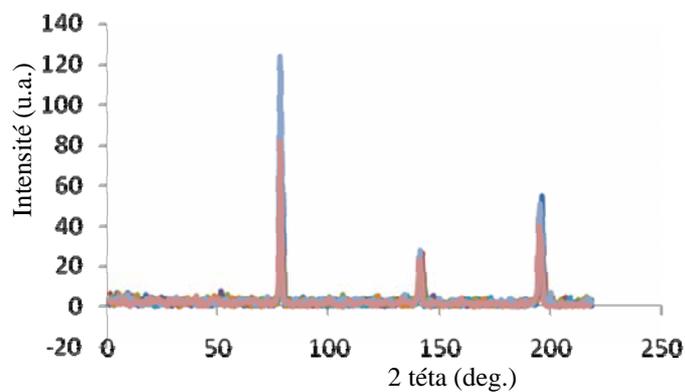


Fig. IV.38 : Diagramme de diffraction de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S5.

IV.5.7. Eprouvette testée dans le milieu S6

Tab.25 : Résultats d'analyse du diffractogramme de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S6.

N° de pic	2θ	I (u.a.)	I (%)	$d_{hkl}=\lambda/2\sin\theta$
1	44.64	117	100	2.027
2	65.12	25	21.36	1.430
3	82.08	39	39	1.1727

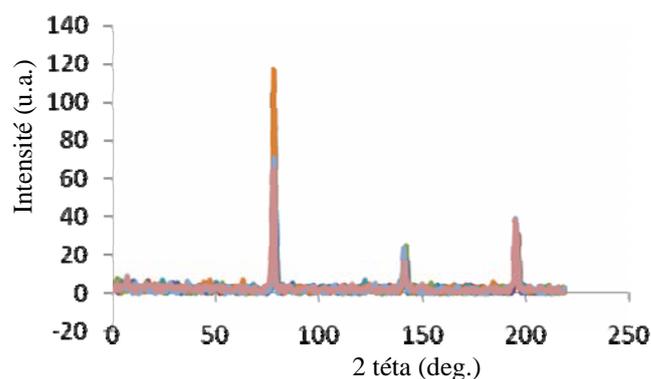


Fig. IV.39 : Diagramme de diffraction de l'acier 14NC14 corrodé dans le milieu S6.

D'après les résultats obtenus figures (IV.34 à IV.39) on remarque que :

- ✓ Les amplitudes du premier pic des intensités obtenues par diffraction, de l'acier 14NC14, corrodé dans les différents milieux (S2, S3, S4, S5 et S6), sont nettement inférieures à celle obtenue pour l'échantillon non corrodé figure (IV.33) ;
- ✓ Par contre, on remarque que l'amplitude du premier pic de l'intensité obtenue par diffraction de l'acier 14NC14, corrodé dans le milieu S1 (sol à gros grains) figure (IV.34) est supérieure à celle donnée par l'échantillon non corrodé figure (IV.33) ;
- ✓ La comparaison des diagrammes de diffraction, des échantillons testés dans les milieux S2, S3 et S6 avec celui de l'échantillon de référence, montre que l'angle de diffraction, donné par le deuxième pic, de ce dernier, figure (IV.33) est inférieur à celui des échantillons testés dans les milieux S2, S3 et S6, figures (IV.35, IV.36 et IV.39). On note, aussi, que l'amplitude de l'intensité donnée par l'échantillon de référence figure (IV.33), est supérieure à celle obtenue pour l'échantillon testé dans le milieu S2 figure (IV.35).

- ✓ On note aussi que la largeur, des raies (pic deux et trois) obtenues à partir des éprouvettes de l'acier 14NC14, corrodées dans les milieux (S1 et S6), est nettement plus importante par rapport à celle de l'échantillon de référence (non corrodé), ceci amène à conclure que ce phénomène est dû :
 - au changement de la taille des grains du aux réactions chimiques dans les différents sols.
 - à la variation du taux de défaut d'empilement.
- ✓ Le pourcentage de l'intensité, des 2^{ème} et 3^{ème} pics obtenus par diffraction de l'acier 14NC14, corrodé dans les six milieux, est nettement supérieur à celui de l'échantillon non corrodé, ce qui implique qu'il y a un élément qui a été déposé sur les échantillons corrodés.
- ✓ D'après les fiches de dépouillement des rayons X (fiches ASTM) en comparaison avec les résultats obtenus, on a trouvé que la couche d'oxyde proposée concerne le Fe(OH)_2 .

Conclusion Général

Conclusion générale

Cette étude sur la corrosion des substrats en acier ordinaire A17, et en acier faiblement allier 14NC14, dans différents sols, montre que la corrosion de ces métaux est influencée par :

- ✓ La porosité du sol;
- ✓ La teneur en oxygène dans l'atmosphère du sol;
- ✓ La teneur en sels ;
- ✓ L'humidité, le pH, la conductivité ;
- ✓ De même nous avons remarqué que les métaux testés résistent assez bien à la corrosion dans les sols fins que dans les sols à gros grains.

Comme perspective nous envisageons l'étude de l'effet des sols acides ou ferriques sur les protections des structures enfouies.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- [1] G. Trabanelli, F. Zucchi, M. Arpaia, Methods of Determination of Soil Corrosiveness with Respect to Metallic Structures, *Chim. Pura Applicata*, III(4), p.p.43–59, 1972.
- [2] C. Ferreira, J.A. Ponciano, Determination of the Soil Corrosivity of Samples from Southeastern Brazilian Region, *EUROCORR*, Holland, Maastricht, 2006.
- [3] Carlos Alberto et al., Evaluation of the Corrosivity of the Soil Through its Chemical Composition, *Science of the Total Environment*, Volume 388, p250, 2007.
- [4] J. Philibert, A. Vignes, Y. Brechet, P. Combrade, *Métallurgie du Minerai au Matériau*, 2^{ème} édition DUNOD, Paris, 2002.
- [5] J. Benard, A. Michel, J. Philibert et J. Talbot, *Métallurgie Générale*, Editions MASSON et C^{ie}, Paris, 1969.
- [6] Collection Uti-Cisco, *La Corrosion des Métaux dans la Construction*, Edition Eyrolles, Paris V^e, 1976.
- [7] Guy Murry, *Aide Mémoire, Métallurgie « Métaux, Alliages, Propriétés »*, DUNOD, Paris, 2004.
- [8] Joseph F.Bosich, *Prévention de la Corrosion*, 2^{ème} Edition, Technique et Documentation-Entreprise Moderne d'Édition, 1977.
- [9] D. Landolt, *Corrosion et Chimie de Surfaces des Métaux*, Edition Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1993.
- [10] J. J. Lamoureux, *Précis de Corrosion*, Edition Beauchemin MASSON, 1994.
- [11] A. Berga, *Eléments de Mécanique des Sols*, Université de Béchar, 2004.
- [12] A. Bouafia, *Mécanique des Sols*, Edition El Maarifa, 2002.
- [13] L L Shreir, Ra Jarman, G T Burstein, *Corrosion Métal/ Environment Reactions*, Third Edition, Butterworth-Heinemann, Volume 1, 1994.
- [14] H. Uhlig, *Corrosion et Protection*, DUNOD, Paris, 1970.
- [15] E. Vrignaud, *la Détérioration des Canalisations Extrait de: le Monde Enterré des Canalisations Publiques. Mém. D.U. "Eau et Environnement"*, D.E.P., Univ. Picardie, Amiens, 1998.

- [16] J. Leconte, Protection des Tuyauteries Contre la Corrosion, Technique de L'ingénieur, Traité Corrosion – Vieillissement, Cor 660.
- [17] P. Morisset, Chromage Dur et Décoratif, Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM), 4^{ème} édition, 1993.
- [18] C. Chaussin, G. Hilly, Métallurgie, Tome I, 2^{ème} Edition, DUNOD, 1976.
- [19] R. Guinebretière, Diffraction Des Rayons X Sur Échantillons Polycristallins, Hermes Science Publications, Paris, 2002.
- [20] J. L. Martin, A. George, Caractérisation Expérimentale des Matériaux II, Première Edition, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 1998.
- [21] M. Maslehuddin et al. Effect of Chloride Concentration in Soil on Reinforcement Corrosion, Construction and Building Materials Volume 21, p1825, 2007.

RESUME :

L'objectif de ce travail, c'est l'étude de l'influence de l'agressivité du sol par les techniques de masse perdue, polarisation, pH et la porosité sur les matériaux A17, 14NC14. Pour une meilleure compréhension de la corrosivité du sol, ont été menées dans des solutions préparées avec les échantillons de sol les analyses suivantes: analyses à l'aide du *spectrophotomètre* à flamme, *spectrophotomètre* à lumière, et analyse chimique, en phase de détermination des ions. Il a été conclu que le nombre d'éléments présents dans la composition du sol est important pour la détermination de la corrosivité d'action de cet environnement.

ABSTRACT :

The objective of this work is the study of the influence of the aggressiveness of the soil through the techniques of mass lost, polarization, pH and porosity on the materials A17, 14NC14. For a better understanding of the corrosiveness of the soil, following analysis were conducted in solutions prepared with soil samples: analysis using the flame *spectrophotometer*, *spectrophotometer* light, and chemical analysis for determining phase ions. It was concluded that the number of elements in the soil composition is important for determining the corrosive action of this environment.

ملخص:

الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير النزعة العدوانية للتربة بواسطة التقنيات التالية: ظاهرة ضياع الكتلة، ظاهرة الاستقطاب، درجة الحموضة ومسامية التربة على المواد A17، 14NC14. من أجل فهم أفضل للتآكل في التربة، أجريت بعض التحاليل وذلك بعد إعداد المحاليل التي يجري إعدادها مع عينات من التربة: التحليل باستخدام مطياف اللهب، مطياف الضوء، والتحليل الكيميائي لتحديد مرحلة الأيونات. استنتج أن عدد العناصر الموجودة في تكوين التربة مهم لتحديد الإجراء الخطير لهذه البيئة.