

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE



DOMAINE : SCIENCES DE LA MATIERE
FILIERE : CHIMIE

MEMOIRE DE MASTER

SPECIALITE : CHIMIE-PHYSIQUE
THEME

**Dimensionnement d'un système de protection
cathodique pour un bac de stockage d'hydrocarbure**

Présenté par : M^{elle} ABDELLI Ferial

Soutenu publiquement, le 05/10/2017 devant le Jury composé de :

M^{me} BENFEDDA-MELLIL Baya	MCA	UMMTO	Présidente
Mr. KADRI Azizi	Professeur	UMMTO	Encadreur
Mr. OULD ALI Smail	Ingénieur	Sonatrach d'Arzew	Co-Encadreur
M^{me} BOUGHRARA-MOHELLEBI Dalila	MCA	UMMTO	Examinatrice

Remerciement

Je remercie Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui ma donnée la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Tout d'abord, J'exprime toute ma reconnaissance envers monsieur le professeur Abdelaziz KADRI, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de m'encadrer, pour ses conseils précieux, ses orientations, et le temps qu'il m'a consacré afin de réaliser ce travail.

Nous remercions vivement les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail: madame Baya BENFEDDA- MELLIL, maitre de conférences A à l'université de Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, pour avoir présidé ce jury; madame Dalila BOUGHRARA-MOHELLEBI maitre de conférences A à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, d'avoir accepté d'examiner ce travail au sein du jury. On leur porte notre profonde reconnaissance pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail.

Je tiens à remercier vivement :

Mon Co-encadreur de stage, Mr Smail OULED ALI, chef de service de technique d'inspection «TI» de la raffinerie d'ARZEW, pour le temps, l'attention, l'intérêt qu'il a bien voulu me témoigner. Ils m'ont donné envie de persévérer dans ce métier pour lequel vous m'avez donné le plus grand respect.

Mr. Mouhamed SARIANE qui m'a offert cette chance d'intégré le monde industriel.

Mr. CHELIH le chef de département de la raffinerie d'ARZEW de m'avoir accueillie au sein du complexe.

Ainsi que tous les employés du département technique de la raffinerie d'ARZEW et plus spécialement ceux du laboratoire métallique, notamment,

Mr. Mokhtar ATTALAH inspecteur de laboratoire métallique.

Mr. DAHOU ingénieur d'inspection technique.

Mr. Miloud HADEFI ingénieur d'inspection des équipements.

Pour l'aide précieuse qu'ils m'ont prodiguée durant tout le déroulement de mon stage pratique.

Enfin, je souhaite remercier mes camarades de stage Fatiha, Ikram, Sadia, Narimane, Mouhend, Youcef pour leurs soutiens.

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes **Parents** pour leur soutien moral, financier et leurs encouragements tout le long de mes études.

A mon **frère** Ghiles.

A mes **amis** ainsi que toute ma famille.

A ceux qui m'aiment, qui font partie de ma vie et qui m'ont tout donné.

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

Chapitre I : Corrosion et protection des métaux

I. Aspects théoriques sur la corrosion électrochimique.....	3
I.1 Introduction	3
I.2 Processus de corrosion [3]	3
I.3 Potentiel d'électrode des métaux	5
I. 4 Diagramme potentiel pH de Pourbaix	5
I.5 Différents types de corrosion	7
I.5.1 Corrosion uniforme	7
I.5.2 Corrosion localisée.....	7
I.5 .3 Corrosion par piqûre	7
I.6. Facteurs de la corrosion	9
I.6.1 Corrosion atmosphérique	9
I.6.2 Corrosion par les sols	9
I.7 Lutte contre la corrosion des sols	10
I.7.1 Protection électrochimique	10
I.7.1.1 Protection anodique	10
I.7.1.2 Protection cathodique.....	10

I.8 Histoire de la protection cathodique (PC).....	12
I.9 Protection par anodes sacrificielles	12
I.9.1 Principe de la protection	12
I.9.2 Densité de courant de protection cathodique	13
I.10 Résistance des éléments	13
I.11 Revêtements associés à la protection cathodique	14
I.12 Comparaison protection cathodique par anodes sacrificielles (PCAS) et par courant imposé (PCCI).....	14
I.12.1 Critères de choix	14
I.12.2 Degré de résistivité (ρ)	14
I.13 Système de protection cathodique par courant imposé.....	15
I.13.1 Réalisation de soutirages [41].....	15
I.13.2 Implantation des postes de soutirage	16
I.13.3 Composition typique d'un poste de	17
I.14 Facteurs de limitation d'efficacité de la protection cathodique	20
I.14.1 Perte d'adhérence des revêtements	20
I.15 L'influence d'une source de courant alternatif	21

Chapitre II : Matériels et méthodes expérimentales

II .1 Introduction	22
II.2 Caractéristiques des sols	22
II .2.1 Résistivité	22
II.2.2 mesure du pH	24
II.3 Contrôle de protection cathodique	25

II. 3.1 Méthode de mesure du potentiel	27
II.4 Outils de détection de pertes de métal (épaisseur)	28
II.5 Dimensionnement d'un bac de stockage	29

Chapitre III : Calculs et Résultats

III.1 Introduction	30
III.2 Calcul de la résistivité du sol	30
III.2.1 Définition de la résistivité du sol.....	30
III.2.2 pH du sol	32
III.3 Les anodes adaptées au sol	33
III.4 Réalisation de déversoirs	34
III.5 Calcul des résistances de terre des déversoirs	35
III.5 .1 Déversoirs horizontaux (rails, profilés,...)	35
III.5.2 Déversoirs verticaux.....	36
Conclusion et perspectives	41

Références bibliographiques

Annexe

Liste des figures

Figure I.1 Processus anodique et cathodique de la corrosion.	3
Figure I.2 Sens de propagation des ions et des électrons	4
Figure I.3 La cellule de corrosion	4
Figure I.4 Diagramme $Fe - H_2O$ à 25 °C [6].....	6
Figure I.5 Diagramme de Pourbaix, simplifié, pour le fer dans l'eau à 25 °C. [6]	7
Figure I.6 Principe de la protection cathodique par anode sacrificielle [27].	11
Figure I.7 Principe de la protection cathodique par courant imposé [31]......	12
Figure I.8 Poste de soutirage.....	17
Figure I.9 Boite de jonction	20
Figure I.10 Schéma de formation d'un décollement cathodique [44].....	21
Figure II.1: Les différents éléments utilisés pour mesurer la résistivité du sol : a) marteau, b) les sondes en aciers inoxydable, c) les câbles de connexion, d) Telluromètre, e) un mètre ruban.....	22
Figure II. 2 a) Piquets reliés par des fils conducteurs aux bornes de l'appareil (telluromètre), b) La méthode de Wenner [47] : (V : voltmètre, a : l'espacement entre les piquets, I : le courant injecté.	24
Figure II.3 Prélèvements de sol de 5 points différents (site d'Arzew).	24
Figure II.4 : pH-mètre utilisé pour mesurer la valeur de pH.....	25
Figure II.5 Electrode de référence $Cu/CuSO_4$ pour l'utilisation dans les sols.....	26
Figure II.6 Voltmètre utilisé pour mesurer le potentiel de PC (Possède une impédance d'entrée élevée)	26
Figure II.7 Méthode de la mesure de potentiel de la protection cathodique.....	27
Figure II.8 : Photographies des différents élémentsutilisés	27

Figure II.9: appareil DM4 avec palpeur pour la prise d'épaisseur à l'ultrasons.....	28
Figure II.10 : exemple d'utilisation d'un gel visqueux sur la pièce et la mesure des épaisseurs par ultrasons.	29
Figure III.1 : Anode sacrificielle en ferro-silicium	33
Figure III.2 Anodes installées horizontalement [43].	34
Figure III.3 Anodes installées vertical [43].	35
Figure III.4 Modèle d'anode en ferro-silicium disposée verticalement [53].	37
Figure III.5 Détermination du facteur de correction en fonction de la distance et du nombre d'anodes [41].	39

Liste des tableaux

Tableau I.1 Potentiels standards de quelques couples redox. [4]	5
Tableau I.2 Taux de corrosion pour différentes valeurs de pH des sols [19].	9
Tableau I. 3 Densité de courant de protection cathodique pour l'acier nu [35].....	13
Tableau I.4 Comparaison entre les deux méthodes de protection cathodique [25,26]	14
Tableau I.5 L'agressivité du milieu en fonction de sa résistivité [38].....	15
Tableau I.6 Anodes utilisées pour la protection cathodique par courant imposé [42].....	18
Tableau III.1 Densités de courant de protection cathodique pour différents sols [51].....	32
Tableau III.2 pH mesurés à différents points du site.....	32
Tableau III.3 Dimensions des anodes en fer-silicium [52].....	34

Introduction générale

Introduction générale

Avec le développement rapide de l'industrie pétrolière, les bacs de stockage jouent un rôle de plus en plus important ce sont des réservoirs de grand dimension servant à stocker le pétrole brut et ses sous-produits (ses dérivés) : le brut de Hassi-Messaoud, des produits finis comme les carburants, les GPL (gaz de pétrole liquéfié) ainsi que les additifs chimiques. Les bacs de stockage sont souvent de forme cylindrique, perpendiculaire au sol avec des fonds plats, et un toit fixe ou flottant.

Le site industriel de la raffinerie d'ARZEW de l'entreprise national « SONATRACH » comporte environ 200 bacs de stockage, des corrosions peuvent être observées à l'intérieur du bac, qui sont dus aux produits contenus dedans, mais aussi à l'extérieur du bac en gardant à l'esprit que la plupart de ces structures sont posées sur le sol ou enterrées. D'une manière générale, les sols contiennent de l'oxygène et de l'humidité ce qui provoque, dans la plupart des cas, une dégradation de ces réservoirs. La résistance des fonds de bac de stockage à la corrosion par le sol dépend principalement de la nature de ce dernier et d'autres facteurs environnementaux, tels que l'humidité et l'oxygène. Ces facteurs peuvent conduire à des variations extrêmes de la vitesse de corrosion.

La corrosion est l'un des problèmes les plus importants dans l'industrie du raffinage de pétrole. La plupart des équipements ne peuvent être réalisés sans tenir compte de l'effet de la corrosion sur leur durée de vie. La dégradation des structures métalliques entraîne un gaspillage important de ressources ce qui nécessite d'appliquer un mode de protection pour réduire ces risques à défaut de pouvoir les éliminer totalement.

Ce travail réalisé, a pour objectif de protéger les structures enterrées. Une attention particulière est portée aux réservoirs gérés par la compagnie nationale Sonatrach, à partir de contexte industriel donné par le service d'inspection de département technique de la raffinerie d'Arzew comprenant des mesures de potentiel et des mesures de résistivité du sol ainsi de pH, ces études a pour but de lutter contre la corrosion extérieur de fond de bac en contact avec le sol.

La protection cathodique offre une précieuse précaution contre la corrosion dans les installations industrielles notamment dans l'industrie pétrolière, les ouvrages hydrolytiques, les installations de transport de gaz et de l'électricité. La protection cathodique demeure l'approche la plus importante de la lutte contre la corrosion.

Introduction générale

Ce mémoire s'articule autour de trois chapitres :

Le premier présente une étude bibliographique sur la corrosion des aciers, en mettant en exergue les différents facteurs provoquant la corrosion ainsi que ces différentes formes et types. Ensuite, les modes de protection électrochimique pour lutter contre ce phénomène ont été décrits avant de donner un aperçu sur les paramètres limitant l'efficacité de la protection cathodique et son contrôle.

Dans le second chapitre, les différents matériels et instruments utilisés dans le cadre de cette étude, ont été présentés.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude des paramètres permettant le contrôle et l'étude de la corrosion dans les sols tels que la résistivité et le pH. Nous présentons enfin un aperçu sur la méthode de calcul pour un système de protection cathodique par courant imposé.

Une conclusion générale complète ce mémoire.

Chapitre I

**Corrosion et protection
des métaux**

I. Aspects théoriques sur la corrosion électrochimique

I.1 Introduction

La corrosion électrochimique est responsable de 97% des cas de corrosion industriels. Elle se produit lorsqu'il existe une hétérogénéité soit dans le métal soit dans le milieu qui l'environne (ou les deux). Cette hétérogénéité va produire une différence de potentiel entre différents points du métal et si ce matériau se trouve dans un milieu électrolysable, il y aura formation de piles qui vont débiter dans la masse métallique car elles sont en court-circuit. Les zones anodiques se corrodent et disparaissent.

La corrosion métallique est une réaction irréversible qui se produit à l'interface métal/environnement corrosif, en présence d'un moteur de corrosion (O_2 , par exemple, est un moteur naturel). La corrosion est un problème majeur car elle détruit un quart de la production annuelle mondiale d'acier, ce qui représente environ 150 millions de tonnes par an ou encore 5 tonnes par seconde. Il faut noter que l'acier est élaboré à partir de minerais de fer et que les réserves sont en nette décroissance à cause de plusieurs facteurs dont la corrosion.

Le degré de corrosivité est en relation avec l'environnement corrosif tels que l'air et l'humidité, l'eau douce, l'eau distillée, l'eau salée, l'atmosphère, les acides minéraux comme l'acide chlorhydrique, les sols et les acides organiques [1,2]. D'une manière générale, les matières minérales sont plus corrosives que les matières organiques. En effet, dans l'industrie pétrolière, par exemple, l'acide chlorhydrique et les eaux sont plus corrosives que le pétrole brut et l'essence.

I.2 Processus de corrosion [3]

Le phénomène de corrosion de l'acier, par exemple, se produit suivant un processus illustré par les étapes suivantes:

➤ Etape 1

La réaction d'oxydation du fer selon:

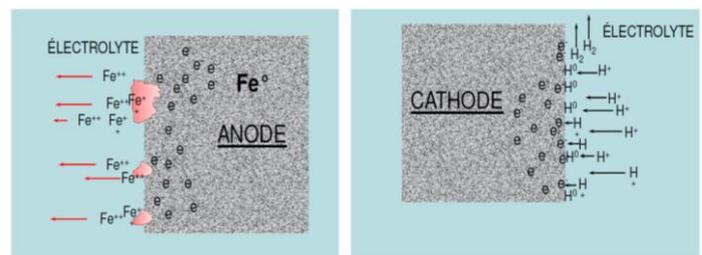
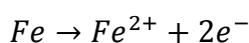
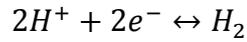


Figure I.1 Processus anodique et cathodique de la corrosion.

➤ Etape 2

La réaction de réduction du proton en milieu acide



➤ Etape 3

Le transfert d'électron de l'anode vers la cathode tandis que pour les ions, les anions se déplacent vers l'anode et les cations vers la cathode comme l'illustre le schéma suivant.

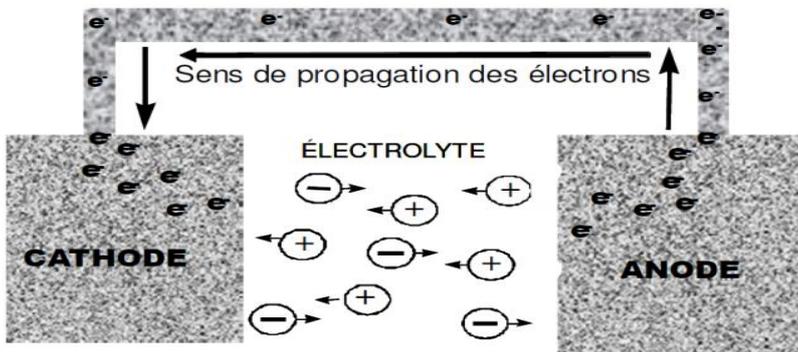


Figure I.2 Sens de propagation des ions et des électrons.

➤ Etape 4

On distingue des sites anodiques et des sites cathodiques dans une cellule de corrosion.

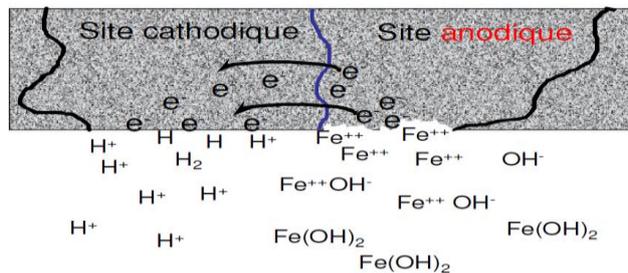


Figure I.3 La cellule de corrosion.

I.3 Potentiel d'électrode des métaux

Le Tableau I.1 présente quelques couples redox avec leurs potentiels standards exprimés en volts par rapport à l'électrode standard à hydrogène.

Couple redox	Equation redox	E^0 (V/ESH)
Cu^{2+}/Cu	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$	0,342
Fe^{2+}/Fe	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}$	-0,447
H^+/H_2	$\text{H}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{H}_2$	-0,00
$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2$	$2\text{H}_2\text{O} + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	-0,828
Mg^{2+}/Mg	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}$	-2,37
$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	1,229
Pb^{2+}/Pb	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}$	-0,126
Zn^{2+}/Zn	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}$	-0,76

Tableau I.1 Potentiels standards de quelques couples redox [4].

I. 4 Diagramme potentiel pH de Pourbaix

Il nous permet d'étudier l'aspect thermodynamique de la corrosion pour mieux comprendre le comportement d'un métal dans un milieu aux différentes valeurs de pH et en fonction du potentiel. On peut prévoir ainsi les réactions thermodynamiquement possibles. Le diagramme potentiel-pH d'un système *Matériau – H₂O* est tracé à $T = 25^\circ\text{C}$ et une pression totale constante de 1 bar. Le diagramme $E - pH$ présente plusieurs domaines caractéristiques de chacune des espèces susceptibles d'exister [5].

- Domaine de stabilité : le métal est stable et inattaquable.
- Domaine de prédominance: la concentration en espèces dissoutes est supérieure à $10^{-6} \text{ mol. L}^{-1}$.
- Domaine d'existence : le métal est recouvert d'une couche d'oxyde qui peut le protéger de la corrosion.

La Figure 3 présente le diagramme $E - pH$ de Pourbaix du système ($Fe - H_2O$) à $25^\circ C$.

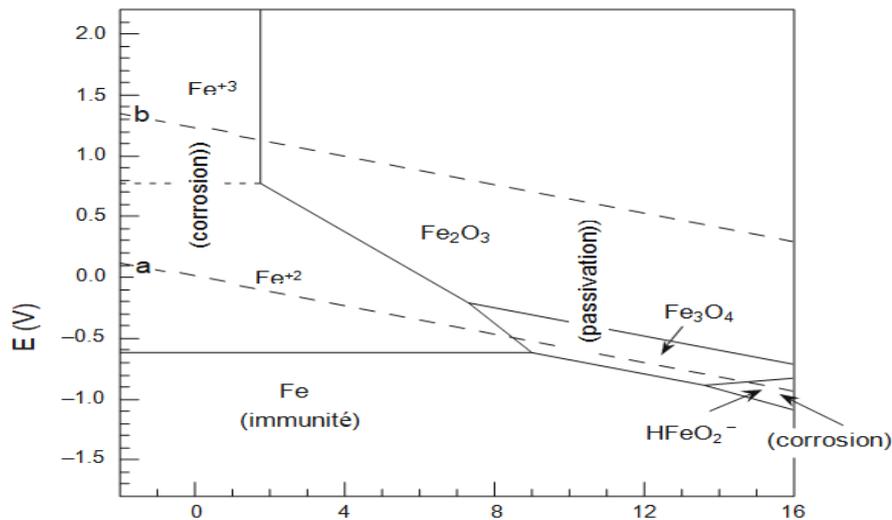


Figure I.4 Diagramme $Fe - H_2O$ à $25^\circ C$ [6].

Pour protéger le fer contre la corrosion on peut procéder de 3 manières différentes [6] :

- 1) On déplace le potentiel de Fe vers des valeurs plus négatives ($E_{Fe} < -0.7 V/ESH$). Le matériau se trouvera alors dans le domaine d'immunité (Figures 3 et 4). C'est la **protection cathodique**.
- 2) On déplace le potentiel de Fe vers des valeurs plus noble que son potentiel d'équilibre ($E_{Fe} > 0 V/ESH$), le fer sera protégé par une couche d'oxyde. C'est la **protection anodique**.
- 3) On alcalinise le milieu en ramenant, par exemple, le pH dans le domaine ($pH \geq 8$). Le fer se retrouve alors dans un domaine de potentiel correspondant à la **zone de passivation** (Figures I.3 et I. 4).

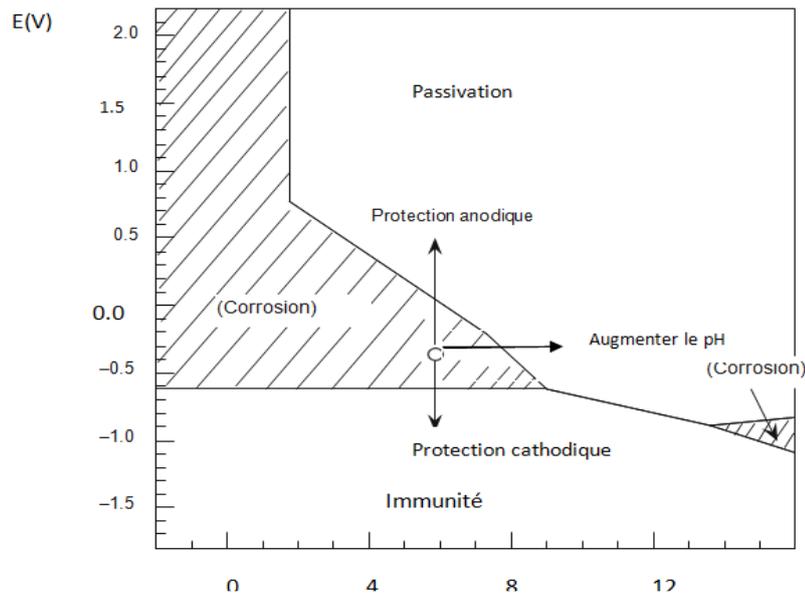


Figure I.5 Diagramme de Pourbaix, simplifié, pour le fer dans l'eau à 25 °C [6].

I.5 Différents types de corrosion

Dans les paragraphes suivants, nous présentons un bref aperçu sur les différents types de corrosion auxquels sont sujets les matériaux métalliques lorsqu'ils sont en contacts d'environnements agressifs.

I.5.1 Corrosion uniforme

La corrosion uniforme est la plus courante ; elle se produit d'une manière uniforme sur toute la surface du métal. En présence d'un moteur de corrosion, le métal subit une dissolution; Autrement dit, une perte de matière [7].

I.5.2 Corrosion localisée

Contrairement à la corrosion uniforme, le matériau se corrode localement. Autrement dit, certaines parties de la surface du métal sont plus actives que les autres. Ce type de corrosion est dû à l'hétérogénéité du matériau ou bien à une modification de la concentration locale [8].

I.5.3 Corrosion par piqûre

La corrosion par piqûres est une attaque très localisée du métal qui résulte des conditions de corrosion locales spécifiques. La piqûre constitue ainsi une anode, le reste de la surface joue le rôle de cathode. La petite surface de l'anode et la grande surface de la cathode

provoque un courant de forte intensité du côté anode et ainsi une vitesse de corrosion élevée. En fait, ce type de corrosion apparaît particulièrement sur les métaux et alliages qui peuvent être passivés comme l'acier inox, l'aluminium exposés à un environnement aqueux chloruré [9].

I. 5. 4 Corrosion caverneuse

La corrosion caverneuse (corrosion par effet de crevasse) comme la corrosion par piqûre sont des phénomènes mettant en jeux des processus électrochimiques complexes liés notamment à des paramètres géométriques (existence de zone confinées) et métallurgiques (inclusions, précipités). Ces processus se produisent surtout à la surface de métaux résistant à la corrosion telle que les aciers inox. L'amorce de l'attaque est directement liée au film passif et à sa rupture localement [10].

I.5.5 Corrosion intergranulaire

La corrosion intergranulaire correspond à une dissolution préférentielle des zones d'émergence des joints de grains à la surface des matériaux mis en présence d'environnement agressifs. Les cas de corrosion intergranulaire sont nombreux et variés, elle se rencontre dans les aciers inoxydables dans la plupart des cas elle est causée par le dépôt de carbures de chrome sur les joints de grains qui appauvrissent les zones adjacentes chromées et les rendent plus sensibles à la corrosion [11, 12].

I.5.6 Corrosion galvanique

La corrosion galvanique dite aussi corrosion bimétallique a pour origine un contact entre deux métaux différents, reliés électriquement, immergés dans une solution aqueuse. On aura la formation d'une pile où le métal le moins noble est l'anode (siège d'une réaction d'oxydation: dissolution du métal) ; le métal le plus noble est la cathode (siège d'une réaction de réduction) [13].

I.5.7 Corrosion filiforme

Elle est décrite pour la première fois en 1940, cette forme de corrosion est spécifique aux métaux peints (revêtement protecteur). L'attaque est superficielle dont l'origine est les défauts de revêtement (rayures) et des points faibles (arêtes, bords,...). Elle se propage à l'interface métal/revêtement en formant des filaments d'environ 0.1-0.5 mm de large et de quelques millimètres de long [14, 15].

I.6 Facteurs de la corrosion

I.6.1 Corrosion atmosphérique

Lorsqu'un métal ou bien un alliage est exposé à l'air libre; il est en contact direct avec l'atmosphère. L'humidité et la composition de l'atmosphère déterminent le degré de corrosivité de cette dernière [16, 17].

La corrosion atmosphérique existe sous plusieurs types (rural, urbain, industriel, marine) qui sont distingués selon le taux de corrosivité qui dépend du milieu [18].

I.6.2 Corrosion par les sols

La corrosion dans le sol est aqueuse donc elle dépend de la teneur en eau ou en humidité. L'hétérogénéité du sol peut engendrer une différence de potentiel du métal en contact avec le sol et le passage de charge à travers l'interface métal-sol, par conséquent l'apparition des zones cathodique et anodique. Le mécanisme de cette réaction est électrochimique. L'aération différentielle, la différence de pH dans le sol ($6 < pH < 9$) ou la différence de concentration de sel (NaCl) conduisent à la formation d'une pile de corrosion. La corrosion augmente avec la conductivité du sol (en effet, pour des valeurs de conductivité élevées la corrosion sera plus sévère) [18].

Caractéristique de sol	Valeur de pH	Taux corrosion
Excrément acide	Inférieur à 4.5	Très forte corrosion
Acide très fort	4,5-5,0	
Acide fort	5,1-5,5	
Acide moyen	5,6-6,0	
Acide faible	6,1-6,5	
Neutre	6,6-7,3	
Alcalinité moyenne	7,4-7,8	Corrosion faible
Modérément alcalin	7,9-8,4	
Forte alcalinité	8,5-9,0	
Très forte alcalinité	9,1 est plus	Corrosion très élevée

Tableau I.2 Taux de corrosion pour différentes valeurs de pH des sols [19].

I.7 Lutte contre la corrosion des sols

On se limitera, dans les paragraphes suivants, à évoquer la protection électrochimique (anodique et cathodique), la protection cathodique, la protection cathodique par courant imposé et par anodes sacrificielles et la protection anodique.

I.7.1 Protection électrochimique**I.7.1.1 Protection anodique**

La protection anodique est surtout utilisée dans la protection des métaux passivables tels que Ti, Cr, FeCr, FeCrNi. Dans le principe, cela consiste à déplacer le potentiel du métal, dans le domaine correspondant à sa zone de passivation, par une polarisation en direction anodique. De ce fait, une couche d'oxyde plus ou moins conductrice protège la surface de la corrosion. Ce mode de protection est utilisé pour les réservoirs métalliques destinés au stockage des acides [20, 21].

I.7.1.2 Protection cathodique

Elle consiste à ramener le potentiel du métal dans la zone correspondant à son domaine d'immunité. Autrement dit, on applique une polarisation en direction cathodique. Elle peut être réalisée par deux méthodes soit par anode sacrificielle ou bien par courant imposé. On reviendra en détail sur ces deux techniques de protection [22, 23].

Chaque structure à protéger possède un système spécifique de protection cathodique soit par anode sacrificielle ou bien par courant imposé. Le choix est défini sur la base des critères suivants [24, 25, 26] :

L'environnement de la structure ; le potentiel de la conduite ; la géométrie de l'anode et de la cathode ; l'espacement entre l'anode et la cathode ; la conductivité de l'électrolyte

a) Protection par anodes sacrificielles**• Principe de la protection**

Le principe de cette méthode de protection consiste en l'association deux métaux qui présentent des valeurs de potentiel différentes où l'un est plus noble que l'autre, plongés dans un milieu conducteur (eau ou sol). Les deux métaux sont reliés par un conducteur électrique. Le métal le moins noble appelé anode réactive ou bien sacrificielle va se corroder, l'autre est

la structure est protégée, en créant un système galvanique. Al et le Zn sont utilisés pour protéger l'acier dans l'eau de mer, et le Mg est utilisé dans les sols et l'eau douce [27,28].

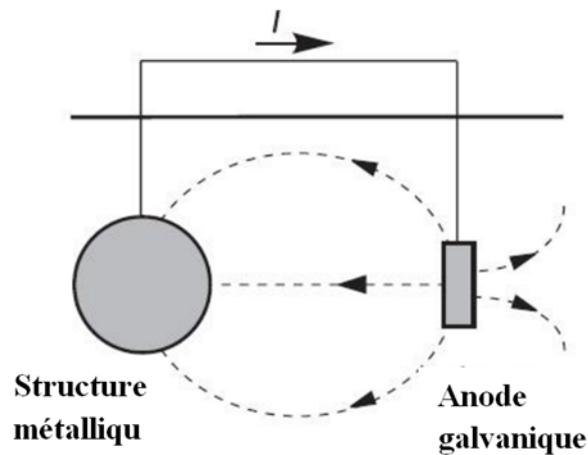


Figure I.6 Principe de la protection cathodique par anode sacrificielle [27].

- Choix des anodes sacrificielles

Les anodes sacrificielles doivent satisfaire aux conditions suivantes [29] :

- ❖ un potentiel d'électrode suffisamment négatif pour pouvoir polariser rapidement le matériau à protéger,
- ❖ ne doit pas se polariser lors du passage du courant,
- ❖ se corrode de manière uniforme dans le milieu considéré,
- ❖ une bonne conductibilité électrique et une bonne résistance mécanique,
- ❖ un coût économiquement supportable.

Dans la pratique, trois matériaux satisfont à ces critères. Il s'agit du zinc, de l'aluminium, et le magnésium. De nombreux alliages à base de ces matériaux sont largement utilisés comme anodes sacrificielles.

b) Protection cathodique par courant imposé

• Principe de la Protection cathodique par courant imposé

Il s'agit essentiellement de fixer un potentiel de protection cathodique pour lequel le métal se trouve dans sa zone d'immunité. Pour ce faire, on impose un courant continue à l'aide d'un générateur dont le pôle négatif est relié à la structure à protéger (la cathode) et le

pôle positif est relié à l'anode. On utilise des anodes nobles : graphite, fer enrichi de silicium, notamment pour la protection des conduites enterrées [30].

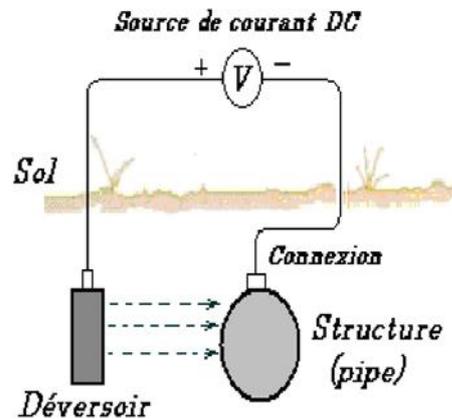


Figure I.7 Principe de la protection cathodique par courant imposé [31].

I.8 Histoire de la protection cathodique (PC)

La protection cathodique a été appliquée pour la première fois en 1824, lorsque Humphry Davy a protégé les coques de cuivre contre la corrosion marine par des anodes en fer, dans un projet financé par la marine Britannique. En effet, la PC est efficace pour la protection des navires qui a été décrite dès 1950 par la marine canadienne. La première utilisation de la protection cathodique par courant imposé pour protéger les structures souterraines, a été réalisée en Angleterre et aux Etats-Unis ente 1910-1912. Actuellement, la protection cathodique est largement utilisée dans divers domaines tels que les pipelines enterrés, les condenseurs, les réservoirs d'eaux, les équipements chimiques [32].

I.9 Critères de la protection cathodique

I.9.1 Potentiels de protection cathodique

Il s'agit d'appliquer un potentiel inférieur au potentiel de protection tel que la vitesse de corrosion soit réduite : $E \leq E_{prot}$

Le potentiel de protection cathodique est donné par l'équation de Nernst :

$$E_{prot} = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln 10^{-6}$$

A température ambiante (25°C), cette expression devient :

$$E_{prot} = E^{\circ} - \frac{0.354}{n} (V)$$

Il est admis et standardisé que le seuil de potentiel de PC pour l’acier enterré est de $-0.85 V/E_{Cu/CuSO_4}$ en milieu aéré. En revanche, pour les sols désaérés celui-ci est $-0.95 V/E_{Cu/CuSO_4}$, ces valeurs ont été mesurées par rapport à une électrode de sulfate de cuivre[33].

I.9.2 Densité de courant de protection cathodique

Au préalable, il faut garder le métal dans sa zone de stabilité où la structure est protégée. Pour ce faire, il faut obtenir un potentiel de protection en appliquant un courant appelé densité de protection cathodique. La protection cathodique n’est économique que dans les eaux, les sols et le béton [34].Le Tableau I. 2 présente quelques valeurs de la densité de courant de PC pour l’acier nu en contact de différents environnements.

L’environnement	mA/m ²
Sol neutre	4,5-16
Sol neutre bien aéré	21,5-32
Sol très acidifié	32-160
Sol à base de sulfate	65-450
Sol chauffé	32-270
Eau douce stationnaire	11-65
eau douce oxygénée, En mouvement	54-160
Eau de mer	32-110

Tableau I. 3 Densité de courant de protection cathodique pour l’acier nu [35].

I.10 Résistance des éléments

Pour le dimensionnement d’un système de protection cathodique, on doit prendre en considération la résistance électrique des éléments qui le constituent. Le courant électrique se localise généralement autour des anodes. On à ce qu’on appelle « la résistance d’anode », la résistance de l’électrolyte doit être évaluée [36].

I.11 Revêtements associés à la protection cathodique

Les revêtements offrent une protection passive qui nécessite à une protection active dans le but d'arrêter la corrosion dans les zones de décollement du revêtement. Les revêtements doivent répondre aux exigences suivantes [34]:

- diminuer les besoins en courant,
- assurer une polarisation plus rapide,
- assurer une portée de la protection cathodique dans des zones à géométrie complexe,
- assurer une meilleure répartition du courant sur la structure,
- réduire le coût global de la protection.

Le revêtement protecteur doit avoir une bonne adhérence mais ne doit pas avoir d'effet corrosif sur la structure à protéger [37].

I.12 Comparaison protection cathodique par anodes sacrificielles (PCAS) et par courant imposé (PCCI)

I.12.1 Critères de choix

Le Tableau I.3 donne les caractéristiques d'un système de protection cathodique pour chaque mode de protection.

	PCAS	PCCI
Installation	Simple	complexe
Maintenance	pas de maintenance	Nécessite une maintenance
Source externe	Non	Oui
Tension de conduite	fixe	variable
Courant requis	Limiter et faible	Variable et élevée
Conductivité du sol	Elevée	Large gamme
		Problèmes possibles : courant parasité (corrosion) Décollement du revêtement.

Tableau I.4 Comparaison entre les deux méthodes de protection cathodique [25,26].

I.12.1 Degré de résistivité (ρ)

Résistivité du sol en $\Omega.cm$	Corrosivité du sol
Inférieure à 500	Très sévère
500 à 2000	Sévère
2000 à 5000	Haute

5000 à 10 000	Modérée
10 000 à 25 000	Moyenne
25 000 à 50 000	Légère
Supérieure à 50 000	Faible

Tableau I.5 L'agressivité du milieu en fonction de sa résistivité [38].

- Les sols de plus faible résistivité se révèlent plus corrosifs que des sols de haute résistivité.

$$C=1/\rho$$

Haute résistivité → conductivité petite

Le système de protection cathodique par courant imposé présente des avantages et des inconvénients. En effet, pour une structure équipée d'une protection cathodique par courant imposé on peut citer les avantages suivants [39 ,40] :

- La possibilité de protéger une grande surface.
- Peu d'anodes, même dans des environnements à haute résistivité.
- Protège les structures mal revêtues.
- Le plus avantageux pour les grandes structures à long terme.
- Convient pour les milieux ayant une faible conductivité.
- Le courant est contrôlable.

Par ailleurs, ce système de protection présente néanmoins certains inconvénients tels que [40]:

- o Le risque de la rupture des revêtements.
- o Besoin d'une alimentation en courant continue.
- o Exige un système de surveillance.

I.13 Système de protection cathodique par courant imposé

I.13.1 Réalisation de soutirages [41]

La protection cathodique par courant imposé est reliée aux paramètres suivants:

- ✚ La densité de courant de protection.
- ✚ Les caractéristiques du générateur.

✚ Densité de courant de protection

C'est par définition l'intensité du courant par unité de surface qui doit circuler dans le circuit. Les critères suivants doivent être respectés:

- La qualité d'isolement du revêtement.
- L'agressivité du milieu environnant.

✚ Caractéristiques du générateur

Le débit d'un générateur est défini par la loi d'ohm :

$$I = \frac{U}{R}$$

Où U est la tension de la source continue et R la résistance du circuit.

La tension U est, en général, située dans la catégorie des très basses tensions (TBT), $U < 50V$. Dans certains cas, la tension délivrée par le générateur de courant peut être supérieure à la limite de la TBT. L'installation de protection cathodique est soumise à la réglementation concernant les installations électriques. La résistance du circuit est, dans la plupart des cas, liée à la résistance des anodes. Il est important que la résistance de masse anodique soit aussi faible que possible, particulièrement pour les revêtements à forte valeur d'isolement où la résistance de la structure en contact avec le sol n'est pas négligeable.

I.13.2 Implantation des postes de soutirage

L'implantation d'un poste de soutirage doit tenir compte des paramètres suivants:

- Possibilité d'occupation du sol,
- Terrain de faible résistivité,
- Disponibilité et coût d'alimentation en énergie électrique,
- Facilité d'accès,
- Evité de mettre un poste de soutirage à l'extrémité d'une conduite.

I.13.3 Composition typique d'un poste de soutirage

Un poste de soutirage de protection cathodique par courant imposé est un appareil fournissant le courant nécessaire pour atteindre le potentiel de protection, il est constitué par :

- a. Une source d'énergie ;
- b. Un déversoir ;
- c. Des câbles de liaison ;
- d. Un appareillage électrique auxiliaire.



Figure I.8 Poste de soutirage.

a) Source d'énergie

La source d'énergie comprend les éléments suivants :

- Réseau local de distribution,
- Panneaux photovoltaïques qui fournissent une énergie électrique utilisée pour la PCCI,
- Générateurs thermoélectriques,
- Eoliennes.

Avec la possibilité d'utilisation des piles à l'avenir comme les piles au lithium.

b) Déversoir (masse anodique)

C'est un conducteur électrique, dont la fonction est d'injecter un courant dans l'environnement dans lequel se trouve la structure à protéger. La résistance de la masse anodique en contact avec le sol doit être très faible et sa masse est calculée pour déterminer la durée de vie de la protection.

Les anodes les plus utilisées pour la protection cathodique par courant imposé sont données dans le Tableau I.4

Les anodes	Fer	Ferro-silicium			Graphite			Magnétite
Longueur(m)	1m	0.5	1.2	1.5	1	1.2	1.5	0.9
Diamètre (m)	0.3 0.13	0.04	0.06	0.075	0.06	0.06	0.08	0.04
Poids(Kg)	56	16	26	43	5	6	8	6
Densité (g/cm^3)	7.8	7	7	7	2.1	2.1	2.1	5.18
Perte pratique sans l'utilisation de backfill	10	0.2 à 0.3			1	1	1	0.002
Perte pratique avec backfill	5	Ca 0.1			Ca 0.2 à 0.5			
La durée de vie 1 A par anode sans backfill (année)	5	50	80	140	5	6	8	200
La durée de vie 1 A par anode avec backfill (année)	10	160	260	430	10	12	16	
Risque	Aucun	Modérer			Elever			Modérer
Site d'installation recommandé	L'installation des anodes avec backfill dans des sols faiblement conducteurs, très économique	Principalement utilisé pour les anodes par courant imposé avec une longue durée de vie, également sans backfill			Sols agressifs et solutions aqueuses également sans backfill, relativement économique			Sols eau de mer

Tableau I.6 Anodes utilisées pour la protection cathodique par courant imposé [42].

c) Câbles de liaison

Les câbles à gaine métallique sont évitables, il est préférable d'utiliser des gaines non métalliques telles que le PVC qui est le plus utilisable dans l'industrie. Il est généralement conseillé d'utiliser des câbles d'une section minimale de 25 mm^2 pour réduire le phénomène de la chute de tension et de chauffage des câbles.

La sortie de courant de l'anode à la structure désirée pour être protégée à travers le câble, peut provoquer une répture de l'isolant qui entoure le câble dans ce cas le métal du câble se comportera comme une anode

d) Appareillage électrique auxiliaire

- **Appareils de coupure**
- **Appareils de protection** : un disjoncteur doit être installé pour la protection du poste de soutirage contre les surcharges.
- **Appareils de mesure**

Les appareils de mesure nous donnent les informations suivantes:

- Tension d'alimentation,
 - Tension d'utilisation,
 - Intensité débitée,
 - Potentiel de la structure,
 - Temps de fonctionnement,
- **Boite de jonction**

Le fil positif du rectificateur (redresseur) est relié aux anodes par une boîte de jonction (Figure I.7), elle permet de surveiller la mesure de courant aux anodes [43].



Figure I.9 Boite de jonction.

I.14 Facteurs de limitation d'efficacité de la protection cathodique

I.14.1 Perte d'adhérence des revêtements

Le phénomène de décollement cathodique a été décrit par un mécanisme à trois étapes [44], avec une exigence que le revêtement ne soit pas étanche. Principalement ce phénomène est applicable pour les revêtements suivants :

Les revêtements minces et perméables : le dioxygène dissous et les molécules d'eau sont transportés à la surface du métal qui est considéré comme une étape indispensable. En premier lieu, l'eau et le dioxygène dissous pénètrent dans le revêtement engendrant un processus de réduction de ces espèces à l'interface métal-solution. La dernière étape traduit la rupture de la liaison métal-revêtement.

Les revêtements épais et quasi perméables : dans ce cas, la première étape n'existe pas. En présence de défauts ouverts, il y a un contact direct entre les agents corrosifs et la surface du métal. Dans la zone de contact, il se produit la réduction du dioxygène dissous et la formation des ions OH^- . L'augmentation locale du pH va provoquer la détérioration de la liaison entre le métal et le revêtement et donc la perte d'adhérence de ce dernier.

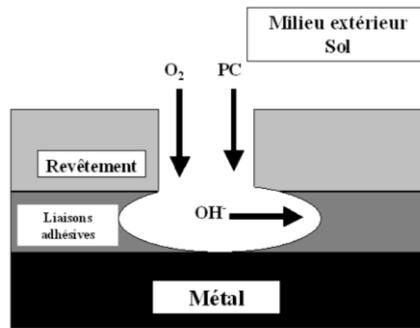


Figure I.10 Schéma de formation d'un décollement cathodique [44].

I.15 L'influence d'une source de courant alternatif

Dans un système de protection cathodique le courant continu se propage du déversoir, à travers le sol, vers la cathode. Cependant, si ce courant, dans son chemin, croise une structure métallique il sera capté par cette dernière. La décharge de ce courant, sur un point de la structure, provoquera une réaction de dissolution (formation d'ions M^{n+}). Autrement dit, la structure se comporte comme une anode. Le courant qui s'écoule à l'intérieur de la structure métallique s'appelle le courant vagabond ou bien le courant parasite. Les courants vagabonds proviennent des systèmes à courant continu tels que l'ascenseur, le train électrique, etc [45].

La corrosion par courant alternatif peut se produire sur des structures protégées cathodiquement. Plusieurs défaillances de pipelines sous protection cathodique sont causées par le courant ac. En 1986, une enquête Allemande autour d'une défaillance provoquée par la corrosion par un courant ac a révélé un phénomène de corrosion par piqûres avec des taux trop élevés malgré les valeurs d'intensité de courant de protection entre 1.5 et $2 A/m^2$ et des potentiels de protection entre -1.8 et $-2 V$. Ils ont noté que le taux de corrosion croît avec de grandes valeurs de densité de courant ac. Ils ont également démontré que l'absence de courant ac ou bien les faibles densités de courant alternatif moins de $20 A/m^2$ l'acier est protégé pour un potentiel de $-0.95 V/E_{Cu/CuSO_4}$. En revanche, pour des valeurs de densité de courant ac supérieures à $20 A/m^2$ le potentiel de protection cathodique doit être déplacé vers des valeurs plus négatives [46].

Chapitre II

Matériels et méthodes expérimentales

II .1 Introduction

Les paragraphes suivants donnent un aperçu sur les matériels utilisés pour la mesure de la résistivité des sols, le pH ainsi que les méthodes employées pour le contrôle de la protection cathodique et la détection de la corrosion.

II.2 Caractéristiques des sols**II .2.1 Résistivité**

La résistivité est l'un des critères qui caractérise le sol. Elle indique à quel point celui-ci résiste à l'écoulement de courant électrique. La valeur de la résistance du sol peut varier selon l'humidité, la température et la composition chimique. Habituellement, les mesures relevées sur le terrain varient de $1 \Omega.m$ à $100 \Omega.m$. Cependant, on relève parfois des valeurs exceptionnelles de $1 \Omega.m$ qui vont jusqu'à $10\,000 \Omega.m$.

Différentes méthodes permettent l'accès à cette mesure (voir annexe 5). On peut citer celle de Wenner (la plus fréquemment utilisé dans l'industrie) et Schlumberger. Nous avons utilisé la méthode de Wenner, dite aussi la méthode des quatre piquets[47,48]. La mesure de la résistance du sol, nécessite les matériels suivants:

- un marteau.
- Des sondes d'acier inoxydable
- Des fils conducteurs.
- Une Telluromètre.
- Mètre ruban.

Telluromètre

Le Telluromètre appelé aussi le contrôleur de terre nécessite deux prises de terre auxiliaires dont la valeur de la résistance n'influe pas sur la précision de la mesure. La source de courant est alternative. Il existe plusieurs modèles de ce type d'appareil, qui diffère selon la marque et les références données par cette dernière. Par exemple, celui reporté dans la Figure II.3 on peut injecter un courant de 10 mA.



Figure II.1: Les différents éléments utilisés pour mesurer la résistivité du sol : a) marteau, b) les sondes en aciers inoxydables, c) les câbles de connexion, d) Telluromètre, e) un mètre ruban.

➤ **Principe de la méthode**

Il consiste à planter quatre sondes (piquets) en acier inoxydable en ligne droite et équidistantes qu'on relie avec des câbles électriques distant entre eux d'un intervalle égal à « a » et de profondeur « b » reliés aux bornes d'appareil. On injecte ensuite un courant continu ou alternatif entre les deux sondes extérieures et on mesure la tension dans les deux piquets internes. Le dispositif est illustré par la Figure II.2.

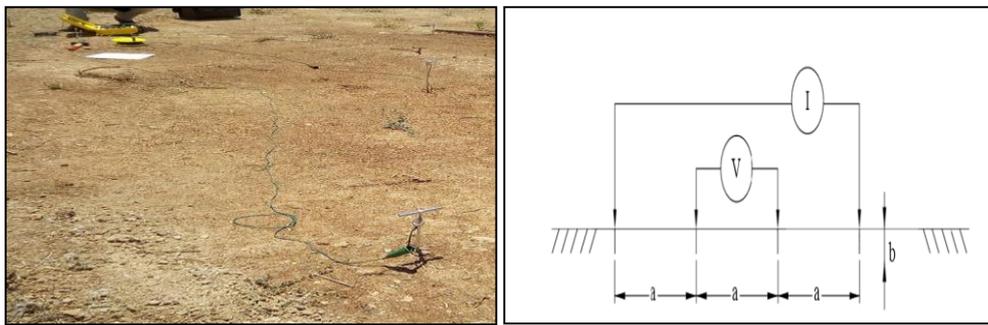


Figure II. 2 a) Piquets reliés par des fils conducteurs aux bornes de l'appareil (telluromètre), b) La méthode de Wenner[47] : (**V** : voltmètre, **a** : l'espacement entre les piquets, **I** : le courant injecté).

II.2.2 mesure du pH

Connaitre la valeur de pH du sol est l'un des critères qui décrit sa nature, pour cela il est nécessaire de le mesurer dans la terre sur laquelle notre étude s'effectuera. La Figure II.3 illustre cinq échantillons de sols prélevés sur le chantier du site d'Arzew.



Figure II.3 Prélèvements de sol de 5 points différents (site d'Arzew).

✓ Méthode de mesure :

Le pH est mesuré selon une norme américaine ASTM D 1293. Cette méthode consiste à dissoudre une quantité de sol de 5g dans un litre d'eau distillée à l'aide d'un agitateur et, on mesure le pH de cette dernière à l'aide d'un pH mètre. La Figure II.4 illustre le dispositif de mesure du pH.



Figure II.4 : pH-mètre utilisé pour mesurer la valeur de pH.

II.3 Contrôle de protection cathodique

Le système de protection cathodique doit, obligatoirement, être contrôlé avant et après sa mise en marche. Ainsi, avant l'installation d'un système de PC on doit, au préalable, avoir des données sur les points suivants :

- Déterminer le type de matériau à installer : acier, fonte et sa résistance électrique.
- Savoir si le métal est associé à un revêtement et quel est le type de revêtement utilisé.
- Connaître la position des sources de protection cathodique qui peuvent être proche de la structure à étudier [49].

Après l'installation du système, le contrôle s'effectue notamment sur deux points, en l'occurrence, le courant électrique qui circule dans la structure et la résistance électrique du revêtement. Notons que sur le plan industriel, le test le plus fréquent est la mesure du potentiel entre la structure à protéger et le milieu [49] qui s'effectue en suivant les étapes suivantes :

➤ Mesure du potentiel

- On mesure le potentiel cathodique grâce à une électrode de référence $Cu/CuSO_4$ à l'aide d'un voltmètre.

i) Electrode de sulfate de cuivre

C'est l'électrode de référence, très généralement utilisée pour la mesure de potentiel des structures enterrées telles que les canalisations et les bacs de stockage. La structure de cette électrode de référence est représentée sur la Figure II.5.

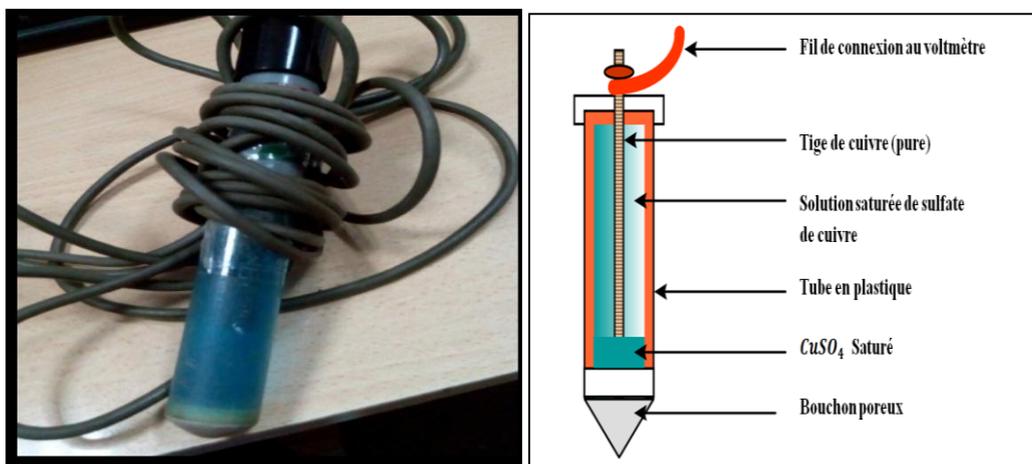


Figure II.5 Electrode de référence $Cu/CuSO_4$ pour l'utilisation dans les sols.

ii) Voltmètre

Il est plus précis dans les mesures du potentiel, avant d'effectuer les mesures, on doit le régler à une valeur de 2V.



Figure II.6 Voltmètre utilisé pour mesurer le potentiel de PC
(Possède une impédance d'entrée élevée).

II. 3.1 Méthode de mesure du potentiel :

On plonge la partie poreuse de l'électrode $Cu/CuSO_4$ dans le sol préalablement humidifié si ce dernier est sec. La valeur du potentiel mesuré dépend de la position de l'électrode par rapport à la structure en acier comme le présente la figure II.7.

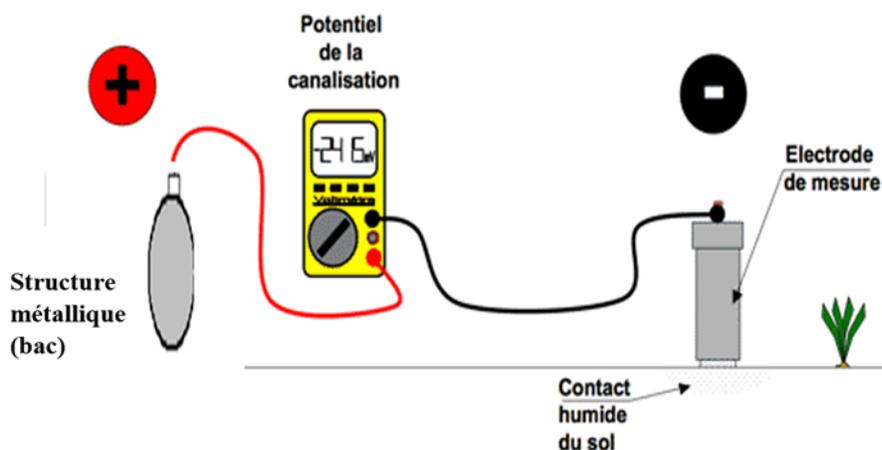


Figure II.7 Méthode de la mesure de potentiel de la protection cathodique.

Des mesures multiples peuvent être effectuées sur chaque contact de la sonde avec la cathode en déplaçant l'électrode de référence à différents points de la surface du sol. La Figure II.8 présente des photographies de la mesure du potentiel de protection. $E = -0,85 V/E_{Cu/CuSO_4}$ est considérée comme une indication satisfaisante de la protection.



Electrode de référence $Cu/CuSO_4$

Type de voltmètre utilisé pour mesurer le potentiel de PC.

Figure II.8 : Photographies des différents

Le potentiel mesuré sur le site d'ARZEW est de -1,072 mV, cette valeur indique que la structure métallique est toujours dans son domaine d'immunité $E < -0,85$ mV ce que signifie que le bac est protégé.

Le contrôle de la protection cathodique s'effectue deux fois par an; une fois en hiver et l'autre en été. La valeur de potentiel mesuré durant cette période peut diminuer $E < -0,85$ mV ou bien augmenter $E > -0,85$ mV, cette différence est dû aux paramètres déstabilisant le système de protection tel que: les courants vagabond, courants alternatifs, les structures voisines ainsi que les caractéristiques du sol, la valeur de potentiel défère d'une structure à l'autre.

II.4 Outils de détection de pertes de métal (épaisseur)

Les techniques ultrasons nécessitent soit un contact avec le matériau, soit un coupleur liquide pour transmettre des ultrasons dans le matériau. Cet inconvénient interdit les applications d'ultrasons aux matériaux à haute température ou aux matériaux à géométrie complexe.



Figure II.9: appareil DM4 avec palpeur pour la prise d'épaisseur à l'ultrasons.



Figure II.10 : exemple d'utilisation d'un gelvisqueux sur la pièce et la mesure des épaisseurs par ultrasons.

II.5 Dimensionnement d'un bac de stockage

Caractéristique des réservoirs

- Capacité de service net : $20.000 m^3$;
- Produit stocké : Brut ;
- Diamètre estimatif : 42300 mm ;
- Hauteur estimative : 18000 mm ;
- Type de toit : Flottant simple ;
- Joint annulaire : A mousse ave tôle de compression ;
- Site : Raffinerie d'Arzew.

Chapitre III

Calculs et Résultats

III.1 Introduction

Nous présentons ici les calculs effectués sur le site d'Arzew. Ainsi, nous nous sommes intéressés aux paramètres du sol tels que le pH et la résistivité. Nous avons aussi décrit la méthode suivie pour un dimensionnement d'un système de protection cathodique par courant imposé.

- Avant d'envisager la méthode de protection cathodique par courant imposé il est indispensable d'effectuer une étude préalable du sol sur lequel sera disposé le bac de stockage comprenant :
 - La résistivité du sol.
 - Le pH.

Ces deux paramètres nous permettent de définir le degré de corrosivité du sol.

III.2 Calcul de la résistivité du sol

III.2.1 Définition de la résistivité du sol

C'est la capacité du sol à ne pas conduire le courant.

Le sol est un milieu hétérogène en trois phases. Le courant peut être, théoriquement, piloté par chacune des 3 phases (gazeuse, liquide, solide). Cependant, la phase gazeuse est un très bon isolant. La conduction du courant se fait dans les phases liquide et solide, grâce aux phénomènes suivants:

La phase liquide conduit le courant à travers les ions. C'est la conduction électrolytique. La valeur de conductivité dépend de la nature des ions présents (en fonction de la différence d'activité électrique) et de leur concentration.

La phase solide, composant de la terre, est électriquement isolée (dans le cas du sable pur d'une composition chimique de SiO₂), ou à l'inverse à l'état conducteur dans le cas du sol argileux [50].

La résistivité du sol s'exprime selon la relation suivante [47]:

$$\rho = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \rho = 2\pi a R$$

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad \text{III.1}$$

Où :

ρ : Résistivité moyenne du sol en $\Omega \cdot m$

R : Résistance moyenne du sol en Ω

a : Espacement entre les piquets

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \Delta U / I \quad \text{III.2}$$

Avec :

$\Delta U / I = R$ (mesurée sur site).

✚ Deux essais ont été réalisés durant mon stage :

Le premier est effectué en position horizontale avec les paramètres suivants :

$a = 2.8 \text{ m}$; $R = 1.15 \Omega$ mesuré sur le site ; $\pi = 3.14$.

En remplaçant dans l'expression **III.1** ci-dessus, on détermine la résistivité du sol :

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad \text{III.1}$$

Soit:

$$\rho = 2 \times 3.14 \times 2.8 \times 100 \times 1.15 = 2022 \Omega cm$$

Le second essai est effectué en position verticale ; à l'aide de la relation suivante :

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad \text{III.1}$$

Avec :

$a = 2.8 \text{ m}$

$R = 1.20 \Omega$ mesuré sur le site

$\pi = 3.14$

$$\rho = 2 \times 3.14 \times 2.8 \times 100 \times 1.2$$

$$\rho = 2111 \Omega.cm$$

Les sols à faible résistivité sont plus corrosifs que les sols à haute résistivité. Le Tableau II.2 présente, à titre d'exemple, la densité de courant de protection cathodique pour différents sols. Il faut cependant, noter une augmentation de 2,5% pour chaque degré à partir d'une température supérieure à 30° C.

Résistivité du sol en $\Omega.m$	Densité de courant mA/m^2 (acier nu)
Inférieur à 10	20
10-100	10
100-1000	5
Supérieur à 1000	1

Tableau III.1 Densités de courant de protection cathodique pour différents sols [51].

III.2.2 pH du sol

Le pH du sol, aussi appelé « réaction du sol», est une référence à l'acidité ou à l'alcalinité du sol. Les données expérimentales indiquent qu'un milieu hautement alcalin réduit la résistivité du sol. Autrement dit, le milieu devient plus agressif. En revanche, les milieux faiblement alcalins sont peu corrosifs. Les sols d'un pH inférieur à 5 peuvent engendrer des taux de corrosion élevés et une corrosion par piquûre. Le pH égal à 7 est la valeur optimale préférée pour minimiser le risque de corrosion [47].

Le Tableau II.3 présente les valeurs de pH mesurées pour différents points de prélèvement du sol sur le site d'Arzew.

N°	1	2	3	4	5
pH	9.2	9.2	8.8	9.3	9.1

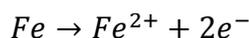
Tableau III.2 pH mesurés à différents points du site.

✚ La valeur moyenne du pH est de 9.2, comme on a un $pH > 9$ donc le milieu est alcalin.

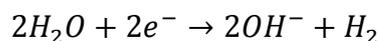
Dans le milieu alcalin les réactions successibles à se produire sont :

Le processus anodique dans les sols (réaction anodique) :

C'est la réaction d'oxydation de l'alliage (acier) : c'est un métal à base de fer donc on aura l'oxydation de fer :



Le processus cathodique dans les sols (réaction de réduction), la réduction de l'eau :



- ✚ D'après les résultats, les valeurs de résistivité sont comprises entre 2022 et 2111 Ω .cm, la valeur moyenne de pH égal à 9,2. On constate que la nature du sol de la raffinerie d'Arzew-Oran étudié est hautement corrosive.

III.3 Les anodes adaptées au sol

Les anodes les plus appropriées pour être enterrées, dans le sol, sont des anodes cylindriques en fer à haute teneur en silice de 1 à 80 kg et avec des diamètres de 30 à 110 mm et des longueurs de 250 à 1500 mm. Les anodes disposent à leurs extrémités d'un conducteur de fer qui est relié au câble par soudage [42].



Figure III.1 : Anode sacrificielle en ferro-silicium

Les anodes de ferro-silicium ont généralement la forme de tiges cylindriques; les dimensions les plus courantes sont indiquées dans le Tableau III.5 [52].

Diamètre (mm)	Longueur (m)	Masse (Kg)
38	0.915	7.5
51	1.22	19.0
51	1.525	23.0
64	1.525	35.0
76	1.525	50.0
114	1.525	100.0

Tableau III.3 Dimensions des anodes en fer-silicium [52].

III.4 Réalisation de déversoirs

Pour les déversoirs de surface, les anodes sont disposées, dans certains cas, horizontalement. Ce type de pose doit être maintenu si la résistance du sol est faible et si on dispose d'un espace suffisant sur le sol. La Figure III.2 présente une installation d'anode qui éloigné de la cathode d'une distance supérieur à 50 m pour la protection d'un bac de stockage.

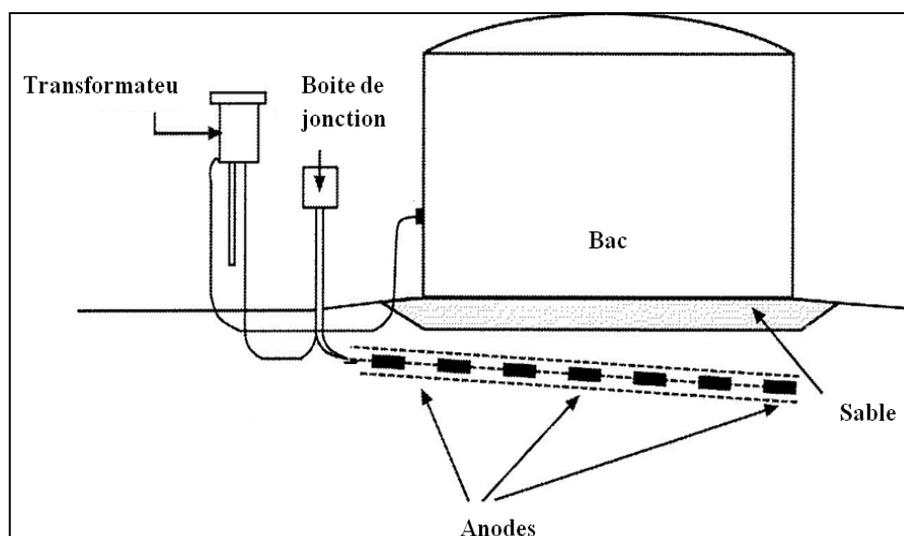


Figure III.2 Anodes installées horizontalement [43].

Parfois, les anodes sont posées verticalement; il s'agit toujours de déversoir de surface, mais les anodes sont enterrées verticalement dans des trous creusés au bas de la tranchée où les câbles sont posés. Selon le type de sol, les anodes sont situées à une profondeur d'un à deux mètres et sont éloignées de la structure à protéger d'une distance généralement supérieur

à 50m. La Figure III.3 donne une illustration d'une installation de protection cathodique d'un bac de stockage où les anodes sont disposées verticalement.

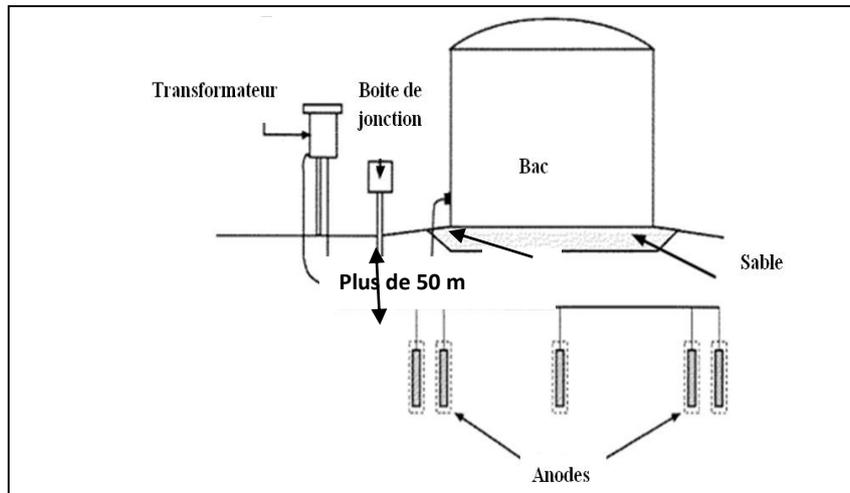


Figure III.3 Anodes installées verticalement [43].

Dans certaines situations, on a recours à ce qu'on appelle des déversoirs en casing, c'est-à-dire des déversoirs profonds. Ce type de déversoir est utilisé lorsqu'il est impossible, avec un déversoir de surface, d'obtenir une bonne distribution du courant à la surface de la structure à protéger. En effet, il existe un risque d'une perturbation excessive des structures voisines. De plus, la résistivité du sol en surface ne permet pas d'obtenir une valeur acceptable.

III.5 Calcul des résistances de terre des déversoirs

III.5.1 Déversoirs horizontaux (rails, profilés,...)

Le calcul des résistances est déduit de la relation suivante [52] : voir annexe 2

$$R_H = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{S} - 2 + \frac{S}{2L} - \frac{S^2}{16L^2} + \frac{S^4}{512L^4} \right) \quad \text{III. 3}$$

où :

R_H : La résistance de l'anode, en Ω

ρ : La résistivité du sol, en $\Omega.m$

L : La longueur de l'anode en mètre

$\frac{S}{2}$: Profondeur en m

a : le rayon de l'anode en m

III.5.2 Déversoirs verticaux (tige cylindrique, anode circulaire,...) [52] :

La résistance d'une tige cylindrique verticale est donnée par la relation suivante:voire annexe 1

$$R_V = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad \text{III.4}$$

où :

R_V :la résistance, en Ω

ρ : la résistivité du sol, en $\Omega.m$

L : la longueur en m

a : le rayon de l'anode en m

Le déversoir doit débiter un courant de 15 A et sa durée de vie prévue est de 10 ans. La tension à la sortie du redresseur est limitée à 24 V. La résistance de déversoir ne doit pas dépasser 3 Ω . On utilise des anodes en **ferro-silicium** dont les caractéristiques sont :

- Longueur : 1.525 m
- Diamètre : 64 mm
- Poids : 35 Kg
- Consommation: 0.3 kg/A. an

- **Calcul de la masse anodique**

La masse de l'anode en ferro-silicium nécessaire pour une durée de vie de $t= 10$ ans est soit pour une consommation de 0,3 Kg/A.an :

$$M_{t=} m \times I \times t \quad \text{III.5}$$

M : masse de l'anode nécessaire pour $t= 10$ ans

m : consommation de l'anode $Kg/A.an$

I : le courant nécessaire (A) pour 10 ans

t : la durée de vie (an)

$$M_t = 0.3 \text{ kg} \times 15 \times 10$$

$$M_t = 45 \text{ Kg}$$

Ce qui correspond à un nombre d'anode :

$$N_A = \frac{M_t}{M_A} \quad \text{III.6}$$

N_A = Nombre d'anode nécessaire pour une durée de vie de 10 ans

M_t = La masse de l'anode nécessaire pour $t= 10$ ans

M_A = La masse d'une anode de ferro-silicium

Application numérique :

$$\frac{45}{35} \approx 1$$

- Le choix de la disposition verticale ou horizontale des anodes dépend de :
 - i. La grandeur de la superficie du terrain.
 - ii. L'agressivité du sol.

Dans notre étude, on a choisi la disposition verticale, puisque elle convient le plus à l'état du sol exporté :

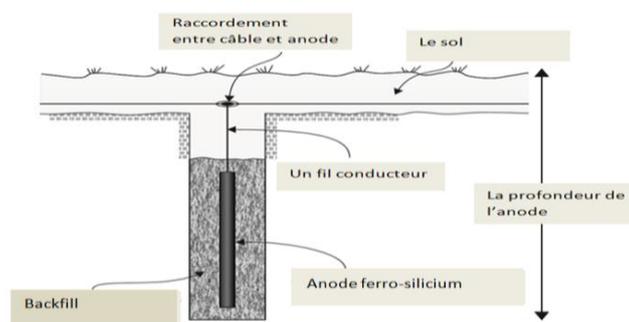


Figure III.4 Modèle d'anode en ferro-silicium disposée verticalement [53].

- Calcul numérique de la Résistance de l'anode en position verticale.
- On remplace dans l'équation **III.4** par les valeurs données ci-dessous.

$$R_V = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad \text{III.4}$$

$$\rho: 20.22 \Omega.m$$

$$\Pi : 3.14$$

$$L: 1.525 \text{ m}$$

$$a = \frac{d}{2} = \frac{64}{2} = 32 \text{ mm}$$

$$a = \frac{64}{2}$$

$$a = 32 \text{ mm}$$

$$R_V = \frac{20.22}{2 \times 3.14 \times 1.525} \left(\ln \frac{4 \times 1.525}{0.032} - 1 \right)$$

$$R_V = 8.97 \Omega$$

La résistance du déversoir est supérieure à 3Ω . Dans ce cas, il faut augmenter le nombre d'anode pour améliorer la résistance du déversoir.

Le facteur de correction dépend du nombre d'anode et de la distance entre les anodes comme le présente la Figure III. 5. Selon le faisceau de courbes ; si on prend 5 anodes distante de 5 m le coefficient de correction (fc) appliqué est de 1,2. La résistance de chaque anode R_{1A} est donc :

$$R_{1A} = 8.97 \Omega \times 1.20 = 10.76 \Omega$$

$$R_{1A} = \frac{10.76}{5} = 2.15 \Omega$$

Valeur qui conduit à une chute de tension :

$$U = R \times I \quad \text{III.7}$$

$$U_1 = 8.97 \times 15 = 32,25 \text{ V}$$

La valeur obtenue est supérieure à la valeur limite de 24 V qui est fixée sur le redresseur. On constate que l'augmentation de nombre d'anodes à 5 n'est pas suffisante. On utilise 8 anodes avec une distance de 5m, le coefficient à appliquer est de 1,28 (Figure III.5). La résistance de chaque anode est R_{A2} :

$$R_{2A} = 8,97\Omega \times 1,28 = 11,48\Omega$$

$$R_{2A} = \frac{11,48}{8} = 1,43\Omega$$

Le calcul de la chute de tension:

$$U_2 = 1,43 \times 15 = 21,45 V$$

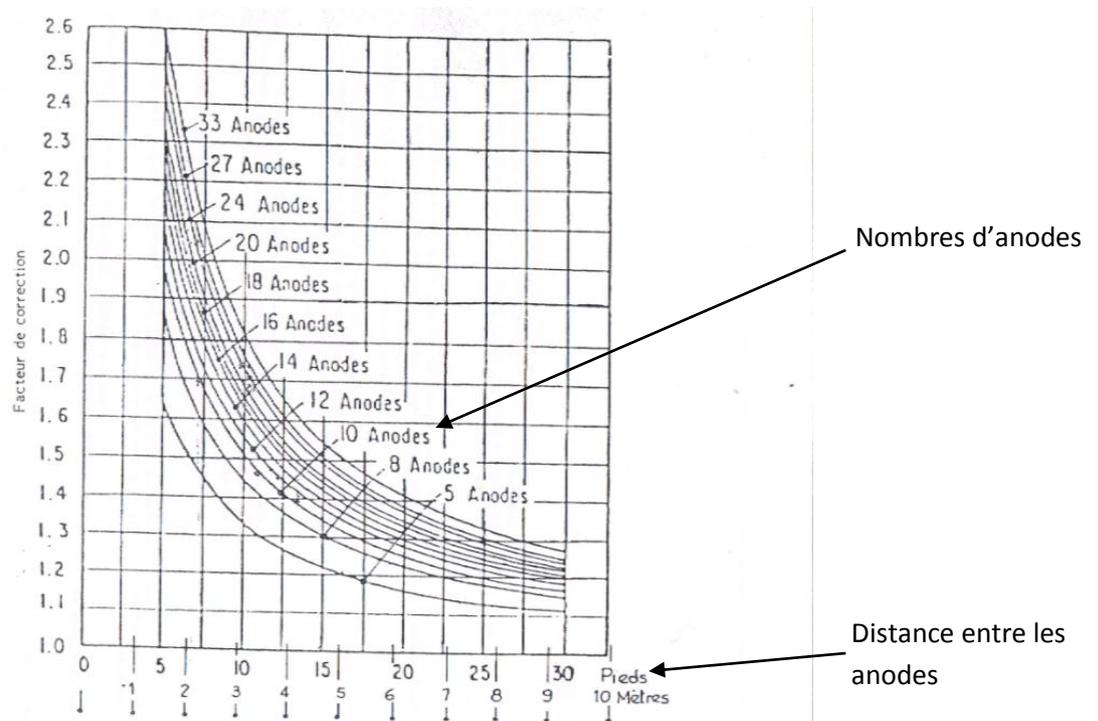


Figure III.5 Détermination du facteur de correction en fonction de la distance et du nombre d'anodes [41].

La figure ci-dessus permet de déterminer les facteurs de correction correspond à chaque augmentation de nombre d'anode et ainsi la distance séparant l'anode de l'autre.

En conclusion, l'augmentation du nombre d'anode à 5 ne donne pas le résultat souhaité mais l'utilisation de 8 anodes est le bon choix (Figure III.5).

D'après les résultats obtenus, on note que pour la réalisation d'un système de protection cathodique pour un bac de stockage d'hydrocarbure, on a besoin de 8 anodes en ferro-silicium (Fe-Si) de forme cylindrique, leurs masses anodiques est de 35 kg qui sont réparties verticalement est séparer d'une distance de 5m l'une de l'autre.

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspective

Ce travail a été consacré à la protection cathodique des structures métalliques enterrées dans le sol comme l'exemple qu'on a abordé des réservoirs exploités par l'entreprise nationale Sonatrach d'Arzew qui sert à réserver les produits pétroliers. Les bacs de stockage d'hydrocarbure dont le matériau constitutif est l'acier, ces derniers sont protégés par des revêtements externes (protection passive) à base de bitume routière (revêtement organique) est associé à un système actif de protection cathodique par courant imposé dont le potentiel est maintenu à $-850 \text{ mV} / \text{Cu}/\text{CuSO}_4$.

Afin de maintenir la structure métallique dans son domaine d'immunité, il est nécessaire de surveiller régulièrement les facteurs influant tel que : le potentiel, les paramètres du sol sur lequel est disposé le bac de stockage (résistivité, pH).

Le degré d'agressivité du sol est déterminé par la mesure de sa résistivité. Un sol très corrosif (faible résistivité) sa vitesse de corrosion est très élevée contrairement au sol peu corrosif (grande résistivité) le taux de corrosivité est très faible. Pour déterminer les valeurs de la résistivité de sol (site d'Arzew) nous avons utilisé la méthode de Wenner qui nous a permis de définir le degré d'agressivité de milieu, les résultats obtenus ont montré que le sol de site industriel de la raffinerie d'Arzew est très corrosif, pour connaître les réactions qui se produisent entre le sol et la surface extérieure de bac et ainsi sa nature nous avons effectué des prélèvements au sol sur le site industriel, on a mesuré le pH de milieu suivant la norme ASTM D1293 qui est valable pour les espèces solides les résultats obtenus ont confirmé que ce sol est très agressif et qu'on a un milieu alcalin $\text{pH} > 9$.

La mesure de potentiel du réservoir à l'aide de l'électrode de référence de sulfate de cuivre Cu/CuSO_4 a montré que nous avons obtenu une valeur différente de celle de seuil de protection de l'acier qui est de $-850 \text{ mV}/\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ mais comme cette valeur mesurée est inférieure à -850 mV la structure est toujours protégée, les valeurs de potentiel très négatives peuvent entraîner une détérioration du revêtement.

Les calculs de dimensionnement de la protection cathodique de bac de stockage nous ont permis de connaître le nombre d'anodes nécessaires pour protéger toute la surface extérieure de ce dernier.

En perspectives, pour aboutir aux meilleurs résultats, une protection par maillage c'est-à-dire mettre une maille au-dessous du bac de stockage est recommandée, celle-ci permet une protection totale de bac.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : Bosich.J. F, Prévention de la corrosion, Entreprise moderne d'édition, Genève, (1972).
- [2] D.Landot, corrosion et chimie de surface des métaux, presse polytechnique et universitaires romande, Lausanne, (1993).
- [3] FI, VERVISCH. (2009). Sensibilité de la technique d'émission acoustique à la corrosion des armatures dans le béton. Thèse de doctorat. Université de Toulouse III.
- [4] Kj. Vetter, Electrochemical kinetic theoretical aspect, Academic Press, New-York, (1967).
- [5] M.Pourbaix, Atlas of electrochemical equilibria in Aqueous Solutions, NACE International, 2nd edition, USA, (1974).
- [6] E.McCafferty, Introduction to corrosion Science, Springer, USA, (2010).
- [7] HS.Khatak,B.Raj, Corrosion of austenitic stainless steels: mechanism, Woodhead Publishing Limited. India (2002).
- [8] M.Kutez,Handbook of environmental degradation of materiels, wiliam Andrew, 2 nd edition.USA,(2012) .
- [9] Y.Bréchet, J.Charles, La corrosion des matériaux, Dunod, Paris, (2014).
- [10] Y.Chauvin, Corrosion et dégradation des matériaux métalliques, Technip, Paris, (2009).
- [11] Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et de gaz Naturel, Circuit Eau de Mer : Traitements et matériaux, Technip, Paris, (1993).
- [12] M, MALOU.(2002/2003).Etude de la corrosion et maintenance des installations pétrolières de shelle sénégal : cas du dépôt de jetée de nord. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- [13] PA. Schweitzer, Corrosion engineering handbook, Taylor & Francis INC, New York,2 nd edition, vol 3, (1996).
- [14] C. Vargel, Corrosion of alluminium, Elsevier, New-York, 1st edition, (2014).
- [15] Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et de gaz Naturel, Corrosion et inhibition des puits et collectes, Technip, Paris, (1981).
- [16] JC.Scully, O.Clavier, G.German, Corrosion protection : Principes fondamentaux, Masson, Paris, (1995).

Références bibliographiques

- [17] PR.Robertge, Handbook of corrosion engineering, Mc Graw-Hill,New- York, (2000).
- [18] LL. Shrier, RA.Jarman, GT.Burstein, Corrosion /environment reaction, Butterworth-Heinemann, Great Britain, 3rd, Vol 1, (1994).
- [19] PK. Sen, K. Malmedal, JP.Nelson, Steel grounding design guide and application notes. IEEE Rural Electric Power, Conference May 5-7, (2002).
- [20] MC, GENOVEZ. (2016). New concept for metallic protection against corrosion: V-active VCI. Ph .D. Thesis. University of Pardubice Czech Republic.
- [21] GF.Corrosion, Corrosion engineering. McGraw Hill Book Company, New York, 3rd edition, (1987).
- [22] J. Philibert, A.Vignes, Y.Bréchat, P.Combrad, Métallurgie: du minerai au matériau, Masson, Paris, (1998).
- [23] L.leleyter, C.Rousseau, O.Gil, F.Barand, Répartition des métaux lourds dans les différentes fractions des sédiments marins: influence de la protection cathodique, Elsevier, 339 (2007).
- [24] KW.Hameed, AS. Yaro. AA.Khadom, Mathematical model for cathodic protection in a steel-saline water system. Journal of Taibah University for Science, 10 (2016) 64-69.
- [25] IA. Metwally, HM .Al-Mandhari, A.Gastli.Z.Nadir, Factors affecting cathodic-protection interference, Elsevier, 31(2007).
- [26] V.Brut, Corrosion in the petrochemical industry, ASM International, USA, 2nd edition, (2015).
- [27] JP.Bailon, JM.Dorlot, Des matériaux, Press international polytechnique, Montréal, 3^{ème} édition, (2000).
- [28] A, BRENNNA. (2009-2011).A proposal of AC corrosion mechanism of carbon steel in cathodic protection condition, Ph.D. Thesis in Materials Engineering Politecnico di Milano.
- [29] M.Helie, Corrosion Des matériaux Métalliques,Ellipse, Paris (2015).
- [30] C.Rochaix, Electrochimie: thermodynamique, cinétique, Nathan, (1996).
- [31] I, IBRAHIM. (2008).La Corrosion induite par courant alternatif sur les canalisations enterrées sous protection cathodique. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie.

Références bibliographiques

- [32] RW.Revie, Corrosion and corrosion control, John Wiley & Sons, Canada, 4th edition, (2008).
- [33] PM.Chess, JP.Broomfield, Cathodic protection of steel in concrete and masonry, CRC Press, New York, (2014).
- [34] B.Normaand, N.Pébère, C.Richard, M.wery, Prévention et lutte contre la corrosion: Une approche scientifique et technique. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. (2004).
- [35] M.Kutz, Handbook of environmental degradation of materials. William Andrew, USA, (2005).
- [36] Nguyen-Thuy LE,Protection cathodique, Badoris-document de synthèse relatif à une barrière technique de sécurité (BTS),Paris,(2008).
- [37] Guide scientifique et technique,Revêtements externes des canalisations enterrées ou immergées et des ouvrages ,Connexes,France,(2006).
- [38] R.Baboian, Corrosion tests and standards: Application and interpretation, ASTM International, USA, 2nd edition, (2005).
- [39] AK.Susilo, Ahmed, OS.Suharyo, P.Pratisna, Design analysis of impressed current cathodic protection for fuel distribution pipeline system at eastern fleet command naval base, J.Int. Sci. Eng.Res.5 (2017) 63-70.
- [40] A.Byrne, N.Holmes, B.Norton, State-of-the-art review of cathodic protection for reinforced concrete structures, D.I.T, 68 (2016) 644-677.
- [41] La Protection cathodique-guide pratique, Technip, France, (1986).
- [42] Wv. Baeckmann, W.Schwenk, W. Prinz, Handbook of cathodic corrosion protection, Gulf Professional Publishing, UK, (1997).
- [43] SD. Cramer, S Bernard, Jr. Covino, Corrosion: environments and industries, ASM International, USA, (2006).
- [44] S, Gastaud. (2002). Influence de l'état du revêtement hydrocarboné sur le risque de corrosion des canalisations enterrées de transport de gaz. Thèses de doctorat. L'institut National Des Science Appliquées de Lyon.

Références bibliographiques

- [45] Z.Ahmad, Principles of corrosion engineering and corrosion control, Butterworth-Heinemann, New York, (2006).
- [46] D.Kuang. (2016). Pipeline corrosion and coating failure under alternating Current Interference. Thesis Degree of Doctor of Philosophie. University of Calgary.
- [47] A.Oyubu, Soil resistivity and soil pH profile investigation: A Case Study of Delta State University Faculty of Engineering Complex, J.Int.Eng.Res, 6(2015) 583-589
- [48] TN.Guma, Su.Mohammed, AJ.Tanimu, A Field survey of soil corrosivity level of kaduna metropolitan area through electrical resistivity method, J.Int. Sci. Eng. Res, 3(2015) 5-10.
- [49] RL.Bianchetti, Control of pipeline corrosion, Nace International, Texas, 2nd edition, (2001).
- [50] R. Heidersbach, Metallurgy and corrosion control in oil and gas production, John Wiley & Sons, Canada, (2011).
- [51] S, Schneider. (2009). Estimation des paramètres hydrodynamiques des sols à partir d'une inversion jointe de données d'infiltration et de résistivité électrique. Thèse de Doctorat. Université Paris-Sud 11.
- [52] C.Basalo, Les Canalisations d'eau et de Gaz: Corrosion, Dégradation et Protection, Technique et Documentation Lavoisier, Paris, (1987).
- [53] PR.Roberge, Corrosion engineering, McGraw-Hill, U S A, (2008).

Annexes

Annexe

Annexe 1

L'équation de Dwight pour la résistance à l'anode verticale simple à la Terre en mètre

$$R_V = \frac{0.00159\rho}{L} \left[\ln \frac{8L}{d} - 1 \right]$$

ρ = résistivité de sol en ohm-cm

L=longueur d'une anode en mètre

d=diamètre d'une anode en mètre

R_V = résistance d'une anode verticale en ohms

L'équation de Dwight pour plusieurs anodes verticales en parallèle - mètres

$$R_V = \frac{0.00159}{NL} \rho \left[\ln \frac{8L}{d} - 1 + \frac{2L}{S} \ln 0.656N \right]$$

ρ = résistivité de sol en ohm-cm

N= nombre d'anode en parallèle

L=longueur d'une anode en mètre

d=diamètre d'une anode en mètre

S= espacement des anodes en mètres

R= résistance des anodes verticales en parallèle à la terre en ohms

Remarque

Pour que ces équations soient valides, le sol doit être homogène et $L \gg d$. Avec le rembourrage à faible résistance, comme coke, d est pris comme diamètre du coke et L comme longueur de remblai à condition qu'il ne dépasse pas trop la longueur de l'anode (environ 1,5 fois le diamètre du coke)

Annexe

Annexe 2

L'équation de Dwight pour la résistance des anodes horizontales en parallèle-mètre

$$R_H = \frac{0.00159}{L} \rho \left[\ln \frac{4L^2 + 4L\sqrt{S^2 + L^2}}{ds} + \frac{S}{L} - \frac{\sqrt{S^2 + L^2}}{L} - 1 \right]$$

R_H = résistance en ohms, les anodes horizontales en terre

ρ = résistivité de sol en ohm-cm

L = longueur d'une anode en mètre

S = deux fois profondeur d'anode en mètres

d = diamètre d'une anode en mètre

Remarque

Pour que ces équations soient valides, le sol doit être homogène et $L \gg d$. Avec le rembourrage à faible résistance, comme coke, d est pris comme diamètre du coke et L comme longueur de remblai à condition qu'il ne dépasse pas trop la longueur de l'anode (environ 1,5 fois le diamètre du coke).

Annexe

Annexe 3

Courant imposer pour différentes nombre d'anodes requises

$$\text{Nombre d'anode} = \frac{\text{Taux de consommation} \times \text{Durée de vie souhaitée} \times \text{courant requis}}{\text{Facteur d'utilisation} \times \text{le poids d'une anode}}$$

Les différentes anodes requises en fonction de courant de décharge

$$\text{Nombre des anodes} = \frac{\text{courant}}{DM^*}$$

* : à partir des données du fabricant de l'anode

MD = Décharge maximale par anode (ampère)

Courant : Courant requis (ampère)

Résistance du câble

$$R_C = \frac{R_{CABLE} \times L_{CABLE}}{1000}$$

R_C = La résistance du câble

R_{CABLE} = Résistance par Km

L_{CABLE} = Langueur en mètre

Annexe

Annexe 4

Résistance du circuit total du redresseur

$$R_T = R_{Gbed} + R_C + R_S$$

R_T = résistance totale du circuit (ohms)

R_{Gbed} = résistance au sol (ohms)

R_S = résistance de la canalisation / structure à la terre (ohms)

R_C = résistance du câble (ohms)

Efficacité des redresseurs :

$$AC = \text{la puissance d'entrée} = \frac{3600KN}{T}$$

$$DC \text{ la puissance de sortie} = DC \text{ Volts} \times DC \text{ AMPERE}$$

K = constante du compteur

N = différentes révolution du disque

T = le temps en second

$$\text{Efficacité \%} = \frac{\text{la puissance de sortie}}{\text{la puissance d'entrée}} \times 100$$

Méthodes de calcul de résistivité

Méthode de Schlumberger

Consiste à planter quatre piquets dans le sol de manière que :

- ✚ la distance entre les 2 piquets extérieurs est 2d
- ✚ la distance entre les 2 piquets intérieurs est A

et la valeur de résistance R lue sur l'ohmmètre permet de calculer la résistivité par la formule :

$$\rho_S = (\pi \cdot (d^2 - A^2/4) \cdot R_{S-ES}) / A$$

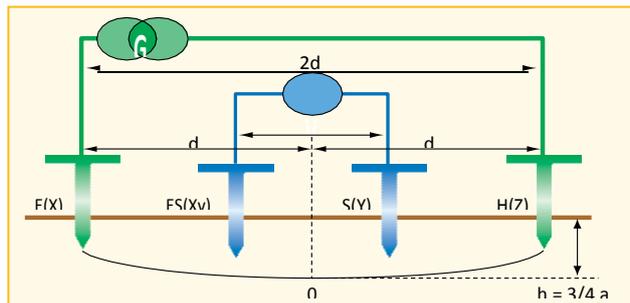


Figure : La méthode de schlumberger.

Résumé

L'intérêt de ce travail vise la protection cathodique par courant imposé des bacs de stockage d'hydrocarbure de l'industrie pétrolière au niveau de la raffinerie d'Arzew d'Oran. Les réservoirs en acier sont protégés par deux modes de protection par revêtements organiques (protection passive) et une protection cathodique par courant imposé (protection active). En revanche, la structure à protéger risque de perdre son efficacité suite à l'effet de certains facteurs (courant vagabond, courant alternatif, ...). Pour faire face à ce problème, il est indispensable de contrôler les valeurs de potentiels deux fois par an. Les résultats de notre étude ont révélé que la valeur de potentiel est inférieure à $-850 \text{ mV}/E_{\text{CuSO}_4}$, ce qui indique que la structure à protéger est dans son domaine de stabilité. Un tel comportement confirme la fiabilité de la protection cathodique en question.

De plus, il a été montré que le bac de stockage nécessite 8 anodes en ferro-silicium pour assurer sa protection totale.

Mots clés : protection cathodique, bacs de stockage, corrosion, potentiel.

Abstract

The interest of this work is the cathodic protection by current imposed oil storage tanks of the oil industry at the refinery of Arzew Oran. Steel tanks are protected by two types of protection by organic coatings (passive protection) and cathodic protection by forced current (active protection). On the other hand, the structure to be protected may lose its effectiveness due to the effect of certain factors (current wander, alternating current ...). To deal with this problem it is essential to check the potential values twice a year, the result of our study revealed that the potential value is less than $-850 \text{ mV}/E_{\text{CuSO}_4}$, which indicates that the to protect is in its field of stability such behavior confirms the reliability of the cathodic protection in question.

In addition it has been shown that the storage tank requires 8 iron-silicon anodes to ensure its total protection.

Key words: cathodic protection, storage tanks, corrosion, potential.