



Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Génie des matériaux

Thème :

Contribution à la protection cathodique des pipelines pour le (champ hassi berkine)

Proposé et dirigé par :

FARSI chaouki

Présenté :

LAMROUR abdelkadir

Année Universitaire : 2018 / 2019

N° d'ordre : GM/...../2019

Remerciements

Louange a notre seigneur et createur ALLAH qui nous a dote de la merveilleuse faculte de raisonnement et de nous avoir incite a acquerir le savoir. C'est a lui que j'adresse ma gratitude en premier lieu.

Je tiens a remercier vivement:

Monsieur dr: ROKBI MANSOUR ; chef department de genie mecanique a l'Universite de mouhamed boudiaf msila travail, d'avoir accepte d'etre mon encadreur dr : FARSI CHOUKI qu'en plus de sa disponibilite, ses orientations et ses conseils avises a su bien m 'encadrer et me soutenir tout au long de ce travail.

les personnels de service chimie et corrosion hassi berkine ; particulierement Mr YAHIA MAHDI AJSSA ancien ingénieur de corrosion qui m'aider et conseiller durant mon etude .

Je tiens a remercier tous les membres de jury pour avoir accepte de presider et d'examiner ce travail.

Tous mes remerciements profonds vont egalement a tous les enseignants de Genie mecanique de la faculte de technologie, universite mouhamed boudiaf , et toutes les personnes qui ont contribue de pres ou de loin.

DEDICACES

AVEC MA PROFONDE GRATITUDE ET GRAND AMOUR, JE DEDIE CE

MODESTE TRAVAIL A:

A- MES TRES CHERS ET ADORABLES PARENTS ;

A MA FEMME ET MES ENFANTS ASMA ET MOUHAMED ;

***MES FRERES ET S&URS QUI M ONT DONNES LE COURAGE ET
L EN THOUSIASME ;***

A TOUS MES AMIS (E) SANS EXCEPTION ;

***A TOUS CE QUI ONT PORTES LEUR CONTRIBUTION DE LOIN OU DE
PRES, MERCI POUR VOS SOUTIENS.***

Lamrouf abdelkader

Les tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau (1.1): Potentiels respectifs des différentes électrodes..... | 08 |
| Tableau (1.2): Corrosivité du sol selon la résistivité..... | 16 |
| Tableau (2.1): Comparaison des différents types d'anodes sacrificielles..... | 33 |
| Tableau (2.2): Formes et dimensions des anodes..... | 35 |
| Tableau (2.3): Propriétés et milieu d'utilisation des déversoirs..... | 36 |
| Tableau (2.4): Électrodes de référence..... | 38 |
| Tableau (2.5): Comparaison des éléments de systèmes P.C..... | 39 |
| Tableau (2.6): Comparatif entre la protection cathodique par anode sacrificielles et par courant imposé..... | 41 |
| Tableau (3.1): Spécification de l'huile après le traitement..... | 55 |
| Tableau(4.1) : les valeurs des mesures..... | 62 |
| Tableau (5.1): composition et propriétés des aciers au carbone de la spécification API 5L (acier pour pipeline..... | 84 |
| Tableau (5.2) : la maintenance de poste soutirage..... | 87 |
| Tableau (5.3): mesure de potentiel..... | 91 |
| Tableau (5.4): mesure de potentiel..... | 92 |
| Tableau (5.5): mesure de potentiel..... | 93 |
| Tableau (5.6): mesure de potentiel..... | 94 |

Les Figures

| | |
|---|----|
| Figure(1.1): pipeline..... | 04 |
| Figure(1.2): Équilibre de deux métaux différents dans une solution..... | 06 |
| Figure(1.3): Équilibre de deux métaux différents dans une solution..... | 06 |
| Figure(1.4): Équilibre de deux métaux différents dans une solution..... | 06 |
| Figure(1.5): Électrode de référence..... | 07 |
| Figure(1.6): Phénomène de corrosion dans une cellule de corrosion..... | 09 |
| Figure(1.7)/ A .B .C: Destruction de l'équilibre d'un métal dans une solution par action du milieu..... | 11 |
| Figure (1.8) /1. 2. 3 : Destruction de l'équilibre d'un métal dans une solution par couplage électrique..... | 12 |
| Figure(1.9): Courbe d'équilibre E-pH de Fer-eau à 25°C Tirée de Pourbaix 1974..... | 14 |
| Figure(1.10): Principe de fonctionnement de la méthode de Wenner..... | 18 |
| Figure(1.11): Différentes piles galvanique..... | 20 |

| | |
|--|-----------|
| Figure(1.12): Corrosion par piqûres..... | 21 |
| Figure(1.13):Echelle galvanique des métaux..... | 22 |
| Figure(1.14): Différents types de corrosion..... | 23 |
| Figure(1.15): La corrosion par courant vagabond..... | 24 |
| Figure (2.1): La protection par anode galvanique et courant imposé..... | 30 |
| Figure(2.2): Principes de la protection par anodes sacrificielles..... | 32 |
| Figure (2.3): Principe de la protection par courant imposé..... | 34 |
| Figure(2.4): Déversoir anodique posé verticalement..... | 37 |
| Figure(2.5): Déversoir anodique posé horizontalement..... | 37 |
| Figure(2.6): Choix du système de protection cathodique..... | 40 |
| Figure(2.7): Présentation des potentiels, E_s, E_s et E..... | 46 |
| Figure(3.1): Ligne de tracé de Pipeline..... | 50 |
| Figure(3.2): Situation géographique..... | 52 |
| Figure(3.3): L'organigramme structural du Champs HBN..... | 53 |
| Figure(3.4): Vue générale Du CPF..... | 54 |
| Figure(4.1):La corrosion externe d'une conduite enterrée..... | 57 |
| Figure(4.2): Le contrôle visuel,..... | 58 |
| Figure(4.3): les outils intelligent,..... | 60 |
| Figure(4.4): principe de mesure avec UT..... | 61 |
| Figure(4.5): ligne contrôler avec UT..... | 61 |
| Figure(4.6):détection la corrosion réalisée avec LRUT..... | 63 |
| Figure(4.7): Présentation etlecture de résultant par Méthode LRUT..... | 64 |
| Figure(4.8):Vue de l'emplacement du test LRUT..... | 65 |
| Figure(4.10):présentation graphique taux de corrosion..... | 67 |
| Figure(4.11): instrument de corrosion..... | 68 |
| Figure(4.12):charger les données et Présentation graphique avec logiciel..... | 69 |
| Figure(4.13): placement coupon..... | 70 |
| Figure(4.14): option (corrosion coupon worksheet..... | 71 |
| Figure(4.15): remplissage les donnes et calcul direct..... | 72 |
| Figure(4.16): Montage nécessaire à un relevé à espace rapproché..... | 74 |

| | |
|---|-----------|
| Figure(4.17): appareils des mesures..... | 79 |
| Figure(4.18): Différents types d'électrodes de référence..... | 80 |
| Figure(5.1): Le schéma suivant résume les connexions madeint et les distributions actuelles..... | 85 |
| Figure (5.2): Présentationgraphique..... | 91 |
| Figure (5.3): Présentationgraphique..... | 92 |
| Figure (5.4):Présentationgraphique..... | 93 |
| Figure (5.5): Présentationgraphique..... | 95 |

Liste des symboles.

| Symbole | signification | unité |
|---------------------------------|---|---|
| P | Masse de métal | g |
| M | Masse molaire | (g/mol) |
| n | Nombre d'électrons mis | jeu |
| F | Nombre de Faraday | (96500 C/mol) |
| t | Temps de consommation | s |
| ρ | Résistivité moyenne du sol | Ω .cm |
| R | Résistance moyenne du sol | Ω |
| d | Espacement entre deux piquets | cm |
| L | Longueur de la surface du pipe à protéger, | m |
| L_p | Laporte du poste de protection, | m |
| a | Coefficient d'atténuation de la structure | m⁻¹ |
| E_s | Potentiel d'injection au point de soutirage | mv |
| E | Potentiel du métal sans soutirage | mv |
| r | Résistance longitudinale de la conduite, | Ω /m |
| R | Résistance transversale de la conduite, | Ω .m |
| \check{o}_a | Résistivité de l'acier | Ω .m |
| D_{ext} | Le diamètre extérieur du pipeline | m |
| e | L'épaisseur du pipeline | m |
| R_{is} | Résistance d'isolement donnée par le revêtement | Ω .m² |
| d | Densité de courant maximale | A/ m² |
| S_p | Surface à protéger, | m² |
| I_{tot} | Ampères total | A |

Liste des symboles.

| Symbole | Signification | Unité |
|----------------------|---|-----------------|
| N | Nombre d'anodes. | - |
| Ma | Masse totale | kg |
| ma | Masse unitaire d'anode | kg |
| Ca | Consommation de l'anode | Kg/ A.an |
| T | Durée de vie en année | Ans |
| I | Courant | A |
| R_t | Résistance de la conduite | Ω /m |
| R_A | Résistance du déversoir | Ω /m |
| R_c | Résistance du câble | Ω /m |
| U | Tension aux bornes de redresseur | volt |

Liste des abréviations

PC : Protection Cathodique.

/Cu/CuSO₄ : Par rapport à l'électrolyte de cuivre-sulfate de cuivre saturé

Fe²⁺ : Ion Ferreux

Fe³⁺ : Ion Ferrique

Fe₂O₃ : Oxyde de fer (Magnétite)

Fe₃O₄ : Oxyde de fer magnétique

H₂O : Molécule d'eau

O₂ : Atome d'Oxygène (gaz)

Zn²⁺ : Ion de zinc

H₂ : Atome d'hydrogène (gaz)

PH : Pression d'hydrogène.

Fcc : Fissuration par corrosion sous contrainte.

API : American Petroleum Institute.

Sommaire

Liste des figures et des tableaux

Liste des symboles

Liste des abréviations

| | |
|--|----|
| Introduction générale | 01 |
| Chapitre 01 : Corrosion des conduites souterraines | |
| Introduction..... | 03 |
| 1.1 . Définition des pipelines..... | 03 |
| 1.2 . Phénomènes de corrosion..... | 04 |
| 1.2.1 . Rappels : Métaux et électrolytes..... | 04 |
| 1.2.2 . L'électrode métallique..... | 05 |
| 1.3 . Processus électrochimiques développés sur une électrode métallique..... | 05 |
| 1.3.1 . Couche double à l'interface métal-solution..... | 05 |
| 1.3.2 . Potentiel du métal dans la solution..... | 06 |
| 1.3.3 . Electrode de référence..... | 07 |
| 1.4 . Processus de corrosion..... | 08 |
| 1.4.1. Destruction de l'équilibre par réaction du milieu..... | 09 |
| 1.4.2. Destruction de l'équilibre par couplage d'électrodes métalliques..... | 12 |
| 1.4.3. Etablissement des diagrammes de Pourbaix (pH – tension)..... | 13 |
| 1.5. Facteurs agissant sur la corrosion des ouvrages métalliques enterrés..... | 15 |
| 1.5.1. Le sol comme électrolyte..... | 15 |
| 1.5.2. Agressivité du sol..... | 16 |
| 1.5.2.1. Paramètres déterminant l'agressivité du sol..... | 17 |
| 1.5.2.2. Méthode de mesure de la résistivité du sol..... | 17 |
| 1.5.2.3. Principe de mesure de la résistivité du sol..... | 18 |
| 1.5.3. Piles dues à l'électrolyte..... | 19 |
| 1.6. Les différents types de corrosion..... | 21 |
| 1.6.1. Corrosion uniforme..... | 21 |
| 1.6.2. Corrosion galvanique..... | 22 |
| 1.6.3 . Fissuration par corrosion sous contrainte (fcc)..... | 22 |
| 1.6.4. Corrosion-érosion..... | 22 |
| 1.6.5 . Corrosion par crevasses..... | 23 |
| 1.6.6. Corrosion par les courants vagabonds..... | 23 |
| Conclusion..... | 25 |

Chapitre 02: pc et dimensionnement de système

| | |
|--|----|
| Introduction | 26 |
| 2.1. Prévention de la corrosion des conduites souterraines | 26 |
| 2.2. Protection passive par revêtements | 27 |
| 2.2.1.. Procédés de protection | 27 |
| 2.2.2. Choix du revêtement | 28 |
| 2.2.3. Les différents types de revêtements | 28 |
| 2.2.3.1. Revêtements à base de produits hydrocarbonés | 28 |
| 2.2.3.2. Revêtements thermoplastiques | 28 |
| 2.2.3.3. Revêtements à base de produits thermodurcissables | 29 |
| 2.2.4 Perte d'adhérence des revêtements..... | 29 |
| 2.3. Protection cathodique (Protection Active) | 29 |
| 2.3.1. Principe de la protection cathodique | 29 |
| 2.3.2. Critères de la protection cathodique | 30 |
| 2.3.3.Champs d'application de la protection cathodique..... | 31 |
| 2.3.4. Type de protection cathodique | 31 |
| 2.3.4.1. Protection par anodes sacrificielles | 31 |
| 2.3.4.2. Protection par courant imposé | 34 |
| 2.3.4.2.1.Principes | 34 |
| 2.3.4.2.2.installation d'un poste de protection cathodique à courant imposé..... | 35 |
| 2.3.4.3. Avantages et inconvénients des systèmes protection cathodique | 39 |
| 2.3.4.4.Choix du système de protection cathodique..... | 40 |
| 2.3.4.4. Facteurs affectant la protection cathodique..... | 41 |
| 2.3.5.. Protection par inhibiteur de corrosion | 43 |
| 2.4. Calcul de dimensionnement du système de protection cathodique..... | 44 |
| 2.4.1.Protection cathodique par courant imposé | 44 |
| 2.4.2.Calcul du nombre de postes de soutirage | 44 |
| 2.4.3.Courant de la protection | 47 |
| 2.4.4.Calcul du nombre d'anodes (Lit d'anodes) | 47 |
| 2.4.5.Puissance du poste redresseur | 49 |

Chapitre 03: présentation champ hassi berkine

| | |
|--|----|
| Introduction | 50 |
| 3.1. Description du champ HBNS..... | 51 |
| 3.1.1. Situation géographique | 51 |
| 3.1.2. Composition Du Champ HBNS..... | 52 |
| 3.1.3. Procédé de traitement d'huile | 53 |
| 3.1.4. Département Technique..... | 55 |
| 3.2. méthodes utilise lute contre la corrosion | 56 |

Chapitre 04:matériels er méthodes

| | |
|---|----|
| Introduction | 57 |
| 4.1. La corrosion des conduites enterrées | 57 |
| 4. 2. Méthodes inspection et détection de corrosion | 58 |
| 4. 2.1. Le contrôle visuel | 58 |
| 4. 2.2. Inspection en ligne outil intelligent Les techniques MFL | 59 |
| 4. 2.3. Le contrôle et Detection par ultrasons | 60 |
| 4. 2.3.1. Principe | 60 |
| 4. 2.3.2. Exemple réaliser (contrôle de pipeline par ultrason) | 61 |
| 4. 2.4. Le test ultrasonique longue portée (Long Range Ultrasonic Testing LRUT) | 62 |
| 4. 2.4. 1. Principe..... | 62 |
| 4. 2.4. 2. Présentation des résultats | 64 |
| 4. 2.4. 3. Exemple réaliser (contrôle de pipeline par Méthode LRUT) | 64 |
| 4. 2.4. 4. Règle de classement..... | 66 |
| 4. 2.5. mesures du taux de corrosion (technique de résistance de polarisation linéaire) | 66 |
| 4. 2.5.1. Principes de mesure | 66 |
| 4. 2.5.2. appareil utilise | 68 |
| 4. 2.5.3 . Logiciel utilise pour mesure | 69 |
| 4. 2.6. mesure de la corrosion par coupon | 69 |
| 4. 2.6.1. Principe..... | 69 |
| 4. 2.6.2. Règles général | 70 |
| 4. 2.6.2. . Logiciel utilise pour calcul | 71 |
| 4.3. Évaluation de l'efficacité de systèmes de protection cathodique | 72 |
| 4.3.1. Méthode de relevés de potentiel à espaces rapprochées | 73 |
| 4.3.2. Réalisation des mesures | 73 |
| 4.3.3 . Préparation de l'intervention | 74 |
| 4.3.4 . Méthode de relevé par dépolarisation | 77 |
| 4.3.5 . Méthode d'évaluation de l'influence des redresseurs de courant | 78 |
| 4.3.6 . Méthode de relevés aux prises de potentiel | 78 |
| 4.3.6 .1. Préparation de l'intervention | 79 |
| 4.3.6 .2. Les équipements de mesure | 79 |
| 4.3.6 .3. Précautions préalables | 80 |
| 4.3.6 .4. Prise de mesures au point de vérification | 81 |
| 4.3.6 .5. Post-intervention | 82 |
| Chapitre 05: Résultats et discussions | |
| Introduction..... | 83 |
| 5.1. Protection des pipelines Hassi Berkine..... | 84 |
| 5.1.1. Caractéristiques des aciers utilisés dans la réalisation pipelines | 84 |
| 5.1.2. Protection passive | 84 |
| 5.1.3. Protection active | 85 |
| 5.2. Système de maintenance des lignes..... | 86 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2.1. Surveillance et contrôle des dispositifs de protection cathodique..... | 86 |
| 5.2.2. Les inspections de poste de soutirage | 86 |
| 5.2.2.1. La Surveillance de poste de soutirage | 86 |
| 5.2.3. Contrôle les installations de la protection cathodique | 88 |
| 5.2.3. 1. Contrôle systématique | 88 |
| 5.2.3. 2. Contrôle non systématique | 89 |
| 5.3. inspection et mesure de potential pour pipelines (hassi berkine) | 90 |
| 5.3.1/ Ligne pipeline expédition(30 "huile)..... | 90 |
| 5.3.2/ Ligne pipeline injection (16 "gaz)..... | 94 |
| 5.3.3. Résultats révélées..... | 95 |
| Conclusion générale..... | 96 |

Références bibliographique

Introduction Générale

Introduction Générale

Les produits pétroliers sont acheminés par canalisation depuis les gisements jusqu'à leurs zones de raffinage, stockage et distribution. En Algérie, l'activité Transport par Canalisation exploité par la société SONATRACH assure l'acheminement des hydrocarbures (pétrole brut, condensat, gaz naturel & GPL) sur un réseau estimé à 18512 km. [2]

Les canalisations en aciers de grade API (American Petroleum Institute) sont des structures enterrées, dont la profondeur varie de 0.6 à 1.5 m et sont protégées contre la corrosion par des différents traitements, tels que la protection cathodique, les traitements de surfaces ou encore la modification du milieu corrosif par ajout d'inhibiteurs de corrosion. Plus de 95% des aciers micro alliés sont sollicités par le phénomène de corrosion qui se produit sur les surfaces extérieures des pipelines par suite des interactions du matériau avec l'environnement corrosif du sol.

Malgré la protection de ces aciers, la corrosion interne et externe reste un grand problème mondial qui touche tous les secteurs surtout dans l'industrie pétrolière. On estime à 15% de la production annuelle d'acier la perte subie chaque année, et soit environ 5 tonnes d'acier détruites par seconde [2].

Les canalisations, dont le matériau constitutif le plus répandu est l'acier non allié, sont particulièrement exposées à la corrosion, soit de leur environnement, soit de leur fonction (transport de fluides corrosifs). Parmi les conséquences : la corrosion sous plusieurs formes, la rupture sous pression; la fuite de liquides corrosifs, dangereux ou polluants.

La corrosion localisée est la forme la plus dangereuse pour l'endommagement des pipelines enterrés quand elles sont en contact avec le milieu agressif. Ce type de corrosion se développe localement en formant une pile galvanique de corrosion entre la surface extérieure, passive et cathodique, et l'intérieur de la pique, actif et anodique entraînant une cavité qui peut rapidement devenir profonde bien qu'une petite quantité de métal se dissolvent globalement.

Nous sommes intéressés dans ce travail à étudier du système de protection cathodique (PC) de la champ hassi berkine .

Malgré la double protection de l'acier des canalisations, à savoir : la protection passive par revêtements et la protection cathodique par courant imposé, le risque de corrosion est inévitable et les défaillances par corrosion, notamment par pics de corrosion (Pitting corrosion) peuvent surgir. Ce qui a motivé notre recherche dans cet axe.

La méthodologie que nous développerons dans ce travail consiste à relever les mesures de potentiel de quelque ligne hassi berkine

Nous présenterons dans le chapitre 1, une étude théorique sur la corrosion des conduites souterraines et dans le chapitre 2, une étude théorique sur la protection des ouvrages métalliques anticorrosion nous effectuons dans ce chapitre un calcul de dimensionnement du système de protection cathodique . Le chapitre 3 sera consacré à la présentation de champ hassi berkine et différents types des méthodes utilise pour la protection contre la corrosion et canalisation que présenter a la protection cathodique , Le chapitre 4 le matériel et les méthodes utilisé pour détection et contrôle de la corrosion soit interne ou externe et methode que utilisé pour les mesures de potentiels de protection cathodique.

Dans le chapitre 5 nous présenterons une résultants et discussion sur les résultats obtenus mesures de potentiels de protection cathodique.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale.

Chapitre01:

Corrosion des conduites souterraines

Introduction :

De nombreux ouvrages métalliques, tels les canalisations de gaz, et de pétrole, les pipelines et les bacs de stockage de brut sont détériorés par la corrosion que l'on peut définir comme étant la destruction d'un métal par réaction chimique ou électrochimique.

La corrosion des aciers est la plus répandue et apparaît comme un mal mystérieux, associant un milieu, ou l'un de ses composants, un métal, et diverses formes de dommages.

Dans la réalité, il faut donc soigneusement distinguer l'analyse d'un problème de corrosion et l'analyse des phénomènes de corrosion eux-mêmes. Or ces derniers ne peuvent être présentés simplement que dans une approche électrochimique, car c'est précisément là le fondement de la corrosion aqueuse. Cette approche électrochimique est souvent redoutée du profane, car perçue comme étrangère à son problème. En réalité, il s'agit là pour l'essentiel d'un problème de communication, et pour beaucoup le résultat des tâtonnements d'une pédagogie qui a mis longtemps à se trouver.

Un sol humide pouvant être considéré comme un électrolyte, il est fondé de considérer les processus de corrosion des métaux métallique dans le sol du point de vue de la théorie électrochimique, bien qu'un sol est différent d'un électrolyte.

1.1 . Définition des pipelines:

Les pipelines Figure (1.1) sont des canalisations particulières qui contribuent aux enjeux économiques d'un pays. Ils jouent un rôle extrêmement important dans le monde entier comme moyen de transport de gaz et de liquide a longue distance. Le premier pipeline a été construit en 1869 par Benson pour éviter le monopole du transport de pétrole par chemin de fer. Ces derniers permettent l'échange de produits entre raffineries, dépôts pétroliers et installations portuaires Selon la nature du fluide transporté, les professionnels distinguent l'oléoduc dans le cas de pétrole, du gazoduc dans le cas de gaz.

Un pipeline est une canalisation pompables formée par un ensemble de tubes en acier soude bout a bout, son diamètre courant est compris entre 15 cm a 1 mètre, son épaisseur varie de 4 a 13 mm. La profondeur d'enfouissement dans le sol varie de 0,6 a 1.5 mètre selon son ancienneté et ses lieux de passages.

Elle résiste à une pression de 100 bars environ et est destinée à l'acheminement d'un endroit à un autre de matières gazeuses ou liquides ;

Ces tubes sont souvent revêtus extérieurement et voir même intérieurement, et presque toujours enterrés sauf dans certaines régions.

La réalisation d'un pipeline met en jeu des investissements considérables.



Figure(1.1): pipeline.

1.2 . Phénomènes de corrosion :

1.2.1 . Rappels : Métaux et électrolytes :

La corrosion est le résultat de la présence simultanée de deux acteurs, le métal et le milieu corrosif. L'environnement est un milieu corrosif, à partir du moment où il contient de l'eau ; ce milieu, c'est, bien entendu, l'eau elle-même, milieu complexe contenant quantité d'espèces chimiques dissoutes ou en suspension, mais aussi les sols qui contiennent tous plus ou moins d'humidité, et encore les gaz amenant des condensations d'eau. Cet environnement c'est aussi la plupart des milieux industriels liquides.

La corrosion humide est le résultat d'une réaction électrochimique, (une réaction est un échange - gain ou perte - de particules) dont les particules proviennent d'une électrode métallique et d'un électrolyte qui réagissent au contact l'un de l'autre. Ces réactions, à l'interface d'une phase métallique et d'une phase aqueuse, mettent en jeu à la fois les

électrons du métal et certains éléments chimiques, neutres ou ionisés, contenus dans la solution [1].

1.2.2 . L'électrode métallique :

Un métal M est constitué par un édifice cristallin d'ions positifs Mn^+ dans lequel circulent des électrons libres. On sait que ce nuage électronique est responsable de la conductibilité des métaux. La particularité d'un conducteur métallique est de laisser passer le courant électrique sans subir de modification chimique.

En résumé, la distinction entre métal et électrolyte, en ce qui concerne la conduction du courant, s'établit comme suit :

- Le métal conduit le courant par ses électrons.
- Le métal est un conducteur électronique.
- La tension appliquée aux bornes du métal est proportionnelle au courant qui le traverse, c'est un conducteur ohmique auquel s'applique la loi d'Ohm

$$U = R.I. \quad (1.1)$$

L'électrolyte conduit le courant par ses particules ionisées, il s'agit d'une conduction ionique. L'application d'une tension minimale d'électrolyse est nécessaire ici pour assurer la circulation

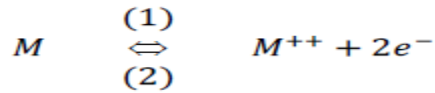
d'un courant dans l'électrolyte. Il y a existence d'une force contre-électromotrice, dépendant de l'électrolyte mais aussi des conditions d'expérience, qui retarde l'apparition du courant. L'électrolyte est un conducteur ionique auquel s'applique la loi d'Ohm généralisée :

$$U = E + R.I. \quad (1.2)$$

1.3 . Processus électrochimiques développés sur une électrode métallique :

1.3.1 . Couche double à l'interface métal-solution :

Plongeons un métal dans un électrolyte ionisant inerte. Les ions du réseau métallique tendent à passer en solution et laissent le métal chargé négativement par ses électrons (voir les figures (1.2), (1.3), (1.4)). Ce passage s'effectue jusqu'à ce que la charge des électrons s'oppose à celles des ions positifs. Il s'établit alors un équilibre réversible entre le métal, ses ions et ses électrons. Les réactions 1 et 2 ont lieu simultanément.

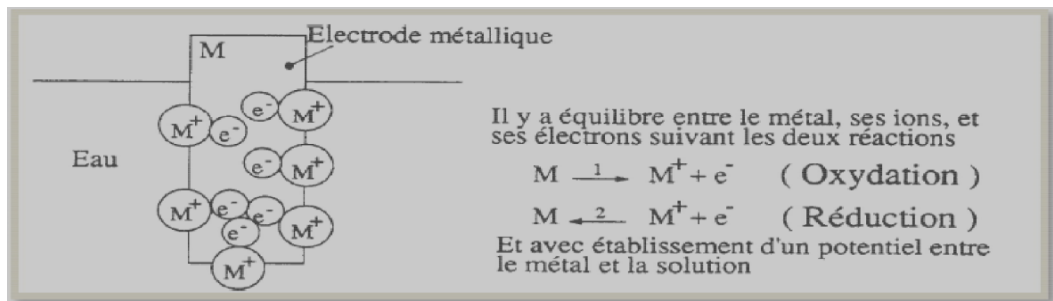


Ce phénomène se traduit par la création à l'interface métal/solution d'une double couche électrochimique responsable de l'existence d'un potentiel du métal dans l'électrolyte.

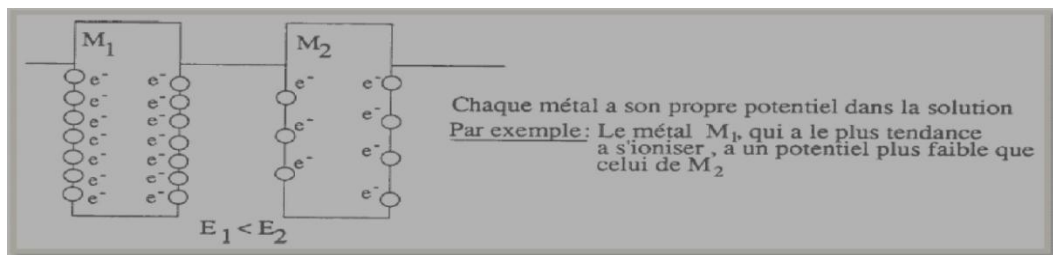
1.3.2 . Potentiel du métal dans la solution:

Dans le cas où le métal est plongé dans une solution normale d'un de ses ions, on peut, en utilisant les lois de la thermodynamique, calculer ce potentiel.

Ce potentiel a une valeur déterminée pour un métal donné et permet le classement des métaux suivant leur aptitude à s'ioniser. L'échelle de Nernst Tableau (1.1) permet ainsi le classement des métaux du point de vue de leur noblesse.



Figure(1.2): Equilibre de deux métaux différents dans une solution (1)



Figure(1.3): Equilibre d'un métal dans une solution (1)

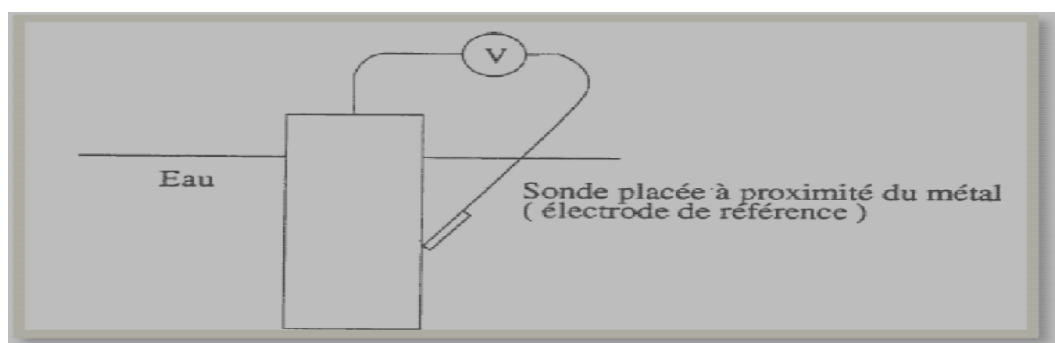


Figure (1.4): Mesure du potentiel d'un métal dans une solution avec une électrode de référence(1)

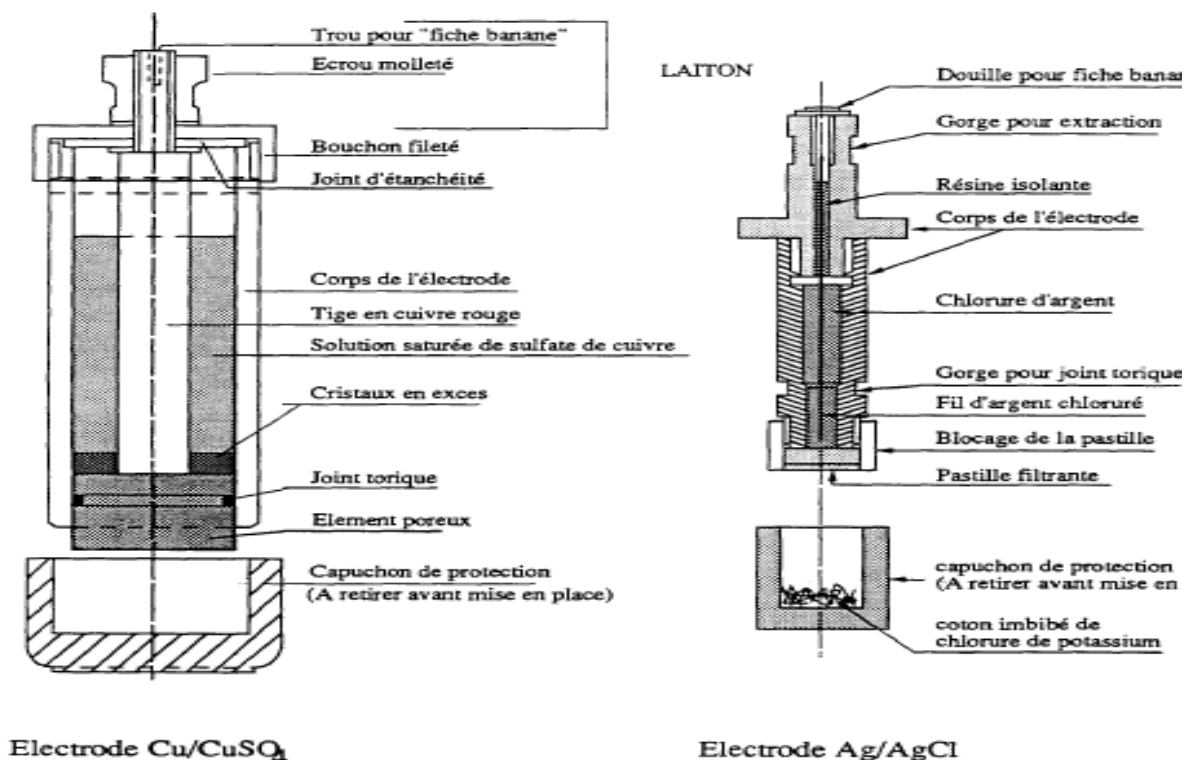
1.3.3 . Electrode de référence :

Une électrode métallique plongée dans un électrolyte est assimilable à une demi-pile. Son potentiel ne peut se mesurer physiquement.

En effet on ne peut mesurer que la différence de potentiel d'une pile. Dans notre cas, cette pile sera constituée par la chaîne électrochimique constituée de l'électrode métallique à étudier, plongée dans l'électrolyte, et d'une électrode de référence également au contact de l'électrolyte.

L'électrode de référence est constituée elle aussi par une demi-pile soumise à un processus réversible d'oxydoréduction c'est à dire métal/solution normale d'un sel du métal. Elle possède son propre potentiel normal.

L'électrode standard à hydrogène a été choisie arbitrairement comme zéro de l'échelle des potentiels, mais dans la pratique on utilise des électrodes de référence plus simples, telles l'électrode Cu/CuSO_4 , Ag/AgCl , au calomel ($\text{Hg} - \text{Hg}_2\text{Cl}_2 - \text{KCl}$), dont on connaît les potentiels respectifs Tableau (1.1) et Figure(1.5).



Figure(1.5): Electrode de référence

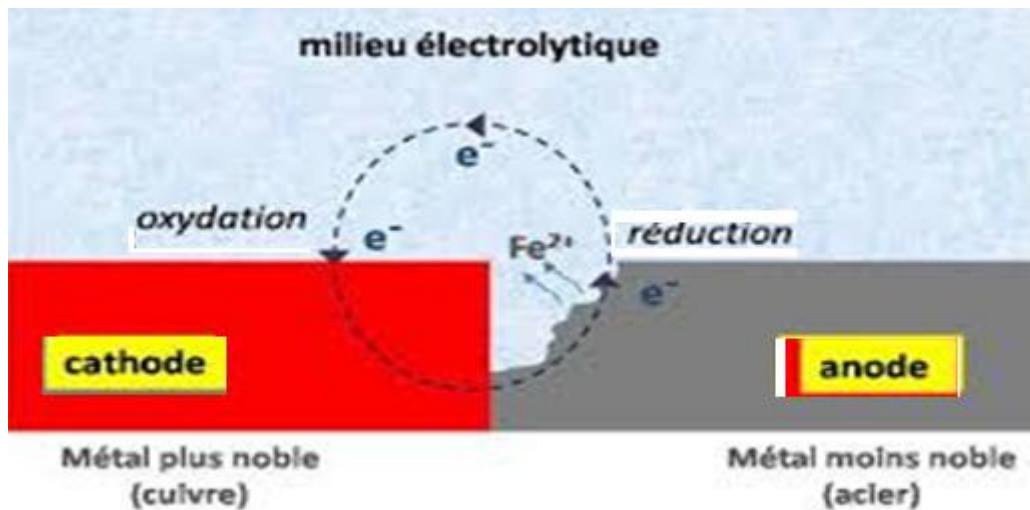
Tableau (1.1): Potentiels respectifs des différentes électrodes

| Zinc en eau de mer | Hydrogène | Calomel saturé | Chlorure d'argent | Electrode Cu/Cu SO ₄ |
|--------------------|-----------|----------------|-------------------|---------------------------------|
| + 1100 | + 316 | +75 | + 30 | 0 |
| | -0 | -0 | -0 | |
| + 250 | - 534 | - 775 | - 820 | - 850 |
| | | | | Seuil de protection de l'acier |
| 0 | | | | - 1100 |
| | | | - U + 30 | - U |
| | | - U + 45 | | |
| - U + 1070 | | | | |

1.4 . Processus de corrosion :

La corrosion du métal est un processus de destruction qui s'effectue généralement par action chimique ou électrochimique. La surface métallique est attaquée par son milieu et se transforme en composé d'oxyde, en sel ou en autre composé.

Il s'agit d'une circulation de courant électrique produite sous l'échange d'électrons à l'interface de métal/ électrolyte par l'intermédiaire des réactions chimiques. Les réactions d'oxydation (corrosion) se produisent sur les surfaces anodiques du métal alors que les réactions de réduction se produisent sur les surfaces cathodiques permettant ainsi de créer des piles galvaniques Figure(1.6). [2]

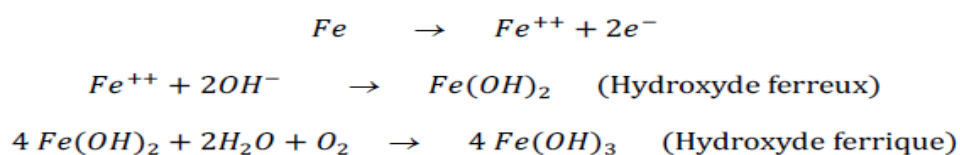


Figure(1.6): Phénomène de corrosion dans une cellule de corrosion. [2]

Par ailleurs, le phénomène de dissolution ne se produit que lorsque les quatre éléments ci après sont présents.

◆ La zone anodique :

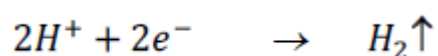
Elle est le siège de la réaction d'oxydation. À cet endroit, le métal s'oxyde et libère des ions dans l'électrolyte laissant derrière lui une perte d'électrons ce qui entraîne la corrosion de la structure métallique aux endroits appelés zones anodiques. Le mécanisme réactionnel de cette réaction chimique est décrit par les réactions suivantes [2].



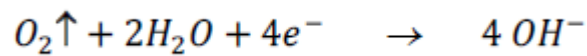
◆ La zone cathodique :

Il s'agit du siège de la réaction de réduction où les ions présents dans l'électrolyte sont réduits sur la surface de la cathode.

La réaction de réduction des ions d'hydrogène présents dans l'eau est celle qui se produit le plus souvent en formant le gaz d'hydrogène selon le processus chimique suivant.



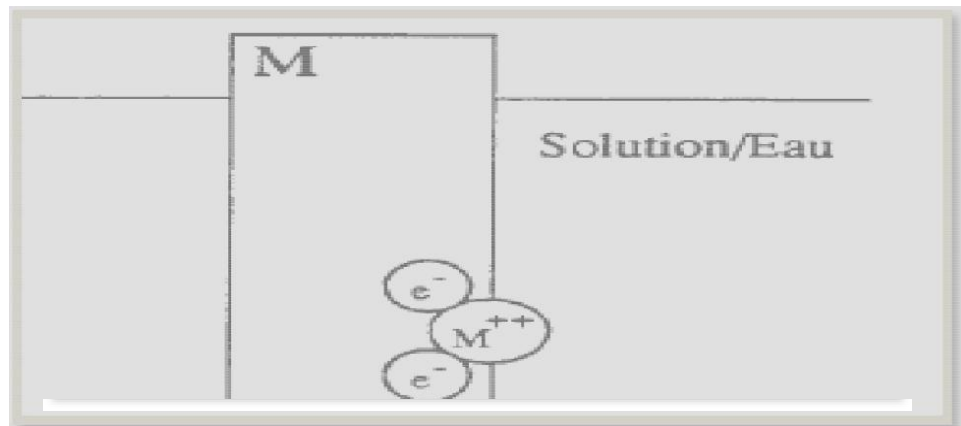
En présence de sols aérés, une autre possibilité de réaction chimique peut avoir lieu à la cathode. C'est la réduction des atomes d'oxygène dissous dans l'électrolyte qui se produit selon la réaction suivante [4].



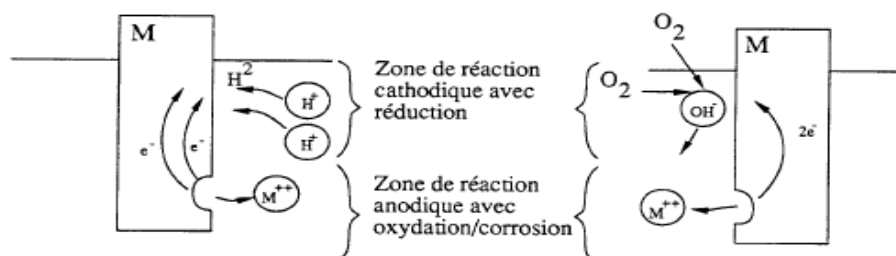
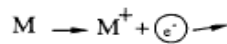
1.4.1. Destruction de l'équilibre par réaction du milieu :

Tout système chimique, contenu dans l'électrolyte, capable de fixer au contact de l'électrode métallique les électrons du métal (ce qui est le cas des oxydants de la solution) provoquera une oxydation du métal. Les oxydants de la solution sont réduits (gain d'électrons). Le métal, qui est dit réducteur, est, lui, oxydé (perte d'électrons) .

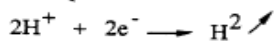
Les sites anodiques et cathodiques se formant au hasard sur l'électrode, ce processus conduit à une corrosion de type généralisé. Avec le temps, l'électrode voit sa masse et son épaisseur diminuer régulièrement Figure (1.7)/ A .B .C.



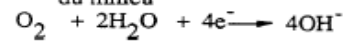
A - Equilibre du métal dans la solution



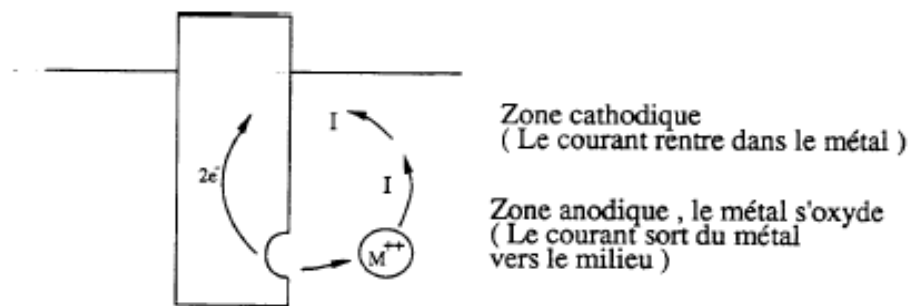
a) Par action des ions H^+ en milieu acide avec pour résultat formation d'hydrogène



b) Par action de l'oxygène avec pour résultat une alcalinisation du milieu



B – Exemples de destruction de l'équilibre



Zone cathodique
(Le courant rentre dans le métal)

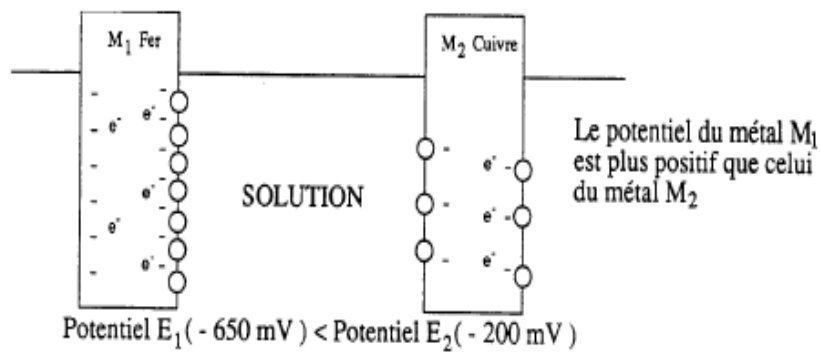
Zone anodique , le métal s'oxyde
(Le courant sort du métal vers le milieu)

C – Identification du courant

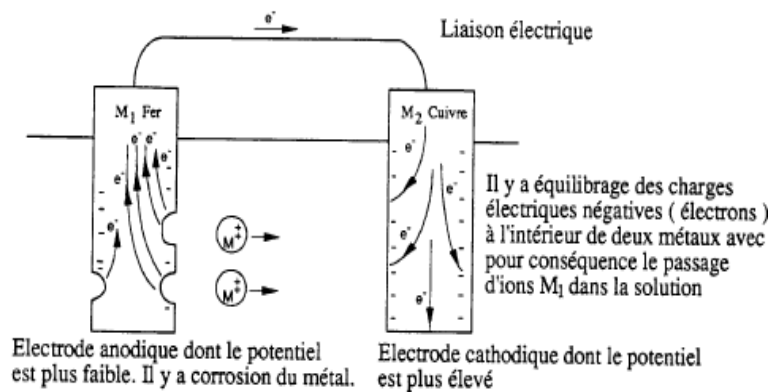
Figure(1.7)/ A .B .C: Destruction de l'équilibre d'un métal dans une solution par action du milieu(1)

1.4.2. Destruction de l'équilibre par couplage d'électrodes métalliques :

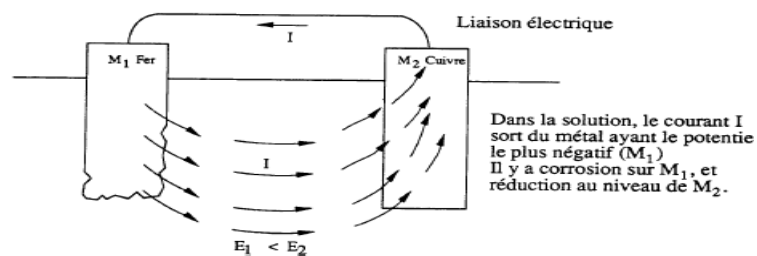
Soit deux électrodes métalliques M1 et M2 en équilibre dans un même électrolyte. Ces deux électrodes ont établi chacune leur couche double électrochimique et présentent des potentiels E1 et E2 dans la solution Figure (1.8) /1. 2. 3.



1 - Métaux en équilibre dans la solution



2 – Destruction de l'équilibre par couplage galvanique



3 – Identification du courant

Figure (1.8) /1. 2. 3 : Destruction de l'équilibre d'un métal dans une solution par couplage électrique.

Les réactions d'oxydoréduction suivent les lois quantitatives de l'électrolyse. La masse de métal déposé sur une cathode, ou la masse de métal consommé à l'anode est proportionnelle à la quantité de courant traversant les électrodes et à la masse atomique M du métal, et inversement proportionnelle à sa valence n Loi de Faraday (1.3)

$$P = (M/nF) \cdot (I_{corr} \cdot t) \quad (1.3)$$

Où :

P : Masse de métal dissous(kg)

M : Masse molaire (**kg/mole**)

n : Nombre d'électrons en jeux.

F : Nombre de Faraday.

I_{corr} : Courant de corrosion. (**mA**)

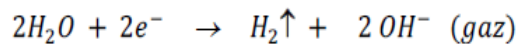
t : Temps de consommation. (**S**)

1.4.3. Etablissement des diagrammes de Pourbaix (pH – tension):

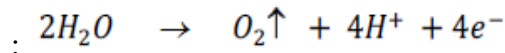
Les diagrammes de Pourbaix potentiel- pH (E-pH) sont utilisés principalement pour aider à prévoir les états les plus stables d'un métal, de ses produits de corrosion et de ses ions associés (forme complexe) dans une solution aqueuse sous différentes conditions de potentiel et de pH. Le diagramme de Pourbaix localise également les frontières des produits de corrosion insolubles du métal dissous avec les limites en concentration d'ions métalliques libres. Sur le diagramme de potentiel E-pH du système Fe-H₂O à 25°C Figure(1.9), plusieurs points thermodynamiques critiques peuvent être soulevés.

- Il est possible de ramener le potentiel de Fer à la région d'immunité en appliquant un moyen de protection cathodique adéquat.
- Il n'existe aucun pH pour lequel le fer métallique et le fer bivalent (ions ferreux) sont stables en présence de l'oxygène.

La ligne (a) présente la ligne d'évolution d'hydrogène qui est présentée par le mécanisme réactionnel suivant :



La ligne (b) présente la ligne d'évolution d'oxygène dont la réaction est représentée par



Pour le cas du fer, le diagramme potentiel-pH du système Fer- H₂O à 25°C fait apparaître trois phases distinguées (Pourbaix, 1974), à savoir :

- **Phase d'immunité** : À cet état thermodynamique, la corrosion du métal ne peut pas se produire dans son milieu environnant parce qu'il atteint un état stable assuré par l'effet d'équilibre thermodynamique provoqué par le niveau énergétique emmagasiné dans le métal (polarisation).
- **Phase de corrosion** : Dans cet état de système, le métal se transforme d'un niveau stable à un niveau actif (corrosion). Cette transformation se traduit par la dissolution de métal en ions solubles dans l'électrolyte.

En solution neutre ou acide, le diagramme prévoit la dissolution du fer avec la formation d'ions ferreux Fe²⁺ et d'ions ferriques Fe³⁺ tandis qu'en solution alcaline, le fer est sous forme d'ions ferrate HFeO₂.

- **Phase de passivité** : C'est la plage où se trouvent les différentes phases condensées sous forme d'oxydes et d'hydroxydes qui recouvrent la surface du métal et le protègent contre les attaques de corrosion. Le métal a donc été oxydé en surface mais ce film le protège d'une agression en profondeur. La couche passive recouvrant la surface métallique est généralement très stable, compacte et fortement liée au métal.

1. 5. Facteurs agissant sur la corrosion des ouvrages métalliques enterrés :

1.5.1. Le sol comme électrolyte :

Le sol est un milieu complexe de solides, liquides et gaz, qui font qu'il est parfois agressif, ce qui conduit à des corrosions extrêmement rapides, mais qu'il est, dans certains cas, parfaitement inerte et n'a qu'une action tout à fait négligeable. L'agressivité absolue du sol pour un métal découle de ses propriétés physiques et chimiques .

1.5.2. Agressivité du sol :

L'agressivité du sol est considérée comme la principale caractéristique qui contribue directement au processus de corrosion des structures enfouies. Un sol résistif a un faible apport sur le processus de corrosion tandis qu'un sol de faible résistivité permet l'activation et la propagation rapide de la corrosion et, par conséquent, une apparition importante du nombre de bris sur les conduites du réseau.

La conduite en fonte ductile présente généralement une bonne résistance à la corrosion externe. Cependant, en présence des sols agressifs, les risques d'activité de corrosion sont élevés.

À cet effet, la connaissance de la résistivité du sol entourant les conduites sert à estimer la corrosivité du sol, à déterminer les zones exposées à la corrosion et aussi à établir des plans d'intervention et de prévention en fonction des priorités [2].

Pour ces raisons, on s'est basé sur ces normes existantes afin de définir des limites de résistivité sur le terrain concernant les conduites d'aqueduc en fonte. Les limites de résistivité considérées sont présentées au Tableau (1.2) où cinq classes de sol sont ainsi définies en fonction de leur résistivité et de la corrosivité associée à chacune d'elles.

Tableau (1.2): Corrosivité du sol selon la résistivité [2]

| Plage de résistivité du sol (cm) | Catégorie du sol |
|-----------------------------------|----------------------|
| 0 – 1500 | Très corrosif |
| 1500 – 3000 | Corrosif |
| 3000 – 5000 | Moyennement corrosif |
| 5000 – 10000 | Faiblement corrosif |
| > 10000 | Peu corrosif |

La résistivité du sol est considérée comme le premier indicateur déterminant l'échelle d'activité de corrosion. Néanmoins, ils existent d'autres facteurs qui peuvent affecter le sol tels que les produits chimiques présents dans le sol, le taux d'humidité et la qualité du sol, etc.

1.5.2.1. Paramètres déterminant l'agressivité du sol :

L'analyse du taux d'agressivité du sol consiste en la détermination des paramètres suivants :

- **Résistivité du sol** : La résistivité du sol est inversement proportionnelle à la capacité du courant de corrosion et donc à l'activité de la corrosion. Un sol avec une résistivité de 1500 Ohm cm ou moins se fait attribuer 10 points et est considéré comme potentiellement corrosif.
- **pH** : Le pH exprime la teneur en ions acidifiants dissous dans l'électrolyte (le sol) et indique l'aptitude d'un sol à être le siège de certaines réactions particulières influençant la corrosion. Un sol à faible pH indique un sol aux propriétés acides et un sol avec un pH élevé indique la présence de sels alcalins dans le sol.
- **Sulfures** : La présence des sulfures indique l'existence de bactéries sulfato-réductrices. L'analyse considère les degrés de la réaction du catalyseur de l'échantillon du sol étudié (positif, trace ou aucune).
- **Potentiel d'oxydoréduction (Redox)** : Le potentiel redox vise à mesurer la capacité d'un sol à permettre l'échange d'électrons, ce qui est le fondement même du processus de corrosion.
- **Humidité** : Le taux d'humidité et ses variations ont un impact double : ils affectent autant la résistivité que le transport d'oxygène aux zones de corrosion.

1.5.2.2. Méthode de mesure de la résistivité du sol :

La méthode la plus utilisée pour déterminer la résistivité des sols est la méthode des quatre électrodes de Wenner . Cette technique présente de nombreux avantages dont entre autres sa caractéristique non destructive, capacité de fournir de hautes résolutions, relevé de mesure rapide et données facilement interprétables [2].

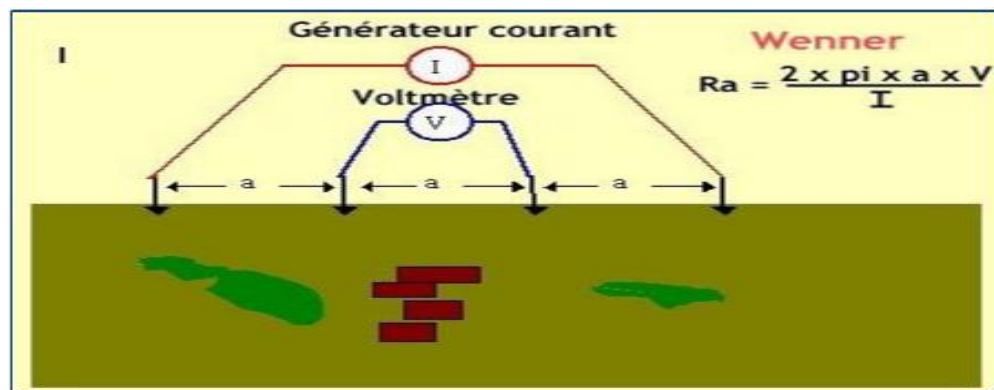
1.5.2.3. Principe de mesure de la résistivité du sol :

Tel qu'illustré sur la Figure (1.10), on fait circuler un courant d'intensité I entre les deux piquets extérieurs et on mesure la différence de potentiel ΔE qui en résulte par l'effet Ohmique entre les deux piquets intérieurs.

Les valeurs obtenues des mesures de I et ΔE permettent de calculer la résistivité du sol selon l'équation 1.2 .

Comme le sol n'est pas homogène, la valeur obtenue par la mesure ne correspond pas à la résistivité réelle du sol mais plutôt à une moyenne des résistivités des diverses couches le constituant. Ainsi, cette valeur est appelée la résistivité apparente.

La résistivité moyenne du sol peut être déterminée à partir de la résistance mesurée par l'Ohmmètre. Toutefois, la connaissance de la distance entre chaque piquet de terre est nécessaire dans chaque mesure.



Figure(1.10): Principe de fonctionnement de la méthode de Wenner.(2)

La résistivité moyenne du sol (ρ) peut être calculée en fonction de la résistance moyenne du sol mesuré avec l'application de la formule 1.2 .

$$\rho = 2 \pi R d \quad (1.4)$$

Où :

ρ : Résistivité moyenne du sol ($\Omega \text{ cm}$) .

R : Résistance moyenne du sol (Ω) .

d : Espacement entre deux piquets(cm).

1.5.3. Piles dues à l'électrolyte :

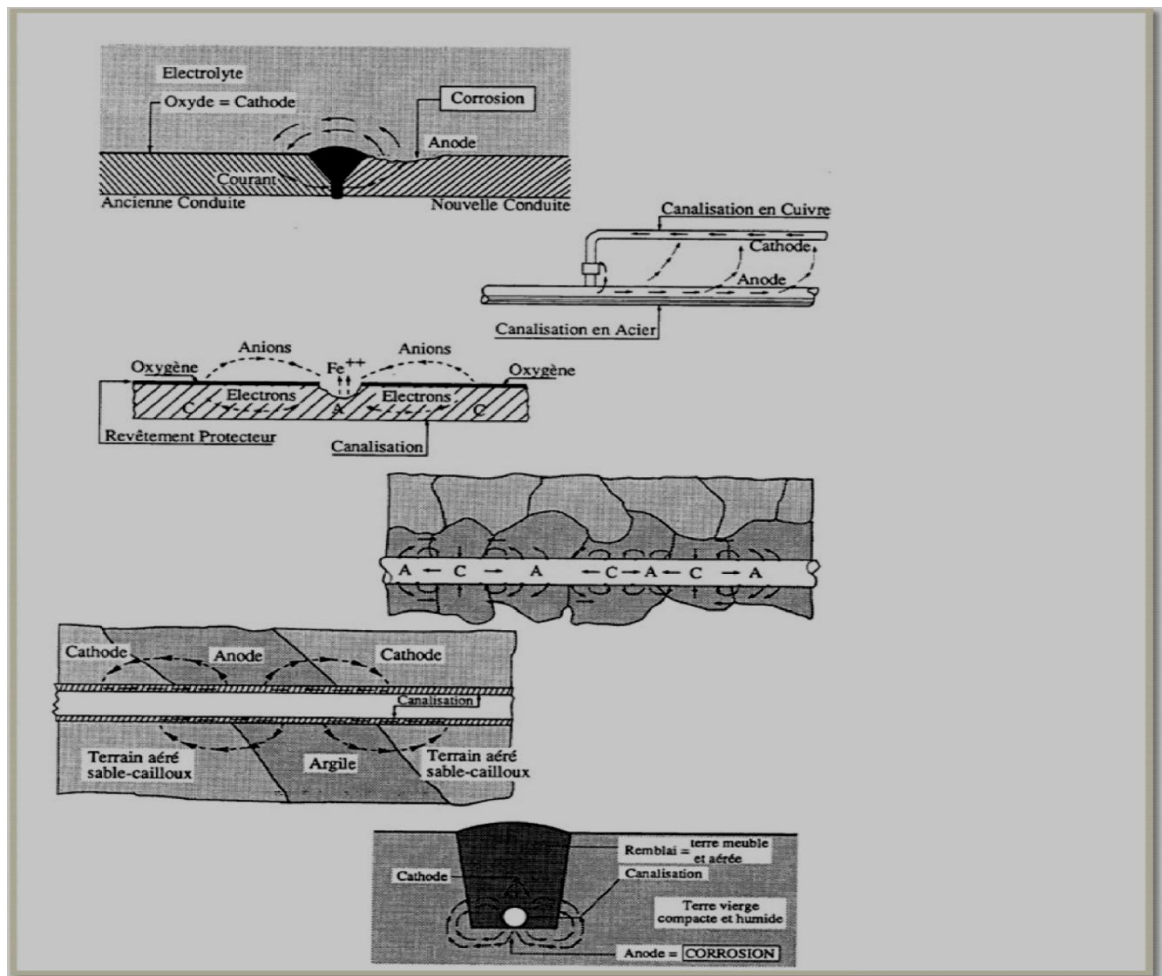
Ce sont les piles créées par les hétérogénéités du sol qui engendrent sur un ouvrage métallique pourtant parfaitement homogène, des différences de potentiel locales, donnant

naissance à un courant qui conduit à l'oxydation de la partie la plus négative du métal (Figure 1.11).

C'est ainsi que s'expliquent les corrosions des pieux métalliques sous la ligne d'eau, le creusement jusqu'au percement, de cavités mal aérées, ou bien la corrosion d'un ouvrage recouvert de façon discontinue par des oxydes, de la calamine, ou d'autres dépôts. Ce phénomène est responsable des corrosions situées sur la génératrice inférieure des tubes en fond de fouille, là où l'oxygène de l'air diffuse le moins, ainsi que des corrosions qui apparaissent au niveau des sols dont l'aération n'est pas la même en tous points (sable ou cailloux et argile par exemple).

Les piles géologiques sont caractéristiques des actions qui peuvent se développer sur une conduite, ouvrage de grande longueur, traversant des sols de compositions très différentes, lui conférant des potentiels locaux différents.

En général, les sols argileux, marécageux et les terrains humides constituent des zones anodiques vis à vis des autres terrains



Figure(1.11): Différentes piles galvanique.

1.6. Les différents types de corrosion :

1.6.1. Corrosion uniforme :

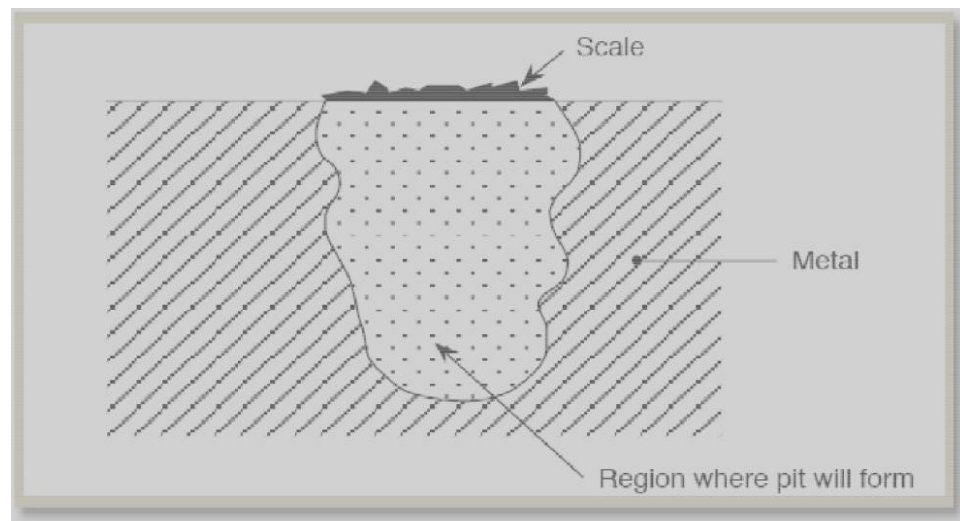
La corrosion uniforme est caractérisée par un taux de corrosion relativement uniforme sur l'ensemble d'une surface exposée.

Ce type de corrosion est habituellement prévu pour les pièces faisant partie d'éléments structuraux qui peuvent être sacrifiés au fil du temps, mais elle affecte tous les métaux communs. Dans le cas des aciers au carbone, le fer réagit avec l'oxygène pour former de la magnétite minérale, qui est de l'oxyde de fer dont la formule chimique est Fe_3O_4 . [7]

1.6. Les différents types de corrosion :

1.6.1. Corrosion uniforme :

La corrosion uniforme est caractérisée par un taux de corrosion relativement uniforme sur l'ensemble d'une surface exposée. Ce type de corrosion est habituellement prévu pour les pièces faisant partie d'éléments structuraux qui peuvent être sacrifiés au fil du temps, mais elle affecte tous les métaux communs. Dans le cas des aciers au carbone, le fer réagit avec l'oxygène pour former de la magnétite minérale, qui est de l'oxyde de fer dont la formule chimique est Fe_3O_4 . [7]

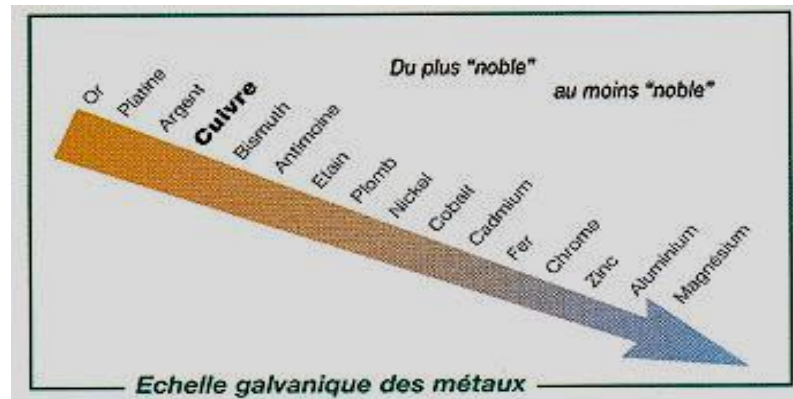


Figure(1.12): Corrosion par piqûres [7]

1.6.2. Corrosion galvanique :

Corrosion connue aussi sous le nom de **corrosion de contact**. La notion de couple galvanique correspond à un type particulier de corrosion qui trouve son origine dans la corrosion électrochimique résultant de la **formation d'une pile** par mise en contact de deux matériaux conducteurs différents Figure (1.13) dans un environnement assurant un **milieu électrolytique**. Dans ces conditions, il y a formation d'un couple galvanique.

La corrosion galvanique apparaîtra donc principalement dans les zones d'assemblage entre une structure métallique et une structure composite carbone/résine, et dans les zones de liaison de deux structures composites carbone/résine à l'aide d'éléments métalliques (vis, rivets,...) [3] .



Figure(1.13): Echelle galvanique des métaux [7]

1.6.3 . Fissuration par corrosion sous contrainte (fcc) :

La fissuration par corrosion sous contrainte peut se produire là où des contraintes de traction soutenues s'ajoutent à la corrosion et entraînent la formation de fissures localisées. On observe habituellement la FCC dans les systèmes en acier inoxydable, et le phénomène est exacerbé par la sans phénomène précurseur.

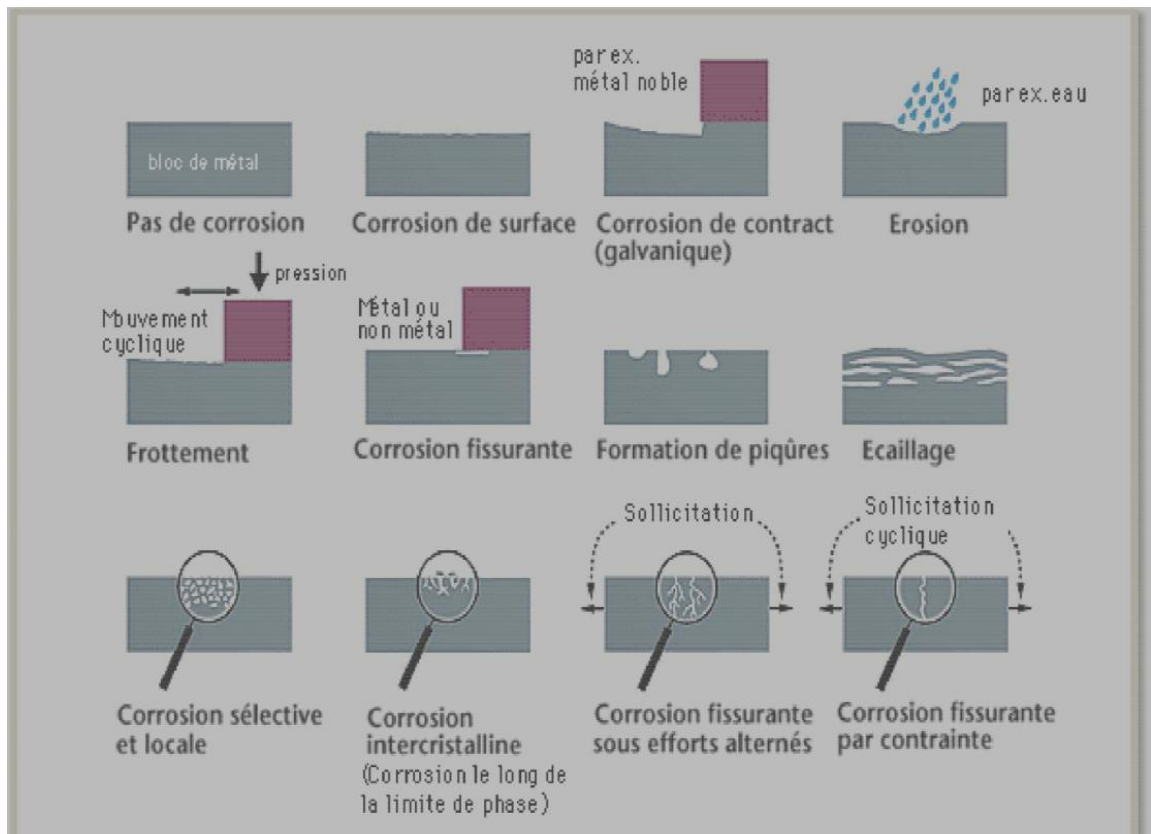
1.6.4. Corrosion-érosion :

La corrosion-érosion se produit lorsque le débit de l'eau se combine à la corrosion pour augmenter considérablement la vitesse d'enlèvement du métal par rapport à la vitesse d'enlèvement à des débits plus faibles. L'effet du débit est dû à l'enlèvement des ions métalliques et des couches protectrices à mesure qu'ils se forment, ce qui accroît la force d'entraînement de corrosion chimique et peut empêcher la formation d'une couche protectrice. Cet effet est l'une des principales causes de perte de métal dans les tubes des condensateurs de vapeur en alliage de cuivre.

Les particules fines et d'autres particules issues des produits de corrosion comme le sable et le limon dans le fluide de refroidissement peuvent également accroître la vitesse de corrosion.

1.6.5 . Corrosion par crevasses :

Cette forme de corrosion porte parfois le nom de corrosion cavernueuse ou interstitielle. Elle apparaît dans toutes les zones de confinement, les recoins de structure, les contacts entre pièces mal ajustées, sous les joints. C'est une attaque électrochimique par « Aération différentielle ». Elle se caractérise par la dissolution très rapide de la zone confinée, précédée d'un temps d'incubation plus ou moins long pendant lequel le métal ne subit aucun dommage [7].

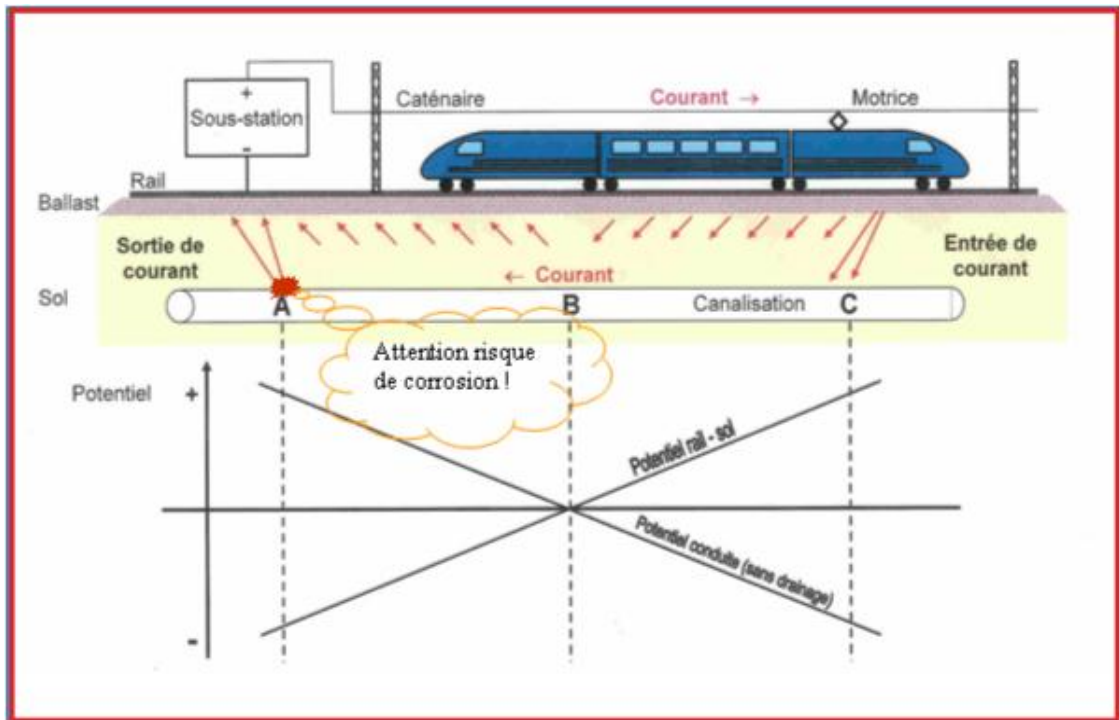


Figure(1.14): Différents types de corrosion [3]

1.6.6. Corrosion par les courants vagabonds :

Les lignes de transport à traction électrique sous courant continu (S.N.C.F. – tramways, métro), propagent généralement dans le sol des courants dits vagabonds Figure(1.15). En effet, le courant amené par la caténaire, qui peut pour certains trains être de plusieurs milliers d'ampères, retourne à la sous-station émettrice par le rail de roulement.

Ce rail plus ou moins bien éclissé, plus ou moins bien isolé du sol selon l'état du ballast, laisse échapper une partie importante du courant qui peut alors emprunter, sur des parcours de dizaines de kilomètres, des circuits peu résistants électriquement, tels que les conduites, avant de regagner le rail et le générateur à proximité de la sous-station[1] .



Figure(1.15): La corrosion par courant vagabond [1]

Conclusion

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes et elles résultent d'interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement. La corrosion jusqu'à ce jour n'est pas complètement éclairée et cela est expliqué par les essais de laboratoire qui ne permettent pas de prévoir avec certitude le comportement d'un métal ou d'un alliage donné lorsqu'il est exposé à la corrosion et de même il n'y a pas de métal résistant, d'une manière générale un métal résiste à la corrosion dans des conditions bien déterminées.

Il est nécessaire de se préoccuper et de limiter les méfaits de la corrosion d'une part parce qu'elle impose des travaux d'entretien importants et coûteux. Le problème de lutte contre la corrosion est complexe par suite de nombreux facteurs. Qu'il faille intervenir ces facteurs dépend du procédé et de l'élaboration et des traitements thermique, mécanique ou chimique que l'alliage a subi, ce dernier ne peut être qualifié de résistant à la corrosion que si l'on précise les conditions dans lesquelles il est utilisé et chaque problème de résistance à la corrosion doit être étudié d'une façon particulière. Il existe deux méthodes principales de protection contre la corrosion : Protection passive, protection active (cathodique).

Chapitre02:

Pc et Dimensionnement de système

Introduction :

La prévention de la corrosion doit commencer déjà dans la phase de la conception, en d'autres mots, on doit prendre en considération la corrosion depuis le début d'un projet et jusqu'à sa réalisation, Il s'agit de garantir une certaine durée de vie (25ans d'une canalisation de gaz par exemple) pour un coût minimal, comprenant tant les frais d'investissement que d'entretien. En plus, la solution adoptée doit être compatible avec les prescriptions concernant la protection de l'environnement naturel, et doit permettre le recyclage ou l'élimination des différents composants à la fin de leur utilisation.

La Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion peut se faire par revêtements, protection cathodique et par inhibition.

La présence permanente de la conduite dans un sol corrosif et une eau agressive augmente les probabilités d'activité des cellules de corrosion. C'est ainsi que l'application des procédures de protection contre l'évolution de la corrosion sur les conduites des réseaux est indispensable. En termes de prévention, il existe quatre moyens pour lutter contre la corrosion, à savoir :

Cette étape vient en priorité du fait qu'elle donne l'avantage au réseau de mieux résister aux conditions opérationnelles et environnementales.

La protection par revêtements a pour but d'isoler la conduite électriquement et d'éliminer tout contact direct avec le milieu environnant. Ainsi, ce revêtement anticipe la formation des cellules de corrosion sur la surface de la conduite.

La technique de protection cathodique repose sur l'injection d'un courant électrique continu permettant d'abaisser le potentiel de la structure métallique à protéger jusqu' à la zone d'immunité.

L'utilisation des inhibiteurs de corrosion :

Ce type de protection est destiné à la protection des surfaces internes de la conduite métallique. Ils forment une couche passive sur la paroi interne avant d'empêcher la production des cellules de corrosion.

2.1. Prévention de la corrosion des conduites souterraines :

La présence permanente de la conduite dans un sol corrosif et une eau agressive augmente les probabilités d'activité des cellules de corrosion. C'est ainsi que l'application des procédures de protection contre l'évolution de la corrosion sur les conduites des réseaux est indispensable.

En termes de prévention, il existe quatre moyens pour lutter contre la corrosion, à savoir :

➤ **Choix du matériel de fabrication des conduites :**

Cette étape vient en priorité du fait qu'elle donne l'avantage au réseau de mieux résister aux conditions opérationnelles et environnementales.

➤ **Application de revêtements :**

Ce type de protection a pour but d'isoler la conduite électriquement et d'éliminer tout contact direct avec le milieu environnant. Ainsi, ce revêtement anticipe la formation des cellules de corrosion sur la surface de la conduite.

➤ **Application de la protection cathodique :**

La technique de protection repose sur l'injection d'un courant électrique continu permettant d'abaisser le potentiel de la structure métallique à protéger jusqu'à la zone d'immunité.

➤ **Utilisation des inhibiteurs de corrosion :**

Ce type de protection est destiné à la protection des surfaces internes de la conduite métallique. Ils forment une couche passive sur la paroi interne avant d'empêcher la production des cellules de corrosion.

2.2. Protection passive par revêtements :

La protection de la surface extérieure de la conduite métallique par un type de revêtement approprié a pour but de former une barrière qui l'isole de son milieu environnant. Ce type de revêtement ne fournit pas de protection absolue et définitive en raison des défauts susceptibles de se produire lors de la pose ou au cours de la vie de l'ouvrage. Afin d'être performant, le revêtement appliqué doit répondre à certaines spécifications dont, entre autres, l'adhérence, la bonne résistance à l'impact, le bon isolement électrique et aussi une stabilité durable de sa composition chimique [2].

2.2.1.. Procédés de protection :

La protection par revêtement extérieurs vise à isoler le plus parfaitement possible, le métal du milieu ambiant pour prévenir le mécanisme de la corrosion. Deux principes permettent d'assurer la protection par revêtement :

Le 1^{er} principe repose sur l'imperméabilité élevée du revêtement. Celui-ci doit adhérer parfaitement à la surface métallique, et être étanche à l'eau et à l'air.

En outre, il doit constituer une barrière vis-à-vis d'espèces ioniques, avoir une résistivité et une rigidité diélectrique suffisantes et conserver toutes ces propriétés dans le temps. Ce système est généralement employé sur les structures enterrées. Il est complété d'une façon systématique par la protection cathodique pour pallier les risques de corrosion là où le revêtement est dégradé.

Le 2^{ème} principe consiste à créer au niveau du métal une couche protectrice en utilisant soit le pouvoir passivant de certains sels métalliques (chromates, phosphates), soit le caractère anodique relativement à l'acier de certains métaux (zinc, aluminium).

Afin d'en augmenter la durabilité, ces systèmes sont le plus souvent revêtus d'une couche de peinture limitant ainsi les échanges avec l'environnement. L'utilisation de ce procédé est destinée en particulier aux ouvrages aériens. Suivant la catégorie de l'ouvrage à protéger, la sélection, la mise en œuvre et le contrôle du revêtement protecteur doivent répondre à un ensemble de critères .

2.2.2. Choix du revêtement :

La sélection d'un revêtement anticorrosion doit répondre aux exigences suivantes :

- Résistance d'isolement élevée,
- Imperméabilité à la vapeur d'eau, à l'air,
- Faible transmission d'espèces ioniques,
- Inertie chimique et bactériologique,
- Adhérence et de mouillabilité à la surface métallique
- Résistance mécanique, afin que les propriétés d'anticorrosion puissent être maintenues de façon durable [4].

2.2.3. Les différents types de revêtements :

2.2.3.1. Revêtements à base de produits hydrocarbonés :

Le revêtement est constitué d'un primaire synthétique ou hydrocarboné et d'une armature en toile de verre imprégnée d'un liant hydrocarboné. Les brais de houille et les bitumes de pétrole, ainsi appliqués, présentent des épaisseurs d'environ 3 mm [4].

2.2.3.2. Revêtements thermoplastiques :

- Revêtement en polyéthylène extrudé, avec primaire d'accrochage à base de caoutchouc butyle d'épaisseur 3 mm environ.
- Bandes adhésives minces, à support PVC, ou polyéthylène, appliquées sur primaire, et recouvertes d'une bande de protection mécanique supplémentaire [4].

2.2.3.3. Revêtements à base de produits thermodurcissables :

Ce sont des revêtements constitués par des résines époxydes, en épaisseur de 500 μ m environ, ou par des polyuréthannes ou des produits composites tels les brais polyuréthannes et les brai-époxydes [4].

2.2.4 Perte d'adhérence des revêtements:

L'apparition du phénomène de décollement des revêtements provoqué par un excès de protection cathodique exige aux utilisateurs de ce système de respecter le seuil de potentiel d'évolution du gaz d'hydrogène une fois que le système est opérationnel. L'application d'une telle spécification permet d'éviter le décollement du revêtement et la dépolarisation rapide de la structure [4].

2.3. Protection cathodique (Protection Active) :

La première utilisation de la protection cathodique remonte à 1824, lorsque Sir Humphrey Davy, de la British Navy, fixa des morceaux de fer à l'extérieur au dessous de la ligne de flottaison sur le revêtement de cuivre de la coque d'un navire. Le fer se corrode plus facilement sous forme de rouille que le cuivre lorsqu'il est en contact avec la coque si bien que la vitesse de corrosion du cuivre s'en trouve considérablement réduite [3].

2.3.1. Principe de la protection cathodique :

La protection cathodique d'un ouvrage métallique en contact avec un électrolyte consiste à placer cet ouvrage à un potentiel électrique négatif tel que la corrosion devienne thermodynamiquement impossible. Comme valeur de potentiel, au dessous duquel l'acier ne peut se corroder dans un milieu ayant un pH compris entre 4 et 9, on admet le critère de -850mV, mesuré par rapport à l'électrode impolarisable au sulfate de cuivre en solution saturée.

Le principe de la Protection Cathodique trouve son application dans la pile élémentaire où l'une des électrodes (anode) est toujours corrodée alors que l'autre ne l'est pas. Voir (schémas de principe ci- dessous).

Deux méthodes sont utilisées pour rendre un ouvrage cathodique par rapport à une anode extérieure [4]:

- L'anode sacrificielle appelée encore anode réactive Figure (2.1)/ Fig .1 .
- Le soutirage de courant ou dispositif à courant imposé Figure (2.1)/Fig .2 .

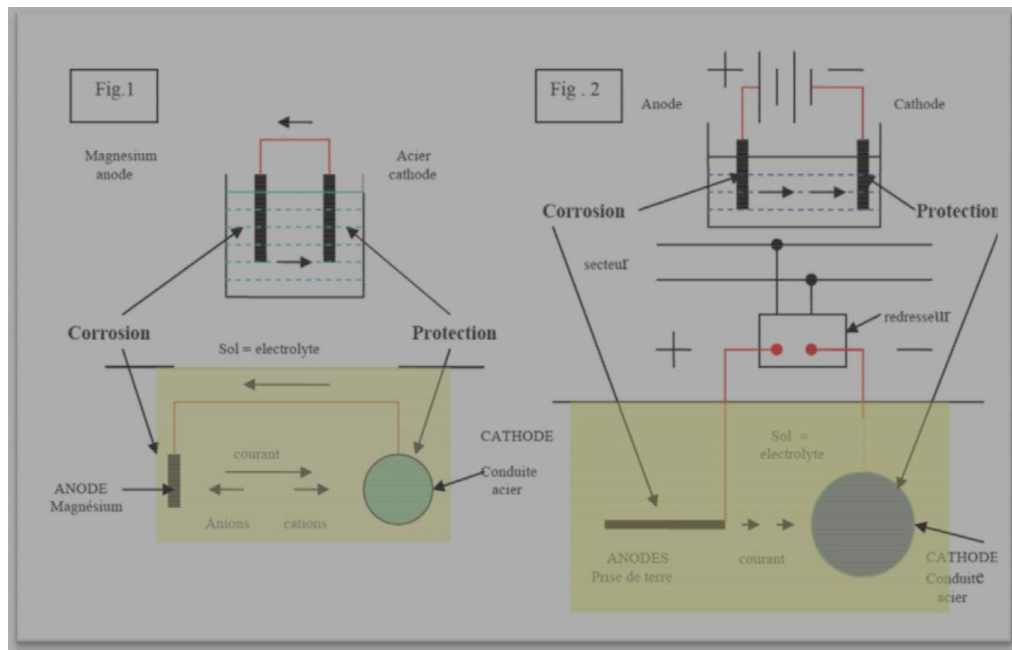


Figure (2.1): La protection par anode galvanique et courant imposé [6]

2.3.2. Critères de la protection cathodique :

- Le seuil de potentiel de protection cathodique relevé sur la structure d'acier par l'intermédiaire d'une électrode de référence en cuivre-sulfate de cuivre doit atteindre la valeur de -850 mV. Cette valeur est le critère le plus souvent utilisé pour accepter le niveau de protection cathodique.
- La valeur du seuil de potentiel de -850 mV représente le potentiel de polarisation de la structure qui peut être réduit par la chute Ohmique créée entre l'électrode de mesure et la structure mesurée. Pour cela, l'électrode doit être toute proche de la structure pour réduire la chute Ohmique durant le relevé de potentiel.
- Une différence de polarisation (niveau de polarisation) de 100 mV peut être également utilisée comme un critère de protection pour une structure métallique soumise à une protection cathodique. Ce critère s'applique souvent sur une structure nue ou avec un revêtement endommagé où il est impossible d'atteindre le seuil de -850 mV [2].

2.3.3. Champs d'application de la protection cathodique

a) Ouvrages au contact du sol

- ✓ canalisations de produits pétroliers liquides, de gaz combustibles ou d'autres fluides de types produits chimiques.
- ✓ L'extérieur des cuvelages de puits (pétrole, gaz).
- ✓ Les réservoirs enterrés.
- ✓ inflammables comme le G.P.L.
- ✓ Réservoirs de propane liquide installés ou enterrés.
- ✓ Réservoirs des stations service les plus importantes.

b) Ouvrages immergés

- ✓ Les installations offshores fixes et les navires.
- ✓ Les bouées et ouvrages portuaires.

2.3.4. Type de protection cathodique :

La transformation d'une surface métallique corrodée à une surface protégée cathodiquement nécessite de ramener le potentiel naturel de celle-ci vers celui de la zone d'immunité. Pour y parvenir, on doit procéder à une installation d'un système de protection par courant continue dans le même électrolyte. La mise en œuvre d'un tel système requiert l'application de l'un des deux types d'anodes suivants :

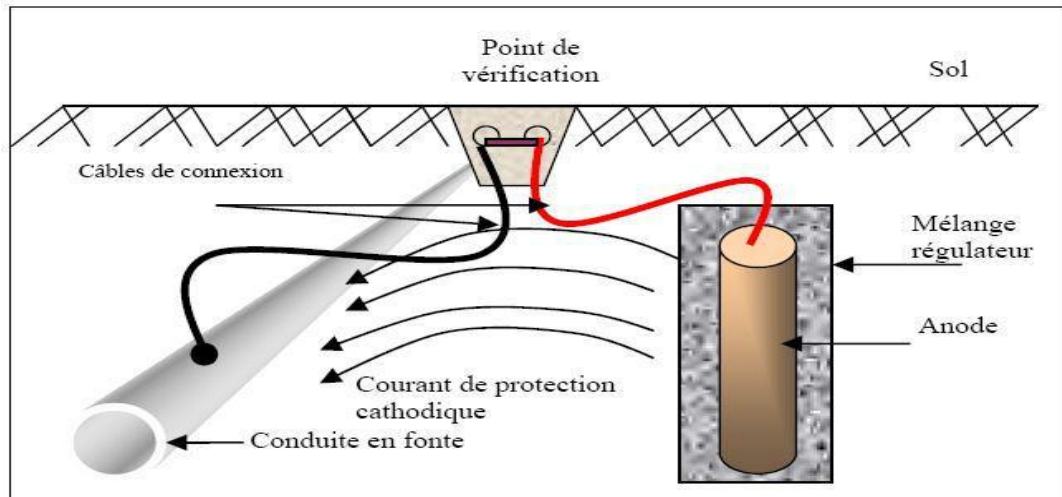
- Anodes galvaniques (sacrificielles) ayant un potentiel plus électronégatif que le métal à protéger.
- Anodes branchées à un générateur électrique assurant la protection par courant imposé.

2.3.4.1. Protection par anodes sacrificielles :

Le principe de protection par anodes sacrificielles est basé sur la connexion d'une anode ou une série d'anodes sacrificielles avec la structure à protéger en présence d'un milieu électrolytique conducteur (sol ou eau) comme le montre la Figure(2.2).

La structure se polarise négativement jusqu'à ce qu'elle atteigne un niveau de potentiel suffisant et uniforme qui assure sacrificielles du système de protection est la source du processus de polarisation de la structure métallique.

Au fil des années, l'anode se consomme graduellement selon un principe électrochimique défini par la loi de Faraday qui stipule que la masse consommée d'une matière impliquée dans la réaction d'oxydo-réduction est directement proportionnelle à la quantité du courant délivré. Ainsi, le taux de consommation de l'anode (g/A.ans) dépend de la quantité du courant émis par l'anode, de la taille de l'anode et sa composition chimique ainsi que de la structure à protéger et de l'environnement (C.S.R.P.P.G., 1986). La loi de Faraday (1.1) [1].



Figure(2.2): Principes de la protection par anodes sacrificielles [2]

les critères Choix des anodes sacrificielles :

Il existe plusieurs types d'anodes dont les caractéristiques et les applications sont différentes. Le Tableau (2.1) résume les principales caractéristiques (valeurs typiques) des anodes les plus utilisées, avec les avantages et inconvénients de chacune [Protection cathodique: guide pratique - Editions TECHNIP]. Dans le cas de la protection de l'acier, les anodes utilisées sont à base de zinc, d'aluminium ou de magnésium. Des études et l'expérience ont permis de déterminer, pour chacun des métaux les seuils d'impureté admissibles ainsi que les éléments d'alliage complémentaires nécessaires pour obtenir les meilleures performances. De nombreux alliages spécifiques pour la protection cathodique existent aujourd'hui sur le marché [5].

Tableau (2.1): Comparaison des différents types d'anodes sacrificielles [5]

| | Anode à base de Zinc | Système à courant imposé | Anode à base de magnésium |
|---|--|---|---|
| Potentiel en charge (V) | -1 à -1,05 en eau de mer -1,10V à terre | -1,05 | -1,4 à -1,5 (type standard) -1,6 à -1,7 (type haut potentiel) |
| Capacité pratique (Ah/kg) | 780 en eau de mer 740 à terre | 2600 | 1100 (type standard) 1230 (type HP) |
| Consommation pratique (kg/A. an) | 11,2 en eau de mer 11,9 en terre | 3,4 | 6.5 à 8 |
| Rendement électrochimique (%) | 95 en eau de mer 90 à terre | 87 | 55 |
| Application | Conduites enterrées de faible longueur Ouvrages immergés Capacités métalliques (intérieur ou extérieur) Réservoirs sous talus | Plates-formes offshore Conduite offshore chaude Capacité métalliques (intérieur) | Conduites enterrées sur de faibles longueurs Conduites offshore sur plusieurs Km à partir des plates-formes Prépolarisation d'ouvrages offshore permettant de réduire la quantité d'anodes d'aluminium devant prendre le relais Réservoirs sous talus |
| Avantages | Potentiel bien adapté à la protection des structures compactes en eau de mer Comportement sûr dans les conditions diverses de fonctionnement (sol, eau de mer, vase, milieux confinés) Excellent rendement Peu sensibles aux salissures marines | Coût de PA/an le plus faible (forte capacité pratique) Potentiel bien adapté à la protection des structures complexes en eau de mer Utilisation possible dans les citernes des tankers (pas d'étincelle en cas de chute) Reste active aux températures élevées avec toutefois une chute du rendement | Portée élevée (fort potentiel) Polarisation rapide de la structure (précipitation du dépôt calco-magnésien en eau de mer) Faible poids spécifique |
| Inconvénients | Portée limitée (faible potentiel) Température d'utilisation limitée à 60 °C Coût A/an Poids spécifique élevé | Moins adaptée dans les milieux faiblement renouvelés (chute de rendement en cas d'acidification du milieu) Vulnérable aux salissures marines Déconseillé pour la protection des ouvrages entièrement peints car il y a risque de passivation si l'anode n'est que faiblement sollicitée. | Force électromotrice parfois surabondante pour la protection en eau salée (surconsommation, risque de cloquage de la peinture) Faible durée de vie (remplacement fréquents nécessaires) Rendement médiocre en eau de mer Coût de PA/an le plus élevé |

2.3.4.2. Protection par courant imposé :

Dans certaines situations de protection, les anodes sacrificielles ne peuvent pas délivrer suffisamment de courant pour une protection idéale.

Cette situation est souvent rencontrée dans les cas de longues conduites ayant un grand diamètre et de conduites présentant un problème d'isolation. De même, certaines conditions environnementales peuvent parfois être à l'origine de ce genre de problèmes. Devant des circonstances pareilles, les ingénieurs de design favorisent l'application de la protection par courant imposé [2].

2.3.4.2.1.Principes :

La protection par courant imposé (ou de soutirage) utilise une source d'énergie électrique en courant continu qui débite dans un circuit comprenant.

- Masse anodique ou (un déversoir).
- L'électrolyte (sol ou eau).
- La structure à protéger.

Le pôle positif de la source est relié au déversoir alors que le pôle négatif est relié à la structure à protéger. Comme le montre la Figure (2.3) le courant venant du déversoir traverse l'électrolyte, puis entre dans la structure créant ainsi un abaissement de potentiel recherché correspondant à l'immunité du métal. Par exemple, pour de l'acier dans un sol type, la différence de potentiel (ddp) entre l'électrode de référence au sulfate de cuivre saturé est inférieure à $-0,850$ V en tous points de la structure. En général, la valeur limite inférieure que l'on cherche à atteindre est d'environ -1 V. [5]

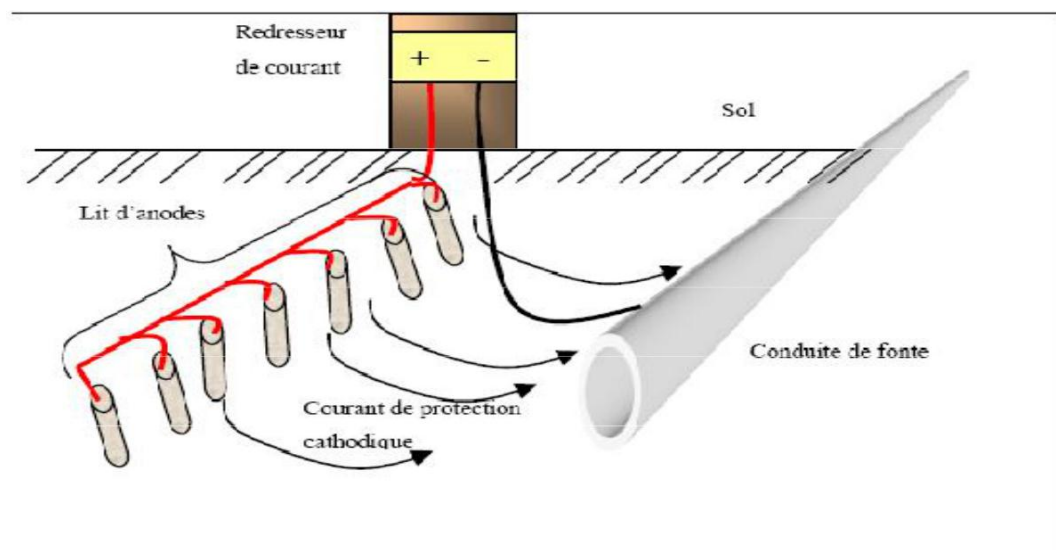


Figure (2.3): Principe de la protection par courant imposé [2]

2.3.4.2.2. installation d'un poste de protection cathodique à courant imposé

1/ Générateur de courant continu et ces caractéristiques

Habituellement, il est constitué par un transfo-redresseur

- Les panneaux solaires photovoltaïques, alimenté à partir du réseau électrique basse tension. Mais d'autres sources d'alimentation peuvent être envisagées tel que :
- Les groupes électrogènes,
- Les thermo générateurs,
- Les générateurs de type éolien,
- Piles à combustibles,
- Générateur nucléaire.

2/ Déversoir anodique et leurs implantations:

Le déversoir anodique est constitué d'un ensemble d'anodes, ces dernières peuvent être de forme et de dimensions très variables.

Tableau (2.2): Formes et dimensions des anodes

| Dimensions | Longueur (mm) | Masse (kg) |
|--|---------------|------------|
| Section circulaire Ø 200 mm | 400 à 650 | 10 à 23 |
| Section rectangulaire 102×102 à 127×114mm | 200 à 550 | 4 à 15 |
| Section en forme de D côté rectiligne de 90 à 110 mm | 20 à 1500 | 2 à 30 |
| Section trapézoïdale de 25 à 65 cm ² | 500 à 1500 | 19 à 50 |

Le déversoir sert à injecter le courant de protection cathodique dans le sol. Il doit donc être constitué de matériaux conducteurs de courant. Se comportant comme une anode, il est soumis aux phénomènes d'oxydation. La masse du matériau constituant le déversoir devra être déterminé pour que l'installation ait une durée de vie de l'ordre de 15 à 20ans.

Les matériaux généralement utilisés pour la réalisation d'un déversoir sont récapitulés dans le Tableau (2.3).

Tableau (2.3): Propriétés et milieu d'utilisation des déversoirs

| Déversoir | Consommation (kg/A.an) | Milieu d'utilisation |
|----------------|------------------------|---|
| Acier | 9 | Tous types de sol Eau de mer Eau douce |
| Graphite | 0,25 à 0,5 | Tous types de sol Eau de mer Eau douce |
| Ferro silicium | 0,5 | Tous types de sol Milieux liquides chlorurés Milieux de faible résistivité |
| Magnétite | 1,5 g/A.an | Tous types de sol Eau de mer |
| Titane platiné | 10 mg/A.an | Milieu de faible résistivité |

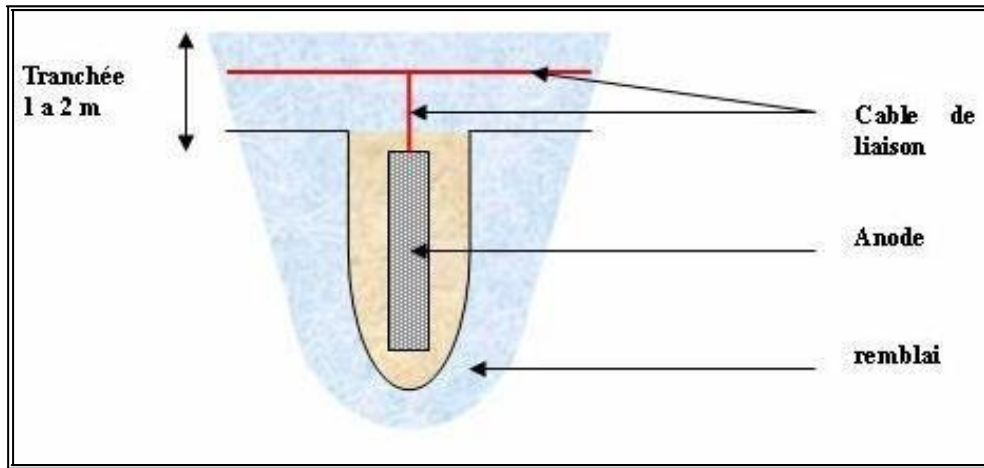
L'implantation du déversoir devra être installée à environ 50 mètres de la canalisation, de façon à favoriser son rayonnement et augmenter ainsi la portée du poste de protection. En règle générale, il faudra veiller impérativement à s'écarter d'au moins 50 mètres de tout ouvrage métallique enterré susceptible de capter les courants déversés.

On distingue deux types d'emplacement :

❖ **Déversoir anodique posé verticalement**

Le procédé de pose consiste à enterrer les anodes verticalement dans un trou creusé au fond d'une tranchée à une profondeur comprise entre un et deux mètres selon la nature du terrain tel que montré sur la Figure(2.4).

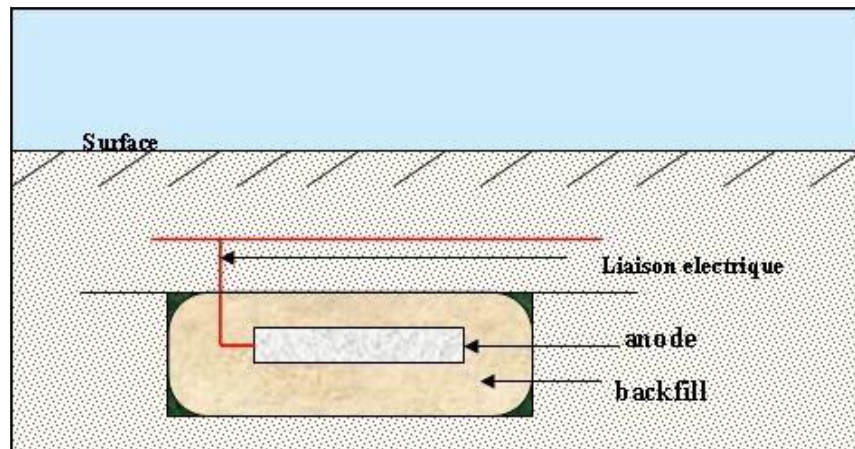
Le courant I débité par une anode dépend de la résistance de cette dernière et également de la structure à protéger.



Figure(2.4): Déversoir anodique posé verticalement

❖ Déversoir anodique posé horizontalement

Ce type de pose est conseillé lorsque la résistivité du sol en surface est faible et lorsqu'on dispose de place sur le terrain tel qu'illustré sur la Figure(2.5) Il est recommandé, par exemple l'utilisation de vieux rails ou autre ferraille de forme similaire



Figure(2.5): Déversoir anodique posé horizontalement

3/ Les électrodes de référence :

Pour mesurer le potentiel d'une électrode, on utilise une électrode de référence qui devrait satisfaire aux conditions suivantes :

- Avoir un potentiel reproductible.
- Etre non polarisable (aux faibles intensités de courant, le potentiel ne varie pratiquement pas).
- Etre facile à utiliser.

Tableau (2.4) donne les électrodes de références les plus couramment utilisées .

Tableau (2.4): Electrodes de référence.

| Électrodes | Électrolytes | E/V |
|--|---|-------|
| Calomel (Hg/Hg ₂ Cl ₂ /Cl ⁻) | KCl saturé | 0,241 |
| | KCl 1M | 0,280 |
| | KCl 0,1M | 0,330 |
| Sulfate mercurieux (Hg/HgSO ₄ /SO ⁻²) 4 | K ₂ SO ₄ , saturé | 0,658 |
| Oxyde mercurique | NaOH, 1M | 0,098 |
| Chlorure d'argent (Ag/AgCl/Cl ⁻) | KCl, saturé | 0,195 |
| Sulfate de cuivre (Cu/CuSO ₄) | CuSO ₄ , saturé | 0,316 |

4/ Les câbles de liaison

La section des câbles est déterminée en fonction de la chute admissible et de l'échauffement. Pour des raisons de tenue mécanique une section minimale de 10 mm² est recommandée, la nature de l'isolant des câbles est déterminée en fonction du milieu. Dans beaucoup de cas un câble isolant en PVC est suffisant.

Les bornes (+) et (-) sur l'appareil de soutirage et les câbles doivent être clairement repérées afin d'éviter des inversions qui provoqueraient la corrosion de la partie à protéger.

En plus des appareils déjà cités, il faut disposer d'autres appareils électriques :

- **Les appareils de coupure** : des interrupteurs permettant d'établir ou d'interrompre l'alimentation du post de soutirage
- **Les appareils de protection** : des disjoncteurs permettant la coupure et la protection contre les surcharges et les sur intensités.
- **les appareils de mesure** : qui ont pour but d'indiquer:
 - la tension d'alimentation.
 - l'intensité débitée.
 - le potentiel de la structure.
 - le temps de fonctionnement.

2.3.4.3. Avantages et inconvénients des systèmes protection cathodique :

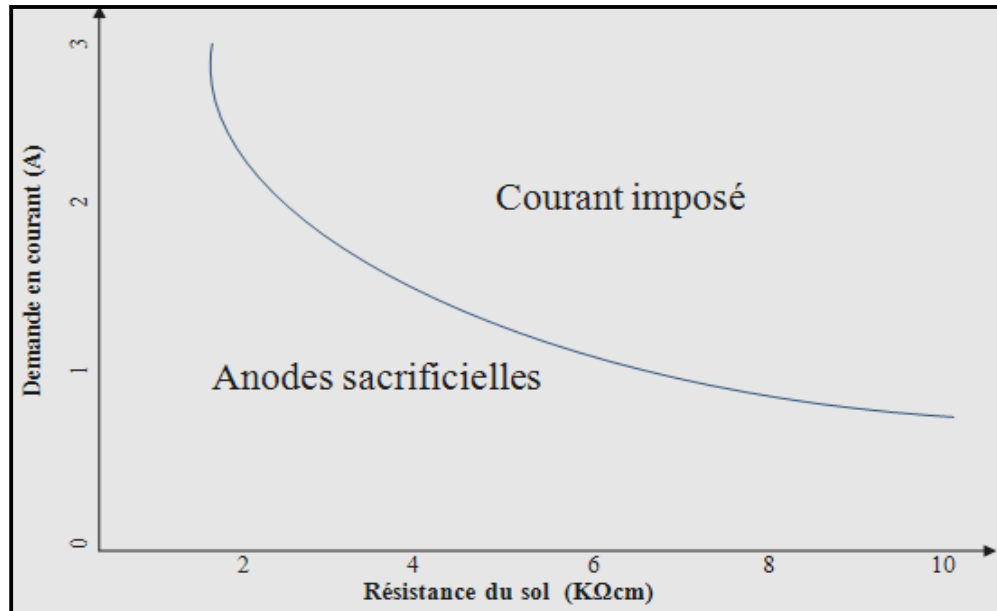
Quoique l'utilisation d'un système de protection cathodique est toujours bénéfique, la sélection du système à adopter demeure généralement assujetti à des conditions environnementales, énergétiques et économiques. À cet égard, une étude comparative doit être établie par l'ingénieur de design afin de mettre en relief les avantages et les inconvénients de chacun des systèmes de protection. À titre d'exemple, le Tableau (2.5) donne un aperçu sur les éléments comparatifs en question. [1]

Tableau (2.5): Comparaison des éléments de systèmes P.C

| | Anode galvanique ou sacrificiel | Système à courant imposé |
|--|--|---|
| Complexité de l'installation | Simple | Complexe |
| Source d'énergie | Non nécessaire | Nécessaire |
| Distribution du courant sur la structure | Homogène | Souvent hétérogène |
| Poids de la structure | Importante surcharge en poids pour les longues durées de vie | Peu d'accroissement |
| Influence de la résistivité du milieu | Non envisageable si la résistivité du milieu est trop grande | Pas de difficulté |
| Débit par anode | Faible | Elevé |
| Nombre d'anode | Important | Faible |
| Facilité d'adapter le courant consommé en fonction de la demande | Adaptation possible à travers une liaison résistance | Adaptation facile |
| Risque de surprotection | Pratiquement aucune | Possible |
| Interférence avec d'autres structures | Non | Possible |
| Risques humains | Non | Possible (Poste de soutirage) |
| Surveillance | Aisée et occasionnelle | Surveillance fréquente requise par un spécialiste |

2.3.4.4.Choix du système de protection cathodique

Le choix d'une méthode de protection par rapport à une autre selon baekmann et scwenk, dépend essentiellement de la demande en courant et de la résistivité du sol (électrolyte) telle qu'illustré dans la Figure(2.6).



Figure(2.6): Choix du système de protection cathodique.

Aussi La sélection d'un système de protection par rapport à un autre devra être établi en tenant compte des comparaisons d'un certain nombre de facteurs économiques et aussi de problèmes de maintenance et de suivi de la protection par courant imposé qui sont très souvent limitatifs de leurs emploi tel que montré sur le tableau suivant Tableau (2.6).

Tableau (2.6): comparatif entre la protection cathodique par anode sacrificielles et par courant imposé.

| | anode sacrificielle | système à courant imposé |
|---|--|--|
| Installation | Simple | Complexe |
| Source d'énergie | Non nécessaire | Indispensable |
| Distribution du courant sur la structure | Homogène | Souvent hétérogène |
| Influence de la résistivité du milieu | Non envisageable si la résistivité est trop grande | Aucune difficulté |
| Débit par anodes | Faible | Elevé |
| Nombres d'anodes | Important | Faible |
| Flexibilité dans les conditions de fonctionnement | Aucune | Grande |
| Risque de surprotection | Quasi nul sauf cas d'anode de magnésium | Possible |
| Interférences avec d'autres structures | Non | Possible |
| Risques humains | Non | Possible |
| Surveillance | Aisée et occasionnelle | Surveillance continue et nécessitant des techniciens spécialisés |

2.3.4.4. Facteurs affectant la protection cathodique:

Atténuée par L'efficacité d'un système de protection cathodique appliquée sur une conduite donnée peut être certains facteurs mécaniques, physiques et environnementaux qui se manifestent sous différentes formes :

- ✓ Insuffisance de continuité électrique.
- ✓ Perte d'adhérence des revêtements sur la conduite à protéger.
- ✓ Influence des structures adjacentes.
- ✓ Influence des courants vagabonds (courant continu et courant alternatif) .

1/ Insuffisance de continuité électrique:

L'insuffisance de la continuité électrique dans le système de protection cathodique se manifeste suite à une faible conductibilité électrique de l'électrolyte, soit par la présence d'un revêtement qui inhibe le passage du courant de protection. Ce manque de flux de courant se traduit par une insuffisance au niveau de la polarisation de la structure. Il s'ensuit alors que les critères de protection cathodique ne peuvent pas plus être conclus. Pour éviter que cela ne se produise, il est donc nécessaire d'assurer la continuité électrique en tous points de la structure. Il est à noter que, pour le cas des réseaux d'aqueduc, la présence des joints de raccordement non continus électriquement entre les différents éléments de l'ouvrage forme un blocage de circulation de courant. Ce fait oblige le courant de s'échapper de la conduite pour aller suivre d'autres chemins moins résistants ce qui crée des zones chaudes au niveau la structure (points de corrosion).

2/ Influence des courants vagabonds:

Les courants vagabonds se définissent comme étant des courants qui abandonnent leurs sources d'origine pour aller circuler dans le sol et chercher par la suite le parcours qui leur offre le minimum de résistance. Ces courants électriques qui empruntent le chemin métallique le plus proche à rencontrer. Le comportement de ce type de courant est généralement variable en termes d'intensité, de direction et de trajet. Ils affectent souvent le système de protection cathodique de la structure et conduisent à la formation des cellules de corrosion aux points de sorties .

Les courants vagabonds proviennent souvent des installations nourries aussi bien en courant continu qu'en courant alternatif. En courant continu, ces courants s'émanent d'installations mal isolées par rapport au sol comme les voies ferrées électrifiées. En courant alternatif, les structures métalliques sont susceptibles de recevoir des interférences au voisinage des lignes de haute tension où l'excès de courant injecté dans les structures produit sous l'effet inductif et capacitif perturbe les critères de la protection cathodique.

Ainsi, l'emplacement des lignes de transmission de courant alternatif devrait être souligné lors de la conception des systèmes de protection cathodique.

3/ Influence des structures adjacentes:

La présence voisine des structures métalliques dans un électrolyte conducteur peut induire des interférences électriques défavorables sur la structure.

Le courant électrique délivré par les anodes de protection a tendance à s'échapper de la source pour embarquer sur une structure adjacente non protégée et ce avant de rejoindre la structure à

protéger. De ce fait, les critères de protection cathodique peuvent être affectés et les points de sortie du courant de protection créés sur la structure voisine sont exposés à la corrosion.

L'étude contribue au dimensionnement d'un système de protection cathodique par soutirage de courant avec comme source d'énergie électrique des panneaux photovoltaïques.

Les résultats montrent que la configuration étudiée du système solaire assure la protection de la canalisation enterrée, le critère de protection cathodique est atteint.

Pour la même configuration du système de soutirage avec appoint d'énergie solaire les points suivants sont intéressants :

La gamme de potentiel de protection est large et le système s'adapte bien pour des canalisations de matériaux de différents.

2.3.5.. Protection par inhibiteur de corrosion :

L'inhibiteur de corrosion est une forme de substance rajoutée avec une faible concentration au liquide transporté pour réduire le taux de corrosion sur les conduites du réseau.

Les interactions chimiques s'établissant entre l'inhibiteur et la surface du métal permettent de former un écran passif sur la paroi de la conduite qui sert à empêcher le processus de corrosion de se produire.

Les inhibiteurs de corrosion sont de deux types, soit anodique ou cathodique (Bofardi, 1987).

Les inhibiteurs anodiques sont conçus pour interférer avec la réaction de corrosion sur les sites anodiques. Quant aux inhibiteurs cathodiques, ces produits sont destinés à réduire le flux par l'effet de la réaction cathodique.

Par ailleurs, les inhibiteurs de corrosion peuvent fonctionner autrement comme agent d'inhibition. Ils peuvent être injectés dans le liquide transporté pour ajuster son pH, récupérer la quantité d'oxygène dissout et neutraliser les espèces acides en solution.

Ainsi, ces formes d'utilisation sont très pratiques et en même temps efficaces dans la lutte contre la corrosion [2].

2.4. Calcul de dimensionnement du système de protection cathodique

2.4.1. Protection cathodique par courant imposé :

Ce mode de protection est appelé, plus communément, protection par soutirage. Le principe de cette protection, consiste à relier au pôle négatif d'une source à courant continu, l'ouvrage à protéger, tandis que le pôle positif est relié à une pièce conductrice (en métal ou en graphite) enterrée à une certaine distance.

Le courant partant de cette pièce appelée déversoir, traverse le sol, est capté par la canalisation et retourne au générateur par circulation dans le métal de la conduite.

La canalisation est alors rendue négative par rapport au sol. Si le critère de potentiel est atteint en tous points, la conduite est protégée cathodiquement. [6]

2.4.2. Calcul du nombre de postes de soutirage :

Le poste de soutirage est un générateur de courant continu. Habituellement il est constitué par un transformateur-redresseur alimenté à partir du réseau électrique basse tension 220V.

Les postes transformateurs redresseurs sont de type 60 volts – 30 ampères en sortie continue, alimenté en courant alternatif 230 volts monophasé 50 Hz.

Les postes sont à fixation murale. Les dimensions des coffrets sont : 800 x 600 x 300 mm. Concernant le nombre de postes N_p à installer, nous utilisons l'équation suivante :

$$N_p = \frac{L}{L_p} \quad 2.1$$

L : Longueur de la surface du pipe à protéger, (m)

L_p : La portée du poste de protection, (m)

L'évaluer la portée des postes de protection L_p est faite à partir de la formule suivante [6]:

$$L_p = \frac{1}{a} \cdot \ln \left(\frac{E_s}{E} + \sqrt{\left(\frac{E_s}{E} \right)^2 - 1} \right) \quad 2.2$$

a : Coefficient d'atténuation de la structure, (m^{-1})

E_s : Potentiel d'injection au point de soutirage

E : Potentiel du métal sans soutirage (Le potentiel spontané de la conduite sans protection cathodique).

$$a = \sqrt{\frac{r}{R}}$$

2.3

r : Résistance longitudinale de la conduite, (Ω/ m)

$$r = \frac{\delta_a}{\pi \cdot e \cdot (D_{ext} - e)}$$

2.4

R : Résistance transversale de la conduite, ($\Omega \cdot \text{m}$).

$$R = \frac{R_{is}}{\pi \cdot D_{ext}}$$

2.5

$\delta_a = 21 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$: Résistivité de l'acier .

D_{est} : Le diamètre extérieur du pipeline = $\text{Ø}12''$.

e : L'épaisseur du pipeline = **11mm** .

$R_{is} = 18360 \Omega \cdot \text{m}^2$: Résistance d'isolement donnée par le revêtement.

Pour le calcul des résistances **r** et **R**, on prendra le grand diamètre et l'épaisseur appropriée des deux pipelines qui est le $\text{Ø}12''$. On aura :

$$r = 0,25 \cdot 10^{-4} \Omega/ \text{m}$$

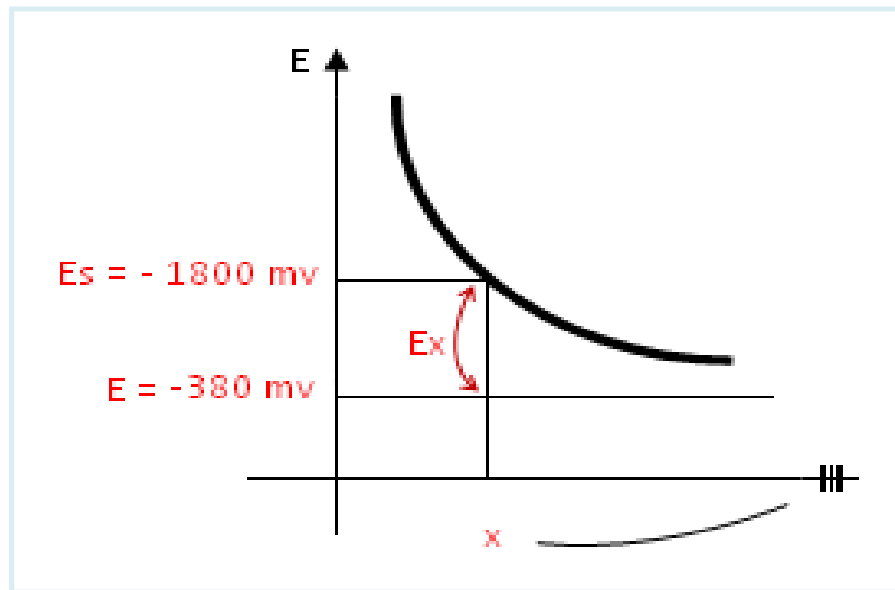
$$\text{et } R = 1,92 \cdot 10^{-4} \Omega \text{m.}$$

Et puis, en substituant les valeurs de **r** et **R** dans l'équation (3.3), on obtient :

$$a = 0,36 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

Le potentiel du métal dans le sol est la somme du potentiel de corrosion du métal sans soutirage et du gain apporté par la mise en service du soutirage. Ainsi, sans protection cathodique le potentiel spontané de la conduite est de **-380mV**.

Comme indique la Figure(2.7), avec la protection cathodique et un gain $E(x)$ de -1420mV , le potentiel de la conduite dans le sol sera de -1800mV au point



Figure(2.7): Présentation des potentiels, E_s , E_s et E .

Plus la valeur d'isolement est importante, plus le facteur d'atténuation est faible, et plus la portée du soutirage est grande. Inversement avec un facteur d'atténuation important, la portée du soutirage est réduite.

A partir de l'équation (3.2), la portée des postes de protection L_p aura :

$$L_p = 62.16 \text{ km}$$

Selon l'équation (3.1), le nombre de postes de soutirage sera

$$N_p = 5.37 \approx 6 \text{ postes}$$

2.4.3. Courant de la protection :

L'intensité du courant de protection I_s émis dans le sol par le déversoir, se répartit dans le sol et retourne à la conduite. Le passage du courant détermine dans la conduite un abaissement de potentiel. Par hypothèse, la protection cathodique est dimensionnée pour une densité de courant de $0.5\text{mA}/\text{m}^2$. [6]

Le calcul requis pour protéger la surface externe globale de la canalisation est déterminé comme suit :

$$I_{\text{tot}} = d \times S_p = I \times (S_p) \quad 2.6$$

Avec :

d: Densité de courant maximale (A/m^2)

S_p: Surface à protéger, (m^2)

$$I_{\text{tot}} = 0,0005 \times 262267.24$$

$$I_{\text{tot}} = 131.13 \text{ Ampères.}$$

Ce courant total I_{tot} requis sur la canalisation est distribué sur les six (06) postes de soutirage. Chaque poste transformateur redresseur devra être en mesure de débiter $I_{\text{tot}}/6$, soit un courant de $I = 21.86 \text{ Ampères}$ par poste de soutirage.

2.4.4. Calcul du nombre d'anodes (Lit d'anodes) :

Le déversoir (lit d'anodique) est destiné à diffuser dans le sol le courant de protection provenant du pôle positif d'un poste transformateur-redresseur. Cette diffusion de courant s'effectue à partir des anodes qui seront installées horizontalement en fond de tranchée et raccordées à un câble de liaison. Il doit donc être constitué de matériaux conducteurs de courant. Se comportant comme une anode, il est soumis aux phénomènes d'oxydation. La masse du matériau constituant le déversoir devra être déterminée pour que l'installation ait une durée de vie de l'ordre de 15 à 30 ans.

Les lits d'anode sont généralement constitués de :

- Anodes.
- Un câble de liaison des anodes.
- Trousses de dérivation. Mélange régulateur : backfill

Le nombre d'anodes est obtenu à partir de la formule suivante :

$$N = \frac{M_a}{m_a} \quad 2.7$$

Avec :

N: Nombre d'anodes.

M_a: Masse totale en **kg**.

m_a: Masse unitaire d'anode en **kg**.

Pour répondre à un besoin en courant de **21.86 Ampères**, la masse anodique sera :

$$M_a = C_a \cdot T \cdot I \quad 2.8$$

Avec :

C_a: Consommation de l'anode en **kg/A.an (0.5 kg/A.an pour des anodes en Fe/Si/Cr)**

T: Durée de vie en année (30 ans).

I: Courant en ampère.

$$M_a = 0,5 \cdot 30 \cdot 21,86 = 327.9 \text{ kg}$$

$$M_a = 327.9 \text{ kg}$$

Donc à partir de la formule (3.7), le nombre d'anodes sera de :

$$N = 14.44 \approx 15, \text{ Soit : } 15 \text{ anodes par déversoir.}$$

$$N = 15 \text{ anodes}$$

2.4.5. Puissance du poste redresseur :

La puissance de redresseur est calculée à partir de la formule suivante :

$$P = \frac{1}{\eta} \cdot R \cdot I^2 = \frac{1}{\eta} \cdot (R_T + R_A + R_C) \cdot I^2 \quad (\text{Watt}) \quad 2.9$$

Avec :

R_T: Résistance de la conduite, (**Ω/m**)

R_A: Résistance du déversoir, (**Ω/ m**)

R_C: Résistance du câble, (**Ω/m**)

Chapitre03:

Présentation champ hassi berkine

Introduction :

Le transport des hydrocarbures par canalisation a connu ces dernières années le moyen le plus efficace et par ses avantages économiques que cela représente. La consommation du gaz naturel augmente de plus en plus dans notre époque. Le transport des hydrocarbures par canalisation a connu ces dernières années et pour satisfaire cette demande les pays producteurs (Mer du nord, Russie, Algérie,...) ont construit des réseaux de gazoducs pour acheminer le gaz naturel des sites de production aux raffineries ensuite vers le stockage et la consommation sur des milliers de kilomètres. En Algérie, le réseau de pipelines exploité par la société sonatrach est estimé à plus de 18 000 kms de gazoducs et oléoducs.



Figure(3.1): Ligne de tracé de Pipeline.

Les tubes pour le transport des hydrocarbures sont en aciers produits selon la norme API 5L (American Petroleum Institute). Cette spécification couvre d'autres grades avec une composition chimique indiquée et des caractéristiques mécaniques comprenant: les contraintes, la résistance à la traction et la dureté auxquelles le pipe doit être conforme. La composition chimique est indiquée en tant que limite maximum de quatre éléments, carbone, manganèse, phosphore et le soufre. L'amélioration de la taille du grain de ferrite a été obtenue par différents mécanismes de durcissement et de précipitation basés sur le mouvement de dislocation qui augmente la limite d'élasticité et la ténacité de l'acier. (process TMCP – Thermo mechanical process). Ils permettent de satisfaire à des exigences particulières, comme la résistance à la corrosion et la fissuration. [6]

Les aciers sont protégés des agressions extérieures par un revêtement bitumineux ou à base de polymères (polyuréthane, polyéthylène).

3.1. Description du champ HBNS

Le secteur des hydrocarbures en Algérie a connu depuis quelques années un développement considérable et c'est ce qu'affirme le nombre de projets inscrits dans le cadre d'un partenariat stratégique avec des compagnies pétrolières internationales disposant de moyens financiers et technologiques.

SONATRACH est la compagnie nationale algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivés. Elle a pour missions de valoriser de façon optimale les ressources nationales des hydrocarbures et de créer des richesses au service du développement économique et social du pays.

Compagnie pétrolière intégrée, SONATRACH est un acteur majeur dans le domaine du pétrole et du gaz. Ce qui la rend, aujourd'hui la première compagnie d'hydrocarbures en Afrique et en Méditerranée. Elle exerce ses activités dans quatre domaines principaux : l'Exploration et la Production, le Transport par Canalisation, la Liquéfaction, le Raffinage, la Pétrochimie et la Commercialisation. [8]

Le groupement BERKINE a été créé entre SONATRACH et ANADARKO PETROLEUM CORPORATION, dans cadre de l'unification, il est chargé de gérer l'ensemble des activités de production de l'association SONATRACH-ANADARKO dans le champ de HASSI BERKINE.

Le groupement est doté du pouvoir, de matériel et des procédures fiables approuvées par toutes les parties. Il a su tirer profit de toute l'expérience acquise par SONATRACH et les partenaires au bénéfice du projet et de la diversité culturelle. Les règles et la conduite du groupement sont : l'équité, la transparence et la recherche du consensus.

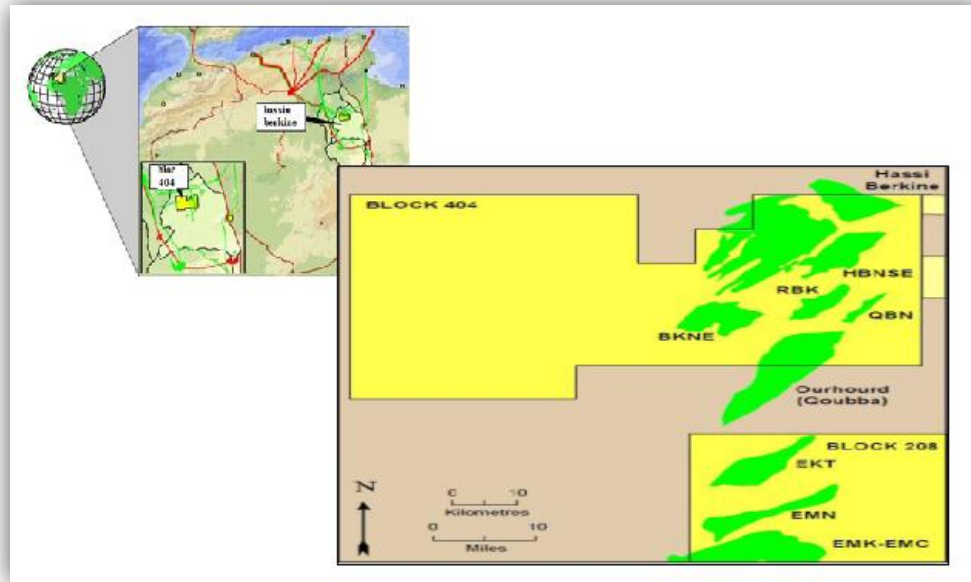
Historique du champ

Le groupement BERKINE a été créé en 1998 en tant qu'un organisme d'opérations conjointes par SONATRACH et ANADARKO PETROLEUM CORPORATION, il est chargé de gérer l'ensemble des activités de production de l'association SONATRACH-ANADARKO dans le champ .

3.1.1. Situation géographique :

Le champ de BERKINE HBNS se trouve dans le désert du Sahara algérien à environ 200 km au Sud/Est de HASSI MESSAOUD, il couvre le bloc 404, partagé en 6 zones (HBN, HBNS, BKNE, HBNSE, RBN et QBN) qui se déportent sur environ 240 Km² sur un grand bassin

intra-carbonique qui occupe la région orientale de l'ALGÉRIE, la région méridionale de la TUNISIE et la région occidentale de la LYBIE comme le montre la figure ci-dessous Figure(3.2). [8]



Figure(3.2): Situation géographique.

3.1.2. Composition Du Champ HBNS

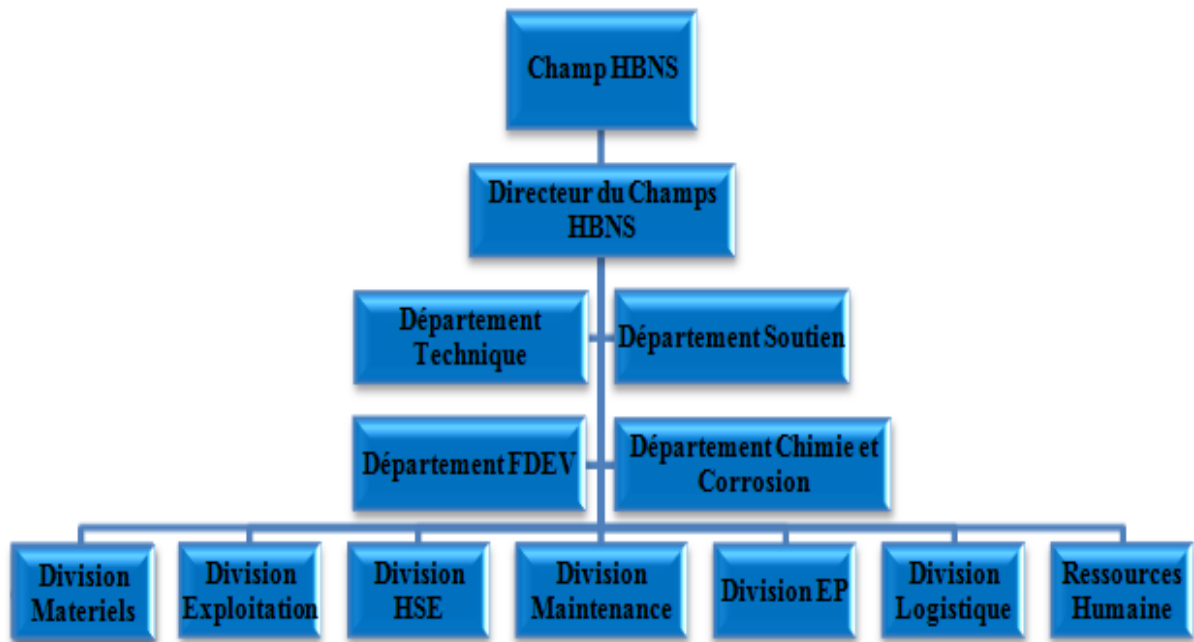
Le champ de HASSI BERKINE est composé de :

A / Les Puits : chaque puit a une utilisation précise :

- Puits producteurs d'huile;
- Puits injecteurs d'eau;
- Puits producteurs d'eau
- Puits injecteurs de gaz ;

B/ Les Satellites : au début le champ contient 04 satellites mais avec l'extension du champ il y en a 07.

L'organigramme suivant montre la hiérarchie de groupement Berkine Figure(3.3).

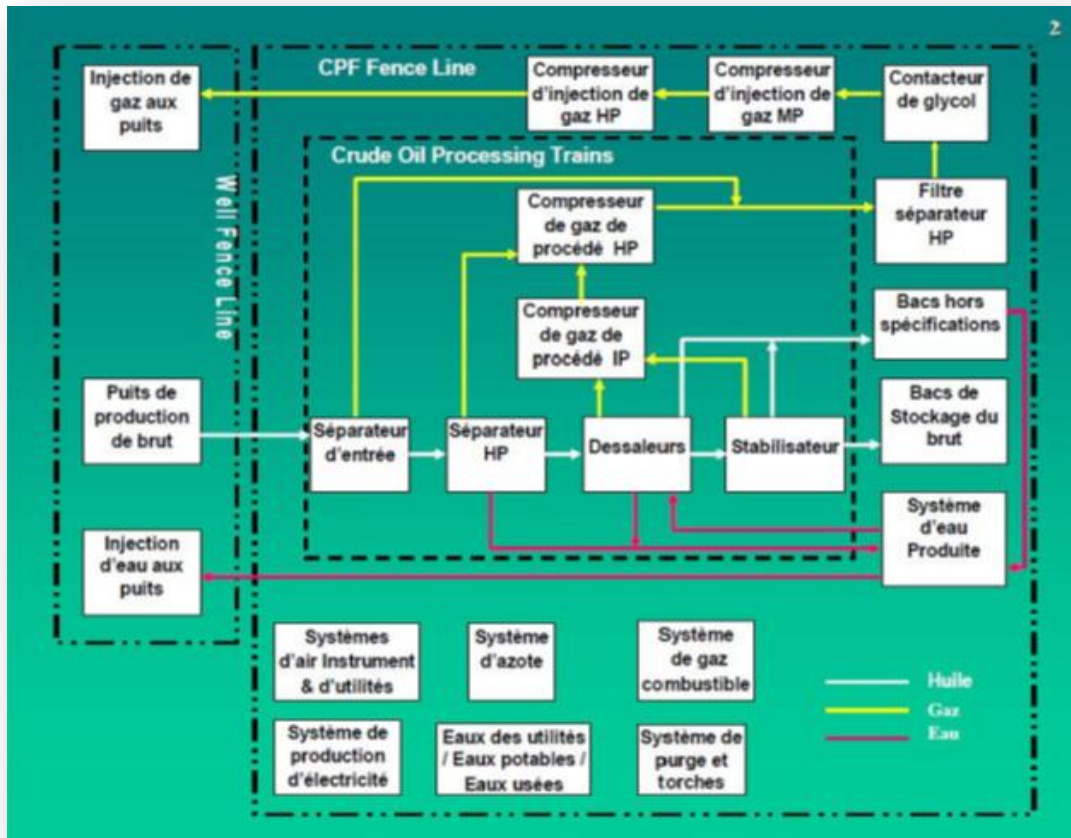


Figure(3.3): L'organigramme structural du Champs HBNS .

3.1.3. Procédé de traitement d'huile :

Le procédé du CPF, montré en Figure(3.4), est constitué de :

- ❖ 04trains de traitement de brut ;
- ❖ Système traitement et de compression de gaze d'injection ;
- ❖ Unité de traitement d'eau produite ;
- ❖ Unité de traitement et de compression d'eau d'injection ;
- ❖ Système d'analyse/comptage/stockage ;
- ❖ Système de produit hors-spécification ;
- ❖ Unité air utilité et azote ;
- ❖ Système de torche ;
- ❖ Système de production électricité.



Figure(3.4): Vue générale Du CPF.

Le CPF (**central processing facility**) a pour but d'éliminer le gaz, l'eau et le sel du brut, il est composé de 4 trains identiques. Tous les effluents des puits sont traités à la station CPF pour produire une huile stabilisée. Le traitement consiste à séparer, déshydrater, dessaler et stabiliser l'huile qui sera stockée et exportée par un pipeline.

Les gaz associés sont comprimés et séchés, une certaine quantité est utilisée pour le gaz de combustion, et le reste est comprimée à la pression du gaz lift et distribué vers les puits producteurs d'huile, de façon à maintenir le débit. Le gaz en excès du gaz de combustion ou de la demande en lift est réinjecté vers le réservoir.

L'eau de production est réinjectée dans le réservoir après traitement, pour maintenir un volume adéquat et maintenir la pression du gisement.

A la sortie du train, on obtient un produit selon les normes commerciales, comme le montre le tableau suivant Tableau (3.1). [8]

Tableau (3.1): Spécification de l'huile après le traitement.

| Spécifications | Valeurs |
|---------------------|-------------------------|
| RVP (TVR) maxi | 0.69 bar (10 PSI) |
| BS et W maxi | 0.5 % volume |
| Salinité maxi | 40 ppmw équivalent NACL |
| Soufre maxi | 0.20 % poids |
| T° de stockage maxi | 55°C |

3.1.4. Département Technique

Le Chef Dept Technique est directement responsable de la mise en œuvre et du fonctionnement en cours du système ICMS.

Le Chef Service Technique est spécifiquement chargé de coordonner la mise en œuvre du système de surveillance de la corrosion et des procédures de gestion de la corrosion. Pendant le fonctionnement du système, il est chargé de veiller à ce que des audits annuels soient effectués et de proposer des recommandations de changement de matériau ou de procédé ou de traitement chimique au chef responsable de la production.

Les responsabilités du chef de service technique se résument comme suit:

- mise en place du système de surveillance de la corrosion,
- Mise en œuvre des rôles et procédures de gestion de la corrosion,
- Pour s'assurer que les indicateurs de performance relatifs à la corrosion sont respectés (sous réserve des obligations contractuelles du fournisseur de produits chimiques)
- Faire des recommandations spécifiques au Chef Engineering Production pour:
- modification de la politique de corrosion du site,
- mener des actions de contrôle de la corrosion.
- apporter des modifications au régime de traitement chimique et aux contrats des fournisseurs de produits chimiques.
- les changements de matériaux et de procédés nécessitant des dépenses en capital.

3.2. Méthodes utilise lute contre la corrosion :

Les méthodes décrites ci-dessous permettent de lutter contre la corrosion dans les installations de Hassi Berkine.

Définition des méthodes d'atténuation de la corrosion

- Les installations de Hassi Berkine ont été conçues pour utiliser de l'acier au carbone lorsque le taux de corrosion prévu dans les conditions du procédé est suffisamment bas.
- La méthode d'atténuation de la corrosion choisie est l'injection d'inhibiteur de corrosion.
- Les zones identifiées comme présentant un risque élevé d'activité microbologique seront également traitées avec un biocide.
- Les composants identifiés comme présentant des taux de corrosion inacceptables, ou nécessitant une disponibilité d'inhibiteur supérieure à 90% afin de garantir une durée de vie de 20 ans, seront considérés comme remplacés par des alliages résistant à la corrosion ou des matériaux non métalliques.
- La sélection sera basée sur une évaluation des coûts du cycle de vie et des conséquences d'une évaluation de l'échec

Chapitre04:

Matériels et méthodes

Introduction :

L'utilisation et la maintenance de pipelines sûrs et fiables sont essentielles dans l'industrie des pipelines. Les fournisseurs de service de contrôle non destructif (CND) et les exploitants de pipelines déploient des efforts considérables pour assurer la sécurité du transport du pétrole brut, du gaz naturel, des produits pétroliers raffinés et du gaz liquéfié sur leurs réseaux. La gestion de l'intégrité des pipelines, leur inspection, la prévention de la corrosion, la surveillance, la détection des fuites et la prévention des dommages dans son ensemble sont essentiels pour éviter la survenue d'incidents.

La corrosion externe ne formera pas sur ces équipements, grâce à leur revêtement externe par la peinture, ainsi que le climat dans cette région est sec.

4.1. La corrosion des conduites enterrées :

Les conduites enterrées peuvent subir à une corrosion externe Figure(4.1) suite :

- à la formation d'une pile électrochimique entre le terrain et la conduite sous l'effet de l'hétérogénéité du sol,
- à l'attaque agressive des produits chimiques infiltrés dans le sous-sol, qui proviennent de la boue de forage ou le ciment rejetés en surface du sol,
- au croisement de deux conduites, l'une est protégée et l'autre est non protégée, ce qui engendre la formation d'une pile électrochimique par la transformation de la conduite non protégée en anode par rapport à la conduite protégée.



Figure(4.1):La corrosion externe d'une conduite enterrée

4.2.Méthodes inspection et détection de corrosion :

La détection de pertes en métal et de fissures est le domaine où l'utilisation d'outils intelligents connaît le plus d'intérêt. Deux techniques sont mises en évidence concernant la détection des pertes de métal, Perte d'épaisseur avec les méthodes non destructives,

- ❖ Détection par flux magnétique MFL (magnétique flux leakage) .
- ❖ Détection par contrôle visuel ou par ultrason UT (technique ultrasonique).
- ❖ Perte de masse avec Les essais au laboratoire.

4. 2.1. Le contrôle visuel :

Ce type d'inspection s'applique à l'état de l'équipement pour rechercher à l'œil toute corrosion de la surface du métal Figure(4.2). Cette inspection préliminaire, dans la plus part des cas, ne permet de détecter que des défauts majeurs à l'œil nu, et parmi ces défauts on peut citer :

- La déformation excessive (perte définitive de la géométrie originale de l'équipement),
- La perte d'épaisseur de l'équipement.



Figure(4.2): Le contrôle visuel.

4. 2.2. Inspection en ligne outil intelligent Les techniques MFL :

Cette technique utilise de puissants aimants induisant un flux magnétique dans la paroi de la conduite. Des capteurs placés entre les pôles détectent tout changement d'intensité résultant d'une perte de métal ou d'un changement d'épaisseur. La puissance du flux magnétique requise est relativement élevée. Les premiers outils MFL ont particulièrement souffert de cet inconvénient surtout pour les grands diamètres.

L'inspection en ligne par outil intelligent peut fournir presque toutes les informations requises pour réévaluation de l'état technique d'un pipeline. Cependant, le soin est laissé à l'opérateur de décider des choix à faire pour réhabiliter l'ouvrage et les moyens à mettre en œuvre pour le maintenir en bonne condition.

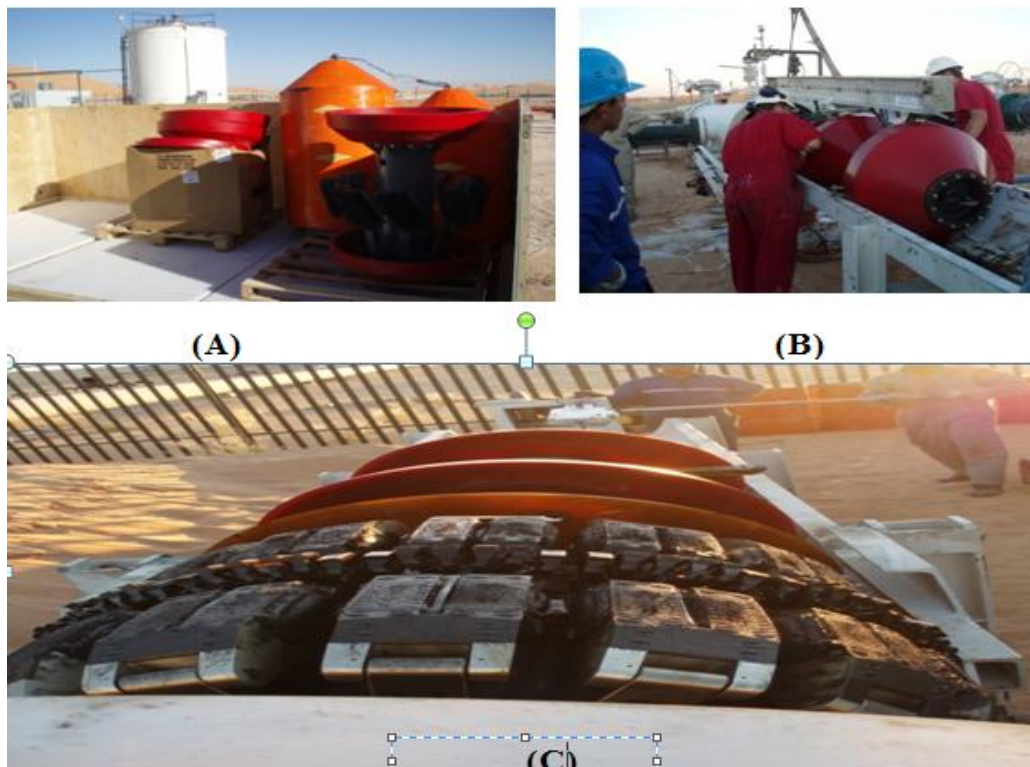
Un grand nombre de pipelines à travers le monde ont dépassé la limite d'âge prévue de leur utilisation. Ils continuent pourtant à être parfaitement fonctionnels. Ceci moyennant un suivi régulier de leur état technique et une politique de maintenance appropriée.

La question fondamentale qui se pose dans ces cas-là est la suivante : Réparation ou réhabilitation ? La première étape pour répondre à cette question est un programme détaillé d'inspection pour obtenir les données nécessaires à l'évaluation de l'état de la ligne [9].

Le but de ces travaux est la confirmation de l'accessibilité de la conduite à l'outil intelligent.

La planification d'une inspection passe en général par trois étapes :

- Nettoyage de la conduite par outil conventionnel Figure(4.3)/A .
- Envoi de l'outil géométrique en vue de détecter les risques de blocage Figure(4.3)/B.
- Envoi de l'outil intelligent pour la localisation des pertes de métal et l'évaluation de leur importance Figure(4.3) /C .



Figure(4.3): les outils intelligent

Néanmoins, ce type d'inspection peut guider l'inspecteur dans l'analyse des causes et de la nature des dégradations (comme la corrosion galvanique suite à l'assemblage de deux matériaux de nature différentes).

4. 2.3.Le contrôle et Detection par ultrasons:

4. 2.3.1.Principe :

Le principe du contrôle non destructif par ultrasons (également appelé contrôle par **échographie**) consiste à émettre une onde ultrasonore qui se propage dans la pièce à contrôler et se réfléchit à la manière d'un écho sur les obstacles qu'elle rencontre (anomalies, limites de la pièce). Les contrôles non destructifs par ultrasons permettent :

- de détecter des défauts internes dans différents matériaux.
- d'effectuer des **mesures d'épaisseur** sur les revêtements.
- de contrôler des équipements sans démontage.
- d'effectuer des **mesures des corrosions** internes ou externes.
- d'effectuer des contrôles d'adhérence et de délaminage.
- de vérifier la **conformité des soudures**, pièces de forge et de fonderie, céramiques ...

Le contrôle par échographie est rapide à exécuter et fournit des résultats immédiats. L'utilisation du gel d'échographie ECHOGEL lors des contrôles non destructifs optimisera la lecture et la réalisation des tests. Figure(4.4).



Figure(4.4): principe de mesure avec UT

4. 2.3.2. Exemple réaliser (contrôle de pipeline par ultrason) :

Le résultat de la mesure indiqué dans le tableau (4.1) pour pipeline ci-dessous. Figure(4.5). [10]



Figure(4.5): ligne contrôler avec UT.

tableau(4.1) : les valeurs des mesures.

| N°Section | Les Positions et les épaisseurs (mm) | | Observation |
|-----------|--------------------------------------|---|----------------------|
| | 12H00 | <i>Épaisseur minimale situé sur 03H00-09H00</i> | perte de épaisseur % |
| 01 | 12,60 | 13,50 | 7,14 % |
| 02 | 13,55 | 12,80 | 5,53 % |
| 03 | 13,50 | 12,70 | 5,92 % |
| 04 | 13,50 | 12,90 | 4,44 % |

Avec :

12H00 et **03H00** et **09H00** sont position de mesure avec sens horaire .

N° Section: montré en lignes blanches dans une Figure(4.5).

4. 2.4.Le test ultrasonique longue portée (Long Range Ultrasonic Testing LRUT) :

4. 2.4. 1. Principe :

est une technique avancée d'examen non destructif qui a été développée pour tester de grands volumes de matériau à partir d'un seul point de test. Ce qui différencie cela des méthodes de test ultrasonores plus traditionnelles, c'est que, avec LRUT, un couplant liquide entre les transducteurs et la surface n'est pas nécessaire. Pour cette raison, LRUT est l'un des outils d'inspection les plus rapides pour la surveillance de la corrosion et des autres dommages sur les pipelines. [11]

LRUT est une technique d'essai non destructif inestimable qui trouve des applications dans l'industrie pétrolière et gazière. Il est largement utilisé pour l'inspection des canalisations dans des domaines tels que les croisements de routes et de rivières, les tubes de centrales électriques, les colonnes montantes, les canalisations en surface, les lignes de jetées et les canalisations de raffinerie pour la détection de problèmes tels que la corrosion sous isolation. Il a également trouvé un usage répandu dans les situations où les tuyaux ou les tubes ne sont pas accessibles aux autres méthodes de détection, tels que les tuyaux enfouis dans le sol, ceux enfermés dans un manchon ou ceux situés à une altitude élevée.

en particulier pour les applications suivantes:

1. Criblage de tuyaux isolés pour la corrosion externe et interne sans retrait d'isolant.
2. Criblage du tuyau passant à travers le mur de digue.
- 3 Criblage des canalisations de traversée de rivière et des lignes de jetée.
4. Criblage des canalisations en mer, y compris la zone de projection de la colonne montante.



Figure(4.6):détection la corrosion réalisée avec LRUT.

La LRUT est réalisée à l'aide d'un système composé d'un détecteur de défauts basse fréquence, d'un récepteur d'impulsions, de quelques anneaux de transducteurs et d'un ordinateur portable contenant le logiciel qui contrôle le système Figure(4.6). Pour commencer, les anneaux du transducteur sont fixés autour d'un tuyau, à travers lequel ils vont générer une série d'ondes guidées à basse fréquence. C'est l'espacement uniforme des transducteurs à ultrasons sur la circonférence du tuyau qui permet aux ondes guidées de se propager symétriquement le long de l'axe du tuyau, offrant une couverture complète et à 100% de la paroi du tuyau, y compris à proximité de colliers et de tuyaux gainés ou enterrés. Les ondes sont ensuite renvoyées vers le transducteur lorsqu'elles atteignent un changement d'épaisseur de paroi, ce qui permet au processus de détecter la corrosion, les pertes de métal ou les discontinuités.

4. 2.4.2. Présentation des résultats :

Le résultat de chaque site de test est présenté sur une feuille de rapport similaire à celle présentée Figure(4.7).

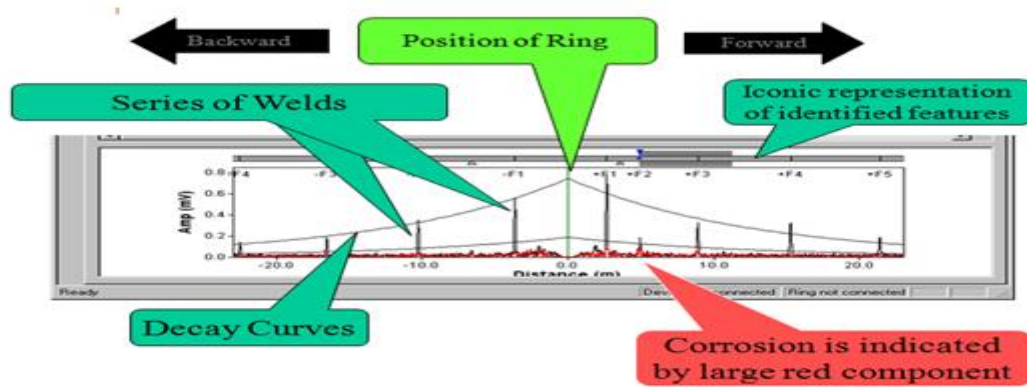


FIGURE : A

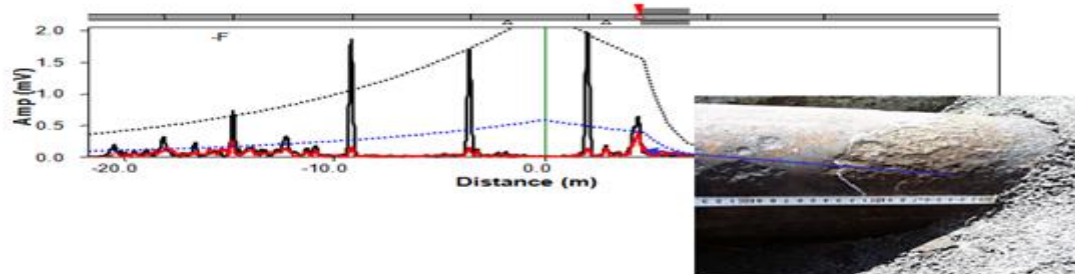


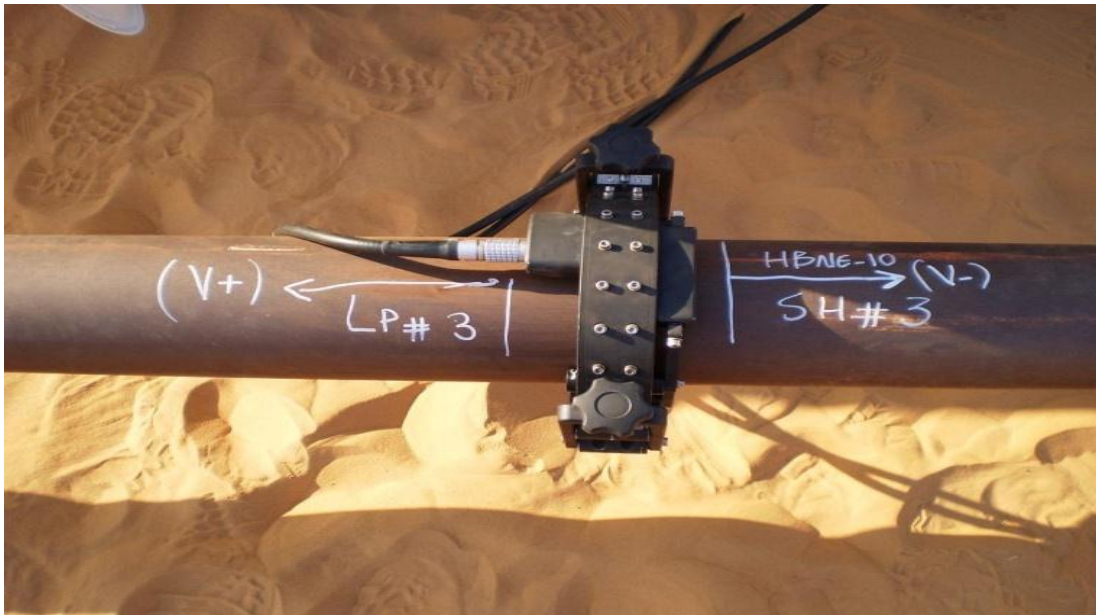
FIGURE : B

Figure(4.7): Présentation et lecture de résultat par Méthode LRUT.

4. 2.4.3. Exemple réaliser(contrôle de pipeline par Méthode LRUT) :

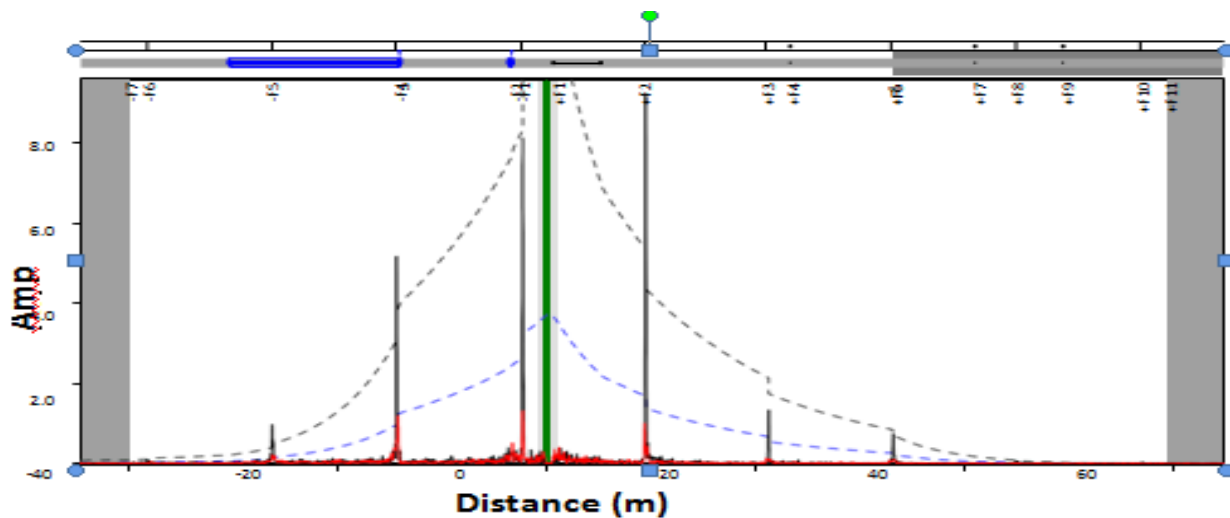
Pipeline a dimension 6 inch diamètre et épaisseur 6.4 mm sans revêtement

- Sens positif du test voir Figure(4.8).
- Ligne testée avec LRUT pour vérifier l'intégrité de la ligne de tuyauterie aux points bas, car il s'agit d'une zone de conséquence pour la corrosion due au produit stagnant. [11]



Figure(4.8):Vue de l'emplacement du test LRUT

Perte moyenne de la paroi due à la corrosion ou à l'érosion observée aux emplacements indiqués sur la représentation graphique du résultat sous la forme -F2 et -F3. Figure(4.9).



| LEGENDS | |
|---------|----------------------------|
| | LRUT Ring Location. |
| | Positive direction of test |
| | Minor metal loss area |
| | Medium metal loss area. |
| | Severe metal loss area |
| | Welding joint |

Figure(4.9):Présentation graphique.

4. 2.4. 4. Règle de classement :

A/ Règle de classement 1 :(Corrosion sévère)

Ce niveau de corrosion est approprié lorsque les traces noires et rouges se trouvent au-dessus du DAC d'appel. Cela devrait correspondre à un défaut qui risque fortement de pénétrer dans toute la paroi du tuyau. Il apparaît sous la forme d'un point d'exclamation rouge (!) Dans les résultats.

B / Règle de classement 2 : (Corrosion moyenne)

Ce niveau de corrosion est approprié lorsque la trace noire se situe entre le DAC d'appel et le DAC de soudage, mais que la trace rouge reste inférieure à celle du DAC d'appel. Il devrait correspondre à une perte de plus de 10% de la section transversale répartie de manière à ne pas constituer un défaut de paroi traversant. Il apparaît sous la forme d'un point d'exclamation bleu (!) Dans les résultats.

C/ Règle de classement 3 : (Corrosion mineure non déclarable)

Ce niveau de corrosion est approprié lorsque la trace noire (symétrique) et la trace rouge (non symétrique) se trouvent en dessous du DAC d'appel. Cela devrait être corrélé à la corrosion pour laquelle moins de 10% de la section transversale a été perdue. Ces indications sont généralement indiquées pour indiquer que les tuyaux sont en bon état général. Il apparaît sous la forme d'un point noir (!) Dans les résultats. [11]

4. 2.5.Mesures du taux de corrosion (technique de résistance de polarisation linéaire) :

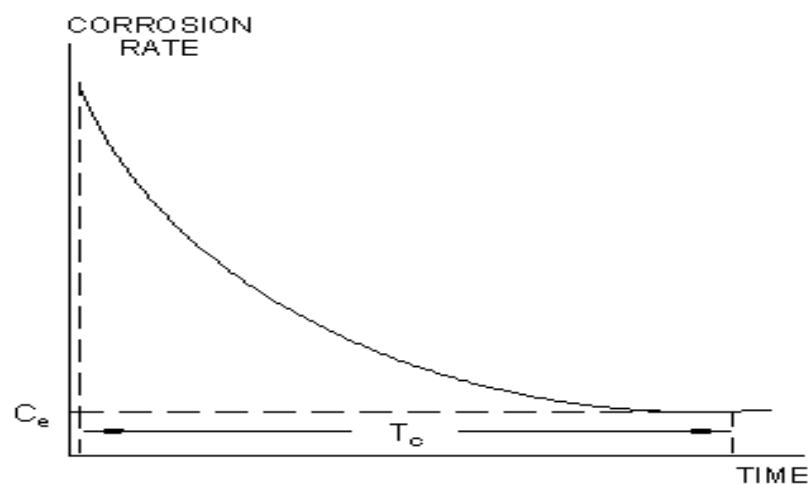
4. 2.5.1. Principes de mesure :

Les mesures du taux de corrosion sont effectuées à l'aide de la technique de résistance de polarisation linéaire(LPR). L'instrument mesure le courant nécessaire pour polariser les électrodes d'une sonde à un potentiel connu. À partir du potentiel de polarisation et du courant mesuré, la résistance de polarisation peut être calculée. Ensuite, en utilisant la loi de Faraday, le taux de corrosion instantanée peut être calculé à partir de la résistance de polarisation.

Lorsqu'une électrode en métal / alliage est immergée dans un liquide conducteur de l'électricité par électrolyse d'un pouvoir oxydant suffisant, elle se corrode par un mécanisme électrochimique. Ce processus implique deux réactions simultanées et complémentaires.

Aux sites anodiques, le métal passera de la surface solide à la solution adjacente et laissera ainsi un excès d'électrons à la surface du métal. Les électrons en excès seront acheminés vers des sites voisins, appelés sites cathodiques, où ils seront consommés en oxydant des espèces provenant du liquide corrosif.

Les mesures individuelles du taux de corrosion montreront une caractéristique de décroissance, due aux effets capacitifs, qui existent, dans une certaine mesure, sur toutes les surfaces d'électrodes corrodées. Ce schéma de désintégration est illustré à la Figure(4.10). [12]



Figure(4.10):présentation graphique taux de corrosion.

La vraie valeur du taux de corrosion est la valeur d'équilibre (C_e) qui est établie après un intervalle de temps T_c . Ce délai variera, selon les caractéristiques spécifiques du système métal / environnement, entre environ 30 secondes et plusieurs heures.

Étant donné que la caractéristique de désintégration est asymptotique, même les systèmes présentant une "inertie capacitive" extrême se rapprochent de l'équilibre en 15 à 20 minutes; de sorte que la plupart des mesures pratiques puissent être conclues dans un délai de 0,5 à 20

minutes. Une fonction de "cycle temporel" variable est incorporée à l'instrumentation automatique PAIR pour prendre en charge ce décalage temporel capacitif.

4. 2.5.2. Appareil utilise :

MS3500L /E - instrument de corrosion - enregistreur de données Figure(4.11)

Le MS3500L/E intègre un ampèremètre à résistance zéro de haute précision pour mesurer le courant galvanique entre les électrodes. Il propose également un voltmètre de haute précision pour mesurer le potentiel de circuit ouvert entre les électrodes.

est un enregistreur de données à distance, à sécurité intrinsèque et à piles, capable de mesurer et de stocker des données provenant de tous les types de sondes de corrosion à résistance de polarisation linéaire (LPR). L'instrument est basé sur un microprocesseur et dispose d'une interface simple, pilotée par un menu, utilisant un clavier à 2 touches et un écran LCD à 2 lignes.[12]



Figure(4.11): instrument de corrosion.

Le MS3500L/E effectue des lectures de sonde sur un intervalle de journalisation programmable par l'utilisateur. Les lectures sont horodatées au fur et à mesure de leur prise, puis stockées en mémoire. Entre les lectures, l'instrument reste en mode "veille" pour économiser la batterie principale. La mémoire de l'instrument est capable de stocker 3 000 lectures et est protégée par une pile de secours au lithium.

Les données stockées peuvent être téléchargées sur n'importe quel PC sous forme de fichier texte ASCII délimité par des virgules. [12]

4. 2.5.3 . Logiciel utilisé pour mesure CDMS :(corrosion data management software)

Nous pouvons charger les données stockées et Présente graphiquement par cette logiciel métal simples (CDMS) pour le système MS 3500L/E Figure(4.12).



Figure(4.12):charger les données et Présentation graphique avec logiciel.

4. 2.6.Mesure de la vitesse de corrosion :(coupon)

4. 2.6.1. Principe :

La perte de poids est la méthode la plus ancienne de mesure de la corrosion c'est une méthode très simple, elle donne des informations très utiles à des prix relativement bas et sans perturbation des Systems. Son principe est immersion de l'échantillon à étudier dans le milieu corrosive considéré (après sa pesé) pendant une durée bien définie. Ensuite, l'évaluation se fait visuellement. L'inspection visuelle de la morphologie de la corrosion, puis, après traitement, l'échantillon est de nouveau repesée pour déterminer la masse perdue (la vitesse de corrosion).

Les coupons de corrosion sont des plaquettes d'échantillon calibrées qu'on installe dans le surcircuit à contrôler, constituées du même matériau que le circuit. Ces coupons sont retirés, pesés et examinés. [12]

On détermine ainsi la vitesse de corrosion par la perte de poids L'intensité de la corrosion. C'est une méthode particulièrement simple et bon marché de contrôle

4. 2.6.2.Règles général :

Le matériau du coupon Figure(4.13) doit être exempt de défaut afin de permettre des mesures successives :

- L'état de surface doit être homogène .
- Le positionnement dans la veine fluide doit être adapté à la forme du coupon.
- Il doit être isolé électriquement de son support.
- Il doit être dégraissé avant son utilisation et protégé lors de son stockage .
- Et pesé en grammes avec 4 décimales. utiliser des gants en plastique lors de la manipulation .
- Si les coupons ne sont pas pesés immédiatement, ils doivent être stockés dans un endroit sec et sous vide d'air.

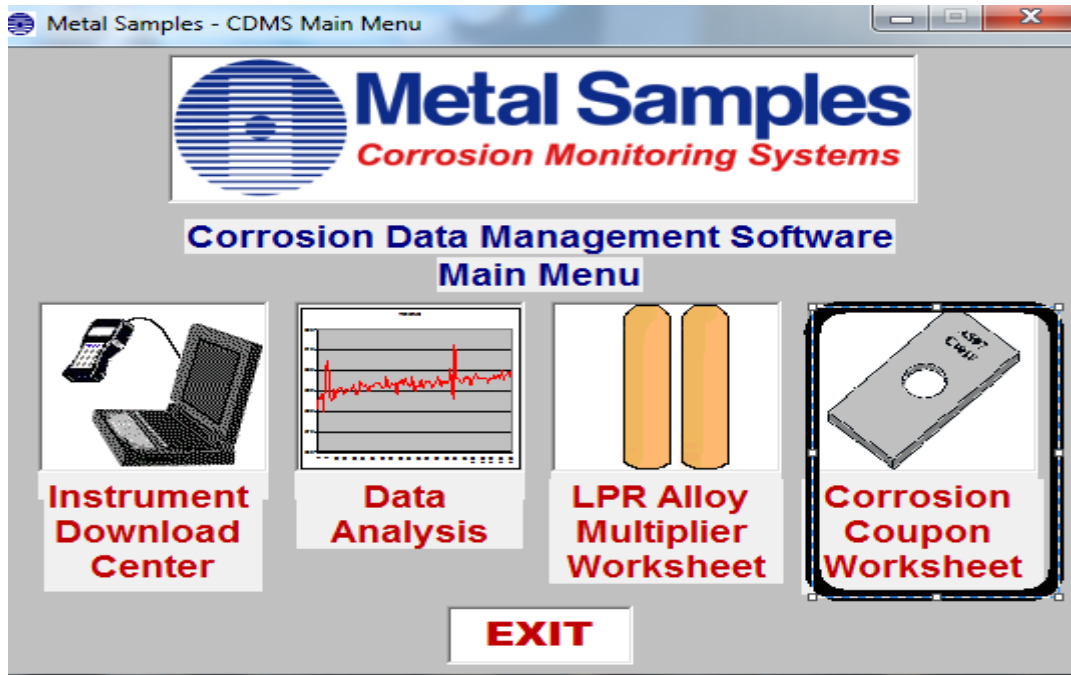


Figure(4.13): placement coupon.

4. 2.6.2. . Logiciel utilise pour calcul :(CDMS)

Nous pouvons calculer la perte de masse avec (CDMS) métal simple pour le système de mesure :

Choisir l'option (corrosion coupon worksheet) voir la figure ci-dessous Figure(4.14).



Figure(4.14) : option (corrosion coupon worksheet).

Puis remplissez les données, le programme (CDMS) calcule la quantité de matière perdue et la vitesse de corrosion. Comme indiqué dans la figure(4.15).

Figure(4.15): remplissage les donnes et calcul direct.

4.3. Évaluation de l'efficacité de systèmes de protection cathodique :

L'évaluation de l'efficacité d'un système de protection cathodique installé le long d'une conduite, tel qu'un pipeline, se fait généralement selon l'essai suivant :

- Relevés de potentiel à espaces rapprochés avec les redresseurs en cycle d'interruption (allumés-éteints).
- Relevés de potentiel à espaces rapprochés avec les redresseurs de courant éteints (dépolariation).
- Étude de l'influence des redresseurs de courants. Relevés de potentiel aux prises de potentiel.
- Les points de mesure ils sont destinés à contrôler le potentiel d'une canalisation par rapport au sol. Le nombre de points de mesure dépend de la configuration de l'ouvrage.

La mesure du potentiel des canalisations dans le sol est indispensable pour contrôler l'efficacité de la protection cathodique. Or, celles-ci étant assimilables à des éprouvettes plongées dans un électrolyte, on mesure le potentiel par l'intermédiaire d'électrodes de référence. La conduite dans le sol constitue une demi-pile que l'on associe à l'autre demi-pile, l'électrode [6].

4.3.1. Méthode de relevés de potentiel à espaces rapprochés :

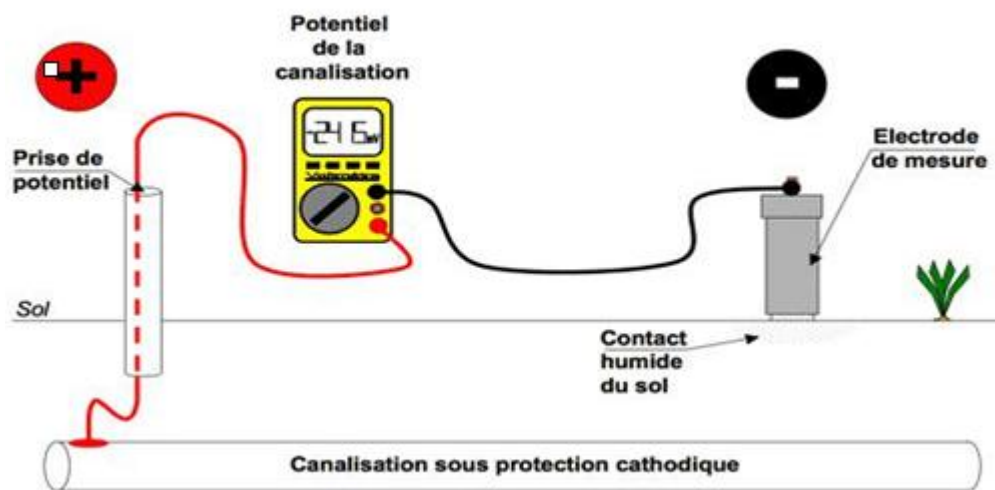
Le relevé de potentiel à espaces rapprochés permet d'évaluer les conditions de protection d'une structure enfouie à savoir :

- Vérification de l'efficacité de la protection cathodique par rapport aux critères de protection.
- Vérification des emplacements où le revêtement peut s'être affaibli. Vérification de l'influence de systèmes extérieurs.
- Vérification de continuité électrique ou contact avec d'autres structures métalliques.
- Les mesures de potentiel à espace rapproché relevées le long du pipeline permettent d'évaluer les variations de la protection cathodique présentes le long de ce dernier.
- Suite à la campagne de mesures, les résultats sont présentés sous forme de graphique permettant d'évaluer le profil de la protection cathodique le long du pipeline et d'évaluer les points chauds nécessitant une protection supplémentaire [6].

4.3.2. Réalisation des mesures :

Les mesures de potentiel à espace rapprochée sont réalisées à l'aide d'un interrupteur de courant, d'un voltmètre (préférentiellement à mémoire), d'une électrode de référence et de câblage permettant de parcourir de longues distances.

Afin de réaliser le relevé de potentiel à espace rapproché, un contact électrique doit continuellement être maintenu avec le pipeline étudié. figure(4.16) La figure schématise le montage nécessaire à la réalisation d'un relevé de potentiel à espaces rapproché.



Figure(4.16): Montage nécessaire à un relevé à espace rapproché [6].

Il est important de noter que l'électrode de référence doit être en contact avec le sol. En effet, si un enrobé bitumineux est présent, ce dernier devra être percé puis mouillé avant la prise de toute lecture. De plus, dans le cas de la présence de béton, ce dernier devra être mouillé à fond au point de lecture afin d'éviter une erreur de mesure.

L'intervention consiste en fait à la réalisation de mesures de potentiel en mode d'interruption cyclique (« **on** »/ « **off** »), dont les étapes suivantes doivent être réalisées.

4.3.3 . Préparation de l'intervention :

Avant la réalisation de l'intervention, s'assurer d'avoir l'information suivante:

1. Identification et longueur des sections de pipeline à évaluer.
2. Type de protection cathodique.
3. Nombre de redresseur de courant.
4. Nombre de point de vérification.
5. Espacement des mesures (généralement aux 10 mètres).

A / Mise en place des équipements :

Afin de réaliser le relevé de potentiel à espace rapproché, il est nécessaire d'interrompre le ou les redresseurs de courant. Pour ce faire, les étapes suivantes doivent être réalisées :

- 1/ Identifier le redresseur de courant à interrompre.
- 2/ Prendre en note ses paramètres actuels d'opération (voltage et courant).
- 3/ Éteindre le redresseur de courant.
- 4/ Vérifier que le courant n'excède pas celui des limites de l'interrupteur de courant. Ne jamais installer un interrupteur de courant ayant une limite en courant inférieure au courant du redresseur.
- 5/ Installer l'interrupteur de courant en série avec la borne positive ou négative du redresseur de courant
- 6/ Ajuster l'interrupteur de courant au mode cyclique désiré ON/OFF (usuellement, le mode considéré est de 8 secondes ON et 2 secondes OFF, ou 800 millisecondes ON et 200 millisecondes OFF)
- 7/ Énergiser le redresseur de courant en le remettant en fonction.
- 8/ Démarrer l'interrupteur de courant ajusté au mode d'interruption désirée et passer à l'étape de mesure de potentiels.

Dans la mesure où plusieurs redresseurs de courant sont présents, la mise en place d'interrupteur de courant selon les étapes précédentes est nécessaire à chacun d'eux. De plus, les interruptions devront être synchronisées afin de s'assurer d'avoir le même cycle d'interruption partout. Pour ce faire, des interrupteurs de courant possédant un mode d'interruption GPS devront être utilisés.

B / Mesures de potentiels :

Suite à la mise en fonction des interrupteurs de courant, les mesures de potentiel peuvent être réalisées selon les étapes suivantes :

1. Identifier la boîte de jonction ou le point de vérification le plus près de la position de mesure à réaliser.
2. Connecter une électrode de référence de cuivre/sulfate de cuivre à la borne négative du voltmètre.
3. Connecter la borne positive (généralement rouge) du voltmètre au contact négatif de la structure à vérifier. (Le câble du contact négatif est normalement disponible à l'intérieur des points de vérification ou de la boîte de jonction).

4. Mettre en place l'électrode de référence sur le sol au premier point de mesure le plus près possible de la position de la mesure. (Il est préférable, dans la mesure du possible, que les positions des lectures soient proches de la conduite et de conserver une uniformité dans la qualité de l'interface séparant l'électrode de référence de la surface du sol ainsi que dans la distance séparant les positions de chacun des points de lectures relativement à la position de la conduite.
5. Lire la valeur du potentiel apparaissant à l'écran du voltmètre et s'assurer de sa stabilité.
6. Noter le potentiel apparaissant à l'écran du voltmètre, ainsi que sa polarité (+ ou -). Dans le cas d'un voltmètre à mémoire, sauvegarder cette valeur. S'assurer d'enregistrer les deux valeurs de potentiel, ON et Instant OFF.
7. Poursuivre les mesures de potentiels sur les autres points de lecture selon le pas de mesure préalablement défini (généralement aux dix mètres).
8. Au croisement d'un nouveau point de vérification, le contact négatif peut être repris à partir de ce point, afin d'éviter de trop longues distances de câbles.

C/ Retrait de l'équipement :

Suite à la réalisation de la campagne de mesure des relevés de potentiel à espace rapproché en mode cyclique, les interrupteurs de courant doivent être retirés des redresseurs de courant selon les étapes suivantes :

- Éteindre l'interrupteur de courant.
- Éteindre le redresseur de courant.
- Retirer l'interrupteur de courant branché en série avec le redresseur de courant.
- Énergiser le redresseur de courant en le remettant en fonction.
- S'assurer de la fonctionnalité du redresseur de courant selon les paramètres d'opération initiaux.

Ces étapes doivent être réalisées à chacun des redresseurs de courant ayant fait l'objet de la mise en place d'un interrupteur de courant pour la campagne de mesures de potentiels à espace rapproché en mode cyclique [6].

D/ Post-intervention :

Les données récupérées doivent être transférées dans un fichier électronique. Ce dernier devra se présenter sous forme de tableau contenant quatre colonnes. La première présentera l'identification des points de mesures (souvent sous forme d'un chaînage en m ou en Km). À chacun de ces points de mesures devra correspondre une mesure de potentiel ON (seconde colonne) et une valeur de potentiel « instant OFF » (troisième colonne). Finalement une dernière colonne servira à introduire des commentaires relatifs à certains points particuliers. L'analyse des mesures ainsi relevées permettra d'évaluer l'efficacité du système de protection cathodique selon les deux premiers critères de protection cathodique présentés plus tôt..

4.3.4 . Méthode de relevé par dépolarisation :

La méthode de relevés par dépolarisation permet d'obtenir le potentiel dit « statique » de la conduite, c'est-à-dire sans l'influence du système de protection cathodique.

De même que lors des relevés de potentiel en cycle d'interruption, les mesures de potentiel sont effectuées à intervalle régulier, (souvent de l'ordre d'une mesure à tous les 10 mètres), le long du pipeline. La position des mesures réalisées en mode de dépolarisation doit correspondre exactement aux positions de mesures en mode cyclique afin de permettre un comparable appréciable.

L'intervention consiste donc à la réalisation de mesures de potentiel à espace rapproché en mode de dépolarisation, dont les étapes suivantes doivent être réalisées :

- Préparation de l'intervention.
- Préparation de la dépolarisation Mesures de potentiels.
- Remise en fonction des redresseurs de courant Post-Intervention. [6]

4.3.5 . Méthode d'évaluation de l'influence des redresseurs de courant :

Cette méthode d'évaluation permet d'identifier le rayonnement de chacun des redresseurs de courant d'un système de protection cathodique. Cette information est capitale car, dans le cas d'un relevé de potentiel à espace rapproché en cycle d'interruption, les redresseurs à interrompre sont ciblés.

L'intervention consiste en fait à la réalisation de mesures de potentiel en mode d'interruption cyclique (« on »/ «off ») uniquement au redresseur évalué afin d'identifier quelle est son impact en terme de distance le long du pipeline. Pour ce, les étapes suivantes doivent être réalisées

- Préparation de l'intervention
- Préparation de la dépolarisation Mesures de potentiels
- Remise en fonction des redresseurs de courant Post-Intervention [6]

4.3.6 . Méthode de relevés aux prises de potentiel :

La méthode de relevés aux points de vérification permet de définir d'une manière globale l'état du système et le niveau de protection cathodique. Pour ce, les mesures aux points de vérification permettent l'obtention des informations suivantes :

- Potentiels « ON » et « OFF »
- Potentiel des blindages (s'il y a lieu)

Les mesures ainsi relevées peuvent être comparées aux mesures ayant été effectuées les années antérieures. De cette manière, il est possible de vérifier l'évolution du potentiel à travers les années, donnant la tendance évolutive du système.

De plus, ces visites permettent de définir l'état des points de vérifications et, le cas échéant, d'apporter les modifications qui s'imposent.

L'intervention consiste donc à la réalisation de mesures à chacun des points de vérification, dont les étapes suivantes doivent être réalisées [6]:

4.3.6 .1. Préparation de l'intervention :

Avant la réalisation de l'intervention, s'assurer d'avoir l'information suivante:

- Identification et longueur des sections de pipeline à évaluer Type de protection cathodique nombre de point de vérification
- Information sur les éléments particuliers connectés via les points de vérification Information sur l'historique des mesures réalisées aux points de vérification

4.3.6 .2. Les équipements de mesure :

Pour la réalisation des mesures aux points de vérification, les équipements suivants sont nécessaires :

a) Les appareils :

Ce sont des appareils qui permettent à la fois des mesures de tension, d'intensité de courant alternatif et continu, et des mesures de résistance électrique.

La résistance interne de ces appareils est de l'ordre de $R >10\text{ M}$ Figure(4.17).



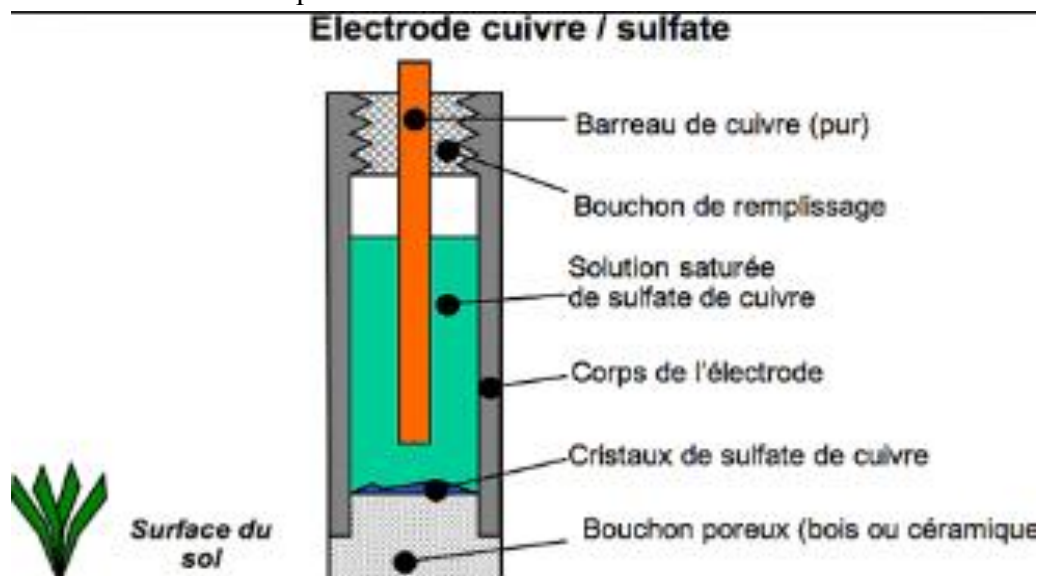
Figure(4.17): appareils des mesures.

b) L'électrode au sulfate de cuivre:

C'est un réservoir cylindrique en matière plastique obturé à sa base par un bouchon poreux et rempli d'une solution saturée de sulfate de cuivre dans laquelle plonge une tige en cuivre. Cette électrode sert de référence pour toute mesure de potentiel Figure (4.18).

Pour la fiabilité de la mesure il faut prendre les précautions suivantes :

- La tige en cuivre soit propre et non oxydée.
- La solution doit être saturée (Reste au fond des cristaux de sulfate de cuivre).
- Humidifier l'emplacement de l'électrode.
- Eviter de placer l'électrode dans des endroits trop résistants.
- L'électrode soit placée au droit de l'axe de la conduite.



Figure(4.18): Différents types d'électrodes de référence [6].

4.3.6 .3. Précautions préalables :

Avant la réalisation des essais, certaines précautions doivent être prises, à savoir :

- ✓ S'assurer du calibrage de l'électrode de référence.
- ✓ Mettre en place l'électrode de référence sur un sol humide en s'assurant de la protéger contre le soleil.
- ✓ Dans la mesure où il y a possibilité de gel, un antigel doit être mis en place à l'intérieur de l'électrode de référence.

- ✓ S'assurer que les connexions à l'intérieur des points de vérification soit propres et ajustées.
- ✓ S'assurer de la qualité du câblage utilisé.

4.3.6 .4. Prise de mesures au point de vérification :

Les mesures aux points de vérification doivent être réalisées selon les étapes suivantes :

Identifier le point de vérification à évaluer :

- ✓ Schématiser les câbles présents ainsi que les connexions qui s'y trouvent.
- ✓ Connecter une électrode de référence de cuivre/sulfate de cuivre à la borne négative du voltmètre.
- ✓ Connecter la borne positive (généralement rouge) du voltmètre à un câble du contact négatif de la structure à vérifier.
- ✓ Mettre en place l'électrode de référence sur le sol à proximité de la prise de potentiel et s'assurer d'un contact direct avec le sol et non avec d'autres matériaux tel que du béton, de la pierre ou de la végétation.

- ✓ Lire la valeur du potentiel apparaissant à l'écran du voltmètre et s'assurer de sa stabilité. Noter le potentiel apparaissant à l'écran du voltmètre, ainsi que sa polarité (+ ou -). Dans le cas d'un voltmètre à mémoire, sauvegarder cette valeur.

- ✓ Dans le cas où un second câble négatif serait présent au point de vérification, connecter la borne positive du voltmètre à ce câble.
- ✓ Lire la valeur du potentiel apparaissant à l'écran du voltmètre, s'assurer de sa stabilité et qu'elle correspond bien à la première valeur relevé permettant de s'assurer d'un contact négatif adéquat.

- ✓ Noter le potentiel apparaissant à l'écran du voltmètre, ainsi que sa polarité (+ ou -). Dans le cas d'un voltmètre à mémoire, sauvegarder cette valeur.

Répéter ces mesures à chacun des points de vérification. .

4.3.6 .5. Post-intervention :

Les données récupérées doivent être transférées dans un fichier électronique. Donnant chacune des informations relevées pour chacun des points de vérification permettant une évaluation comparative des résultats avec les mesures antérieures [6].

Chapitre 05:

Résultats et discussions

Introduction:

Étude dans le cadre de ce projet a étendu sur les études du système de protection des structures métalliques entre les lignes du réseau de canalisations exploitées par la société hassi berkine defferents distance et defferents diamètre et defferents produits transporter.

Les canalisations, dont le matériau n'est pas constitué, sont alliées à une API 5L X60 selon la norme API (institut américain du pétrole) sont protégées par un revêtement externe et interne (protection passive) aussi possible que possible pour isoler l'acier des milieux corrosifs. Ces revêtements sont une base de polyéthylène pour l'adhésif et une couche de plusieurs millimètres en polymères PE, en polyéthylène, ou en polypropylène PP. Cette protection est complète par une protection cathodique active dont le potentiel n'est pas maintenu à $- 850 \text{ mV} / \text{Cu} / \text{CuSO}_4$ par imposition ou par anode sacrificielle.

Les travaux d'inspection ont été montrés. Les exposés sont particulièrement exposés. risques liés aux défauts de fabrication de leur environnement (tubes entrants) et aux phénomènes de dégradation par corrosion et par fissuration sur les surfaces extérieures de la ligne a propos de la formation des piqures de corrosion

La méthodologie qui a été développée dans ce projet a été dévoilée par les différentes mesures possibles de la protection cathodique en position ON et par les mesures de résistivité du sol, des études ont été réalisées dans le but de défaire les défaillances particulièrement les defaillances par corrélation afin d'éviter les images de corrosion et plus particulièrement les régions ou la résistivité du sol et de maintenir le potentiel de la ligne par rapport au potentiel standard de protection.

nous consacrerons ce chapitre à la présentation des résultats de mesure de potentiel pour deux lignes et leurs discussions.

Les API sont des produits selon la norme API 5 L (American Petroleum Institute) afin de satisfaire les charges les plus sévères comme la résistance à la corrosion.

Parmi les paramètres qui influencent les structures enterrées, c'est la corrosivité des sols qui peuvent être estimés par les mesures de la résistance du sol à la conception de l'ouvrage métallique.

5.1. Protection des pipelines Hassi Berkine:

5.1.1. Caractéristiques des aciers utilisés dans la réalisation pipelines :

Le pipeline est une canalisation particulière qui a contribué aux enjeux économiques de la société. Les pipelines jouent un rôle extrêmement important dans le monde entier comme un moyen de transport de gaz et de liquides à longue distance.

Les aciers au carbone sont les plus utilisés dans la réalisation des réseaux collecte, dessalage gaz lift ainsi le réseau du maintien de pression.

En raison de leur faible coût, la maîtrise des techniques de leur élaboration et de leur production sont leur préoccupation dans le secteur de l'énergie, comme le réseau de dessalage, le transport de pétrole ou de gaz naturel par le biais de gazoducs ou d'oléoducs. Ces aciers sont habituellement de nuances telles qu'API 5 L grade B et l'API 5L a composition mécanique et chimique tableau (5.1). [13]

Tableau (5.1): composition et propriétés des aciers au carbone de la spécification API 5l (acier pour pipeline).

| API5L | COMPOSITION (%) | Limit d'élasticité (MPa) | Contrainte de rupture (MPa) |
|-------|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| A | 0.22, 0.90 Mn , 0.03P, 0.030 S | 207 | 331 |
| B | 0.27, 1.15 Mn , 0.03P, 0.030 S | 241 | 413 |
| X42 | 0.29, 1.25 Mn , 0.03P, 0.030 S | | 413 |
| X46 | 0.31, 1.35 Mn , 0.03P, 0.030 S | 317 | 434 |
| X52 | 0.31, 1.35 Mn , 0.03P, 0.030 S | 358 | 455 |
| X56 | 0.29, 1.25 Mn , 0.03P, 0.030 S | 386 | 489 |
| X60 | 0.26, 1.35 Mn , 0.03P, 0.030 S | 413 | 517 |
| X70 | 0.31, 1.35 Mn , 0.03P, 0.030 S | 482 | 565 |
| X80 | 0.31, 1.35 Mn , 0.03P, 0.030 S | 551 | 620 |

5.1.2. Protection passive :

Elle est constituée par le revêtement extérieur dont le rôle est de créer un effet de barrière électrique entre le métal et les environnements. La structure métallique des pipelines est assurée par un revêtement bicouche de polyéthylène.

5.1.3. Protection active :

Le revêtement ne constitue pas une protection absolue et définitive pour des imperfections ou des blessures susceptibles de se produire lors de la pose ou du déroulement de la vie. C'est pourquoi sur les risques potentiels de l'installation d'une protection cathodique.

La protection cathodique des pipelines hassi berkine en contact avec l'électrolyte consiste à les placer à un potentiel électrique négatif tel que la corrosion devienne thermodynamiquement impossible. [14]

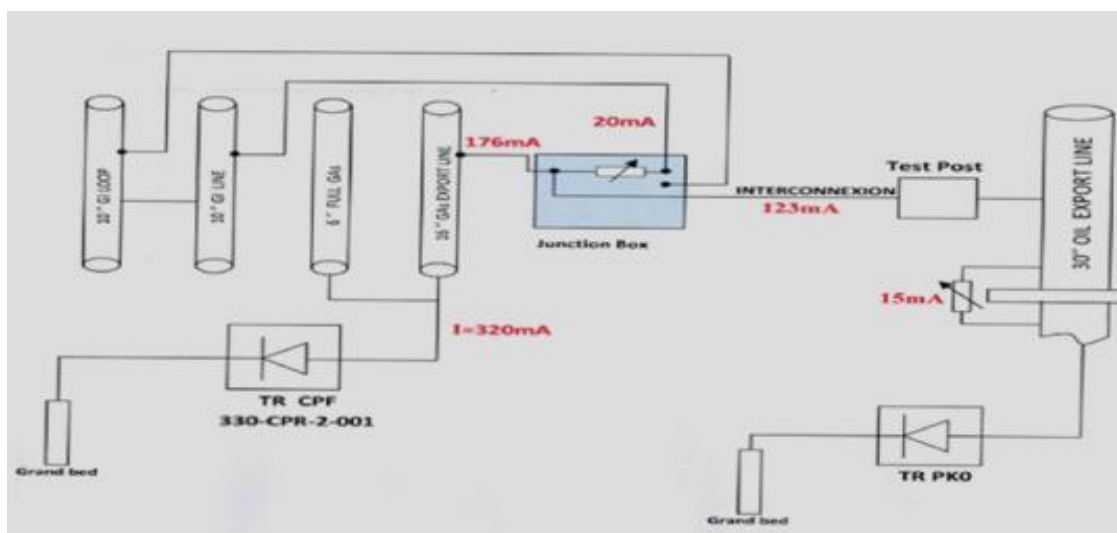
Comme valeur de potentiel, au dessous duquel l'acier ne peut se corroder dans un milieu ayant un PH compris entre 4 et 9, on admet le critère de -850mV , mesuré par rapport à l'électrode impolarisable au sulfate de cuivre en solution saturée.

Le principe de la protection cathodique trouve son application dans la pile élémentaire ou l'une des électrodes (anode) est toujours corrodée alors que l'autre ne l'est pas.

La méthode utilisée pour rendre l'ouvrage de pipelines Hassi Berkine cathodique par rapport à une anode extérieure est celle de soutirage du courant ou dispositif à courant imposé .

installations de protection cathodique couvrant les canalisations suivantes: Figure(5.1)

- Ligne d'exportation d'huile de 30 ''.
- Ligne d'exportation de gaz 16 ''.
- Ligne principale GÎ 10 ''.
- Ligne de boucle de 10 ''Gl.
- 6 ''plein gaz .



Figure(5.1): Le schéma suivant résume les connexions madeint et les distributions actuelles. [16]

5.2. Système de maintenance des lignes:

5.2.1. Surveillance et contrôle des dispositifs de protection cathodique:

Les installations de la protection cathodique doivent fonctionner sans interruption. Etant soumises à des risques d'arrêt f provenant soit de défauts, soit de l'appareil lui-même, soit des pannes de secteur, soit de ruptures de câbles de liaison, elles nécessitent une bonne surveillance. [6]

Le contrôle des installations de protection cathodique est effectué à fréquence variable suivant la nature du système de protection.

5.2.2. Les inspections de poste de soutirage :

Les installations de soutirage de courant doivent être soumises à des inspections deux fois par mois au cours des quelles les opérations ci-après doivent être effectuées :

- Relevé de l'intensité du courant débité
- Relevé de la tension de sortie du redresseur
- Mesure du potentiel de la conduite par rapport au sol, à l'aide d'un millivoltmètre et l'électrode de référence de sulfate de cuivre Cu/CuSO₄
- Vérification de ces valeurs par la mesure à l'aide d'un multimètre (une fois par mois) Le bon serrage des connexions. [15]

5.2.2.1. La Surveillance de poste de soutirage :

Si: $I=0\text{mA}$ et $E \neq 0\text{ mV}$

- L'enclenchement du disjoncteur et le réenclencher s'il y a lieu.
- Les fusibles 220 et les remplacer s'il y a lieu
- La tension de sortie du redresseur et les fusibles de sortie.
- Le secondaire du transfo-redresseur et les remplacer s'il y a lieu.

Si l'appareil ne fonctionne toujours pas, effectuer alors des recherches sur le transfo-redresseur en atelier.

Quelque Défauts Constatés et comment Remèdes Tableau (5.2).

Tableau (5.2) : la maintenance de poste soutirage.

| N° | Défauts Constatés | Causes probables | Remèdes |
|----|---|--|--|
| 01 | Installation hors service | Déclenchement du disjoncteur | Réenclencher le disjoncteur |
| 02 | Pas de tension de secteur au redresseur | Fusible défectueux | Remplacer les fusibles |
| 03 | Absence du courant de protection ou courant de protection trop faible | Rupture de câble de liaison ou de contacts | Mesurer la résistance conduite/anodes. Localiser le défaut de câbles Vérifier les bornes de connexions |
| | | Résistance d'anodes très élevées | Augmenter la tension du redresseur ou installer une autre anode déversoir Vérifier les connexions d'anode |
| 04 | Courant de protection trop important | Baisses de la résistance d'anode due à l'humidité du sol (Généralement en hiver) | Modifier légèrement le réglage du redresseur de manière à débiter le courant nécessaire de protection |
| | | Contact avec d'autres canalisations étrangères non protégées | Localiser les points de contacts et éliminer la cause du défaut sur la canalisation |
| 05 | Pas de potentiel de protection | Rupture du câble de liaison | Mesurer la résistance des câbles de liaison (anodes conduites etc.) |
| | | Résistance élevée des anodes | Réajuster la tension du redresseur et vérifier l'installation d'anode |
| | | Augmentation en courant protecteur due aux contacts métalliques avec structures étrangères | Localiser le défaut et éliminer les contacts métalliques avec les structures étrangères |
| 06 | Pas de réglage de potentiel | Redresseur défaillant | Vérifier le réglage des instruments de mesure Vérifier la présence de la tension alternative aux bornes du redresseur et le remplacer |

Si : $I=0$ mA et $E=0$ mV , il faut vérifier :

- Les fusibles situés sur les pôles positif et négatif du redresseur.
- L'état des deux câbles Plus (+) et moins (-) et rechercher une coupure éventuelle .
- Le fonctionnement de l'ampèremètre.

➤ **Recommandations**

- Une visite (inspection) hebdomadaire est souhaitable pour le contrôle visuel des installations du poste de soutirage.
- Pour maintenir un débit constant du tranfo-redresseur et veiller à ne pas l'utiliser à plus de 80% de sa capacité en raison de sa marche continu, il est nécessaire de procéder au réglage hiver-été.
- Un carnet de visite, doit être laissé à demeure à l'intérieur du poste de soutirage permettant de consigner les indications des appareils au cours des visites effectuées et les anomalies constatées.

5.2.3. Contrôle les installations de la protection cathodique :

5.2.3. 1. Contrôle systématique :

En vue de s'assurer de l'efficacité de la protection cathodique tout le long de la canalisation, il est nécessaire d'effectuer régulièrement des mesures électriques de potentiel, de courant et de résistance aux différents points de mesures. [15]

A/ Prise de potentiel :

C'est un moyen qui nous permet d'accéder à la conduite pour relever le potentiel de celle-ci à ce point. La mesure du potentiel se fera à l'aide d'une électrode de référence impolarisable au sulfate de cuivre Cu/CuSO₄ et d'un voltmètre à forte résistance interne.

En pratique lors des mesures, l'électrode de référence sera placée au niveau du sol au droit de la conduite après avoir humidifier l'endroit de pose de celle-ci.

Il est important de vérifier la connexion des câbles de mesure de l'appareil : le plus (+) de l'appareil doit être relié à l'électrode et le moins (-) doit être relié à la conduite.

L'entretien de la prise de potentielle se fera par :

- Vérification de l'isolement des câbles conducteurs par rapport aux corps de la prise de potentiel.
- Le maintien propre de la borne de mesure de la prise de potentielle.

- Le graissage des boulons de couvercle de la prise de potentiel.

B/ Raccord isolant :

La vérification de l'efficacité du raccord isolant se fera par les mesures suivantes :

- Potentiel shunté.
- Potentiel amont et aval dé shunté.
- Mesure de l'intensité du courant traversant le shunt.

➤ **Recommandations**

- Ne pas oublier de remettre les câbles à leur état initial après l'opération
- S'assurer de l'isolement des câbles de shuntage par rapport au corps du coffret
- Vérifier le bon serrage des connexions
- Eviter toute peinture conductrice de courant sur le raccord isolant.

C/ Gaines :

La vérification de l'isolement canalisation/gaine métallique se fera au niveau des prises de potentiel installées sur la canalisation, et la gaine par la mesure du potentiel conduite/sol, et du potentiel gaine/sol par rapport à l'électrode de référence au sulfate de cuivre Cu/CuSO₄.

Les résultats de ces mesures doivent être de préférence reportés sur des graphes pour une meilleure évaluation de la protection cathodique.

Pour assurer une bonne protection cathodique le long de la canalisation, des mesures électriques de potentiel, d'intensité et de résistance sont nécessaires à faire, car ils sont la base du suivi de la protection.

5.2.3. 2. Contrôle non systématique :

Les opérations des contrôles non systématiques interviennent à la suite d'anomalies constatées pour compléter éventuellement à la vérification périodique.

Ce contrôle peut comprendre :

➤ **La recherche des défauts d'isolement de la canalisation :**

- Défauts des joints isolants .
- Défauts de revêtement.
- Contact avec d'autres structures métalliques enterrées.

➤ **Vérification de la résistance d'isolement**

- La vérification de la résistance d'anode.
- Les mesures d'influence mutuelle entre ouvrages métalliques voisins .
- Les mesures d'influence électrique haute tension.
- Les mesures concernant l'agressivité du sol, présence de courants vagabonds (mesures de résistivité, analyse chimique).

➤ **Recommandations générales :**

Dans un poste de soutirage alimenté en 220 – 380 , sur ou à proximité des pièces sous tension, ou lorsqu'il y a des risques de contacts directs de l'opérateur avec des parties nues sous tension, il est nécessaire de mettre hors tension le poste de soutirage par ouverture du disjoncteur ou retrait de l'alimentation du socle de la prise de courant et de vérifier l'absence de tension.

Dans un poste de drainage, il est nécessaire de séparer le poste de toute autre source de courant possible par l'ouverture de l'interrupteur prévu à cet effet et de vérifier l'absence de tension.

Il est recommandé à ce qu'aucun travail d'intervention ne soit effectué sur les ouvrages durant les mauvaises conditions atmosphériques (pluies, orages). [15]

5.3. inspection et mesure de potential pour pipelines hassi berkine :

5.3.1/ Ligne pipeline expédition(30 "huile):

a/ Présentation:

La ligne a une longueur de 27 km et est recouverte de bicouches de polyéthylène, de la PKO au shunt du joint d'isolation jusqu'à la dérivation donné $I = 15mA$ figure (5.1).[18]

NB: Le redresseur est actuellement en panne avec le débit de cassis $I = 0A$.

b/ Anomalies révélées:

Au cours de l'enquête, nous avons observé que parfois la groseille CP impressionnée de PKO était arrêté qui laissait une conduite d'exportation de pétrole de 30 "sans protection.

c/ Actions réalisées:

afin d'assurer la protection continue de la ligne d'exportation 30 ", même lorsque la PKO a impressionné la source de groseille est arrêtée, nous avons procédé à l'installation du shunt entre le 30 "export canalisation et gaz d'exportation de 16 "protégés du redresseur . [16]

1/ Premier cas :
mesure de potentiel dans le cas Courant impose : **0 mA** (protection d'arrêt) tableau (5.3)avec
presentation graphique figure (5.2). [16]

Tableau (5.3): mesure de potential.

| Diamètre du pipeline : 30 "huile | | Longeur du pipeline:24 KM | |
|----------------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|
| Date : 02 /05/18 | Coordonnés GPS | | Courant impose : 0 mA |
| N°de poste | Nord | Est | Potential(MV) |
| 1 | - | - | - |
| 2 | 31°00'19.81" | 8°10'08.22" | -400 |
| 3 | 30°59'39.07" | 8°09'08.14" | -630 |
| 4 | 30°58'54.62" | 8°08'13.93" | - |
| 5 | 30°56'59.94" | 8°06'41.06" | -400 |
| 6 | 30°56'7.10" | 8°05'41.45" | -560 |
| 7 | 30°53'10.88" | 8°03'47.42" | -530 |
| 8 | 30°52'56.95" | 8°03'44.03" | -570 |
| 9 | - | - | -620 |
| 10 | 30°51'34.23" | 8°03'26.20" | -550 |
| 11 | 30°50'36.91" | 8°03'1.83" | -650 |
| 12 | 30°49'50.28.09" | 8°02'46.47" | -550 |
| 13 | 30°50'21.20" | 8°02'32.80" | -750 |

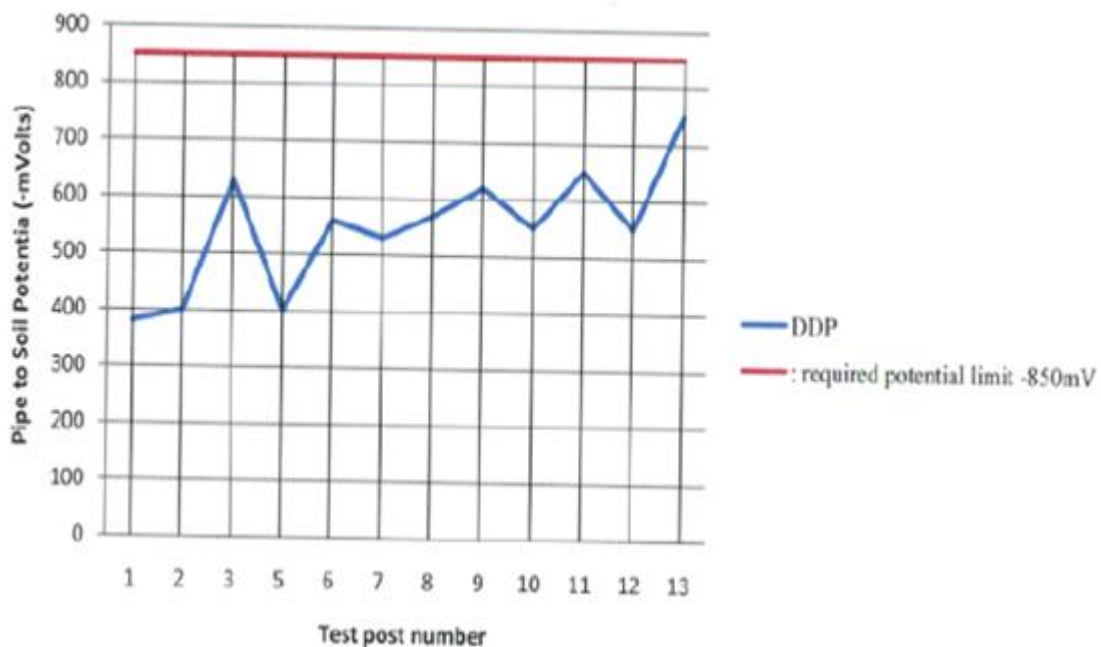


Figure (5.2): Présentation graphique.

2/ deuxieme cas :

mesure de potentiel dans le cas Après démarrage de fonctionnement redresseur Courant impose : **15 mA** Tableau (5.4)avec présentation graphique figure (5.3).

Tableau (5.4):mesure de potentiel.

| Diamètre du pipeline : 30 "huile | | Longeur du pipeline:24 KM | |
|----------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|
| Date : 10 /12/18 | Coordonnés GPS | | Courant impose :15mA |
| N° de poste | Nord | Est | Potentiel(MV) |
| 1 | | | -1100 |
| 2 | 31°00'19 81* | 8°100 82' | -1170 |
| 3 | 30°59'39.07' | 8°09'8)4' | -1105 |
| 4 | 30°58'54.62' | 8°08'13.93' | - |
| 5 | 30°56'59 94" | 8°06'41 06' | -1120 |
| 6 | 30°56'7 10" | 8°05'41 45"" | -950 |
| 7 | 30°53'10 88' | 8°03'47 42" | -900 |
| 8 | 30°52'56 95" | 8°03'44.03' | -1010 |
| 9 | | | - |
| 10 | 30°51'34 23* | 8°03'26 20' | -1150 |
| 11 | 30°50'36'91" | 8°03'1.83" | -1120 |
| 12 | 30°50'28.09' | 8°02'46 47" | 950 |
| 13 | 30°50'21.20* | 8°02'32.80' | -1130- |

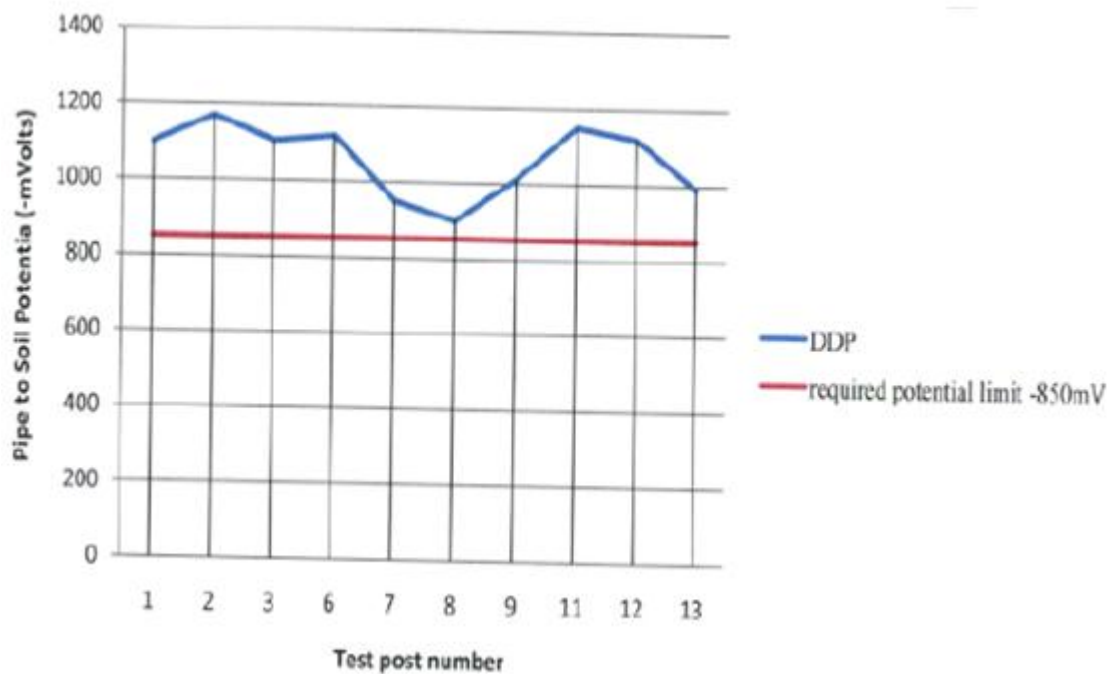


Figure (5.3): Présentation graphique.

3/ troisième cas:

mesure de potentiel dans le cas Courant impose : **123 mA** Tableau (5.5) avec présentation graphique figure (5.4).

Tableau (5.5): mesure de potentiel.

| Diamètre du pipeline : 30 "huile | | Longeur du pipeline:24 KM | |
|----------------------------------|----------------|---------------------------|------------------------|
| Date : 09/12/18 | Coordonnés GPS | | Courant impose : 123mA |
| N° de poste | Nord | Est | Potentiel(MV) |
| 1 | | | -1530 |
| 2 | 31°00'19.81* | 8°100'82' | -1500 |
| 3 | 30°59'39.07' | 8°09'8)4' | -1450 |
| 4 | 30°58'54.62' | 8°08'13.93' | - |
| 5 | 30°56'59.94" | 8°06'41.06' | -1370 |
| 6 | 30°56'7.10" | 8°05'41.45" | -1400 |
| 7 | 30°53'10.88' | 8°03'47.42" | -1250 |
| 8 | 30°52'56.95" | 8°03'44.03' | -1360 |
| 9 | | | - |
| 10 | 30°51'34.23* | 8°03'26.20' | -1230 |
| 11 | 30°50'36.91" | 8°03'1.83" | -1210 |
| 12 | 30°50'28.09' | 8°02'46.47" | -1300 |
| 13 | 30°50'21.20* | 8°02'32.80' | -1470 |

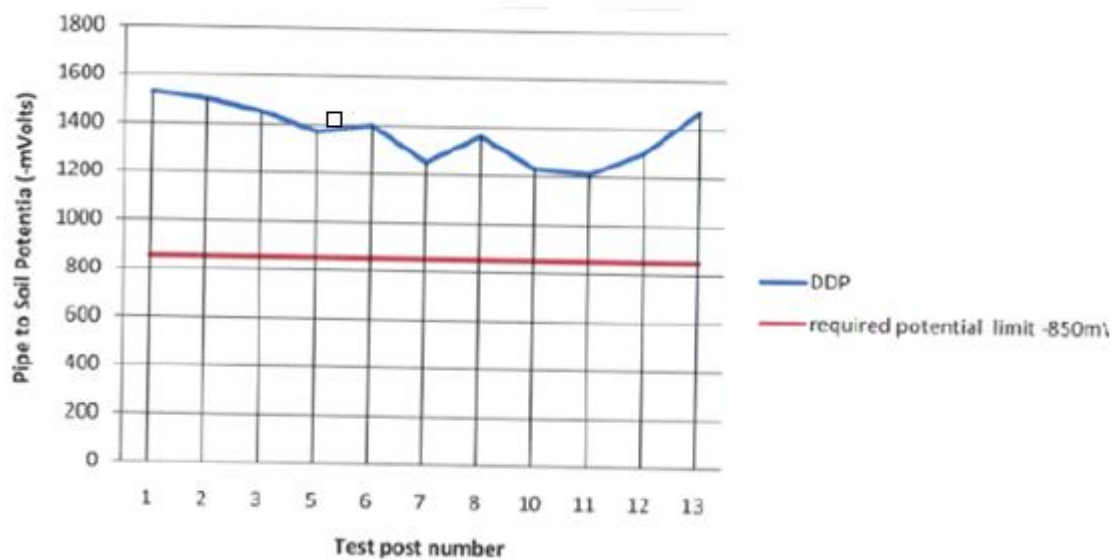


Figure (5.4): Présentation graphique.

5.3.2/ Ligne pipeline injection (16 "gaz):

a/ Présentation:

A une longueur d'environ 30 km et est recouverte de bicouches de polyéthylène.

la ligne est initialement protégée du côté de la centrale électrique (côté arrivée) et du côté HBNS-CPF . [16]

b- Anomalies révélées:

À la suite des enquêtes, nous avons trouvé la protection du côté de l'arrivée. Puissance électrique gare, plus assurée.

c- Actions réalisées:

La protection cathodique donnée du côté du CPF suffit à protéger toute la ligne 16'', aucune autre action ont été effectuées.

d- Enregistrements de protection cathodique:

16''est protégé avec du redresseur figure(5.1) et courant impose **I=176mA** Tableau (5.6)avec présentation graphique figure (5.5).

Tableau (5.6):mesure de potential.

| Diamètre du pipeline :16''gaz | | Longeur du pipeline:26 KM | |
|-------------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| Date : 08 /12/18 | Coordonnés GPS | | Courant impose : 176 mA |
| N° de poste | Nord | Est | Potentiel(MV) |
| 1 | 31°0'27.59"N | F109.36-E | -2330 |
| 2 | 31°00'19.81" | 8° 100.82' | -2200 |
| 3 | 30°59'39.07' | 8°09-8 14" | -2350 |
| 4 | 30°58'54.62' | 8°0TJ3 93" | -2230 |
| 5 | 30°56'59.94" | 8°06'41 06' | -2160 |
| 6 | 30°56'7.10" | 8°05-41 45" | -2300 |
| 7 | 30°53'10.88' | 8°03'47 42" | -2290 |
| 8 | 30°52'56.95" | 8°03'44.03' | -2150 |
| 9 | | | - |
| 10 | 30°51'34.23* | 8°03'26.20' | -2330 |
| 11 | 30°50'36.91" | 8°03'1.83" | -2310 |
| 12 | 30°50'28.09' | 8°02'46.47" | -2284 |
| 13 | 30°50'21.20* | 8°02'32.80' | -2310 |
| 14 | - | - | - |

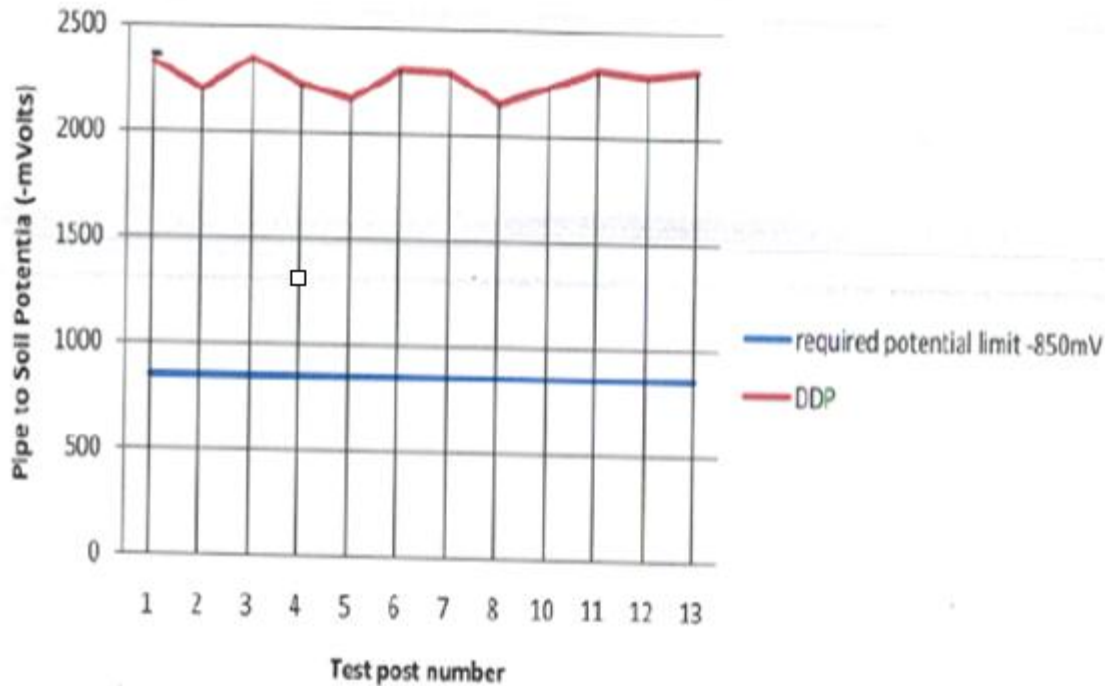


Figure (5.5): Présentation graphique.

5.3.3. Résultats révélées:

A/ Evaluation d'interférence :

Il s'agit d'évaluer le interférence existant entre une conduite d'exportation de pétrole de 30 "et de 16" période où les deux lignes n'étaient pas interconnectées.

Ceci permet d'évaluer le niveau de risque de défaillance sur le 30 "(en raison de la corrosion externe induite par des interférences) basé sur le niveau d'interférence induit par le système de protection cathodique au gaz de 16 ".

Après avoir débranché tous les tuyaux du point de jonction, nous avons procédé à des séquences ON / OFF le Redresseur 16 "et effet induit mesuré sur la ligne 30".

La chute de ligne enregistrée de 30 "due à une interférence de 16" n'est que de 20 mV, ce qui n'est pas significatif en conséquence, aucune interférence n'existait entre les conduites de 30 "et 16" (induite par le cathodique à gaz de 16 "). lorsqu'il n'est pas interconnecté.

B/ Résultats d'investigation:

De tous les travaux effectués sur le terrain, nous avons assuré la protection de toutes les lignes exposées avec tout risque d'interférences et de potentiels ajusté selon les normes internationales du CP. [16]

N.B: niveau de potentiel requis égal au moins à **-850**

CONCLUSION

La protection cathodique par courant imposé couplée à une protection passive (PE), présente l'inconvénient majeur d'exiger le contrôle et la maîtrise de toute une batterie de paramètres en temps réel et qui peuvent être affectés par le moindre défaut dans la structure ou dans le revêtement qui la protège. Une mauvaise distribution du potentiel appliqué sur les canalisations entraîne des protubérances (court circuit), pertes énergétiques par effet joule. Lorsque la protection cathodique n'est pas totalement maîtrisée différents défauts peuvent apparaître sur les revêtements.

Dans ce travail, nous avons montré que la maîtrise de la distribution du potentiel, qui doit être maintenu le long de la conduite à un niveau de protection minimum, passe nécessairement par le contrôle strict d'un nombre de paramètres caractéristique à la fois du milieu, de l'environnement et des outils de protection utilisés. La nature du sol, la nuance du matériau pipelinier, le type de revêtement, ainsi que nature, dimensions et emplacements des déversoirs sont tous des grandeurs à considérer dans la mise en œuvre de la technique de protection cathodique. La bonne distribution du potentiel de protection le long de la structure dépend essentiellement de l'optimisation des emplacements et des valeurs des résistances de terre (déversoirs anodiques), et surtout de la valeur du coefficient d'atténuation (a) qui est fonction de la résistance d'isolement et donc de l'état du revêtement. Plus la valeur de la résistance d'isolement est importante, plus le facteur d'atténuation est faible, et donc une portée de soutirage plus grande. Inversement avec un facteur d'atténuation important, la portée du soutirage est réduite et aura pour conséquence une augmentation des postes de soutirage répartis le long des canalisations lorsque l'on aura affaire à un ouvrage de faible valeur de la résistance d'isolement, d'où la nécessité d'un contrôle optimal de l'état du revêtement et d'une maîtrise du potentiel de protection.

Enfin, Il reste toute fois à vérifier sur le terrain l'apport et efficacité de notre modeste contribution.

Références bibliographique

- [1] **Marec**, corrosion et protection cathodique, école d'application des techniques gazières, TRAN 96.2, (1996), Gaz de France.
- [2] **D. Bouzidi**, Corrosion et protection cathodique des conduites souterraines, mémoire d'ingénieurs, école de technologie supérieure université du Québec 2011.
- [3] **M^{me} H. ZENDAOUI**, IAP Boumerdes, partie 1 corrosion et protection des canalisations, SH, IAP.CU, UFR : Gas Refining & Petrochemistry 2011.
- [4] Document technique sonelgaz ‘’ Procédures relatives au revêtement appliqué sur les tubes transport de gaz : généralités sur les fonctions des revêtements et leurs applications’’ **PR : N° 004.GRTG - R 1** (2008).
- [5] **M^{me} H. ZENDAOUI** , IAP Boumerdes, partie 2 corrosion et protection des canalisations, SH, IAP.CU,UFR : Gas Refining & Petrochemistry 2011.
- [6] R. Winston Revie, Herbert H. Uhlig. « Corrosion and corrosion protection. An introduction to corrosion Science and Engineering ». 4th Edition, 2008, John Wiley & Sons (Livre).
- [7] La Protection Cathodique - Guide Pratique - Éditions Technip - Paris 1986.

[8] présent GB 2009.ENG , DOC hassi berkine .

[9] rapport de test avec outils intelligent/2015, DOC hassi berkine .

[10] Report of UT inspection in HBNS-27 Well site Test Date/ 03-06-2011 Location : HASSI BERKINE.

[11]LONG RANGE ULTRASONIC TESTING REPORT Groupment Berkine 15th August, 2009.

[12] <http://www.alspi.com/ms3500L.htm>.

[13] Etude sur la méthode de maintenance par protection cathodique - Cas de la ligne de pipeline GZ1 40'' Presente par: MARIF Abdelhakim2014 Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen Faculte de Technologie.

[14] rapport de protection contre la corrosion hassi berkine ,CAPCIS /2010.

[15] rapport de protection cathodique ,société de contrôle et inspection SGS /2019].

[16] HBNS FIELD CATHODIC PROTECTION SYSTEMS , December, 2018sgs.