

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Ahmed Draïa Adrar



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département d'Hydrocarbures et Energies Renouvelables

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master en :
Filière : Génie des Procédés
Spécialité : Génie Chimique

Thème :

**Etude de la corrosion et la protection cathodique des
installations des hydrocarbures en milieu urbains : cas
de station des services et dépôt de carburant d'Adrar**

Préparé par :

M. ABDELLI Mounir

Membres de jury d'évaluation :

M.SAKMACHE Mounir	Président	MCA	Univ. Adrar
M.DEBBAGHI Slimane	Encadreur	MCB	Univ. Adrar
M. HADJKOUIDER Mohamed	Examineur	MCA	Univ. Adrar

Année Universitaire : 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria

Ministry of Higher Education and
Scientific Research
University Ahmed Draia of Adrar
The central library



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة أحمد دراية- أدرار
المكتبة المركزية
مصلحة البحث الببليوغرافي

شهادة الترخيص بالإيداع

انا الأستاذ(ة): دباغي سليمان أستاذ محاضر ب

المشرف مذكرة الماستر الموسومة بـ :
Etude de la corrosion et la protection cathodique des installations des hydrocarbures en milieu urbaines : cas de station des services et dépôt de carburant d'Adrar

من إنجاز الطالب(ة): عبدلي منير

و الطالب(ة):

كلية : العلوم والتكنولوجيا

القسم : المحروقات والطاقت المتجددة

التخصص : هندسة كيميائية

تاريخ تقييم / مناقشة: 22/06/06

أشهد ان الطلبة قد قاموا بالتعديلات والتصحيحات المطلوبة من طرف لجنة التقييم / المناقشة، وان المطابقة بين
النسخة الورقية والإلكترونية استوفت جميع شروطها.
وإمكانهم إيداع النسخ الورقية (02) والالكترونية (PDF).

- امضاء المشرف:

ادرار في : 2022/06/12

مساعد رئيس القسم:

د. خليفة بن مختار

رئيس قسم المحروقات والطاقت المتجددة
بكلية العلوم والتكنولوجيا



Remerciement

je remercie Dieu le tout puissant et miséricordieux qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail

Tout d'abord, J'exprime toute ma reconnaissance envers monsieur Dr Debbaghi Slimane , pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de m'encadrer afin de réaliser ce travail.

Je tiens également à remercier tous mes professeurs pour m'avoir guidé pendant toutes ces années.

Je tiens également à remercier le Dr OUAZINE Louanas pour son aide et Mme BOUKHLEF Djedjiga pour ses précieux conseils, et le temps qu'elle m'a consacré.

Enfin, j'exprime mes plus profonds remerciements à mes parents pour leurs soutiens et mes collègues pour leurs encouragements.

Dédicace

Je dédie à mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci beaucoup mes parents.

A toutes personnes qui ma aider à poursuivre mes études. A Mon frère, et mes sœurs. A toute La famille, ABDELLI , la famille FENNICHE ,et la famille FERDJALLAH . Ma chère tante Goucem A tous mes amis, Nasreddin ,Yassin ,Idrisss, Mes collègues de master en Génie des Procédés, Spécialité : Génie Chimique sans exception.

Sommaire

Titre	Page
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : GENERALITES SUR LA CORROSION	
I. Définition	3
I.1.. Réaction de corrosion	3
I.2.Origine de la corrosion	3
I.3 Processus de la corrosion	4
I.4 Différentes formes de la corrosion	5
I.4.1La corrosion humide (électrochimique)	5
I.4.2 Corrosion sèche (chimique)	5
I.4.3 Corrosion biochimique (bactérienne)	6
I.5 Types de corrosion	6
I.5.1 Corrosion uniforme ou généralisée	7
I.5.2 Corrosion localisée	7
I.5.3 Corrosion galvanique	8
I.5.4 Corrosion filiforme	9

I.5.5 Corrosion par piquêre	9
I.5.6 Corrosion caverneuse	10
I.5.7 Corrosion inter-granulaire	10
I.6 Facteurs de la corrosion	10
I.6.1 Corrosion atmosphérique	10
I.6.2 Corrosion par les sols	11
I.7 Paramètres influençant sur la vitesse de corrosion	11
I.7.1 Effet de la température	12
I.7.2 Effet de l'acidité	12
I.7.3 Régime hydrodynamique	12
I.7.4 Salinité	13
I.8 Moyens de protection contre la corrosion	13
I.9 Prévention par une forme adaptée des pièces.....	13
I.10 Prévention par un choix judicieux des matériaux.....	14
I.10.1 Protection par revêtements.....	14
I.10.2 Protection par revêtements métallique.	15
I.10.3 Protection par revêtement organiques.....	15
I.10.4 Revêtements thermoplastiques.....	16

I.11 Protection par inhibiteurs.....	16
I.12 Protection anodique.....	16
I.13 Protection cathodique.....	17
I.13.1 Principe de la protection :	17
I.13.2 Protection cathodique par courant imposé.....	18
I.14 Aspect économique de la corrosion.....	19

Chapitre II : Contexte Industriel

II Historique de NAFTAL.....	21
II.1Présentation de dépôt de stockage de carburant :.....	23
II.1.1 Principaux produits dangereux stockés.....	23
II.1.2 Installations des équipements au dépôt de carburant.....	25
II.1.3Principales installations corrodables au dépôt de carburant.....	25
II.1.4Facteurs corrosifs au dépôt de carburant	27
II.2 Présentation de la station de carburant (station service)	27
II.2.1 Installations des équipements à la station de carburant.....	31
II.2.1.1Les cuves sous terraines.....	32
II.2.1.2 Les cuves aériennes	32
II.2.1.3Les pompes de distribution	32

II.2.1.4 Poste de dépotage	33
II.2.1.5 La tuyauterie sous terrainne	33
II.2.2 Principales installations corrodables à la station de carburant.....	33
II.2.3 Facteurs corrosifs au dépôt de carburant	33
II.2.3.1 Le pH des sols.....	34
II.2.3.2La résistivité des sols.....	34
II.2.3.3 Effet de sel.....	34
II.3 Conclusion	34

Chapitre III : Protection cathodique de la corrosion

III GENERALITES.....	36
III.1 Prévention de la corrosion des conduites souterraines.....	37
III.2Protection par revêtement.....	37
III.3Protection par inhibition.....	38
III.4 Protection cathodique.....	38
III.4.1Histoire de la protection cathodique (PC).....	39
III.4.2 Principe de la protection cathodique.....	39
III.4.3 Critères de la protection cathodique.....	42
III.4.4 Facteurs affectant la validité des critères.....	42

III.4.5 Type de protection cathodique.....	44
III.5.1 Protection par anodes sacrificielles.....	44
III.5.1.1 Différents types d'anodes sacrificielles.....	45
III.4.6 Etude de l'influence.....	46
III.4.6.1 Résistance des anodes.....	46
III.4.6.1.1 Influence de la résistivité.....	46
III.4.6.1.2 Influence des nombre des anodes.....	47
III.4.6.1.3 Influence de l'espace entre anode.....	48
III.4.6.1.4 Influence du courant sur la durée de vie.....	49
III.4.6.1.5 Influence du courant sur la consommation massique et la durée de vie.....	49
III.4.7 Protection cathodique par courant imposé.....	51
III.4.8 Effets de la protection cathodique.....	51
III.4.9 Avantages et inconvénients des systèmes de la protection cathodique	52
III.4.10 Conclusion.....	53

Chapitre IV : Protection des ouvrages par l'anode sacrificielles

IV Choix de la méthode de protection	56
IV.1 protection par courant imposé	56

IV.1.1 les avantages de la protection par courant imposé	56
IV.1.2 Les inconvénients de la protection par courant imposé	56
IV.2 protection par méthode d'anode sacrifié.....	57
IV.2.1les avantages de la protection par méthode d'anode sacrifié	57
IV.2.2 Les inconvénients de la protection par méthode d'anode sacrifié ...	57
IV.3 Calcul de la protection par méthode d'anode sacrifié	57
IV.4.1.2 Backfill de coke.....	61
IV.4.1.3 Câbles de connexion (déversoir anodique - générateur et générateur- structure à protéger).....	62
IV.4.1.4 Les joints isolants.....	63
IV.4.1.5 Points fixes de mesures (Coffrets ou prises de potentiel).....	63
IV.5 Entretien et recommandation.....	64
IV.5.1 périodicité de changement de l'anode(Durée de vie).....	64
IV.5.2 Distribution d'anode.....	65
IV.5.3 Économie(les deux système).....	66
V .Conclusion	67

Liste des figures

Figure I.1 La nature des paramètres la corrosion

Figure I.2 Corrosion sèche

Figure I.3 Image d'une Corrosion Généralisée

Figure I.4 Schéma d'une Corrosion localisée.

Figure I.5 Corrosion galvanique

Figure I.6 Images Corrosion par piqûres

Figure I.7 Schéma de Diminution du risque de corrosion-érosion

Figure I.8 Les moyens de protection contre la corrosion

Figure I.9 Principe de la protection anodique d'un métal passivable déplacement du potentiel dans le domaine passif correspondant à : $E_{pass} < E < E_{pit}$

Figure I.10 Principe de la protection cathodique par anode sacrificielle

Figure I.11 Principe de la protection cathodique par courant imposé

Figure II.1 Organigramme de la société NAFTAL[32]

Figure II.2 plan de situation centre 108G ADRAR

Figure II.3 plan de niveau 108G

Figure II.4 plan parcellaire cuves de stockage + salle des de pompes

Figure II.5 Image des cuves corrodée

Figure II.6 Image d'une tuyauterie corrodée

Figure II.7 Image satellitaire du siège de la station KHALDI (vue Google earth 2022).

Figure II.8 Image de la station KHALDI de reggane

Figure II.9 Photo des cuves sous terraines

Figure II.10 photo cuve aérienne de stockage du GPL

Figure II.11 photos des pompes de distribution

Figure II.12 photo d'un Poste de dépôtage

Liste Des Figures

Figure III.1 Tracé d'une courbe globale de polarisation et décomposition en courbes individuelles (cas d'un milieu exempt d'oxygène dissous)

Figure III.2 Principe de la protection cathodique

Figure III.3 Protection cathodique d'un réseau métallique par anodes sacrificielles

Figure III.4 Principes de la protection par anodes sacrificielles

Figure III.5 La Variation de la Résistance en fonction de la Résistivité

Figure III.6 La Variation de la Résistance de l'anode en fonction du nombre d'anode

Figure III.7 Variation de la Résistance en fonction de l'espace entre anode

Figure III.8 la variation de durée de vie de l'anode en fonction du courant

Figure III.9 Consommation massique de l'anode en fonction du temps

Figure III.10 Comparaison des éléments de systèmes P.C

Figure IV.1 Le point de mesure

Liste des tableaux

Tableau I.1 Taux de corrosion pour différentes valeurs de pH des sols

Tableau I.2 Types de revêtement organique

Tableau II.1 Données techniques du Gas-oil

Tableau II.2 Données techniques du SIRGHAZ

Tableau II.3 L'agressivité du milieu en fonction de sa résistivité

Tableau III.1 Comparaison des éléments de systèmes P.C

Tableau IV.1 type de bakfill

Introduction générale

Introduction générale

La corrosion est le processus qui conduit les éléments naturels à défaire ce que l'homme, par son travail et à grands frais d'énergie, a élaboré à partir des matériaux que la terre lui offre. La corrosion métallique ramène ainsi, métaux et alliages à leur état naturel d'oxydes ou de minerais .

La corrosion engendre, aussi bien pour les particuliers que pour les entreprises industrielles des coûts d'entretien et de renouvellement parfois très importants, des conséquences techniques fâcheuses, et des risques pour l'intégrité de l'homme lui-même.

Le problème de la corrosion a acquis une grande importance de nos jours, étant donné l'utilisation croissante des métaux et des alliages dans la vie moderne. L'étude de la corrosion se situe à un carrefour dans différents domaines : électrochimie, physique du solide, métallurgie, chimie, physique, thermodynamique ... en plus de son intérêt scientifique pluridisciplinaire, elle répond à un enjeu industriel important.

L'aspect économique de l'érosion dans nos vies, locale ou industrielle, est bien établi. Les dommages causés par ce phénomène entraînent des pertes financières très importantes chaque année et sans les moyens de protection ces chiffres peuvent être plus élevés. Par conséquent, le développement de technologies de protection plus sûres, plus économiques et plus respectueuses de l'environnement est un nouveau défi pour un ingénieur qui devra avoir des connaissances scientifiques approfondies dans les domaines de la chimie et de la corrosion minérale, devrait se familiariser avec les méthodes expérimentales modernes et les matériaux modernes et pour se protéger de la corrosion, nous utilisons la protection cathodique .

Les installations d'hydrocarbures dans l'environnement imposent une responsabilité en matière de santé, de sécurité et d'environnement, et la moindre défaillance de ces installations conduit à une catastrophe classée en catégories A, sans tenir compte des coûts des pertes et de leur impact sur la vie économique quotidienne et le coût de récupération.

Ce mémoire se compose de quatre chapitres, le premier chapitre présente une étude générale sur la corrosion. Le deuxième est consacré pour l'étude de chacune de station de service et le dépôt de carburant situés à la wilaya d'Adrar. Le troisième chapitre est consacré à la protection cathodique. Dans le dernier chapitre; nous exposons les calculs de protection des ouvrages par l'anode sacrificielle

CHAPITRE I

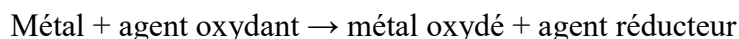
GENERALITES SUR LA CORROSION

I Définition

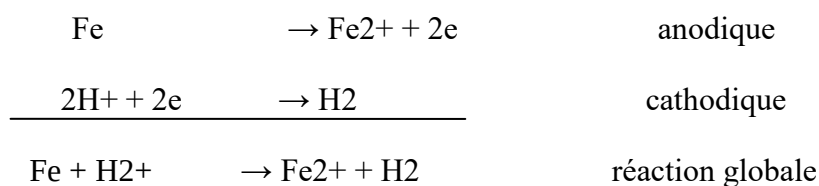
La corrosion est la dégradation du matériau par réaction chimique ou électrochimique avec l'environnement. Il subit en effet une perte de matière progressive aux points de contact avec le milieu environnant. Cette définition admet que la corrosion est un phénomène nuisible : elle détruit le matériau et réduit ses propriétés, ce qui le rend inutilisable pour une application prévue. [1]

I.1 . Réaction de corrosion

La corrosion des métaux est due à des réactions redox irréversibles entre les métaux et oxydants contenus dans l'environnement. L'oxydation des métaux implique Réduire l'oxydant selon la réaction[1] :



Toute réaction redox consiste en deux réactions partielles : la réaction Oxydation partielle ou réaction anodique partielle, et réaction de réduction partielle ou Réaction partielle cathodique [2] :



I.2 Origine de la corrosion

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes et elles résultent d'interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement.

Les différents paramètres qui favorisent la corrosion d'un matériau sont :

- Composition chimique et microstructure du métal,
- Composition chimique de l'environnement,
- Paramètres physiques (température, irradiation, etc.)
- Sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottement, etc.).

Donc on peut dire que les phénomènes de corrosion dépendent du matériau et du milieu environnant[3]

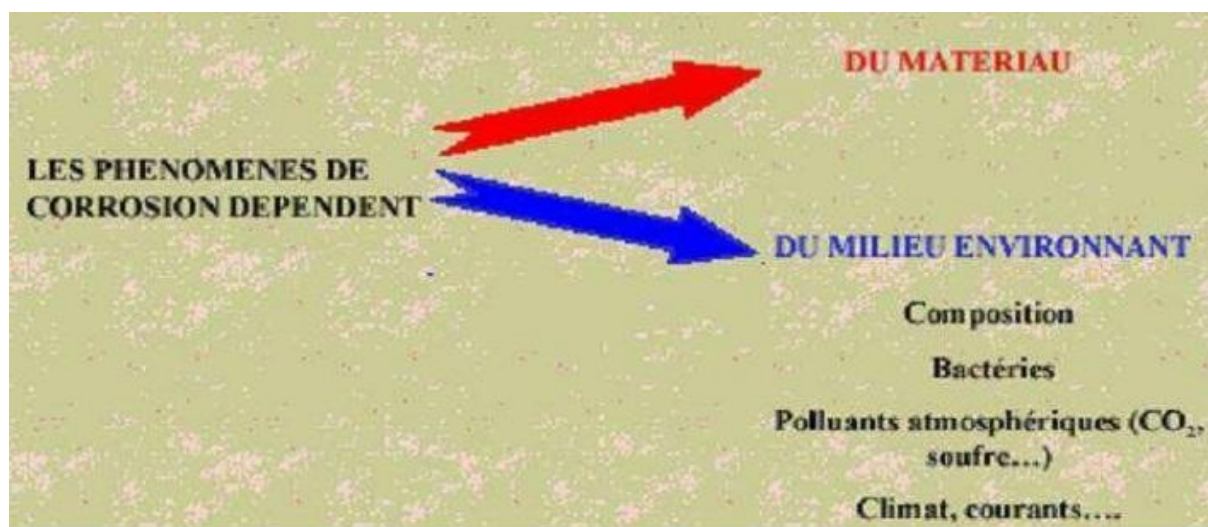


Figure I.1. La nature des paramètres la corrosion.

I.3 Processus de la corrosion

La corrosion est considérée comme humide selon la nature et la température du milieu environnant, ou sec. Dans le premier cas, le milieu est généralement constitué d'un liquide Électrolyse à température modérée. Dans le second cas, il s'agit de vapeur et des gaz au-dessus du point de rosée ; les températures sont souvent très élevées ($> 200\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Signalons finalement l'existence d'une corrosion particulière appelée corrosion bactérienne au cours de laquelle interviennent des organismes vivants de différentes espèces.

Ce processus concerne essentiellement l'attaque bactérienne des canalisations ou réservoirs enterrés ainsi que les structures métalliques immergés dans l'eau[4-5]

I.4 Différentes formes de la corrosion

I.4.1 La corrosion humide (électrochimique)

Est la plus rencontrée dans l'industrie du gaz et du pétrole ainsi que dans l'industrie pétrochimique. Elle est responsable de la dégradation des structures métalliques en contact avec tout milieu susceptible de contenir de l'eau.

La corrosion humide fonctionne comme une pile électrochimique et doit donc réunir simultanément quatre facteurs pour pouvoir se déclencher:

- Une anode : c'est la partie du métal où se développe la réaction d'oxydation entraînant une dissolution de cette partie sous forme de cations positifs dans le milieu aqueux,
- Une cathode : c'est la partie du métal où se développe la réaction de réduction d'une espèce contenue dans l'électrolyte (dégagement d'hydrogène par réduction d'ions H^+ , formation d'eau par réduction de l'oxygène en milieu acide, formation d'ions OH^- par réduction de l'oxygène en milieu basique, dépôt d'un métal par réduction d'un de ses cations...),
- Un conducteur électrique : qui puisse véhiculer les électrons libérés de l'anode vers la cathode. Ce rôle est assuré par le métal lui-même,
- Un conducteur ionique : qui puisse permettre la migration des cations libérés de l'anode vers les anions libérés à la cathode pour assurer la neutralité électrique et fermer le circuit électrique. Ce rôle est joué par le milieu électrolytique lui-même [26]

I.4.2 Corrosion sèche (chimique)

La corrosion chimique est l'attaque directe du métal par son environnement. Ce type de Corrosion se développe dans une solution non électrolyte ou sur action des gazeux (O_2 , H_2 Et CO_2). Lorsque le réactif est gazeux ou cette corrosion se produit à haute température, elle Est alors appelée : Corrosion sèche ou corrosion à haute température

La réaction qui se produit est de la forme[7,8]. :



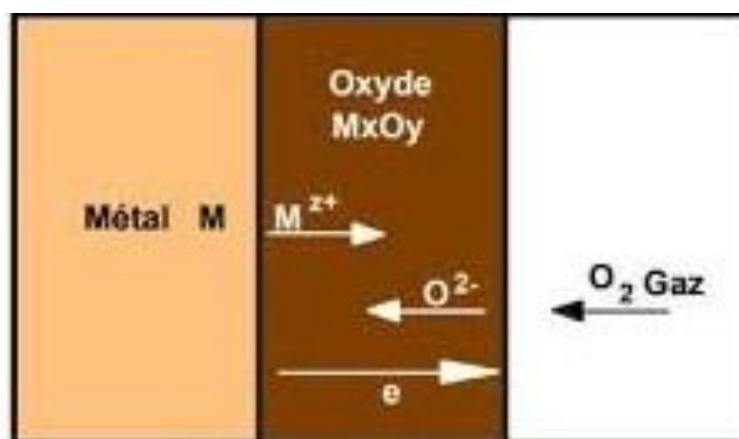


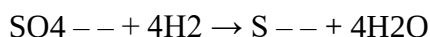
Figure I.2 : Corrosion sèche

I.4.3 Corrosion biochimique (bactérienne)

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites anaérobies qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs

Deux types de bactéries sont particulièrement bien connus[9] :

- **bactéries sulfato-réductrices** : Ces sont des bactéries anaérobies réductrices de sulfates, qui donnent des sulfures suivant la réaction :



- **bactéries oxydant le soufre** : Ces bactéries aérobies sont capables d'oxyder le soufre des composés soufrés suivant la réaction :



I.5 Types de corrosion

La corrosion peut affecter le métal par une multitude de moyens qui dépendent de sa nature et des conditions environnementales. En tenant compte de la forme et des sites de l'attaque les principaux types de corrosion sont regroupés en deux grandes familles : la corrosion généralisée et la corrosion localisée, dont la plupart des sous-types provient des inhomogénéités dans la morphologie du métal[10]

I.5.1 Corrosion uniforme ou généralisée

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



Fig. I.3 : Image d'une Corrosion Généralisée[43]

I.5.2 Corrosion localisée

La corrosion localisée est la forme la plus insidieuse. Elle survient sur une partie du métal qui représente un lieu spécifiquement anodique, clairement distingué, dont la surface est très faible devant le reste de la structure métallique qui constitue la zone cathodique (Fig.I.4). En effet, pour une perte de poids minime, ce type de corrosion peut être catastrophique. La corrosion uniforme peut être réduite ou évitée arpon choix convenable du matériau, la modification du milieu ou la protection cathodique [11]

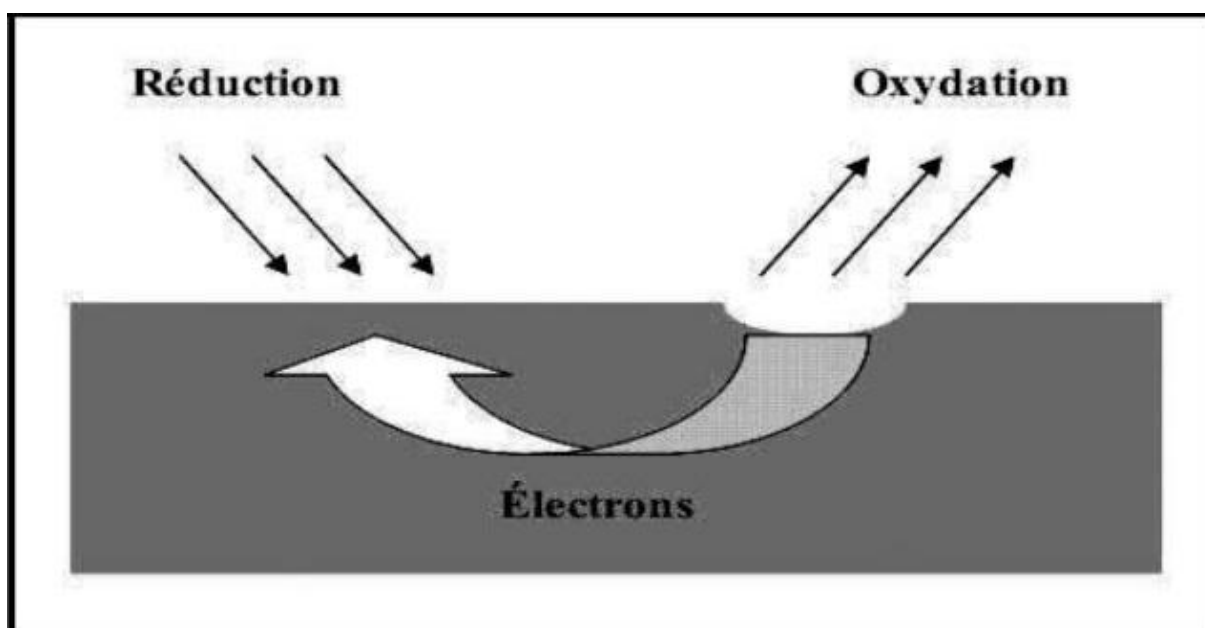


Fig.I.4 : Schéma d'une Corrosion localisée.

I.5.3 Corrosion galvanique

La corrosion galvanique dite aussi corrosion bimétallique a pour origine un contact entre deux métaux différents, reliés électriquement, immergés dans une solution aqueuse. On aura la formation d'une pile où le métal le moins noble est l'anode (siège d'une réaction d'oxydation: dissolution du métal) ; le métal le plus noble est la cathode (siège d'une réaction de réduction) [12]

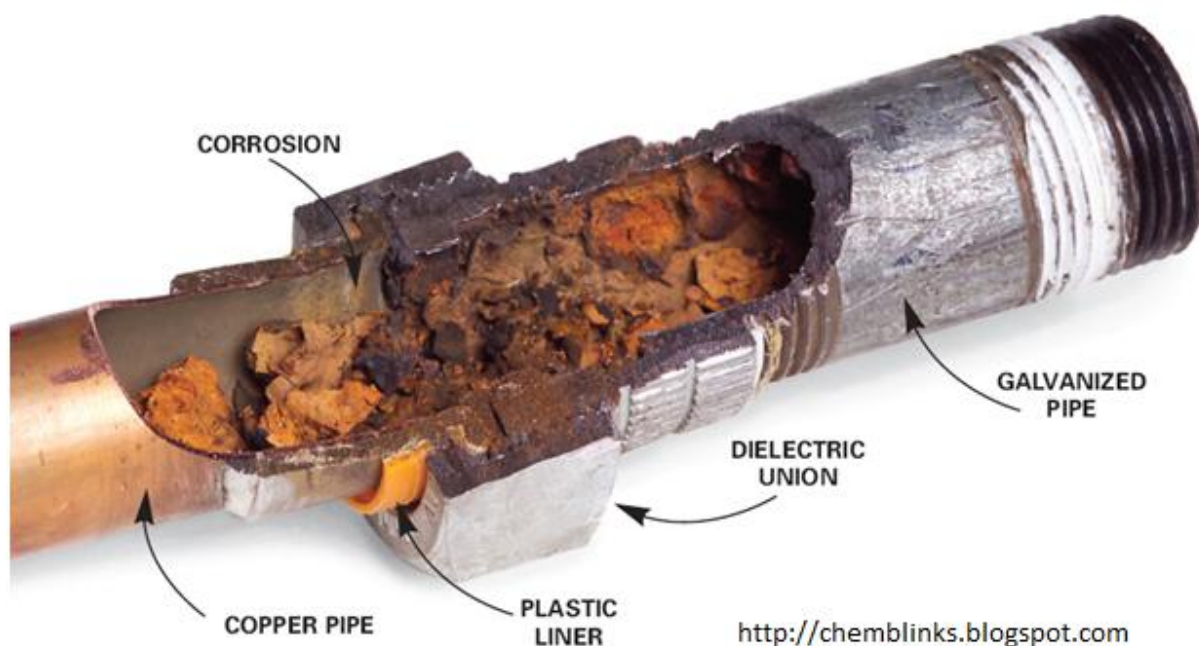


Fig.I.5 : Corrosion galvanique[43].

I.5.4 Corrosion filiforme

Elle est décrite pour la première fois en 1940, cette forme de corrosion est spécifique aux métaux peints (revêtement protecteur). L'attaque est superficielle dont l'origine est les défauts de revêtement (rayures) et des points faibles (arêtes, bords,...). Elle se propage à l'interface métal/revêtement en formant des filaments d'environ 0.1-0.5 mm de large et de quelques millimètres de long[13-14]

I.5.5 Corrosion par piquêre

La corrosion par piquêres est une attaque très localisée du métal qui résulte des conditions de corrosion locales spécifiques. La piquêre constitue ainsi une anode, le reste de la surface joue le rôle de cathode. La petite surface de l'anode et la grande surface de la cathode provoque un courant de forte intensité du côté anode et ainsi une vitesse de corrosion élevée. En fait, ce type de corrosion apparaît particulièrement sur les métaux et alliages qui peuvent être passivés comme l'acier inox, l'aluminium exposés à un environnement aqueux chloruré[15]



Fig. I.6 : Images Corrosion par piqûres.

I.5.6 Corrosion caverneuse

La corrosion caverneuse (corrosion par effet de crevasse) comme la corrosion par piqûre sont des phénomènes mettant en jeu des processus électrochimiques complexes liés notamment à des paramètres géométriques (existence de zone confinées) et métallurgiques (inclusions, précipités). Ces processus se produisent surtout à la surface de métaux résistant à la corrosion telle que les aciers inox. L'amorce de l'attaque est directement liée au film passif et à sa rupture localement[16]

I.5.7 Corrosion inter-granulaire

La corrosion inter-granulaire correspond à une dissolution préférentielle des zones d'émergence des joints de grains à la surface des matériaux mis en présence d'environnement agressifs. Les cas de corrosion inter-granulaire sont nombreux et variés, elle se rencontre dans les aciers inoxydables dans la plupart des cas elle est causée par le dépôt de carbures de chrome sur les joints de grains qui appauvrissent les zones adjacentes chromées et les rendent plus sensibles à la corrosion[14, 17]

I.6 Facteurs de la corrosion

I.6.1 Corrosion atmosphérique

Lorsqu'un métal ou bien un alliage est exposé à l'air libre; il est en contact direct avec l'atmosphère. L'humidité et la composition de l'atmosphère déterminent le degré de corrosivité de cette dernière [18]. La corrosion atmosphérique existe sous plusieurs types (rural, urbain, industriel, marine) qui sont distingués selon le taux de corrosivité qui dépend du milieu

I.6.2 Corrosion par les sols

La corrosion dans le sol est aqueuse donc elle dépend de la teneur en eau ou en humidité. L'hétérogénéité du sol peut engendrer une différence de potentiel du métal en contact avec le sol et le passage de charge à travers l'interface métal-sol, par conséquence l'apparition des zones cathodique et anodique. Le mécanisme de cette réaction est électrochimique. L'aération différentielle, la différence de pH dans le sol ($6 < pH < 9$) ou la différence de concentration de sel (NaCl) conduisent à la formation d'une pile de corrosion. La corrosion augmente avec la conductivité du sol (en effet, pour des valeurs de conductivité élevées la corrosion sera plus sévère) [19]

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

Tableau I.1 Taux de corrosion pour différentes valeurs de pH des sols [19]

I.7 Paramètres influençant sur la vitesse de corrosion

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des caractéristiques de deux paramètres la température et le pH, ces deux paramètres ont une influence directe sur la vitesse de corrosion, et une influence indirecte à travers la phase

aqueuse (eau de condensation, eau de production). Les conditions de flux, le film formé à la surface du métal et la pression ont une influence directe à travers la pression partielle[20 21]

I.7.1 Effet de la température

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère la cinétique de réaction et de transport de charge. L'importance de son influence varie en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau

I.7.2 Effet de l'acidité

La susceptibilité du matériau à la corrosion est en fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu[22]

La vitesse de corrosion est donnée par l'équation de Faraday. Elle permet de déterminer la perte de métal.

$$m = A \cdot I(\text{corr}) \cdot t / n \cdot F$$

Avec :

m : perte de masse (gramme)

I_{corr} : intensité du courant de corrosion (A).

t : temps.

n : nombre de valence du métal (n = 2 pour le fer).

F : 96500 coulomb : nombre de Faraday (C).

A : nombre atomique de métal (A = 55,85, pour le fer (g)).

I.7.3 Régime hydrodynamique

Le transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction vers l'électrolyte est de nature à modifier la cinétique des réactions électrochimiques en changeant la concentration des espèces et donc le potentiel d'équilibre. Les conditions hydrodynamiques fixent les vitesses de réactions en contrôlant le transport de matière par l'établissement d'une couche

limite de diffusion des espèces, appelée couche de Nernst, ce qui explique l'importance de l'agitation de l'électrolyte lors des essais de corrosion en laboratoire[23]

I.7.4 Salinité

Les chlorures sont des ions agressifs, souvent à l'origine de corrosions localisées, leur présence en solution s'accompagne d'effets complémentaires, d'une part, leur concentration locale induit une acidification du milieu et d'autre part, la salinité a une influence sur la conductivité du milieu aqueux[24]

I.8 Moyens de protection contre la corrosion

La prévention de la corrosion doit commencer déjà dans la phase de planification. En d'autres mots, sur 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 à un objet. En plus, la solution adoptée doit être compatible avec les prescriptions concernant la protection de l'environnement naturel et doit permettre le recyclage ou les différents composants à la fin de leur utilisation. La lutte contre la corrosion englobe les méthodes suivantes :

- ✓ Prévention par une forme adaptée des pièces,
- ✓ Prévention par un choix judicieux des matériaux,
- ✓ Protection par revêtements,
- ✓ Protection par inhibiteurs,
- ✓ Protection électrochimique

I.9 Prévention par une forme adaptée des pièces

Il est possible de diminuer les risques de corrosion en donnant aux objets une forme adaptée aux conditions d'utilisation, et ainsi d'influencer notablement leur durée de vie, il y'a quelques solutions types couramment employées pour limiter les risques en fonction du type de corrosion à redouter par exemple :

➤ Corrosion en zone humide :

La géométrie des composantes employées devra viser dans ce cas à éviter les zones de réaction d'eau en assurant, par leur géométrie, la vidange complète des récipients.

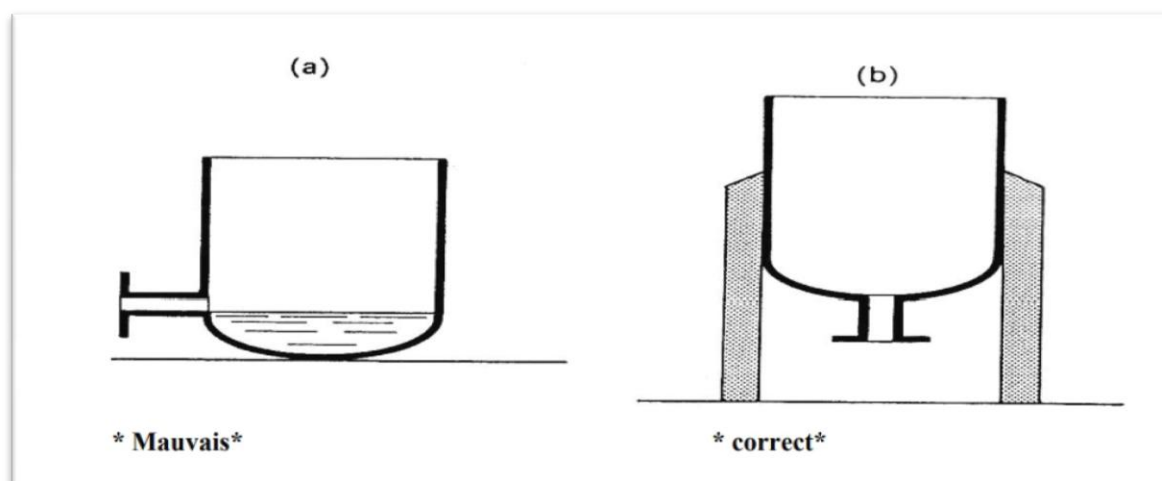


Fig.I.7 : Schéma Diminution du risque de corrosion-érosion.

[23]:

I.10 Prévention par un choix judicieux des matériaux

Il sera possible de lutter contre les risques de corrosion en agissant sur le choix judicieux du matériau

Le choix des matériaux prend en compte les facteurs suivants [25] :

- Domaine d'utilisation,
- Nature et niveau des sollicitations mécaniques et thermiques,
- Traitements sélectionnés,
- Prix et disponibilité des matériaux.

I.10.1 Protection par revêtements

Les revêtements constituant une barrière physique entre le milieu agressif et le métal à protéger. Leur efficacité dépend de leur propre comportement vis-à-vis du milieu agressif ainsi que de l'intégrité du revêtement [26] Sur distinguer :

I.10.2 . Protection par revêtements métallique

Les revêtements métalliques sont employés pour protéger l'acier contre la corrosion atmosphérique. Selon leur comportement à la corrosion par rapport au substrat sur distinguer deux types de revêtements métalliques :

- Ceux plus nobles que le substrat cathodique,
- Ceux moins nobles que le substrat anodique.

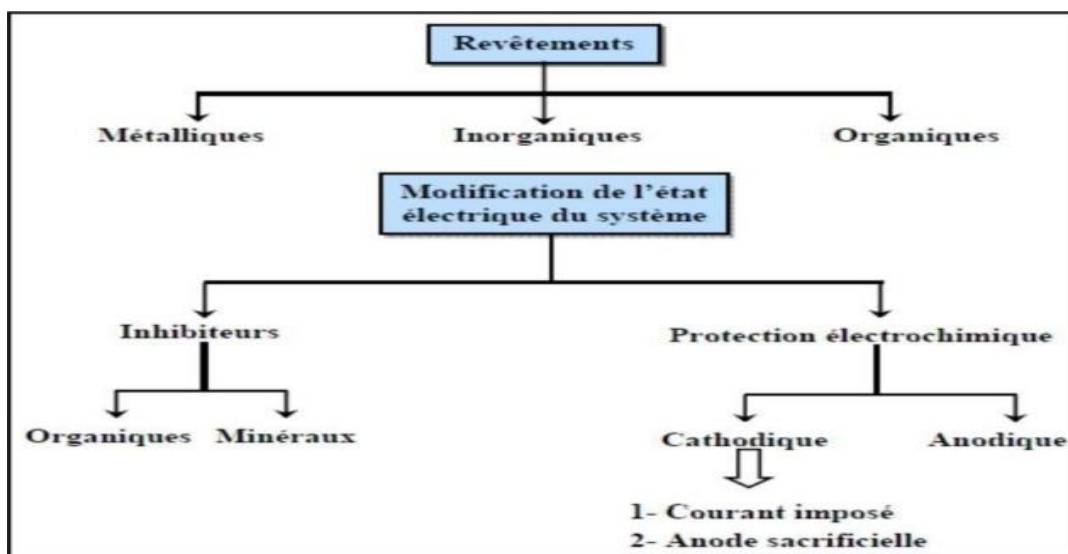


Fig.I.8. Les moyens de protection contre la corrosion.

I.10.3 . Protection par revêtement organiques

Forment une barrière plus ou moins imperméable entre le substrat métallique et le milieu, et sur les classes en trois familles[27] :

- Revêtements en bitumes,
- Revêtements polymériques,
- Peintures et vernis

Revêtement en bitume	Il est utilisé pour la protection des conduites en acier et en fonte. En général le revêtement en bitume a une épaisseur de 5mm.
Les peintures	Effet barrière et esthétique.
Les bandes	Ces produits sont essentiellement utilisés pour la réfection des revêtements aux endroits des soudures de raccordement ou des zones importantes de dégradation
Polyéthylène	Excellents isolants électriques et sont très imperméables à l'eau comme aux gaz mais adhérence moyenne.
Époxyde	Très bonne adhérence et résistance moyenne

Tableau I.2. Types de revêtement organique.

I.10.4 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 [28]

I.11 Protection par inhibiteurs

Il s'agit de substances qui, rendues en très petite quantité dans le milieu corrosif diminuent son agressivité vis-à-vis du métal. Il est possible de distinguer :

- **Inhibiteurs d'adsorption** : Il s'agit d'inhibiteurs filmant qui s'adsorbe à la surface pour donner un film protecteur. Ces substances sont des substances organiques du type monoamines ou polyamines,
- **Poisons contrôlants** : le dégagement cathodique certaines substances telles que les ions arsenic, bismuth et antimoine retardent le dégagement d'hydrogène et peuvent dans certains cas être utiles pour inhiber la corrosion,
- **Suppresseurs d'oxygène** : Ils enlèvent l'oxygène dissous contenu dans les solutions (sulfite de sodium, hydrazine),
- **Inhibiteurs oxydants** : Il s'agit des chromates, des nitrites, des sels ferriques, etc. Ces substances élèvent le potentiel de corrosion dans la zone de passivation. Les phosphates ont besoin de l'oxygène dissous pour avoir une action efficace. . [29].

I.12 Protection anodique

Elle est réservée aux métaux passivables dont le potentiel de corrosion se situe dans le domaine actif ($E_{corr} < E_p$). Une polarisation anodique permet de déplacer le potentiel dans le domaine passif. La densité du courant nécessaire pour maintenir le métal à l'état passif est très faible (équivalente à i_{passif}). Le maintien d'une protection anodique ne nécessite que peu de courant. Par contre, la densité de courant appliquée est nettement plus élevée car elle doit être supérieure à la densité de courant de passivation[30]

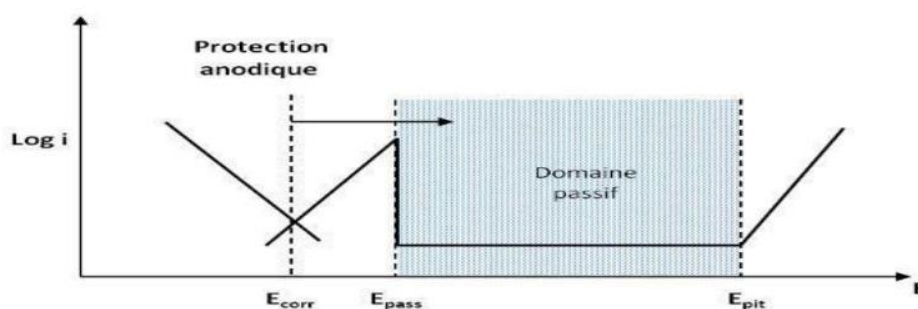


Fig. I.9 : Principe de la protection anodique d'un métal passivable déplacement du potentiel dans le domaine passif correspondant à : $E_{pass} < E < E_{pit}$.

E_{pass} : potentiel de passivation ; **E_{pit}** : potentiel de dépassivation ou dépiqûration

I.13 Protection cathodique

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

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

L'environnement de la structure ; le potentiel de la conduite ; la géométrie de l'anode et de la cathode ; l'espacement entre l'anode et la cathode ; la conductivité de l'électrolyte[31]

I.13.1 Principe de la protection :

Le principe de cette méthode de protection consiste en l'association deux métaux qui présentent des valeurs de potentiel différentes où l'un est plus noble que l'autre, plongés dans un milieu conducteur (eau ou sol). Les deux métaux sont reliés par un conducteur électrique. Le métal le moins noble appelé anode réactive ou bien sacrificielle va se corroder, l'autre est la structure est protégée, en créant un système galvanique. Al et le Zn sont utilisés pour protéger l'acier dans l'eau de mer, et le Mg est utilisé dans les sols et l'eau douce

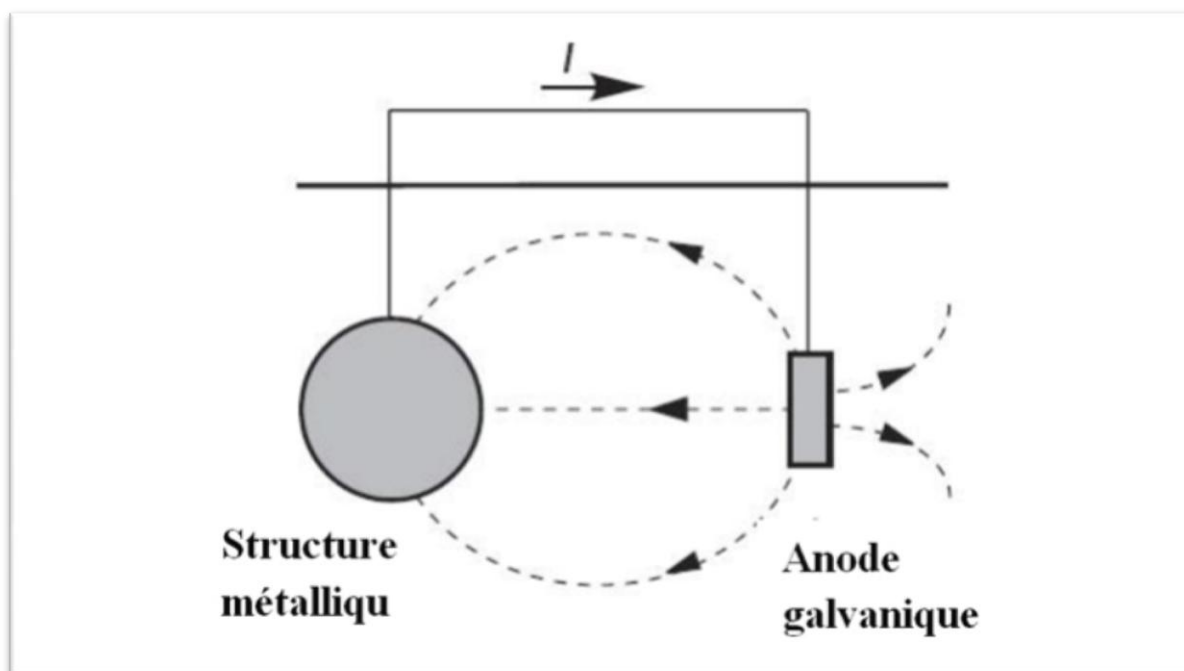


Figure10 : Principe de la protection cathodique par anode sacrificielle

- Choix des anodes sacrificielles :

Les anodes sacrificielles doivent satisfaire aux conditions suivantes :

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

I.13.2 Protection cathodique par courant imposé

Principe de la Protection cathodique par courant imposé

Il s'agit essentiellement de fixer un potentiel de protection cathodique pour lequel le métal se trouve dans sa zone d'immunité. Pour ce faire, on impose un courant continue à l'aide d'un générateur dont le pôle négatif est relié à la structure à protéger (la cathode) et le pôle positif est relié à l'anode .On utilise des anodes nobles : graphite, fer enrichi de silicium, notamment pour la protection des conduites enterrées

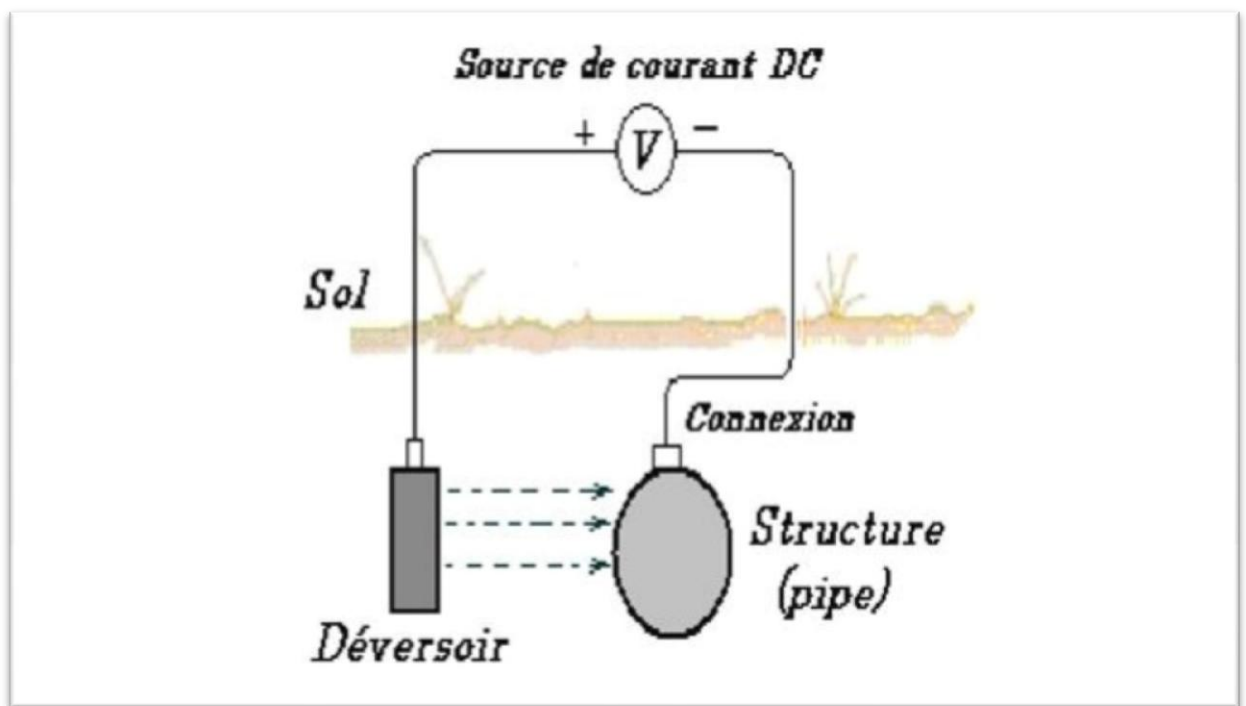


Figure11:Principe de la protection cathodique par courant imposé

I.14 Aspect économique de la corrosion

Les effets directs ou indirects de la corrosion sont résumés ci-après :

- coût des pièces à remplacer, des réparations à effectuer,
- coût de l'entretien et du contrôle (mise en peinture, protection cathodique),
- coût dû à l'utilisation de matériaux plus nobles,
- augmentation des coefficients de sécurité,
- contamination du produit par les produits de corrosion,
- arrêt de production.

CHAPITRE II

CONTEXTE INDUSTRIEL

II. Historique de NAFTAL :

Issue de SONATRACH (Société National pour la recherche, Transport, production, transformation, la commercialisation des hydrocarbures), l'entreprise nationale de raffinage et de distribution de produits pétroliers(ERDP) a été créé par le décret N°80-101 datant du 06 Avril 1980. Entrée en activité le 01er Janvier 1982, elle fut chargée de l'industrie de raffinage et de la distribution de produits pétroliers. Le 04 Mars 1985, les districts suivants carburants, lubrifiants, pneumatiques et bitumes ont été regroupés sous le nom UND (Unité NAFTAL de Distribution).

Durant l'année 1987, l'activité de raffinage est séparée de la distribution, conformément au Décret N°87-18 9 du 25 Aout 1987. Modifiant ainsi le décret N°80-101 du 06 Avril 1980, donnant naissance à une nouvelle entreprise nationale dénommée : « Entreprise nationale de commercialisation et de distribution de produits pétroliers » Sous le sigle de « NAFTAL »

. Dès l'année 1998, elle change de statut et devient une société par action SPA et filiale SONATRACH a100%, elle interviendra par la suite dans les domaines suivants :

- Dans l'enfûtage GPL.
- Dans la formulation des bitumes.
- Dans la distribution, stockage et commercialisation des carburants, GPL, lubrifiants,
- Bitumes, pneumatiques, GPL/produits spéciaux.
- Dans le transport des produits pétroliers.

Le 01 er Janvier 2000, l'activité GPL enfutage est séparée de l'activité CLP. Par décision N°S554 du 29 mars 2000, il a été procédé à l'organisation générale de la division CLP et l'identification des zones de distribution «CLP » (Carburants Lubrifiants et Pneumatiques). Par décision N°555 du 29 Mars 2000, il a été procédé à la création des zones de distribution CLP. Par décision N°S606 du 10 Février 2001, il a été procédé à l'organisation et la classification des centres Bitumes de la division Bitume. Par décision N°S705 du 17 juin 2002, il a été procédé à la rénomination des

zones de distribution CLP et GPL en District. Par décision N°S766 du 22 Décembre 2003, il a été procédé à la dissolution de la branche CLPB. Par la décision N°S770 du 03 Janvier 2004, il a été procédé à la dissolution des districts CLP et création des districts commercialisation.

A partir du 01^{er} décembre 2006 l'activité carburant est séparée de l'activité commercialisation (L'activité carburants charge du stockage et déstockage des carburants et l'activité commercialisation s'occupe essentiellement des achats, ventes, bilan annuel, projets...etc.).

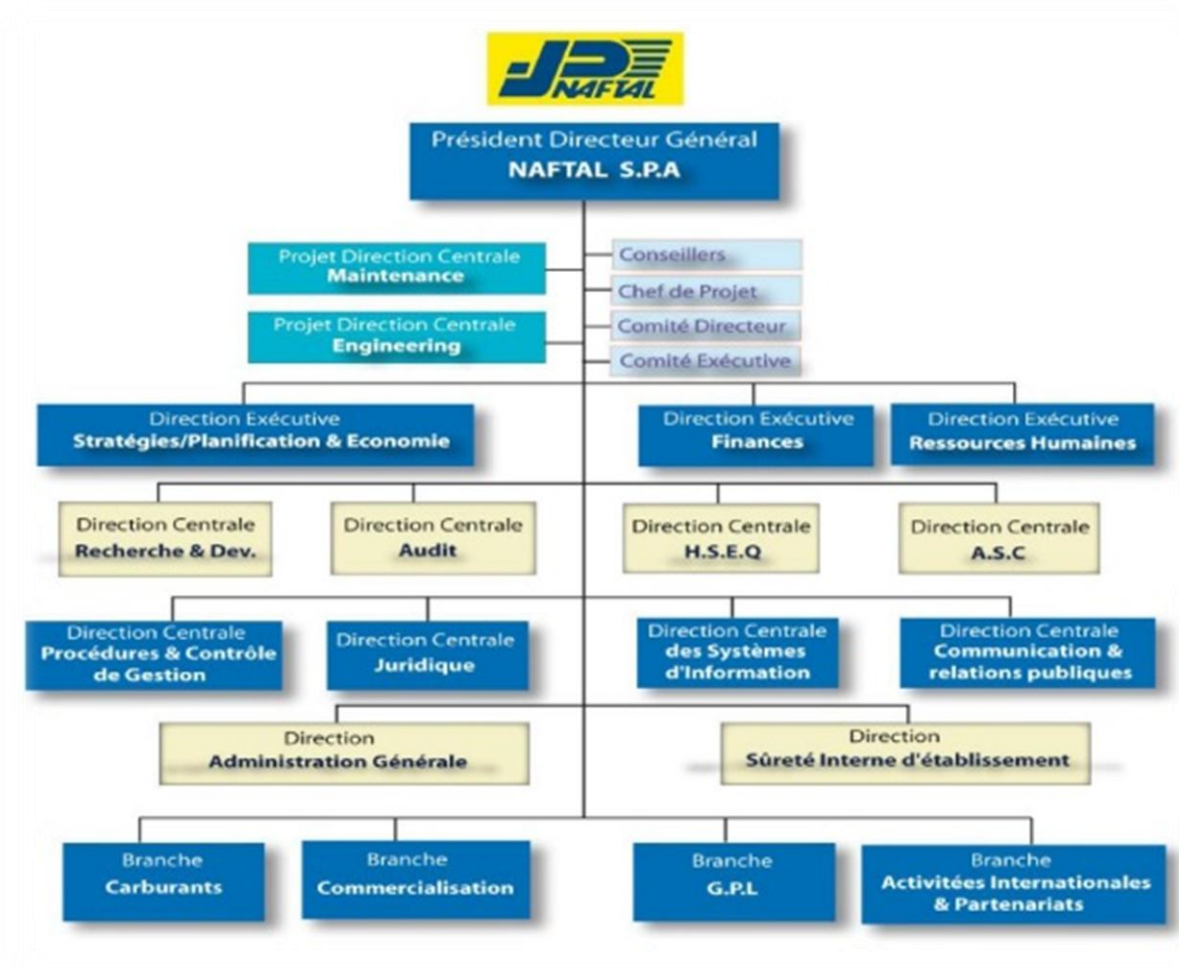


Figure II.1 : Organigramme de la société NAFTAL [32].

II.1 Présentation de dépôt de stockage de carburant :

Un dépôt de carburants est une installation dans laquelle se trouve un tel réservoir de stockage de carburants en vue de leur chargement ou de leur distribution ultérieure. Ce produits est transporté jusqu'au consommateur final ou vers d'autres installations de stockage. Les réservoirs sont au-dessus du sol et l'installation comprend des pompes pour le déchargement du carburants dans les réservoirs de transport

Les dépôts de carburants sont généralement construits à proximité des stations-service pour faciliter le transport

Le dépôt étudié : Centre CBR 108G ADRAR qui est le plus grand dépôt de carburants de la wilaya d'Adrar alimentant toutes les stations services de la wilaya d'Adrar .

Nom de l'exploitant : NAFTAL

Activité de l'établissement : stockage, distribution des produits pétroliers (essence, gas-oil...)

Date de mise en service : 1985.

Superficie : 30 000 m².

Surface bâtie : 2 000 m².

Nature de la construction : Des locaux administratifs, Une zone de stockage carburants, un poste de chargement camions citernes, local de moto pompes, un local de pompes Al, un local de transformateurs, locaux ateliers mécanique et MIF, baie de lavage graissage, sanitaires [32].

II.1.1 Principaux produits dangereux stockés :

Les produits dangereux mis en œuvre par l'établissement sont pour l'essentiel des liquides inflammables de 2me et 3eme catégories [32]:

- Gasoil ;
- Essence sans plomb .

Ces produits présentent :

- Un caractère inflammable.
- Danger d'explosion sous certaines conditions.

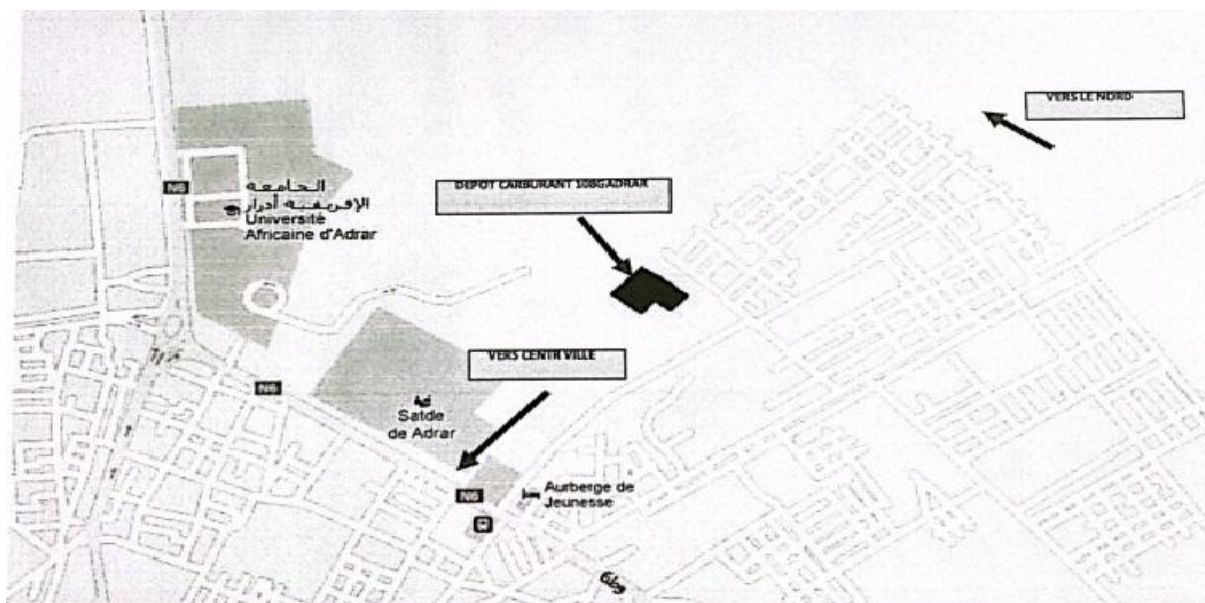


Figure II.2 : plan de situation centre 108G ADRAR

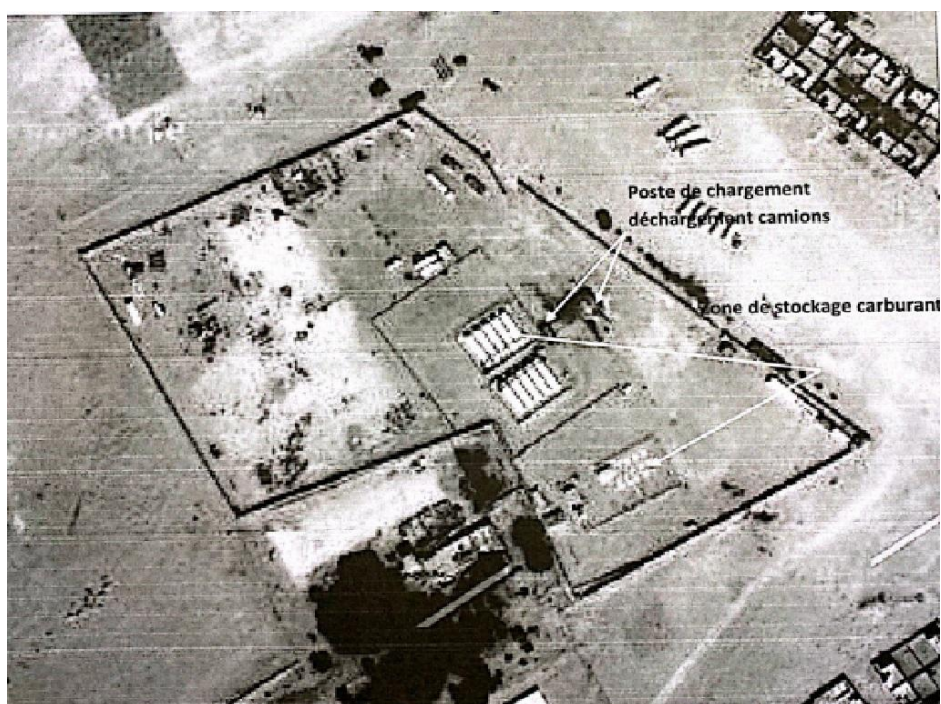


Figure II.3 : plan de niveau 108G

II.1.2 Installations des équipements au dépôt de carburant :

- Les bacs de stockage
- Les cuves ariennes (10 cuves)
- Le transformateur
- Salle de pompes carburants
- Salle anti-incendie
- Réseau incendie
- Poste de chargement
- Poste de déchargement

Remarque : L'administration de l'établissement nous a interdit de prendre des photos .

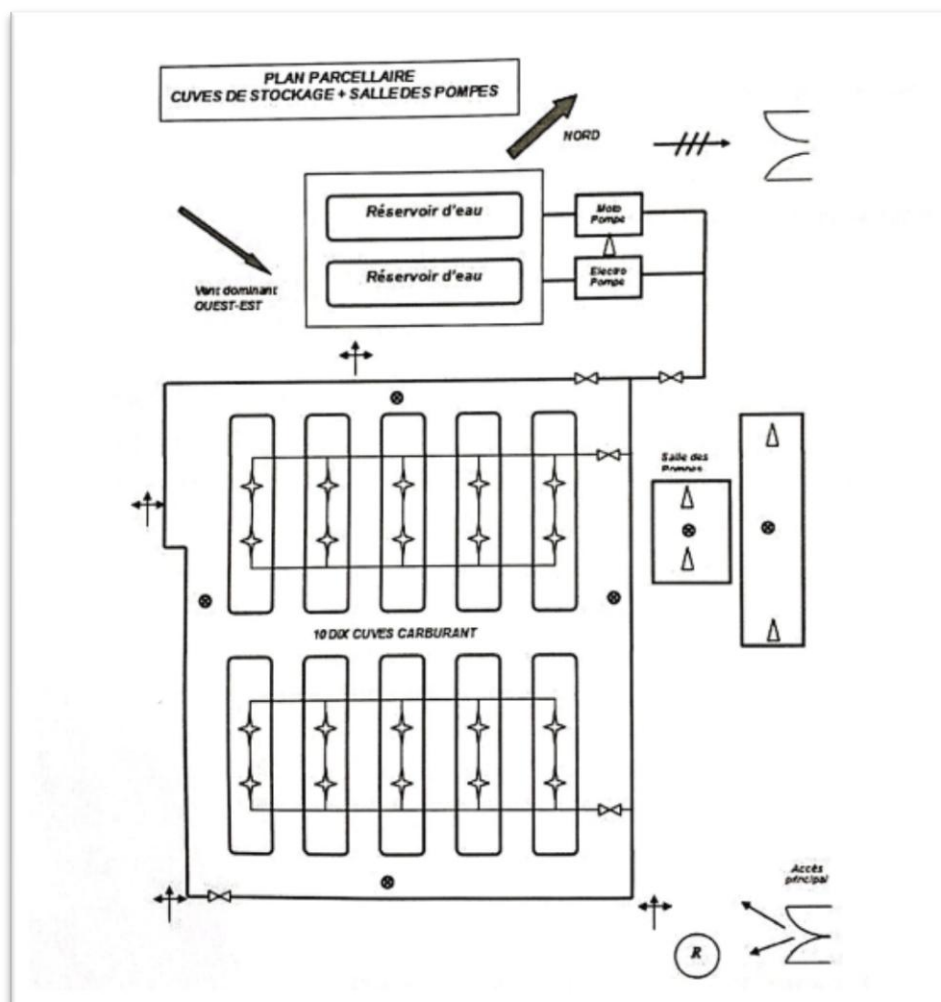


Figure II.4: plan parcellaire cuves de stockage + salle des de pompes

II.1.3 Principales installations corrodables au dépôt de carburant :

Dans un dépôt de carburants , plusieurs installations sont sujettes à l'érosion qui sont[32]:

- Les cuves de stockage du carburant (fig4)
- l'installation des tuyauteries



Figure II.5 : Image des cuves corrodée



Figure II.6 : Image d'une tuyauterie corrodée

II.1.4 Facteurs corrosifs au dépôt de carburant :

Dans un dépôt de carburants, De nombreux facteurs contribuent au phénomène de corrosion

Les plus importants de ces facteurs sont :

- **L'Humidité** : L'humidité a un grand effet sur la corrosion, D'autant plus que les cuves de stockage sont placés au-dessus du sol, ils sont exposés à l'humidité et aux changements climatiques (pluie), ce qui a un effet sur l'érosion des cuves arienne .
- **Système de refroidissement** : Dans l'environnement désertique, nous avons ce qu'on appelle le système de refroidissement par eau pour les cuves, et cela est dû à la température élevée, Sachant que l'un des plus grands facteurs de motivation pour la corrosion est la présence d'eau.
- **Effet de la Température** : : Dans l'environnement désertique , La température peut atteindre des niveaux élevés, La corrosion implique différentes réactions chimiques, en particulier des réactions électrochimiques, leur vitesse Dépend de la température, car le processus de base est activé thermiquement. à l'intérieur Dans la pratique industrielle, on pense généralement que la vitesse de corrosion double lorsque la température est augmentée de 10 à 20°C. Dans tous les cas, en général, plus la température est élevée, plus la Le taux de corrosion est important.
- **Des fuites dans la tuyauterie de réseau d'incendie** : Toute fuite d'eau du système d'incendie peut affecter le système de tuyauterie de carburant et provoquer le phénomène de corrosion.

II.2 Présentation de la station de carburant (station service):

Une station-service ou essencerie est une infrastructure positionnée sur le bord d'une route ou d'une autoroute, destinée principalement à fournir du carburant aux automobilistes. Le mot « station-service » est à l'origine d'un anglicisme service station. Outre les pompes à carburant, les stations les plus équipées offrent aussi des services nécessaires aux véhicules automobiles : boutique d'accessoires automobiles, station de gonflage des pneumatiques, petite mécanique et dépannage. Elles proposent également des services à destination des automobilistes : toilettes, épicerie, restauration, téléphone public.

La station étudiée : station privée KHALDI de Reggane

Localisation : située a la sortie nord de la ville de Reggane a coté du carrefour de TIMADANINE

Nom de l'exploitant : NAFTAL

Activité de la station : distribution du carburant (essence sans plomb, gas-oil...)

Date de mise en service : 2012.

Superficie : 2400 m².

Surface bâtie : 500 m².

Nature de la construction : un local administratif, Une zone de stockage carburants sous terrain , quatre pompes de distribution de gasoil , deux pompes de distribution d'essence sans plomb , deux pompes de distribution de Gaz Pétrole Liquéfié carburant GPL (non encore mises en service)



Figure II.7: Image satellitaire du siège de la station KHALDI (vue Google Earth 2022).



Figure II.8 : Image de la station KHALDI de reggane

Produits distribués par la station-service :

La station-service de reggane distribue principalement trois types de carburant[32] :

- Essence sans plomb
- Gas-oil
- Gaz Pétrole Liquéfié carburant GPL(non encore mis en service)

capacité de stockage des réservoirs de la station

	Gazoil	Sans plomb	GPL
	30 m3	30 m3	20 m3
Nombre des cuves	04	01	01

Caractéristiques techniques des produits commercialisés :

Sans plomb :

- 20 à 30 % d'alcane, hydrocarbures saturés de formules C_nH_{2n+2} .
- 5% de cycloalcanes, hydrocarbures saturés cycliques.

- 30 à 45 % d'alcène, hydrocarbures non saturés.
- 30 à 45 % d'hydrocarbures aromatiques, de la famille du benzène

Le gas-oil :

Les caractéristiques techniques du gas-oil sont regroupées en dessus du tableau 1.

Formule chimique	C ₂₁ H ₄₄
Indice de cétane	≤49
Caractéristique de distillation	Point de distillation ≥150°C -Intervalle de distillation 150à 380°C
Température d'évaporation	180 à 370°C
Densité	0.845(approché de 0.82 à 1.85 à 15°C)
Point éclair	55°C
Pouvoir calorifique	43000Kj/kg
Résistance au froid	-5°C le gazole se trouble -15°C limite de filtrabilité -18°C point d'écoulement
Température d'ébullition	180 à 360°C
Température d'auto inflammation	250°C
Pression vapeur	≤100 hPa à 100°C ≤10 hPa à 40°C
Densité vapeur	≥5 (air=1)
Viscosité	≤7mm ² /s à 40°C

Tableau II.1: Données techniques du Gas-oil

Le GPL carburant SIRGHAZ :

Composition : Les proportions de Butane et de Propane mélangés pour obtenir le SIRGHAZ varient selon les saisons et les régions. La proportion de

propane est plus élevée en hiver pour faciliter les démarrages à froid. Le GPL distribué par NAFTAL est composé de tableau II.2

Indice d'octane	110
Densité	0.53
Pouvoir calorifique	11000Kcal/k
Etat à la pression atmosphérique	Gazeux
Etat à faible pression 02 à 08 bars	Liquide

Tableau II.2 : Données techniques du SIRGHAZ

II.2.1 Installations des équipements à la station de carburant :

II.2.1.1 Les cuves sous terraines : elles sont de deux types ,Réservoirs contenant du sans plomb et d'autres contenant du gazoil .



Figure II.9 : photo des cuves sous terraines

II.2.1.2 Les cuves aériennes : contenant du Gaz Pétrole Liquéfié carburant GPL

Figure II.10 : photo d'une cuve aérienne de stockage du GPL

II.2.1.3 Les pompes de distribution : elles sont de trois types , pompe pour gazoil ,pompe pour sans plomb et pompe pour GPL

Figure II.11 : photos des pompes de distribution

II.2.1.4 Poste de dépotage : ou se déroule l'opération de remplissage des cuves

Figure II.12: photo d'un Poste de dépotage

II.2.1.5 La tuyauterie sous terrainne : c'est le système de tuyaux sous terrains qui relient les cuves de carburant aux pompes de distribution .

II.2.2 Principales installations corrodables à la station de carburant :

Dans une station service , installations sont sujettes à l'érosion sont :

- Les cuves sous terraines
- Les cuves aériennes
- La tuyauterie sous terrainne

II.2.3 Facteurs corrosifs au dépôt de carburant :

Dans une station service , De nombreux facteurs contribuent au phénomène de corrosion

Les plus importants de ces facteurs sont :

II.2.3.1 Le pH des sols la différence de pH dans le sol ($6 < pH < 9$) ou la différence de concentration de sel (NaCl) conduisent à la formation d'une pile de corrosion.

Des valeurs inférieures à 7 indiquent que le sol est acide ; des valeurs supérieures à 7 indiquent que le sol est alcalin. Plus le pH s'éloigne de la neutralité, plus fortes sont l'acidité ou l'alcalinité.

II.2.3.2 La résistivité des sols : La résistivité du sol gère l'efficacité du courant de corrosion ionique parcouru dans le sol. Néanmoins, le comportement résistif de ce dernier peut être affecté par de nombreux facteurs environnementaux tels que la qualité du sol (facteur géologique).

Résistivité ($\Omega.m$)	classification
Inférieure à 5	sévèrement corrosif
De 5 à 10	Très corrosif
De 10 à 30	Corrosif
De 30 à 50	Modérément corrosif
De 50 à 100	Faiblement corrosif
De 100 à 500	Très peu corrosif
Supérieure à 500	Non corrosif

Tableau II.3: L'agressivité du milieu en fonction de sa résistivité [7].

II.2.3.3 Effet de sel : En fondant sous l'effet de l'humidité, le sel fait diminuer la température à laquelle l'eau gèle en prévenant la formation de verglas. Mais, les ions chlorures impliqués dans la composition du sel sont infiltrés dans le sol pour former des concentrations élevées en ions chlorures. Ainsi, l'accroissance du taux des ions chlorures dans le sol réduit la résistivité du sol et fait accroître la vitesse de corrosion sur les surfaces des conduites enterrées.

II.3 Conclusion

La station-service et le stock de carburant sont sujets à l'érosion, et cela est dû à plusieurs facteurs d'influence, mais dans l'environnement désertique, le phénomène d'érosion est moindre par rapport à l'environnement vallonné, en raison des différents facteurs climatique (humidité, sols, climat).

Néanmoins, ce phénomène existe toujours, et il doit être endigué par diverses solutions possibles.

CHAPITRE III

Protection cathodique de la corrosion

III. GENERALITES

Nous avons vu que la protection contre la corrosion des ouvrages enterrés peut être En appliquant une protection cathodique. Cette protection est dite efficace parce qu'il agit directement sur le processus de corrosion. Une autre méthode appelée protection passive peut être utilisée. il comprend la soustraction Protéger la structure de l'environnement agressif dans lequel elle est immergée en utilisant des matériaux isolants ou un revêtement adapté. Il doit également isoler cette structure des autres métaux Cela peut conduire à un couplage galvanique. Malheureusement, toute solution de protection, quelle qu'elle soit, ne sera jamais validée, tant du fait de la définition du principe que de son application Techniquement pas idéal car avec le temps, Les travaux certains sont modifiés par.

Par conséquent, pour être efficace, la protection cathodique doit porter la structure à La protection est inférieure à un seuil potentiel. Ce seuil doit effectivement être Des réalisations ont été faites dans tous les aspects du travail. Cette situation rend plus difficile la vérification de l'enfouissement de la structure gazière, Par conséquent, il n'est pas facile de mesurer le potentiel du métal, et il n'est pas possible de vérifier-vous que tous les points du métal sont cet état. projet de recherche uniquement La protection cathodique et l'analyse des mesures de champ peuvent fournir la certitude de l'efficacité d'une telle protection De même, la protection passive n'est pas un remède tout à fait idéal et clair. Aucun revêtement ne nécessite à la structure d'isoler indéfiniment. malgré le contrôle Lors des travaux d'installation,

Ainsi, pour être efficace, la protection cathodique doit permettre à la structure d'atteindre une protection inférieure au seuil de potentiel. Le seuil doit en fait être la réalisation dans tous les aspects du travail. Cette situation rend plus difficile la vérification de l'enfouissement de la structure gazeuse, il n'est donc pas aisé de mesurer le potentiel du métal, ni de s'assurer que tous les points du métal sont dans cet état. Les projets de recherche Seules la protection cathodique et l'analyse des mesures de champ peuvent déterminer l'efficacité de cette protection. De même, la protection passive n'est pas un remède tout à fait idéal et clair. Aucun revêtement ne nécessite à la structure d'isoler indéfiniment. Bien que le contrôle se fasse pendant les travaux d'installation,

III.1 Prévention de la corrosion des conduites souterraines

La large utilisation mondiale des aqueducs en fonte est due à sa bonne résistance à la pression interne et à la corrosion dans les différents types de sol (Cast Iron Soil Pipe Institute, 2006). Cependant, 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 terme 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.

III.2 Protection par revêtement

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. Sur le marché de l'industrie des revêtements, plusieurs gammes de revêtements sont destinées à la protection des structures métalliques. Les revêtements en bitume, en goudron de houille, en asphalte, en thermoplastiques, en polyéthylène, en polypropylène, en époxy et aussi en bandes adhésives sont les types les plus disponibles [33]

III.3 Protection par inhibition

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. 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. [34]

III.4 Protection cathodique

Lorsqu'un métal entre en contact avec un électrolyte conducteur (eau ou sol), il s'établit spontanément un système d'échange ionique à l'interface métal/électrolyte sous l'effet du potentiel développé. Cet événement électrochimique continu produit simultanément deux phénomènes : une dissolution métallique aux sites anodiques produite par les réactions d'oxydation d'une part, et une formation d'un dépôt métallique créée par les réactions de réduction aux sites cathodiques d'une autre part. L'utilisation de la protection cathodique est basée sur l'injection d'un courant continu qui permet de baisser le potentiel naturel du métal de la zone active vers la zone d'immunité.

Le système de protection cathodique a vu un développement rapide et une application beaucoup plus large dans l'industrie pétrolière et gazière que dans le secteur municipal aux États-Unis d'Amérique. Les anciennes générations pensaient que la cause principale des ruptures de canalisations d'eau municipale est attribuable à la nature fragile de la fonte grise plutôt qu'à la corrosion. Pour cette raison, l'application de ce système protecteur sur les réseaux d'aqueduc a pris des années de retard.

Au Canada, la première utilisation de la protection cathodique sur le réseau d'alimentation en eau remonte au début des années 1960. Les petites entreprises de distribution d'eau n'ont commencé à se servir de cette technique qu'à partir des années 1980. Actuellement, la majorité des services publics ne cessent d'adopter cette méthode de protection .

III.4.1 Histoire de la protection cathodique (PC)

La protection cathodique a été appliquée pour la première fois en 1824, lorsque Humphry Davy a protégé les coques de cuivre contre la corrosion marine par des anodes en fer, dans un projet financé par la marine Britannique. En effet, la PC est efficace pour la protection des navires qui a été décrite dès 1950 par la marine canadienne. La première utilisation de la protection cathodique par courant imposé pour protéger les structures souterraines, a été réalisée en Angleterre et aux Etats-Unis entre 1910-1912. Actuellement, la protection cathodique est largement utilisée dans divers domaines tels que les pipelines enterrés, les condenseurs, les réservoirs d'eaux, les équipements chimiques[35]

III.4.2 . Principe de la protection cathodique

La protection cathodique est une technique de « protection active » contre la corrosion d'un matériau métallique au contact d'un électrolyte (milieu aqueux conducteur ionique comme les eaux, les sols, le béton). Il s'agit d'un système de prévention électrochimique basé sur la diminution du potentiel de corrosion jusqu'à un niveau où la vitesse de corrosion du métal est réduite de manière significative. La protection cathodique est obtenue par l'application d'une tension capable de fournir un courant cathodique suffisant à la surface métallique pour diminuer son potentiel à un niveau correspondant à une vitesse de corrosion résiduelle suffisamment faible pour l'application concernée. [35]

La variation de potentiel sous l'effet du courant est appelée « polarisation ». Quand elle est dans le sens négatif il s'agit d'une « polarisation cathodique ». La diminution du potentiel de corrosion du métal se traduit par une réduction de la vitesse d'oxydation (anodique) du métal et une augmentation de la ou des réactions de réduction (cathodiques) des espèces oxydantes présentes dans l'électrolyte. L'ouvrage métallique à protéger est placé à un potentiel tel que la vitesse de

corrosion devient acceptable sur toute la surface de métal en contact avec l'électrolyte. Pour les ouvrages industriels comme les canalisations ou les réservoirs enterrés, une vitesse de corrosion

résiduelle inférieure à $10 \mu\text{m} / \text{an}$ est généralement atteinte à l'aide d'un système de protection cathodique parfaitement efficace.

Pour cela on fait circuler un courant électrique continu entre une ou des anode(s) et le matériau à protéger, qui constitue la cathode. L'efficacité de la méthode exige un contact intime de l'électrolyte avec le matériau à protéger en tout point de celui-ci. Le courant, qui circule dans l'électrolyte vers le métal, est ajusté de façon à fournir une densité de courant cathodique permettant d'atteindre une valeur de potentiel pour laquelle la vitesse de corrosion du métal devient très faible. La variation du potentiel de l'ouvrage en fonction de la densité de courant cathodique qu'il reçoit suit la courbe de polarisation cathodique, ou courbe intensité – potentiel, caractéristique du comportement électrochimique d'un métal donné dans un milieu électrolytique donné. Cette courbe quantifie les échanges de courant, donc notamment la vitesse de corrosion et le besoin en courant de protection cathodique.

La courbe globale de polarisation est tracée en utilisant un générateur de courant continu comme schématisé Fig. 1. Elle est la somme algébrique de plusieurs courbes individuelles de polarisation (anodique et cathodiques) qui permettent de déterminer la vitesse des réactions anodiques (oxydation du métal) et cathodiques (réduction de l'oxydant du milieu ou de l'eau elle-même) en fonction du potentiel d'électrode. Sans courant extérieur le métal est à son potentiel de corrosion libre E_{cor} , les courants anodique et cathodique(s) étant égaux en valeur absolue. Schématiquement, quand la densité de courant cathodique est suffisante pour atteindre le potentiel E_a la corrosion n'est théoriquement plus possible, on a atteint le seuil de potentiel de protection.

Cette protection constitue souvent le complément d'une « protection passive » (revêtement de type peinture, revêtement bitumineux, polymère...). Le courant de protection cathodique nécessaire à l'abaissement de potentiel recherché est alors fortement réduit car il n'entre dans la surface métallique qu'aux défauts de continuité du revêtement. [35]

Il existe deux méthodes pour fournir le courant de protection afin de polariser la surface: les systèmes à anodes galvaniques dans lesquels le courant de protection provient d'un métal dont le potentiel de corrosion est plus négatif que celui de la pièce à protéger ou les systèmes à courant imposé où le courant continu est fourni par une source alimentant des anodes plus ou moins inertes. [36]

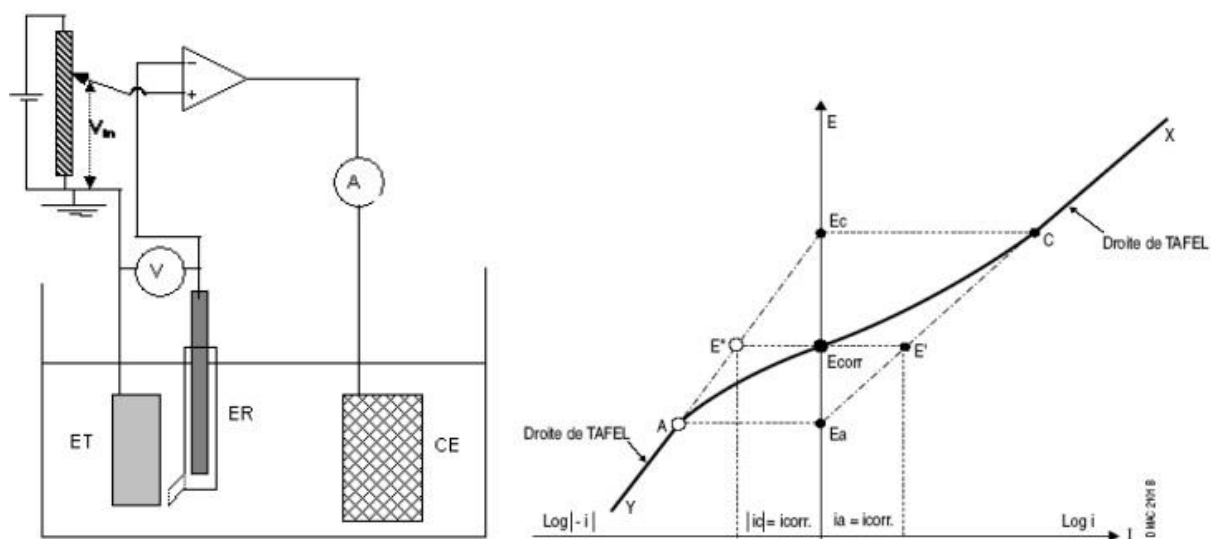


Figure III.1: Tracé d'une courbe globale de polarisation et décomposition en courbes individuelles (cas d'un milieu exempt d'oxygène dissous)



Figure III.2 : Principe de la protection cathodique

III.4.3 . Critères de la protection cathodique

Les critères de la protection cathodique pour une structure d'acier enterrée dans le sol ou submergée sont déterminés par le standard de la « NACE » [37]: Cette norme énonce ce qui suit :

- 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.

III.4.4 Facteurs affectant la validité des critères

Les critères de la protection cathodique peuvent être affectés par de nombreux paramètres environnementaux et structuraux tels que la température, la bactérie, l'influence du courant alternatif et la qualité du métal de la structure [36].

➤ Température

Pour un acier enterré dans un sol sous une température ambiante allant de 20 à 25 °C, les critères de protection de -850 mV (Cu/CuSO₄) et une polarisation de 100 mV restent valables. Cependant, à une température de 60°C, ces critères ne sont plus jugés satisfaisants et auquel cas le seuil de protection doit être ajusté à -950 mV (Cu/CuSO₄) et le niveau de polarisation de 150 à 250 mV au lieu de 100 mV.

➤ Bactérie Sulfato-réductrice

En présence de la bactérie Sulfato-réductrice à la température ambiante, le critère du potentiel de protection recommandé pour une structure d'acier enterrée passe à -950 mV (Cu/CuSO₄) au lieu de -850 mV et le shift de polarisation doit atteindre le seuil de 200 mV. Cependant, lorsque la température

atteint les 60 °C en présence de bactéries, le shift de polarisation doit être ajusté encore une fois de 200 à 300 mV [36].

➤ **Courant alternatif**

Les investigations réalisées pour l'évaluation du niveau d'interférence des sources de courant alternatif indésirables ont révélé que l'effet d'interférence est proportionnel à la densité du courant présent à l'interface du métal/électrolyte. Éventuellement, une densité de courant (i) de 20 A/m² n'affecte pas les critères de protection alors que pour une densité supérieure de 100A/m², le dommage de corrosion est considérable

➤ **Type de métal**

Chaque métal est défini par son propre potentiel de corrosion. Ainsi, les seuils de protection sont ajustés convenablement à chaque type de métal [36].

➤ **Métaux dissimilaires**

Lorsque deux structures métalliques dissemblables sont connectées entre elles par un moyen approprié, l'effet de la corrosion galvanique développe un potentiel mixte différent du potentiel individuel de chacun d'elles. Pour cette raison, les critères de protection appliqués précédemment pour l'acier ou la fonte doivent aussi être ajustés.

➤ **Décollement de revêtement**

Lorsque le potentiel de la protection cathodique atteint le niveau de -1,12 V (Cu/CuSO₄) à l'instant « OFF », l'évolution de l'hydrogène gazeux commence à se produire. Le gaz généré est généralement pris en otage à l'interface métal/revêtement ce qui provoque le décollement du revêtement (décollement cathodique). Il en résulte que ce phénomène va empêcher le courant de protection d'atteindre la zone de la structure affectée. De même, l'électrolyte entourant la structure métallique peut venir combler le vide créé à l'interface métal/revêtement/métal et ce qui permet d'activer les cellules de corrosion. En conséquence, les critères de protection à ces endroits du décollement deviennent difficiles à obtenir.

III.4.5 Type de protection cathodique

Transforme les surfaces métalliques corrodées en surfaces protégées cathodiques. Besoin de restituer son potentiel naturel à celui de la zone immunitaire. Pour cet effet, un système de protection DC doit être installé dans le même électrolyte. La mise en place d'un tel système nécessite l'application de l'une 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[36].

III.4.6 Protection par anodes sacrificielles

la protection cathodique d'une canalisation en acier pouvait être obtenue par liaison électrique à une masse métallique, appelée anode sacrificielle ou anode soluble, faite d'un métal moins noble que l'acier, de façon à baisser le potentiel de la conduite en dessous du seuil de protection (- 850 mV avec l'électrode Cu/Cu SO₄). En examinant la série des potentiels de corrosion des métaux établie au paragraphe 3.3, on constate que trois métaux (le zinc, l'aluminium et le magnésium) ont des potentiels plus négatifs que celui de l'acier et peuvent, de ce fait, servir d'anodes. En ce qui concerne les conduites enterrées, les anodes utilisées sont à base de zinc ou de magnésium. En milieu marin, on utilise aussi des anodes à base d'aluminium[36].

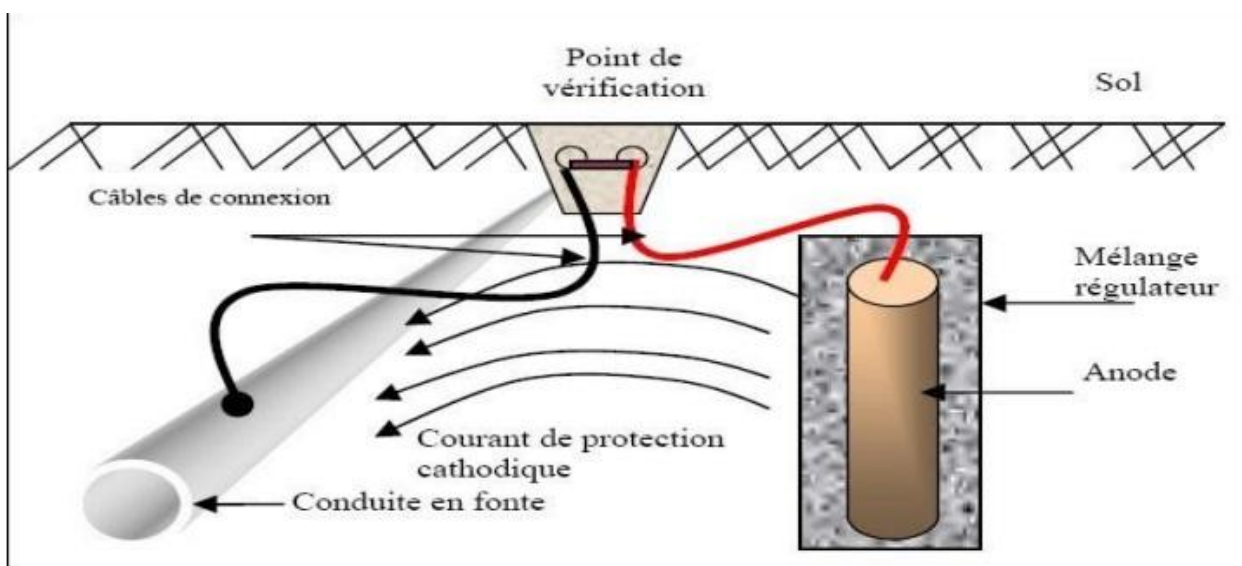


Figure III.3 : Protection cathodique d'un réseau métallique par anodes sacrificielles

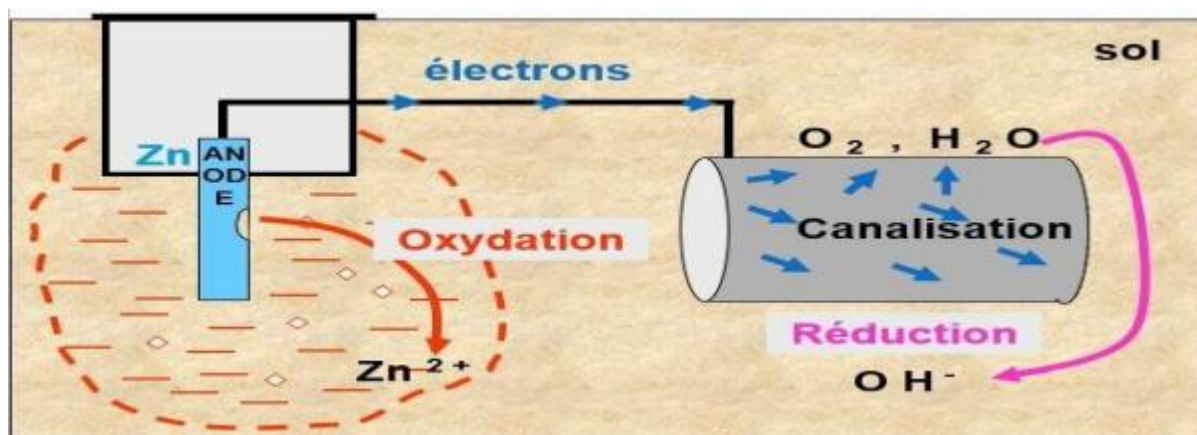


Figure III.4 : Principes de la protection par anodes sacrificielles

III.4.6.1 Différents types d'anodes sacrificielles

a) Anodes à base de zinc :

Le zinc utilisé dans la fabrication des anodes est un zinc de haute pureté ($Zn = 99,99\%$) additionné en faible quantité d'éléments comme l'aluminium et le cadmium, et dont le pourcentage de fer ne dépasse pas $0,0014\%$ afin d'éviter la passivation du matériau de base.

- consommation massique pratique : environ $11,9 \text{ kg/A.an}$ –
- potentiel dans le sol : -1100 mV (électrode Cu/Cu SO_4) –
- écart de potentiel par rapport au critère de protection : 250 mV

Les anodes en zinc présentent une très grande fiabilité de fonctionnement, et ont de ce fait une très grande durée de vie, avec consommation presque totale du matériau. Leur domaine d'utilisation est très varié car elles peuvent être employées aussi bien en terrains acides qu'alcalins, en eau douce ou en eau de mer. Cependant, avec la faible tension de travail qu'elles proposent, on ne les emploie que dans les électrolytes très peu résistants et pour de faibles débits de courant

b) Anodes en magnésium :

Le type d'anodes utilisé au G.D.F. correspond à un alliage à 90% de magnésium contenant 6% d'aluminium, et environ 3% de zinc

- consommation massique pratique : environ 7 kg/A.an –
- potentiel dans le sol : -1600 mV (électrode Cu/Cu SO_4) –
- écart de potentiel par rapport au critère de protection : 750 mV

Les produits de corrosion qui se forment autour de l'anode modèrent leur efficacité après quelques années de service : pour diminuer cet inconvénient, l'anode est toujours posée dans une boue, mélange de gypse et d'argile colloïdale

bentonitique, dont le but est de constituer un milieu assurant une corrosion uniforme de l'anode, tout en améliorant son rendement.

L'anode en magnésium présente, sur celle en zinc, l'avantage d'offrir une tension plus importante, et donc de permettre son utilisation sur des ouvrages plus importants, dans des terrains de forte résistivité ou en eau douce. Cet avantage général peut, dans certains cas, être un inconvénient, car il se traduit par une durée de vie plus faible, des débits de courant plus importants qui, en milieu marin, peuvent être incompatibles avec la tenue de certaines peintures.

c) Anodes en aluminium :

Les anodes en aluminium ne sont pas adaptées à la protection cathodique dans les sols, mais plutôt au milieu marin très conducteur et renouvelé.

Les alliages utilisés nécessitent d'être activés par des éléments tel l'indium (0,02 %) ou le mercure (0,04 %) et contiennent de 1 à 5 % de zinc.

Le rôle de ces éléments est de supprimer la couche de passivation par l'alumine, de rendre plus électronégatif le potentiel de l'anode et d'en améliorer le rendement.

La consommation massique pratique est d'environ 3,2 à 3,5 kg/A.an. pour un rendement électrochimique de 95 %.

Le potentiel en eau de mer (Ag/AgCl) est de - 1050 mV (sans activateur, ce potentiel serait de - 775 mV et donc insuffisant pour assurer une protection cathodique). [37].

III.4.7 Etude de l'influence

III.4.7.1 Résistance des anodes

III.4.7.1.1 Influence de la résistivité

Le critère d'appréciation de l'agressivité du sol le plus fréquemment utilisé, est la mesure de la résistivité électrique. En effet, les valeurs mesurées sont conditionnées par la présence ou l'absence de composés agressifs. [38]. D'après DWIGHT l'expression de la résistance électrique d'une anode en fonction de la résistivité de sol est donnée comme suite (Formule 2) [39].

$$1\text{- Cas verticale } Rv = \frac{0.00159 \times \rho}{L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right) \quad (1)$$

$$2\text{- Cas horizontale } Rh = \frac{0.00159 \times \rho}{L} \left(\ln \left(\frac{4L^2 + 4L\sqrt{S^2 + L^2}}{d \times s} + \frac{S}{L} - \frac{\sqrt{S^2 + L^2}}{L} - 1 \right) \right) \quad (2)$$

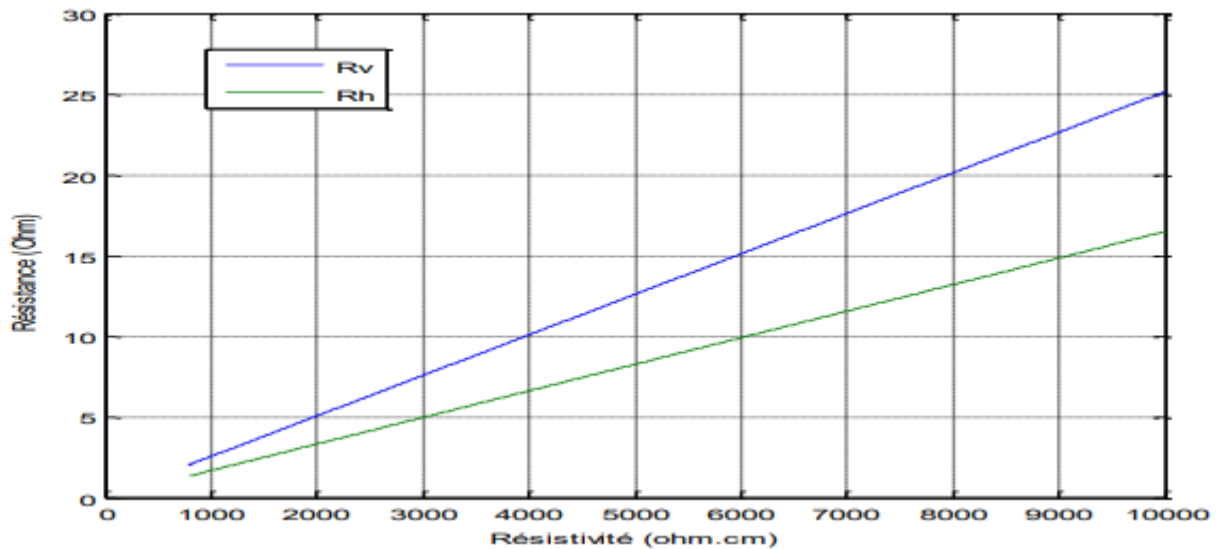


Figure III.5 - La Variation de la Résistance en fonction de la Résistivité

La Figure III.5 montre que la résistance de l'anode augmente avec l'augmentation de la résistivité du sol, cette augmentation influe directement sur le dimensionnement d'un système de protection cathodique par anode sacrificielle (courant par anode, nombre d'anodes)

III.4.7.1.2 Influence des nombre des anodes

Pour une bonne distribution du courant débuté par une anode vers la structure enterrée, le nombre des anodes sacrificielles est un facteur très important pour la protection, on a pris comme exemple des anodes de position vertical, d'après la formule (3) on a tracé la variation de la résistance en fonction du nombre d'anode.

$$R = \frac{0.00159 \times \rho}{N \times L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 + \frac{2L}{S} \ln 0.656N \right) \quad (3)$$

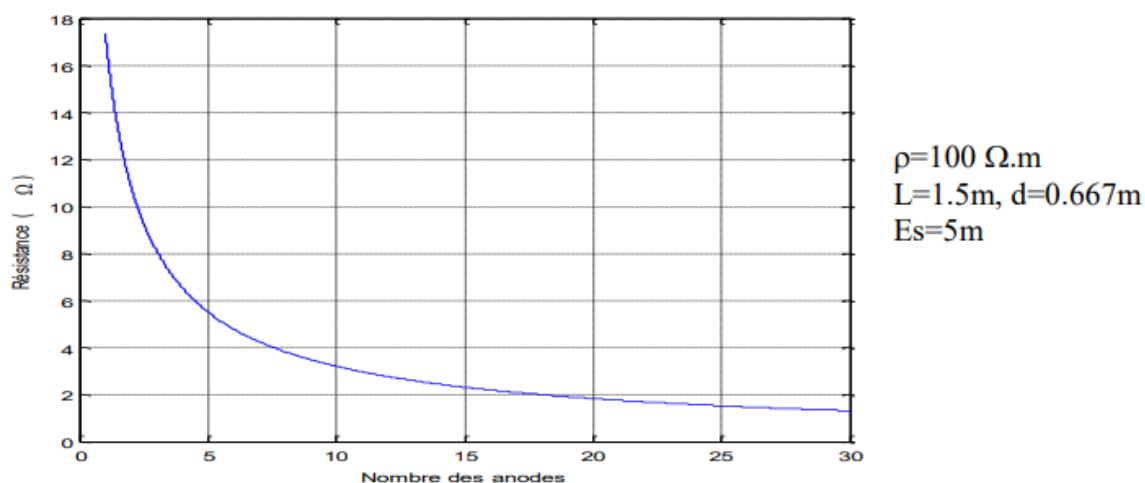


Figure III.6- La Variation de la Résistance de l'anode en fonction du nombre d'anode

La Figure Figure III.6 montre qu'il ya une diminution de la Résistance quand le nombre des anodes augmente, parce que lorsque plusieurs anodes sont connectées en parallèle, la résistance des ensemble du groupe est inférieure à la valeur obtenue par la résistance d'une anode.

III.4.7.1.3 Influence de l'espace entre anode

La distribution des anodes sont souvent situées à proximité de la structure à protégé. L'espace minimum entre deux anodes pour avoir une bonne protection de l'ouvrage entrée.

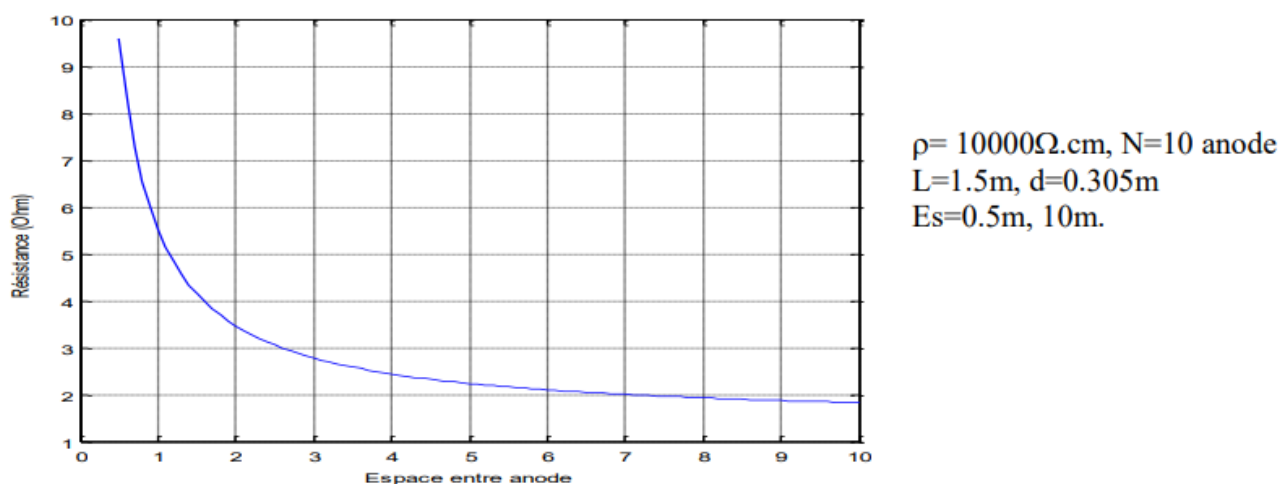


Figure III.7- Variation de la Résistance en fonction de l'espace entre anode

La Figure III.7 montre qu'il y a une diminution de la résistance quand l'espace entre anode augmente puis à partir de 6m la résistance devient stable, c'est l'espace maximum pour avoir une résistance faible.

III.4.7.1.4 Influence du courant sur la durée de vie

La durée de vie d'une anode est la durée maximum pour la dissolution complète de l'anode, d'après les formules (4) et (5), on a tracé la courbe de la durée de vie de l'anode de Zn et Mg en fonction du courant fournie par l'anode.

$$\text{Durée de vie de Mg} = \frac{0.256 \times W_t \times \text{Eff} \times F}{I} \quad (4)$$

$$\text{Durée de vie de Zn} = \frac{0.0935 \times W_t \times \text{Eff} \times F}{I} \quad (5)$$

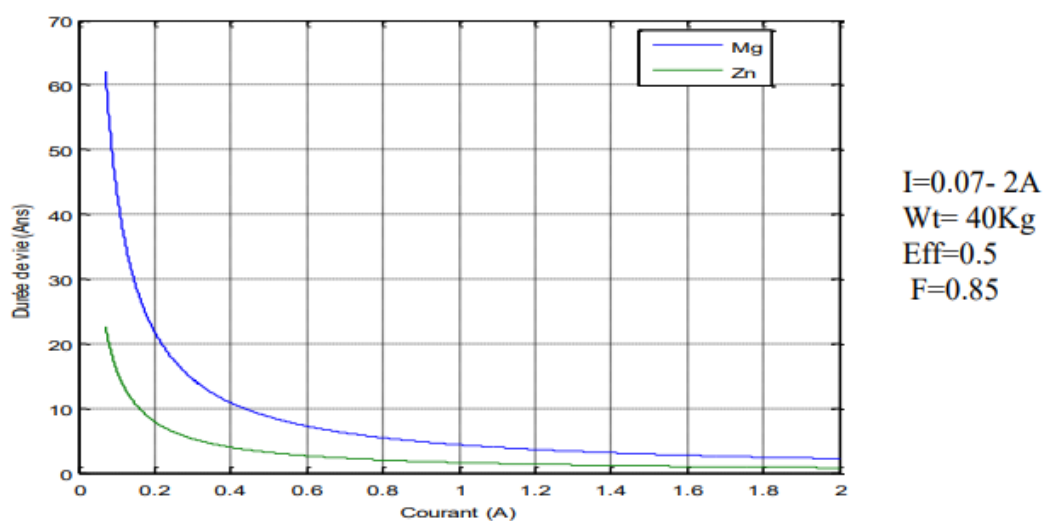


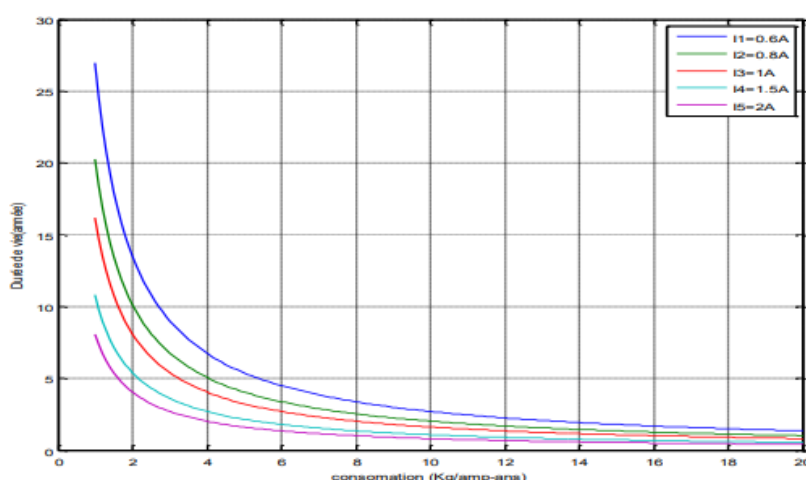
Figure III.8- la variation de durée de vie de l'anode en fonction du courant

La Figure III.8 montre clairement que pour le même courant débuté par les anodes, la durée de vie de l'anode en Mg est supérieure à celle de l'anode en Zn.

III.4.7.1.5 Influence du courant sur la consommation massique et la durée de vie

La consommation de l'anode est la quantité de la mass perdue par l'anode durant l'année, d'après la formule 6 on tracé la consommation massique CR en fonction du courant I

$$N = \frac{CR \times DL \times I}{F \times Wt}$$



I=0.6-2A
DL=1-20ans
Wt=27Kg F=0.6.

Figure III.9- Consommation massique de l'anode en fonction du temps

La Figure III.9 montre que pour le même taux de consommation massique, la durée de vie est différente, cela est dû au courant fourni par l'anode.

Remarque :

On peut empêcher la corrosion par la protection cathodique par anode sacrificielle, La vitesse de corrosion est influée par :

- le milieu (Résistivité)
- Forme, type et position de matériau de l'anode utilisé.
- Le courant qui circule autour la structure.

La base de la protection cathodique consiste à empêcher les fuites de courants vers les masses Métalliques autres que la structure à protéger.

La protection par anodes sacrificielles est de créer une pile électrique entre deux métaux de noblesse différente, le premier est le métal à protéger et le deuxième est l'anode réactive ou sacrificielle.

La protection par anodes sacrificielles n'a pas une durée indéfinie. Elle s'arrête avec la disparition du matériau sacrificiel ou par blocage électrochimique.

L'évaluation de sa durée de vie est estimée par calcul du dimensionnement des anodes. La résistance de l'anode dépend de :

- Forme de l'anode (dimensions).
- Résistivité du milieu.
- Nombre et de l'espacement entre anodes.
- Position de l'anode.

III.4.8 Protection cathodique par courant imposé

Ce mode de protection est souvent appelé protection contre la révocation, le principe de cette protection consiste à raccorder au poteau Le pôle négatif de l'alimentation CC est protégé pour fonctionner, tandis que le pôle positif est Connectez-vous à une pièce conductrice (métal ou graphite) enterrée à une certaine distance. Le débit d'eau quittant cette partie s'appelle un déversoir, et il traverse le sol et est et retour au générateur par circulation dans le métal du tuyau. Ensuite, rendez le tuyau négatif par rapport au sol. Si le critère sous-jacent est Atteints à tous égards, les tuyaux sont protégés cathodiquement

Commenter : Le déversoir est l'anode du système électrochimique tuyau-sol du déversoir et est sensible à la corrosion. Générateur de déversoir positif, mesuré Son potentiel souterrain donne généralement des signes positifs. Dans le cas des anodes sacrificielles, la "partie anodique" du système électrochimique est l'anode, et son potentiel est négatif par rapport à la masse. Par contre, dans les deux cas (débordement ou anode sacrificielle), l'électrode soit lors de la mise en service du groupe électrogène, soit La connexion électrique de deux métaux doit être considérée comme l'anode système. Ces considérations suggèrent que la spécification de l'anode du système comme signes de potentiel

III.4.9 Effets de la protection cathodique

De nombreux auteurs disponibles que la réaction cathodique conduit à une alcalinisation localisée Milieu électrolytique en contact avec le métal en présence de défauts de revêtement. Cette alcalinisation a deux conséquences relativement opposées. Tout d'abord, il contribue à favoriser la dégradation des liaisons revêtement/métal en raison de l'attaque chimique de type hydrolyse alcaline des

liaisons chimiques impliquées dans la liaison. (c'est le cas d'un revêtement avec un primaire époxy) En revanche, il peut altérer le milieu aqueux local et favoriser la passivation. Le métal est protégé en favorisant localement la croissance d'un film de passivation protecteur qui expose le métal. nu. A première vue, il faut distinguer un revêtement fin comme de la peinture, Revêtement épais type polyoléfine.

En ce qui concerne les revêtements minces, Walter a expliqué que la perte d'adhérence est passée par plusieurs processus. Transport d'eau, d'oxygène et d'ions Le revêtement jusqu'à l'interface polymère/métal est la première étape de dégradation. Utilisez un revêtement de protection épais et très imperméable tel que le polyéthylène ou Les polyoléfines ralentissent ainsi ce processus. En pratique, cette séparation Un revêtement sans défauts de surface ne peut apparaître qu'après un certain temps plus long. De plus, l'imperméabilité relative de ces revêtements aux substances corrosives signifie qu'en l'absence de défauts, même après la séparation complète de l'adhésif, les dommages de corrosion restent négligeables e. De ce fait, pour ce type de revêtement, ce n'est qu'en présence de défauts macroscopiques que la dégradation de la liaison adhésive par l'eau, éventuellement amplifiée par la polarisation cathodique, est susceptible de conduire à des risques de corrosion locale du métal.

Dans de nombreux cas, une combinaison de plusieurs revêtements est utilisée pour la protection Les métaux sont meilleurs. Par conséquent, le procédé ne peut être utilisé que lorsqu'il existe des défauts macroscopiques dans le revêtement. La séparation peut endommager le métal . La cathode produit des ions OH^- et de l'hydrogène H_2 , ce qui aide généralement à accélérer Le revêtement près du défaut se décolle progressivement. [40]

III.4.10 Avantages et inconvénients des systèmes de la protection cathodique

Quoique l'utilisation d'un système de protection cathodique est toujours bénéfique, le 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.. [41]

	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

Figure III.10: Comparaison des éléments de systèmes P.C[42]

III.4.11 Conclusion

La protection cathodique (active) permet de protéger un métal contre la corrosion. Pour modifier le potentiel du métal à protéger cathodiquement, une anode installée dans le même électrolyte est utilisée. Les anodes peuvent être de deux types : soit des anodes ayant un potentiel plus électronégatif que le métal à protéger (anode sacrificielle), soit des anodes couplées à un générateur de tension continue imposant une différence de potentiel entre les deux métaux (méthode à courant imposé). Mais il faut faire une deuxième protection (passive) les revêtements externes à base de polyéthylène appliqués en usine par extrusion sur un primaire adhésif sur des tubes en acier destinés à constituer des canalisations de transport de gaz et leurs

conditions d'application. La protection active et passive est utilisée pour protéger les structures métalliques de la corrosion, notamment l'acier, les canalisations d'eau, les oléoducs, les réservoirs, les piliers métalliques des jetées, les navires, les plateformes pétrolières ou encore les structures en béton armé

Chapitre IV :

Protection des ouvrages par l'anode sacrificielles

IV Choix de la méthode de protection

IV.1 protection par courant imposé

utilisant un générateur de courant continu branché entre l'ouvrage à protéger (cathode) et une ou des anodes auxiliaires (appelées déversoirs de courant) utilisant tout matériau conducteur d'électricité (de préférence inattaquable)

IV.1.1 les avantages de la protection par courant imposé

- Une installation peut protéger une grande surface de métal ; les systèmes peuvent être conçus avec une tension et un ampérage de réserve pour répondre à l'augmentation des besoins en courant due à la détérioration du revêtement ; la sortie de courant peut être facilement modifiée pour répondre aux besoins ; les régimes peuvent être conçus pour une durée de vie supérieure à 20 ans; les exigences de courant peuvent être facilement surveillées sur le transformateur-redresseur ou une autre source de courant continu ; un contrôle automatique de la sortie de courant ou du potentiel de la structure peut être réalisé.
- Peut ajuster le système en fonction de la corrosivité et résistivité du sol.
- Permet de protéger une grande superficie avec peu d'anodes.
- Les anodes se dégradent moins rapidement que les anodes sacrificielles ce qui résulte à une système efficace à plus long terme.

IV.1.2 Les inconvénients de la protection par courant imposé

Effets d'interaction possibles sur d'autres structures enterrées, sous réserve de la disponibilité d'un a.c. approprié. source d'approvisionnement ou autre source . vérifications d'entretien électrique régulières et inspection requises ; les coûts de fonctionnement de l'alimentation électrique (généralement peu élevés sauf dans le cas d'ouvrages marins nus et dans les centrales électriques où les ouvrages sont souvent nus et comportent des couples bimétalliques) ; sous réserve de coupures et de pannes de courant.

IV.2 protection par méthode d'anode sacrifié

La protection cathodique par anodes sacrificielles est un procédé de stabilisation des armatures corrodées dans un béton. Il s'agit d'un traitement électrochimique qui permet de réduire considérablement la cinétique de corrosion des armatures

IV.2.1 les avantages de la protection par méthode d'anode sacrifié

- Aucune source d'alimentation externe n'est requise ; l'installation est relativement simple ; le danger d'interaction de la protection cathodique est minimisé ; plus économique pour les petits périmètres ; le danger de surprotection est écarté ; même la distribution de courant peut être facilement réalisée ; l'entretien n'est pas nécessaire en dehors des vérifications potentielles de routine et du remplacement des anodes à la fin de leur vie utile ; pas de frais de fonctionnement.
- Ne nécessite aucune source de courant externe
- Nécessite peu ou pas d'entretien post-installation
- Facile d'installation

IV.2.2 Les inconvénients de la protection par méthode d'anode sacrifié

La sortie maximale de l'anode lors de la première installation diminue avec le temps lorsqu'un courant supplémentaire peut être nécessaire pour surmonter la détérioration du revêtement ; le courant de sortie dans les électrolytes à haute résistivité peut être trop faible et rendre les anodes inefficaces ; un grand nombre d'anodes peut être nécessaire pour protéger de grandes structures, ce qui entraîne des coûts élevés d'installation et de remplacement des anodes ; les anodes peuvent nécessiter un remplacement à intervalles fréquents lorsque la sortie de courant est élevée.

IV.3 Calcul de la protection par méthode d'anode sacrifié

IV.3.1 Choix des anodes sacrificielles

Il existe plusieurs types d'anodes dont les caractéristiques et les applications sont différentes. Le tableau suivant résume les principales caractéristiques (valeurs typiques) des anodes les plus utilisées, avec les avantages et inconvénients de chacune.

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

Chapitre IV : Protection des ouvrages par l'anode sacrificielles

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.

IV.3.2 Nombre d'anodes

Le nombre total d'anodes, N , est calculé à partir de :

$$N = \frac{Ai_{av}}{I}$$

Ce calcul devrait donner un nombre praticable d'anodes, c'est-à-dire que 10 ou 10 000 anodes sont clairement inacceptables pour la protection d'une plate-forme de production pétrolière offshore. $N \times M$ doit être égal ou supérieur au poids total du matériau d'anode, W , requis .

Il est difficile d'obtenir simultanément la sortie de courant exacte et le poids précis du matériau d'anode. En conséquence un compromis est atteint, mais les deux doivent au moins correspondre aux exigences de conception.

Une vérification pour s'assurer que les anodes fourniront un courant suffisant pour protéger la structure à la fin de la durée de vie de conception doit être effectuée. Il s'agit de calculer le rendement attendu de l'anode en fin de vie et de vérifier qu'elle répond aux exigences de la structure. Généralement, la sortie est calculée à l'aide d'une résistance modifiée basée sur une anode consommée à 90 %.

IV.3.3 Taille et forme de l'anode

En pratique, il n'y a souvent pas une gamme étendue de tailles d'anodes appropriées parmi lesquelles choisir. L'économie peut dicter un choix standard d'un fabricant ou la forme de l'anode peut devoir se conformer aux limitations géométriques de la structure. Par conséquent, le choix de la taille et de la forme de l'anode est souvent limité.

Le courant de sortie d'une anode dépendra de sa surface. Généralement, les anodes plus grandes auront une sortie de courant plus élevée. Des anodes de même poids mais de forme différente peuvent avoir des sorties différentes car le rapport surface/poids ne sera pas égal pour toutes les formes. Ainsi, pour un poids donné d'anode, la forme offrira un certain degré de flexibilité lors de l'examen de la sortie de courant.

IV.3.4 Calcul du poids et du nombre d'anodes individuelles

Tout d'abord, le poids total de l'anode nécessaire pour protéger la structure pendant sa durée de vie prévue est calculé. Celle-ci est donnée par :

$$W = \frac{i_{av}A/8760}{C}$$

W = total mass of anode material (kg)

A = structure area to be protected (m²)

I_{av} = mean structure current density demand (A/m²)

L = design life in years (1 year = 8 760 h)

C = anode capacity (Ah/kg)

Évidemment, le poids total du matériau d'anode doit être égal ou supérieur au poids total, W, calculé ci-dessus. De même, chaque anode doit être d'une taille suffisante pour fournir du courant pendant la durée de vie nominale du système de protection cathodique. Les anodes doivent également fournir un courant suffisant pour répondre aux exigences de la structure au début et à la fin de la vie du système. Autrement dit, si la demande de courant augmente (à la suite d'une dégradation du revêtement, par exemple), la sortie des anodes doit répondre aux demandes de courant de la structure

IV.3.5 Capacité d'anode et efficacité d'anode

La capacité de l'anode est la charge coulombique totale (courant x temps) produite par unité de masse d'une anode à la suite d'une dissolution électrochimique. Elle est normalement exprimée en ampères-heures par kilogramme (Ah/kg) bien que l'inverse de la capacité de l'anode, Le. le taux de consommation (kg/Ay) est parfois utilisé

La capacité théorique de l'anode peut être calculée selon la loi de Faraday. A partir de là, on peut montrer que 1 kg d'aluminium devrait fournir 2981 Ah de charge. En pratique, la capacité réalisable de l'anode est inférieure à la valeur théorique. L'importance de la capacité réelle (par opposition à la capacité théorique) de l'anode est qu'il s'agit d'une mesure de la quantité de courant cathodique qu'une anode peut donner. Étant donné que la capacité d'anode

Chapitre IV : Protection des ouvrages par l'anode sacrificielles

varie selon les matériaux d'anode, c'est le paramètre par rapport auquel le coût d'anode par unité de poids d'anode doit être évalué

L'efficacité de l'anode est le pourcentage de la capacité théorique de l'anode qui est atteint en pratique :

$$\text{efficacité de l'anode} = \frac{\text{capacité anodique}}{\text{capacité théorique}} \times 100\%$$

L'efficacité de l'anode a peu d'importance pratique et peut être trompeuse. Par exemple, les anodes en alliage de magnésium ont souvent une efficacité d'environ. 50 % tandis que pour les alliages de zinc, la valeur dépasse 90 % ; il ne s'ensuit pas que les anodes en alliage de zinc soient supérieures à celles à base de magnésium. L'efficacité se retrouvera dans de nombreux textes sur la protection cathodique des anodes sacrificielles.

IV.3.6 Sortie d'anode

La sortie d'anode est le courant disponible à partir de l'anode dans les conditions de conception. Elle dépendra de la forme de l'anode, de la résistivité de l'environnement, du potentiel de protection de la structure et du potentiel de fonctionnement de l'anode. Il est défini comme :

$$I = \frac{[E_2 - E_1]}{R}$$

I = sortie d'anode (A)

E1=potentiel de fonctionnement de l'anode (V)

E2=potentiel de protection (V)

R=résistance d'anode (ohm)

Le potentiel de protection de l'acier dans les environnements aérobies est considéré comme -0.80 V (vs. Ag/AgCl/eau de mer).

IV.4 Installations de la protection cathodique

IV.4.1 Equipements de protection cathodique

IV.4.1.1 Transformateur-redresseur

Le poste de soutirage est habituellement constitué par un transformateur redresseur alimenté à partir du réseau électrique basse tension (220 - 380 V). Dans certaines situations où l'énergie électrique basse tension n'est pas disponible, il est nécessaire d'avoir recours à d'autres sources d'énergie autonome telles que l'énergie solaire, accumulateurs et piles, groupes électrogènes, générateurs et thermo-générateurs.

Le meilleur emplacement d'un poste de soutirage est celui qui permet d'assurer la protection la plus efficace sur la plus grande portée pour une puissance minimale [9].

Les paramètres qui interviennent sont :

- la forme générale du réseau et sa longueur ;
- les diamètres des conduites ;
- le degré d'agressivité des sols où les conduites sont posées ;
- les points les plus favorables pour l'installation des déversoirs ;
- disponibilité et coût de l'alimentation en énergie électrique ;
- encombrement du sous-sol en structures diverses.

Il est donc nécessaire d'examiner, tout d'abord, le plan d'ensemble du réseau afin de pouvoir dimensionner le système de protection cathodique à installer et d'en déduire les emplacements les plus indiqués, quant à la disposition des canalisations et des lignes électriques

IV.4.1.2 Backfill de coke

Pour les déversoirs anodiques à terre, il est recommandé de toujours entourer les anodes d'un backfill dont le rôle est de permettre une consommation uniformément répartie et une meilleure résistance déversoir / milieu.

Chapitre IV : Protection des ouvrages par l'anode sacrificielles

Type de backfill	Densité (kg/dm ³)	Résistivité (Ω .m)	Remarques
Poussière de coke	0.6 à 0.8	<0.5	Ne pas utilisé dans un sol sujet à des variations de niveau d'eau
Grenaille de fer	3.5 <0.01	<0.01	A utiliser pour des prises de terre profondes
Poussière de coke avec une haute teneur en chaux (>10%)	1.1	<0.1	A utilisé dans un sol sujet à des variations de niveau d'eau
Boue (20% bentonite, 75% gypse, 5%chlorure de sodium)	1.2	<2.00	Amélioration du sol quand la résistivité dépasse 100 Ω .m. "Pré-backfilling" d'anodes sacrificielles

Tableau IV.1 : type de bakfill

IV.4.1.3 Câbles de connexion (déversoir anodique - générateur et générateur-structure à protéger)

Les liaisons électriques doivent répondre à 2 critères :

- Faible résistance électrique
- Très bon isolement par rapport au milieu (en particulier la liaison déversoir)

On n'utilise pas de câble de faible section pour des raisons de résistance mécanique.

Les câbles recommandés pour les liaisons anodiques et cathodiques sont non armés est du type : PVC/PVC ou XLPE/PVC pour les installations à terre.

Chapitre IV : Protection des ouvrages par l'anode sacrificielles

Les soudures de câble sur la structure à protéger doit être faite par un procédé agréé par l'ingénieur soudeur en raison des risques de fissuration des aciers, en particulier les aciers à haute résistance mécanique (grade X 52 et au-dessus).

Les raccordements câble à câble doivent être clampés et isolés par des kits de raccordements (boite de jonction à résines époxy sous moule plastique).

IV.4.1.4 Les joints isolants

- Kit isolants
- Joints monoblocs
- Manchettes isolantes (utilisée en cas de fluides à très basse résistivité) <10

Les joints isolants ne doivent pas être court-circuités par des mises à la terre d'équipements électriques situés de part et d'autre et des dispositions particulières de mises à la terre doivent être prises pour satisfaire la réglementation de protection des travailleurs contre les incidents électriques (les dispositions dérogatoires nécessaires sont à prendre avec les spécialistes électricien et sécurité en fonction de la réglementation locale).

Les joints isolants doivent être protégés contre les surtensions par des dispositifs spéciaux (foudre, ligne HT) .

IV.4.1.5 Points fixes de mesures (Coffrets ou prises de potentiel)

Des points fixes de mesures sont nécessaires :

- Aux joints isolants (de part et d'autre du joint)
- Aux traversées sous gaines métalliques (de part et d'autre de la traversée)
- Aux traversées de voies ferrées électrifiées
- Au croisement de canalisation métallique enterrée.
- A intervalles raisonnables tout au long du pipeline (1.5 à 3 Km.).

Les points de mesures sont constitués d'un câble soudé ou brasé sur le pipeline et ramené dans une prise de potentiel (coffret, bouche à clé, ...). Les points fixes de mesure peuvent être associés à des électrodes de référence à poste fixe



Figure IV.1: Le point de mesure

IV.5 Entretien et recommandation

IV.5.1 périodicité de changement de l'anode(Durée de vie)

la durée de vie de l'anode, L , est vérifiée par calcul :

$$L = \frac{MU}{IE}$$

L = durée de vie effective de l'anode (années)

M = masse d'une seule anode (kg)

U = facteur d'utilisation, par ex. 0-75-0.80 pour les anodes bracelet

E = taux de consommation de l'anode (kg/Ay) (inverse de la capacité en unités appropriées)

I = sortie d'anode (A)

IV.5.2 Distribution d'anode

Il est évident qu'un plus grand nombre d'anodes réparties sur la structure améliorera la répartition du courant. Cependant, outre le coût inacceptable encouru par la fixation d'un nombre excessif d'anodes, une anode doit continuer à fonctionner pendant toute la durée de vie de la structure et doit, par conséquent, être d'une taille suffisante pour respecter la durée de vie de conception. Un très grand nombre d'anodes lourdes est clairement irréalisable et peu économique.

Chapitre IV : Protection des ouvrages par l'anode sacrificielles

Il est essentiel d'assurer une distribution de courant adéquate afin que toute la structure exposée reste protégée ; particulièrement important, par exemple, pour les nœuds d'une structure en acier offshore. De même, la surprotection doit être évitée. Ainsi, les anodes sacrificielles doivent être réparties pour garantir que le potentiel de protection sur l'ensemble de la structure est atteint.

Un degré de flexibilité dans le rapport sortie/poids des anodes peut être obtenu en faisant varier la forme de l'anode (comme discuté ci-dessus). Cela peut, par exemple, fournir un plus grand nombre d'anodes avec un rendement réduit, tout en maintenant la durée de vie souhaitée de l'anode. Par conséquent, une distribution de courant améliorée peut être obtenue.

La proximité des anodes aux structures est également importante. Par exemple, si les anodes sacrificielles sont placées sur ou très près d'une tuyauterie en acier dans le sol, la sortie de la face des anodes à côté de la construction en acier peut être sévèrement limitée. Alternativement, dans des environnements à haute conductivité, des produits de corrosion peuvent s'accumuler et se coincer entre l'anode et la structure. Les contraintes qui en résultent peuvent conduire à une défaillance mécanique de l'anode. En revanche, lorsque les anodes sont situées à une distance appréciable de l'aciérie, une partie de la différence de potentiel sera consommée pour surmonter la résistance environnementale entre l'anode et la cathode.

Des modèles informatiques complexes sont désormais disponibles pour aider à définir la distribution optimale des anodes[42]

IV.5.3 Économie(les deux système)

Après avoir évalué ces variables, il faut alors décider quel type de système, c'est-à-dire anode sacrificielle ou courant imposé, serait le plus économique dans les conditions existantes. Par exemple, il serait évidemment très coûteux d'installer un système à courant imposé sur seulement 100 m de collecteur d'incendie. De même, il serait tout aussi peu rentable d'installer une anode sacrificielle

Conclusion

Conclusion

La protection cathodique par cathode sacrificiel des installations enterrées des hydrocarbures, présente un avantage primordial comparativement à l'investissement dédié à l'installation et l'entretien car la fiabilité de ces installations est majeure. Lorsque la protection cathodique n'est pas totalement maîtrisée différents défauts peuvent apparaître sur les revêtements. Le seul inconvénient est l'exigence du contrôle et l'état de l'anode et qui peut être affectés par le moindre défaut dans la structure ou dans le revêtement qui la protège, comparativement à la méthode du courant imposé où la mauvaise distribution du potentiel appliqué sur les canalisations entraîne un court-circuit et pertes énergétiques par effet joule.

Dans ce travail, nous avons montré la réalisabilité l'efficacité et le rendement d'un projet non réalisé ou entamé dans l'industrie de la distribution et le stockage des hydrocarbures en milieu urbain où les installations doivent être maintenues 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, le type de revêtement, ainsi que nature, dimensions et emplacements 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 la terre (déversoirs anodiques), et surtout de la valeur du coefficient d'atténuation 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.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] Hicham E., Etude de l'inhibition de la corrosion de l'acier doux au carbone en milieu acide orthophosphorique par un antibiotique organique, Mémoire d'Etudes Supérieures Approfondies, Université de Oujda (Maroc), 2000.
- [2] Francois R., Corrosion and deposits course, Master of science in oil and gas production engineering, France, 2005.
- [3] M. Frantz, Thèse de doctorat, université de Paris, Etude in situ par microscopie à force atomique de la corrosion localisée d'un acier inoxydable 304L, 2005.
- [4] Coombs J., Fundamentals of corrosion mechanisms, Chevron corporation, New York 1999.
- [5] Corrosion et prevention, Institut algérien du pétrole-corporate university, Algérie, 2006
- [6] Einar B., Corrosion and protection, Norway, 2003.
- [7]. C. FIAUD, Inhibiteurs de corrosion, Technique de l'ingénieur, Traite de métallurgie, Doc. M 160, 7, 1994.
- [8] D. Landolt, Corrosion et Chimie de Surface des Métaux, 1st Edition, Alden Press, Oxford, 489, (1993).
- [9] Jacques L., Protection contre la corrosion, Techniques de l'ingénieur, France, 1990.
- [10] J. Benard, A. Michel, J. Philibert, J. Talbot, Métallurgie générale, Masson Editeurs, (1969).
- [11] C. B. NATHAN, NACE (Ed), Corrosion inhibitors Nace Pobl. 1973
- [12] PA. Schweitzer, Corrosion engineering handbook, Taylor & Francis INC, New York, 2nd edition, vol 3, (1996)
- [13] C. Vargel, Corrosion of aluminium, Elsevier, New-York, 1st edition, (2014).
- [14] Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et de gaz Naturel,
- [15] Y.Bréchet, J.Charles, La corrosion des matériaux, Dunod, Paris, (2014)

Références bibliographiques

- [16] Y.Chauvin, Corrosion et dégradation des matériaux métalliques, Technip, Paris, (2009).
- [17] M, MALOU.(2002/2003).Etude de la corrosion et maintenance des installations pétrolières de shelle sénégal : cas du dépôt de jetée de nord. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop de Dakar.
- [18] JC.Scully, O.Clavier, G.German, Corrosion protection : Principes fondamentaux, Masson, Paris, (1995)
- [19] LL. Shrier, RA.Jarman, GT.Burstein, Corrosion /environment reaction, ButterworthHeinemann, Great Britain, 3rd, Vol 1, (1994).
- [20] M.Helie, Corrosion Des matériaux Métalliques,Ellipse, Paris (2015).
- [21] C.Rochaix, Electrochimie: thermodynamique, cinétique, Nathan, (1996)
- [22] RW.Revie, Corrosion and corrosion control, John Wiley & Sons, Canada, 4th edition, (2008).
- [23] PM.Chess, JP.Broomfield, Cathodic protection of steel in concrete and masonry, CRC Press, New York, (2014).
- [24] B.Normaand, N.Pébère, C.Richard, M.wery, Prévention et lutte contre la corrosion: Une approche scientifique et technique. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. (2004
- [25] Guide scientifique et technique,Revêtements externes des canalisations enterrées ou immergées et des ouvrages ,Connexes,France,(2006)
- [26] R.Baboian, Corrosion tests and standards: Application and interpretation, ASTM International, USA, 2nd edition, (2005).
- [27] AK.Susilo, Ahmed, OS.Suharyo, P.Pratisna, Design analysis of impressed current cathodic protection for fuel distribution pipeline system at eastern fleet command naval base, J.Int. Sci. Eng.Res.5 (2017) 63-70.
- [28] A.Byrne, N.Holmes, B.Norton, State-of-the-art review of cathodic protection for reinforced concrete structures, D.I.T, 68 (2016) 644-677
- [29]] La Protection cathodique-guide pratique, Technip, France, (1986)

Références bibliographiques

- [30] Wv. Baeckmann, W.Schwenk, W. Prinz, Handbook of cathodic corrosion protection, Gulf Professional Publishing, UK, (1997).
- [31] SD. Cramer, S Bernard, Jr. Covino, Corrosion: environments and industries, ASM International, USA, (2006).
- [32] NAFTAL-Centre CBR 108G ADRAR : plan interne intervention
- [33] Shiwei W. G. 2001. «Corrosion Protection by Coatings for Water and Wastewater Pipeline ». In Water and Wastewater Program. p. 1-28. Milton, (ON): West Virginia University, PA.
- [34] Nguyen-Thuy, LE. 2008. Badoris-document de synthèse relatif à une barrière technique de sécurité (BTS): Protection cathodique. Coll. « Rapport technique de l'INERIS», INERIS-DRA-PREV-01/2008. Paris, (FR) Institut National de l'environnement industriel et des risques, p.41
- [35] RW.Revie, Corrosion and corrosion control, John Wiley & Sons, Canada, 4th edition, (2008).
- [36] <http://www.protectioncathodique.net/>.
- [37] ECOLE D'APPLICATION DES TECHNIQUES GAZIERES : Monsieur MAREC
- [38] CATHODIC PROTECTION DESIGN OCTOBER 2010
- [39] NACE, Companion to the Peabody Book, October 26, 2000, Revision 1
- [40] F. Coeuille Revêtements polymères de canalisation de fluide : Caractérisation et évolution de l'adhésion En milieu agressif 2002.
- [41] Tiré de Nguyen-Thuy (2008)
- [42] <https://r.wikipedia.org/wiki>
- [43] <https://chemblinks.blogspot.com>

Résumé :

L'altération des métaux par la corrosion influe sur la stabilité des équipements et l'installation des hydrocarbures, ce phénomène néfaste ou utile par son impact économique, la maîtrise des processus de dégradation des matériaux permet de réduire significativement les coûts d'entretien et la fiabilité des installations. Les effets directs ou indirectes de la corrosion affectent durablement l'industrie, la sécurité et l'environnement. Pour cela, la résistance des installations à la corrosion est devenue impérative pour la durabilité. Plusieurs méthodes sont développées afin de protéger les installations en milieu urbain contre la corrosion dans lequel est nécessaire à la durabilité et la fiabilité de la vie contemporaine, les stations de services et les dépôts du carburant sont les installations hydrocarbures urbaines, trois facteurs essentiels sont mis en jeu, la sécurité, l'environnement et la fiabilité. Dans notre travail nous effectuons l'étude d'effet de la corrosion sur ces installations et l'amélioration par les méthodes développées, notamment la protection cathodique.

Mots-clés : Corrosion, protection des installations, inhibiteurs, protection cathodique, gravité

ABSTRACT

The alteration of metals by corrosion affects the stability of equipment and installation of hydrocarbons, this harmful or useful phenomenon by its economic impact, the controlling the processes of degradation of materials makes it possible to significantly reduce the maintenance costs and the reliability of the installations. The direct or indirect effects of corrosion have a lasting effect on industry, safety and the environment. For this, the Corrosion resistance of installations has become imperative for durability. Several methods are developed to protect installations in urban environments against the corrosion in which it is necessary to the durability and reliability of contemporary life, the service stations and fuel depots are urban hydrocarbon installations, three essential factors are involved, safety, the environment and reliability. In our work we carry out the study of the effect of corrosion on these installations and the improvement by the methods developed, in particular cathodic protection.

Keywords: Corrosion, facility protection, inhibitors, cathodic protection, gravity

ملخص

يؤثر تغيير المعادن عن طريق التآكل على استقرار المعدات وتركيب المحروقات ، هذه الظاهرة الضارة أو المفيدة من خلال تأثيرها الاقتصادي التحكم في عمليات تدهور المواد يجعل من الممكن الحد بشكل كبير من تكاليف الصيانة وموثوقية التركيبات. الآثار المباشرة أو غير المباشرة للتآكل تأثير دائم على الصناعة والسلامة والبيئة. لهذا ، فإن أصبحت مقاومة التآكل للمنشآت ضرورية لقوة التحمل. العديد من تم تطوير طرق لحماية المنشآت في البيئات الحضرية من التآكل الذي من الضروري فيه ديمومة وموثوقية الحياة المعاصرة ، و محطات الخدمة ومستودعات الوقود هي منشآت هيدروكربونية حضرية ، ثلاثة عوامل أساسية متضمنة ، السلامة والبيئة والموثوقية. عندما نقوم بعمل دراسة تأثير التآكل على هذه التركيبات والتحسينات بواسطتها الأساليب المطورة ، ولا سيما الحماية الكاثودية.

الكلمات المفتاحية: التآكل ، حماية المنشأة ، المثبطات ، الحماية الكاثودية ، الجاذبية