

Université KASDI-MERBAH Ouargla

Faculté des sciences appliquées

Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et technologies.

Filière : Génie des procédés.

Spécialité : Génie chimique.

Présenté par : **ALLALI Messaoud**

BENZAOUI Imad

Thème :

Méthodologie d'étude de la protection cathodique des réseaux en acier dans la région d'Ouargla.

Soutenu publiquement le :

19 Juin 2021

Devant le jury composé de :

Mr. LATI Mohktar	MCB	Président	UKM Ouargla.
Mr. DOUNIT Salah	Pr	Examineur	UKM Ouargla.
Mr. CHENNOUF Nasreddine	MCA	Rapporteur	UKM Ouargla.

Année universitaire : 2020/2021

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail
A mes très chers parents
Ma mère Ouerida et Mon père Laid
Pour tout l'amour dont vous m'avez entouré, pour tout ce que vous
avez*

Fait pour moi.

*Je ferai de mon mieux pour rester un sujet de fierté à vos yeux avec
L'espoir de ne jamais vous décevoir.
Que ce modeste travail, soit l'exaucement de vos vœux tant formulés
et de*

*Vos prières quotidiennes
A mes très chères sœurs
A mon cher frère Ala Eddin
Et mes amis Derradji Chouaki, Idris Nacib, Samir Khouder et
Maroin Beldjani
Et à toutes personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé.*

IMAD

Remerciement

Tout d'abord, je remercie le bon Dieu, notre Créateur de m'avoir donné la force, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

Je voudrais remercier ma famille pour tous les soutiens moral et matériel apporté pendant ces années d'étude - jusqu'ici.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur

N.CHENNOUF,

Professeur à l'université de Ouargla , pour la qualité de son


encadrement, pour toutes les connaissances scientifiques, pour

m'avait guidé et encouragé pour réaliser ce travail.

Je présente mes sincères remerciements au Chef de département Sibouker et à tous mes enseignant(e)s du

Département génies

des procédés - Université de Ouargla.





Mes remerciements s'adressent également à tous les
personnes de la
région SONELGAZ.

et C.M section protection cathodique, pour son aide et
sa patience avec moi.

Je tiens à remercier tous les membres de jury pour avoir
accepté de
présider et d'examiner ce travail.

Enfin je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de
près ou de
loin à la réalisation de ce travail.



ملخص

ركزت هذه الدراسة على صيانة وحماية الهياكل المعدنية وخطوط الأنابيب لخط توزيع الغاز في منطقة ورقلة، وأبرزنا الحماية المزدوجة لأنابيب الصلب والتي تتمثل في الحماية السلبية أي بالطلاء و حماية نشطة باستخدام الأنودات أو التيار المفروض، ولكن من الصعب تجنب خطر التآكل ، خاصة في مناطق معينة حيث تكون مقاومة التربة منخفضة.

تتكون المنهجية المستخدمة في هذه الدراسة من قياس مقاومة التربة ومقاومة العزل والشدة على شبكة توزيع الغاز بالكامل التي تربط بين بلدية الرويسات ومدينة ورقلة ، وكذلك الشبكة الفولاذية بين بلدية بوعامر وبامنديل (التي تمر عبر خندق مياه الصرف الصحي). بعد تصميم نظام يوفر الحماية الكاثودية.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن جهد الحماية يتطور في نطاق -900 ميغا فولت إلى -1200 ميغا فولت، مع العلم أن عتبة الحماية تقدر بـ -850 / Cu / CuSO4 / -850. أظهرت قيمة المقاومة أن التربة بين بلدية الرويسات ومدينة ورقلة أقل تآكلًا مما هي بين بوعامر وبامنديل، وأظهرت الحسابات أن خط بوعامر بامنديل يحتاج إلى أنود، لكن خط رويسات ورقلة يحتاج إلى محطة معدلة الطاقة الكهربائية.

الكلمات الرئيسية: تآكل - مقاومة التربة - الحماية الكاثودية - توتر - معدلة الطاقة الكهربائية.

Abstract

This study focused on the maintenance and protection of the metal structures and pipelines of the gas distribution line in the Ouargla region, and we highlighted the double protection of the steel pipelines, which is represented by the protection passive, that is to say by coating and active, protection with sacrificial anodes or imposed current, but the risk of corrosion is difficult to avoid, especially in certain areas where soil resistance is low.

The methodology used in this study consists of measuring soil resistivity, insulation resistance and intensity on the entire gas distribution network connecting the municipality of Rouissat and Ouargla ville, as well as the steel network between the commune of Bouamer and Bamendel (which passes through a wastewater drain) after having designed a system that provides cathodic protection.

The results obtained showed that the protection voltage evolves in the range -900 mv to -1200 mv, knowing that the protection threshold is estimated at Cu / CuSO₄ / -850 mv. The resistance value has shown that the soil between Rouissat and Ouargla is less corrosive, than between Bouamer and Bamendil, and calculations have shown that the Bouamer Bamendel line needs a sacrificial anode, but the Rouissat Ouargla line needs a racking station.

Keywords: *Corrosion - Soil Resistivity - - Cathodic- Protection – Voltage - Racking station.*

Résumé

Cette étude a porté sur l'entretien et la protection des structures métalliques et des canalisations de la ligne de distribution de gaz dans la région de Ouargla, et nous avons mis en évidence la double protection des canalisations en acier, qui est représentée par la protection passive, c'est-à-dire par revêtement et active, protection avec d'anodes sacrificielle ou courant imposée, mais le risque de corrosion est difficile à éviter, surtout dans certaines zones où la résistance du sol est faible.

La méthodologie utilisée dans cette étude consiste à mesurer de résistivité du sol, de résistance d'isolement et de l'intensité sur l'ensemble de réseau de distribution gaz reliant la commune de Rouissat et Ouargla ville , ainsi que le réseau en acier entre la commune de Bouamer et Bamendel (qui passe par un drain des eaux usées) après avoir conçu un système qui assure la protection cathodique ..

Les résultats obtenus ont montré que la tension de protection évolue dans la gamme -900 mv à -1200 mv, sachant que le seuil de protection est estimé à Cu/CuSO₄ / -850 mv. La valeur de la résistance a montré que le sol entre Rouissat et Ouargla est moins corrosif, qu'entre Bouamer et Bamendil, et les calculs ont montré que la ligne Bouamer Bamendel a besoin d'une anode sacrificielle, mais la ligne Rouissat Ouargla a besoin d'un poste soutirage.

Mots clés : *Corrosion – Résistivité du sol– Protection cathodique – La tension - Poste soutirage.*

Liste des tableaux

Tableau I : Comparaison des éléments de systèmes P.C

Tableau II : type de bakfill

Tableau III : les sections de câble normalisées à utiliser en fonction de l'intensité

Tableau IV : Fréquence des contrôles de fonctionnement.

Tableau V : exemples chiffrés de résistivités

Tableau VI : Méthodes de mesures indirectes de l'humidité

Tableau VII : Résistance d'isolement par rapport type de conduite

Tableau VIII : Densité de coutant par rapport type de conduite

Tableau IX : résultats de dimensionnement de la résistivité ρ de la ligne Bouammer Bamendil

Tableau X : résultats de dimensionnement de la résistivité ρ de la ligne Rouissat Ouargla

Tableau XI : résultats de dimensionnement de la résistance d'anode RA

Tableau XII : résultats de dimensionnement du courant débité par l'anode IA

Tableau XIII : résultats de dimensionnement du courant de protection du réseau Ix

Tableau XIV: résultats de dimensionnement du nombre d'anode pour un tronçon N

Tableau XVI : résultats de dimensionnement la longueur qui sera protégée par chaque

Tableau XVI : Caractéristiques physique des conduites acier de région Ouargla

Tableau XVII : résultats de dimensionnement des paramètres r, R, α, R_c

Tableau XVIII : résultats de dimensionnement du courant de protection IA

Tableau XIX : résultats de dimensionnement courant de protection Is

Tableau XX : résultats de dimensionnement du poids du rail P

Tableau XXI : résultats de dimensionnement de la longueur du rail L

Tableau XXII : résultats de dimensionnement de la résistance de terre d'un déversoir R (Pour le rail posé horizontalement)

Tableau XXIII : résultats de dimensionnement de la section

Tableau XXIV : résultats de dimensionnement de la puissance du soutirage

Liste des figures

Figure 1.1 : L'équilibre d'un métal dans une solution.....	4
Figure1.2 : Bilan des différentes formes de corrosion.....	4
Figure1.3 : Corrosion électrochimique par couple galvanique.....	5
Figure 1.4 : Pile galvanique de corrosion : + Cathode, - Anode.....	5
Figure1.5 : Exemples de morphologie des piqûres de corrosion.....	6
Figure 1.6 : Corrosion par aération différentiel	6
Figure 1.7 : corrosion galvanique	7
Figure 1.8 : corrosion sélective	7
Figure 1.9 : Corrosion par courant vagabond.....	9
Figure 1.10 : diagramme de Pourbais E-Ph de fer_eau à 25°C.....	11
Figure 1.11 : Conduite d'acier corrodée.....	12
Figure 1.12 : Conduite d'acier protégé.....	12
Figure1.13 : principe de protection cathodique (anode sacrificielle et courant imposé).....	15
Figure 1.14 : Principes de la protection par anodes sacrificielles.....	18
Figure 1.15 : Position de l'anode par rapport au conduit.....	19
Figure 1.16 : Principe de la protection par courant imposé.....	20
Figure 1.17 : Principe du redresseur.....	20
Figure 1.18 : Effet d'un courant cathodique sur le décollement du revêtement	23
Figure 2.1 : Organisme de SONELGAZ.....	25
Figure 2.2 : Plan de réseau d'acier de région Ouargla.....	26
Figure 2.3 : Poste soutirage – redresseur	29
Figure 2.4 : Le point de mesure.....	31
Figure 2.5 : L'électrode au sulfate de cuivre.....	32
Figure 2.6 : Voltmètre.....	32
Figure 3.1 : principe de la mesure de résistivité du sol par la méthode de Wenner (a- distance entre deux piquets, b- profondeur d'enfoncement des piquets).....	37
Figure 3.2 : principe de la mesure de résistivité du sol par la méthode de Wenner (a- distance entre deux piquets, b- profondeur d'enfoncement des piquets) dans le terrain.....	38
Figure3.3 : méthode de mesure la résistivité.....	38
Figure 3.4 : Testeur de résistance de terre GEOHM.....	39
Figure 3.5 : Matériels pour la mesure du pH	41
Figure 3.6 : Cas le rail posé horizontalement.....	52

Figure 3.7 : Cas le rail posé verticalement.....	53
Figure 3.8 : les anodes posées verticalement.....	54
Figure 3.9 : Cas les anodes posées horizontalement.....	55
Figure 4.1 : Tronçon d'acier entre Bouamer et Bamendil.....	60

Sommaire

Introduction générale

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

Chapitre 01 : Corrosion et protection des ouvrages métalliques

Introduction.....	3
1. Corrosion des aciers.....	3
2. Types de corrosion.....	4
2.1 Corrosion électrochimique	4
2.2 Corrosion par piqûres	5
2.3 Corrosion par aération différentielle	6
2.4 Corrosion galvanique.....	7
2.5 Corrosion sélective	7
2.6 Fissuration par corrosion sous contrainte (FCC).....	7
2.7 Corrosion inter granulaire.....	8
2.8 Corrosion par frottement, usures et cavitation.....	8
2.9 Corrosion biologique	8
2.10 Corrosion par courants vagabonds	9
2.11 Corrosion généralisée	9
3. Moyens de lutte contre la corrosion.....	9
4. Etablissement des diagrammes de Pourbaix (pH - tension).....	10
5. Prévention de la corrosion des conduites enterrées	12
5.1 Protection passive par revêtements	12
5.2 Protection par inhibiteur de corrosion	14
5.3 Protection active (Protection cathodique)	15
5.3.1 Principe de la protection cathodique	15
5.3.2 Critères de la protection cathodique.....	16
5.3.3 Facteurs affectant la validité des critères	16
5.3.4 Type de protection cathodique	17
5.3.5 Avantages et inconvénients des systèmes de la protection cathodique.....	21
5.3.6 Facteurs affectant la protection cathodique.....	22

CONCLUSION.....	24
-----------------	----

Chapitre 02 : Contexte industriel

Introduction.....	25
1.Présentation de l'entreprise.....	25
2. Mission de District gaz.. ..	26
3. Conditions préalables à l'application de la protection cathodique	27
4. Equipements de protection cathodique... ..	28
5. Contrôle de l'efficacité de la protection cathodique.....	33
Conclusion	35

Chapitre 03 : Matériels et méthodes

1. Introduction.....	36
2. Résistivité du sol.....	36
2.1 Généralité	36
2.2 Méthodes de mesure de la résistivité du sol.....	37
2.3 Calcule de la résistivité :.....	39
3. PH de sol.....	40
4. L'humidité du sol.... ..	41
5. Détermination de la valeur de la résistance d'isolement.....	41
5.1 Par essai	41
5.2 Par estimation	45
6. Etude de la protection cathodique.....	45
6.1 Détermination des formules pour le calcul de la protection cathodique	46
6.1.1 Protection par anode sacrificielle... ..	46
6.1.2 Protection par soutirage..... ..	47
6.2 La mise en service d'une installation de protection cathodique :	56
6.2.1 Objectif.....	56
6.2.2 Procédure de mise en service	56
6.2.3 Document d'installation et de mise en service.	57
Conclusion	58

Chapitre 04 : Résultat et discussion

Introduction.....	59
1. Calcule de la résistivité du sol de région OUARGLA.....	59
2. Détermination de la valeur de la résistance d'isolement.....	59
3. Etude de la protection cathodique.....	59
3.1 Protection par anode sacrificielle	59
3.1.1 Calcul de la résistance d'anode.....	60
3.1.2 Détermination du courant débité par l'anode	60
3.1.3 Détermination du courant de protection du réseau.....	60
3.1.4 Détermination du nombre d'anode pour un tronçon....	61
3.1.5 Calcul de la longueur qui sera protégée par chaque anode	61
3.2 Protection par soutirage.....	62
3.2.1 Caractéristiques physique	62
3.2.2 Calcule des paramètre r , R , α , R_c	62
3.2.3 Calcul du courant de protection.....	63
3.2.4 Calcul des caractéristiques du rail.....	64
3.2.5 Calcul de la résistance de terre d'un déversoir .	64
3.2.6 Détermination de la puissance de soutirage	65
Conclusion	66

Conclusion générale

Conclusion générale.....	68
--------------------------	----



Introduction générale

Introduction générale

Le gaz naturel est transporté et distribué aux consommateurs par des conduits en acier, Un réseau de canalisation sur plusieurs kilomètres a été construit à travers le monde. En Algérie on estime ce réseau à plus de 500000 Kms tout diamètre confondu et exploité par la société SONELGAZ.

La majorité des conduites enterrées utilisées pour acheminer le gaz de leurs sources émettrices vers les consommateurs sont fabriquées en aciers tel que le PE. La plupart de ces aciers se trouvent, à l'état naturel, sous forme de minerais (oxydes). Lorsqu'on enterre ces conduites dans un sol agressif, elles s'oxydent et se dégradent tendant ainsi à retourner à son état naturel (oxydes).

La quantité d'acier détruite chaque année par les phénomènes de corrosion est estimée à un quart de la production mondiale annuelle de fer. Les évaluations du coût des dégâts directs et indirects causés par la corrosion est tres important. Ce coût comprend les pertes en métal, les frais d'entretien et de réparation, le coût des études et de la protection. ce qui est considérable et reflète l'importance du problème.

Pour combattre ce phénomène (la corrosion), il existe plusieurs types de traitement anticorrosion pour protéger les canalisations du milieu corrosif. Le revêtement est le plus utilisé en raison de son double rôle : sa facilité d'application et le pouvoir de séparer le métal du milieu dans lequel il est placé. Cette protection n'est cependant pas totalement efficace car l'expérience a montré que les défauts de revêtements constatés sont dus aux arrachements ponctuels du film de revêtement durant la pose et le remblaiement de la conduite.

Vu les inconvénients de la protection par revêtement, la protection cathodique est incontournable pour suppléer la protection de la conduite. Elle consiste à amener l'ensemble de la surface de l'acier exposé au milieu environnant à un potentiel suffisamment « électro-négatif » pour le placer en situation de corrosion pratiquement négligeable.

Il existe deux techniques pour abaisser ce potentiel, la première consiste à établir une liaison électrique entre la structure à protéger et une masse métallique moins noble qui va se corroder préférentiellement. Ce procédé se limite à la protection des ouvrages à courte distance, cette protection est dite protection cathodique par anode sacrificielle. La seconde consiste à utiliser un générateur qui débite un courant continu entre la canalisation et une électrode auxiliaire

enterrée à proximité appelée déversoir. On parle alors d'une protection par soutirage de courant.

Généralement, la protection cathodique par un courant imposé est alimentée par un réseau local de distribution via un transformateur redresseur. Dans certaines situations où un tel réseau n'est pas disponible surtout en sites désertiques ou pour des raisons techniques et économiques..., le système solaire photovoltaïque est la meilleure alternative pour fournir du courant nécessaire à la protection cathodique.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre,; nous avons présenté quelques aspects théoriques sur les phénomènes de corrosion et protection des métaux.
- Le second chapitre est consacré à la une présentation sommaire de l'entreprise qui nous a permis de réaliser ce travail.
- Le chapitre trois présente les méthodes de calcul pour avoir un réseau protégé.
- Le chapitre quatre présente la partie calcule pour protéger le réseau acier d'Ouargla.

Le mémoire se termine par une conclusion générale et des perspectives.



Chapitre 01

**Corrosion et protection des
ouvrages métalliques**

Introduction

Le transport des hydrocarbures liquides et gazeux s'opère par canalisations. D'importants réseaux de pipelines ont été construits à travers le monde. En Algérie on estime à plus de 500 000Kms le réseau pour tout diamètre confondu. Les tubes sont en acier et sont exposés à des interactions avec les sols ayant pour conséquence le développement des pics de corrosion par perte de métal.

La corrosion est l'action destructrice des métaux qu'exerce le milieu ambiant sur un métal. Elle pose des problèmes techniques et économiques très importants. La corrosion désigne le phénomène par lequel, les métaux tendent à revenir à l'état sous lequel ils se trouvent dans la nature.

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.

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

1. Corrosion des aciers

On désigne sous le nom de corrosion métallique tout processus de dégradation de métaux et alliage faisant intervenir, ou moins partiellement, la composition chimique de leur environnement. La corrosion métallique ramène métaux et alliages à leur état naturel d'oxydes ou de minerais, elle est donc le résultat de la présence simultanée de deux acteurs, le métal et le milieu corrosif.

A partir du moment où il contient de l'eau, l'environnement devient un milieu corrosif, dit «Électrolyte», ce milieu est bien entendu, l'eau elle-même, qui contient certaine quantité d'espèces chimiques dissoutes ou en suspension, mais il y a aussi les sols qui contiennent plus ou moins de l'humidité.

La corrosion chimique est le résultat de réaction électrochimique, dont les particules proviennent d'une électrode métallique et d'un électrolyte qui réagissent au contact l'un de l'autre. Ces réactions, à l'interface de la phase métallique et la phase aqueuse, mettent en jeu à la fois les électrons du métal et certains éléments chimiques neutres ou ionisés contenus dans la solution. [1]

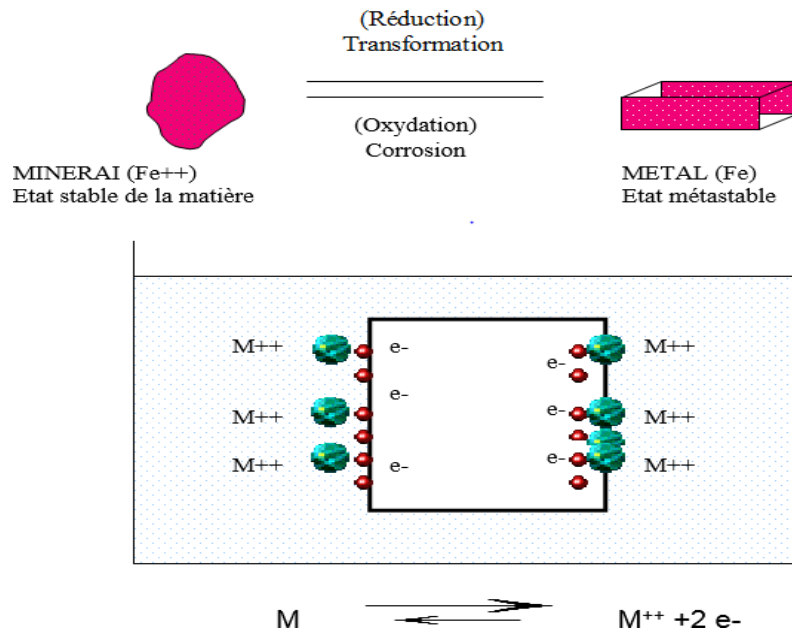


Figure 1.1 : L'équilibre d'un métal dans une solution [3].

2. Types de corrosion

Il existe plusieurs formes de corrosion, la figure (1.2) montre la répartition des différentes formes de corrosion pour les aciers inoxydables.

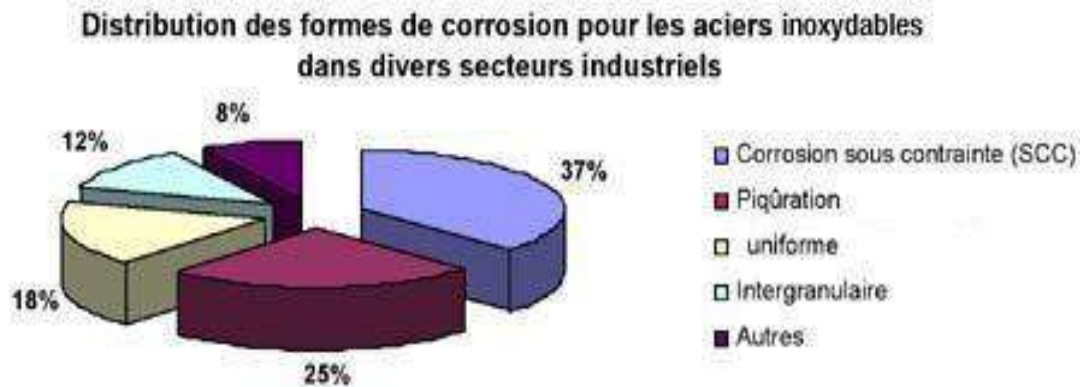


Figure 1.2 : Bilan des différentes formes de corrosion.[2]

2.1 Corrosion électrochimique

Le mécanisme du processus de corrosion électrochimique est étroitement lié d'une part à la structure de métal et d'autre part à la structure de la solution (la solution est caractérisée par le pH, il s'agit du milieu acide, basique ou neutre).

La solution est caractérisée par la circulation (formation) de courant électrique, c'est-à-dire par le déplacement d'électrons au sein de la masse métallique et par le déplacement des ions positifs et négatifs au sein de l'électrolyte. [1]

Les métaux, par la répartition des électrons sur les orbites autour du noyau ont tendance à perdre des électrons, il y a alors l'excès de charge positive, l'atome est devenu un ion positif.

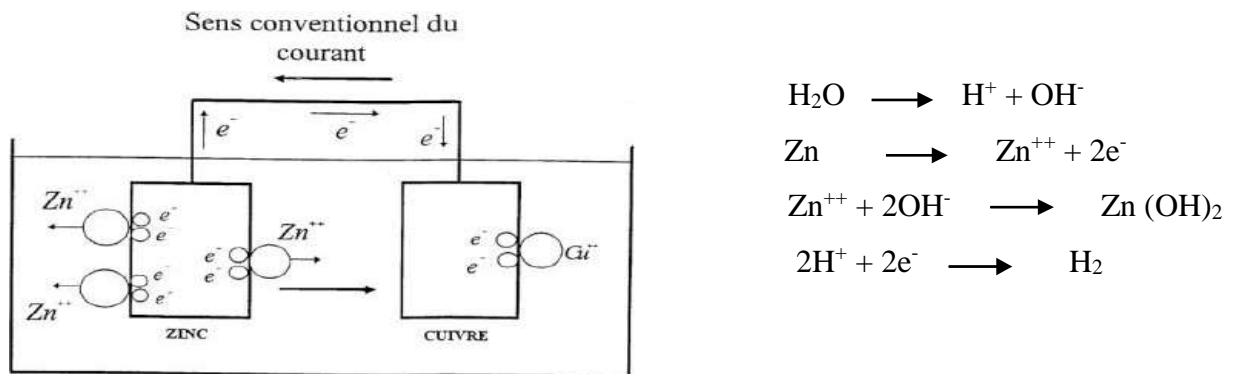


Figure 1.3 : Corrosion électrochimique par couple galvanique [1].

Le processus de corrosion s'accompagne d'un passage de courant électrique. Les électrons libérés par l'anode s'écoulent à travers le métal vers la cathode.

2.2 Corrosion par piqûres

La corrosion par piqûre se développe localement en formant une pile galvanique de corrosion entre la surface extérieure, passive et cathodique, et l'intérieur de la piqûre, actif et anodique (voir figure (1.2)) entraînant une Cavite qui peut rapidement devenir profonde bien qu'une petite quantité de métal se dissolvent globalement.

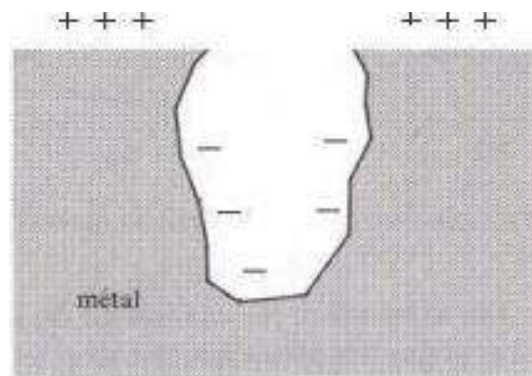


Figure 1.4 : Pile galvanique de corrosion : + Cathode, - Anode [2].

La morphologie des piqûres de corrosion peut prendre plusieurs aspects selon les conditions expérimentales. La figure (1.4) illustre des exemples de formes de corrosion ([Bar04]) [2].

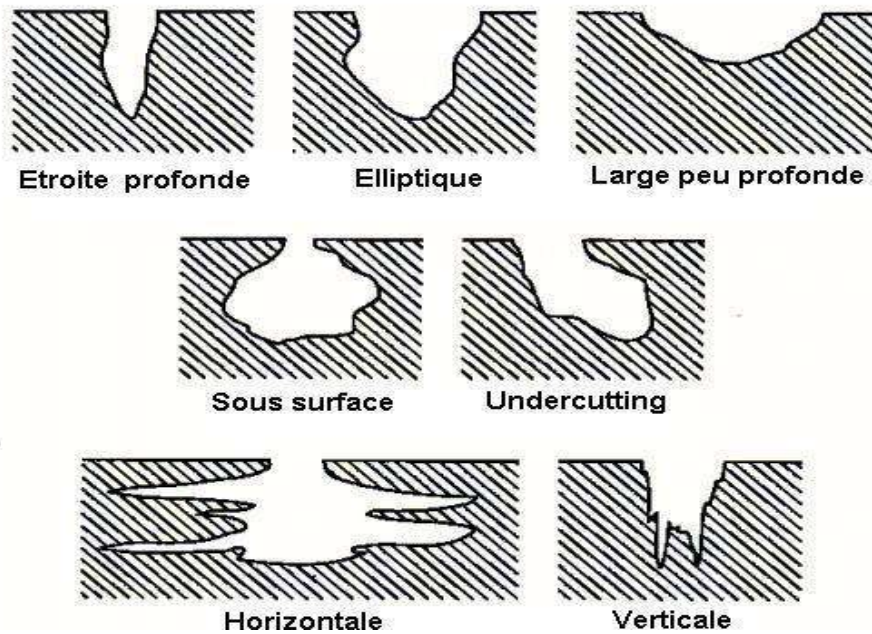


Figure 1.5 : Exemples de morphologie des piqûres de corrosion [2].

2.3 Corrosion par aération différentielle

Elle est de nature électrochimique et est due à une différence importante de concentration d'oxygène locale du milieu d'où formation de pile dite pile D'EVANS, cas de gouttes d'eau salée à la surface d'une tôle de fer parfaitement propre

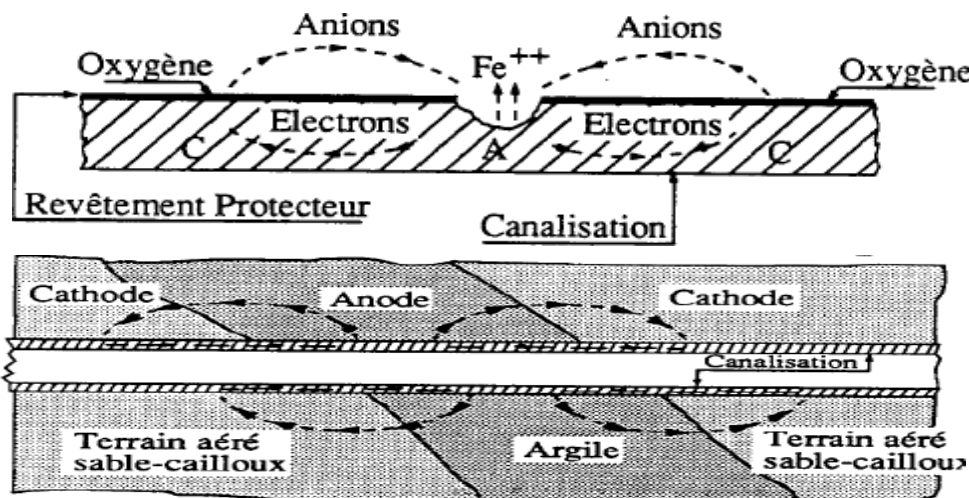


Figure 1.6 : Corrosion par aération différentiel [3].

2.4 Corrosion galvanique

C'est, en générale, lorsque deux métaux différents sont en contact ou reliés électriquement dans un milieu corrosif aqueux. La corrosion s'établit sur le métal le moins noble et s'arrête sur le métal le plus noble. Les sites anodiques et cathodiques sont distincts. Mais elle se manifeste aussi lorsque les deux parties d'un objet métallique d'un même métal ne sont plus au même potentiel à cause d'une hétérogénéité ou à cause d'un âge différent.

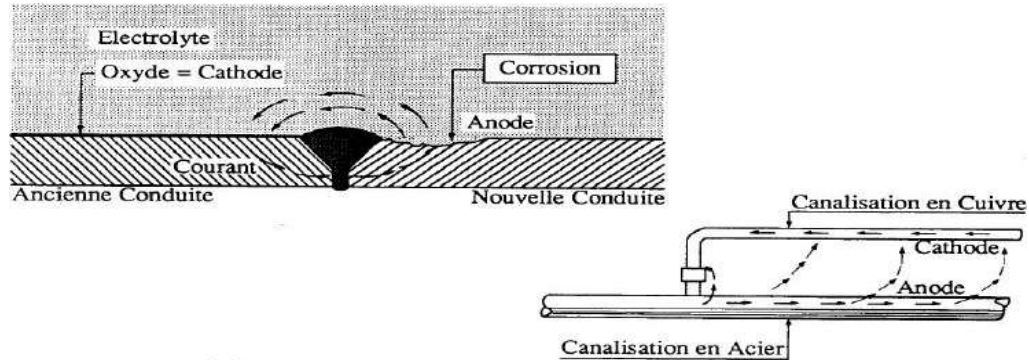


Figure 1.7 : corrosion galvanique [3]

2.5 Corrosion sélective

C'est elle dont l'attaque se produit préférentiellement sur un des éléments de l'alliage, la signification des alliages cuivre-zinc et le cas le plus typique. Cette corrosion peut être éliminée par la protection cathodique.

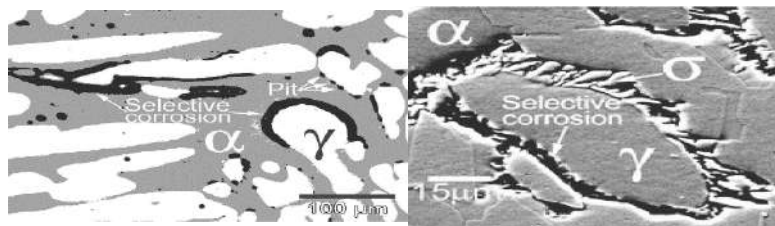


Figure 1.8 : corrosion sélective [3].

2.6 Fissuration par corrosion sous contrainte (FCC)

La fissuration par corrosion sous contrainte peut se produire là où des contraintes de traction soutenues s'ajoutent à la corrosion et entraînent la formation de fissures localisées. On observe habituellement la FCC dans les systèmes en acier oxydable [4].

2.7 Corrosion inter granulaire

C'est un type d'attaque localisée aux joints de grains d'un métal ou alliage, elle engendre une perte de résistance mécanique. On rencontre ce type de corrosion, notamment dans les soudures d'aciers inox.

2.8 Corrosion par frottement, usures et cavitation

Elle est due à une action conjuguée, lorsque deux surfaces métalliques sont très peu distantes l'une de l'autre, les mouvements renouvelés de ce matériel entraînent des vibrations et des frottements répétés des deux surfaces métalliques.

Les brides de fixation de tubes peuvent être soumises à la corrosion par frottement par suite de vibrations répétées.

Les moyens pour l'éviter ou tout au moins de la diminuer sont : on peut soit effectuer une lubrification des surfaces avec une huile neutre, soit encore d'effectuer un revêtement jouant le rôle d'amortisseur de vibrations.

La corrosion par cavitation est créée dans un fluide en circulation sous forte agitation localisée. Elle est produite par de hautes et basses pressions. Il se forme des bulles à l'interface métal-liquide en éclatant, provoquant une rupture du film protecteur ou une cavité qui s'accroît sous l'action électrochimique ou chimique de la corrosion elle-même. La cavitation – érosion se produit sur les faces exposées des hélices, les pôles des turbines hydrauliques, les canalisations de distribution.

2.9 Corrosion biologique

Si l'on met un matériau en présence d'oxygène et de bactéries anaérobies, il y a une réaction qui se forme avec le soufre, donnant des sulfures provoquant une violente attaque encore accrue par les phénomènes électrochimiques.

Les principaux micro-organismes associés à la corrosion biologique sont les bactéries réduisant les sulfates. Les pH favorables aux bactéries sulfato-réductrices sont voisins de la neutralité entre (5.5 et 9.5).

L'endroit où il quitte, celui-ci subit une attaque anodique, quelque fois rapide et locale

2.10 Corrosion par courants vagabonds

Le courant vagabond comme son nom l'indique, circule en dehors des circuits normaux, Il cherche à suivre les circuits de moindre résistance, tel que les canalisations métalliques.

L'endroit où il quitte celle a subit une attaque anodique quelque fois rapide et locale.

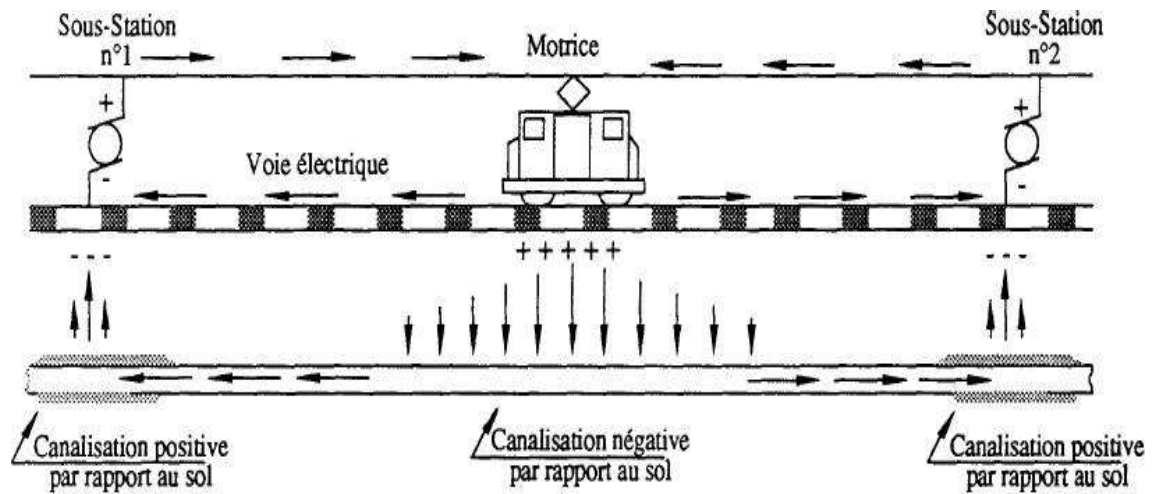


Figure 1.9 : Corrosion par courant vagabond [3].

2.11 Corrosion généralisée

Elle affecte toute l'interface métal - milieu corrosif par suite d'une délocalisation des zones anodiques et cathodiques. Elle peut être uniforme ou non. C'est le cas de l'enroulement de l'acier dans les environnements naturels [4].

3. Moyens de lutte contre la corrosion

Les moyens de luttés contre la corrosion peuvent être classés en quatre directions d'actions possibles :

*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 qui empêcher la production des cellules de corrosion.

4. Etablissement des diagrammes de Pourbaix (pH - tension)

Le professeur, Marcel POURBAIX a établi pour la plupart des métaux des diagrammes pH - potentiel d'équilibre des réactions, qui décrivent les différentes réactions théoriques possibles entre un métal et ses ions en présence d'eau. Le diagramme de Pourbaix localise également les frontières des produits de corrosion insolubles du métal dissous avec les limites en concentration d'ions métalliques libres. Sur le diagramme de potentiel E-pH du système Fe-H₂O à 25°C (Figure 3.3), plusieurs points thermodynamiques critiques peuvent être soulevés (Benjamin et Fergusson, 1996) :

Il est possible de ramener le potentiel de Fer à la région d'immunité en appliquant un moyen de protection cathodique adéquat.

Il n'existe aucun pH pour lequel le fer métallique et le fer bivalent (ions ferreux) sont stables en présence de l'oxygène.

Lorsque l'acier atteint des potentiels plus électropositifs en présence d'un milieu acide (pH faibles) ou intermédiaires, les ions Fe²⁺ et Fe³⁺, ont tendance à se stabiliser sous l'effet de l'augmentation de la vitesse de corrosion et en présence des conditions thermodynamiques favorables.

Lorsque l'acier atteint un potentiel électropositif dans un électrolyte alcalin, la formation d'un complexe solide tel que le Fe₂O₃ ou le Fe₃O₄ a lieu. Ces complexes peuvent être formés et déposés sur la surface du Fer en formant une couche protectrice

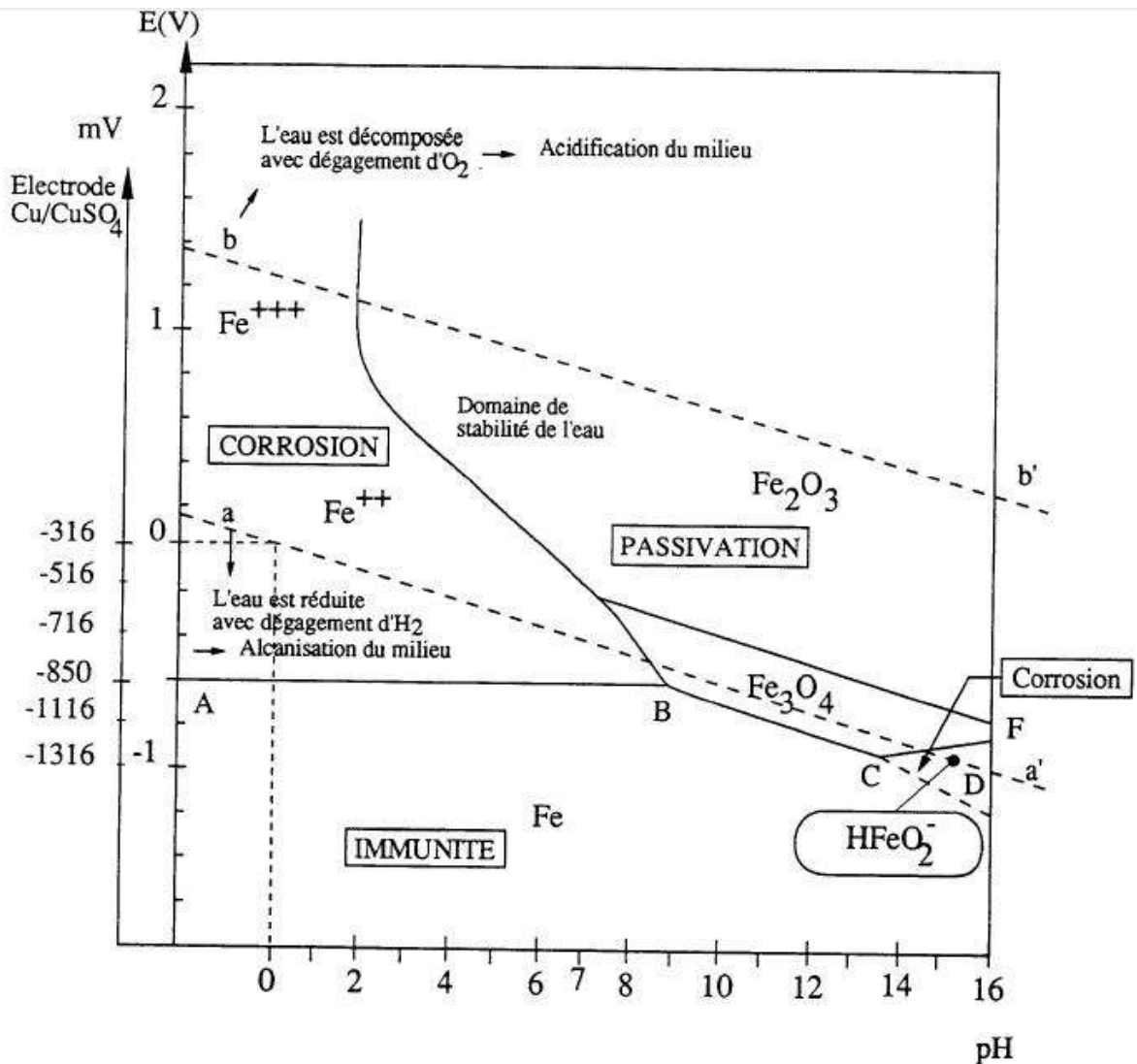


Figure 1.10 : diagramme de Pourbais E-Ph de fer_eau à 25°C[5].

D'après le diagramme en déduire trois domaines théoriques de situation du métal, tel que :

Domaine de passivité : C'est la plage où se trouvent les différentes phases condensées sous forme d'oxydes et d'hydroxydes qui recouvrent la surface du métal et le protègent contre les attaques de corrosion.

Domaine de corrosion : Dans cet état de système, le métal se transforme d'un niveau stable à un niveau actif (corrosion). Cette transformation se traduit par la dissolution de métal en ions solubles dans l'électrolyte.

Phase d'immunité : À cet état thermodynamique, la corrosion du métal ne peut pas se produire dans son milieu environnant parce qu'il atteint un état stable assuré par l'effet d'équilibre thermodynamique provoqué par le niveau énergétique emmagasiné dans le métal (polarisation).

5. Prévention de la corrosion des conduites enterrées

Les conduites métalliques (que ce soit celle de l'eau, du gaz ou autre) enterrées dans le sol sont toutes exposées au danger de la corrosion.

Pour remédier à ce problème et pour assurer la protection des structures enterrées, il est souvent nécessaire d'associer plusieurs procédés et qui sont la protection passive (revêtement et enrobage) et active (protection cathodique); ainsi, les conduites seront protégées par un revêtement externe qui a pour but d'isoler au maximum le métal du milieu corrosif, cependant un tel revêtement n'est jamais parfait et la protection cathodique permet de palier les défauts en plaçant le métal exposé dans des conditions d'immunité par rapport à la corrosion.



Figure 1.11 : Conduite d'acier corrodée



Figure 1.12 : Conduite d'acier protégée

5.1 Protection passive par revêtements

La protection de la surface extérieure de la conduite métallique par un type de revêtement approprié a pour but de former une barrière qui l'isole de son milieu environnant. Ce type de revêtement ne fournit pas de protection absolue et définitive en raison des défauts susceptibles de se produire lors de la pose ou au cours de la vie de l'ouvrage. Afin d'être performant, le revêtement appliqué doit répondre à certaines spécifications dont, entre autres, l'adhérence, la bonne résistance à l'impact, le bon isolement électrique et aussi une stabilité durable de sa composition chimique. [6]

Deux principes permettent d'assurer la protection par revêtement :

1er principe : repose sur l'imperméabilité élevée du revêtement. Celui-ci doit adhérer parfaitement à la surface métallique, et être étanche à l'eau et à l'air. En outre, il doit constituer une barrière vis-à-vis d'espèces ioniques, avoir une résistivité et une rigidité diélectrique

suffisantes et conserve toutes ces propriétés dans le temps. Ce système est généralement employé sur les structures enterrées. Il est complété d'une façon systématique par la protection cathodique pour pallier les risques de corrosion là où le revêtement est dégradé.

2ème principe : consiste à créer au niveau du métal une couche protectrice en utilisant soit le pouvoir passivant de certains sels métalliques (chromates, phosphates), soit le caractère anodique relativement à l'acier de certains métaux (zinc, aluminium). Afin d'augmenter la durabilité, ces systèmes sont le plus souvent revêtus d'une couche de peinture limitant ainsi les échanges avec l'environnement. L'utilisation de ce procédé est destinée en particulier aux ouvrages aériens. Suivant la catégorie de l'ouvrage à protéger, la sélection, la mise en œuvre et le contrôle du revêtement protecteur doivent répondre à un ensemble de critères.

Dans tous les cas, il est toujours souhaitable que le revêtement utilisé possède les qualités suivantes :

- ✦ Une excellente adhérence avec le métal support pour éviter l'infiltration du milieu électrolyte et les risques de corrosion qui y sont associés malgré la présence d'un système de protection cathodique fonctionnant correctement.

- ✦ Une bonne rigidité diélectrique (caractérise l'aptitude du revêtement à résister à des champs électriques intenses).

- ✦ Une résistance d'isolement élevée vis-à-vis du milieu électrolytique afin de limiter la consommation de courant de protection. Cette résistance d'isolement est la résultante de nombreux paramètres liés soit aux caractéristiques du milieu électrolytique environnant, soit aux différentes propriétés du revêtement et en particulier :

Une résistivité élevée ;

Une perméabilité minimale à l'eau, aux ions et au gaz ;

Une grande inertie aux agents chimiques et biologiques contenus dans le milieu environnant,

Une bonne résistance aux contraintes mécaniques et thermiques lors des opérations de construction ;

- ✦ Une bonne conservation dans le temps des propriétés énumérées ci-dessus [4].

- **Catégories de revêtements :**

On distingue trois catégories de revêtements pour les conduites enterrées :

Revêtements à base de produits hydrocarbonés :

Le revêtement est constitué d'un primaire synthétique ou hydrocarboné et d'une armature en toile de verre imprégnée d'un liant hydrocarboné. Les brais de houille et les bitumes de pétrole, ainsi appliqués, présentent des épaisseurs d'environ 3 mm [7]

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 [7].

Revêtements à base de produits thermodurcissables :

Ce sont des revêtements constitués par des résines époxydes, en épaisseur de 500µm environ, ou par des polyuréthanes ou des produits composites tels les brais polyuréthanes et les brais époxydes [7].

5.2 Protection par inhibiteur de corrosion

L'inhibiteur de corrosion est une forme de substance rajoutée avec une faible concentration au liquide transporté pour réduire le taux de corrosion sur les conduites du réseau. Les interactions chimiques s'établissant entre l'inhibiteur et la surface du métal permettent de former un écran passif sur la paroi de la conduite qui sert à empêcher le processus de corrosion de se produire. Les inhibiteurs de corrosion sont de deux types, soit anodique ou cathodique. 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 [6].

5.3 Protection active (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 d'abaisser 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. [6]

5.3.1 Principe de la protection cathodique

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

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

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

L'anode sacrificielle appelée encore anode réactive (figure 1.11 (a)) ;

Le soutirage de courant ou dispositif à courant imposé (figure 1.11 (b)).

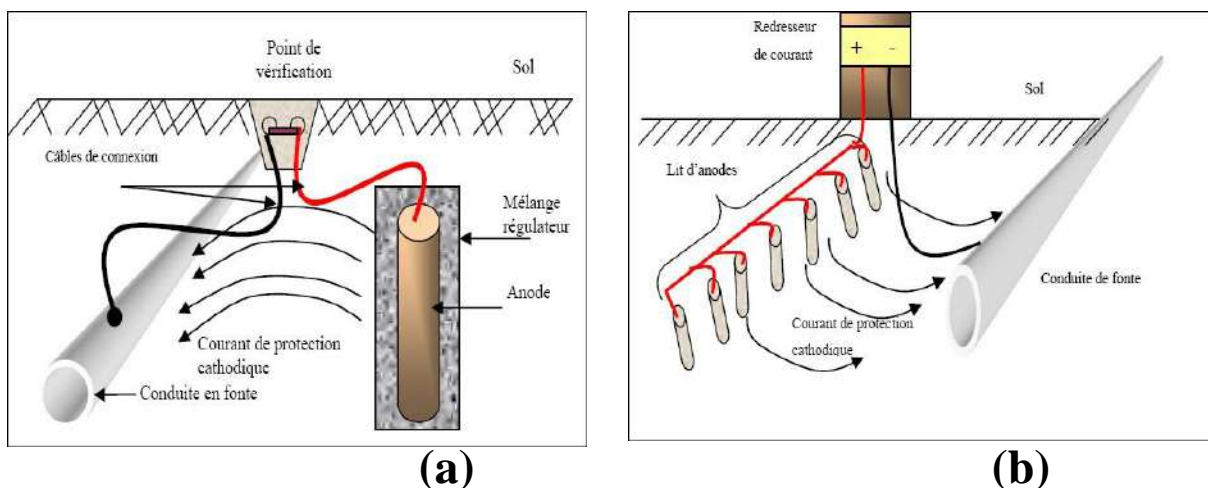


Figure 1.13 : principe de protection cathodique (anode sacrificielle et courant imposé) [6].

5.3.2 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 ». 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.

5.3.3 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 [6].

- **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.

- **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.

- **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.

5.3.4 Type de protection cathodique

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

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

5.3.4.1 Protection par anodes sacrificielles

Le principe de protection par anodes sacrificielles est basé sur la connexion d'une anode ou une série d'anodes sacrificielles avec la structure à protéger en présence d'un milieu électrolytique conducteur (sol ou eau) comme le montre la figure 3.6. La structure se polarise négativement jusqu'à ce qu'elle atteigne un niveau de potentiel suffisant et uniforme qui assure l'immunité de la surface contre l'activité de corrosion. Le courant généré par les anodes sacrificielles du système de protection est la source du processus de polarisation de la structure métallique.

Au fil des années, l'anode se consomme graduellement selon un principe électrochimique défini par la loi de Faraday qui stipule que la masse consommée d'une matière impliquée dans la réaction d'oxydo-réduction est directement proportionnelle à la quantité du courant délivré. Ainsi, le taux de consommation de l'anode (g/A. Ans) dépend de la quantité du courant émis par l'anode, de la taille de l'anode et sa composition chimique ainsi que de la structure à protéger et de l'environnement [6].

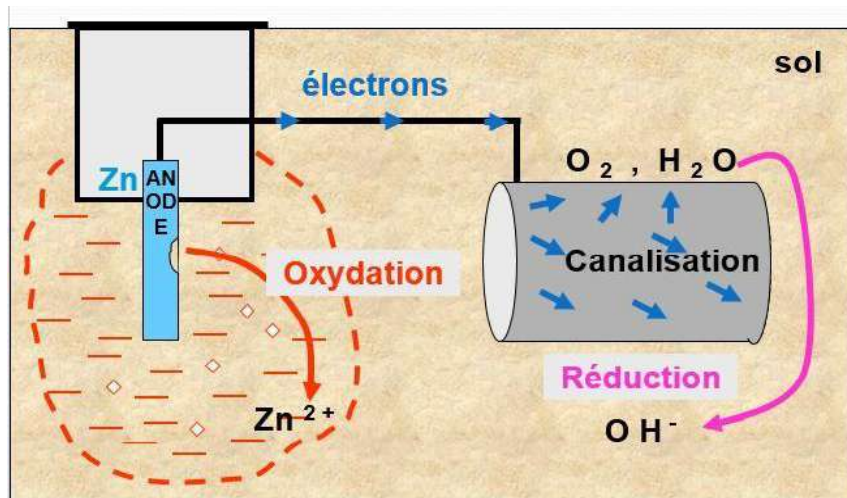


Figure 1.14 : Principes de la protection par anodes sacrificielles [9].

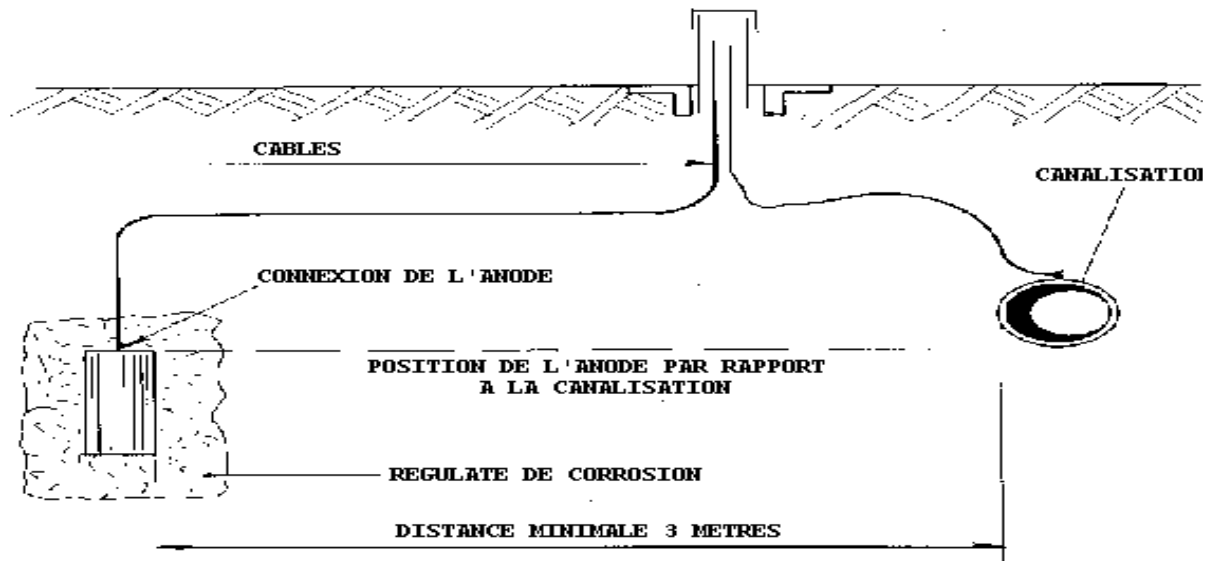


Figure 1.15 : Position de l'anode par rapport au conduit

- **Choix des anodes sacrificielles**

Il existe plusieurs types d'anodes dont les caractéristiques et les applications sont différentes. Dans le cas de la protection de l'acier, les anodes utilisées sont à base de zinc, d'aluminium ou de magnésium. Des études et l'expérience ont permis de déterminer, pour chacun des métaux les seuils d'impureté admissibles ainsi que les éléments d'alliage complémentaires nécessaires pour obtenir les meilleures performances. De nombreux alliages spécifiques pour la protection cathodique existent aujourd'hui sur le marché.

5.3.4.2 Protection par courant imposé

Dans certaines situations de protection, les anodes sacrificielles ne peuvent pas délivrer suffisamment de courant pour une protection idéale. Cette situation est souvent rencontrée dans les cas de longues conduites ayant un grand diamètre et de conduites présentant un problème d'isolation. De même, certaines conditions environnementales peuvent parfois être à l'origine de ce genre de problèmes. Devant des circonstances pareilles, les ingénieurs de design favorisent l'application de la protection par courant imposé [6].

- **Principes**

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

Masse anodique ou (un déversoir).

L'électrolyte (sol ou eau).

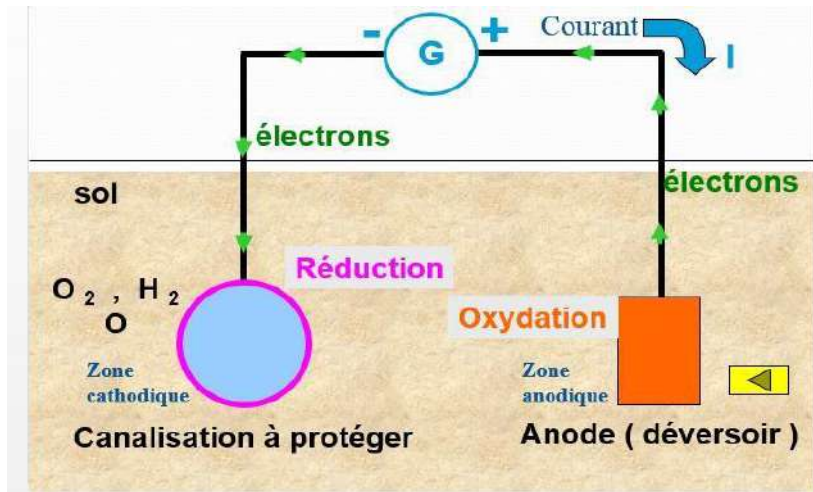


Figure 1.16 : Principe de la protection par courant imposé [9].

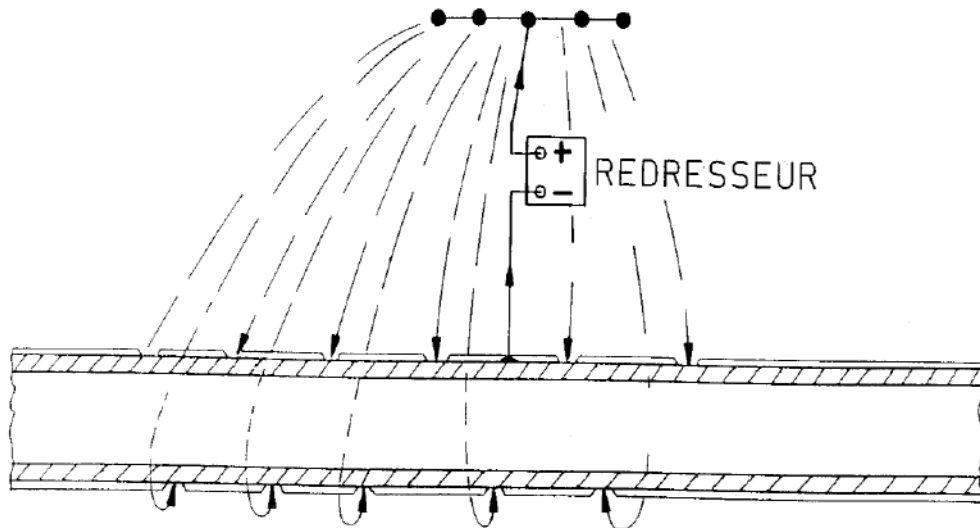


Figure 1.17 : Principe du redresseur

5.3.5 Avantages et inconvénients des systèmes de la protection cathodique

L'utilisation d'un système de protection cathodique soit toujours bénéfique, la sélection du système à adopter demeure généralement assujettie à des conditions environnementales, énergétiques et économiques. Pour cela, une étude comparative doit être établie par l'ingénieur de design afin de mettre en relief les avantages et les inconvénients de chacun des systèmes de protection. À titre d'exemple, le tableau 1.1 donne un aperçu sur les éléments comparatifs en question.

Tableau I : Comparaison des éléments de systèmes P.C

	Anode galvanique ou sacrificielle	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 des 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	Élevé
Nombre d'anode	Important	Faible
Facilité d'adapter le courant consommé en fonction de la demande	Adaptation possible à travers une liaison résistante	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

5.3.6 Facteurs affectant la protection cathodique

L'efficacité d'un système de protection cathodique appliquée sur une conduite donnée peut être atténuée par certains facteurs mécaniques, physiques et environnementaux qui se manifestent sous différentes formes [6] :

Insuffisance de continuité électrique ;

Perte d'adhérence des revêtements sur la conduite à protéger ;

Influence des structures adjacentes ;

Influence des courants vagabonds (courant continu et courant alternatif).

✓ **Insuffisance de continuité électrique**

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

✓ **Perte d'adhérence des revêtements**

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

✓ **Influence des structures adjacentes**

La présence voisine des structures métalliques dans un électrolyte conducteur peut induire des interférences électriques défavorables sur la structure. Le courant électrique délivré par les anodes de protection a tendance à s'échapper de la source pour embarquer sur une structure adjacente non protégée et ce avant de rejoindre la structure à protéger. De ce fait, les critères de protection cathodique peuvent être affectés et les points de sortie du courant de protection créés sur la structure voisine sont exposés à la corrosion.

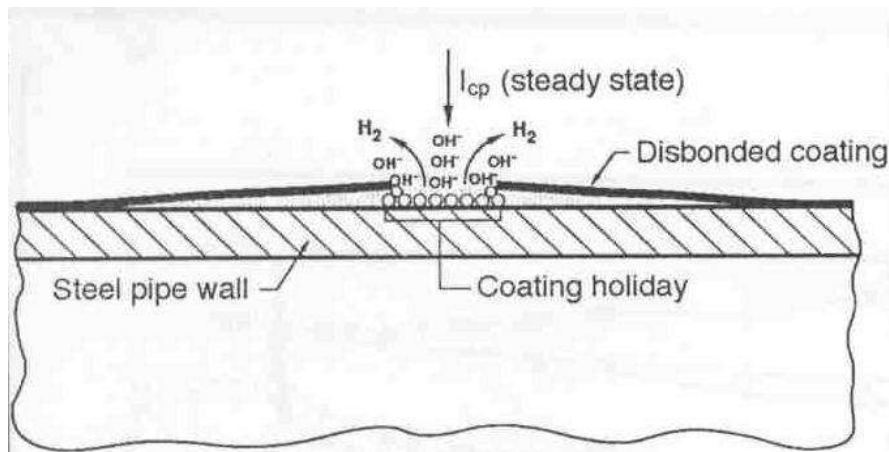


Figure 1.18 : Effet d'un courant cathodique sur le décollement du revêtement [8].

✓ Influence des courants vagabonds

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

CONCLUSION

Les causes de la corrosion sont multiples et complexes et elles résultent d'interactions chimiques et /ou physiques entre le matériau et son environnement. La corrosion jusqu'à ce jour n'est pas complètement éclairée et cela est expliqué par les essais de laboratoire qui ne permettent pas de prévoir avec certitude le comportement d'un métal ou d'un alliage donné lorsqu'il est exposé à la corrosion et de même il n'y a pas de métal résistant, d'une manière générale un métal résiste à la corrosion dans des conditions bien déterminées. La protection passive par revêtements a pour but d'isoler la conduite électriquement et d'éliminer tout contact direct avec le milieu environnant. Ainsi, ce revêtement anticipe la formation des cellules de corrosion sur la surface de la conduite.

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

Nous présenterons dans le chapitre suivant le contexte industriel de la société SONELGAZ. Nous aborderons les questions relatives aux systèmes de protection des canalisations.



Chapitre 02

Contexte Industrie

Introduction

La société **SONELGAZ** assure la distribution et l'alimentation d'électricité et de gaz en bonne qualité et continuité de service ainsi que la sécurité.

SONELGAZ doit assurer une pression de service de 4 Bar pour la totalité de réseau sans fuite, et pour cela la cartographie des réseaux de distribution gaz est un outil de travail indispensable de la connaissance des ouvrages et leurs localisations, et permettre de faire les actes d'entretiens de réseau.

1. Présentation de l'entreprise :

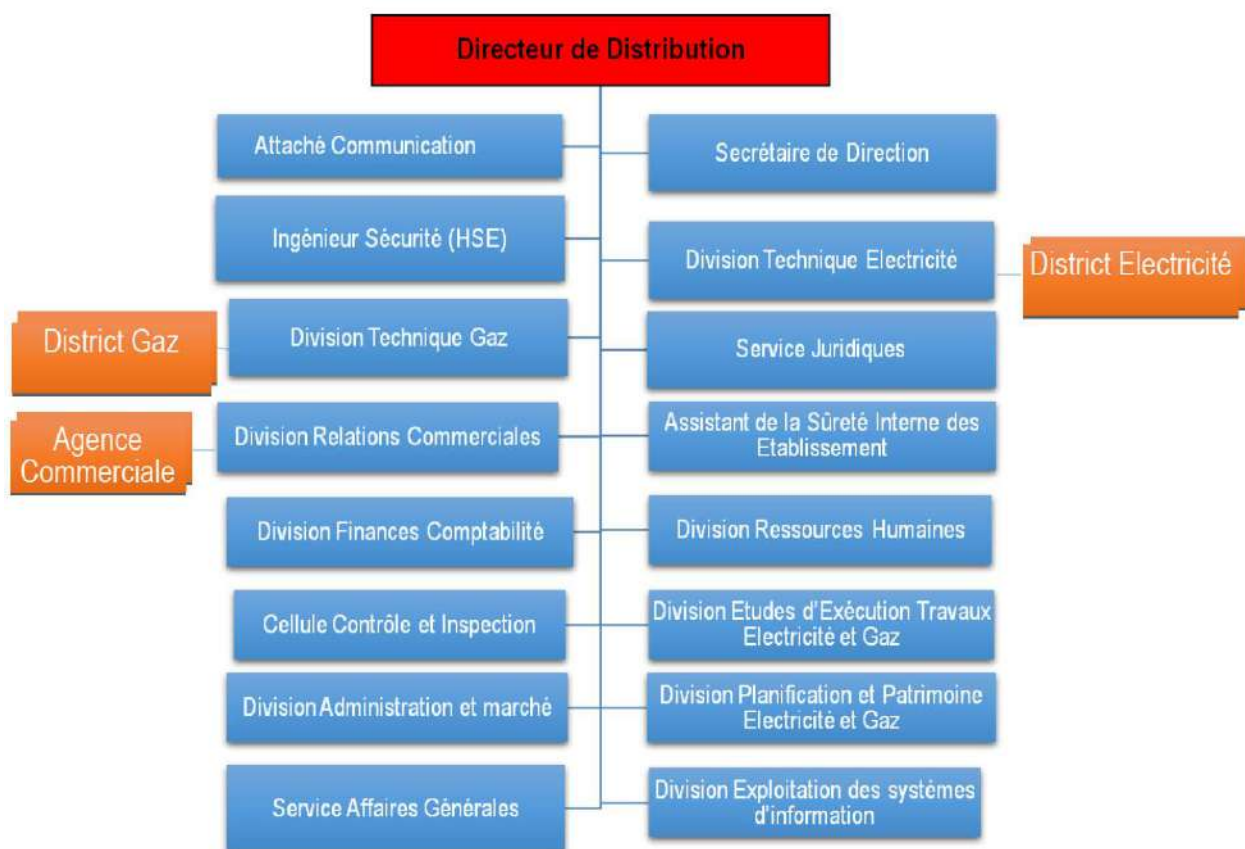


Figure 2.1 : Organisme de SONELGAZ [10]



Figure 2.2 : Plan de réseau d'acier de région Ouargla [10]

2. Mission de District gaz

District gaz a pour missions essentielles :

- ✓ la distribution de gaz dans la région de Ouargla
 - ✓ l'entretien des ouvrages gaz.
 - ✓ contrôle de la pression de service (4 bar).
 - ✓ Les études des extensions.
 - ✓ Contrôle des redresseurs et relevé des mesures de protection cathodiques.
- ❖ Pour Le réseau de distribution gaz région de Ouargla est composé de :
- différentes canalisations ; destinées à acheminer du gaz, à partir d'un ou plusieurs point d'émission (06 postes de détente) jusqu'aux lieux de consommation.

Réseau Acier Diam **300 -200 et 100** mm en tous une longueur de **17,471 Km**.

Réseau en PE Diam **250-200-125-63 et 40mm**.

- Organes de coupure ou d'obturation ; destinés soit à modifier le sens d'acheminement du gaz .soit à isoler des tronçons de canalisation. (1120 vannes de différent Diam).
- Poste livraison destinés à alimenter en gaz un client (client industriel –grand consommateur) 52 postes clients.
- Branchements d'abonnés, destinés à fournir du gaz à l'abonné, en transitant par un bloc de détente et régulation et comptage plus 46000 Brts.

SONELGAZ utilise deux méthodes de prévention de corrosion : protection passive et protection active.

- ✓ protection passive par revêtement.
- ✓ protection active par courant imposant en utilisons les dispositifs suivant ; 02 postes soutirage – 06 anodes sacrificiel – 22 prises potentiels, joints isolants, une électrode de référence qui sert à mesurer le potentiel d'un ouvrage enterré (qui est équivalente à la mesure de la force électromotrice de deux demi piles associées pour former une pile CU/CUSO₄ et le sol/métal ; c.-à-d. le résultat de la mesure est le potentiel du métal par rapport au sol à travers l'électrode de référence, (Pour l'acier doit être inférieur à -850 mv).

3. Conditions préalables à l'application de la protection cathodique :

La décision d'installer un système de protection cathodique dépend de l'importance et de la forme de la structure, du type de revêtement, de la résistivité du sol et de son action corrosive, des influences en courant continu et en courant alternatif, des règles nationales ainsi que de critères techniques et économiques. [11]

Pour assurer la protection cathodique, les conditions suivantes doivent être réunies:

❖ Continuité électrique

La structure ou partie de la structure à protéger doit être électriquement continue.

❖ Isolation électrique

Dans le cas de structures à protéger munies de revêtement, il est essentiel qu'il n'y ait aucun contact métallique de la structure avec des parties de la structure qui ne sont pas à protéger, ni avec d'autres structures enterrées.

❖ Revetment externe

Il convient en principe de doter les structures à protéger d'un revêtement externe approprié. Un bon revêtement externe diminue la quantité de courant de protection nécessaire, améliore la distribution de courant, augmente la surface protégée et réduit les influences sur les autres structures étrangères.

4. Equipements de protection cathodique :

❖ 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 [7].

Les paramètres qui interviennent sont :

- la forme générale du réseau et sa longueur ;
- les diamètres des conduits ;
- 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.

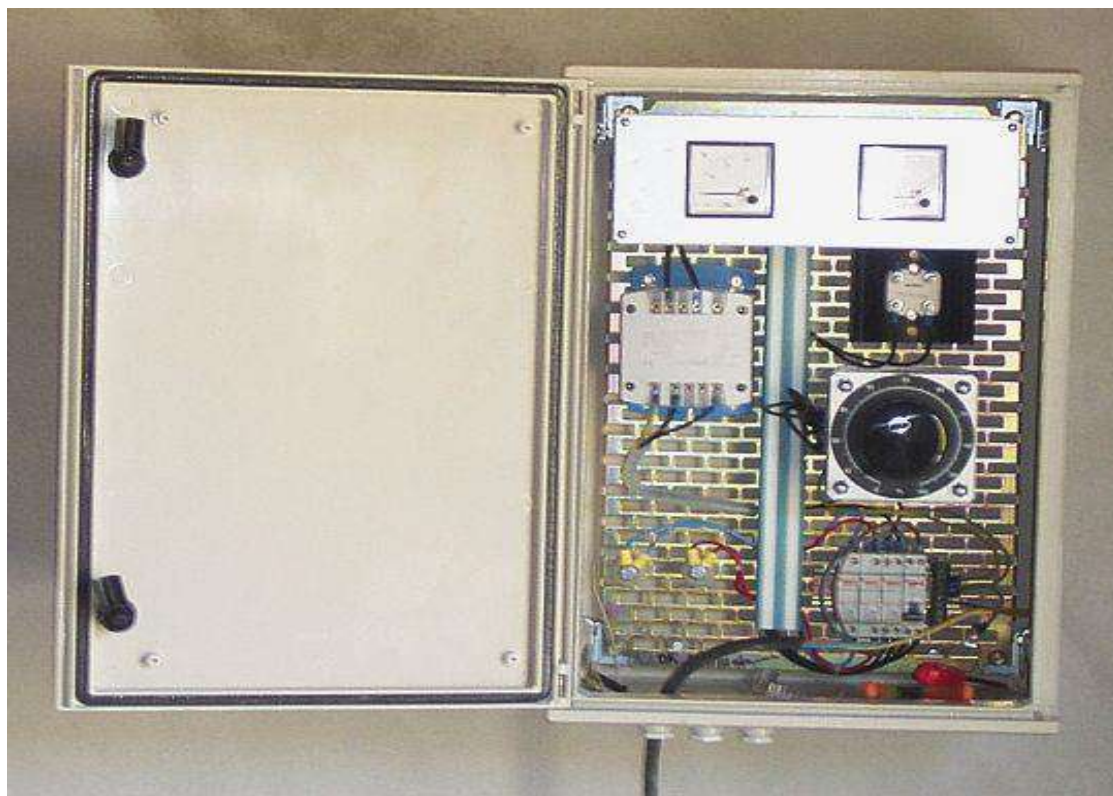


Figure 2.3 : Poste soutirage – redresseur

- **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.

Tableau II : type de bakfill [7].

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	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 100Ω.m. "Pré- backfilling" d'anodes sacrificielles

- **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)

Tableau III : les sections de câble normalisées à utiliser en fonction de l'intensité [7].

Intensité (A)	5	10	15	20	35	45	60
Section du câble (mm ²)	10	16	25	35	50	70	95
Résistance pour 100 m (mΩ)	174	112	71	51	36	26	19

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

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 de l'acier.

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

- ❖ **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 de voies ferrées électrifiées
- Au croisement de canalisation métallique enterrée.
- A intervalles raisonnables tout au long du conduit (1.5 à 3 Km.).

Les points de mesures sont constitués d'un câble soudé ou brasé sur la conduit et ramené dans une prise de potentiel (coffret, bouche à clé, ...) [12].



Figure 2.4 : Le point de mesure [4].

❖ L'électrode au sulfate de cuivre

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

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

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

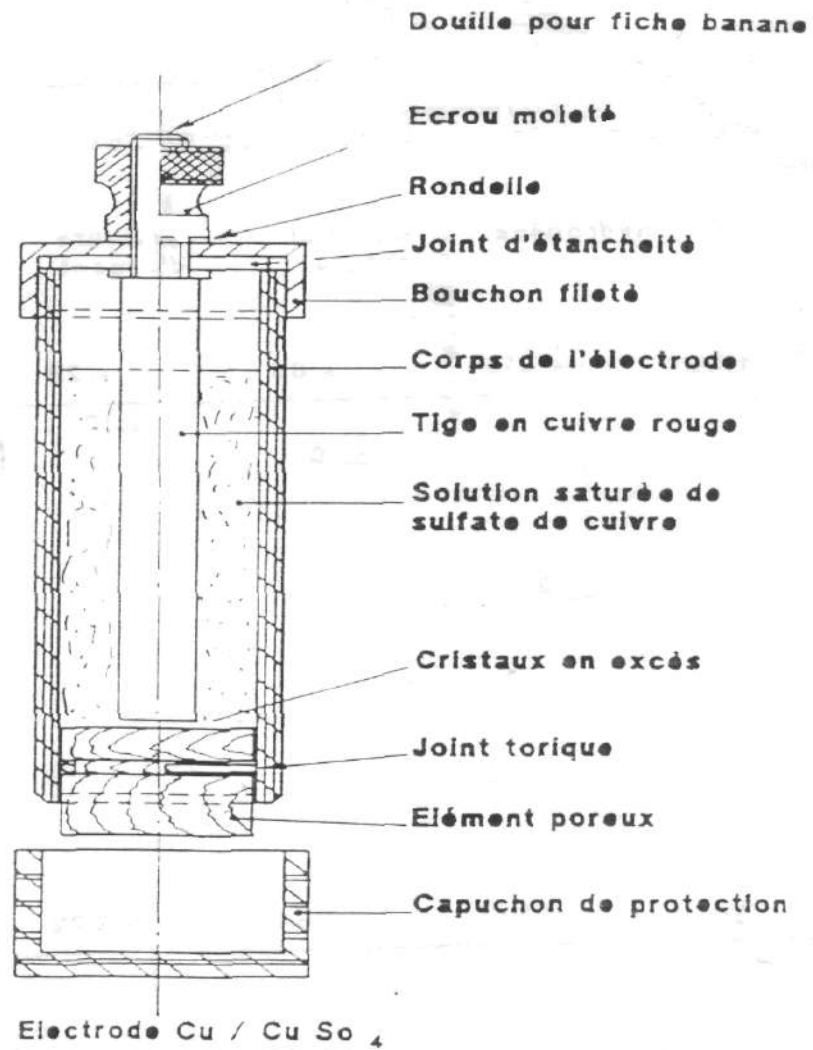


Figure 2.5 : L'électrode au sulfate de cuivre

- **Voltmètre :**

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



Figure 2.6 : Voltmètre

➤ **Mise en service**

- a) procéder à la mise en marche et à la vérification du fonctionnement correct du poste à courant imposé ;
- b) régler le poste de façon à obtenir le niveau de potentiel prescrit dans l'étude. Si des écarts importants apparaissent, il convient d'en préciser la raison à l'aide de mesures ;
- c) si nécessaire, dans le but de limiter le courant débité, la liaison des anodes galvaniques à la structure protégée peut s'effectuer par l'intermédiaire d'une résistance variable ;
- d) effectuer ensuite les mesures suivantes :
 - tension de sortie du redresseur au poste à courant imposé ;
 - intensité du courant de protection ;
 - potentiel à courant établi au point de soutirage (l'électrode doit être positionnée en dehors du cône de tension anodique) ;
 - potentiel à courant établi relié aux extrémités ;
 - influences possibles du courant alternatif ou du courant continu ;
- e) en présence de courants vagabonds, effectuer des mesures pour déterminer le niveau des influences et assurer l'efficacité de la protection cathodique. Ces mesures doivent être effectuées avec les postes de protection cathodique alternativement hors et en service [13].

5. Contrôle de l'efficacité de la protection cathodique

Le contrôle de l'efficacité de la protection contre la corrosion d'un ouvrage enterré consiste à vérifier, par des mesures appropriées de potentiel et de courant, que les critères de protection cathodique sont bien atteints en tous points de l'ouvrage. Mais ce contrôle doit s'attacher à vérifier aussi que la protection passive, telle qu'elle a été précédemment définie dans ses divers rôles, est toujours intacte. C'est pourquoi il sera nécessaire d'apprécier la valeur d'isolement apportée par le revêtement, comme il sera nécessaire de vérifier l'isolement par rapport à d'autres structures enterrées (conduites, fourreaux, tubages...), et l'efficacité des raccords isolants

Tableau IV : Fréquence des contrôles de fonctionnement.

Contrôle de fonctionnement	Fréquence
pour les postes à courant imposé	une fois par mois, ou plus fréquemment si les conditions d'exploitation l'exigent
pour les postes de drainage	une fois par mois, ou plus fréquemment en présence de courants vagabonds importants
pour les prises de potentiel	une fois par mois,

Mesure des potentiels

La mesure du potentiel d'une canalisation se fait aux points accessibles du réseau, par les prises de potentiel réalisées à l'aide d'un câble électrique soudé ou brasé sur la conduite.

Le nombre et les emplacements de ces points de mesures sont définis lors des études.

La protection cathodique étant en service, on mesure le potentiel dit à courant établi, ou potentiel "ON", qui est le potentiel du métal sous application du courant de protection cathodique.

A la coupure du courant de protection, on mesure le potentiel à courant coupé, ou potentiel "OFF". Si cette mesure pouvait se faire instantanément, quelques secondes après la coupure, ce potentiel pourrait représenter le potentiel réel du métal sous protection cathodique, sans prendre en compte les chutes de tension dues à la circulation des courants de protection dans le sol.

Mesure des courants

Les mesures de courant sont effectuées avec des appareils de mesure extérieurs appropriés.

Conclusion

Les conduites en acier qui distribue le gaz naturel exploité par la société **SONELGAZ**, malgré la double protection est exposée à des phénomènes de dégradation par corrosion.

La protection contre la corrosion d'une conduit enterré tel que AC à diffèrent diamètre pouvait être réalisée par application de protection passive (revêtement) associé avec une protection cathodique soit par anode sacrificielle soit par courant imposé qui dont un potentiel de -850mv pour le Cu/CuSo₄, Cette dernière protection est dite active parce qu'elle agit directement sur le processus de corrosion.

Pour l'évaluation de l'efficacité du système de la protection installé le long de la conduite, se fait généralement par des mesures de potentiel et de courant.

Chapitre 03

Matériels et Méthodes

1. Introduction

Dans ce chapitre on détermine les formules et les données de base pour le calcul et la conception des installations de protection cathodique sont ;

- La durée d'exploitation prévue pour l'ouvrage a protégé t (ans).
- Caractéristiques dimensionnelles de l'ouvrage ; longueur diamètre, épaisseur, etc
- Valeur d'isolement de la structure revêtue
- Les résistivités du sol le long de la trace.

2. Résistivité du sol

2.1 Généralité

Le sol entourant la conduite est un élément indispensable à la réalisation de la réaction de corrosion. Celui-ci est non seulement le chemin emprunté par les électrons et le courant de corrosion, mais de part sa nature, il influence la formation de zones anodiques et la vitesse de corrosion à ces endroits de la conduite. Plus les électrons peuvent circuler facilement dans le sol, plus la vitesse de corrosion sera grande et donc plus la conduite sera détruite rapidement. L'hétérogénéité du sol, de part sa composition, son humidité, sa perméabilité, sa porosité, sa teneur en sel ou autres contaminants et par la présence de gaz dissous, favorise l'apparition des phénomènes de corrosion. De même, les fluctuations se produisant dans le sol tel que, les changements saisonniers et climatiques, les variations de l'activité biologique et le niveau de la nappe phréatique, favorise ce phénomène.

La corrosivité des sols peuvent être estimée en mesurant sa résistivité. En effet, la corrosion des structures enfouies est d'autant plus importante que l'échange d'électrons (quantité de courant) entre zones anodiques et cathodiques ainsi que la dissolution du fer est facilitée par la faible résistivité de l'électrolyte, et donc par la faculté du sol à conduire le courant et à permettre la corrosion. Par conséquent, la résistivité est un facteur déterminant dans la propagation de la corrosion. Un sol résistif (faiblement agressif) aura pour caractéristique une faible contribution au processus de corrosion tandis qu'un sol très peu résistif (agressif) permettra l'initiation et la propagation rapide de la corrosion et par conséquent une apparition précoce et importante des bris. De ce fait, la connaissance de la résistivité du sol environnant les conduites en acier peut s'avérer un bon indicateur pour estimer la corrosivité du sol et déterminer les zones propices à la corrosion et établir des plans d'intervention et de prévention en fonction des propriétés. De plus, la connaissance de la résistivité du sol permettra les calculs détaillés de la conception du système de protection cathodique et d'établir les positions stratégiques d'implantation de lits d'anodes

permettant d'assurer une fonctionnalité optimisée du système de protection cathodique mise en place [14].

2.2 Méthodes de mesure de la résistivité du sol

La détermination de la résistivité à l'aide de la méthode des quatre piquets (méthode de Wenner), en fonction de la distance qui sépare les électrodes (piquets) insérés dans le sol , donne approximativement la résistivité total du sol à une profondeur plus ou moins égale au trois quarts (3/4) par rapport à l'espacement des piquets.

La description de la méthode est décrite comme suit :

- Se munir d'un mesurer de terre (Géohm) muni de quatre (04) piquets de terre et le câble de raccordement
- Planter les quatre piquets en respectant l'équidistance (distance « **a** ») entre les piquets.

La distance « **a** » devra être fonction de la profondeur d'enfouissement de la conduit « **h** » avec « **h = 3/4 a** »

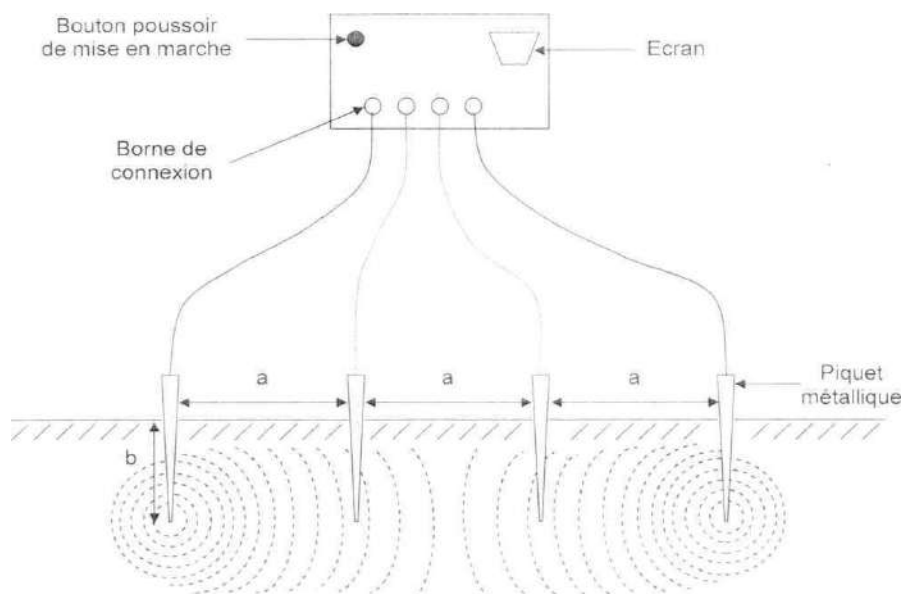


Figure 3.1 : principe de la mesure de résistivité du sol par la méthode de Wenner (a- distance entre deux piquets, b- profondeur d'enfoncement des piquets)



Figure 3.2 : principe de la mesure de résistivité du sol par la méthode de Wenner (a- distance entre deux piquets, b- profondeur d'enfoncement des piquets) dans le terrain

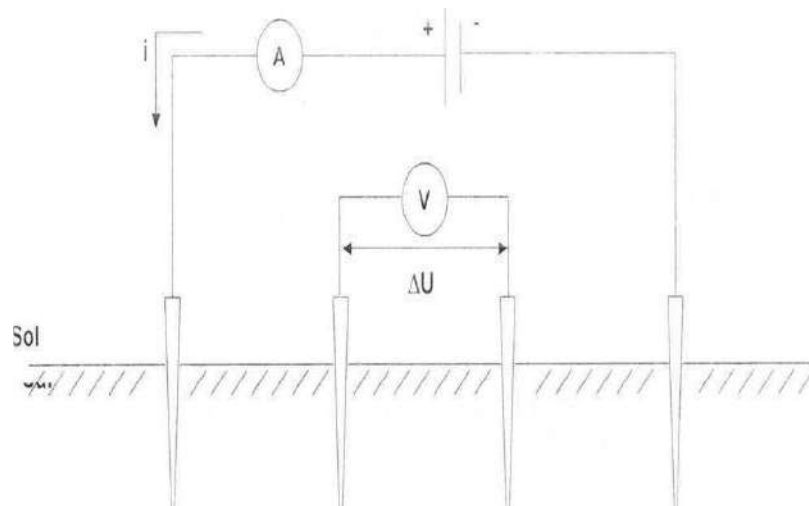


Figure3.3 : méthode de mesure la résistivité [14].



Figure 3.4 : Testeur de résistance de terre **GEOHM** [14].

2.3 Calcule de la résistivité :

La formule concernant la valeur de la résistivité :

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (1)$$

ρ = résistivité du sol en ($\Omega \cdot m$)

a = distance entre les piquets en (m)

R = résistance, valeur lue sur le mesureur de terre (Ω)

- Accorder les quatre piquets au mesureur de terre, en respectant l'ordre de raccordement du plus près au plus éloigné
- S'assurer que les quatre entrées du mesureur de terre sont dé-shuntées
- Lire sur l'afficheur du mesureur de terre la valeur de la résistance
- Calculer suivant la formule (1) la valeur de la résistivité du sol

- Quelques exemples chiffrés cités dans le tableau ci-dessous :

Tableau V : exemples chiffrés de résistivités [14]

Electrolyte	Résistivité approximative (Ω)
Eau de mer	0.20 à 0.33
Eaux minéralisées	5 à 15
Eaux potables douces faiblement minéralisées	50 à 100
Marais	3 à 8
Argiles et marnes	5 à 20
Tourbières	50 à 200
Alluvions anciennes	10 à 20
Limons des plateaux	30 à 50
Terre sablonneuse	50 à 150
Sables sec/graves	200 à 2000

3. PH de sol

Les sols peuvent avoir une réaction acide ou alcaline ; d'autres peuvent être neutres. On mesure la réaction chimique du sol d'après la valeur de son pH. 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.

Mesure de PH :

La méthode la plus exacte pour mesurer le pH du sol consiste à utiliser un pH mètre électrique qui donne directement la valeur du pH quand on plonge des électrodes en verre dans une solution obtenue en mélangeant une part d'échantillon de sol avec deux parts d'eau distillée.

Pour obtenir une idée générale du pH du sol, on peut utiliser sur le terrain du papier de tournesol et des révélateurs de couleur. Le papier de tournesol, qui vire au rouge dans une solution acide et au bleu dans une solution alcaline.

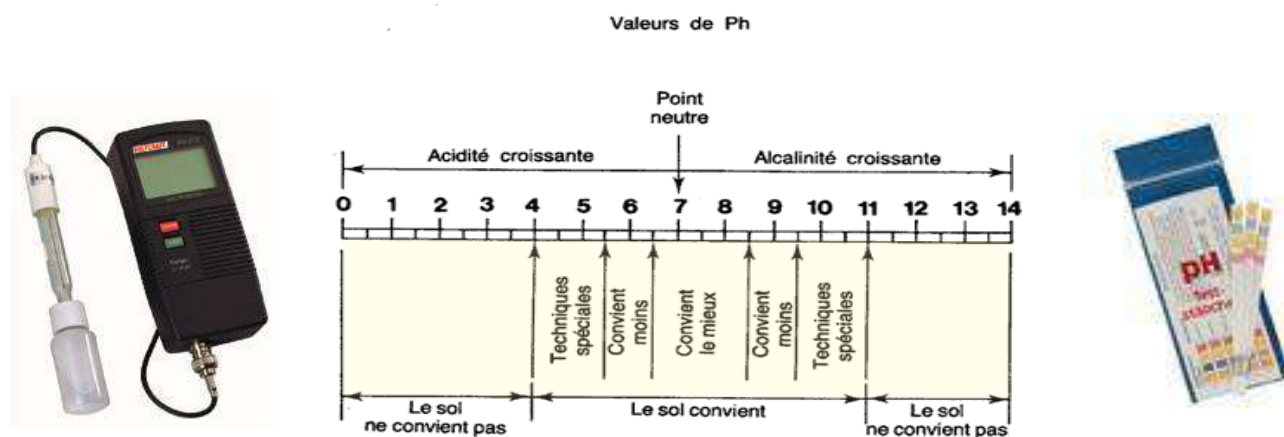


Figure 3.5 : Matériels pour la mesure du pH [15].

4. L'humidité du sol

L'humidité du sol peut être déterminée de plusieurs façons soit par méthode directe (mesures gravimétriques), soit par des méthodes indirectes [15]. Parmi ces dernières on peut citer :

Tableau VI : Méthodes de mesures indirectes de l'humidité [15].

<ul style="list-style-type: none"> • Sonde à neutrons : 	<ul style="list-style-type: none"> - méthode reposant sur les propriétés de réflexion que possèdent les molécules d'eau à l'égard d'un flux de neutrons.
<ul style="list-style-type: none"> • Technique TDR : (Time Domain Reflectométrie) 	<ul style="list-style-type: none"> • méthode déterminant le constant diélectrique du sol, fonction de son état d'humidité.

5. Détermination de la valeur de la résistance d'isolement

La valeur d'isolement moyenne d'un ouvrage, n'est qu'un indicateur du niveau d'isolement moyen de l'ouvrage. Elle est fonction de l'existence des défauts de revêtement, mettant à nu l'acier du tube qui se trouve en contact avec le terrain environnant.

De même, elle dépend de la résistivité du sol qui entoure l'ouvrage ; Plus la résistivité du sol sera faible, plus la résistance d'isolement sera faible et inversement. (Dimensions de l'ouvrage et la nature du revêtement) [14]

5.1 Par essai

L'essai de protection provisoire permettra après vérification des potentiels de l'ouvrage par rapport au sol de définir :

- l'intensité du courant nécessaire à la protection cathodique,

- la valeur de la résistance moyenne d'isolement

Pour le réaliser, il faut disposer :

- d'une source de courant continu (pile ou batterie),
- d'une prise de terre d'essai qui servira de déversoir à proximité de l'ouvrage celle-ci peut être existante (piquet de clôture, grillage). Les dispositifs utilisés soient à une certaine distance de l'ouvrage à protéger (au moins 10 mètres) : défaut on peut enfoncer dans le sol une ou plusieurs barres à mine.

Pour une intensité débitée par ce soutirage, on relèvera le long du réseau les potentiels conduite-sol, trois cas peuvent se présenter :

- Les potentiels de **P.C** sont trop électro-négatifs, l'intensité nécessaire doit être inférieure à celle de l'essai. Il est utile, de procéder à un nouvel essai à une intensité plus faible pour ne pas surdimensionner les installations à mettre en place..
- Les potentiels de **P.C** sont trop faibles ou ne sont pas atteints en tous les points. L'intensité nécessaire à la P.C doit être supérieure à celle de l'essai. Il est nécessaire de procéder à un nouvel essai à une intensité plus forte ou de rechercher les défauts d'isolement.
- Les potentiels de **P.C** sont atteints en tous points. L'intensité nécessaire à la P.C correspond à celle de cet essai = **I**

Cas de courants vagabonds :

En présence de courants vagabonds (variation instantanée du potentiel de l'ouvrage) il est nécessaire de réaliser des enregistrements de potentiel en divers points du réseau de façon à repérer le sens de circulation des courants et localiser leurs zones de sortie.

a) 1ere méthode :

La valeur de la résistance moyenne d'isolement d'une conduite peut être calculée par la formule suivante :

Pour un tronçon donné la résistance d'isolement moyenne sera égale à :

$$R(\Omega m^2) = \frac{\Delta U}{I} \cdot S = \frac{\Delta U}{I} \cdot \pi D L$$

R : valeur d'isolement moyenne approchée en $\Omega.m^2$

ΔU : moyenne des gains de potentiel déterminée en calculant la différence entre le potentiel de l'ouvrage à courant établi, la valeur relevée lors de l'essai, et le potentiel spontané (naturel) de l'ouvrage dans le sol avant l'essai ou le potentiel à courant coupé (déclenché).

I : l'intensité débitée au cours de l'essai exprimé en ampère

S : surface extérieurs de l'ouvrage étudié (à protéger) en m^2

D : diamètre de la canalisation en mètre

L'essai d'isolement est réalisé au moyen d'une source de courant continu (pile ou batterie) et d'un déversoir auxiliaire placé le plus loin possible de la conduite (5 à 10 mètres ou plus). L'essai ne doit pas être réalisé par liaison avec un réseau déjà sous protection cathodique, cela fausserait les résultats.

Mode opératoire

- Choisir un point d'injection à une des extrémités de la conduite par exemple.
- Relever les potentiels à vide de la conduite à chacune des prises de potentiel. S'assurer que les extrémités des prises de potentiel sont bien isolées selon un procédé adapté.
- Mesurer la résistivité du sol en différents points si possible le long du tracé.
- Le déversoir de l'installation à mettre en place est à positionner le plus loin possible de la conduite (5 à 10 mètres au minimum).
- Procéder à l'injection de courant à partir d'une source de courant auxiliaire de telle manière que le potentiel conduite-sol au point d'injection soit de l'ordre de - 1000 à - 1500 mV car on risque de sortir de la zone de linéarité de l'évolution des potentiels en fonction du courant injecté.
- Mesurer le potentiel conduite-sol à courant établi à chacun des points d'accès à la conduite et courant débité pendant l'essai.
- Appliquer la formule mentionnée ci avant.

Remarque :

Pour avoir les deux mesures (marche/arrêt) on peut placer dans le circuit un interrupteur périodique (12sec/ 3sec) pour éviter la polarisation de la conduite.

b) 2^{ème} méthode

Cette méthode peut s'appliquer pour les ouvrages de grande longueur, consiste à procéder à

une série d'injections de courant en un point donné de la conduite à étudier, et à tracer la droite d'évolution des potentiels en fonction des courants injectés. La connaissance de la pente de la droite ainsi calculée permet de déterminer la résistance d'isolement moyenne de la conduite.

Mode opératoire

- S'assurer que les extrémités des prises de potentiel situées le long du réseau sont bien isolées selon un procédé adapté.
- Mesurer la résistivité du sol en différents points si possible le long du tracé.
- Le déversoir de l'installation à mettre en place est à positionner le plus loin possible de la conduite (5 à 10 mètres au minimum).
- Mettre en place un appareillage dans le circuit d'injection pour pouvoir mesurer les débits.
- Procéder à des injections de courant croissant et de courte durée à une des extrémités de la conduite au moyen d'une pile ou batterie et d'un déversoir auxiliaire. Les injections de courant (5 ou 6) doivent être de courte durée de manière à ne pas polariser la conduite étudiée. Le potentiel au repos devra être constant pendant l'essai, et que le potentiel mesuré au point d'injection soit de - 1500mV.
- Relever à chaque injection au droit du point de mesure :
 - ✓ le potentiel à courant enclenché,
 - ✓ le potentiel à courant déclenché,
 - ✓ le débit du courant,
 - ✓ Tracer la droite ΔU en fonction du courant injecté, et en déduire la pente qui s'exprime en Ohm. Cette pente sera multipliée par la surface extérieure de la conduite. et on aura la valeur de la résistance d'isolement.

Remarque :

La détermination de la résistance d'isolement doit être effectuée en 2 ou 3 points de la conduite, les extrémités et la zone centrale.

Si la valeur d'isolement, déterminée selon l'une des méthodes décrites ci avant, est inférieure à la valeur théorique, une recherche de défauts d'isolement doit être entreprise pour localiser :

- l'existence de contacts avec d'autres ouvrages,
- les raccords isolants manquants ou défectueux,
- les détériorations de revêtement.

5.2 Par estimation

En absence d'éléments relevés sur le site d'essais, des valeurs d'isolement sont données a titre indicatif dans le tableau ci-dessous [14] :

Tableau VII : Résistance d'isolement par rapport type de conduite [14]

Type de conduite	Résistance d'isolement en Ωm^2
Réseau de canalisations enterrées avec revêtement très dégradé	500 à 1000
Réseau maillé de canalisations enterrées avec revêtement type C	5000 à 15000
Conduite d'acier enterré avec revêtement type C	5000 à 100000
Conduit d'acier enterrée revêtue en bande PE	10^4 à plus 10^5
Conduit d'acier enterré revêtue en PE extrudé	10^5 à plus de 10^6

Les conditions de pose difficiles, la présence de sol très rocheux ou de terrain imbibé d'eau peuvent abaisser les limites fixées dans ce tableau.

6. Etude de la protection cathodique

La définition de la protection cathodique d'une canalisation procède à la fois de calculs effectués à partir de paramètres à mesurer ou à estimer, et de l'expérience du projecteur.

Les données de base pour le calcul et la conception des installations de protection cathodique sont :

- La durée d'exploitation prévue pour l'ouvrage à protéger t (ans),
- Caractéristiques dimensionnelles de l'ouvrage : longueur diamètre, épaisseur, etc
- les résistivités du sol le long du tracé

6.1 Détermination des formules pour le calcul de la protection cathodique

6.1.1 Protection par anode sacrificielle

Ce mode de protection n'est utilisé que pour la protection des réseaux peu étendus (petites longueurs), doté d'un revêtement de bonne qualité (une bonne résistance d'isolement) et pour lesquels on peut être sûr que des extensions ne seront réalisées dans le futur.

6.1.1.1 Calcul de la résistance d'anode :

$$R_A = (\rho_s / 2\pi L) \ln(2L/d) \quad \Rightarrow \quad R_A = 0.366(\rho_s/L) \log(2L/d)$$

R_A : résistance d'anode en Ω

ρ_s : résistivité moyenne du sol en $\Omega.m$

L : longueur de l'anode en m

d : diamètre de l'anode en m

6.1.1.2 Détermination du courant débité par l'anode :

Sachant que $U = I_A \cdot R_A$

$$\Rightarrow I_A = U/R_A = (U_S - U_A) / R_A$$

U_S : Potentiel seuil de protection = - 0,85 à -1 V (mesurer par rapport à l'électrode Cu/CuSO₄)

U_A : Potentiel naturel de l'anode = - 1,55V pour le Mg et -1,1V pour le Zn

I_A : débit de l'anode en Ampère (A)

R_A : résistance d'anode

6.1.1.3 Détermination du courant de protection du réseau :

$$I_x = i \cdot S = i \cdot \pi \cdot D_{ext} \cdot L$$

I_x = courant de protection du tronçon calculer pour chaque diamètre en ampère (A)

i = densité de courant en mA/m², calculer par la formule

$$i = \frac{E_{rep} - E_{prot}}{R_{is}}$$

Dans le cas où la résistance d'isolement a été calculée par essai de soutirage si non prise comme valeur estimée selon le tableau ci-dessus

E_{rep} : potentiel de la conduite au repos (sans protection) = -0,75 ou -0,4 V (Cu/CuSO₄)

E_{prot} : potentiel seuil de la conduite sous protection = -1 V (Cu/CuSO₄)

Ris : une valeur estimée par le tableau VII en fonction du revêtement

D_{ext} : diamètre extérieur du tube

L : longueur du tube

6.1.1.4 Détermination du nombre d'anode pour un tronçon :

$$N = \frac{Ix}{Ia} = \frac{i \cdot Si}{Ia} = \frac{\pi \cdot D_{ext} \cdot L}{Ia}$$

N : nombre d'anodes pour protéger le réseau

I_x : courant de protection du tronçon de diamètre D en ampère

I_A : débit d'anode en ampère (A)

6.1.1.5 Calcul de la longueur qui sera protégée par chaque anode :

* Calcul de la surface externe **A_{ext}** par mètre linéaire

A_{ext} = $\pi \cdot D_{ext}$ en m² /mètre linéaire de la conduite (L=1 mètre)

*La longueur protégée par une seule anode est

$$L_A = \frac{Ia}{i \cdot A_{ext}}$$

I_A : débit d'une anode qui est calculé dans le paragraphe b

i : densité de courant calculé dans le paragraphe 6.1.1.3 en A/m²

A_{ext} : surface calculé pour chaque diamètre de conduite en m

6.1.2 Protection par soutirage

Le soutirage de courant s'emploie chaque fois que l'intensité nécessaire à la protection est importante :

Conduites enterrées revêtues, dont la longueur dépasse quelques kilomètres,

L'étude permettra de définir :

- le type et la puissance des installations de protection,
- leur implantation géographique, en particulier celles des masses anodiques, - le nombre et le positionnement des dispositifs de contrôle (prises de potentiels).

Dans tous les cas, il sera tenu compte du vieillissement possible de l'isolement de la canalisation, pour déterminer la puissance de l'installation.

Avant de déterminer les formules de calcul on doit expliquer les principales notions, et de donner certains paramètres qui entrent dans les calculs à savoir :

6.1.2.1 Potentiel d'injection

Le potentiel d'injection est défini comme étant l'abaissement du potentiel qu'on doit assurer au point de soutirage afin d'avoir aux extrémités de la conduite des valeurs inférieures aux seuils de protection (< -850 mV/ Cu/CuSO₄).

6.1.2.2 Courant de protection

Défini comme étant l'intensité de courant nécessaire à injecter dans la structure afin d'assurer un abaissement du potentiel par rapport au critère de protection.

6.1.2.3 Résistance longitudinale de la conduite

Les ouvrages métalliques traversés par le courant de protection sont considérés comme des conducteurs, ces conducteurs présentent une résistance au passage d'un courant électrique,

Cette résistance est appelée **résistance longitudinale** et dépend de la nature du matériau et de ses dimensions.

Elle est donnée par la formule suivante : $r = \frac{\rho}{S}$

$$r = \frac{\rho a}{\pi \cdot e(D_{ext} - e)} = \frac{\rho a}{\pi \cdot e \cdot D_{ext}} \quad [\Omega \cdot m^{-1}]$$

r : résistance longitudinale de la conduite en $\Omega \cdot m^{-1}$

ρa : résistivité de l'acier qui varie entre $17 \cdot 10^{-8}$ et $24 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$

e : l'épaisseur du tube en m (il est fonction du diamètre)

D_{ext} : diamètre extérieur de la conduite en mètre.

6.1.2.4 Résistance transversal de la conduit

La résistance transversale R est exprimée en Ωm , est la résistance électrique par rapport au sol d'un mètre de canalisation revêtue.

$$R = \frac{R_{is}}{\pi \cdot D_{ext}} \text{ Ou } R = \frac{\rho a}{2\pi} \left(L n \frac{8L}{D_{ext}} - 1 \right) \quad [\Omega \cdot m]$$

R : résistance transversale de la conduite en $\Omega \cdot m$

R_{is} : résistance d'isolement en $\Omega \cdot m^2$ calculée ou estimée (voir Chap II).

D_{ext} : diamètre extérieur de la conduite en mètre.

$\pi \cdot D_{ext}$: Perimeter (P).

6.1.2.5 Coefficient d'atténuation

$$\alpha = \sqrt{\frac{r}{R}} \quad [m^{-1}]$$

r : résistance longitudinale de la conduite en $\Omega \cdot m^{-1}$

R : résistance transversale de la conduite en $\Omega \cdot m$

Ce coefficient varie de 1 à $20 \cdot 10^{-5} m^{-1}$, il est inversement proportionnel à la valeur d'isolement, plus la valeur d'isolement est importante plus le α est faible et plus la portée de soutirage est importante.

6.1.2.6 Résistance caractéristique

$$R_c = \sqrt{rR} \quad [\Omega]$$

La résistance caractéristique d'un tronçon représente la résistance de terre d'une conduite de longueur infinie.

6.1.2.7 Calcul du courant de protection (structures compactes ou des surfaces réduites)

Dans ce cas on peut utiliser la notion de la densité de courant de protection pour calculer le courant de protection

➤ Cas ou R_{is} connue:

$$I = i \cdot S_T = i \cdot \pi \sum_{i=1}^n D_{\text{ext } i} \cdot L_i$$

I: courant de protection du réseau en ampère (A)

i: densité de courant en mA/m², calculer par la formule $i = \frac{[E_{\text{rep}} - E_{\text{prot}}]}{R_{\text{is}}}$

Ou déterminer à **partir de l'essai**

E_{rep} : potentiel de la conduite au repos (sans protection) = - 0,75 ou 0,4 V (Cu/CuSO₄)

E_{prot} : potentiel seuil de la conduite sous protection (Cu/CuSO₄)

R_{is} : une valeur estimée par le tableau du Chap II en fonction de la nature du revêtement

D_{ext} : diamètre extérieur du tube

L : longueur du tube

➤ **Cas Ris non connue:**

Si on ne connaît pas la valeur de la résistance d'isolement (R_{is}), on peut prendre la surface nue de la conduite (c-à-d la seule surface à protéger), suivant le type de revêtement et les difficultés de pose X la densité de courant donnée par divers auteurs dans les différents milieux =I

Remarque :

Compte tenu de nombreuse hétérogénéité de la structure et du sol, la densité de courant nécessaire est difficile à appréhender, mais des expériences ont permis d'évaluer la densité de courant de protection pour des métaux de différents milieux. Elle est définie par une valeur moyenne égale à la totalité du courant de protection divisée par la surface totale de l'ouvrage à protéger.

Les densités de courant données par divers auteurs dans les différents milieux sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau VIII : Densité de courant par rapport type de conduite [14]

Type de conduite	Densité de courant mA/m ²
Réseau de canalisations immergées avec revêtement type C	0,5 à 1
Réseau de canalisations enterrées avec revêtement type C dégradé	0,3 à 0,6
Conduite d'acier enterrée avec revêtement type C en bon état	0,01 à 0,15
Conduite d'acier enterrée revêtue de PE ou d'époxy	0,001 à 0,1

*Ce tableau reflète l'expérience acquise. Il est donné à titre indicatif et ne saurait justifier à lui seul un calcul de protection cathodique

6.1.2.8 Détermination du poids du rail :

D'après la loi de faraday on sait que la consommation du fer est de 9,15 Kg/Amp.an

$$\rightarrow P = 9.15. I. t \text{ [KG]}$$

P : le poids du rail qu'il faut pour un débit de courant I

t : la durée de vie du rail voulue (20 à 30 ans)

6.1.2.9 Détermination de la longueur du rail :

Sachant que 1 mètre linéaire du rail = 46 kg $\rightarrow L = P/46$ [m]

L : longueur du rail en mètre [m]

P : poids du rail en Kg

6.1.2.10 Calcul de la résistance de terre d'un déversoir :

La résistance de terre d'un déversoir doit être calculée pour être compatible avec les possibilités du générateur de courant continu, qui fournit le courant nécessaire pour la protection du réseau, compte tenu des extensions prévisibles. Cette résistance dépend de la forme du déversoir, de ses dimensions et de la résistivité du sol.

- Pour le rail posé horizontalement :

$$R = \frac{0.366\rho s}{L} \cdot \left[\text{Log} \frac{3L}{2d} + \text{Log} \frac{3L}{8h} \right]$$

R : résistance de terre d'un déversoir en Ω

ρs : résistivité du sol en $\Omega.m$

L : longueur du rail en m

d : diamètre du rail en m = 0.10m

h: profondeur de pose du rail en m

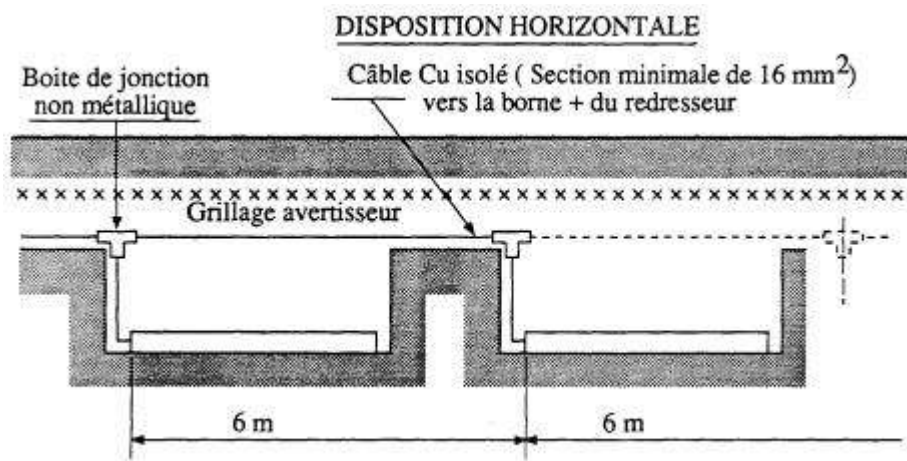


Figure 3.6 : Cas le rail posé horizontalement

- Pour le rail posé verticalement :

$$R = \frac{0.366\rho s}{L} \cdot \left[\text{Log} \frac{3L}{d} \right] = R1$$

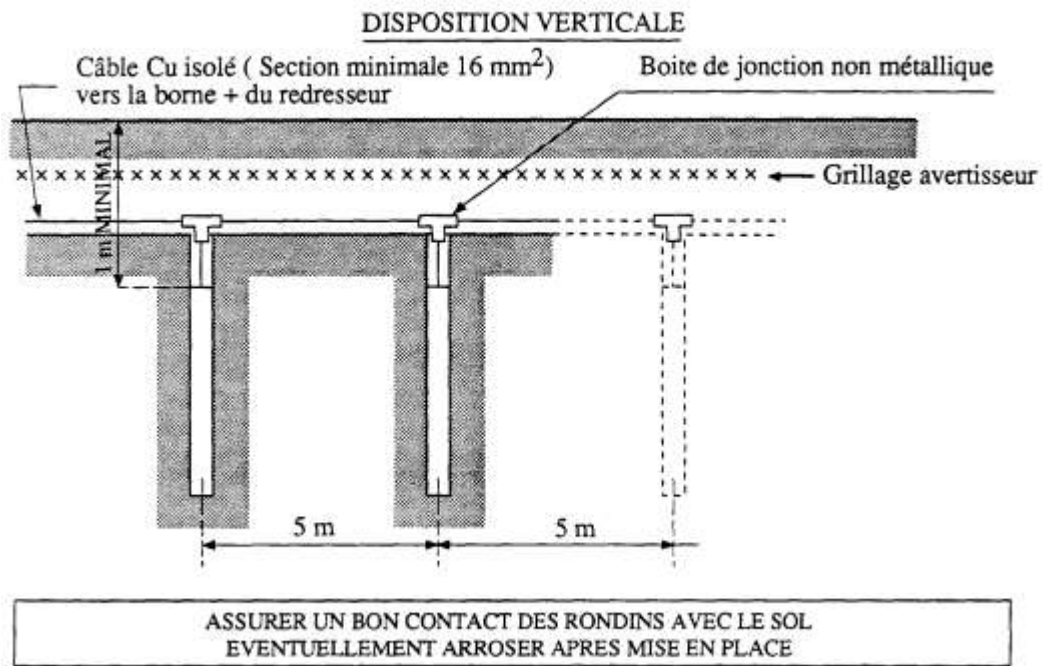


Figure 3.7 : Cas le rail posé verticalement

- Pour les anodes posées verticalement :

$$Rv = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right) = R_1$$

Rv : Résistance de terre en Ω

ρ_s : résistivité du sol en Ωm

L : longueur de l'anode en m

d : diamètre de l'anode en m

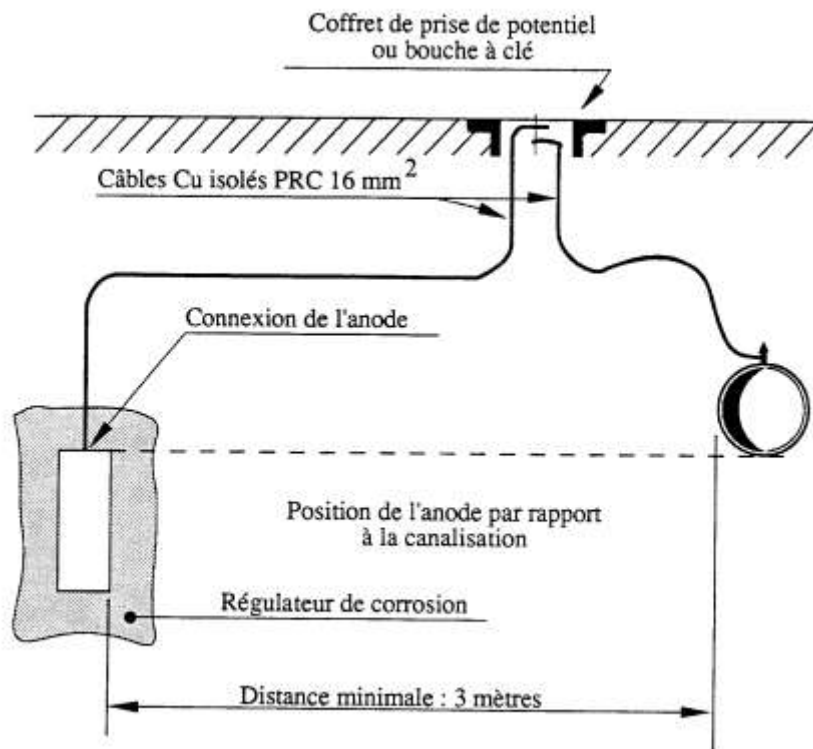


Figure 3.8 : les anodes posées verticalement

- Pour les anodes posées horizontalement :

$$R_h = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{L + \sqrt{(4t-d)^2 + L^2}}{-L + \sqrt{(4t-d)^2 + L^2}} + \ln \frac{L + \sqrt{d^2 + L^2}}{-L + \sqrt{d^2 + L^2}} \right) = R_1$$

R_h : Résistance du déversoir horizontal en Ω

L : Longueur de l'anode m

t : profondeur de pose de l'anode

d : diamètre de l'anode et de son backfill en m

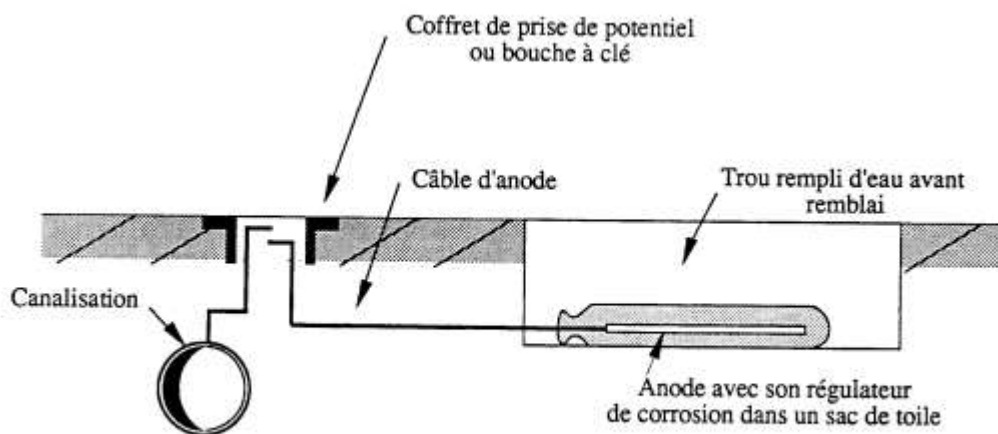


Figure 3.9 : Cas les anodes posées horizontalement

Cette résistance peut être déterminée pour chaque type de déversoir à l'aide des courbes théoriques voir en annexe donnant :

$$R/\rho_s = f(\text{longueur du déversoir})$$

$$R/\rho_s = f(\text{nombre des anodes})$$

Pour une longueur donnée du rail ou nombre déterminé d'anodes on détermine R/ρ_s en %, et pour avoir la résistance on multiplie ce rapport par ρ_s . (Annexe page 2)

Remarque :

* Généralement la pose des déversoirs se fait horizontalement, car cette technique est simple, et demande moins de moyens.

* Estimation de la longueur du déversoir : l'hypothèse de calcul est basée sur la détermination de la résistance du déversoir à la plus faible valeur possible pour éviter une tension trop élevée aux bornes du générateur de courant, la valeur de 1Ω est considérée comme très bonne et les valeurs de 2 à 3Ω très acceptables. Pour assurer cette faible résistance du déversoir, il faut choisir l'emplacement à des zones de faible résistivité.

6.1.2.11 Détermination de la puissance de soutirage :

$$P = \frac{UIs}{\eta} = \frac{RI^2s}{\eta} \quad [\text{Watt}]$$

η : le rendement du redresseur en générale il est de 60 à 75 %

R : la résistance du circuit = $\Sigma Ri = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

R_1 : résistance du déversoir/sol

R_2 : résistance de la conduite /sol

R3: résistance de la conduite

R4 : résistance des

- Calcul de R1 : voir paragraphe 6.1.2.10 page 49
- Calcul de R2 : voir le graphe donnant la résistance de la conduite en fonction de la distance qui sépare le déversoir de la conduite, et selon les différentes résistivités du sol : Voir (Annexe page 03)
- Calcul de R3 :

$$R3 = \frac{\rho a. Lt}{St}$$

- R4 négligeable devant toutes ces résistances varie entre 0,279 et 0,072 Ω

Donc le dimensionnement du redresseur est donné par la tension, l'intensité et la puissance.

6.2 La mise en service d'une installation de protection cathodique :

6.2.1 Objectif

Lors de mise en service d'un dispositif de protection cathodique, on s'assure :

- ✓ Que le critère fondamental de protection cathodique (< -850mV) est obtenu en tout point de l'ouvrage,
- ✓ Que tous les joints isolants sont efficaces,
- ✓ Qu'il n'y a pas de contact entre la conduite et le fourreau
- ✓ Qu'il n'y a pas de contact avec les structures voisines, ou d'influence dommageable.

6.2.2 Procédure de mise en service

Cette procédure comporte les opérations suivantes [14] :

- visites de tous les points de mesures prévus sur l'ouvrage ,
- mesure des potentiels (marche arrêt pour protection par courant impose) , ces mesures seront effectuées sur toutes les prises de potentiel , joints isolants , prises fourreaux etc..
- mise en service de la PC et réglage préliminaire des soutirages de courant en fonction des paramètres déterminés lors de l'étude ,
- relevé des potentiels, des postes de soutirages en service et enregistrement durant au moins 24h s'il y a risque de l'existence des courants vagabonds.

Ces mesures permettront :

- de calculer la valeur d'isolement moyenne de la conduite , et d'en déduire la qualité globale de son revêtement ,
- de juger de l'efficacité des raccords isolants ,
- de mettre en évidence et d'éliminer les contacts fortuits avec les autres structures métalliques, en faisant la recherche de défauts,
- de confirmer éventuellement la présence des courants vagabonds, et de prévoir les dispositions à prendre pour neutraliser leurs effets ,
- de déterminer les besoins réels en courant pour assurer la protection cathodique de l'ouvrage , d'ajuster en conséquence le dispositif de protection (avoir en tous les points de la structure un potentiel $< -850\text{mv}$) .

6.2.3 Document d'installation et de mise en service

Après mise en service des installations de protection cathodique, un dossier doit être constitué et il comprend ce qui suit :

- les caractéristiques du réseau , la liste des éléments pris en compte lors de l'étude , le projet avant la mise en service et la date de mise en service ,
- un plan de conduite avec repérage des points de contrôle , des points de raccordement des installations de P.C , des équipements spéciaux etc
- le dispositif des installations, avec caractéristiques et référence des matériels utilisés , y compris schéma cotés précisant l'implantation des différents éléments (distance , profondeurs et orientations) ainsi que toutes les informations utiles à la bonne marche et à la maintenance de l'installation ,
- les caractéristiques de réglage et de fonctionnement des appareillages et les résultats des mesures effectuées avant et après mise en service , ainsi que la liste des travaux complémentaire à réaliser [14],

Le dossier ainsi constitué doit être archivé et conservé durant toute la durée de vie de l'ouvrage , et à le compléter à chaque modification.

Conclusion

Les canalisations en acier qu'utilise SONEGAS sont, dans la plupart des cas, soumises à un système de protection cathodique par anodes sacrificielles ou par courant imposé. La conception de ces systèmes doit être basée sur l'étude de la variation du potentiel et de l'intensité le long de la structure causée par la chute ohmique. Cette méthode de calcul résout couramment le cas sur toute la longueur.



Chapitre 04

Résultats et Discussion

Introduction

Après avoir décrit la ligne de l'ouvrage métallique et présenté les méthodes et les matériels dans les chapitres précédents, nous consacrerons ce chapitre à la présentation des résultats de mesure de la résistivité du sol, la campagne de mesure de potentiel de la ligne le dimensionnement et leurs discussions.

1. Calcule de la résistivité du sol de région OUARGLA :

$$\rho = 2.\pi.a.R$$

Tableau IX : résultats de dimensionnement de la résistivité ρ de la ligne Bouammer Bamendil

a (m)	R (Ω)	ρ (Ωm)
5	0.3	9.42 (très corrosif)

Tableau X : résultats de dimensionnement de la résistivité ρ de la ligne Rouissat Ouargla

a (m)	R (Ω)	ρ (Ωm)
5	0.5	15.7 (corrosif)

À partir du tableau **Tableau V (chapitre 3)**, nous concluons que le type de sol de la région OUARGLA est argile

2. Détermination de la valeur de la résistance d'isolement :

Nous ne pouvons pas calculer la valeur de la résistance d'isolement car il n'y a pas assez de données, mais nous utilisons Type de conduit (Réseau maillé de canalisations enterrées avec revêtement type C) qui est valorisé la valeur de la résistance d'isolement entre (5000 à 15000) Ωm^2

3. Etude de la protection cathodique

3.1 Protection par anode sacrificielle

La ligne **Bouammer Bamendil** Supposons qu'on a un réseau acier revêtu en revêtement en **type C**, et constitué de :

25 m d'acier diamètre **300 mm**

25 m d'acier diamètre **200 mm**



Figure 4.1 : Tronçon d'acier entre Bouamer et Bamendil

3.1.1 Calcul de la résistance d'anode :

$$R_A = 0.366(\rho_s/L)\log(2L/d)$$

Tableau XI : résultats de dimensionnement de la résistance d'anode R_A

f_s (Ωm)	L(m)	d(m)	R_A (Ω)
9.42	0.73	0.16	4.54

3.1.2 Détermination du courant débité par l'anode :

$$U = I_A \cdot R_A \rightarrow I_A = U/R_A = (U_s - U_A) / R_A$$

Tableau XII : résultats de dimensionnement du courant débité par l'anode I_A

U_s (V)	U_A (V)	R_A (V)	I_A (A)
-0.85	-1.55	4.54	0.033

3.1.3 Détermination du courant de protection du réseau :

$$I_X = i \cdot S = i \cdot \pi \cdot D_{ext} \cdot L$$

$$S = \pi \times D_{ext} \times L$$

$$i = \frac{E_{rep} - E_{prot}}{R_{is}}$$

Tableau XIII : résultats de dimensionnement du courant de protection du réseau Ix

E rep (v)	E prot (v)	R is (v)	i (mA/m ²)	D ext (mm)	L (m)	S (m ²)	Ix (A)
-0.75	-1	5000	0.05	323.9	50	50.88	0.002544

3.1.4 Détermination du nombre d'anode pour un tronçon :

$$N = \frac{Ix}{Ia}$$

Tableau XIV: résultats de dimensionnement du nombre d'anode pour un tronçon N

Ix (A)	Ia (A)	N (anode)
0.002544	0.033	0.077 → 1

3.1.5 Calcul de la longueur qui sera protégée par chaque anode :

$$A_{ext} = \pi \cdot D_{ext} \quad \text{en m}^2 / \text{mètre linéaire de la conduite (L=1 mètre)}$$

$$L_A = \frac{Ia}{i \cdot A_{ext}}$$

Tableau XV : résultats de dimensionnement la longueur qui sera protégée par chaque anode LA

D ext (m)	A ext	Ia (A)	i (mA/m ²)	LA (m)
0.3239	1.018	0.033	0.05	648.33

1 anode avec les caractéristiques données ci-dessus peut protéger **648.33 m** de conduite **300 mm**

Conclusion

Le nombre d'anodes qui de (1) est du à la résistance d'isolement qui est moyenne (10000 Ωm) et une longueur du réseau (50 m) petite longueur.

il est recommandé de protéger par anode sacrificielle que les réseaux peu étendus (petites longueurs), doté d'un revêtement de bonne qualité (une bonne résistance d'isolement) .

3.2 Protection par soutirage

On a un réseau maillé de canalisations enterrées avec revêtement type C dégradé, et constitué de :

- La ligne **Roussate – Ouargla**
 - 3.441 Km** d'acier diamètre **200 mm**
 - 2.640 Km** d'acier diamètre **300 mm**
 - Résistivité moyenne du sol $\rho_s = 15.7 \Omega\text{m}$
 - Résistivité de l'acier $\rho_a = 17.10^{-8} \Omega\text{m}$

3.2.1 Caractéristiques physique :

Tableau XVI : Caractéristiques physique des conduites acier de région Ouargla (La ligne Roussate – Ouargla)

Diamètre Nom (mm)	Diamètre ext (mm)	Epaisseur (mm)	Longueur (m)	Surface (m ²)
200	219.3	3.9	3441	2371
300	323.9	4.1	2640	2686
			St	5057

3.2.2 Calcule des paramètre r, R, a ,Rc :

Ris a été estimée selon le tableau de Chapitre 3 , la valeur prise est celle ou Réseau maillé de canalisations enterrées avec revêtement type C est dégradé **Ris = 1000 Ωm^2**

$$r = \frac{\rho_a}{\pi \cdot e \cdot (D_{ext} - e)} = \frac{\rho_a}{\pi \cdot e \cdot D_{ext}} \quad [\Omega \cdot \text{m}^{-1}]$$

$$R = \frac{R_{is}}{\pi \cdot D_{ext}} \quad [\Omega \cdot \text{m}]$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{r}{R}} \quad [\text{m}^{-1}]$$

$$Rc = \sqrt{rR} \quad [\Omega]$$

Tableau XVII : résultats de dimensionnement des paramètres r, R, α, Rc

Diamètre Nom (mm)	Diamètre ext (mm)	Epaisseur (mm)	f_a (Ωm)	Résistance r en (Ωm^{-1})	Résistance R en (Ωm)	Coefficient α (m^{-1})	Résistance Rc en (Ω)
200	219.3	3.9	17×10^{-8}	6.32×10^{-5}	1.45×10^3	2.1×10^{-4}	0.3
300	323.9	4.1	17×10^{-8}	4.07×10^{-5}	0.982×10^3	2.1×10^{-4}	0.2

3.2.3 Calcul du courant de protection :

- Cas où R_{is} est connue = $1000 \Omega\text{m}^2$

$$I = i \cdot S_T$$

$$i = \frac{[E_{rep} - E_{prot}]}{R_{is}}$$

Tableau XVIII : résultats de dimensionnement du courant de protection I_A

E_{rep} (V)	E_{prot} (V)	R_{is} (Ωm^2)	i (A/m^2)	S_T (m^2)	I (A)
-0.58	-1	1000	4.2×10^{-4}	5057	2.12

Pour cette valeur nous ajoutant 1 A de part et d'autre de l'emplacement du soutirage et ceci pour les futures extensions, ce qui donne un courant de **$I_s = 4.12 \text{ A}$**

- Cas où R_{is} non connu :

Selon le tableau du **parag.g**, la densité de courant observé pour un réseau enterré avec revêtement type C dégradé, est de moyenne **$0.45 \text{ mA}/\text{m}^2$**

Tableau XIX : résultats de dimensionnement courant de protection I_s

i (mA/m ²)	St (m ²)	I (A)	Is (A)
0.45	5057	2.28	4.28

3.2.4 Calcul des caractéristiques du rail :

- Calcul du poids

$$P = 9.15.I.t$$

Tableau XX : résultats de dimensionnement du poids du rail P

I (A)	t (ans)	P (Kg)
4.28	20	783.24

- Calcul de la longueur

$$L = P/46$$

Tableau XXI : résultats de dimensionnement de la longueur du rail L

P (Kg)	L (m)
783.24	17.02

3.2.5 Calcul de la résistance de terre d'un déversoir :

- Pour le rail posé horizontalement :

$$R = \frac{0.366\rho s}{L} \cdot \left[\text{Log} \frac{3L}{2d} + \text{Log} \frac{3L}{8h} \right]$$

Tableau XXII : résultats de dimensionnement de la résistance de terre d'un déversoir

R (Pour le rail posé horizontalement)

f_s (Ωm)	L (m)	d (m)	h (m)	R (Ω)
15.7	17.02	0.1	1.8	0.998

3.2.6 Détermination de la puissance de soutirage :

$$P = \frac{UIs}{\eta} = \frac{RI^2s}{\eta} \quad [\text{Watt}]$$

$$U = R \times I_s$$

$$R = \sum R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

R1 : résistance du déversoir/sol

R2 : résistance de la conduite /sol = 0.5 Ω (voir graphe en annexe)

R3: résistance de la conduite

$$R_3 = \frac{\rho a \cdot Lt}{St}$$

$$St = \pi \cdot D_{ext} \cdot e$$

R4: Résistance des câbles elle est fonction de l'intensité et de la section, généralement elle varie entre **0.279** et **0.07 Ω**

Tableau XXIII : résultats de dimensionnement de la section

D ext (mm)	e (mm)	S (m^2)
219.3	3.9	2.67×10^{-3}
323.9	4.1	4.17×10^{-3}

Tableau XXIV : résultats de dimensionnement de la puissance du soutirage

f_a (Ωm)	Lt (m)	St (m^2)	R1 (Ω)	R2 (Ω)	R3 (Ω)	R4 (Ω)	R (Ω)	Is (A)	U (V)	η (%)	P (watt)
17×10^{-8}	6081	6.8410^{-3}	0.998	0.5	0.15	0.1745	1.823	4.28	7.8	75	44.51

Conclusion

Pour assurer la protection de l'acier qui existe entre la commune de Rouissat et de Ouargla et qui est longueur 6081 m , en utilise un redresseur de puissance 44.51 w et un rail de poids 783.24 Kg et de longueur 17.02 m avec un durée de vie 20 ans.

Pour le réseau entre la commune de Bamendil et Bouammer le réseau existant est en matière PE mais pour la traverser de drain des eaux usées en utilise l'acier d'une longueur 50 m (assembler avec le PE) , de point de vue cout en utilise une anode sacrificielle pour protéger ce tronçon.



Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été consacré à la protection cathodique des structures métalliques enterrées dans le sol comme l'exemple qu'on a abordé des conduites en aciers par l'entreprise national SONELGAZ d'Ouargla qui sert à distribuer le gaz naturel. Les canalisations dont le matériau constitutif est l'acier, Ces derniers sont protégés par des revêtements externe (protection passive) revêtement organique est associé à un système actif de protection cathodique par courant imposé dont le potentiel est maintenu à $-850 \text{ mV/Cu/CuSO}_4$.

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

Le degré d'agressivité du sol est déterminé par la mesure de sa résistivité Un sol très corrosif (faible résistivité) sa vitesse de corrosion est très élevée contrairement au sol peu corrosif (grande résistivité) le taux de corrosivité est très faible. Pour déterminer les valeurs de la résistivité de sol, nous avons utilisé la méthode de Wenner qui nous a permis de définir le degré d'agressivité de milieu, les résultats obtenus ont montré que le sol est corrosif.

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

Les calculs de dimensionnement de la protection cathodique de canalisation nous a permis de connaître le nombre d'anode nécessaire et les caractéristiques de rail pour protéger toute la surface extérieure du conduit.

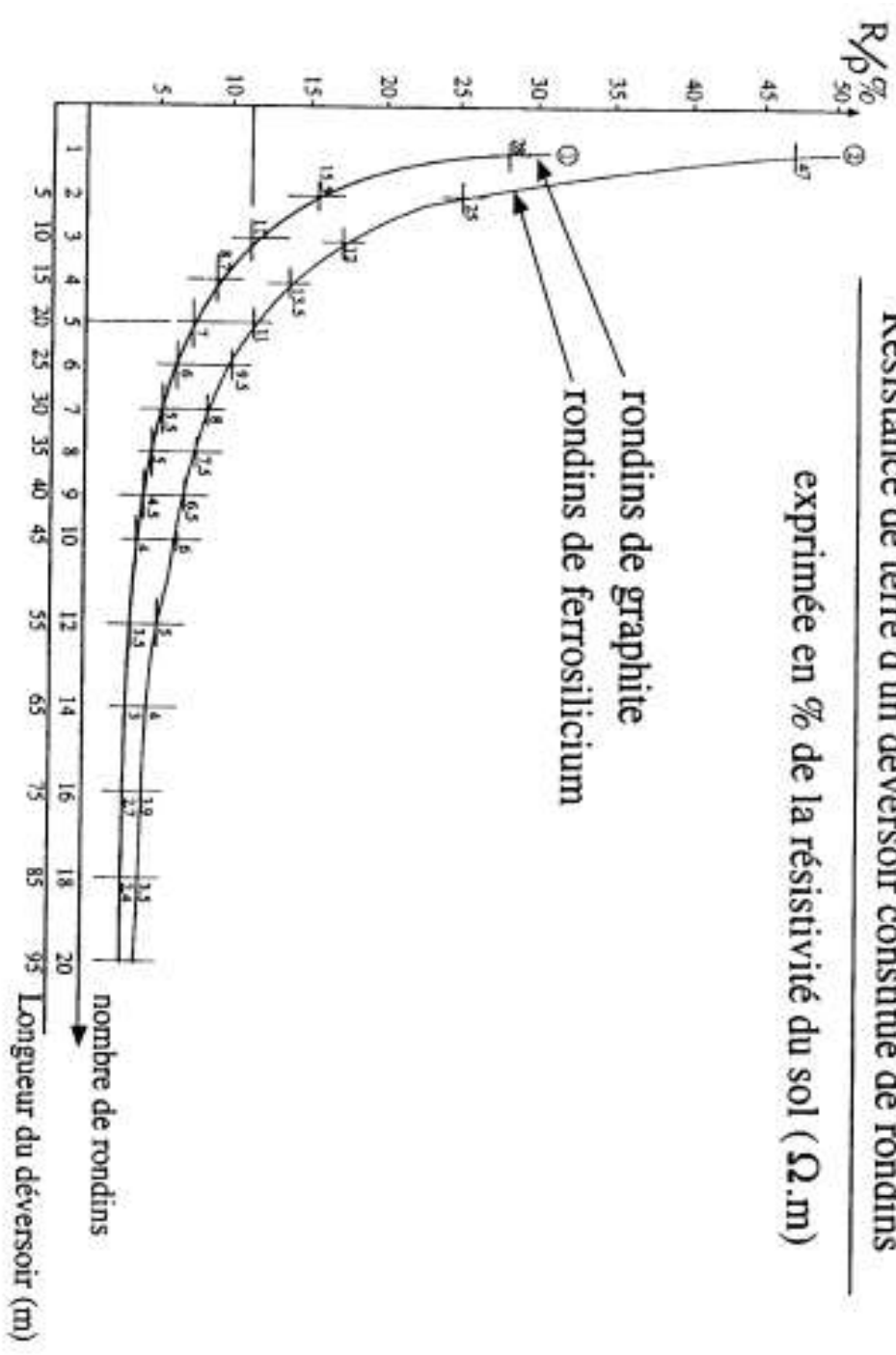
Références bibliographiques

- [1] **Formation1** de protection cathodique, département de la protection cathodique/RTO 2011.
- [2] **Adil Jarrah** Développement de méthodes statistiques et Probabilistes en corrosion par piques pour L'estimation de la profondeur maximale : application A l'aluminium a5. Ecole doctoral n° 432: Sciences des Métiers de l'Ingénieur Décembre 2009.
- [3] **Formation2** de protection cathodique, département de protection cathodique/RTO 2011.
- [4] **M. Ghellai** Etude sur le système de protection Cathodique PC et Maintenance de la Canalisation Multi produit ASR/ NAFTAL mémoire master, université de Tlemcen 2013.
- [5] **Marec**, corrosion et protection cathodique, école d'application des techniques gazières, TRAN 96.2, (1996), Gaz de France.
- [6] **D. Bouzidi**, Corrosion et protection cathodique des conduites souterraines, mémoire Des ingénieurs, école de technologie supérieure université du Québec 2011.
- [7] **Séminaire** de la protection cathodique, service protection cathodique/RTO, 2011.
- [8] **F. Coeuille** Revêtements polymères de canalisation de fluide : Caractérisation et évolution de l'adhésion En milieu agressif 2002.
- [9] **Séminaire** sur les défaillances et technique de réhabilitation des pipelines présenté par Mr Belabbaci, directeur SONATRACH/DRC 2014.
- [10] **Société SONELGAZ Ouargla** coté District gaz.
- [11] **ISO 15589**, Petroleum and Natural gas industries — Cathodic protection of pipeline transportation system — Part 1 November 2003. Part 2 Mai 2004.
- [12] **NACE Standard TM0497** Measurement Techniques Related to Criteria for Cathodic Protection on Underground or Submerged Metallic Piping Systems-2002.
- [13] **NF EN 13509** Techniques de mesures applicables en protection cathodique octobre 2003.
- [14] Documents établi par le département de protection cathodique / District gaz

[15] **S. Ben soltane**, Etude électrochimique de la corrosion des aciers API –5L X-60 pour gazoduc en milieu environnant de sol et protection par inhibiteurs à base de Poly phosphates, mémoire de magister, université USTO Oran, Avril 2009.

Annexes

Résistance de terre d'un déversoir constitué de rondins
 exprimée en % de la résistivité du sol ($\Omega \cdot m$)



R/ρ en %

Résistance de terre d'un rail
exprimée en % de la résistivité
du sol (en $\Omega.m$) en fonction
de la longueur

