

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

Université du 20 aout 1953-SKIKDA



Faculté des sciences

Département de chimie

Mémoire de master professionnel

Filière : Chimie-Spécialité : Electrochimie-Corrosion

Présenté par :

ARBIA Melek

BOUCHARBET Meriem

THEME

DIMENSIONNEMENT DE LA PC D'UN BAC A EAU ANTI-INCENDIE

RTE-SONATRACH-ZONE INDUSTRIELLE DE SKIKDA

Soutenu, le 02/07/2022

Devant le jury :

M^{me}.HOUIENE.Z	MCA	Univ.de Skikda	Présidente
Mr.BELMOKRE.K	Prof	Univ.de Skikda	Rapporteur
M^{me}.CHAOUCH.A	MCB	Univ.de Skikda	Examinatrice

Année universitaire : 2021/2022

Remerciement

On remercie Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a données la force et la volonté d'accomplir ce modeste travail.

Tout d'abord, on exprime toute la reconnaissance envers monsieur le professeur BELMOKRE Kamel, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de nous encadrer, pour ses conseils précieux, ses orientations, et le temps qu'il nous a consacré afin de réaliser ce mémoire.

Nous remercions vivement les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail: Madame HOUIENE Zahia pour avoir présidé ce jury ; Madame CHAOUCH Assia d'avoir accepté d'examiner ce travail au sein du jury. On leur porte notre profonde reconnaissance pour l'intérêt qu'elles ont bien voulu porter à ce travail.

On tient à remercier vivement :

Mr. BOUZEGHAIA Abdellah le chef de département de la PC à la RTE de nous avoir accueillie au sein du complexe.

Madame HAMOUCHE Farida chef de service de technique d'inspection et surveillance à la Région Transport Est – Skikda RTE, pour le temps, l'attention, l'intérêt qu'elle a bien voulu nous témoigner. Ils nous ont donné envie de persévérer dans ce métier pour lequel vous m'avez donné le plus grand respect.

Ainsi que tous les employés du département technique de la RTE SKIKDA, plus spécialement

Madame MEKSEN Nouhed ingénieur en PC

Mr. ABDELADIM Youcef ingénieur en PC

Mr. BOUDJOGHRA Abdeslam ingénieur en inspection des bacs de stockage

Mr. MEBAREK OUDINA Faouzi ingénieur en électricité

Mr. BOUDERDARA Noureddine technicien en électricité

Pour l'aide précieuse qu'ils nous ont prodiguées durant tout le déroulement de notre stage pratique.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents, à ma mère mon pilier,

Pour leur soutien moral, financier et leurs encouragements tout le long de mes études.

A Mes deux chers frères

A ma sœur Meriem

A ma jumelle Maissa

A mon cher mari,

Merci d'être toujours là pour moi.

Ainsi mes amies, à ceux qui m'aiment et toutes les personnes qui font partie de ma vie.

Melek

Dédicaces

Je dédie ce travail et tout travail fourni dans mon parcours scolaire et tout efforts que je ferai au futur si dieux décident à l'âme de l'homme la plus chère que Dieu m'a donné la chance d'être élevé par lui , mon cher papa d'avoir choisi pour moi ce domaine de me soutenir et me pousser et m'encourager à étudier et avancer dans la science particulièrement et dans la vie en général c'est vrai que tu n'existes plus dans cette vie mais sache que tu es vivant toujours dans nos cœurs ; je t'aime papa .

A la femme la plus courageuse au monde qui a sacrifié sa vie pour nous

Ma chère maman

A ma petite sœur

A mon pilier mon Confident

Mon cher Mari et notre joie de vie ma petite Maria

Meriem

SOMMAIRE

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	3

CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

I.1- Histoire de l'entreprise SONATRACH.....	4
I.2- Présentation de la RTE (DRGS).....	4
I.3- Mission de la DRGS.....	5
I.4- Constitution de la RTE.....	6
I.5- Fiche technique.....	7
I.5.1- Réseau anti-incendie.....	7
I.5.2- Historique des bacs RTE.....	7
I.6- Terminal Arrivée Gaz (TAG).....	8
I.7- Champ d'action du département Entretien Lignes et Bac (ELB).....	8
I.8- Consistance des travaux pour réservoir.....	8
I.8.1- Travaux préparatoires.....	8
I.8.2- Les gros œuvres.....	9
I.9- Caractéristiques techniques et modalités d'exécution des travaux.....	9
I.9.1- Caractéristiques techniques du déversoir.....	9
I.9.2- Modalités d'exécution des travaux.....	10
I.9.2.1- Dégazage, Nettoyage, Dégraissage et évacuation des sédiments.....	10

CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE ET GENERALITES

II.1- Types de réservoirs.....	12
II.2- La corrosion.....	12
II.3- Processus de corrosion.....	14
II.4- Potentiel d'électrode.....	16
II.5- Diagramme de M. Pourbaix.....	16
II.6- Différents types de corrosion.....	18
II.6.1- Corrosion uniforme.....	18
II.6.2- Corrosion localisée.....	18
II.6.3- Corrosion par piqûre.....	19
II.6.4- Corrosion caverneuse.....	19
II.6.5- Corrosion intergranulaire.....	19
II.6.6- Corrosion galvanique.....	19
II.6.7- Corrosion filiforme.....	20
II.7- Facteurs de la corrosion.....	20
II.7.1- Composition du métal.....	20
II.7.2- Propriétés physico-chimiques.....	20
II.7.3- Hétérogénéité de la structure métallique.....	21
II.7.4- Caractéristiques du sol.....	21
II.7.5- Corrosion atmosphérique.....	21
II.8- Lutte contre la corrosion par les sols.....	23
II.8.1- Protections électrochimiques.....	23
II.8.1.1- Protection anodique.....	24
II.8.1.2.1- Histoire de la protection cathodique (PC).....	24
II.8.1.2.2- Principe de la protection cathodique.....	24

a) Protection par anodes sacrificielles.....	25
b) Protection cathodique par courant imposé.....	26
II.8.1.3- Notion de surprotection.....	27
II.9- Critères de la protection cathodique.....	28
II.9.1- Potentiel de protection cathodique.....	28
II.9.2- Densité de courant de protection cathodique.....	29
II.10- Résistance des éléments.....	29
II.10.1- Revêtement associé à la protection cathodique.....	30
II.11- Comparaison entre (PCAS) et (PCCI).....	30
II.11.1- Critères de choix.....	30
II.12- Corrosion par les sols.....	31
II.12.1- Résistivité du sol(ρ).....	31
II.12.1.1- Détermination de la résistivité des sols.....	33
II.13- Méthodes de protection.....	35
II.13.1- Les inhibiteurs de corrosion.....	35
II.13.2- Les revêtements et peintures.....	36
II.13.3- Protections Anodique et Cathodique (Voir II.9.1.1et II.9.1.2).....	38

CHAPITRE III : APPAREILLAGE ET METHODES EXPERIMENTALES

III.1- Mesure de la résistivité du sol.....	39
III.1.2- Méthode de Winner.....	39
III.2- Mesure du pH du sol.....	40
III.3- Contrôle de protection cathodique.....	40
III.3.1 - Electrode de référence de Cuivre [Fig.18].....	41
III.3.1- Mesure de potentiel.....	42
III.2- Détection de la perte de métal (mesureur d'épaisseur).....	43

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT DE LA PROTECTION CATHODIQUE

IV.A- Problématique cas pratique et activités parallèles.....	44
IV.A.1-Problématique.....	44
IV.A.2- Hypothèses et données de base.....	44
IV.A.2.1- Hypothèses.....	44
IV.A.2.2- Données de base.....	44
IV.A.2.2.1- La virole.....	45
IV.A.2.2.2- Le fond du réservoir.....	45
IV.B- Calcul de dimensionnement.....	46
IV.B.1- Méthodologie de dimensionnement d'un bac anti-incendie.....	46
IV.B.1.1- Définition des hypothèses de calcul.....	46
IV.B.1.2- Définition des codes de calcul.....	46
IV.B2- Caractéristiques du bac de stockage à eau anti-incendie.....	47
IV.B.2.1- Données de base pour le dimensionnement.....	47
IV.B.2.2- Données du site.....	48
IV.B.2.3- Nature du sol.....	48
IV.B.2.4- Objet.....	48
IV.B.2.5- Réglementation.....	48
IV.B.2.6- Caractéristiques du bac.....	49
IV.B.2.7- Collecte de données.....	49
IV.B.2.8- Description du système de protection cathodique provisoire.....	49

IV.B.2.8.1- Mode d'installation du système de protection cathodique provisoire.....	49
IV.B.2.9- Caractéristiques de l'anode sacrificielle.....	50
IV.B.3- Dimensionnement de la protection cathodique provisoire.....	51
IV.B.3.1- Calcul du nombre d'anodes pour la protection cathodique du bac.....	51
IV.B.3. 2- Calcul des dimensions du bac.....	53
Conclusion Générale.....	55

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES (I, II, III)

Liste des figures

Figure.1	Situation géographique de la RTE (DRGS).....	5
Figure.2	Illustration du site avec le procédé de transport du pétrole brut et du condensat....	6
Figure.3	Patrimoine de la Région de Transport Est – Skikda (RTES).....	11
Figure.4	Cycle de la corrosion.....	13
Figure.5	Processus anodique et cathodique de la corrosion.....	14
Figure.6	Sens de propagation des ions et des électrons.....	14
Figure.7	La cellule de corrosion.....	15
Figure.8a	Diagramme de Pourbaix E-pH pour le couple Fe-eau à 25°C.....	16
Figure.8b	Diagramme de Pourbaix $Fe - H_2O$ à 25 ° [7].....	17
Figure.9	Diagramme de Pourbaix, simplifié, pour le fer dans l'eau à 25 °C [7].....	17
Figure.10a	Percement d'une canalisation d'eau Enterrée dans le sol de Mila (K. Belmokre).....	21
Figure.10b	Déboîtement d'une canalisation d'eau enterée dans le sol de Mila (K. Belmokre).....	21
Figure.10c	Corrosion interne et externe d'une canalisation.....	21
Figure.11	Principe de la protection cathodique par anode sacrificielle [30].....	24
Figure.12	Principe de la protection cathodique par courant imposé [34].....	25
Figure.13	Bac à eau anti-incendie -Complexe Arezew- SONATRACH.....	33
Figure.14	Equipements pour la mesure de la résistivité du sol.....	39
Figure.15	Mesure de la résistivité (Méthode de Winner.....	40
Figure.16	pH mètre pour la mesure de la valeur de pH.....	40
Figure.17	Mesure de potentiel de protection cathodique.....	41
Figure.18	Electrode de cuivre au sulfate saturé.....	42
Figure.19	Millivoltmètre haut impédance étalonné.....	43
Figure.20	Mesureurs d'épaisseur avec appareil à ultrason de tôle métallique.....	43
Figure.21	Détails d'implantation de la protection cathodique provisoire.....	54
Figure.22	Installation de la Prise de Potentiel Simple.....	55

Liste des tableaux

Tableau 1. Potentiels standards de quelques couples Redox donnés par rapport à ENH [5]..	15
Tableau 2. Taux de corrosivité en fonction du pH et du sol.....	22
Tableau 3. Densité de courant de protection cathodique pour l'acier nu [37].....	27
Tableau 4. Comparaison entre les deux méthodes de protection cathodique [28,29].....	28
Tableau 5. L'agressivité du milieu en fonction de sa résistivité [42].....	29
Tableau 6. Répartition des types de sols selon les plages de résistivité.....	31
Tableau 7. Epaisseur nominale minimale de la virole.....	45
Tableau 8. Epaisseur nominale minimale de la tôle de fond.....	45
Tableau 9. Caractéristiques physiques de l'anode de magnésium.....	51
Tableau 10. Composition du BACKFILL.....	51
Tableau 11. Caractéristiques chimiques de l'anode de Mg.....	51
Tableau 12. Caractéristiques physiques.....	52

Résumé

Le travail réalisé durant le stage avait pour thème : « Dimensionnement d'un bac de stockage à eau anti-incendie : cas de l'unité de TRC - Sonatrach ». Pour ce faire, nous avons structuré notre travail, en plus de la conclusion générale, en 4 chapitres qui seront identifiés dans l'introduction.

Les réservoirs de stockage sont nécessaires à l'exploitation des champs pétroliers dans la mesure où ils permettent d'assurer une continuité de production. Le service inspection dans la société SONATRACH est responsable du parc de stockage et veille à ce qu'il reste fonctionnel le plus longtemps possible. C'est dans cet objectif que nous avons présenté une étude de protection cathodique par anode sacrificielle d'un bac de stockage à eau anti-incendie, se trouvant dans l'unité de TRC-SONATRACH ; pour tenter de prolonger sa durée de vie, et empêcher une éventuelle attaque corrosive causant sa dégradation, et prévenir tout risque lié aux explosions, en se basant sur la réglementation des normes API, ASTM, ASME, BSI, NF EN et d'autres formules empiriques.

Mots clés : bac, corrosion, stockage, protection, dimensionnement

Abstract

The work carried out during the training course had for theme: "Dimensioning of a water storage tank anti-fire: case of the unit of TRC - Sonatrach". To do this, we have structured our work, in addition to the general conclusion, in four chapters that will be identified in the introduction.

The storage tanks are necessary for the exploitation of oil fields insofar as they allow to ensure a continuity of production. The inspection department in SONATRACH is responsible for the tank farm and ensures that it remains functional as long as possible. It is in this objective that we have presented a study of cathodic protection by sacrificial anode of a water storage tank, located in the unit of TRC-SONATRACH; to try to extend its life, and prevent a possible corrosive attack causing its degradation, and prevent any risk related to explosions, based on the regulations of the standards API, ASTM, ASME, BSI, NF EN and other empirical formulas.

Key words : tank, corrosion, storage, protection, sizing

ملخص

تعتبر صهاريج التخزين ضرورية لاستغلال الحقول النفطية بقدر ما تضمن استمرارية الانتاج حيث ان قسم التفيتيش في شركة سوناطراك مسؤول عن منطقة التخزين ليضمن استمرارها في العمل لأطول فترة ممكنة. ولهذا الغرض قدمنا دراسة خاصة خلال فترة التدريب (حالة وحدة سوناطراك للنقل عبر الانابيب) عن كيفية حماية خزان المياه لمكافحة الحرائق بواسطة الانود المضحي ؛ سعيا لمحاولة اطالة عمرها ، ومنع أي هجوم لظاهرة التآكل التي تسبب تدهورها وكذلك لتجنب أي مخاطر متعلقة بالانفجارات

بناءا على تنظيم بعض المعايير التالية

API ,ASTM ,ASME ,BSI ,NF EN

الكلمات المفتاحية: الخزان ، التآكل ، التخزين ، الحماية، حساب الابعاد

Introduction générale

Introduction générale

Avec le développement croissant de l'industrie pétrolière, les bacs de stockage deviennent de plus en plus importants et nécessaires pour le stockage des fluides (pétrole brut et ses dérivés). On les trouve dans généralement tous les complexes : Hassi Messaoud, Arzew, Alger (Berraki), Skikda et en nombre élevé.). Les bacs de stockage sont souvent de forme cylindrique Horizontale, Sphérique, verticale perpendiculaire au sol avec des fonds plats ou bombés, et un toit fixe ou flottant.

La TRC de la zone de Skikda, de l'entreprise Internationale nationale « SONATRACH », compte approximativement une vingtaine de bacs de stockage y compris ceux à eau anti-incendie.

Ces équipements ne sont pas épargnés de la corrosion, qu'elle soit interne ou externe. Généralement ces structures ont le fond posé sur un radier en béton armé ou sur couronne, enterré dans le sol.

Le sol considéré comme un électrolyte aqueux, il contient de l'air, dans lequel on rencontre l'oxygène, l'azote et d'autres traces d'éléments. Son humidité varie en fonction de la profondeur. Donc, le sol peut être considéré comme conducteur et sa conductivité varie en fonction de l'humidité du sol. Plus la conductivité est élevée, plus le sol devient agressif, en d'autres termes sa résistivité est faible, et dans ce cas les réservoirs subissent des dégradations. La surface la plus exposée à l'attaque corrosive du bac est son fond en contact avec l'environnement.

Le sol est un milieu complexe et très hétérogène, même chose pour sa composition. D'autres facteurs liés au sol sont : le pH, la teneur en oxygène, la température, l'humidité, la nature du sol, la compacité, etc... Ces facteurs peuvent conduire à de la corrosion.

La corrosion est un problème majeur qui ne cesse de ravager, si on n'agit pas à temps et on ne prend pas les dispositions nécessaires, l'industrie pétrolière et en particulier celle du raffinage de pétrole.

Introduction générale

Pour lutter contre ce fléau, afin de le ralentir, minimiser les pertes de matière, empêcher le gaspillage de l'acier et sauvegarder la plupart des équipements et installations, éviter leur dégradation et prolonger leur durée de vie, on doit agir en prévention en les mettant sous protection cathodique.

L'installation de cette technique, largement utilisée, exige l'intervention de spécialistes, nécessite l'emploi d'un matériel spécifique et demande un calcul de dimensionnement rigoureux.

Le but de notre étude, est de protéger les structures enterrées dans le sol, comme, par exemple, les bacs de stockage.

En Algérie, l'entreprise internationale de Sonatrach est la seule compagnie qui possède un équipement important de ce genre. Nous citons à titre d'exemple, les importantes raffineries de Skikda, Arzew, Berraki (Alger), In amenas et Hassi Messaoud.

Notre action est que, si ces ouvrages sont protégés cathodiquement, on est appelé à effectuer les mesures suivantes et contrôler l'efficacité de la Protection Cathodique :

Potentiel de protection,

PH du sol,

Résistivité du sol,

Perte d'épaisseur.

La mesure de ces différents paramètres, nous guide dans la lutte contre la corrosion extérieure des fonds de bacs en contact avec le sol et des accessoires qui lui sont annexés.

Si la PC n'a pas été installée, dans ce cas, on doit procéder à une étude de dimensionnement pour son emplacement. Cette technique demeure la plus importante dans la lutte contre la corrosion des installations industrielles pétrolières, dans le transport de gaz, de pétrole et d'autres effluents etc...

Introduction générale

De peur, des incidents qui peuvent arriver à ces réservoirs, l'entreprise Sonatrach a procédé à la mise en place d'un système anti-incendie qui permet de prévenir tout risque lié aux explosions. Le système anti-incendie a parmi ses équipements, les bacs qui permettent de stocker l'eau, pour l'utiliser au moment opportun. Donc, leur protection s'impose. et c'est dans ce sens que nous avons procédé au calcul de dimensionnement d'un bac implanté à l'unité TRC –Sonatrach – Skikda.

Nous avons structuré notre travail en quatre chapitres.

Le premier portait sur la présentation de l'entreprise, le second sur les généralités où nous trouvons de brefs rappels sur les réservoirs, la corrosion et ses modes, les facteurs de corrosion et les moyens de protection ; le troisième concerne l'appareillage et les méthodes expérimentales employés, le quatrième a été scindé en deux grandes parties A et B. La partie A, a trait à la problématique, les cas pratique et les activités parallèles où nous abordons le Dimensionnement d'un bac anti-incendie : cas de TRC –Skikda, dans lequel, nous avons listé certaines hypothèses et données de base. Dans la partie B, nous présentons les calculs de dimensionnement du bac en question et nous terminons par une conclusion générale, des références bibliographiques et des annexes.

Chapitre I

Présentation de l'entreprise

I-1-Historique de l'entreprise SONATRACH

La SONATRACH est créée le 31/12/1963 par le décret N°63-49 pour assurer le transport et la commercialisation des hydrocarbures (Société Nationale de Transport et de la Commercialisation des Hydrocarbures).

Elle s'est vite élargie par le décret N°66-296 du 22/09/1966 pour devenir une Société Nationale pour la recherche, la production, le Transport, la Transformation et la Commercialisation des Hydrocarbures.

En 1966, les pouvoirs de SONATRACH se sont élargis à la prospection, à la production, au raffinage et à la fabrication des produits chimiques.

Le groupe SONATRACH a divisé ses activités opérationnelles en 4 activités:

- L'activité Amont (AMT) : recherche, exploration et production ;
- L'activité transport par canalisation (TRC) : transport des hydrocarbures liquides et gazeux ;
- L'activité Aval : raffinage, pétrochimie, liquéfaction du gaz naturel ;
- L'activité Commerciale (COM) : commercialisation des hydrocarbures et leurs dérivés sur le champ national et international.

I-2- Présentation de la RTE (D.R.G.S)

I.2.1- Localisation

La RTE de Skikda est localisée comme suit :

Siège de la Région Transport Est - Skikda

Zone industrielle Hamrouche Hamoudi

Commune : Hamadi Krouma

Daira : Ramdane Djamel

Wilaya : Skikda

La branche transport par canalisations « TRC » gère actuellement le réseau national de pipelines couvrant le territoire national et reliant le nord de l'Afrique à l'Europe, d'une

longueur supérieure à 16000 Km, ce réseau achemine les hydrocarbures liquides et gazeux des principaux centres de collecte vers les ports et les usines de traitement.

Elle assure l'exploitation et le développement de ce réseau grâce à ses différentes directions régionales :

- RTO(ORAN);
- RTI (AIN AMENAS);
- RTC (BEJAIA);
- RTH (HAOUD EL HAMRA);
- RTE (SKIKDA).
- GEM
- GPDF

La Direction Régionale de SKIKDA est mise en exploitation en 1971 par le décret exécutif N° 98- 339, elle est implantée dans la zone industrielle des hydrocarbures de Skikda sur une superficie de 110 ha, la figure 1 illustre la situation géographique de la RTE :



Figure.1 Situation géographique de la RTE (DRGS).

I-3-Missions de la D.R.G.S

La Direction Régionale de Skikda est chargée du transport des hydrocarbures liquides et gazeux par canalisations à partir des centres de dispatching de Haoud El Hamra et HASSI R'MEL vers les centres de consommation ; de transformation et le port pétrolier de Skikda.

Elle est chargée de l'exploitation du réseau de pipelines.

I-4-Constitution de la RTE

La Région Transport Est comporte les ensembles suivants :

- 4 Stations de pompages : SP1 (Haoud El Hamra), SP2(Djemaa), SP3(Selgua), SP4 (Barika)
- 5 Stations de compression : SCA(HassiDelaa), SCB(Boumagar), SCC(CHAIBA), SCD (Barika), SCE (Ain Djasser) ;
- Terminal Arrivée Oléoduc (T.A.O) :

Au niveau de ce terminal, le pétrole brut et le condensat sont réceptionnés et stockés, dans des Bacs (14 pour le pétrole brut 4 pour le condensat) d'une capacité de 51200 m³ pour chacun, il contient aussi 3 Bacs d'eau de ballast et huiles récupérées de 5000 m³ chacun. Après une décantation de (24 à 48h), le contenu est expédié en grande partie vers les complexes de traitement et le port pétrolier de Skikda pour exportation.

La figure 2 illustre ce site avec le procédé de transport du pétrole brut et du condensat

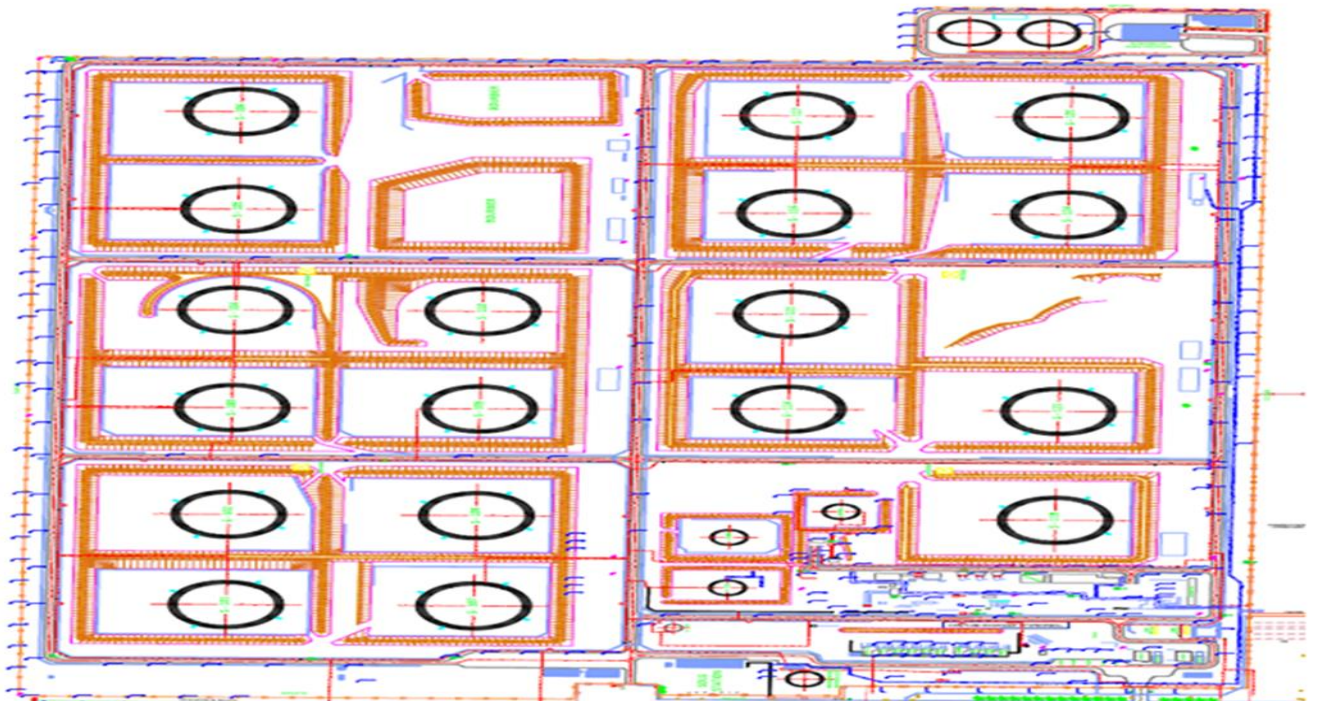


Figure.2 illustration du site avec le procédé de transport du pétrole brut et du condensat.

I.5-Fiche technique

I.5.1 Réseau anti- incendie

Réservoirs à toit flottant

Barrage de mousse : tôles en acier épaisseur 4,76 mm

Tuyauteries + colonnes montantes diamètre 3", nombre 05

Vanne diamètre 3", nombre 05

Couronne de mousse diamètre 2", nombre 10

Déversoirs de mousse diffuseurs, nombre 10

I.5.2- Historique bacs RTE

Réservoir	Diamètre (en m)	Hauteur (en m)	Capacité (en m³)	Année de const	Produit stocké
Bac S101	66,750	14,740	51200	1970	Condensat
Bac S102	66,750	14,740	51200	1970	Brut
Bac S103	66,750	14,740	51200	1970	Brut
Bac S104	66,750	14,740	51200	1970	Brut
Bac S105	66,750	14,740	51200	2010	Brut
Bac S106	66,750	14,740	51200	2010	Brut
Bac S107	66,750	14,740	51200	1970	Condensat

Bac S108	66,750	14,740	51200	1970	Condensat
Bac S109	66,750	14,740	51200	1970	Brut
Bac S114	66,750	14,740	51200	1975	Brut
Bac S115	66,750	14,740	51200	1975	Brut
Bac S116	66,750	14,740	51200	1975	Brut
Bac S117	66,750	14,740	51200	1975	Brut
Bac S122	66,750	14,740	51200	1975	Brut
Bac S125	66,750	14,740	51200	1975	Brut
Bac S118	66,750	14,740	51200	2007	-
Bac S123	66,750	14,740	51200	2007	Condensat
Bac S119	21,34	14,64	5200	1970	Brut
Bac S119 bis	21,34	14,64m	5200	2007	Brut

I.6- Terminal Arrivée Gaz (T.A.G)

Quant au gaz naturel, du centre national de dispatching gaz de Hassi R'mel via les gazoducs GK1 (40") et GK2 (42") et GK3 (48"), est successivement comprimé dans des Stations de Compression. Reçu au Terminal Arrivée Gaz, subira une filtration préliminaire dans une batterie de séparateurs (06) pour être ensuite dirigé vers les vannes de régulation de pression.

I-7-Champ d'action du département Entretien Lignes et Bacs de Stockage (E.L.B)

Le département entretien Lignes et Bacs de Stockage est chargé des missions d'intervention sur les ouvrages et de l'entretien des lignes, il a pour mission : l'entretien des bacs de stockage.

Après une certaine durée d'exploitation des bacs, Un amas de boue importante se forme progressivement par décantation des sédiments au fond des bacs. Suite à cela une opération d'entretien des bacs s'avère nécessaire pour éliminer ces sédiments formés selon les opérations :

- Ventilation forcée et dégazage du bac permanent durant toute la durée de l'opération ;
- Evacuation des sédiments et nettoyage ;
- Grattage et dégraissage pour une bonne inspection visuelle de l'état de surface ;
- Sablage et application des revêtements dans le bas de la robe et du fond de bac ;

I.8- Consistance des travaux pour chaque réservoir

I.8.1- Travaux préparatoires

- Mobilisation et installation du chantier ;
- Ouverture des trous d'homme ;
- Installation des extracteurs pour évacuer les gaz emmagasinés à l'intérieur du réservoir et empêcher toute formation de vapeur inflammable.

- Validation des procédures de nettoyage, sablage, peinture, revêtement et réparation du fond et du toit de bac.

I.8.2- Les gros œuvres

- Dégazage, nettoyage, dégraissage et évacuation des sédiments

- Rénovation partielle du fond

- Rénovation partielle du toit

- Fourniture et montage des accessoires :

- Joint annulaire neuf – Modèle récent (double lèvres) :
- Rénovation du réseau mousse anti- incendie
- Remplacement du flexible d'évacuation des eaux pluviales (Fléxi-drain)

- Sablage et peinture extérieure

- Sablage, brossage, peinture et revêtement intérieur

- Remise en état des lieux

I.9- Caractéristiques techniques et modalités d'exécution des travaux

I.9.1- Caractéristiques techniques du réservoir

- Réservoir à toit flottant.
- Diamètre : 66 m
- Hauteur : 14,74 m
- Volume de stockage : 51200 m³
- Epaisseur toit : 4.76 mm
- Produit stocké : Pétrole brut ou Condensât
- Année de construction : 1977
- Joint annulaire : primaire à liquide; secondaire à écailles
- Nuance d'acier des tôles de fond : Tôles de fond A 283 C épaisseur : 6,35 mm
- Tôles de bordure A 283 C épaisseur: 9,52mm
- Dimensions des viroles : Largeur : 9m et la hauteur : 2.5 m
- Trous d'homme : 20'' et 30''
- Nuance d'acier des tôles du toit A 283 C épaisseur : 4,76 mm

- Peinture : système S19 de peinture : 5 couches de viroles Galzinépoxy.

I.9.2- Modalités d'exécution des travaux

I.9.2.1- Dégazage, nettoyage, dégraissage et évacuation des sédiments

a)- Dégazage du bac

On procède à l'ouverture des trous d'homme du réservoir (quatre latéraux et un au centre du toit) et à l'installation d'extracteurs pour permettre l'évacuation des gaz emmagasinés à l'intérieur du réservoir et empêcher toute formation de vapeur inflammable.

b)- Evacuation des sédiments

Les sédiments cumulés dans le fond du réservoir, sont dilués à l'eau puis évacués et récupérés par camions répondants aux exigences de sécurité pour les travaux dans une zone explosive, pour être transportés et déversés dans un bourbier (marais) situé en zone de sécurité à une distance maximale de 500 mètres du réservoir.

La quantité réelle des boues d'eau dans le réservoir sera confirmée par jaugeage à travers les trous d'homme latéraux et central (toit).

c)- Grattage et dégraissage

A l'aide de grattoirs en bronze et d'un dégraissant non aromatique, on procède à l'élimination de toutes les particules (sédiments, paraffines) incrustées à l'intérieur de la surface totale du fond et la première virole de la robe.

d)- Vidange, rinçage et nettoyage des béquilles

Il sera procédé à la vidange, nettoyage et dégraissage de toutes les béquilles du bac après soulèvement de ces dernières par les moyens appropriés.

La figure.3 montre le patrimoine de la RTE S

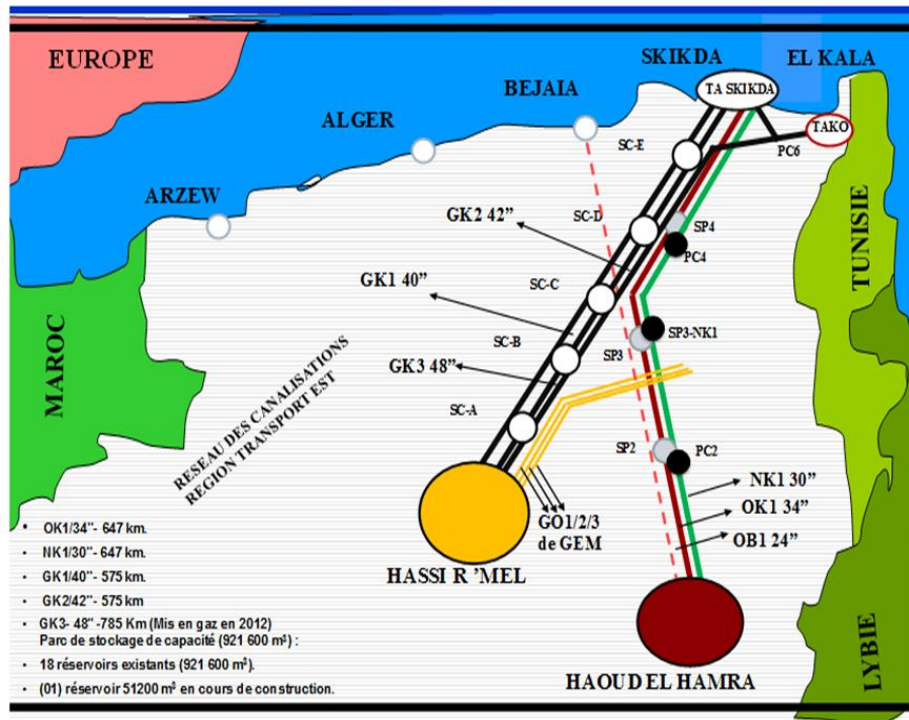


Figure.3 Patrimoine de la Région de Transport Est – Skikda (RTES)

Chapitre II

Synthèse bibliographique et généralités

II.1- Types de réservoirs

Les réservoirs sont classés en trois grands groupes selon la pression de fonctionnement ou la pression interne.

- Les réservoirs de stockage atmosphériques utilisés pour une pression de fonctionnement ou interne de moins 18 KPa et gérés par la norme API standard 650.
- Les réservoirs de stockage à basse pression $18 \text{ KPa} < P < 100 \text{ KPa}$ et gérés par la norme API 620.
- Les réservoirs sous pression dont la pression de fonctionnement ou pression interne est $P > 100 \text{ KPa}$ et gérés par la norme ASME Sec VIII.

II.2- La corrosion

La corrosion a lieu entre deux antagonistes en interaction permanente : l'agresseur et l'agressé.

L'agresseur est le milieu : air, humidité, sol, eau (douce, salée et même distillée), l'atmosphère, acide ou basique, acide organique [1,2]

L'agressé : acier, alliage, structure, ouvrage, électrode, échantillon, substrat,

La corrosivité de l'acier est fonction du milieu agressif. Elle varie d'un environnement à l'autre.

La corrosion électrochimique est responsable de la majorité des cas de corrosion industriels Elle se produit lorsqu'il existe une hétérogénéité soit dans le métal soit dans le milieu corrosif ou les deux simultanément. Cette hétérogénéité crée une différence de potentiel entre différents points du métal, provoquant ainsi la formation de piles qui débitent dans la masse métallique, car elles sont en court-circuit. Les zones anodiques se corrodent.

La corrosion métallique est une réaction irréversible. Elle a lieu à l'interface métal/environnement, en présence de l'oxygène moléculaire. La corrosion ravage toute surface métallique qu'elle rencontre dans son passage. Elle est l'ennemi de toutes les constructions métalliques. Elle détruit annuellement le quart de la production mondiale d'acier, ce qui représente environ 150 millions de tonnes par an ou encore 5 tonnes par seconde.

La corrosion est un cycle fermé, du minerais aux minerais : minerais Haut fourneau ... élaboration Fabrication Utilisation Corrosion minerais (de la terre à la terre).

Il faut noter que l'acier est élaboré à partir du minerais de fer et que les réserves sont en nette décroissance à cause de plusieurs facteurs parmi lesquels on retrouve la corrosion.

Nous donnons comme exemple, celui de la fabrication de l'automobile ou de l'aviation. « Poussière tu fus et poussière tu reviendras ».

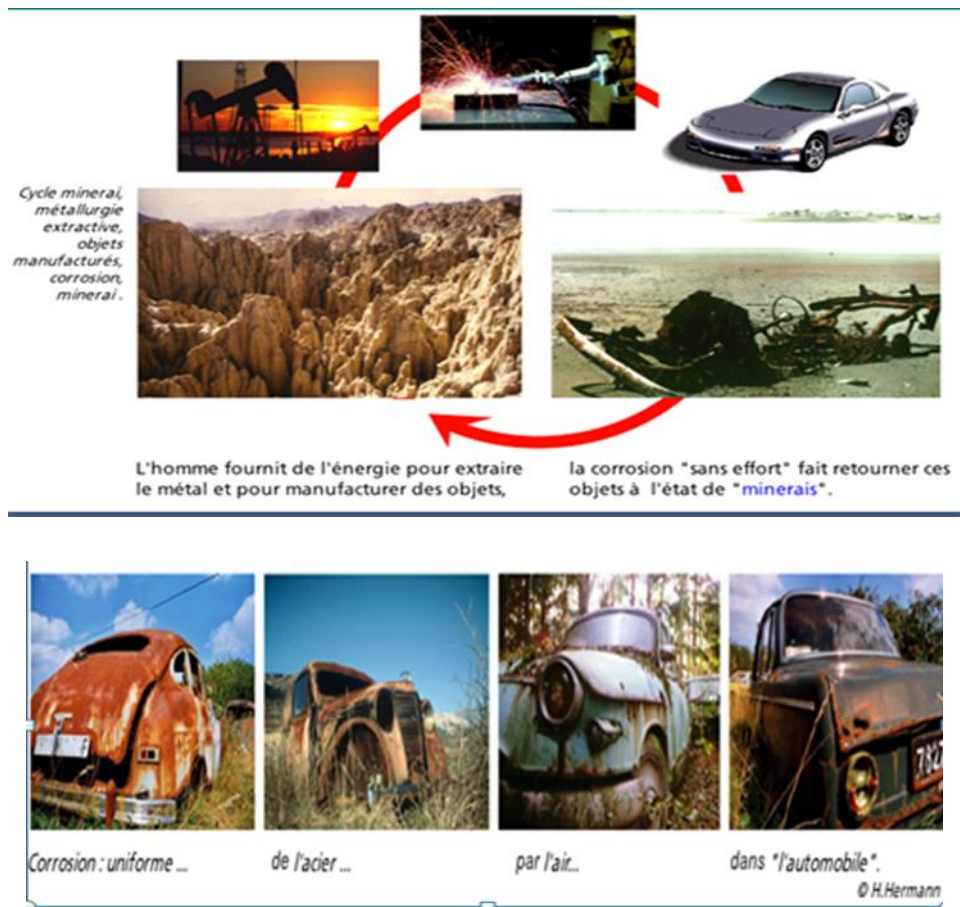


Figure.4 Cycle de la corrosion

« RIEN NE SE PERD RIEN NE SE CREE TOUT SE TRANSFORME »

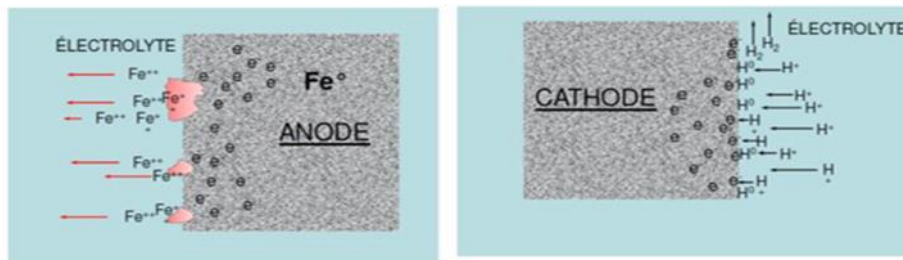
D'une manière générale, les matières minérales sont plus corrosives que les matières organiques. En effet, dans l'industrie pétrolière, par exemple, l'acide chlorhydrique et les eaux sont plus corrosives que le pétrole brut et l'essence, c'est ce qu'on appelle la corrosion par les acides [3].

Nous tenons à préciser que, dans l'industrie pétrolière, ce n'est pas le pétrole qui corrode en tant que huile, mais plutôt c'est l'eau qu'il contient quand il est extrait du puits à brut. Les

canalisations qui acheminent le pétrole brut (huile + gaz + eau) sont exposés à de la corrosion avant que ce dernier ne soit traité. (Tel que le raffinage). Les gaz peuvent être des acides minéraux ou organiques.

II.2.1-Processus de corrosion [4]

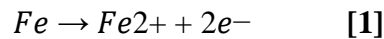
Le phénomène de corrosion de l’acier, par exemple, se produit suivant un processus illustré par les étapes suivantes :



➤ Etape 1 :

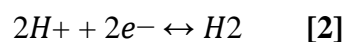
Figure.5 Processus anodique et cathodique de la corrosion.

La réaction d’oxydation du fer a lieu dans la zone anodique, selon:



➤ Etape 2 :

La réaction de réduction du proton en milieu acide, a lieu dans la zone cathodique, on assiste à un dégagement d’hydrogène, c’est pour cela, nous conseillons toujours à éviter d’aller trop bas en potentiel cathodique pour éviter le dégagement d’hydrogène moléculaire qui risque de provoquer la fragilisation des métaux et alliages.



➤ Etape 3 :

Le transfert d’électrons de l’anode vers la cathode, tandis que pour les ions, les anions se déplacent vers l’anode pour livrer leur charge (se décharger) et les cations vers la cathode pour récupérer les électrons reçus par la cathode de l’anode ; on assiste ainsi à deux circuits : circuit électronique extérieur et circuit cationique intérieur, comme l’illustre le schéma suivant.

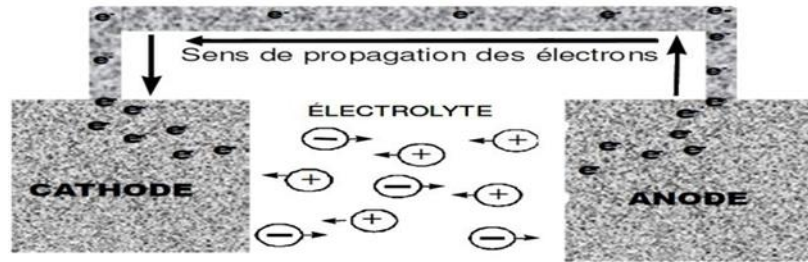


Figure.6 Sens de propagation des ions et des électrons.

➤ Etape 4 :

On assiste à des sites anodiques et à des sites cathodiques dans une cellule de corrosion

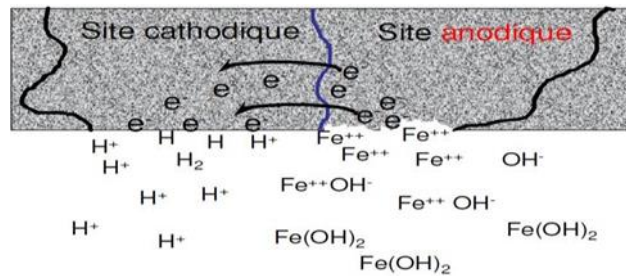


Figure.7 La cellule de corrosion.

II.3- Potentiel d'électrode

Dans le Tableau 1 nous présentons quelques couples redox avec leurs potentiels standards exprimés en volts par rapport à l'électrode standard à hydrogène.

Tableau 1. Potentiels standards de quelques couples Redox donnés par rapport à ENH [5]

RÉACTIONS ÉLECTROCHIMIQUES	POTENTIELS STANDARDS / ESH
Au <-----> Au ³⁺ + 3é	+ 1.50
2H ₂ O <-----> O ₂ + 4H ⁺ + 4é	+ 1.23
Pt <-----> Pt²⁺ + 2é	+ 1.19
Ag <-----> Ag⁺ + é	+ 0.80
4OH ⁻ <-----> O ₂ + 2H ₂ O + 4é	+ 0.40
Cu <-----> Cu²⁺ + 2é	+ 0.34
H ₂ <-----> 2H ⁺ + 2é	0.00
Pb <-----> Pb ²⁺ + 2é	- 0.13
Sn <-----> Sn ²⁺ + 2é	- 0.14
Ni <-----> Ni ²⁺ + 2é	- 0.25
Cd <-----> Cd ²⁺ + 2é	- 0.40
Fe <-----> Fe ²⁺ + 2é	- 0.44
Cr <-----> Cr ³⁺ + 3é	- 0.74
Zn <-----> Zn²⁺ + 2é	- 0.76
Al <-----> Al³⁺ + 3é	- 1.67
Mg <-----> Mg²⁺ + 2é	- 2.37
Na <-----> Na ⁺ + 1é	- 2.71

II.4- Diagramme de M. Pourbaix

E(v)/Hydrogène (H)

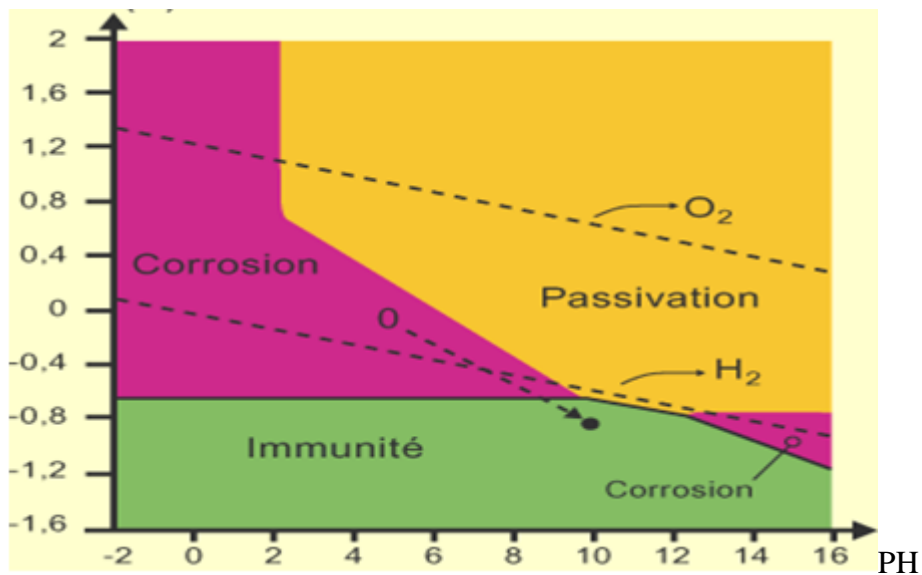


Figure.8a Diagramme de Pourbaix E-pH pour le couple Fe-eau à 25°C.

Il permet l'étude de l'aspect thermodynamique de la corrosion afin de mieux comprendre le comportement d'un métal dans un milieu donné à différentes valeurs de pH en

fonction du potentiel. On peut même prévoir les réactions thermodynamiques possibles. Le diagramme E-pH d'un système Métal / H_2O est tracé à $T = 25^\circ C$ et à une pression totale Constante de 1 bar. Il présente plusieurs domaines caractéristiques de chacune des espèces susceptibles d'exister [6] :

- Domaine d'immunité : le métal est stable et inattaquable.
- Domaine de corrosion: la concentration en espèces dissoutes est supérieure à $10^{-6} \text{ mol. L}^{-1}$.
- Domaine de passivation: le métal est recouvert d'une couche d'oxyde qui peut le protéger de la corrosion, c'est ce qu'on appelle film passif, dans le cas où il répond à certains critères ; continu, compact, adhérent et stable thermodynamiquement.

La Figure 8b, présente le diagramme $E - pH$ de Pourbaix du système ($Fe - H_2O$) à $25^\circ C$.

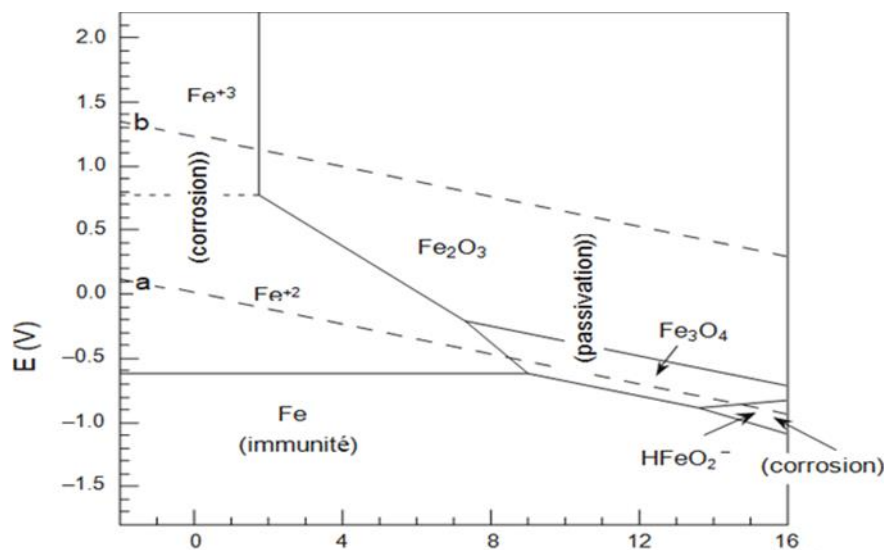


Figure. 8b Diagramme de Pourbaix $Fe - H_2O$ à 25° [7]

Pour protéger le fer contre la corrosion, on peut procéder de 3 manières différentes [7] :

- 1) On déplace le potentiel de Fe vers des valeurs plus négatives ($E_{Fe} < -0.7 \text{ V/ESH}$). Le matériau se trouvera alors dans le domaine d'immunité (Fig. 8b). C'est la protection cathodique.

2) On déplace le potentiel de Fe vers des valeurs plus nobles que son potentiel d'équilibre ($E_{Fe} > 0 V/ESH$), le fer sera protégé par une couche d'oxyde. C'est la protection anodique (formation d'un film passif) (Fig. 8a et 8b)

3) On alcalinise le milieu en ramenant, par exemple, le pH dans le domaine ($pH \geq 8$). Le fer se retrouve alors dans un domaine de potentiel correspondant à la zone de passivation (Figures 8b et 9).

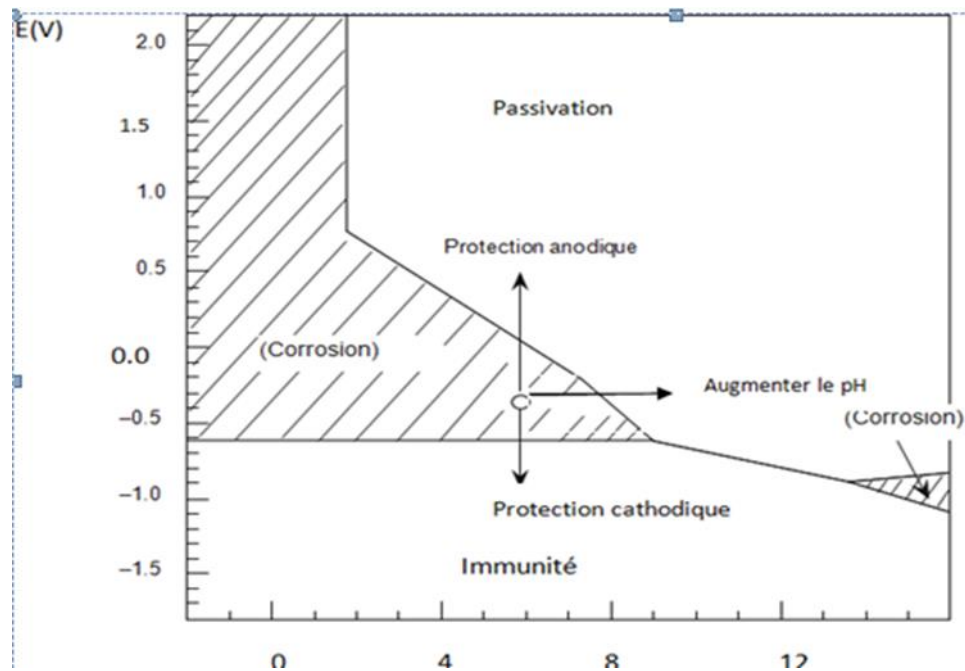


Figure.9 Diagramme de Pourbaix, simplifié, pour le fer dans l'eau à 25°C [7]

II.5- Différents types de corrosion

Le nombre de formes de corrosion est illimité et dépend des auteurs. Dans ce qui suit nous présentons certaines formes de corrosion ayant lien avec les formes de dégradation auxquelles sont exposés les ouvrages, sans trop s'étaler.

II.5.1- Corrosion uniforme

La corrosion uniforme (généralisée ou régulière) est la plus courante ; elle se produit d'une manière uniforme sur toute la surface du métal à vitesse régulière et généralisée. Le métal subit une dissolution; Autrement dit, une perte de matière [8]. C'est la forme de corrosion la plus facile à suivre ou mesurer par tonnage ou par perte d'épaisseur.

II.5.2- Corrosion localisée

Contrairement à la corrosion uniforme, le matériau se corrode localement. Autrement dit, certaines parties de la surface du métal sont plus actives que d'autres. Ce type de corrosion est dû à l'hétérogénéité de la surface métallique ou à une modification de la concentration locale [9].

II.5.3- Corrosion par piqûre

La corrosion par piqûres est une attaque très localisée du métal qui résulte des conditions de corrosion locales spécifiques. La piqûre constitue ainsi une anode, le reste de la surface joue le rôle de cathode. Entre la petite surface de l'anode et la grande surface de la cathode, circule un courant de forte intensité du côté anodique, conduisant à une vitesse de corrosion élevée. Ce type de corrosion apparaît particulièrement sur les métaux et alliages qui peuvent être passivés comme l'acier inox, l'aluminium exposés à un environnement aqueux chloruré [10]. C'est la forme de corrosion la plus insidieuse.

II.5.4- Corrosion caverneuse

La corrosion caverneuse (corrosion par effet de crevasse) comme la corrosion par piqûre sont des phénomènes mettant en jeu des processus électrochimiques complexes liés notamment à des paramètres géométriques (existence de zones confinées) et métallurgiques (inclusions, précipités). Ces processus se produisent surtout à la surface de métaux résistant à la corrosion telle que les aciers inox. L'amorce de l'attaque est directement liée au film passif et à sa rupture localement [11]. De la piqûre peut naître une crevasse, l'inverse n'est pas vérifié. Comment peut-on différencier entre une piqûre et une crevasse ?

II.5.5- Corrosion intergranulaire

La corrosion intergranulaire se produit entre les joints de grains. C'est une dissolution préférentielle ou attaque sélective. On la rencontre souvent dans les aciers inoxydables. Dans la plupart des cas, elle est causée par le dépôt de carbures de chrome sur les joints de grains qui appauvrissent les zones adjacentes chromées et les rendent plus sensibles à la corrosion [12, 13].

II.5.6- Corrosion galvanique

La corrosion galvanique dite aussi corrosion bimétallique a pour origine un contact entre deux métaux différents de nature ou de potentiel avec une ddp importante, reliés électriquement, immergés dans une solution aqueuse ou enfouis dans le sol. On aura la

formation d'une plie où le métal le moins noble est l'anode (siège d'une réaction d'oxydation: dissolution du métal) ; le métal le plus noble est la cathode (siège d'une réaction de réduction) [14].

II.5.7 Corrosion filiforme

Décrite pour la première fois en 1940, elle est spécifique aux métaux peints (revêtement protecteur). L'attaque est superficielle dont l'origine est les défauts de revêtement (rayures) et des points faibles (arêtes, bords,...). Elle se propage à l'interface métal/revêtement en formant des filaments d'environ 0.1 à 0.5 mm de large et de quelques millimètres de long [15, 16]. On peut la rencontrer au niveau des aciers ou ustensiles en acier inoxydables exposés à l'atmosphère marine.

II.6- Facteurs de la corrosion

Nous citons quelques facteurs de corrosion qui peuvent avoir un lien direct avec le métal ou l'environnement corrosif

II.6.1- Composition du métal

La composition du métal est importante pour déterminer la surface qui sera anodique et celle qui sera cathodique. On enregistre des DDP entre des zones adjacentes à cause d'une répartition inégale des éléments dans l'alliage.

La corrosion peut également être causée par la différence entre le métal de soudure et les zones affectées par la chaleur et le métal de base. Il faut utiliser un métal de soudure dont son potentiel est proche de celui du métal ou alliage de base.

II.6.2- Propriétés physico-chimiques

Les propriétés physiques et chimiques des électrolytes influencent également, la formation de zones cathodiques sur la surface métallique.

Exemple :

Des différences de potentiel peuvent être générées entre les zones d'une surface en acier, en raison de différentes concentrations d'oxygène.

Les zones à faible concentration en oxygène deviennent anodiques et les zones à forte concentration en oxygène deviennent cathodiques (aération différentielle). Cela peut même

provoquer de la corrosion dans les zones où la boue et d'autres débris sont en contact avec le fond en acier d'un réservoir sur une couche de sable où un réservoir est placé sur deux types de sols différents (corrosion géologique).

II.6.3- Hétérogénéité de la structure métallique

La surface métallique du métallique et même sa structure ne peut jamais être homogène. On assiste à des piles électrochimiques à l'échelle microscopique, sur la même surface de l'acier, quand ce dernier est immergé dans une solution donnée. D'ailleurs, c'est cette raison qui explique pourquoi le potentiel à circuit ouvert ou libre n'atteint jamais sa stabilité, mais plutôt une stabilité relative.

II.6.4- Caractéristiques du sol :

Les caractéristiques du sol affectent considérablement le type et le taux de corrosion d'une structure au contact.

Exemple :

Les sels dissous influencent la capacité de charge actuelle des électrolytes du sol et aident à déterminer les taux de réaction sur les zones anodiques et cathodiques.

La teneur en humidité, le pH, la concentration en oxygène et d'autres facteurs interagissent de manière complexe et peuvent provoquer la corrosion.

A travers ces données on comprend bien l'importance des facteurs de corrosion.

II.6.5- Corrosion atmosphérique

Lorsqu'un métal ou un alliage est exposé à l'air libre; il est en contact direct avec l'atmosphère. L'humidité (hygrométrie) et la composition de l'atmosphère déterminent le degré de corrosivité de cette dernière [17,18].

La corrosion atmosphérique peut être rurale, urbaine, industrielle, marine, etc... Le taux de corrosivité qui dépend du milieu [19] permet de distinguer les uns des autres.

II.7- Corrosion par les sols

Le sol est un électrolyte complexe et très hétérogène, il est considéré comme un milieu aqueux. A cause de son hétérogénéité et pour maîtriser l'évolution de la corrosion dans le sol,

on a recours à sa reconstitution en milieu liquide pour avoir un fluide homogène et d'extrapoler les résultats obtenus sur un sol naturel. C'est ce qu'on appelle « sol reconstitué » ou « sol simulé ».

L'aération différentielle, la différence de pH dans le sol ($6 < pH < 9$) ou la différence de concentration de sel (Na Cl) conduisent à la formation d'une pile de corrosion.

La corrosion augmente avec la conductivité du sol (en effet, pour des valeurs de conductivité élevées la corrosion sera plus sévère) (**Fig. 10a, b ,c**) [19, 20, 21].



Figure.10a Percement d'une canalisation d'eau enterrée dans le sol de Mila (K.Belmokre).



Figure.10b Déboîtement d'une enterrée canalisation d'eau enterrée dans le sol dans le sol de Mila (K.Belmokre).



Figure.10c Corrosion interne et externe d'une canalisation d'eau enterrée dans le sol de Mila (K. Belmokre).

Tableau 2. Taux de corrosivité en fonction du pH et du sol

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

II.8- Lutte contre la corrosion par les sols

Pour lutter contre la corrosive par le sol, on applique les mêmes démarches et méthodes appliquées à de la corrosion électrochimique aqueuse. Pour cela, on se limite aux techniques suivantes :

- Protection électrochimique (anodique et cathodique),
- PCAS et PCCI

II.8.1- Protections électrochimiques

II.8.1.1- Protection anodique

La protection anodique appelée aussi contrôle anodique. Le potentiel de la structure sous polarisation passe à une valeur supérieure à celle du potentiel à courant nul, c'est à dire la lecture du potentiel se fera dans la zone anodique.

En d'autres termes, la protection est obtenue par augmentation de ECOR jusqu'à une valeur correspondant à l'état passif. Parmi les métaux susceptibles d'être protégés anodiquement, on retrouve les aciers inoxydables et l'aluminium.

Quand le métal ou l'alliage se trouve dans une solution, par exemple le fer, ce dernier se passive quand il est immergé dans l'acide sulfurique H_2SO_4 par la formation d'une couche de produit de corrosion, cette dernière quand elle est adhérente, compacte, continue et stable thermodynamiquement, on l'appelle film passif. $E_{anodique} > E_i=0$ [3]

Ce mode de protection est utilisé pour les réservoirs métalliques destinés au stockage des acides [22 ,23].

II.8.1.2 Protection cathodique

II.8.1.2.1- Histoire de la protection cathodique (PC)

La protection cathodique a été appliquée pour la première fois en 1824, lorsque Sir Humphry Davy a protégé les coques de cuivre contre la corrosion marine par des anodes en fer, dans un projet financé par la marine Britannique. En effet, la PC est efficace pour la protection des navires qui a été décrite dès 1950 par la marine canadienne. La première utilisation de la protection cathodique par courant imposé pour protéger les structures souterraines, a été réalisée en Angleterre et aux Etats-Unis ente 1910-1912. Actuellement, la protection cathodique est largement utilisée dans divers domaines tels que les pipelines enterrés, les condenseurs, les réservoirs d'eau, les équipements chimiques [24].

II.8.1.2.2- Principe de la protection cathodique

La protection cathodique est une protection active contre la corrosion des structures métalliques enfouies dans le sol ou immergées dans un fluide. Ces équipements ou installations sont par nature exposés à la corrosion.

La tâche du personnel chargé de suivre la protection, est de maintenir l'intégrité des différents ouvrages métalliques enterrés ou immergés par l'application de cette technique. Nous distinguons deux types de protection cathodique : celle externe et celle interne.

La corrosion pétrolière concerne en général : les bacs de stockage, les canalisations (flow lines), les réservoirs sous talus, les réservoirs d'eau, les bacs anti-incendie, les séparateurs, etc....

Appliquer la protection cathodique à ces différents équipements et installations, veut dire, ralentir ou éliminer la corrosion en rendant totalement cathodique une structure métallique par rapport à l'électrolyte dans lequel est enfouie ou immergée.

IL existe deux méthodes de protection cathodique : Protection par anode sacrificielle (PCAS) et protection cathodique par courant imposé (PCCI) appelée aussi par soutirage de courant ou énergisée [25,26].

Il est à noter que le courant pénètre dans la structure à travers les endroits où le revêtement est défectueux (porosité, imperfections, pertes d'épaisseur de revêtement,...).

Chaque structure à protéger est soumise à l'un des deux systèmes.

Le choix est défini sur la base des critères suivants [27, 28,29]:

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

a)Protection par anodes sacrificielles

Le principe de cette méthode de protection consiste en l'association deux métaux ayant des valeurs de potentiel différentes où l'un est plus noble que l'autre, plongés dans un milieu conducteur (eau ou sol). Le courant de protection cathodique est débité par l'anode sacrificielle, et atteint à travers le sol, la structure à protéger, à laquelle est reliée directement par un câble électrique, constituant ainsi le circuit extérieur. La structure métallique et l'anode soluble plongent toutes les deux dans le même environnement constituant ainsi le circuit interne. L'ensemble forme une pile à circuit fermé. C'est ce qu'on appelle protection cathodique par anode sacrificielle (Fig11). Généralement, trois anodes à bas potentiel sont utilisées comme anodes solubles : Mg utilisé dans les sols et l'eau douce, le Zn utilisé pour protéger l'acier dans l'eau de mer et l'Al dans l'eau douce [30,31].

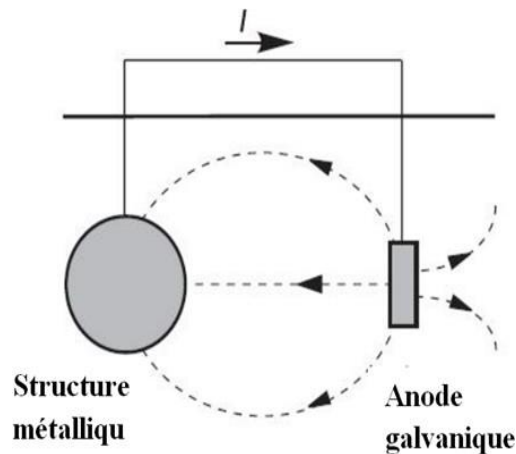


Figure.11 Principe de la protection cathodique par anode sacrificielle [30].

• Choix des anodes sacrificielles

Les anodes sacrificielles doivent satisfaire aux conditions suivantes [32] :

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

b) Protection cathodique par courant imposé

➤ Principe de la PCCI

Le courant de protection est fourni par un TR (source extérieure) dont le pôle positif est relié au déversoir anodique à travers des câbles, puis se dirige vers la canalisation ou la structure métallique à protéger à travers l'électrolyte (sol par exemple), tandis que le pôle négatif est connecté à la masse métallique à protéger pour servir de retour vers la source d'origine (TR). Le circuit est alors fermé (Fig. 12). Il s'agit essentiellement de fixer (imposer) un potentiel de protection cathodique pour lequel le métal se trouve dans sa zone d'immunité.

On utilise comme déversoir anodique, des anodes telles que : graphite, FeSiCr, notamment pour la protection des conduites enterrées [33].

L'obtention du seuil de protection du matériau est fonction de la densité de courant cathodique reçu par l'ouvrage métallique. La Protection Cathodique est efficace si le potentiel réel de l'acier enfoui dans le sol (hors chute ohmique) est inférieur ou égal à $-0.85 \text{ V} / \text{Cu-CuSO}_4$ saturé (norme NACE RP 0169). Dans certains cas, par exemple, dans des conditions d'anaérobie, le potentiel sera abaissé de 0.100 V , soit -0.9 à -0.95 V . Si la résistivité du milieu est élevée et suite à certaines situations (électrode de référence par exemple ne peut être jamais au voisinage de la structure ou que le sol est calcaire, des chutes ohmiques peuvent avoir lieu, une mesure de -1.5 à -1.1 V reste acceptable.

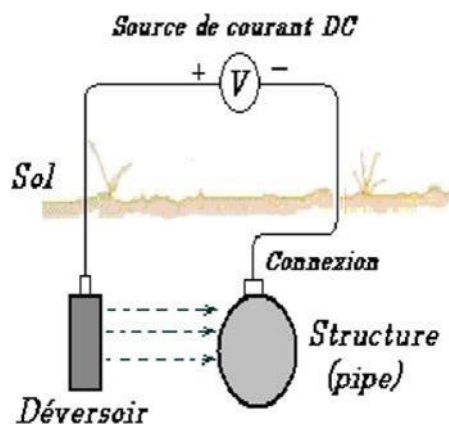


Figure.12 Principe de la protection cathodique par courant imposé [34]

II.8.1.3- Notion de surprotection

Attention au Risque de surprotection cathodique :

Le potentiel d'un acier sous Protection Cathodique ne doit pas être trop faible, équivalent à ce que la densité de courant ne doit pas être trop élevée. Car dans cette situation, il va y avoir dégagement d'hydrogène (fragilisation par ou à l'hydrogène de certains aciers) et le pH devient très alcalin provoquant ainsi un endommagement du revêtement (décollement ou délaminage cathodique) ou une corrosion basique pour certains métaux mous.

Généralement, pour estimer la corrosion d'une structure métallique, nous devons connaître la perte d'épaisseur, cette dernière doit être inférieure à 0.125 mm/an .

Le récipient ou la structure doit opérer à une température inférieure à la température de rupture. Il ne doit pas être sujet à des fissures.

II.9- Critères de la protection cathodique

Le deuxième critère, dans le cas où il est possible de mesurer la décroissance de la polarisation, est un minimum de 100 mV de polarisation cathodique entre la surface de l'ouvrage et une électrode de référence stable en contact avec le sol.

Pour décider de l'efficacité et de la conformité de la Protection Cathodique et du comportement des équipements et installations vis-à-vis de la corrosion, il faut procéder à un bon diagnostic afin d'établir le ou les remèdes correspondants. Pour cela, il faut :

- Connaître le potentiel statique (naturel) de la conduite.
- Vérifier le bon fonctionnement de tous les éléments du système, à savoir :
 - Le bon fonctionnement des électrodes de référence permanentes au niveau de chaque Prise de Potentiel.
 - Vérification des courants vagabonds.
 - Mesure du pH du sol.
 - Mesure de la résistivité du sol

Maîtriser ces paramètres qui agissent en synergie, revient à résoudre une équation mathématique à plusieurs inconnues et, ce qui est impossible. C'est pour cette raison, nous ne considérons que le paramètre "résistivité" du sol. Selon sa valeur moyenne, nous déduisons le degré d'agressivité du sol. Les valeurs et résultats obtenus restent toujours approximatifs, car les formules appliquées dans les calculs, sont généralement empiriques.

II.9.1- Potentiel de protection cathodique

Il s'agit d'appliquer un potentiel inférieur au potentiel de protection tel que la vitesse de corrosion soit réduite :

$$E \leq E_{prot} \quad [4]$$

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

$$E_{prot} = E^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln 10^{-6} \quad [5]$$

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

$$E_{prot} = E^{\circ} - \frac{0.354}{n} (V) \quad [6]$$

Il est admis et standardisé que le seuil de potentiel de PC pour l'acier enterré est de

-0. 85 V/Cu/CuSO₄ en milieu aéré. En revanche, pour les sols désaérés celui-ci est

-0. 95 V/Cu/ , ces valeurs ont été mesurées par rapport à une électrode de référence de sulfate de cuivre[35].

II.9.2- Densité de courant de protection cathodique

Pour garder le métal dans sa zone de stabilité où la structure est protégée, il faut obtenir un potentiel de protection en appliquant un courant appelé densité de protection cathodique. La protection cathodique n'est économique que dans les eaux, les sols et le béton [36].

Le Tableau 3, présente quelques valeurs de la densité de courant de PC pour l'acier nu en contact avec différents milieux.

Tableau 3. Densité de courant de protection cathodique pour l'acier nu [37].

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

II.10- Résistance des éléments

Pour le dimensionnement d'un système de protection cathodique, on doit prendre en considération la résistance électrique des éléments qui le constituent. Le courant électrique est généralement localisé autour des anodes. On a ce qu'on appelle « la résistance d'anode », la résistance de l'électrolyte doit être évaluée [38].

II.10.1- Revêtement associé à la protection cathodique

Les revêtements offrent une protection passive qui est nécessaire à une protection active dans le but d’arrêter la corrosion dans les zones de décollement du revêtement. Les revêtements doivent répondre aux exigences suivantes [36] :

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

Le revêtement protecteur doit avoir une bonne adhérence mais ne doit pas avoir d’effet corrosif sur la structure à protéger [39].

II.11- Comparaison entre (PCAS) et (PCCI)

II.11.1 Critères de choix

Le Tableau 4 donne les caractéristiques d’un système de protection cathodique pour chaque mode de protection.

Tableau 4. Comparaison entre les deux méthodes de protection cathodique [28,29]

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

Le système de protection cathodique par courant imposé présente des avantages et des inconvénients. En effet, pour une structure équipée d'une protection cathodique par courant imposé on peut citer les avantages suivants [40 ,41] :

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

Par ailleurs, ce système de protection présente aussi certains inconvénients tels que [41]

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

II.12- Corrosion par les sols

II.12.1- Résistivité du sol(ρ)

La résistivité est l'un des critères qui caractérise le sol. Sa mesure nous indique selon des fourchettes avancées empiriquement, si un sol donné est peu ou pas agressif. Cette grandeur varie en fonction de l'humidité du milieu. Les mesures effectuées sur terrain varient de $1\Omega. m$ à $100 \Omega. m$. Mais, parfois, il arrive de relever des valeurs très élevées qui peuvent arriver à des centaines d' $\Omega. m$.

Tableau 5. L'agressivité du milieu en fonction de sa résistivité [42].

Résistivité du sol en $\Omega.cm$	Corrosivité du sol
Inférieure à 500	Très sévère
500 à 2000	Sévère
2000 à 5000	Haute
5000 à 10 000	Modérée
10 000 à 25 000	Moyenne
25 000 à 50 000	Légère
Supérieure à 50 000	Faible

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

$$R = \rho * l/s \quad \rho = R * (S/l) \quad (1/\rho) = (1/R) * (S/l) = C : \text{conductivité} \quad [7]$$

$$C=1/\rho \quad \text{Haute résistivité} \rightarrow \text{conductivité petite}$$

Le système de protection cathodique par courant imposé présente des avantages et des inconvénients. En effet, pour une structure équipée d'une protection cathodique par courant imposé on peut citer les avantages suivants [40 ,41] :

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

Par ailleurs, ce système de protection présente néanmoins certains inconvénients tels que [41]:

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

La résistivité des sols est soumise à des variations cycliques au cours de l'année, en fonction de l'humidité cyclique, d'où la nécessité de connaître le régime hydraulique des

sols, parce que le changement d'humidité se traduit par des variations de concentration des sels dans l'électrolyte.

La résistivité rend compte de la teneur en sels solubles du sol et de son humidité. Elle renseigne sur les qualités du sol comme électrolyte et joue un rôle important dans la résistance interne des piles de corrosion.

Suivant la norme **NF A 05-250**: "Corrosion par les sols. Evaluation de la corrosivité. Canalisations enterrées en matériaux ferreux non ou peu alliés".

En règle générale, tout matériau métallique industriel se dégrade naturellement pour retourner à son état de minerai (état originel).

La vitesse de dégradation est fonction de l'électrolyte dans lequel est placé le métal. La connaissance de la nature chimique et électrochimique nous renseigne donc sur cette oxydation. Un sol est par nature un élément chimique complexe, hétérogène, instable évolue dans le temps. Les principaux paramètres à prendre en compte sont:

La résistivité qui rend compte des teneurs en sels dissous, notamment les chlorures et les sulfates.

La texture lourde, indice d'une présence possible de sulfates et d'un bas potentiel redox.

Sur cette base, deux (02) paramètres principaux ont été retenus :

Nature du sol et Résistivité

L'évaluation de la corrosivité des sols comporte deux parties :

Corrosivité absolue et relative locale :

Corrosivité relative dépendante du tracé, liée aux macro-piles de grande étendue sur les canalisations électriquement continues.

Corrosivité locale, liée aux mini-piles et macro-piles de corrosion de faible étendue.

Les mesures de résistivité du sol sont généralement réalisées tous les 500 mètres, mais qui peut varier et cela est fonction de la nature du sol.

II.13.1.1- Détermination de la résistivité des sols

Deux méthodes permettent de déterminer la résistivité du sol :

La méthode de Winner (largement utilisée) appelée aussi (quatre piquets ou quatre terres) et celle de Schlumberger (rarement exploitée).

Méthode de Winner :

La mesure s'effectue à partir de la surface. On dispose de façon équidistante sur une ligne droite quatre piquets métalliques (longueur 50 à 100 cm, diamètre 1 cm). La profondeur du sol englobée par la mesure correspond approximativement à 2/3 de la longueur du piquet. La résistance spécifique apparente du sol peut être calculée d'après la formule :

$$\rho \text{ (}\Omega\text{.cm)} = 2 \pi \cdot a \cdot R = 2 \pi \cdot a \cdot \Delta V / I \quad [8]$$

Avec :

a = espacement entre piquets.

R = résistance (Ω / lecture sur site) = $\Delta V / I$

ΔV : ddp et I : courant

La ddp est mesurée entre les piquets internes et I est mesuré entre les piquets externes.

On effectue plusieurs mesures et on prend la valeur moyenne.

British Standard Institution « BSI » dans le document de référence **CP1021**, évalue l'agressivité du sol comme suit :

$\rho < 10 \Omega\text{.msol}$ très agressif (corrosivité très sévère)

$10 < \rho < 50 \Omega\text{.msol}$ agressif (corrosivité sévère) : terrain argileux, lourd, salé)

$50 < \rho < 100 \Omega\text{.m}$ sol moins agressif (corrosivité moyenne):terrains agricoles sableux limoneux

$\rho > 100 \Omega\text{.m}$ sol très peu agressif

Le tableau ci-dessous donne les différents degrés d'agressivité selon les couleurs.

Tableau 6. Répartition des types de sols selon les plages de résistivité.

Plage de résistivité du Sol($\Omega - m$)	Catégorie du sol	Degré d'agressivité selon les couleurs
0 – 15	Très corrosif	
15 – 30	Corrosif	
30 – 50	Moyennement Corrosif	
50 – 100	Faiblement Corrosif	
>100	Peu corrosif	

✓ Taux de corrosion : $T = (P_{max} * \text{épaisseur}) / \text{âge}$ (9)

P : profondeur (m) épaisseur (m) âge (an)

II.14- Méthodes de protection

Actuellement, pour lutter contre la corrosion des ouvrages métalliques, plusieurs méthodes de protection industrielles sont connues. Telles que les inhibiteurs de corrosion, les revêtements et peintures, la protection anodique et la protection cathodique par courant imposé et par anodes sacrificielles.

II.14.1- Les inhibiteurs de corrosion :

Toute substance qui, ajoutée en très petite quantité dans le réactif corrosif, permet de diminuer ou d'annuler son agressivité vis à vis du métal. Elle ne modifie donc pratiquement pas la nature ni la concentration du milieu.

Les inhibiteurs de corrosion agissent en créant une barrière entre le métal et le réactif..

Ils viennent se fixer à la surface du métal sous une forme qui dépend de leur nature.

L'utilisation des inhibiteurs de corrosion est la méthode la plus utilisée pour combattre la corrosion interne des équipements.

Ils sont commercialisés sous forme solide ou liquide.

Les inhibiteurs liquides sont les plus utilisés. Ils sont appréciés par rapport à leur efficacité E :

$$E = [(V_0 - V_1) / V_0] \times 1000 \quad [10]$$

E : efficacité de l'inhibiteur en %

V₀ : vitesse de corrosion en absence de l'inhibiteur

V₁ : vitesse de corrosion en présence de l'inhibiteur

La Concentration en inhibiteur est exprimée en partie par million (ppm) :

$$Q = V \times C / 1000000$$

Q : quantité inhibiteur V : volume du liquide à inhiber C : Concentration
d'inhibiteur en (ppm)

II.14.2- Les revêtements et peintures

Dans un projet industriel, lorsque le facteur économique s'impose dans le choix de matériaux, le concepteur est amené à utiliser les moins chers. Malheureusement ces matériaux sont vulnérables; c'est pourquoi ils sont toujours associés à un système de protection et d'esthétique.

Les revêtements et d'une manière générale, les traitements de surface constituent une technique facile à mettre en œuvre, peu onéreuse et efficace si l'on y prend soin.

En corrosion une surface métallique se définit comme étant le plan de séparation entre une phase solide métallique (métal, alliage, semi-conducteur, etc...) et une phase fluide conductrice (gaz, vapeur, ou liquide,...). De ce fait la réactivité d'une surface métallique, vis à vis de la corrosion, dépend entre autre de l'agressivité de l'environnement, et/ou de son état de surface.

Le terme état de surface est trop général, il englobe un ensemble de caractéristiques regroupées, en cinq familles. Chacune de ces caractéristiques, peut jouer un rôle déterminant dans le processus de la corrosion.

Avant l'application d'un revêtement, la moindre trace d'impureté présente à la surface, suffit pour conduire à l'échec du revêtement (exemple mauvaise adhérence..).

L'élimination des composés indésirables s'effectue en plusieurs étapes successives. L'ensemble de ces opérations est connu sous le nom: préparation de l'état de surface.

La préparation de la surface avant traitement est une étape fondamentale dans le processus du revêtement : de la qualité de la préparation de la surface dépendra la résistance à la corrosion du revêtement appliqué.

- Pour prolonger la durée de vie des ouvrages et pièces métalliques, on dispose de deux grandes familles de revêtements utilisées depuis longtemps dans divers domaines industriels:
- Les revêtements métalliques;
- Les peintures organiques ou inorganiques.

En majorité, dans l'industrie pétrochimique, les revêtements organiques et peintures sont les plus utilisés. Les revêtements métalliques sont très peu sollicités. Par exemple, sur les canalisations, on applique souvent les revêtements polymériques, telles que le polyéthylène, le polyuréthane, le polyvinyle, le polypropylène, etc... Tandis que sur l'extérieur des bacs de stockage à eau anti-incendie, on applique des peintures à base de zinc.



Fig.13 Bac à eau anti-incendie -Complexe Arzew- SONATRACH

Les produits organiques sont stables à des températures inférieures

A 150°C et ne protègent pas contre la corrosion sèche qui se produit à chaud.

Les revêtements organiques adhèrent sur les matériaux métalliques, principalement à cause des phénomènes physiques et mécaniques liés surtout à la rugosité de ces subjectiles.

Durabilité des peintures

La corrosion des métaux peints apparaît généralement lorsque le film de peinture se dégrade. Plusieurs mécanismes peuvent contribuer à une perte de propriétés protectrices des peintures:

- Le vieillissement;
- La formation de cloques;
- Les défauts d'application
- Endommagements mécaniques

Deux défauts principaux peuvent subir, les revêtements organiques : le cloquage et le décollement cathodique appelé aussi délaminage cathodique.

II.14.3- Protections Anodique et Cathodique (Voir II.9.1.1et II.9.1.2)

Chapitre III
Appareillage et méthodes
expérimentales

III.1- Mesure de la résistivité du sol

La résistivité peut être exprimée en $\Omega \cdot m$ ou en $\Omega \cdot cm$. Généralement, deux méthodes sont utilisées pour accéder à cette longueur : Méthode de Winner et celle de Schlumberger, mais la plus largement utilisée est celle de Winner, appelée aussi méthodes des quatre piquets ou méthode des quatre terres (fig. 14) [43, 44]. La mesure de la résistivité du sol, nécessite le matériel suivant : Marteau, des sondes d'acier, des fils conducteurs, un résistivimètre (Telluromètre), un ruban ; en absence du telluromètre, on utilise deux mV/mA (un pour la mesure du courant et le second pour la mesure de la ddp). La source de courant est alternative.



Figure.14 Equipements pour la mesure de la résistivité du sol

Marteau, Sondes, Câbles de connexion, Telluromètre, mètre ruban

III.2- Méthode de Winner :

La technique et les méthodes de calcul sont données en (II.13)

La distance d entre les piquets est identique (des piquets équidistants).

La résistivité du sol à une profondeur comprise entre a et les deux tiers de a est donnée par la formule suivante :

$$\rho = 2\pi a \quad [11]$$

« a » est égale à la distance qui sépare deux piquets adjacents.

Les appareils de mesure donnent directement le rapport U / I exprimé en Ohm.

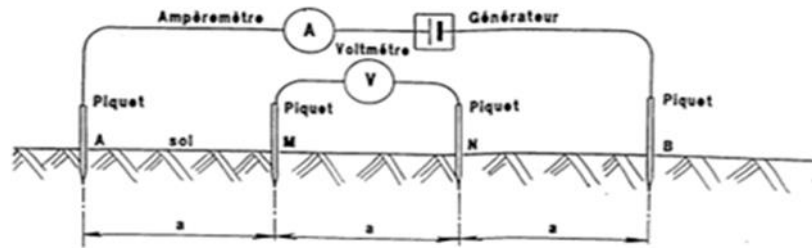


Figure.15 Mesure de la résistivité (Méthode de Winner)

III.3- Mesure du pH du sol

La connaissance de la valeur de pH du sol est l'un des critères qui décrit sa nature, pour cela il est nécessaire de le mesurer dans la terre sur laquelle notre étude s'effectue, à savoir TRC.

Le pH est mesuré selon la norme américaine ASTM D 1295. Cette méthode consiste

à dissoudre 5g de sol de dans un litre d'eau distillée et on agite. On mesure le pH de ce dernier à l'aide d'un pH mètre (**Fig. 16**).



Figure.16 pH mètre pour la mesure de la valeur de pH.

III.4- Contrôle de protection cathodique

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

- Connaître le type de matériau installé : acier au carbone, acier inox, fonte et sa résistance électrique.
- Savoir si le métal est revêtu et quel est le type de revêtement utilisé.

- Connaître la position des sources de protection cathodique qui peuvent être proches de la structure à étudier [45].
- Après l'installation du système de PC, le contrôle doit se faire à travers la mesure du courant électrique qui circule dans la structure et la résistance électrique du revêtement.

Sur le plan industriel, le test le plus fréquent est la mesure du potentiel entre la structure à protéger et le milieu [45] qui s'effectue selon la norme **NACE RP 0169** ou la norme **NF EN12954**, selon la nature du terrain.

Ci-dessous, nous donnons (Fig. 17) un type de montage pour les mesures du potentiel de PC.

Appareillage de mesure de potentiel de PC

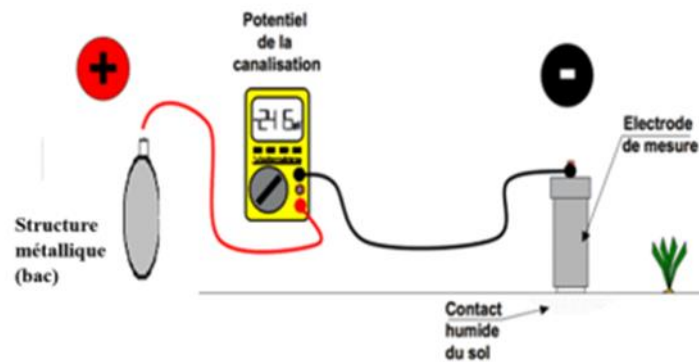


Figure.17 Mesure de potentiel de protection cathodique

III.5 - Electrode de référence de Cuivre (Figure.18)

L'électrode de référence mobile, est aussi appelée électrode de surface, utilisée pour mesurer le potentiel des structures enterrées dans le sol, à savoir canalisations, réservoirs et bacs de stockage ou autres.

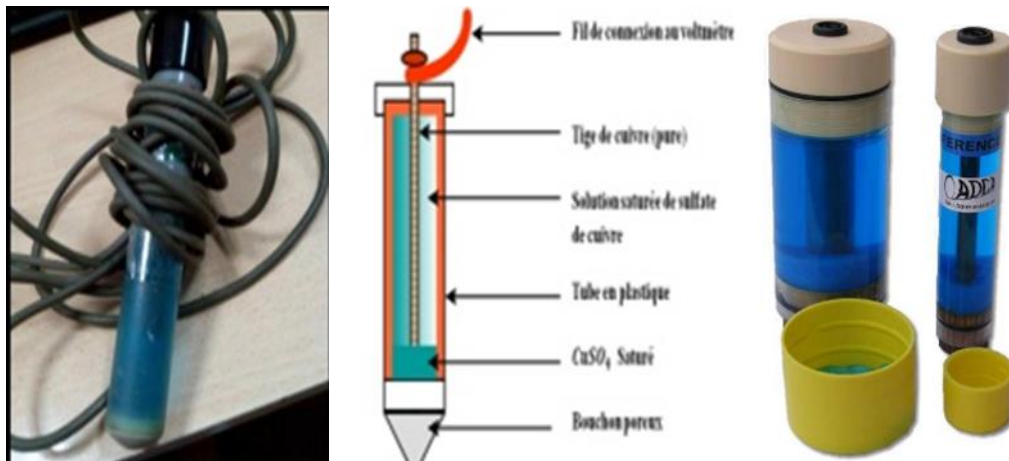


Figure.18 Electrode de cuivre au sulfate saturé

L'électrode de référence se compose d'une douille CEI 1010 reliée à une barre de cuivre, celle-ci baigne dans du sulfate de cuivre (Cu/CuSO_4). Un embout en bois dé résiné (qui reste humide) permet de faire le contact électrique sans perdre de liquide.

Elle sert à faire des mesures de potentiel.

L'électrode de référence est utilisable sur le terrain et l'électrode étalon (la petite) doit être conservée dans le noir et à température stable, elle est utilisée uniquement pour le contrôle des électrodes de références (leur étalonnage).

Les électrodes étalons ne doivent pas être utilisées pour les mesures sur le terrain et doivent être suivies métrologiquement. Ce produit doit être contrôlé tous les ans.

Ses Caractéristiques :

- Potentiel de référence : + 316 mV/ESH à 25 °C avec un coefficient de température de + 0,9 mV/°C
- Tolérance métrologique : +/- 10 mV

III.6- Mesure de potentiel

On enfonce la partie poreuse de l'électrode de référence Cu/CuSO_4 saturée dans le sol humidifié, si ce dernier est sec, afin d'augmenter la conductivité, et on prend

millivoltmètre haute impédance étalonné, généralement réglé sur l'échelle 2V en DC (Fig.19), la valeur du potentiel. Cette dernière dépend de la position de l'électrode de référence.



Figure.19 Millivoltmètre haut impédance étalonné

Dans certaines installation ; une électrode de référence permanente fixe est enterrée dans le sol et connectée au réseau de mesure (Boîte de jonction) permet de confirmer la valeur de mesure avec l'électrode mobile.

III.7- Détection de la perte de métal (mesureur d'épaisseur)

Nous avons utilisé un mesureur d'épaisseur à Ultrason. Un gel visqueux (coupleur liquide) est déposé sur la surface métallique, permettant de transmettre des ultrasons dans le matériau. Sur l'écran, le résultat est affiché. Pour ce faire nous avons utilisé plusieurs points sur la surface métallique et utilisé la valeur la plus et on extrapole.



Figure.20 Mesureurs d'épaisseur avec appareil à ultrason de tôle métallique

Chapitre IV

Dimensionnement de la protection cathodique

Ce chapitre est scindé en deux grandes parties :

A : Problématique cas pratique et activités parallèles

Et

B : Protection cathodique par anode sacrificielle (calcul de dimensionnement)

IV.A- Problématique cas pratique et activités parallèles

IV.A.1- Problématique

Les systèmes anti-incendie permettent de prévenir les explosions afin de limiter les dégâts que celles-ci pourraient causer. Leur mise en place est d'une importance capitale pour les entreprises pétrolières. C'est dans cet objectif que survient la nécessité d'un système anti-incendie au niveau des unités de gaz ou autres. Ce système anti-incendie est constitué de plusieurs équipements dont l'un des plus importants est le bac de stockage à eau anti-incendie. Afin d'assurer une bonne exploitation de ce bac, un calcul de dimensionnement de PC est nécessaire. Et pour ce faire, nous avons défini les hypothèses et les données de base, et effectué les calculs nécessaires.

IV.A.2- Hypothèses et données de base

IV.A.2 .1- Hypothèses

- La situation dans laquelle nous effectuons notre étude est celle normale de service.
- Les matériaux avec lesquels est construit le réservoir sont supposés isotropes.

IV.A.2.2- Données de base

- Densité du produit : $d = 1$ dans ce cas il s'agit de l'eau
- Situation : région où se trouve le projet (lieu) RTE Skikda
- La vitesse du vent $\cong 80\text{km/h}$

- Diamètre du réservoir : $D = 24 \text{ m}$
- Hauteur du réservoir : $h = 14 \text{ m}$
- Hauteur de remplissage : Le bac à eau a un toit fixe, donc tout le volume sera rempli.
- Volume du liquide : $V = 5700 \text{ m}^3$
- Masse volumique air : $\rho_{\text{air}} = 1.3 \text{ kgm}^{-3}$
- Masse volumique acier : $\rho_{\text{acier}} = 7850 \text{ kgm}^{-3}$ densité du fer/acier
- Accélération de pesanteur : $g = 9.8 \text{ m/s}^2$
- Dimensions de tôle de viroles: $9 \times 2.5 \text{ en m}^2$
- Produit stocké : eau anti- incendie
- Nuance Matériau : A 283 C

Norme : NF EN 10.025

IV.A.2.2.1- La virole

Le tableau ci-dessous donne les épaisseurs nominales minimales de la robe en fonction du diamètre du réservoir.

Diamètre nominal du réservoir D (m)	Epaisseur nominale minimale de la robe (surépaisseur de corrosion éventuelle exclue)	
	Acier au carbone (mm)	Acier inoxydable austénitique mm
24	6.35	/

Tableau 7. Epaisseur nominale minimale de la virole

IV.A.2.2.2- Le fond du réservoir

Epaisseur de fond : le tableau ci-dessous nous donne l'épaisseur nominale minimale de la tôle de fond

Matériau	e (mm)
Aciers au carbone	6.35

Tableau 8. Epaisseur nominale minimale de la tôle de fond

IV. B-Calcul de dimensionnement

IV.B.1- Méthodologie de dimensionnement d'un bac anti-incendie

IV.B.1.1-Définition des hypothèses de calcul

La définition des hypothèses de calcul passe par :

a- Géométrie du réservoir

La description de la géométrie du réservoir se fait à partir du cahier des charges client ou à partir d'un besoin client bien exprimé qui contient un plan de détail du réservoir ou simplement à partir des données géométriques voulues.

b- Conditions du site

Selon l'emplacement du réservoir, il y a des normes de vent et de séisme relatifs à chaque pays et à chaque région qui définissent la zone, la pression du vent et du séisme.

c- Conditions de service

Les conditions de service englobent la densité du produit, la température, la pression, la dépression, la surpression qui émanent de l'exploitant final (TRC).

d- Choix des matériaux

Le matériau utilisé est généralement imposé par l'utilisateur final (TRC). En tout cas la confirmation du choix ou la proposition d'un nouveau matériau est indispensable selon les normes en vigueur : les codes de calcul des réservoirs atmosphériques **API 650**, ou les normes des matériaux **EN 10025** ou **EN 10028**.

IV.B.1.2- Définition des codes de calcul

C'est une importante du dimensionnement, parfois l'exploitant ou le constructeur a ses préférences par rapport au choix de la norme de calcul, sinon l'application :

- Choix du code de calcul du réservoir : ASME, API,
- Choix de calcul des normes de séisme et du vent adéquates
- Epaisseurs des viroles

- Les trous d'homme
- Le toit du bac : fixe, mobile ou flottant
- La géométrie du bac : sphère, horizontal, vertical
- Acier au carbone ou en acier inox
- Viroles et leurs dimensions (hauteur, longueur, épaisseur)
- Fond du bac
- Epaisseur du bac

Pour les épaisseurs des viroles, il faut définir le nombre de viroles, les limites admissibles des viroles, les hauteurs du liquide pour chaque virole et les épaisseurs des viroles.

a- Vérification au séisme

-Résistance au renversement : Le bac ne pas avoir un renversement physique, sauf qu'il est possible de faire régulièrement des essais ou des tests anti séisme.

- Vérification au vent : La vitesse maximale en hiver = 80km/h

Il y a une stabilité du vent généralement la période d'été.

b- La cuvette de rétention

Pour une bonne implantation du réservoir, la cuvette de rétention est nécessaire afin de limiter la propagation du feu, de drainer les fuites inattendues.

IV.B.2- Caractéristiques du bac de stockage à eau anti-incendie

Caractéristiques du réservoir

- Capacité de service net : 5700 m³ ;
- Produit stocké : eau anti-incendie ;
- Diamètre estimatif : 24 m ;
- Hauteur estimative : 14m ;
- Type de toit : flottant
- Site : TRC - Skikda

IV.B.2.1- Données de base pour le dimensionnement

Le dimensionnement du système de la protection cathodique du bac de stockage à eau anti-incendie nécessitera préalablement la disponibilité des données de base suivantes

- Le type de matériau du bac de stockage.
- Les mesures de la résistivité du sol.
- Les caractéristiques des anodes sacrificielles

IV.B.2.2- Données du site

- **Conditions climatiques :**

Les conditions de conception pour les équipements installés à l'extérieur sont les suivantes (climat méditerranéen) :

- Altitude : 28m
- Température :
 - ✚ Saison chaude : Moyenne : 20°
 - Maximale : 39° , Minimale : 29°
 - ✚ Saison hivernale : Moyenne : 10°
 - Maximale : 23° , Minimale : 23°
- Humidité relative : Moyenne en été : 65 %
Minimum : 70% Maximum : 80%
- Vents : la région est caractérisée par des vents violents pouvant atteindre 80 km/h.

IV.B.2.3- Nature du sol

Le sol de la région de Skikda est caractérisé par une résistivité allant de 08 à 18 $\Omega.m$ à 01m de profondeur, de 06 à 18 $\Omega.m$ à 04m de profondeur.

IV.B.2.4- Objet

Dans ce manuscrit on décrit le mode d'installation du système de protection cathodique du bac de stockage à eau anti-incendie et répertorie la localisation prévisionnelle des équipements de la protection cathodique du bac de stockage.

Les équipements à installer sont :

- Les anodes Mg pour la protection provisoire.

- Les prises de mesure de potentiel du courant.
- Le câblage lié à ces équipements.

IV.B.2.5- Réglementation

Normes et Standards utilisés :

- **EN 12954** – Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées.
- **EN 13509** – Techniques de mesure applicables en protection cathodique.

IV.B.2.6- Caractéristiques du bac

Les données et caractéristiques du bac de stockage sont :

Capacité : 5700 m³.

Produit : eau du réseau public.

Lieu : Zone industrielle de Skikda « TRC ».

Diamètre : 24.00 m, Hauteur : 14 m épaisseur: 4.76 mm).

Le reste des données est donné ci-dessous.

IV.B.2.7- Collecte de données

La collecte de données a porté sur :

- L'investigation des systèmes de protection cathodique existants.
- L'emplacement des déversoirs existants.
- Disponibilité des sources d'énergie.
- Caractéristiques du bac.
- Position des joints isolants (kit joints et joints monoblocs).
- Disposition des sources d'interférences (lignes HT, Canalisations, etc...).
- Compagne de mesure de résistivité de sol.
- Détails d'emplacement des coffrets et des prises de mesure et contrôle.

IV.B.2.8- Description du système de protection cathodique provisoire

La mise en place d'un système de protection cathodique provisoire permet d'assurer la protection du bac contre la corrosion jusqu'à la mise en service d'une protection cathodique définitive.

IV.B.2.8.1-Mode d'installation du système de protection cathodique provisoire

Le mode d'installation des anodes sacrificielles et leur mise en place est comme suit :

- Préparer un trou de 2.00 m de profondeur et 1.00 m de diamètre permettant de recevoir une anode sacrificielle en Magnésium.
- L'anode sera placée verticalement à trois « 03 » mètres de la structure (fond du bac) (voir annexe01).
- Une fois l'anode posée, elle doit-être arrosée avant d'être remblayée avec de la terre meuble.
- Avant de connecter le câble de l'anode avec celui de la structure à travers le bornier de la prise/coffret, un relevé de potentiel du bac et celui de l'anode est nécessaire.
- Relier le câble de l'anode avec celui arrivant du bac et ce, sur la borne de la prise prévue à cet effet (voir figures 19 et 20).
- Installer un tube en PVC (Ø 100) pour l'arrosage de l'anode.
- Mesurer le potentiel de polarisation du bac.

Remarque

Le nombre d'anodes est calculé suite à une étude théorique, il peut être augmenté ou abaissé.

Le critère de protection du bac par anodes sacrificielles doit conduire au potentiel de polarisation du bac à une valeur inférieure à - 850 mV / Cu/CuSO₄ (électrode de référence mobile).

II.B.2.9- Caractéristiques de l'anode sacrificielle

Tableau 9. Caractéristiques physiques de l'anode de magnésium

Propriété	Valeur
Forme	Cylindrique
Type	Pré-emballé
Poids brut	15.9 kg
Longueur	0.635 m
Diamètre	0.150 m
Poids nominal du lingot	7.7 kg
Capacité théorique	2640 Ah/kg
Consommation théorique	3.5 kg/A.an
Rendement	50%
Capacité	1230 Ah/kg
Potentiel	-1.5 Volts
Poids spécifique	1.84 g/cm ³

Tableau 10. Composition du BACKFILL.

Eléments	%
Gypse en poudre	75%
Bentonite	20%
Sulfate de Sodium	05%

Tableau 11. Caractéristiques chimiques de l'anode de Mg

Eléments chimiques	%
Cu	0.02 % maxi
Al	0.01 % maxi
Si	0.05 % maxi
Fe	0.03 % maxi
Mn	0.5 à 1.3 %
Ni	0.01 % maxi
Zn	--
Sn	0.01 % maxi
Pb	0.01 % maxi
Mg	Reste

IV.B.3- Dimensionnement de la protection cathodique provisoire

La protection cathodique provisoire garantie pour une durée 3 ans est assurée par des anodes sacrificielles en Mg.

IV.B.3.1- Calcul du nombre d'anodes pour la protection cathodique du bac

Tableau 12. Caractéristiques physiques

• Résistivité du sol $\Omega.cm$	2000 $\Omega.cm = 20 \Omega.m$
• Longueur de l'anode cm	60 cm
• Diamètre de l'anode cm	15 cm
• Potentiel de l'anode	-1500 Mv
• Potentiel recherché	-850 mV
• Densité du courant	0.1 mA/m ²
• Consommation kg/A.an	07Kg/A.an
• Durée de vie	03 ans
• Poids d'une anode	7.7 kg

- Résistance de contact de l'anode (anode cylindrique verticale) :

$$R_v = \rho / 2\pi L (\ln 4L/a^{-1}) \quad [13]$$

Où :

R_v : la résistance, en Ω Calculée

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

L : la longueur en cm Donnée

a : le rayon de l'anode en cm. Donné

$$R_v = 14.00 \Omega.$$

Le potentiel recherché pour la protection des bacs : -850 mV / Cu-CuSO₄ saturé.

- Le potentiel de l'anode : -1500 mV / Cu-CuSO₄ saturée.
- Le potentiel de la structure (U_{nat} acier au carbone) = -500 mV

$$\Delta U = 1500 - 850 = 650 \text{ mV}$$

- Courant de l'anode $(U_{nat} - U_a) / R_v = (-500 + 1500) / 14 = 71,428 \text{ mA} = 0,071 \text{ A}$ [14]
- Surfaces à protéger

- Viroles : largeur = 9m
- Hauteur = 2.5m.
- Epaisseur du toit : 4.76 mm
- Surface des viroles = surface de la robe = surface du bac
- Hauteur du bac : 14 m
- Diamètre du bac : 24 m
- Trou d'homme : $\phi = 20''$ et $30''$
- Epaisseur du fond du bac : 6.35 mm
- Les bacs sont protégés : Protection passive, PCAS ou PCCI
- Nuance de la tôle du bac : A 283 C
- Nuance de la tôle du fond du bac : A 283 C
- Nuance de la tôle des viroles : A 283 C
- Nature de la peinture du bac : système S19 de peinture : 5 couche de viroles Galzinépoxy.

o Surface Totale du bac (ST) :

$S_T = \text{surface du bac} + \text{Surface du fond du bac} + \text{Surface du toit du bac}$

$$S_{Tb} = S_b + S_f + S_t \quad [15]$$

•Perte en poids théorique :

$$M_a = \text{Consommation Kg/A.an} \times I \text{ nécessaire} \times \text{Durée de vie} \quad [16]$$

$$\bullet \text{Masse nécessaire} = M_a \times \text{utilisations } 60\%. \quad [17]$$

•Nombre d'anode :

$$N_a = \text{Masse nécessaire} / \text{poids d'une anode.} \quad [18]$$

IV.B.3.2- Calcul des dimensions du bac

- Surface du bac :

$$\text{Périmètre du bac} : 3.14 * 24 = 75.36 \text{ m}$$

$$\text{Périmètre} * \text{hauteur} = 75.36 * 14 = \mathbf{1055.0 \text{ m}^2}$$

- Surface du toit

Si surface conique et épaisseur 4.76 mm:

$$3.14 * 24 * 0.00476 = 0.3587 \text{ m}^2$$

$$3.14 * 12 * 12 = 452.16 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{S_t = 452.5187 \text{ m}^2}$$

- Surface du fond du bac :

Epaisseur : 6.35 mm

$$3.14 * 24 * 0.00635 = 0.478 \text{ m}^2$$

$$3.14 * 12 * 12 = 452.16 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{S_f = 452.638 \text{ m}^2}$$

- Surface totale du Bac

$S_{Tb} = S_b + S_t + S_f =$ Surface Totale du bac

$$1055.0 \text{ m}^2 + 452.5187 \text{ m}^2 + 452.638 \text{ m}^2 = \mathbf{1960.1567 \text{ m}^2}$$

$$\text{Courant total} = J \times S_T = \dots \text{ mA} = \dots \text{ A} \quad [19]$$

S_{Tb} : représente la surface totale

$$J = I / S_T : \text{densité de courant} \quad [20]$$

$$1960.1567 \times 0,1 \cong 196 \text{ mA/m}^2 = 0.196 \text{ A}$$

Car la densité courant délivrée par l'anode de magnésium est de $0.1 \text{ mA} / \text{m}^2$

- ✚ Perte en poids
- ✚ Durée de vie 03 ans.

Si anode de Mg pèse 7.7 kg

$$M_a = \text{Consommation kg/A.an} \times I \text{ nécessaire} \times \text{Durée de vie} \quad [21]$$

$$M_a = 7 \times 0.196 \times 3 = 4.116 \text{ kg}$$

$$\text{Perte en poids théorique : } M_a = 4.116 \text{ kg.}$$

$$\text{Poids nécessaire : } 4.116 \times 60 \% = 2.469 \text{ kg.}$$

$$\text{Nombre d'anodes : } 2,469 / 7,7 = 0.32 \text{ anode} \cong 1 \text{ anode.} \quad [22]$$

Donc le nombre d'anodes sacrificielles en magnésium à installer pour les trois bacs à eau anti-incendie est de 3. Une anode sacrificielle par bac.

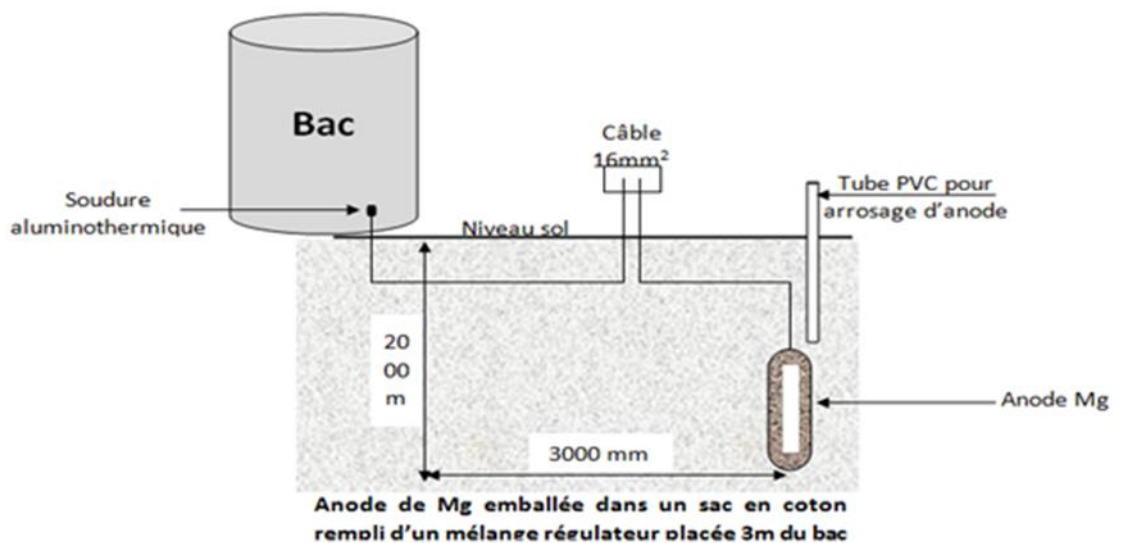


Figure.21 Détails d'implantation de la protection cathodique provisoire.

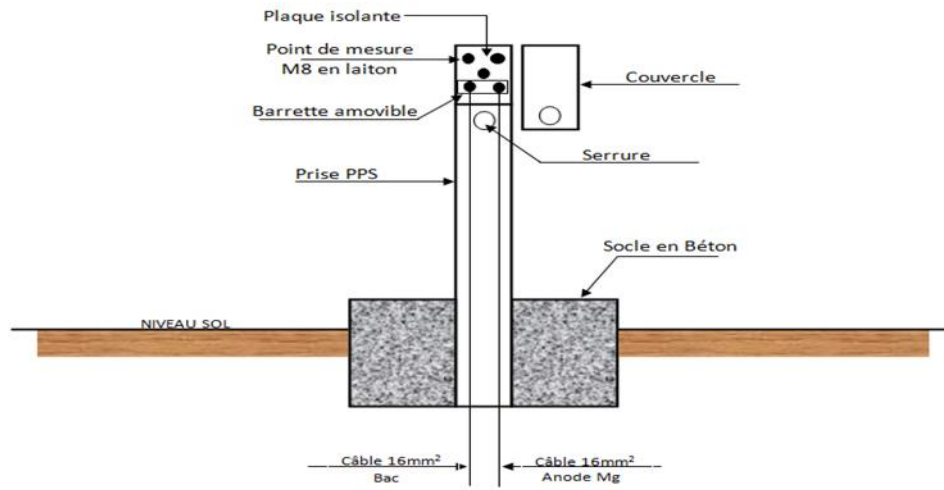


Figure.22 Installation de la Prise de Potentiel Simple

Conclusion générale

Conclusion générale

Nous avons consacré cette étude expérimentale à la protection cathodique provisoire des bacs de stockage à eau anti-incendie installés au niveau de la RTE – SONATRACH – Skikda.

L'industrie pétrolière est par excellence, le lieu où les hommes sont le plus exposés aux risques. C'est pourquoi la sécurité et la prévention font partie des exigences au sein de celle-ci. L'unité de TRC est une entreprise pétrolière de transport de gaz et il est indispensable qu'elle soit munie d'un système anti-incendie. Cela justifie le dimensionnement de son bac de stockage d'eau anti-incendie. D'où notre thème. Pour ce faire, nous avons structuré notre travail en quatre chapitres. Les résultats de calcul effectué ont montré que pour une surface de bac de l'ordre de 1960.1567 m² (Toit, Fond, Robe) exige pour sa protection provisoire d'une durée de trois ans 01 anode de magnésium de 7.7 kg. Comme il y a 3 bacs, il nous faut 3 anodes sacrificielles de Mg prébackfilées au maximum.

L'installation de cette anode en Mg nous permet d'obtenir un potentiel cathodique de protection de -0.85 V selon la norme **NACE RP 0169** ;

Le sol est de pH basique de l'ordre de 9, sa résistivité est faible selon les exploitants, elle est dans une fourchette de 8 à 20 Ω .m (archives et traçabilité). Comme c'est une région côtière, la résistivité diminue avec l'augmentation de la profondeur. C'est une déduction théorique.

Pour garder l'installation métallique intègre (en immunité), nous devons surveiller régulièrement: le potentiel de protection, la résistivité du sol et son pH. La surveillance de ces différents facteurs nous permet d'avoir une bonne intégrité de notre structure. D'ailleurs, un tableau de contrôle régulier est donné en annexe.

Références bibliographiques

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

- [14] PA. Schweitzer, Corrosion engineering handbook, Taylor & Francis INC, New York, 2nd edition, vol 3, (1996).
- [15] C. Vargel, Corrosion of aluminium, Elsevier, New-York, 1st edition, (2014).
- [16] Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du Pétrole et de gaz Naturel, Corrosion et inhibition des puits et collectes, Technip, Paris, (1981).
- [17] JC.Scully, O.Clavier, G.German, Corrosion protection : Principes fondamentaux, Masson, Paris, (1995)
- [18] PR.Robertge, Handbook of corrosion engineering, Mc Graw-Hill, New-York, (2000).
- [19] LL. Shrier, RA.Jarman, GT.Burstein, Corrosion /environment reaction, ButterworthHeinemann, Great Britain, 3rd, Vol 1, (1994).
- [20] K.Belmokre , Azzouz, F. Kermiche, J. Pagetti. 'L'humidité du sol et son impact sur la corrosion des pipelines algériens'. Galvano-Organo-Traitements de surface, 679, pp. 725-728 (1997).
- [21] K. Belmokre, N. Azzouz, F. Kermiche, M. Wery, J. Pagetti. 'Corrosion study of carbon steel protected by a primer, by electrochemical impedance spectroscopy (EIS) in 3% NaCl medium and in a soil simulating solution'. Materials and Corrosion, 49(2), pp. 108-113 (1998).
- [22] MC, GENOVEZ. (2016). New concept for metallic protection against corrosion: Vactive VCI. Ph .D. Thesis. University of Pardubice Czech Republic.
- [23] GF.Corrosion, Corrosion engineering. McGraw Hill Book Company, New York, 3rd edition, (1987).
- [24] RW.Revie, Corrosion and corrosion control, John Wiley & Sons, Canada, 4th edition, (2008).
- [25] J. Philibert, A.Vignes, Y.Bréchat, P.Combrad, Métallurgie: du minerai au matériau, Masson, Paris, (1998).

- [26] L.leleyter, C.Rousseau, O.Gil, F.Barand, Répartition des métaux lourds dans les différentes fractions des sédiments marins: influence de la protection cathodique, Elsevier, 339 (2007).
- [27] KW.Hameed, AS. Yaro. AA.Khadom, Mathematical model for cathodic protection in a steel-saline water system. Journal of Taibah University for Science, 10 (2016) 64-69.
- [28] IA. Metwally, HM .Al-Mandhari, A.Gastli.Z.Nadir, Factors affecting cathodic-protection interference, Elsevier, 31(2007).
- [29] V.Brut, Corrosion in the petrochemical industry, ASM International, USA, 2nd edition, (2015).
- [30] JP.Bailon, JM.Dorlot, Des matériaux, Press international polytechnique, Montréal, 3ème édition, (2000).
- [31] A, BRENNNA. (2009-2011).A proposal of AC corrosion mechanism of carbon steel in cathodic protection condition, Ph.D. Thesis in Materials Engineering Politecnico di Milano.
- [32] M.Helie, Corrosion Des matériaux Métalliques,Ellipse, Paris (2015).
- [33] C.Rochaix, Electrochimie: thermodynamique, cinétique, Nathan, (1996).
- [34] I, IBRAHIM. (2008).La Corrosion induite par courant alternatif sur les canalisations enterrées sous protection cathodique. Thèse de Doctorat. Université Pierre et Marie Curie.
- [35] PM.Chess, JP.Broomfield, Cathodic protection of steel in concrete and masonry, CRC Press, New York, (2014).
- [36] B.Normaand, N.Pébère, C.Richard, M.wery, Prévention et lutte contre la corrosion: Une approche scientifique et technique. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. (2004).
- [37] M.Kutz, Handbook of environmental degradation of materials. William Andrew, USA,

(2005).

[38] Nguyen-Thuy LE, Protection cathodique, Badoris-document de synthèse relatif à une barrière technique de sécurité (BTS), Paris, (2008).

[39] Guide scientifique et technique, Revêtements externes des canalisations enterrées ou immergées et des ouvrages, Connexes, France, (2006).

[40] AK.Susilo, Ahmed, OS.Suharyo, P.Pratisna, Design analysis of impressed current cathodic protection for fuel distribution pipeline system at eastern fleet command naval base, J.Int. Sci. Eng.Res.5 (2017) 63-70.

[41] A.Byrne, N.Holmes, B.Norton, State-of-the-art review of cathodic protection for reinforced concrete structures, D.I.T, 68 (2016) 644-677.

[42] R.Baboian, Corrosion tests and standards: Application and interpretation, ASTM International, USA, 2nd edition, (2005).

[43] A.Oyubu, Soil resistivity and soil pH profile investigation: A Case Study of Delta State University Faculty of Engineering Complex, J.Int.Eng.Res, 6(2015) 583-589

[44] TN.Guma, Su.Mohammed, AJ.Tanimu, A Field survey of soil corrosivity level of kaduna metropolitan area through electrical resistivity method, J.Int. Sci. Eng. Res, 3(2015) 5-10.

[45] RL.Bianchetti, Control of pipeline corrosion, Nace International, Texas, 2nd edition, (2001).

Réglementation Normative

- 1.** API STD 620. Recommended rules for design and construction of large , welded, low pressure storage . Washington , DC, USA ; American Petroleum Institute 2012 .
- 2.** API STD 650. Welded Tanks for oil storage. Washington DC, USA : American Petroleum Institute 2010 .
- 3.** ASME STD Sec VIII. Rules for construction of pressure vessels. New York. American Society of Mechanical Engineers 2013.
- 4.** Norme NACE RP O169 Critères de protection cathodique
- 5.** NF A05 – 250 : "Corrosion par les sols. Evaluation de la corrosivité. Canalisations enterrées en matériaux ferreux non ou peu alliés”
- 6.** BSI CP1021 : Document de référence CP1021, évalue l’agressivité du sol.
- 7.** ASTM D A1295 : Méthode pour la mesure du pH du sol
- 8.** EN NF 12954 Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées
- 9.** EN 13509 – Techniques de mesure applicables en protection cathodique.
- 10.** EN 10025 : Codes de calcul des réservoirs atmosphériques
- 11.** EN 10028 : Codes de calcul des réservoirs atmosphériques

*Liste des acronymes, Symboles et
abréviations*

SONATRACH : Société Nationale pour la Recherche, la Production, le transport, la transformation, et la commercialisation des Hydrocarbures

ERDP : Entreprise de Raffinage et de Distribution des Produits Pétroliers

NAFTAL : NAFT Algérien

GPL : Gaz Pétrole Liquéfié

RAIK : Raffinerie de Skikda

RA1/ G : Raffinerie d'Alger

RA1/Z : Raffinerie d'Arzew

TRC : Transport par Canalisation

DGRS : Direction Régionale Gazoduc - Skikda

RTE : Région Transport Est

API : American Petroleum Institute

ASME : American Society of Mechanical Engineers

ASTM : American Society for Testing and Materials

AMT : Activité Amont

COM : Commercial

RTE : Région Transport Est

RTO : Région Transport Oran

RTI : Région Transport In amenas

RTH : Région Transport Haoud Hamra

RTC : Région Transport Bejaia

GEM : Direction des Gazoducs Enrico Mattei

GPDF : Gazoduc Pedro Duran Farrell

TAO : Terminal Arrivée Oléoduc

TAG : Terminal Arrivée Gazoduc

ELB : Entretien Lignes et Bacs

PC : Protection Cathodique

PA : Protection Anodique

PP : Protection Passive

PCAS : Protection Cathodique par Anode Sacrificielle

PCCI : Protection Cathodique par Courant Imposé

PSs : Prise de Potentiel Simple

TR : Transfo-Redresseur

I : Courant

V : Variation de potentiel

ddp : différence de potentiel

m : mètre

Ah : Ampère heure

Kg : kilogramme

Km : kilomètre

A : Ampère

mA : milliampère

cm : centimètre

Ma : Masse

Ω : Ohm

ρ : résistivité

ϕ : Diamètre

M : Masse (kg)

V : Volume

P : Puissance

S : SECONDE

N : Newton

MPa : Méga Pascal

GPa : Géga Pascal

AN : Application Numérique

Cu : cuivre

CuSO₄ : Sulfate de cuivre

Annexes

Annexes

ANNEXE 1 Principaux contrôles à effectuer

Contrôles à effectuer	Périodicité
Contrôle des potentiels	Au minimum 1 fois par an.
Contrôle des intensités (liaisons)	Au minimum 1 fois par an.
Soutirage de courant	Vérification du bon fonctionnement, 1 fois par mois. Contrôle détaillé, 1 fois par an.
Drainage de courant	Vérification du bon fonctionnement, 1 fois tous les 15 jours.
Liaison électrique	Avec un tiers 1 fois par trimestre.

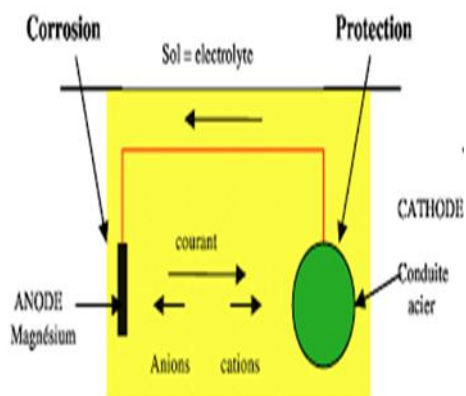
ANNEXE 2 : Trou d'homme



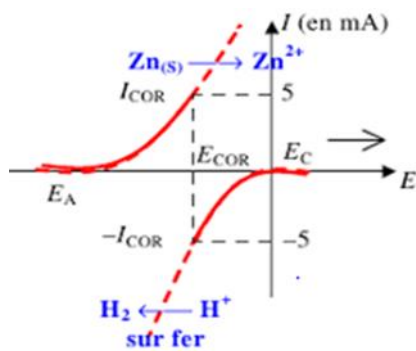
Trou d'homme

Annexes

ANNEXE 3 : Protection cathodique (PCAS et PCCI)



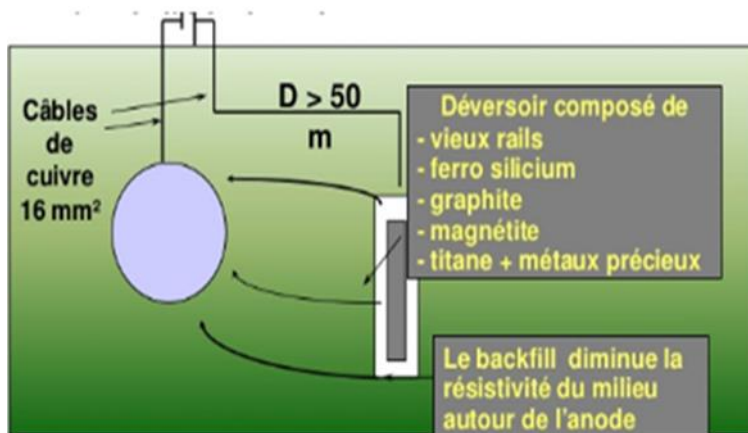
PCAS



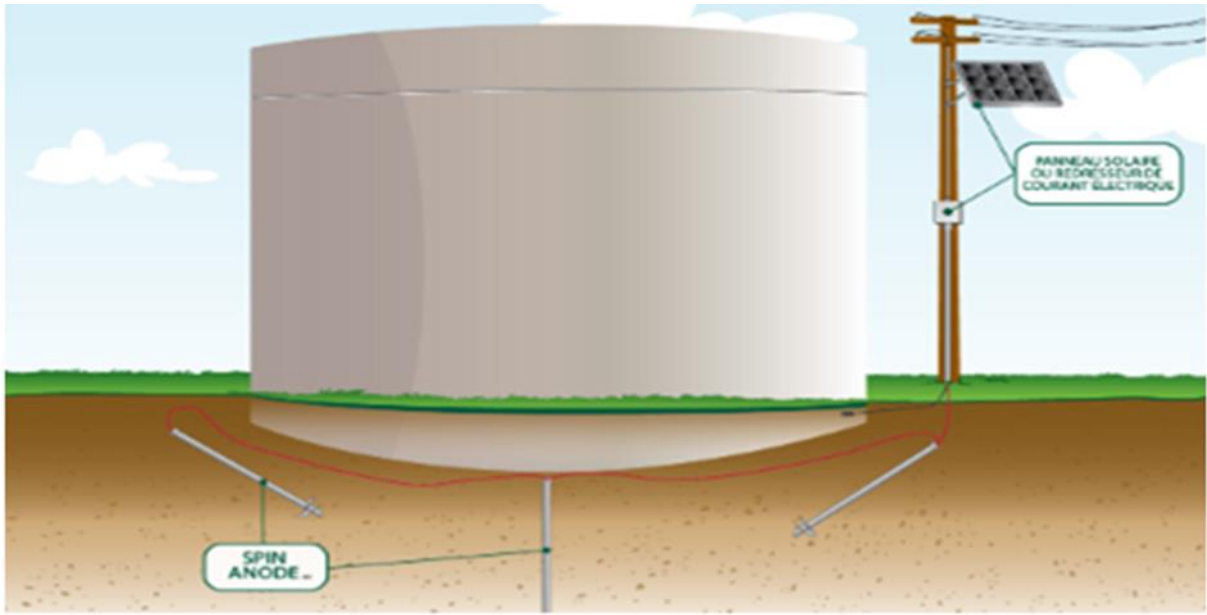
Courbes de polarisations partielles

(Cathodique et anodique)

TR (alimentation 220 V)



PCCI



Fond de réservoir posé sur sol (plancher de réservoir sur sol)

Alimentation électrique : panneau solaire ou générateur de courant électrique.