

UNIVERSITE KASDI MERBAH -OUARGLA
Faculté des mathématiques et sciences de matières
Département de physique



Mémoire Master Académique

Domaine : Sciences de la matière

Filière : Physique

Spécialité : Physique énergétique et énergies renouvelables

**Présente par : Boukhlefa Imane
Chabira Manel**

Thème

**La protection cathodique des pipes
carburant par panneaux
photovoltaïques**

Soutenu publiquement le : 06/06/2018

Devant le jury :

Mr. Soudani Mohamed Elbar	MCB	UKM Ouargla	Président
Mr. Bouanane Rabeh	MAA	UKM Ouargla	Examineur
Mr. Boughali Slimane	MCA	UKM Ouargla	Encadreur

2017/2018

Remerciement

En préambule à ce travail, Je tiens tout d'abord à remercier en premier lieu ALLAH le tout puissant, pour m'avoir donné autant de courage, de patience et de volonté pour atteindre ce modeste travail.

Toutes mes infinies gratitudees à mon promoteur Mr BOUGHALI SLIMANE pour son encadrement, se aide précieuse et ses efforts ainsi que pour ses générosité.

Je tiens à remercier également, le président de jury Mr SOUDANI MOHAMED ELBAR et l'examineur Mr RABEH BOUANANE pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger et d'évaluer notre travail.

Je souhaiterais adresser mes remerciements les plus chaleureux aux personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, il est très agréable de remercier :

-Mr BELKHIER TOUFIK, Directeur système protection cathodique en GRTG EST et Mr KHEMISS FARID Directeur GRTG OUARGLA.

- Nos collègues de cette formation master.

-Je ne peux jamais oublier tous mes meilleures amies.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Si par mégarde, j'ai oublié quelqu'un, qu'il me pardonne et qu'il soit remercié

Merci à tous.

Merci pour tout.

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Ma mère, qui a œuvrée pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes professeurs de l'université de kasdi merbah ouargla qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

www.7c7.com

Manel



Dédicace

Je dédie ce mémoire notamment à mes deux chers parents,

à toute ma famille,

à toute la promotion master 2018 physique énergétique

et toutes et tous ceux celles

qui m'ont aidé dans la réalisation de ce mémoire.

Imane

Résumé

Dans le cadre de cette étude examine l'utilisation de l'énergie solaire comme source de courant pour alimenter la protection cathodique de pipes enterrées.

Pour ce faire, nous avons choisi l'étude du gazoduc GRTG, ce dernier étant protégé par un courant utilisant un courant électrique normal (Sonlgaz).

L'étude se concentre sur le remplacement de la source d'énergie fossile par l'énergie solaire photovoltaïque et la détermination de l'efficacité du système.

Mots clés :

Protection cathodique, corrosion, énergie solaire, pipes enterrés

ملخص

يتم في هذا العمل دراسة استخدام الطاقة الشمسية كمصدر تيار لتغذية نظم الحماية الكاثودية للأنابيب المدفونة.

ومن اجل هذا اخترنا دراسة أنبوب نقل الغاز تابع لمؤسسة GRTG وهذا الأخير تتم حمايته كاتوديا بالتيار المسلط باستعمال تيار كهربائي عادي (سونلغاز)

تتمحور الدراسة حول استبدال مصدر الطاقة الكهربائية من طاقة احفورية الى طاقة شمسية كهروضوئية ومعرفة مدى فعالية هذا النظام.

الكلمات المفتاحية:

الحماية الكاثودية، التآكل، الطاقة الشمسية، الأنابيب المدفونة.

Abstract

As part of this study examines the use of solar energy as a power source to power the cathodic protection of buried pipes.

To do this, we chose the study of the GRTG pipeline, the latter being protected by a current using a normal electric current (Sonelgaz).

The study focuses on the replacement of the fossil energy source by photovoltaic solar energy and the determination of the efficiency of the system.

key words:

Cathodic protection, corrosion, solar energy, buried pipes

Sommaire

1	Introduction.....	3
---	-------------------	---

Chapitre 01

2	Généralités sur le phénomène de corrosion.....	3
3	Types de corrosion.....	4
3.5	Les processus de corrosion.....	7
3.6	Principe de la corrosion électrochimique.....	7
3.7	Facteurs agissant sur la corrosion des ouvrages métalliques enterrés.....	8
3.7.2	Le PH.....	9
3.7.3	Diagramme de Pourbaix.....	9
3.7.4	Hétérogénéité du métal.....	11
3.7.5	Corrosion par les courants vagabonds.....	11
3.7.6	Corrosion Par Erosion.....	12
3.7.7	Corrosion bactérienne.....	12
4	Taux de corrosion de l'acier dans les sols, agressivité absolue et agressivité relative.....	13

Chapitre 02

1.	Introduction.....	15
2.	Notions de Protection contre la corrosion.....	16
3.	Prévention par un choix judicieux des matériaux.....	16
4.	La protection passive.....	16
5	Utilisation de revêtements.....	16
5.1.3	Techniques de revêtement métallique.....	17
6	La protection active.....	17
7	Protection par inhibiteurs.....	18
7.1	Définition d'un inhibiteur.....	18
7.2	Classification des inhibiteurs.....	18
7.3	Mécanismes et principes d'action.....	18
8	Protection cathodique.....	19
9	Système de protection cathodique.....	20
9.1	Protection par anodes galvaniques.....	20
9.2	Principe de protection par anodes galvaniques.....	20
9.3	Protection par courant imposé.....	21

9.4	Principe de protection par courant imposé.....	21
10	Comparaison entre un système à anodes galvaniques à courant imposé.....	22
11	Poste de protection cathodique (ou de soutirage)	22
12	Différents systèmes d'alimentation des postes de protection cathodique en énergie électrique	23
13	Généralité sur l'énergie solaire photovoltaïque	23
13.1	Introduction	23
13.2	Définition	24
13.5	Types d'applications l'énergie solaire photovoltaïque	25
13.6	Installation Solaire	25
13.7	Le Panneau Solaire.....	25

Chapitre 03

1.	Introduction.....	29
2.	Etude de l'environnement: (Evaluation du risque corrosion).....	29
3.	Détermination de la valeur de la résistance d'isolement.....	30
4.	Etude de la protection cathodique.....	32
5.	Dimensionnement Du Système Photovoltaïque	37
	Gazoduc étudié	39
1.	Définition de GRTG	39
2.	Définition de réseau étudié	39
3.	Caractéristiques du gazoduc	40
4.	Calcul de système de la protection cathodique.....	40
5.	Calcul de système photovoltaïque	41
	Conclusion.....	43
	Annexe	45
	Références	51

Liste de symbole

symbole	Explication	Unité
ΔU	moyenne des gains de potentiel	V
I_s	Courant de soutirage	A
I	l'intensité débitée au cours de l'essai	A
S	surface extérieurs de l'ouvrage étudié (à protéger)	m ²
D	diamètre de la canalisation	m
r	résistance longitudinale de la conduite	$\Omega.m^{-1}$
ρ_a	résistivité de l'acier	$\Omega.m$
e	l'épaisseur du tube	m
D_{ext}	diamètre extérieur de la conduite en mètre.	m
R	Résistance transversale de la conduite	[$\Omega.m$]
α	Coefficient d'atténuation	[m^{-1}]
R_c	Résistance caractéristique	[Ω]
I	densité de courant	[mA/m]
R	la résistance de terre d'un déversoir:	[Ω]
P	puissance de soutirage	[W]
η	le rendement du redresseur en générale	[%]
I_{dr}	Irradiation de solaire	[Kwh/m2]
E_n	l'énergie nécessaire au poste de soutirage	[wh/j]
t_f	temps de fonctionnement du poste du générateur solaire	[h/j]
E_f	énergie à fournir	[wh/j]
P_{CG}	puissance crête du générateur photovoltaïque	[wc]
N_{ps}	nombre de panneau solaire	
PC_{ps}	puissance crête du panneau solaire	[wc]
C	capacité du parc de batteries	[Ah]
L	Longueur	m

Liste de figures

N°	Titre de figure	page
Figure I .1	schéma corrosion électrochimique	5
Figure I .2	corrosion galvanique	5
Figure I .3	corrosion caverneuse	6
Figure I .4	corrosion par piques	6
Figure I .5	corrosion inter granulaire	6
Figure I .6	corrosion sélective	7
Figure I .7	schéma Principe de la corrosion électrochimique	8
Figure I.8	schéma d'Hétérogénéité du terrain	9
Figure I.9	schéma Diagramme de Pourbaix	10
Figure I.10	Hétérogénéité du métal	11
Figure I.11	Corrosion par les courants vagabonds	12
Figure I.12	Corrosion bactérienne	12
Figure II.1	schéma de revêtements métalliques	17
Figure II.2	schéma classement des inhibiteurs	18
Figure II.3	<i>schéma mécanismes et principes d'action inhibiteurs</i>	19
Figure II.4	principe Protection cathodique	19
Figure II. 5	Principe de la protection cathodique par anodes galvaniques	21
Figure II.6	Principe de la protection cathodique par courant imposé	21
Figure II.7	Poste de protection cathodique	23
Figure II.8	schéma de principe de l'énergie solaire photovoltaïque	24
Figure II.9	Cellule, panneaux et champs photovoltaïques	24
Figure II.10	Principe d'une cellule photovoltaïque	25
Figure II.11	schéma d'Installation Solaire photovoltaïque	26

Liste de tableaux

N°	Titre de tableau	page
Tableau I.1	Taux de corrosion a différente valeur de pH de sols	9
Tableau I.2	Vitesse de corrosion en fonction de résistivités de sol	13
Tableau II.1	Comparaison entre un système à anodes galvaniques et système par courant impose	22
Tableau III.1	chiffres des réstivité du quelques électrolyte	30
Tableau III.2	valeurs d'isolement	32
Tableau III.3	Densité de courant	35
Tableau III.4	Irradiation solaire	37

Introduction

Introduction

Les canalisations de transport de pétrole, de gaz, et de produits pétroliers sont de grande importance pour l'économie des pays producteurs des hydrocarbures.

Le facteur principal de la détérioration de ces derniers est la corrosion, qui cause jusqu'à 30% des défaillances.

La corrosion est le phénomène de dégradation le plus répandu dans la production des hydrocarbures, il est l'origine de la majorité de défaillance des équipements sous pression. Notons aussi que le quart de la production annuelle mondiale d'acier est détruite par la corrosion, environ 5 tonnes d'acier sont détruites par seconde.

A cet effet, et pour lutter contre la corrosion, deux méthodes sont utilisées, à savoir une protection passive par revêtement et une protection active dite la protection cathodique. Cette dernière consiste à maintenir le potentiel des conduites à une valeur d'immunité, de manière à éliminer le transfert de matière qui est la corrosion.

La protection cathodique par soutirage de courant est la méthode préconisée dans ce travail. Elle consiste à mettre à profit l'effet d'un courant électrique injecté dans l'électrolyte à partir d'une anode déversoir. Nous avons utilisé pour cela une source de courant continu dont le pôle positif est relié à l'anode et le pôle négatif à la structure à protéger.

Habituellement, l'alimentation des systèmes de protection cathodique se fait à partir des réseaux de distribution d'énergie électrique par l'intermédiaire des transformateurs-redresseurs. En cas d'absence de tels réseaux ou pour d'autres raisons techniques ou économiques, il peut être intéressant de disposer de sources autonomes dont le lieu d'installation n'est plus tributaire d'un réseau.

Le développement des générateurs photovoltaïque donne une nouvelle sécurité et une solution économique pour l'énergie nécessaire à la protection cathodique. L'Algérie est un pays riche en pétrole, en gaz mais aussi et très ensoleillé.

A red rectangular box with a white border and a white diagonal cutout in the top-left corner. The text is centered within the box.

Chapitre 01

La corrosion

1 Introduction

L'importance considérable de la corrosion dans la vie quotidienne (domestique ou industrielle) n'est plus à démontrer. En effet, ce phénomène touche pratiquement toutes les réalisations de l'ingénieur, des plus grandes au plus petites : production de l'énergie, construction, transport, secteur médical, l'électronique, etc. Dans les pays industrialisés les conséquences de la corrosion ne résident pas seulement dans le coût économique (gaspillage de matière première, énergie et temps) mais également dans les accidents que peut provoquer (sécurité public en jeu) ainsi que le mauvais impact sur l'environnement [1].

2 Généralités sur le phénomène de corrosion

2.1 Définition de la corrosion

Le nom « corrosion » vient du latin « corroder » qui signifie ronger ou attaquer. En effet, la corrosion est une dégradation du matériau ou de ses propriétés (physicochimiques, mécaniques, etc.) par interaction chimique avec le milieu environnant.

Cette définition admet que la corrosion est un phénomène nuisible car il détruit le matériau et réduit ses propriétés, le rendant inutilisable pour une application prévue. Mais d'un autre point de vue la corrosion est un phénomène bien venu, voir souhaité, car elle détruit et élimine un nombre d'objets abandonnés dans la nature. Certains procédés industriels font également appel à la corrosion (anodisation de l'aluminium, polissage électrochimique, etc.) [1].

2.2 Importance économique de la corrosion

Les conséquences de la corrosion sur le plan économique et social peuvent être résumées dans les points suivants :

- Les Pertes directes : remplacement des matériaux corrodés et des équipements dégradés,
- Les Pertes indirectes : couts des réparations et pertes de production (temps),
- Les Mesures de protection : inspections, entretiens, etc [1].

La diversité des coûts rend toute estimation des charges économiques dues à la corrosion difficile et incertaine. Cependant, il s'agit sans aucun doute de montants assez élevés [2].

2.3 Causes de la corrosion

La corrosion est la détérioration du métal causée par une réaction chimique à l'environnement immédiat. Dans la plupart des cas, il s'agit de l'oxydation électrochimique des métaux en réaction avec un oxydant comme l'oxygène.

La corrosion peut être accélérée par la présence de poussière, d'humidité, d'humidité relative élevée, de températures élevées, de sel, d'acides, de solvants et de produits chimiques. La vitesse à laquelle la corrosion se produit dépend non seulement de l'environnement, mais également du type de métal. La fonte, par exemple, s'oxyde rapidement et forme de la rouille rouge si on la laisse à son état naturel, simplement en étant exposée à l'air. Elle nécessite donc un certain film protecteur. D'autres métaux, comme l'acier inoxydable, possèdent une plus grande résistance à la corrosion, sans avoir besoin d'un film spécial.

3 Types de corrosion

La corrosion peut être classée de plusieurs façons, notamment [3]:

3.1 Classification de la corrosion en fonction de la température:

3.1.1 Corrosion à haute température

Ce type de corrosion se produit: Dans le domaine (100 °C à 1000°C)

3.1.2 Corrosion à basse température

Ce type de corrosion se produit: Dans le domaine (25 °C à 80°C)

3.2 Classification de la corrosion basée sur la présence d'humidité ou non

3.2.1 Corrosion humide :

Qui se produit dans un milieu liquide comme la corrosion Fer dans l'eau ou l'acide.

3.2.2 La corrosion sèche :

Est ce qui se produit en l'absence de liquide ou à une température supérieure au degré de condensation de la vapeur liquide. Le milieu corrosif dans ce cas est des vapeurs et des gaz. Il est toujours associé à des températures élevées. Un exemple de ce type est la corrosion du fer par les gaz du four [4].

3.3 Classification de la corrosion en fonction de l'origine de la corrosion

3.3.1 Corrosion chimique

Elle est due à l'action de l'oxygène de l'air en présence d'eau. Le gaz carbonique et l'anhydride sulfureux, présents dans l'air et dans les gaz d'échappement accélèrent les réactions. La couche d'oxyde n'étant pas protectrice, le processus de corrosion continue tant qu'il y a présence d'oxygène et d'humidité.

3.3.2 Corrosion électrochimique.

Il se forme en surface une infinité de micropiles entre les impuretés du métal ou entre les zones hétérogènes ; en présence d'un électrolyte, par exemple l'humidité atmosphérique, un courant circule entre ces micropiles. On observe alors une réaction d'oxydoréduction avec corrosion par dissolution du métal à l'anode et dégagement gazeux à la cathode. A l'anode, se forment des oxydes hydratés ou rouille et en présence de chlorures (embruns marins ou sels de déverglaçage) le courant de corrosion et la vitesse de corrosion augmentent.

La part de la corrosion électrochimique semble beaucoup plus importante que celle de la corrosion purement chimique.

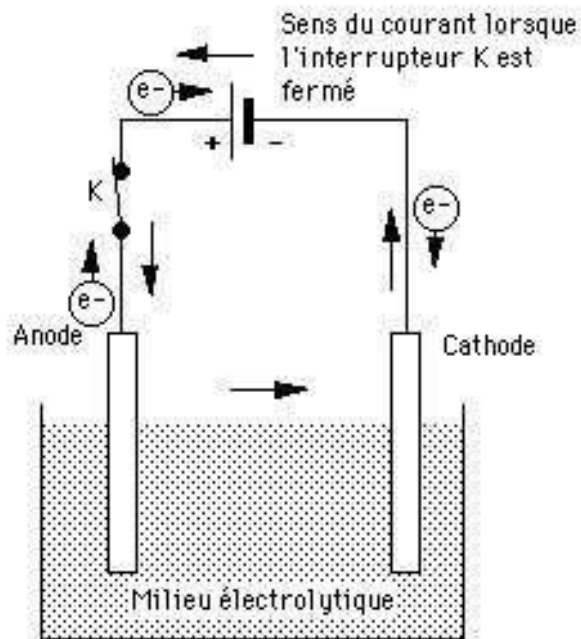


Figure I.1 schéma corrosion électrochimique [5]

3.4 Classification de la corrosion en fonction du type de corrosion

3.4.1 La corrosion galvanique

Appelle aussi corrosion bimétallique, est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux métaux.



Figure I.2 corrosion galvanique [4],[6]

3.4.2 La corrosion caverneuse

Est due à une différence de d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant ainsi une pile électrochimique. On observe une attaque sélective du métal dans les fentes et autres endroits peu accessibles à l'oxygène.

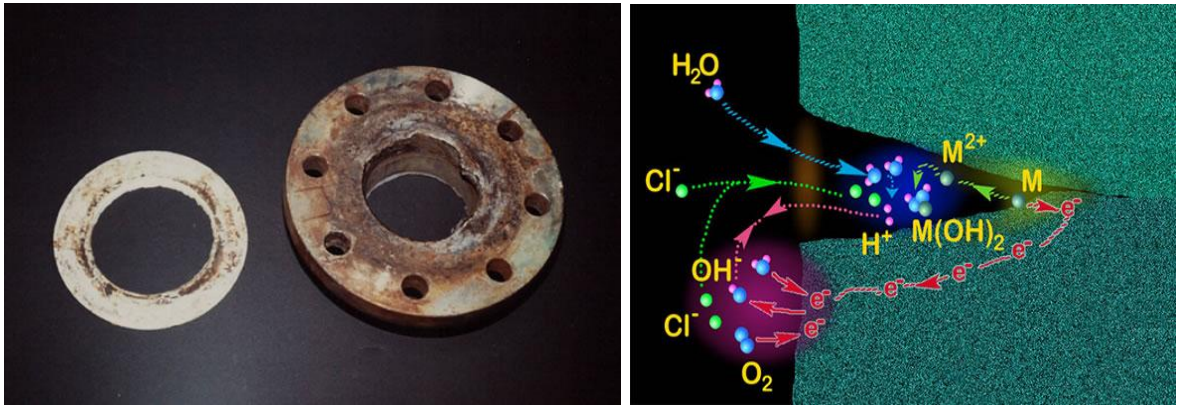


Figure 1.3 corrosion cavernneuse [6]

3.4.3 La corrosion par un pique

Est produite par certains anions, notamment le chlorure, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince. Elle induit typiquement des cavités de quelque dizaines de micromètres de diamètre.



Figure 1.4 corrosion par piques [4], [6]

3.4.4 La corrosion inter-granulaire

Est une attaque sélective aux joints de grains. Souvent ; il s'agit de phase qui précipité lors d'un traitement thermique.



Figure 1.5 corrosion inter granulaire [7]

3.4.5 La corrosion sélective

Est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.



Figure 1.6 corrosion sélective [4] ,[6]

3.5 Les processus de corrosion

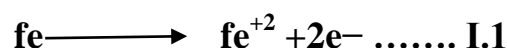
L'attaque, ou corrosion de l'acier, a comme conséquence une destruction plus ou moins rapide et accentuée du matériau et se manifeste par la transformation en divers oxydes hydratés, ou carbonates, de l'élément fer.

Ces oxydes constituent la rouille qui est une substance poreuse, friable, peu adhérente et foisonnante. Par sa porosité la rouille n'est pas susceptible de protéger les couches sous-jacentes et à terme on peut arriver à la ruine du matériau acier.

Très sommairement, on distingue deux processus de corrosion de l'acier. [8]

3.6 Principe de la corrosion électrochimique

La corrosion d'un métal comme le fer est la résultante d'un processus qui peut être schématisé par l'équation suivante :



Cette équation signifie simplement que les atomes du métal (Fe) sous l'action d'un processus de corrosion se transforment en ions positifs (Fe^{2+}) qui, quittent le métal pour passer dans l'électrolyte.

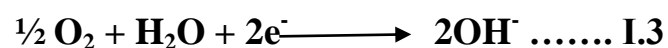
Il y a donc changement d'état de la matière lié à la réaction de dissolution du métal. Comme on le constate, ce changement d'état s'accompagne de la libération d'électrons (deux électrons dans le cas du fer).

La conservation de la neutralité du milieu impose que les électrons émis par la réaction de dissolution (I.1) soient consommés dans une seconde réaction qui peut être par exemple :

En milieu acide :



En milieu aéré neutre et basique



En effet, lors d'un processus de corrosion, la surface du matériau est nécessairement le siège de deux réactions qui sont:

- Une réaction de dissolution ou d'oxydation (réaction anodique);
- Une réaction de décomposition du milieu : « réduction » (réaction cathodique).

Le processus de corrosion, superposition des réactions anodiques et Cathodiques, s'accompagne de la circulation d'un courant électrique (circulation d'électrons dans le métal et d'ions dans l'électrolyte) entre les deux zones de l'interface. [9]

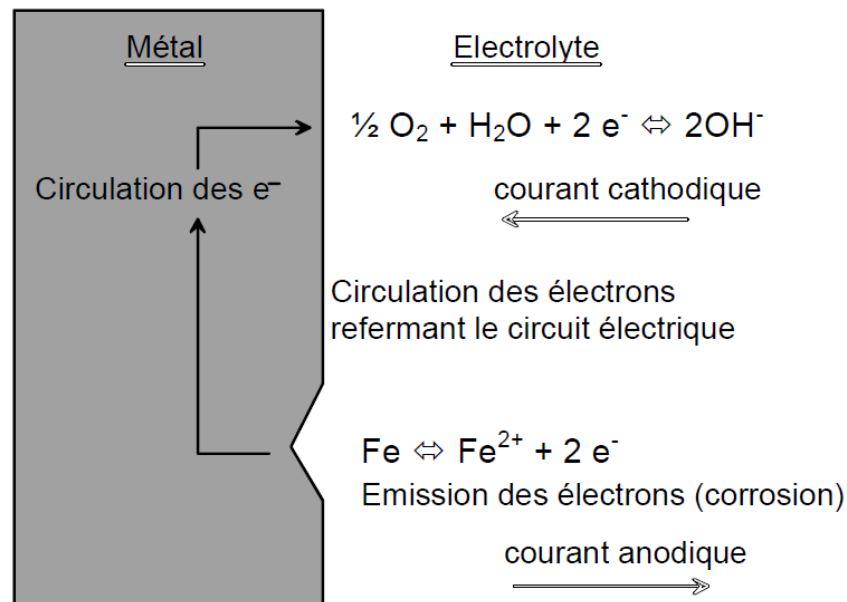


Figure 1.7 schéma Principe de la corrosion électrochimique

3.7 Facteurs agissant sur la corrosion des ouvrages métalliques enterrés

Nous venons d'établir les principes fondamentaux de la corrosion des métaux, en montrant qu'elle résultait de la destruction de l'équilibre métal/solution. Examinons maintenant ce que deviennent les circonstances de destruction de l'équilibre lorsque l'on a affaire dans la pratique à une canalisation de gaz et à un électrolyte qui est le sol. [10]

3.7.1 Hétérogénéité du terrain

Une conduite, en fonction de sa longueur, va inévitablement traverser des terrains de natures différentes donc des électrolytes différents.

L'"Equilibre" dépend de la nature de la solution. Ce dernier ne pouvant être atteint, la différence de potentiel du métal par rapport à cet électrolyte va varier.

Supposons une conduite traversant un terrain particulièrement sec (ex : sable très forte résistivité), puis un terrain humide (ex : argile - faible résistivité). Le métal prend un potentiel plus élevé dans le sol sec et plus négatif dans les zones humides. Ces dernières se corrodent par suite d'une circulation de courant.

La conduite va se corroder dans la zone humide.

Le même phénomène peut se produire entre la génératrice inférieure d'une conduite reposant sur le fond de fouille (terre vierge compacte humide) et la terre de remblai (meuble et aérée).

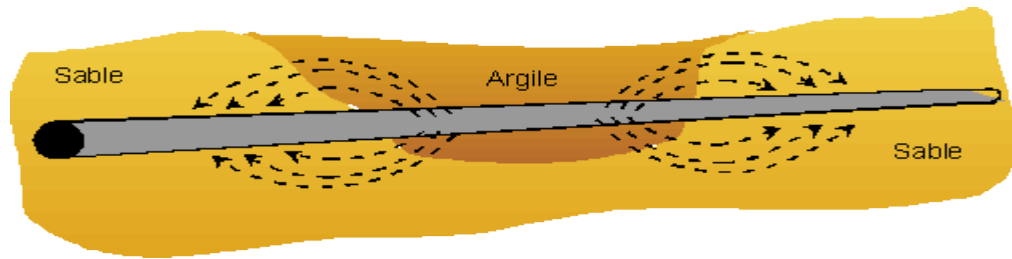


Figure I.8 schéma d'Hétérogénéité du terrain [10]

3.7.2 Le PH

Le potentiel hydrogène, plus connu sous le nom de "PH" est un paramètre servant à définir si un milieu est acide ou basique. Ce terme a été utilisé pour la première fois en 1909 par le chimiste Danois, Soren Peder Lauritz Sorensen, alors qu'il travaillait sur les ions hydrogènes.

Ainsi de nombreuses réactions chimiques ou électrochimiques intervenant dans le phénomène de corrosion dépendent du PH de la solution (électrolyte), car il met en évidence les propriétés chimiques de celle-ci. Pour évaluer le PH d'un milieu, il existe plusieurs méthodes, mais à l'échelle industrielle on utilise un PH-mètre. Cet instrument est généralement constitué d'un boîtier électronique (comportant entre autres équipements électriques un millivoltmètre) permettant la lecture de la valeur du pH et d'une sonde de Ph constituée d'une électrode de verre permettant la mesure et d'une électrode de référence. [9]

Comme tout appareil de mesure ; il doit être étalonné si l'on veut obtenir des résultats satisfaisants.

Caractéristiques de sol	Valeur de pH	Taux de corrosion
Milieu extrêmement acide	<4.5	Très forte corrosion
Acide très fort	4.5-5.5	} Corrosion faible
Acide moyen	5.1-5.5	
Acide faible	6.1-6.5	
Milieu neutre	6.6-7.3	} Corrosion très élevées
Alcalinité moyenne	7.4-7.8	
Forte alcalinité	8.5-9.8	
Très forte alcalinité	9.1 et plus	

Tableau I.1 : Taux de corrosion à différentes valeurs de pH de sols

3.7.3 Diagramme de Pourbaix

Le professeur, Marcel POURBAIX a établi pour la plupart des métaux des diagrammes pH - potentiel d'équilibre des réactions, qui décrivent les différentes réactions théoriques possibles entre un métal et ses ions en présence d'eau.

Selon la solubilité des corps formés, il en a déduit des domaines théoriques de situation du métal. Ainsi pour le fer on trouve :

- **un domaine de corrosion**

Où le fer se dissout dans la solution et forme des sels et des hydroxydes solubles.

- **un domaine de passivation**

Où le fer est protégé par un film superficiel qui l'isole du milieu ambiant. C'est un domaine où le métal est protégé partiellement contre la corrosion, si le film a pu se former d'une manière uniforme, s'il reste adhérent et si, mécaniquement, rien ne vient le détruire.

- **un domaine d'immunité**

Où le fer reste à l'état métallique et ne peut donc pas se corroder, les réactions d'oxydation n'étant plus possibles. C'est le domaine de la protection cathodique. [9]

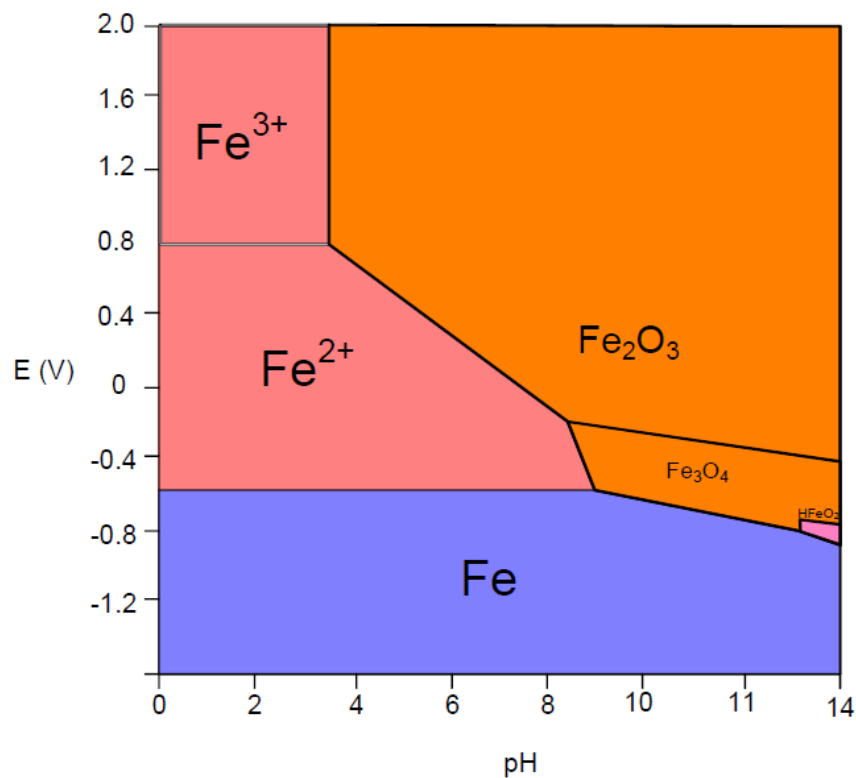


Figure I.9 schéma Diagramme de Pourbaix

Ces trois domaines et les circonstances (pH - tension) qui les définissent peuvent être établis pour tous les métaux purs, et en particulier pour le plomb, le cuivre et le fer.

Quand bien même que ce diagramme est très important pour la lutte contre la corrosion, il est important de préciser qu'il admet des limites à savoir :

- Les diagrammes de Pourbaix sont construits à partir de données thermodynamiques : ils n'apportent donc aucune donnée quant à la vitesse des réactions de transformations qu'ils peuvent indiquer. Par exemple, lorsqu'on utilise le diagramme de Pourbaix d'un métal pour prévoir sa stabilité dans différents milieux, même si on se situe dans un domaine où le métal est censé se corroder, cela ne nous indique rien sur la vitesse de cette corrosion. Elle peut en fait être très lente.
- Les diagrammes de Pourbaix dépendent de la température.
- La grande majorité des diagrammes de Pourbaix disponibles dans la littérature technique ne tiennent compte que de la formation d'ions simples ou d'oxydes. On se

rappellera donc lorsqu'on souhaite les utiliser pour prévoir la durabilité d'un métal qu'ils ne tiennent donc pas compte de l'éventuelle présence de complexant dans le milieu environnant.

A titre d'exemple nous établissons ci-dessous un diagramme de Pourbaix simplifié du fer dans l'eau à 25°C ; mais avant, il est primordial de souligner qu'un métal (M) n'est corrodable que si $[Mn^+]$ est supérieur à 10^{-6} mol.L⁻¹.

3.7.4 Hétérogénéité du métal

Si l'on plonge dans un même électrolyte 2 métaux de natures différentes, réunis par un contact quelconque, l'équilibre, donc la différence de potentiel de chacun de ces métaux est différente.

Il s'établit par conséquent une circulation d'électrons à l'intérieur du métal et de la liaison. Le courant électrique, ainsi établi, sort du métal en direction de l'électrolyte : ce métal se corrode.

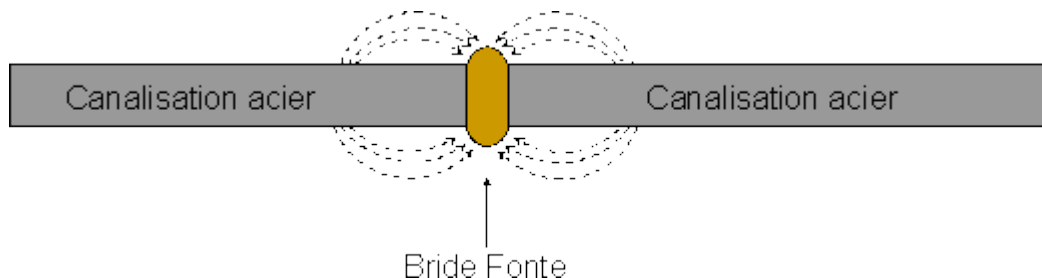


Figure I.10 Hétérogénéité du métal [10]

D'un point de vue pratique, des métaux aussi proches que l'acier et la fonte, peuvent provoquer ces phénomènes.

Il n'est pas rare de rencontrer une corrosion importante sur des boulons en acier servant à l'assemblage de brides de conduites en fonte.

3.7.5 Corrosion par les courants vagabonds

Les lignes de transport à traction électrique sous courant continu (S.N.C.F. - tramways, métro), propagent généralement dans le sol des courants dits vagabonds (*Figure I.11*).

En effet, le courant amené par la caténaire, qui peut pour certains trains être de plusieurs milliers d'ampères, retourne à la sous-station émettrice par le rail de roulement. Ce rail plus ou moins bien éclissé, plus ou moins bien isolé du sol selon l'état du ballast, laisse s'échapper une partie importante du courant qui peut alors emprunter, sur des parcours de dizaines de kilomètres, des circuits peu résistants électriquement, tels que les conduites, avant de regagner le rail et le générateur à proximité de la sous-station.

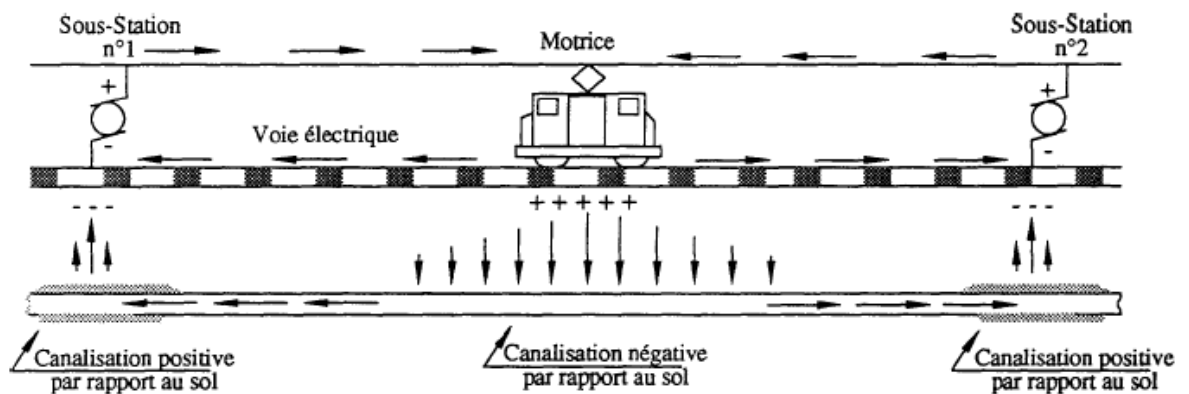


Figure I.11 Corrosion par les courants vagabonds

A l'endroit où les courants vagabonds quitteront la conduite pour retourner au rail, une corrosion du métal se produira inévitablement.

L'importance de la corrosion est directement proportionnelle aux intensités mises en jeu (la Loi de Faraday donne pour l'acier une consommation d'environ 10 kg par ampère et par an).

Or il n'est pas rare de voir transiter des courants de plusieurs dizaines d'ampères dans les conduites. Les pertes de métal se chiffrent alors en grammes par heure, et des percements de conduites peuvent alors se produire en quelques semaines. On pourrait citer des cas où ce phénomène s'est produit avant même que la conduite ne soit en service et que les moyens de lutte contre la corrosion n'aient été mis en œuvre.

3.7.6 Corrosion Par Erosion

Lorsque les produits de la corrosion forment un dépôt adhérent, épais, continu et dur à la surface du métal, celui-ci ralentit la vitesse de la corrosion ; on dit que le métal est en état de passivation cette couche protectrice peut être éliminée par une abrasion du métal, due au mouvement du fluide lui-même ; on remarque alors une accélération de la corrosion. [9]

3.7.7 Corrosion bactérienne

En milieu anaérobie, ce qui est le cas de certaines eaux stagnantes, ou de terrains argileux, vaseux imperméables et riches en sulfates, certaines bactéries consomment l'hydrogène produit au niveau des microcathodes, permettant ainsi à la corrosion de se poursuivre, et transformant les sulfates en sulfure de fer.

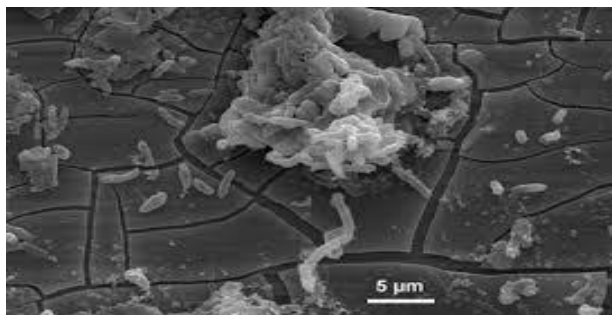


Figure I.12 Corrosion bactérienne

4 Taux de corrosion de l'acier dans les sols, agressivité absolue et agressivité relative

Des essais réalisés, en particulier en Angleterre, ont permis de mesurer des taux de corrosion moyens de l'acier dans le sol de 0,05 mm/an.

La corrosion généralisée absolue dans le sol ne présente donc pas un caractère très brutal, surtout si l'on rapproche ce taux de celui généralement retenu pour l'acier exposé aux atmosphères industrielles, qui est de 0,1 mm/an.

Par contre :

- 1) Sous certaines conditions des corrosions locales du type piqûre (pitting) se développent dans le sol ou l'eau, avec des vitesses de corrosion de 0,3 mm/an, qui diminuent considérablement la durée de vie des ouvrages enterrés concernés.
- 2) Les piles géologiques créent des circulations de courant de plusieurs dizaines de mA qui, s'exerçant sur la conduite à la frontière des deux natures de sol, provoquent des dégradations locales rapides.
- 3) Localement des conditions variables de température, d'aération, de la vitesse d'écoulement d'un fluide, amplifient les phénomènes de corrosion.

C'est ainsi qu'immérgé dans une eau de mer statique, l'acier présente une corrosion de 0,125 mm/an. Mais ce taux passe à 0,5 et 0,8 mm/an si la vitesse de l'eau est de 2 ou 5 m/s.

Si à cette mise en mouvement se rajoutent des phénomènes d'immersion et d'émersion alternés (marées, vagues) le taux de corrosion est encore multiplié par un facteur de 2 à 5.

En conclusion, à côté de l'agressivité absolue d'un sol, il importe de déterminer son agressivité relative, par l'examen de tous les facteurs de corrosion

Résistivité de sol (Ohm- mètre)	Classe selon la vitesse de corrosion (10 ⁶ mm/an)
<25	Très corrosive (> 13)
26-50	Modérément corrosive (9-12)
51-100	Moyennement corrosive
>100	

Tableau I.2 : Vitesse de corrosion en fonction de résistivités de sol

Chapitre 02

Moyens de lutte contre la corrosion

1. Introduction

Le coût occasionné par la dégradation annuelle des matériaux, a provoqué la mise en œuvre de méthodes de protection. Ces dernières visent une économie de matière et d'énergie auxquelles s'ajoutent de nombreuses contraintes, non pollution notamment. Toute solution efficace et durable ne peut être qu'un compromis tenant compte de l'ensemble de ces facteurs, notamment des contraintes économiques et scientifiques.

La prévention de la corrosion doit être envisagée dès la phase de conception d'une installation.

En effet, des mesures préventives prises au bon moment permettent d'éviter de nombreux problèmes lorsqu'il s'agit de garantir une certaine durée de vie à un objet, notamment pour des industries telles que le nucléaire, l'industrie chimique ou l'aéronautique, où les risques d'accident peuvent avoir des conséquences particulièrement graves pour les personnes et l'environnement. Les méthodes de protection et de prévention contre la corrosion sont les suivantes :

- ✓ Prévention par un choix judicieux des matériaux ;
- ✓ Prévention par une forme adaptée des pièces ;
- ✓ Protection par revêtements ;
- ✓ Protection par inhibiteurs de corrosion ;
- ✓ Protection électrochimique.

2. Notions de Protection contre la corrosion

Toute canalisation en acier, enterrée dans le sol ou immergée, est amenée à se corroder à plus ou moins longue échéance, en fonction de l'agressivité spécifique du milieu, de l'hétérogénéité de ce milieu (pile géologique) ou des métaux (couple galvanique), ou d'autres facteurs (comme la présence de courants vagabonds).

Afin de lutter contre cette corrosion, deux types de protection doivent être mises en œuvre. Il s'agit de la protection passive et de la protection active ; la seconde complétant la première.

3. Prévention par un choix judicieux des matériaux

Le choix du matériau doit principalement tenir compte des influences défavorables du milieu et des conditions de fonctionnement. Il n'existe pas de métaux ou alliages qui ont une résistance absolue à la corrosion, mais on connaît uniquement des matériaux résistants à la corrosion dans certains milieux agressifs. Et le comportement à la corrosion n'est qu'un critère parmi tant d'autres dans le choix des matériaux. La résistance à la corrosion est une propriété du système métal-milieu et non du métal seul. [11]

4. La protection passive

Elle consiste à isoler des conduites à protéger du milieu environnant par l'utilisation de revêtement et de raccord isolant. L'isolation de la canalisation doit être la plus soignée possible, afin d'éviter le contact de l'électrolyte avec le métal de la canalisation.

Pour l'isolement par rapport à un métal différent, il est nécessaire de mettre en place des joints ou des manchettes isolantes entre deux métaux différents, afin de supprimer le couple galvanique, ou d'isoler électriquement des tronçons de canalisation afin de limiter les zones à protéger cathodiquement.

La conception de ces équipements est en général, adaptée à la nature du fluide transporté, à la normalisation, ainsi qu'à l'environnement (ex: proximité des lignes électriques haute tension).

Afin d'éviter des contacts entre différents réseaux et rendre ainsi inefficace la Protection Cathodique, il est parfois nécessaire, au croisement de structures métalliques, d'installer des demi-coquilles en béton. Dans la pratique, il n'est pas possible d'obtenir un isolement parfait du réseau.[12]

5 Utilisation de revêtements

5.1 Les revêtements métalliques

On les emploie couramment pour protéger l'acier, notamment contre la corrosion atmosphérique. On peut aussi les appliquer sur d'autres substrats comme le cuivre ou le laiton, comme c'est le cas par exemple pour les revêtements de chrome sur les robinets. D'une manière générale, on distinguera deux types de revêtements métalliques :

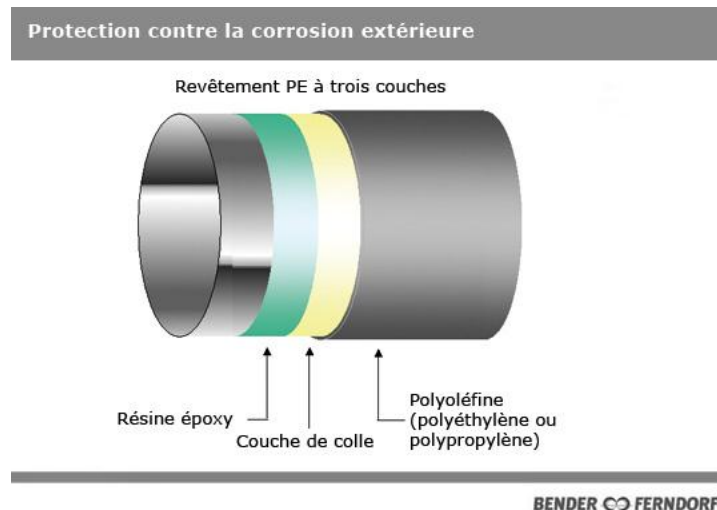


Figure II.1 : schéma de revêtements métalliques

5.1.1 Les revêtements anodiques :

Le métal protecteur est moins noble que le métal à protéger. C'est le cas du procédé de galvanisation (revêtement de zinc) que nous avons déjà évoqué. En cas de défaut du revêtement, il y a formation d'une pile locale et ce dernier se corrode en protégeant cathodiquement le métal de base. La protection reste donc assurée tant qu'une quantité suffisante de revêtement est présente. Plus que l'absence de défaut, c'est donc l'épaisseur qui est un élément important de ce type de revêtement. En général, elle est comprise entre 100 et 200 μm .

5.1.2 Les revêtements cathodiques :

Le métal protecteur est plus noble que le métal à protéger. C'est le cas par exemple d'un revêtement de nickel ou de cuivre sur de l'acier.

En cas de défaut du revêtement, la pile de corrosion qui se forme peut conduire à une perforation rapide du métal de base, aggravée par le rapport "petite surface anodique" sur "grande surface cathodique". Dans ce cas, la continuité du revêtement est donc le facteur primordial.

5.1.3 Techniques de revêtement métallique

Suivant le type de matériau à protéger et le matériau de revêtement envisagé, différentes techniques de mise en place peuvent être utilisées. Dans ce paragraphe nous décrirons brièvement les méthodes les plus couramment employées.[13]

6 La protection active

La Protection Passive n'étant jamais parfaite et ce détériorant dans le temps, il est donc nécessaire de mettre en place une protection active dite Protection Cathodique.

Son application sur un ouvrage est conditionnée par la valeur d'isolement de celui-ci. Cette technique consiste à abaisser le potentiel de la structure à protéger, par rapport à

l'électrolyte, en dessous d'un certain seuil qui est fixé pour chaque métal dans un milieu donné.

La Protection Cathodique n'est applicable qu'aux métaux plongés dans un milieu électrolytique (eau, terre ...). Elle n'est pas valable pour la protection des ouvrages aériens.

Par exemple, pour l'acier le potentiel d'immunité par rapport à l'électrode de référence Cu/CuSO₄ saturé, est de -850mV (d'après la norme NF 12 954). Ce potentiel est pour une résistivité moyenne de 50 Ω.m. [14]

7 Protection par inhibiteurs

7.1 Définition d'un inhibiteur

Un inhibiteur est une substance chimique que l'on ajoute en petite quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion du matériau métallique à protéger. Leur domaine d'utilisation recouvre les milieux acides, la vapeur, et les eaux de refroidissement

7.2 Classification des inhibiteurs

Les inhibiteurs peuvent être classés de plusieurs façons :

- Par domaine d'application,
- Par réaction partielle,
- Par mécanisme réactionnel

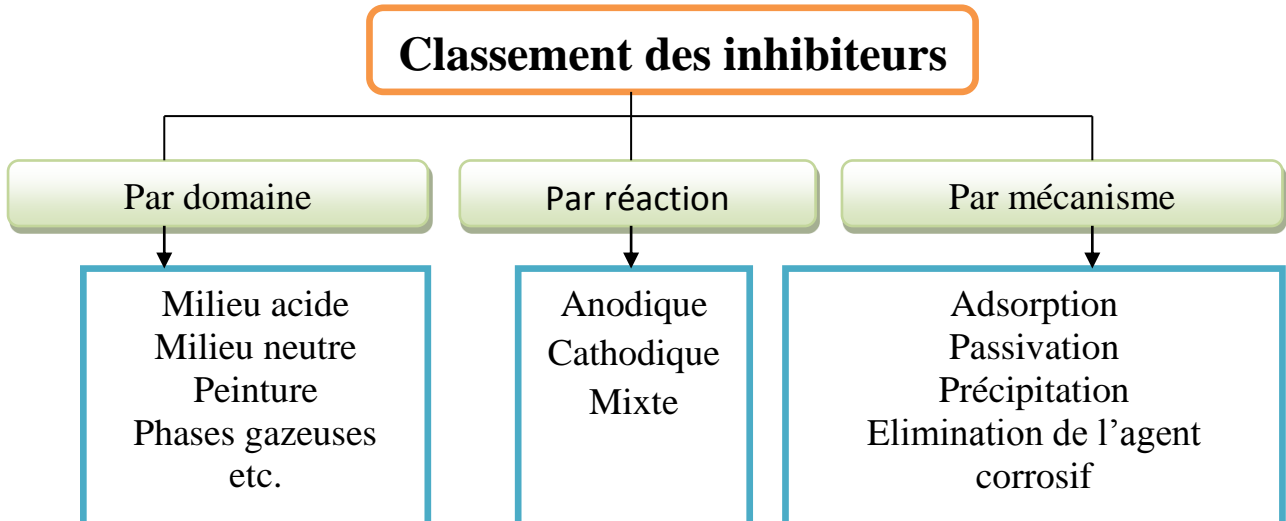


Figure II.2 : schéma classement des inhibiteurs [15]

7.3 Mécanismes et principes d'action

Les inhibiteurs de corrosion n'ont pas un mode d'action propre, unique, mais ils sont liés au système de corrosion.

Un inhibiteur peut agir comme une barrière entre le métal et le milieu corrosif et celle-ci peut être préexistante: couche d'oxyde ou d'hydroxyde déjà formée et, dans ce cas les mécanismes font intervenir le plus souvent des processus d'adsorption et de blocage de surface.

Le mode d'action peut aussi être de nature cinétique, l'inhibiteur peut alors ralentir la vitesse de la réaction cathodique ou de la réaction anodique ou agir simultanément sur les deux,

L'inhibition peut aussi résulter de la formation d'un composé insoluble qui colmate les zones sensibles et la vitesse de corrosion diminue alors avec le temps.[16]

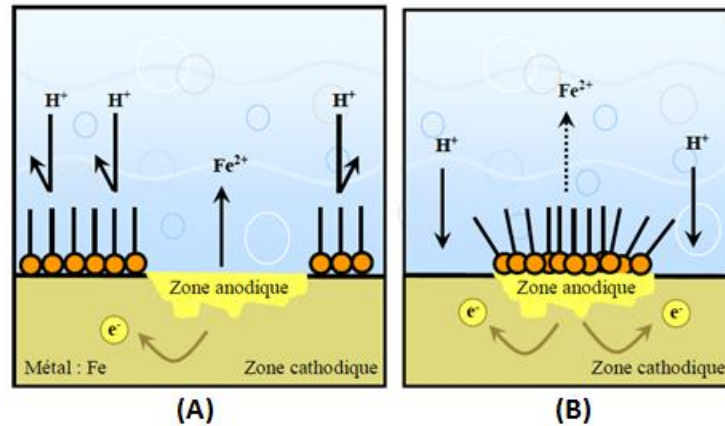


Figure II.3 : schéma mécanismes et principes d'action inhibiteurs [17]

8 Protection cathodique

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

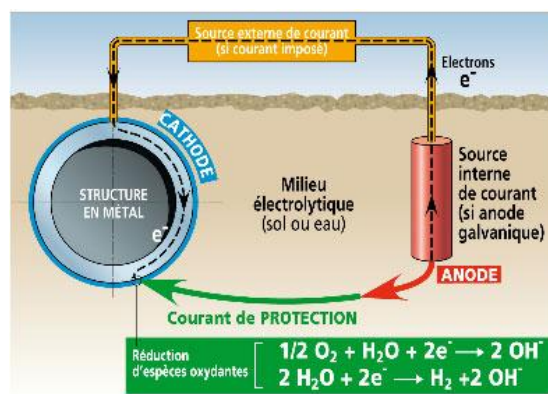


Figure II.4 principe Protection cathodique [18]

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

oxydantes présentes dans l'électrolyte. L'ouvrage métallique à protéger est placé à un potentiel tel que la vitesse de corrosion devient acceptable sur toute la surface de métal en contact avec l'électrolyte. Pour les ouvrages industriels comme les canalisations ou les réservoirs enterrés, une vitesse de corrosion résiduelle inférieure à 10 $\mu\text{m}/\text{an}$ est généralement atteinte à l'aide d'un système de protection cathodique parfaitement efficace.

Pour cela on fait circuler un courant électrique continu entre une ou des anode(s) et le matériau à protéger, qui constitue la cathode. L'efficacité de la méthode exige un contact intime de l'électrolyte avec le matériau à protéger en tout point de celui-ci. Le courant, qui circule dans l'électrolyte vers le métal, est ajusté de façon à fournir une densité de courant cathodique permettant d'atteindre une valeur de potentiel pour laquelle la vitesse de corrosion du métal devient très faible. La variation du potentiel de l'ouvrage en fonction de la densité de courant cathodique qu'il reçoit suit la courbe de polarisation cathodique, ou courbe intensité – potentiel, caractéristique du comportement électrochimique d'un métal donné dans un milieu électrolytique donné. Cette courbe quantifie les échanges de courant, donc notamment la vitesse de corrosion et le besoin en courant de protection cathodique. [19]

9 Système de protection cathodique

9.1 Protection par anodes galvaniques

Utilisant un couplage galvanique entre l'ouvrage à protéger et une ou des anodes constituées d'un métal ou alliage moins noble que le métal que l'on veut protéger.

9.2 Principe de protection par anodes galvaniques

Certains métaux ou alliages placés dans le même milieu électrolytique que l'ouvrage à protéger ont un potentiel d'électrode (mesuré par rapport à une électrode de référence) inférieur à celui du métal constitutif de l'ouvrage. Lorsqu'un tel métal est relié électriquement à la structure à protéger, son potentiel tend à augmenter, alors que celui du métal de la structure tend à diminuer, ce qui conduit à faire décroître sa vitesse de corrosion. La méthode est illustrée par la Figure II. 5.

Les anodes galvaniques (parfois appelées anodes sacrificielles ou consommables) sont à base de magnésium, de zinc ou d'aluminium. Dans tous les cas, les anodes pour protection cathodique doivent être impérativement constituées d'alliages spécifiques qui ont été préalablement qualifiés par des mesures permettant de connaître leurs caractéristiques électrochimiques, notamment leur réactivité et leur polarisabilité, sur le long terme. Dans le cas des ouvrages au contact du sol, seules les anodes à base de zinc ou de magnésium entouré d'un mélange régulateur ou « backfill » constitué de bentonite et de sulfate de calcium sont utilisables. Les anodes à base d'aluminium sont à exclure car les sols ne contiennent généralement pas assez d'ions chlorures pour éviter leur passivation qui conduit à une chute du débit du courant galvanique.

Les anodes galvaniques doivent être conformes à la norme NF EN 12496 qui spécifie les exigences de qualité et recommande les compositions et caractéristiques électrochimiques.

Le débit des systèmes à anodes galvaniques s'adapte naturellement en fonction de la résistance du circuit.

En cas de sur polarisation, il est possible de réduire le débit en intercalant une résistance électrique, éventuellement réglable, dans le circuit.

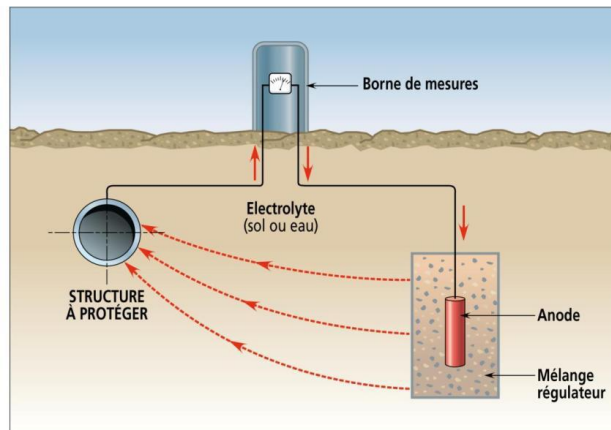


Figure II. 5 : Principe de la protection cathodique par anodes galvaniques

9.3 Protection par courant imposé

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

9.4 Principe de protection par courant imposé

Dans les installations de protection cathodique par courant imposé, l'alimentation électrique permet de polariser cathodiquement la structure à protéger en faisant circuler un courant continu entre l'ouvrage à protéger et une anode auxiliaire dite « déversoir ». La méthode est illustrée par la Figure II.6

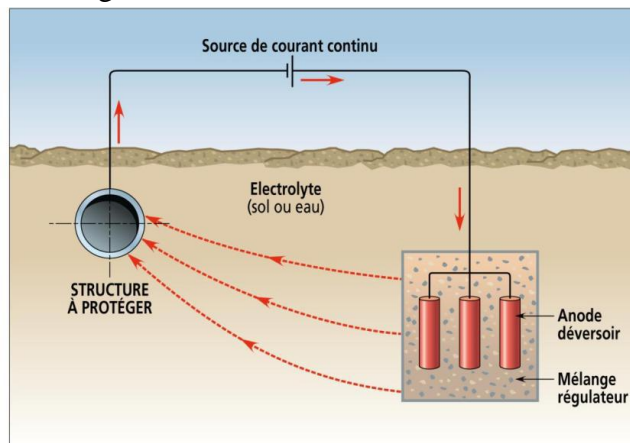


Figure II.6 : Principe de la protection cathodique par courant imposé

Selon les cas, cette anode peut être constituée de matériau consommable (acier de rebut), semi-inerte (ferro-silicium, graphite, magnétite, oxyde de plomb) ou inerte (titane platiné, niobium platiné, tantale platiné, titane recouvert d'oxydes mixtes "Ti/MMO", polymères conducteurs).

Les postes de protection cathodique sont généralement à voltage constant. Il est aussi possible de mettre en œuvre des postes à débit constant.

Des postes assurant un débit asservi au potentiel mesuré à l'aide d'une électrode de référence pilote par rapport à un domaine de potentiel cible permettent de mettre en œuvre des systèmes automatiques utiles pour répondre aux variations des conditions électrochimiques liées par exemple à la résistivité ou à l'influence de courants continus vagabonds.

10 Comparaison entre un système à anodes galvaniques à courant imposé

	Anode galvanique	Système par courant impose
Installation	Simple	Complexe
Source d'énergie	Non nécessaire	Indispensable
Distribution de courant sur la structure	Homogène	Souvent hétérogène
Piot de structure	Importance surcharge en poids pour de longues durées de vie	Peu d'accroissement
Influence de la résistivité de milieu	Non envisageable si résistivité trop grand	Aucune difficulté
Dépit pare anode	Faible	Elève
Flexibilité dans la condition de fonctionnement en particulier variation de la demande en courant	Aucune	Grande
Risque de surprotection	Quasi sauf dans le cas d'anode de magnésium	Possible
Interférence avec d'autres structures	Non	Possible
Risque de humais	Non	Possible
Nombre d'anode	Important	Faible
Surveillance	Aisées et occasionnelle	Surveillance continue risque et nécessitant de techniciens spécialises

Tableau II.1 : Comparaison entre un système à anodes galvaniques et système par courant impose [20]

11 Poste de protection cathodique (ou de soutirage)

Pour assurer la protection par cette méthode, l'on a besoin d'installer un poste de protection cathodique. Le rôle du poste est de délivrer le courant nécessaire à la protection de la structure. De façon général un poste est constitué de :

- Un branchement en tension : provenant d'une source électrique.

- Cette énergie électrique peut être de source solaire (PV), thermique (Thermoélectricité)
- Coffret de soutirage : il comprend un disjoncteur (qui permet de Protéger les équipements électriques avals), un compteur, un transfo redresseur
Ce dernier élément, effectuée à chaque fois une régulation permettant de livrer le courant nécessaire pour la protection, il est donc un élément très important dans cette méthode de protection.
- Conducteur de liaison au déversoir et à la structure à protéger.

La conception d'un poste de soutirage prend en compte beaucoup de facteurs dont l'emplacement du poste de soutirage, la portée de protection du poste, la position des anodes, le type de source électrique.

Pour ne pas avoir à se répéter nous préférons aborder la partie concernant le dimensionnement du poste de soutirage dans le chapitre suivant.

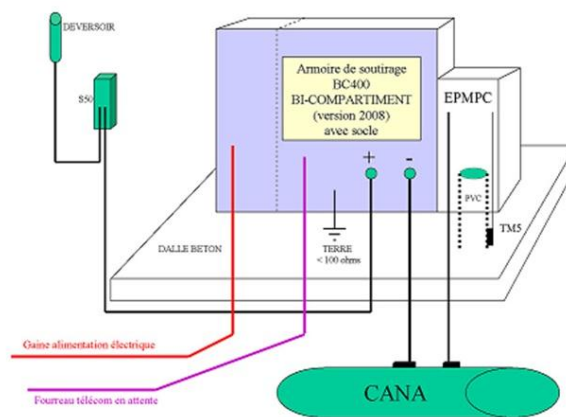


Figure II.7 : Poste de protection cathodique [21]

12 Différents systèmes d'alimentation des postes de protection cathodique en énergie électrique

La protection des ouvrages métalliques contre la corrosion par la méthode de la protection cathodique par courant imposé nécessite la disponibilité d'une source de courant électrique continu et sans interruption. En général cette source d'énergie est assurée par :

- L'énergie électrique provenant directement des lignes électriques
- La thermoélectricité par le biais des générateurs thermoélectriques
- L'énergie solaire photovoltaïque
- Turbogénérateur
- L'énergie éolienne, etc. [22]

13 Généralité sur l'énergie solaire photovoltaïque

13.1 Introduction

L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la limitation de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie photovoltaïque devient de plus en plus une solution

parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toute pollution et la disponibilité en plus ou moins grandes quantités en tout point du globe terrestre. Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les installations utilisant l'énergie solaire, surtout pour les applications sur des sites isolés.[23]

13.2 Définition

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable. Elle permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie du rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque.

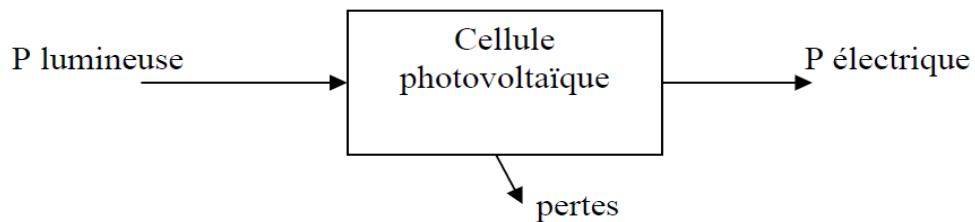


Figure II.8 : schéma de principe de l'énergie solaire photovoltaïque

13.3 Cellules, panneaux et champs photovoltaïques

La cellule photovoltaïque est l'unité de base qui permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.

Un panneau photovoltaïque est formé d'un assemblage de cellules photovoltaïques. Parfois, les panneaux sont aussi appelés modules photovoltaïques. Lorsqu'on regroupe plusieurs panneaux sur un même site, on obtient un champ photovoltaïque.



Cellule



Panneau



Champ

Figure II.9 : Cellule, panneaux et champs photovoltaïques

13.4 Principe d'une cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir d'une jonction PN au silicium (diode). Pour obtenir du silicium dopé N, on ajoute du phosphore. Ce type de dopage permet au matériau de libérer facilement des électrons (charge -).

Pour obtenir du silicium dopé P, on ajoute du bore. Dans ce cas, le matériau crée facilement des lacunes électroniques appelées trous (charge +).

La jonction PN est obtenue en dopant les deux faces d'une tranche de silicium. Sous l'action d'un rayonnement solaire, les atomes de la jonction libèrent des charges électriques de signes opposés qui s'accumulent de part et d'autre de la jonction pour former un générateur électrique.

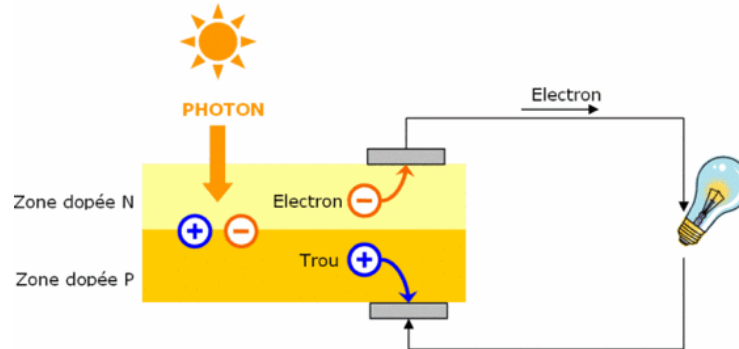


Figure II.10 : Principe d'une cellule photovoltaïque

13.5 Types d'applications l'énergie solaire photovoltaïque [24]

On distingue trois grands types d'applications susceptibles d'être alimentées par l'énergie photovoltaïque, à savoir : les systèmes de production autonomes pour l'alimentation de sites ou d'équipements isolés et non raccordés au réseau électrique, les systèmes de pompage pour l'adduction d'eau, les systèmes de production raccordés au réseau de distribution de l'électricité.

13.6 Installation Solaire

La production d'électricité continue « DC » à partir de la lumière est un moyen propre, silencieux, demandant peu d'entretien, présentant peu d'usure (si le matériel est de bonne qualité au départ).

L'énergie produite quotidiennement par un panneau dépend de l'ensoleillement journalier moyen du lieu. Cette donnée géographique est déterminante pour le dimensionnement d'une installation. Il s'exprime en kWh/m²/jour.

13.7 Le Panneau Solaire

Les caractéristiques du panneau sont en général indiquées sur une étiquette collée à l'arrière du panneau.

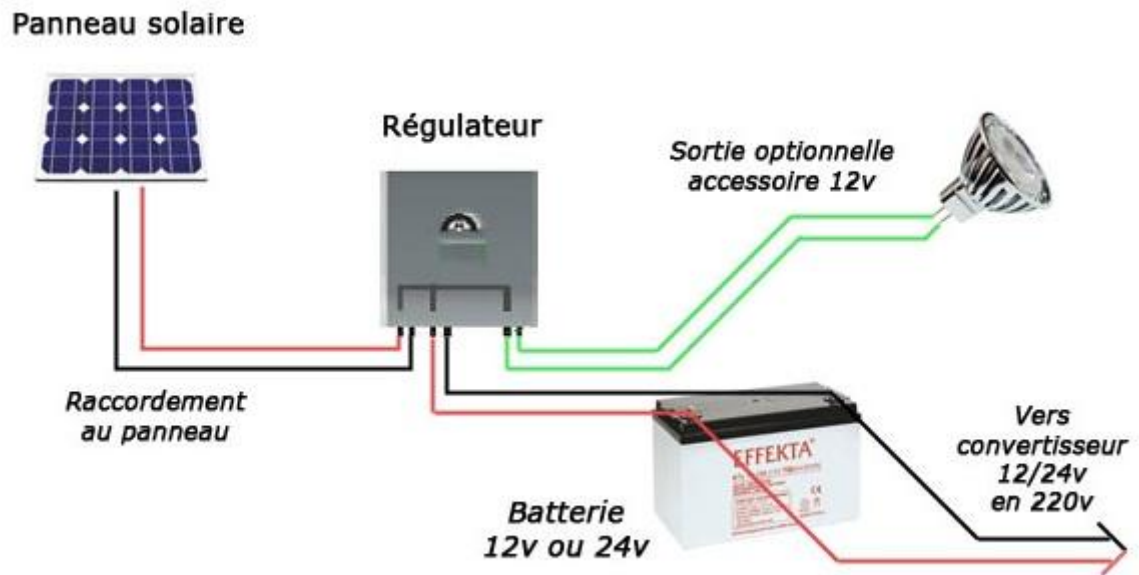


Figure II.11 : schéma d'Installation Solaire photovoltaïque [25]

13.7.1 Le régulateur

Le régulateur est un ensemble électronique dont le rôle est de gérer les flux de courant : Courant venant des panneaux en vue de charger la batterie et courant venant de la batterie vers les consommateurs.

Il gère la charge et la décharge de la batterie en déconnectant le panneau quand les batteries sont chargées ou en coupant l'alimentation aux consommateurs quand la batterie est trop déchargée.

Le régulateur est donc à l'intersection de l'ensemble. Il comporte une diode anti retour pour éviter à la batterie de se décharger dans le panneau pendant la nuit. On ne peut donc pas faire l'économie d'un régulateur.

13.7.2 L'onduleur – « Inverter »

L'onduleur est un ensemble électronique qui permet de produire du courant alternatif (220V) à partir d'un courant continu (12V). Celui-ci est directement connecté sur les batteries (12 volts), puis relié aux consommateurs (220 volts).

13.7.3 Les batteries

Le rôle de ce composant est d'emmagasiner de l'énergie électrique afin de prendre la relève pendant les périodes où les conditions climatiques ne permettent pas aux panneaux de fournir cette énergie. Une batterie électrique est un composant électrochimique, elle comporte des électrodes positives et négatives composées d'alliages dissemblables plongées dans un électrolyte (acide). Les réactions d'oxydoréduction qui gouvernent le fonctionnement d'une batterie sont réversibles, dans la mesure où celle-ci n'a pas été longtemps ni complètement chargée ni trop surchargée.

En général les batteries utilisées ici sont des batteries stationnaires à décharge profonde en alliage de plomb. Elles sont conçues pour restituer un courant stable pendant de longues périodes en conservant leurs aptitudes à la recharge et ceci à un grand nombre de cycles (au

moins 400 cycles). Sur le marché l'on trouve des batteries stationnaires en 2, 6, ou 12 volts nominal. Une batterie est également caractérisée par sa capacité exprimé en ampère heures [Ah], qui est la quantité de courant qu'elle peut fournir au cours d'un nombre d'heures précis à une température de référence. il est important de souligner que de nos jours, on trouve des batteries solaires d'une durée de vie de 10 ans.

13.7.4 Le câblage

Il convient de ne pas les rallonger sous peine de forte atténuation de rendement : 1 mètre en plus peut faire chuter drastiquement la puissance de l'énergie fournie.

Le tableau ci-dessous indique les diamètres minimum à respecter pour les câblages entre:

Régulateur – panneau : 10m environ

Régulateur - batterie : 1m environ

Régulateur – boîtier de distribution : 5m environ

Chapitre 03

Dimensionnement du système

1. Introduction

Dans ce chapitre, Il expose en première partie une note de calcul pour le dimensionnement du système de protection cathodique d'un pipeline, puis une note de calcul il y a est également associé pour traiter du dimensionnement du générateur solaire qui fournira le courant électrique continu au poste de soutirage.

2. Etude de l'environnement: (Evaluation du risque corrosion)

Au moment de la conception de l'ouvrage, une étude de tracé est préalablement nécessaire. Réalisée à partir de plans et des cartes géologiques et géographiques. Cette étude permettra d'évaluer le risque de corrosion de l'ouvrage en question dans le milieu encaissons et de prendre la décision nécessaire pour démineur ce risque.

2.1 Corrosivité des sols

La détermination des risques de corrosion de l'acier dans le sol consiste à évaluer l'agressivité du terrain encaissant.

L'agressivité d'un sol dépend principalement :

- de sa nature chimique,
- de son taux d'humidité,
- du PH,
- de la granulométrie,
- de l'aération du milieu.

Ces différents facteurs sont pris globalement en compte dans la mesure .

2.2 Résistivité du sol

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

La description de la méthode est décrite comme suit :

- Se munir d'un mesureur de terre (Géohm) muni de quatre (04) piquets de terre et le câble de raccordement,
- Planter les quatre piquets en respectant l'équidistance (distance « a ») entre les piquets, La distance « a » devra être fonction de la profondeur d'enfouissement de la conduite « h » avec «h ≈ ¾ a ».

La formule concernant la valeur de la résistivité :

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

ρ = résistivité (Ω .m)

a = distance entre les piquets (m)

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

accorder les quatre piquets au mesureur de terre, en respectant l'ordre de raccordement du plus près au plus éloigné,

S'assurer que les quatre entrées du mesureur de terre sont dé-shuntées,

Lire sur l'afficheur du mesureur de terre la valeur de la résistance,

Calculer suivant la formule (1) la valeur de la résistivité du sol.

Quelques exemples chiffrés cités dans le tableau ci-dessous :

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

TABLEAU III.1 : CHIFFRES DES RESTIVITES DU QUELQUES ELECTROLYTE

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

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

De même, elle dépend de la résistivité du sol qui entoure l'ouvrage ; Plus la résistivité du sol sera faible, plus la résistance d'isolement sera faible et inversement.

3.1 Par essai

L'essai de protection provisoire permettra après vérification des potentiels de l'ouvrage par rapport au sol de définir la valeur de la résistance moyenne d'isolement.

1^{ère} méthode :

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

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

$$R(\Omega.m^2) = \frac{\Delta U}{I} * S = \frac{\Delta U}{I} * \pi DL \quad (2)$$

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

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

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

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

D : diamètre de la canalisation en mètre

Mode opératoire

- ✓ Choisir un point d'injection à une des extrémités de la conduite par exemple.
- ✓ Relever les potentiels à vide de la conduite à chacune des prises de potentiel. S'assurer que les extrémités des prises de potentiel sont bien isolées selon un procédé adapté.
- ✓ Mesurer la résistivité du sol en différents points si possible le long du tracé.

- ✓ Le déversoir de l'installation à mettre en place est à positionner le plus loin possible de la conduite (5 à 10 mètres au minimum).
- ✓ Procéder à l'injection de courant à partir d'une source de courant auxiliaire de telle manière que le potentiel conduite-sol au point d'injection soit de l'ordre de -1000 à -1500 mV car on risque de sortir de la zone de linéarité de l'évolution des potentiels en fonction du courant injecté.
- ✓ Mesurer le potentiel conduite-sol à courant établi à chacun des points d'accès à la conduite et le courant débité pendant l'essai.
- ✓ Appliquer la formule mentionnée ci avant.

Remarque :

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

2^{ème} méthode :

Cette méthode peut s'appliquer pour les ouvrages de grande longueur, consiste à procéder à une série d'injections de courant en un point donné de la conduite à étudier, et à tracer la droite d'évolution des potentiels en fonction des courants injectés. La connaissance de la pente de la droite ainsi calculée permet de déterminer la résistance d'isolement moyenne de la conduite.

Mode opératoire

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

Remarque

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

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

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

3.2 Par estimation

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

Type de conduite	Résistance d'isolement en $\Omega.m^2$
Réseau de canalisations enterrées avec revêtement très dégradé	500 à 1000
Réseau maillé de canalisations enterrées avec revêtement type C	5000 à 15000
Conduite d'acier enterrée avec revêtement type C	5000 à 100.000
Conduite d'acier enterrée revêtue en bande PE	10^4 à plus de 10^5
Conduite d'acier enterrée revêtue en PE extrudé	10^5 à plus de 10^6

Tableau III.2 : valeurs d'isolement

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

4. Etude de la protection cathodique

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

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

- La durée d'exploitation prévue pour l'ouvrage à protéger t (ans),
- Caractéristiques dimensionnelles de l'ouvrage : longueur diamètre, épaisseur, etc
- valeur d'isolement de la structure revêtue et le coefficient du vieillissement du revêtement appliqué β ,
- les résistivités du sol le long du tracé

4.1 Protection par soutirage

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

4.1.1 Potentiel d'injection

Le potentiel d'injection est défini comme étant l'abaissement du potentiel qu'on doit assurer au point de soutirage afin d'avoir aux extrémités de la conduite des valeurs inférieures aux seuils de protection

(<-850 mV / Cu/CuSO₄).

4.1.2 Courant de protection

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

4.1.3 Résistance longitudinale de la conduite

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

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

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

$$r = \frac{\rho_a}{\pi e(D_{ext} - e)} \quad [\Omega \cdot m^{-1}] \quad (3)$$

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

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

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

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

4.1.4 Résistance transversale de la conduit

La résistance transversale R est exprimée en $\Omega \cdot m$, est la résistance électrique par rapport au sol d'un mètre de canalisation revêtue.

$$R = \frac{R_{is}}{\pi \cdot D_{ext}} \quad [\Omega \cdot m] \quad (4)$$

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

R_{is} : résistance d'isolement en $\Omega \cdot m$.

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

$\pi \cdot D_{ext}$: Périmètre (P).

4.1.5 Coefficient d'atténuation

$$\alpha = \sqrt{\frac{r}{R}} \quad [m^{-1}] \quad (5)$$

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

R_t : résistance transversale de la conduite en $\Omega.m$

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

4.1.6 Résistance caractéristique

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

$$R_c = \sqrt{r * R} \quad [\Omega] \quad (6)$$

4.1.7 Calcul du courant de protection

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

- Cas ou R_{is} connue :

$$I = i . S_T = i . \pi \sum_{i=1} . D_{ext i} . L_i \quad (7)$$

I : courant de protection du réseau en ampère

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

$$i = \frac{[E_{rep} - E_{prot}]}{R_{is}} \quad (8)$$

Ou déterminer à partir de l'essai.

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

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

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

D_{ext} : diamètre extérieur du tube.

L : longueur du tube.

- Cas R_{is} non connue

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

Remarque

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

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

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

Tableau III.3 : Densité de courant

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

4.1.8 Détermination du poids du rail

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

$$P = 9,15 * I * t \quad [\text{Kg}] \quad (9)$$

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

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

4.1.9 Détermination de la longueur du rail

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

L : longueur du rail en mètre

P : poids du rail en Kg

4.1.10 Calcul de la résistance de terre d'un déversoir

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

- ◆ Pour le rail posé horizontalement :

$$R = \frac{0.366\rho_s}{L} * \left[\log \frac{3L}{2d} + \log \frac{3L}{8h} \right] \quad (10)$$

R : résistance de terre d'un déversoir en Ω .

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

L : longueur du rail en m

d : diamètre du rail en m = 0.10m

h : profondeur de pose du rail en m

Log : logarithme décimal.

- ◆ Pour les anodes posées verticalement :

$$Rv = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{8L}{d} - 1 \right) \quad (11)$$

R_v : Résistance de terre en (Ω),

ρ_s : résistivité du sol en (Ω m),

L : longueur de l'anode en (m),

d : diamètre de l'anode en (m).

- ◆ Pour les anodes posées horizontalement :

$$R_h = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{L + \sqrt{(4t - d)^2 + L^2}}{-L + \sqrt{(4t - d)^2 + L^2}} + \ln \frac{L + \sqrt{d^2 + L^2}}{-L + \sqrt{d^2 + L^2}} \right) \quad (12)$$

R_h : Résistance du déversoir horizontal Ω ,

L : Longueur de l'anode (m),

t : profondeur de pose de l'anode,

d : diamètre de l'anode et de son backfill (m).

4.1.11 Détermination de la puissance de soutirage

$$x = \frac{UI_s}{\eta} = \frac{RI_s^2}{\eta} \quad \text{Watt} \quad (13)$$

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

R : la résistance du circuit = $\sum R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

R_1 : résistance du déversoir/sol

R_2 : résistance de la conduite /sol

R_3 : résistance de la conduite

R_4 : résistance des câbles

Calcul de R_2 voir annexe A le graphe donnant la résistance de la conduite en fonction de la distance qui sépare le déversoir de la conduite, et selon les différentes résistivités du sol:

Calcul de R_3

$$R_3 = \frac{\rho_a L_T}{S_T} = \frac{\rho_a L_T}{\pi D_{ext} e} \quad (14)$$

$$R_4 = \rho * \frac{L}{S} \quad (15)$$

ρ : réstivité de cuivre = 1.7×10^{-8} ohm.mètre

4.1.12 Les équations de base

Le calcul des paramètres de la protection cathodique est basé sur le courant de protection, donc le calcul de ce paramètre se fait selon la structure à protéger.

$$E_x = E_0 = E_s = E_l c h \alpha L \quad (16)$$

$$I_x = I_0 = I_s \Rightarrow \frac{E_L}{R_c} \text{sh} \alpha L \quad (17)$$

X : Longueur de la conduite à protéger.

E_x : Abaissement du potentiel au point X.

E_o : Abaissement du potentiel qu'on doit assurer au point 0 ,

I_x : L'intensité du courant à injecter au point x

I_o : intensité de courant au point $x=0$,

α : coefficient d'atténuation

R_c : Résistance caractéristique:

Pour ce cas le calcul se fera pour la conduite de diamètre 300 (conduite homogène)

$$\Rightarrow l = 1 = \frac{1}{a} x = \text{arch} \frac{E_s}{E_l} \quad (18)$$

$$I_s = \frac{1}{R_c} sh * a * I \quad (19)$$

E_l : l'abaissement à l'extrémité de la conduite = - 0,5V,

E_s : le potentiel de soutirage est estimé à -2,5V - 0,5V

$L= 2l$ qui est la portée de protection

5. Dimensionnement Du Système Photovoltaïque

Etant donnée une localisation géographique et donc des données météorologiques, le dimensionnement d'un générateur photovoltaïque est la recherche de l'équilibre entre la satisfaction de la demande énergétique exprime et la puissance à installer tant du point de vue des modules que des batteries. La bonne optimisation de cette combinaison vise à définir le générateur le plus économique à l'acquisition et à l'entretien, qui soit à même de remplir le cahier des charges.

Le générateur solaire ainsi préconisé est donc, étroitement lié aux valeurs d'entrée (données d'ensoleillement, demande énergétique) et l'autonomie du générateur peut être affectée, par exemple par une augmentation de la consommation lors des périodes critiques, qui peut être résolu suite à la flexibilité de ce procédé de production d'électricité.

5.1 Données d'entrée d'ensoleillement

A titre indicatif l'ensoleillement (irradiation) journalier reçu à l'angle optimal pendant le mois le moins favorable de toute l'année de certaines ragions est consigné dans le tableau ci-dessous :

Wilaya	Irradiation solaire (kwh/m ² /an)
Bechar	3.0 - 4.5
Biskra	2.0 – 3.2
Djelfa	2.9 – 3.4
El-oued	2.9 – 3.3
Naama	2.7 – 3.8
Ouargla	2.7 – 4.7
Ghardia	3.7 – 4.5

Tableau III.4 : Irradiation solaire [26]

5.2 Calcul de l'énergie nécessaire au poste de soutirage : En

L'énergie nécessaire au poste de soutirage, c'est l'énergie minimale dont le poste a besoin pour assurer sa fonction sous une puissance et pendant un temps de fonctionnement donnés.

$$E_n = P * t_f \quad (20)$$

E_n : énergie nécessaire au poste de soutirage [wh/j]

Avec : P : puissance du poste de soutirage [w]

t_f : temps de fonctionnement du poste du générateur solaire [h/j]

5.3 Calcul de l'énergie à produire par le générateur photovoltaïque : E_f

Les pertes sont inhérentes à tout processus de conversion d'énergie. Les systèmes photovoltaïques doivent fournir toute l'énergie y compris celle qui est perdue. Ces pertes ont plusieurs origines :

- pertes par accumulation de poussière sur le panneau
- pertes (chutes de tension) dans le câblage et les équipements de conditionnement de l'énergie.
- pertes dues aux batteries.
- l'incertitude météorologique...

L'énergie à fournir par le générateur photovoltaïque est donc donnée par :

$$E_f = \frac{E_n}{1 - f} \quad (21)$$

E_f : énergie à fournir [wh/j]

Avec : F : pertes ; estimée de 25 à 45% (voir l'annexe C1)

E_n : énergie nécessaire au poste de soutirage [wh/j]

5.4 Calcul de la puissance crête (maximale) du générateur photovoltaïque : PCG

$$PC_G = \frac{E_f}{I_r} \quad (22)$$

PCG : puissance crête du générateur photovoltaïque [wc]

Avec : E_f : énergie à fournir [wh]

I_r : irradiation quotidienne moyenne annuelle [kWh/m².j]

5.5 Détermination du nombre de panneau solaire : N_{ps}

$$N_{ps} = \frac{PC_G}{PC_{ps}} \quad (23)$$

5.6 Calcul de la capacité des accumulateurs nécessaires : C

$$C = \frac{E_N * A}{D * U} \quad (24)$$

C : capacité du parc de batteries [Ah]

E_N : énergie nécessaire = énergie consommée [Wh]

A : autonomie de la batterie [jours]

Avec : D : limite de décharge profonde [%]

U : tension de fonctionnement du système [V]

5.7 Calcul du nombre de batteries nécessaires

Le nombre de batteries à prévoir est donné par le rapport entre la tension choisie (tension sous laquelle fonctionnent les équipements du système) et la tension délivrée par une batterie. Ainsi, les batteries sont assemblées en série pour fournir la tension nécessaire.

Gazoduc étudié

1. Définition de GRTG

Le GRTG est le gestionnaire du réseau de transport du gaz sur le marché national. Il a en vertu de la loi n°02-01 du 05 février 2002 relative à l'électricité et à la distribution du gaz par canalisations, le statut d'une société par actions détenues à 100% par le holding SONELGAZ. D'un capital social de 9 000 000 000 DA, il est le propriétaire unique du réseau.

Le GRTG a vu sa raison sociale modifiée pour devenir depuis le mois de décembre 2008 'Société Algérienne de Gestion du Réseau de Transport du Gaz', dénommée GRTG. Spa, avec le maintien du statut et du capital social.

Le GRTG est chargé de l'exploitation, de la maintenance et du développement du réseau de transport du gaz, en vue de garantir une capacité adéquate par rapport aux besoins de transit et de réserve. Le modèle économique édicté par la loi n°02-01 suivant lequel le GRTG opère sur le marché national, obéit aux principes d'activité économique régulée, ce qui lui donne le statut d'un monopole naturel sur l'activité de transport du gaz par canalisations sur le marché national.

2. Définition de réseau étudié

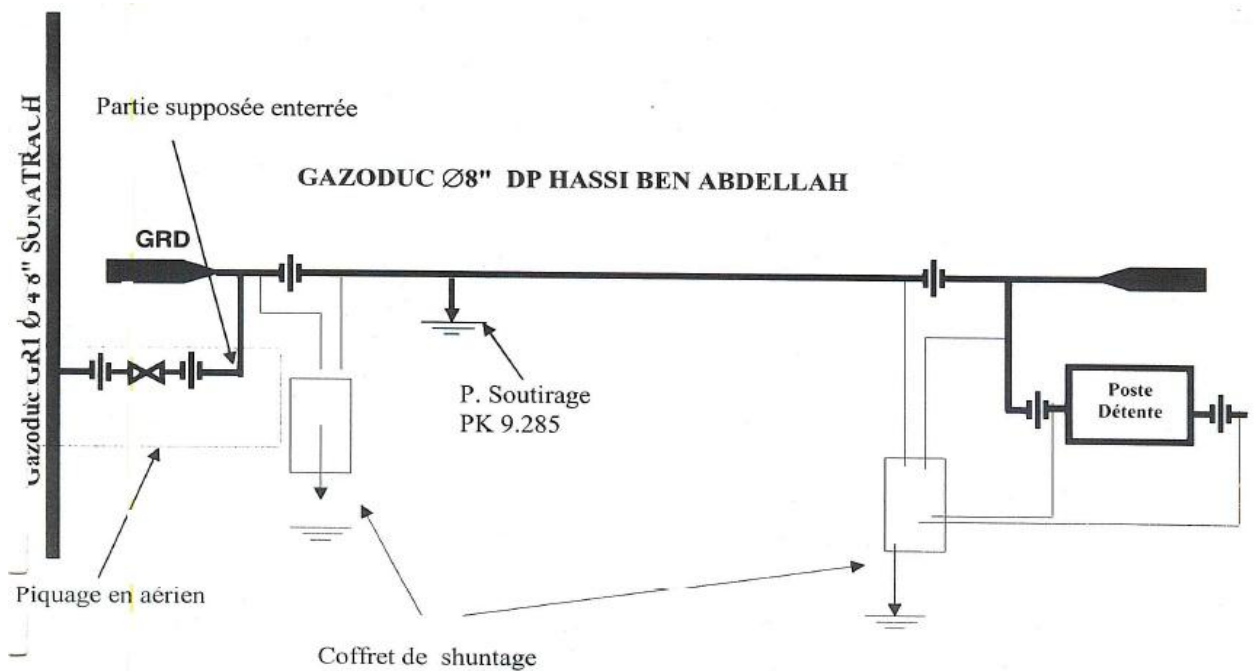


FIGURE III .1 : Plan synoptique antenne gazoduc Ø12 DP HASSI BEN ABDELLAH SONATRACH

3. Caractéristiques du gazoduc

- Antenne Ø8 DP HASSI BEN ABDELLAH
- Wilaya : Ouargla
- Piquage sur gazoducs : G.R.1 Ø48
- Longueur : 15749 ml
- Diamètre : Ø12 (323.9) mm
- Epaisseur : 7.1mm
- Nuance : acier X42
- PMS : 70 bars
- Revêtement : PE

4. Calcul de système de la protection cathodique

D'après les équations précédentes et l'aide de logicielle d'Excel nous avons trouvé les résultats suivants dans le tableau ci-dessous:

Grandeur	valeur
Résistance d'isolement	16700.48 ($\Omega.m^2$)
Résistance longitudinale de la conduite	$2.972 \cdot 10^{-5} (\Omega/m)$
Résistance transversale de la conduite	$16420.10^2 (\Omega)$
Coefficient d'atténuation	$4.252 \cdot 10^{-5}$
Résistance caractéristique	0.69(Ω)
Bras théorique de protection cathodique	24.27(m)
Résistance du déversoir/sol	1.4(Ω)
Résistance de la conduite /sol	1.2(Ω)
Résistance de la conduite	0.45(Ω)
Résistance des câbles	0.0767(Ω)
la puissance de soutirage	116.007(w)
la longueur de rail	100(m)
la longueur de câble	225(m)
la tension	24 (v)
le courant	5.601(A)

5. Calcul de système photovoltaïque

Grandeur	Valeur
Puissance du poste de soutirage	116.007 w
Energie nécessaire au poste de soutirage E_n	2784,168 wh/j
Energie à fournir E_f	5062,123 wh/j
Puissance crête du générateur photovoltaïque P_G	1265,530 wc
Capacité de batterie C	723.53 Ah
Nombre des panneaux solaires N_{ps}	10
Nombre des batteries	10
Nombre de régulateur	01

Conclusion

Conclusion générale

Conclusion :

En tenant compte du fait que les pipelines sont généralement isolés, nous pensons que l'utilisation de l'énergie solaire, serait beaucoup plus économique et adaptée, tout en augmentant le nombre d'anodes par déversoir, afin de réduire considérablement sa résistance, par conséquent la consommation énergétique.

Dans notre étude, nous avons choisi la méthode de protection cathodique par courant imposé pour la protection de cette structure, Parce que cette méthode est la protection la plus efficace d'autres méthodes, comme la protection cathodique par anode sacrificielle qui la durée de vie de sa protection ne dépasse pas 05 ans par contre la protection par courant imposé à durée de vie de 25 ans.

Cette méthode de protection cathodique par courant impose nécessite un control de control du courant maximal 6(A) et tension maximal 48 (V) et la valeur de potentiel -850 mV Cu/CuSO₄.

Et parce que nous voulons Résoudre le problème de protection cathodique en les zones isolé nous avons décidé de remplacer la source d'électricité conventionnelle à la source par l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque et cela pose un autre problème le dimensionnement du système photovoltaïque.

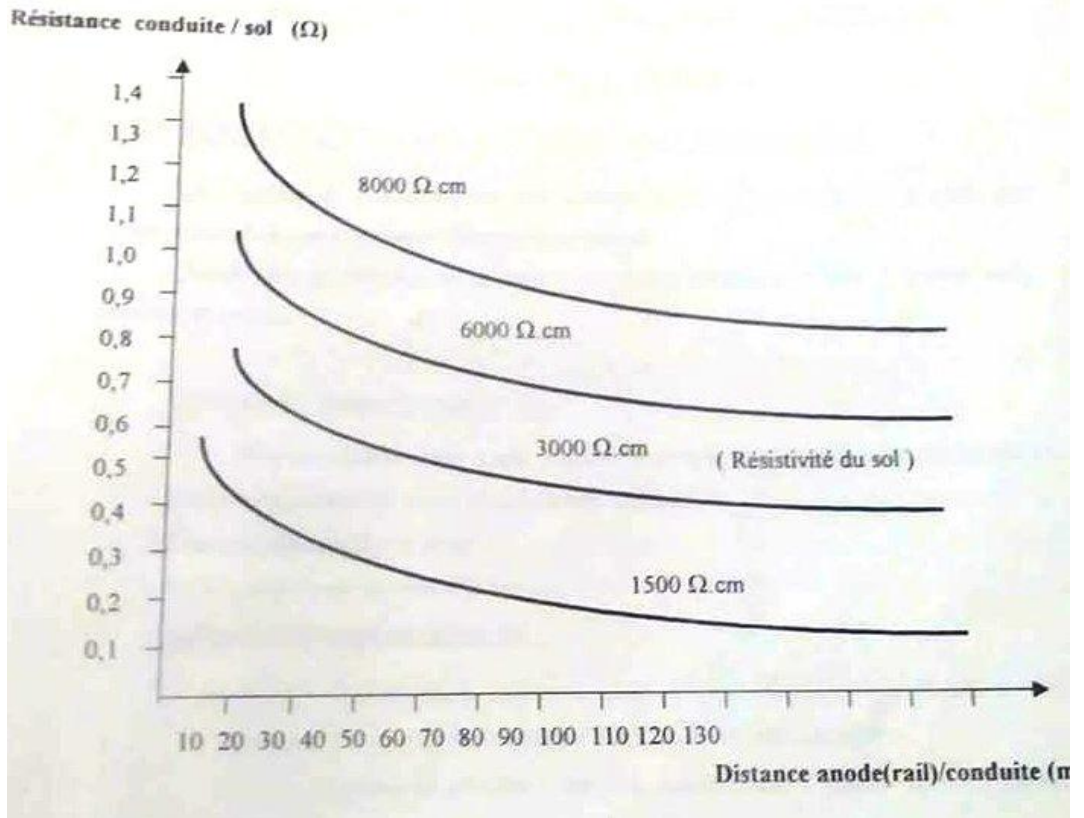
Après le dimensionnement le système protection cathodique et calculé toutes les résistances, nous avons atteint la valeur du courant électrique nécessaire pour protéger de pipe et déterminer le nombre de panneaux solaires nécessaires dans le système.

Nous avons atteint un système de 10 panneaux solaires avec puissance crêt 150 watts attachés en parallèle et batterie 12V/110Ah; donc le parc de batteries sera constitué de dix (10) batteries assemblées à la séquence afin que le système puisse protéger ce pipe avec des performances et une efficacité élevées. En dernier nous En dernier nous recommandons que :

- La protection des pipes contre la corrosion est très importante de point de vue économique et environnemental.
- L'utilisation de l'énergie photovoltaïque comme une source électrique pour la protection cathodique de nos pipes par courant imposé est une nécessité impérieuse surtout dans les régions sahariennes.
- Notre étude est importante pour les pipes de gazoduc traversant des zones isolées sans réseaux électriques conventionnels.

Annexes

Annexe A



Annexe B

Constituants des systèmes de protection cathodique

1. Postes à courant imposé

La puissance du poste de soutirage à mettre en place est définie par les calculs par contre le choix de son emplacement est tributaire de la disponibilité de l'énergie électrique et de la résistivité du sol. Néanmoins, si les conditions le permettent, il sera installé de préférence au milieu du réseau pour avoir une plus grande portée de protection

2. Anodes galvaniques

D'une manière générale, les anodes galvaniques (solubles) ne peuvent être employées économiquement que pour des structures qui exigent peu de courant de protection définitive (I_p) et dans les sols de faibles résistivités.

Les anodes peuvent être utilisées pour la protection provisoire* d'une conduite enterrées en cours de réalisation, ou encore pour la protection définitive.

Il seront installer à une distance minimale de 3 mètres de l'ouvrage à protéger.

Pour que la fourniture du courant soit aussi régulière que possible et pour présenter une faible résistance de terre, les anodes doivent être placées dans un backfill approprié de faible résistivité.

3. Câbles

Des câbles spécifiques doivent être utilisés pour le raccordement de structures protégées, d'anodes à courant imposé (déversoir), d'anodes galvaniques et de prises de potentiel. De tels câbles n'auront pas, de préférence, d'armure métallique. Les conducteurs portant un marquage indiquant leur usage comme conducteurs de terre ne doivent être utilisées qu'à cette fin.

Les sections des câbles sont déterminées en fonction des critères suivants :

- chutes de tension techniquement admissibles,
- résistance mécanique,
- économie.

4. Postes de drainage

Un poste de drainage comprend l'équipement et les matériels nécessaires pour assurer le drainage des courants vagabonds de la structure influencée vers la source de courant continu influençante. Les postes de drainage peuvent être prévus lors de l'étude, mais d'une manière générale, leurs nécessités et leurs spécifications ne sont établies qu'après la mise en service et pendant la durée de vie du système de protection cathodique.

5. Prises de potentiel

Les prises de potentiel sont prévues pour la mesure du potentiel de la structure. Une présence d'une prise de potentiel chaque 1 Km à 1.5 Km (en moyenne) est envisagée.

6. Prises ampérométriques

Les prises ampérométriques sont prévues pour la mesure du courant. Une présence d'une prise ampérométrique chaque 5 à 7 Km (en moyenne) est envisagée

7. Liaisons électriques

Différents types de liaisons existent :

- Liaison directe (Shunt) : Il convient de prévoir des liaisons métalliques de faible résistance électrique.
- Liaison résistante : liaison présentant une résistance électrique suffisante pour limiter le passage de courant
- Liaison unidirectionnelle (ou liaison de drainage polarisé) : liaison qui permet le passage du courant dans un seul sens.

8. Raccords isolants (joints isolants)

Les joints isolants sont des organes de raccordement électriquement discontinu, installés pour assurer une discontinuité électrique entre deux longueurs de canalisation comportant ou non une protection cathodique.

9. Coffrets de shuntage

Les coffrets de shuntage sont destinés à regrouper plusieurs câbles provenant des différents points de raccordement pour assurer les fonctions suivantes :

- Continuité entre deux ou plusieurs ouvrages,
- Mesures électriques (potentiel, débit de courant...),
- Contrôle et élimination des interférences dues à la protection cathodique (par le biais de résistances).

Les coffrets de shuntage seront installés à l'intérieur des postes gaz et à l'extérieur des fosses à vanne.

10. Mises à la terre

Les postes gaz sont soumis aux risques d'incendie ou autres pouvant être provoqués par les courants électriques de protection cathodique, par les courants vagabonds, ou par les courants de défauts issus des lignes électriques ou la foudre.

Pour se prémunir contre ces risques, il est nécessaire de se conformer aux règles de sécurité relatives aux mises à la terre.


Ces mises à la terre, peuvent être constituées de :

- Conducteur nus en cuivre ou acier inoxydable de section 25 à 100mm², enfouis horizontalement autour du poste gaz,
- Piquets constitués de tube en acier galvanisé de 25 à 50 mm de diamètre et de 1 à 3 m de longueur placés verticalement,

Aussi, les postes de soutirage et postes de drainage devront être mis à la terre.

ANNEXE C 1

Annuaire Panneaux Solaires (/pv/panel) / XSSP140-155M27
ENF Solar PV (12/2023)



XSSP140-155M27

Zhejiang Wuyi Xinsheng Energy Science and Technology Co., Ltd.

Type:	Monocristallin
Gamme de Puissance:	140 - 155 Wp
Région :	Chine

Produit Alternatif

(/pv/panel-datasheet/Monocrystalline/30505/102279?utm_source=ENF&utm_medium=enquiry_product)

F5-M315-M335-72

(/pv/panel-datasheet/Monocrystalline/30505/102279?utm_source=ENF&utm_medium=enquiry_product)

Abshine

A partir de €0.285 / Wp

Matériaux Donnée STC Qualité

Type Cellule: Monocristallin

Dimension Module: 1956x992x45 mm

Poids: 23 kg

Taille Cellule: 156*156 mm

Epaisseur du Verre: 3.2 mm

Contact (/contact)

Plus (/pv/panel-datasheet/Monocrystalline/30505/102279?utm_source=ENF&utm_medium=enquiry_product)

S'identifier (/member/login)

(/) Annuaire Entreprises (44,600) ▾ Annuaire Produits (61,600) ▾ Industrie Solaire ▾ Publicité ▾

Information de Produit
Profil d'entreprise
Inscription (/member/register)

Caractéristiques du Produit

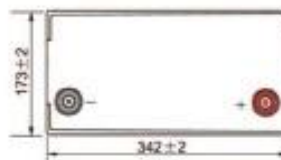
No. de Modèle	XSSP140M27	XSSP145M27	XSSP150M27	XSSP155M27
Garantie	10 Années			
Garantie de Puissance	10 ans à 90% de puissance sortie, 25 ans à 80% de puissance sortie			
Caractéristique Electrique (STC)				
Puissance Maximal (Pmax)	140 Wp	145 Wp	150 Wp	155 Wp
Tension à Puissance Maximal (Vmax)	27.81 V	27.97 V	28.67 V	28.99 V
Courant à Puissance Maximum (Cmax)	5.05 A	5.19 A	5.26 A	5.36 A
Tension Circuit Ouvert (Voc)	33.75 V	33.91 V	34.29 V	34.39 V
Courant Circuit Court (Isc)	5.75 A	5.79 A	5.85 A	5.88 A

https://fr.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/Monocrystalline/23089?utm_source=ENF&utm_medium=panel_more_series&utm_campaign=enquiry_... 1/3

ANNEXE C2



FICHE TECHNIQUE
BATTERIE 12V 100AH



CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Technologie : LiFePO4
 Tension nominale : 12,8V
 Capacité nominale : 100Ah
 Energie : 1280Wh
 Tension de charge maxi : 14,6V
 Courant de charge standard : 50A
 Courant de charge rapide : 100A
 Courant de décharge continu : 100A
 Courant de décharge pulse : 120A
 Autodécharge : <3% /mois
 Température de fonctionnement : -20°C à 60°C
 Température de charge : 0 à 45°C
 Nombre de cycles : 2000 à 1C 100% DOD

Connexion par vis M8
 Poids : 13,5Kg
 Dimensions (L x l x h) : 342mm x 173mm x 212mm
 IP 56 (protection contre les projections d'eau)

Gestion de la batterie par BMS :

Protection contre les courts circuits.
 Protection contre les surcharges 250A +/- 10A
 Protection contre les décharges profondes
 tension < 8V
 Protection contre les températures élevées
 >65°C
 La protection se fait par coupure de la batterie
 et la reconnexion est automatique.
 Equilibrage des cellules.

ANNEXE C3

RÉGULATEURS DE CHARGE SOLAIRE

Steca Solarix PRS

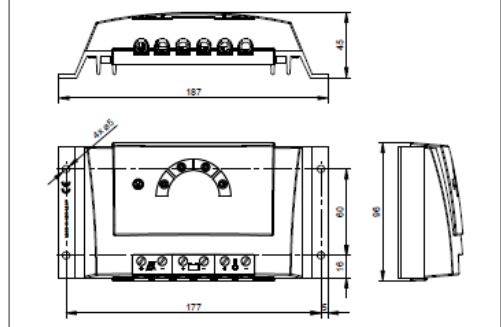
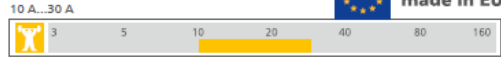
1010, 1515, 2020, 3030

Le régulateur de charge solaire Steca Solarix PRS séduit non seulement par sa simplicité et ses performances mais également par son design moderne et son affichage très pratique, le tout à un prix extrêmement intéressant.

Plusieurs DEL de couleurs différentes donnent un aperçu rapide de l'état de charge de la batterie. Cet appareil fait appel aux algorithmes Steca modernes qui assurent un entretien optimal de la batterie. Les régulateurs de charge Steca Solarix PRS sont équipés d'un fusible électronique, ce qui leur permet de garantir une protection optimale. Ils fonctionnent selon le principe du montage en série et séparent le panneau photovoltaïque de la batterie afin d'empêcher toute surcharge.

Dans le cadre de projets de plus grande envergure, ces régulateurs de charge peuvent également être dotés de fonctions spéciales telles que la fonction éclairage nocturne et la possibilité de choisir entre diverses tensions finales de charge et tensions de protection contre les décharges profondes.

BASIC



Caractéristiques du produit

- Topologie de série avec MOSFETs
- Sélection automatique de tension
- Régulation de tension
- Régulation MLI
- Technologie de charge à plusieurs niveaux
- Déconnexion de consommateurs en fonction du courant
- Reconnexion automatique du consommateur
- Compensation de température
- Possibilité de mise à la terre négative d'une borne ou de mise à la terre positive de plusieurs bornes
- Charge d'égalisation mensuelle

Fonctions de protection électroniques

- Protection contre les surcharges
- Protection contre les décharges profondes
- Protection contre une polarité inversée des panneaux solaires (≤ 36 V), des consommateurs et de la batterie
- Fusible électronique automatique
- Protection contre les courts-circuits des consommateurs et des panneaux solaires
- Protection contre les surtensions sur l'entrée du panneau solaire
- Protection contre circuit ouvert sans batterie
- Protection contre courant inverse pendant la nuit
- Protection contre surtempérature et surcharge
- Déconnexion de consommateurs en cas de surtension de la batterie

Affichages

- Afficheur à DEL multifonction
- DEL multicolore
- 5 DEL indiquent les états de service
 - ~ pour le service, l'état de charge, les messages de dysfonctionnement

Options

- Fonction crépuscule et éclairage nocturne d'origine ou Steca PA RC100 réglable
- Paramétrage des valeurs de fonction via le Steca PA RC100

Certificats

- Conforme aux normes européennes (CE)
- Conforme à la directive RoHS
- Fabriqué en EU
- Développé en Allemagne
- Fabriqué selon les normes ISO 9001 et ISO 14001

Accessoires Steca

- Unité de programmation Steca PA RC100

	1010	1515	2020	3030
Caractérisation des performances de fonctionnement				
Tension de système	12 V (24 V)			
Consommation propre	< 4 mA			
Côté entrée DC				
Tension à vide du panneau photovoltaïque (à la température de service minimale)	< 47 V			
Courant du panneau	10 A	15 A	20 A	30 A
Côté sortie DC				
Courant du consommateur**	10 A	15 A	20 A	30 A
Point de référence de réenclenchement (LV _R)*	12,4 V ... 12,7 V (24,8 V ... 25,4 V)			
Protection contre la décharge profonde (LVD)*	11,2 V ... 11,6 V (22,4 V ... 23,2 V)			
Côté batterie				
Tension de l'accumulateur	9 V ... 17 V (17,1 V ... 34 V)			
Tension finale de charge*	13,9 V (27,8 V)			
Tension de charge rapide*	14,4 V (28,8 V)			
Charge d'égalisation*	14,7 V (29,4 V)			
Conditions de fonctionnement				
Température ambiante	-25 °C ... +50 °C			
Installation et construction				
Réglage du type d'accumulateur	liquide			
Borne de raccordement (à fils fins / à un fil)	16 mm ² / 25 mm ² - AWG 6 / 4			
Degré de protection	IP 31			
Dimensions (X x Y x Z)	187 x 96 x 45 mm			
Poids	345 g			

* réglable via Steca PA RC100 Données techniques à 25 °C / 77 °F
 ** Ne pas raccorder les onduleurs à la sortie de charge

Références

Références

- [1] Cours de corrosion et protection des matériaux, université de Jijel, 2016, dr. Hakim bensabra.
- [2] Protection contre la corrosion et les environnements défavorables) Les solutions Thomas & Betts . 2013.
- [5] Coomb J, fundamentals of corrosion mechanisms, corporation, New York.
- [6] Le livre multimédia de la corrosion
http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_caverneuse.htm
- [7] News Company News what is intergranular corrosion in metal material, Date: 2016-10 31 Categories: Company News/ News
- [8] Equipements latéraux des ponts protection contre la corrosion, collection du guide technique gc, novembre 1996
- [9] thèse présenté par BRO U N'Guéssan Bahët Stanislas pour obtenir diplôme de l'ingénieur en génie mécanique, étude du dimensionnement optimal d'un système protection cathodique alimenté par l'énergie solaire, université m'hamad bougara boumerdès.
- [10] Corrosion et protection cathodique
- [11] Moyens de lutte contre la corrosion KANGNIVI Clarisse, EPAC/GME5
- [12] <https://sites.google.com/site/stopcorozions/notion-sur-la-protection-cathodique>
- [13] <https://www.cefracor.org/doc/cours-05.pdf>
- [14] <https://sites.google.com/site/stopcorozions/notion-sur-la-protection-cathodique>
- [15] Dr Hakim BENSABRA – Département de Génie des Procédés – Université de Jijel.2016
- [16] Etude de l'efficacité d'inhibiteurs de corrosion utilisés dans les liquides de refroidissement Florina Constantin. 24 Apr 2010.
- [17] Thèse Présentée par : Milcard FAUSTIN Pour obtenir le titre de : Docteur en Chimie Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique 1M, Soutenue le 18 Janvier 2013 à Cayenne
- [18] <https://protectioncathodique.net/principes-et-applications/generalites/la-protection-cathodique/>
- [19] L'essentiel sur la protection cathodique Par Marcel Roche. 11 mars 2015.
- [20] Prévention et lutte contre la corrosion, un approche scientifique et technique, BERNARD NORMAND
- [21] <http://www.c-et-m.fr/protection-cathodique-2>
- [23] Cours Energie Solaire Photovoltaïque, Enseignante :Mme S.BELAID, Université A.MIRA de BEJAIA Faculté de Technologie, 2014/2015
- [24] https://sitelec.org/download_page.php?filename=cours/solaire_photovoltaique.pdf
- [24] https://sitelec.org/download_page.php?filename=cours/solaire_photovoltaique.pdf
- [25] <https://www.ase-energy.com/regulateur-solaire-20a,fr,4,REG20A>.
- [26] <http://www.energy.gov.dz/francais/index.php?page=energies-nouvelles-renouvelables-et-maitrise-de-l-energie>
- [3] مرجع دراسة سلوك تآكل الفولاذ الكربوني في الاوساط المائية، د. خالد عثمان شرف، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد الثامن والعشرون ، العدد الأول ، 2012 صفحة 384.
- [4] المهندس وليد بن سعيد القحطاني المشرف على مختبرات و معامل قسم الهندسة الكيميائية، كلية الهندسة جامعة الملك سعود.

