

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**  
**Faculté des hydrocarbures de l'énergie**  
**Renouvelable Et des sciences de la terre et de l'univers**  
**Département des énergies renouvelables**



**Mémoire**  
**Présenté pour l'obtention d'un diplôme de**  
**MASTER**

**FILIERE : Génie Mécanique**  
**Spécialité : Energies Renouvelables en mécanique**

**Thème**

**Etude et dimensionnement d'un système de  
protection cathodique des gazoducs  
alimenté par les panneaux photovoltaïques**

**Présenté par :**  
**HEROUINI Hamza**  
**AMIEUR Slimane**  
**SELMY Mustapha**

Devant le jury composé de :

Dr Maamour Houcine  
Dr. Chahinez zoubidi  
Dr. Benmenine Djamel

Président  
Examineur  
Encadreur

Université de Ouargla  
Université de Ouargla  
Université de Ouargla

**Année universitaire 2021/2022**

# الإهداء

إلى من وضع المولى - سبحانه وتعالى - الجنة تحت قدميها، ووقَّرها في كتابه العزيز

أمي الحبيبة حفظك الله ورعاك وامدك الله بالصحة والعافية

إلى خير مثال لرب الأسرة، والذي لم يتهاون يوم في توفير سبيل الخير والسعادة لي

أبي الموقر حفظك الله ورعاك

إلى من أعتد عليه في كل كبيرة وصغيرة إخوتي واخواتي الأعزاء حفظكم الله رعاكم

إلى زوجتي الغالية وأم أولادي التي هي سند الحياة

إلى ابنتي الحبوبة الأميرة سناء

إلى أصدقائي ومعارفي الذين أجَّلهم وأحترمهم

إلى روح أجدادي رحمهم الله وإلى روح خالي العزيز الحاج عبد القادر

رحمهم الله رحمة واسعة

إلى أساتذتي في كلية المحروقات والطاقات المتجددة

هُدي لكم هذا البحث

# الإهداء



## شكر و عرفان

لك الحمد مولانا على كل نعمة ومن جملة النعماء قولي لك الحمد

فلاحمد إلا أن تمن بنعمة تعاليت لا يقوى على حمدك العبد

الحمد لله رب العالمين حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه ، الحمد لله كما ينبغي لجلال وجهك وعظيم سلطانك

أشكر كل من ساعدنا وساعدنا في إتمام هذا العمل وهاته المذكرة كل باسمه وكل بصفته

واخص بالذكر الأستاذ المشرف : بن منبن جمال على كل ما قدمه لنا من توجيهات

ونصائح وارشادات علمية وتقنية في إتمام هذا العمل

أشكر استاذتنا الكرام أعضاء الهيئة التدريسية في كلية المحروقات والطاقات المتجددة وعلوم الأرض والكون بجامعة ورقلة

-أشكر كل من ساهم معنا في إمدادنا بالمعلومات التقنية والعلمية في مجال العمل في شركة سونلغاز - نقل الغاز

؛ وأخص بالذكر

- السيد خلفي محمد : رئيس قسم حماية المنشآت الغازية والحماية الكاثودية بناحية الوسط بالجزائر
- السيد جبريط احمد : تقني رئيسي صيانة واستغلال نقل الغاز بناحية العرب مقاطعة غرداية .
- السيد مهدي سحوان : مهندس رئيسي - قسم حماية المنشآت الغازية والحماية الكاثودية بسوناطراك.
- السيدة مسيس فازية : مهندسة حماية المنشآت الغازية والحماية الكاثودية بناحية الوسط بالجزائر .
- السيد بلخير توفيق : رئيس قسم حماية المنشآت الغازية والحماية الكاثودية بناحية الشرق بقسنطينة.
- أساتذة قسم التكوين الخاص بالطاقات المتجددة بالمدرسة التقنية سونلغاز بالبليدة.

جزى الله الجميع خير الجزاء وجعل عملهم خالصا لوجهه، إنه على ذلك قدير

## **Résumé :**

La protection cathodique est employée intensivement sur les canalisations en acier dans Le transport de pétrole et de gaz. C'est une technique de prévention contre la corrosion qui transforme la canalisation protégé catholiquement contre la corrosion

Deux moyens de systèmes de protection cathodiques sont couramment appliqués. Les Systèmes de protection utilisent les anodes galvaniques, également appelées Les anodes sacrificielles, qui sont électro chimiquement plus électronégatives que la structure à protéger et les systèmes à courant imposé, par le biais d'un générateur qui débitera un courant continu de l'anode vers la structure à protéger. Le travail proposé contribue au dimensionnement d'un système de protection cathodique, par courant imposé, alimenté par d'énergie solaire qui sont les panneaux photovoltaïque, et dans ce travail ont fait une étude économique comparative entre les deux systèmes d'alimentations.

**Mots clés : corrosion, protection cathodique, courant imposé,**

**Panneaux photovoltaïques**

## **Abstract:**

Cathodic protection is used intensively on steel pipes in the transportation of oil and gas. It is a technique of prevention against the corrosion, which transforms the structure into a cathode of a corrosion cell; two types of cathodic protection systems are usually applied:

The galvanic protection systems use the galvanic anodes, also called the sacrificial anodes, which are electrochemically more electronegative than the structure to be protected, the other system is by impressed current, powered by electrical generator with D.C. output towards the structure to be protected The proposed work Contributes to the design of a cathodic protection system, by impressed current, fed by solar energy, which are the photovoltaic panels, and in this work have made a comparative economic study between two power systems of alimentation

**Keywords: Corrosion - Cathodic protection - Impressed current - sacrificial anodes**

**Photovoltaic panels**

## SOMMAIRE :

Introduction générale.....	14
----------------------------	----

### CHAPITRE I CORROSION.

I-1 Définition de la corrosion.....	15
I-2 Définition de l'électrolyte.....	16
I-3 Potentiel du métal dans la solution .....	17
I-4 L'échelle de Nernst .....	17
I-5 Processus de la corrosion.....	18
I-6 Établissement des diagrammes de Pourbaix (tension- pH).....	20
I-7 Les types de corrosion .....	21
I-8 Différents formes de Corrosion .....	24
I-9 Facteurs agissant sur la corrosion des ouvrages métalliques enterrés :.....	25
I-10 Mesure de l'agressivité du sol .....	26

### CHAPITRE II : PROTECTION CONTRE LA CORROSION

II- Introduction .....	27
II-1 LA PROTECTION PASSIVE .....	27
II-2 La protection active (la protection cathodique.....	30
II -3 Moyens de protection cathodique .....	31
II-4 Générateur de courant .....	35
II-4 Mesures De Protection Cathodique.....	41

### CHAPITRE III : DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE PROTECTION CATHODIQUE PAR ENERGIE SOLAIRE

III Introduction .....	42
III-1 Dimensionnement du système de protection cathodique.....	42
III-2 Dimensionnement Du Système Photovoltaïque.....	49
III-3 Etude technico économique de poste de soutirage de protection cathodique alimenté par énergie électrique et par énergie solaire .....	67
- Conclusion générale.....	68.
- Les références.....	69
- Les annexes. ....	70



## NOMENCLATURE

Symbole	Explication	Unité
E :	Potentiel d'équilibre	(V)
E0 :	Potentiel normale correspondant au potentiel du métal	(V)
R :	Constante des gaz parfaits = 8.314	Joul/°K.Mole
U	moyenne des gains de potentiel	V
Is	Courant de soutirage	A
I	l'intensité débitée au cours de l'essai	A
S	surface extérieurs de l'ouvrage étudié ( à protéger)	m <sup>2</sup>
D	diamètre de la canalisation	m
r	résistance longitudinale de la conduite	$\Omega \cdot m^{-1}$
$\rho_a$	résistivité de l'acier	$\Omega \cdot m$
e :	l'épaisseur du tube	m
Dext	diamètre extérieur de la conduite en mètre.	m
R	Résistance transversale de la conduite	[ $\Omega \cdot m$ ]
$\alpha$	Coefficient d'atténuation	[ m <sup>-1</sup> ]
Rc	Résistance caractéristique	[ $\Omega$ ]
I	densités de courant	[mA/m]
R	résistance de terre d'un déversoir :	[ $\Omega$ ]
P	<b>puissances de soutirage</b>	[W]
Gmin	Irradiation de solaire	[Kwh/m <sup>2</sup> ]
En	l'énergie nécessaire au poste de soutirage	[wh/j]
Tf :	temps de fonctionnement du poste du générateur solaire	[h/j]
Ef :	énergie à fournir	[wh/j]
PCG	puissance crête du générateur photovoltaïque	[wc]
Nps	nombre de panneau solaire	
PC PS	puissance crête du panneau solaire	[wc]
C	capacité du parc de batteries	[Ah]
L	Longueur	m



# Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Page</b>
Tableau I-1 : Echelle de Nerst	18
Tableau III-1 Relevé de résistivité des quelque électrolytes	49
Tableau III-2 Constitution de déversoir de la première poste soutirage	59
Tableau III -3-1-B Devis de raccordement en énergie électrique « SONELGAZ SDC »	69
Tableau III-1-C Bordereau de prix pour réalisation, fourniture et mise en service d'un poste de soutirage alimenté par énergie électrique (ligne électrique MT/BT)	70
Tableau III-3-2 : réalisation_ fourniture et réalisation d'un système photovoltaïque Type de déversoir : Rail	71
Tableau III-3-3 : Comparaison entre les différents systèmes de protection cathodique par deux sources d'énergies.	73

# Liste des figures

<b>Figures</b>	<b>Page</b>
Figure I-1 : Un Gazoduc Eclata A Natchitoches En Louisiane En Provoquant Un Incendie Qui Causa La Mort De 17 Personnes.	16
Figure I-2 Principe De Mesure De Potentiel	19
Figure I-3 : Processus De Corrosion	20
Figure I-4 : Corrosion Par Aération	21
Figure I-5 :Corrosion Par Aération	22
Figure I-6 :Corrosion Par Pile Géologique.	22
Figure I-7 : Corrosion Galvanique	23
Figure I-8 : Corrosion Bactérienne	24
Figure I-9 : Corrosion Par Les Courants Vagabonds	24
Figure I-10: Corrosion Par Pique	25
Figure II-1 : Principe De Fonctionnement De Protection Passive	29
Figure II-2 : Joint Isolant	31
Figure II-3 : Isolation Du Réseau Des Autres Structures Etrangères Enterrées	32
Figure II-4 : Critère De Protection Cathodique	33
Figure II-5 : Protection Cathodique Par Anodes Sacrificiel	34
Figure II-6 : Principe De La Protection Cathodique Par Courant Imposé	36

<b>Figures</b>	<b>page</b>
Figure II-7-A Déversoir : Type Rail	37
Figure II-7-B : Déversoir Type Anodes Verticalement	37
Figure II-8 Schéma De Protection Cathodique Par Courant Imposé A Partir Du Réseau Electrique	38
Figure II-9 Principe de fonctionnement d'une cellule PV	40
Figure II-10 Caractéristiques courant-tension et	41
Figure II.11 : Schéma d'Installation Solaire Photovoltaïque	41
Figure II-12 : Panneau Solaire Polycristallin	42
Figure II.13 Schéma d'un système de protection cathodique par énergie solaire	44
Figure II-14 Procédure De Mesure De Potentiel De La Conduite Par Rapport L'électrode De Référence	45
Figure III-1 Schéma synoptique de réseau gazoduc 8 " el GUERRARA (W -GHARDAIA)	47
Figure III-2 Schéma De Système De Protection Cathodique Alimenté Par Energie Solaire	60
Figure III- 3 Données Mensuelles D'irradiation De La Ville De GUERRARA WILAYA DE GHARDAIA	62
Figure III-3 Schéma Général Système Photovoltaïque Protection Cathodique	67

**INTRODUCTION**

**GENERALE**

## **Introduction générale :**

La protection cathodique par soutirage de courant est l'une des techniques les plus efficaces de lutte contre la corrosion des canalisations enterrés. Ce mode de protection nécessite une source d'énergie électrique. Lorsque l'on dispose, à proximité, d'un réseau de distribution, le transformateur est d'usage. Le problème se pose en cas d'éloignement de tels réseaux des installations à protéger. Dans le cas de la protection d'ouvrages traversant des zones désertiques. L'utilisation rentable et rationnelle des générateurs solaires dans les systèmes de soutirage doit faire l'objet d'une étude d'engineering qui doit tenir compte le technique pour la conception et le dimensionnement du système.

L'Object de cette étude est de dimensionner un système de protection cathodique d'un gazoduc dans une zone isolé par soutirage de courant par l'énergie solaire photovoltaïque.

Le présent travail est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre introduire des généralités sur le phénomène de corrosion et leurs causes et les types et les formes ainsi que leurs facteurs qui agissent sur les ouvrages métallique.

Nous exposons dans le deuxième chapitre la définition de la protection cathodique et les différentes formes passives et active. Le principe de fonctionnement de la protection active par courant imposé alimenté par le réseau électrique et par le système photovoltaïque.

Dans le troisième chapitre on traitera les calculs des paramètres énergétiques ainsi que le dimensionnement du système photovoltaïque et la comparaison économique entre les deux sources énergies alimentant le système de protection cathodique.

# **Chapitre I**

## **Corrosion**

## Introduction

Dans ce chapitre nous citons une définition de la corrosion, les types, et les causes de corrosion lors de transport et la distribution d'hydrocarbures par pipeline.

Pour traiter le phénomène de corrosion, il faut définir les moyens préventifs et curatifs afin de protéger les structures métalliques de toute altération électrochimique.

Le phénomène de corrosion rend les métaux à l'état sous lequel ils se trouvent dans la nature : Oxydes, sulfates, carbonates, ...etc.

Le fer est présent, à l'état naturel, sous forme d'oxydes. Il doit être réduit dans des hauts-fourneaux.

### I-1 Définition de la corrosion :

La définition usuelle de la corrosion est le résultat de l'action d'origine chimique ou électrochimique exercée par le milieu ambiant sur un métal ou un alliage, en générale elle correspond aux phénomènes d'allures très différentes.

On peut distinguer les types de corrosion suivant l'aspect, le mode d'action du milieu ou les phénomènes physiques concernés [1]

Un phénomène par lesquels un métal ou un alliage métallique tend à s'oxyder sous l'influence d'agents oxydants

➤ **oxydants gazeux (corrosion sèche)**

**Ou**

➤ **en solution (corrosion humide)**

La vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère peut former par condensation sur les pièces métalliques un film d'eau chargé de diverses substances présentes dans l'atmosphère ; comme Dioxygène, dioxyde de carbone, oxydes d'azote ...

- Alors ces substances provoquent une dégradation des métaux sous l'effet des réactions chimiques ou électrochimiques lorsqu'ils sont en contact avec un électrolyte.

- Elle est due à la tendance des métaux à se transformer en composés chimiques de plus en plus stable (leur retour à l'état de minerais naturels ayant servi à leur élaboration).

Une corrosion prononcée d'une canalisation provoque une fuite et entraîne non seulement une perte du produit transporté mais peut provoquer des explosions, des incendies, dont les conséquences peuvent être graves et parfois mortelles

Le 4 mars 1965, un gazoduc éclata à Natchitoches en Louisiane en provoquant un incendie qui causa la mort de 17 personnes (**Figure I-1**)



**Figure I-1 : Un gazoduc éclata à Natchitoches en Louisiane en provoquant un incendie qui causa la mort de 17 personnes.**

**I-2 Définition de l'électrolyte :** est un milieu conducteur de courant électrique et qui renferme des particules ionisées qui peuvent être [1] :

- Les ions positifs ou cations tel que :

$H^+$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  : sont des cations univalents.

$Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Cu^{+2}$  (ion ferreux) : sont des cations divalents.

$Al^{+3}$ ,  $Fe^{+3}$  (ion ferrique) : sont des cations trivalents.

- Les ions négatifs ou anions :  $Br^-$ ,  $Cl^-$ ,  $S^{2-}$

-Les ions complexes pourvus d'une charge positive ou négative.  $OH^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $S_2O_8^-$

La norme européenne EN 13509 définit l'électrolyte comme un liquide ou une partie de liquide d'un milieu comme le sol, dans lequel le courant électrique se déplace par mouvement d'ions.



### I-3 Potentiel du métal dans la solution :

Le potentiel du métal dans la solution peut être calculé, en utilisant les lois de la thermodynamique. Ce potentiel a une valeur déterminée pour chaque métal et permet le classement des métaux suivant leur aptitude à s'ioniser (formule de NERNST°) (1):

E : Potentiel d'équilibre (V)

E0 : Potentiel normale correspondant au potentiel du métal plonger dans une solution normale d'un de ses sels (1mole/l) et mesuré par rapport à l'électrode à Hydrogène

R : Constante des gaz parfaits = 8.314 Joul/°K.Mole

T : température en Kelvin

n : valence de l'ion ( $Fe^{+2}=2$ )

F : 96500 Coulombs

C : concentration en ions du métal dans l'électrolyte.

$$E = E0 + \frac{RT}{nF} \text{Log } C$$

### Formule de mesure de potentiel de Nernst

#### I-4 L'échelle de Nernst :

Permet le classement des métaux du point de vue de leur noblesse.

**Un métal noble** : s'ionise peu, parce qu'il existe des forces de cohésion importantes entre les atomes.

**Plus son potentiel est élevé**, plus le métal considéré est noble, à l'inverse d'un métal classé vil, de potentiel plus faible.

L'échelle de NERNST donne les valeurs à 25°C des potentiels normaux des éléments usuels par rapport à l'électrode à hydrogène. [1]

<u>Eléments</u>	<u>Couples oxydant/réducteur</u>	<u>E<sub>o</sub> (volts)</u>
Au	Au <sup>+++</sup> /Au	+ 1,42
O	O <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	+ 1,23
Pt	Pt <sup>2+</sup> /Pt	+ 1,20
Ag	Ag <sup>+</sup> /Ag	+ 0,80
Cu	Cu <sup>+</sup> /Cu	+ 0,52
	Cu <sup>2+</sup> /Cu	+ 0,34
H	H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	0 (par convention)
Pb	Pb <sup>2+</sup> /Pb	- 0,13
Ni	Ni <sup>2+</sup> /Ni	- 0,25
Fe	Fe <sup>2+</sup> /Fe	- 0,44
Zn	Zn <sup>2+</sup> /Zn	- 0,76
Al	Al <sup>3+</sup> /Al	- 1,66
Mg	Mg <sup>2+</sup> /Mg	- 2,37

**Tableau I-1 : Echelle de Nerst**

### **I-5 Processus de la corrosion :**

Nous avons vu qu'une électrode métallique plongée dans un électrolyte était le siège d'un équilibre :

Si par un moyen quelconque, on absorbe les électrons participant au maintien de la couche double, on conçoit que l'équilibre des charges étant détruit, les ions métalliques M<sup>++</sup> puissent passer en solution.

La réaction 1 d'oxydation se développera tant que l'on absorbera les électrons.

Le processus de corrosion est établi.

#### **I-5-1 Destruction de l'équilibre par réaction du milieu :**

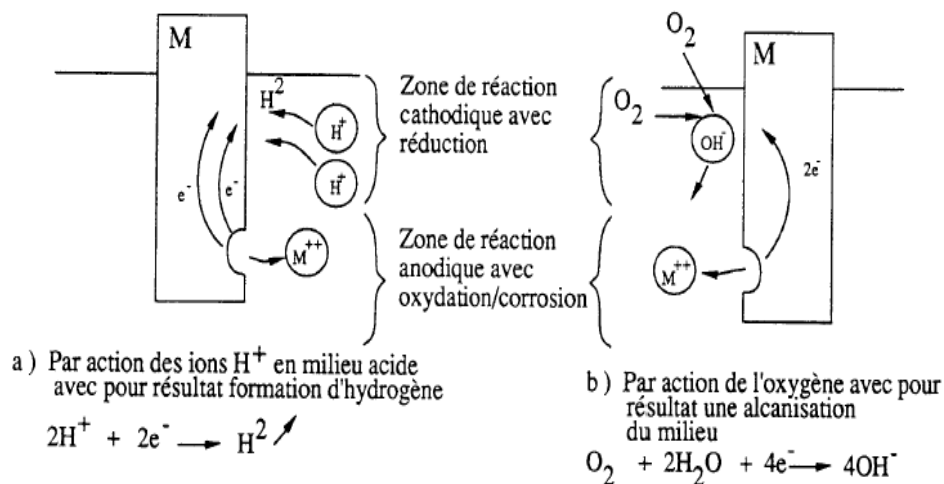
Tout système chimique, contenu dans l'électrolyte, capable de fixer au contact de l'électrode métallique les électrons du métal (ce qui est le cas des oxydants de la solution) provoquera une oxydation du métal. [1]

- Les oxydants de la solution sont réduits (gain d'électrons).
- Le métal, qui est dit réducteur, est, lui, oxydé (perte d'électrons).

C'est le cas par exemple :

- de l'ion hydrogène en milieu acide :  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2$
- de l'oxygène en milieu acide :  $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- de l'oxygène en milieu basique :  $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$

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



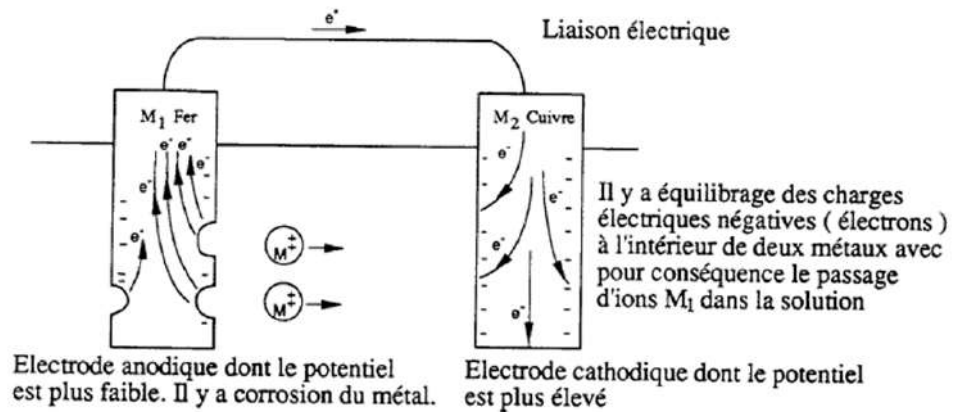
**Figure I-2 : Processus de corrosion par réaction du milieu.**

## I-5-2 Destruction de l'équilibre par couplage d'électrodes métalliques

Si l'on fait une liaison électrique entre les 2 électrodes, comme il ne peut y avoir accumulation de charges à l'intérieur d'un conducteur électrique, il va y avoir migration par l'intermédiaire de la liaison établie, des électrons vers le métal dont le potentiel est le plus élevé (dans notre cas de **M1** → **M2**).

A l'anode **M1**, l'équilibre est détruit, de la matière métallique ( $\text{M}^{++}$ ) passe en solution. Il y a corrosion. L'anode est l'électrode (ou la partie de l'électrode) sur laquelle se développe une réaction d'oxydation. L'anode est sujette à dissolution.

A la cathode **M2**, l'afflux des électrons permet à l'équilibre de se renforcer, des réactions cathodiques se développent à l'interface métal/solution. La cathode est l'électrode (ou la partie d'électrode) sur laquelle se développe une réaction de réduction. [1]



**Figure I-3 : Processus de corrosion par couplage d'électrode métallique.**

**Anode** : l'électrode, ou la partie de l'électrode, sur laquelle se développe une réaction d'oxydation du métal. L'anode est en général sujette à dissolution.

**Cathode** : l'électrode, ou la partie de l'électrode, sur laquelle se développe une réaction de réduction d'une espèce contenue dans l'électrolyte (dégagement d'hydrogène, formation d'ion  $OH^-$  donc alcalinisation du milieu, dépôt de métal.).

Les deux cas de destruction d'équilibre étudiés correspondent à un déplacement d'électrons dans les conducteurs métalliques, donc à la circulation d'un courant électrique. Rappelons que par convention, le sens du courant électrique a été choisi inverse de celui des électrons dans les conducteurs. Par contre, dans l'électrolyte, il aura pour sens celui du déplacement des charges positives [1]

## I-6 Établissement des diagrammes de Pourbaix (tension- pH).

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 contre la solution, 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 se corroder, les réactions d'oxydation n'étant plus possibles. C'est le domaine de la protection cathodique.

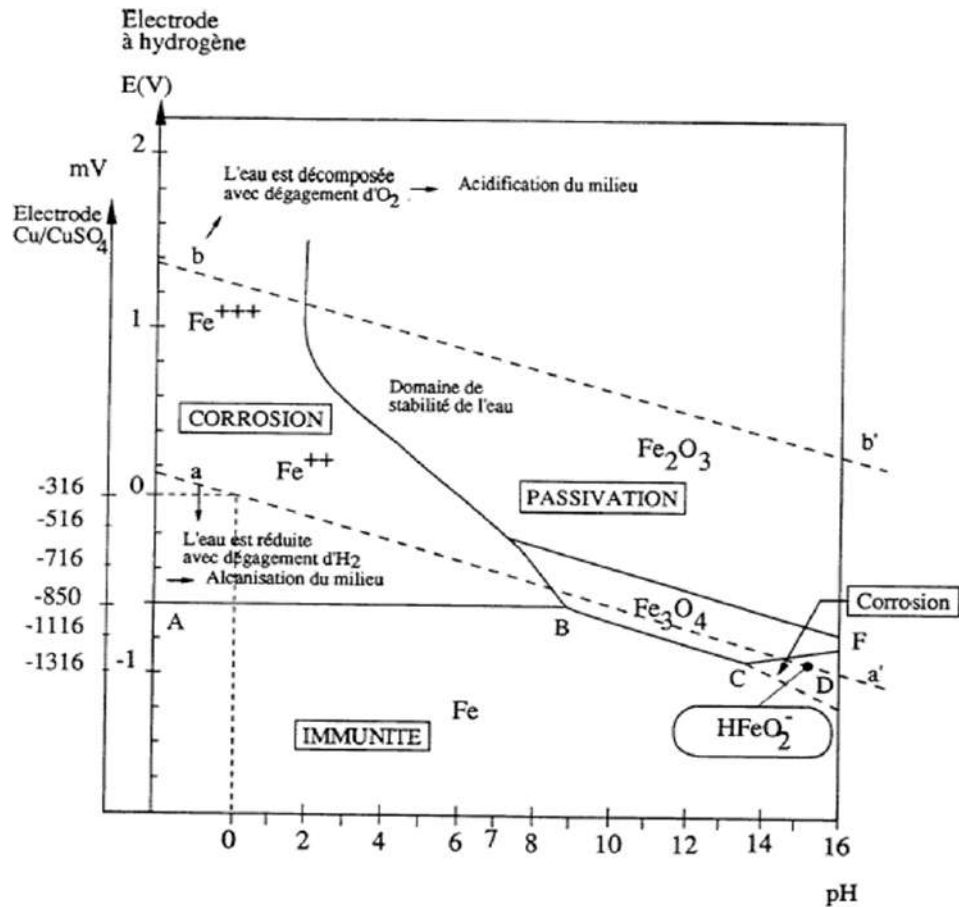


Figure I-4 diagramme de Pourbaix (tension- pH).

## I-7 Les types de corrosion :

### I-7-1 Corrosion par formation de piles

#### I-7-1-1 Aération différentiel :

La différence d'approvisionnement en oxygène crée des piles relevant du phénomène d'aération différentielle.

Les zones les moins aérées sont des zones anodiques par rapport au reste de l'ouvrage et se corrodent donc plus facilement.

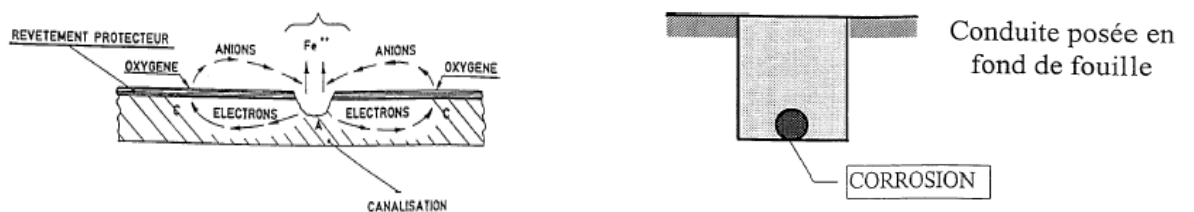


Figure I-5 : Corrosion par aération

## 7-1-2 pile géologique :

Une pile géologique est constituée d'un même métal plongé dans des électrolytes différents.

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

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

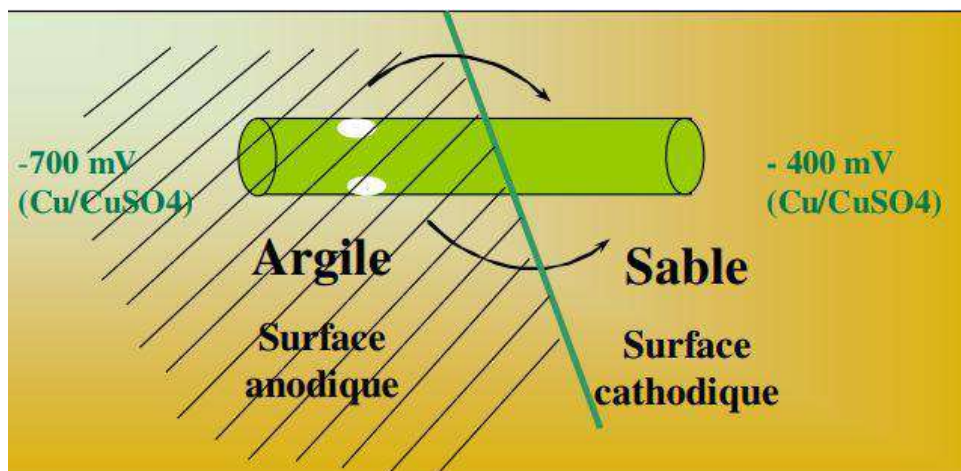


Figure I-6 : Corrosion par pile géologique [2]

## 7-1-3 Piles dues à l'association de métaux différents (couplage galvanique)

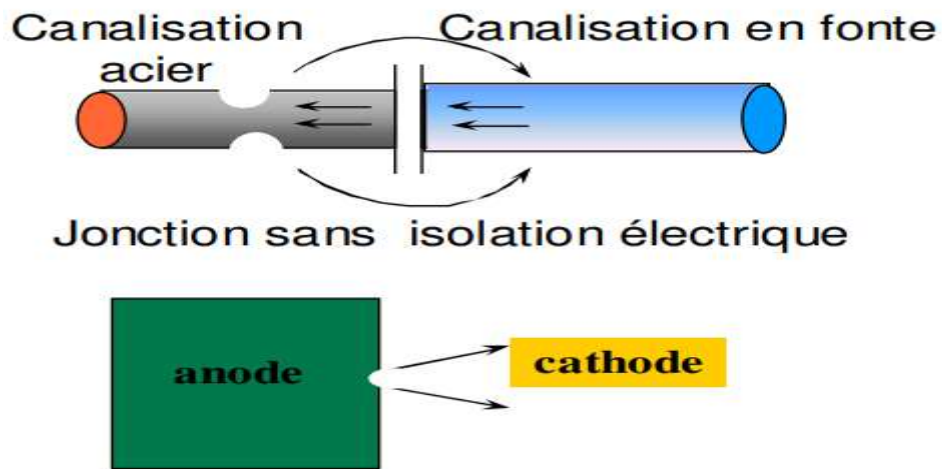
On a vu que la liaison électrique de 2 métaux différents dans un même sol entraînait la corrosion de celui dont le potentiel est le plus négatif. Il est donc possible de prévoir le sens des réactions galvaniques en mesurant et en comparant les potentiels des métaux.

La liaison électrique entre une conduite en acier et des métaux tels que le cuivre, le plomb, la fonte et même l'acier oxydé, entraîne une corrosion de l'ouvrage en acier.

Les piquages directs sur les conduites de gaz, réalisés en cuivre ou en fonte sont néfastes pour la conduite acier, de même que son raccordement, au niveau d'une installation gazière, à un réseau de terres électriques en cuivre.

Ces phénomènes de couplage décrits pour une conduite, existent bien entendu également à l'échelle macroscopique au niveau d'une soudure, en raison, par exemple, des disparités entre

le métal de base et le métal d'apport, et même à l'échelle microscopique au niveau des inclusions ou hétérogénéités du métal.



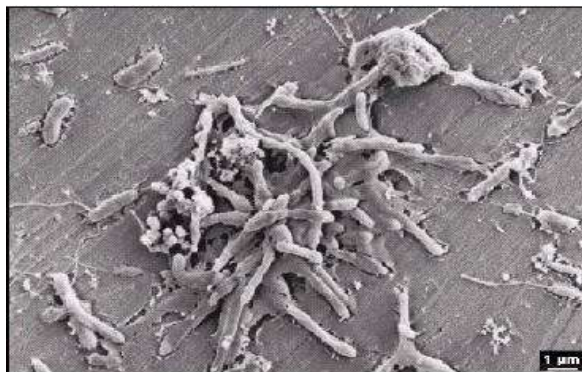
**Figure I-7 : Corrosion par couplage galvanique (2)**

## I-7-2 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.

Il a été mis en évidence l'action des bactéries réductrices des sulfates dont le développement produit l'attaque du fer :

- par les produits de la réaction,
- par la polarisation des surfaces.



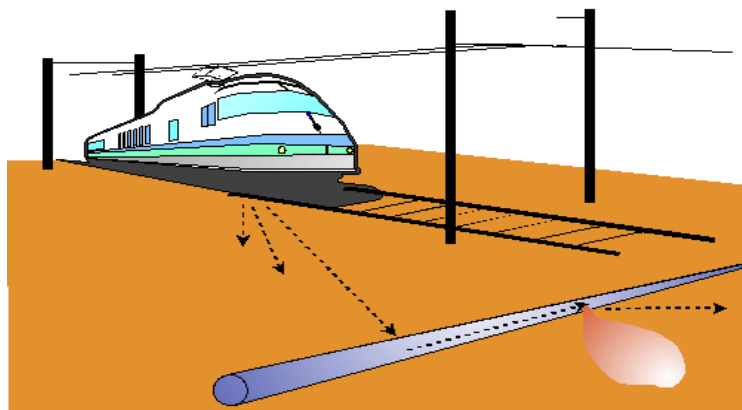
**Figure I-8 : Corrosion bactérienne**

## I-7-3 Corrosion Par les courants Vagabonds :

On appelle "courants vagabonds" les courants continus qui circulent dans le sol. Il sont émis par :

- les lignes de chemin de fer électrifiées en courant continu,
- les métros, tramways,
- certains gros industriels.

Prenons le cas des chemins de fer électrifiés en courant continu.[1]



**Figure I-9 : Corrosion par curant vagabonds**

## I-8 Différents formes de Corrosion [3]

Si les processus élémentaire de la corrosion métallique humide sont toujours les mêmes, la morphologie de l'attaque peut prendre des formes très divers, résultant de la répartition des zones anodique et cathodique à l'interface métal électrolyte et, éventuellement de l'interaction d'autre phénomènes (électrique mécaniques, biologiques...) avec la corrosion. Le classement suivant peut être donné :

### I-8-1 Corrosion généralisée :

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

### I-8- 2 Corrosion localisée :

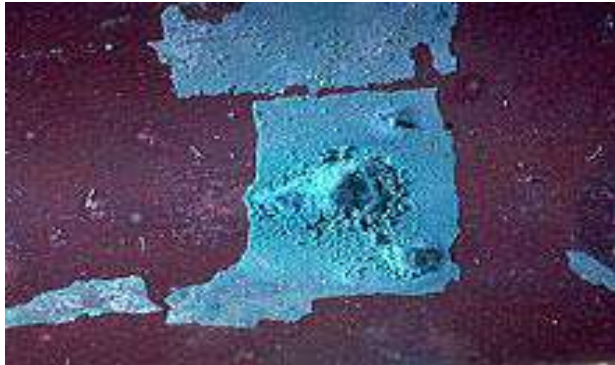
Elle provient de la localisation des zones anodiques en certains endroits de l'interface, pour des Raisons d'hétérogénéité dans le métal ou dans l'électrolyte. La pénétration de la corrosion est



D'autant plus rapide que le rapport de la surface anodique sur la surface cathodique est faible.

### **I-8-3 Corrosion par piquûre :**

Dans ce cas il y'aura formation de piquûres ou de creusages, ce type de corrosion est très dangereux car il peut aboutir à la perforation du métal dans un temps plus au mois cours [1]



**Figure I-10 : Corrosion par piquure**

### **I-8-4 Corrosion intergranulaire :**

Elle se caractérise par une dissolution préférentielle d'élément dissous au niveau des joints de grains du métal.

### **I-9 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.

#### **I-9-1 Le sol comme électrolyte :**

Le sol est un amalgame complexe de solides, liquides et gaz,, qui font qu'il est parfois agressif, ce qui conduit à des corrosions extrêmement rapides, mais qu'il est, dans certains cas, parfaitement inerte et n'a qu'une action tout à fait négligeable.

L'agressivité absolue du sol pour un métal découle de ses propriétés physiques et chimiques.

#### **I-9-2 Propriétés physiques des sols :**

Le sol contient de grandes quantités de minéraux différents de granulométrie variable selon leur provenance. Les sables contiennent des particules ouvrant atteindre 2 mm, les particules constitutives de l'argile n'ont que quelques microns de diamètre. Les sols contiennent de l'eau

- une eau libre amenée par les mouvements de la nappe phréatique à profondeur variable (1 à 100 m), qui joue un rôle important surtout pour les structures enterrées verticales, comme les puits.
- une eau libre qui s'infiltré depuis la surface du sol ; eaux de pluie, d'irrigation et d'inondation.
- une eau interstitielle qui migre par capillarité, dont la quantité dépend de la nature de la terre et fixe le taux d'humidité d'un sol.

Les sols contiennent des gaz A la profondeur des conduites, il y a presque toujours de l'air, donc de l'oxygène, beaucoup dans les sols sableux ou poreux, moins dans les sols compacts argileux.

### **I-9-3 Propriétés chimiques des sols :**

Elles sont mises en évidence par la mesure du pH. La plupart des sols ont un pH compris entre 5 et 8, Les sols contiennent des sels dissous à des concentrations de 100 à 1500 ppm.

La teneur en sel est fonction des précipitations. Des pluies abondantes lavent les terrains et leur salinité est faible. Dans les régions arides, au contraire, où l'eau remonte du sol pour s'évaporer, la concentration en sels peut devenir très importante.

Les cations les plus répandus, cause d'agressivité, sont les ions potassium, sodium, magnésium et calcium.

Les anions présents, chlorures et sulfates, augmentent la conductibilité de l'électrolyte et facilitent donc les transferts électriques causant les corrosions.

### **I-10 Mesure de l'agressivité du sol [1]:**

La mesure de l'agressivité des sols pour les métaux peut être déduite de la mesure de leur résistivité électrique. C'est le critère d'appréciation le plus fréquemment utilisé.

Pour l'acier dans le sol, il est admis que lorsque la résistivité du sol :

- **la résistivité du sol  $> 100 \Omega.m$** , le sol est peu agressif. On mesure des résistivités de **200 à 500  $\Omega.m$**  et plus dans des terrains pierreux, calcaires ou sables secs.
- **la résistivité du sol est comprise entre 50 et 100  $\Omega.m$** , l'agressivité est moyenne. C'est souvent le cas des terrains agricoles, limoneux, légèrement sableux.
- **la résistivité du sol -  $< 50 \Omega.m$** , le terrain est agressif. Des terrains argileux et lourds ont des résistivités variant de 15 à 40 m.

**CHAPITRE II :  
PROTECTION CONTRE  
LA CORROSION**

### II- Introduction :

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.

Pour réduire la vitesse de corrosion d'une canalisation à des valeurs acceptables économiquement ( $< 0,01$  mm par an selon la norme NF EN12954) deux principes sont à mettre en œuvre conjointement :

Soit par l'interposition d'une barrière entre le métal et le milieu environnant donc il s'agit d'une protection passive

Soit par un apport d'énergie extérieure qui empêche l'amorce du processus de corrosion, c'est la protection active.[1]

#### II-1 LA PROTECTION PASSIVE : [2]

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

Elle repose sur l'idée qui vise isoler le métal du milieu ambiant.

D'une manière générale, on considère deux procédés pour assurer la protection anticorrosion :

- Enrobage pour les conduites enterrées.
- Peinture pour les conduites aériennes.

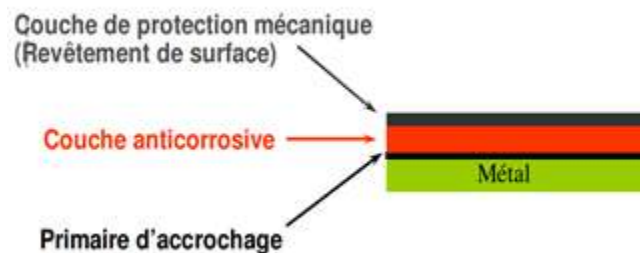


Figure II-1 : Principe de fonctionnement de protection passive [2].

- BUT : La protection passive a quatre (04) rôles :
  1. **l'isolement du métal par rapport au milieu.**
  2. **l'isolement des différents métaux constitutifs d'un réseau.**
  3. **Délimitation de l'ouvrage à protéger cathodiquement.**
  4. **Isolation du réseau des autres structures étrangères enterrées.**

### **II-1-1 l'isolement du métal par rapport au milieu :**

C'est le but des revêtements pour les conduites enterrées. Les exigences demandées pour les revêtements qui sont associées à une protection active sont les suivantes :

- une adhérence parfaite avec le métal pour éviter la migration et le renouvellement d'électrolyte sous l'isolation,
- une résistance électrique par rapport à la terre suffisante dont la qualité ne s'affaiblit pas trop au cours du temps. On distingue trois (03) grandes catégories de revêtements pour les conduites enterrées :

Revêtement à base de produits hydrocarbonés : Le revêtement est constitué d'un primaire synthétique ou hydrocarboné et d'une armature en toile de verre imprégnée d'un liant hydrocarboné. Par exemple : les brais de houille et les bitumes de pétrole.

Revêtements thermoplastiques :

Revêtement en polyéthylène extrudé, avec primaire d'accrochage à base de caoutchouc butyl, Bandes adhésives minces, à support PVC, ou polyéthylène, appliquées sur primaire, et recouvertes d'une bande de protection mécanique supplémentaire,

Revêtement à base de produits thermodurcissables : Revêtements constitués par des résines époxydes ou par des polyuréthanes ou des produits composites tels les brais polyuréthanes et les brais époxydes.

### **II-1-2 Isolement des différents métaux constitutifs d'un réseau :**

Pour éviter la création des couples galvaniques entre métaux de nature différente et éviter la corrosion du métal le moins noble, il est nécessaire d'intercaler à la jonction bimétallique un raccord isolant ou joint isolant empêchant la circulation de courant entre l'anode et la cathode.

### **II-1-3 Délimitation de l'ouvrage à protéger cathodiquement :**

La protection cathodique est étudiée pour assurer la protection d'un ouvrage précis, et ne peut prendre en compte des structures annexes qui pour des raisons mécaniques, se trouveraient reliées électriquement à l'ouvrage.

Le rôle de délimitation « électrique » du réseau est réalisé par le raccord isolant (joint isolant)

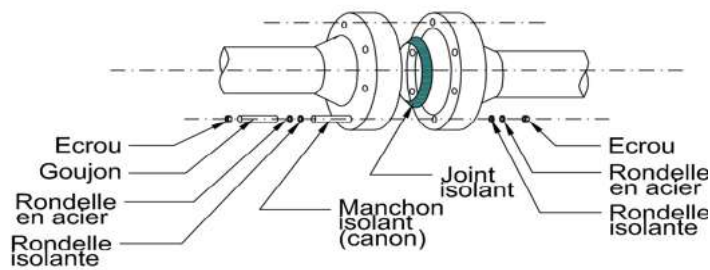


Figure II-2-a : Joint isolant à bride [4]

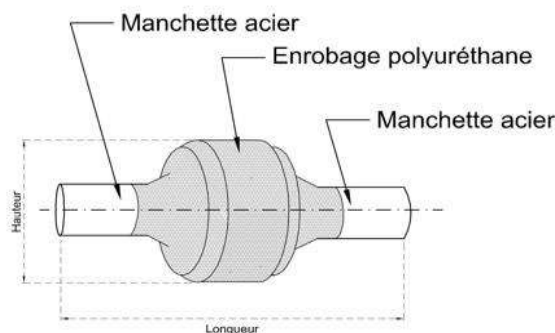


Figure II-2-b : Joint isolant monobloc [4].

### 1-4 Isolation du réseau des autres structures étrangères enterrées

La protection passive sert à éviter le contact électrique de l'ouvrage à protéger avec des conduites ou ouvrages appartenant à des tiers et qui par l'importance des mises à la terre qu'il créerait, mettrait en péril la protection cathodique de notre réseau.

A ce titre, l'isolement de l'ouvrage doit être étudié au passage de ponts, dans les gaines métalliques, aux traversées de structures en béton armé.

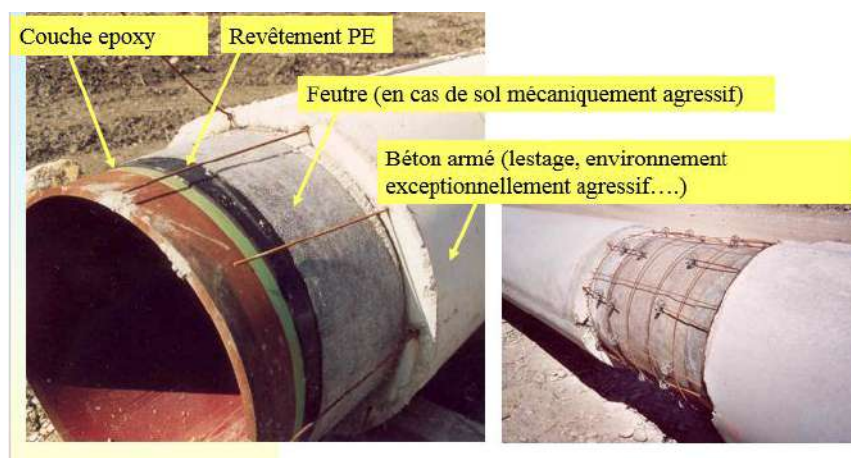


Figure III-3 : Isolation du réseau des autres structures étrangères enterrées

### II-2 La protection active (la protection cathodique) : [1]. [3]

La modification du comportement électrochimique d'un métal dans le milieu corrosif par l'intermédiaire d'un courant électrique peut réduire fortement la corrosion si non l'annuler. Cette protection agit par modification des potentiels et assure ainsi une protection durable contre la corrosion.

#### II- 2-1 Principe de la protection cathodique :

Le principe de la protection cathodique est d'amener la surface totale de la structure à protéger à être cathode par rapport à l'électrolyte, une anode servant de pièce de consommation.

- Consiste à abaisser le potentiel de l'ensemble de la surface du métal en contact avec l'électrolyte, jusqu'à son domaine d'immunité ou toute corrosion devient négligeable.
- Son principe c'est d'amener la surface totale de la structure à protéger à être cathode/l'électrolyte,

une anode servant de pièce de consommation

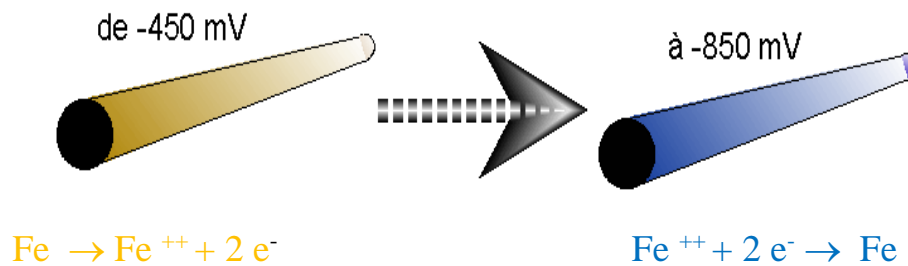


Figure II-4 : Critère de protection cathodique

#### II- 2-2 Critères de la protection cathodique :

##### II-2-2-A Le potentiel

Il apparaît dans le diagramme de POURBAIX un domaine d'immunité où le fer reste à l'état métallique.

L'expérience prouve qu'à la valeur de  $-850$  mV, le taux de corrosion est suffisamment faible pour que ce potentiel soit considéré comme frontière du domaine d'immunité (la concentration théorique d'ions métalliques dans l'eau est alors de  $10^{-6}$  mol/l ce qui correspond à 56 g de fer par litre).

On a admis comme critère de protection du fer dans l'eau ou dans le sol, et pour des PH ne dépassant pas 10, la valeur du potentiel de la canalisation de :

$-850$  mV pris par rapport à l'électrode Cu/CuSO<sub>4</sub>.

En pratique, on cherchera plutôt à atteindre un seuil de protection fixe empiriquement pour l'acier à  $-1000$  mV par rapport à l'électrode Cu/CuSO<sub>4</sub> pour compenser d'une part d'éventuelles erreurs de mesures et, d'autre part, l'existence de gradients de potentiel dans le sol en présence de défauts dans le revêtement.

**NB** : Ce critère doit être porté à  $-950$  mV si le sol est particulièrement compact et contient des bactéries sulfatoréductrices.

### **II-2-2-B Le courant**

Dans certains cas, si la mesure du potentiel n'est pas réalisable, il peut être utile de contrôler le courant de protection. Les résultats d'expériences donnent pour l'acier les densités de courant suivantes :

0,7 mA/m<sup>2</sup> pour l'acier dans le béton

5 mA/m<sup>2</sup> pour l'acier nu dans le sol sans bactéries

35 mA/m<sup>2</sup> pour l'acier nu dans un sol aéré

60 mA/m<sup>2</sup> pour l'acier nu dans l'eau douce agitée

100 mA/m<sup>2</sup> pour l'acier en eau de mer

400 mA/m<sup>2</sup> pour l'acier nu en milieu anaérobie avec bactéries sulfato-réductrices.

**II -3 Moyens de protection cathodique** : Ils sont de trois sorts :

#### **II-3-1 la protection par anodes sacrificielles** : [5]

Le principe de la protection cathodique par anode galvanique consiste à créer un couple galvanique entre la conduite à protéger et une anode galvanique.

Les anodes sacrificielles ou galvaniques agissent grâce au couplage galvanique créé naturellement entre le métal de l'ouvrage et des anodes constituées de zinc, d'alliages d'aluminium ou de magnésium, métaux plus électro-négatifs. La différence de potentiel naturel entre les métaux crée une circulation de courant ; le potentiel de l'ouvrage diminue, alors que celui de l'anode augmente. L'ouvrage se trouve plus cathodique, donc se corrode moins vite que s'il était seul, et les anodes se corrodent beaucoup plus rapidement que si elles étaient seules.



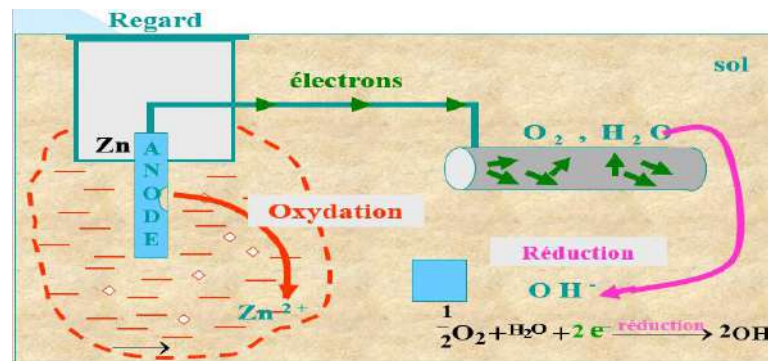


Figure II-5 : protection cathodique par anodes sacrificielles

### II-3-1-1 Différents types d'anodes sacrificielles [05]

#### II-3-1-1 A - Anodes à base de zinc

- consommation massique pratique : environ 11,9 kg/A. an
- potentiel dans le sol : - 1 100 mV (électrode Cu/Cu SO<sub>4</sub>)
- écart de potentiel par rapport au critère : 250 mV.

Les anodes en zinc présentent une très grande fiabilité de fonctionnement, et ont de ce fait une très grande durée de vie, avec consommation presque totale du matériau.

Leur domaine d'utilisation est très varié car elles peuvent être employées aussi bien en terrains acides qu'alcalins, en eau douce ou en eau de mer.

Cependant, avec la faible tension de travail qu'elles proposent, on ne les emploie que dans les électrolytes très peu résistants et pour de faibles débits de courant.

#### II-3-1-1 B - Anodes en magnésium :

- consommation massique pratique : environ 7 kg/ A.an
- potentiel dans le sol : - 1600 mV (électrode Cu/Cu SO<sub>4</sub>)
- écart de potentiel par rapport au critère de protection : 750 mV.

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

### II- 3-1-2 Avantages de la protection cathodique par anodes sacrificielles :

- Aucune source d'alimentation externe
- Faibles besoins de maintenance

- Petite sortie de courant entraînant peu ou pas d'interférence de courant vagabond
- Facile à installer
- Assurer une distribution uniforme du courant
- Coûts de mise en place et de surveillance est minimales.

### II- 3-1-3 Limitations de la protection cathodique par anodes sacrificielles :

- Faible courant de protection
- De nombreuses anodes peuvent être nécessaires pour les structures mal revêtues
- Peut-être inefficace dans les environnements à résistivité élevée
- Non ajustable.

### II-3-2 La protection par Soutirage de courant (courant imposée) :

Obtenue en reliant la structure à protéger au pôle négatif d'un Générateur de courant continu, dont le pôle positif est connecté à un déversoir enterré à une certaine distance et servant de pièce de consommation.

Le courant débité par le générateur est diffusé dans le sol par le déversoir, et est capté par la structure à protéger.

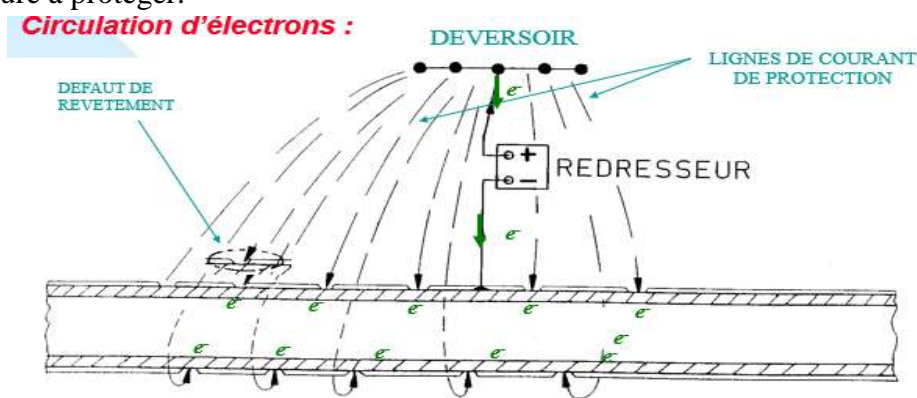


Figure II-6 : Principe de la protection cathodique par courant imposé.

#### II-3-2-1 Constitution d'un Poste de soutirage : [1]

- Un déversoir de courant
- Des liaisons électriques.
- Un générateur de courant continu.
- Compteur d'énergie, disjoncteur différentiel, prises de courant, mise à la terre ...etc.

### II-3-2-1-1 Déversoir de courant :

Le déversoir est un matériau conducteur d'électricité,

Il est relié à la borne positive de la source électrique, et la valeur mesurée de son potentiel dans le sol, est souvent positive.

Il est soumis à la corrosion du système électrochimique conduite-sol-déversoir. Son rôle est d'injecter le courant de protection dans l'électrolyte.

Ils sont des masses métalliques enterrées servant à répartir le champ électrique dans le sol pour aller vers la canalisation. Ils sont généralement :

#### A- Des rails type SNTF soudés bout à bout :

- Consommation : 10 Kg/A /An
- Densité de courant admissible illimité

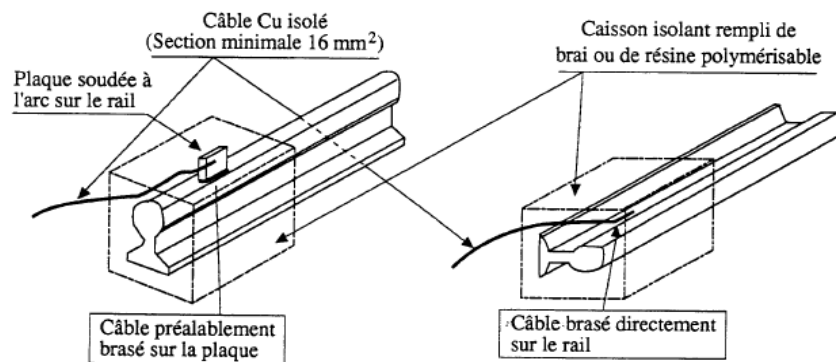


Figure II-7-A Déversoir : Type Rail.

#### A- Des anodes en Ferro – Silicium posées horizontalement ou verticalement :

- Consommation : 0,5 Kg /A /An

Densité de courant admissible : limité

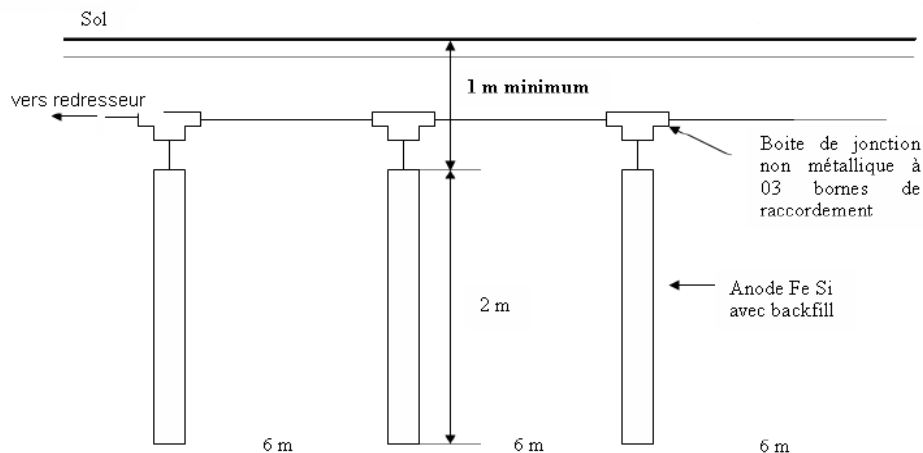


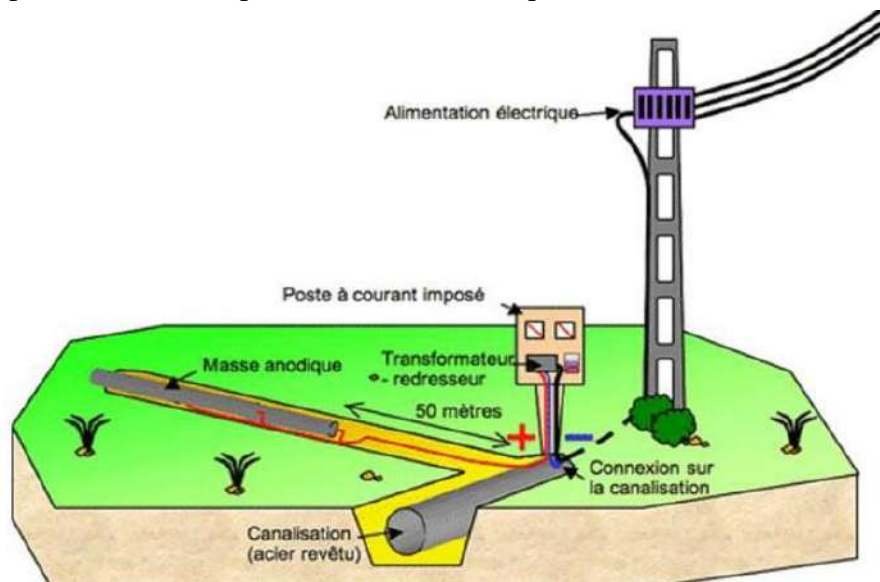
Figure II-7-B : déversoir type anodes verticalement

### II-4 Générateur de courant continu :

Ce sont généralement des transfo-redresseurs alimentés à partir du réseau électrique BT ou par une source autonome d'énergie, tel que les générateurs solaires ou les turbogénérateur. En cas d'absence ou d'éloignement des réseaux électrique.

#### II-4-1 Générateur de courant continu alimenté à partir du réseau électrique BT :

Avec la technique de courant imposé, un poste transformateur-redresseur (souvent appelé poste de soutirage) génère un courant continu qui circule entre l'ouvrage et un déversoir anodique constitué d'anodes enfouies ou immergées. Les métaux principalement utilisés sont l'acier, Elles ne sont pas forcément détruites, contrairement aux anodes galvaniques. Le courant sort des anodes (pôle «+» du redresseur) et entre dans l'ouvrage (pôle «-» du redresseur) pour abaisser son potentiel électrochimique. .



**Figure II-8 Schéma de protection cathodique par courant imposé à partir du réseau électrique [7].**

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

Ce mode de protection est appliqué en fonction des paramètres suivants ;

- Dimension et géométrie des structures à protéger.
- Le point le plus favorable pour l'installation de déversoir.
- L'encombrement du sous-sol en structures métalliques diverses.
- Proximité d'une source électrique BT.

### Remarque

De plus cet emplacement devra être choisi au centre du réseau afin d'obtenir une bonne répartition des potentiels et en un point du réseau où le diamètre des conduites est important pour avoir la conductibilité longitudinale la plus favorable, afin de diminuer autant que possible le nombre de redresseur à poser.

### II-4-2 Générateur de courant par un système solaire :[4]

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante : La quantité d'énergie libérée par le soleil (captée par la planète terre) pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an. Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité : c'est l'énergie solaire photovoltaïque.

Ce mode de production ne nécessite pas de réseau de distribution. En effet on peut produire de l'énergie électrique là où on la consomme :

- Villages, maisons isolées (un tiers de la population mondiale n'a pas accès à l'énergie électrique).
- Relais de communication,
- Pompage de l'eau - Refuges, et pour la protection cathodique des gazoducs isolés.

#### II 4-2-1 Principe de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque :

Un système PV utilise des modules solaires composés d'un certain nombre de cellules solaires pour fournir de l'énergie solaire utilisable. La production d'électricité à partir de l'énergie solaire photovoltaïque a longtemps été considérée comme une technologie d'énergie propre et durable qui s'appuie sur la source d'énergie renouvelable la plus abondante et la plus répandue de la centrale.[4]

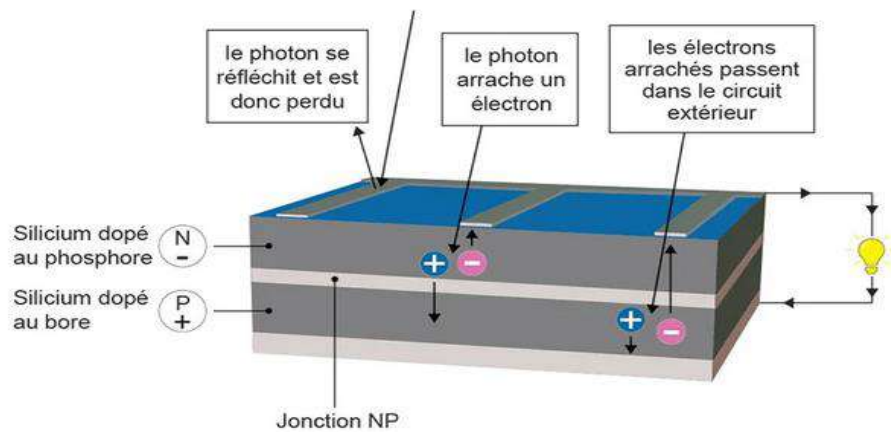
Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est fondé sur les propriétés de semi-conducteurs qui, percutés par les photons, mettent en mouvement un flux d'électrons. Les photons sont des particules élémentaires qui transportent l'énergie solaire à 300 000 km/s et qu'Albert Einstein appelait dans les années 1920 les « grains de lumière ». Lorsqu'ils frappent un élément semi-conducteur comme le silicium, ils arrachent des électrons à ses atomes. Ces électrons se mettent en mouvement, de façon désordonnée, à la recherche d'autres « trous » où se repositionner.

Mais pour qu'il y ait un courant électrique, il faut que ces mouvements d'électrons aillent tous dans le même sens. Pour les y aider, on va associer deux types de silicium. La face exposée au

soleil est « dopée » avec des atomes de phosphore qui comportent plus d'électrons que le silicium, l'autre face est dopée avec des atomes de bore qui comportent moins d'électrons. Cette double face devient une sorte de pile : le côté très chargé en électrons devient la borne négative (N), le côté avec moins d'électrons devient la borne positive (P). Entre les deux il se crée un champ électrique.[8]

Quand les photons viennent exciter les électrons, ceux-ci vont migrer vers la zone N grâce au champ électrique, tandis que les « trous » vont vers la zone P. Ils sont récupérés par des contacts électriques déposés à la surface des deux zones avant d'aller dans le circuit extérieur sous forme d'énergie électrique. Un courant continu se crée. Une couche anti-reflet permet d'éviter que trop de photons se perdent en étant réfléchis par la surface.

Voir le schéma

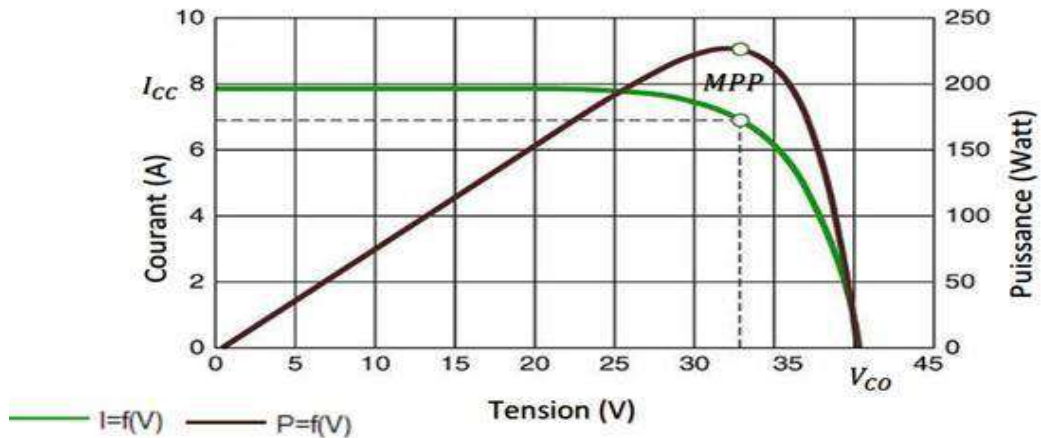


**Figure II-9 Principe de fonctionnement d'une cellule PV [8].**

### II-4-2-2 CARACTERISTIQUES I (V) ET P (V) D'UN PPV [4]

Pour des conditions d'éclairement et de température donnés, nous obtenons une caractéristique plus au moins standard de  $i=f(v)$  de laquelle nous pouvons extraire une autre caractéristique aussi importante  $p=f(v)$  en utilisant un multiplicateur ( $v*i$ )

L'importance de cette deuxième caractéristique c'est qu'elle met en relief un point de fonctionnement à puissance maximum MPP.

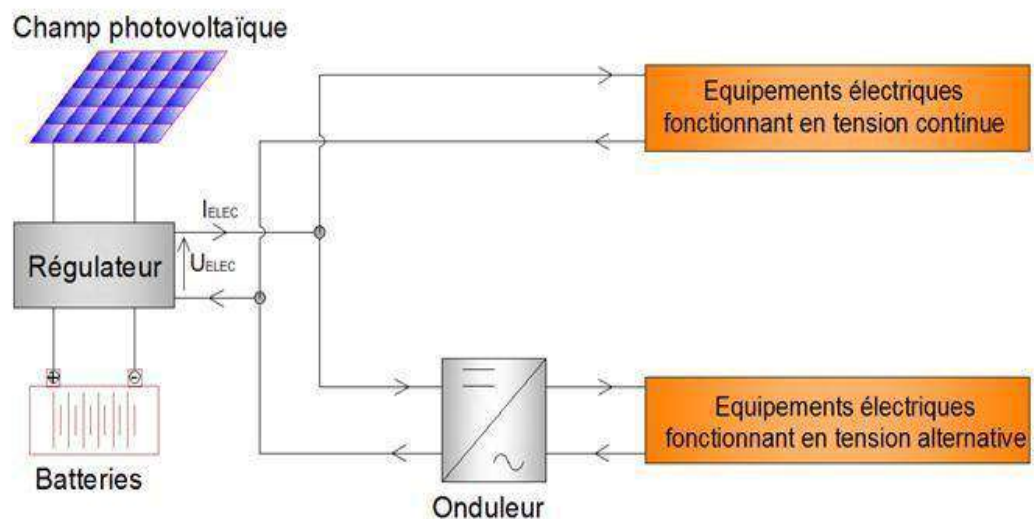


**Figure II-10** Caractéristiques courant-tension et puissance-tension d'un PPV [4].

### II-4-2-3 Types d'applications l'énergie solaire photovoltaïque

On distingue quatre grands types d'applications susceptibles d'être alimentées par l'énergie Photovoltaïque, à savoir :

- System direct au fil du soleil. Utilisé pour le pompage d'eau.
- Système autonome avec stockage. (pour alimentation des sites isolés).
- Système connecté au réseau. (les systèmes de production raccordés au réseau de distribution SONELGAZ).
- Système hybride.



**Figure II.11** : schéma d'Installation Solaire photovoltaïque [4].

### II-4-2-4 Constitution d'une installation photovoltaïque :

Une installation photovoltaïque se compose des différents composants tels que :

- **Panneau Solaire :**

Les panneaux solaires seront constitués de verre et conçus de manière les effets de l'environnement sur leurs performances. Chaque panneau solaire (cellule) sera fabriqué conformément aux spécifications suivantes :

- Les cellules solaires seront constituées de silicium cristallin de haute qualité, les cellules seront des jonctions NP.
- Les panneaux solaires auront un service nominal de 20 années avec une dégradation électrique prévue de moins de 10 % de la puissance nominale au cours de la vie du panneau.

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



**Figure II-12 : Panneau solaire Poly cristallin.**

- **Le régulateur :**

Le régulateur est un ensemble électronique, 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 [6]

- **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).



- **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

Sur le marché l'on trouve des batteries stationnaires en 2, 6, ou 12 volts nominal.

Une batterie est également caractérisée par sa capacité exprimée 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.

- **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 : environ 10m.

Régulateur – batterie : environ 01 m.

### II-4-2-5 Système de protection cathodique par énergie solaire :

Le système général de protection cathodique alimenté par énergie solaire constitué comme la figure ci-dessous montre

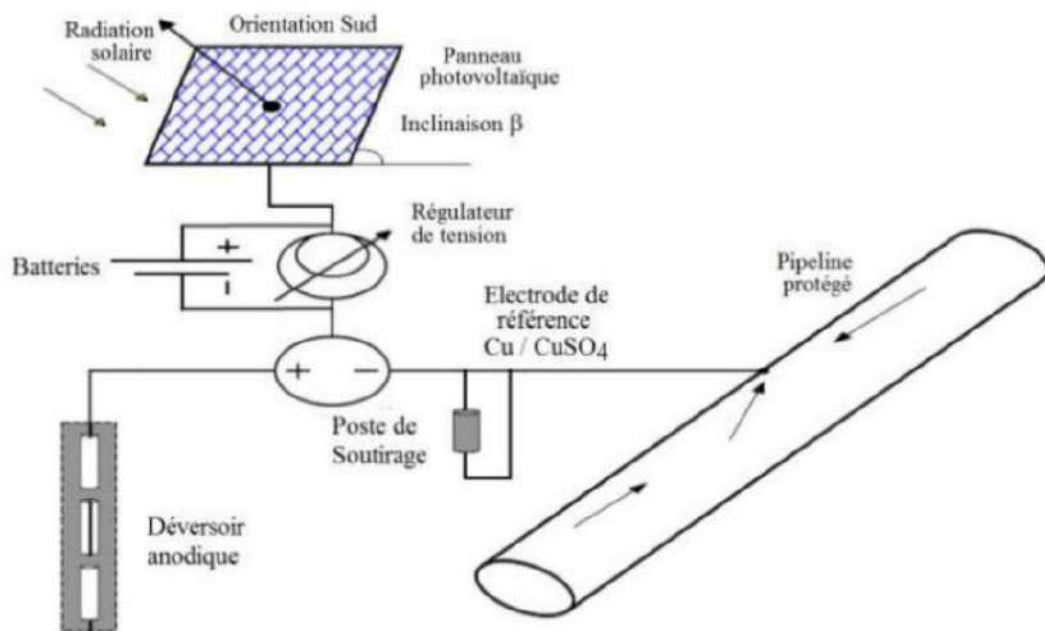


Figure II.13 Schéma Général d'un système de protection cathodique par énergie solaire [5].

### II-4 MESURES DE PROTECTION CATHODIQUE [1] :

- **Le contrôle de l'efficacité** : la protection contre la corrosion d'un ouvrage enterré consiste à vérifier, par des mesures appropriées de potentiel et de courant, que les critères de protection cathodique sont bien atteints en tous points de l'ouvrage.

La mesure du potentiel d'une conduite enterrée consiste à mesurer la différence de potentiel entre le métal de la conduite et une électrode de référence, les deux étant plongés dans le même électrolyte (le sol).

- **Prises de potentiel :**

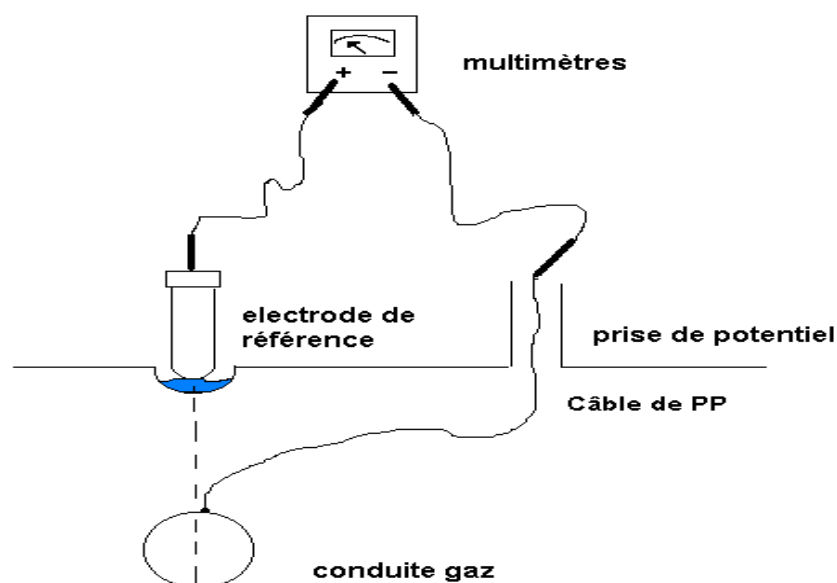
Les prises de potentiel sont des points de mesure qui permettent un contact électrique direct avec le métal de la canalisation pour faire les différentes mesures, ils sont constitués d'un tube en acier de 80 mm de diamètre et d'une longueur de 1.40 m. Elle sera dotée d'une plaque isolante fixée par des vis pour recevoir le câblage associé. Le tube sera muni d'un couvercle à emboîter, qui sera fixé par un boulon latéral en laiton.

- **Mise en œuvre**

Le tube sera ancré dans un massif en béton. Les câbles de la mesure ou câbles de liaison de 16 mm<sup>2</sup> de section seront brasés sur une plaque en acier de même nuance que celle du tube. Cette plaque sera soudée sur la conduite.

Les soudures et les brasures seront parfaitement isolées du sol par un bon revêtement.

Les câbles munis de cosse aboutiront dans les prises et seront fixés sur la plaque à borne isolante [1]



**Figure II-14 Procédure de mesure de potentiel de la conduite**

## **Chapitre III :**

### **Dimensionnement du système**

#### **De protection cathodique par énergie solaire**

# CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

## Introduction :

Dans ce chapitre on traitera les parties suivantes :

- Paramètres énergétiques (courant, tension de soutirage, longueur de protection et le nombre des postes soutirage).
- Dimensionnement du système solaire.
- Comparaison économique entre l'alimentation électrique et l'énergie solaire du système de protection cathodique.

## III-1 Dimensionnement du système de protection cathodique

### III-1 -1 DEFINITION ET CARACTERISTIQUE DU GAZODUC .

La présente étude a pour but le dimensionnement du système de protection cathodique du gazoduc Ø8'' GUERRARA (W.GHARDAIA). [9]

- **Caractéristiques générales de l'ouvrage (gazoduc) :**

Antenne : Ø 8' GUERRARA                      Diamètre : 8'' (219.1 mm)

Epaisseur : 6.4 mm                              Piquage sur : Ø 8 '' ZELFANA (Poste détente)

Longueur : 50 766.710 ml                      Nuance acier : X42

PMS : 70    Revêtement : PE

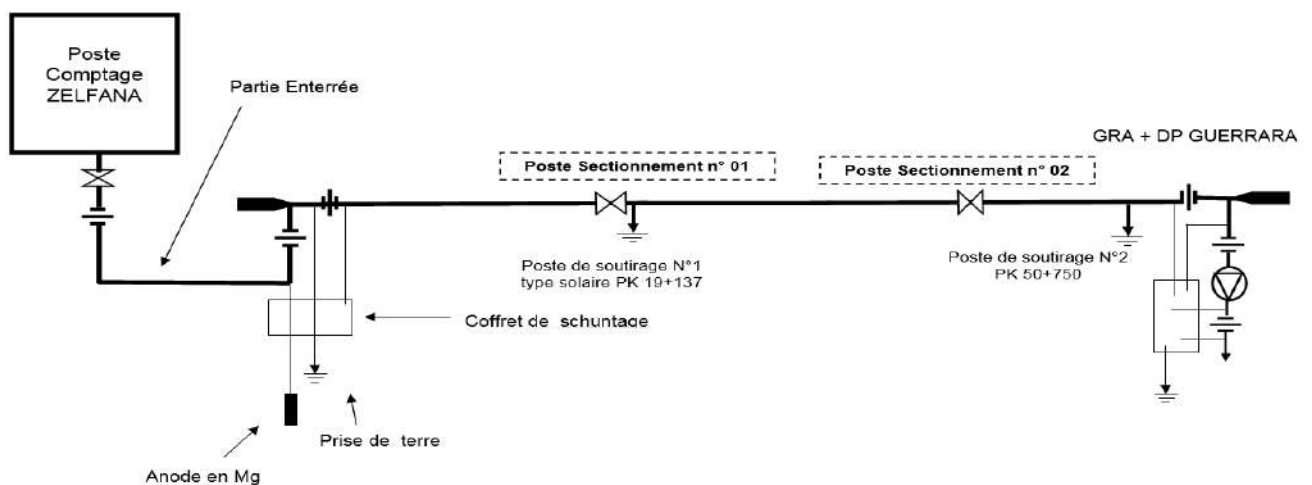


Figure III-1 Schéma synoptique de réseau gazoduc 8 '' GUERRARA (W - GHARDAIA).

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

### III-1-2 Détermination de la résistivité :

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 [5]

**La distance « a » devra être fonction de la profondeur d'enfouissement de la conduite « h » avec « $h \approx \frac{3}{4} a$ ».**

**La formule concernant la valeur de la résistivité :**

$$\rho = 2 \pi a R \quad \text{(III-1)}$$

$\rho$  = résistivité ( $\Omega.m$ )

$a$  = distance entre les piquets (m)

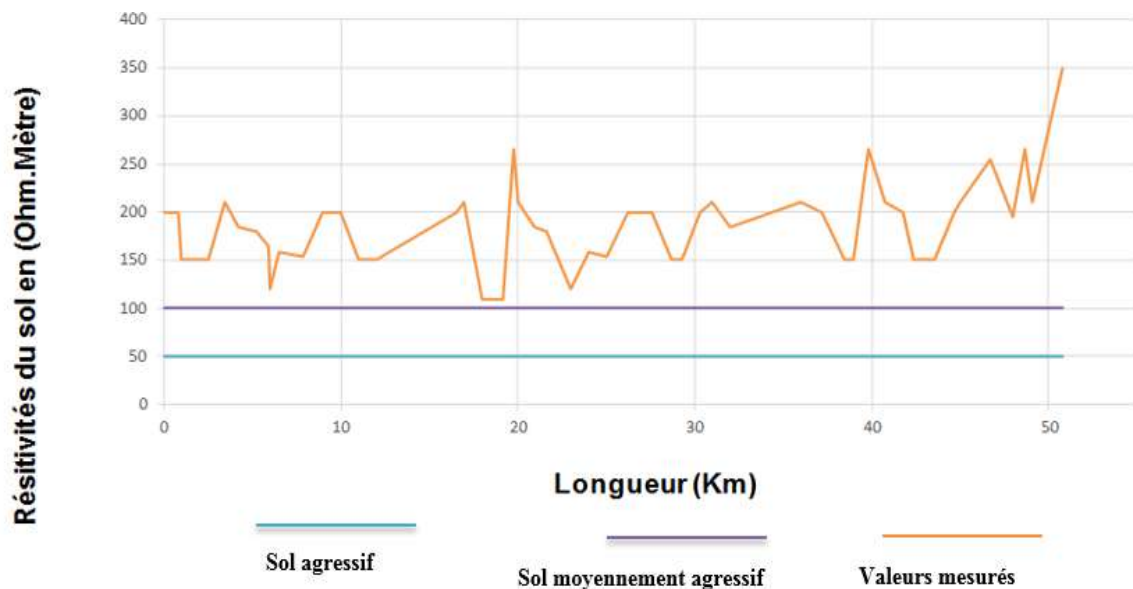
- accorder les quatre piquets au mesureur de terre, en respectant l'ordre de raccordement du plus près au plus éloigné,
- S'assurer que les quatre entrées du mesureur de terre sont dé-shuntées,
- Lire sur l'afficheur du mesureur de terre la valeur de la résistance,
- Calculer suivant la formule (1) la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

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

Le tableau suivant donne des valeurs mesurées sur terrain des points kilométrique le long de la conduite gazoduc :

(PK (km	( $\rho$ ( $\Omega$ .m	(PK (km	( $\rho$ ( $\Omega$ .m	(PK (km	( $\rho$ ( $\Omega$ .m
000+00	200	800+19	265	800+39	265
790+00	199	000+20	210	800+40	210
000+01	150	000+21	185	800+41	199
500+02	150	600+21	180	400+42	150
470+03	210	000+22	165	600+43	150
243+04	185	000+23	120	44,700	200
271+05	180	000+24	158	000+45	210
900+05	165	000+25	154	700+46	255
000+06	120	212+26	200	000+48	195
500+06	158	600+27	199	700+48	265
900+07	154	700+28	150	100+49	210
000+09	200	300+29	150	800+50	350
000+10	199	300+30	200		
000+11	150	000+31	210		
000+12	150	000+32	185		
500+16	200	000+36	210		
000+17	210	200+37	199		
000+18	110	500+38	150		
200+19	110	000+39	150		

**Tableau III-1 Relevé de résistivité [9]**



**Diagramme des résistivités des sols [9]**

# CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

## III-1-3 Etude de la protection cathodique par soutirage de courant :

AVANT DE DETERMINER LES FORMULES DE CALCUL ON DOIT EXPLIQUER LES PRINCIPALES NOTIONS, ET DE DONNER CERTAINS PARAMETRES QUI ENTRENT DANS LES CALCULS A SAVOIR :

### A / 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/CuSO<sub>4</sub>).

### B / 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.

### C/ 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.

$$r = \frac{\rho}{S} \quad \text{et} \quad S = \pi * e * (D_{ext} - e)$$

Elle est donnée par la formule suivante :

$$r = \frac{\rho}{S} = \frac{\rho}{\pi * e * (D_{ext} - e)} \quad [\Omega m^{-1}] \quad (\text{III-2})$$

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

$\rho$  : résistivité de l'acier qui varie entre  $17.10^{-8}$  et  $24 \cdot 10^{-8} \Omega.m$

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

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

### D/ Résistance transversale de la conduite

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

$$R = \frac{R_{is}}{\pi * D_{ext}} \quad (\text{III-3})$$

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

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

**R<sub>is</sub>**: résistance d'isolement en  $\Omega.m^2$  calculée ou estimée

**D<sub>ext</sub>** : diamètre extérieur de la conduite en mètre.

**E/ Coefficient d'atténuation :**

$$\alpha = \sqrt{r/R} \cdot [m^{-1}] \quad (III-4)$$

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

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

**F/ Résistance caractéristique :**

$$R_c = \sqrt{r * R} \quad [\Omega] \quad (III-5)$$

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

**G/ 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<sub>is</sub> connue :**

$$I = i * S_T = i * \pi * D_{ext} * L \quad (III-6)$$

**I** : courant de protection du réseau en ampère

**i**: densité de courant en mA/m<sup>2</sup>, Calculer par la formule ;

**E<sub>rep</sub>**: potentiel de la conduite au repos (sans protection) = - 0,75 ou 0,4 V (Cu/CuSO<sub>4</sub>)

**E<sub>prot</sub>** : potentiel seuil de la conduite sous protection = - 1 V (Cu/CuSO<sub>4</sub>)

**R<sub>is</sub>** : une valeur estimée par le tableau den fonction de la nature du revêtement

**D<sub>ext</sub>** : diamètre extérieur du tube.

**L** : longueur du tube.



## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

### H/ 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

$$P = 9,15 * I * t \quad [\text{Kg}] \quad (\text{III-7})$$

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)

### I/ Détermination de la longueur du rail :

Sachant que 1 mètre linéaire du rail = 46 kg

$$L = P / 46 \quad [\text{m}] \quad (\text{III-8})$$

L : longueur du rail en mètre

P : poids du rail en Kg.

### I/ 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 fourni 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 :

$$R = \frac{0.366 * \rho_s}{L} * \left( \text{Log} \frac{3L}{2d} + \text{Log} \frac{3L}{8h} \right) \quad (\text{III-9})$$

R : résistance de terre d'un déversoir en  $\Omega$ .

$\rho_s$  : 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.

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

- Pour les anodes posées verticalement

$$R_v = \rho / 2\pi L * (Ln \frac{8L}{d} - 1) \quad (III-10)$$

$R_v$  : Résistance de terre en ( $\Omega$ ),

$\rho_s$  : résistivité du sol en ( $\Omega$  m),

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

$d$  : diamètre de l'anode en (m).

### III-1-4 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.**

\*Le calcul de  $E_x$  et  $I_x$  est possible en tout point M de la conduite en fonction de  $I_0$  et  $E_0$

\* Cas d'une conduite finie (longiligne homogène)

Pour une conduite de longueur L finie, les formules deviennent :

$$E_s = E_L = E_0 * \cosh(\alpha * L) \quad (III-11)$$

$$I_s = I_L = \frac{E_0}{R_c} * \sinh(\alpha * L) \quad | \quad (III-12)$$

### III-1-5 Le bras théorique de protection :

Les installations réalisées assureront un état satisfaisant de la protection des conduites en tous points avec une différence de potentiel référée à l'électrode de sulfate de cuivre négative et supérieure en valeur absolue à 0.85 V. Nous la fixons, E (potentiel à la limite de la portée, c'est-à-dire à  $L_p/2$ ) à 0.95 V pour avoir **une certaine marge de sécurité**.

$$L_p = \frac{2}{\alpha} * \text{arch}(E_s / E_l) \quad (III-13)$$

$E_s$  : Tension injectée au point de soutirage

$E$  : Gain de potentiel de la canalisation par rapport au sol à la distance  $L_p/2$ .

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

### III-1-6 Calcul le nombre des postes de soutirage :

Le nombre de postes de protection est donné en fonction de la portée de protection cathodique :

$$N_P = \frac{L}{L_P + 1} \quad (\text{III-14})$$

### III-2 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 exprimée 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.

#### III-2-1 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 régions est consigné à partir du site web **PVGIS**.

#### III-2-2 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(4)

$$E_c = P * t_f \quad (\text{III-15})$$

**E<sub>c</sub>** : énergie nécessaire au poste de soutirage [wh/j]

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

**t<sub>f</sub>** : temps de fonctionnement du poste du générateur solaire [h/j]

#### III-2-3 Calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque PC :

$$P_C = \frac{E_c * P_i}{G * K} \quad (\text{III-16})$$

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

$P_c$  : Puissance crête (Wc)

$E_c$  : Energie consommée (Wh/j)

$P_i$  : Puissance d'éclairage aux conditions STC (1 kW/m<sup>2</sup>)

$G$  : Irradiation globale sur plan incliné ((kWh/m<sup>2</sup>/j)

$k$  : Coefficient k facteur de correction globale, Ce coefficient est en compris entre 0,65 et 0,9. Il tient compte des facteurs suivant :

- L'incertitude météorologique.
- L'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison.
- Le point de fonctionnement des modules qui est rarement optimal et qui peut être aggravé par la baisse des caractéristiques des modules, la perte de rendement des module dans le temps (vieillessement et poussières).
- Le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie.
- Le rendement du régulateur ou de l'onduleur.
- Les pertes dans les câbles et connexions. [10]

### III-2-4 Choix du module PV et calcul le nombre de module PV :

$$N_{\text{module PV}} = \frac{P_c}{P_{\text{module PV}}} \quad (\text{III-17})$$

$N_{\text{module PV}}$  : Nombre de modules PV

$P_c$  : Puissance crête du système PV

$P_{\text{module PV}}$  : Puissance crête d'un module PV

### III-2-5 Calcul de la capacité des batteries et leur nombre (10)

$$C = \frac{E_c * N}{D * U} \quad (\text{III-18})$$

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

C : Capacité de la batterie en ampère heure (Ah)

Ec : Energie consommée (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : Décharge maximale admissible

U : Tension de la batterie

$$N_{batterie} = \frac{C}{C_{une\ batterie}} \quad (III-19).$$

**N batterie:** Nombre de batteries

**C une batterie :** capacité d'une batterie

### III-2-6 Montages des modules PV

- **Système non connecté au réseau électrique**

Dans ce cas on utilise un régulateur de charge. Le régulateur de charge est défini par

Une tension ou deux tensions et un courant max accepté. Pour choisir le régulateur de

Charge qui s'adaptera avec le système PV, on tient au compte les critères suivants [10] :

**U Régulateur :** tension du système PV

**Puissance du régulateur  $\geq 1.1 \times$  Puissance du système PV**

- **Nombre de série en parallèle**

$$n_p \leq \frac{\text{courant max accepté par le régulateur}}{\text{courant max d'un module PV}} \quad (III-20)$$

- **Nombre de modules PV de chaque série**

$$n_s \geq \frac{N_{\text{module PV}}}{n_p} \quad (III-21)$$

$n_s$  : Nombre de modules PV de chaque série.

- **Choix des câbles électrique :**

C'est sur la partie courant continue de l'installation que les intensités sont les

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

plus importantes, c'est donc dans cette partie que se pose le problème des pertes joules et des chutes de tensions dans les câbles.

### Section de Câblage (m2)

Données : Conducteurs en cuivre ( $\rho = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ ), Taux de Chute de tension maximale  $\Delta U = 2\%$ , Longueur de câble L (m), Résistance électrique du câble ( $\Omega$ ).

#### • Dimensionnement Du Système De Protection cathodique :

En utilisant la note de calcul exposée dans la première partie de ce chapitre et les données concernant la structure à protéger et les éléments de protection, j'effectue les calculs ci-après afin de dimensionner le système de protection

#### A/ Résistance longitudinale de la conduite :

En utilisant la relation (III.2) nous obtenons :

$$r = \frac{20 \cdot 10^{-8}}{\pi \cdot 6.4 \cdot (219.1 - 6.4) \cdot 10^{-6}} = 4.676 \cdot 10^{-5} \quad [\Omega \cdot m^{-1}]$$

#### B/ Résistance transversale de la conduite :

L'application de la relation (III.3), nous donne

$$R = \frac{R_{is}}{\pi \cdot D_{ext}} = \frac{20 \cdot 10^3}{\pi \cdot 219.1 \cdot 10^{-3}} = 29052.36136 \quad [\Omega \cdot m]$$

#### C/ Coefficient d'atténuation :

Il est déterminé par application de la relation (III.4)

$$\alpha = \sqrt{r/R} = \sqrt{\frac{4.676 \cdot 10^{-5}}{29052.36136}} = 4.011 \cdot 10^{-5} \quad [m^{-1}]$$

#### D/ Résistance caractéristique :

Par application de la relation (III.5), le calcul donne :

$$R_c = \sqrt{r \cdot R} = \sqrt{4.676 \cdot 10^{-5} \cdot 29052.361} = 1.165 \quad [\Omega]$$

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

**E/ Le bras théorique de protection :**

Es : Tension injectée au point de soutirage = -1.25v

E : Gain de potentiel de la canalisation par rapport au sol = - 0.95 v

E : Gain de potentiel de la canalisation par rapport au sol à la distance Lp/ 2.

En appliquant l'équation (III.13), Nous obtenons :

$$L = \frac{1}{\alpha} \cdot \text{arch} (Es / E) = (1/4.011 * 10^{-5}) * \text{arch} (1.5/0.95) = 19.32 \text{ km}$$

**Le bras de protection protéger 02 longueur donc Lp=(19.32\*2)=38.64km**

Un poste de soutirage assure la protection de deux (02) bras, donc la longueur théorique protégeable est de (19.32\*2)=38.64km . Le nombre minimal de poste de soutirage nécessaire pour protéger la canalisation doit être égale à 02.

**G/ Calcul le nombre des postes de soutirage :**

Le nombre de postes de protection est donné en fonction de la portée de protection cathodique .La formule (III.14), donne :

$$N_P = \frac{L}{L_{P+1}} = \frac{50.766}{38.72+1} = 1.278$$

le nombre de postes à installer est de **Np = 1.278 ≈ 2**

• **Calcul du courant soutiré :**

Le courant nécessaire à la PC de la canalisation est donné par la formule (III-11) suivante :

$$I_s = \frac{0.95}{1.165} * \sinh (4.011 * 10^{-5} * 19.32) = 0.91 \text{ A}$$

**Résultat de calcul de besoin énergétique de Protection cathodique :**

• **Le courant de protection ou de soutirage de poste de soutirage**

$$I_s = 1.365 \text{ A}$$

• **La tension des postes de soutirage est fixée : Up = 24V.**

• **La puissance de chaque poste de soutirage P = Is\*Up=1.365\* 24 =32.76 W.**

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

- **Constitution de déversoir de la première poste soutirage :**

Le déversoir sera constitué de rails disposés en position horizontale ou d'anodes en Ferro-silicium disposées en position **Verticale** selon la disponibilité.

**PS N° 01 :**

- **Rail :** Longueur = 100 m + **Système d'arrosage**

**Ou**

- **Anodes Fe Si :** Nombre = 07 Anodes + **Système d'arrosage**

L'emplacement du déversoir a été déterminé par l'étude de terrain, les informations nécessaires sont décrites dans le tableau ci-dessous :

PS	Type Déversoir	Emplacement	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	*Distance (m)	Longueur (m)	Quantité Poussier de coke (Kg)
01	Anodes Fe Si	PK : 19+137	110	200	40	Anodes Backfilées
	Rail				100	4600kg

**TABLEAU III-2 Constitution de déversoir de la première poste soutirage**



## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

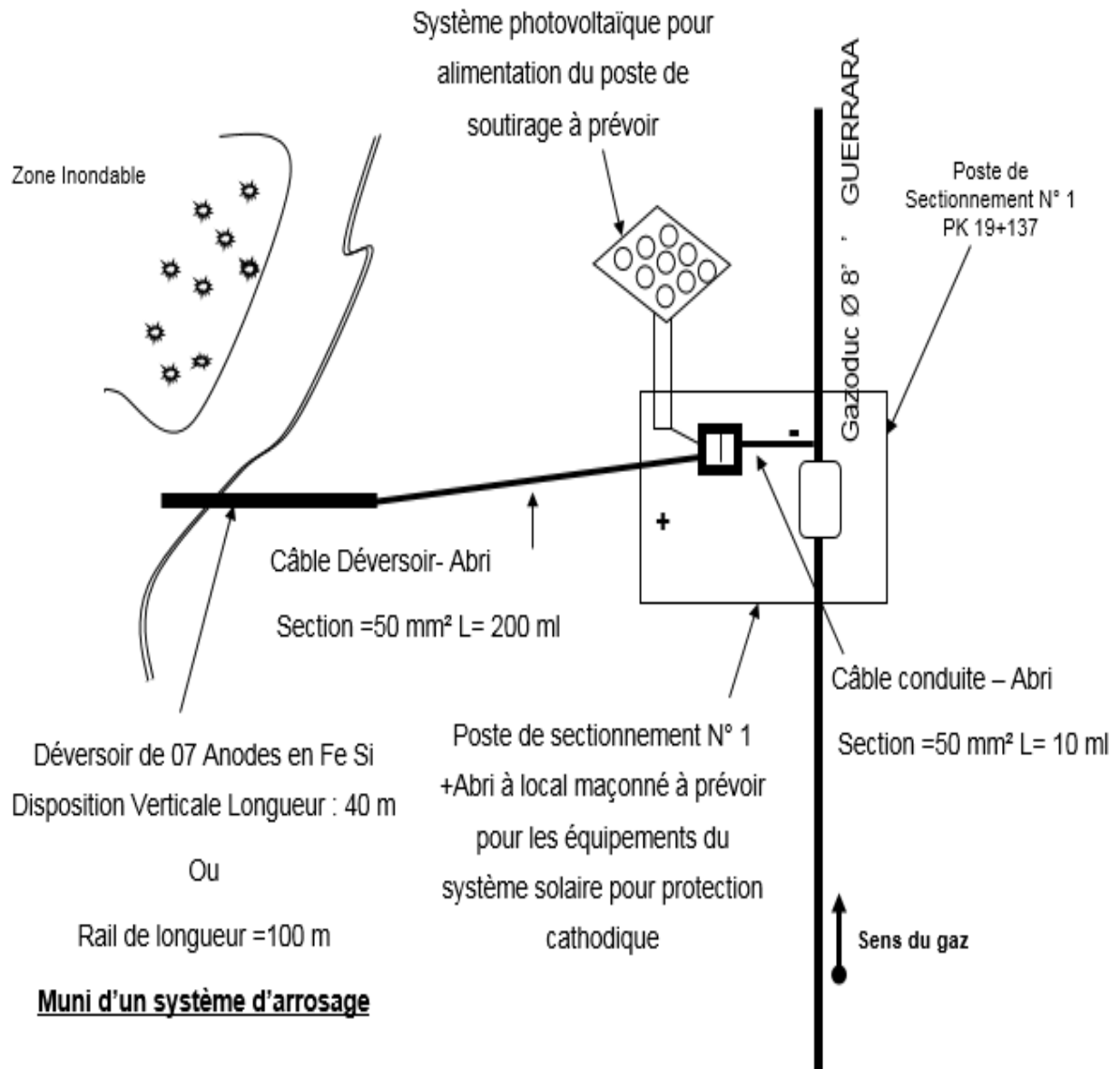


Figure III-2 Schéma d'implantation du poste protection cathodique alimenté par énergie solaire

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

- Dimensionnement du système photovoltaïque autonome avec stockage du poste soutirage (PS1)

Le dimensionnement du système d'alimentation électrique PV passe par quelques étapes :

1. Définir le besoin journalier en énergie, la puissance crête et la tension de système.
2. Calcul le nombre de panneaux et la méthode de raccordement.
3. Calcul le nombre de batterie et la méthode de raccordement.
4. Calcul et choix du régulateur de charge.
5. Un hacheur (convertisseur DC-DC) boost pour élever la tension du système à la tension souhaitée.

01- Définir le besoin journalier en énergie, la puissance crête et la tension de système

L'énergie totale journalière  $E_c$  est calculée comme suit :

On appliquant la formule (III-15) :

$$E_c = P * t_f$$

Considère le pipeline comme une charge dont la puissance demandée est

P charge= 32.76 W. à alimenter pendant un t = 24 h ; donc

P charge= 32.76W

P lampe = 16W (Pour l'éclairage )

Ec1 (charge Pour Protection cathodique) = 32.76\*24 = 786.24Wh/J

Ec 2 (lampe) = 16\*4=64 Wh/J

Ec Total = Ec1+Ec2 =786.24 +64 =850.24 Wh/J

**Ec Total = 850.24Wh/J**

**b- Calcul de la puissance crête du générateur photovoltaïque  $P_c$**

D'après la formule (III-16) 
$$P_c = \frac{E_c * P_i}{G_{min} * K}$$

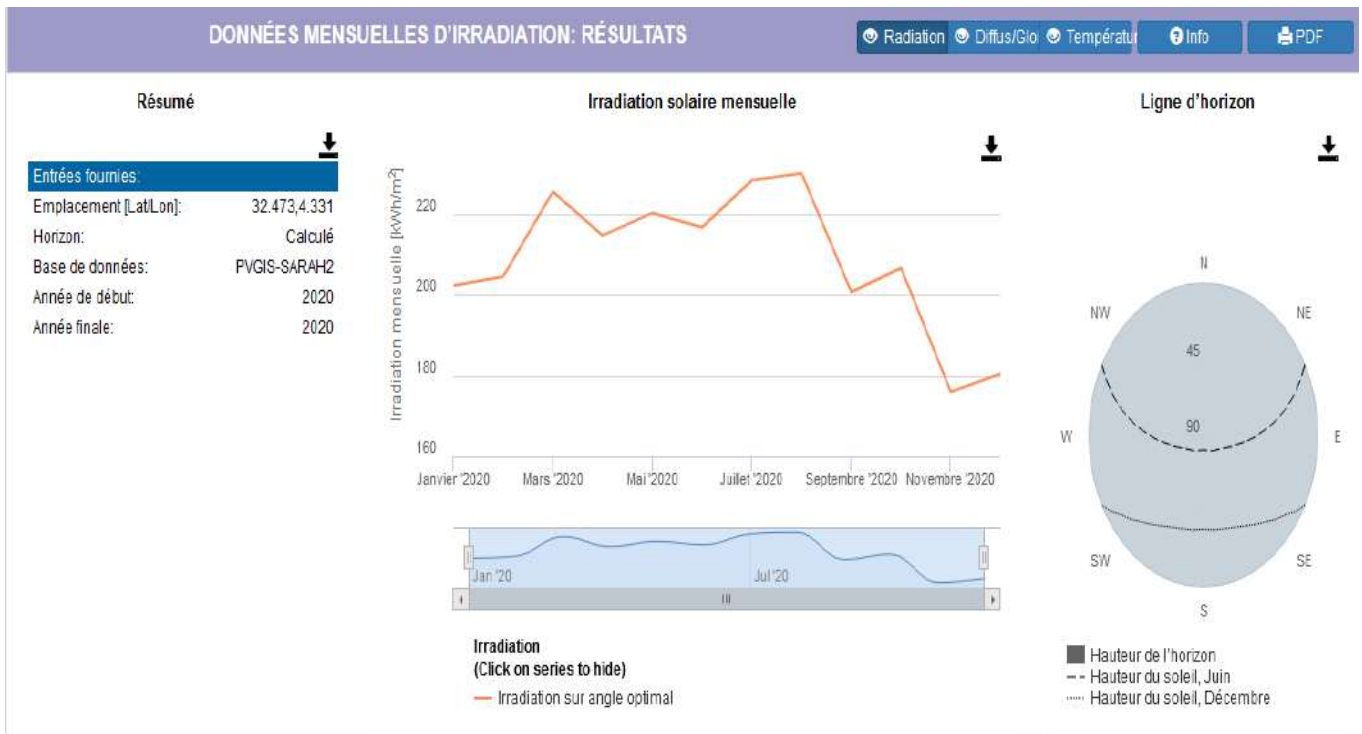
$P_c$  : Puissance crête (Wc)

$E_c$  : Energie consommée (Wh/j)

$P_i$  : Puissance d'éclairement aux conditions STC (1 kW/m2)

$G_{min}$  : Irradiation globale sur plan incliné ((kWh/m2/j), d'après le site **PVGIS**

# CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire



**Figure III- 3 Données mensuelles d’irradiation de la ville de GUERRARA WILAYA DE GHARDAIA**

On obtient dans le mois le plus défavorable (mois Novembre)

$$G_{\min} = 175.88 \text{ kWh/m}^2/\text{mois}$$

$$\text{Donc } G_{\min} = 175.88/30 = 5.86 \text{ kWh/m}^2/\text{j.}$$

- $K = 0.65$

$$P_c = \frac{E_c \cdot P_i}{G \cdot K} = \frac{850.24 \cdot 1000}{5.86 \cdot 1000 \cdot 0.65} = 223.218 \approx 224 \text{ W}_c$$

2. Calcul le nombre de panneaux :

- Choix du module PV et calcul le nombre de module PV :

D’après la formule (III-17)

$$N_{\text{module PV}} = \frac{P_c}{P_{\text{module PV}}}$$

On choisit le module photovoltaïque poly – cristallin de 175 Wc :

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

« Panneau solaire VICTRON polycristallin 175Wc - 12V »

Caractéristiques techniques :

<b>Dimensions Module</b>	<b>1485 x 668 x 30 mm</b>
<b>Poids</b>	<b>12 kg</b>
<b>Puissance nominale Pmpp*</b>	<b>175 W</b>
<b>Tension à puissance max. Vmpp*</b>	<b>18.3 V</b>
<b>Courant à puissance max. Impp*</b>	<b>9.56 A</b>
<b>Tension en circuit ouvert Voc</b>	<b>21.9 V</b>
<b>Courant de court-circuit Isc</b>	<b>10.24 A</b>

$$D'où \quad N_{module PV} = \frac{224}{175} = 1.28 \approx 2 \quad D'où : P_c = 2 * 160 = 230 Wc$$

Donc le de modules PV est **02 Modules en série**

-On va recalculer le nombre des modules par ce nouvelle valeur de Puissance crête :

$$D'où : P_c = 2 * 175 = 350 Wc$$

**3- Calcul le nombre et raccordement des batteries :**

**3-A Calcul de la capacité des batteries et leur nombre :**

La formule (III-18) 
$$C = \frac{E_c * N}{D * U}$$

**C** : Capacité de la batterie en ampère heure (Ah)

**E<sub>c</sub>** : Energie consommée (Wh/j)

**N** : nombre de jour d'autonomie = 02 jours

**D** : Décharge maximale admissible = 80%

**U** : Tension de la batterie = 24 volts.

$$C = \frac{E_c * N}{D * U} = \frac{850.24 * 2}{0.8 * 24} = 88.57 \approx 89 Ah$$

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

**3- B - Calcul le nombre de batterie et la méthode de raccordement :**

$$N_{\text{serie de batterie}} = \frac{89}{C_{\text{une batterie}}}$$

**On a choisi « Batterie solaire GEL Victron 12V / 110Ah**

**Caractéristiques de la batterie GEL Victron 12V / 110Ah :**

<b>Tension</b>	<b>12V</b>
<b>Dimensions (L x l x h)</b>	<b>330 x 171 x 220 mm</b>
<b>Poids</b>	<b>33 kg</b>
<b>Capacité</b>	<b>110Ah</b>

$$N_{\text{serie de batteries}} = \frac{C}{C_{\text{une batterie}}} = \frac{89}{110} = 0.809 = \mathbf{1} \text{ Série de batteries}$$

Pour avoir les caractéristiques requis de l'installation de **24 Volts et 89 Ah**

**Il faut raccorder deux batteries en série**

$$U_1 = 12 + 12 = 24 \text{ Volts} = U_{\text{système}} \quad \text{Et} \quad C = C_1 = C_2 = 110 \text{ Ah}$$

**04- Calcul et choix du régulateur de charge :**

Pour choisir le régulateur de charge nous sommes obligé de vérifier les conditions suivantes :

**1/  $U_{\text{Régulateur}} = \text{tension du système PV} = 24 \text{ Volts}$  .**

**2/ Puissance du régulateur  $\geq 1.1 \times$  Puissance du système PV.**

$$\square P_{\text{reg}} \geq [1.1 * (230) = 253 \text{ W}]$$

$$P_{\text{reg}} = 253 \text{ W.}$$

Nous choisirons le Régulateur solaire STECA Solarix 25 A -12 V / 24 V

Régulateur solaire à LED STECA Solarix 12 V / 24 V - 25 A avec chargeur USB :

# CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

## Caractéristique Régulateur solaire à LED STECA Solarix 12 V / 24 V - 25 A

Tension du système	12 V (24 V)
Consommation propre	12.5 mA
Tension à vide du panneau solaire	< 47 V
Courant du panneau	25 A
Courant du consommateur**	25 A
Prise de charge USB	5.2 V / 1.5 A

### 05 - la méthode de raccordement des modules PV

- Nombre de série en parallèle :

$$n_p \leq \frac{\text{courant max accepté par le régulateur}}{\text{courant court circuit PV}}$$

$$n_p \leq \left( \frac{15}{10.24} = 1.563 \right) \Rightarrow n_p = 1$$

- Nombre de modules PV de chaque série :

$$n_s = \frac{N_{\text{module PV}}}{n_p} = 2 / 1 = 2 \Rightarrow n_s = 2.$$

### 06- Choix de l'onduleur :

- Les conditions :

➤ Puissance de l'onduleur doit être supérieure ou égale la puissance des équipements électriques

$$P_{\text{ond}} \geq 1.3 P_c$$

➤ La tension de sortie de l'onduleur doit être égale à la tension des équipements **électriques** (220 ou 380 V)).

- $P_{\text{onduleur}} \geq (1.3 * 230 = 299 \text{ W})$ . d'où  $P_{\text{onduleur}} \geq 300$ .
- $U_{\text{onduleur}} = 220/380 \text{ Volts}$ .

## **CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire**

**On choisit la CONVERTISSEUR PHOENIX 24V / 375VA**

**Caractéristiques techniques :**

<b>CONVERTISSEUR PHOENIX 24V / 375VA</b>	
Puissance continue à 25°C	375 VA
Puissance continue à 25°C / 40°C	300 / 250 W
Puissance de crête	700 W
Fréquence / Tension de sortie AC (réglable)	230 Vac +/- 3% - 50 Hz ou 60 Hz +/- 1%
Plage de tension d'alimentation	18.4 V à 34 V
Arrêt tension CC basse (réglable)	18.6 V
Alarme et redémarrage tension CC basse (réglable)	21.8 V
Détection de batterie chargée (réglable)	28 V
Rendement	

- **Armoire de contrôle et de régulation (Régulateur & Convertisseur DC/DC : 24V/10A maximum) - Nombre : 01**

L'équipement qui doit assurer la protection de la batterie contre la décharge et la surcharge dénommé Régulateur, peut intégrer un convertisseur DC/AC pour réguler le courant continu de sortie. Si non, un convertisseur externe doit être ajouté audit régulateur pour permettre la fonction de réglage du courant de sortie.

- **Constituants d'un (01) poste de soutirage type solaire\***

Un (01) poste de soutirage type solaire est principalement composé de :

- Modules photovoltaïques (solaires),
- Support de modules
- Poteau de fixation des modules solaires,

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

- Boîtiers de raccordement des câbles provenant des modules solaires,
- Armoire de contrôle et Régulation pour contrôle la charge de la batterie et régulation de la sortie
- Batteries (+ leurs supports de pose, + barrettes de connexion + câbles de liaisons électriques)
- Electrolyte
- Câbles électriques \*

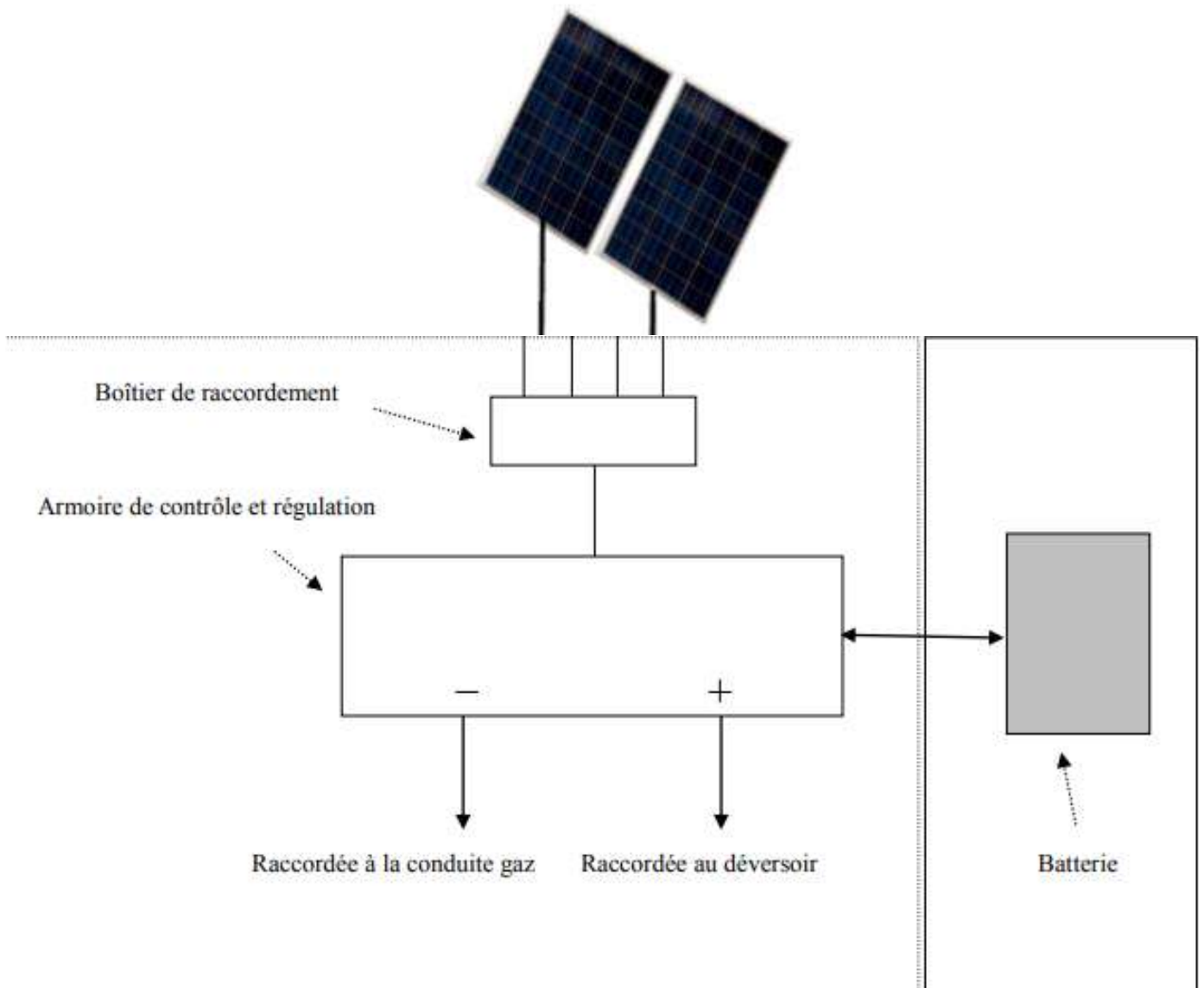


Figure III-4 Schéma général Système photovoltaïque protection cathodique.



# CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

## III-3 Etude technico économique de poste de soutirage de protection cathodique alimenté par énergie électrique et par énergie solaire pour une durée de 15 ans le poste soutirage N° 02 :

Une étude de comparaisons technico-économique basé sur des statistiques réelles, Permettra de définir une limite entre les deux choix suivants :

- Alimenter le système de protection cathodique par le réseau de la Distribution avec

Un cout d'installation et des factures de consommation périodique durant toute la durée de vie De l'installation.

- Acquérir et installer un système solaire et assurée une exploitation sans facture.

Dans cette optique et dans le but de mettre en valeur les richesses de notre pays

En l'occurrence l'énergie solaire, nous avons initié cette étude.

### III-3-1 Evaluation des couts de l'énergie nécessaire pour la protection cathodique alimentée par énergie électrique :

#### A- Cout de la consommation :

L'analyse des factures de consommation électrique des postes de soutirage du District GHARDAIA durant l'exercice 2021 nous ont permis d'avoir une facturation moyenne de :

**39 581.18 Da /Ans .**

Voire l'annexe « **facteur d'électricité d'un poste protection cathodique d'une année alimentée par énergie électrique : « haute tension type A » »**

Nous avons étalé ces chiffres pour une période de consommation de 15 ans.

**Cout de la consommation estimative pour une durée de 15 ans : 593 717.00 DA.**

#### B- Cout de raccordement en énergie électrique :

##### • **Cout des raccordements électriques (11)**

Le cout du raccordement électrique dépend de la tension de ligne électrique et de la distance entre la ligne et l'abri du poste de soutirage par :

##### - **Branchement électrique à partir du réseau MT :**

Dans ce cas le raccordement sera constitué de câble, de support, d'un Transfo MT/BT, branchement BT, Disjoncteur et coffret. Pour l'étude nous avons fixé les paramètres suivant :

##### • **Câble almélec 3\*93.3 tendu sur support métallique**

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

- Le cout est calculé en incluant le prix de pose (et de la fourniture de transfo MT/BT 160 KVA par le client GRTG/Sonelgaz)
- Le branchement est en triphasés avec disjoncteur et coffret

Travaux et fourniture	Montant en DA
<b>Raccordement en HTA :</b> Câble électrique <u>Almelec</u> 300Ml de 03*93.3 et un IACM Ligne	<b>145 066.46</b>
<b>Autres travaux et prestations :</b> <b>Pose comptage HTA</b>	<b>197 277.82</b>
<b>Raccordement en HTA :</b> Câble électrique <u>Almelec</u> 20 Ml de 03*93.3 et un IACM fort	<b>474 191.97</b>
<b>Réalisation poste client :</b> - Liaison BT. 30 Ml - 01 MEO Transformateur. - 02 Support.	<b>771 203.84</b>
<b>TRANSFORMATEUR 160 KVA</b>	<b>850 000.00</b>
<b>Droite de suite</b>	<b>436 260 .92</b>
<b>Montant total à payer en TTC</b>	<b>4 001 950.11</b>

Tableau III -3-1-B Devis de raccordement en énergie électrique « SONELGAZ SDC »

C- Estimation du cout de fourniture et réalisation d'un poste de soutirage alimenté par énergie électrique (Ligne électrique MT/BT) Type de déversoir : Rail.

item	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA HT)	Prix Total (DA HT)
1	Réalisation d'Abri de transformateur redresseur	forfait	1	1 200 000.00	1 200 000.00
2	Déversoir horizontale de RAIL longueur de 100 ml avec système d'arrosage	forfait	1	1 700 000.00	1 700 000.00
3	Fourniture et pose de câble électrique double gaine 50mm <sup>2</sup> reliant le déversoir à la borne Positive du TR	ML	280	900.00	252 000.00
4	Fourniture et pose de câble électrique double gaine 50mm <sup>2</sup> reliant le déversoir à la borne Négative du TR	ML	100	900.00	90 000.00
5	Disjoncteur différentiel 30 A et accessoires pour raccordement	forfait	1	10 000.00	10 000.00
6	Fourniture et pose d'un transformateur redresseur 48V 08A avec accessoires	U	1	1 300 000.00	1 300 000.00
7	Installation et mise en service du système	forfait	1	300 000.00	300 000.00
<b>Montant Total en HT</b>					<b>4 852 000.00</b>
<b>TVA 19%</b>					<b>921 880.00</b>
<b>Montant Total en TTC</b>					<b>5 773 880.00</b>

Tableau III-1-C Bordereau de prix d'un poste de soutirage alimenté par énergie électrique [11]

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

- Estimation le cout total de l'énergie nécessaire pour la protection cathodique alimentée par énergie électrique : « C<sub>T</sub> »

« C<sub>T</sub> » est égal à la somme des couts suivants :

A- Cout de consommation estimative pour une durée de 15 ans : **593 717.00 Da.**

B- Cout de raccordement en énergie électrique : **4 001 950.11 Da.**

C- Cout d'installation et mise service de poste de soutirage alimenté

Par énergie électrique : **5 773 880.00 Da**

Donc le cout total de l'énergie nécessaire pour la protection cathodique « C<sub>T</sub> » est égale la somme des couts précédente

$$C_T = 593\,717.00 + 4\,001\,950.11 + 5\,773\,880.00 = 10\,369\,547.11 \text{ Da.}$$

### III-3-2 Evaluation des Couts de réalisation et de maintenance d'un système solaire :

En protection cathodique en utilise une installation photovoltaïque en site isolé, c'est une installation qui n'est pas reliée au réseau électrique de la distribution et permettra un fonctionnement permanent et en continu (12)

#### A- Estimation du Cout de fourniture et réalisation d'un système photovoltaïque Type de déversoir : Rail

Item	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA/HT)	Prix total (DA/HT)
01	Réalisation d'Abri de transformateur redresseur	forfait	1	1 200 000,00	1 200 000,00
2	Déversoir horizontale de RAIL longueur de 100 ml avec système d'arrosage	forfait	1	1 700 000,00	1 700 000,00
03	Module photovoltaïque	Pièces	02	20 000,00	40 000,00
04	Boitiers de raccordement	Pièces	02	40 000,00	80 000,00
05	Eléments de Batterie (110 AH.12V)	Pièces	02	48 000,00	96 000,00
07	Mât (poteau métallique)	Pièces	01	200 000,00	200 000,00
08	Régulateur	Pièces	01	80 000,00	80 000,00
09	Convertisseur DC/DC	Pièces	01	320 000,00	320 000,00
10	Câbles électriques : Câble H07RNF, Section : 1*4 mm <sup>2</sup> Câble H07RNF, Section : 1*6mm <sup>2</sup> Câble U1000R02V, Section : 3*10 mm <sup>2</sup> Câble H07RNF, Section : 1*25mm <sup>2</sup> Câble H07RNF, Section : 1*16mm <sup>2</sup>	Mètres	45	2 000,00	90 000,00
11	Support métallique pour Module photovoltaïque	Pièces	01	30 000,00	30 000,00

## CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire

12	Support métallique pour éléments de Batteries	Pièces	01	22 000,00	22 000,00
13	Accessoires pour raccordement des batteries : barrettes de connexions + câblot ...etc.	Lot pour 12 batteries	01	45 000,00	45 000,00
14	Disjoncteur différentiel 30 A	Pièces	02	10 000,00	20 000,00
14	Chemins de câbles (largeur 10 cm)	mètres	25	1 500,00	37 500,00
15	Réalisation de génie civil pour le montage du mât	/	01	800 000,00	800 000,00
16	Installation et mise en service du système photovoltaïque	/	01	250 000,00	250 000,00
Montant total DA/HT					4 628 500,00
TVA 17%					879 415,00
Montant global DA/TTC					5 147 915,00

**Tableau III-3-2 : réalisation fourniture et réalisation d'un système photovoltaïque Type de déversoir : Rail**

### A- Cout d'entretien :

Les couts d'entretiens sont négligeables par rapport aux coups de réalisations. (Nettoyage des panneaux solaires, les batteries ...).

- **Estimation le cout total de l'énergie nécessaire pour la protection cathodique alimentée par énergie Solaire photovoltaïque : « C<sub>T</sub> »**

$C_T$  = Cout de réalisation\_fourniture et réalisation d'un système photovoltaïque

$$= 5\,147\,915,00 \text{ DA.}$$

### III-3-3 Interprétation des résultats calculée lors l'étude technico-économique des deux system d'énergie de protection cathodique :

Après traitement des données des couts de réalisation et de consommation d'énergie électrique et leur cout de raccordement au réseau de la Distribution (SDC Sonelgaz) est relativement élevé par rapport au système photovoltaïque.

Cette étude économique comparative entres les deux sources d'énergies favorise l'utilisation l'énergie solaire par plusieurs raisons tels que :

## **CHAPITRE III : Dimensionnement Du Système de protection cathodique Par énergie solaire**

- La durée de réalisation du système en énergie électrique raccordé au réseau de la Distribution (SDC Sonelgaz) est énorme par rapport la durée de réalisation de système en énergie solaire.
- Leur cout total de réalisation est moins que l'énergie électrique.
- l'Independence d'utilisation de source d'énergie.
- Le courant donnée est continu utilisé pour la protection cathodique (par contre l'énergie électrique donne un courant alternatif qui nécessite un redresseur de courant).
- Installation dans des zones isolée et par l'interpretation de « **Tableau III - Devis de raccordement en énergie électrique de poste de soutirage N°02 GUERRARA établi par Sonelgaz SDC GHARDAIA.** »
- « Plus la longueur est grande entre le poste transformateur et le poste de soutirage (**poste de protection cathodique**) plus le cout de raccordement est très important ».

Type d'énergie	Le cout En (DA)	Délai de réalisation	Durée de vie	L'indépendance	Charges supplémentaires
Energie électrique	10 369 547.11	06 mois	30 ans	Non	Facture de consommation
Energie solaire	5 147 915,00	15 jour	15 ans	oui	Batterie

**Tableau III-3-3 : Comparaison entre les différents system de protection cathodique par deux sources d'énergies.**

---

# **CONCLUSION GENERALE**

---

## Conclusion générale

Le transport des hydrocarbures par canalisation s'effectue sur des distances plus considérables on pourrait citer le cas de notre étude le gazoduc d'ELGUERRAR à titre d'exemple sur une longueur de 52 Km, un ouvrage de transport se doit d'assurer une protection contre la corrosion afin d'éviter d'éventuel éclatement de conduite, menaçant des impacts dangereuse de l'environnement et des êtres vivantes. Notre ouvrage est situé dans une zone isolé, il doit bénéficier d'une protection cathodique permanente et continue.

L'objectif principal de notre étude est l'étude et le dimensionnement du système de protection cathodique par courant imposé alimenté par l'énergie solaire par les panneaux photovoltaïque Dans notre étude, nous avons choisi la méthode la protection cathodique par soutirage de courant car il est l'une des techniques les plus efficaces de lutte contre la corrosion des ouvrages métalliques.

Le système proposé utilise une source d'énergie propre et renouvelable. Du point de vue économique, la source d'énergie photovoltaïque convient à l'alimentation des systèmes établis dans des régions éloignées, comme cela est souvent le cas pour les systèmes de protection cathodique considérés.

Dans ce sens, le dimensionnement élaboré n'utilise que la combinaison de 02 modules dont (02) en série, un parc de 02 batteries et système de régulation et une armoire de contrôle pour ajustement de la tension (DC), et un onduleur lors de la nécessité d'une charge lampe utilise le courant alternative. Ce système adaptable pour les systèmes de protection cathodique.

A travers cette étude, on peut conclure que :

L'utilisation rentable et rationnelle des générateurs solaires dans les systèmes de soutirage doit faire l'objet d'une étude en tenant compte d'un aspect technique permettant la conception et le dimensionnement du système.

Des couts de réalisation et de consommation d'énergie électrique et leur cout de raccordement au réseau de la Distribution (SDC Sonelgaz) est relativement élevé par rapport au système photovoltaïque dans une durée de vie de 15 ans

---

## REFERENCES

- (1) Cours de protection cathodique, Mr KHALFI Mohammed Chef département PO GRTG/C.
- (2) Formation TURBOLAB protection des canalisations contre la corrosion.
- (3) Corrosion et protection cathodique :Rédacteur : Monsieur MAREC Révision : 2 de 1996  
TRAN 96.2
- (4) COURS PHOTO VOLTAIQUE IFEG/SONELGAZ
- (5) PROCEDURES TECHNIQUES FASCICULE N°5 : PROTECTION DES OUVRAGES  
GRTG /SONELGAZ
- (6) La protection cathodique des pipes carburant par panneaux photovoltaïques .
- (7) Cours de protection cathodique, Mr LARREF IFEG/ONELGAZ
- (8) <https://www.edfenr.com/decouvrez-edfenr/> Site web.
- (9) ETUDE DE PROTECTION CATHODIQUE antenne Guerrara GRTG /S
- (10) Cours dimensionnement solaire photovoltaïque (université de kasdi merbah ouargla  
FHRSU. Pr Mamour (calcul et dimensionnement).
- (11) Devis de raccordement en énergie électrique « SONELGAZ SDC »
- (12) Etude de comparaison d'un système de protection cathodique par soutirage de courant  
alimenté à partir d'un réseau de distribution électrique et un autre Alimenté par un système  
photovoltaïque Mme MESSIS F « ingénieur Service protection cathodique  
GRTG/C (alger).
- 13 <https://www.solaris-store.com/> Site web.



# ANNEXES

# LES ANNEXES

## 1- ETUDE DE PROTECTION CATHODIQUE :

**Tableau des prises de potentiel**

N°	PK	Type de PP	Nature de la traversée	Observations
PP 01	01+058	CD*	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 02	02+100	CD	Terrain inculte	01 Câble
PP 03	02+725	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 04	03+700	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 05	04+139	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 06	05+100	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 07	06+101	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 08	07+045	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 09	08+307	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 10	09+425	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 11	10+100	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 12	11+597	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 13	12+224	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 14	13+422	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 15	14+901	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 16	15+700	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 17	16+567	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 18	17+459	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 19	18+510	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 20	19+896	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 21	20+824	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 22	21+734	CD	Traversée de piste	01 Câble+ Anode en Mg
PP 23	22+243	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 24	23+350	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 25	24+529	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 26	25+134	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 27	26+336	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 28	27+562	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 29	28+647	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 30	29+621	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 31	30+807	CD	A proximité d'une piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 32	32+655	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 33	33+915	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 34	35+054	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 35	36+460	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 36	37+795	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 37	38+866	CD	Terrain inculte	01 Câble + Anode en Mg
PP 38	39+612	CD*	Terrain vague	01 Câble + Anode en Mg
PP 39	41+305	CD	Terrain vague	01 Câble + Anode en Mg
PP 40	42+545	CD	Traversée de route	01 Câble + Anode en Mg
PP 41	43+485	CD	Terrain vague	01 Câble + Anode en Mg
PP 42	45+200	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 43	46+425	CD	Traversée de piste importante	01 Câble + Anode en Mg
PP 44	47+532	CD	Terrain vague	01 Câble + Anode en Mg
PP 45	48+871	CD	Terrain vague	01 Câble + Anode en Mg
PP 46	49+583	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg
PP 47	50+615	CD	Traversée de piste	01 Câble + Anode en Mg

\*CD : Conduite

## 2- Spécifications de transfo redresseurs

### Spécifications : Transformateur redresseur

<b>Alimentation:</b>	Monophasé (220Vac, 50Hz) avec mise à la terre
<b>Refroidissement:</b>	Convection naturelle (air)
<b>Montage en Armoire:</b>	Type intérieur IP55 avec fixation murale
<b>Régulation:</b>	Manuelle + possibilité de télé exploitation et de télé commande à distance (par signal 4-20mA)
<b>Pont de redressement :</b>	Mixte diodes en silicium / Thyristors
<b>Affichage :</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Voltmètre (tension de sortie)</li><li>- Ampèremètre (courant de sortie)</li><li>- Compteur horaire (sur courant continu)</li></ul>
<b>Tension max de sortie:</b>	48 V
<b>Courant max de sortie:</b>	06 A
<b>Conditions d'exploitation climatique</b>	
	Transformateur redresseur type tropicalisé Température ambiante: -5 à +55°C
<b>Protections :</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Contre les surtensions</li><li>- Contre les courts circuits</li><li>- Contre les surintensités (fusible ultra rapide)</li></ul>
<b>Marquage :</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Le transformateur redresseur sera muni avec une plaque gravée contenant les informations suivantes: nom du fabricant, numéro de série et caractéristiques de sortie.</li></ul>
<b>Raccordement :</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- borne (+) pour câble type U1000 R02V (1x50mm<sup>2</sup>)</li><li>- borne (-) pour câble type U1000 R02V (1x50mm<sup>2</sup>)</li><li>- 01 borne mise à la terre de couleur jaune/vert (1x16mm<sup>2</sup>)</li><li>- Tous les fils électriques seront numérotés.</li></ul>
<b>Documentation :</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Schéma électrique</li></ul>

## LES ANNEXES

### 3- Spécifications : Déversoir + Poussier de coke Type : Rail

<b>Spécifications : Déversoir + Poussier de coke</b> <b><u>Type : Rail</u></b>
---

#### **Déversoir**

<b>Type :</b>	Rail de rebut (voie ferrée)
<b>Masse linéaire :</b>	40 à 45 Kg/m
<b>Pouvoir de consommation (dissolution) :</b>	10 Kg/A/an
<b>Shunt :</b>	par câble électrique 1x25m <sup>2</sup>

#### **Poussier de coke**

<b>Constituants :</b>	75% poussier, 25% chaux
<b>Granulométrie:</b>	< 3mm
<b>Taux d'humidité :</b>	< 10%

#### **\*Bentonite**

<b>Constituants :</b>	75% Bentonite, 20% plâtre, 5% Sulfate de Sodium (Sel dénaturé)
<b>Eau:</b>	150 l / ml de rail (15 000 litres pour 100 m de rail)

\* : Le backfill a base de bentonite ne devra être utilisé qu'en cas d'indisponibilité du poussier de coke et après autorisation du la structure Sonelgaz concernée.

## LES ANNEXES

### 4- Spécifications : Déversoir + Poussier de coke Type : Anode Ferrosilicium

<b>Spécifications : Déversoir + Poussier de coke</b> <b><u>Type : Anode Ferrosilicium</u></b>
--

**Composition chimique :** 14.2 - 14.7% Silicium, 0.6 – 0.7 % Manganèse  
0.4 – 0.85 % Carbone et le reste c'est du Fer.

**Consommation massique :** 0.5 Kg / A / an

**Dimension sans backfill :** Longueur = 1520 mm  
Diamètre = 50 mm – 76 mm

**Dimension avec backfill :** Longueur = 2000 mm  
Diamètre = 200 mm

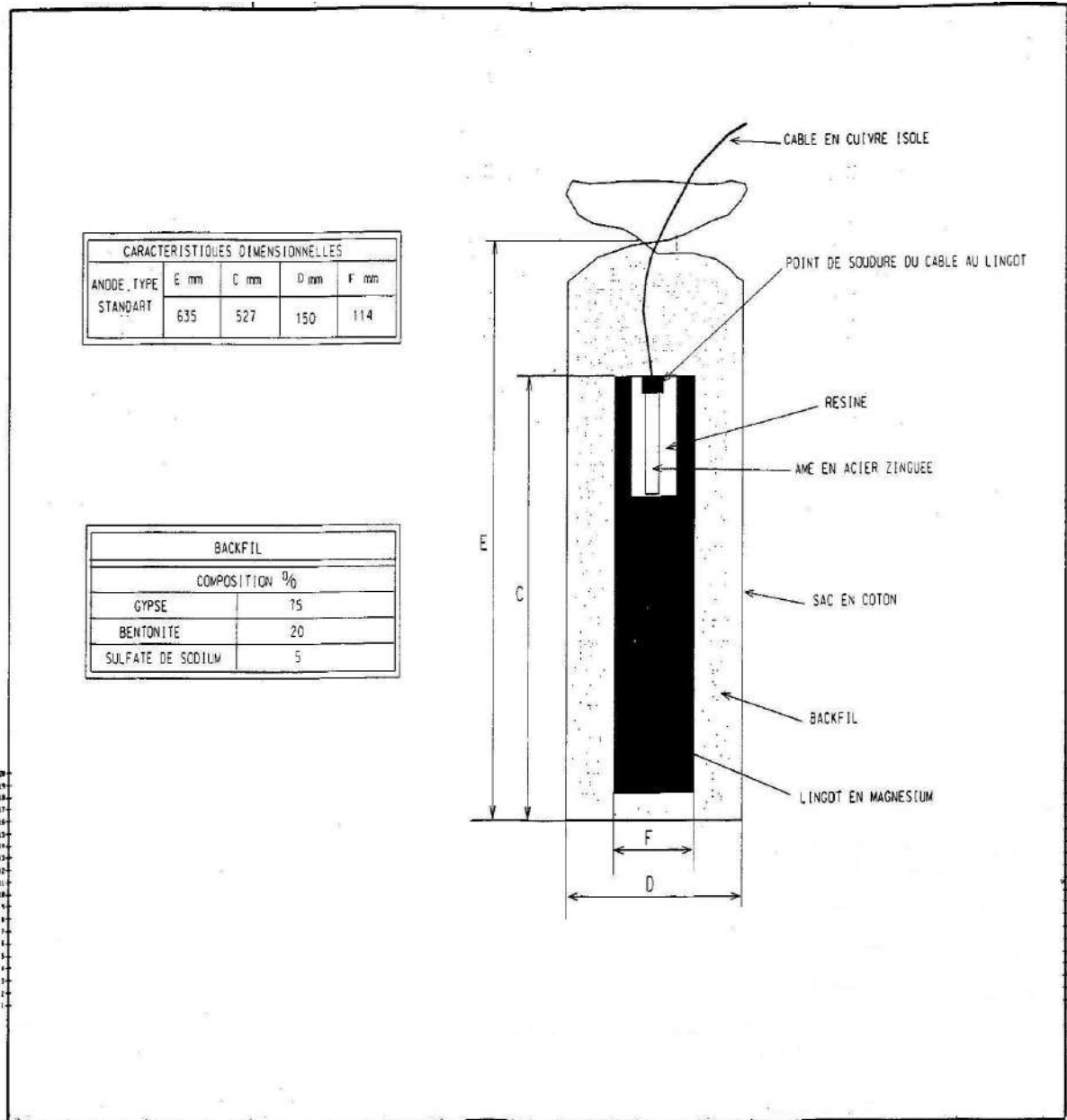
**Poids :**  $\geq 22.7$  Kg

**Régulateur de corrosion :** Anode backfilée a base de poussier de coke  
 $\geq 75\%$  poussier,  $\leq 25\%$  chaux  
Résistivité maximale :  $1 \Omega \times m$

**Câble de raccordement :** Longueur = 3 m    Section =  $1 \times 16 \text{ mm}^2$

# LES ANNEXES

## 5- ANODE AU MAGNESIUM



ANODEAU MAGNESIUM

DEPARTEMENT PROTECTION  
DES OUVRAGES GRIG /S

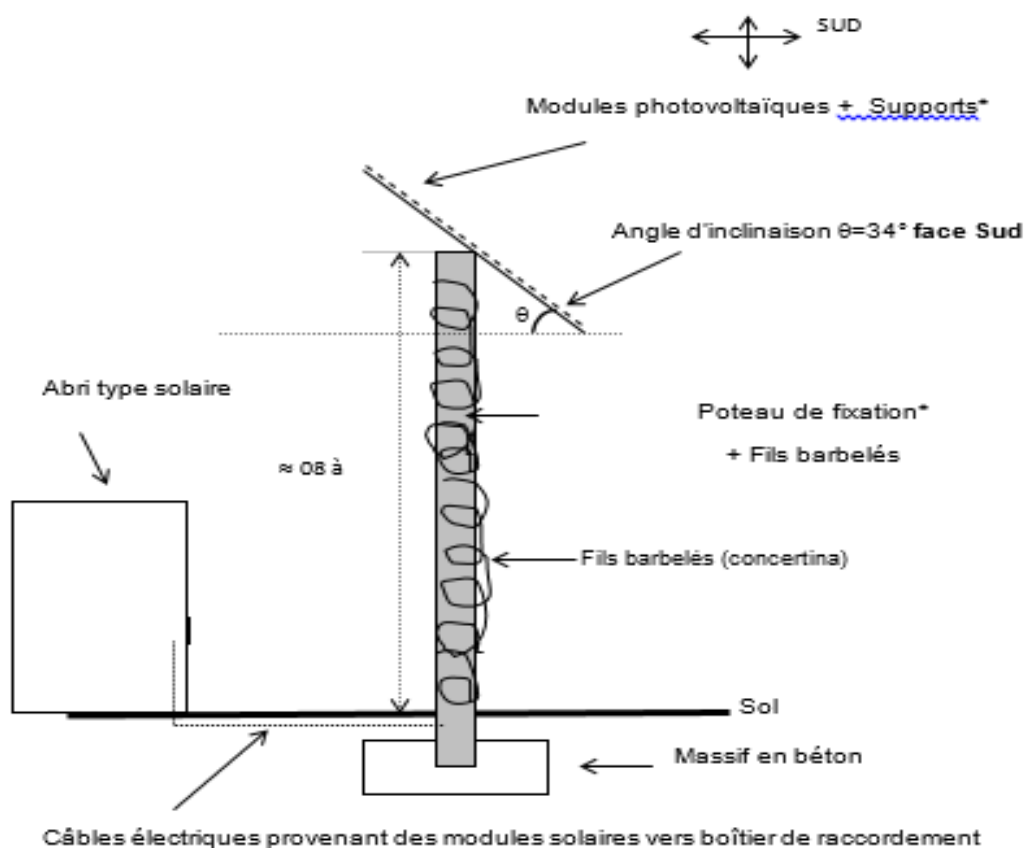
# LES ANNEXES

## 06- Mât (poteau métallique)

Caractéristiques Techniques : Mât	
Matière	Tube en Acier 12"
Longueur	≈ 8 à 10 m
Massif de fixation au sol	Béton armé
Platine d'encrage	Tôle en 7 mm (100x100cm)
Protection antivol	Fils barbelé (concertina)
Peinture	une couche de peinture antirouille et deux couches glycérophthaliques

### Installation des mâts :

Réalisation suivant le schéma de principe ci-dessous :



## LES ANNEXES

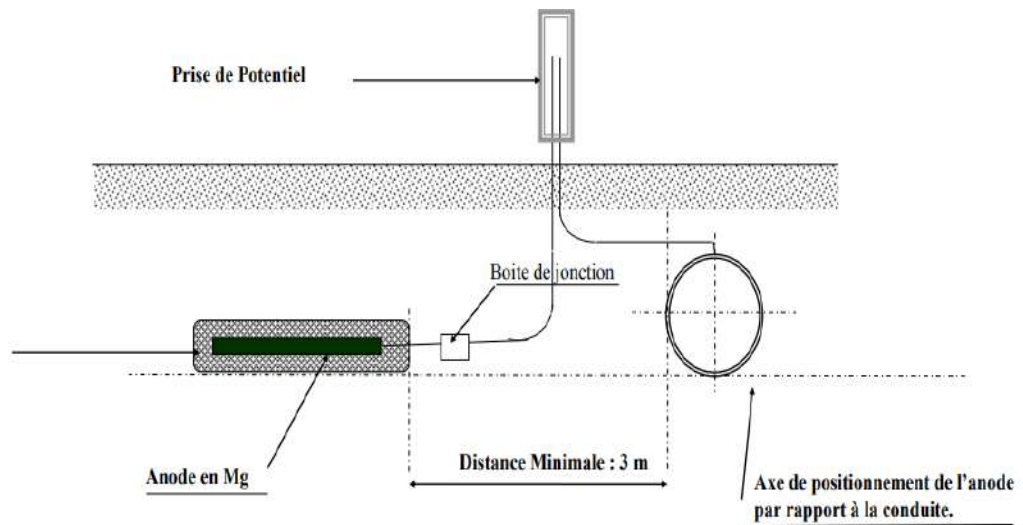
### 06- Armoire de contrôle et de régulation (Régulateur & Convertisseur DC/DC : 24V/10A) :

Fonction	Contrôle de la batterie + régulation de sortie
Type de régulateur	Série linéaire
Fonctions du régulateur	Contrôle de la charge Charge forcée (boost charge) Egalisation
Protection	Thermique
Courant d'entrée maximal supporté	70 Adc
Courant de sortie régulé par le convertisseur DC / DC	0 à 10 Adc
Tension de sortie régulée par le convertisseur DC / DC	0 à 24 Vdc
Alimentation	photovoltaïque
Armoire	Type intérieur IP55 avec fixation murale
Contrôle	Automatique contre la surcharge de la batterie Automatique contre la décharge de la batterie
Affichage	tension d'entrée tension de sortie courant de sortie
Température d'utilisation	-5 à +55°C
Protections	Contre les surtensions Contre les courts circuits Contre les surintensités Batterie (interrupteur thermomagnétique)
Raccordement vers la sortie	Borne (+) pour câble type U1000 R02V (1x50mm <sup>2</sup> ) Borne (-) pour câble type U1000 R02V (1x50mm <sup>2</sup> )
Raccordement vers batterie	1x25 mm <sup>2</sup>
Marquage	nom du fabricant, numéro de série et caractéristiques de sortie.
Protection anti-foudre	intégrée
Documentation	Manuel d'utilisation et de maintenance Schéma électrique



# LES ANNEXES

## 07- Mise en œuvre d'une anode Réactive en Magnésium



NOTA : Noyer la fouille avec de l'eau avant de remblayer

## 08-Panneau solaire VICTRON polycristallin 175Wc - 12V »

### Caractéristiques techniques :

Dimensions Module	1485 x 668 x 30 mm
Poids	12 kg
Puissance nominale $P_{mpp}^*$	175 W
Tension à puissance max. $V_{mpp}^*$	18.3 V
Courant à puissance max. $I_{mpp}^*$	9.56 A
Tension en circuit ouvert $V_{oc}$	21.9 V
Courant de court-circuit $I_{sc}$	10.24



## LES ANNEXES

### 09-Batterie GEL Victron 12V / 110Ah :



### Caractéristiques de la batterie GEL Victron 12V / 110Ah :

Tension	12V
Dimensions (L x l x h)	330 x 171 x 220 mm
Poids	33 kg
Capacité	110Ah

Source : <https://www.solaris-store.com/928-batterie-victron-etanche-agm-12v-110ah.html>

## LES ANNEXES

### 10-Régulateur solaire à LED STECA Solarix 12 V / 24 V - 25 A avec chargeur USB :



Tension du système	12 V (24 V)
Consommation propre	12.5 mA
Tension à vide du panneau solaire	< 47 V
Courant du panneau	25 A
Courant du consommateur**	25 A
Prise de charge USB	5.2 V / 1.5 A

Source : <https://www.solaris-store.com/1931-regulateur-solaire-steca-solsum-2525-usb.html>

## LES ANNEXES

### 11- CONVERTISSEUR PHOENIX 24V / 375VA



#### Caractéristiques techniques :

<b>CONVERTISSEUR PHOENIX 24V / 375VA</b>	
Puissance continue à 25°C	375 VA
Puissance continue à 25°C / 40°C	300 / 250 W
Puissance de crête	700 W
Fréquence / Tension de sortie AC (réglable)	230 $V_{ac}$ +/- 3% - 50 Hz ou 60 Hz +/- 1%
Plage de tension d'alimentation	18.4 V à 34 V
Arrêt tension CC basse (réglable)	18.6 V

Source : <https://www.solaris-store.com/5367-thickbox/onduleur-victron-phoenix-24-375va-vedirect-schucko.jpg>

# LES ANNEXES

## 11-facteur d'électricité d'un poste protection cathodique d'une année alimentée par énergie électrique : « haute tension type A »

Energies	Consommations			Périodes Tarifaires	
	Cadran 1	Cadran 2	Cadran 3	Unique	
Consom. Active	31,00	17,00	53,00		
P.E.C. Active	0,81	0,44	1,38		326,83
P.A.V Active	69,75	37,20	116,25		
Consom. Réactive	154,00				
P.E.C Réactive	6,16				1722,56
P.A.V Réactive	1 562,40				

### FACTURATION

Veillez régler par :

- Virement au compte CCP ou bancaire sus indiqué
- Chèque CCP ou bancaire adressé à notre unité

Contribution aux coûts permanents du système: 2.45 DA

#### Avis:

Un délai de paiement de 15 jours à dater de la réception de la présente facture vous est accordé. Passé ce délai, nous serons dans l'obligation d'entamer la procédure de suspension de la fourniture d'énergie.

Energie consommée	Quantité	P.U. (cDA)	A déduire	A ajouter(DA)
Unique	326,83	375,62		1 227,64
Facteur de Puissance (ER/EA)	527.05 %			
Majoration	1 559,15	45,53		709,88
Puissance Mise à Disposition	50	3 870,00		1 935,00
Puissance Maximale atteinte	1	18 058,00		180,58
Primes Fixes (DA)	1			515,65
Montant énergie HT				4 568,75
TVA énergie Taux 19%				0,00
Location (Comptage, Transformateur)				0,00
Entretien du poste transformateur				0,00
Frais de coupure et remise				0,00
Montant prestation Hors Taxes				0,00
TVA prestation Taux 19 %				0,00
Taxe d'habitation				0,00
Soutien de l'état			1 142,19	
Antécédents				36 154,62
<b>TOTAL FACTURE:</b>				<b>39 581,18</b>

La présente facture est arrêtée à la somme de :

GHARDAIA, le 31/12/2021