



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Electromécanique

Réf. :

Présenté et soutenu par :

HADJI AHMED SALAH EDDIN

BEN AISS SAMIR

Réalisation d'un prototype d'une protection cathodique PV

Jury:

Pr.	MEHDAD Belgacem	Prof	Université de Biskra	Président
Pr.	TERKI Amel	Prof	Université de Biskra	Encadreur
Dr.	GUERGUAZI Aicha	MCA	Université de Biskra	Examineur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique



Université Mohamed Khider Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrique
Filière : Electromécanique
Option : Electromécanique

Mémoire de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme :
MASTER

Thème

Réalisation d'un prototype d'une protection cathodique PV

Présenté par :

- Hadji Ahmed Salah Eddine
- Ben Aiss Samir

Avis favorable de l'encadreur

Pr. TERKI AMEL

Avis favorable du Président du Jury

Pr. MEHDAD BELGACEM

Cachet et signature

Dédicace

A mes parents, pour tous leurs sacrifices,

Leur amour, tendresse, soutien

Et leurs prières tout au long de mes études,

*A mes frères, Pour leur appui et
encouragement,*

*A toute ma famille pour son soutien tout au
long de mon*

*Parcours universitaire, Que ce travail soit
l'accomplissement de*

*Vos vœux tant allégués, et le fruit de votre
soutien infaillible.*

Merci d'être toujours là pour moi

REMERIEMENTS

*Nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué au succès de notre travail et qui nous a aidé à rédiger ce mémoire. Tout d'abord, Nous tenons à remercier notre encadreur Mme **Terki Amel**, professeur à l'Université de Biskra, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses conseils avisés qui ont alimenté nos réflexions.*

*Aux membres de notre jury pour le grand honneur qu'ils nous ont fait
Acceptez le jugement sur ce travail.*

*A Mr **Mehdad Belgacem**, nous vous remercions de l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de présider notre jury.*

*A Melle **Guerguazi Aicha**, votre présence au sein de notre jury constitue pour nous un grand honneur.*

Liste des symboles

E : Eclairement (W/m^2).

D : Diamètre de soleil ($1.39.10^9\text{m}$).

Dt : Diamètre de soleil ($1.27.10^7\text{m}$).

DLTS : Distance moyenne soleil terre ($1.5.10^1\text{m}$).

Rp : Résistance parallèle shunt (Ω).

Rs : Résistance série (Ω).

Iph : Le photo-courant (A).

Isat : Courant de saturation (A).

Tc : Température de jonction ($^\circ\text{K}$).

G : L'éclairement de référence ($1000 \text{ W}/\text{m}^2$).

I : Le coefficient de courant en fonction de température ($\text{A}/^\circ\text{C}$).

Tref: La température de référence ($298 \text{ }^\circ\text{K}$).

N : Facture de non idéalité de la jonction.

Icc : Le courant de court-circuit (A).

Vco : La tension de circuit ouvert (V).

Ns : Nombre de modules dans le panneau en série.

Np : Nombre de modules dans le panneau en parallèle.

Pmax : La puissance maximale produite PV (W).

Vmax : Tension qui correspond à la puissance maximale (V).

Imax : Courant qui correspond à la puissance maximale (A).

Vopt : Tension optimale (V).

Iopt : Courant optimum (A).

Vco : Tension à circuit ouvert (V).

Icc : Courant de court-circuit (A)

K : coefficient de Boltzman ($1.38.10^{-23} \text{ J / K}$)

Tc : Température de la cellule ($^\circ\text{C}$).

Abréviation utilisées

PV: Panneau Photovoltaïque.

GPV: Générateur Photovoltaïque.

FF: Facteur de forme.

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

PWM: Modulation De Largeur L'impulsion

DC: Courant Continu (Direct Current).

AC: Courant Alternatif (Alternative Current).

Liste de tableau :

Tableau III 1: représenté Caractéristique du cotie alimentation.	39
Tableau III 2 : calier de charge (profile de charge).	45

Liste de figure :

Chapitre I :

Figure I 1 : principe de protection cathodique (Anode sacrificielle et courant Imposé).	3
Figure I 2: Protection cathodique d'un métal par couplage galvanique.	4
Figure I 3: Principe de la protection cathodique par courant imposé.	5
Figure I 4: Schéma descriptif de la Protection Cathodique d'un métal par soutirage de courant.	7

Chapitre II :

Figure II 1 : Les constituants d'un système PV.	10
Figure II 2: Schéma D'un système photovoltaïque.	11
Figure II 3: Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes.	12
Figure II 4: Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes.	13
Figure II 5: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome.	13
Figure II 6: Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage (pompage au fil du soleil).	14
Figure II 7 : Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage.	15
Figure II 8: Configuration générale d'un système de pompage photovoltaïque. ...	16
Figure II 9: Schéma d'un système de pompage au fil de soleil.	17
Figure II 10: Eclair Age public.	17
Figure II 11: Courbe de polarisation théorique.	19
Figure II 12: Résistivité du sol en fonction du point kilométrique.	20
Figure II 13: Système de protection cathodique par appoint solaire.	21
Figure II 14: Schéma d'un système de protection cathodique par système PV.	23
Figure II 15: Les différentes zones de Caractéristique I(V) entre générateur et module Photovoltaïque.	25
Figure II 16: Système photovoltaïque.	25
Figure II 17: Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.	26

Figure II 18: Schéma de générateur PV en MATLAB-SIMULINK.....	27
Figure 19: Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension, pour différentes températures et un éclairement 1000W/m ²	28
Figure 20: Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension, pour différentes températures et un éclairement 1000W/m ²	28.
Figure 21: Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension pour différents éclairagements et une température 25°C.....	29
Figure 22: Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents Eclairement et une température 25°C.....	29

Chapitre III :

Figure III 1: panneau solaire.....	33
Figure III 2: Régulateur PWM.....	34
Figure III 3: Régulateur MPPT.....	35
Figure III 4: Batterie.....	35
Figure III 5: fusibles et port fusible.	37
Figure III 6: Rhéostat.	37
Figure III 7: Multimètre.	38
Figure III 8: Fils électrique.....	39
Figure III 9: Schéma synoptique.....	40
Figure III 10: Coté alimentation.	41
Figure III 11: Tube en acier.....	42
Figure III 12: Tube en acier.....	42
Figure III 13: Aquarium.	43
figure III 14: les anodes et la façon dont elle est positionnée.	43
figure III 15: fils électriques (représenter le pôle positif et les cathodes du pôle négatif).....	44
figure III 16: isolant	44
Figure III 17: Prototype d'un système de protection cathodique.....	46

Dédicace

Remerciements

Liste des symboles

Liste de tableau

Liste de figure

Table de matière:

CHAPITRE I PROTECTION CATHODIQUE

Introduction générale	1
I-Introduction	2
I-1-2-Principe de la protection cathodique	2
I-2-Types de protection cathodique	3
I-2-1- Protection par anodes réactives	4
I-3-Protection cathodique.....	4
I-3-1- Protection par poste cathodique (soutirage de courant)	5
- Protection par courant imposé	5
I-4- Mise au point d'une protection cathodique par courant imposé	6
I-4-1- Protection par soutirage de courant	6
I-4-2- Principaux domaines d'application	7
Conclusion	9

CHAPITRE II SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

II- Introduction	10
II -1- Le système photovoltaïque autonome	10
II-2- Les différents types de systèmes photovoltaïques.....	11
II-2-1- Les systems autonomes	11
II-2-2- Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage	13
II-2-3- Systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage	14
a- Le principe de fonctionnement est le suivant	14
II-2-4- distinguer les systèmes photovoltaïques autonomes	15
II-3- Pompage photovoltaïque	16
II-3-1- Les types de pompes	16
II-3-2- Pompage au fil du soleil	16
II-4- L'éclairage photovoltaïque	17
II-4-1- Système d'éclairage public photovoltaïque autonome	17
II-5- Système de la protection cathodique par (Système photovoltaïque)	18
II-5-1- Protection cathodique par le système PV	18
II-5-2- Principe de la protection cathodique	18
II-5-3- Protection par courant imposé (soutirage de courant)	19
II-5-4- Etude du tracé	19
II-5-5- Profil de résistivité	20
II-5-6- Principe de la protection adoptée	21
II-5-7- Principe de fonctionnement	22
II-6- Générateur photovoltaïque	23
a- Paramètre photovoltaïque	23
b- Courant de court-circuit ICC	23
c- Tension en circuit ouvert VCO	23
d- Point de puissance maximale Pm	23

e- Facteur de forme FF	23
f- Rendement énergétique n	24
II-7- Les zones de caractéristique I(V) d'un générateur Photovoltaïque	24
II-8- Modélisation et simulation du générateur photovoltaïque	25
II-8-1- Modélisation du GPV	25
II-9-Simulation du générateur photovoltaïque	27
a- résulta.....	28
b- Commentaire	30
Conclusion	31

CHAPITRE III_Système de protection cathodique PV

III -1- Introduction	33
III-2- Coté alimentation	33
a) Panneau solaire	33
b- Les type de régulateur de charge	34
- Régulateur PWM	34
- Régulateur MPPT	34
c- Batterie	35
d- Fusible et le port fusible	36
- Pourquoi avons-nous besoin de fusibles?	36
e- Porte-fusible	36
- Un rôle de protection très important	36
f- Rhéostat	37
g- Multimètre	38
-L'utilisation d'un multimètre	38
k- Fils électrique	38
III-2-1- Calie de charge	39
III-2-2- Réalisation	40

III-3- Profile de charge	42
a- Tube en acier	42
b- Revêtement tube acier	42
c- L' Aquarium	43
d- Les anodes	43
e- Isolant	44
III-4- Calie de charge	45
III-5- Système de la protection cathodique PV	45
a-Réalisation	45
Conclusion	47
Conclusion générale :	50
Résumé	51
Bibliographie	53

Introduction

Générale

Introduction générale

Le monde de l'industrie souffre aujourd'hui de Corrosion. Les statistiques révèlent que la corrosion détruit un quart de la production annuelle d'acier, soit 5 tonnes par seconde. Cet énorme phénomène trouve sa proie favorable. Dans la majorité des pipelines industriels, en particulier ceux destinés au transport du pétrole, Le gaz et les produits pétroliers sont d'une grande importance pour les économies des pays producteurs Hydrocarbures.

Le principal facteur de dégradation de ce dernier est la corrosion, le phénomène de dégradation du substrat métallique par le milieu dans lequel il est placé. Cela est dû à la tendance des minéraux à revenir à l'état stable des minéraux naturels: oxydes, sulfate, carbonate, etc. [1]

En général, pour lutter contre la corrosion dans les tuyaux, nous avons utilisé le système de protection par cathode photoélectrique dans ce travail. Nous aborderons ce phénomène et identifierons et expliquerons en détail ses causes, ses conséquences et ses emplacements sur les tuyaux métalliques, et enfin expliquerons comment atteindre le bon courant pour protéger les tuyaux.

Pour résoudre ce problème, nous proposerons une solution consistant en : Utilisation de la protection cathodique par courant solaire photovoltaïque comme source d'énergie électrique. Où nous avons fait un mini-travail de protection cathodique par le courant. Alimenté par des cellules photovoltaïques. [1]

Ce mémoire est réparti en trois chapitres:

Le chapitre 1 énonce les définitions de la protection cathodique, pourquoi elle est choisie, comment elle fonctionne et quel type de courant est utilisé pour la protection cathodique.

D'autre part, le chapitre 2 présente le système photovoltaïque indépendants et ses différents suivis par les applications les plus courantes notamment celle de la protection cathodique avec son principe.

Le troisième chapitre 3 est consacré à la réalisation du prototype composé du deux partie : la première est le côté alimentation DC, le deuxième est le profil de charge.

Le travail est clôturé par une conclusion générale suivi par les perspectives envisagées. [1]

CHAPITRE I

PROTECTION

CATHODIQUE

I-Introduction:

La lutte contre la corrosion des ouvrages métalliques enterrés par le moyen de la protection cathodique revêt une importance primordiale pour leurs longues durées de vie d'exploitation. La protection cathodique est la méthode la plus efficace pour lutter contre la corrosion. Elle offre l'avantage pratique d'obtenir des informations sur le comportement du matériau par de simples mesures. [2,3]

I-1-Pour quoi la protection cathodique :

La protection cathodique est une technique de protection anticorrosion pour tous les ouvrages métalliques enterrés, immergés ou bétonnés. Cette méthode de protection anticorrosion est largement répandue dans le monde. Elle est connue pour être fiable et peu coûteuse par rapport aux risques encourus. Le monde du pétrole et du gaz a une obligation légale de mettre sous protection cathodique tous ses ouvrages dès lors qu'ils se trouvent dans le domaine public (arrêté du 4 août 2006) Depuis une dizaine d'années, l'absence de ratification de la protection cathodique valide les capacités citées des agents selon trois niveaux, technicien, ingénieur expert. Cette certification a eu pour effet de faire monter en compétences les techniciens et ingénieurs, et d'assurer aux donneurs d'ordres une véritable qualification des sous-traitants. Actuellement, cette technique est utilisée sur de nombreux réseaux transportant de l'eau, même si elle n'est pas encore généralisée. [4]

I-1-2-Principe de la protection cathodique :

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

Le principe de la Protection Cathodique trouve son application dans la pile élémentaire ou l'une des électrodes (anode) est toujours corrodée alors que l'autre ne l'est pas. Deux méthodes sont utilisées pour rendre un ouvrage cathodique par rapport à une anode extérieure :

- L'anode sacrificielle appelée encore anode réactive (figure (a)).
- Le soutirage de courant ou dispositif à courant imposé (figure (b)). [3]

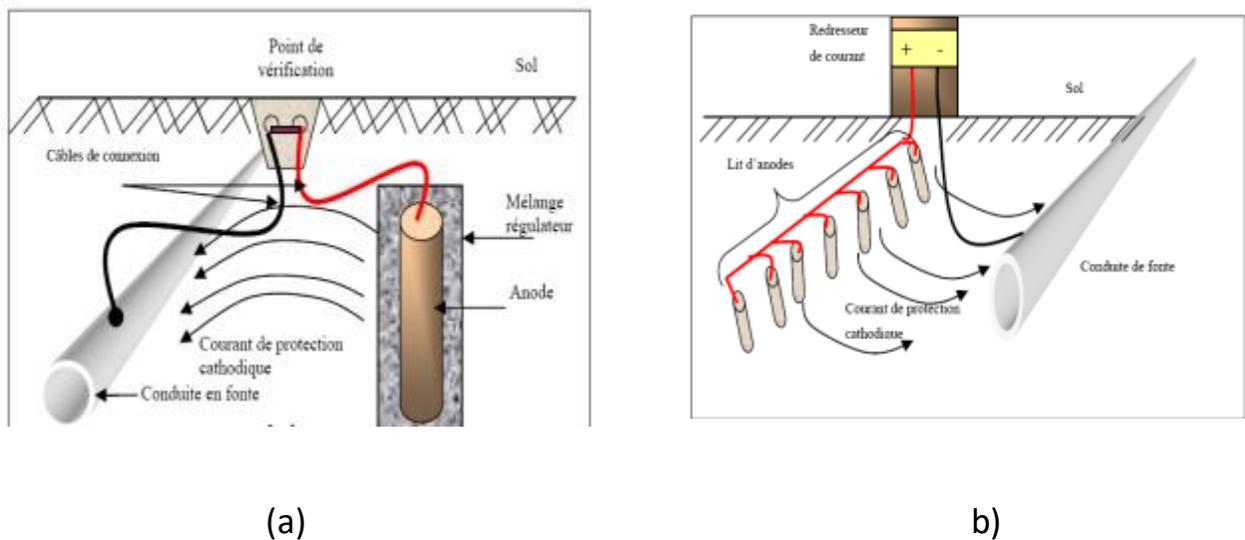


Figure I 1 : principe de protection cathodique (Anode sacrificielle et courant Imposé).

I-2-Types de protection cathodique :

Deux techniques de protection cathodique sont utilisées pour fournir le courant nécessaire pour contrer les phénomènes de corrosion:

- **L'anode sacrificielle appelée encore anode réactive**
- **Le soutirage de courant ou dispositif à courant imposé.**

I-2-1- Protection par anodes réactives :

D'une manière générale, les anodes réactives sont utilisées, en dehors des applications propres, en eau de mer. Pour abaisser le potentiel d'un métal par rapport au sol, on peut le réunir à un métal plus électron- négatif que lui, dans le milieu considéré. On crée ainsi une pile dont la structure à protéger est la cathode.

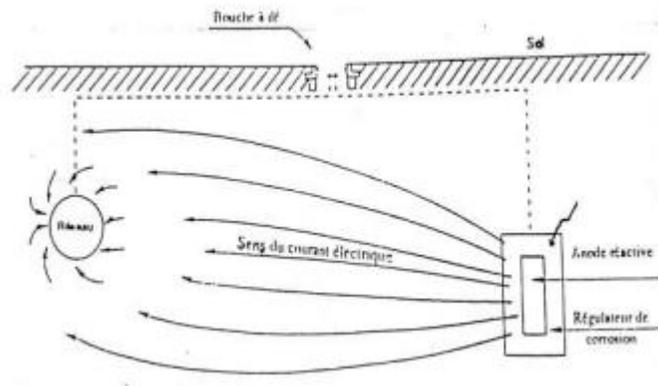


Figure I 2: Protection cathodique d'un métal par couplage galvanique.

Les métaux plus électronégatifs que le fer qui peuvent constituer une anode sont, par ordre de potentiel croissant (ces potentiels sont pris par rapport au fer à débit nul dans l'eau de mer) :

- Le zinc -0,4V.
- Alliage d'aluminium - 0,9V.
- Le magnésium - 1,2V.

I-3-Protection cathodique:

Les méthodes de protection actives exposées ci -dessous peuvent être sont principalement:

I-3-1- Protection par poste cathodique (soutirage de courant) :

- Protection par courant imposé:

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

I-3-2-Principe de la protection cathodique par courant imposé:

Dans les installations de protection cathodique par courant imposé, l'alimentation électrique permet de polariser cathodiquement la structure à protéger en faisant circuler un courant continu entre l'ouvrage à protéger et une anode auxiliaire dite « déversoir ». La méthode est illustrée par la Fig. 2

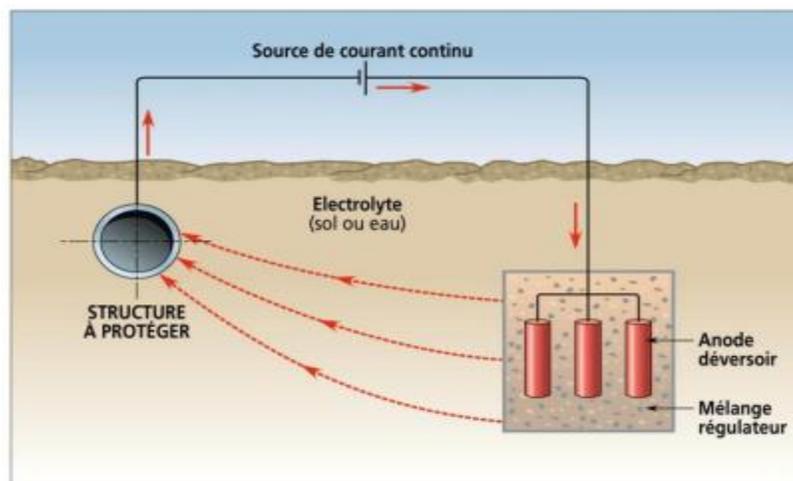


Figure I 3: Principe de la protection cathodique par courant imposé.

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

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

Des postes assurant un débit asservi au potentiel mesuré à l'aide d'une électrode de référence pilote par rapport à un domaine de potentiel cible permettent de mettre en œuvre des systèmes automatiques utiles pour

Répondre aux variations des conditions électrochimiques liées par exemple à la résistivité ou à l'influence de courants continus vagabonds. [5]

I-4- Mise au point d'une protection cathodique par courant imposé :

Le soutirage de courant est la base de la protection cathodique des canalisations enterrées. On fait appel, en général, à ce type de protection dès que les réseaux atteignent un ou plusieurs kilomètres. Pour les grands réseaux enterrés, on utilise des soutirages de courant répartis sur des distances plus ou moins grandes et débitant en parallèle.

L'intérêt du soutirage de courant réside dans le fait qu'il peut être réglé manuellement ou automatiquement de façon à suivre l'évolution, dans le temps, des structures protégées. [6]

I-4-1- Protection par soutirage de courant :

Lorsque la voie électrifiée est de polarité positive ou qu'elle est très éloignée de la tuyauterie, le drainage ne peut être envisagé. On prévoit alors la protection par soutirage de courant.

Ce procédé consiste à raccorder la tuyauterie à la borne négative d'une source extérieure de courant continu .la source de courant sera généralement constituée par un poste transformateur redresseur ou, pour certaines installations de faible importance, par un groupe 'déversoir' ou au rail électrifié de polarité positive.

Dans un poste de soutirage sur déversoir par redresseur le courant quitte la borne positive du redresseur, passe au déversoir (anode), abandonne-le déversoir pour traverser le sol, puis rentre dans la tuyauterie (cathode) pour revenir finalement à la borne négative du redresseur. Le déversoir, réalisé par une masse métallique (rials ou tuyaux). Constitue la pièce de consommation.

La masse sera calculée en fonction de l'intensité du courant débité par le post pour une durée de 25 ans, par exemple.

Sa surface devra être suffisamment grande pour présenter une résistance de mise à la terre aussi faible que possible, elle sera enfouie dans le sol aussi humide que possible et à une distance de la tuyauterie suffisante pour favoriser la dispersion du courant de protection vers les points les plus éloignés en fonction de la surface de la tuyauterie.

Les caractéristiques du poste de soutirage seront établies en fonction de la surface de la tuyauterie à protéger, du pouvoir isolant de son revêtement extérieur, de la valeur de résistance à la terre du déversoir et des sollicitations électriques locales.

Dans un dispositif de soutirage de courant par redresseur sur rail électrifié en courant continu c'est le même type de redresseur que pour les protections cathodiques sur déverdir. Cependant, deux relais y sont intercalés ainsi qu'un self régulateur.

La disposition de soutirage de courant par piles sèches sur déversions parafût intéressant pour les petites surfaces à protéger dans les régions exemptes de courant vagabonds. [7]

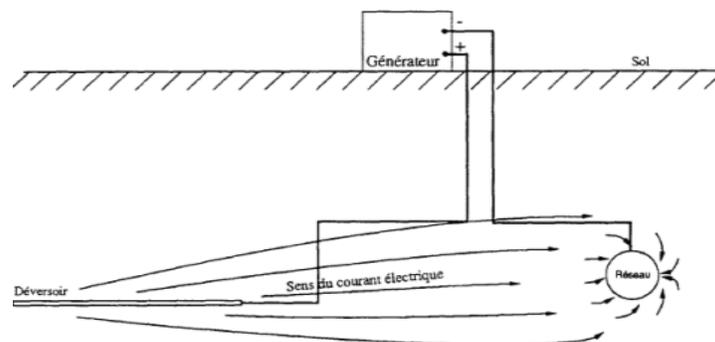


Figure I 4: Schéma descriptif de la Protection Cathodique d'un métal par soutirage de courant.

I-4-2- Principaux domaines d'application :

Le soutirage de courant s'emploie chaque fois que l'intensité nécessaire à la protection est importante ou que la portée demandée est élevée. Les applications du système de protection cathodique concernent un grand nombre de domaines [8] :

- Conduites enterrées ou émigrées, revêtu ou non.

- Casing de forage.
- Structures marines importantes (appontements, quais métallique, coques de navire, plates formes pétrolière.
- Réservoirs de stockage de grande dimension.
- Ouvrages concentrés (station de pompage ou de compression terminaux).
- Intérieur des capacités d'eau douce.
- Boites à eau d'échangeurs thermique.

Conclusion

Tous les ouvrages en acier enterrés ou immergés peuvent bénéficier d'une protection anticorrosion efficace. Au vu de son efficacité, les coûts de mise en place et de suivi de la protection cathodique sont faibles par rapport aux coûts d'investissement et de fonctionnement. La protection cathodique permet de réduire la vitesse de corrosion des ouvrages et d'augmenter considérablement leur durée de vie.

La protection cathodique nécessite des connaissances en électrochimie, corrosion, électricité, maintenance, Métrologie et réglementation. Le Cefracor s'assure, par l'intermédiaire de la certification en protection

Cathodique, que les agents de terrain et les ingénieurs ont une excellente connaissance des techniques de mesures, nécessaire pour assurer une meilleure maîtrise de la corrosion des ouvrages enterrés. Cette Certification octroie, aux entreprises utilisatrices, des interlocuteurs spécialisés et, aux agents certifiés, la Reconnaissance de leurs compétences.

CHAPITRE II
SYSTEME
PHOTOVOLTAIQUE

II- Introduction :

La technologie solaire photovoltaïque devient de plus en plus importante. Les fabricants et les laboratoires dédiés à la recherche et au développement des équipements photovoltaïques sentent leur besoin permanent d'avoir des équipements de test appropriés et pour cela des Efforts considérables sont mis pour la conception et la fabrication de dispositifs qui prennent l'énergie fournie par des panneaux solaires et la convertir en une variété de formes utiles de manière aussi efficace que possible. Obtenir la quantité maximale d'énergie à partir d'un panneau solaire pose des défis uniques, et certains outils spécialisés peuvent faciliter ce développement, tel un émulateur photovoltaïque qui est conçu pour émuler le comportement d'un panneau réel sous différentes conditions.

II -1- Le système photovoltaïque autonome :

Un système PV est un ensemble complet d'équipements PV pour transformer la lumière du soleil en électricité, généralement il se compose de cinq éléments principaux : le générateur PV, la batterie, le régulateur, le convertisseur et la charge.

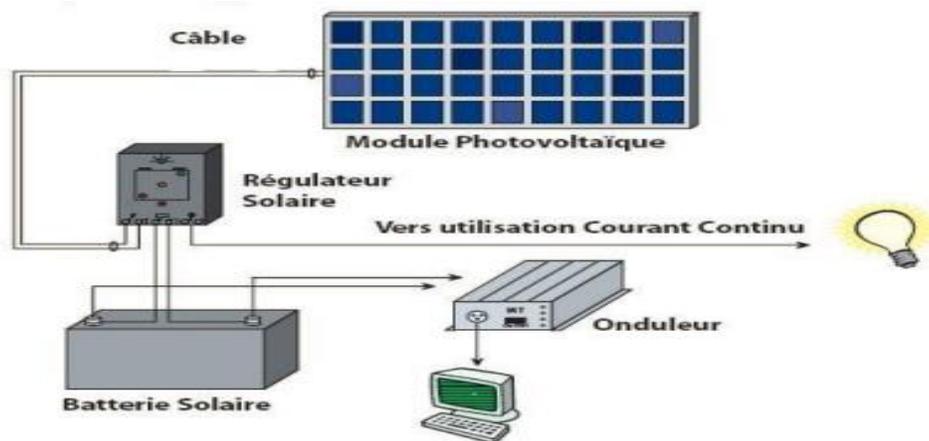


Figure II 1 : Les constituants d'un système PV.

Par le mécanisme photovoltaïque, les panneaux PV transforment l'énergie solaire en courant continu (CC). Ce dernier peut être utilisé directement, soit sera converti en courant alternatif (CA) par l'onduleur. Le surplus d'énergie produit par le système est emmagasiné dans les accumulateurs (batteries).

La charge et la décharge des batteries sont contrôlées par le régulateur qui assure la régulation entre la production, la consommation et le stockage. [9]

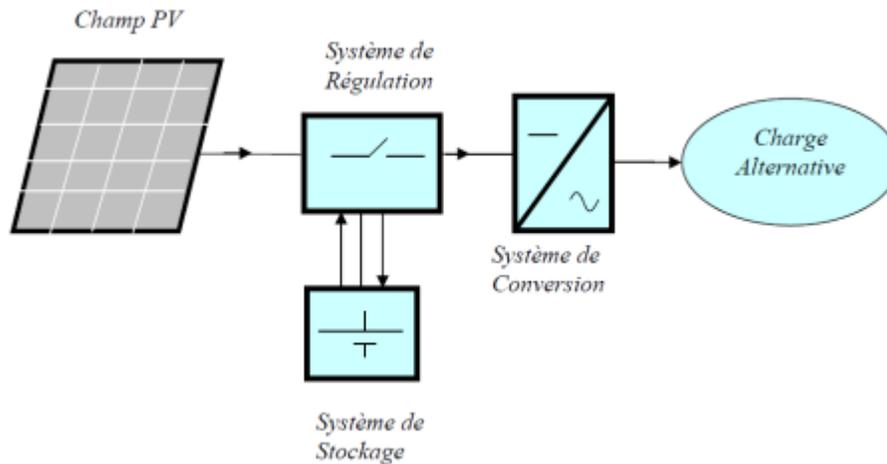


Figure II 2:Schéma D'un système photovoltaïque.

II-2- Les différents types de systèmes photovoltaïques :

II-2-1- Les systèmes autonomes :

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant des autres sources d'énergies et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, sur les îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau.

En générale, Les systèmes photovoltaïques autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique.

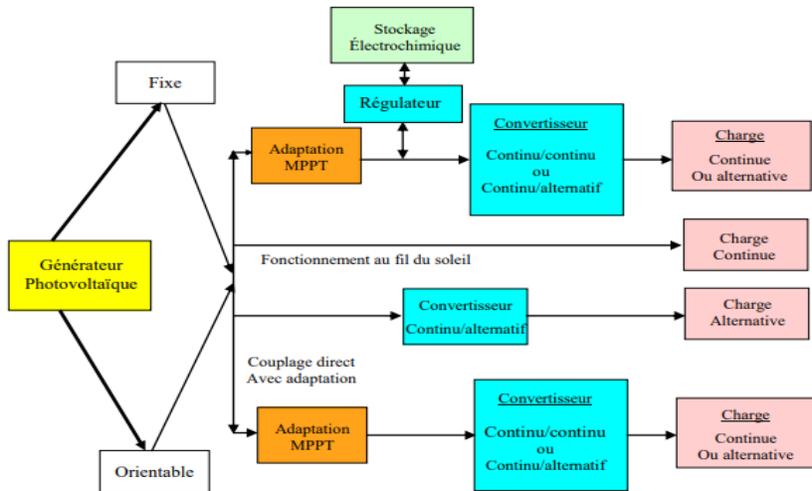


Figure II 3: Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes.

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau. Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes sont décrits sur la figure (3) qui traduit les différentes possibilités offertes : couplage direct à une charge adaptée ou couplage avec adaptateur d'impédance MPPT (Maximum Power Point Tracking), fonctionnement au fil du soleil ou avec stockage d'énergie électrique.

Le couplage direct implique un fonctionnement au fil du soleil, donc à puissance essentiellement variable au cours de la journée. Les charges typiques à courant continu qui peuvent satisfaire le critère (tension constante à puissance variable) sont les accumulateurs électrochimiques. Les charges alternatives sont les pompes à eau, c'est le pompage au fil du soleil, le stockage est néanmoins présent sous la forme d'eau emmagasinée (dans un réservoir) Dans la plupart des cas une adaptation d'impédance doit être réalisée en insérant entre le générateur et sa charge électrique un dispositif électronique qui permet de forcer le système à fonctionner à sa puissance maximale.

[10]

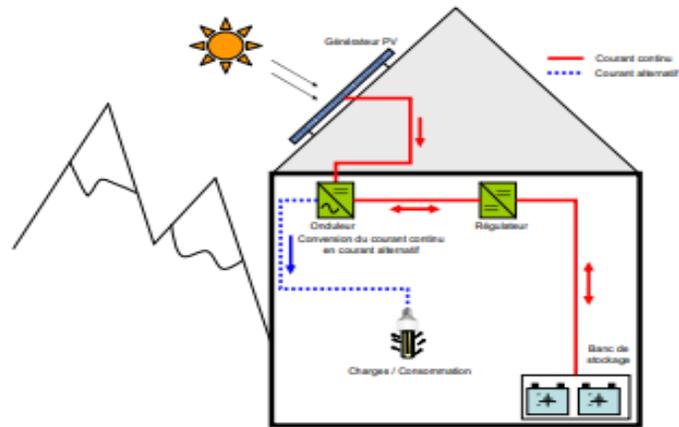


Figure II 4: Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes.

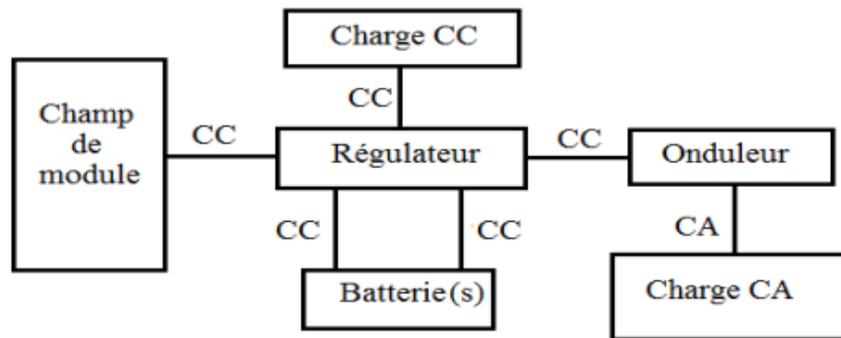


Figure II 5: Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome.

II-2-2- Systèmes photovoltaïques autonomes sans stockage :

Ils fonctionnent de la façon suivante (voir Figure-Système PV autonome sans stockage – Pompage au fil du soleil)

En journée, le générateur photovoltaïque alimente l'utilisation directement ou via un convertisseur Courant Continu/Courant Continu (CC/CC) ou Courant Continu/Courant Alternatif (CC/AC).

La puissance délivrée à l'utilisation est Fonction de l'ensoleillement. Durant la nuit, l'utilisation n'est plus alimentée et donc est à l'arrêt.

Les principales applications photovoltaïques fonctionnant au fil du soleil sont les suivantes : le pompage, la ventilation, la production de froid, le dessalement d'eau de mer, entre autres. [11]

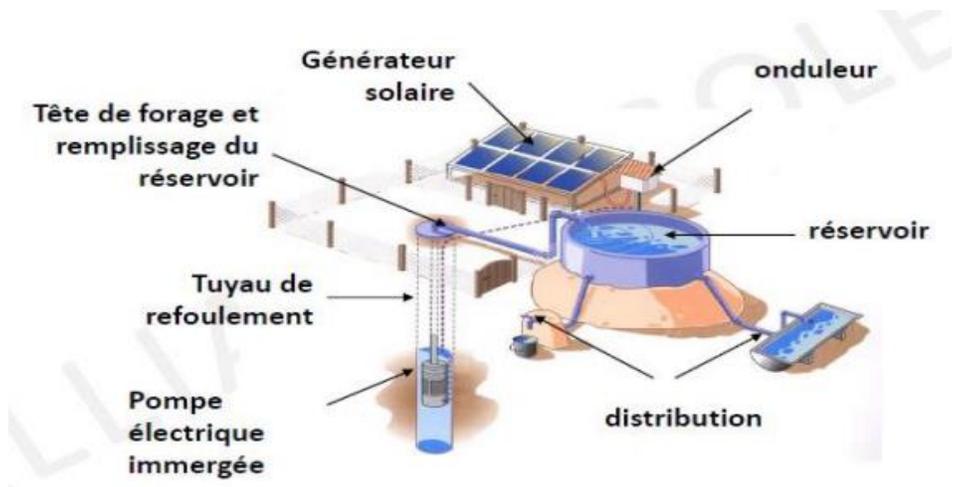


Figure II 6: Schéma de principe d'un système PV autonome sans stockage (pompage au fil du soleil).

II-2-3- Systèmes photovoltaïques autonomes avec stockage :

a- Le principe de fonctionnement est le suivant :

En journée, le générateur photovoltaïque alimente les récepteurs courant continu en fonctionnement et charge la batterie de stockage. Un contrôleur de charge évite la surcharge de la batterie en cas de surproduction solaire. Durant la nuit et par mauvais temps, les récepteurs sont alimentés par la batterie.

Un limiteur de décharge protège la batterie en cas de décharge profonde. En présence de récepteurs fonctionnant en alternatif, un onduleur autonome convertit la tension continue en tension alternative, permettant ainsi leur alimentation. [11]

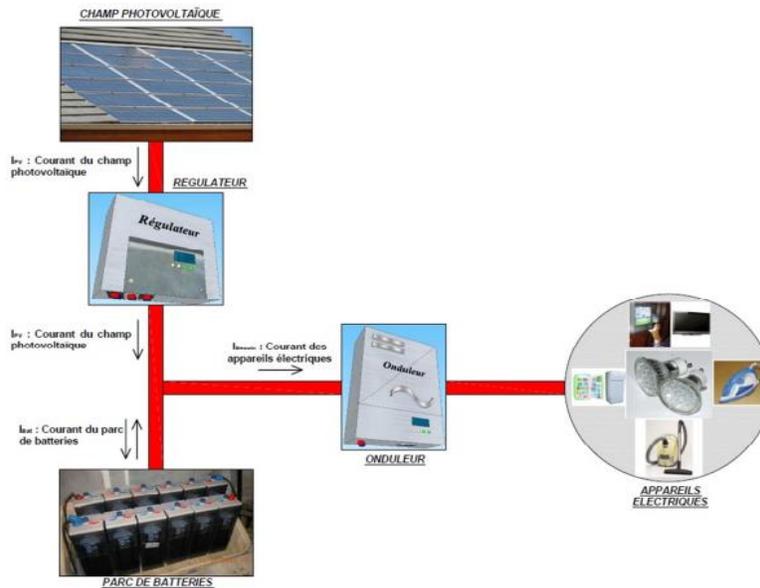


Figure II 7 : Schéma de principe d'un système PV autonome avec stockage.

II-2-4- distinguer les systèmes photovoltaïques autonomes :

On peut distinguer les systèmes photovoltaïques autonomes selon leur puissance et leurs applications :

- 1- Alimentation autonome de produits grand public (lampes solaires ou bornes de jardin) par générateur photovoltaïque de faible puissance.
- 2- Électrification de bâtiments (de quelques centaines de watts à quelques kW) : Ministères, Casernes militaires, Commissariats de Police, Gendarmeries, Ambassades, ONG, centre Radio et TV, centres administratifs sensibles, Résidence de personnalité importante (Présidence, Membres Gouvernement, Députés, Préfets, Maires, etc.), organismes secondaire, écoles, banques, agences de transfert d'argent et centres de santé (hôpitaux, cliniques, dispensaires) dans les pays en développement par kits photovoltaïques (Solar Home System - SHS), Universités, Instituts, Centres de recherche, etc.
- 3- Alimentation d'applications professionnelles (de quelques dizaines de watts à quelques kW): signalisation, protection cathodique, télécom... [11]

II-3- Pompage photovoltaïque:

Généralement, un système de pompage photovoltaïque est constitué d'un générateur photovoltaïque, un sous-système de pompage (moto pompe) et un réservoir d'eau (figure 8). Le stockage de l'eau dans les réservoirs est la solution adoptée par rapport au stockage électrochimique de l'énergie dans les batteries.

Le pompage de l'eau à l'aide de l'énergie photovoltaïque est utilisé pour l'alimentation en eau potable et pour l'irrigation. [12]

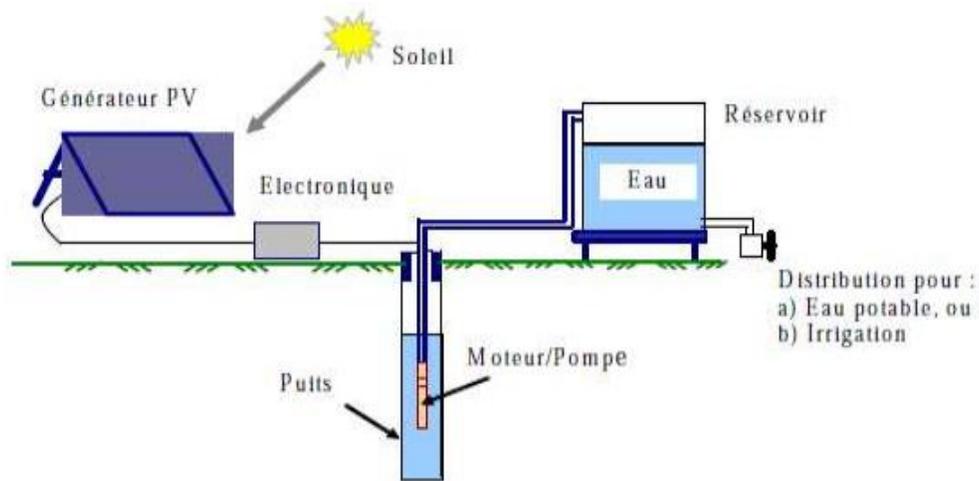


Figure II 8: Configuration générale d'un système de pompage photovoltaïque.

II-3-1- Les types de pompes :

Les pompes à eau sont habituellement classées selon leur principe de fonctionnement, soit de type volumétrique ou centrifuge et Le pompage au fil du soleil. [13]

II-3-2- Pompage au fil du soleil :

Le pompage au fil du soleil permet d'avoir un système photovoltaïque plus simple comme nous montre la figure ci-dessous.

Le stockage se fait de manière hydraulique, l'eau étant pompée, lorsqu'il y a suffisamment d'ensoleillement, dans un réservoir au-dessus du sol. Elle Est ensuite distribuée par gravité au besoin. [14]

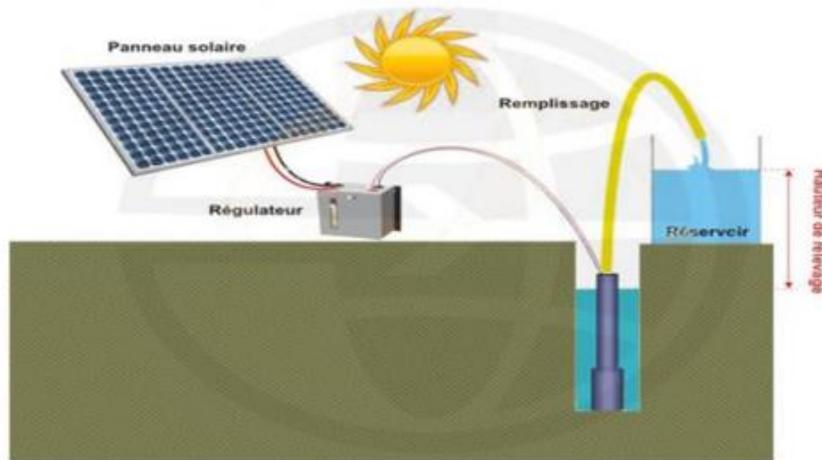


Figure II 9: Schéma d'un système de pompage au fil de soleil.

II-4- L'éclairage photovoltaïque :

II-4-1- Système d'éclairage public photovoltaïque autonome :

L'éclairage public solaire n'utilise pas l'énergie du réseau électrique. Seulement il utilise l'énergie électrique produite naturellement par la conversion des rayons du soleil en courant électrique à partir du module photovoltaïque, cette énergie stockée dans des batteries puis restituée la nuit pour assurer l'éclairage. C'est pour ça l'éclairage public photovoltaïque autonome proposés comme solution pour les sites isolés. [15]



Figure II 10: Eclair Age public.

II-5- Système de la protection cathodique par (Système photovoltaïque) :

II-5-1- Protection cathodique par le système PV :

Les applications industrielles principales de la protection cathodique concernent les canalisations enterrées ou immergées. Le choix d'une méthode de protection contre la corrosion électrochimique se fait d'une part, selon le milieu environnant et d'autre part, selon les considérations économiques.

La protection cathodique s'avère généralement peu coûteuse et efficace sur une longue durée lorsque cette technique est maîtrisée et accompagnée d'une bonne connaissance des conditions environnantes.

L'application de la technique de la protection cathodique a pour but de diminuer le potentiel de polarisation du métal à un niveau pour lequel la vitesse de corrosion du métal est réduite de façon significative. Le seuil de protection cathodique peut être déterminé thermodynamiquement et il correspond au seuil d'immunité.

Deux types de systèmes de protection cathodiques sont couramment appliqués : Les systèmes de protection galvanique utilisent les anodes galvaniques, également appelées les anodes sacrificielles, qui sont électrochimiquement plus électronégatives que la structure à protéger et les systèmes à courant imposé, par le biais d'un générateur de courant qui débitera un courant continu de l'anode vers la structure à protéger.

II-5-2- Principe de la protection cathodique:

Le principe de la protection cathodique repose sur l'idée d'inverser le rôle électrochimique de l'ouvrage à protéger, en favorisant une réduction cathodique à son niveau, et en reportant la réaction d'oxydation sur une autre structure, dont on accepte à priori la dégradation. On comprend facilement la méthode de protection cathodique par l'utilisation des courbes de polarisation. [16]

On représente conventionnellement les courbes de polarisation par la densité de courant i (A/m^2) en fonction du potentiel $E(V)$ de la pile de corrosion (structure- milieu) mesuré par rapport à une électrode de référence (Fig. 11).

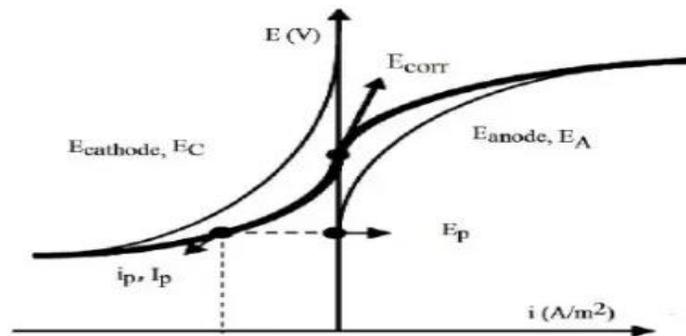


Figure II 11: Courbe de polarisation théorique.

La courbe en trait gras est considérée comme étant la somme de deux courbes Élémentaires, l'une caractérisant la réaction anodique et l'autre la réaction cathodique. Le point particulier noté (E_{corr}) est représentatif de la corrosion naturelle du métal. Si on impose au métal de la structure un potentiel E_p inférieur au potentiel anodique E_A , le point où le courant anodique est nul, il n'y a plus de réaction d'oxydation possible.

La structure est le siège seulement d'une réaction cathodique (réduction). C'est le principe même de la protection cathodique. En contrepartie, il est nécessaire de fournir des électrons en quantité suffisante, ceci se traduit par le courant de protection I_p . Il existe deux manières de réaliser la protection cathodique. Nous citerons la protection cathodique par anodes sacrificielles et la protection cathodique par courant imposé.

II-5-3- Protection par courant imposé (soutirage de courant) :

La protection par courant imposé (ou de soutirage) utilise une source d'énergie électrique en courant continu qui débite dans un circuit comprenant (Fig. 12) :

- Un déversoir (ou masse anodique),
- l'électrolyte (sol ou eau) et
- la structure à protéger. Le pôle positif de la source est relié au déversoir, alors que le pôle négatif est relié à la structure à protéger. Le courant venant du déversoir traverse l'électrolyte, puis entre dans la structure créant ainsi un abaissement de potentiel recherché correspondant à l'immunité du métal. [17]

II-5-4- Etude du tracé :

L'étude du tracé révèle des points spéciaux, points où des mesures complémentaires concernant la protection cathodique doivent être prises. Il s'agit notamment:

- d'un croisement avec une ligne de distribution d'énergie électrique basse tension au niveau du point kilométrique (PK) 255.67. Un transformateur
- redresseur pourrait être utilisé.
- de croisements avec d'autres structures métalliques enterrées aux points kilométriques (PK) 15 et 295. Une attention particulière est alors requise.

En outre, la conduite traverse des routes au niveau des points kilométriques (PK) 150 et 265. L'utilisation de gaines de protection mécanique s'avère indispensable.

II-5-5- Profil de résistivité :

La résistivité du sol sur toute la longueur de l'oléoduc, mesurée selon la méthode des quatre terres [18], révèle deux zones bien distinctes (Fig. 12):

Une zone de grande résistivité (points kilométriques 0 et 130) où l'utilisation des déversoirs est impossible et une zone de faible résistivité (points kilométriques 135 et 300) où l'utilisation de déversoirs de surface est possible.

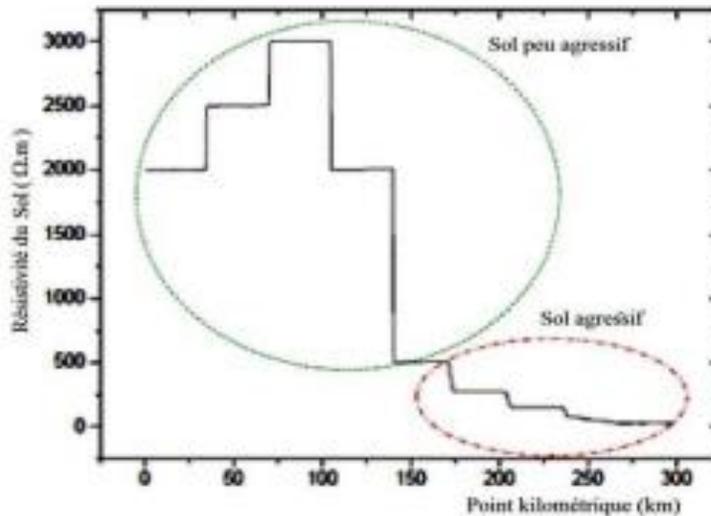


Figure II 12: Résistivité du sol en fonction du point kilométrique.

Les éléments qui constituent un système de protection cathodique par courant imposé avec appoint d'énergie solaire sont les suivants (Fig12). [19]

- Un système de soutirage, constitué d'un ou de plusieurs postes disposés dans un coffret comportant:

Compteur électrique, disjoncteur, redresseur de tension de sortie réglable, voltmètre, ampèremètre.

Le pôle négatif du redresseur est raccordé électriquement à la canalisation à protéger, le pôle positif à une masse anodique (ou déversoir) enterrée ou immergée :

- Un générateur photovoltaïque constitué des éléments suivants.
- Un ou des modules de cellules photovoltaïques.
- Un système de régulation.
- Un système de stockage.
- Un onduleur pour les charges alternatives.

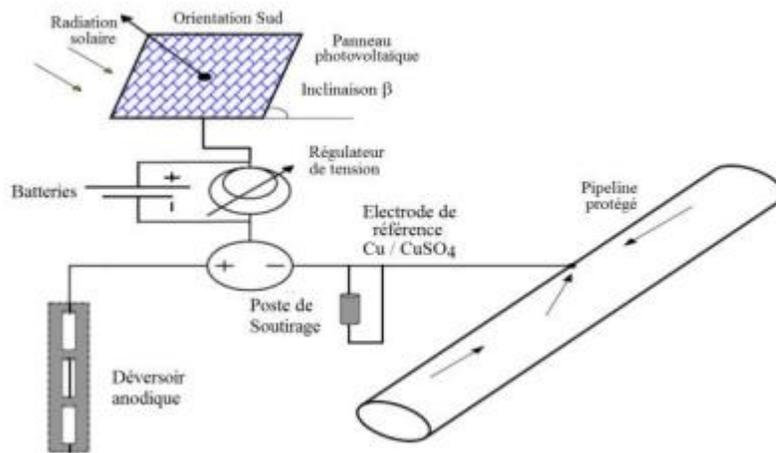


Figure II 13: Système de protection cathodique par appoint solaire.

II-5-6- Principe de la protection adoptée :

Le principe de la protection cathodique par courant imposé consiste à abaisser le potentiel du métal enterré par rapport au sol en dessous d'un seuil dit de protection. Les potentiels de l'acier revêtu dans les sols se situent habituellement entre -400 et -700 mV. [20] par rapport à une électrode de référence Cu/CuSO₄. En pratique, il est nécessaire d'assurer un abaissement du potentiel d'au moins 300 mV en tout point de la structure à protéger.

Cet abaissement du potentiel est obtenu en injectant dans ce métal, au point de soutirage, une densité de courant de protection difficile à appréhender, à priori.

Cependant, compte tenu des expériences effectuées sur différents métaux, nous pouvons la définir par la valeur moyenne de la totalité du courant de protection divisée par la surface totale de l'ouvrage à protéger. La notion de résistance d'isolement d'une canalisation est importante en protection cathodique, car elle influe directement sur l'intensité du courant de protection.

Définie comme la résistance électrique envers le sol d'un mètre carré de canalisation revêtue, elle dépend de la nature du revêtement utilisé dont la résistivité est toujours élevée, mais surtout des défauts de ce revêtement. Il y a lieu de signaler que tout ouvrage métallique traversé par un courant électrique est considéré comme conducteur. De ce fait, il présente une résistance, au passage de ce courant, appelée résistance longitudinale.

Cette dernière dépend de la nature du matériau et des dimensions des conduites. Les équations de base conduisant au calcul des paramètres de la protection cathodique sont basées sur le courant de protection.

II-5-7- Principe de fonctionnement :

Le panneau solaire photovoltaïque (PV) est une méthode de production d'énergie électrique en convertissant la lumière du soleil en électricité à courant continu à l'aide de matériaux semi-conducteurs qui présentent l'effet PV.

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, le soleil. La conversion directe de la lumière du soleil en électricité se produit sans effet secondaire et ni émissions environnementales pendant le fonctionnement. [21]

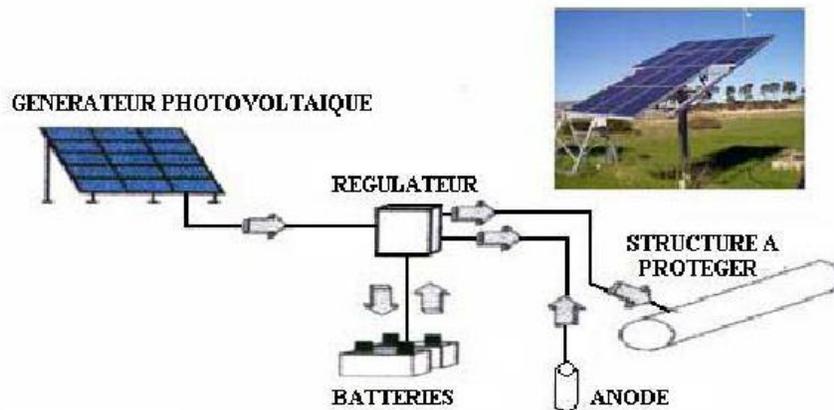


Figure II 14: Schéma d'un système de protection cathodique par système PV.

II-6- Générateur photovoltaïque :

Le terme générateur photovoltaïque GPV est utilisé pour désigner, selon l'application considérée, un module ou un panneau PV. Toutefois, il peut faire allusion au système PV tout entier. Pour la suite de ce document, on utilisera le terme GPV pour désigner un module ou un panneau PV. [22]

a- Paramètre photovoltaïque :

Ces paramètres sont caractérisés par ceux des modules constituant le champ PV.

b- Courant de court-circuit ICC :

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle.

c- Tension en circuit ouvert VCO :

C'est la tension V_{co} pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul.

d- Point de puissance maximale P_m :

L'utilisation optimale d'une photopile consiste à faire fonctionner une charge sous la tension maximale et à un courant maximal. En effet, suivant la formule $P=V.I$, pour que P soit maximal :

Il faut être dans les conditions où le produit $V.I$ est maximale, c'est le point de charge idéal de la photopile, ou point de puissance maximale P_m .

e- Facteur de forme FF :

Le facteur de forme représente l'efficacité de la cellule, il peut nous renseigner sur le vieillissement de la cellule.

C'est le rapport entre la puissance maximale que peut fournir une cellule et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale).

$$FF = \frac{P_{max}}{I_{cc} \cdot V_{co}} = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{I_{cc} \cdot V_{co}}$$

f- Rendement énergétique η :

Le rendement de conversion d'énergie est le rapport de la puissance générée et de la puissance du rayonnement solaire incident P_o .

On appelle rendement rapport de la puissance maximale fournie (P_{max}) sur la puissance du rayonnement solaire incident (P_i)

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_i} = \frac{I_{opt} \cdot V_{opt}}{E \cdot S} \quad \text{II.1}$$

S : Surface de la cellule solaire.

E : Flux incident.

II-7- Les zones de caractéristique I(V) d'un générateur Photovoltaïque :

La caractéristique fondamentale du générateur photovoltaïque donnée pour un éclairement et une température donnée, n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement, seule la courbe $I = f(V)$ est fixée. C'est la valeur de la charge aux bornes du générateur qui va déterminer le point de fonctionnement du système photovoltaïque.

La figure représente trois zones essentielles:

- a) **La zone (1)** : où le courant reste constant quelle que soit la tension, pour cette région, Le générateur photovoltaïque fonctionne comme un générateur de courant.
- b) **La zone (2)** : correspondant au code de la caractéristique, la région intermédiaire Entre les deux zones précédentes, représente la région préférée pour le fonctionnement du Générateur, où le point optimal (caractérisé par une puissance maximale) peut être déterminé.

- c) **c) La zone (3) :** qui se distingue par une variation de courant correspondant à une Tension presque constante, dans ce cas le générateur est assimilable à un générateur de tension. [23]

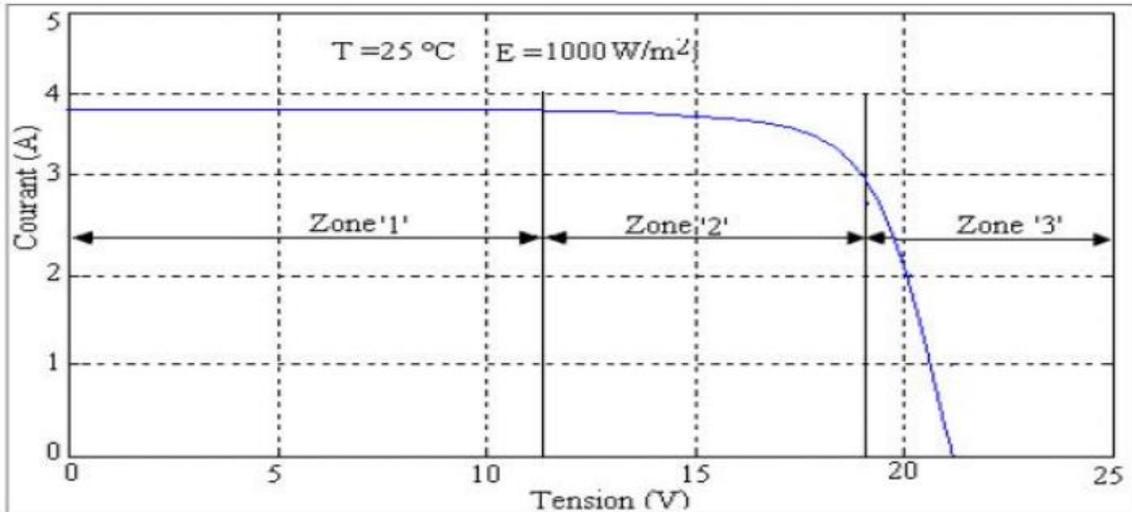


Figure II 15: Les différentes zones de Caractéristique I(V) entre générateur et module Photovoltaïque.

II-8- Modélisation et simulation du générateur photovoltaïque :

II-8-1- Modélisation du GPV :

Pour trouver le modèle de ce générateur, il faut tout d'abord retrouver le circuit électrique équivalent à cette source.

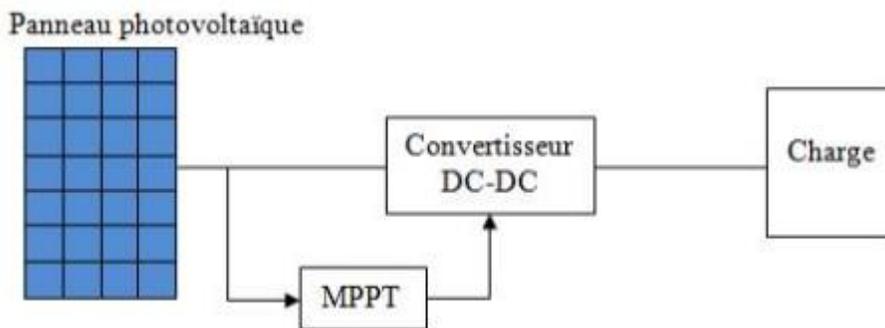


Figure II 16: Système photovoltaïque.

De nombreux modèles mathématiques de générateurs photovoltaïques, ont été développés pour représenter leur comportement très fortement non linéaire qui résulte de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations. Le module fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation d'une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule, une résistance série R_s représentant les diverses résistances de contacts et de connexions et une résistance parallèle R_p caractérisant les divers courants de fuites dus à la diode et aux effets de bords de la jonction.

Le générateur photovoltaïque est représenté par un modèle standard à une seule diode, établi par Shockley pour une seule cellule PV, et généralisé à un module PV en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série-parallèle. [24]

On présente le schéma du circuit électrique par la figure (17) :

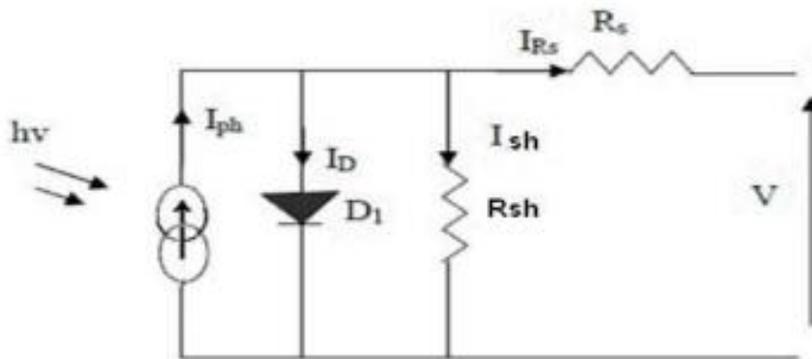


Figure II 17: Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Alors, on peut présenter le schéma électrique équivalent du générateur photovoltaïque (GPV) par comportant quatre paramètres. Deux variables d'entrées qui sont: l'ensoleillement dans le plan des panneaux E_s (W/m^2), température de jonction des cellules T_j ($^{\circ}C$) et

Deux variables de sortie : courant fourni par le GPV I_s (A), tension aux bornes du GPV V_s (V).

Plusieurs modèles mathématiques sont utilisés pour simuler le fonctionnement d'un générateur photovoltaïque. Ces modèles se différencient par la méthode de calcul et le nombre des paramètres intervenants dans la caractéristique courant-tension.

Dans ce cas, on a choisi un modèle simple ne nécessitant que les paramètres donnés par le fabriquant. [24]

La caractéristique de ce modèle est :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{q(V_{pv} + (I_{pv} * R_s))}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + (I_{pv} * R_s)}{R_p} \quad \text{II.2}$$

Où V_{pv} , I_{pv} sont la tension (V) et le courant (A) de sortie du panneau, I_{ph} est la photo courant en ampère, I_{sat} Courant dans la diode en ampère, R_s est la résistance série en ohm, R_h est la résistance shunt en ohm, q est la charge de l'électron $q=1.602.10e-19$ coulomb, k est la constante de Boltzmann $k=1.381.10e-23$ J/K, n est le facteur de qualité de la diode, normalement compris entre 1 et 2.

II-9-Simulation du générateur photovoltaïque :

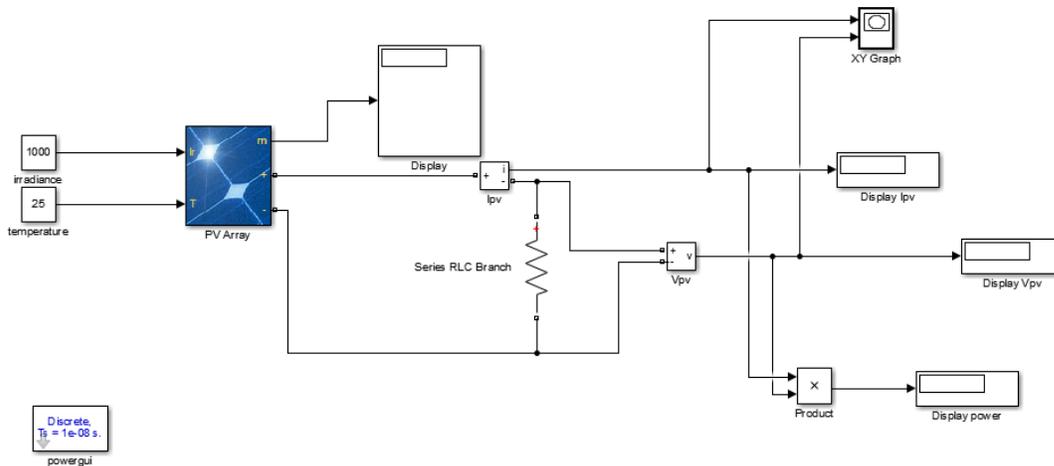


Figure II 18: Schéma de générateur PV en MATLAB-SIMULINK.

a- Résulta :

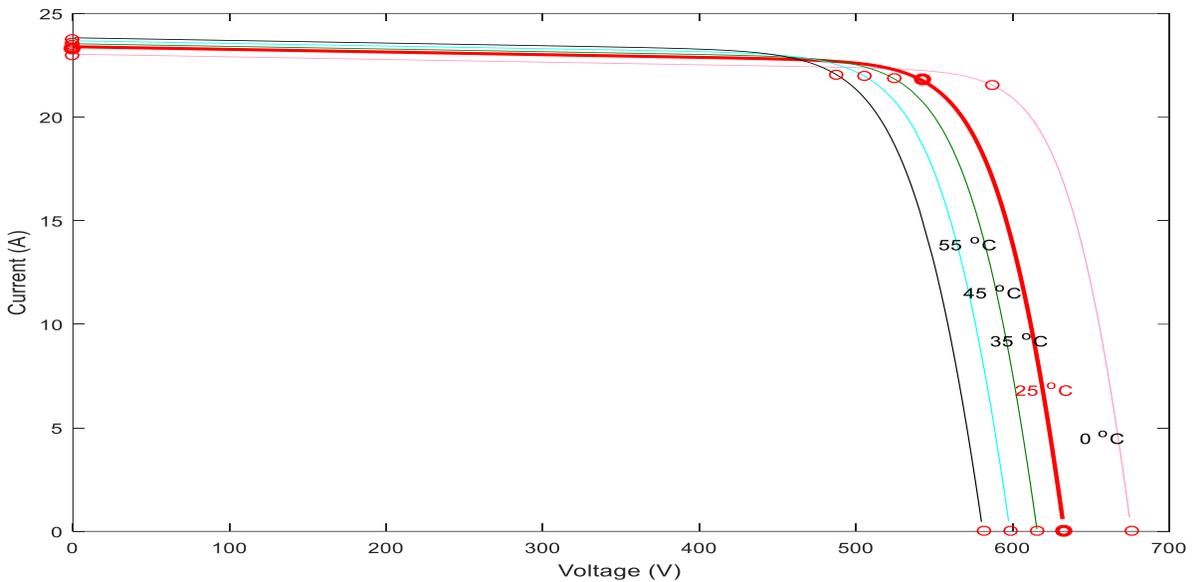


Figure 39: Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension, pour différentes températures et un éclairement 1000W/m².

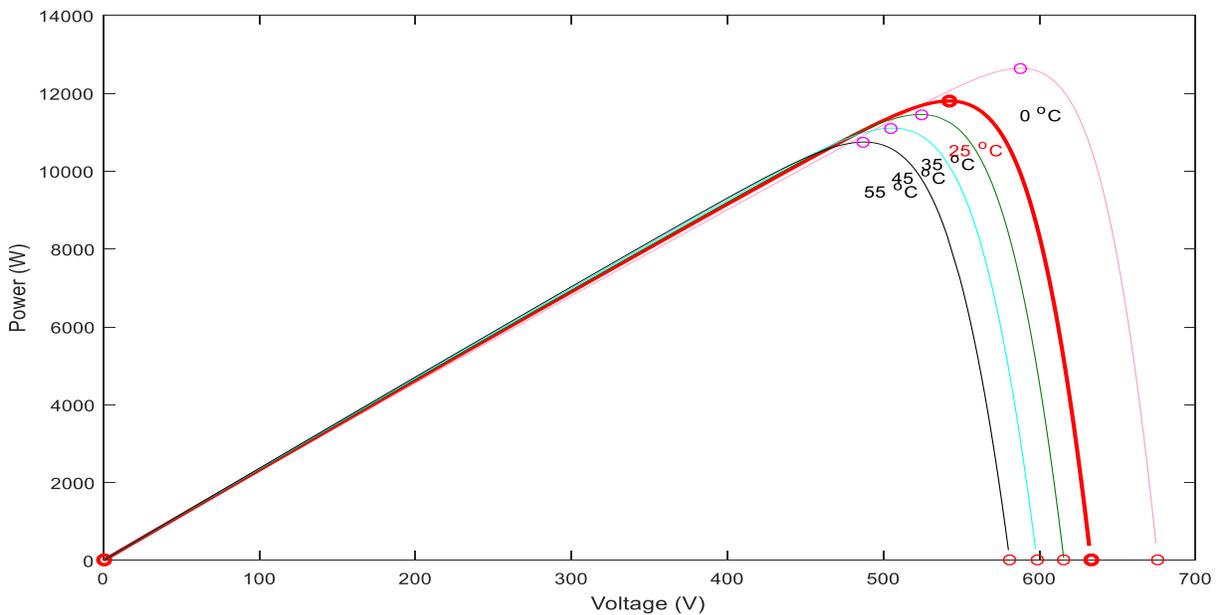


Figure 40: Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension, pour différentes températures et un éclairement 1000W/m².

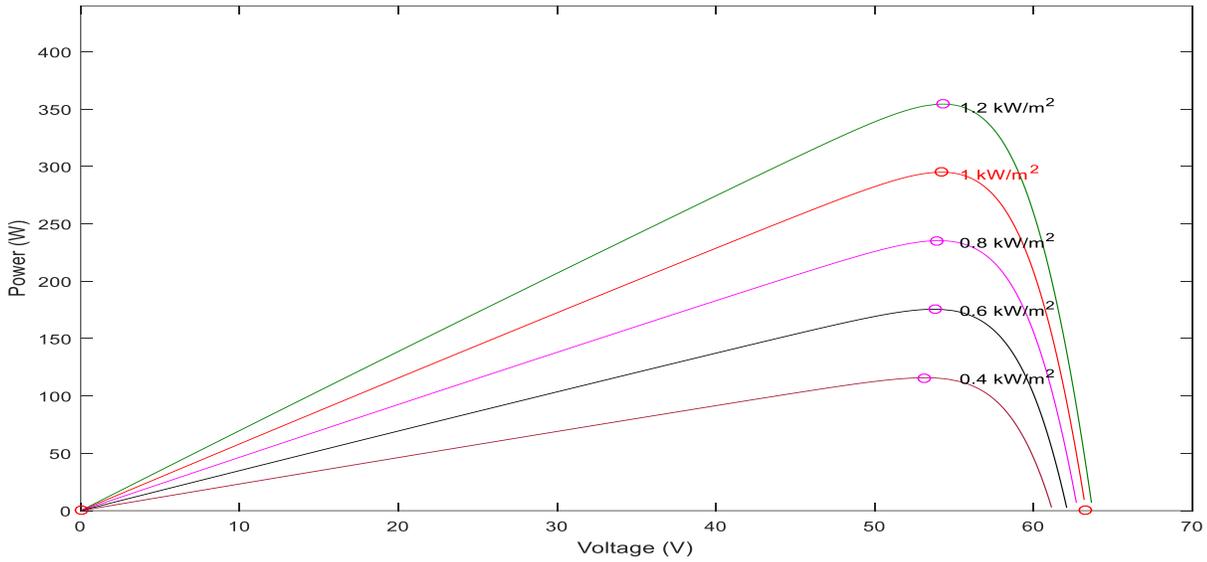


Figure 21: Résultats de simulation des caractéristiques Courant-Tension pour différents éclairements et une température 25°C.

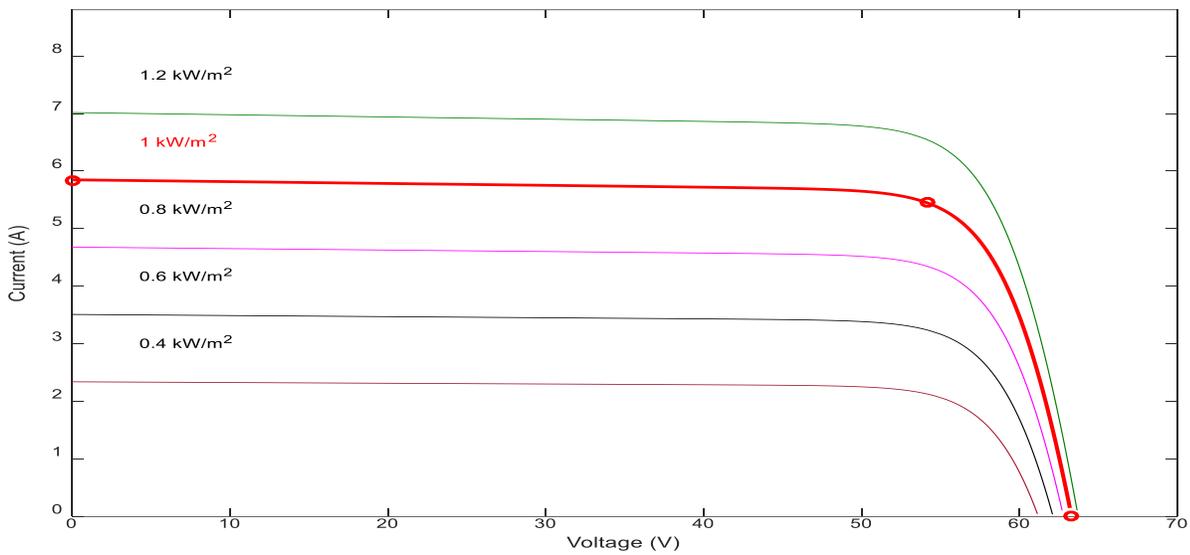


Figure 22: Résultats de simulation des caractéristiques Puissance-Tension Pour différents Eclairement et une température 25°C.

b- Commentaire :

Les résultats de simulation du générateur photovoltaïque représentent par les figures (19) à (22).

Ces figures représentent les caractéristiques Courant-Tension et Puissance Tension pour différentes températures et différents éclairagements. Les figures (19) et (20) ci-dessous montrent que la tension à vide d'un module photovoltaïque (une cellule solaire) diminue avec l'augmentation de la température du module PV (de la cellule). Le courant de court-circuit, par contre, augmente légèrement avec la température du module PV (de la cellule solaire).

Ces figures montrent clairement la baisse du rendement causée par l'augmentation de la chaleur sur la cellule. On peut remarquer sur la figure (20) que l'augmentation de la température se traduit aussi par une diminution de la puissance maximale disponible. Les figures (21) et (22) montrent l'influence de l'éclairagement sur les caractéristiques courant-tension et puissance-tension. A une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairagement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique.

Conclusion

Dans ce chapitre, la modélisation de l'ensemble composé de : générateur photovoltaïque, hacheur survolteur et la commande MPPT « perturbation et observation » est présentée. Les modèles SIMULINK sont construits pour les différentes composantes du système photovoltaïque. D'après les résultats obtenus de la simulation, on remarque :

- Les performances du générateur PV se dégradent avec l'augmentation de la température, la diminution de l'intensité de l'éclairement et les variations de la charge. Les performances du générateur PV sont évaluées à partir des conditions standards (CST) : éclairement $1000\text{W}/\text{m}^2$
- Le convertisseur DC-DC et la commande MPPT effectuent correctement leurs rôles. Le convertisseur fournit dans les conditions optimales une tension à sa sortie supérieure à celle fournie par le générateur PV. Température 25°C .
- La commande MPPT adapte le générateur PV à la charge: transfert de la puissance maximale fournie par le générateur PV.

CHAPITRE III

Systeme de protection cathodique PV

III -1- Introduction :

Ce chapitre, Nous avons introduit le système de protection cathodique pour un pipeline (tube acier) à travers une mini-expérience, à travers laquelle nous avons remarqué qu'un courant électrique continu, donne per un panneau devrait être appliqué pour accéder à un système de protection.

Les principaux objectifs de conception de la protection cathodique sont de fournir une densité de courant continu suffisante pour toutes les parties de la structure afin d'attirer la structure à une norme acceptable et répercute par le tube en acier.

III-2- Coté alimentation :

a) Panneau solaire :

- Sur ces **Figure 1**, nous voyons le panneau solaire sur lequel nous Avon travaillé dans notre expérience.



Figure III 1: panneau solaire.

b- Les type de régulateur de charge :

-Régulateur PWM :

PWM est un dispositif qui indique que le contrôleur de charge fonctionne en émettant des impulsions électriques à la batterie avec longueurs d'onde variables.

À la fin de chaque impulsion, le contrôleur de charge s'arrête brièvement pour mesurer la capacité de la batterie et ajuste la valeur de sortie en conséquence.

Le contrôleur de charge PWM agit comme un commutateur intelligent entre la batterie et le panneau solaire qui contrôle la tension et le courant circulant vers la batterie. **(Figure 2)** montre le contrôleur de charge solaire PWM. [25]

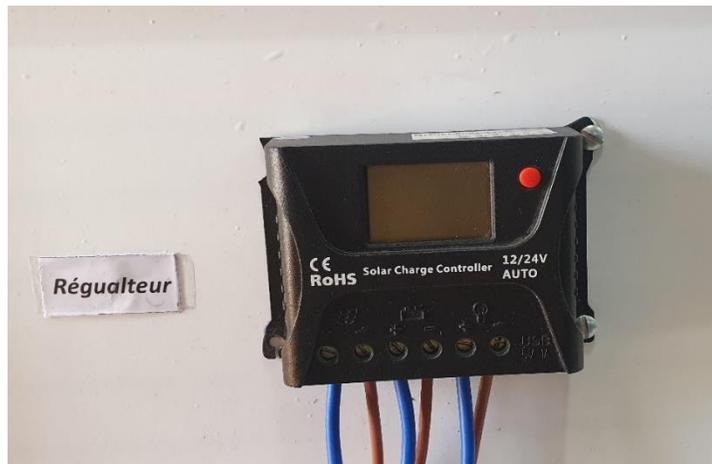


Figure III 2: Régulateur PWM.

- Régulateur MPPT :

Les régulateur MPPT ou Maximum Power Point Tracking, utilise un circuit spécial Cherche le point de puissance maximale du générateur pour charge (l'accumulateur) avec le plus grand courant possible.

L'avantage de ce type de régulateur est qu'il permet de travailler dans une grande plage de température. [26]



Figure III 3: Régulateur MPPT.

c- Batterie :

Une installation photovoltaïque autonome (dite aussi site isolé) comporte une ou plusieurs batteries pour stocker l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques. Ces batteries spécifiques sont appelées "batterie à décharge lente" (ou pour simplifier batterie solaire). Ces batteries sont conçues pour restituer un courant stable pendant de longues périodes en conservant leurs aptitudes à la recharge, et ceci à un grand nombre de reprises (cycles), on parle de batteries stationnaires ou à décharge lente.



Figure III 4: Batterie.

d- Fusible et le port fusible :

Un fusible est le cylindre vertical souvent brun dont le rôle est d'ouvrir un circuit électrique lorsque le courant électrique dans celui-ci atteint une valeur d'intensité donnée pendant un certain temps. Son nom vient du fait qu'il fonctionne par fusion d'un filament conducteur, sous l'effet de l'élévation de température provoquée par la surintensité. [27]

- Pourquoi avons-nous besoin de fusibles?

Pour diverses raisons, les câbles dans les appareils électriques peuvent soudainement se retrouver avec beaucoup plus courant que ce qu'ils devraient. Si nous ne disposons pas des fusibles, ces courants élevés pourraient endommager nos téléviseurs, radios, ordinateurs, et les ampoules, éventuellement provoquer des incendies, et peut-être même mettre des vies en danger.

Les fusibles électriques protègent donc les appareils électriques en bloquant les courants qui sont plus grands que ce qu'ils devraient.

e- Porte-fusible :

Le porte-fusible se trouve au sein du tableau électrique où il joue un rôle protecteur. À ce titre, son utilité est identique à celle d'un disjoncteur divisionnaire.

- Un rôle de protection très important :

Sur certaines installations électriques non équipées de disjoncteurs divisionnaires ou d'interrupteur différentiel, le porte-fusible peut efficacement proposer la même prestation. Le porte-fusible est conçu pour héberger un fusible et être placé au sein du tableau pour protéger un équipement dédié ou une ligne d'équipements ou de prises spécifiques. Le porte-fusible intervient donc lorsqu'une fuite de courant est détectée entre la phase et le neutre.

En faisant sauter le fusible, cet appareil de protection coupera l'alimentation de l'équipement électrique concerné et protégera les biens et les personnes. [28]

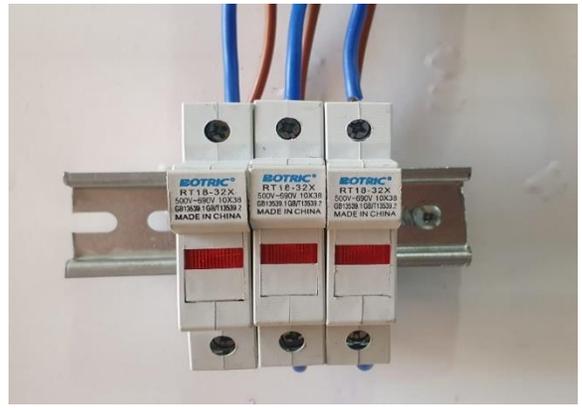


Figure III 5: fusibles et port fusible.

f- Rhéostat :

Pour définir un rhéostat, nous devons savoir ce qu'est une résistance ou une résistance. Les résistances sont des appareils électriques destinés à contrôler le flux de courant. La définition formelle d'un rhéostat sera - Il s'agit d'un appareil à trois terminaux, dont deux sont utilisables. Il y a un curseur comme terminal mobile, et un seul est utilisable sur deux terminaux fixes. Un rhéostat typique se compose également d'un matériau résistif et d'un curseur. [29]



Figure III 6: Rhéostat.

g- Multimètre :

Un multimètre est indispensable pour mesurer le courant électrique : ampères, volts, ohms. Il est particulièrement utile pour détecter tous les problèmes électriques dans la maison. Pour rappel, l'ampère est la mesure d'intensité du courant, l'ohm est la mesure de résistance d'un circuit électrique et le volt est la mesure de tension.

- L'utilisation d'un multimètre :

Il faut savoir qu'un tel appareil remplace plusieurs appareils : ampèremètre, voltmètre, ohmmètre. Si vous devez en acheter un, retenez qu'il en existe deux types : le multimètre analogique ou à aiguille et le multimètre digital.

Ces appareils peuvent aussi proposer d'autres mesures : température du circuit, fréquence des signaux électriques, pics de tension, etc.

Le multimètre dispose de deux bornes qui doivent être raccordées au circuit électrique à mesurer. Sélectionnez à l'aide du bouton l'un des modes présents en fonction de vos Besoins, puis branchez les câbles. Il est préférable de bien lire le mode d'emploi avant utilisation. [30]



Figure III 7: Multimètre.

K- Fils électrique :

Ces câbles à fiche banane peuvent être utilisés pour des essais électriques ou de laboratoire, Ils sont très utiles pour connecter des composants à des fils. Connu avec des couvertures en plastique isolées pour la sécurité et une installation facile.

Excellent composant électronique pour tester des composants électroniques avec un multimètre et d'autres instruments. Il y a cinq câbles de couleurs différentes pour une identification facile des mesures. [31]



Figure III 8: Fils électrique.

III-2-1- Calie de charge :

Tableau III 1: représenté Caractéristique du cotie alimentation.

Matérielle	Caractéristique
Panneau	$P_{max} = 50 \text{ w}$ / $I_{mp} = 2.87 \text{ A}$ / $V_{mp} = 18 \text{ V}$ Voltage(vol)=21.6V/ E=1000 w/m ,Tc=50c
Régulateur PWM	Voltage =12 V/24 V Courant = 10A
Batterie	Courant = 7 A / 12V
porte-fusible	RT 18-32 V 500 V -690 V / 10x38
Fusible	RT 28- 32 10 x 38 /500V
Rhéostat	100 Ω 1.8 A
Multimètre	fluke multimètre
Fils électrique	2.5 mm ² / ampérage 20 A.

III-2-2- Réalisation :

Dans cette première partie du travail effectué, du côté de l'alimentation, qui vise à obtenir un certain courant électrique à appliquer au tube d'acier, nous avons besoin dans cette partie de l'expérience d'un ensemble d'équipements spéciaux comprenant:

- Panneau / Régulateur PWM / Batterie / Porte-fusible.
- Fusible / Rhéostat / Multimètre / Fils électrique.

C'est la configuration la plus courante des systèmes photovoltaïques autonomes, elle comporte des panneaux solaires et le régulateur de charge et batteries qui emmagasinent l'énergie électrique produite par le générateur photovoltaïque au cours de la journée. Donc, le stockage électrochimique dans les batteries est indispensable pour assurer le fonctionnement nocturne ou durant un nombre de jours prédéfinis dans le dimensionnement des systèmes photovoltaïques.

Chaque composant du système devra être choisi en fonction des contraintes techniques et économiques.

Pour obtenir le résultat et voir si ce système fonctionne bien, il peut y avoir 5 modes à exécuter en fonction du processus de connectivité suivant pour les périphériques, comme illustré dans (Figure 10) :

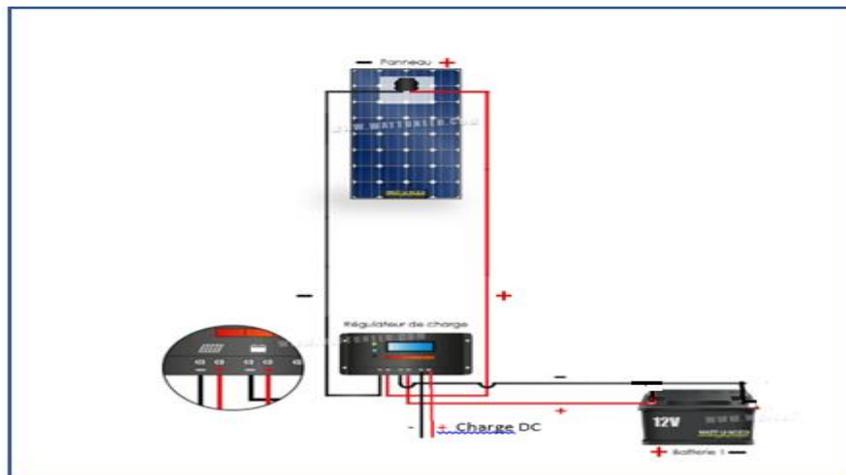


Figure III 9: Schéma synoptique

Chaque composant du système devra être choisi en fonction des contraintes techniques et économiques.

Pour obtenir le résultat et voir si ce système fonctionne bien, il faut suivre lors du branchement et du débranchement:

Mode de branchement:

Il faut commencer par le branchement par la charge c'est-à-dire fermé l'interrupteur de la charge (qui est un rhéostat pour le test du montage) ensuite la batterie et enfin le panneau solaire.

Mode de débranchement :

Dans ce cas, on ouvre la source qui est le panneau solaire ensuite la batterie et en fin la le rhéostat qui représente la charge DC.

Comme, on peut utiliser ce système pour le chargement de la Batterie, en débranchant la charge et en laissant le panneau et la batterie avec le régulateur de charge surement.

Rhéostat: Chaque fois que nous avons besoin de changer la valeur de la résistance, les Coqs entrent en vigueur. Si nous devons augmenter le flux de courant, nous augmenterons la résistance de l'appareil. Lorsque nous devons réduire le flux de courant dans le cercle, nous augmenterons la valeur de la résistance.

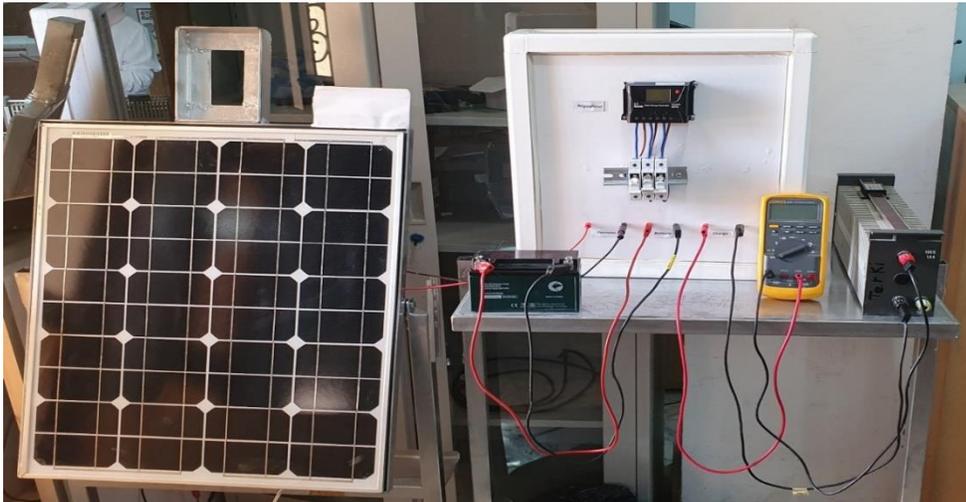


Figure III 10: Coté alimentation.

III-3- Profile de charge :

a- Tube en acier :

On parle de Fonte d'acier, lorsque la teneur en Carbone dépasse 2%. La fonte d'acier se soude difficilement (la soudabilité est inversement proportionnelle à la teneur en Carbone). La fonte d'acier est plus dure que l'acier, par conséquent : l'acier se plie, la fonte d'acier se casse.

- Température de fusion de l'acier = 1538°C
- Température ébullition de l'acier = 2861°C
- Densité : aux alentours de 7.5



Figure III 11: Tube en acier

b- Revêtement tube acier :

Nous avons enveloppé la partie extérieure du tube d'acier comme indiqué dans figure (12), de sorte que nous obtenons la même position que le pipe dans un état réel comme indiqué sur figure (12-B), et son but est de protéger l'appartement extérieur du pipe



A



B

Figure III 12: Tube en acier

c- L'Aquarium :

Dans ce travail, nous avons utilisé l'aquarium, nous y avons mis de l'eau pour obtenir un milieu similaire à celui où le pipeline est sous le sol, car il y a une interaction entre le pipeline et le sol que nous avons pu obtenir dans l'aquarium en utilisant de l'eau.



Figure III 13: Aquarium.

d- Les anodes :

Et dans **Figure 14**, nous voyons la forme de l'anode réelle et la façon dont elle est positionnée.



figure III 14: les anodes et la façon dont elle est positionnée.

- Nous avons utilisé des fils électriques pour représenter les anodes du pôle positif et les cathodes du pôle négatif de (**Figure 15**) à la place des anodes réelles, qui sont des conducteurs négatifs ou positifs.



figure III 15: fils électriques (représenter le pôle positif et les cathodes du pôle négatif).

e- Isolant :

Ruban de couleur, largeur de 15 mm, en PVC souple, pour le gainage de fils électriques, utilisé pour le revêtement du tube acier.



figure III 16: isolant.

III-4- Calie de charge :

Tableau III 2 : calier de charge (profile de charge).

Matérielle	Caractéristique
Tube en acier	L = 20 cm / D = 16 mm
L'Aquarium	Lo =50 cm / H = 20 cm / La = 30
Electrode (anode , cathode)	Fils électrique 2.5 mm ²
Isolant	IncurSION la tube en acier

III-5- Système de la protection cathodique PV :

a- Réalisation :

La dernière étape est la combinaison du coté alimentation avec le profil de la charge qui représente un pipeline sous-sol : le tube c'est le pipeline et le sol humide c'est l'eau. Le Prototype d'un système de Protection Cathodique Photovoltaïque est illustré sur la figure19, les électrodes sont le pôle positif et celui négatif. Le tube en acier enveloppé par du un ruban isolant vert (revêtement) est plongé dans un aquarium contenant de l'eau. La cathode est attachée au tube afin d'évité n'importe quelle réaction avec l'eau.

L'anode est à l'autre côté d'aquarium

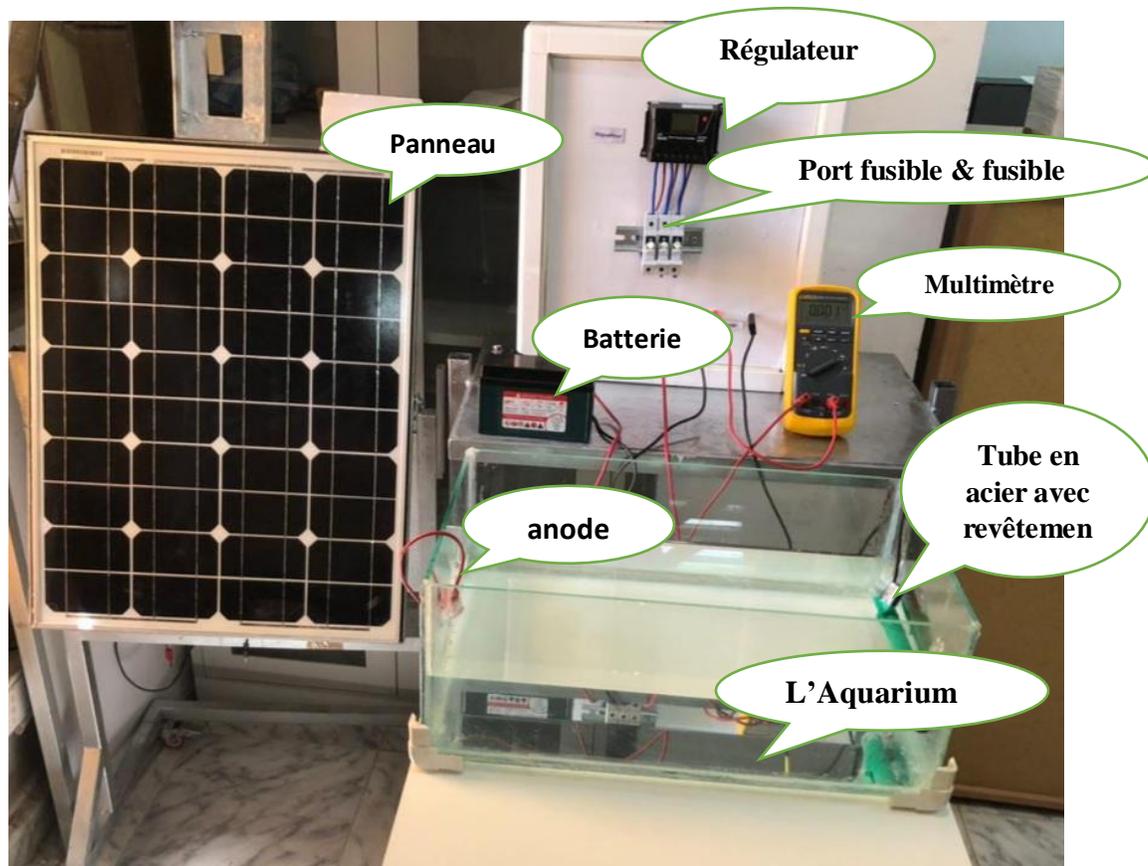


Figure III 17: Prototype d'un système de protection cathodique

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé en premier lieu le côté alimentation du système de protection cathodique, où est donné le cahier de charge de chaque composant ainsi que la façon de câbler à travers un schéma synoptique.

Le profil de charge aussi est réalisé, les électrodes : anode et cathode sont prise du côté alimentation et le tous constituent le système complet.

Et Dans ce chapitre aussi, nous réalisation le system Prototype (d'un système de protection cathodique PV).

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le choix du transport de carburants par canalisations enterrées reste le moyen le plus efficace, notamment lorsqu'il s'agit d'évacuer de grandes quantités sur de longues distances. De ce fait, il est important de l'entretenir et de lutter contre le phénomène de corrosion car c'est un gros problème pour ces canalisations. L'expérience de l'industrie pétrolière a montré que la sécurité de telles structures dépend notamment de la fiabilité du système de protection cathodique.

Nous voyons que l'efficacité de la protection cathodique a été prouvée par des années d'expérience. On lui a en effet donné dans certains pays un caractère réglementaire et obligatoire pour son application dans le cas des gazoducs et des produits pétroliers. Au cours de ce travail, nous nous sommes intéressés à l'étude et la réalisation d'un prototype d'un système de protection cathodique PV à courant imposé. Ainsi, les avantages d'une telle protection sont :

- Augmentation des temps d'exécution.
- Réduire les coûts de maintenance.
- Éviter les arrêts imprévus.

Nous avons mené une étude théorique incluant le système général de protection. Ensuite, nous avons fait un balayage sur les différents types systèmes photovoltaïques et ses applications les plus courantes notamment la protection cathodique.

La réalisation d'un prototype était notre objectif, le prototype du système de protection cathodique PV composé de deux parties : coté alimentation DC et Profil de charge ou un tube d'acier de 20 cm est revêtu par un isolant qui représente en réalité le pipeline.

On suggère comme poursuite de travail d'appliquer la protection cathodique PV par courant imposé aux différentes charges et de continuer de faire les tests de tension pour confirmer et prouver l'efficacité de la protection cathodique qui utilise l'énergie solaire comme source d'alimentation.

Résumé

En Algérie, les pipelines sont utilisés pour transporter les hydrocarbures des champs pétroliers vers les raffineries et les réservoirs de stockage. Ces pipelines sont largement utilisés car ils constituent le moyen le plus sûr et le plus économique de transporter des hydrocarbures. Cependant, l'un des défis auxquels l'industrie pétrolière et gazière est confrontée est la corrosion des installations d'infrastructure. La protection par courant imposé est une méthode utilisée pour protéger les pipelines en contact avec le sol de la corrosion. Le système photovoltaïque fournit une solution fiable qui permet aux modules PPC d'être placés le long de la canalisation souterraine, assurant ainsi la distribution d'énergie pour des exigences de protection efficaces.

Mots clés

pipeline - Corrosion - Canalisations souterraines - Protection cathodique - Poste soutirage - système photovoltaïque.

Abstract

In Algeria, pipelines are used to transport hydrocarbons from oil fields to refineries and storage tanks. These pipelines are widely used because they are the safest and most economical way to transport hydrocarbons. However, one of the challenges facing the oil and gas industry is the corrosion of infrastructure facilities. Impressed current protection is a method used to protect pipelines in contact with soil from corrosion. The photovoltaic system provides a reliable solution that allows the PPC modules to be placed along the underground pipeline, thus ensuring the power distribution for efficient protection requirements.

Keywords pipeline - Corrosion - Underground pipes - Cathodic protection - Withdrawal station - photovoltaic system.

ملخص

في الجزائر، تُستخدم خطوط الأنابيب لنقل الهيدروكربونات من حقول النفط إلى المصافي وخزانات التخزين. تستخدم خطوط الأنابيب هذه على نطاق واسع لأنها الطريقة الأكثر أمانًا والأكثر اقتصادًا لنقل الهيدروكربونات. ومع ذلك، فإن أحد التحديات التي تواجه صناعة PPC النفط والغاز هو تآكل مرافق البنية التحتية، تعتبر الحماية بالتيار القسري هي طريقة تستخدم يوفر النظام الكهروضوئي حلاً موثوق في حماية الأنابيب الملمسة للأرض من التآكل. والذي يسمح بوضع وحدات على طول خط الأنابيب تحت الأرض، وبالتالي ضمان توزيع الطاقة لمتطلبات الحماية الفعالة

Bibliographie

Bibliographie :

[1]-KETHIRI, M. F. "Dimensionnement d'une protection cathodique alimentée en photovoltaïque dédiée à la lutte contre la corrosion à la cimenterie « CILAS Lafarge » Biskra". Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra, (2019-2020).page (1-2).

[2] LShreir, R A Jarman,G T Burstein "Corrosion Vol. 2, Corrosion Control" third ed. Butterworth Heinemann, 2000 ISBN 0-7506-1077-8.

[3] V. S. Sasti, E. Ghali, and M. Elboujdaini "Corrosion Prevention and protection practical solutions" Ed J. Wiley & Sons LTD 2007 ISBN: 978-0-470-02402-7.

[4]https://www.oieau.org/eaudoc/system/files/documents/45/226040/226040_doc.pdf?

[5] <https://studylibfr.com/doc/2092502/l-essentiel-sur-la-protection-cathodique?>

[6] Les canalisation d'eau et de gaz éd. Tech. & doc. Lavoisier, 1987.

[7]https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/36987/WHO_OFFSET_11_%28chp6-chp11%29_fre.pdf?sequence=2&isAllowed=y

[8] - Manuel de protection cathodique », édition Technip, 1970.

[9]- GUEDAOURIA H., " Dimensionnement d'un système photovoltaïque pour alimenter le laboratoire LPDS au sien de l'université de Béchar ", Mémoire de Master, Université Tahri Mohammed Bechar, 2017.

[10]- Généralité sur les systèmes photovoltaïques et les émulateurs d'énergie renouvelable – Apprendre en ligne (clicours.com).

[11]- Systèmes d'énergies solaires photovoltaïques autonomes et hybrides – POWER-AFRICA.

- [12]- (Amokrane Karima; " Etude des Performances des systèmes de pompage photovoltaïque destinés pour l'alimentation en eau potable ". Mémoire de master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 23 Novembre 2008).
- [13]- Jimmy Royer, Thomas Djiako, Eric Schiller, Bocar Sada Sy; " Le Pompage Photovoltaïque, Manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens ". IEPF/Université d'Ottawa/EIER/Crepa, 1998.
- [14]- Degla Mohammed et Larbi Ben Ahmed Bachir, Mémoire de MASTER PROFESSIONNEL, Domaine Sciences et Technologies, « Dimensionnement d'un Système de Pompage Photovoltaïque » Filière Electronique, Spécialité Instrumentation, université kasdi merbah ouargla, 2017.
- [15]- Bencherif Abdelbacet, Seddiki Benyoucef; " Etude technico économique d'un système photovoltaïque en site isolé par Pvsyst ". Mémoire de Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2017 /2018.
- [16]- D. Talbot and J. Talbot, 'Corrosion Science and Technology', CRC Press LLC, New York, USA, 1998.
- [17]- API, 'Cathodic Protection of Underground Petroleum Storage Tanks and Piping Systems', API Recommended Practice 1632, Third Edition, May 1996, American Petroleum Institute, 2002.
- [18] -W. von Baeckmann, W. Schwenk and W. Prinz, 'Handbook of Cathodic Corrosion Protection', Third Edition, Elsevier Science, 1997.
- [19]- S. Kharzi, M. Haddadi and A. Malek, 'Dimensionnement d'un Système de Protection Cathodique Alimenté par Energie Solaire: Elaboration d'une Configuration Standard avec quatre Modules Photovoltaïques', Colloque National sur l'Energie Solaire Proceedings, Béjaïa, Algérie, pp. 61 – 66, 2006.
- [20]-Rapport, 'La Protection Cathodique- Guide Pratique', Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production du pétrole et du gaz naturel. Comité des techniciens. Edition Technip, France 1986.

- [21]- MR MILOUDI -ABDELMALEKMR BEKKOUCHE- ABDELKRIM MR BEKKOUCHE ZIAD Mémoire master - Université D'El Oued Echahid Hamma Lakhdar (Dimensionnement d'un système de protection cathodique par courant imposé alimenter par énergie solaire) -page 32-Ch II- Conception du system de protection cathodique/ Soutenu en JUIN 2021.
- [22]- H. Boukli “ Conception et Réalisation d’un Générateur Photovoltaïque Muni D’un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique “ Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2010/2011.
- [23]- I.Bendjamaa “Modélisation et commande d’un système de stockage photovoltaïque “ Mémoire de Magister Université Abou-Baker Blkaid-Tlemcen 2011/2012.
- [24]- W.Bensaci” Modélisation et simulation d’un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT ” Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla 2011/2012.
- [25]- Quaschnig, V.2005. Photovoltaïques. Understanding Renewable Energy Systems, London, Sterling, VA: Earthscan, 115-172.
- [26]- F. BOUACHRI et A. Ghoubar, Mémoire de fine d’études « Elaboration du logiciel PVDIM pour le dimensionnement des systèmes photovoltaïque » Université Saad Dahleb de BLIDA 2007.
- [27]<https://www.automation-sense.com/blog/automatisme/les-fusibles-electriques.html>?
- [28]- [Qu’est-ce que le porte-fusible ? - TotalEnergies](#)
- [29]- <https://fr.lambdageeks.com/rheostat-variable-resistor/>.
- [30] - <https://fr.eni.com/particuliers/comprendre-energie/entretien-equipements/multimetre-definition-fonctionnement>.
- [31]- [https:// www.amazon.fr/Zyyini-Banane-câbles-électriques-Laboratoire/dp/B07S2ZKD4F](https://www.amazon.fr/Zyyini-Banane-câbles-électriques-Laboratoire/dp/B07S2ZKD4F).