

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الدكتور الطاهر مولاي سعيدة

Université Saida Dr Tahar Moulay –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Projet de recherche présentée

pour l'obtention du Diplôme de MASTER

En : Électrotechnique

Spécialité : Réseaux Électriques

Par LAKHACHE Benyahia

Sujet

Conception et réalisation d'un circuit de contrôle de l'éclairage routier pour les routes à double voies et les en captant les lumières des véhicules qui passent

Soutenue publiquement en .../06/2022 devant le jury composé de :

Mr.HARTANI.M

Univ. Saida

Président

Mr. MANKOUR.M

Univ. Saida

Rapporteur

Mr. CHIKOUCHE.M.T

Univ. Saida

Rapporteur

Mr.SEKOUR .M

Univ. Saida

Examineur

Remerciement

Nous tenons à remercier premièrement Dieu Tout Puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donnere durant toutes ces longues années d'études.

Nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadrant monsieur, pour avoir accepté de diriger ce travail avec beaucoup d'attention et de disponibilité. Ce fut un réel plaisir de bénéficier à la fois de ses connaissances scientifiques et techniques mais aussi de ses qualités d'écoute pédagogique.

Nous remercions les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.

Notre profonde gratitude à tous les enseignants du département d'électrotechnique, et laboratoire de génie Electrotechnique (LGE) à l'université de Saida Dr. Moulay Tahar.

Enfin, Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous les amis et les collègues pour le soutien moral et matériel...

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Aux êtres les plus chers à mon cœur, ma mère et mon père, qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenu tout au long de mon cursus.

À mes très chères sœurs et mes très chers frères

À tous les petits-enfants et petites-filles

À toute ma famille

Et à tous mes enseignants

Finalement je le dédie également à tous mes amis et mes collègues et tous ceux que j'aime.

Résumé :

L'analyse de l'éclairage public a révélé l'importance de ce secteur en termes de consommation énergétique et de dépenses budgétaires. La mise en œuvre d'un système intelligent et autonome, reposant sur l'énergie solaire et le stockage local, permet non seulement de réduire les coûts d'exploitation à long terme, mais aussi de diminuer significativement l'impact environnemental des infrastructures urbaines.

Ce travail a permis de démontrer qu'une approche combinée entre production décentralisée d'énergie renouvelable, stockage adapté, et utilisation rationnelle de l'énergie représente une solution concrète pour atteindre les objectifs de développement durable. L'éclairage public solaire avec stockage constitue une alternative fiable, économique et écologique aux systèmes traditionnels alimentés par le réseau électrique.

Les mots clé : Éco-éclairage – éclairage public – l'énergie photovoltaïque – systèmes de stockage

ملخص:

كشف تحليل الإضاءة العامة عن أهمية هذا القطاع من حيث استهلاك الطاقة ونفقات الميزانية. إن تنفيذ نظام ذكي ومستقل، يعتمد على الطاقة الشمسية والتخزين المحلي، لا يقلل من تكاليف التشغيل على المدى الطويل فحسب، بل يقلل أيضاً بشكل كبير من التأثير البيئي للبنية التحتية الحضرية. وقد أثبت هذا العمل أن النهج المشترك بين الإنتاج اللامركزي للطاقة المتجددة، والتخزين المكيف، والاستخدام الرشيد للطاقة يمثل حلاً ملموساً لتحقيق أهداف التنمية المستدامة. تعد الإضاءة العامة بالطاقة الشمسية مع التخزين بديلاً موثوقاً واقتصادياً وصديقاً للبيئة للأنظمة التقليدية التي تعمل بالشبكة.

الكلمات المفتاحية: إيكو-إكليراج – الإضاءة العامة – الطاقة الكهروضوئية – أنظمة التخزين

Liste des figures

Figure I.1 : composante du rayonnement global sur plan horizontal	6
Figure I.2:présentation du solaire à concentration thermodynamique producteur d'électricité	7
Figure I.3 : Principe de fonctionnement d'un CESI (Chauffe-Eau Solaire Individuel)	7
Figure I.4 : L'énergie solaire photovoltaïque	8
Figure I.5 : Structure basique d'une cellule solaire	9
Figure I.6 : système photovoltaïque plus détaillé	9
Figure I.7 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.	10
Figure I.8 : Différents types de panneaux solaires	12
Figure I.9: Groupement de panneaux solaires photovoltaïques	13
a) Série b) Parallèle c) Série/Parallèle	13
Figure I.10: différents types de régulateurs	14
Figure I.11 : Différents types de systèmes photovoltaïques	15
Figure I.12 : Système photovoltaïque autonome	15
Figure I.13 : Système photovoltaïque hybride.	16
Figure I.14 : Système photovoltaïque raccordé au réseau	17
Figure II.1 : Coûts des différentes technologies d'accumulateurs électrochimiques	21
Figure II.2 : Durée de vie et rendement des différentes technologies de batteries	21
Figure II.3 : batterie ouverte au plomb	22
Figure II.4 : Composition d'une batterie monobloc.	22
Figure II.5 : Accumulateur lithium de Varta	24
Figure II.6: Processus de fonctionnement d'une batterie	25
Figure II.7 : Connexion des batteries	27
Figure II.8: Schéma de principe d'un système PV avec batterie.	28
Figure II.9: 1 ^{ère} Mode _Charge déconnectée	28
Figure II.10 : 2 ^{ème} Mode _Batterie chargée par le courant excédentaire	29
Figure II.11: 3 ^{ème} Mode _Courant nul dans la batterie.	29
Figure II.12: 4 ^{ème} Mode _Décharge de la batterie dans le circuit.	30
Figure II.13: 5 ^{ème} Mode _Courant d'utilisation fourni par la batterie	30
Figure II.14: Principe d'une diode antiretour.	31
Figure II.15: Principe de fonctionnement d'un régulateur charge/décharge	32
Figure II.16: Régulateur charge/décharge.	33
Figure III.1: Photo réel de l'accès à la ville de Naama (éclairage type classique)	40

Liste des figures

Figure III.2 : Photo réelle d'accès de ville Boughtobe (éclairage avec panneau solaire) _____	40
Figure III.3 : Prototype Eco éclairage _____	42
Figure III.4 : Éco-éclairage réalisé par Arduino _____	44
Figure III.5 : schéma fonctionnel de l'auto rupteur par programme Proteus _____	45
Figure III.6 : câblage _____	46
Figure III.7 : Ligne d'éclairage avec autorupteur _____	46

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Différents types de panneaux solaires	11
Tableau III.1 : comparaison des résultats	48

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des figures _____ I

Liste des tableaux _____ III

Table des matières _____ IV

Introduction général _____ 1

Chapitre I :

Généralités sur système photovoltaïque

I.1. Introduction _____ 4

I.2. Définition de l'énergie renouvelable _____ 4

I.3. L'énergie solaire _____ 4

I.4. Rayonnement solaire _____ 5

I.5. Notions préliminaires sur le rayonnement solaire _____ 5

I.5.1. Rayonnement direct _____ 5

I.5.2. Rayonnement diffus _____ 5

I.5.3. Rayonnement réfléchi _____ 6

I.5.4. Rayonnement global _____ 6

I.6. Les différentes technologies solaires _____ 6

I.6.1. Solaire à concentration thermodynamique _____ 6

I.6.2. Solaire thermique _____ 7

I.6.3. Solaire photovoltaïque _____ 8

I.7. Historique du photovoltaïque _____ 8

I.8. Effet photovoltaïque _____ 9

I.9. Les panneaux solaires _____ 10

I.9.1. Définition _____ 10

I.9.2. La cellule photovoltaïque _____ 10

I.9.2.1. Circuit équivalent et modèle mathématique _____ 10

I.9.3. Différents types de panneaux solaires _____ 11

I.9.3.1. Monocristallines _____ 11

I.9.3.2. Polys cristallins _____ 11

I.9.3.3. Amorphes _____ 11

Table des matières

I.9.4. Fonctionnement panneau photovoltaïque	12
I.10. Générateur photovoltaïque	12
I.11. batterie	13
I.12. Le régulateur de charge	13
I.13. Les onduleurs	14
I.14. Le système photovoltaïque	14
I.15. Différents types de systèmes photovoltaïques	14
I.15.1. Les systèmes autonomes	15
I.15.2 Les systèmes hybrides	16
I.15.3 Système raccordé au réseau	16
I.16. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque	17
I.16.1. Avantages	17
I.16.2. Inconvénients	17
I.17. conclusion	18

Chapitre II :

Système de stockage d'énergie

II.1. Introduction	20
II.2. Stockage de l'énergie	20
II.3. Technologies et Types d'accumulateurs	20
II.3.1. Types d'accumulateurs	22
II.4. Principe de fonctionnement	25
II.5. Principales caractéristiques des accumulateurs	26
II.5.1. Capacité en Ampère heure	26
II.5.2. Rapports de chargement et déchargement	26
II.5.3. Température	26
II.5.4. La durée de vie	26
II.5.5. Profondeur de décharge	26
II.5.6. La tension d'utilisation	26
II.5.7. Le rendement	26
II.5.8. Le taux d'autodécharge	27
II.6. Association de batteries	27
II.7. Principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque avec batterie	28
II.7.1. Modes de fonctionnement	28

II.8. Calcul de système avec stockage	30
II.8.1. Détermination de la capacité de l'accumulateur	30
II.9. Contrôle de charge	31
II.9.1. Les diodes anti-retour	31
II.9.2. Le régulateur de charge	31
II.10. Les critères de choix d'une batterie solaire	34
II.11. Conclusion	35

Chapitre III :

Eco Eclairage

1 Introduction	40
Les problèmes posées par l'éclairage	41
2.1 type classique	41
III.2.2 types à panneau solaire	41
3 Les solutions proposées	41
Présentation du prototype de l'auto-rupteur	42
Définition :	42
Réalisation du prototype	42
1 – Réalisation à l'aide de carte Arduino	43
Matériel nécessaire	43
Principe de fonctionnement	43
Schéma de câblage :	43
Code Arduino :	43
Réalisation d'un circuit électronique :	44
Schéma électronique du auto rupteur	45
Principe de fonctionnement	45
Câblage	45
1. En cas de panneau solaire	45
2. En cas de câble conducteur (type classique)	45
Les résultats attendus :	47
L'impact économique du Eco éclairage	49
L'impact environnemental du Eco éclairage	49
Conclusion général	56
Références bibliographiques	58

Introduction générale

Dans un contexte mondial marqué par la transition énergétique et la recherche de solutions durables, les technologies liées à la production d'énergie renouvelable et à l'optimisation de la consommation électrique occupent une place centrale. Parmi ces technologies, le photovoltaïque s'impose comme l'une des sources d'énergie les plus prometteuses. Exploitant directement l'énergie solaire pour produire de l'électricité propre, il constitue une alternative crédible aux énergies fossiles, tout en contribuant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Cependant, la nature intermittente de l'énergie solaire soulève des défis, notamment en ce qui concerne sa disponibilité continue. D'où l'importance du stockage de l'électricité, qui permet de conserver l'énergie produite pendant les périodes d'ensoleillement pour l'utiliser ultérieurement, notamment pendant la nuit ou les journées nuageuses. Ce stockage peut se faire à l'aide de batteries, de systèmes hydrauliques ou encore de technologies innovantes de conversion et de gestion de l'énergie.

Dans le même ordre d'idées, l'un des domaines où ces avancées trouvent une application particulièrement pertinente est l'éclairage public. Responsable d'une part significative de la consommation énergétique des collectivités, l'éclairage public est au cœur des politiques d'économie d'énergie. En combinant l'énergie solaire, des systèmes de stockage efficaces et des technologies d'éclairage à haute efficacité (comme les LED), les villes peuvent réduire considérablement leur facture énergétique, tout en améliorant la qualité de vie des citoyens et en préservant l'environnement.

Ainsi, l'intégration des systèmes photovoltaïques avec stockage dans les infrastructures d'éclairage public représente une solution innovante et durable pour répondre aux enjeux énergétiques, économiques et écologiques actuels.

Chapitre I :

Généralités sur système photovoltaïque

I.1. Introduction

Les énergies renouvelables sont des énergies inépuisables. Elles sont issues des éléments naturels : le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la Terre, la croissance des végétaux... On qualifie les énergies renouvelables d'énergies "flux" par opposition aux énergies "stock", elles-mêmes constituées de gisements limités de combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz, uranium). Contrairement à celle des énergies fossiles, l'exploitation des énergies renouvelables n'engendre pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Ce sont les énergies de l'avenir, mais elles sont encore sous-exploitées par rapport à leur potentiel puisque ces énergies renouvelables ne couvrent que 20 % de la consommation mondiale d'électricité. Les énergies renouvelables sont également désignées par les termes « énergies vertes » ou « énergies propres ». Utiliser les énergies renouvelables, présente de nombreux avantages. Cela aide à lutter contre l'effet de serre, en réduisant notamment les rejets de gaz carbonique dans l'atmosphère. Cela participe de plus à une gestion intelligente des ressources locales et à la création d'emplois. [1]

I.2. Définition de l'énergie renouvelable

Les énergies renouvelables sont toutes les énergies que la nature constitue ou reconstitue plus rapidement que l'Homme ne les utilise. Elles peuvent ainsi être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

Exemple :

- Vent : éolienne
- Soleil : thermique, photovoltaïque, thermodynamique.
- Chaleur terrestre : géothermie.
- Eau : hydroélectrique, marémotrice.
- Biodégradation : biomasse.
- Biocarburant. [2]

I.3. L'énergie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique. Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KWc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge.

Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés:

L'énergie solaire thermique : qui consiste tout simplement à produire de la chaleur grâce à des panneaux sombres. On peut aussi produire avec de la vapeur à partir de la chaleur du soleil puis convertir la vapeur en électricité.

L'énergie solaire photovoltaïque : qui consiste à produire directement de l'électricité à partir de la lumière à l'aide de panneaux solaires. Cette forme d'énergie est déjà exploitée dans de nombreux pays, surtout dans les pays ou les régions ne disposant pas de ressources énergétiques conventionnelles tels que les hydrocarbures ou le charbon [3].

I.4. Rayonnement solaire

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km , soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène – hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium, la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement.

Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s , met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale de l'atmosphère est présenté un maximum pour une longueur d'onde d'environ $0.5\mu\text{m}$, la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780°K [4] :

- Diamètre de soleil $D_s = 1.39 * 10^9\text{m}$
- Diamètre de la terre $D_t = 1.27 * 10^7\text{m}$
- Distance moyenne soleil_ terre $L_{ts} = 1.5 * 10^{11}\text{m}$

I.5. Notions préliminaires sur le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet($0.2\mu\text{m}$) à l'infrarouge lointain($2.5\mu\text{m}$). On utilise la notion AM pour Air Mass afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise. Pour tenir compte de la distance traversée par les rayons, il est nécessaire d'introduire une notion de masse d'air (AM) elle correspond à la longueur relative du parcours à travers l'atmosphère terrestre traversée par le rayonnement solaire direct. Au niveau du sol le rayonnement global reçu par une surface plane d'inclinaison quelconque est constitué de trois composantes principales [3] :

I.5.1. Rayonnement direct

Flux solaire sous forme de rayons parallèles provenant de disque soleil sa savoir été dispersé par l'atmosphère. [5]

I.5.2. Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus c'est le rayonnement solaire provenant de toute la voûte céleste, le rayonnement est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire par l'atmosphère (les molécules d'air, les gouttelettes d'eau, les poussières, ...) et à sa réflexion par les nuages [6]

I.5.3. Rayonnement réfléchi

C'est la partie de l'éclairement solaire réfléchi par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuage, sable...). Il se caractérise par un coefficient propre de la nature de lien appelé Albédo(ε) $0 \leq \varepsilon \leq 1$. [5]

I.5.4. Rayonnement global

Un plan reçoit de la part du sol un rayonnement global qui est le résultat de la superposition des trois compositions direct, diffus et réfléchi. Le schéma ci-dessus illustre l'explication des types de rayonnement solaire Figure (I.1) [5]

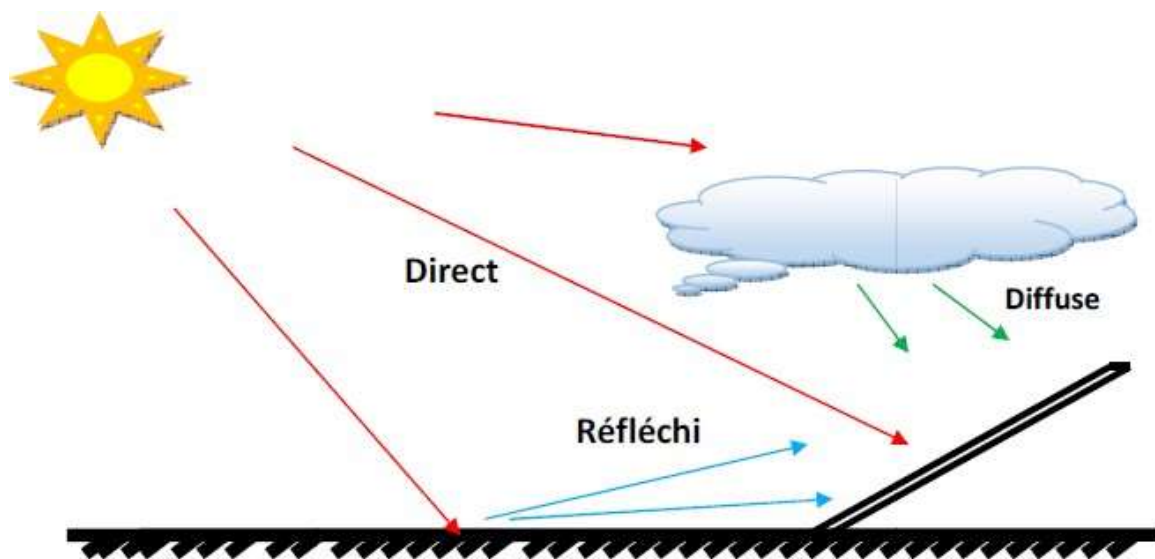


Figure I.1 : composante du rayonnement global sur plan horizontal [7]

I.6. Les différentes technologies solaires

Il existe trois façons d'utiliser directement l'énergie solaire : la thermodynamique, la thermique et le photovoltaïque. [8]

I.6.1. Solaire à concentration thermodynamique

Le solaire à concentration thermodynamique est une technologie qui utilise des miroirs qui concentrent l'énergie solaire vers un tube contenant un fluide caloporteur qui chauffe jusqu'à une température pouvant atteindre 500°C. La chaleur obtenue est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne une turbine couplée à un alternateur qui produit de l'électricité. L'un des grands avantages de cette technologie provient du fait que la chaleur peut être stockée, permettant ainsi aux centrales solaires de produire de l'électricité pendant la nuit. Les miroirs qui collectent l'énergie solaire (placés à 3 ou 4 mètres du sol) forment une zone d'ombre sur le sol, cependant il arrive suffisamment de lumière pour éventuellement cultiver des fruits ou des légumes. Une partie de l'eau douce formée sur place par condensation en sortie de turbine, peut être utilisée pour l'arrosage [9]



Figure I.2 : présentation du solaire à concentration thermodynamique producteur d'électricité [8]

I.6.2. Solaire thermique

Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil. Cette forme de conversion d'énergie peut être directe si on veut uniquement chauffer de l'eau sanitaire. 17 Par contre, si on veut générer de l'électricité, il faudra utiliser des générateurs qui convertissent l'énergie thermique générée en électricité (par exemple, moteurs à air chaud).

L'énergie thermique utilise la chaleur du rayonnement solaire pour le chauffage de bâtiments ou de l'eau sanitaire. Pour cette dernière il est intéressant de savoir que dans certains pays le chauffage d'eau sanitaire représente environ 20% des dépenses énergétiques d'un foyer et que l'énergie solaire thermique peut subvenir à environ 80% de cette dépense énergétique [10].

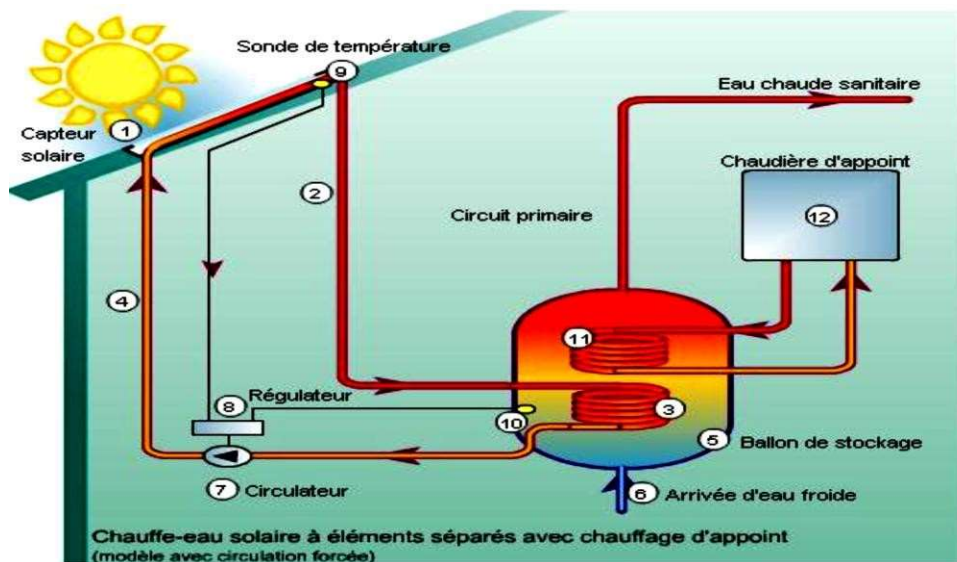


Figure I.3 : Principe de fonctionnement d'un CESI (Chauffe-Eau Solaire Individuel) [8]

I.6.3. Solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des sources d'énergie les plus utilisées et les plus renouvelables. Elle est transmise à la terre sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique depuis l'espace. Elle consiste à transformer directement le rayonnement solaire en électricité. On utilise des convertisseurs photovoltaïques, également appelés cellules photovoltaïques, qui sont le composant fondamental de la conversion photovoltaïque [9] [10].



Figure I.4 : L'énergie solaire photovoltaïque [8]

I.7. Historique du photovoltaïque

Quelques dates marquantes dans l'histoire du photovoltaïque [11]:

1839 : Le physicien français Antoine Edmond Becquerel découvre la possibilité de produire de l'électricité grâce à la lumière et la présence de matériaux semi-conducteurs comme le silicium [12].

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire [13].

1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites [14].

1958 : Les premiers satellites avec panneaux solaires sont envoyés dans l'espace et au même moment une cellule avec un rendement de 9% est mise au point, l'un des premiers satellites américain, l'Explorer-6 lancé en août 1959 était équipé de panneaux solaires, sa masse était de 40 Kg disposait une caméra sommaire pour voir la terre [14].

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques a été construite à l'université de Delaware [15].

1983 : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie [14].

2000 : La loi EEG sur les énergies renouvelables (EEG), entrée en vigueur le 1er avril 2000 et modifiée en 2004 et 2009, est le résultat de la transposition de la directive européenne relative à la promotion des énergies renouvelables dans le secteur de l'électricité [12].

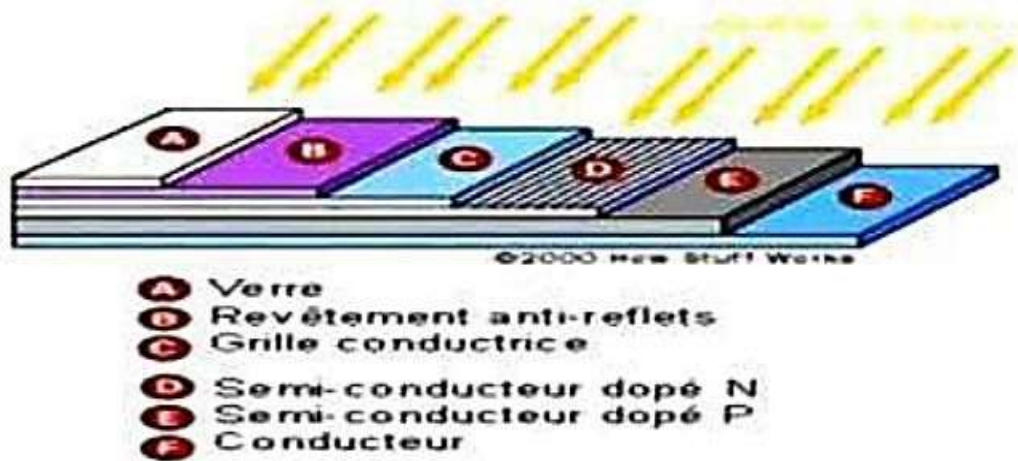


Figure I.5 : Structure basique d'une cellule solaire [16].

I.8. Effet photovoltaïque

Le scientifique français, Edmond Becquerel, fut le premier à découvrir en 1839 l'effet photoélectrique. Il a trouvé que certains matériaux pouvaient produire une petite quantité de courant sous l'effet de la lumière. Par la suite, Albert Einstein a découvert, en travaillant sur l'effet photoélectrique, que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie était portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon est donnée par la relation (1.1) [17] :

$$E_{ph} = \frac{h \cdot C}{\lambda_0} \quad 1.1$$

Où E_{ph} représente la quantité d'énergie, λ_0 la longueur d'onde, h la constante de Planck et C la vitesse de la lumière. Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande.

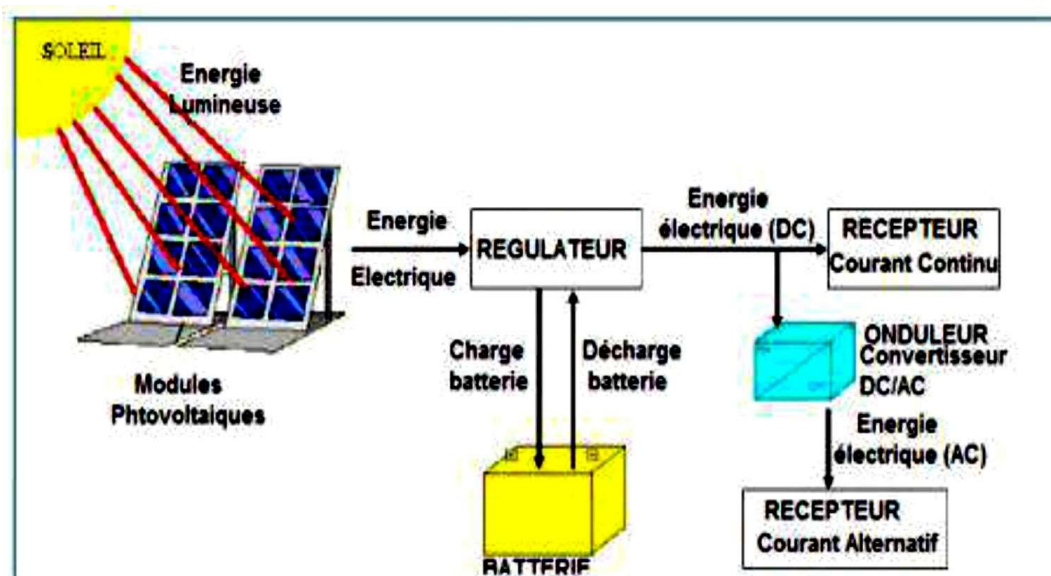


Figure I.6 : système photovoltaïque plus détaillé [18]

I.9. Les panneaux solaires

I.9.1. Définition

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est l'élément constitutif des modules photovoltaïques. Un panneau photovoltaïque est constitué de plusieurs cellules en série ou en parallèle afin d'obtenir une tension souhaitée. [2]

I.9.2. La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique [19].

I.9.2.1. Circuit équivalent et modèle mathématique

La figure I.7 présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque. Il correspond à un générateur de courant I monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma. [20]

Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule [21]:

- La résistance série (R_{ser}) est la résistance interne de la cellule : elle dépend Principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de Contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.
- La résistance shunt (R_{shu}) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle Dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

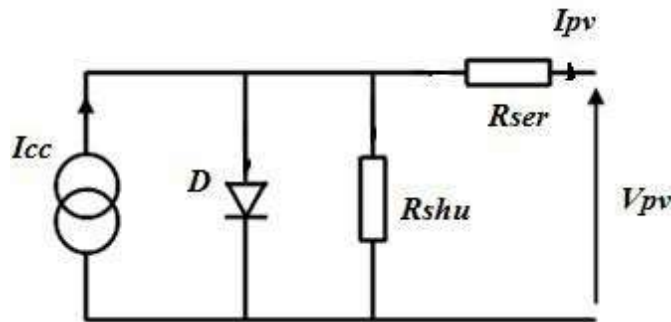


Figure I.7 : Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque. [20]

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule PV est donné par [22]:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{e(I_{cc}R_{ser})}{nKT} \right) - 1 \right] - \frac{I_{cc}R_{ser}}{R_{shu}}$$

Où I_{sat} est le courant de saturation, K est la constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23} J/K$), T est la température effective des cellules en Kelvin(K), e est la charge de l'électron ($e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$), n est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 3$), lorsqu'elle fonctionne en générateur, V_{pv} est la tension aux bornes de cette même cellule, I_{ph} est le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court-circuit), R_{shu}

est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction, R_{ser} est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions [20].

I.9.3. Différents types de panneaux solaires

Il existe plusieurs types des panneaux photovoltaïques. Chaque type de panneau est caractérisé par son rendement et son coût. Parmi ces types de panneau on peut citer : [8]

I.9.3.1. Monocristallines

Es cellules Ce type de panneau est construite à partie d'un silicium cristallisé à un seul cristal qui donne une couleur uniforme avec meilleur rendement et coût de fabrication élevé.

I.9.3.2. Polys cristallins

Les cellules poly cristallines sont fabriqué à partir d'un bloc de silicium cristallisé sous forme de cristaux multiples, on peut donc différencier les cristaux. Leur rendement est bon et Coût de fabrication moins élevé par rapport ou le Monocristalline.

I.9.3.3. Amorphes

Ce type de panneau peut fonctionner avec un faible éclairage Elles ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé avec meilleur rendement par rapport aux panneaux solaires monocristallines et polys cristallins. Le tableau suivant représenté les rendements des déférant panneaux. [8]

Type	Rendement	Durée de vie
Monocristallines	De 14 à 20% (jusqu'à 24% dans laboratoire)	30 ans
Poly cristallines	De 11 à 15% (jusqu'à 24% dans laboratoire)	30 ans
Amorphes	5% à 9%	20 ans

Tableau I.1 : Différents types de panneaux solaires. [23]

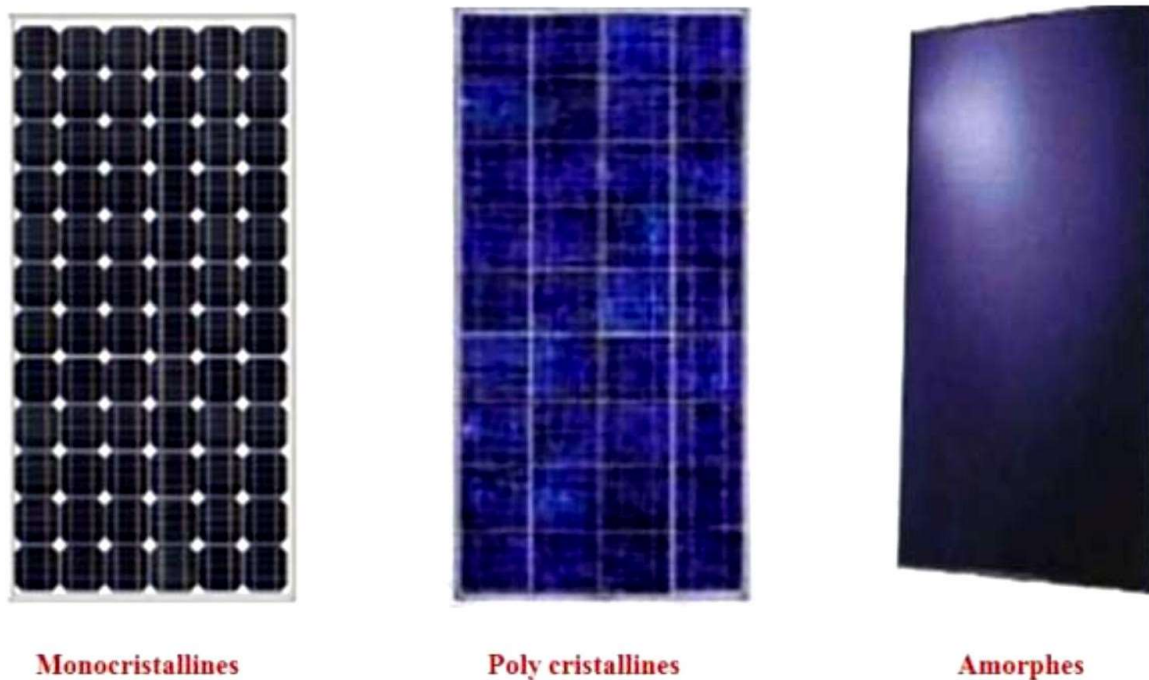


Figure I.8 : Différents types de panneaux solaires. [8]

I.9.4. Fonctionnement panneau photovoltaïque

Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est le suivant : les « grains » de lumière qu'on appelle photons, en pénétrant très légèrement dans le silicium, déplacent quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant. Les cellules produisent de l'électricité chaque jour même si le ciel est nuageux : dans ce cas, le rendement est simplement moins élevé. Les cellules sont assemblées sous forme de panneaux photovoltaïques, panneaux qui sont encastrés sur ou dans la toiture des habitations. La fabrication complexe demande une excellente maîtrise technique pour assurer dans la durée le meilleur rendement.

L'assemblage de ces cellules solaires reliées les unes aux autres forme un module solaire (panneau solaire ou panneau photovoltaïque). [24]

I.10. Générateur photovoltaïque

Pour obtenir une puissance plus élevée, plusieurs modules doivent être connectés en série et/ou en parallèle, comme illustré à la Figure 2.8. La courbe de fonctionnement de la combinaison série-parallèle de modules est similaire à la courbe de la batterie de base, bien sûr, il existe différents paramètres électriques. On note ici que pour les batteries également, seuls des modules identiques doivent être connectés en série et en parallèle [25] [26].

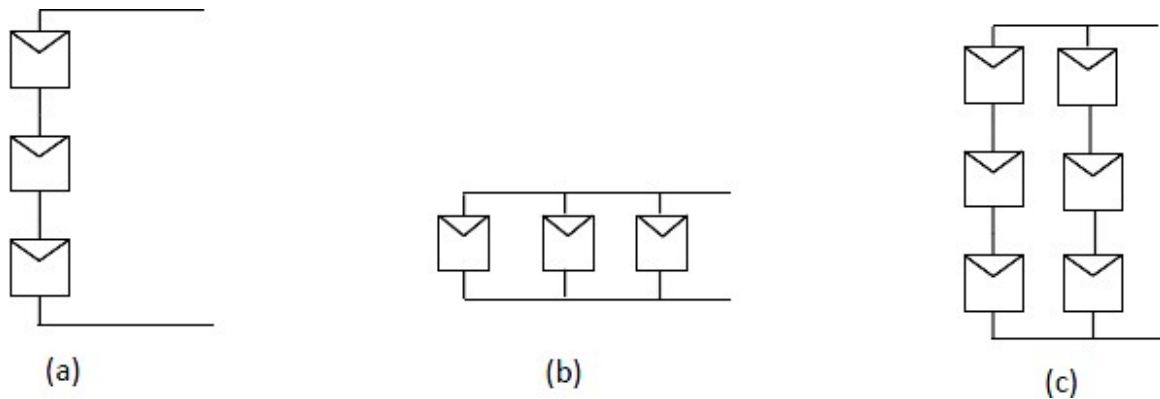


Figure I.9: Groupement de panneaux solaires photovoltaïques

a) Série b) Parallèle c) Série/Parallèle [1]

I.11. batterie

La batterie répète de façon cyclique un processus d'accumulation d'énergie (charge) et fourniture d'énergie (décharge) en fonction de la présence ou de l'absence du soleil. Dans ce fonctionnement normal de la batterie on peut trouver deux pôles :

- **Surcharge** : La batterie atteint sa pleine capacité de charge. Si elle continue à recevoir de l'énergie, l'eau de la dissolution commence à se décomposer, en produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (processus de gazéification).
- **Sur décharge** : Il existe aussi une limite pour le processus de décharge, après lequel la batterie se détériore notamment. [8]

I.12. Le régulateur de charge

Le régulateur de charge principalement sert avant tout à contrôler l'état de la batterie. Il existe plusieurs valeurs limites correspondant chacune à un type de protection différent : surcharge, décharge profonde, température de fonctionnement, court-circuit, etc. Les nouvelles générations de régulateurs, quant à eux, sont de plus en plus perfectionnées et proposent des fonctionnalités plus nombreuses et de plus en plus évoluées [27] [28]

Il y'a deux type de régulateur :

- Le régulateur « PWM » (Pulse Width Modulation)
- Le régulateur « MPPT » « Maximum Power Point Trac King »



(a)



(b)

Figure I.10: différents types de régulateurs

(a) Régulateur solaire PWM.

(b) Régulateur solaire MPPT. [8]

I.13. Les onduleurs

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande [29].

I.14. Le système photovoltaïque

Un système photovoltaïque se compose d'un champ de modules et d'un ensemble de composants qui adapte l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs. Cet ensemble, appelé aussi « balance of system » ou BOS, comprend tous les équipements entre le champ de modules et la charge finale, à la structure rigide (fixe ou mobile) pour poser ces modules, câblage, la batterie en cas de stockage, son régulateur de charge, et l'onduleur lorsque les appareils fonctionnent en courant alternatif. Le courant continu disponible aux bornes du module peut être utilisé de différentes manières en raccordant ces bornes à un circuit électrique qui l'achemine vers un ensemble de composants qui forment un "système photovoltaïque" conçu et dimensionné en fonction de l'application et de l'usage qui est fait de l'électricité produite [30] [23].

I.15. Différents types de systèmes photovoltaïques

On rencontre généralement trois types de systèmes photovoltaïques, les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau qu'on définit ci-dessous.

Les deux premiers sont indépendants du système de distribution d'électricité, en les retrouvent souvent dans les régions éloignées. [31]

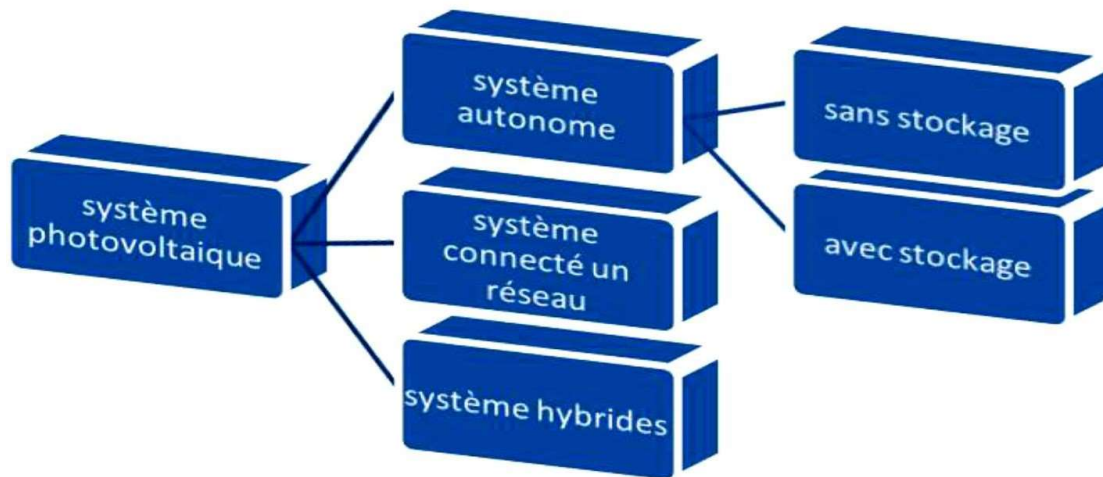


Figure 1.11 : Différents types de systèmes photovoltaïques [1]

I.15.1. Les systèmes autonomes

Un système est dit «autonome», lorsqu'il ne dépend que d'une seule source d'énergie, comme le cas du système photovoltaïque autonome qui est sous l'énergie solaire uniquement. Il est utilisé fréquemment dans les endroits isolés, par exemple dans des chalets où leur raccordement au réseau de distribution est très loin. L'énergie solaire n'est disponible que le jour, et dans le but d'adapter la production à la demande, ce système nécessite des éléments de stockages, donc des accumulateurs [32].

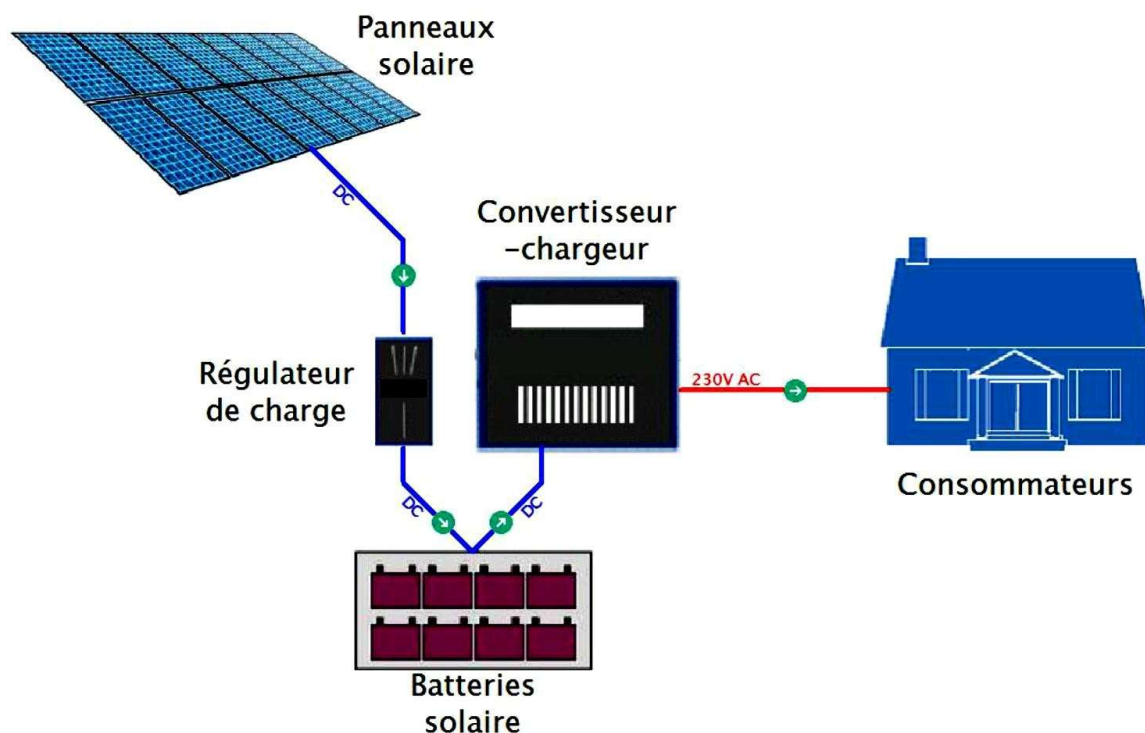


Figure I.12 : Système photovoltaïque autonome. [11]

I.15.2 Les systèmes hybrides

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue. Dans bien de régions, les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit [33].

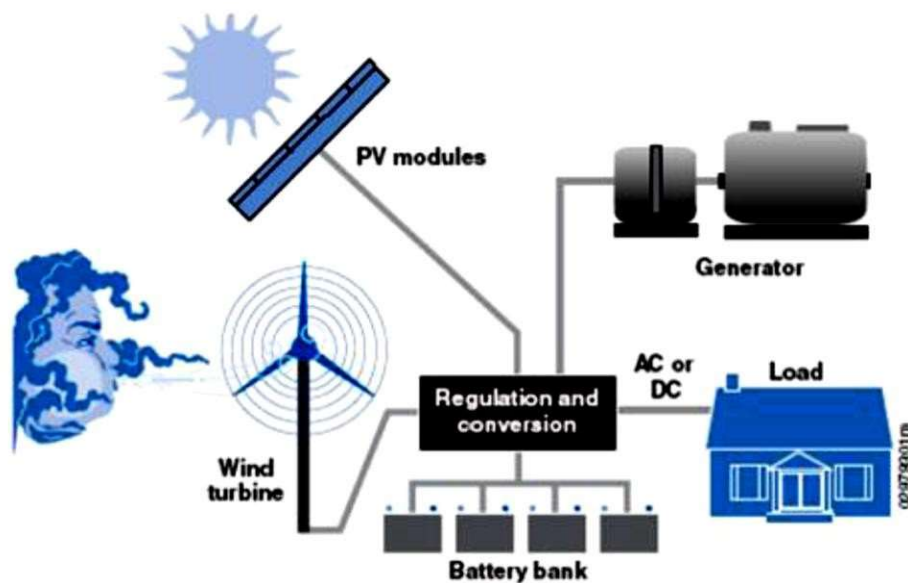


Figure I.13 : Système photovoltaïque hybride. [11]

I.15.3 Système raccordé au réseau

Dans ce cas de système, on parle plus de stockage d'énergie, donc elle est injectée totalement dans le réseau électrique. Qui dit pas de stockage d'énergie, dit absence de batteries d'accumulateurs ce qui diminue le coût d'installation, donc réduire la complexité du fonctionnement, et c'est pour quoi en terme d'investissement et de fonctionnement est le plus avantageux. Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau, généralement sur les habitations ou les entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement [32].

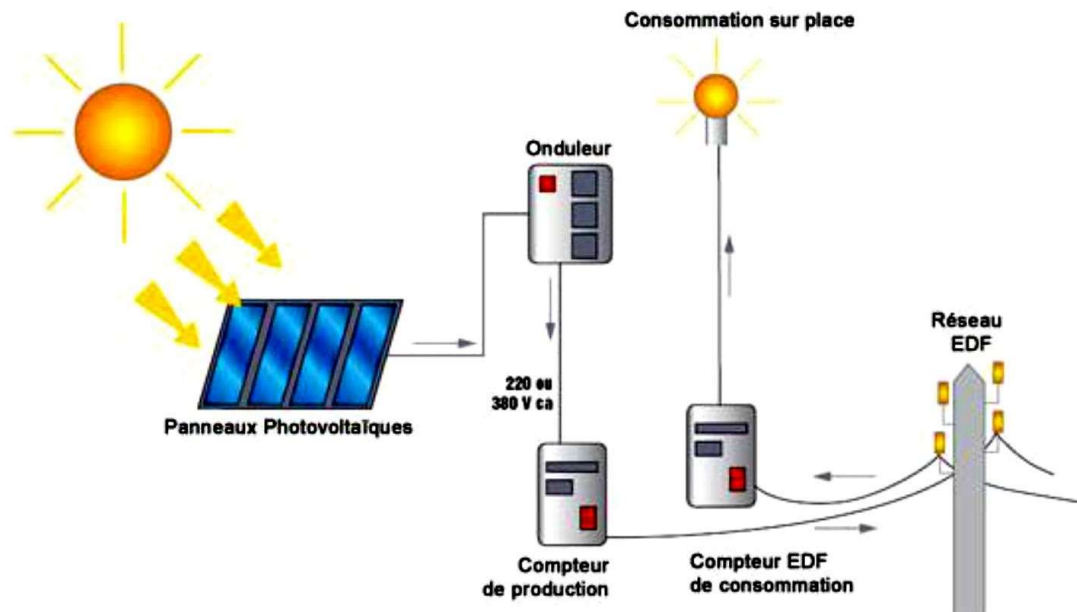


Figure I.14 : Système photovoltaïque raccordé au réseau. [11]

I.16. Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques présentent un grand nombre d'avantages et d'inconvénients qui sont :

I.16.1. Avantages

Les systèmes photovoltaïques ont plusieurs avantages :

- ✓ La production d'énergie photovoltaïque a été choisie en premier lieu pour sa nature non-polluante et renouvelable
- ✓ Le montage de ces systèmes est simple et facile à adapter aux besoins énergétiques.
- ✓ Les coûts de réalisation et d'installation sont minimes et les entretiens sont réduits.
- ✓ L'installation ne nécessite pas de grands investissements ni une haute expérience.
- ✓ Elle ne cause aussi aucune perturbation au niveau de troubles sonores au problème d'espace.

I.16.2. Inconvénients

- ✓ La technologie photovoltaïque est la méthode de production énergétique la plus fiable pour les zones isolées.
- ✓ L'utilisation de la technologie photovoltaïque n'est pas aussi propagée que les énergies fossiles pour des raisons économiques.
- ✓ Les pays pauvres ou en cours d'évolution ne peuvent pas se permettre d'utiliser cette méthode.
- ✓ Lorsque l'énergie électrique doit être stockée sous forme chimique (batterie), cela augmente le coût du générateur.
- ✓ Il y a encore beaucoup de problèmes avec le stockage de l'énergie électrique.

I.17. conclusion

Bien que le soleil nous fournisse une énorme énergie lumineuse, celle-ci est actuellement sous-utilisée de manière rationnelle, en raison des nombreux problèmes liés à ce type d'énergie. Dans ce chapitre nous avons fait révéler les concepts de base de l'énergie photovoltaïque et le principe de l'effet photovoltaïque, le générateur photovoltaïque, les différents types de systèmes PV ainsi que les avantages et les inconvénients de l'énergie PV.

Chapitre II :

Systeme de stockage d'énergie

II.1. Introduction

Etant une énergie intermittente, l'énergie photovoltaïque produite par les systèmes photovoltaïques est très fluctuante et dépend énormément des conditions diverses : Météo, période de la journée, saisons... etc. C'est la raison pour laquelle il faudra penser à stocker cette énergie pour la restituer ultérieurement en dehors des heures d'ensoleillement. Le concept de "stockage d'énergie" est d'apporter de la flexibilité et de renforcer la fiabilité des systèmes énergétiques simultanément. Il s'agit d'établir un équilibre en un temps donné entre l'offre et la demande en énergie, aussi bien pour la fourniture d'électricité.

Vue l'importance du stockage électrochimique de l'énergie solaire assuré par l'intégration des batteries, dans le présent travail on présente un rappel sur les différents types de batteries, leur principe de fonctionnement, leurs caractéristiques, ainsi le fonctionnement d'un système PV avec batterie sera mené. [34]

II.2. Stockage de l'énergie

Afin de garantir une provision d'énergie quasi permanente pour n'importe quelle condition d'ensoleillement, les générateurs photovoltaïques autonomes nécessitent un stockage électrique qui repose sur le fait d'emmagasiner une quantité d'énergie dans des installations autonomes pour des exploitations ultérieures en fournissant :

- Un déphasage entre la production et la consommation : jour/nuit, courtes périodes de mauvais temps.
- Une puissance élevée sur un temps court compatible avec la production durant la journée.

Cette fourniture d'énergie sera assurée, par exemple, pendant deux à trois jours pour certains petits systèmes domestiques à une quinzaine de jours pour les applications professionnelles, comme les phares maritimes [35].

II.3. Technologies et Types d'accumulateurs

Il existe plusieurs types de stockage dans le système PV, les puissances rencontrées sont inférieures au MW, le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique. Les deux principaux types d'accumulateurs utilisés actuellement dans le système photovoltaïque [36].

Le choix de la technologie d'accumulateur va dépendre du coût d'investissement (en €/kWh et en €/kW) et de la durée de vie des batteries dans les conditions de fonctionnement correspondant à l'application choisie. Les coûts de chaque technologie sont présentés sur la Figure (II-1) tandis que la durée de vie et les rendements sont illustrés sur la Figure (II-2) [37]

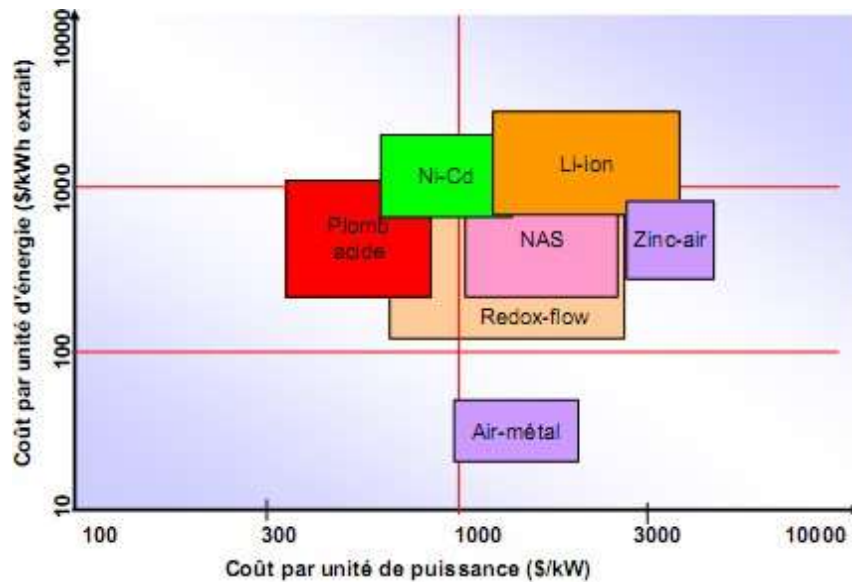


Figure II.1 : Coûts des différentes technologies d'accumulateurs électrochimiques [38]

Les batteries de technologie Plomb acide sont actuellement les plus utilisées pour les applications photovoltaïques. Elles sont principalement avantagées par leurs faibles coûts pour des rendements satisfaisants. Leur inconvénient majeur est leur durée de vie qui est la plus courte des technologies comparées. La technologie Nickel-Cadmium (Ni-Cd) présente un coût plus élevé que les batteries au Plomb, pour une durée de vie supérieure mais un rendement plus faible. Des efforts sont nécessaires pour faire du Ni-Cd une technologie concurrentielle pour l'application photovoltaïque. La technologie Lithium-ion (Li-ion) s'annonce comme la concurrente la plus prometteuse. Sa durée de vie et son rendement sont parmi les meilleurs des accumulateurs électrochimiques. Le coût est encore important par rapport à la technologie Plomb mais une baisse significative dans les prochaines années est attendue de sorte que le Li-ion devienne la technologie la plus intéressante pour les applications PV. [37]

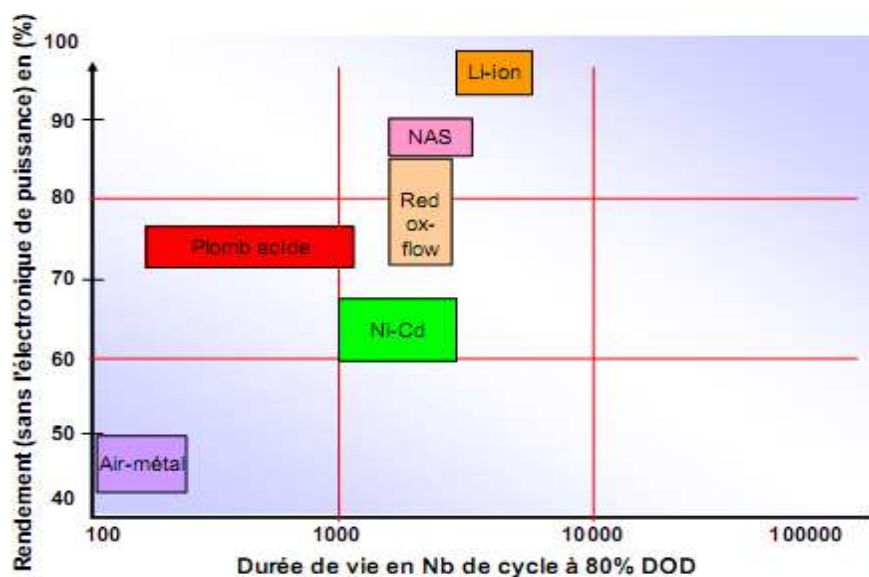


Figure II.2 : Durée de vie et rendement des différentes technologies de batteries [38]

II.3.1. Types d'accumulateurs

➤ Les Accumulateurs au plomb acide

Il s'agit de la technologie la plus utilisée dans les systèmes solaires autonomes. Elle offre actuellement la meilleure réponse en termes de prix et la durée de vie. De plus, elle présente les caractéristiques les plus recherchées d'une batterie solaire, à savoir un rendement élevé, une durée de vie longue avec un grand nombre de cycles et une autodécharge faible. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale. [39]

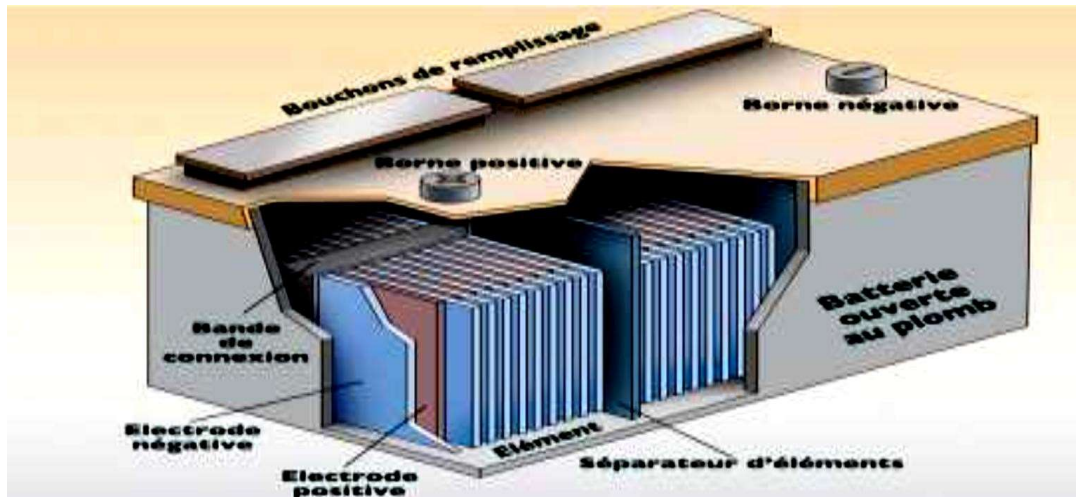


Figure II.3 : batterie ouverte au plomb

• Composition d'une batterie solaire plomb- acide

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte. Le matériel de la grille est un alliage de plomb parce que le plomb pur est un matériel physiquement faible, et pourrait se casser pendant le transport et le service de la batterie. [39]

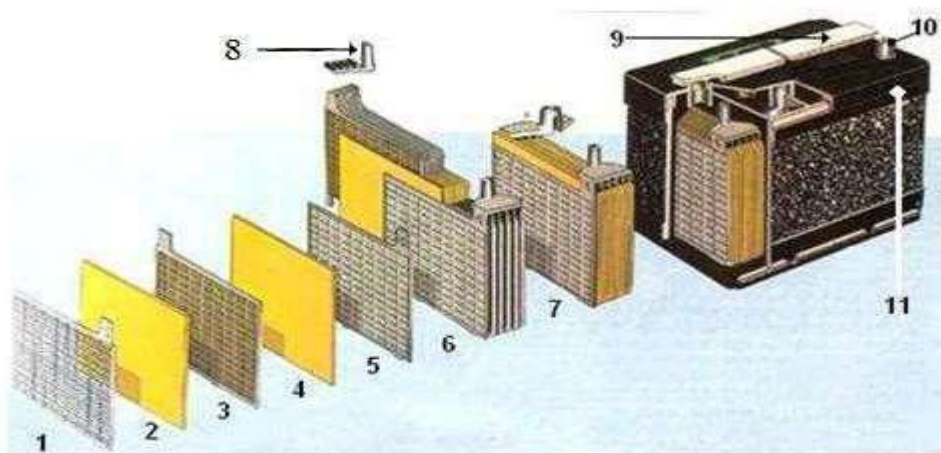


Figure II.4 : Composition d'une batterie monobloc. [39]

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. : Grille. | 7 : Élément couplet |
| 2. : Séparateur. | 8 : Pont |
| 3. : Plaque positive. | 9 : Rampe de bouchons. |
| 4. : Plaque négative. | 10 : Borne |
| 5 : Barrette | 11 : bac |
| 6 : Faisceau négatif. | |

➤ Les Accumulateurs au Nickel - cadmium

Les batteries de nickel -Cadmium ont une structure physique semblable à celle du plomb-Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium.

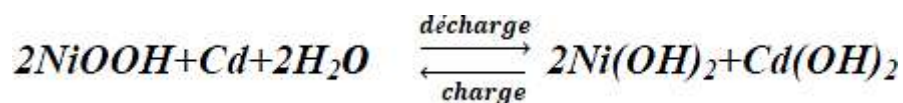
La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore

prohibitif. Ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

- Très bonne résistance mécanique.
- Possibilité de supporter des décharges profondes.
- Pas d'émanations toxiques à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel. [40]

➤ Les Accumulateurs NiMH (Nickel-Métal-Hydrure)

Ces batteries remplacent les NiCD car elles sont moins toxiques. Elles sont cependant assez chères et sont utilisées dans les installations haute gamme. Leur durée de vie est beaucoup plus grande que celle des batteries au plomb (50% de plus) mais leur capacité est extrêmement faible (quelques Ah au maximum). [41]



➤ Les Accumulateurs Li-ion (Lithium-ion)

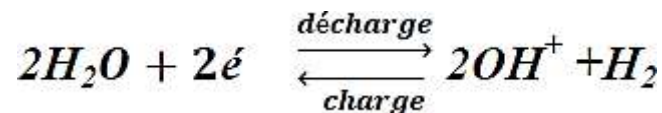
- Son énergie massique est très importante ce qui fait de la batterie Li-ion une des moins lourdes et des moins volumineuses.
- Son rendement est excellent et son autodécharge relativement faible. Le gaspillage est donc réduit.
- Un système de sécurité supplémentaire y est intégré car cette batterie présente des risques d'explosion lorsqu'elle est surchargée, trop déchargée ou court-circuitée. Sa durée de vie est d'environ 3 ans. [41]



Figure II.5 : Accumulateur lithium de Varta [13] .

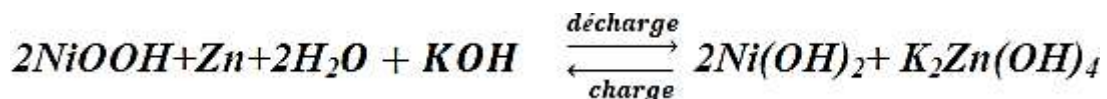
➤ Les accumulateurs Nickel Hydrogène (Ni-H₂)

Depuis 1964, les piles H₂/O₂ sont couramment utilisées dans les applications spatiales (satellite et navette). Sur les satellites, ils servent d'accumulateur pour stocker le surplus d'électricité fournit par des panneaux solaires pour le restituer lors des éclipses (grand nombre de cycles). Cet accumulateur est très supérieur au Ni-Cd car il offre une très grande résistance au cyclage (plus de 10000 cycles avec des décharges à 40% de la capacité). Les ions actifs pour les échanges sont les ions hydrogène H⁺ et l'électrode positive est à base d'hydroxyde de nickel, analogue à celle utilisée dans les accumulateurs NiCd. Durant la décharge, l'hydrogène se recombine en eau avec l'oxygène de l'hydroxyde de nickel. Mais durant la recharge, il se produit un fort dégagement d'hydrogène sous forme gazeuse et la pression à l'intérieur de la batterie peut atteindre 70 bars, d'où son allure de bonbonne de gaz. Ce type d'accumulateur conserve de bonnes caractéristiques à basse température (encore 400Wh/kg à -18°C avec un nombre de cycle jusqu'à 30000). Certains modèles sont capables de fournir 500Wh/Kg pour des démarrages d'avions à réaction. [37]



➤ Les accumulateurs Nickel-Zinc (Ni-Zn)

Ce couple a l'avantage d'être moins coûteux que le Ni-Cd et d'avoir une tension d'utilisation 25% plus élevée. En revanche, son plus gros défaut est une mauvaise résistance au cyclage (environ 600 à 1000 cycles). [37]



➤ Les accumulateurs Zinc-halogènes

Les avantages des électrodes en nickel sont un coût relativement faible, sa légèreté et produit potentiel élevé. Pour améliorer le cycle de vie de ce type d'accumulateur, des études ont conduit au remplacement de l'électrolyte alcalin par une solution acide. Les couples les plus

prometteurs sont Zinc- Chlore (Zn-Cl_2) et Zinc-Brome (Zn-Br_2). Ce dernier donne une FEM de 1,9V. Ce type de pile est adapté au régime de décharge soutenu sur un faible intervalle de temps [42].

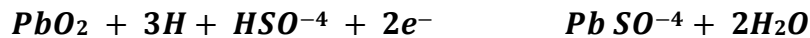
➤ Les piles à combustibles

On parle de pile à combustible lorsqu'il y a consommation d'un élément (d'une ou des deux électrodes), ce qui rend le phénomène irréversible (électrode comburante et combustible). La charge de la pile est réalisée en remplaçant les éléments usés (électrode comburante) et le combustible. Il est cependant possible de remplacer une ou les deux électrodes par des gaz. Les électrodes sont alors composées d'alliage inattaquable plongé dans l'électrolyte. Ce sont des concurrents sérieux pour les accumulateurs où la recharge s'effectue par inversion des phénomènes électrochimiques [43]

II.4. Principe de fonctionnement

Une réaction chimique intervient lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces deux électrodes. Pendant la décharge, il y a une oxydation à la plaque négative qui se traduit par une perte d'électrons et réduction à la plaque positive ou gain d'électrons.

L'électrolyte en présence dans la batterie facilite le déplacement des charges électrochimiques sous forme d'ions. Le processus inverse se produit quand la batterie se recharge ; on voit apparaître immédiatement une force électromotrice entre les deux électrodes. Les équations des réactions suivantes décrivent la réaction principale [9] :



Electrode negative:



Reaction:

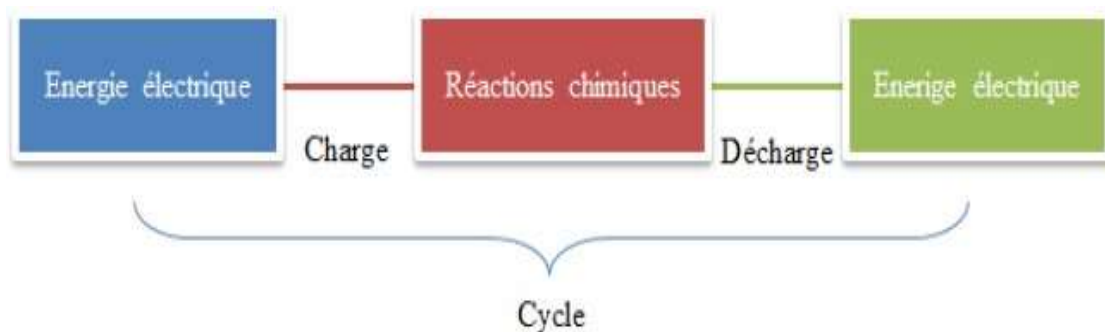
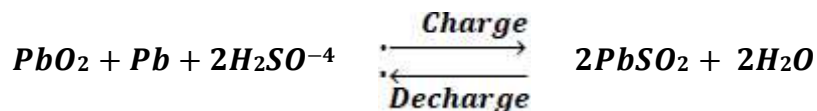


Figure II.6: Processus de fonctionnement d'une batterie.

II.5. Principales caractéristiques des accumulateurs

II.5.1. Capacité en Ampère heure

La capacité d'une batterie représente la quantité de courant extrait d'une électrode à travers l'électrolyte et les matériaux actifs des électrodes sur une décharge sous des conditions prédéfinies. Cette capacité s'exprime en ampère-heure, ($1Ah = 3600 \text{ Coulombs}$).

Ainsi la capacité d'une batterie peut se varier selon certains facteurs, en particulier de la façon dont elle a été chargée et déchargée. La capacité peut donc s'exprimer dans des conditions de référence, souvent pour une durée de décharge de 20 heures et pour une température de 25 °C. On parlera alors de capacité nominale [44].

II.5.2. Rapports de chargement et déchargement

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite. [34]

II.5.3. Température

Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement.

Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie [45]

II.5.4. La durée de vie

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) [46]

II.5.5. Profondeur de décharge

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale d'une batterie utilisable pendant un cycle de charge/décharge. Autrement dit, c'est le rapport entre la quantité d'électricité déchargée et la capacité nominale. [34]

II.5.6. La tension d'utilisation

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge. [34]

II.5.7. Le rendement

Exprime le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie cédée à l'accumulateur. [34]

II.5.8. Le taux d'autodécharge

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné. [34]

II.6. Association de batteries

La batterie est l'élément le plus fragile d'une installation photovoltaïque ou éolienne. C'est également l'un des organes essentiels à son bon fonctionnement. Il est donc très important de bien choisir sa batterie et d'en prendre soin, notamment lors du montage.

Avant d'être raccordées, les batteries doivent être installées à leur emplacement définitif. Pour les branchements, il faut se munir de câbles électriques adaptés à leur puissance: la section du câble doit être plus ou moins grande en fonction de l'intensité pour limiter les pertes par « effet de Joule ». Il est recommandé d'intégrer un fusible externe entre la batterie et le régulateur, et/ou entre la batterie et les consommateurs pour empêcher tout risque de court-circuit. Ce fusible devra être au plus près des pôles de la batterie.

Si les batteries sont plusieurs et qu'elles nécessitent un branchement en série ou en parallèle, il faut les connecter entre elles avant tout. Elles pourront ensuite être raccordées au régulateur (on connecte toujours les batteries en premier, avant les modules photovoltaïques/éoliennes ou les consommateurs) [47].

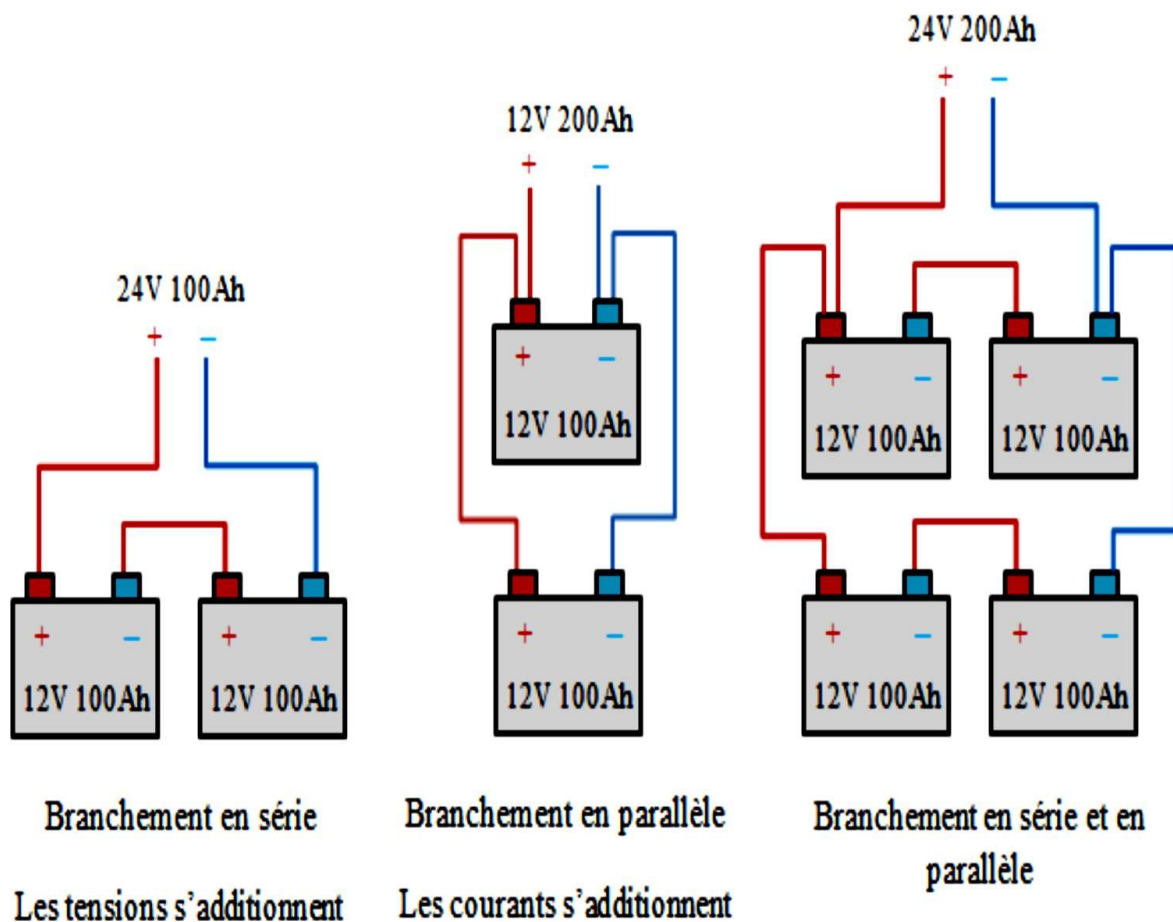


Figure II.7 : Connexion des batteries [37]

II.7. Principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque avec batterie:

Un générateur photovoltaïque avec batterie comprend généralement différents Composants de base comme l'indique la figure suivante :

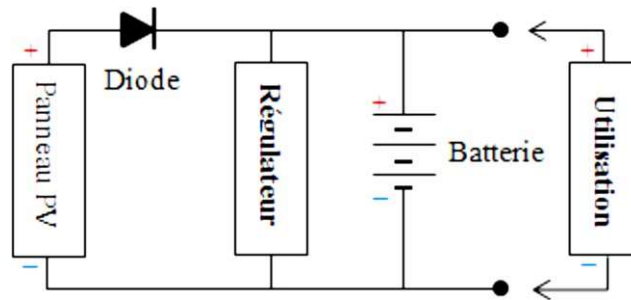


Figure II.8: Schéma de principe d'un système PV avec batterie. [34]

- Le panneau solaire charge la batterie en période d'ensoleillement.
- La batterie d'accumulateurs assure le stockage journalier et / ou saisonnier de l'énergie électrique.
- La diode anti-retour évite la décharge des accumulateurs à travers le panneau solaire en période d'obscurité.
- Le régulateur de charge protège la batterie contre la surcharge et éventuellement contre les décharges profondes occasionnelles [48].
- Chaque composant du système devra être choisi en fonction des contraintes techniques et économiques. [34]

II.7.1. Modes de fonctionnement

Pour un système donné, il existe cinq modes de fonctionnement selon l'éclairement et le courant d'utilisation. [34]

a- Premier mode : Déconnexion de la charge

Au cours de la déconnexion de la charge. Le courant du panneau solaire, dépendant de l'ensoleillement, charge la batterie. [34]

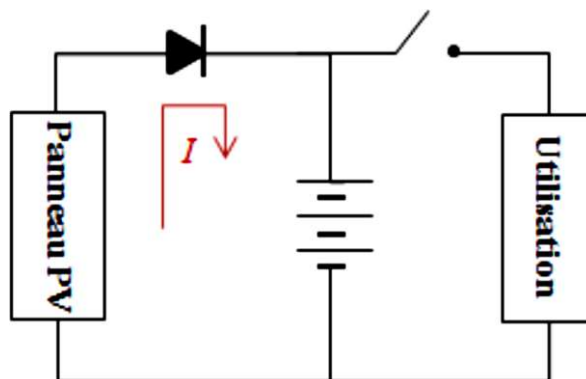


Figure II.9: 1^{ère} Mode _Charge déconnectée [34]

b- Deuxième mode : Excédent de courant

La charge est maintenant connectée, le courant généré par le panneau solaire est supérieur au courant d'utilisation. Le courant en excès charge la batterie :

$$I = I_B + I_U$$

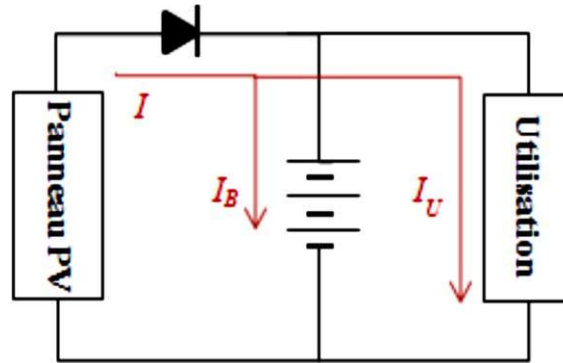


Figure II.10 : 2^{ème} Mode _Batterie chargée par le courant excédentaire. [34]

c- Troisième mode : Courant nul

La charge est connectée. Le courant provenant du panneau solaire se trouve, pour un ensoleillement donné, égal au courant d'utilisation. Donc, la batterie n'est traversée par aucun courant :

$$I = I_U$$

$$I_B = 0$$

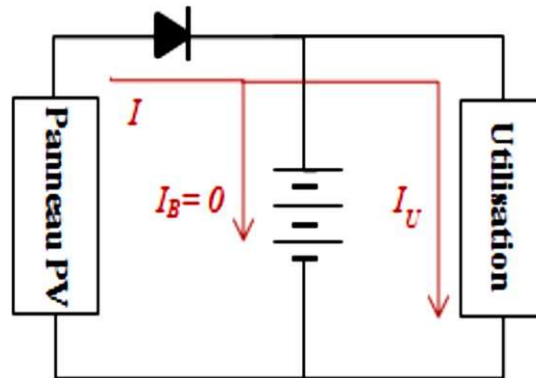


Figure II.11: 3^{ème} Mode _Courant nul dans la batterie. [34]

d- Quatrième mode : courant déficitaire

La charge est connectée. Le courant provenant du panneau solaire est inférieur au courant d'utilisation. La batterie se décharge en fournissant le courant déficitaire:

$$I_B = I - I_U$$

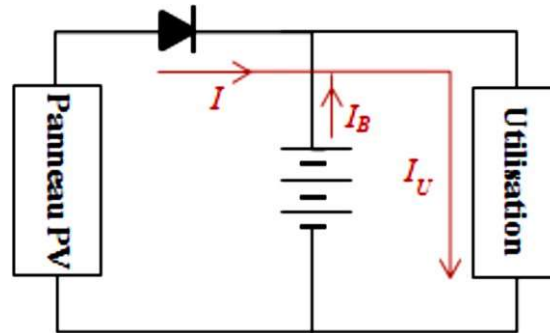


Figure II.12: 4^{ème} Mode _ Décharge de la batterie dans le circuit. [34]

e- Cinquième mode : nuit

La charge est toujours connectée. Le courant généré par le panneau solaire est nul (période d'obscurité). La diode anti-retour est bloquée. La batterie se décharge en cédant le courant d'utilisation :

$$I_B = I_U$$

$$I = 0$$

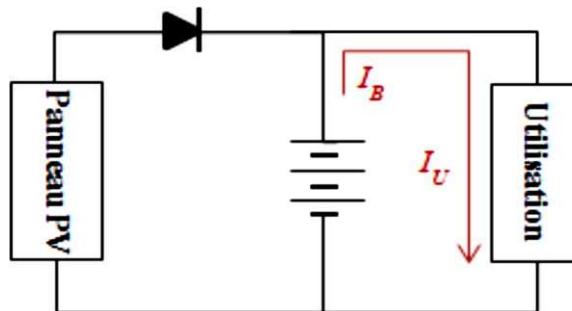


Figure II.13: 5^{ème} Mode _ Courant d'utilisation fourni par la batterie. [34]

II.8. Calcul de système avec stockage

Si l'application doit fonctionner en direct sans stockage, on prendra un photo générateur dont la puissance maximale à l'éclairement de travail correspond à la puissance de l'appareil.

II.8.1. Détermination de la capacité de l'accumulateur :

La quantité d'énergie que peut stocker une batterie est définie par sa capacité C, mesurée en ampère-heure (Ah). [49]

$$C = \frac{E_c \cdot N}{D \cdot U}$$

C : capacité de la batterie en ampère. Heure (Ah)

E_c : énergie consommée par jour (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

U : tension de la batterie (V)

Généralement le multiple **D. U** est égale à 0.6 est une valeur typique, qui dépend énormément de la technologie de l'accumulateur, et surtout de la réduction de sa capacité de stockage aux températures basses. Introduire cette valeur revient à dire que la capacité réellement disponible sur le terrain est à tout moment égale à 60% de la capacité nominale. On appelle capacité utile cette capacité réduite [50]:

$$\text{Capacité utile} = \text{Capacité nominale} * \text{pourcentage utile}$$

II.9. Contrôle de charge

II.9.1. Les diodes anti-retour

On sait bien que le courant circule naturellement du point de tension le plus fort vers le plus faible. Au cours de la période de charge, la tension de la charge tend à dépasser la tension délivrée par le photo-générateur. Le courant passerait alors de la batterie vers le photo-générateur, si on ne mettait pas une diode qui bloque le passage du courant dans ce sens. Cela pourrait l'endommager. Les diodes anti-retour servent donc à empêcher la décharge de la batterie dans le module durant la nuit. [34]

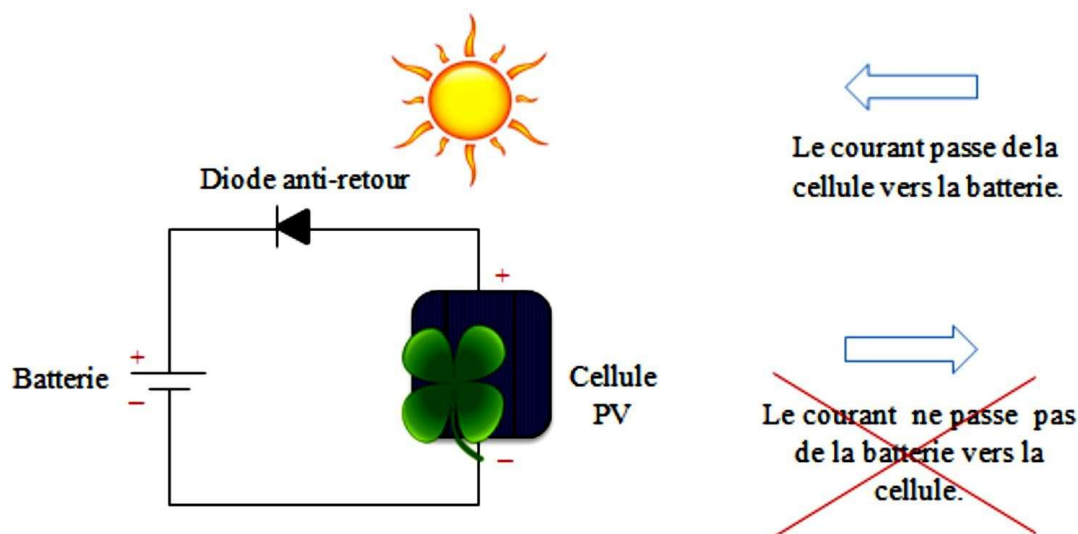


Figure II.14: Principe d'une diode antiretour. [34]

II.9.2. Le régulateur de charge

L'objectif d'un régulateur de charge est de protéger la batterie en lui assurant une meilleure durée de vie permettant à l'application autonome de se fonctionner longtemps.

L'amélioration de la durée de vie d'une batterie plomb (couramment utilisée) sert à éviter :

- Que la tension dépasse un certain seuil, ce qui traduit la surcharge.

- Que la batterie se décharge de plus de 90 % de son contenu, ce qui traduit la décharge profonde.

Ces fonctions sont possibles grâce à la mise en place d'un régulateur charge/décharge dont la connexion se fait avec les panneaux, la batterie et l'utilisation.

Lorsque la tension aux bornes de la batterie atteint 14,5 V (seuil haut typique pour une batterie au plomb de 12 V nominale), la liaison avec le panneau est rompue par le régulateur, en stoppant la charge de la batterie qui sera rétablie vers 13,5 V.

Dans le cas contraire, quand la tension atteint 11,5 V (seuil bas typique pour 12 V), le régulateur rompt la liaison avec le récepteur en arrêtant son utilisation, puisqu'il met ainsi l'appareil hors service jusqu'à ce que la tension batterie soit revenue à un niveau de 12,5 V. Il rétablit alors l'utilisation.

Généralement, une protection surcharge est quasiment indispensable car l'alimentation solaire présente un excès d'énergie dans la plupart des cas (l'été surtout), ce qui n'est pas le cas pour la protection décharge qui est exigée seulement pour la sécurité en cas d'incident où la batterie entre en décharge profonde lorsque le dimensionnement et les composants sont mal adaptés.

Pratiquement, les fonctionnalités anti-retour et régulation de charge sont réalisées via des boîtiers électroniques avec une logique à relais ou à transistors. Elles peuvent être de type série (pour les puissances élevées) ou de type parallèle (pour les basses puissances) [37].

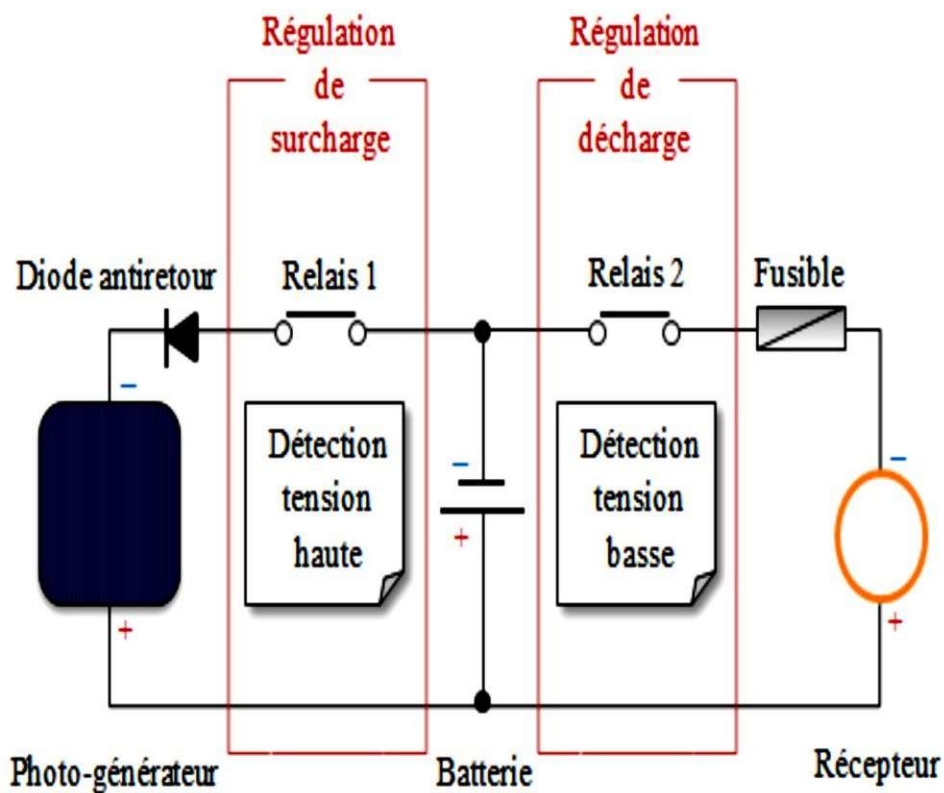
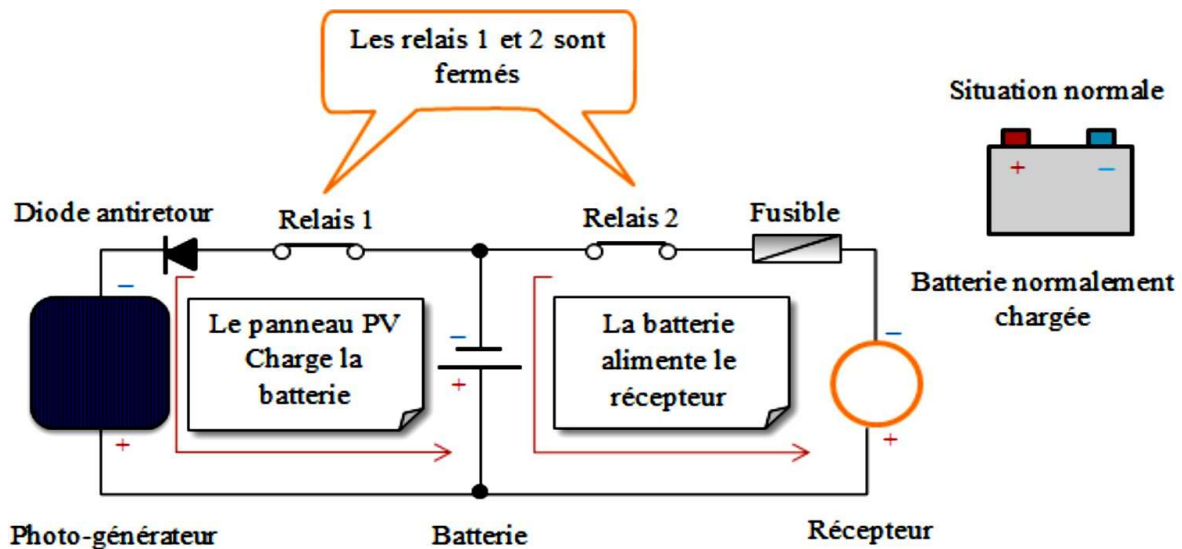
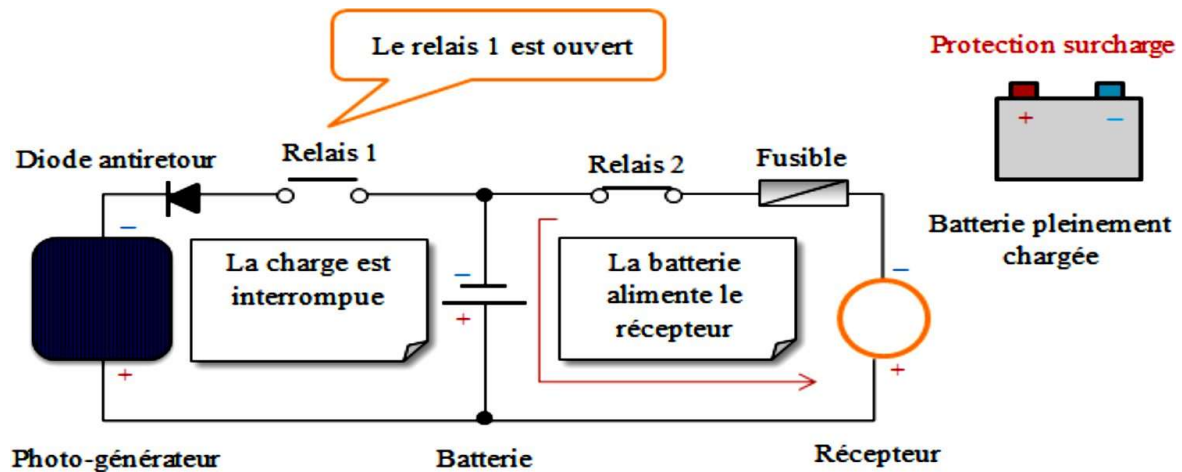


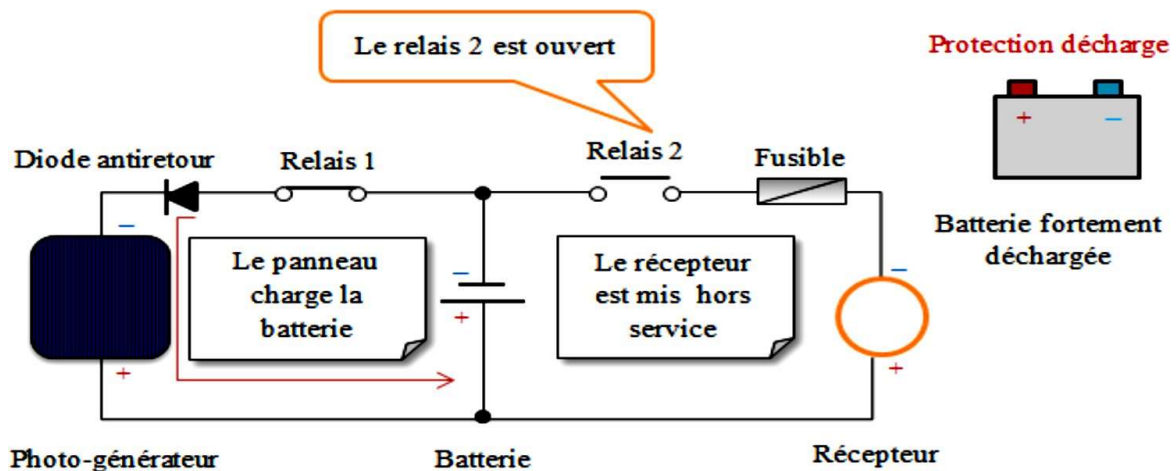
Figure II.15: Principe de fonctionnement d'un régulateur charge/décharge. [34]



(a) Etat normal.



(b) Etat de surcharge.



(c) Etat de décharge.

Figure II.16: Régulateur charge/décharge. [34]

II.10. Les critères de choix d'une batterie solaire

a) critères techniques

- Les batteries solaires subissent un grand nombre de cycles charge / décharge et leur état de charge évolue au fil de la journée et encore plus au cours des saisons: c'est souvent à la fin de l'hiver que les batteries sont le plus déchargées.
- Les batteries solaires doivent supporter un grand nombre de cycles et doivent supporter la décharge profonde .
- On installe généralement des batteries pouvant supporter plus de 300 cycles à 80 % de décharge.
- Une batterie solaire doit résister à une profondeur de décharge pouvant dépasser les 80 % et atteindre 100 % de décharge (mauvais ensoleillement, forte consommation électrique occasionnelle, tension de coupure des convertisseurs trop faible (10,5 V)...).

L'obtention du courant électrique à partir de panneaux solaires reste chère et la batterie solaire optimale devrait stocker l'énergie électrique avec le moins de perte possible (bon rendement de charge).

Une batterie déchargée doit accepter toute l'énergie en provenance des panneaux solaires afin de ne pas gaspiller l'énergie chèrement produite. L'acceptation de la charge d'une batterie solaire doit être bonne pour que les batteries se rechargent rapidement.

Une fois stockée sous forme chimique, cette énergie électrique ne doit pas être perdue :

l'autodécharge de la batterie doit être la plus faible possible.

Une bonne acceptation de la charge et une faible auto décharge favorisent un état de charge élevé, ce qui a une influence directe sur la durée de vie des batteries.

La durée de vie d'une batterie dépend de beaucoup des paramètres de charge (tensions...) qui eux-mêmes varient avec la température des batteries : une batterie "idéale" sera peu sensible à de mauvais paramètres de charge (régulateur solaire pas adapté, mal réglé, pas de compensation en température...). [41]

b) critères économiques

Le coût d'achat des batteries est évidemment un critère important...

Au prix initial s'ajoute les coûts liés au transport, les frais liés à l'entretien des batteries que l'on cherchera à minimiser. [41]

c) critères liés à la sécurité

L'absence de projections d'acide et de dégagement d'hydrogène est un critère important. [41]

II.11. Conclusion

L'un des principaux inconvénients de l'énergie solaire est son caractère intermittent. Pour une utilisation permanente, il est donc nécessaire de stocker une partie de l'énergie produite. C'est la raison pour laquelle nous avons essayé de dégager, de façon critique, un ensemble de caractéristiques techniques et économiques qui permettraient d'améliorer les estimations de coût qui conditionnent l'acceptabilité du stockage. Pour ce faire il existe plusieurs méthodes de stockage : sous forme d'eau, d'hydrogène, dans un volant d'inertie, dans une batterie électrochimique (plomb, lithium) ou un supercondensateur.

Chapitre III :

Eco Eclairage



Définition de l'Éclairage Public

L'**éclairage public** désigne l'ensemble des installations lumineuses mises en place dans les **espaces extérieurs** accessibles au public, comme :

- Les **rues, routes et autoroutes** ;
- Les **places, parcs, jardins publics et trottoirs** ;
- Les **zones piétonnes, pistes cyclables, parkings**, etc.

Il est généralement financé et géré par les **collectivités locales (communes, municipalités)** et a pour objectif principal d'assurer **la visibilité, la sécurité et le confort** des usagers durant la nuit ou par faible luminosité.

Importance de l'Éclairage Public

L'éclairage public joue un **rôle essentiel** dans le fonctionnement et la sécurité des espaces extérieurs. Son importance peut être résumée en plusieurs points :

1. Sécurité des personnes et des biens

- Réduction des accidents de la route (meilleure visibilité nocturne)
- Dissuasion des actes de vandalisme, vols ou agressions
- Sentiment de sécurité accru pour les piétons

• **2. Mobilité nocturne**

- Permet la circulation fluide et sécurisée des piétons, cyclistes et véhicules
- Facilite les activités économiques de nuit (commerces, événements)

3. Valorisation de l'espace urbain

- Mise en valeur du patrimoine architectural ou paysager
- Amélioration de l'esthétique urbaine

4. Cohésion sociale

- Encourage la vie communautaire en soirée (promenades, événements culturels)
- Offre un cadre de vie plus agréable et attractif

5. Développement économique

- Attire les touristes et dynamise les centres-villes
- Allonge les horaires d'ouverture des commerces

Enjeux Actuels

Malgré ses nombreux bénéfices, l'éclairage public pose aujourd'hui **des défis importants** :

- **Surconsommation énergétique** (jusqu'à 40 % de la facture d'électricité d'une commune)
- **Pollution lumineuse** affectant la faune, la flore et le sommeil humain
- **Coûts de maintenance élevés**

D'où l'émergence de **solutions d'éclairage intelligent ou "éco-éclairage"**, qui permettent d'optimiser l'usage de la lumière tout en réduisant son impact environnemental et économique.

Méthodes de Commande de l'Éclairage Public

La commande de l'éclairage public peut se faire selon plusieurs techniques, allant des plus simples (manuel ou horaire) aux plus avancées (commande intelligente ou autonome). Ces méthodes permettent de gérer l'allumage, l'extinction, ou encore la variation de l'intensité lumineuse des luminaires en fonction de différents paramètres (heure, luminosité, présence, etc.).

1. Commande Manuelle

- **Principe** : L'éclairage est activé ou désactivé par un **interrupteur** ou **sectionneur** manipulé manuellement.
- **Avantages** : Simple à mettre en place, peu coûteux.
- **Inconvénients** : Dépendance à l'intervention humaine, risque d'oubli, non optimisée énergétiquement.

2. Commande Horaire (par horloge programmable)

- **Principe** : Utilisation d'un **programmeur horaire** (mécanique ou électronique) qui déclenche l'éclairage à des heures fixes (coucher et lever du soleil).
- **Avantages** : Automatisation partielle, bon marché.
- **Inconvénients** : Ne prend pas en compte les variations saisonnières ou météo → gaspillage d'énergie.

3. Commande par Cellule Photo-électrique (LDR)

- **Principe** : Utilise un **capteur de lumière** (LDR – Light Dépendent Résistor) qui mesure la luminosité ambiante et déclenche l'éclairage lorsque l'intensité lumineuse tombe en dessous d'un seuil prédéfini.
- **Avantages** : Réagit automatiquement aux conditions d'éclairage naturel.
- **Inconvénients** : Sensible aux poussières ou ombrages permanents (arbre, bâtiment).

4. Commande par Détection de Mouvement (capteur PIR)

- **Principe** : L'éclairage ne s'active que lorsqu'un **mouvement est détecté** (piéton, voiture...) via un **capteur infra-rouge passif (PIR)**.
- **Avantages** :
 - Réduction importante de la consommation.
 - Idéal pour les zones peu fréquentées (chemins, parcs...).
- **Inconvénients** :
 - Peut ne pas détecter les mouvements lents ou lointains.
 - Risque de déclenchements intempestifs (animaux, vent...).

5. Commande via Télégestion (Smart Lightning)

- **Principe** : Système intelligent centralisé qui contrôle l'éclairage à distance via une **connexion réseau** (Wi-Fi, GSM, ...). Permet :
 - Allumage/extinction automatique
 - Diminution de l'intensité
 - Surveillance de l'état des lampes
 - Programmation selon des profils horaires ou environnementaux
- **Avantages** :
 - Optimisation de l'énergie en temps réel
 - Suivi et maintenance à distance
- **Inconvénients** : Coût élevé, complexité de mise en œuvre, dépendance à l'infrastructure réseau.

6. Commande Solaire Autonome avec Régulateur

- **Principe** : Luminaires alimentés par panneaux solaires et dotés d'un **contrôleur intelligent** qui gère :
 - La charge/décharge de la batterie,
 - Le niveau de luminosité selon le moment (minuit, lever du jour, etc.),
 - Et l'activation par détection.
- **Avantages** : Indépendance du réseau électrique, très utile en zones rurales.
- **Inconvénients** : Dépendance à l'ensoleillement, coût des batteries.

Et malgré tous ces méthodes de commande les problèmes de l'éclairage restent toujours existe

1 Introduction

Dans le cadre de service public que nous fournit par notre état l'éclairage public et parmi services d'éclairage, l'éclairage des routes des double voies au les accès et sortie des villes et des routes d'évitement des villes, ces éclairages restent allumés en service tout la nuit quelle que soit le type d'alimentation, il y' a deux types d'alimentation. Alimentation par câble conducteur type classique, éclairage par des panneau solaire. L'utilisation de ces deux types d'éclairage à des problèmes courants.



Figure III.1: Photo réelle de l'accès à la ville de Naâma



Figure III.2 : Photo réelle d'accès de ville Boughtobe (éclairage avec panneau solaire)

Les problèmes posés par l'éclairage**2.1 type classique :** il y'a deux problèmes poser :

1-facture de la consommation

2-La facture de la maintenance

3-la demande de l'énergie électrique est poser le fournisseur d'énergie (SONALGAZ)

III.2.2 types à panneau solaire :

1-le prix et la durée de vie de la batterie

Les causes :

1-le profonde de la décharge de la batterie est causer par :

1-1- Le temps de décharge reste utiliser tout la nuit un service

1-2- Le mal charge cela est due aux mauvaises condition météorologiques (les nuages, la poussière)

2-Le cycle de la charge et décharge

3-la durée de vie et les prix de kit (le contrôleur intelligent et LED)

Les causes :

L'échauffement, reste allumées toute la nuit

3 Les solutions proposées :

Les solutions idéales pour résoudre tous ces problèmes sent :

1- Les problèmes posés par l'éclairage

2- La réduction du nombre des lampadaires éclairées

3- L'utilisation des lampadaires juste en temps de besoin (le temps de passage des véhicules)

Les trois (3) solutions nous assurent l'opération ce qu'on appelle l'économie de l'éclairage

ECO-ECLAIRAGE

**Figure III.3 : Prototype Eco éclairage****Comment économiser l'éclairage ?**

L'économie de éclairage c'est l'utilisation de l'éclairage seulement en temps de besoin.

Nous pouvons installer un auto rupteur chaque support du lampadaires ce dernier fonctionne automatiquement par capture des lumières du phares de véhicule qui passe, et éteindre par l'absence de la lumière

Présentation du prototype de l'auto- rupteur**Définition :**

L'auto-rupteur est un interrupteur qui fonctionne automatiquement par capturer la lumière de manière de : présence de la lumière position fermeture, absence de la lumière ouverture

Réalisation du prototype :

Il y a deux méthodes de réalisation :

- 1- Réalisation a l'aide de carte Arduino
- 2- Réalisation un circuit par des composants électroniques

1 – Réalisation a l'aide de carte Arduino

Matériel nécessaire :

1. Carte Arduino UNO
2. Module relais 1 canal (5V)
3. Photorésistance (LDR)
4. Résistance 10 k Ω
5. Lampe 220V (avec prise ou douille)
6. Transistor (optionnel si non intégré dans le module relais)
7. Alimentation 220V pour la lampe
8. Câbles de connexion
9. Plaque d'essai

Principe de fonctionnement :

- La **photorésistance** détecte la **lumière de vehicule**
- En présence de **lumière**, l'Arduino **active le relais**, ce qui **allume la lampe**.
- En **absence de lumière**, le relais est désactivé, donc **la lampe s'éteint**.

Schéma de câblage :

Partie capteur :

- **LDR** connectés entre **5V** et une entrée analogique **A0**.
- Une **résistance de 10k Ω** entre **A0** et **GND**.

Partie relais :

- **IN** du relais → une sortie numérique (ex. **D8**) de l'Arduino
- **VCC** du module relais → **5V** Arduino
- **GND** du module relais → **GND** Arduino
- La **lampe 220V** est connectée au **contact NO (normalement ouvert)** du relais.

Code Arduino :

cpp

CopierModifier

```
int ldrPin = A0;    // Broche analogique connectée au LDR
int relaisPin = 8;  // Broche digitale connectée au module relais
int seuil = 500;    // Valeur de seuil de lumière
```

```
void setup() {
  pinMode(relaisPin, OUTPUT);
  digitalWrite(relaisPin, LOW); // Éteindre le relais au départ
  Serial.begin(9600);
```

```

}

void loop() {
  int valeurLDR = analogRead(ldrPin);
  Serial.println(valeurLDR);

  if (valeurLDR > seuil) {
    digitalWrite(relaisPin, HIGH); // Allumer la lampe (présence de lumière)
  } else {
    digitalWrite(relaisPin, LOW); // Éteindre la lampe (absence de lumière)
  }

  delay(200);
}

```

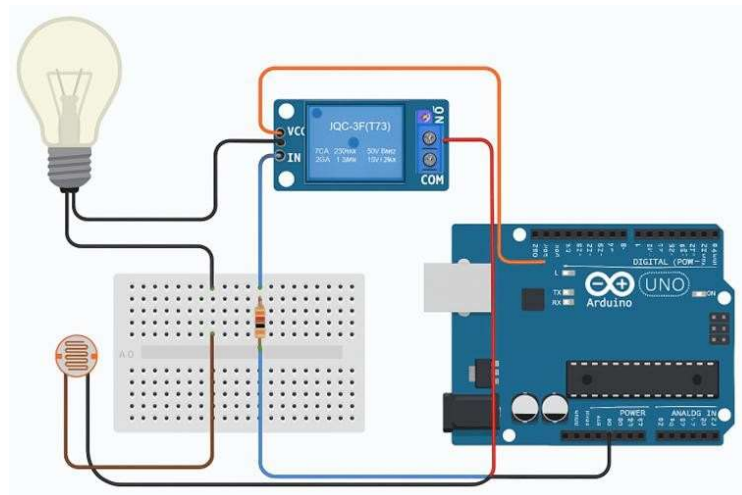


Figure III.4 : Éco-éclairage réalisé par Arduino

En raison des cosideration de cout,nous avons preferé la deuxiemme methode la realisation par des composants electroniques

Réalisation d'un circuit électronique :

le circuit électronique composé de :

- capteur de lumière (photorésistance)
- résistances 100 ohm
- Transistor npn bc547
- Diode 1n4007
- Relais 12v

-condensateur 300uf

Schéma électronique du auto rupteur

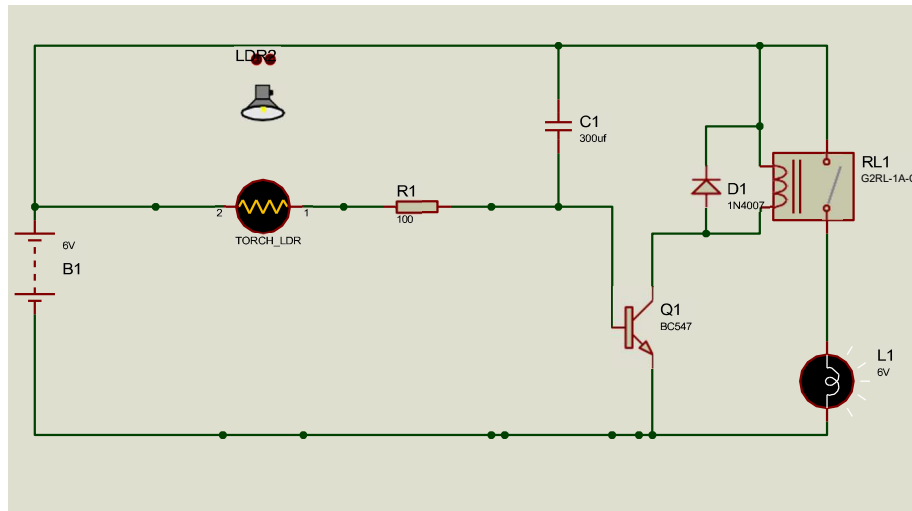


Figure III.5 : schéma fonctionnel de l'auto-rupteur par programme Proteus

Principe de fonctionnement :

En présence de la lumière la résistance (LDR) devient conducteur $r=0$ le courant circule dans la base de transistor qui permet d'exister la bobine de relais, le relais ferme le circuit d'alimentation de LED donc allumage de LED, par contre en absence de la lumière l'ouverture de relais éteindre de LED.

L'installation de l'auto rupteur :

- chaque support du lampadaire
- ajustée en face du sens de circulation des véhicules qui passent
- la pose au point d'incidence de la lumière des phares des véhicules

Câblage :

1. En cas de panneau solaire

- 1- faire une ouverture au niveau du câble qui alimente les LED (lampe)
- 2- connecter l'auto rupteur comme un interrupteur entre la batterie et les lampes

2. En cas de câble conducteur (type classique)

- 1- Faire une ouverture au niveau de câble conducteur montant à la lampe
- 2- Connecter l'auto rupteur entre le câble montant à la lampe et la lampe

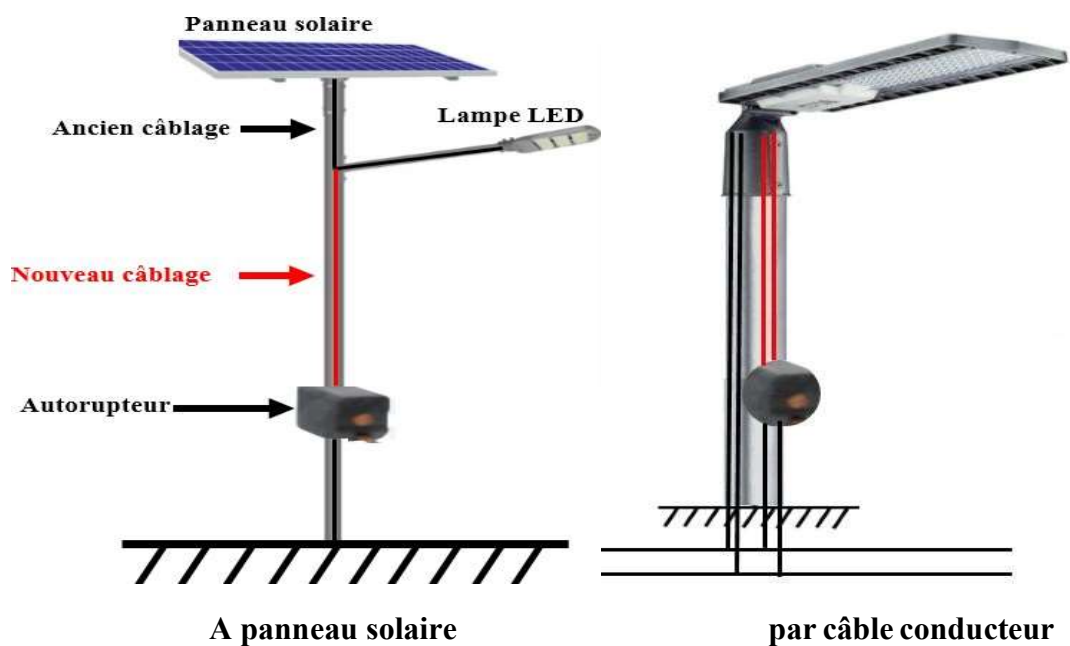


Figure III.6 : câblage

L'emplacement

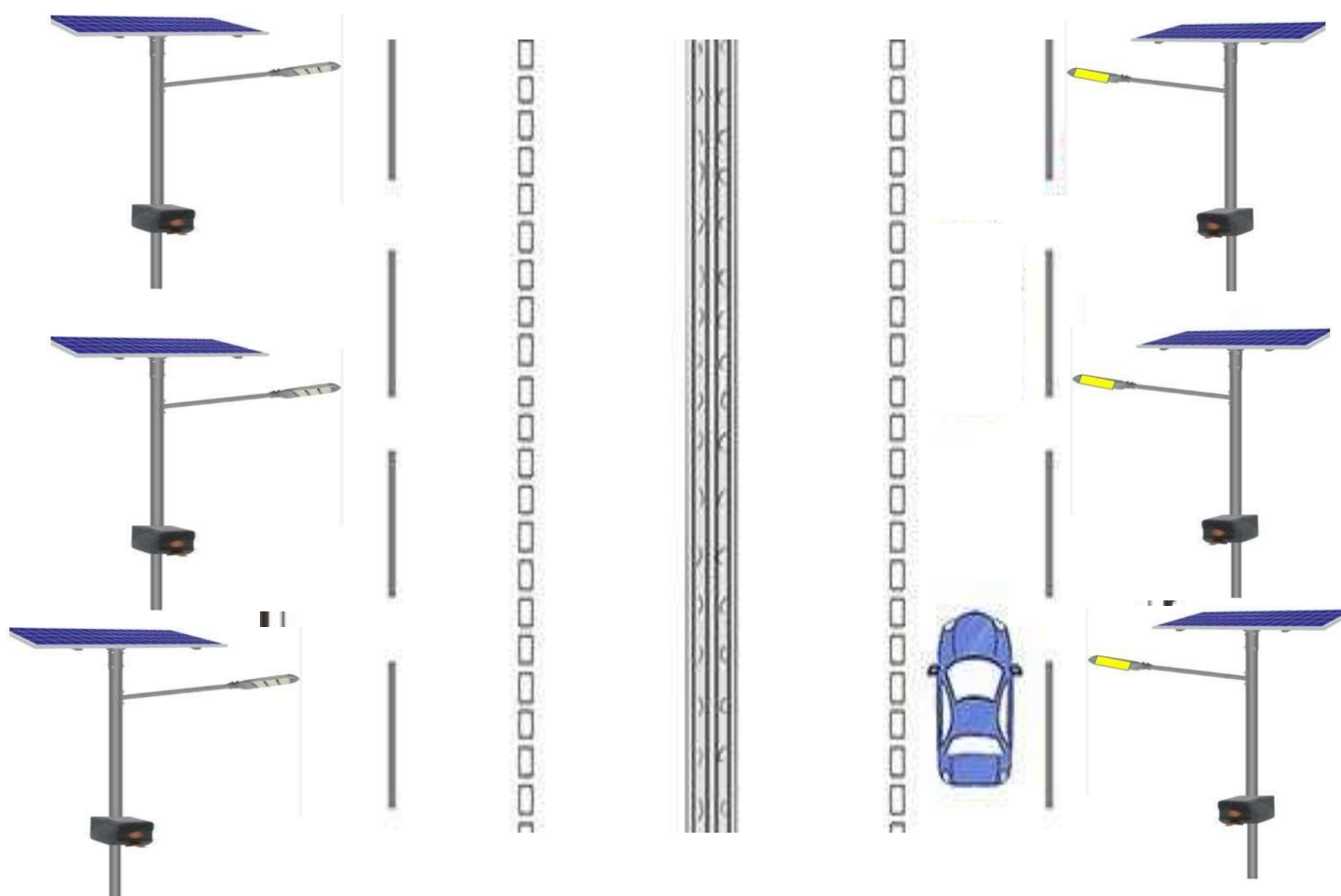


Figure III.7 : Ligne d'éclairage avec aurorupteur

Les résultats attendus :**Exemple :**

Une ligne d'éclairage alimenter par câble conducteur de longueur de 6 km équipée de 200 lampes de 150w en service de 8 heures

La consommation=Puissance totale (kW)×Durée (h)

1. Calcul de la puissance totale :

$$150 \text{ W} \times 200 \text{ lampes} = 30\,000 \text{ W} = 30 \text{ kW}$$

2. Consommation sur 8 heures :

$$30 \text{ kW} \times 8 \text{ h} = 240 \text{ kWh}$$

Résultat :

La ligne consomme **240 kilowattheures (kWh)** sur une période de **8 heures**.

La même ligne après l'installation du système de l'auto rupteur

-1 diminution le temps d eclairage**Données :**

- 200 lampes
- 150 watts chacune
- Durée de la distance parcourue d'une vehicule de 6 km : 6 minutes = **0,1 heure (temps mesurer par l'application de maps)**

1. Puissance totale :

$$200 \times 150 \text{ W} = 30\,000 \text{ W} = 30 \text{ kW}$$

2. Consommation sur 0,1 h :

$$30 \text{ kW} \times 0,1 \text{ h} = 3 \text{ kWh}$$

Résultat :

En **6 minutes**, la ligne consomme **3 kilowattheures (kWh)**.

2- réduction du nombre de lampes

Données :

- 100 lampes (passage de 100 véhicules)
- 150 W chacune
- 6 minutes = 0,1 heure

1. Puissance totale :

$$100 \times 150 \text{ W} = 15000 \text{ W} = 15 \text{ kW}$$

2. Consommation sur 6 minutes :

$$15 \text{ kW} \times 0,1 \text{ h} = 1,5 \text{ kWh}$$

Résultat :

La consommation de **100 lampes de 150 W** pendant **6 minutes** est de **1,5 kWh**.

Comparaison des résultats:

La ligne	Avant	Après	Le gain
Le temps (h)	8 h	0,1	7,9
Le nombre	200 lampes	100 lampes	100 lampes
La consommation (kWh)	240 kWh	1,5 kWh	238,5 kWh

Tableau III.1 : comparaison des résultats

La même ligne avec panneau solaire, nous allons faire le calcul du taux d'endurance de la batterie :

- Passage de 100 véhicules (le nombre d'allumage 100 fois)
- La durée de passage 10 secondes * 100 = 1000s / 3600 = 0,277 h
- La charge de la batterie 100% nous assure 8 heures
- Donc le pourcentage de la décharge de la batterie sera 3,5%

Le gain sera 96,5% du taux d'endurance de la batterie

Tableau comparatif des résultats

Batterie chargée 100%	Avant	Après	Le gain
Le décharge de batterie	90%	3,5%	96,5%
La durée décharge	8 h	0,3 h	7,7h
Taux d'endurance			96,5%

Conclusion :

De cet exemple nous déduisons que ce système est très efficace, la réduction de la consommation jusqu' à 90%, et le taux d'endurance de la batterie 95%

Donc le rendement de ce système est très élevé 90%.

Les coûts

Les coûts total = les coûts d'achat de composants + de la réalisation + les coûts d'installation

Les coûts total = 2000 da

L'impact économique du Eco éclairage

1- la réduction des factures de consommation et de la maintenance pour les utilisateurs des éclairage routière, les communes, les willayas, les stations de sévices, les zones industriels et des activités, les propriétés privées comme les accès des fermes et des usines

2- les économies issues des revenus de la réduction des factures

3- la baisse de la demande de l'énergie électrique pour le fournisseur SONELGAZ surtout au les heures de pointe et la garantie de continuité de sévices

4- la garantie des économies de l'excédent d'énergie

5- la couverture des besoins locaux, et assurer l'exportation de l'énergie vers d'autres réseaux

L'impact environnemental du Eco éclairage

Réduire les déchets des batteries usagées

Réduire la demande des nouvelles batteries et la pollution de la fabrication

En peut utiliser ce système dans le domaine de la sécurité routière comme un indicateur de danger dans les virages ou la visibilité est nulle, les ponts, passage des animaux ...ext

Conclusion général

La transition énergétique mondiale impose aux ingénieurs, chercheurs et décideurs de concevoir des solutions innovantes, durables et économiquement viables. Ce mémoire s'inscrit dans cette dynamique en étudiant l'intégration des systèmes photovoltaïques autonomes, accompagnés de solutions de stockage d'électricité, dans le domaine de l'éclairage public.

À travers cette étude, nous avons d'abord mis en évidence le potentiel considérable de l'énergie solaire, notamment dans les régions fortement ensoleillées, ainsi que les avancées technologiques permettant de convertir efficacement cette ressource naturelle en électricité. Nous avons ensuite abordé les différentes technologies de stockage, indispensables pour pallier l'intermittence de la source solaire et garantir une alimentation continue, en particulier pour des applications telles que l'éclairage nocturne.

L'analyse de l'éclairage public a révélé l'importance de ce secteur en termes de consommation énergétique et de dépenses budgétaires. La mise en œuvre d'un système intelligent et autonome, reposant sur l'énergie solaire et le stockage local, permet non seulement de réduire les coûts d'exploitation à long terme, mais aussi de diminuer significativement l'impact environnemental des infrastructures urbaines.

Ainsi, ce travail a permis de démontrer qu'une approche combinée entre production décentralisée d'énergie renouvelable, stockage adapté, et utilisation rationnelle de l'énergie représente une solution concrète pour atteindre les objectifs de développement durable. L'éclairage public solaire avec stockage constitue une alternative fiable, économique et écologique aux systèmes traditionnels alimentés par le réseau électrique.

Toutefois, certaines limites subsistent, notamment liées au coût initial des équipements, à la durée de vie des batteries, et à la maintenance des installations. Il est donc essentiel de poursuivre les recherches, notamment sur de nouvelles technologies de stockage, des systèmes de gestion énergétique intelligents (smart grid, IoT), et des modèles économiques adaptés aux collectivités locales.

Ce projet s'inscrit dans le cadre de la concrétisation du rôle de l'université dans la construction et le développement de l'économie nationale, ainsi que dans la valorisation de ses ressources scientifiques et techniques, et ce, en contribuant à la mise en œuvre de la politique de l'État et du gouvernement en matière de rationalisation des dépenses publiques.

En conclusion, l'avenir de l'éclairage public réside dans l'adoption de solutions énergétiquement autonomes, connectées et respectueuses de l'environnement, dont le système photovoltaïque avec stockage constitue l'un des piliers essentiels.

Références bibliographiques

- [1] DJELOUAT Amal et BELKHEIR Mohamed, Poursuite du point de puissance maximale d'un système solaire, photovoltaïque en utilisant un contrôleur neuro flou, mémoire de master, université saida, 2020.
- [2] Salim ARAB et Dalila TOUDERT, Etude d'un Système Photovoltaïque, memoire de master, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU, 2017.
- [3] M.N.Mchalikh et CH.Hmada, "Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau " Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla, 2013.
- [4] Belhadj, M. , "Modélisation d'un Système de captage photovoltaïque Autonome" Mémoire de Magister option: Microélectronique-Photovoltaïque, Centre Universitaire de Bechar, 2008.
- [5] BEN HAMIDA Zakaria et DARTAGNAN Ossama, Etude et Commande d'un Système Photovoltaïque, mémoire de Master, Université de Ghardaïa, 2018.
- [6] KESSAISSIA Fatma Zohra, "Caractérisation de Module photovoltaïques de différents technologies" Université Hassiba Benbouali de Chlef., 2013.
- [7] Bouden Abdelmalek , "Analyse optimisée de système de pompage photovoltaïque", Université Mentouri Constantine, 2008.
- [8] BENAKARA Abderrahmen, Détection et isolation de défauts pour une installation photovoltaïque, mémoire Master, Université 8 Mai 1945 – Guelma, 2022.
- [9] Navarro, José Miguel, Cellules Photovoltaïques Organiques Transparentes Dans Le Visible. Toulouse : Université Toulouse III, 2008.
- [10] Piccard, L. de Schoulepnikoff et Gymnase Auguste, Quelle source d'énergie pour les vingt prochaines années ? s.l. : Travail de maturité Alexandra Catana 3M7, 2009.
- [11] MECHEHAT Tamader et ASSAL Merouane, Contribution à la gestion d'énergie d'un système renouvelable : panneau photovoltaïque / batterie, Mémoire de Master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2023.
- [12] <https://www.europe-energie.com/petite-histoire-de-photovoltaïque..>
- [13] Abdelhadi, S.I.T., Commande et modélisation de l'énergie photovoltaïque interconnecté au réseau électrique, Faculté des Sciences et Technologies., 2021.
- [14] FAR,M.B. and S. YAQOT BOUDRAF, LA PRO Duction PHOTOVOLTAIQUE ELECTRICITE, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA., 2021.
- [15] Chalal, A. and M. Amine, Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque pour l'alimentation d'une ferme pilote, 2019.

- [16] H. Mehling and L.F. Cabeza. , Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications. Heat and Mass Transfer. Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [17] S. Petibon, “Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l’énergie pour les applications photovoltaïques,” Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, 2009.
- [18] Azoui, Notes de cours, Master Energies renouvelables, staff.univ-batna2.dz., 2019/2020.
- [19] Akassewa Tchapo SINGO, Système d’alimentation photovoltaïque avec .stockagehybride pour l’habitat énergétiquement autonome, Université Henri Poincaré,Nancy-I, 2010.
- [20] HANANOU FATIHA et ROUABAH AICHA, Modélisation et simulation d’un système photovoltaïque, memoire de Master, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2014.
- [21] Alain Bilbao Ibarreta, ” Réalisation de commandes MPPT Numériques ” Rapport de stage Projet Fin d’Etudes Universtat Rovira Virgili., 2006.
- [22] W.Bensaci, ” Modélisation et simulation d’un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT ” Mémoire de Master Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2012.
- [23] Masson, Les piles solaires, le composant et ces applications, 1985.
- [24] <http://www.panneaux-solaires-france.com/histoire-panneaux-solaires>.
- [25] Mohamed Lakhdar Louazenen, «Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque sur le site de Ouargla », Mémoire de Magister, de Université de Batna, 2008.
- [26] M. Boukli-hacene Omar, «Conception et Réalisation d’un Générateur Photovoltaïque Muni d’un Convertisseur MPPT pour une Meilleure Gestion Energétique », Thèse de Magister, Université Abou Belkaid-Tlemcen, 2011.
- [27] Kalaitzakis, E. Koutroulis and K. Novel , Battery Charging Regulation system for Photovoltaic applications . s.l. : IEE Proc. Electr. Power Appl., Vol. 151 N°2, pp.191 - 197., 2004.
- [28] Villos, anne Labouret-Michel. anne Labouret-Michel Villos. s.l., anne Labouret-Michel Villos professionnel.Dunod 3ème édition, 2003.
- [29] BOUKAROURA Abdelkader, "Modélisation et Diagnostic d’un Onduleur Triphasé Par l’Approche Bond Graph ”Mémoire de Magister UNIVERSITE FERHAT ABBAS DE SETIF, 2009.
- [30] SLAMA, Modélisation d’un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique. Sétif : mémoire de magister Université de Sétif, 2012.

- [31] R. Khezzar et al, « Comparaison entre les différents modèles électriques et détermination des paramètres de la caractéristique I-V d'un module photovoltaïque », *Revue des Energies Renouvelables* Vol.13 N° 3, pp 379-388, 2010.
- [32] Hichem, D., Etude et dimensionnement d'un système photovoltaïque dédié à une habitation, Université Mouloud Mammeri., 2017.
- [33] BILLEL, F, Etude d'un système Hybride (photovoltaïque–éolien). mémoire de master génie mécanique, 2015.
- [34] Boulkaboul Nawel, Étude et Modélisation d'un Panneau Solaire Photovoltaïque, mémoire de master, Université Ibn Khaldoun – Tiaret, 2015.
- [35] L. s. d. l. d. p. F. M. D. d. l. r. t. C. c. d. C. «. C. C. -. N. 5. -. H. 2.-2. ».
- [36] A. Zerga, F. Benyarou et B. Benyousef , « Optimisation du rendement d'une cellule solaire NP au silicium monocristallin » *Rev. Energ. Ren : physique Energétique* (1998pp.95-100)..
- [37] Bendjamâa Ibrahim, Modélisation et commande d'un système De stockage photovoltaïque, mémoire de master, UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID – TLEMCEN-, 2012.
- [38] E. S. A. h. 2. Technologies and comparions ».
- [39] Sylvain Brigand, « Installations Solaires Photovoltaïque (dimensionnement de l'installation et mise en oeuvre maintenance) », Edition le moniteur (paris), 2011.
- [40] Belaiche Hacene, Nanouche Yacine , « Etude d'une installation en énergie photovoltaïque intégrée au bâtiment : cas d'un laboratoire au CDER ». Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO, 2014.
- [41] R. NEBBALI, Etude et dimensionnement d'une installation photovoltaïque, MASTER ACADEMIQUE EN GENIE MECANIQUE, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2017.
- [42] H.S., WROBLOWA, Modern aspects of electrochemistry New York, Plenum Press, Vol. 16 , 1985 Power sources 8,, 1981.
- [43] LINDEN D, HANDBOOK OF BATTERIES AND FUEL CELLS McGraw-Hill, New York ;.
- [44] ANNE LABOURET, « Cellules solaires_ Les bases de l'énergie photovoltaïque », éditions techniques et scientifiques françaises, 5ème édition, Dunod..
- [45] N. Achaïbou, A Malek , N Bacha , « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV » ; N. spécial (CHEMSS), pp 61-66, 2000.

- [46] I. TSUDA, K. KUROKAWA, K.NOZAKI, «Annual simulation results of photovoltaic system with redox flow battery», solar Energy Materials and solar cells 35, pp 503 –508,, 1994.
- [47] www.arebor-energie.fr/encyclopedie.
- [48] A. RICAUD, « Modules et systèmes photovoltaïques », Sept 2008.
- [49] <https://www.quelleenergie.fr/questions/capacite-duree-vie-batteries-solaires>.
- [50] ., BIBLIOGRAPHIE PDF CHAPITRE 5 THESE Le stockage de l'énergie : l'accumulateur électrochimique.