



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

Option : Energies Renouvelables

Réf :

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

MASTER

**Charge d'une batterie au plomb acide par un
générateur photovoltaïque**

Présenté par :
Chaouki I Lyes
Soutenu le : 05 Juin 2017

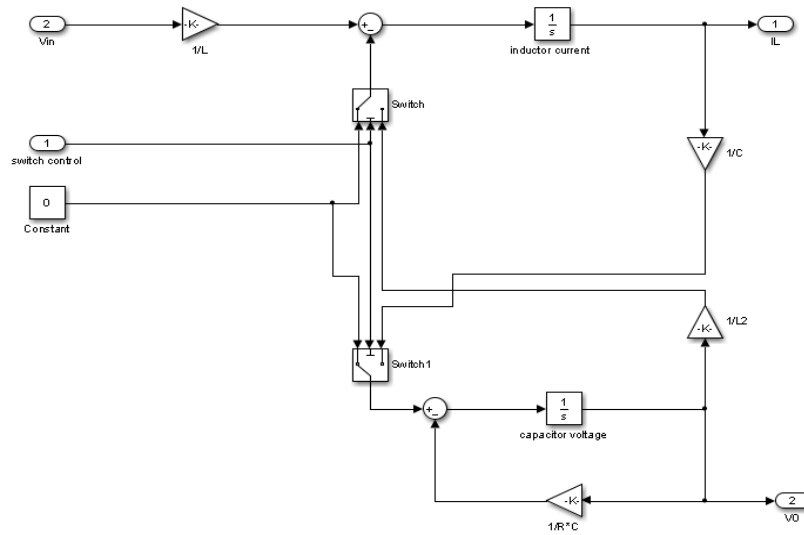
Devant le jury composé de :

- | | | |
|-----------------------------|-------|-----------|
| • Mme Deradji Beloum Karima | M.A.A | Président |
| • Mme Tkouti nacira | M.A.A | Encadreur |
| • Mme Khlili fatiha | M.A.A | Examineur |

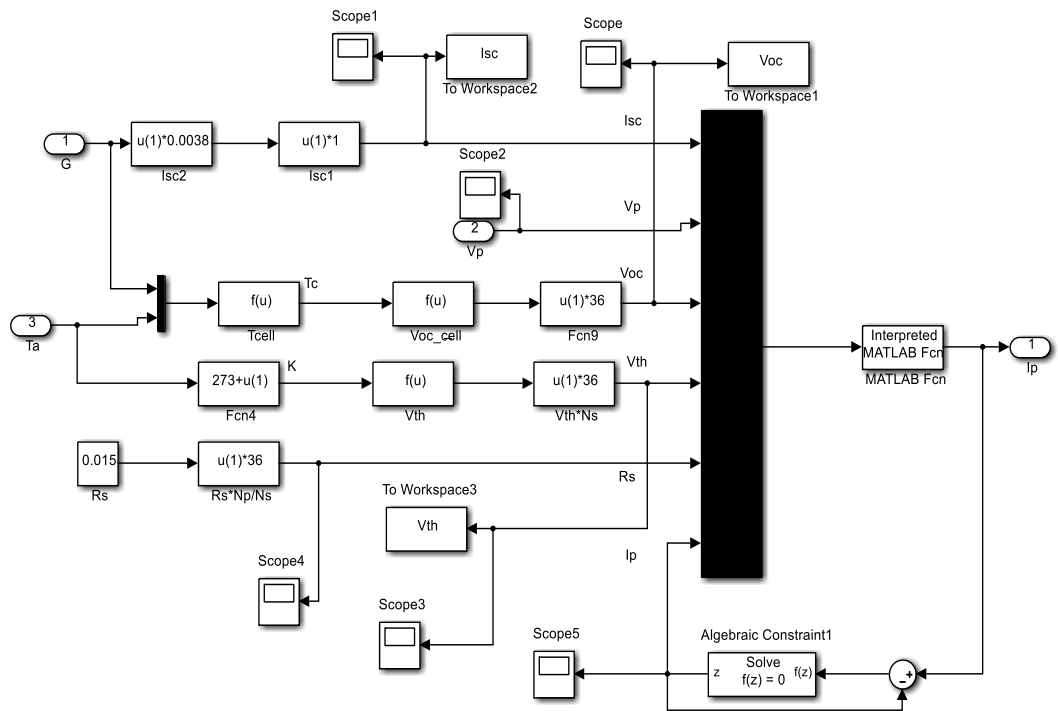
Année universitaire: 2016 / 2017

Annexe

Annexe



Bloc de simulation d'un hacheur Boost.



Bloc de simulation d'un générateur photovoltaïque.

Bibliographie

- [01] M. boukli-hocene Omar (conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique) 2011.
- [02] https://fr.wikipedia.org/wiki/%c3%89nergie_solaire_photovolt%c3%afque.
- [03] Amamra Mohammed Salah, Djedidi Yahia, Mémoire de magister (optimisation de la production d'un générateur photovoltaïque) 2015. Université kasdi merbah ouargla.
- [04] http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=l%27%c3%a9nergie_photovolt%c3%afque#histoire.
- [05] Hananou Fatiha, Rouabah Aicha, Mémoire de magister (modélisation et simulation d'un système photovoltaïque) 2014. universite kasdi merbah ouargla.
- [06] Matallah Sorya, Mémoire de magister (dimensionnement et simulation d'un système photovoltaïque pour alimenter un habitat dans la wilaya d'ouargla) 2015. Université kasdi merbah ouargla.
- [07] Bendjamâa Ibrahim Mémoire de magister (modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque) 2011-2012. université abou-bakr belkaid –tlemcen.
- [08] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c3/spectre_solaire.png.
- [09] Belhadj Mohammed, Mémoire de magister (modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome) 2007-2008. Université de bechar.
- [10] Touil Nacer Eddine, Ghenbazi Slimane, Mémoire de magister (modélisation et simulation d'un système photovoltaïque) 2015. Université echahid hama lakhder d'el-oued.
- [11] Aoun Nouar, Mémoire de magister (etude et modelisation des differents modeles de la cellule photovoltaïque etablis sur base de valeurs nominales) 2010. Université mentouri constantine.
- [12] http://www.ecosources.info/dossiers/types_de_cellules_photovoltaiques.
- [13] Boukhers Djamil, Mémoire de magister (optimisation d'un systeme d'energie photovoltaïque applicatiou au pompage) 2007. Université mentouri de constantine.
- [14] Mlle Benhaddouche Nesrine Fatima, mémoire de magister (la commande d'un système photovoltaïque d'un satellite) 2013. Université abou bekr belkaid – tlemcen.

Références Bibliographiques

- [15] Othmane Benseddik, Fathi Djaloud, Mémoire de magister (étude d'optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque) 2012. université ouargla.
- [16] <http://tpe-energie-solaire.e-monsite.com/pages/science-et-technique/l-energie-photovoltaique/avantages-et-inconvenients-du-photovoltaique.html>.
- [17] Sofiane Abada (Etude et optimisation d'un generateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic) 2011. Université Laval Québec.
- [18] Julie Iatrou, Ronan Lebouteiller, Benjamin Benoist, Thomas Lerendu, Youness Benali, Julie Le Callonnec (Réalisation d'une batterie solaire) 2009. François Guillotin.
- [19] Feddaoui Omar, Mémoire de magister (contribution à l'étude des systèmes hybrides de génération application aux energies renouvelables) 2014.université mohamed chérif messaadia de souk-ahras.
- [20] <http://www.directindustry.fr/prod/exide-technologies/product-12301-1571010.html>.
- [21] https://fr.wikipedia.org/wiki/batterie_au_plomb.
- [22] Bencherif Mohammed, Mémoire master (modélisation des paramètres d'une batterie plomb-acide, et son intégration dans un système photovoltaïque autonome) 2015. Université abou bekr belkaid tlemcen.
- [23] Guillaume Dillenseger, Docteur (caractérisation de nouveaux modes de maintien en charge pour batteries stationnaires de secours) 2004. L'université Montpellier.
- [24] <http://www.screlec.fr/www/accumulateurs.html>.
- [25] Vincent Benamara, Mémoire master (étude et simulation d'un panneau solaire raccordé au réseau avec périphérique de stockage) 2012. Université du Québec.
- [26] https://fr.wikipedia.org/wiki/batterie_d%27accumulateurs.
- [27] http://www.photovoltaique.guidenr.fr/cours-photovoltaique-autonome/i_principe-decharge-batterie.php.
- [28] <http://f5zv.pagesperso-orange.fr/radio/rm/rm27/rm27b01.html>.
- [29] <http://www.hellopro.fr/batteries-rechargeables-2008187-fr-1-feuille.html>.
- [30] Dinh Vinh Do, Docteur (diagnostic de batteries lithium ion dans des applications embarquées) 2010. Université de technologie de Compiègne.
- [31] <http://fr.wikipedia.org/wiki/fichier:lithium-ionen-accumulator.jpg>.

Références Bibliographiques

[32] Zallouma Larbi, Mémoire de magister (étude d'un système photovoltaïque avec batterie et réalisation d'un hacheur boost) 2016. Université mohamed khider biskra.

[33]https://fr.wikipedia.org/wiki/accumulateur_%c3%a9lectrique#avantages-inconv.c3.a9nients.

[34] M. slama Fateh, Mémoire master (modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique.) 2011. universite ferhat abbas setif.

[35] Mouna abarkan, Docteur (modélisation et analyse du comportement d'un bâtiment équipé d'un système multi sources d'énergie) 2015. l'université de aix-Marseille.

[36] Mlle Benhaddouche Nesrine Fatima, Mémoire master (la commande d'un système photovoltaïque d'un satellite) 2013. Université de tlemcen.

[37]https://www.researchgate.net/publication/279768801_Modelisation_Et_Commande_D%27un_Generateur_Photovoltaique_Muni_D%27un_Regulateur_MPPT

Bibliographie

Chapitre 01

Energie photovoltaïque

1.1 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque est une énergie électrique produite à partir du rayonnement solaire. L'énergie produite par une centrale solaire photovoltaïque est dite renouvelable, car sa source est considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humaine. Cette énergie n'est cependant pas totalement renouvelable, car la fabrication des panneaux photovoltaïques, leur installation et leur exploitation consomment de l'énergie issue en grande partie de sources non renouvelables ; mais un système photovoltaïque produit entre 20 et 40 fois plus d'énergie que ce qui a été utilisé pour le fabriquer.

La cellule photovoltaïque est le composant électronique de base. Elle utilise l'effet photoélectrique pour convertir les ondes électromagnétiques émises par le soleil en électricité. Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules regroupés forment une installation solaire. L'électricité est soit consommée ou stockée sur place, soit transportée par le réseau de distribution et le réseau de transport. [02]

L'électricité photovoltaïque a dans un premier temps été développée pour des applications autonomes sans connexion à un réseau électrique pour par exemple des satellites de applications de diverses puissances comme les calculatrices, les montres et d'autres objets d'utilisation courante. En effet, cette électricité produite par des cellules photovoltaïques individuelles peut alimenter diverses charges continues sans difficulté. Plus récemment, avec l'émergence d'installations photovoltaïques connectées au réseau de distribution, le photovoltaïque a connu un développement important en tant que moyen de production d'électricité. [03]

1.2 Historique :

L'histoire de l'énergie photovoltaïque commence au XIXe siècle, le siècle de la révolution électrique. Alessandro Volta crée la pile électrique (1800), en 1827 le hongrois Ányos Jedlik réalise la première dynamo. En 1879, Thomas Edison présente sa première ampoule électrique à incandescence et construit le premier réseau électrique urbain en courant continu (1882). Voyant ici un marché porteur, l'industriel George Westinghouse avec l'aide de l'ingénieur Nikola Tesla, développe un autre réseau électrique en 1886, mais cette fois-ci en courant alternatif. Antoine César Becquerel découvre le principe photovoltaïque en 1839.

La révolution électrique se fait aussi par la découverte de l'énergie photovoltaïque. En 1839, Antoine César Becquerel (le grand-père d'Henri Becquerel), découvre le principe photovoltaïque. Le physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz le comprit et présenta l'effet photovoltaïque en tant que tel en 1887. Mais c'est Albert Einstein qui, le premier, a pu expliquer le principe photovoltaïque, avec à la clef, le prix Nobel de physique en 1921. Malgré les nombreux avantages de cette énergie propre, le XXe siècle fait place à l'énergie thermique tirée du pétrole. Le pétrole est abondant, très bon marché, il est considéré comme une matière première stratégique, à l'origine de la géopolitique du pétrole. Ainsi, le solaire ne séduit plus, les projets et les découvertes se font plus rares.

La technologie photovoltaïque se développe à petits pas. En 1954, des chercheurs américains (Chapin, Fuller, Pearson et Prince) travaillant pour les laboratoires Bell Téléphone développent une cellule photovoltaïque à haut rendement de 6 % dans le but d'alimenter les téléphones situés dans des zones isolées. Cependant la technologie coûte encore trop chère pour se généraliser. Vanguard 1, le premier satellite doté de cellules solaires. Malgré son coût, la recherche spatiale dope la recherche dans le domaine photovoltaïque. Une cellule avec un rendement de 9% est mise au point 4 années plus tard et le premier satellite doté de cellules solaires, Vanguard 1 est envoyé dans l'espace le 17 mars 1958.

Il faut attendre 1973 et le premier choc pétrolier pour que les gouvernements décident de varier leurs sources d'énergie. On accentue la recherche dans les énergies alternatives. Dans la même année, la première maison avec une installation photovoltaïque voit le jour à l'université de Delaware aux États-Unis. En 1983, l'australien Hans Tholstrup parcourt 4 000 km avec "Quiet Achiever", la première voiture solaire. Il fonde en 1987 le "World Solar Challenge", la première course de voitures solaires. Suite aux prises de conscience écologique et au renchérissement des énergies fossiles du XXIe siècle, les politiques en faveur des énergies renouvelables se sont accentuées sur les 5 continents. [04]

1.3 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 ($KW c/m^2$) 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. [05]

1.3.1 L'énergie solaire Photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque fait l'objet d'un grand intérêt ces dernières années. Photovoltaïque basée sur l'effet photoélectrique. Celui-ci permet de créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique (Figure 1.1). Cette ressource a donc l'avantage d'être inépuisable et utilisable en tout point d'un territoire.



Figure (1.1) : Système solaire photovoltaïque. [06]

1.4 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 300000km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale de l'atmosphère est présentée un maximum pour une longueur d'onde d'environ 0.5µm, la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780°k.

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

1.4.1 Spectre du rayonnement

Le rayonnement électromagnétique est composé de « grains » de lumière appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde. L'énergie de chaque photon est donnée par la formule suivante :

$$E = h.C/\lambda.$$

$h = 6,62 * 10^{-34}$ JS⁻¹ est la constante de Planck.

$C = 3 * 10^8$ mS⁻¹ étant la vitesse de propagation.

Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800° K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de AM0. Sa distribution en énergie est répartie en :

- Ultraviolet UV $0.20 < \lambda < 0.38 \text{ mm}$ 6.4%.
- Visible $0.38 < \lambda < 0.78 \text{ mm}$ 48.0%.
- Infrarouge IR $0.78 < \lambda < 10 \text{ mm}$ 45.6%. [07]

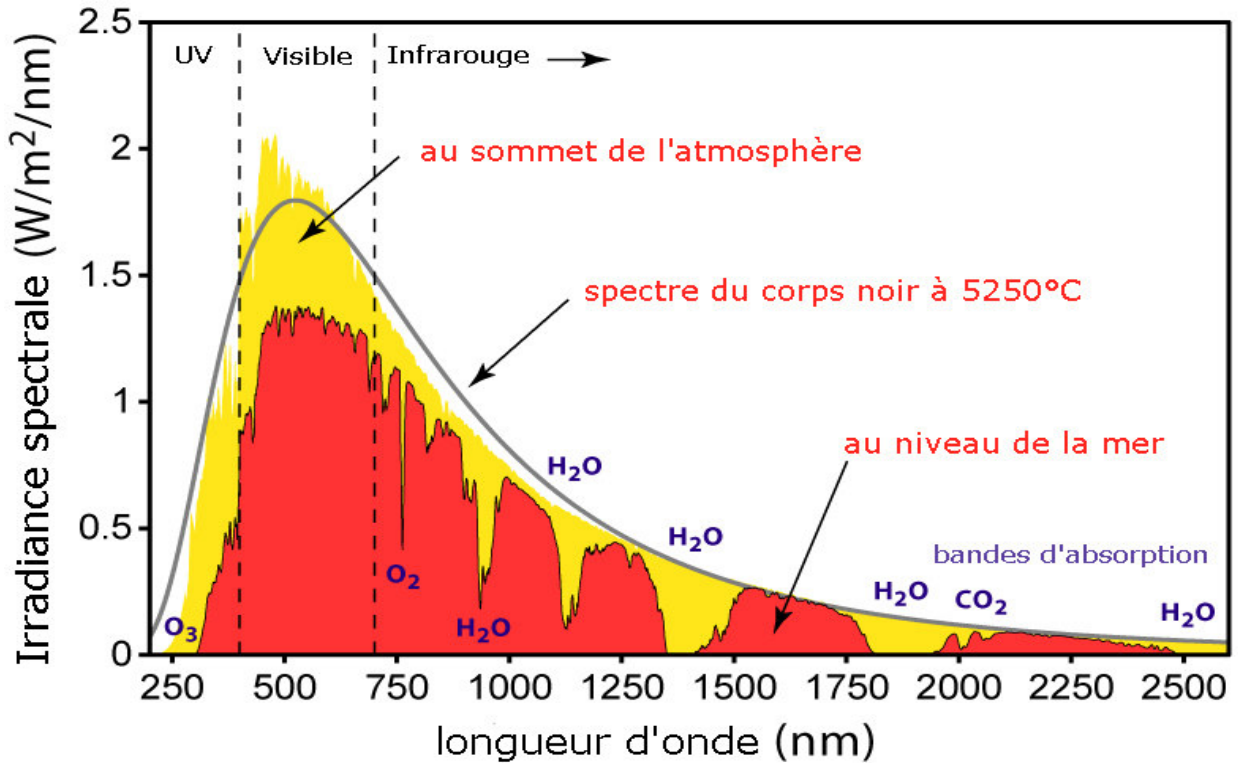


Figure (1.2) : Spectre du rayonnement solaire. [08]

1.4.2 Durée d'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Le relevé est fait au moyen de l'héliographe de Campbell– Stokes dans lequel une sphère de cristal concentre les rayons du soleil sur un papier qu'il brûle en se déplaçant. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages.

Au défaut de l'héliographe, il est possible à partir du calcul du mouvement astronomique relatif du soleil et de la terre d'évaluer la durée théorique du jour ; c'est-à-dire, celle qu'il y aurait si les nuages ne cachaient pas le soleil. Cette durée est calculée en fonction de la latitude du site et de la déclinaison apparente qui'elle-même dépend de la période de l'année considérée. [09]

1.5 Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible. Son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi-conducteurs.

Une cellule est constituée de deux couches minces d'un semi-conducteur qui sont dopées différemment, Figure (1.3). Pour la couche N, c'est un apport d'électrons périphériques et pour la couche P c'est un déficit d'électrons, les deux couches présentes ainsi une différence de potentiel.

L'énergie des photons lumineux captés par les électrons périphériques (couche N) leur permet de franchir la barrière de potentiel et d'engendrer un courant électrique continu. Pour effectuer la collecte de ce courant, des électrodes sont déposées par sérigraphie sur les deux couches du semi-conducteur. L'électrode supérieure est une grille permettant le passage des rayons lumineux. Une couche anti reflet est ensuite déposée sur cette électrode afin d'accroître la quantité de lumière absorbée. [10]

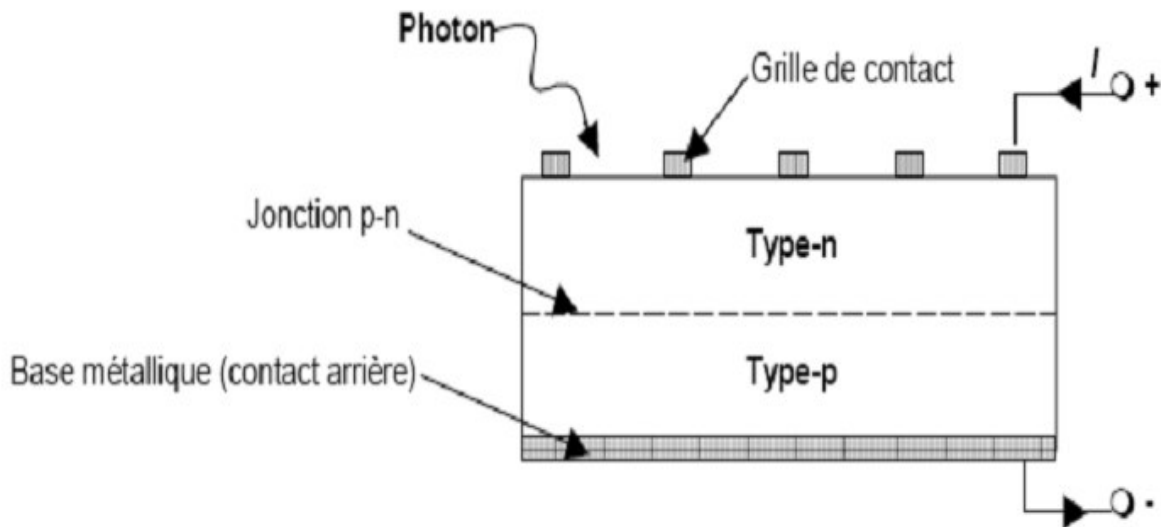


Figure (1.3) : Schéma d'une cellule élémentaire. [11]

1.5.1 Association des cellules solaires photovoltaïques

La cellule photovoltaïque ne produit qu'une très faible puissance électrique de l'ordre de 1 à 3 watt avec une tension de moins d'un volt. Pour produire plus de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module photovoltaïque.

Une association de n_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque, les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule.

$$V_{co\ n_s} = n_s \times V_{co} \text{ avec } I_{cc} = I_{cc\ n_s}$$

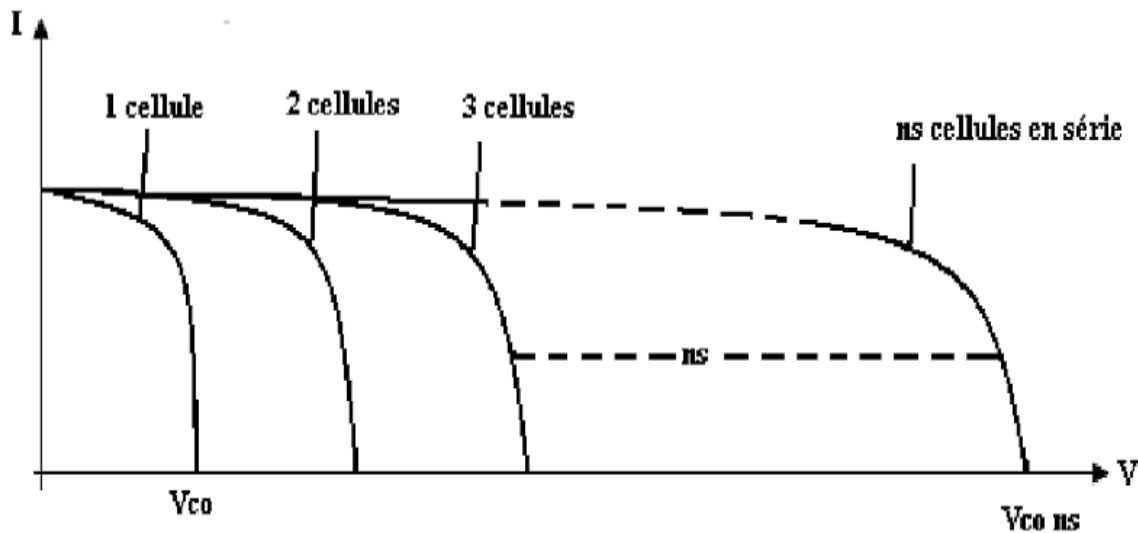


Figure (1.4) : Caractéristique résultantes d'un groupement de n_s cellules en série.

D'autre part une association parallèle de n_p cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur. Dans le groupement parallèle les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants.

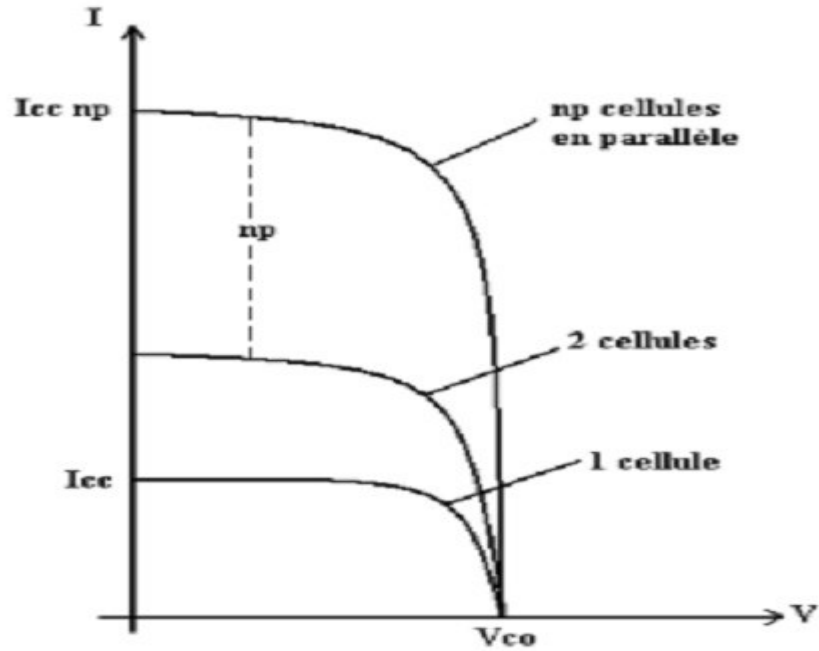


Figure (1.5) : Caractéristique résultante d'un groupement de np cellules en parallèle. [06]

1.5.2 Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïques)

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules. [06]

1.5.2.1 Les cellules monocristallines : Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme.

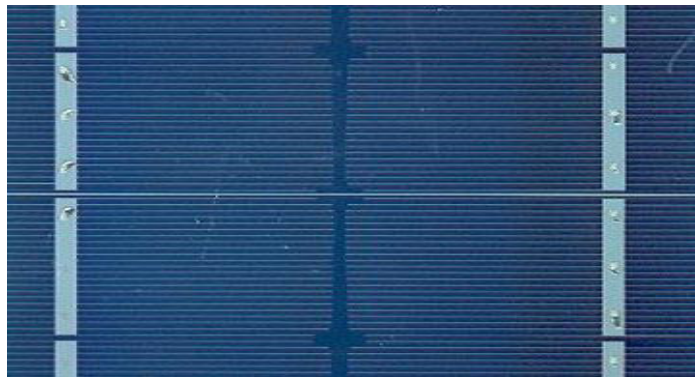


Figure (1.6) : Cellule au Silicium Monocristallin.

1.5.2.2 Les cellules polycristallines : Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.

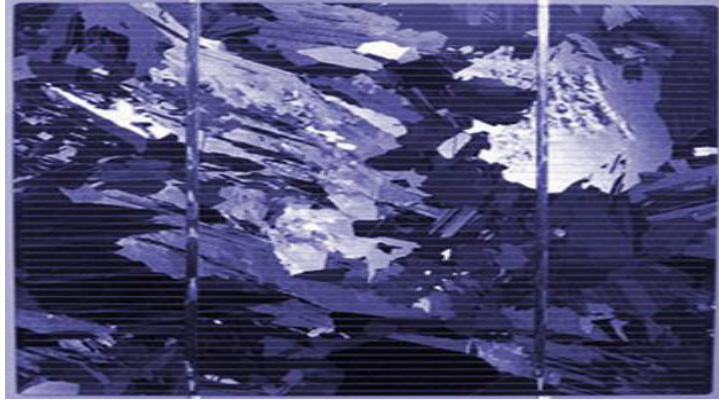


Figure (1.7) : Cellule au Silicium Polycristallin.

1.5.2.3 Les cellules amorphes : Le silicium lors de sa transformation, produit un gaz, qui est projeté sur une feuille de verre. La cellule est grise très foncé ou marron. C'est la cellule des calculatrices et des montres dites "solaires".

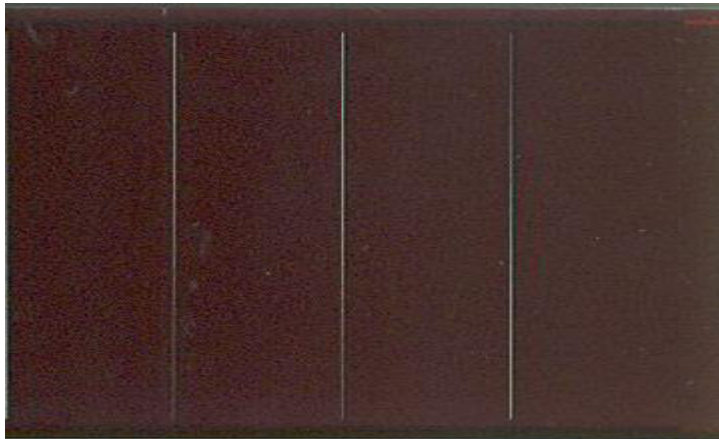


Figure (1.8) : Cellule au Silicium amorphe. [12]

Type de cellules	Rendements des cellules (%)			Domaines d'application
	théorique	en labo.	disponible	
Silicium monocristallin	27	24.7	14-16	modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissances, espace (satellites)
Silicium poly cristallin	27	19.8	12-14	modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles (reliés réseau ou sites isolés)
Silicium amorphe	25	13	6-8	appareils de faible puissance, production d'énergie embarquée (calculatrice, montre.) modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)
Arséniure de Gallium GaAs	29	27.5	18-20	systèmes de concentrateur, espace (satellites).
CIS	27.5	18.2	10-12	appareils de faibles puissances, modules de grandes dimensions (intégration dans le bâtiment)
Tellure de Gadmuim CdTe	28.5	16	9-11	modules de grandes dimensions (intégrations dans le bâtiment)

Tableau (1.1) : Rendement énergétique des différents types de cellules photovoltaïques.

[13]

1.5.3 Matériaux utilisés dans les cellules PV

Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs à base de silicium (Si) de germanium (Ge), de sélénium (Se), de sulfure de cadmium (CdS), de tellure de cadmium (CdTe) ou d'arséniure de gallium (GaAs).

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques, car il est très abondant dans la nature. On le trouve dans la nature sous forme de pierre de silice. La silice est un composé chimique (dioxyde de silicium) et un minéral de formule SiO_2 . Il est le principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès). [14]

1.5.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

1.5.4.1 Modélé d'une cellule solaire idéale

La photopile est un composant semi-conducteur qui délivre un courant en excitant ce dernier par des photons, donc en première approximation on a une source de courant, qui est court-circuitée par une diode (car la photopile est une jonction p-n).

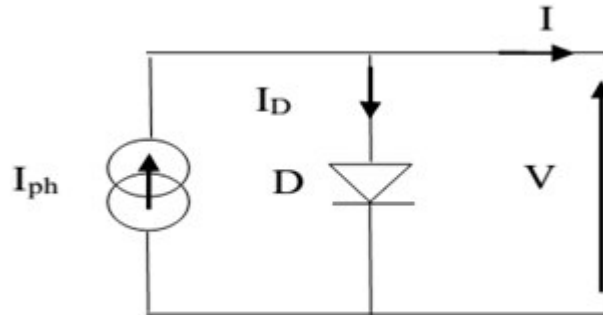


Figure (1.9) : Schéma idéal d'une cellule photovoltaïque.

$$I = I_{Ph} - I_D \quad (1.1)$$

$$I_D = I_0(e^{\frac{qv}{kT}} - 1) \quad (1.2)$$

$$I = I_{Ph} - I_0(e^{\frac{qv}{kT}} - 1) \quad (1.3)$$

1.5.4.2 Modélé d'une cellule solaire réelle

Réellement il existe plusieurs influences des résistances parasites dans la production de l'énergie électrique, et la cellule photovoltaïque est représentée généralement par le schéma suivant :

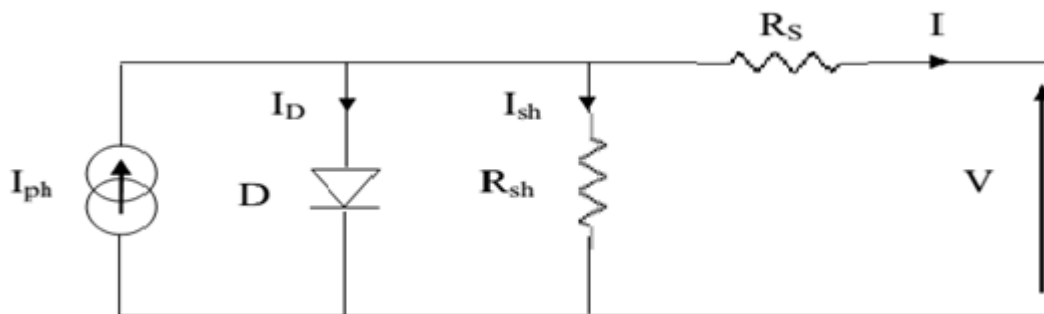


Figure (1.10) : Modèle de la cellule photovoltaïque réel.

C'est le modèle le plus classique dans la littérature, il fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes Physique de polarisation et deux résistances (série et shunt). Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique I-V de la photopile.

La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle principalement la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles, La résistance shunt est due à un courant de fuite au niveau de la jonction ; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

Le courant généré par la cellule PV est donné par la loi des mailles. [13]

$$I = I_{Ph} - I_D - I_P \quad (1.4)$$

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{v+IR_S}{nV_T}} - 1 \right) \quad (1.5)$$

$$I_{sh} = \frac{v+IR_S}{R_{sh}} \quad (1.6)$$

$$I = I_{Ph} - I_0 \left[e^{\frac{v+IR_S}{nV_T}} - 1 \right] - \frac{v+IR_S}{R_{sh}} \quad (1.7)$$

1.6 Modules photovoltaïques

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module figure (1.11.a). Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vinyl- acétate) figure (1.11.b) et protégé sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou de polyéthylène. [06]

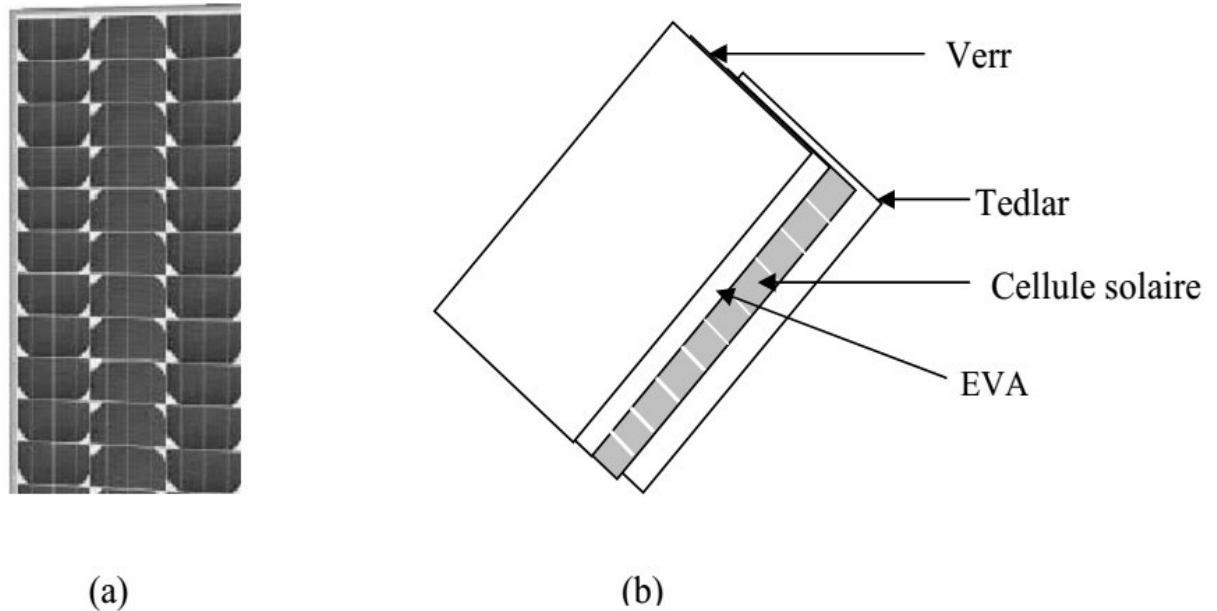


Figure (1.11) : Module photovoltaïque. [09]

1.6.1 Caractéristiques d'un module

Les modules sont généralement des parallélépipèdes rectangles rigides minces (quelques Centimètres d'épaisseur), dont les caractéristiques suivantes :

- La puissance de crête, P_c : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairage de 1000 W/m^2).
- La caractéristique $I=f(V)$: Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- Tension à vide, V_{co} : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairage " plein soleil ".
- Courant de court-circuit, I_{cc} : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairage " plein soleil ".
- Point de fonctionnement optimum, $P_m (V_m, I_m)$ Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = V_m \cdot I_m$.
- Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{co} \cdot I_{cc}$. [10]

1.7 influence de la température (T) et de là l'éclairement (E)

1.7.1 Influence de la température

L'équation de Boltzmann donne : $I_{SC}=I_0.\exp(q.V_0/KT)$, l'expérience montre que la tension de circuit ouvert d'une cellule solaire diminue avec l'augmentation de la température de la cellule.

Nous présentons ci-dessous les caractéristiques I-V et P-V (figure 1.12 et 1.13) d'un module photovoltaïque SP75 pour un niveau d'ensoleillement G donné et pour différentes températures : Pour la figure (1.12) Nous remarquons que le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, on constate que la température influence négativement sur la tension de circuit ouvert.

Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente figure (1.13).

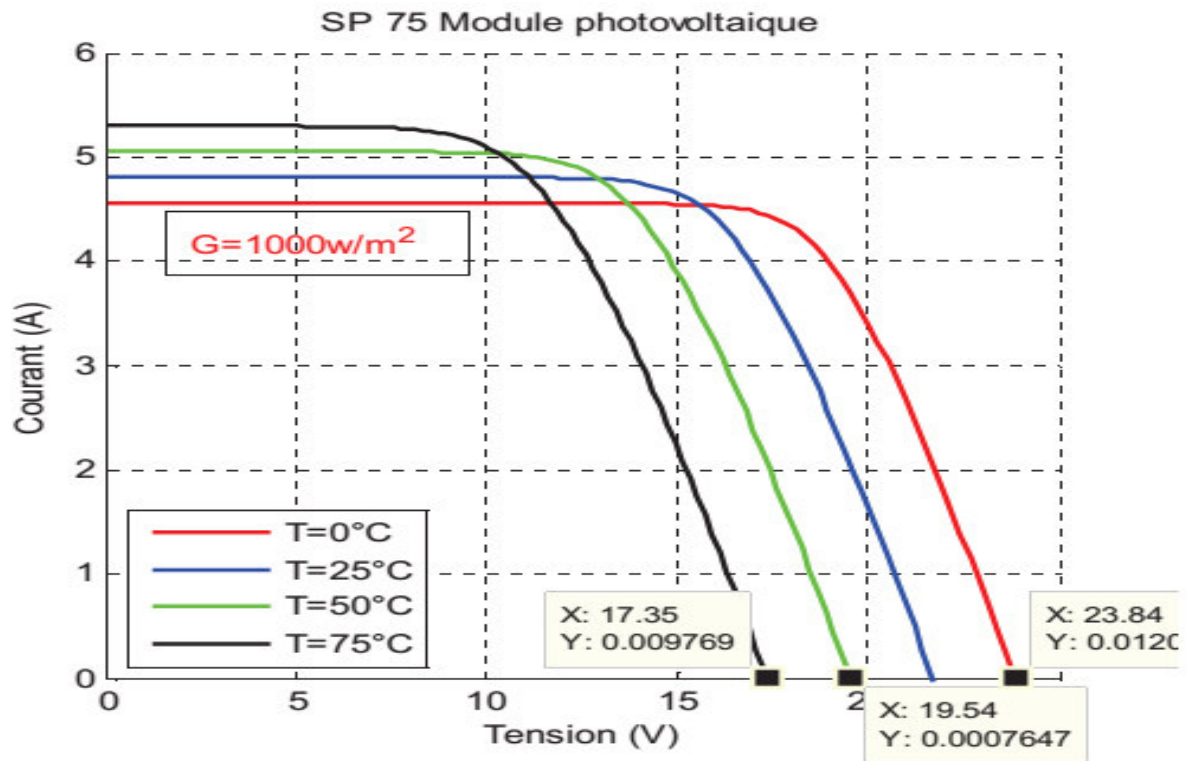


Figure (1.12) : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.

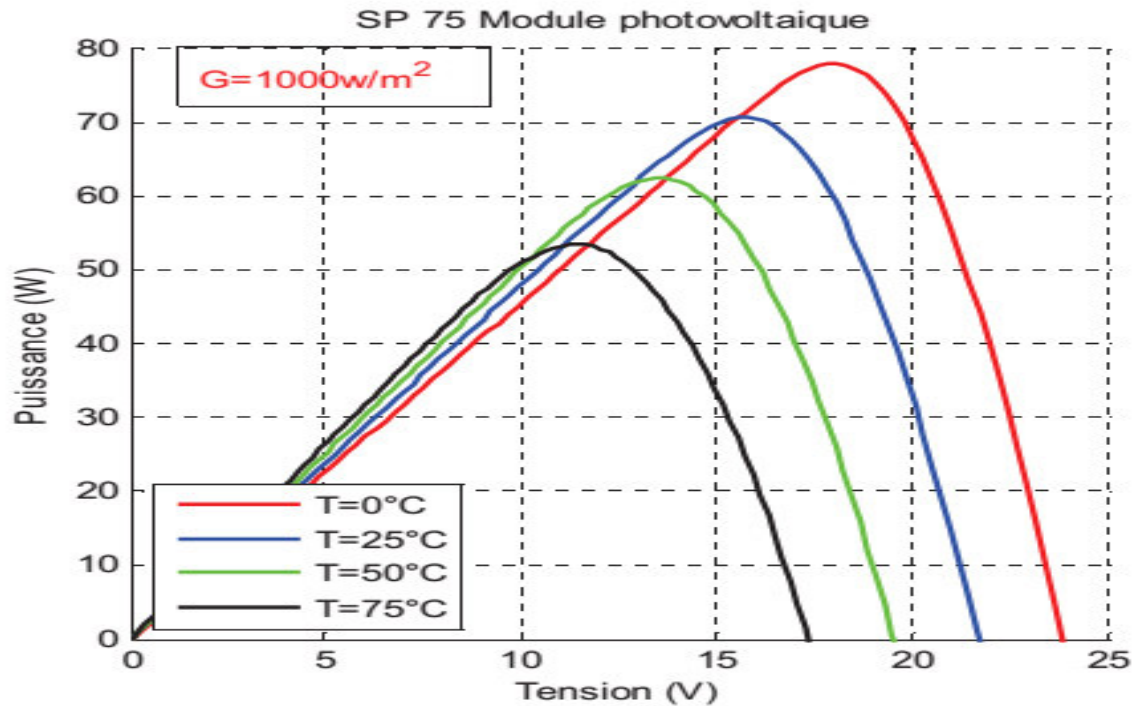


Figure (1.13) : La caractéristique de $P = f(V)$ en fonction de température.

1.7.2 Influence de l'éclairement

Le même travail comme précédente, nous avons fixé la température pour différents éclairements figure (1.14 et 1.15). Pour la figure (1.14) on remarque que pour l'éclairement $G = 1000 \text{ w/m}^2$ le courant $I_{sc} = 4.8 \text{ A}$ et pour $G = 800 \text{ w/m}^2$ le courant $I_{sc} = 3.84 \text{ A}$ on peut voir que le courant subit une variation importante, quand l'éclairement augmente le courant de court-circuit est augmenté, mais par contre la tension varie légèrement. Ce qui se traduit par une augmentation de la puissance lorsque l'éclairement est augmenté figure (1.15).

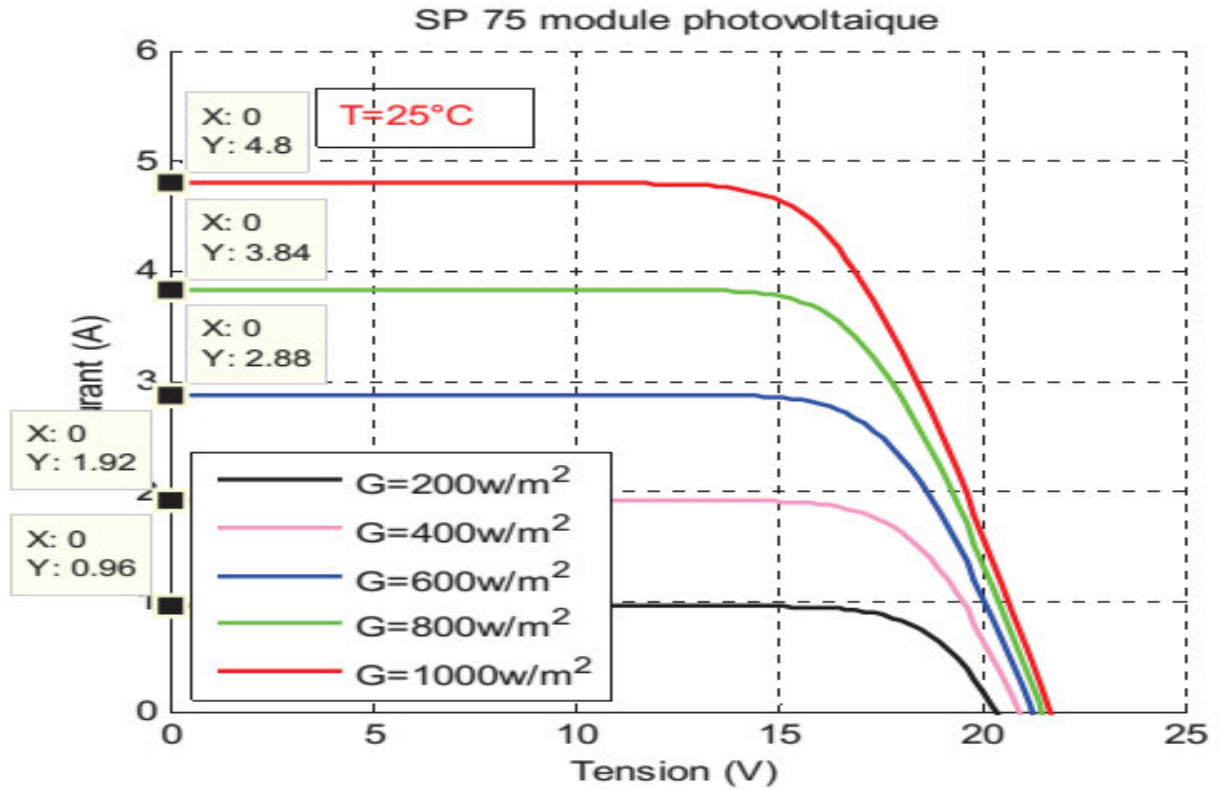


Figure (1.14) : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement.

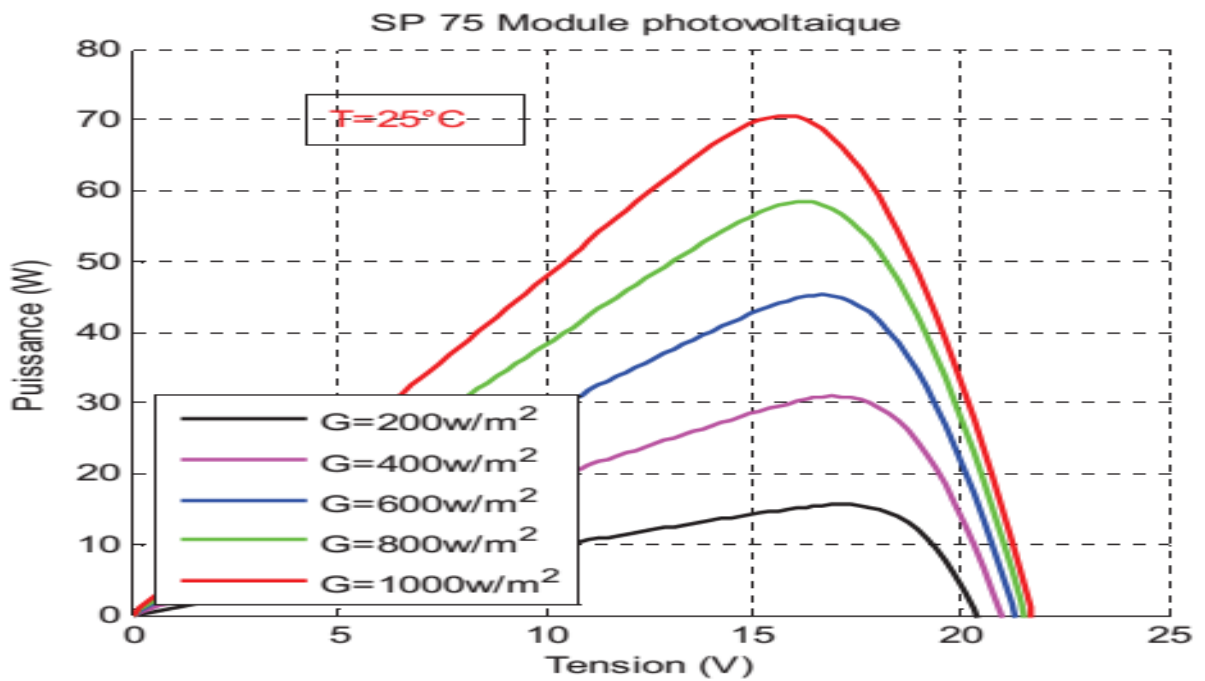


Figure (1.15) : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement. [15]

1.8 Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque

1.8.1 Les avantages

- L'énergie solaire présente, outre tous les avantages des énergies renouvelables, ses propres avantages, à savoir : énergie maîtrisable et adaptable aux situations de toutes les régions.
- Le photovoltaïque est une technologie sûre et sans risque. En général, les panneaux photovoltaïques sont garantis 25 ans (et peuvent fonctionner 40 ans quasiment sans diminuer leur rendement).
- L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.
- Ce sont des systèmes simples et rapides à installer qui nécessitent très peu de maintenance (d'où des frais de maintenance relativement faibles).
- Les installations photovoltaïques présentent un bilan énergétique positif. Les modules sont recyclables et la majorité des composants peut être réutilisée ou recyclée.
- En devenant producteur d'électricité avec une installation photovoltaïque, chacun peut améliorer son écobilan, réduire les émissions de Dioxyde de Carbone et préserver les ressources naturelles.

1.8.2 Les Inconvénient

- Les panneaux solaires coûtent excessivement cher, du fait de la haute technicité qu'ils requièrent.
- Le rendement actuel des cellules photovoltaïques reste assez faible (environ 10% pour le grand public) et donc ne délivre qu'une faible puissance, De ce fait, pour couvrir un besoin familial, une grande surface de panneaux photovoltaïques est nécessaire.
- Le rendement maximum d'un panneau solaire s'obtient uniquement quand la surface du panneau est strictement perpendiculaire aux rayons solaires. Idéalement, il faudrait donc que la position du panneau varie suivant les saisons et au cours de la journée, ce qui n'est quasiment pas réalisable.
- La production d'électricité ne se fait que le jour alors que la plus forte demande se fait la nuit.
- Le recyclage des cellules photovoltaïques en fin de vie pose des problèmes environnementaux. Les batteries utilisées par les panneaux photovoltaïques sont composées de plomb, de zinc, de cadmium, ... et donc ont un impact sur l'environnement.

- Les usines de production de cellules photovoltaïques émettent un grand taux de Dioxyde de Carbone.
- Les panneaux noirs ne sont pas toujours esthétiques, notamment sur des bâtiments non modernes. [16]

1.9 Système de conversion

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de Convertisseur continu continu), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif).

A l'onduleur est généralement associé un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil. [07]

1.9.1 Convertisseur continu-continu (DC-DC)

Le hacheur est un convertisseur continu/continu permettant de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Son utilisation s'avère nécessaire pour stocker l'énergie photovoltaïque dans des batteries, ou pour alimenter une charge continue le schéma équivalent de le hacheur se représente selon la figure ci-dessous :

Deux topologies de basse de circuit de conversion (DC/DC) seront décrites dans le paragraphe suivant. [12]

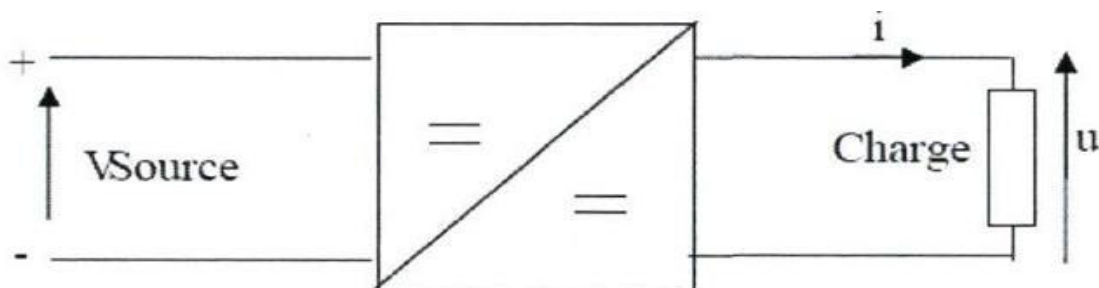


Figure (1.16) : Convertisseur continu-continu. [17]

1.9.1.1 Hacheur (boost)

C'est un convertisseur direct DC-DC. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension) et la charge de sortie est de type tension continues (condensateur en parallèle avec la charge résistive). L'interrupteur K peut être remplacé par un transistor puisque le courant est toujours positif et que les commutations doivent être commandées (au blocage et à l'amorçage). Connue aussi sous le nom de « boost » ou hacheur parallèle; son schéma de principe de base est celui de la figure (1.17).

Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure.

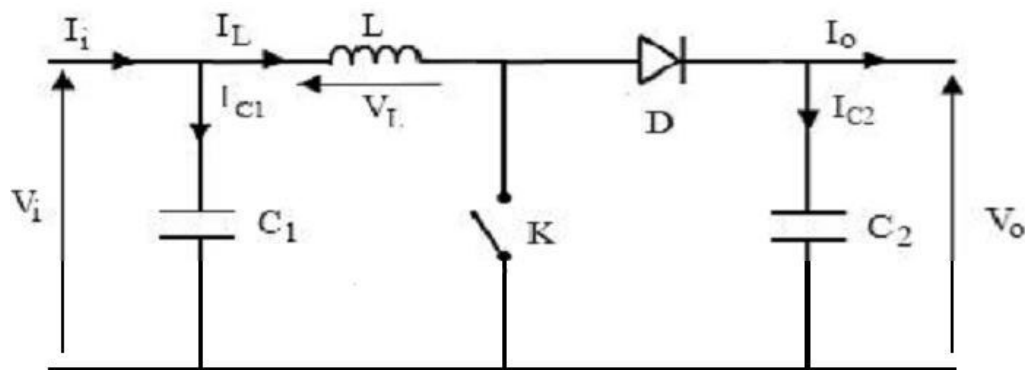


Figure (1.17): Schéma électrique d'un hacheur boost.

a) Fonctionnement

Quand l'interrupteur est fermé pendant la durée, le courant dans l'inductance croît linéairement. La tension aux bornes de K est nulle. Pendant le temps, l'interrupteur s'ouvre et l'énergie emmagasinée dans l'inductance commande la circulation du courant dans la diode de roue libre D. En écrivant que la tension aux bornes de l'inductance est nulle, on arrive à. [05]

- pendant αT : $V_l = V_e$.
- pendant $(1 - \alpha) T$: $V_l = V_e - V_s$.
- α le rapport cyclique du commutateur ($\alpha \in [0, 1]$).

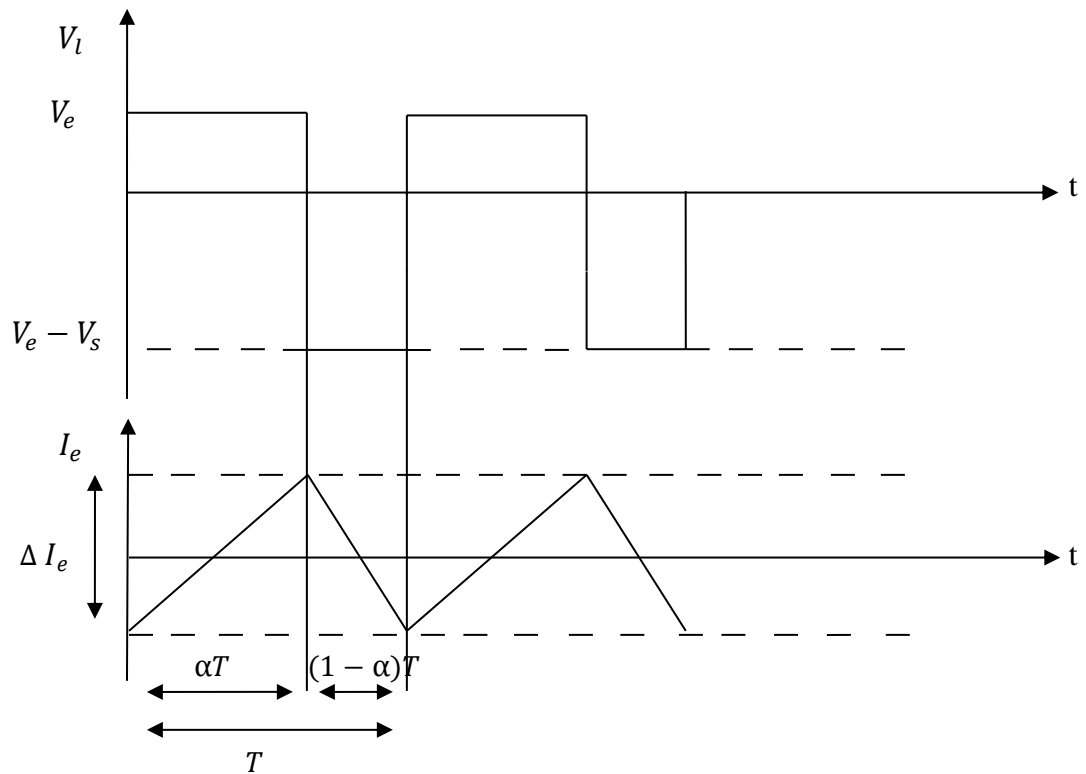


Figure (1.18): Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost.

b) Modèle mathématique équivalent

Afin de pouvoir synthétiser les fonctions du hacheur survolteur à l'état d'équilibre, il est nécessaire de présenter les schémas équivalents du circuit à chaque position de l'interrupteur K. celui de la figure (1.19) présente le circuit équivalent du boost lorsque K est fermé c-à-d d'entre $[0, \alpha T_s]$.

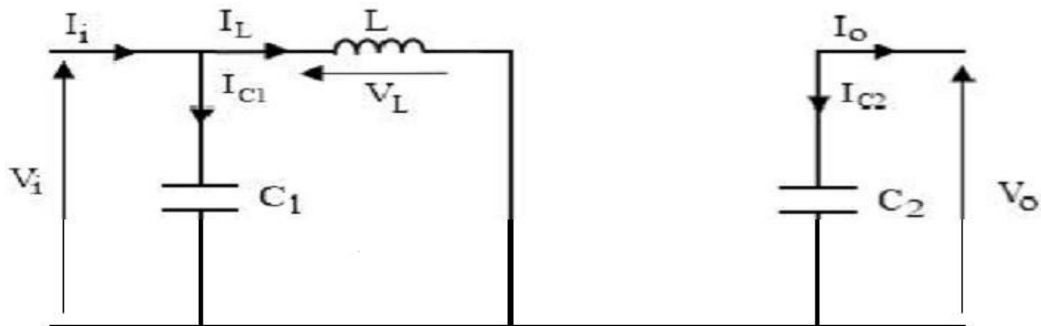


Figure (1.19): Schéma électrique d'un hacheur boost fermé.

Comme pour le circuit buck, l'application des lois de Kirchhoff sur les circuits équivalents des deux phases de fonctionnement donnent les calculs suivantes.

- Pour la première période $\alpha.T_s$:

$$\begin{cases} I_{c1}(t) = c_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \\ I_{c2}(t) = c_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -I_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = -V_i(t) \end{cases} \quad (1.8)$$

L'état ouvert de l'interrupteur K, le circuit équivalent au fonctionnement du Boost est le suivant:

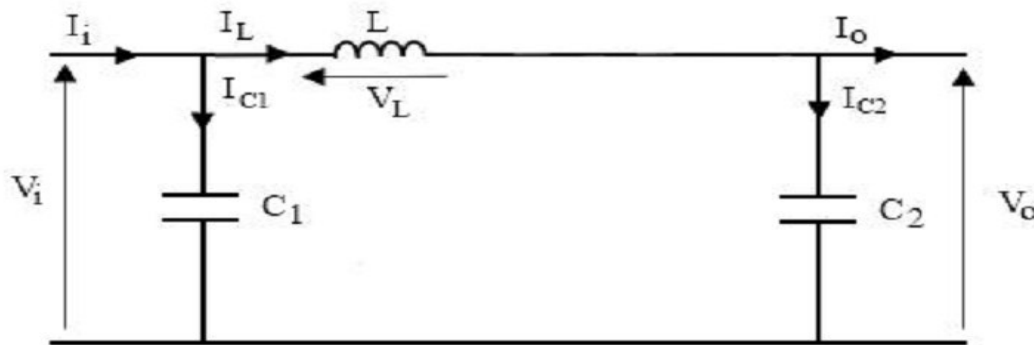


Figure (1.20): Schéma électrique d'un hacheur boost ouvert.

- Pour la deuxième période $(1-\alpha)T_s$:

$$\begin{cases} I_{c1}(t) = c_1 \frac{dV_i(t)}{dt} = I_i(t) - I_L(t) \\ I_{c2}(t) = c_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = I_L(t) - I_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt} = V_i(t) - V_o(t) \end{cases} \quad (1.9)$$

Pour trouver une représentation dynamique valable pour tout la période T_s , on utilise généralement l'expression suivante:

$$\left\langle \frac{dx}{dt} \right\rangle T_s = \frac{dx}{dt_{\alpha T_s}} \alpha T_s + \frac{dx}{dt_{(1-\alpha)T_s}} (1-\alpha) T_s \quad (1.10)$$

En appliquant la relation (1.10) sur les systèmes d'équations (1.8) et (1.9), Comme pour le convertisseur dévolteur, on trouve le modèle approximé du convertisseur survolteur [05]:

$$\begin{cases} i_L = i_i - c_1 \frac{dV_i(t)}{dt} \\ i_0 = (1 - \alpha)i_L - c_2 \frac{dV_i(t)}{dt} \\ V_i = L \frac{di_L}{dt} + (1 - \alpha)V_0 \end{cases} \quad (1.11)$$

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu les concepts fondamentaux du photovoltaïque. Nous avons ensuite présenté le fonctionnement d'une cellule en expliquant brièvement le phénomène photovoltaïque. Nous avons vu que la cellule PV présente une caractéristique $I(V)$ non linéaire et qu'elle peut être modélisée par un circuit électrique simple.

Nous avons présenté l'influence des différents paramètres extérieurs sur cette caractéristique. Le courant de court-circuit évolue principalement avec l'éclairement et la tension à vide avec la température. En fin on a présenté l'étage d'adaptation du GPV et la charge c'est le convertisseur DC/DC (hacheur Boost) et son modèle mathématique équivalent.

Dans le 2^{ème} chapitre on va étudier la charge qui est la batterie au plomb acide.

Chapitre 02

Batteries plomb acide

2.1 Introduction

La ressource en énergie solaire est abondante, cependant, le soleil, n'est pas toujours disponible, ce qui implique obligatoirement un stockage. Il faut une batterie adéquate pour pouvoir profiter au maximum du solaire. En effet, une batterie classique ne peut pas convenir car elle ne sera pas adaptée aux cycles de charge et de décharge. Il faut utiliser une batterie semi stationnaire à décharge lente car elle peut supporter une décharge jusqu'à 80% de sa capacité. Plus la décharge sera lente, plus la capacité énergétique sera grande. La décharge maximale d'une batterie solaire est en moyenne de 65% contre 30% pour une batterie classique. Le fait que l'énergie solaire ne soit pas disponible sur l'ensemble d'une période de fonctionnement du système alimenté impose l'utilisation de batteries dans les installations autonomes pour stocker l'énergie. [18]

L'utilisation d'une batterie est très importante dans tous les systèmes hybrides. Le système de batterie permet de résoudre l'inconvénient majeur des énergies renouvelables : celle de non continuité de production de l'énergie dans des situations spécifiées, les batteries construites par l'acide et du plomb compromettent l'efficacité à être chargées et déchargées pour une longue période ce qui les rend idéales à l'application avec des systèmes des énergies renouvelables. Actuellement, les batteries plomb-acide ont une efficacité aller-retour d'environ 75% et une espérance de vie de 20 ans voir figure (2.1). [19]



Figure (2.1) : Batterie au Plomb-Acide. [20]

2.2 Historique

L'accumulateur au plomb a été inventé en 1859 par le Français Gaston Planté. Il a été en effet le premier à avoir mis au point la batterie rechargeable. À l'origine, les accumulateurs étaient situés dans des cuves en verre. Par la suite, on a systématisé l'emploi des cuves en plastique, qui résistent mieux aux chocs. De nos jours, les batteries sans entretien se généralisent : cosses traitées anti-sulfatage, plaques au plomb-calcium, supprimant le besoin de refaire le niveau de liquide, et donc permettant le scellement.

Les batteries constituent aujourd'hui la principale utilisation du plomb. Cette technique simple et robuste est également très compétitive et reste à ce jour la principale technique pour les batteries de démarrage des véhicules. Ainsi, en 2010, les batteries au plomb représentaient plus de 99 % en tonnage des batteries utilisées dans l'automobile. En 2011, des chercheurs de l'université d'Helsinki et d'Uppsala sont parvenus pour la première fois à reproduire correctement à partir des principes premiers de la physique la tension nominale de 2,1 V qu'on observe pour l'accumulateur au plomb. La chimie classique, à elle seule, ne permettrait pas d'expliquer cette valeur. Selon eux, il faut inclure les effets de la relativité d'Einstein dans le calcul pour arriver à la valeur observée. [21]

2.3 Etat de l'Art sur les batteries plomb-acide

Pour bien situer les objectifs associés à l'amélioration des propriétés d'un accumulateur plomb-acide, il est important de comprendre son fonctionnement ainsi que les différents éléments qui les constituent.

2.4 Définition d'une batterie plomb-acide

Une batterie au plomb acide est un ensemble d'éléments de 2 volts connectés en série pour obtenir la tension d'utilisation désirée. Ces éléments sont constitués de plaques positives et négatives, assemblées en alternance.

Ces plaques sont recouvertes de matières actives-bioxyde de plomb pour la positive et plomb spongieux pour la négative. Ces électrodes plongent dans une solution d'acide sulfurique, la quantité de matières formées donne une capacité plus ou moins grande.

Le nombre de plaques de chaque polarité, leur surface, ainsi que la quantité d'acide disponible dans l'électrolyte (composé chimique liquide ou gélifié dont le rôle est de fournir les ions sulfates nécessaires aux réactions d'oxydoréduction produites lors des recharges et décharges d'une batterie) sont des paramètres qui définissent.

La capacité de l'élément (aptitude pour une batterie chargée de restituer un certain nombre d'ampères heure, en régime de courant de décharge constant, sous une tension d'arrêt et une température définies) [22].

2.5 Place de l'accumulateur au plomb aujourd'hui

Bientôt 150 ans d'études sur l'accumulateur au plomb et pourtant, loin d'être un produit suranné, il continue de faire l'objet de diverses recherches et reste l'accumulateur le plus vendu dans le monde. Les principales raisons de cet engouement sont le faible coût et la maturité de cette technologie, mais aussi son aptitude à être recyclée à plus de 97%.

Aujourd'hui il existe non pas un type de batterie d'accumulateurs au plomb, mais différentes technologies pour mieux répondre aux spécificités des applications qui l'emploient : La batterie au plomb s'est améliorée et spécialisée au fil des ans, et continuera de l'être.

La batterie d'accumulateurs au plomb est notamment utilisée pour le démarrage des véhicules (secteur le plus porteur actuellement), la traction (chariots de manutention), les alimentations de secours, le photovoltaïque. À ces domaines sont adaptées des technologies d'accumulateurs au plomb, qui se caractérisent notamment par l'épaisseur et les alliages des grilles, un électrolyte liquide ou immobilisé, une concentration d'électrolyte, des plaques planes ou tubulaires. Le marché mondial des batteries (toutes technologies confondues) regroupe 3 catégories :

Les batteries portables, de démarrage et industrielles (de traction et stationnaire). La croissance du marché mondial des batteries au plomb amène le chiffre d'affaires à 12 milliards d'euros en 2002 (figure 2.2) ce qui représente 65% de la production totale.

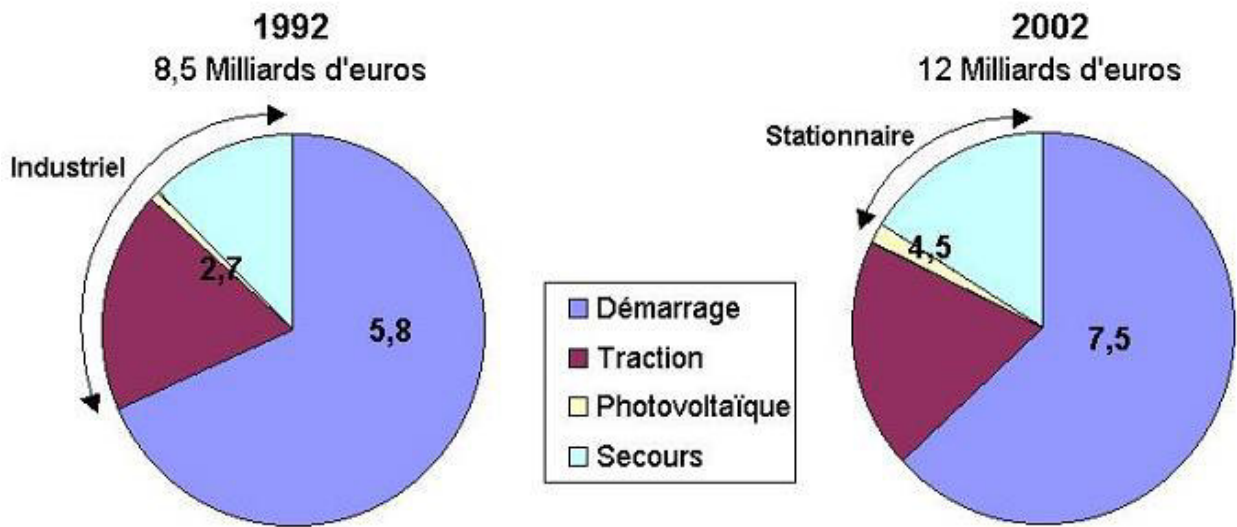


Figure (2.2) : Marché mondial des batteries d'accumulateurs au plomb.

L'importance de ce chiffre s'explique par le fait que, malgré la forte augmentation de la part des technologies lithium-ion (Li-ion), nickel-métal hydrure (Ni-MH). Associées au marché des batteries portables, la technologie au plomb reste majoritairement employée dans les domaines du démarrage, de la traction et du stationnaire. Pour ces domaines peu regardants au niveau de l'encombrement, la batterie au plomb sera souvent préférée en raison de son faible coût d'investissement. [23]

2.6 Système de stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales.

- Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple).
- Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

2.6.1 Les Caractéristiques principales d'une batterie

Capacité en Ampère heure : Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant. Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures. Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que.

Rapports de charge et décharge : 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.

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.

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).

Profondeur de décharge : La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge.

Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de cycle profond fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager. Les fabricants de batteries de nickel-Cadmium assurent qu'elles peuvent totalement être déchargées sans aucuns dommages.

La profondeur de décharge : Cependant, affecte même les batteries de cycle profond plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

La tension d'utilisation : C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

Le rendement : C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

Le taux d'autodécharge : L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné. [22]

2.7 Les accumulateurs

La pile électrique ou pile, est un petit générateur portable d'énergie électrique qui transforme l'énergie d'une réaction chimique en énergie électrique. Contrairement aux batteries et accumulateurs, la pile est à usage unique et ne peut être rechargée. [24]

2.8 État de charge de l'accumulateur

L'état de charge, souvent simplifié par l'acronyme SOC (state-of-charge), est une caractéristique très importante à connaître, puisqu'elle nous renseigne, en pourcentage, sur le niveau de charge de la batterie. Être capable d'estimer l'état de charge permet d'éviter les décharges profondes ou les charges excessives qui abîmeront les batteries. Cette observation a pour objectif d'anticiper la dégradation de la batterie afin d'allonger au maximum sa durée de vie.

L'état de charge peut être défini par la capacité disponible exprimée en fonction de la capacité nominale. [25]

2.9 Type de accumulateurs

Les batteries d'accumulateurs nécessaires aux voitures électriques mais également aux voitures hybrides ont suivi une évolution technologique continue et les progrès sont importants ; mais actuellement, aucune solution n'est entièrement satisfaisante et chaque type d'accumulateur d'électricité est souvent dédié à un type d'usage. Certaines de ces batteries ont un usage commun avec d'autres secteurs comme l'éolien ou le solaire pour stocker l'énergie produite de façon intermittente et la distribuer en période de forte demande. Les recherches et découvertes en cours sont très prometteuses, au point que certains fabricants de batteries promettaient une autonomie des voitures électriques de 800 km pour la décennie, grâce à la batterie lithium air. Néanmoins en 2016 peu de voitures électriques peuvent dépasser 400 km sans recharge en usage standard.

Alors que les batteries au plomb ont une densité massique de 30 Wh/kg, d'autres types se sont développés :

- Nickel - cadmium (Ni - Cd), 50 Wh/kg.
- Nickel - zinc (Ni - Zn), 80 Wh/kg.
- Nickel Métal Hydrure (Ni - MH), 75 Wh/kg.
- Plomb génération (2006), 75 Wh/kg.
- Lithium - ion génération (1992), 90 Wh/kg.

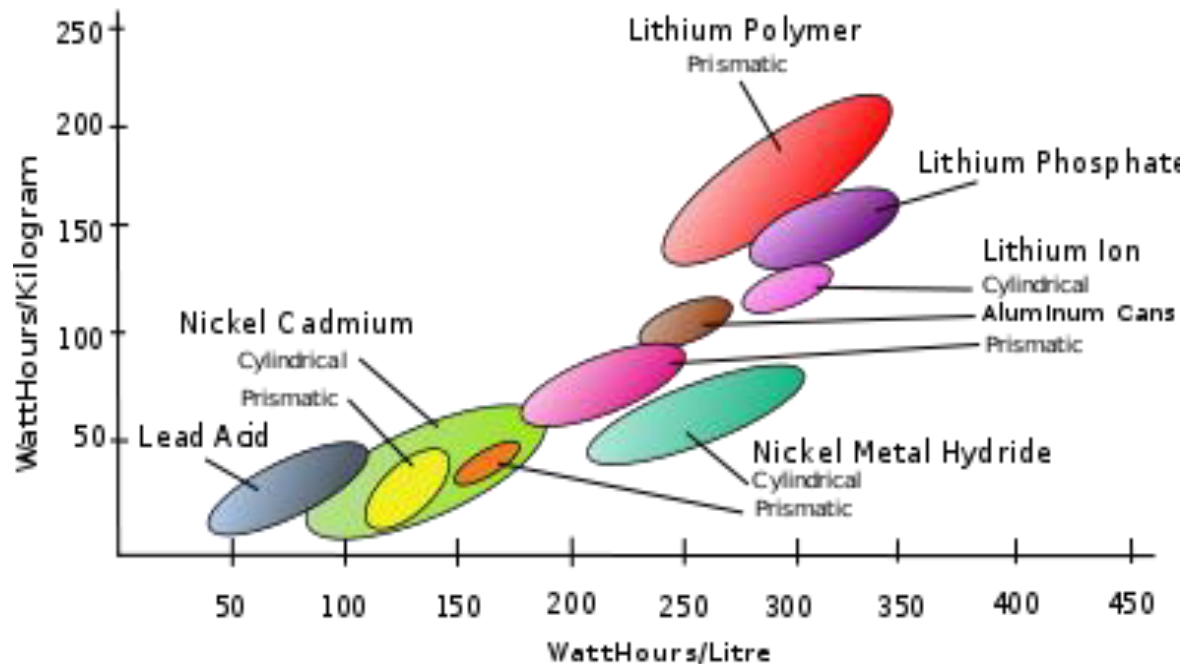


Figure (2.3) : Densité d'énergie de quelques accumulateurs. [26]

2.9.1 Les Accumulateurs au Plomb-Acide

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale.

[09]

2.9.1.1 Composition d'un accumulateur Plomb- Acide

Pour ce type de batteries, la cellule n'est pas fermée. Elle perd donc de l'électrolyte (composé typiquement de 65% d'eau et 35% d'acide sulfurique).

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.

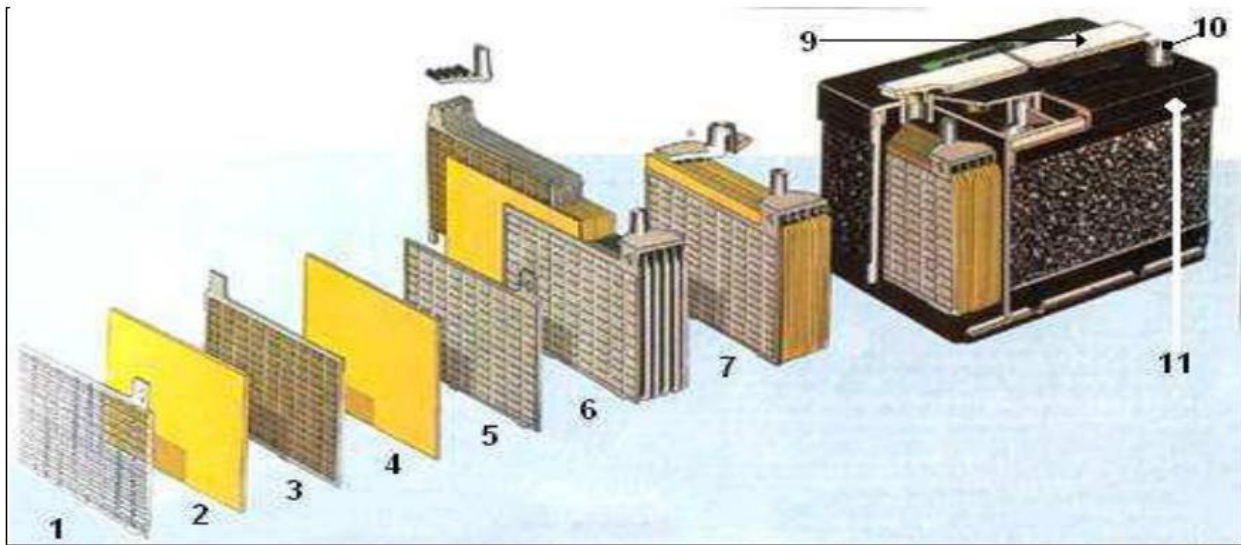


Figure (2.4) : Construction d'une batterie monobloc.

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

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. Peut-être l'alliage est en plomb avec 2-6% d'Antimoine.

Moins la contenance en Antimoine sera grande, moins résistante sera la batterie pendant le processus de charge. Une petite quantité d'Antimoine réduit la production d'hydrogène et d'oxygène pendant la charge, et par conséquent la consommation d'eau. D'autre part, une plus

grande proportion d'Antimoine permet des décharges plus profondes sans endommager les plaques, ce qui implique une plus grande durée de vie des batteries. Ces batteries plomb - Antimoine sont de type de "cycle profond".

Le Cadmium et le Strontium sont utilisés à la place de l'Antimoine pour fortifier la grille. Ceux-ci offrent les mêmes avantages et inconvénients que l'Antimoine, mais réduisent en outre le pourcentage d'autodécharge quand la batterie n'est pas en utilisation. Le Calcium fortifie aussi la grille et réduit l'autodécharge. Toutefois, le Calcium réduit la profondeur de décharge recommandée dans non plus de 25%. D'autre part, les batteries de plomb- Calcium sont de type "cycle peu profond". Les plaques sont alternées dans la batterie, avec des séparateurs entre elles, qui sont fabriqués d'un matériel poreux qui permet le flux de l'électrolyte. Ils sont électriquement non conducteurs, ils peuvent être des mélanges de silice et de matières plastiques ou gommées. Les séparateurs peuvent être des feuilles individuelles ou des "enveloppes". Les enveloppes sont des manchons, ouverts par en haut, qui sont uniquement placés sur les plaques positives. Un groupe de plaques positives et négatives, avec des séparateurs, constituent un élément. Des plaques plus grandes, ou en plus grand nombre, entraînent une plus grande quantité d'ampères heure que la batterie peut fournir. Indépendamment de la taille des plaques, une cellule fournira une tension varie entre 1,7 et 2 volts suivant l'état de charge en conductions nominales de fonctionnement, et un rendement énergétique de l'ordre de 70% à 85%. (Pour plomb- Acide).

Une batterie est constituée par plusieurs cellules ou des éléments reliés en série, interne ou externe, pour augmenter le voltage à des valeurs normales aux applications électriques. Pour cette raison, une batterie de 6 V est composée de trois cellules, et une de 12 V de 6. Les plaques positives d'une part, et les négatives de l'autre, sont interconnectées au moyen de terminaux externes dans la partie supérieure de la batterie.

Les éléments des batteries sont souvent montés dans des bacs isolés du sol pour éviter le refroidissement de l'électrolyte par l'intermédiaire de support de bois, ces bacs sont réalisés en plastique transparent afin de bien visualiser le repérage de niveau de l'électrolyte. Les liaisons entre les éléments doivent être dimensionnés de manière à avoir une chute de tension très faible quel que soit le régime. [07]

2.9.1.2 Principe de fonctionnement

Une réaction chimique intervient lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces deux électrodes. L'énergie est stockée dans l'accumulateur : il y a transfert de matière d'une électrode à l'autre suivant qu'il s'agit de la charge ou de la décharge de l'accumulateur.

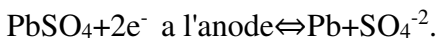
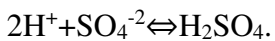
Ces accumulateurs exploitant une oxydoréduction du plomb sont constitués de deux électrodes, qui plongent dans un électrolyte acide qui réalise la conduction ionique entre elles et participe à la réaction. Chacune des électrodes est constituée d'un élément apparaissant sous sa forme réduite et sous sa forme oxydée :

Cathode forme oxydée PbO_2 et forme réduite $PbSO_4$.

Anode forme oxydée $PbSO_4$ et forme réduite Pb .

Il se produit au cours de la décharge, une oxydation à l'anode et une réduction à la Cathode. Ces deux réactions sont inversées lors de la recharge.

Les réactions d'oxydoréduction entre les deux couples redox en jeu pour une dissociation totale sont :



PbO_2 est donc l'électrode positive (pôle +) et Pb l'électrode négative (pôle -), tant en charge qu'en décharge. [17]

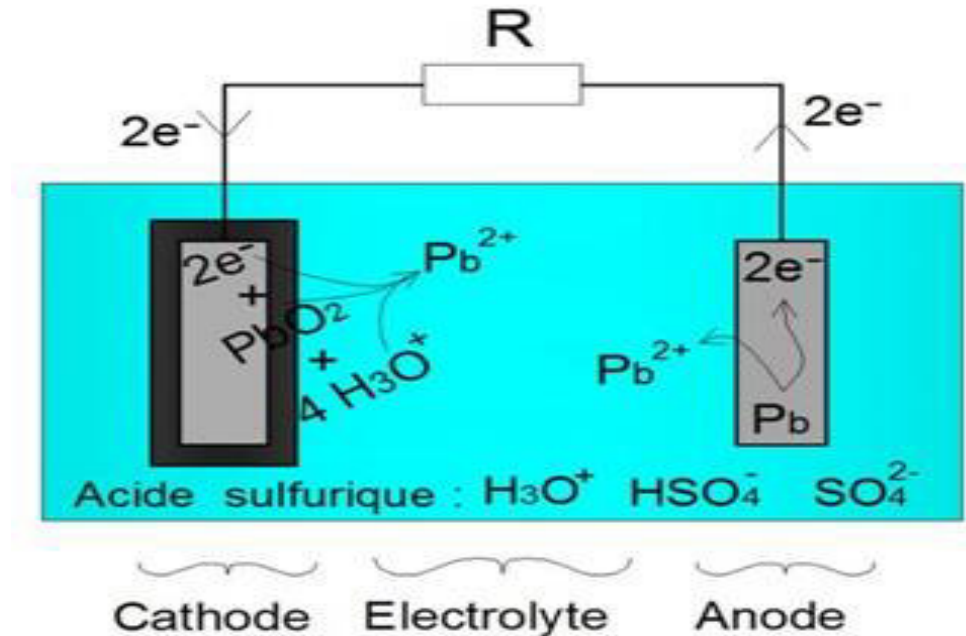


Figure (2.5) : Principe d'une batterie plomb. [27]

La charge :

Pendant la charge, les ions sulfates, du sulfate de Plomb, sont progressivement libérés sous forme d'ions HSO_4 dans l'électrolyte. Il en résulte une augmentation de la Concentration d'acide sulfurique dans l'électrolyte.

La concentration d'acide croît rapidement à proximité de l'interface réactionnelle. Ce phénomène est amplifié, côté positif, par une consommation d'eau. En fin de charge (point M), on note un accroissement rapide de la tension, Les plaques complètement polarisées ne retiennent plus de courant, car la densité de matériel actif baisse. Ce courant tend alors à électrolyser l'eau, produisant de l'oxygène et de l'hydrogène (O_2 sur l'électrode positive et H_2 sur l'électrode négative). Ce phénomène est appelé gazéification.

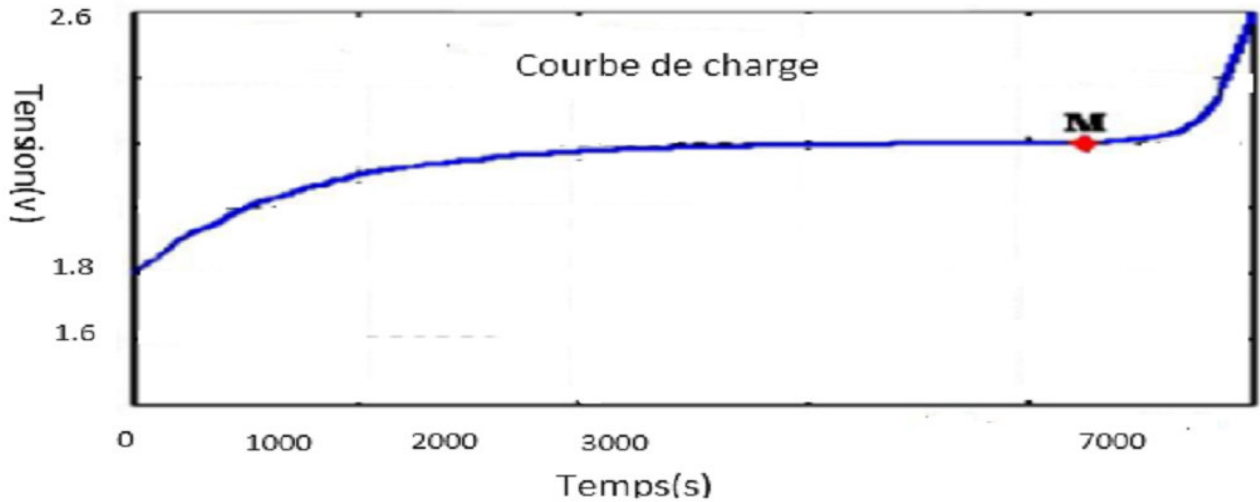


Figure (2.6) : Évolution de la tension durant la charge d'un accumulateur au plomb.

La décharge :

La capacité dépend du régime auquel est effectuée la décharge. Plus le temps de la décharge n'est court, donc le régime élevé, plus la capacité est faible. La fin de décharge est déterminée par une tension d'arrêt fixée de la façon suivante :

Sur la courbe de tension en fonction du temps lors d'une décharge, une chute brutale de la tension vers la fin de décharge est observée. La tension d'arrêt est une valeur choisie avant cette chute. Cette valeur dépend du régime de décharge.

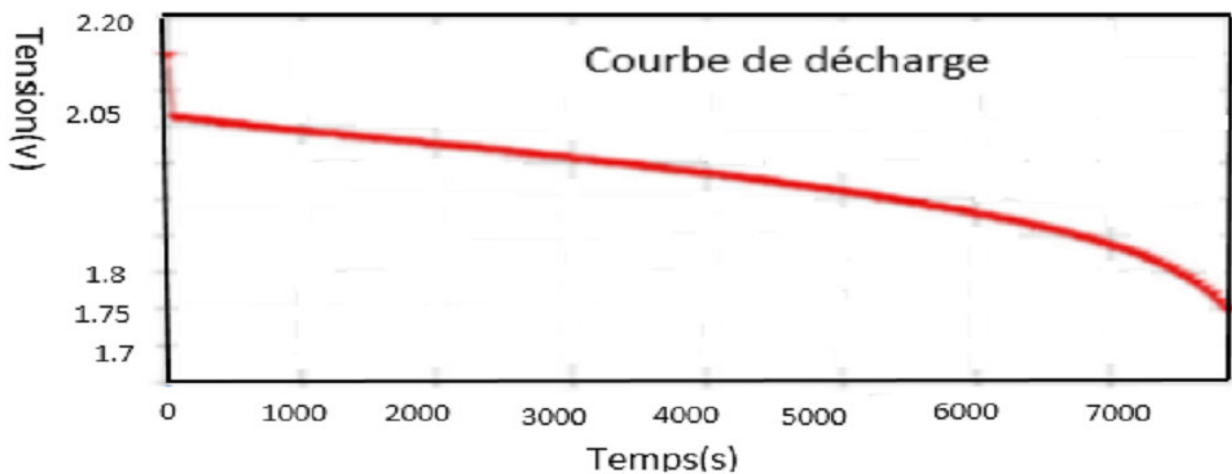


Figure (2.7) : Évolution de la tension durant la décharge d'un accumulateur au plomb. [22]

2.9.2 Les accumulateurs Ni-Cd (Nickel-cadmium)

Les accumulateurs Cadmium-Nickel (Ni-Cd) sont très répandus et complètent les batteries au plomb utilisés plutôt dans les domaines où une plus forte capacité ou une grande puissance sont requises. Par rapport à l'accu ordinaire au plomb les particularités sont :

- Entretien nul.
 - étanche, ne dégage pas de gaz inflammable.
 - peut se retourner dans tous les sens.
 - capacité massique plus grande.
 - plus cher à capacité égale.
 - rendement plus faible.

Mais il est moins cher quoique moins performant que les Ni-MH qui tendent à le remplacer dans les applications où le poids et la taille sont plus critiques (vidéo, téléphone portable...). Un accu Cd-Ni (chargé) est constitué d'une anode en hydroxyde de nickel et d'une cathode en cadmium. L'électrolyte est de l'hydroxyde de potassium.

La résistance interne d'un accu Cd-Ni est plus élevée que celle d'un accu au plomb (quelques dixièmes d'ohms). [28]



Figure (2.8) : Accumulateur Nickel-Cadmium. [29]

2.9.3 Les accumulateurs au lithium

Le choix des matériaux d'un couple anode cathode ne relève pas du hasard. Les électrochimistes cherchent à obtenir une différence de potentiel en associant, à l'anode un matériau réducteur, et à la cathode un matériau oxydant. L'association de ces deux électrodes est réalisée par le biais de l'électrolyte qui assure le transport des charges d'une électrode à l'autre. L'électrolyte doit être choisi de manière à assurer la compatibilité de celui-ci avec les matériaux qui, constituent les électrodes. Par exemple, en raison de la forte réactivité du lithium avec l'eau l'électrolyte des batteries au lithium ne peut être aqueux.

Bien que les potentiels standards des nombreux matériaux disponibles soient connus, les performances réelles et pratiques d'un couple oxydo/réducteur ne peuvent être définies que par des essais. En effet, pour palier de nombreux phénomènes de dégradation, les chimistes modifient et amendent la composition des constituants. [30]



Figure (2.9) : Accumulateur lithium de Varta. [31]

2.10 Durée de vie des batteries

La durée de vie d'un accumulateur est directement liée à leurs conditions d'utilisation. Elle dépend essentiellement du nombre de cycles 'charge-décharge'. Pour obtenir une durée de vie de 10 à 15 ans, il est indispensable que la batterie, dans son fonctionnement, soit maintenue dans un état de charge supérieur à plus de 50%. La durée de vie des batteries au Plomb-Acide est déterminée par les trois facteurs suivants :

- 1er facteur : vie cyclique et résistance aux températures élevées.
- 2ème facteur : effets de la sulfatation et les sous-charges, qui sont seulement spécifiques dans les applications PV.
- 3ème facteur : c'est les facteurs catastrophiques, défauts de fabrication, sous dimensionnement, utilisation abusive, congélation, etc., qui peuvent être souvent évité.

Toute surcharge élevée provoque la corrosion, des déformations et de l'érosion sur les plaques, ainsi qu'une surchauffe. La présence de certains composés organiques et inorganiques (utilisés comme additifs dans les matériaux actifs, électrolyte). Peut causer la coalescence des particules de Pb avec une perte consécutive de porosité. Il existe des produits qui, ajoutés aux matériaux des plaques négatives, préviennent cet inconvénient (voir figure 2.10).

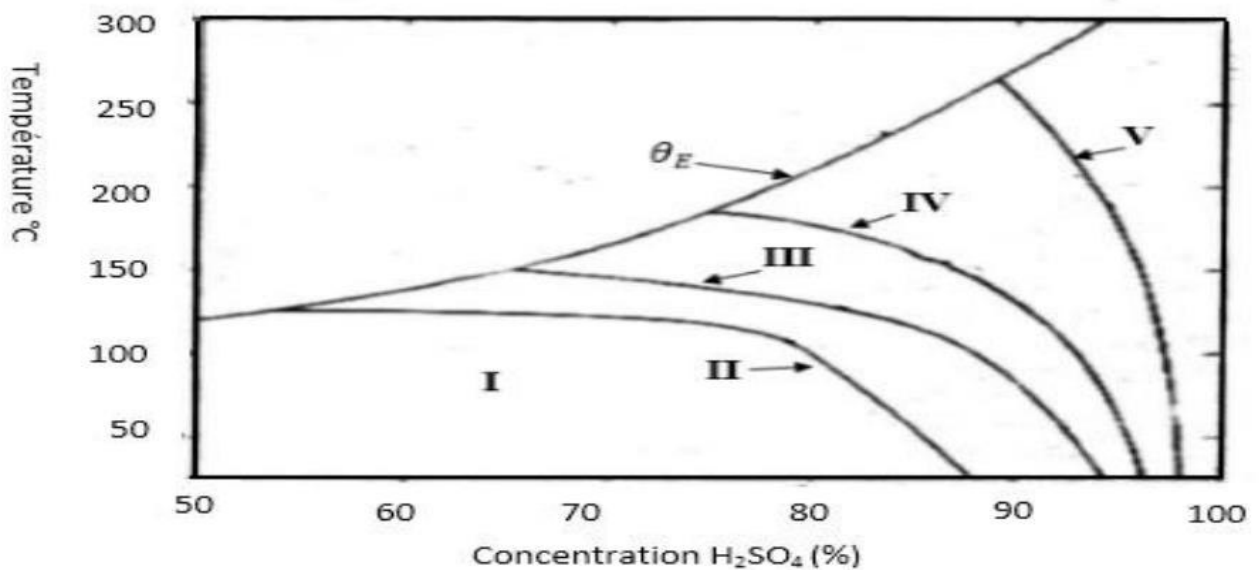


Figure (2.10) : Résistance à la corrosion du Plomb dans l'acide sulfurique.

θE : température d'ébullition.

I : corrosion inférieure à 0,13 mm/an.

II : corrosion égale à 0,13 mm/an.

III : corrosion égale à 0,5 mm/an.

IV : corrosion égale à 1,3 mm/an.

V : corrosion égale à 5 mm/an.

A une concentration inférieure à 50 % de H_2SO_4 , la corrosion est inférieure à 0,13 mm/an. Le fonctionnement des batteries dans les systèmes PV est différent de leur fonctionnement traditionnel. Les conditions opératoires de la batterie dans ces systèmes conduits aux faibles durées de vie. Pour les systèmes PV qui utilisent les batteries au plomb à plaques tubulaires, la durée de vie est souvent limitée par la dépendance de la température avec notamment la résistance à la corrosion et non pas la vie cyclique.

2.11 Le processus de vieillissement

La corrosion est la destruction des métaux sous l'action du milieu ambiant. Cette destruction est le résultat de réactions de nature chimique ou électrochimique qui se déroulent à la surface de séparation métal - milieu ambiant. Ce sont généralement des réactions d'oxydation de métaux. L'immense majorité des problèmes de corrosion rencontrés est liée à la présence d'eau au contact des métaux. Du point de vue économique, la corrosion pose un problème très important. La corrosion fait changer les propriétés courant/tension de la batterie. Le vieillissement des batteries au plomb/acide dans les systèmes PV est surtout causé par :

- La corrosion de la plaque positive : transformation du plomb métallique Pb en oxyde de plomb PbO_x .
- La dégradation de la matière active de la plaque positive causée par la déformation mécanique de cette dernière ($PbO_2 \leftrightarrow PbSO_4$) durant les cycles de charge et de décharge.
- La sulfatation - recristallisation du $PbSO_4$ durant les longues périodes en sous charge ou l'état de charge est faible.

La capacité que l'on peut obtenir par rapport à celle que l'on devrait théoriquement obtenir se nomme coefficient d'utilisation. Celui-ci varie avec le type de l'élément, la vitesse de la décharge et la température. Il convient, en outre, de garder présentes à l'esprit certaines circonstances faisant obstacle à l'utilisation complète des matériaux actifs, surtout dans le processus de décharge.

L'une de celles-ci résulte de la formation d'un revêtement de sulfate non conducteur- sur les matériaux actifs ; une autre résulte de la diminution de conductibilité de l'électrolyte, due à la décroissance de la teneur en H_2SO_4 ; la diminution de porosité due au sulfate qui se forme dans les pores du matériau, et qui empêche par la suite la diffusion de H_2SO_4 en constitue une troisième. Ce dernier effet revêt une importance particulière pour des intensités élevées de courant, puisque, plus la densité de courant est grande, plus les réactions se concentrent à la surface des plaques. Il s'ensuit que le sulfate bouche les porosités présentes sur la surface, ce qui diminue la conductibilité et la diffusion à l'intérieur des plaques elles-mêmes. [22]

2.12 Autonomie des batteries dans les systèmes photovoltaïques

Dans les systèmes photovoltaïques, on associe les batteries en série pour obtenir des tensions multiples de 12 Volts (24V, 48V) figure (2.11) et en parallèle pour augmenter la capacité de stockage des batteries. La capacité de stockage est déterminée en fonction de l'autonomie désirée du système photovoltaïque.

Lors du dimensionnement d'un système photovoltaïque, une durée d'autonomie est indiquée. Il s'agit de la période comptée en jours durant laquelle les besoins énergétiques peuvent être couverts même par mauvais temps. L'apparente simplicité de la définition de cette période d'autonomie peut cependant engendrer quelques écarts. Une autonomie excessive non justifiée par les conditions météorologiques aboutit typiquement à la préconisation soit d'un parc batteries, soit d'un champ photovoltaïque surdimensionné.

Avec dans le premier cas, le risque que l'état de pleine charge n'est jamais atteint (sulfatation rapide des batteries) et dans le deuxième cas la certitude que le parc batteries est toujours à l'état de pleine charge, ce qui limite l'intérêt des batteries à décharge profonde. [32]

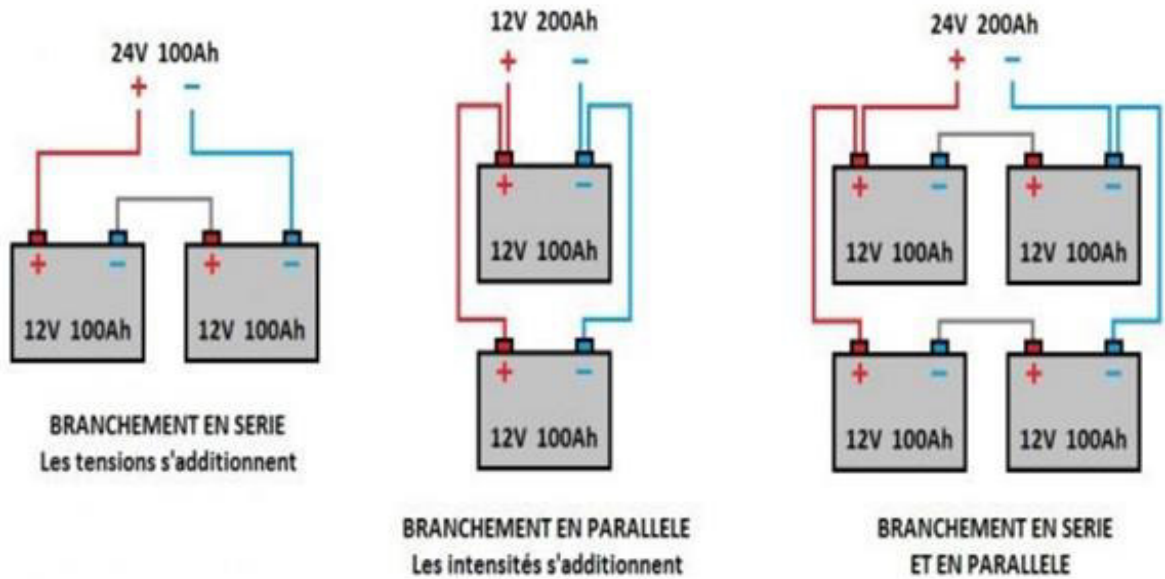


Figure (2.11) : Association en parallèle et association en série de deux batteries. [07]

2.13 Les avantages et les inconvénients batteries plomb acide

- Le fonctionnement de la batterie ne dispense pas de plomb.
- Le plomb est un polluant, en revanche le recyclage des batteries au plomb est facile. Le transport et le recyclage des batteries sont de plus en plus sévèrement réglementés, ce qui augmente les frais et diminue la rentabilité du recyclage; mais le taux de recyclage des batteries au plomb atteint les meilleurs résultats de valorisation avec 95 % de collecte et plus 65 % de valorisation en matière première secondaire sèche. Le prix du kilogramme de batteries est deux fois supérieur au prix du kilogramme de ferraille et permet ainsi de financer son recyclage sans devoir demander de soutien financier aux pouvoirs publics ou aux consommateurs.
- La durée de vie ainsi que les performances d'une batterie au plomb dépendent fortement de l'utilisation que l'on en fait. Ainsi, on a vu des batteries rendre l'âme après seulement 50 cycles alors que d'autres du même type ont tenu plus de 500 cycles. Cette forte disparité est en partie due au fait que ces batteries sont influencées par le type de cycle charge/décharge qu'on leur impose, supportent très mal les décharges profondes et nécessitent un système embarqué de contrôle très poussé afin de fournir les meilleures performances possibles. [33]

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons vu les caractéristiques principales des accumulateurs au plomb acide et leur principe de fonctionnement ainsi on a vu autres types d'accumulateurs : (ni-cd) et lithium. En fin on a présenté les avantages et les inconvénients des batteries plomb acide.

Dans le 3^{ème} chapitre on va simuler chaque bloc du système.

Chapitre 03
Etude par Simulation
du système PV

3.1 Introduction

Ce chapitre présente le développement du programme de simulation d'une installation PV autonome utilisée pour la recharge d'une batterie. Le système est composé d'un panneau PV, d'un hacheur survolteur et d'une batterie.

Ce chapitre, a pour but la simulation du système Photovoltaïque montré sur la figure (3.1).

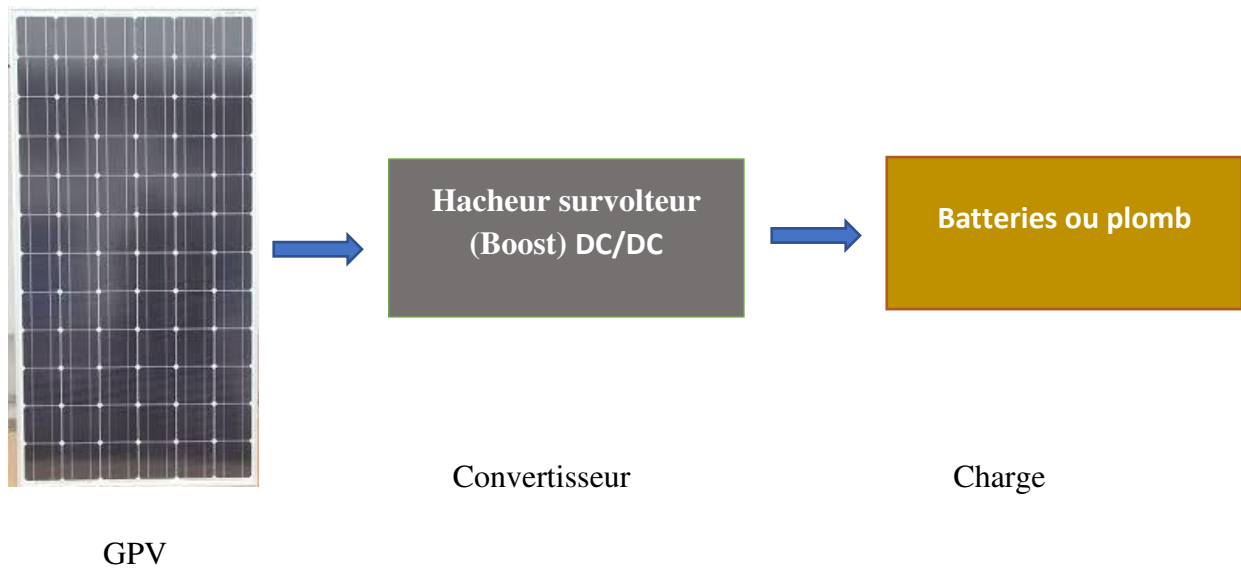


Figure (3.1) : système étudié.

Simulink : est une plate-forme de simulation multi-domaine et de modélisation des systèmes dynamiques.

Il fournit un environnement graphique et un ensemble de bibliothèques contenant des blocs de modélisation qui permettent le design précis, la simulation, l'implémentation et le contrôle de systèmes de communications et de traitement du signal. [34]

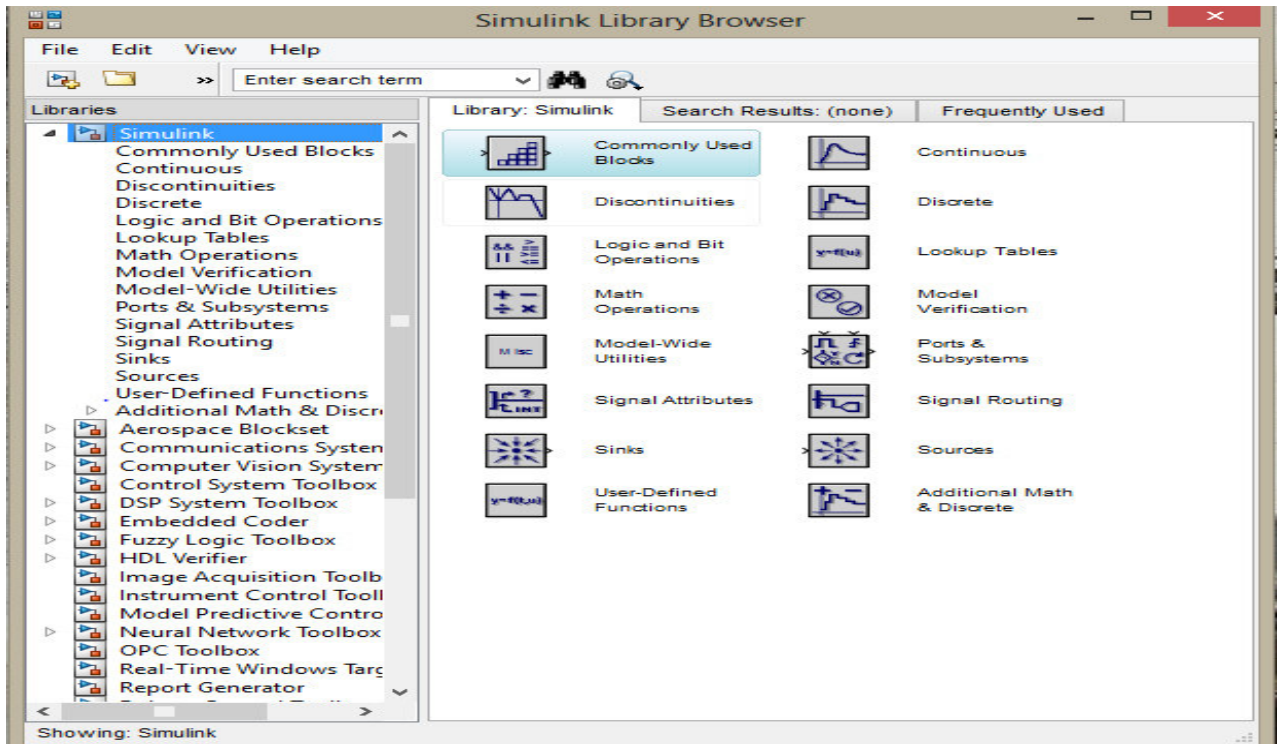


Figure (3.2) : Bibliothèque Simulink.

3.2 Simulation d'un générateur photovoltaïque

Un générateur photovoltaïque l'association de plusieurs cellules photovoltaïques en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque. Si les cellules se connectent en série, les tensions de chaque cellule s'additionnent, augmentant la tension totale du générateur. D'une autre part, si les cellules se connectent en parallèle, c'est l'ampérage qui augmentera. [35]

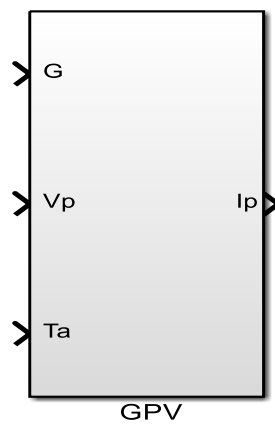


Figure (3.3) : Bloc Simulink Subsysteme générateur photovoltaïque.

Identification du paramètre du GPV :

G : éclairement W/m^2 .

V_p : Tension du GPV (v).

T_a : température ambiante ($^{\circ}C$).

I_p : Courant du GPV (A).

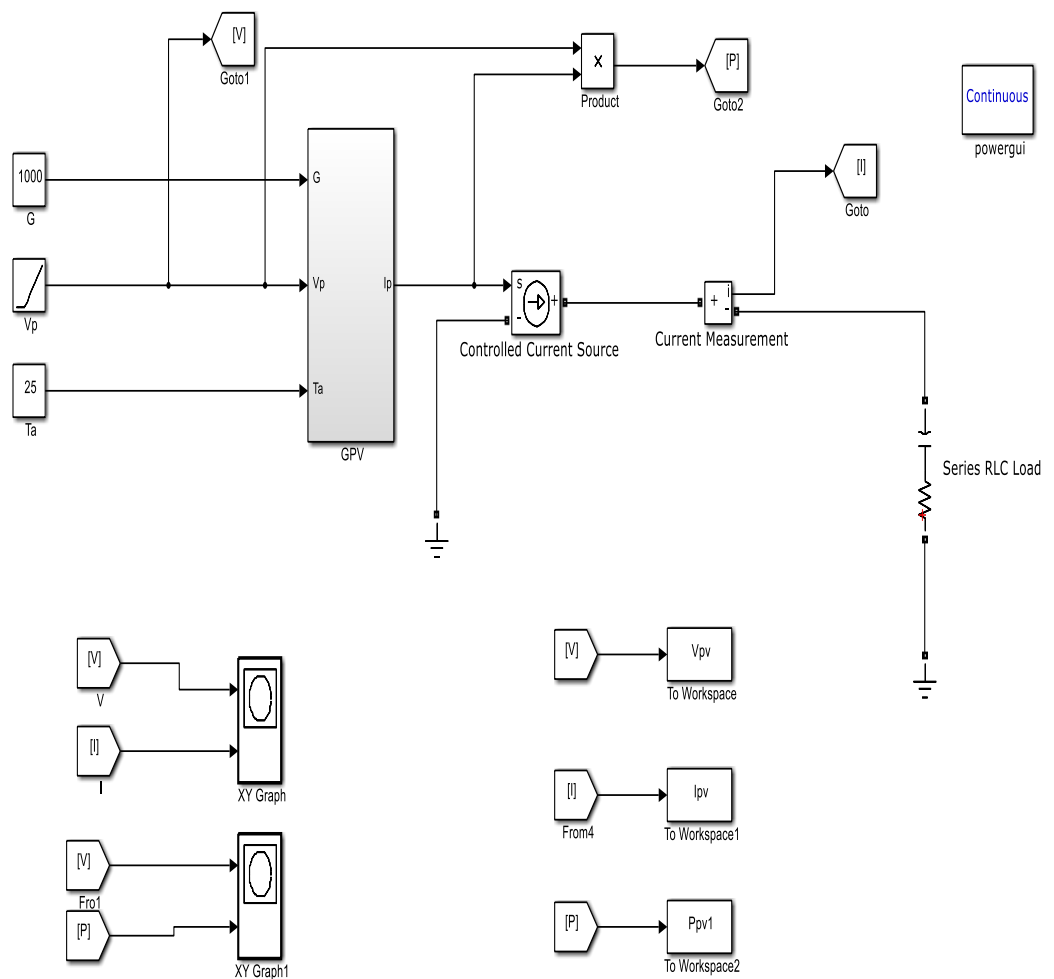


Figure (3.4) Modèle Simulink de panneau photovoltaïque.

- Caractéristique d'un panneau :
 - Courant de court-circuit = 4A.
 - Tension à circuit ouvert = 22.5V.
 - Courant optimum = 3.8A.
 - Tension optimale = 17.16V.

3.2.1 Simulation du générateur (GPV) à éclairage et température constante

Caractéristique : $I = f(V)$: À température et éclairage constants, et particulièrement aux conditions standards $G = 1000 \text{ W/m}^2$, température = 25°C , la caractéristique $I = f(V)$ est donnée par la figure (3.5)

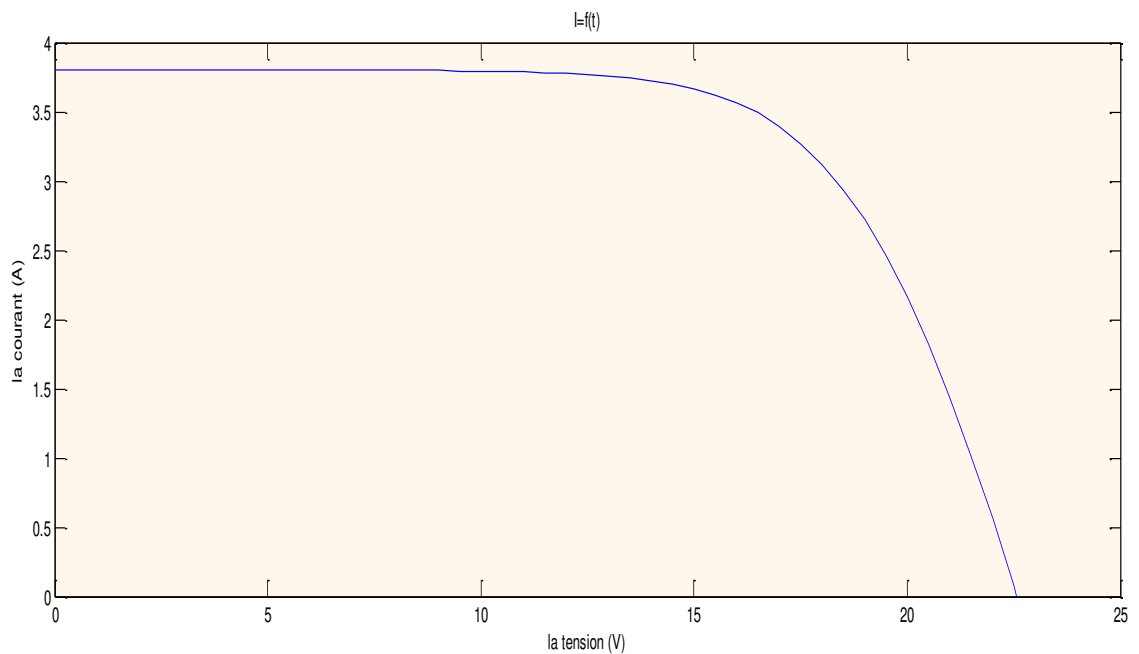


Figure (3.5) : Caractéristique : $I = f(V)$ d'un générateur photovoltaïque.

Caractéristique : $P = f(V)$: À température et éclairement constants, et particulièrement aux conditions standards $G = 1000 \text{ W / m}^2$, température = 25°C , la caractéristique $P = f(V)$ est donnée par la figure (3.6).

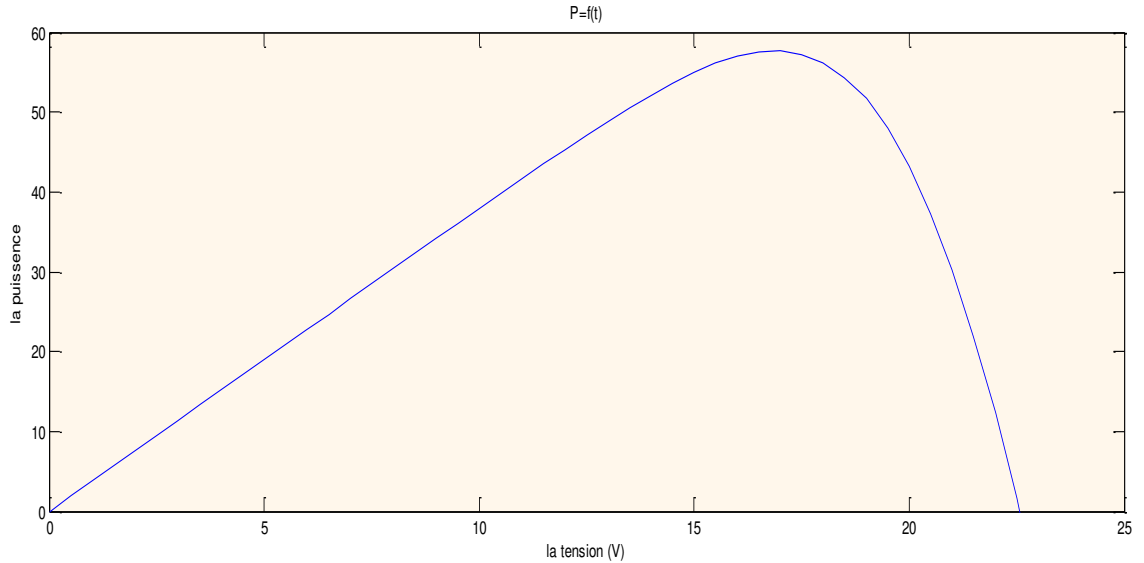


Figure (3.6) : Caractéristique : $P = f(V)$ d'un générateur photovoltaïque.

3.3 Simulation d'un Convertisseur Boost (DC- DC)

Le convertisseur survolteur peut être souvent trouvé dans la littérature sous le nom d'hacheur Boost ou hacheur parallèle. La figure (3.7) présente le schéma de principe du convertisseur survolteur Son application typique est de convertir sa tension d'entrée en une tension de sortie supérieure. [36]

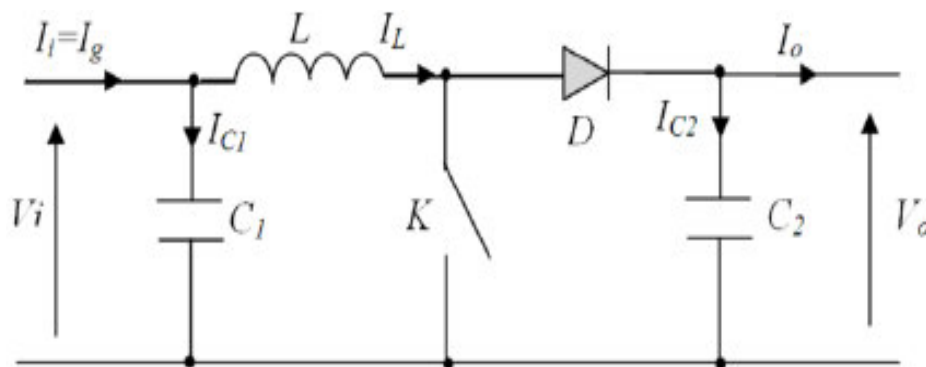


Figure (3.7) : Schéma de principe d'un convertisseur Boost. [37]

Les paramètres de l'hacheur Boost :

$$L = 69 \text{ m H}, C = 220 \text{ } \mu\text{f}, R = 13 \Omega, V_e = 12 \text{ v}$$

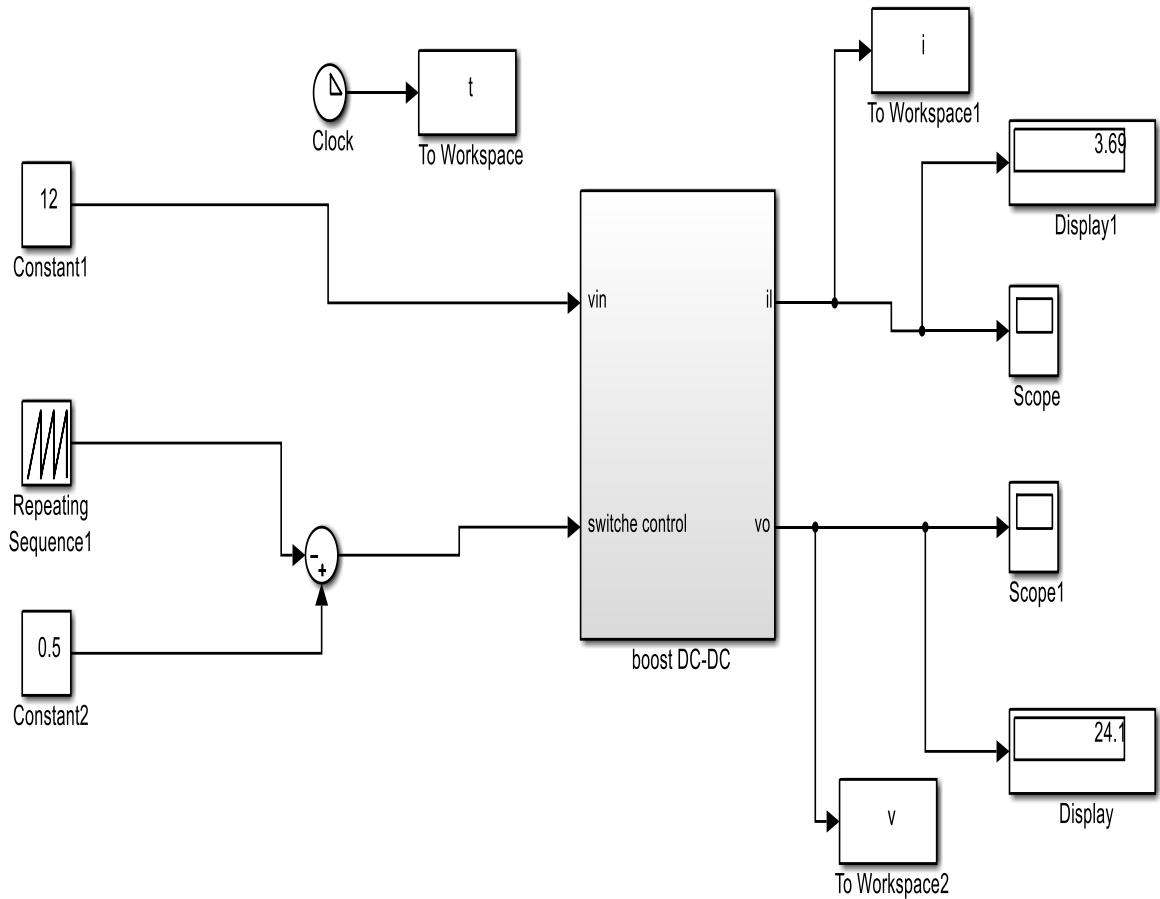


Figure (3.8) : Modèle Simulink de l'hacheur Boost.

Les résultats de simulation pour le rapport cyclique = **0.5** :

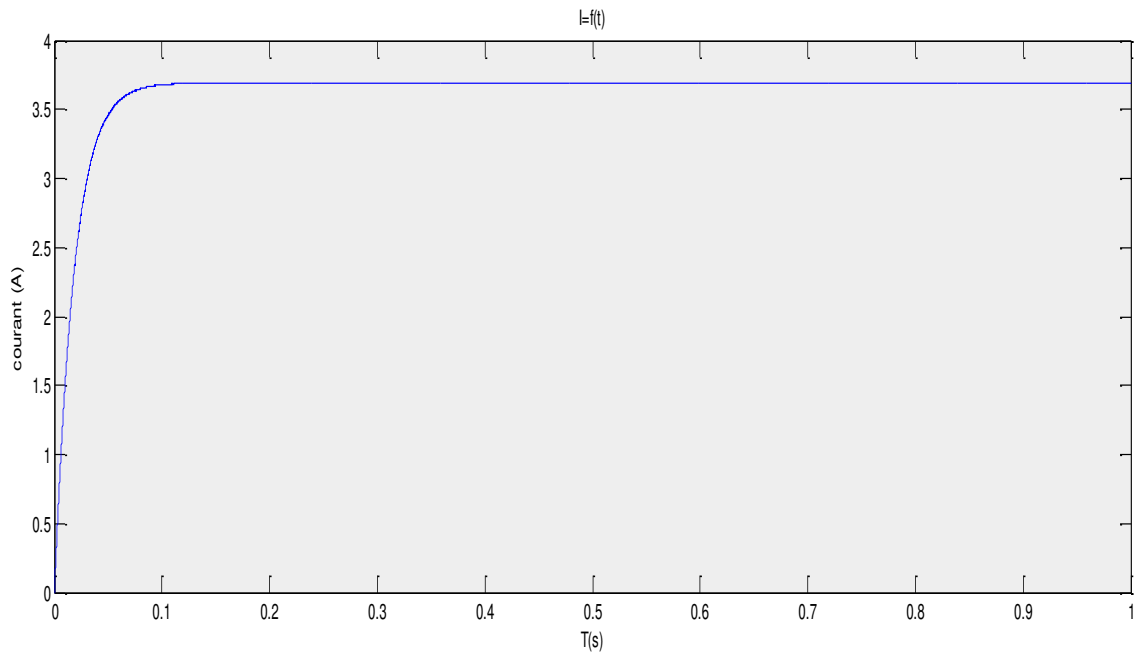


Figure (3.9) : courbe $I= f (t)$ d'un Convertisseur Boost.

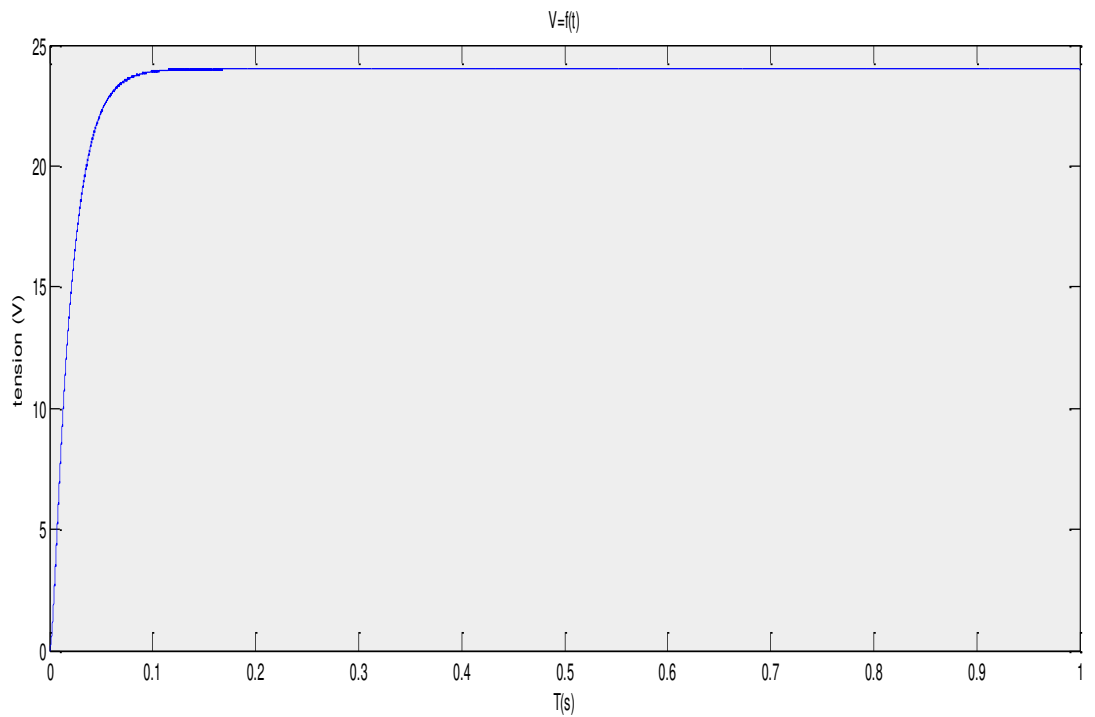


Figure (3.10) : courbe : $V = f (t)$ d'un Convertisseur Boost.

3.4 Simulation d'une batterie en plomb

La batterie joue un rôle important dans notre système, Elle intervient lorsque la puissance du panneau photovoltaïque inférieure à celle de la charge (la batterie se décharge), dans cas inverse la batterie se charge (stockage d'énergie électrique). [27]

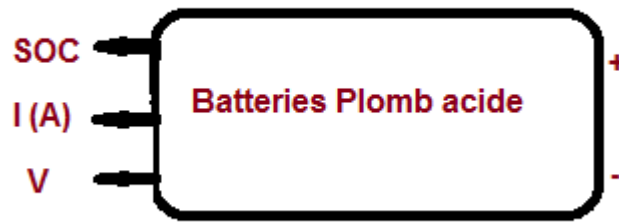


Figure (3.11) : Schéma bloc du batteries plomb acide.

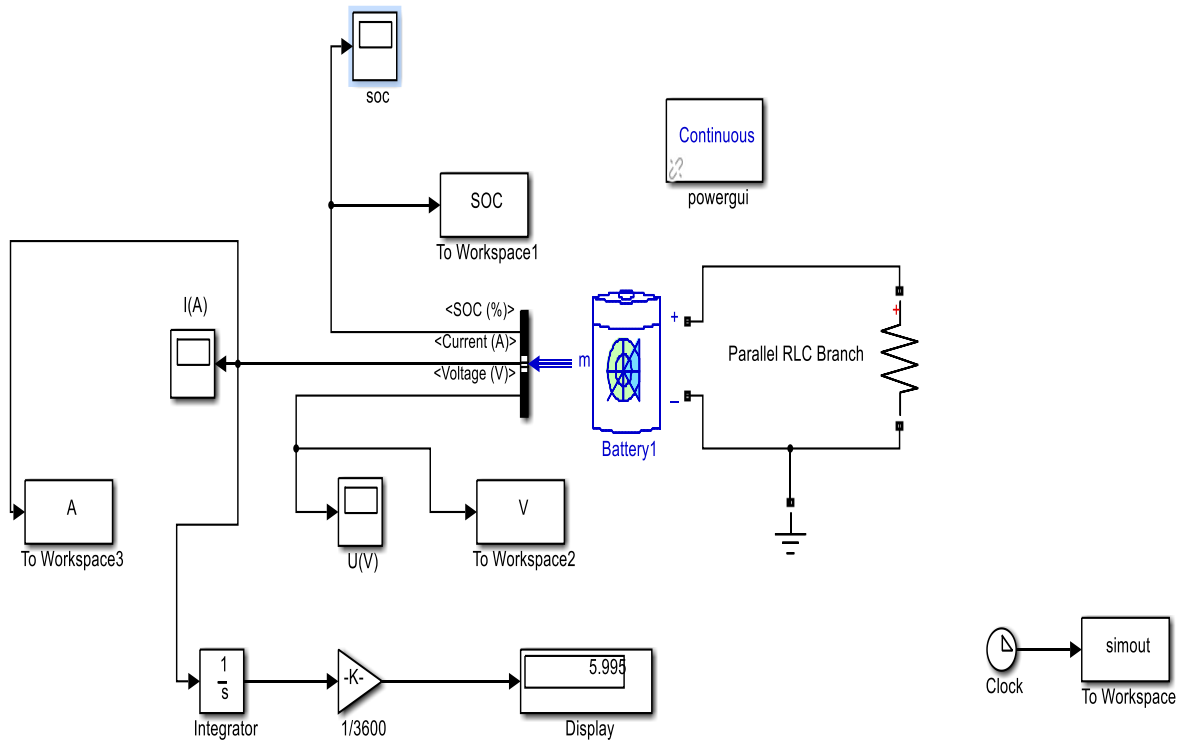


Figure (3.12) : Modèle en Simulink de la batterie.

Les caractéristiques principales de la batterie :

- La tension nominal 12 v.
- Rated Capacity (Ah) 7Ah.
- Initial State-Of-Charge 85 (%).

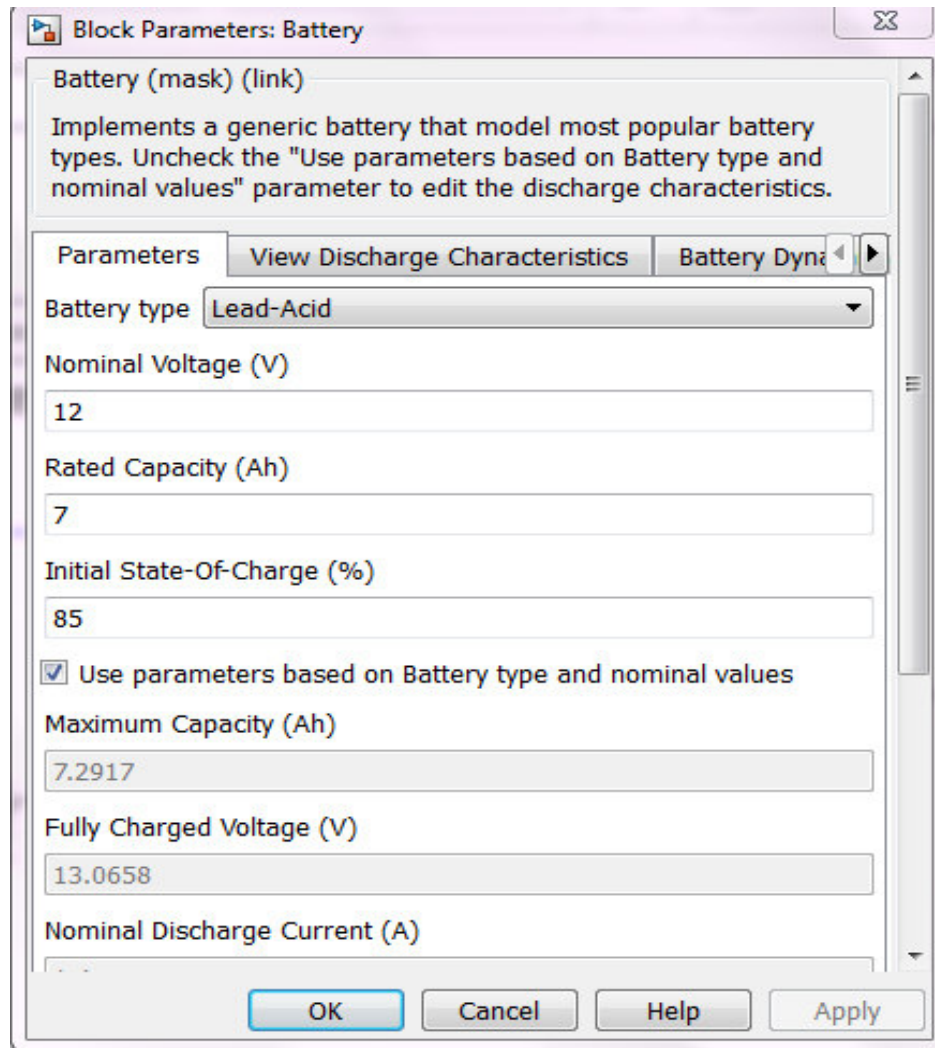


Figure (3.13) : Bloc des Paramètres de la batterie.

Les résultats de simulation de batterie :

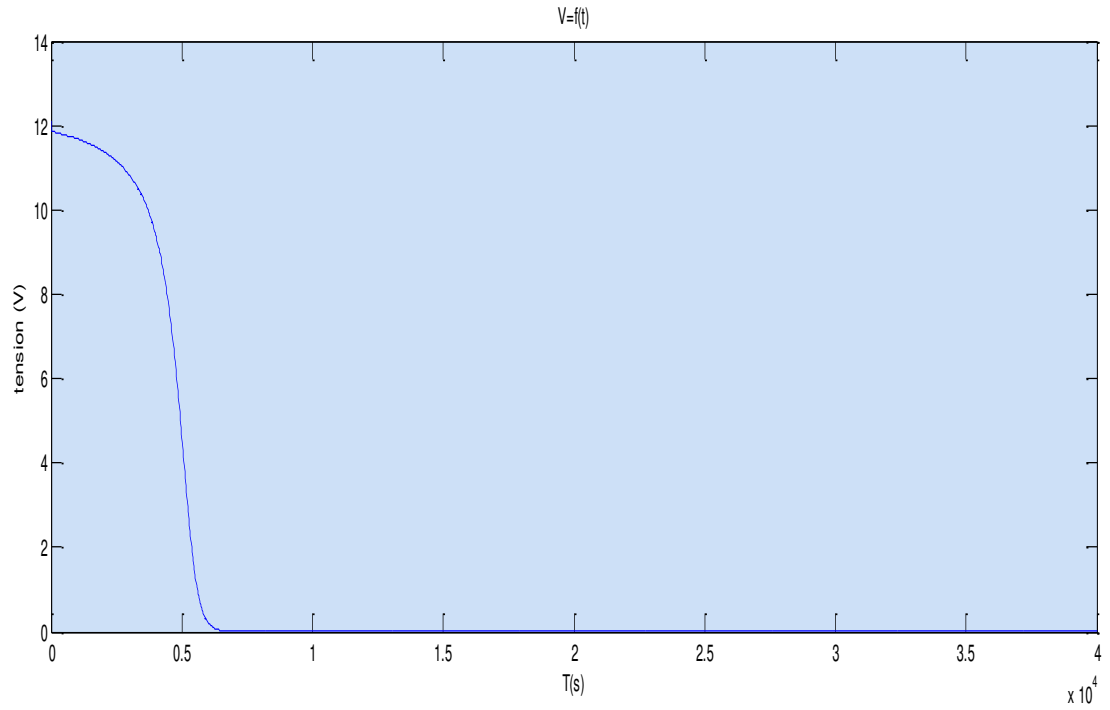


Figure (3.14) : courbe : $V = f(t)$ de la charge batterie.

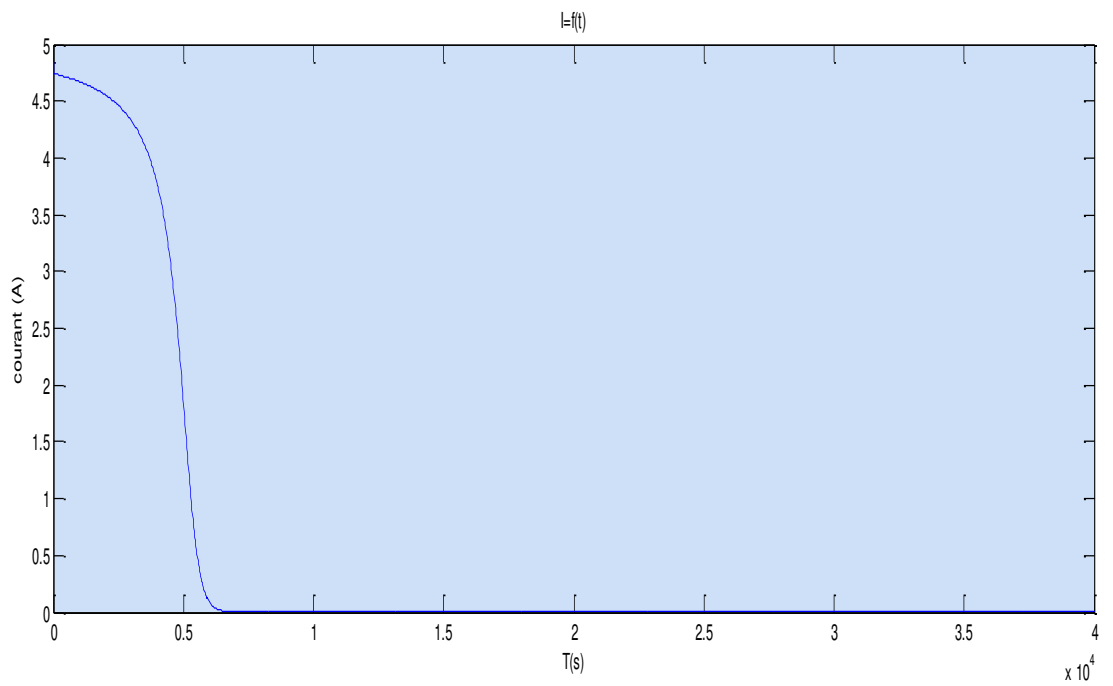


Figure (3.15) : courbe : $I = f(t)$ de batterie.

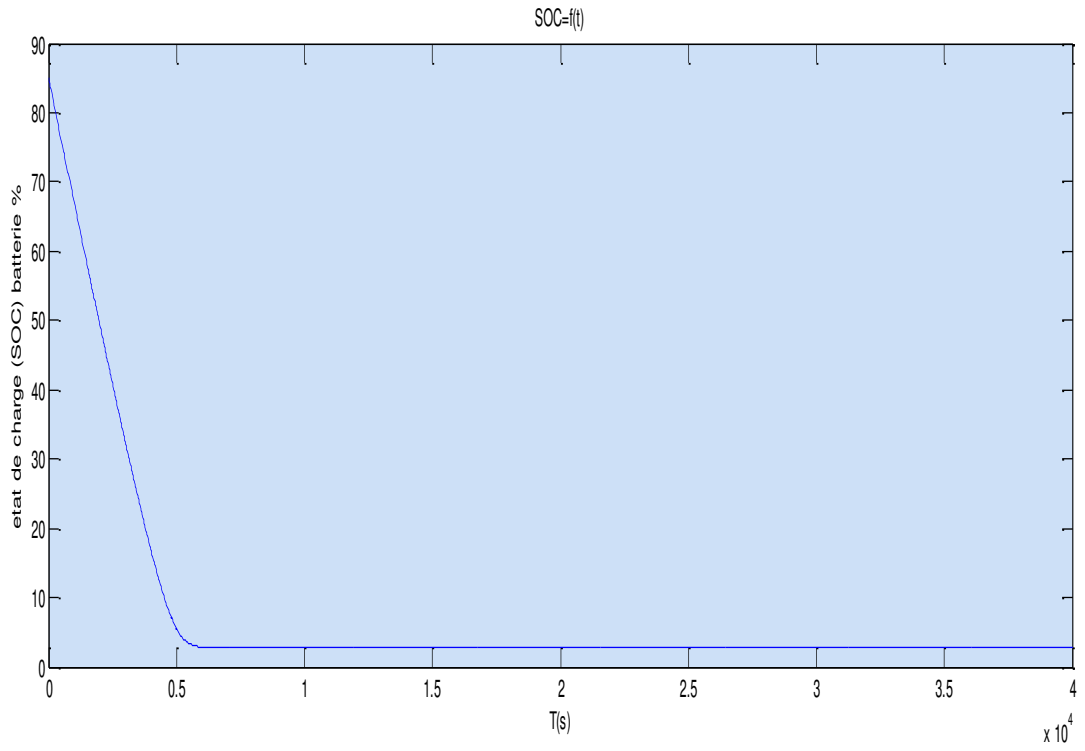


Figure (3.16) : courbe : SOC = f (t) de batterie.

3.5 Simulation (GPV + Hacheur Boost)

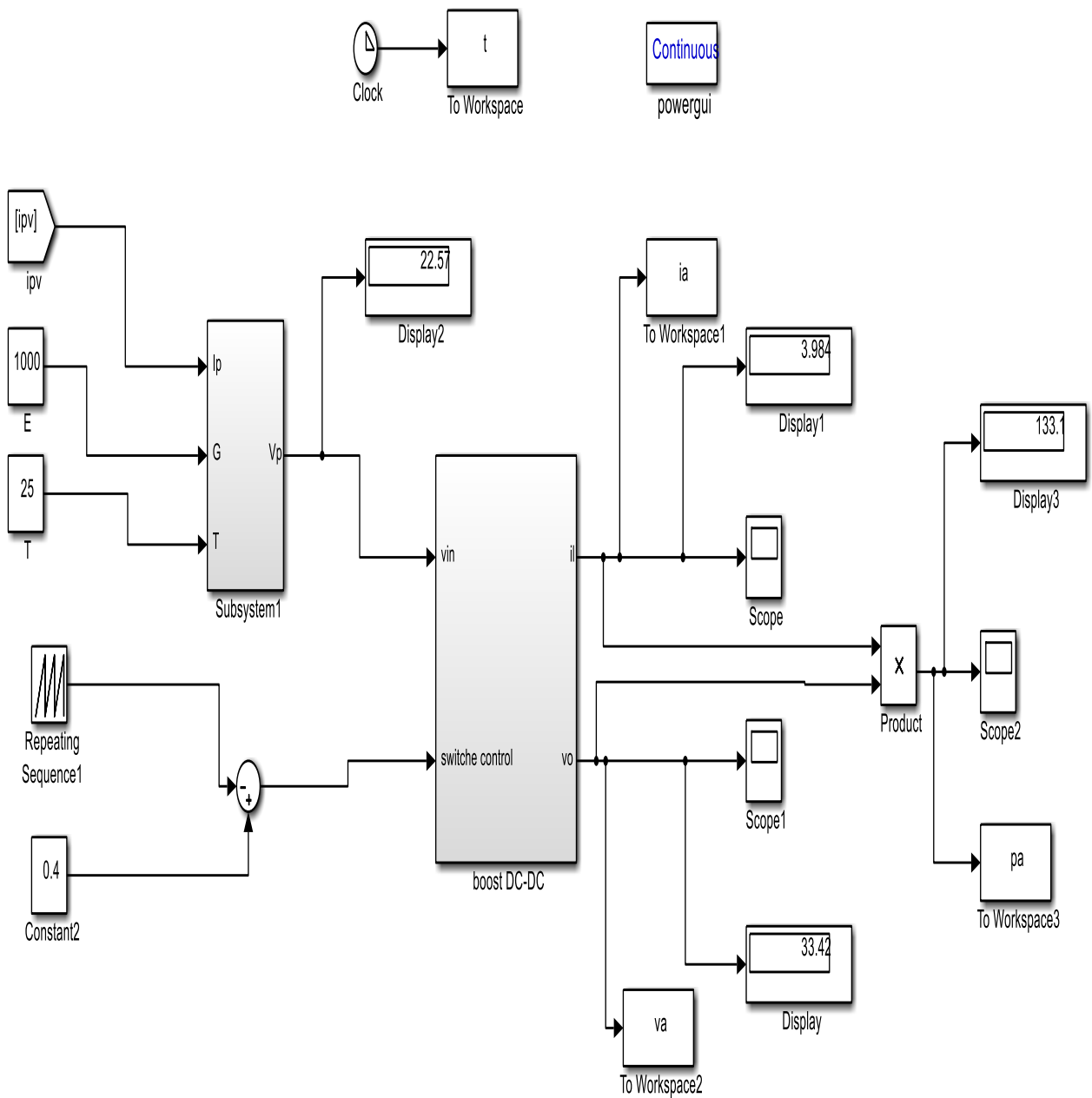


Figure (3.17) : Modèle en Simulink du système (GPV + Hacheur Boost).

Les résultats de sortie d'un système pour un rapport cyclique 0.4 :

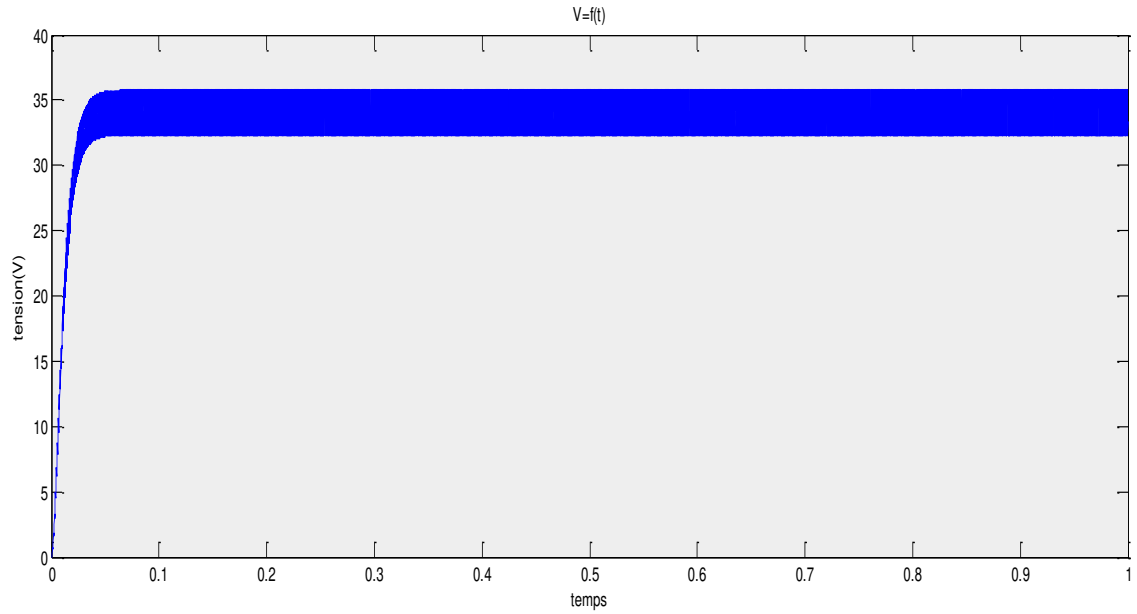


Figure (3.18) : courbe $V = f(t)$ du système (GPV + Hacheur Boost).

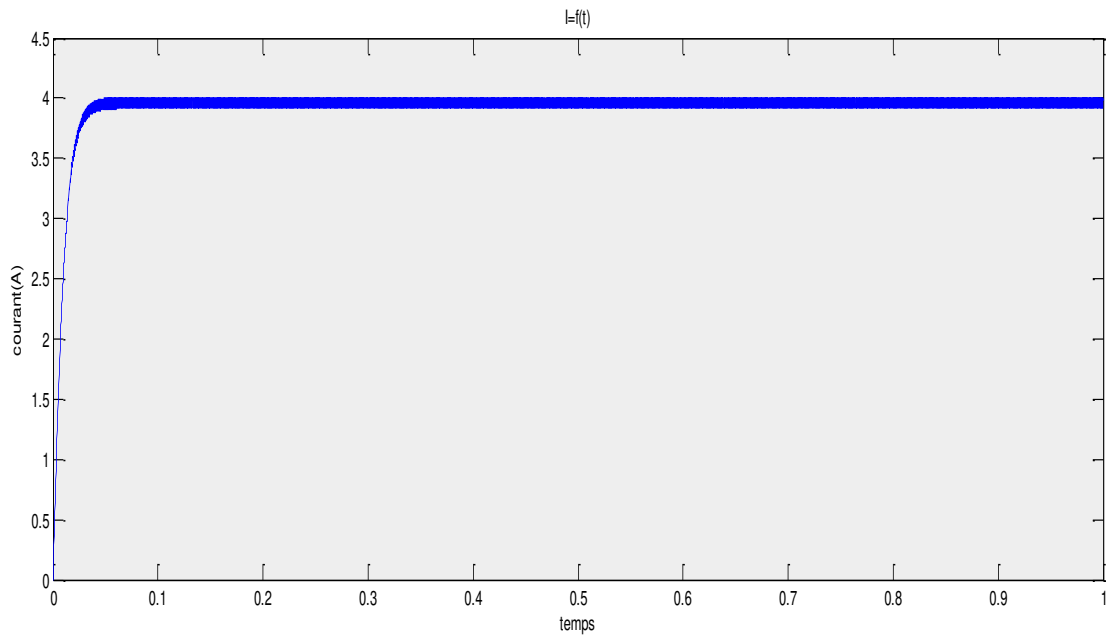


Figure (3.19) : courbe $I = f(t)$ du système (GPV + Hacheur Boost).

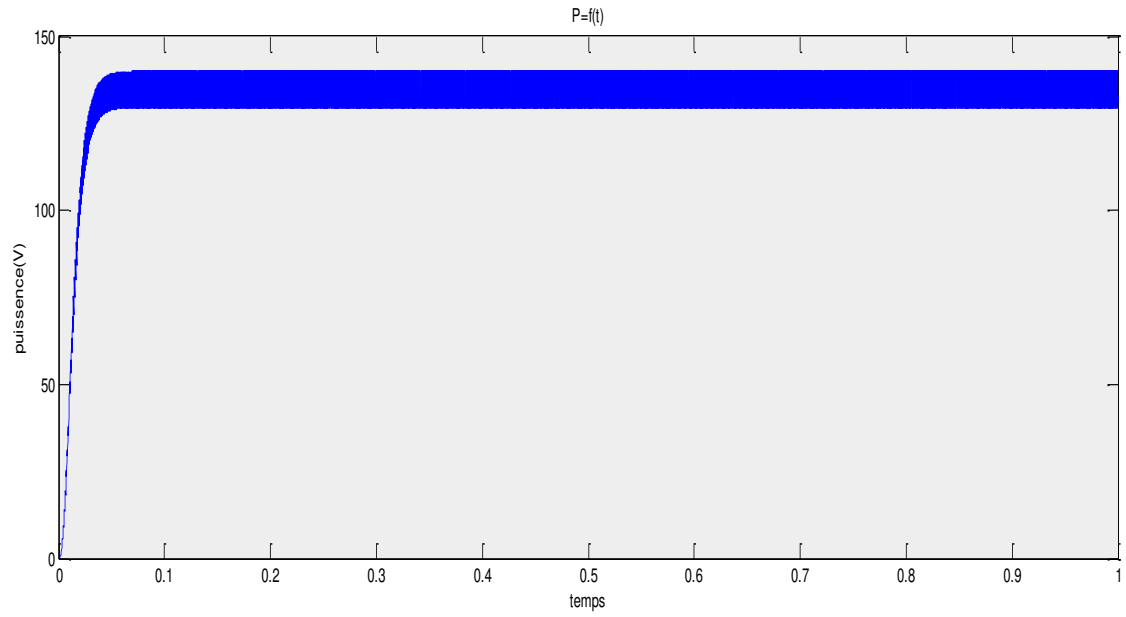


Figure (3.20) : courbe $P = f(t)$ du système (GPV + Hacheur Boost).

3.6 Simulation (GPV + Hacheur Boost + batteries plomb)

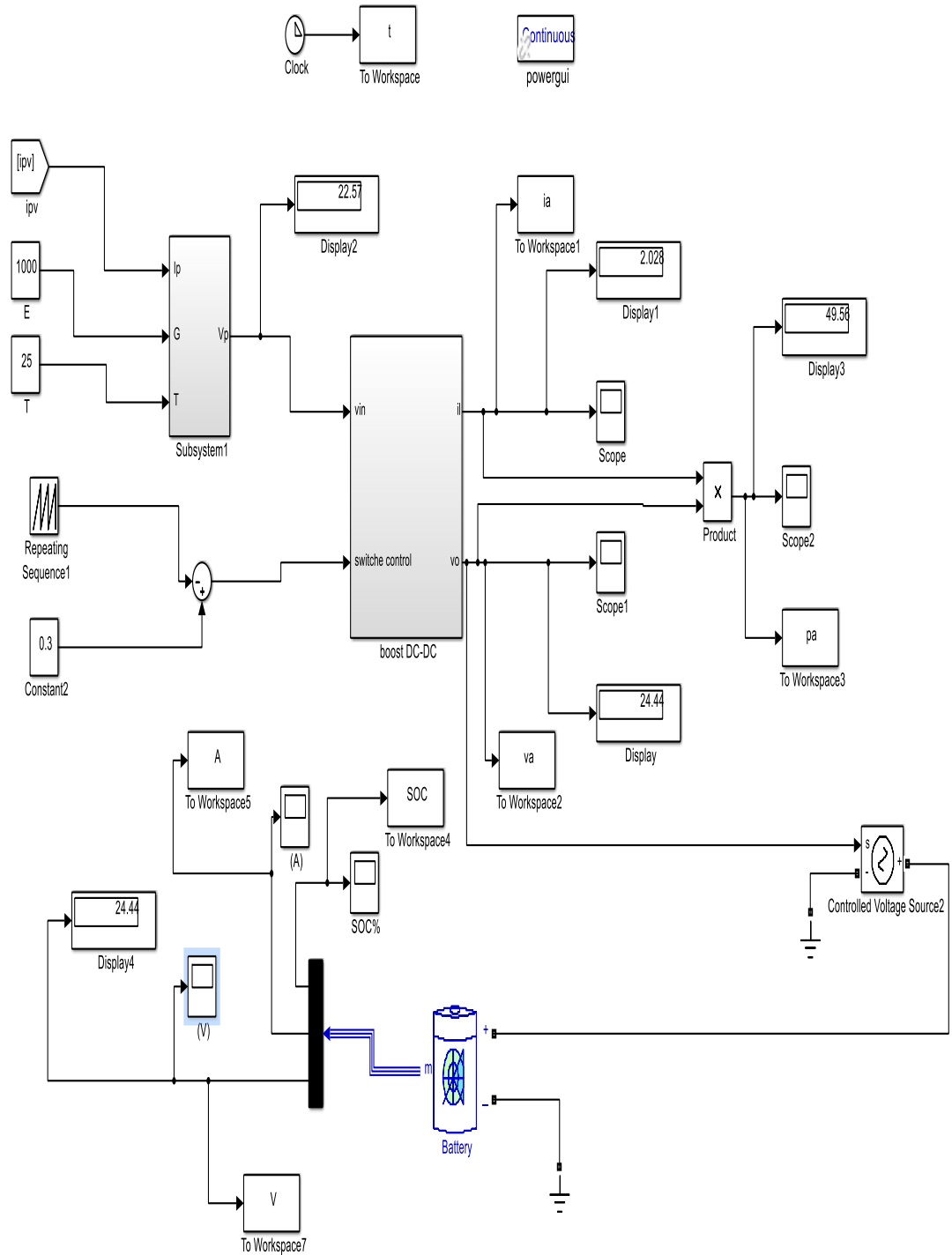


Figure (3.21) : Modelé Simulink du système PV (GPV + Hacheur Boost+ batterie).

Les résultats de simulation pour rapport cyclique 0.3 :

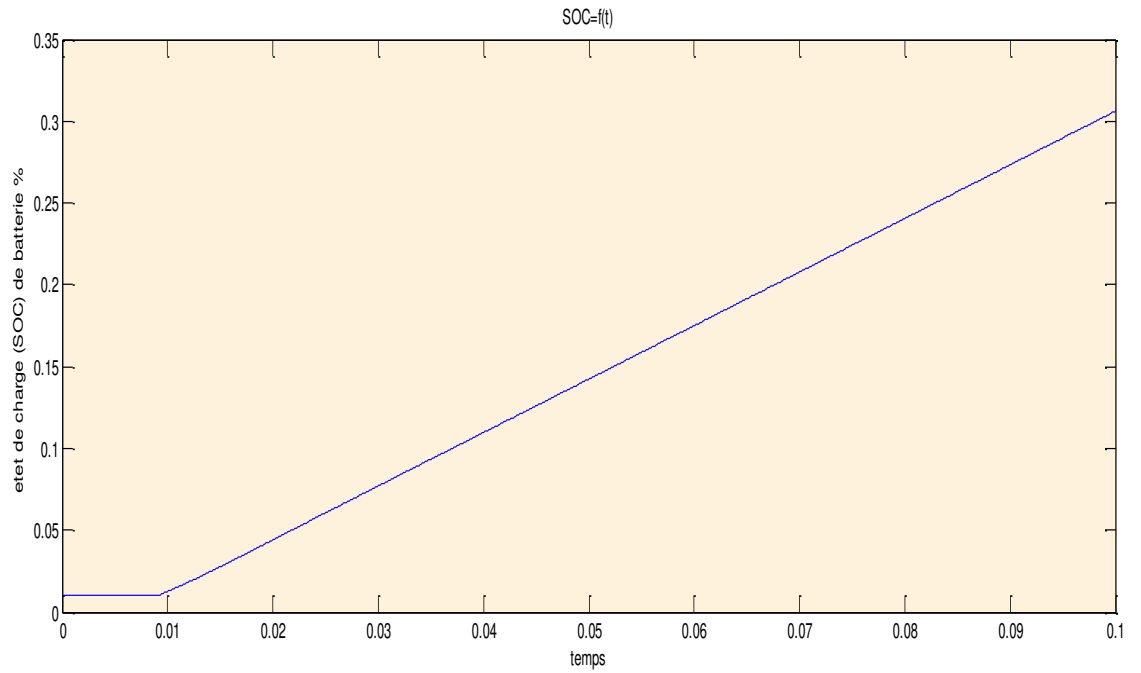


Figure (3.22) : courbe état de charge en fonction de temps $SOC = f(t)$.

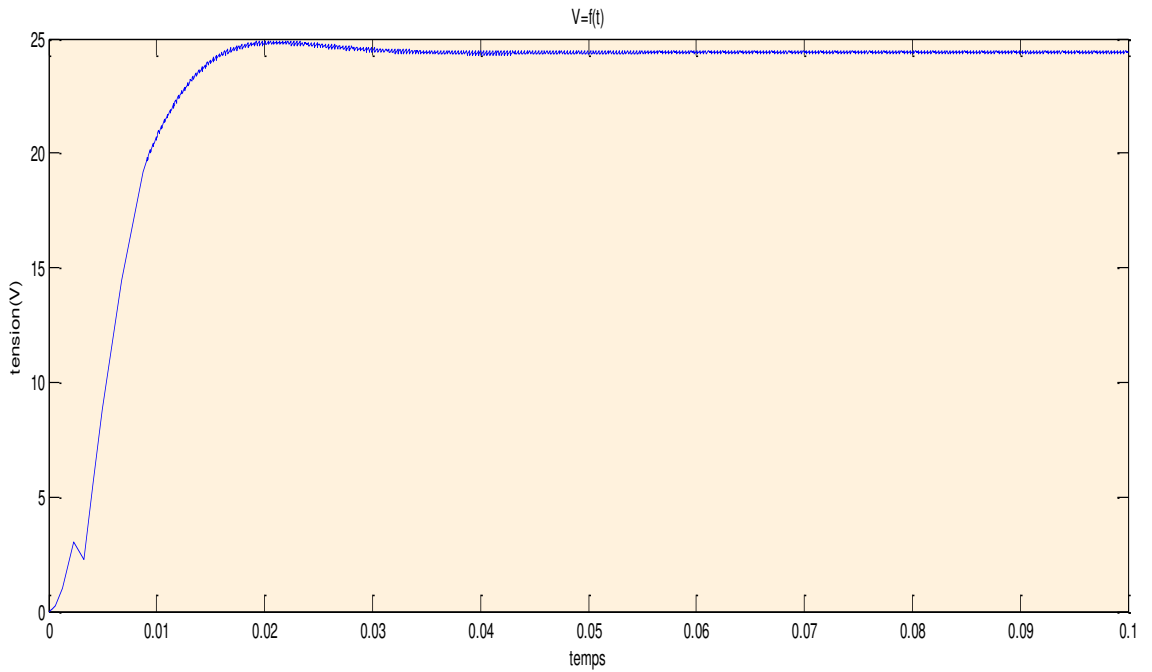


Figure (3.23) : courbe tension de charge de la batterie : $V = f(t)$.

Interprétation :

- Figure (3.16) montrent le cas de décharge de la batterie.
- La simulation du convertisseur Boost le figure (3.10) et représentent les tensions d'entrée et sortie de l'hacheur Boost, donc les résultats de l'hacheur Boost effectué correctement sans rôle puisque la tension de sortie d'hacheur Boost est supérieur à celle l'entrée.
- Figure (3.22) montre de la charge SOC de batterie.
- Figure (3.23) : montre le cas de charge de la batterie, le choix de la valeur du rapport cyclique de l'hacheur dépend de la tension nominale de la batterie, afin que la tension du générateur PV soit compatible avec celle de la batterie. En plus l'hacheur aide la batterie à se charger en durée de temps courte.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié la simulation par Simulink (Matlab) du système PV avec une batterie plomb où on a présenté le modèle en Simulink de chaque sous-système étudié où on a vu la charge de la batterie.

Cette simulation nous a permet donc de mettre en évidence que le convertisseur Boost est un convertisseur élévateur de tension, et qu'il fonctionne également lorsque la tension nominale de la batterie est égale ou supérieure à celle de la tension d'entrée V_{in} . On déduit que le dimensionnement de la batterie dépend de la puissance délivrée par le panneau, ainsi que de la puissance de la charge d'utilisation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Pour un usage en site isolé, le photovoltaïque, comme pour toute autre énergie intermittente, nécessite un système de stockage électrique permettant de restituer l'énergie à la demande. Les batteries au Plomb, en raison de leur faible coût et de leur simplicité de mise en œuvre, sont pour l'instant les plus utilisées. Prolonger leur durée de vie, en étudiant les mécanismes de corrosion et de vieillissement, rechercher des voies nouvelles de stockage font partie des principaux axes de recherche.

Dans ce mémoire, nous avons fait une modélisation de la batterie Plomb-Acide chargée par un générateur photovoltaïque.

Dans le premier chapitre nous avons présenté les concepts fondamentaux de l'énergie photovoltaïque et des généralités sur l'hacheur élévateur.

Dans le deuxième chapitre, nous avons vu les généralités et les principes de fonctionnement des batteries Plomb-Acide, ainsi que les paramètres qui les caractérisent.

Nous avons vu les différentes approches théoriques disponibles pour modéliser une batterie, où nous avons vu le modèle de la charge, de la décharge, de la tension, du courant de la batterie.

Au troisième chapitre, on a fait la simulation en Simulink (Matlab) du système PV avec une batterie où on a présenté le modèle en Simulink de chaque sous-système ainsi que l'association de tous les sous-systèmes.

D'après les résultats obtenus on a fait la charge de la batterie avec la représentation de l'état de charge en fonction du temps. On a conclu aussi que le dimensionnement de la batterie dépend de la puissance délivrée par le panneau, ainsi que de la puissance de la charge d'utilisation.

Une des perspectives intéressantes à cette étude serait l'utilisation d'un hacheur réversible commandé par une des techniques de poursuite du point de puissance maximal pour la recharge et la décharge de la batterie.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*En premier lieu à ma mère et à mon père qui ont
consenti beaucoup de sacrifices pour me permettre de
réaliser mes objectifs et Qu'ils trouvent ici toute ma
reconnaissance et ma gratitude.*

A mes frères et mes sœurs

A mon frère Larbi

A tous mes camarades et mes amis

A tous mes enseignants

Merci beaucoup.

ILyes

Introduction générale

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement. De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

L'énergie solaire n'étant pas disponible la nuit, il est nécessaire d'équiper les systèmes photovoltaïques autonomes par des batteries d'accumulateurs qui permettent de stocker l'énergie et de la restituer en temps voulu. Pour les systèmes raccordés au réseau de distribution électrique, le stockage de l'énergie et bien évidemment pas indispensable. La présence des batteries exige l'utilisation d'une unité dédiée à la gestion de l'énergie. En effet, ces dernières possèdent deux tensions critiques (tension de surcharge et tension de décharge profonde) qui doivent être respectées sous peine d'usure prématurée ou pire, leur détérioration. L'évolution continue de l'électronique de puissance, plus particulièrement les dispositifs de conversion de la puissance a permis de concevoir de nouveaux schémas plus sophistiqués et moins encombrants améliorant par la même occasion leur rendement. Cela a une influence directe sur le rendement et le coût global du système photovoltaïque dans son ensemble. [01]

Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances (jour ou nuit, ciel dégagé ou couvert). Une batterie utilisée avec des panneaux solaires ou une éolienne est une batterie à décharge lente (appelée aussi batterie solaire). Ces batteries sont spécifiquement conçues pour les applications solaires ou éoliennes. Elles n'ont pas les mêmes caractéristiques qu'une batterie de voiture par exemple, elles se déchargent plus progressivement et supportent mieux les décharges fréquentes peu profondes. Le rôle du régulateur dans une installation solaire est très important car le niveau de charge des batteries solaires ne doit être ni trop bas (pas en dessous de 40%) ni trop haut (ne pas dépasser 95%).

Introduction générale

Des charges trop faibles ou trop importantes non régulées détériorent les batteries et limitent leur durée de vie. Nous vous recommandons de bien vérifier que le cyclage (nombre de cycles complets de charge -décharge de la batterie) est clairement indiqué par le fabricant. Le cyclage indique la durée de vie de la batterie solaire. Les batteries solaires de qualité ont une durée de vie de plus de 500 cycles, soit de 7 ans jusqu'à 15 ans.

Le générateur renouvelable sélectionné pour notre étude est un champ photovoltaïque (PV) avec un système de stockage, le stockage est assuré par des batteries. Ce système est appelé système PV-Batteries. Le type de stockage généralement utilisé dans ce système est la batterie au plomb. La maturité dont cette technologie fait preuve et son faible coût en sont les raisons principales. L'utilisation de ces batteries à l'échelle saisonnière est inenvisageable. Elles ne peuvent rester longtemps inutilisées sans conséquences néfastes sur leurs durées de vie.

Le but poursuivi dans le cadre de ce mémoire est de faire la charge de la batterie avec un modèle mathématique précis de chaque sous-système PV/Batteries.

Le mémoire présenté est organisé en trois chapitres.

Au premier chapitre, Nous étudions énergie photovoltaïque (cellule et influence de la température et de là l'éclairage et Convertisseur continu-continu (Boost).)

Le second chapitre Nous étudions le dispositif de stockage d'énergie et la batterie de l'énergie solaire (batterie ou plomb).

Le troisième chapitre présente la simulation du système photovoltaïque (hacheur Boost, générateur photovoltaïque, batterie ou plomb).

Enfin le mémoire est clôturé par une conclusion générale.

Liste de figure

Liste de figure

Chapitre 01

Figure (1.1) : Système solaire photovoltaïque.	07
Figure (1.2) : Spectre du rayonnement solaire.	09
Figure (1.3) : Schéma d'une cellule élémentaire.	10
Figure (1.4) : Caractéristique résultantes d'un groupement de ns cellules en série.	11
Figure (1.5) : Caractéristique résultante d'un groupement de np cellules en parallèle.	12
Figure (1.6) : Cellule au Silicium Monocristallin.	12
Figure (1.7) : Cellule au Silicium Polycristallin.	13
Figure (1.8) : Cellule au Silicium amorphe (couche mince).	13
Figure (1.9) : Schéma idéale d'une cellule photovoltaïque.	15
Figure (1.10) : Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque.	15
Figure (1.11) : Module photovoltaïque.	17
Figure (1.12) : La caractéristique de $I=f(V)$ en fonction de température.	18
Figure (1.13) : La caractéristique de $P=f(V)$ en fonction de température.	19
Figure (1.14) : La caractéristique $I=f(v)$ en fonction de l'éclairement.	20
Figure (1.15) : La caractéristique $P=f(v)$ en fonction de l'éclairement.	20
Figure (1.16) : Convertisseur continu-continu.	22
Figure (1.17): Schéma électrique d'un hacheur boost.	23
Figure (1.18): Chronogrammes de courant et tension d'un hacheur boost.	24
Figure (1.19): Schéma électrique d'un hacheur boost fermé.	24
Figure (1.20): Schéma électrique d'un hacheur boost ouvert.	25

Liste de figure

Chapitre 02

Figure (2.1) : Batterie au Plomb-Acide.	28
Figure (2.2) : Marché mondial des batteries d'accumulateurs au plomb.	31
Figure (2.3) : Densité d'énergie de quelques accumulateurs.	34
Figure (2.4) : Construction d'une batterie monobloc.	35
Figure (2.5) : Principe d'une batterie plomb.	38
Figure (2.6) : Évolution de la tension durant la charge d'un accumulateur au plomb.	39
Figure (2.7) : Évolution de la tension durant la décharge d'un accumulateur au plomb.	39
Figure (2.8) : Accumulateur Nickel-Cadmium.	40
Figure (2.9) : Accumulateur lithium de Varta.	41
Figure (2.10) : Résistance à la corrosion du Plomb dans l'acide sulfurique.	42
Figure (2.11) : Association en parallèle et association en série de deux batteries.	45

Chapitre 03

Figure (3.1): Système étudié.	48
Figure (3.2): Bibliothèque SIMULINK.	49
Figure (3.3): Bloc Simulink Subsysteme générateur photovoltaïque.	49
Figure (3.4) : Modèle Simulink de panneau photovoltaïque.	50
Figure (3.5) : Caractéristique : $I = f(V)$ d'un générateur photovoltaïque.	51
Figure (3.6) : Caractéristique : $P = f(V)$ d'un générateur photovoltaïque.	52
Figure (3.7) : Schéma de principe d'un convertisseur Boost.	52
Figure (3.8) : Modèle Simulink de l'hacheur Boost.	53
Figure (3.9) : courbe $I = f(t)$ d'un Convertisseur Boost.	54
Figure (3.10) : courbe : $V = f(t)$ d'un Convertisseur Boost.	54
Figure (3.11): Schéma bloc du batteries plomb acide.	55

Liste de figure

Figure (3.12) : Modèle en Simulink de la batterie.	55
Figure (3.13): Bloc des Paramètres de la batterie.	56
Figure (3.14) : courbe : $V = f(t)$ de la charge batterie.	57
Figure (3.15) : courbe : $I = f(t)$ de batterie.	57
Figure (3.16) : courbe : $SOC = f(t)$ de batterie.	58
Figure (3.17) : Modèle en Simulink du système (GPV + Hacheur boost).	59
Figure (3.18) : courbe $I = f(t)$ du système (GPV + Hacheur boost).	60
Figure (3.19) : courbe $V = f(t)$ du système (GPV + Hacheur boost).	60
Figure (3.20): courbe $P = f(t)$ du système (GPV + Hacheur Boost).	61
Figure (3.21): Modelé Simulink du système PV (GPV + Hacheur Boost+ batterie)	62
Figure (3.22) : courbe état de charge en fonction de temps $SOC = f(t)$.	63
Figure (3.23) : courbe tension de charge de la batterie : $V = f(t)$.	63

Liste de tableau

Liste de tableau

Chapitre 01

Tableau. (1.1) : Rendement énergétique des différents types de cellules photovoltaïques. 14

Nomenclature

Nomenclature

GPV : générateur photovoltaïque.

PV : photovoltaïque.

E : Eclairage (W/m^2).

h : la constante de Planck.

C : la vitesse de propagation.

λ : La longueur d'onde (m).

I : courant.

V : tension.

T : est la température en degré Kelvin °K.

P : puissance (W).

T(s) : tempe.

AC : alternative.

DC : continue.

Pb : plomb.

NiCd : nickel-cadmium.

Li-ion : lithium-ion.

V_{co} : La tension de circuit ouvert (V).

I_{cc} : Le courant de court-circuit (A).

I_D : Courant de diode (A).

I_{ph} : le photo-courant généré par la cellule PV (A).

D : Le diode.

Nomenclature

I_{sh} : Courant parallèle de la cellule. (A).

R_{sh} : Résistance parallèle de la cellule (Ω).

R_s : Résistance en série (Ω).

I_{sc} : Courant de court-circuit d'une cellule (A).

V_e : Tension d'entrée.

V_s : Tension de sortie.

α : Rapport cyclique.

K : L'interrupteur (switch).

G : L'éclairement de référence (1000 W/m²).

I_0 : Le courant de saturation de la diode(A).

V_0 : la tension de saturation de la diode(V).

SOC : L'état de charge de batterie.

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 : Electrotechnique
Option : Energies Renouvelables

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

MASTER

Thème

**Charge d'une batterie au plomb acide par un générateur
photovoltaïque**

Présenté par :

Chaouki ILYes

Avis favorable de l'encadreur :

Mme. Tkouti Nacira

signature

Avis favorable du Président du Jury

Mme. Deradji Beloum Karima

Signature

Cachet et signature



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

Thème :

Charge d'une batterie au plomb acide par un générateur photovoltaïque

Proposé par : Chaouki ILyes

Dirigé par : Mme. Tkouti Nacira

ملخص

إن إنتاج الطاقة الفوتو ضوئية مهم جدا لأنه مرتبط جدا بالظروف المناخية وهذا ما يجعلنا نفكر في تخزين تلك الطاقة لاستعمالها اثناء الليل او الأيام التي لا تكون فيها شمس ، ومن أجل ذلك يجب التحكم في النظام الفوتو ضوئي، و في هذه المذكرة لدينا هدف دراسة نظرية للبطارية الشمسية من خلال التطرق الى خصائصها ومميزاتها، ومحاكات لمختلف مكونات نظام الطاقة الشمسية المتكون من اللوح الضوئي ومحول الطاقة من تيار مستمر / الى تيار مستمر متغير , بالإضافة الى بطارية كحمولة لهذا النظام , وكذا استخراج نتائج ومنحنيات هذه الحمولة .

كلمات البحث: المحاكات، اللوح الضوئي، محول.

Résumé

La production d'énergie par les systèmes photovoltaïques est très fluctuante et dépend énormément des conditions météorologiques. C'est pourquoi il faut penser à stocker cette énergie pour la restituer pendant la nuit et les jours sans soleil et pour mieux adapter le système PV, Dans cette note, nous avons l'objectif de l'étude de la théorie de la batterie solaire à travers adressés aux caractéristiques et avantages, et des simulations pour divers systèmes d'énergie solaire constitue de l'adaptateur de puissance optique du panneau de la DC / DC variables, en plus de la batterie comme charge de ce système, ainsi que les résultats de l'extraction et les courbes de ces charges utiles.

Mots-clés: simulations, dalle photo, adaptateur.

Remerciements

*Nous tenons tout d'abord à remercions Dieu Tout
Puissant, Pour toute la puissance qu'il nous a donné
pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous exprimons notre plus vif remerciement à
notre encadreur Ikouti Nacira*

*Nous grands remerciant à Dr. Terki Amel aussi tous les
enseignants qui ont contribué à notre formation à l'institut
d'électrotechnique.*

*Nous remercions vivement nos familles Chaouki pour leur
aide matérielle et morale durant toute la période de
préparation.*

9 Lyes

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	02
----------------------------	----

Chapitre 01 : Energie photovoltaïque

1.1 Introduction.....	05
1.2 Historique.....	05
1.3 L'énergie solaire	07
1.3.1 L'énergie solaire Photovoltaïque	07
1.4 Rayonnement solaire	08
1.4.1 Spectre du rayonnement	08
1.4.2 Durée d'insolation.....	09
1.5 Cellule photovoltaïque	10
1.5.1 Association des cellules solaires photovoltaïques.....	11
1.5.2 Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque)	12
1.5.2.1 Cellule au silicium monocristallin.....	12
1.5.2.2 Cellule au silicium polycristallin	13
1.5.2.3 Cellule au silicium amorphe	13
1.5.3 Matériaux utilisés dans les cellules PV.....	14
1.5.4 Modélisation d'une cellule photovoltaïque.....	15
1.5.4.1 Modelé d'une cellule solaire idéale	15
1.5.4.2 Modelé d'une cellule solaire réelle.....	15
1.6 Modules photovoltaïques	16
1.6.1Caractéristiques d'un module.....	17
1.7 influence de la température (T) et de là l'éclairement (E).....	18
1.7.1 Influence de la température.....	18

Sommaire

1.7.2 Influence de l'éclairage	19
1.8 Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque	20
1.8.1 Les avantages	21
1.8.2 Les inconvénients	21
1.9 Système de conversion.....	22
1.9.1 Convertisseur continu-continu (DC-DC)	22
1.9.1.1 Hacheur (boost).....	23
a) Fonctionnement.....	23
b) Modèle mathématique équivalent.....	24
Conclusion	26

Chapitre 02 : Batteries plomb Acide

2.1 Introduction :	28
2.2 Historique	29
2.3 Etat de l'Art sur les batteries plomb-acide.....	29
2.4 Définition d'une batterie plomb-acide.....	29
2.5 Place de l'accumulateur au plomb aujourd'hui.....	30
2.6 Système de stockage.....	31
2.6.1 Les Caractéristiques principales d'une batterie.....	32
2.7 Les accumulateurs.....	33
2.8 État de charge de l'accumulateur	33
2.9 Type de accumulateurs.....	33
2.9.1 Les Accumulateurs au Plomb-Acide.....	34
2.9.1.1 Composition d'une batterie solaire Plomb- Acide.....	35
2.9.1.2 Principe de fonctionnement.....	37
2.9.2 Les accumulateurs Ni-Cd (Nickel-cadmium)	40

Sommaire

2.9.3 Les accumulateurs au lithium.....	41
2.10 Durée de vie des batteries.....	42
2.11 Le processus de vieillissement.....	43
2.12 Autonomie des batteries dans les systèmes photovoltaïques.....	44
2.13 Les avantages et les inconvénients batteries plomb acide.....	45
Conclusion.....	46

Chapitre 03 : Etude par Simulation du Système PV

3.1 Introduction :	48
3.2 Simulation d'un générateur photovoltaïque.....	49
3.2.1 Simulation du générateur (GPV) à éclairage et température constante.....	51
3.3 Simulation d'un Convertisseur Boost (DC- DC)	55
3.4 Simulation d'une batterie ou plomb.....	55
3.5 Simulation (GPV + Hacheur boost).....	59
3.6 Simulation (GPV + Hacheur Boost + batteries)	62
Conclusion.....	64