

Introduction à l'Étude du Système de Stockage dans un Système Photovoltaïque

N. Achaïbou

Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger

Résumé - La production d'énergie par les systèmes photovoltaïque est très fluctuante et dépend énormément des conditions météorologiques. C'est pourquoi il faudra penser à stocker cette énergie pour la restituer pendant la nuit et les jours "sans soleil" et pour mieux adapter le générateur PV en fixant la tension du système. Dans le présent travail une étude théorique sur l'énergie solaire photovoltaïque, ainsi que le système stockage de cette dernière à savoir le stockage électrochimique à l'aide de batteries d'accumulateurs sera présentée. Il s'agit de répondre aux questions suivantes : Comment les batteries des systèmes photovoltaïques fonctionnent-elles ? Comment traiter au mieux ces batteries ? Quels sont leurs caractéristiques techniques.

Abstract - The energy production by the photovoltaic systems is very fluctuating and depends enormously on the weather conditions. This is why it will be necessary to think of storing this energy to restore it during the night and the days "without sun" and for better adapting generator statement by fixing the tension system says. In this work a theoretical study on photovoltaic solar energy, as well as the system storage of the latter to knowing electrochemical storage using accumulators will be presented. It is a question of answering the following questions: how the batteries of the photovoltaic systems function do ? How to treat these batteries as well as possible? Which are their design features?

Mots clés: Energie solaire - Batterie stationnaire - Stockage de l'énergie.

1. INTRODUCTION

Le système de stockage est un élément crucial de l'installation photovoltaïque du point de vue technique, mais aussi du point de vue économique; car il représente 40 à 50 % du coût de l'installation. Vu l'importance du stockage électrochimique de l'énergie solaire, une étude théorique des différents types de batteries est menée, en particulier la batterie au plomb qui est la moins coûteuse comparativement aux autres batteries.

2. ENERGIES RENOUVELABLES

Répondre aux besoins actuels en énergie sans compromettre ceux des générations futures, accroître l'autonomie énergétique des pays en développement, fournir de l'énergie aux deux milliards d'habitants de la planète qui vivent encore sans électricité : tels sont les enjeux du XXI^{ème} siècle.

Le soleil est une gigantesque boule de gaz qui provoque l'émission d'un rayonnement d'une forte puissance. Il est à l'origine de toutes les sources d'énergie sur la planète: les plus consommées, le pétrole, le charbon, le gaz, sont devenues conventionnelles. Ce sont des énergies fossiles: elles sont épuisables et polluantes. Il faut alors économiser ces énergies et chercher d'autres sources de chaleur : le concept solaire est né. S'il faut préserver les ressources épuisables, diminuer les rejets radioactifs et l'émission de gaz à effet de serre, les Energies Renouvelables restent alors une solution en puissance. Pour exploiter l'énergie solaire au meilleur profit (meilleures conditions de prix), il faut d'abord comprendre comment nous voulons l'utiliser, car à la différence des sources d'énergie classiques, l'énergie solaire ne se distribue pas au moyen d'un câble ou d'une canalisation. Savoir quelle utilisation nous voulons tirer de l'énergie aidera à déterminer la façon la plus efficace de la capter.

Il faut savoir quelle forme d'énergie il nous faut et à quelle fin. L'énergie captée servira-t-elle à produire de l'électricité pour éclairer, faire fonctionner de petits électroménagers, produire de l'eau chaude ou chauffer la maison ?

Plusieurs techniques sont mises à contribution pour exploiter l'énergie solaire, notamment les systèmes de chauffage solaire passif, actif, photovoltaïque, éolien et géothermique.

3. ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

L'énergie photovoltaïque (PV) est le produit de la conversion directe du rayonnement solaire au moyen de piles solaires. Il s'agit de raccorder des modules solaires ensemble jusqu'à l'obtention de la puissance électrique désirée. Un générateur photovoltaïque peut générer quelques watts jusqu'à plusieurs centaines, voire de milliers de watts.

L'énergie photovoltaïque fait appel généralement à une des trois technologies suivantes:

- Les cellules de silicium monocristallin ont la meilleure efficacité, qui varie généralement de 13 à 18 %. Leur durée de vie est habituellement de plus de 25 à 30 ans.
- Les cellules de silicium polycristallin possèdent les mêmes caractéristiques physiques, cependant elles ont une efficacité légèrement inférieure, soit de 12 à 15 %.
- Les cellules de silicium amorphe est la troisième technologie utilisée. Il s'agit de déposer le silicium sur un substrat (substance porteuse). L'efficacité est moindre, variant de 6 à 10 %. Leur durée de vie est généralement inférieure à 20 ans.

Même si le prix a fléchi considérablement ces dernières années et qu'il diminue toujours, un système PV demeure encore très coûteux. La rentabilité des systèmes PV est manifeste dans certaines applications, surtout dans les régions éloignées du réseau où il faut produire sa propre électricité. Etant donné le coût initial plus élevé d'un système PV, il importe d'effectuer une soignée analyse de la charge électrique pour bien évaluer la capacité requise.

4. LES BATTERIES

Parfois, appelée "accumulateur", destinée à emmagasiner de l'électricité (toujours en courant continu). La plus grosse batterie du monde, c'est la terre qui met 3-4 milliards d'années à se charger et qui, au rythme où vont les choses, sera déchargée par nous, disons en une centaine d'années. Ce qui équivaldrait à charger une batterie durant 100 ans et la décharger, sans pouvoir jamais la recharger, en deux minutes !. On constate aujourd'hui que beaucoup de nos véhicules électriques "modernes" utilisent encore le vieil accumulateur au plomb. Il existe bien une batterie garantissant une autonomie de plus de 600 km, mais elle coûte horriblement cher et surtout ne peut pour l'instant être rechargée qu'une dizaine de fois: c'est la batterie Zinc - Argent.

Il existe quatre grandes familles d'accumulateurs :

- Accumulateurs de démarrage pour véhicules à moteur à combustion interne.
- Accumulateurs de traction pour la commande de véhicules de manutention au sol, les véhicules électriques, les sous-marins, etc.
- Accumulateurs stationnaires : ils sont utilisés comme source stationnaire de courant continu de secours en cas de rupture du secteur, ou de courant continu de commande (usines d'énergie électrique, télécommunications, appareils de signalisation, groupes de secours, éclairage de secours, etc.)
- Accumulateurs au Nickel-Cadmium : les accumulateurs étanches et rechargeables au Nickel-Cadmium se présentent sous trois formes : éléments boutons, éléments ronds et éléments prismatiques. Grâce à leur construction d'une résistance extraordinaire, ils peuvent être rechargés des centaines de fois, ne réclament pas d'entretien, supportant très longtemps le stockage et peuvent être incorporés dans des appareils dont ils deviennent partie intégrante.

Deux types de batteries font beaucoup parler d'elles actuellement:

- Plomb pur (Hawker): meilleure en bien des points que celle au plomb - acide même scellées.
- Vanadium Redox- ici l'énergie, en solution liquide, est stockée dans deux réservoirs: des pompes font circuler la "catholyte" et "l'anolyte" à travers la batterie. Elle peut être déchargée complètement sans dommage. Il est possible de la recharger instantanément : il suffit de changer les électrodes. Assez complexe, elle cependant beaucoup de qualités. L'électrolyte est à base de H_2SO_4 et V_2O_5 .

Tableau 1: Types de batterie existant actuellement sur le marché

Type de batterie	Propriétés	Puissance Inférieure Wh / kg	Coût
Plomo – acide	Fiable, recyclable, Avec entretien	35	Pas trop chère
Scellée plomb- acide	Entretien nul, utilisée dans n'importe quelle position	39	Pas très chère
Bipolaire plomb - acide	Recharge rapide permise et surtout durable	50	Très chère
Nickel – Cadmium	Toxique, effet de mémoire	45	Très chère
Nickel – Fer	Non toxique, durable	55	Très chère
Nickel – Métal hydrure	Non toxique, durable	90	Très chère

Zinc – Bromure	Analogue à la précédente mais très toxique	90	Très chère
Sodium – Sulfure	Fonctionne à 300 °C D'où danger d'incendie	110	Très chère
Lithium – Ion (SAFT)	Sûre, puissante, formes diverses	150	Très chère

La plupart des utilisateurs de générateurs d'électricité en sites isolés utilisent des batteries (photovoltaïque, éolienne, etc.). La batterie au plomb - acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus couramment utilisée, en raison de son coût relativement faible et de sa large disponibilité. Les batteries Nickel-Cadmium, plus chères, sont utilisés dans les applications où la fiabilité est vitale.

5. ACCUMULATEUR AU PLOMB

5.1 Bref historique

L'histoire de l'accumulateur au plomb est plus que centenaire et remonte à la découverte du premier générateur électrochimique non réversible (pile) en 1800.

- La réversibilité (cas de l'accumulateur), a été observée pour la première fois en 1801 par le physicien Gautherot.
- En 1859, Gaston Plante reconnaît l'intérêt du plomb pour la construction de l'accumulateur.
- En 1881, l'accumulateur connaît un perfectionnement très important en constituant les matières actives par des oxydes de plomb, rapportés sur des grilles supports.
- Nombreux furent les techniciens qui apporteront ensuite leur contribution pour aboutir à l'accumulateur actuel.

5.2 Constitution

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).

5.3 Technologie

Il existe quatre gammes de batteries stationnaires au plomb. Elles se différencient par le type de construction de l'électrode positive. Il s'agit en particulier des éléments à plaques positives :

- A grande surface : la masse active a la même composition que le matériau porteur, grâce à la surface lamellée de la plaque, la surface est multipliée de 8 à 12 fois % à celle de la plaque de Pb lisse, la plaque à grande surface a un bon comportement à courant élevé.
- La tubulaire : la masse active se trouve entre la tige et le petit tuyau. Les plaques tubulaires sont appropriées aux décharges de plusieurs cuves et ce, grâce à l'optimisation de la masse active.
- A tige : elles se composent de tiges de plomb disposées verticalement enfilées dans des pochettes. La masse active se trouve dans l'espace entre la tige de plomb et la pochette. La plaque à tige est une version améliorée de la plaque tubulaire. Elle a les avantages de la plaque tubulaire et de la grande surface.
- A grilles : elles sont constituées d'une grille de plomb, dans laquelle est empâtée la masse active.

Dans les quatre cas, l'électrode négative est toujours une plaque à grille.

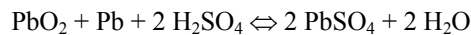
La matière active des électrodes négatives est du fer pulvérulent réoxydé superficiellement, soit de la magnétite Fe_3O_4 , cette dernière est mélangée à environ 3 % d'oxyde mercurique qui par réduction lors de la première charge, donne du mercure. Celui-ci ne pouvant se rassembler en gouttelettes forme un véritable réseau conducteur au sein de la masse de l'électrode.

Les plaques positives sont des plaques planes à pochettes ou des plaques frittées. Les premières sont identiques aux plaques positives mais -armes d'oxydes de fer et de mercure. Les plaques frittées sont constituées d'un mélange de poudre très fines de magnétite Fe_3O_5 et de cuivre. Ce mélange est étendu en une couche de quelques mm d'épaisseur sur un grillage métallique à mailles fines tendu sur un cadre d'acier, puis l'ensemble est comprimé à forte pression.

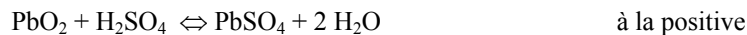
Sous l'effet de cette compression, les cristaux microscopiques de cuivre, de forme dendritique ou arborescente s'enchevêtrent avec la poudre de magnétite et donne un solide cohérent. La plaque est ensuite soumise à un traitement thermique à $600\text{ }^\circ\text{C}$ sous atmosphère réductrice d'hydrogène aboutissant au frittage du réseau du cuivre, ce qui améliore la résistance mécanique et la conductivité de la plaque.

5.4 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un générateur électrochimique est essentiellement basé sur la conversion de l'énergie chimique en énergie électrique. Toute réaction chimique d'oxydoréduction, pourvu qu'elle soit spontanée, c'est-à-dire accompagnée d'une diminution d'énergie libre, est en effet susceptible de donner naissance à un courant électrique lorsqu'elle a lieu dans des conditions appropriées. Pour cela, il faut que l'échange des électrons de valence s'effectue par le canal d'un circuit extérieur au système. Ainsi la combustion libre de l'hydrogène produisant de l'eau et de l'énergie calorifique ne peut donner naissance à un courant électrique car l'échange électronique s'accomplit directement, en quelque sorte par un court-circuitage moléculaire.



Si cette réaction est décomposée en deux réactions partielles, simultanées, distinctes dans l'espace, dont l'une donne lieu à une capture et l'autre à une libération d'électrons, l'échange de ces électrons s'effectue alors par un courant extérieur et fournit de l'énergie électrique.



L'électrolyte doit avoir une conductibilité électronique nulle (sous peine de court-circuiter les électrodes) et être dissocié en ions porteurs de charges électriques. Le passage du courant dans l'électrolyte est dû au déplacement des ions sous l'influence du champ électrique existant entre les électrodes.

Durant la charge, l'acide est éliminé des plaques. Les pores en premier temps absorbent l'acide, ce qui entraîne une plus grande densité de l'acide interne aux pores à l'acide externe. Donc il va avoir un gradient de concentration de l'intérieur vers l'extérieur.

Le chemin de la diffusion devient plus long, la conversion chimique déplace de plus en plus vers l'intérieur donc la densité de l'acide interne augmente ainsi que la tension de l'élément. Quand la tension de charge atteint $2,35 - 2,40\text{ V}$, il se produit en plus de la transformation (du sulfate de plomb en PbO_2 à l'électrode positive; une décomposition de l'eau sur l'électrode négative. La tension augmente jusqu'à une valeur stable, la grandeur de cette valeur dépend du courant de charge, de la température, de la conception et de l'âge de l'élément. Des particules de la masse active sont arrachées par le fort dégagement gazeux de la dernière étape de charge. Des résidus s'accumulent dans la cellule. Le courant de charge ne doit pour cela en aucun cas être dépasser. L'effet principal durant la décharge réside dans la réduction du PbO_2 à l'électrode positive et l'oxydation du Pb à l'électrode négative. La sulfatation résulte de ces deux effets (Fig. 1).

La densité est le paramètre le plus simple pour définir l'état de charge et de santé d'un élément. La densité de l'électrolyte dans un accumulateur au plomb-acide est fonction de la concentration d'acide sulfurique, de l'état de charge et de la température. Pour les batteries à usage solaire, la densité haute peut varier de 4 V pour les batteries stationnaires à $1,30\text{ V}$ pour les batteries à plaques planes (type démarrage à proscrire pour des installations photovoltaïques, car elles ne supportent pas les cyclages). En fin de décharge, la densité peut avoisiner $1,15$. Arrivée à $1,10$, la batterie n'est plus rechargeable (Fig. 2).

Le relevé de la densité, facile d'apparence, peut poser des problèmes. Au moment de la mesure, la température de l'électrolyte doit être relevée pour avoir des valeurs comparative, les densités nominales étant annoncées pour une température de référence (la densité décroît lorsque la température monte). Avant d'effectuer la mesure, il faut homogénéiser l'électrolyte soit par brassage mécanique (on envoie des bulles d'air par le bas de l'élément) soit en provoquant une surcharge (production massive de gaz). Ces conditions de relevés maîtrisées, il faut tenir compte de l'âge de la batterie car en vieillissant, une partie de l'acide absorbé par la sulfatation irréversible et l'oxydation des grilles, n'est plus restitué à l'électrolyte. Il s'ensuit une baisse de densité qui s'accroît au fur et à mesure que la batterie vieillit.

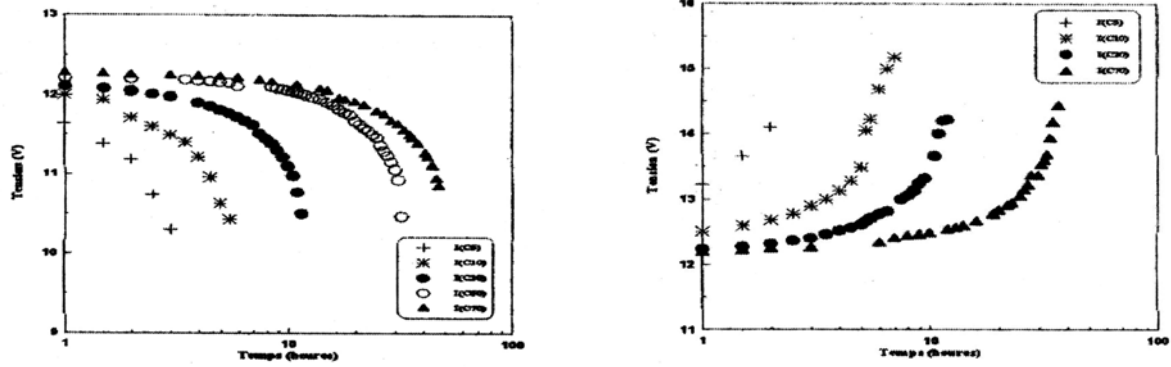


Fig. 1: Courbes de charge et de décharge d'une batterie (Varta Solar 12V-10Ah)

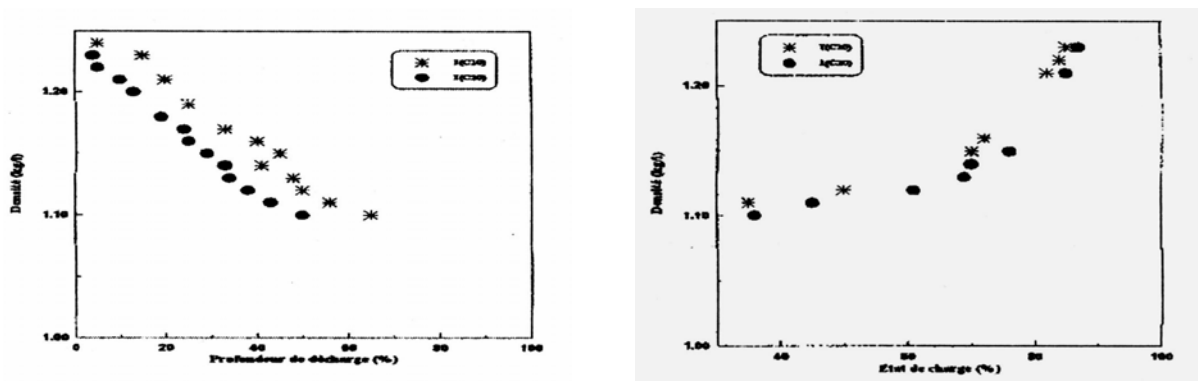


Fig. 2: Densité en fonction de l'état de charge et de la profondeur de décharge (Varta Solar 12V-100Ah)

6. LES CONTRAINTES DE STOCKAGE DE L'ENERGIE PV DANS UN ACCUMULATEUR AU PLOMB

Tout d'abord, il est important d'installer les batteries dans un local frais et ventilé pour évacuer par siphonnage l'hydrogène plus léger que l'air (un mélange de 4 % d' H_2 dans l'air est détonnant). A la mise en service de l'installation, l'expérience montre qu'une surcharge des éléments à 2,45 volts permet d'améliorer nettement la durée de vie. Ces contraintes sont les suivantes :

- Contraintes liées aux cycles de charge/décharge dues au cycle journalier (dont le profil et l'amplitude dépendent de la puissance et de l'énergie fournie par le générateur), par celles demandées par l'utilisateur et par la météorologie (ensoleillement, vent, ...).
- Contraintes liées aux décharges profondes (jusqu'à 60 % de sa capacité) et prolongées, dues à des périodes de faible ensoleillement.
- Contraintes liées aux surcharges d'été prises en charge par la régulation.
- Contraintes liées à l'immobilisation qui ne permettent pas l'homogénéisation de l'électrolyte (stratification due aux recharges successives sans production intense de gaz) et se traduisent par une concentration plus élevée en acide au fond des bacs.
- Contraintes liées à la maintenance, qui peut affecter de manière significative la fiabilité du système. Il est important que les usagers vérifient le bon état de leurs batteries, car le plus souvent la maintenance est leur charge. Les manipulations à effectuer concernent la remise à niveau de l'électrolyte avec de l'eau déminéralisée, et le nettoyage des bouchons, car des dépôts conducteurs peuvent entraîner des résistances de fuite entre les bornes. Une recharge d'égalisation des éléments en vue d'équilibrer leur état de charg peut être nécessaire périodiquement.

7. CONCLUSION

Dans un système photovoltaïque, la caractérisation de l'équipement de stockage présente de grandes difficultés. La grande diversité des batteries et le nombre de paramètres qui interviennent font que l'on ne peut donner qu'une représentation empirique du comportement dynamique des batteries. Les éléments au plomb ont des caractéristiques énergétiques et de puissance moyennes. Ils ont une bonne durée de vie et une bonne fiabilité. En raison de leur coût relativement faible et de leur large disponibilité, ils sont les plus utilisés.

Le but de cette étude est la connaissance précise des principaux indices et paramètres influençant le fonctionnement des batteries, en tant que réserve d'énergie pour les implantations solaires.

REFERENCES

- [1] P. Chartier, '*Le Stockage Electrochimique de l'Electricité et son Application u Stockage de l'Energie Photovoltaïque*', IIIème Séminaire sur l'Energie Solaire, Septembre 1982.
- [2] M. Jaquier, '*Accumulateurs*', Techniques de l'Ingénieur, D940, 1981.
- [3] G. Moine, '*Electricité Solaire Photovoltaïque, Principes et Applications*', Enelec, France.