

## Modélisation et simulation de control d'un générateur photovoltaïque actif avec stockage intégré

Mama CHOUITEK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut de Maintenance et Sécurité Industriel  
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed ,Algerie.

Abdellah CHAOUCH<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Département génie Electrique, Université de Mostaganem, Alegria

Reçu : 28/12/2022,

Accepté: 19/07/2023,

Publié: 30/07/2023

---

**Résumé :** Les systèmes de stockage sont une partie indispensable dans les installations photovoltaïques du point de vue technique, mais aussi du point de vue économique car il représente 40 à 50 % du coût de l'installation.

En plus dans ces systèmes les batteries sont les équipements les plus sensibles, fonctionnant souvent dans des conditions sévères qui sont les zones de travail indésirables, ces zones sont : la zone de surcharge, saturation, décharge et d'épuisement affectant la durée de vie de la batterie.

Dans les applications photovoltaïques, la batterie est soumise à un travail dynamique aléatoire résultant le changement continu de l'irradiation et de la température.

**Mots-clés :** Énergie renouvelable, Panneau solaire, Stockage d'énergie, Batterie, Réseaux électriques (énergie), Régulation, Réseaux électriques (énergie) Automatisation

### Modeling and control simulation of an active photovoltaic generator with integrated storage

**Abstract:** In addition in these systems the batteries are the most sensitive equipment, often operating in severe conditions which are the undesirable working zones, these zones are: the zone of overload, saturation, discharge and exhaustion affecting the life of the battery.

In photovoltaic applications, the battery is subjected to random dynamic work resulting from the continuous change of irradiation and temperature.

In this context, our work is focused on the study of the energy storage system and these different interventions on the photovoltaic station, the network, the load.

Renewable energy, Solar panel, Energy storage, Battery, Electricity networks (energy), Regulation, Electricity networks (energy) Automatic control, Electric generators, Photovoltaic conversion, Energy, Storage.

<sup>1</sup> E-mail : chouitek98@yahoo.com

<sup>2</sup> E-mail: ikchaouchdz@yahoo.fr

## 1. Introduction :

Les moyens de stocker l'énergie électrique sont divers et variés et peuvent être classés dans différentes catégories en fonction de leurs performances (capacité de stockage, énergie/puissance,..) et de leurs caractéristiques : stockage centralisé ou décentralisé, direct ou indirect.

Le stockage est dit « centralisé » lorsque le moyen de stockage est couplé au réseau de distribution de l'énergie électrique. Il est dit « décentralisé » lorsque le dispositif de stockage est embarqué dans un dispositif mobile et autonome en termes d'énergie. il est dit stockage direct quand l'énergie est stockée sous sa forme électrique et dans le cas d'un stockage « indirect », l'énergie est stockée sous une autre forme : électrochimique, mécanique ou gazeuse (air, hydrogène), nécessitant une conversion réversible pour passer d'une forme à une autre.

Dans une installation photovoltaïque, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur photovoltaïque, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques. (Belhadj ,2008).

Le stockage de l'énergie électrique passe plus souvent par une forme d'énergie intermédiaire quelconque, (gravitaire, de compression, électrochimique, électrostatique, électromagnétique, cinétique, thermique, etc.....) transformable en second temps en électricité. Il y a deux types de stockage à envisager :

- Stockage à court terme : (temps de stockage inférieur à 10 minutes).
- Stockage à long terme : (temps de stockage supérieur à 10 minutes).

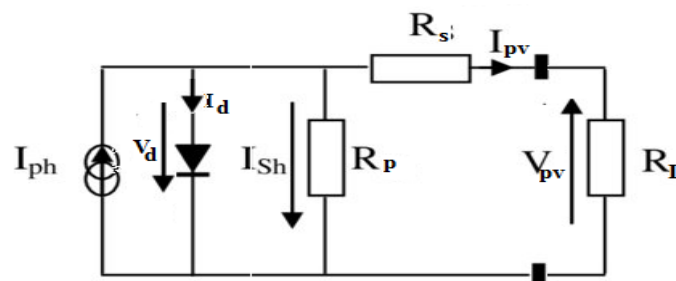
## 2. Modélisation d'un Système Photovoltaïque a stockage intégré

Une installation photovoltaïque se compose d'un générateur photovoltaïque et d'un groupe de composants électriques (convertisseur statique, batterie avec son contrôleur de charge, câblage et protection), permettant l'adaptation en puissance selon les spécifications du récepteur.

### 2.1 Modélisation du système de conversion photovoltaïque

La littérature offre de nombreux modèle avec différentes configuration dépendant du besoin d'utilisation. La caractéristique  $I = f(V)$  du générateur PV est basée sur celle d'une cellule élémentaire modélisée par le circuit équivalent bien connu de la figure(1). Ce circuit introduit une source de courant et une diode en parallèle, ainsi que des résistances en séries  $R_s$  et en parallèle (shunt)  $R_p$  pour tenir compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule (Singo,2010),(Taraft,2008),( Cimuca,2005), (Delfosse ,1998).

Figure (1) : Schéma équivalent électrique de la cellule PV



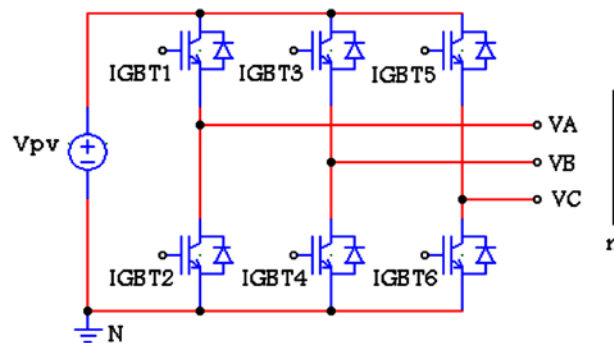
## 2.2 Régulateur de charge

Le régulateur de charge/décharge est le composant électronique entièrement automatique à laquelle sont reliés le panneau photovoltaïque, la batterie. Sa fonction principale est de contrôler l'état de la batterie. Il autorise la charge complète de celle-ci en éliminant tout risque de surcharge et interrompt l'alimentation des destinataires si l'état de charge de la batterie devient inférieur au seuil de déclenchement de sécurité anti-décharge. (Multon & Ben Ahmed, 1998).

## 2.3 Onduleur

L'onduleur triphasé, est composé de trois bras de pont. Chaque bras de pont (a, b et c) est alimenté de manière indépendante comme illustrée dans la figure 2.

Figure .2. Schéma d'un onduleur triphasé



En utilisant les états des interrupteurs, nous pouvons obtenir les tensions de branches de sortie de l'onduleur mesurées par rapport à la borne négative de la tension du côté continu (Multon & Ruer, 2003) (Boulon, 2009) (Fontès, 2005).

## 2.4 Battery Energy Storage System( BESS )

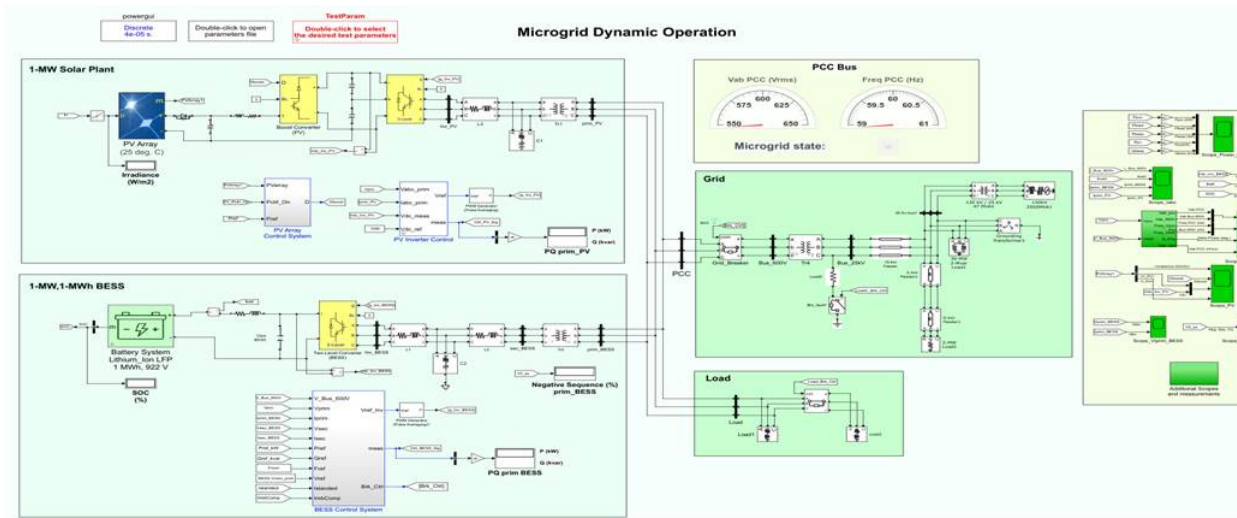
Le système de stockage par batterie est l'une des technologies clés pour les réseaux intelligents et lisser la charge est l'une des fonctions fondamentales du système de stockage. Un système de stockage à grande échelle peut lisser la charge en stockant l'électricité durant les périodes hors pointe et en déchargeant durant les périodes de pointe.

## 3. Simulation et résultat d'un système photovoltaïque à stockage intégré

### 3.1 Description de la simulation

Notre simulation a pour rôle de contrôler les échanges d'énergie entre les différentes parties du système d'une part mais aussi de démontrer les interventions de BESS (système de stockage d'énergie) à chaque fois par des tensions, courants, puissances, fréquences pour assurer une bonne gestion et protection des différentes parties de notre système figure 3

Figure.3. Schéma d'un système photovoltaïque à stockage intégré



Ce modèle montre un système photovoltaïque connecté au réseau composé d'une charge et d'un système de stockage d'énergie (BESS) et une centrale solaire (Hladik,1977),(Ricaud,2008),( Bellala,2009),( Arrouf,2007).

Plusieurs tests peuvent être effectués sur cet exemple pour illustrer le rôle de système de stockage d'énergie sur les différents concepts liés au système tels que (Montaru,2009).

- Opération d'intervention en cas de manque de puissance.
- Donner l'ordre à la synchronisation en cas de connexion et déconnexion du système photovoltaïque avec le réseau.
- Absorption de surplus et communication avec MPPT en cas de réduction de charge.

### 3.2 Les différentes parties de notre système global

#### a- Système de distribution (réseau)

Le réseau électrique est modélisé à l'aide d'un équivalent de réseau 120 kV, un transformateur 25 kV/600 V. Une charge monophasée peut être activée pour produire un déséquilibre du réseau. Un disjoncteur triphasé et un transformateur sont utilisés pour connecter la station au système de distribution (Vighetti,2017).

#### b- BESS

Le System de stockage de l'énergie se compose d'un système de batterie, d'un convertisseur à deux niveaux, d'un filtre LCL et d'un Transformateur 480V/600V.

#### c- Charge 600V

La représentation simple de la charge se compose d'un modèle de charge triphasé fixe (PQ) et d'un deuxième modèle de charge PQ qui peut être activé/désactivé.

#### d- Centrale solaire

La centrale solaire se compose d'un générateur photovoltaïque qui peut produire 1 MW à un rayonnement solaire de 1 000 W/m<sup>2</sup> et une température de cellule de 25 degrés C. Un filtre LC et un transformateur de couplage triphasé 1-MVA 480V/600V sont utilisés pour connecter le convertisseur au système (Dinh,2002),( Baskar,2010),(Boussekine & Guermouche ,2002).

### 3.3 Les résultats de simulation selon les tests effectuée

#### Essai 1

**Figure.4. Variation d'irradiation**

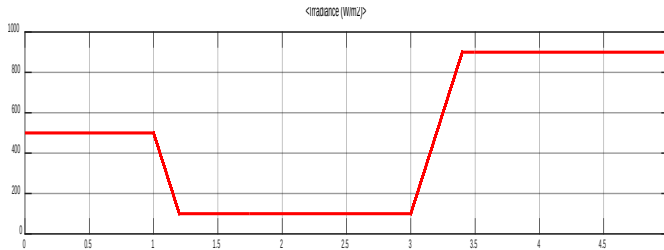


**Figure.5 Tension de générateur photovoltaïque**

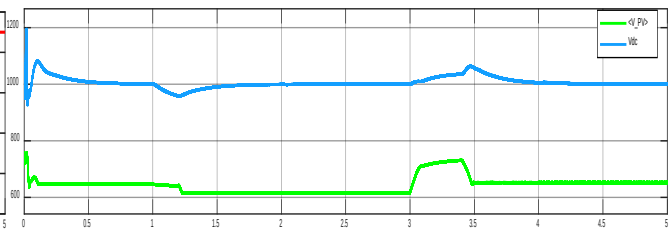


**Figure 6 Courant de générateur photovoltaïque**

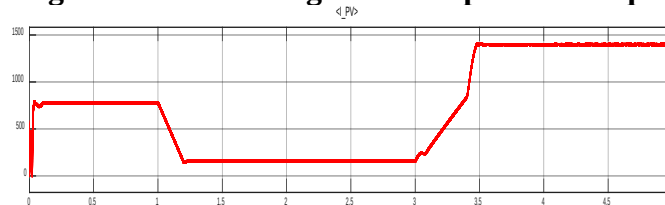
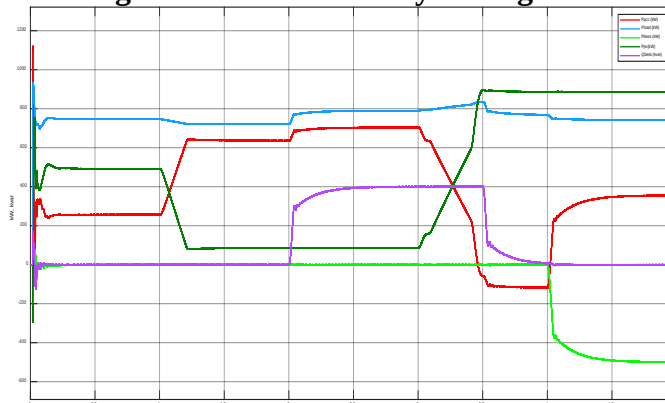


**Figure.7 .Puissance du système global**

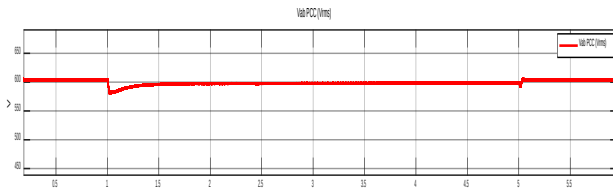
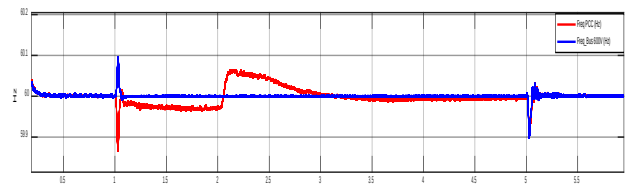
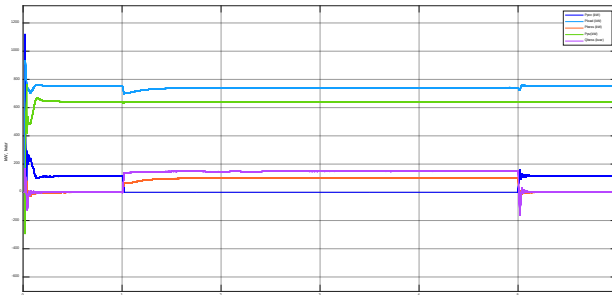
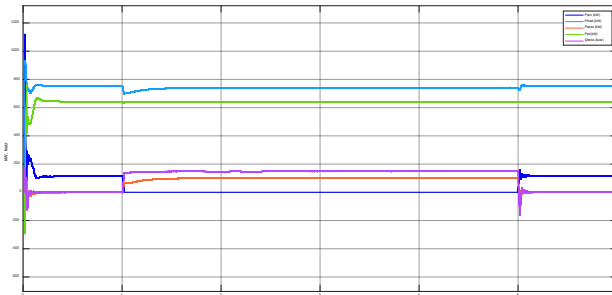


Le test 1 illustre le fonctionnement du BESS et l'impact d'une variation d'éclairement énergétique sur la centrale solaire et les systèmes BESS. figure (4,5,6,7).

Dans ce cas à plein ensoleillement, les panneaux permettent d'alimenter la charge et de recharger les batteries pour reprenne leurs pleine charge et d'injecter le surplus dans le réseau.

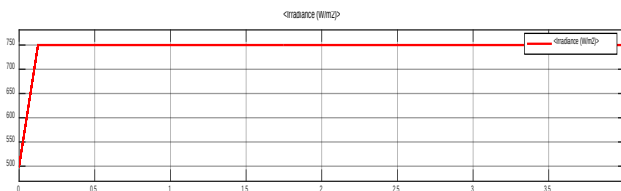
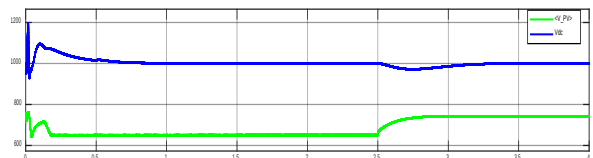
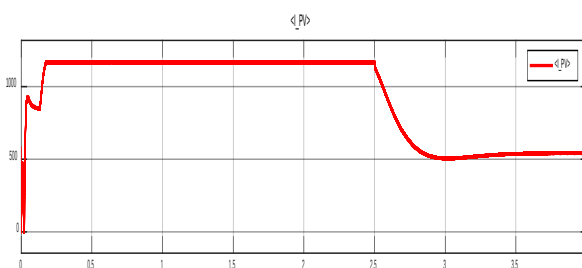
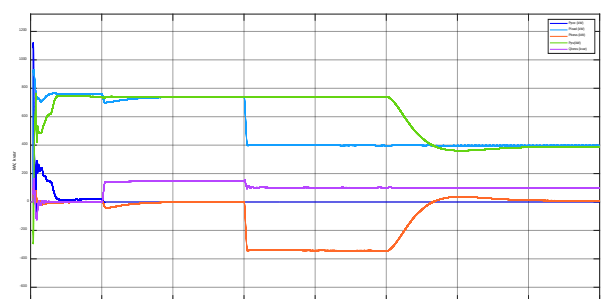
#### Essai 2

Le test 2 montre le fonctionnement du BESS ou il donne un signal de resynchronisation pour reconnecter la station photovoltaïque au système de distribution d'une manière transparente. Figures (8,9,10,11)

**Figure.8 .Fréquence de synchronisation du réseau avec la station photovoltaïque.****Figure.9 .Tension du système de distribution****Figure.10 . Déphasage de réseau avec la station photovoltaïque****Figure.11 Puissances du système global**

### Essai 3

Le test 3 Le BESS absorbe ensuite temporairement la puissance excédentaire (figure 15 de 1.5 s à 2.8 s) et envoie un signal au système de contrôle du générateur photovoltaïque pour passer d'un contrôle MPPT à un mode de contrôle PQ (normal) afin de réduire la puissance de sortie de la centrale solaire(.figure 15).

**Figure.12 Variation d'irradiation****Figure.13Tension de générateur photovoltaïque****Figure.14.courant de générateur photovoltaïque****Figure.15variation des puissances sur les différentes parties du système**

**Conclusion**

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables les plus utilisées, en vue de son abondance, sa disponibilité en tout point du globe terrestre de plus elle n'est pas polluante.

L'objectif de ce travail est la modélisation et le contrôle d'un générateur photovoltaïque à stockage intégré.

Les résultats de simulation du système photovoltaïque montrent le rôle de BESS sur le système global, représentant les tensions, les courants et les puissances générées par le système (réseau, station photovoltaïque, BESS). Ces résultats montrent que le BESS effectue correctement son rôle dans chaque intervention.

**References**

- Arrou Mohamed F, « Optimisation De L'ensemble Onduleur, Moteur Et Pompe Branche Sur Un Générateur Photovoltaïque ». , Université Mentouri De Constantine, Thèse De Doctorat Soutenue Le 25/12/2007.
- Baskar Vairamohan, « STATE OF CHARGE ESTIMATION FOR BATTERIES », Université De Tennessee, Knoxville, Memoire De Master Soutenue En Décembre 2002.
- Belhadj Mohammed, « Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome ». Centre Universitaire De Bechar, Mémoire De Magister 2008.
- Bellala Djamel, « Contribution A L'Optimisation Des Systèmes De Conversion d'Energie. Application Aux Systèmes Photovoltaïques ». Université De Batna, Thèse De Doctorat, 2009.
- BOULON Loïc, « Modélisation Multiphasique Des Eléments De Stockage Et De Conversion D'énergies Pour Les Véhicules Electriques Hybrides. Approche Systémique Pour La Gestion D'énergie » Université De Franche-Comté, Thèse De Doctorat Soutenue Le 3/7/2009.
- Boussekine Abdeghani, Guermouche Nassim, « Contribution A L'étude Des Systèmes De Pompage Photovoltaïque », Université De Bejaïa, Mémoire D'ingénieur D'état Soutenue En 2010.
- Cimuca Gabriel-Octavian, « Système Inertiel De Stockage D'énergies Associe A Des Générateurs Eoliens ». Ecole Nationale Supérieure d'Arts Et Métiers Centre De Lille, Thèse De Doctorat Soutenue En 2005.
- Delfosse Fabrice, « Détermination De L'état De Charge Des Batteries D'un Véhicule Electrique ». Université De Liège, Mémoire D'ingénieur Année Académique 1997-1998.
- Dinh Vinh Do, « Diagnostic De Batteries Lithium Ion Dans Des Applications Embarquées », Université De Technologie De Compiègne, Thèse De Doctorat Soutenue Le 5 Juillet 2010.
- Fontès Guillaume, « Modélisation Et Caractérisation De La Pile PEM Pour L'Etude Des Interactions Avec Les Convertisseurs Statiques ». Institut National Polytechnique De Toulouse, Thèse De Doctorat Soutenue Le 16/08/ 2005.
- Hladik J., « Livre : Accumulateurs Electrique ». 1ere Edition : 1er Trimestre, Presses Universités De France 1977.
- Montaru Maxime, « Contribution A L'évaluation Du Vieillissement Des Batteries De Puissance Utilisées Dans Les Véhicules Hybrides Selon Leurs Usages ». Institut Polytechnique De Grenoble, thèse De Doctorat Soutenue Le 06 / 07 / 2009.
- Multon B., Ben Ahmed H., « Le Stockage Stationnaire D'énergie Electrique : Pourquoi Et Comment ? », Revue IEEE., n°48, mars 2007, pp. 18-29.
- MULTON B., RUER J., « Stocker L'électricité : Oui, C'est Indispensable Et C'est Possible. Pourquoi, Ou, Comment ? », Publication ECRIN En Contribution Au Débat National Sur L'énergie, Avril 2003.
- Ricaud Alain, « Modules Et Systèmes Photovoltaïques ». Université De Savoie. Article : Septembre 2008.
- SINGO Akassewa Tchapo, « Système D'alimentation Photovoltaïque Avec Stockage Hybride Pour L'habitat Energétiquement Autonome », Université Henri Poincaré, Thèse De Doctorat Soutenue Le 3/02/2010.

*Modélisation et simulation de control d'un générateur photovoltaïque actif avec stockage intégré*

Mama CHOUITEK & Abdellah CHAOUCH

Taraft Saci, « Etude Du Stockage Inertiel D'énergie Dans Une Chaîne De Conversion Eolienne A Vitesse Variable Basée Sur Une Machine Asynchrone A Double Alimentation ». Université A/MIRA De Bejaïa, Mémoire De Magister Soutenu Le 14/05/2008.

Vighetti Stéphane, « Systèmes Photovoltaïques Raccordés Au Réseau : Choix Et Dimensionnement Des Etages De Conversion », Université De Grenoble, Thèse De Doctorat Soutenue Le 24/09/2010.