

## Etude et réalisation d'un système intelligent d'alimentation en énergie électrique d'une habitation en milieu urbain avec injection dans le réseau

Messaoud Hamouda<sup>1</sup>, Lamir Saïdi<sup>1</sup>, Ahmed Louchene<sup>1</sup>,

Chaâbane Hamouda<sup>2</sup> et Ali Malek<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Département d'Electronique,

<sup>2</sup> Département de Génie industriel,

Université Hadj Lakhdar, Rue Chahid M. El. Hadi Boukhlof, Batna, Algérie

<sup>3</sup> Division Energie Solaire Photovoltaïque,

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

(reçu le 30 Mars 2011 - accepté le 21 Juin 2011)

**Résumé** – Les systèmes photovoltaïques utilisés dans la production décentralisée de l'énergie électrique ont connu, durant cette dernière décennie, un développement considérable. Dans le mix d'énergie qu'auront les compagnies d'électricité à exploiter dans l'avenir, les énergies renouvelables, par leur instabilité et leur discontinuité, poseront des problèmes nouveaux, en termes de gestion et de qualité de service. Dans ce travail, réalisé au laboratoire photovoltaïque, de l'Université de Batna, nous présentons les résultats d'une étude expérimentale sur les performances énergétiques d'un système photovoltaïque de 1,6 kWc, avec injection dans le réseau. Ce dernier comporte une unité de gestion d'énergie, réalisé à base de PIC. Sa fonction est de remédier aux déficits d'énergie et d'assurer une continuité dans l'approvisionnement. L'ensemble du système communique avec un ordinateur PC, afin de visualiser en ligne les paramètres système à gérer.

**Abstract** – The photovoltaic systems used in the decentralized production of the electric energy have known, during this last decade, a considerable development. In the mix of energy to be exploited in the future by the companies of electricity, renewable energies, by their instability and discontinuity, in terms of management and service quality, will lead to news problems. In this work, carried out at photovoltaic laboratory of the University of Batna, we present the results of an experimental study on the energy performance of a PV system of 1.6 kWp, with injecting into the network. The developed management unit of energy is built around te PIC microcontroller. Its function is to overcome the deficits of energy and ensure continuity in supply. The all system communicated to a PC to display in real time the settings of the process to br supervised.

**Mots clés:** Systèmes PV - Gestion d'énergie - Mesures des performances énergétiques.

### 1. INTRODUCTION

L'électrification décentralisée était utilisée, dans le passé, essentiellement pour alimenter en énergie électrique, des villages isolés en zones de montagne, mais, surtout dans le grand sud algérien, où le transport de l'énergie par réseau est très coûteux ou inexistant.

Dans ces régions, le recours aux groupes diesel était l'unique alternative malgré, le coût élevé du transport de carburant. Durant ces deux dernières décennies, les problèmes posés par les changements climatiques et le souci de trouver des énergies de

substitution à celles d'origine fossiles, ont permis le développement de nouveaux systèmes de production d'énergie décentralisée.

Ces systèmes sont caractérisés par leur aspect modulaire et peuvent être installés à proximité des utilisateurs, en zone isolée ou en milieu urbain.

Les techniques développées à ce jour [1, 2], selon le lieu d'utilisation et les puissances demandées, offrent la possibilité de combiner plusieurs systèmes de production d'énergie. Ces nouvelles technologies ont l'avantage d'alimenter en électricité aussi bien des réseaux locaux isolés que d'injecter dans le réseau existant.

Par exemple, le système photovoltaïque, peut être utilisé pour un réseau local en site isolé, ou en milieu urbain, pour alimenter une habitation, et en cas d'excédent d'énergie, le surplus peut être injecté dans le réseau de basse tension.

Les systèmes de secours, groupes électrogènes, batteries d'accumulateurs d'énergie, sont toujours indispensables, en raison des perturbations que connaît le réseau électrique basse tension, dues à une forte demande des utilisateurs.

D'autres modules sont expérimentés par ces techniques, comme les systèmes hybrides PV-Eolien ou les piles à combustible. Ces dernières sont au stade expérimental dans l'habitat. L'utilisation de ces nouvelles techniques a engendré un problème de gestion et voir même de sécurité et de stabilité sur le réseau basse tension.

Cette situation a amené les différents laboratoires de recherche et l'industrie à développer de nouveaux systèmes de gestion d'énergie [3]. Cette situation devient plus difficile à l'avenir, avec un apport de 20 % des systèmes avec injection dans le réseau.

### **1.1 Evolution des systèmes à injection dans le réseau**

Les premiers systèmes photovoltaïques à injection dans le réseau ont été installés en Allemagne en 1990, dans le cadre du programme des 1000 toits solaires. La puissance installée à l'époque était équivalente à celle des systèmes utilisés en sites isolés (2 à 3 kW). Progressivement ces systèmes ont pris de l'importance, en Allemagne et dans le monde.

La puissance annuelle installée en 1999 dans le monde était de 202 MW, dont plus de 90 % sont des systèmes avec injection dans le réseau. La puissance installée en 2010 est 27 293 MW, cette puissance est plus que celle installée en 2009 (Fig. 1). Cette progression inattendue, a conduit à une surproduction et à une baisse des prix [4].

Les technologies utilisées sont de 52,9 % en silicium polycristallin, 32,2 % en silicium monocristallin, 5,5 % à base de tellure de cadmium, 5,0 % en silicium amorphe et les 4,4% restant sont à base de matériaux nouveaux.

La puissance de ces systèmes varie entre 1,5 à 3 kW. Sachant qu'une installation de 8 m<sup>2</sup> en toiture en Europe centrale, dont la puissance crête est de 1 kWc (rendement du module PV = 12 %) produit en moyenne près de 900 kWh par an. Cela correspond à la consommation électrique spécifique (hors chauffage, eau chaude et cuisson) d'une personne raisonnable dans ces pays.

A titre de comparaison, en Algérie, la consommation par personne, est de l'ordre de 400 à 500 kWh par an. Aujourd'hui, leurs domaines d'applications ont dépassé celui de l'habitat pour pénétrer celui de l'agriculture, l'industrie et autre.

Devant le développement rapide de ces technologies, en mai 2006, l'Agence internationale de l'énergie a publié une étude sur la rentabilité énergétique de l'électricité photovoltaïque dans 41 villes de 26 pays, européens pour la plupart, la durée de vie moyenne des modules photovoltaïques est de 30 ans, le calcul du temps de

retour sur l'énergie investie et celui du facteur de rentabilité énergétique prend en compte toutes les dépenses d'énergie pour la fabrication, l'installation, le démontage et le recyclage des systèmes photovoltaïques.

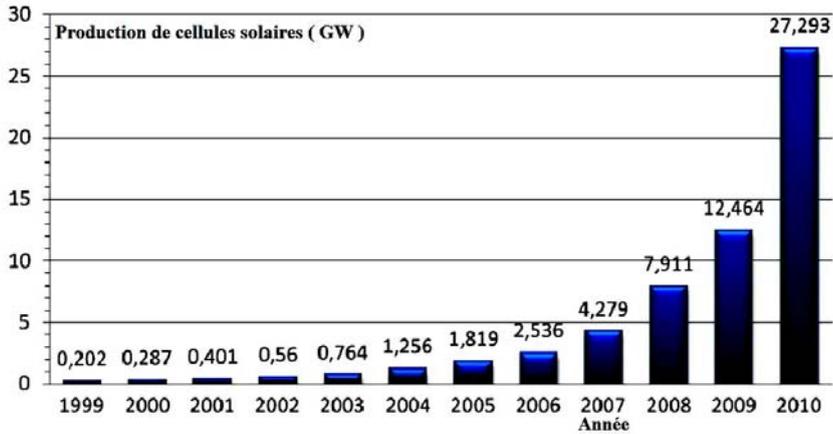


Fig. 1: Evolution de la production des cellules solaires dans le monde [4]

### 1.2 Perspectives de l'électrification décentralisée en Algérie

La puissance cumulée des systèmes photovoltaïques installés en Algérie est de 2,35 MWc, celle-ci est répartie comme suit: 58 % pour l'électrification rurale, 21 % télécommunication, 12 % pompage d'eau, 2 % éclairage public et 7 % pour autres applications.

Une grande partie de cette puissance a été installée dans le sud algérien où 453 kWc ont servi à l'électrification de 18 villages, réparties sur 4 wilayas totalisant une superficie de 1 million de km<sup>2</sup>. Les conditions naturelles, comme le cas de ces wilayas (éloignement, faible densité de la population, faible consommation, intensité élevée du rayonnement solaire...) ont favorisé considérablement les systèmes photovoltaïques devant les autres modes d'électrification.

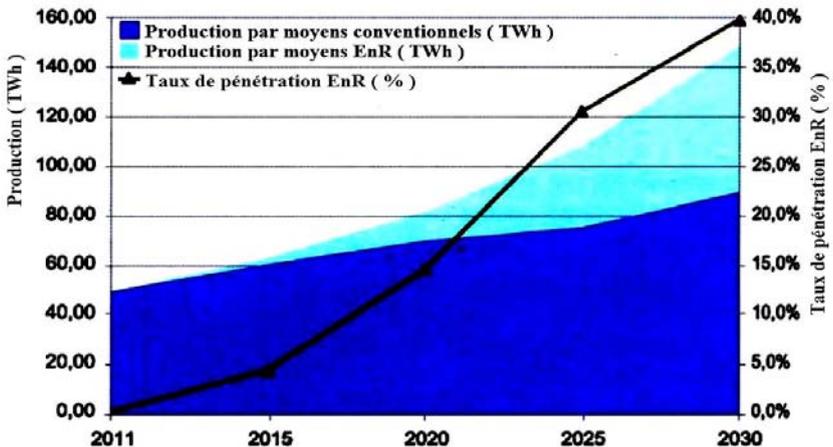


Fig. 2: Prévision des besoins en énergie électrique pour la période 2011-2030, avec intégration de la production des énergies renouvelables [5]

L'expérience acquise grâce à ces différents programmes, et tenant compte des besoins croissants des populations, en électricité, le Ministère de l'Énergie et des Mines a mis en place une politique d'intégration des Énergies Renouvelables dans sa stratégie future de production d'énergie électrique [5]. En 2008, la production nationale en énergie électrique était de 39,4 TWh, avec un taux de croissance de 7,2 %/an, en l'an 2030, les besoins de l'Algérie seraient de l'ordre de 160 TWh.

Dans cette stratégie il est prévu de couvrir 40 % de ces besoins en énergies renouvelables. Les prévisions pour les capacités à installer sont de 12.000 MW pour les besoins du marché national et 10.000 MW pour l'exportation. En systèmes photovoltaïques, le gouvernement prévoit le lancement de plusieurs projets d'ici 2020, d'une capacité totale de 800 MW. Durant la période 2021-2030, des centrales PV de 200 MW par an devraient être réalisées.

## 2. SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE A INJECTION DANS LE RESEAU

### 2.1 Description et principe d fonctionnement du système

Le système photovoltaïque avec injection dans le réseau, réalisé au Laboratoire Energie Solaire de l'Université de Batna [6] est constitué des éléments suivants (Fig. 3):

- 1 Un générateur photovoltaïque qui permet de produire un courant continu par la conversion directe de lumière en électricité;
- 2 Un onduleur DC/AC type NEG 1600, destiné à des systèmes couplés au réseau;
- 3 Un analyseur de puissances et des énergies fournies par le système, type LMG 310;
- 4 Une centrale d'acquisition de données pilotée par un PC.

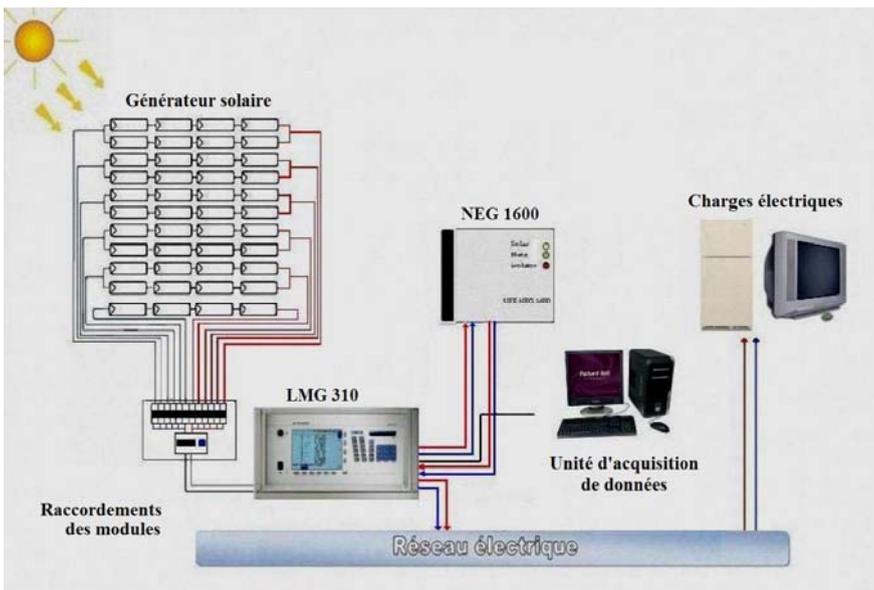


Fig. 3: Schéma du système photovoltaïque avec injection dans le réseau, réalisé et développé au Laboratoire Energie Solaire de l'Université de Batna

L'énergie continue produite par le générateur photovoltaïque est modulaire. Les panneaux du générateur, constitué de quatre modules en série, sont branchés en parallèle, grâce au boîtier de raccordement des modules. Cette énergie, après mesure et analyse par le LMG 310, est convertie en une énergie alternative par le convertisseur NEG 1600 et injectée dans le réseau.

## 2.2 Etude des performances des éléments du système

### 2.2.1 Le générateur photovoltaïque

Le générateur photovoltaïque est constitué de 44 modules de type AEG PQ10/40-10 à base de silicium polycristallin. Le montage et le branchement des modules en générateur (tension et courant) sont conditionnés par les paramètres électriques du convertisseur DC/AC.

En effet, selon les besoins en puissance (charges électriques) de l'utilisateur, un choix est opéré pour un type de convertisseur.

Dans notre cas, les paramètres de l'onduleur du type NEG 1600, sont les suivants:  $P_{\max} = 1600\text{W}$ ,  $U_{\text{DC}} = 70 \text{ à } 90 \text{ V}$  et  $I_{\max} = 28 \text{ A}$ .

La tension  $U_{\text{DC}}$ , du générateur, dans le cas d'un circuit ouvert ( $U_{\text{co}}$ ), ne doit pas dépasser, en aucun cas, la valeur de  $U_{\text{co}} = 110 \text{ V}$ . Afin d'obtenir ces paramètres, pour la tension du générateur, il y a lieu de regrouper quatre modules en série en un panneau.

Pour rester dans les limites ( $P_{\max}$  et  $I_{\max}$ ) fixées par le constructeur, ces panneaux au nombre de 11, sont groupés en parallèle. Les modules photovoltaïques constitués en générateur, sont montés sur une structure métallique inclinée à  $30^\circ$  et orientée vers le sud.

Le générateur solaire délivre ainsi une puissance nominale égale à  $1.6 \text{ kW}_p$ . Les performances du générateur photovoltaïque sont essentiellement évaluées à partir de la caractéristique Courant – Tension,  $I = f(U)$ .

#### -Caractéristique $I = f(U)$

Pour ce générateur étudié, au cours de la journée du 16/09/2008, les caractéristiques ont été relevées pour différents éclairagements (Fig. 4). Nous constatons, que pour un éclairage solaire de  $1000 \text{ W/m}^2$ , au point optimal, les données mesurées sont:  $P_{\text{opt}} = 1313 \text{ W}$ ,  $U_{\text{opt}} = 61 \text{ V}$ ,  $I_{\text{cc}} = 25.3 \text{ A}$  et  $V_{\text{co}} = 81 \text{ V}$ .

Aussi, pour des éclairagements au-dessus de  $700 \text{ W/m}^2$ , le rayonnement solaire absorbé engendre une augmentation de la température du module, provoquant ainsi une chute relative de la tension  $U_{\text{co}}$ .

#### -Caractéristique $P = f(U)$

A partir des caractéristiques  $I = f(U)$ , il est possible de calculer et de tracer les caractéristiques de la puissance  $P = f(U)$ . Nous constatons sur la figure 5, le décalage du point de puissance maximale ( $P_{\text{MPP}}$ ) en fonction de la tension ( $U_{\text{MPP}}$ ), (Fig. 5).

Nous constatons également que la variation de la température a un effet direct sur la tension de fonctionnement du convertisseur DC/AC (**Tableau 1**).

**Tableau 1:** Effet de l'éclaircement sur la température du module, la puissance optimale et la tension de fonctionnement de l'onduleur

E (W/m <sup>2</sup> )	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
T (°C)	22	23	28	30	35	37	40	43	44
P <sub>MPP</sub> (W)	241	379	550	692	830	956	1079	1199	1313
U <sub>DC</sub> (V)	70.4	68.2	67.2	65.9	65.2	63.8	62.4	61.6	60.3

**-Puissance maximale du générateur**

La figure 6 représente l'évolution de la puissance fournie par le générateur en fonction de l'éclaircement. Nous observons que la puissance fournie par le générateur est proportionnelle à l'éclaircement absorbé.

**-Rendement du générateur  $\eta$**

Enfin la courbe du rendement montre clairement l'effet de la température sur le fonctionnement du générateur photovoltaïque, pour des éclaircements supérieurs à 700 W/m<sup>2</sup>, nous observons une baisse du rendement alors que l'éclaircement solaire est élevé.

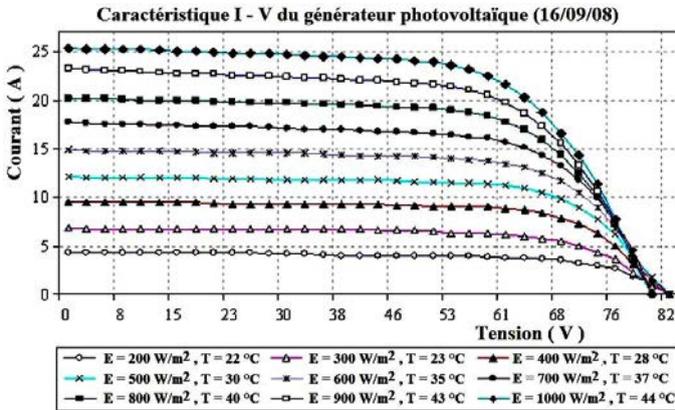


Fig. 4: Caractéristique I – U du générateur pour différents éclaircissements

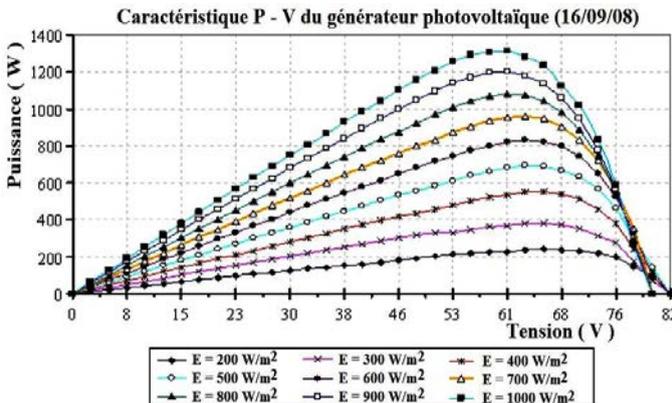


Fig. 5: Caractéristique P – U du générateur pour différents éclaircissements

### 2.2.2 L'analyseur de puissance LMG 310

L'analyseur de puissance LMG 310 de la société Zes Zimmer est un wattmètre digital à base d'un microprocesseur. Il est équipé d'un clavier et d'un écran à haute résolution. Il permet de faire des mesures précises (courant, tension, puissance, facteur de puissance, etc.) pour les systèmes à courant continu ou alternatif (symétriques et asymétriques pour les cas triphasés) avec charge et signaux de fréquences variantes de 0 à 400 kHz. Il est équipé d'un système de calibration qui peut être utilisé, soit automatiquement, soit manuellement [7].

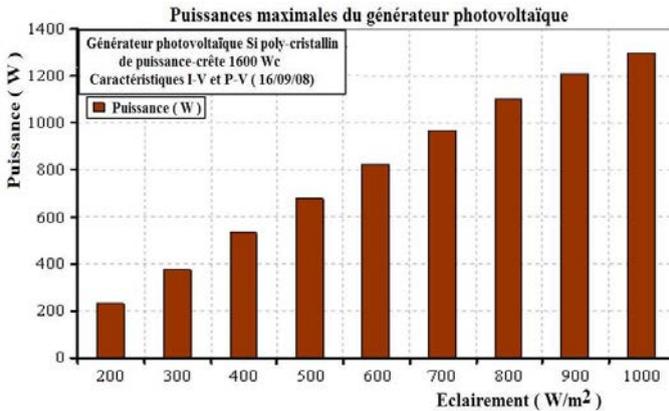


Fig. 6: Puissance maximale du générateur en fonction de l'éclairement

Le LMG310 convient pour toutes les mesures de 1, 2 et 3 phases. Il est constitué de trois canaux de mesures, utilisés indépendamment suivant la configuration étoile/triangle. La tension à mesurer peut aller jusqu'à 1500 V, alors que le courant maximal est de 35 A.

L'erreur de mesure pour le courant et la tension est inférieure à 1 %, valable pour toute la gamme de précision de DC à 400 hHz. Le wattmètre peut effectuer en plus des tâches comme le stockage des données et le contrôle des signaux. Il permet la visualisation des signaux électriques relevés, comme un oscilloscope.

### 2.2.3 Le convertisseur DC/AC NEG 1600

L'élément essentiel dans les installations solaires couplées au réseau est l'onduleur, appelé aussi convertisseur DC/AC à injection dans le réseau. La fonction principale de l'onduleur est de convertir le courant produit par le générateur solaire en un courant alternatif sinusoïdal, qui est injectée dans le réseau électrique basse tension.

Le convertisseur utilisé dans le cadre de ce travail est le NEG 1600 [8]. Le circuit électronique du convertisseur est alimenté par le réseau électrique, ce qui permet le démarrage automatique après un temps de l'ordre de 30 s. Cette technique intègre une fonction de sécurité.

En effet, dans le cas d'une coupure du réseau pour intervention en maintenance, le convertisseur est hors d'utilisation, ce qui bloque toute injection non contrôlée dans le réseau.

Le circuit électronique de l'onduleur NEG 1600 est composé de deux ensembles (Fig. 7). Le MPP-Tracker est un circuit de commande et de recherche du point de

puissance maximale, afin d'extraire du générateur photovoltaïque, le maximum d'énergie possible. Le second ensemble est la véritable partie de l'onduleur qui doit convertir la puissance de courant continu en courant alternatif.

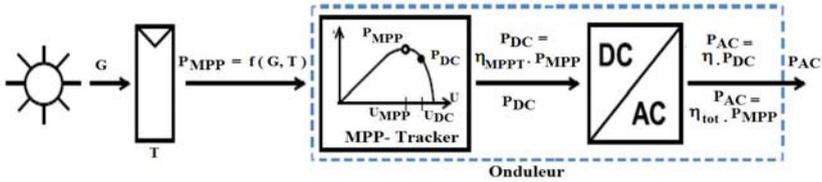


Fig. 7 Schéma de la chaîne de conversion de l'énergie solaire

Les principales caractéristiques du choix des onduleurs couplés au réseau sont les suivantes:

- la puissance nominale
- la plage de la tension d'entrée
- le principe de conversion
- le rendement.

### Rendement du convertisseur

Le générateur solaire met à disposition, sur la base du rayonnement solaire incident  $E$  et de la température  $T$ , une puissance déterminée  $P_{MPP}$ . Mais l'onduleur en mode stationnaire ne valorise que:

$$P_{DC} = \eta_{MPPT} \times P_{MMP}$$

et on tire:

$$P_{AC} = \eta \times P_{DC}$$

On peut en conséquence, définir une nouvelle grandeur, le rendement total d'un onduleur:

$$\eta_{tot} = \eta \times \eta_{MPPT} = P_{AC} / P_{MMP}$$

On a en conséquence, dans le mode stationnaire:

$$P_{AC} = \eta \times P_{DC} = \eta_{MPPT} \times P_{MMP} \times \eta = \eta_{tot} \times P_{MMP}$$

Le rendement total d'un onduleur est en conséquence une caractéristique de qualité directe, qui pour la pratique présente une pertinence plus élevée que le rendement de conversion pur  $\eta$ . Comme  $\eta$  et  $\eta_{MPPT}$ ,  $\eta_{tot}$  dépend naturellement aussi de  $P_{MPP}$  et  $U_{MPP}$  et doit être déterminé par des mesures adéquates [9, 10].

Les courbes relevées durant la période des tests du système, pour trois différents éclaircissements,  $300 \text{ W/m}^2$ ,  $600 \text{ W/m}^2$  et  $1000 \text{ W/m}^2$  (Fig. 8), montrent que l'onduleur NEG 1600, pour les tensions  $U_{DC}$  mesurées, fonctionne au point de puissance maximale. Les différents rendements mesurés sont les suivants:

$$\eta_{300} = 92 \% \quad ; \quad \eta_{600} = 91 \% \quad ; \quad \eta_{1000} = 89 \%$$

Ces mêmes tests relevés sur une longue période montrent que le rendement du convertisseur, pour une tension  $U_{DC} = 66 \text{ V}$ , (Fig. 9) est fonction du rapport de la puissance fournie sur la puissance nominale.

Les variations sont relativement limitées, entre 88 % et 95 %. Le rendement est relativement faible pour une puissance fournie proche de la puissance nominale. Cette chute du rendement, indiquée également dans le manuel technique, est due à des pertes internes.

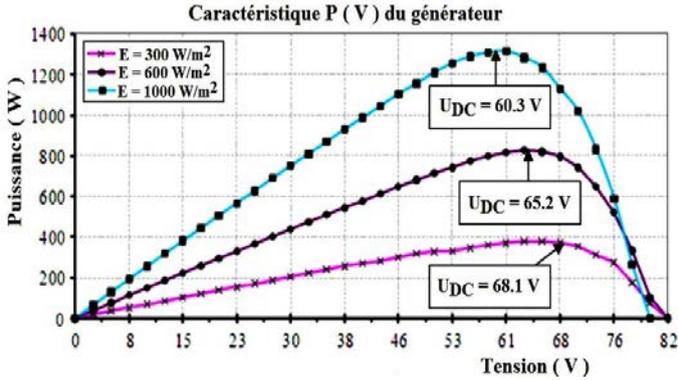


Fig. 8: Points de fonctionnement du convertisseur NEG 1600

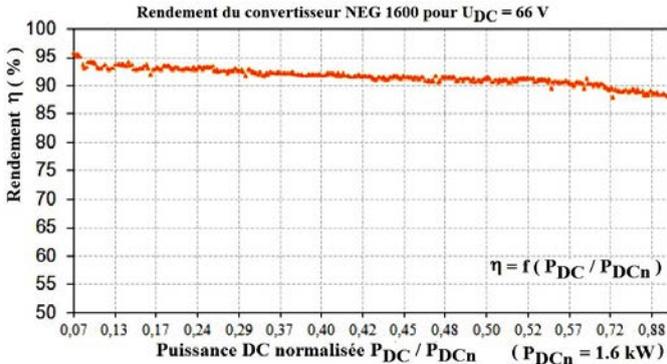


Fig. 9: Rendement du convertisseur NEG 1600 pour la tension  $U_{DC} = 66 \text{ V}$

### 3. REALISATION D'UN SYSTEME INTELLIGENT D'ALIMENTATION EN ENERGIE ELECTRIQUE

Depuis la libéralisation du marché de l'électricité en Europe, en 1998, les lois d'encouragement (bonification des tarifs d'électricité), votées, pour l'utilisation des énergies renouvelables, ont permis à de nombreux consommateurs de devenir producteurs d'électricité.

En effet, la commercialisation de petits systèmes (2 à 4 kW) de production d'énergie avec injection dans le réseau permet de répondre aux besoins des consommateurs et l'excédent d'énergie est injecté dans le réseau, moyennant une contrepartie financière.

Cependant, ces systèmes présentent l'inconvénient, d'une rupture d'alimentation en cas de panne du réseau électrique.

C'est pourquoi, depuis 2007 [11], un vaste programme de recherche est lancé pour apporter des solutions à ces problèmes et aussi pour introduire une culture durable dans la consommation électrique.

### **3.1 Les composantes du système intelligent de production d'énergie**

Le système développé [12] est constitué essentiellement de trois sous-systèmes, (Fig. 10):

Le premier sous-système est le système à injection dans le réseau, étudié précédemment, composé d'un générateur photovoltaïque de 1 kW, de puissance, d'un onduleur NEG 1600 pour la conversion de courant continu en courant alternatif.

Le deuxième sous-système est le système de secours, qui se compose d'une batterie électrochimique, chargée à partir d'une partie du générateur PV et d'un convertisseur pour assurer l'énergie en cas d'absence de réseau électrique.

Le troisième sous-système comporte l'ensemble des charges qu'on trouve souvent dans une maison (lampes, réfrigérateur, téléviseur, PC,...). L'ensemble est géré par une unité de commande à base de microcontrôleur (PIC).

#### **3.1.1 Le système de secours**

Le système de secours est composé d'une batterie électrochimique, d'un convertisseur DC/AC et d'un générateur PV utilisé pour la charge de la batterie.

##### **-Le générateur photovoltaïque**

Le générateur installé est caractérisé par une tension de circuit ouvert de 40 V, un courant de court-circuit de 21 A et une puissance globale de 780 Wc.

##### **-Le convertisseur DC/AC**

Le convertisseur de type Steca considéré, est un nouveau convertisseur chargeur. Il intègre deux fonctions principales, la conversion continue-alternative et le contrôle de la charge de la batterie (régulateur de charge).

##### **-La batterie d'accumulateur**

C'est l'élément essentiel d'un système de stockage. La batterie est composée de douze éléments montés en série, chaque élément délivre une tension d'environ de 2 V, ce qui donne 24 V en sortie.

La batterie est caractérisée par sa tension de fin de charge, qui est 2.24 V par élément, soit environ 26.8 V en tout et une tension de coupure qui est en général égale à 1.85 V par élément, soit 22.2 V.

#### **3.1.2 Le système de commande**

L'unité de commande à base du microcontrôleur PIC 16F877A (Fig. 6), réalise les fonctions suivantes:

- La vérification de la présence ou l'absence de réseau électrique.
- La lecture des paramètres de la batterie (tension, courant de décharge).
- La lecture des paramètres des charges (puissance).
- La commutation des charges soit avec le réseau ou avec le groupe de secours.
- La transmission des paramètres calculés vers le PC via une liaison série (RS232).

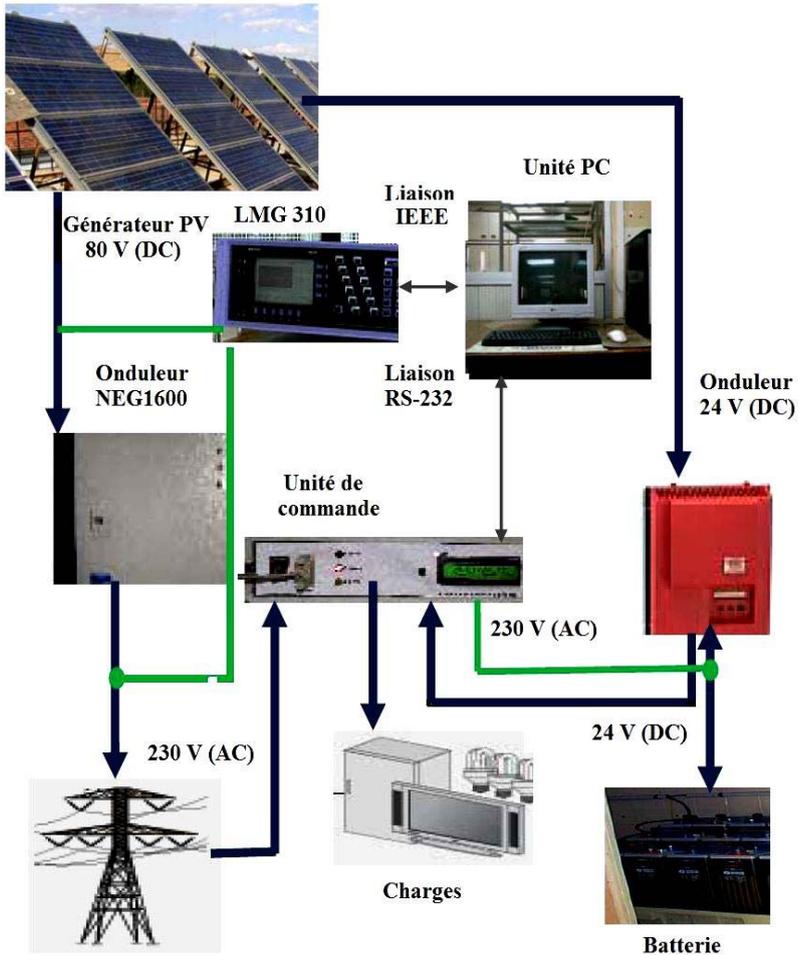


Fig. 10: Schéma représentant les liaisons des éléments du système

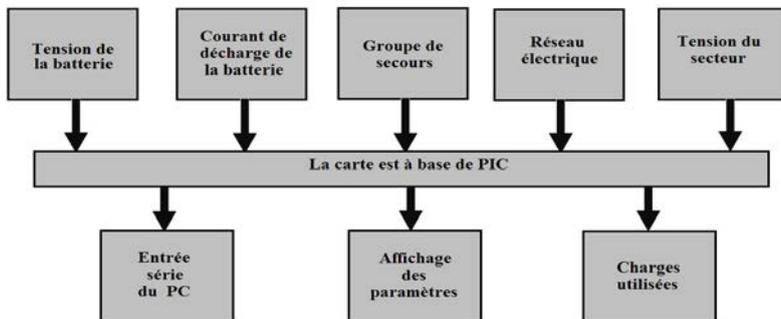


Fig. 11: Schéma synoptique de l'unité de commande

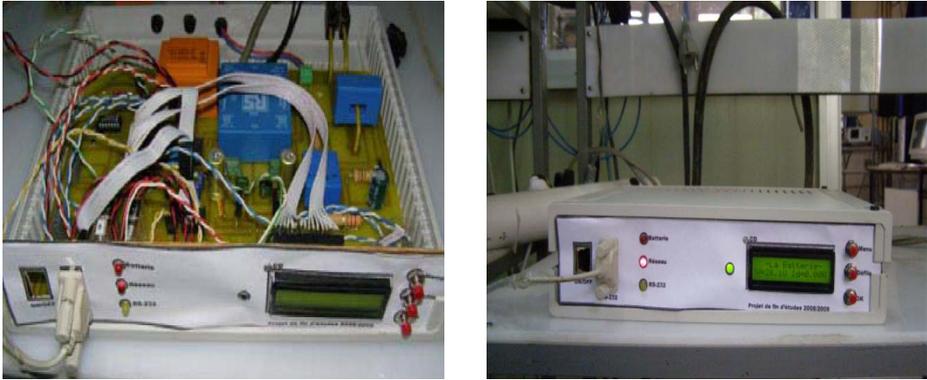


Fig. 12: Vues de l'unité de commande réalisée (circuits internes, en face avant)

### 3.2 Les charges utilisées

Pour les charges à alimenter, on a considéré les charges essentielles utilisées dans un habitat urbain. Pour faire le bilan de la consommation d'énergie de l'habitat en question, il faut disposer des caractéristiques électriques de toutes les charges utilisées.

Pour cela, à l'aide d'instruments de mesure de la consommation d'énergie, nous avons procédé au relevé pendant une heure, le temps de fonctionnement de ces paramètres (la puissance, l'énergie, le courant, la tension, le  $\cos \varphi$ ).

Pour la machine à café et la plaque chauffante, on a relevé les paramètres nécessaires pour chauffer un litre d'eau (pour le café) et deux litres pour la plaque chauffante (les quantités sont choisies en fonction de la capacité des appareils).

La consommation d'énergie dans un habitat varie en fonction du taux d'occupation, qui lui aussi varie, en fonction de la saison, du mois et du jour.

Pour calculer l'énergie consommée durant une journée (24 h), on fait le produit entre l'énergie consommée durant une heure par le nombre des charges et par la durée de fonctionnement.

Par exemple, l'énergie consommée par une lampe de 12 Watts est de 14.2 Wh durant une heure, on multiplie cette énergie par le nombre des lampes, qui est dans notre cas, quatre et le tout est à multiplier par la durée de fonctionnement, qui est 5 h:

$$E(\text{Wh}) = N \times E(\text{Wh}) \times T(\text{h}) \Rightarrow E = 4 \times 14.2 \times 5 = 284 \text{ Wh}$$

**Tableau 2:** Exemple de calcul d'énergie consommée à partir du réseau

	Puissance (W)	Nombre	Temps (h/j)	Consommation (Wh/j)
Lampes L1	12 W	4	5	284
Lampes L2	25 W	2	5	532
Cafetière	660	1	12 min	134
Plaque chauff.	437	1	1 h 30	606.6
Ordinateur	173	1	6	813
Réfrigérateur	106	1	24	2149.68
Téléviseur	86	1	13	1140.1
<b>Total (Wh/j)</b>				<b>5658.28</b>

	<p>Lampes à basse consommation 12 Watts  <math>E = 14.2 \text{ Wh}</math>; <math>t = 5 \text{ h}</math>  <math>P = 14.1 \text{ W}</math>; <math>Pr_{\text{éa}} = 27.3 \text{ VAR}</math>,  <math>P_{\text{app}} = 30.4 \text{ VA}</math>; <math>\cos \alpha = 0.46</math>;  <math>I = 0.131 \text{ A}</math>; <math>V = 231 \text{ V}</math></p>
	<p>Lampes à basse consommation 25 Watts  <math>E = 26.62 \text{ Wh}</math>; <math>t = 5 \text{ h}</math>  <math>P = 25.5 \text{ W}</math>; <math>Pr_{\text{éa}} = 27.1 \text{ VAR}</math>,  <math>P_{\text{app}} = 38.4 \text{ VA}</math>; <math>\cos \alpha = 0.71</math>  <math>I = 0.168 \text{ A}</math>; <math>V = 229 \text{ V}</math></p>
	<p>Cafetière: Pour chauffer 1 litre d'eau,  <math>E = 67 \text{ Wh}</math>; <math>t = 6 \text{ min}</math>  <math>P = 660 \text{ W}</math>; <math>Pr_{\text{éa}} = 0</math>, <math>P_{\text{app}} = 660 \text{ VA}</math>  <math>\cos \alpha = 1</math>  <math>I = 3.11 \text{ A}</math>; <math>V = 217 \text{ V}</math></p>
	<p>Plaque chauffante:          Pour chauffer 2 litres d'eau,  <math>E = 303.3 \text{ Wh}</math>; <math>t = 42 \text{ min}</math>  <math>P = 437 \text{ W}</math>; <math>Pr_{\text{éa}} = 0</math>, <math>P_{\text{app}} = 437.3 \text{ VA}</math>  <math>\cos \alpha = 1</math>; <math>I = 2 \text{ A}</math>; <math>V = 217 \text{ V}</math></p>
	<p>Ordinateur  <math>E = 135.5 \text{ Wh}</math>; <math>t = 1 \text{ h}</math>  <math>P = 173 \text{ W}</math>; <math>Pr_{\text{éa}} = 261.6 \text{ VAR}</math>,  <math>P_{\text{app}} = 189.6 \text{ VA}</math>  <math>\cos \alpha = 0.65</math>; <math>I = 1.11 \text{ A}</math>; <math>V = 225 \text{ V}</math></p>
	<p>Réfrigérateur  <math>E = 89.57 \text{ Wh}</math>; <math>t = 24 \text{ h}</math>  <math>P = 106.0</math>; <math>Pr_{\text{éa}} = 118.8 \text{ VAR}</math>,  <math>P_{\text{app}} = 159 \text{ VA}</math>; <math>\cos \alpha = 0.64</math>;  <math>I_n = 0.729 \text{ A}</math>; <math>I_d = 3.25 \text{ A}</math>; <math>V = 231 \text{ V}</math></p>
	<p>Téléviseur plus le démodulateur  <math>E = 87.7 \text{ Wh}</math>; <math>t = 1 \text{ h}</math>  <math>P = 86.1 \text{ W}</math>; <math>Pr_{\text{éa}} = 103.8 \text{ VAR}</math>,  <math>P_{\text{app}} = 145 \text{ VA}</math>; <math>\cos \alpha = 0.62</math>.  <math>I = 1.71 \text{ A}</math>; <math>V = 222 \text{ V}</math> et <math>V = 231 \text{ V}</math></p>

Fig. 13: Caractéristiques techniques des charges électriques

### 3.3 Performance énergétique du système PV avec injection dans le réseau

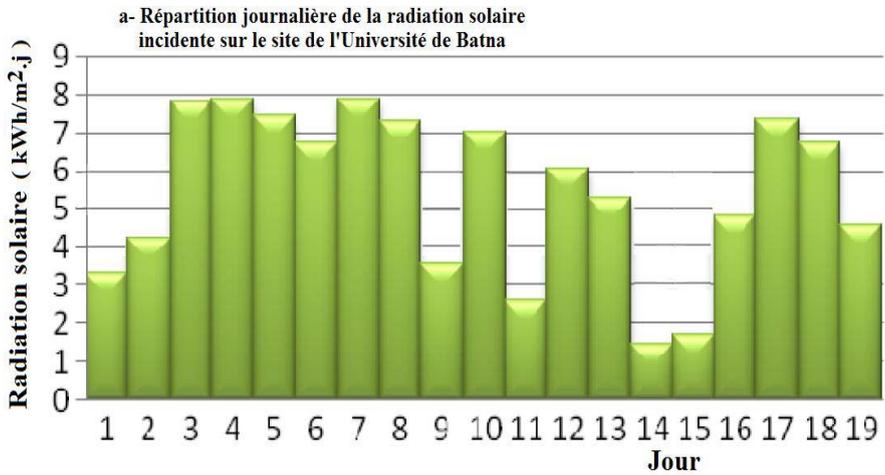
La performance d'un système photovoltaïque avec injection dans le réseau est caractérisée par sa production annuelle d'énergie, rapportée au kWc, du générateur installé. Elle est exprimée en kWh/kWc.

Elle est fonction aussi bien du rayonnement solaire incident sur le site que de la qualité des composants du système comme le générateur photovoltaïque, caractérisé par sa puissance en  $W_c$  et le convertisseur DC/AC, par son rendement. Cette performance doit être relevée durant toute l'année.

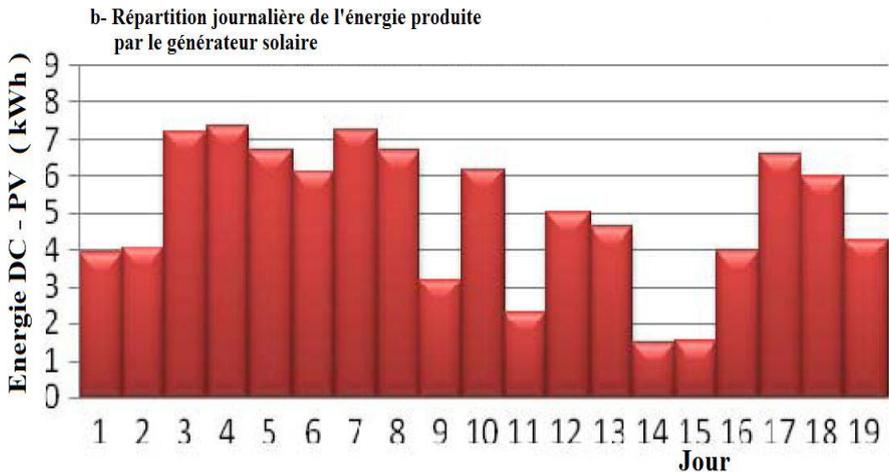
Il est aussi possible de calculer la performance journalière moyenne, en tenant compte du rayonnement journalier moyen. La figure 14 illustre parfaitement la nécessité de cette approche.

En effet, les relevés des tests durant la période du 11 au 30 avril, montrent que, l'énergie produite par le générateur photovoltaïque et l'énergie injectée dans le réseau sont proportionnelles à l'énergie solaire incidente.

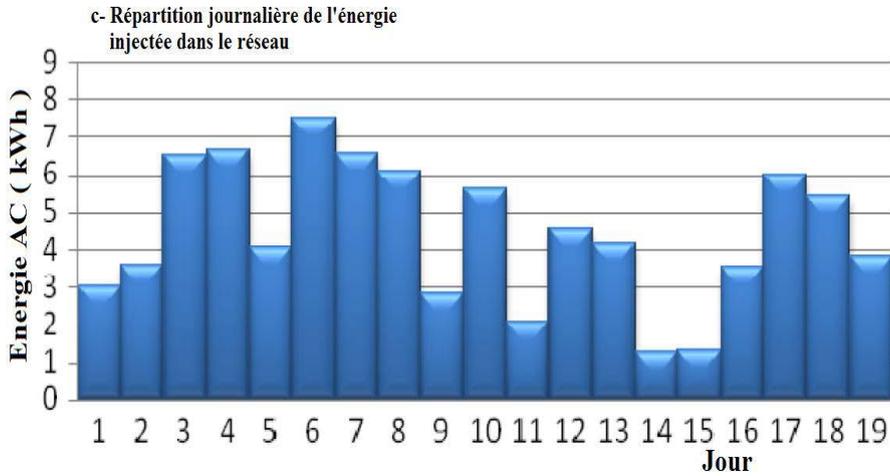
Nous remarquons que l'énergie injectée par le convertisseur dans le réseau électrique présente certaines fluctuations en raison des pertes dans la chaîne de conversion.



a- Répartition journalière de la radiation solaire incidente



b- Répartition journalière de l'énergie produite par le générateur



c- Répartition journalière de l'énergie injectée dans le réseau

Fig. 14: Répartition journalière des énergies produites par le système à injection dans le réseau, installé à l'Université de Batna, période du 11 au 30 avril 2011

Le bilan de la production journalière relevée, durant cette période (Fig. 14) montre que l'énergie injectée, varie de 1,3 kWh à 6,6 kWh, selon l'énergie solaire incidente respectivement 1,7 et 7,4 kWh/m<sup>2</sup>.j.

En comparant l'énergie disponible, fournie par le générateur à celle demandée par l'utilisation estimée à 5,65 kWh/jour (**Tableau 2**), nous observons un déséquilibre entre l'offre et la demande durant certains jours. Celui-ci peut être compensé par le réseau ou le système de secours.

#### 4. CONCLUSION

L'étude du système photovoltaïque avec injection dans le réseau, présentée dans la seconde partie de ce travail, montre que l'adaptation du convertisseur DC/AC, au point de fonctionnement du générateur, donné par la tension de fonctionnement  $U_{DC}$ , est fonction de la température particulièrement pour des éclaircissements élevés.

Nous avons remarqué également, dans la troisième partie, comment le déficit ou la rupture de réseau, peuvent être maîtrisés par le système de gestion d'énergie développé à base de microcontrôleur. Ce dernier assure la fonction de contrôle et remédie au déficit par la mise en fonctionnement de la batterie de secours.

Dans les cas extrêmes, comme l'insuffisance de la puissance du générateur, il faut redimensionner ce dernier ou introduire des priorités dans l'utilisation des charges.

L'intégration des systèmes photovoltaïques et d'autres systèmes autonomes, comme l'éolien, au réseau électrique, est aujourd'hui une réalité. Les puissances injectées de ces systèmes sont passées de quelques kW à plusieurs MW.

Leur exploitation de manière optimale, grâce aux systèmes intelligents, nécessite l'adhésion du consommateur et un changement dans le mode de consommation de ce dernier.

## REFERENCES

- [1] G. Cramer, W. Kleinkauf und M. Ibrahim, '*PV-System-Technik, Entwicklungsstand und Trend in der dezentralen Elektrifizierung*', Institut für Solare Energieversorgungstechnik, 'ISET' e.V. Universität Kassel, Germany.
- [2] D. Neste and J. Ringelstein, '*Integration of DER into Distribution Grid Operation and Decentralized Energy Management*', Smart Grids Europe, Barcelona, Spain, 2009.
- [3] D. Nestle and J. Ringelstein, '*Bidirectional Energy Management Interfaces in Distribution Grid Operation, Strategy and Simulation*', International Conference on Integration of Renewable and Distributed Energy Resources, 10-12.12, Nizza, Frankreich, 2008.
- [4] G. Hering, '*Das Jahr des Tigers*', Photon das Solarstrom-Magazin, Vol. 4, 2011.
- [5] Document du Ministère de l'Énergie et des Mines, '*Programme des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique*', Alger, Algérie, 2011.
- [6] M. Saïdi et C. Hamouda, '*Réalisation et Tests d'une Chaîne de Mesures Appliquée à un Système Photovoltaïque avec Injection dans le Réseau*', Projet de Fin d'Étude, Ingéniorat en Electronique, Université de Batna, 2007/2008.
- [7] Manuel du 'LMG 310' de la Société Zes Ziemmer.
- [8] Manuel du 'NEG 1600', U.F.E., Berlin, 1997.
- [9] H. Häberlin, '*Rendement des Onduleurs Photovoltaïques*', [www.pvtest.ch](http://www.pvtest.ch)
- [10] H. Häberlin, C. Liebi and C. Beutler, '*Inverter for Grid Connected PV Systems: Test Results of Some New Inverters and Latest Reliability Data of the Most Popular Inverters in Switzerland*', 14<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference Barcelona, Catalunya Spain, 30 June - 4 July 1997.
- [11] Document sur '*Smart Houses Interacting with Smart Grids to Achieve Next-generation energy efficiency and sustainability*', Unit G5 for Environment, European Commission, 2009.
- [12] M.A. Hamouda et A. Louchène, '*Réalisation d'un Système de Gestion d'Énergie d'une Maison Solaire Raccordée au Réseau*', Projet de Fin d'Étude, Ingéniorat en Electronique, Université de Batna, 2008/2009.