



# SIMULATION DU SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE DE FAÇADE A L'UNIVERSITE DE BLIDA

Karamostefa-khelil Cherifa<sup>#1</sup>, Hamidat Abderahmane<sup>\*2</sup>

<sup>#</sup> *Département d'électronique, Université de Blida  
ALGERIE*

<sup>1</sup>karasolar@yahoo.fr

<sup>\*</sup> *CDER, Bouzerea, Alger  
ALGERIE*

**Résumé** — La production d'électricité à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque est une solution de plus en plus adoptée dans le monde pour la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Ainsi et en plus des applications rurales, les applications de l'énergie photovoltaïque en milieu urbain connaissent une croissance très importante surtout dans les pays industrialisés. L'intérêt porté à ces systèmes photovoltaïques intégrés dans les bâtiments est de produire de l'énergie à l'endroit même de la demande, en s'évitant des problèmes de stockage de l'énergie dans les batteries..

**Mots clés** — système photovoltaïque, façade, simulation, modulation, onduleur.

## I. INTRODUCTION

L'énergie renouvelable est un terme employé pour décrire l'énergie qui est dérivée des ressources, comme le soleil et le vent ; ressources qui sont continuellement disponible a un certain degré ou autre partout dans le monde. La lumière du soleil est la source d'énergie la plus puissante, direct ou indirect. Le soleil peut être arme pour produire l'énergie solaire. Une des technologies d'énergie renouvelables les plus prometteuses est le photovoltaïque qui est véritablement élégant pour produire de l'électricité sur le terrain, directement du soleil, sans souci pour l'approvisionnement énergétique ou le mal environnemental. Ces dispositifs à semi conducteur font simplement de l'électricité hors de la lumière solaire. Silencieusement sans entretien, aucune pollution et aucun épuisement des matériaux sur l'environnement. Un système photovoltaïque intégré au bâtiment(BIPV) se compose de modules photovoltaïques intégrés dans les bâtiments, tel que le toit ou les façades. En se servant simultanément de matériel de bâtiment, de groupes électrogène, les systèmes photovoltaïques peuvent fournir l'épargne en matériaux et coûts d'électricité, réduire l'utilisation des combustibles fossiles et l'émission des gaz

épuisants l'ozone, plus l'intérêt architecturale au bâtiment. Tandis que la majorité de systèmes photovoltaïques sont connectées par des grilles disponibles, le système photovoltaïque peut être employé dans le système autonome et le système connecte au réseau. La production d'électricité solaire par conversion de la lumière a l'aide de cellule photovoltaïques connaît un essor fulgurant a l'aube du 21<sup>ème</sup> siècle avec un taux de croissance record de plus de 40% en 2000[1,2]. De nouvelles approches technologiques seront toujours nécessaires afin de réaliser des cellules a faible cout et a haut rendement de conversion énergétique. Le générateur photovoltaïque intégré dans l'architecture du bâtiment présente de nombreux atouts énergétique et esthétique avec une intégration harmonieuse en façade ou en toiture.

La première étape dans cet article consiste a présente le système photovoltaïque de façade ; la deuxième étape parle de le modélisation du système photovoltaïque, la troisième étape est l'exécution du système photovoltaïque de façade dans un bloc a l'université de Blida et finissons par une conclusion.

## II. PRESENTATION DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE DE FACADE

Il ya deux différents types d'installation photovoltaïque :

- **Système autonome** : Dépendent de l'énergie solaire pour répondre a la demande d'électricité. Est utilisé dans la croissance des petites applications comme les calculatrices, les montres ..etc. la figure 1 présente le système autonome.

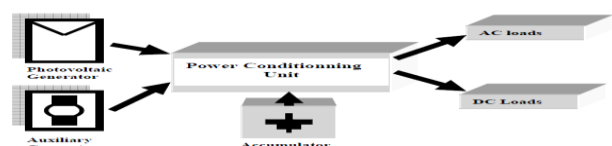


Figure 1 système photovoltaïque autonome



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



- Système connectée au réseau : Un système connecté à un réseau produit sa propre électricité et transfère son excédent d'énergie directement vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin. La figure 2 présente le système connecté au réseau.

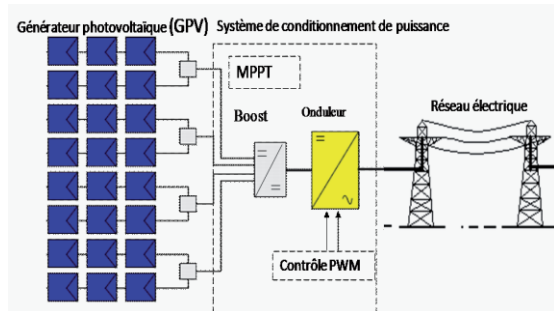


Figure 2 système photovoltaïque connecté au réseau

#### A. Composants du système photovoltaïque

Les cellules solaires photovoltaïques sont des semi-conducteurs capables de convertir directement la lumière solaire en électricité, cette conversion s'appelle l'effet photovoltaïque, ces cellules sont connectées entre elles pour produire la tension et la puissance, elles sont encapsulées afin d'être protégées du choc et de l'humidité. Le courant de sortie et la puissance sont généralement proportionnels à la surface du module. L'onduleur transforme le courant direct produit par le panneau photovoltaïque au courant alternatif compatible avec le réseau de distribution électrique.

Le type de batterie recommandé pour l'usage dans le système solaire photovoltaïque est la batterie à grand cycle. La batterie à grand cycle est spécifiquement conçue pour être déchargée longtemps et rechargée rapidement. La batterie devrait être assez grande pour stocker l'énergie suffisante pour faire fonctionner les appareils pendant la nuit et les jours nuageux.

#### B. Intégration architecturale du générateur photovoltaïque dans le bâtiment

En fait, l'intégration photovoltaïque de générateur sur des toits de bâtiment et les façades est une solution prévenante dans l'environnement urbain. Les différentes techniques de l'intégration architecturale des modules photovoltaïques dans le bâtiment sont l'intégration dans les deux cas site précédemment, en premier l'effet de serre, l'ombre et l'éclairage normal. Les différents diagrammes des intégrations de modules sont élaborés par des types d'installations et d'orientation de bâtiments.

Ainsi, les pertes de lumière solaire changent par les orientations et les inclinaisons de façades. Les différents diagrammes des intégrations de modules sont élaborés par des types d'installations et d'orientation de bâtiment.

- La position horizontale donne un bon résultat annuel par rapport à la position optimale.
- La position verticale est moins importante.



Figure 3 distribution de la lumière solaire reçue sur les façades et les toits des bâtiments

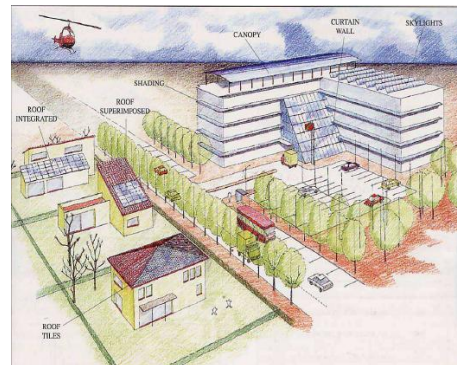


Figure 4 Différents types d'intégration de façades en bâtiment

### III. MODULATION DU GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Le modèle à une diode est le modèle de base utilisé dans cet article, est représenté un circuit équivalent (figure 5) comprenant une source courante dont l'intensité est proportionnelle au rayonnement incident, parallèlement à une diode et à une résistance shunt. Cette résistance représente le courant de fuite à la terre. Les pertes internes dues à l'écoulement du courant et la connexion entre les cellules sont modélisées comme une petite résistance série  $R_s$ . Ce circuit peut également être redéfini pour un module qui se compose de plusieurs piles solaires ou pour un champ photovoltaïque formé par l'association de plusieurs modules photovoltaïques en séries et en parallèles.

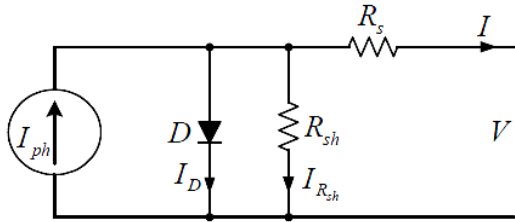


Figure 5 circuit équivalent dans les systèmes photovoltaïque

La caractéristique I-V décrite par l'équation (1), qui montre le courant I de la cellule comme une fonction du voltage externe :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{V+IR_s}{nV_t}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$V_t = \frac{kT_j}{q} \quad (2)$$

Où:

$I_{ph}$ : courant de photogénération

K: constant de Boltzman :  $1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$

q : charge électronique :  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$

T : température de cellule [°K]

A : facteur d'idéalité de la diode.

$I_0$ : courant de saturation due à la diffusion et courant de saturation due à la recombinaison respectivement.

L'équation (1) ne laisse pas dessiner la courbe I-V qui dépend de la température et de la radiation du photocurrent, la connaissance du courant de saturation et de la tension de circuit ouvert est obligatoire pour accomplir le modèle. Ils sont respectivement donnés par [7.8.9.10].

$$I_{PH}(T_c, G) = \left(\frac{G}{G_{ref}}\right) \cdot [I_{PH\_ref} + \mu_{ISC}(T_c - T_{c\_ref})] \quad (3)$$

$$I_0(T_c) = I_{0\_ref} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{c\_ref}}\right)^3 \cdot \exp\left[\left(\frac{q \cdot E_g}{n \cdot k}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_{c\_ref}} - \frac{1}{T_c}\right)\right] \quad (4)$$

$$V_{OC}(T_c) = V_{OC}(T_{c\_ref}) + \beta(T_c - T_{c\_ref}) \quad (5)$$

Où:

G et  $G_{ref}$  sont respectivement la radiation incidente ( $\text{W/m}^2$ )

Et la radiation de référence ( $G_{ref} = 1000 \text{ w/m}^2$ )

$T_c$  et  $T_{c\_ref}$  : sont respectivement température de la cellule réel et de référence en degrés Kelvin [°K]

$\mu_{ISC}$ : coefficient de température pour le photocourant ou court circuit ( $I_{cc}$ ).

L'expression mathématique donnée par l'équation (1) définit la caractéristique I-V pour le modèle des cinq paramètres.

Pour davantage de modélisation précise, le gap d'énergie a une dépendance de la température aussi. Il est donné par Equation (6) [10].

$$E_g = E_{g-T_{c\_ref}} (1 - 0.0002677(T_c - T_{c\_ref})) \quad (6)$$

Où:

Eg : est l'énergie de gap de la cellule en électron volt ( $E_g(T_{c\_ref}) = 1.12$  pour m-si).

Les conditions de référence  $G_{ref}$  et  $T_{c\_ref}$  sont des conditions externes pour spécifiées les données de base impliquées dans le modèle. On peut noter que ces données de base sont fournies par le fabricant de module ou obtenues par des procédures de mesures.

#### A. Générateur photovoltaïque :

Dans des applications pratiques plusieurs modules sont recueillis dans une configuration particulière pour faire ce qui s'appelle le générateur photovoltaïque. Généralement la configuration est faite en groupant N modules en série et M modules en parallèles en ordre afin de définir la puissance de sortie selon le figure 6. Le courant total de la charge est la somme du courant de chaque branche parallèle de sorte que :

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_M = \sum_{i=1}^{i=M} I_i \quad (7)$$

Et la tension développée devient :

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_N = \sum_{i=1}^{i=N} V_i \quad (8)$$

Ainsi, le courant et la tension totale du générateur photovoltaïque sont obtenus en multipliant le courant de module par le nombre de branches parallèles,  $N_p$ , et d'ajouter la tension de module de série  $N_s$  afin d'obtenir la tension entière.

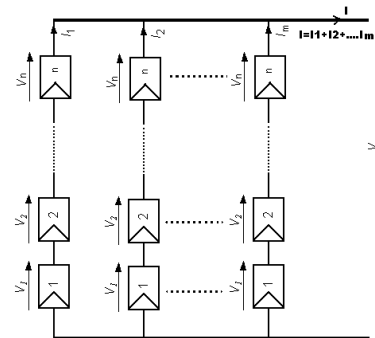


Figure 6: configuration du générateur PV

Une des relations qui représente la température de module dépend de la radiation incidente et la température ambiante donnée par l'équation empirique suivante :

$$T_c = T_a + G \cdot \frac{T_{NOCT} - 20}{800} \quad (9)$$

Cette relation représente un bon compromis entre simplicité et précision où la dispersion de ce modèle de température ne ce trouve pas dépasse de  $\pm 5\%$  [13].

#### B. Calcul d'erreur et validation :

Pour détermine les performances des modèles utilisées, nous utilisons le critère d'erreur moyenne MPE (Mean Percentage error), la déviation d'erreur standard et le critère de relation



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



d'erreur, Ex. Les relations mathématiques de ces critères d'erreurs sont les suivantes :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I_{mes} - I_{sim})^2} \quad (10)$$

Avec :

$I_{sim}$  : le courant du module calculé.

$I_{mes}$  : le calcul du module mesure.

$N$  : nombre mesures

$$E_x = 100 \frac{X_{cal} - X_{mes}}{X_{mes}} \quad (11)$$

Où:

$X_{cal}$  et  $X_{mes}$  : respectivement sont les valeurs calculées et mesurées.

#### IV. PERFORMANCE DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUE DE FACADES

La figure 7 présente la façade de un des blocs de l'université SAAD DAHLEB de Blida, le choix de ce bloc est base sur sa bonne exposition au soleil par rapport au autres blocs de l'universite.



Figure 7: façade sud ouest du bloc 13 de l'université de Blida

##### A. Position des panneaux sur le bloc:

La figure 8 présente la façade sut ouest du bloc avec des panneaux fixes sur le mur, ce générateur fournie une puissance de 3kWc, le schème de ce bloc est dessine avec le logiciel autocad.



Figure 8: position des modules photovoltaïque sur la façade du bloc 13 de l'universite (dessinée avec autocad)

##### B. Caractéristique du module poly cristallin

Le type de module utilise dans notre simulation est le module 380j acheté par le laboratoire LabSet de l'universite installe sur le toit d'un autres bloc de cette dernière, les

caractéristiques de ce module polycristallin sont présentées sur le tableau ci-dessous :

Caractéristiques	Valeurs
Voc	21,868 V
Isc	5,262 A
Rs	0,550 Ohm
Rsh	162,962 Ohm
Pmax	82,625 W
Vpm	17,398 V
Ipm	4,749 A
FF	71,8 %
Rendement, module	12,73 %
Rendement, cellule	14,69 %

Table1. caractéristiques électrique du module silicium polycristallin j380



Figure 9: module Photovoltaïque Silicium Poly cristallin 380j

##### C. Simulation et performance des systèmes photovoltaïques

La figure 10 représente le montage des composants du system photovoltaïque avec un générateur de 28 modules et une puissance de 2.24kWc, ce générateur est celui applique sur le bloc 13 de l'universite de Blida, illustre la latitude, la longitude, l'élévation, le degré d'inclinaison et d'Azimuth.

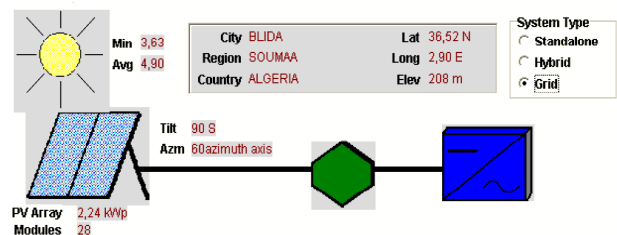


Figure 10: Simulation avec Nsol pour le module poly cristallin 380j

Nous avons employé la simulation de l'irradiation solaire reçu sur le mur en fonction d'azimut. Cette simulation a utilise les modèles mathématiques qui laissent calculer l'irradiation solaire sur un plan incliné. La simulation a calculé la variation



# Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



de l'irradiation solaire en fonction de l'heure du jour avec différente orientation de façades dans la région de Soumaa à la ville de Blida en Algérie. La figure 11 montre l'irradiation du jour sur la surface horizontale d'un mur avec différente orientation qui sont est (- 90.90), sud-est (- 45.90), sud (0.90), le sud ouest (45.90) et ouest (90.90), le premier nombre entre parenthèses présente l'angle d'inclination du panneau, le deuxième nombre présente l'orientation du mur vertical par rapport aux quatre points cardinaux (nord, sud, est et ouest). Les résultats prouvent que la surface verticale reçoit le maximal de l'irradiation solaire en saison d'hiver. Cette situation revient à la basse altitude du soleil en hiver qui permet à un plan de recevoir une irradiation solaire élevée en été où l'altitude solaire est la plus haute.

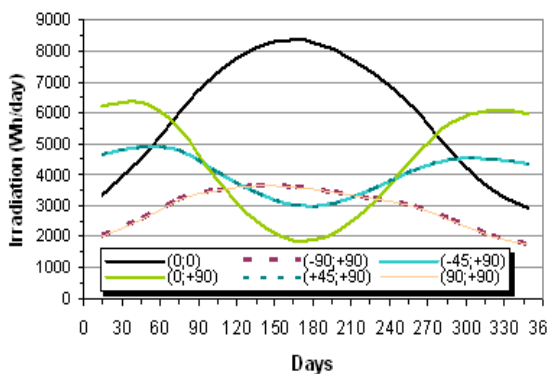


Figure 11: irradiation journalière en fonction de l'azimuth

La figure 12 présente la saison d'hiver, où l'irradiation obtient son maximal pour un azimut négatif avant midi, parce que l'azimut positif l'irradiation est maximal dans l'après-midi, parce que l'azimut de nulle l'irradiation est maximal entre 12 et 14 heures et avec l'inclination 90°, l'irradiation est rapport supérieur l'inclination 0°.

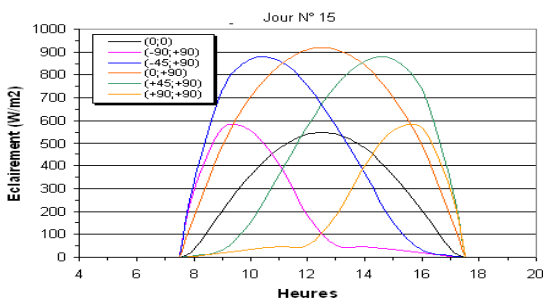


Figure 12: Irradiation vs = azimuth (jours 15)

La figure 13 présente l'irradiation solaire, obtient son maximal pour un azimut négatif avant midi, pour un azimut positif l'irradiation est maximal l'après-midi, pour un azimut nul l'irradiation est maximal entre 12 et 14 heures, pour une inclination 90° l'irradiation est presque égale à l'inclination 0°.

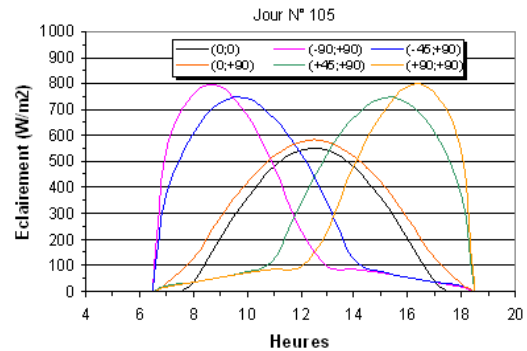


Figure 13: Irradiation vs = azimuth (jours 105)

En été, l'irradiation obtient son maximal pour un azimut négatif avant midi, pour un azimut positif l'irradiation est maximal l'après-midi, pour un azimut nul l'irradiation est maximal entre 12 et 14 heures, pour l'inclination 90° l'irradiation est inférieur par rapport à l'inclination 0°.

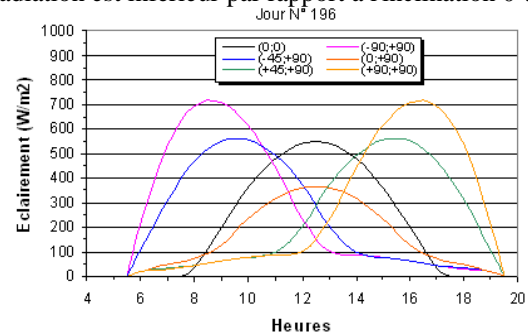


Figure 14: Irradiation vs = azimuth (jours 196)

En automne, l'irradiation obtient son maximal pour un azimut négatif avant midi, parce que un azimut positif l'irradiation est maximal l'après-midi, parce que l'azimut de nulle l'irradiation est maximal entre 12 et 14 heures, parce que l'inclination 90° l'irradiation est rapport supérieur l'inclination 0°.

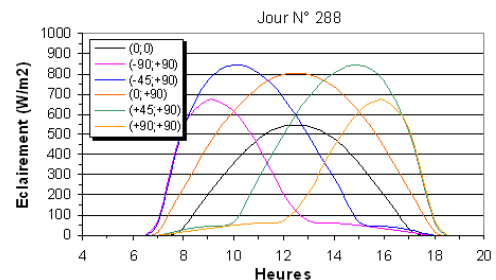


Figure 15: Irradiation vs = azimuth (jours 288)

Les caractéristiques d'I-V/P-V et toutes les figures précédentes d'irradiation sont mesurées avec le logiciel Matlab ; Le programme de Simulink, qui est obtenu en présentant les cinq paramètres calculés, sont donnés sur la figure 12. Les paramètres de STC obtenus par le procédé de translation et les



## Le 2<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 2<sup>nd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



paramètres de référence obtenus en appliquant la méthode analytique toutes les deux sont donnés dans le tableau 1, le point désiré d'opération de générateur de photovoltaïque est le point de puissance maximum (MPP), présenté ici dans la caractéristique P-V.

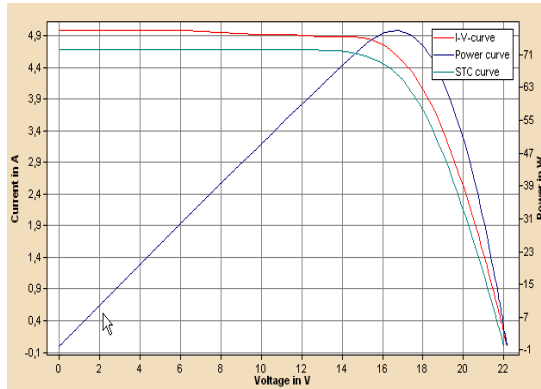


Figure 16: Courbes I(V) simulées sur Matlab avec le module silicium polycristallin 380j

#### V. CONCLUSION

La consommation d'énergie mondiale vient principalement des fossiles épuisés (pétrole, charbon, gaz naturel, etc.) dont l'utilisation massive peut mener à l'épuisement en date de ces ressources et menace vraiment l'environnement par les émissions du gaz de pollution et avec l'effet de serre. L'utilisation à énergie solaire photovoltaïque en tant que source d'énergie électrique est une solution adoptée bien pour réduire les émissions de ces gaz nocifs pour l'environnement. Ce document est lié à l'étude de la simulation des exécutions du BIPV. Ces systèmes, qui emploient l'intégration du générateur photovoltaïque dans le bâtiment, sont une option dans la pleine croissance des pays occidentaux parce que cette technologie permet pour apporter la production plus près de l'énergie électrique à l'endroit fort de sa consommation. Cette source d'énergie est durable et ces composants sont modulaires et flexibles. Du point de vue esthétique, le générateur photovoltaïque peut remplacer plusieurs composants de construction facilement, énergie de façade vitrée avec les toitures serrés. Les contributions de ce document dans le domaine des systèmes de BIPV sont récapitulées comme suit :

- Présentation de diverses techniques de l'intégration architecturale du générateur photovoltaïque dans le bâtiment.

- Validation, utilisant les données mesurées sur l'emplacement, des modèles numériques récents qui considèrent le composant direct et diffus de l'irradiation solaire aux niveaux horizontaux et inclinés.

- Développement d'un programme qui permet pour calculer l'irradiation solaire sur les divers façades d'un bâtiment potentiel pour l'intégration architecturale du générateur photovoltaïque.

Nous espérons que les résultats de ce travail contribueront de manière significative dans la compréhension de ces systèmes photovoltaïques de façade et dans la prise de décision de sorte qu'une installation photovoltaïque de ce type soit une réalité à notre université Saad Dahleb de Blida.

#### REFERENCES

- [1] T. Markvart and L. Castanier: *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*. Edition Elsevier. 2003.
- [2] M. Iqbal: *An introduction to solar irradiation*. Academic Press. Toronto. pp.303, 1983.
- [3] *Analyse de projets d'installation photovoltaïque*, édité par le Ministre de Ressources naturelles du Canada, ISBN : 0-662-75477-8, 2001.2004.
- [4] T.M. Klucher: *Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces*. Solar Energy, Vol. 23(2), pp. 111-114, 1979.
- [5] M. Collares-Pereira and A. Rabl: *The average distribution of solar radiation – correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values*. Solar Energy, Vol. 22, pp.155-164, 1979.
- [6] J. A. Duffie, W. A. Beckman: *Solar Engineering of Thermal Processes*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1991.
- [7] L. Castaner and S. Silvestre: *Modelling Photovoltaic Systems using Pspice*. John Willey & Sons, LTD, (2002).
- [8] Kerr MJ, Cuevas A: *Generalized analysis of the illumination intensity vs. open-circuit voltage of PV modules*. Sol Energy 2003;76:263-7.
- [9] T. U. Townend: *A method for estimating the long-term performance of direct-coupled photovoltaic system*, M.S. Thesis, Univ. Of Wisconsin-Madison (1989).
- [10] W. De Soto: *Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance*, M.S Thesis, Solar energy laboratory, Univ. Wisconsin-Madison (2004).
- [11] P. Spirito and V. Abergamo: *Reverse Bias power dissipation of shadowed or faulty cells in different array configuration*. Proc. of the Fourth European Photovoltaic solar Energy Conference, 1982, pp. 296-300.
- [12] C. F. Lopez Penida: *Experimental evaluation of reverse bias stress induced on photovoltaic modules for different configurations*, Solid Wind Techn. 3. (1986), pp. 85-88.
- [13] M. A. Abella, M.C Alonso, K. Mukadem, F. Chenlo: *Validation of theoretical models in big size PV plants*. 14th EPSEC, Barcelona, Spain 1997.