



# Effet de la poussière sur le rendement des modules photovoltaïques

M.MESROUK<sup>#1</sup>, A.HADJ ARAB<sup>\*2</sup>

<sup>#</sup> Laboratoire des Technologies Avancées du Génie Electrique LATAGE, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, BP 17  
RP 15000, Tizi-Ouzou, Algérie

mesroukmehdi@yahoo.fr

<sup>\*</sup> Centre de recherché des énergies renouvelables  
Route de l'Observatoire, BP. 62, Bouzareah, 16340, Alger, Algérie

a.hadjarab@cder.dz

**Résumé**— Ces dernières années un regain d'intérêt est porté pour l'énergie solaire, captée à l'aide des panneaux photovoltaïques, une énergie localisée d'une manière immodérée dans des régions arides qui sont caractérisées par une grande quantité de rayonnement solaire atteignant un peut plus de 90% pour cause d'une faible couverture nuageuse et des précipitations réduite, moins de 200 mm par an. Cependant l'inconvenant majeur qui subsiste pour ces modules est l'accumulation de poussière sur les plaques en verres constituant ces panneaux, affectant ainsi considérablement le rendement de ces derniers. Ce travail est une contribution à l'élaboration d'un modèle théorique par la simulation d'un système formé d'une couche de poussière supposée opaque d'une épaisseur variante de 0 um jusqu'à 5 um , ou le 0 représente un module nettoyé, cette poussière formée de plusieurs milliers de petit grain de différent taille posée sur du verre , ayant pour indice de réfraction de la forme n+jk une partie réel d'une valeur de 1.53 [1] et une partie imaginaire qui varie selon la taille des grains et la composition minéralogique , le modèle est simulé à l'aide du logiciel COMSOL Multiphasique dans le but de voir l'impact de la poussière sur la transmission optique dans un module photovoltaïque comparativement à un module propre, exempté de salissures (poussières) .

**Mots clés**— Module photovoltaïque, rendement, poussière, atténuation, réflexion.

## I. INTRODUCTION

La réduction de l'efficacité des modules photovoltaïques de 15%-25% [1] est due aux pertes engendrées par les onduleurs, câblages, ou salissures (débris, poussières). La poussière est un terme s'appliquant généralement à des particules solides avec un diamètre inférieur à 500 um [2], chimique biologique, électrostatique, beaucoup de facteurs influe sur le dépôt de poussière, comme la taille des grains aussi les propriétés physiques des surfaces des modules, type de verre, texturé ou antireflet, la vitesse du vent, et beaucoup d'autres facteur comme le résume la fig.1, de nombreux articles ont tenté d'étudier le phénomène et les lois régissaient du transport et des dépôt des poussières dans le contexte des installations de central solaires. Une enquête basée

essentiellement sur l'impact de la poussière sur le système des modules PV.

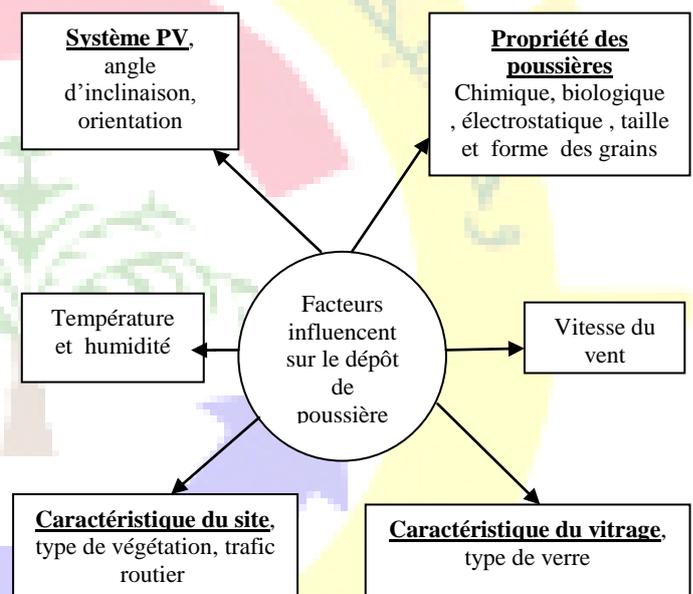


Fig.1 Facteur influent sur le dépôt de poussière [1]

Dans ce contexte, de nombreuses expériences ont été effectuées pour tester l'effet de la poussière sur les panneaux solaires en fonction de la puissance collectée, l'effet de la taille des particules, l'effet du vent sur la poussière accumulée, et l'effet de différents types de poussière y compris le calcaire le ciment et le carbone. Selon une étude de (Goossens et Van Kerschaever 1999), Sable et la terre sont parmi les premières source de dégradation naturelle, entre autres les particules en suspension [2] la fig.2 donne un aperçu des différentes type de poussière excitantes et utilisées dans des études expérimentaux.



Fig.2 Différente type de polluants (poussière) [2]

Beaucoup de modules photovoltaïques présentent un rendement très faible en contact avec de la poussière réduisant ainsi considérablement l'efficacité aussi bien en performance électrique, et la capacité, sachant que la plupart des panneaux sont conçus dans le but d'un fonctionnement correct pendant plus de deux décennies, mais cette durée est réduite à cause des conditions environnementales, en raison de l'impact de la poussière sur les panneaux. L'étude de la dégradation de ces derniers s'avère essentiel. Il pourrait aider à apporter des améliorations l'optimisation et la planification, la Fig.3 montre la réduction de l'intensité solaire reçue par des panneaux photovoltaïques en fonction de l'accumulation de poussière une accumulation quantifiée par une densité selon "Equation 1" [2].

$$\Delta M = \frac{\Delta m}{AC} \quad (1)$$

$\Delta M$  : densité exprimée en  $g/m^2$  par une surface  $AC$ .  
 $\Delta m$  : masse de la poussière accumulée.

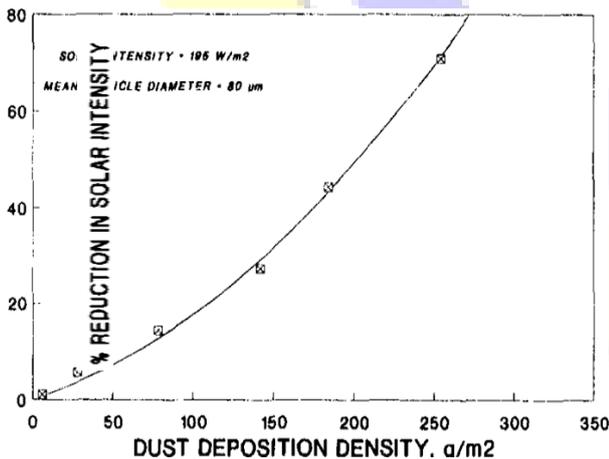


Fig.3 La réduction de l'intensité solaire reçue par des panneaux photovoltaïques en fonction de la densité  $g/m^2$  [3]

Une étude [3] sur la quantité d'énergie solaire absorbée par des modules impurs a été calculée et comparée à celle avec celles nettoyées. L'observations indiquent une accumulation de poussière d'environ  $2,5 g/m^2/jour$  entre avril et juin au Koweït une réduction de la transmission allant de 64% à 17% pour les angles d'inclinaison allant de  $0^\circ$  à  $60^\circ$ , respectivement après 38 jours d'exposition, un taux de dégradation de l'efficacité de 7% a été constaté, cependant l'estimation des pertes journalières engendrées par la poussière peut être représenté par "Equation 2" [4]

$$HL(\%) = \frac{H_{CC} - H_{DC}}{H_{CC}} \times 100 \quad (2)$$

HL : énergie non reçue par le module

$H_{CC}$  : irradiation journalière mesurée pour un module nettoyé ( $W h m^{-2}$ )

$H_{DC}$  : irradiation journalière mesurée pour un module sale ( $W h m^{-2}$ ).

Aussi le type de polluant (poussière) influe sur le rendement des modules, à travers l'expérience il a été démontré que chaque type de poussière correspondrait à un rendement bien spécifique en tension comme le montre la Fig.4.

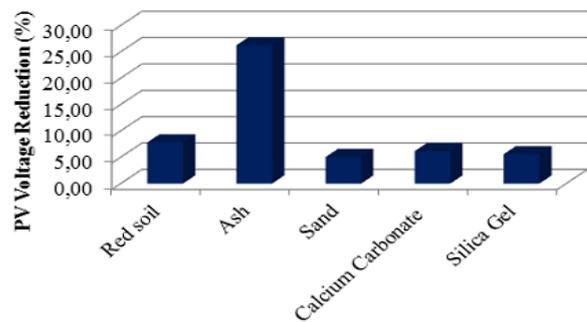


Fig.4 Réduction du rendement en tension selon le type poussière [2]

Les pertes produites par la poussière est basées sur les hypothèse Grains de poussière sont modélisés comme des sphères réparties de façon homogène sur la surface du panneau, Chaque sphère a un coefficient de réflexion  $R$ , Rayonnement entrant totale du Soleil ( $I_T$ ) est composé du rayonnement direct ( $I_0$ ) et le rayonnement diffuse ( $ID$ ), Nous Considérons que cette dernière vient de manière homogène dans toutes les directions et il est maintenu constant le long de la journée. Notez que l'éclairement total reçu par une cellule solaire propre est donnée par "Equation 3" [4].

$$G_{cc} = I_0 \cdot \cos\theta + ID \quad (3)$$



Pour un angle de 90° le rayonnement direct atteint sa valeur maximale.

La mesure du coefficient d'extinction (k) est effectuée pour une poussière issue de la région du Maroc comme le montre la Fig.5 [5].

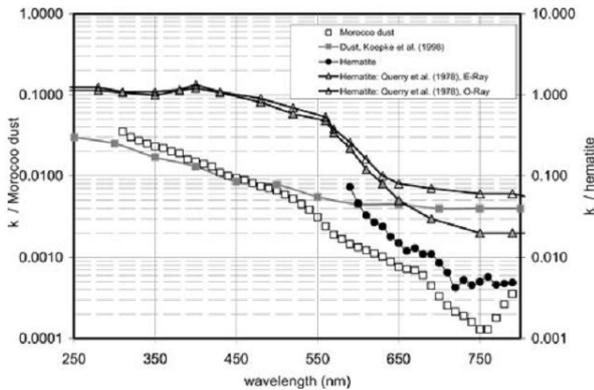


Fig.5 Coefficient d'extinction (k) de la poussière du Maroc

TABLE I. Représentation de la partie imaginaire en fonction des longueurs d'ondes

Longueur d'onde ( $\lambda$ )	Partie imaginaire (k)
300	0.029
350	0.017
400	0.011
450	0.0074
500	0.0057
550	0.0034
600	0.0024
650	0.0020
700	0.0019
750	0.0018
800	0.0019

## II. SIMULATION

Les modules photovoltaïques sont constitués d'une plaque en verre dure et transparent qui représente l'interface entre l'air et couche active de la structure, généralement d'une épaisseur de 3 mm, les modules, utilisant, un verre d'une faible teneur en fer cela pour ; Réduire la teneur en fer d'un

verre permet d'améliorer efficacement la transmission de la lumière et le rendre moins absorbant aux rayonnements solaires, Dans cette simulation nous avons élaboré un système à trois couches (Air-poussière-verre) empilées l'une sur l'autre comme le montre la Fig.6

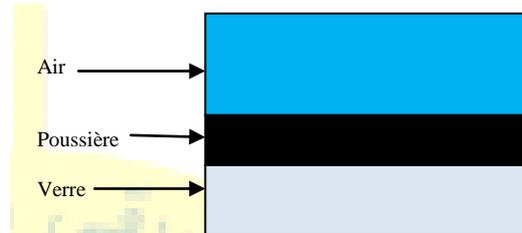


Fig.6 Représentation de l'empilement des couches

Avec les propriétés optiques bien spécifiques pour chaque couche, l'absorption de la lumière peut être décrite par un développement en série de suivant loi Lambert-Beers [6], l'effet d'interférence des ondes électromagnétique lors de la propagation et réflexions due aux différentes interfaces à l'intérieur des couches font appel aux équations de Maxwell ainsi les équations de Fresnel qui résultent sont une pierre angulaire pour une description mathématique du processus, cependant une relation de récurrence nous permettra de calculer les coefficients de Fresnel à travers l'empilement des couches comme le montre la Fig.7 une représentation schématique et une modélisation optique du phénomène de transmission et de réflexion.

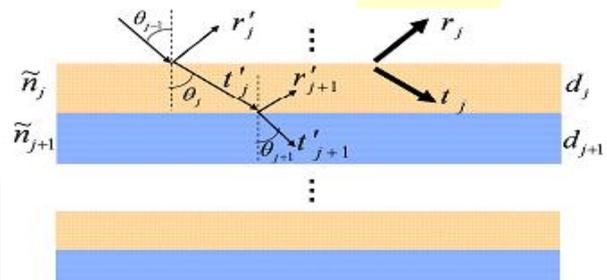


Fig.7 Représentation d'une structure multicouche

## III. MODELISATION OPTIQUE

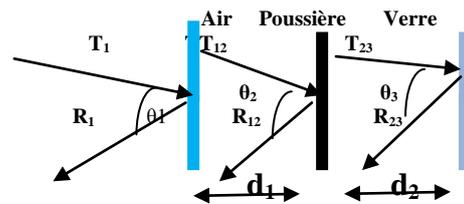


Fig.8 Modélisation optique de la structure multicouche



**Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables**  
**The 3<sup>rd</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



À chaque interface, l'amplitude  $R_j$ , coefficient de réflexion et le coefficient de transmission  $T_j$  de la polarisation p-et-s composants doivent satisfaire les conditions aux limites imposées par les équations de Maxwell et sont donnés comme suite :

$$R_{j-p} = \frac{n_j - 1 \cdot \cos\theta_j - n_j \cdot \cos\theta_j}{n_j - 1 \cdot \cos\theta_j + n_j \cdot \cos\theta_j} \quad (4)$$

$$R_{j-s} = \frac{n_j - 1 \cdot \cos\theta_j - 1 - n_j \cdot \cos\theta_j}{n_j - 1 \cdot \cos\theta_j - 1 + n_j \cdot \cos\theta_j} \quad (5)$$

$$T_{j-p} = \frac{2 \cdot n_j - 1 \cdot \cos\theta_j - 1}{n_j - 1 \cdot \cos\theta_j + n_j \cdot \cos\theta_j - 1} \quad (6)$$

$$T_{j-s} = \frac{2 \cdot n_j - 1 \cdot \cos(\theta_j) - 1}{n_j - 1 \cdot \cos\theta_j - 1 + n_j \cdot \cos\theta_j} \quad (7)$$

J nombre d'interface dans la structure

L'amplitude totale du coefficient de réflexion  $R$  et de transmission  $T$  pour (j interface) sont déterminés par la relation de récurrence

$$R_j = \frac{r_j + r_{j+1} \cdot \exp(-2i\delta_j)}{1 + r_j \cdot r_{j+1} \cdot \exp(-2i\delta_j)} \quad (8)$$

$$T_j = \frac{t_j - 1 \cdot t_{j+1} \cdot \exp(-2i\delta_j - 1)}{1 + r_j - 1 \cdot r_{j+1} \cdot \exp(-2i\delta_j)} \quad (9)$$

$\delta$  Déphasage entre la transmission et la réflexion de l'onde électromagnétique

Dans notre simulation une Propagation harmonique a été choisi pour décrire la progression d'une onde électromagnétique, basé sur l'équation de propagation pour l'évaluation de l'intensité du champ électrique émanant d'une onde lumineuse comme le montre "Equation 10"

$$\nabla \times (\mu r^{-1} \times E_z) - \left( \epsilon r - i \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0} \right) (k_0)^2 E_z = 0 \quad (10)$$

$\epsilon r = n^2$ ,  $k_0$  vecteur d'onde,  $\sigma$  conductivité,  $\omega$  fréquence.

### V. RESULTAT ET DISCUSSION

La solution d'une onde se propageant à travers une structure (air-poussière-verre) est évaluée et illustrée a travers le procédé de transmission et de réfraction mettant en évidence l'influence de la couche de poussière en variant l'épaisseur (d) de cette dernière,

avec  $n=1.53$  partie réel, et  $k=0.00034$ , pour la partie imaginaire de l'indice de réfraction cela pour une longueur d'onde correspondent à 500 nm avec une valeur initial du champ électrique de,  $E= 1V/m$ . En premier lieu nous allons établir une simulation pour un panneau nettoyé qui va servir de référence.

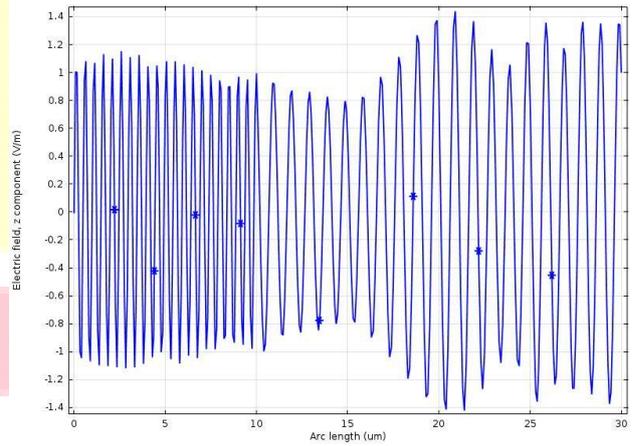


Fig.9 Résultat de simulation d'une propagation sans couche de poussière (d=0um)

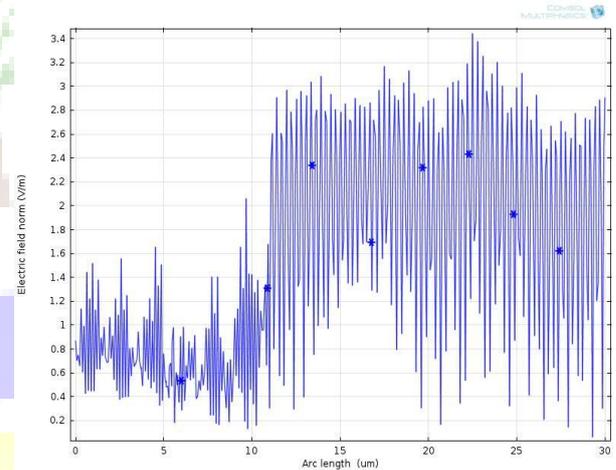


Fig.10 Résultat de simulation d'une propagation sans couche de poussière (d=1um)



**Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables**  
**The 3<sup>rd</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014

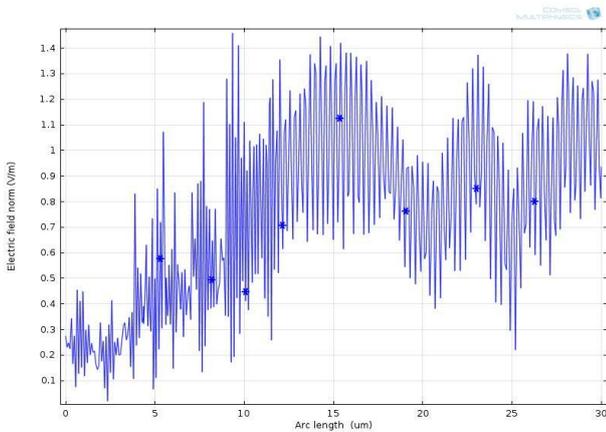


Fig.11. Résultat de simulation d'une propagation sans couche de poussière (d=2um)

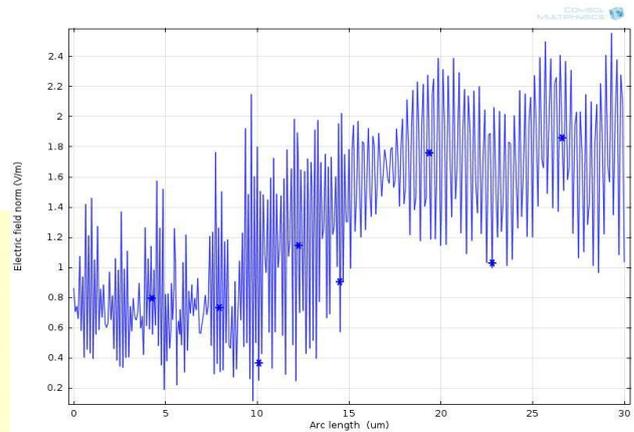


Fig.14 Résultat de simulation d'une propagation sans couche de poussière (d=5um)

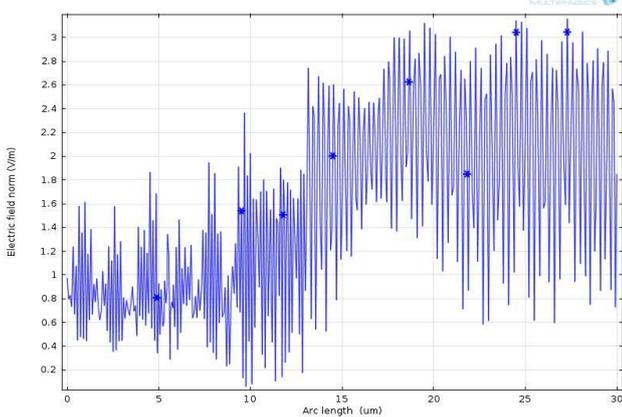


Fig.12 Résultat de simulation d'une propagation sans couche de poussière (d=3um)

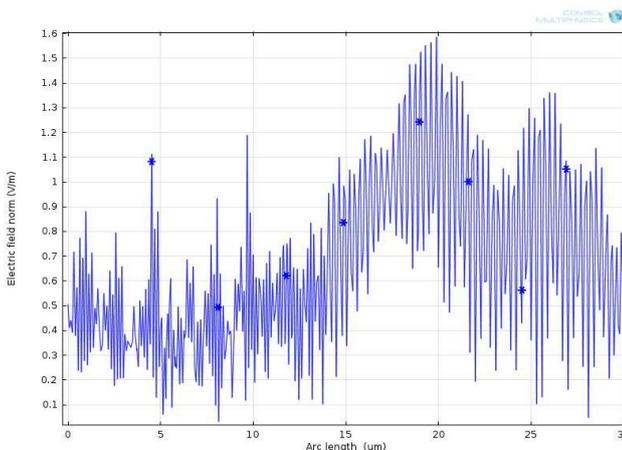


Fig.13 Résultat de simulation d'une propagation sans couche de poussière (d=4um)

## VI. CONCLUSIONS

Suivant les résultats de la simulation de l'effet de la poussière sur le rendement des modules photovoltaïques, on distingue par comparaison une uniformité les points représentés sur le graphe correspondant au panneau nettoyé aussi on constate par une interpolation, une atténuation avoisinante les 90 %, cependant, on en déduit de cette étude que l'atténuation provoquée par une poussière sur la propagation d'une onde lumineuse obéit à une loi exponentielle que l'on peut représenté par "Equation 11"

$$F(x) = \exp(-x) \quad (11)$$

(x) représente l'épaisseur de la poussière, dont pour, x=0 le rendement peut être maximal. Alors le pourcentage d'atténuation est de la forme :

$$(\%) = \frac{\exp(0) - \exp(-x)}{\exp(-x)} \quad (12)$$

Cependant cette atténuation peut être quantifiée d'une manière plus précise par l'introduction d'une autre variable (y), qui représente les différents facteurs qui influent sur le dépôt de la poussière "Equation 13" peut être représenté comme suite :

$$F(x,y) = \exp[-(x+y)] \quad (13)$$

(y) divers facteurs influent le dépôt de poussière comme, angle d'inclinaison et orientation des modules, type de verre utilisé, vitesse et sens du vent, température et le type de poussière.



**Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables**  
**The 3<sup>rd</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014**



REFERENCES

- [1] M. Mani, R. Pillai "Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendation" *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp 3124–3131, July.2010.
- [2] H. A Kazem et al." Effect of Dust Deposition on the Performance of Multi-Crystalline Photovoltaic Modules Based on Experimental Measurements", *international journal of renewable energy research* , Vol.3,Oct. 2013.
- [3] E.Boykiw, "he Effect of Settling Dust in the Arava Valley on the Performance of Solar Photovoltaic Panels", E.Boykiw thesis, meadville environmental science department, allegheny college , Pennsylvania , April.2011.
- [4] J. Zorrilla-Casanova, M. Piliouline, J. Carretero, P. Bernaola P. Carpena, L. Mora-López, and M. Sidrach-de-Cardona , " Analysis of dust losses in photovoltaic modules", word Renewable Energy congress , 2011, Sweden p 2990.
- [5] T. Muller , A. Schladitz, A. Massling , N. Kaaden K. Kandler , and A. Wiedensohler, " Spectral absorption coefficients and imaginary parts of refractive indices of Saharan dust during samum-1", *Tellus* , pp 79–95, Sept. 2008.
- [6] M.Y. Tan, J.T. Zhu, H. C. Wang, Z.S. Wang, R. Chen, and M. Watanabe, " Design of transmission multilayer polarizer for soft X-ray using a merit function " *Optical expression* , vol.17 Fab.2009.