



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



# Influence des angles d'attaques du vent sur un héliostat installé dans le Sud Algérien

H.Merarda<sup>1\*</sup>, M.Aksas<sup>2</sup>, A.Gama<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algérie

\* hmerarda@gmail.com

<sup>2</sup>Laboratoire de Physique Énergétique Appliquée, département de Physique, Faculté des Sciences, Université de Batna, Batna, Algérie

**Résumé**—Les héliostats sont des miroirs positionnés sur les pylônes autour d'une tour dans les centrales solaires à concentration, permettant de réfléchir les rayons du soleil au sommet de la tour, durant la journée tout au long de l'année.

Dans ce présent papier, on a utilisé les données météorologiques du vent (vitesse et direction) de la région de Ghardaïa pour simuler numériquement le comportement d'un héliostat exposé à un flux de vent avec un profil de vitesse parabolique sur différentes orientations d'héliostat (élévation, rotation azimut).

Pour la conception mécanique de l'héliostat et la simulation des effets du vent, nous avons utilisé le logiciel SolidWorks. Les résultats obtenus montrent l'influence de l'angle d'attaque du vent sur les charges (pressions, forces et moments) sur l'héliostat, cette étude nous permet de proposer un héliostat adéquat au climat de Sud algérien.

**Mots-clés**— Héliostat, centrale solaire à tour, Solidworks, simulation des charges du vent.

## I. INTRODUCTION

La production d'électricité d'origine solaire se fait par plusieurs technologies telles que les concentrateurs solaires. Les centrales à tours sont composées de champ solaire (héliostats) positionnés autour d'une tour. Les héliostats sont de grands miroirs permettant de concentrer dans un point les rayons du soleil au sommet de la tour durant la journée. Ces dispositifs ont un rôle très important dans le fonctionnement d'une centrale solaire à tour. Dans ce contexte, plusieurs travaux ont

été effectués sur ce genre de centrales spécialement sur le fonctionnement des héliostats.

Zang et al [1], ont caractérisé leur héliostat constituées de miroirs de forme hexagonale occupant une surface de 100 m<sup>2</sup> par une étude expérimentale des charges de vent. Bo Gonget et al [2] ont effectués une étude de la pression dynamique du vent qui est distribuée sur les miroirs de leur héliostat pour des différentes configurations. Zhiyong et al [3] ont étudié expérimentalement et numériquement l'effet de l'écart entre les facettes des miroirs sur les charges du vent.

Le présent travail consiste à étudier théoriquement les charges du vent exercées sur un héliostat conçu par le logiciel de Commande Assistée par Ordinateur (CAO) SolidWorks.

## II. CONCEPTION MECANIQUE DE L'HELIOSTAT

L'héliostat possède deux mouvements de rotation, le premier est le mouvement de rotation azimut effectué par le pylône qui permet aux miroirs de suivre le soleil horizontalement, et le deuxième mouvement de rotation c'est l'élévation des miroirs pour suivre le soleil verticalement, voir Fig. 1.

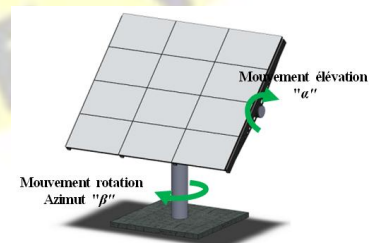


Fig.1 Différents mouvements de l'héliostat.



**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



La surface totale de l'héliostat est de 11,70 m<sup>2</sup>. La distance entre le sol et l'axe d'élévation est la hauteur du pylône H qui est égale à 2,47 m. Le pylône est un tube vertical d'un diamètre extérieur de 0,32 m encastré au sol.

Le schéma cinématique de l'héliostat est présenté dans la fig.2. Où le mouvement d'azimut est présenté par la liaison pivot d'élévation (O<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>) et le mouvement d'élévation est présenté par la liaison pivot d'élévation (O<sub>2</sub>, z<sub>2</sub>).

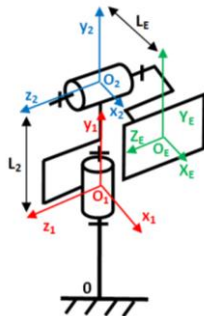


Fig.2 Schéma cinématique de l'héliostat.

La distance entre les axes (z<sub>1</sub>) et (z<sub>2</sub>) le long de l'axe (y<sub>1</sub>) présenté par le paramètre L<sub>2</sub> et entre les axes (y<sub>2</sub>) et (y<sub>E</sub>) le long de l'axe (x<sub>2</sub>) présenté par le paramètre L<sub>E</sub>

### III. SIMULATION DES CHARGES DU VENT

La simulation des charges du vent sur l'héliostat a été effectuée à l'aide du module *flow simulation* du logiciel de *SolidWorks*. Les tests ont été effectués avec différentes valeurs d'élévation "α" et de rotation azimut "β" comme présenté dans le tableau I.

TABLEAU I. LES DIFFÉRENTES VALEUR D'ORIENTATIONS DE L'HELIOSTAT

	α [°]	β [°]
Cas 1	0	0
Cas 2	0	15
Cas 3	0	30
Cas 4	0	45
Cas 5	0	60
Cas 6	15	0
Cas 7	30	0
Cas 8	45	0
Cas 9	60	0
Cas 10	15	15
Cas 11	30	30
Cas 12	45	45
Cas 13	60	60

#### A. Vitesse du vent

L'héliostat est conçu pour la zone de Ghardaïa. Pour ce contexte nous avons pris les mesures des vitesses du vent horaire à 10 m de hauteur durant une année. Après l'analyse des données obtenues nous avons réalisé le diagramme montré dans la figure "Fig.2" qui présente l'évolution temporelle de la vitesse du vent d'une journée type le 24/01/2013 qui porte

les vitesses max et moyenne les plus grandes par rapport aux autres jours de l'année.

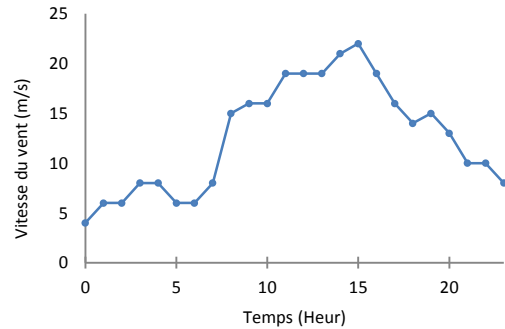


Fig.2. Evolution temporelle de la vitesse du vent à 10 m de hauteur.

Les vitesses du vent à différentes hauteurs ont été calculées par l'équation. 1 qui représente l'extrapolation verticale de la vitesse [2, 4, 5] et présentés dans la Fig. 3.

$$v(y) = v_{ref} \cdot \left( \frac{y}{y_{ref}} \right)^a \quad (1)$$

Le paramètre a est un exposant en fonction à la rugosité du sol, h<sub>m</sub> est la distance entre le sol et l'axe x du miroir en mètre, v(y) est la vitesse du vent à la hauteur y en mètre/seconde.

Pour tracer le profil de la vitesse du vent qui est présenté dans la Fig. 3, il faut avoir une vitesse v<sub>ref</sub> et une hauteur y<sub>ref</sub> de référence. En utilisant les données de mesure de la vitesse du vent à 10 m de hauteur durant une année, nous avons déduit que la valeur de la vitesse la plus grande est de 22 m/s.

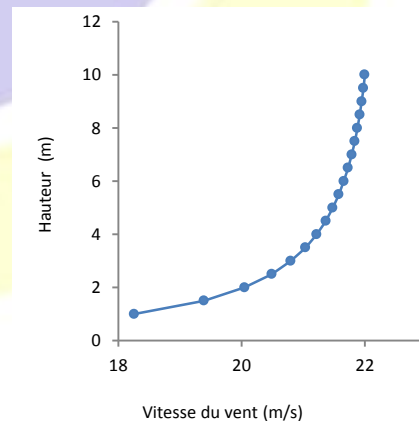


Fig.3. Profil du vent simulé.



**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,  
Ghardaia - Algérie 13 et 14 Octobre 2014**



**B. Charges du vent et leur centre géométrique**

La rigidité et la stabilité de l'héliostat minimise les risques de défaillance du système, le coût de maintenance sera forcément moins cher, et le système fonctionne avec une bonne efficacité.

La détermination de ces charges est faite par le module de simulation utilisé dans *SolidWorks*, il suffit de faire une conception mécanique de l'héliostat et d'appliquer les paramètres de flux du vent voulu, comme la vitesse, la densité et la température.

Les résultats de ce module de simulation sont la distribution des pressions du vent sur toute la surface des miroirs, la force moyenne et le moment produit par cette force par rapport au repère du sol ( $o_0, x_0, y_0, z_0$ ). La connaissance des moments dans les repères ( $o_1, x_1, y_1, z_1$ ) et ( $o_2, x_2, y_2, z_2$ ) est aussi nécessaire pour mieux comprendre le comportement de notre héliostat. Ces moments sont calculés par les équations 2 et 3.

$$\begin{bmatrix} F_{x/L1} \\ F_{y/L1} \\ F_{z/L1} \\ M_{x/L1} \\ M_{y/L1} \\ M_{z/L1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x * \cos\beta + F_z * \sin\beta \\ F_y \\ F_z * \cos\beta - F_x * \sin\beta \\ (L_E * \sin\alpha + y_n * \cos\alpha + L_2) * F_{z/L1} - z_n * F_{y/L1} \\ z_n * F_{x/L1} - (L_E * \cos\alpha - y_n * \sin\alpha) * F_{z/L1} \\ (L_E * C\alpha - y_n * S\alpha) * F_{y/L1} - (L_E * S\alpha + y_n * C\alpha + L_2) * F_{x/L1} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} F_{x/L2} \\ F_{y/L2} \\ F_{z/L2} \\ M_{x/L2} \\ M_{y/L2} \\ M_{z/L2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_x * \cos\alpha * \cos\beta - F_y * \sin\alpha * \cos\beta + F_z * \sin\beta \\ F_x * \sin\alpha + F_y * \cos\alpha \\ -F_x * \cos\alpha * \sin\beta + F_y * \sin\alpha * \sin\beta + F_z * \cos\beta \\ y_n * F_{z/L2} - z_n * F_{y/L2} \\ z_n * F_{x/L2} - L_E * F_{z/L2} \\ L_E * F_{y/L2} - y_n * F_{x/L2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Où :

$$C\alpha = \cos\alpha; \quad S\alpha = \sin\alpha$$

Les paramètres  $y_n$  et  $z_n$  sont les coordonnées du point d'application de la force sur le miroir au repère ( $o_E, x_E, y_E, z_E$ ).

**IV. RESULTAT ET DISCUSSION**

En analysant la trajectoire du vent on trouve que la pression augmente au niveau de la surface de l'héliostat, mais cette augmentation varie selon son orientation. Autrement dit, la variation de la pression dépend de l'angle entre le vecteur de la vitesse du vent  $\vec{v}_{vent}$  et le vecteur normal de la surface de l'héliostat  $\vec{n}_h$ . La pression est proportionnellement inverse avec l'angle, comme il est illustré dans la Fig.4 pour les positions (15°,0°), (30°,0°), (60°,0°), (0°,15°), (0°,30°), (30°,30°) et (60°,60°) de l'héliostat.

La répartition des pressions du vent sur la surface de l'héliostat n'est pas homogène ou symétrique. Elle dépend de plusieurs paramètres, comme :

- La vitesse du vent qui varie en fonction de la hauteur. (Fig. 3).
- L'inclinaison ou l'orientation de l'héliostat : Plusieurs cas de figure peuvent être observés pour ce paramètre :

Cas 2: Pour cette position le vent attaque la surface de l'héliostat (les miroirs) avec un petit angle  $\alpha=15^\circ$ , la pression exercée par le vent est très importante sur toute la surface de l'héliostat.

Cas 3 : Dans ces cas l'héliostat est incliné avec un angle  $\alpha=30^\circ$ , on voit clairement que la pression exercée par le vent est très importante sur les trois quarts inférieurs de l'héliostat.

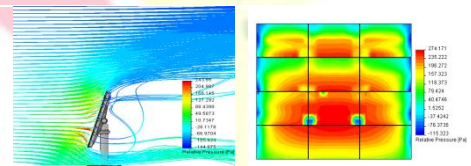
Cas 5 ( $\alpha=60^\circ, \beta=0^\circ$ ) : Dans ces cas l'héliostat est incliné, on voit clairement que la pression est très importante sur la moitié inférieure de l'héliostat.

Cas 6 ( $\alpha=0^\circ, \beta=15^\circ$ ) et Cas 7 ( $\alpha=0^\circ, \beta=30^\circ$ ) : Dans ces cas de rotation, l'héliostat tourne autour de l'axe d'azimut, la pression est concentrée dans la partie gauche supérieure.

Cas 11 ( $\alpha=30^\circ, \beta=30^\circ$ ) et Cas 13 ( $\alpha=60^\circ, \beta=60^\circ$ ) : La pression est relativement importante sur le côté gauche de l'héliostat, c.-à-d. la pression varie en fonction de la direction de flux du vent.

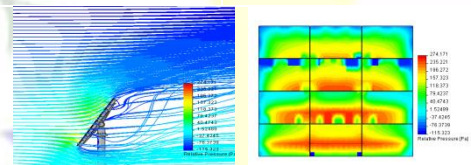
**Cas 2 :**

$\alpha = 15^\circ$   
 $\beta = 0^\circ$



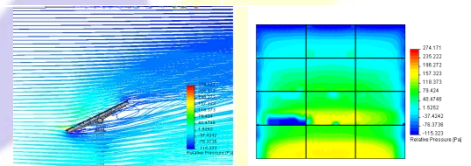
**Cas 3 :**

$\alpha = 30^\circ$   
 $\beta = 0^\circ$



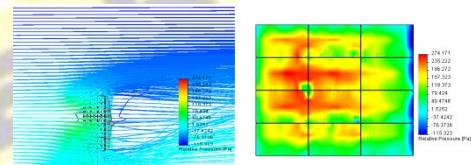
**Cas 5 :**

$\alpha = 60^\circ$   
 $\beta = 0^\circ$



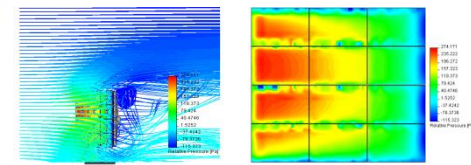
**Cas 6 :**

$\alpha = 0^\circ$   
 $\beta = 15^\circ$



**Cas 7 :**

$\alpha = 0^\circ$   
 $\beta = 30^\circ$





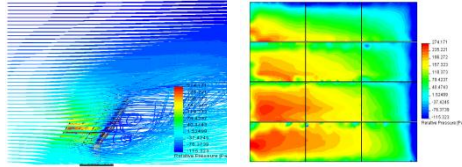
**Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables**  
**The 3<sup>rd</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies**

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



**Cas 11 :**

$\alpha = 30^\circ$   
 $\beta = 30^\circ$



**Cas 13 :**

$\alpha = 60^\circ$   
 $\beta = 60^\circ$

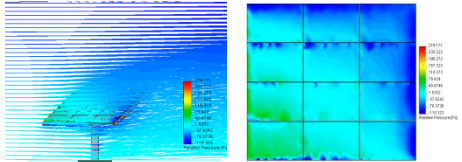


Fig.4. Répartition des pressions sur plusieurs positions d'un héliostat.

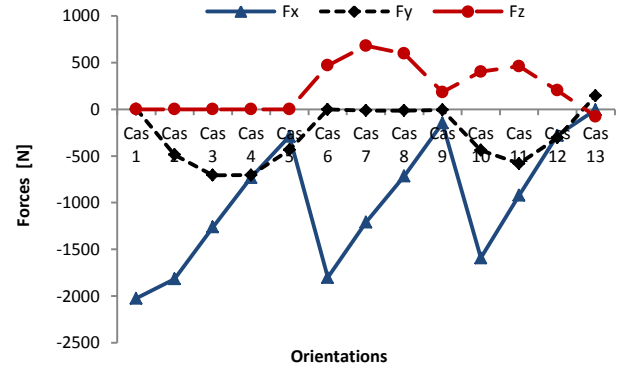


Fig.5. Composants de la force du vent pour les différentes orientations.

Les résultats de calcul des centres géométriques des forces exercées sur la surface de l'héliostat sont montrés dans le tableau II. Les valeurs numériques de ce tableau nous confirment que la concentration des forces sur les miroirs dépend des angles de l'inclinaison de l'héliostat.

TABLEAU II. CENTRES GEOMETRIQUES DES FORCES POUR DEFERENTES ORIENTATIONS

	$z_n$ [mm]	$y_n$ [mm]
Cas 1	0,001	0,059
Cas 2	0,003	-0,131
Cas 3	0,001	-0,370
Cas 4	-0,003	-0,637
Cas 5	0,004	-0,980
Cas 6	0,247	0,064
Cas 7	0,577	0,073
Cas 8	1,186	-0,005
Cas 9	3,220	-0,064
Cas 10	0,218	-0,131
Cas 11	0,653	-0,385
Cas 12	1,562	-0,976
Cas 13	1,218	1,041

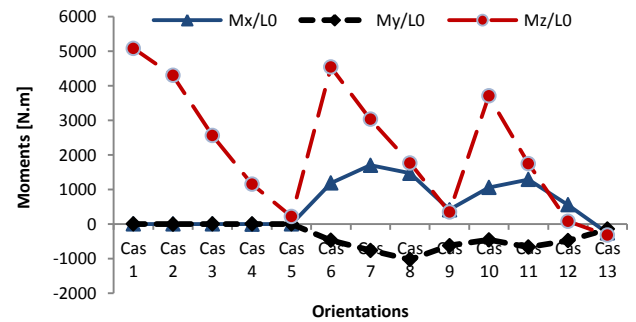


Fig.6 Composants du moment fléchissant du pylône pour les différentes orientations.

La connaissance des valeurs des moments  $M_{y/L1}$  et  $M_{z/L2}$  dans différentes orientations de l'héliostat est très important pour caractériser les moteurs d'entraînement de mouvement de deux articulations. Selon la Fig.7 les cas d'orientation les plus défavorables sont le cas 7 et le cas 11 pour l'articulation 1 et le cas 3 pour l'articulation 2. C'est à dire ce sont les cas où les moteurs de mouvement d'élévation et de mouvement d'azimut subissent les plus grandes charges.

Les valeurs des composants de la force exercée sur l'héliostat et des composants du moment fléchissant du pylône à différentes orientations (Elévation et Rotation) présentées par respectivement dans Fig. 5 et Fig. 6. Il est clair que dans le premier cas, l'héliostat subit une très grande force de trainée  $F_x$  exercée par le vent et un très grand moment  $M_{x0}$  produit par cette force de trainée. On peut dire que c'est le cas le plus défavorable où il faut baser pour le dimensionnement et le calcul des performances du pylône de notre héliostat.

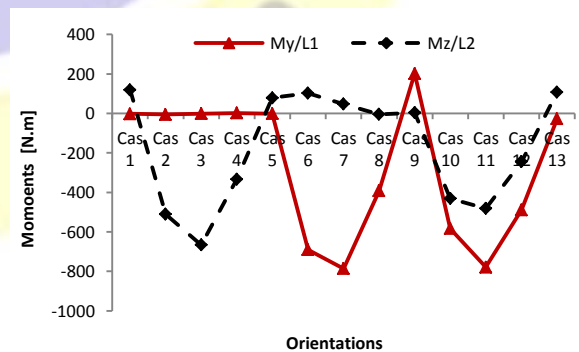


Fig.7. Moments des articulations 1 et 2 pour les différentes orientations.



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



#### V. CONCLUSION

Pour la simulation de la présentation de la pression exercée sur un héliostat nous avons utilisé le module *flow simulation* intégré dans *SolidWorks*, pour plusieurs positions de l'héliostat en changeant son orientation et inclinaison.

La distribution de la pression du vent sur l'héliostat et le moment exercé sur la liaison du mouvement de l'élévation des miroirs ont été déduits. Afin d'avoir une idée sur la configuration de l'héliostat qui supporte la plus grande charge du vent et les parties qu'il faut renforcer.

Les résultats montrent que les configurations les plus défavorables sont la première où la surface du miroir est perpendiculaire au flue du vent, la troisième où l'héliostat fait un angle de rotation d'élévation égale à 30°, la septième où l'héliostat fait un angle de rotation d'azimut égale à 30° et la onzième où l'héliostat fait angles de rotation d'élévation et d'azimut égale à 30°. C'est pour ces cas qu'il faut calculer et dimensionner les différentes parties de l'héliostat, afin d'avoir une structure mécanique qui résiste au différentes contraintes exercées par le vent.

#### RÉFÉRENCES

- [1] ChunchengZang, Zhifeng Wang, Hong Liu and Yi Ruan, "Experimental wind load model for heliostats," Science Direct. Applied Energy 2012, pp.444-448.
- [2] Bo Gong, Zhifeng Wang, Zhengnong Li, ChunchengZang and Zhiyong Wu. "Fluctuating wind pressure characteristics of heliostats," ScienceDirect. Renewable Energy, 2013, pp. 307-316
- [3] Zhiyong Wu, Bo Gong, Zhifeng Wang and Zhengnong Li, "ChunchengZang. An experimental and numerical study of the gap effect on wind load on heliostat," ScienceDirect. Renewable Energy, 2010, pp.797-806
- [4] Peterka, J.A. and Derickson, R.G. "Wind load design methods for ground based heliostats and parabolic dish collectors," In: Report SAND, 1992, 92-7009, Sandia National Laboratories. Springfield.
- [5] N. Kasbadji Merzouk, Carte des Vents de l'Algérie - Résultats Préliminaires. Rev. Energ. Ren. : Valorisation 1999, pp. 209-214.
- [6] A. Pfahl, M. Buselmeier and M. Zschke. "Wind loads on heliostats and photovoltaic trackers of various aspect ratio," ScienceDirect. Solar Energy, 2011, pp. 2185-2201.