

Influence de l'angle d'inclinaison et de l'ombrage sur le rendement d'une installation photovoltaïque à Lubumbashi, R.D. Congo.

Jean-Marie Kalala M.J.-M. ^{1*}, Albert Kafutshi Y.A.¹

Paper History

Received:

May 2, 2017

Revised:

March 29, 2018

Accepted:

July 3, 2018

Published:

July 27, 2018

Keywords:

influence, spacing, seeding, performance, millet

ABSTRACT

Influence of tilt angle and shading on the efficiency of a photovoltaic plant in Lubumbashi, D.R. Congo

Photovoltaic energy seems to be a palliative solution for domestic use to the major problems of electricity supply that meets the national electricity company.

This paper deals with the photovoltaic installation on the roof of a building. The objective is to determine the optimal conditions of installation of solar panels in Lubumbashi town. The aim is to optimize the efficiency of the solar panels by determining the optimal orientation angle and to show the considerable influence of the shading on the performance of the solar panels. The optimal orientation angle of solar panels in Lubumbashi is between 10° and 25°; potential shading can lower the output up to 50%.

¹Institut Supérieur des Techniques appliquées/Lubumbashi, Section Electricité Industrielle.

* To whom correspondence should be addressed : karije@yahoo.fr

INTRODUCTION

Lubumbashi est la deuxième ville de la RD Congo. Elle est située entre 11,6647° latitude Sud et 27,4794° longitude Est. La ville, habitée par près de 3000 000 personnes occupe une superficie de 747km² où plus de 50 % de cette population vit du petit commerce (salon de coiffure, bureautique, take-away, boucherie,...) exigeant de l'énergie électrique [DIBWE, 2009]. A part le petit commerce, la ville de Lubumbashi en générale et les communes de Kampemba, Ruashi, et autres zones annexes n'ont pas de l'énergie pour le pompage de l'eau dans les puits y forés. Et cela parce que le réseau local de la SNEL n'est pas en mesure de desservir la ville en énergie électrique de qualité en quantité suffisante à des fins de consommation domestique [FEC, 2014 ; LENGE et al., 2013]. Pour satisfaire ses besoins énergétiques dont l'éclairage, le fonctionnement de machines à faible puissance, le pompage de l'eau, la population a de plus en plus recours aux énergies renouvelables dont l'énergie solaire photovoltaïque [ROYER et al., 1998]. Malheureusement, lors de la pose des panneaux solaires sur le site, certains facteurs affectant le rendement des modules solaires notamment : les conditions climatiques et atmosphériques propres au site [STOYANOV et al., 2014], l'ombrage et l'orientation des modules ne sont pas pris en compte. Afin d'optimiser le rendement des panneaux solaires dans la ville de Lubumbashi, cette étude analyse ces deux derniers facteurs.

Etant donné la forte demande énergétique non couverte à Lubumbashi, le solaire semble être une solution alternative prometteuse et imposante. La mise en place d'une installation photovoltaïque à usage domestique requiert des méthodes simples de calcul et le choix judicieux des éléments [SEMAOUI, 2004]. De plus, les performances d'une installation solaire photovoltaïque dépendent de plusieurs facteurs notamment : l'irradiation globale disponible, l'orientation des panneaux par rapport au sud, leur

inclinaison par rapport à l'horizontale, la surface disponible, la technologie employée, le système d'intégration (de montage des panneaux) et l'ombrage des obstacles apparents (cheminées, arbres, bâtiments ...). Concernant l'orientation des panneaux, elle dépend de la déclinaison du soleil qu'on calcule pour des applications pratiques par la relation

$$y = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}(j - 80)\right) \quad (1)$$

y : la déclinaison magnétique

j : le numéro de la journée à partir du premier janvier

L'angle d'inclinaison des panneaux solaires en fonction de la latitude [BRABANDERE et FRANCOY, 2011] est donné par la relation,

$$\alpha = \text{Lat} - \arcsin\left[\left(\sin 23.45^\circ\right) \sin(N * 0.985)\right] \quad (2)$$

N: nombre de jours d'équinoxe.

α : angle d'inclinaison des modules

Lat: latitude du lieu

MATERIEL ET METHODES

Materiel

Le matériel de cette étude comprend : Panneau solaire SPM-20W : 1 ; Panneaux solaires TPS105 S-80W-MONO : 2 ; Fils conducteurs en cuivre de sections de 0,5 mm², 1mm² et 1,5mm² : 2 par section ; Batterie SAKO 6-FM-80 de 80Ah, 12 V : 1 ; Batterie HP9.0-12 9Ah, 12V : 1 ; Multimètres Métrix MX 26/5000/50000 points de sensibilité $\pm 0,3\%$: 3 ; Pince ampère-métrique Métrix MX 355;2,5% L : 1 ; Luxmètre analogique Yodogawa type 3281/0,1 lux+2D : 1 ; Solarimètre amprobe solar 100, S/N : 12070380, 9V, 100 Btu/

(ft2-h) : 1 ; Rapporteur d'angle : 1 ; Boussole : 1 ; Onduleur 220V-240V/ 12V-1000W : 1 ; Ordinateur HP : 19,5V/3,3A/65W : 1 et Lampes MAX CATA 170-220V/50-60Hz 20W : 3.

Methodes

Pour déterminer le potentiel énergétique à Lubumbashi, le flux solaire a été mesuré en fonction du mois de l'année. Les valeurs horaires du flux solaire l'ont aussi été pour mettre en évidence les maxima et les minima. Pour déterminer l'orientation optimale des panneaux, nous avons d'abord calculé la déclinaison à l'aide de la relation (1). Nous avons ensuite calculé l'orientation des panneaux à l'aide de la relation (2) [AJAO et al., 2013]. La valeur obtenue devait être confirmée par les mesures avec les Solarimètres. Nous avons enfin simulé l'ombrage et étudié son effet sur le rendement des panneaux.

RESULTATS

Potentiel Energetique De La Ville De Lubumbashi.

La **figure 1** montre l'historique annuel de l'ensoleillement sur la ville de Lubumbashi en 2012 [RETSscreen PLUS, 2013]. Ces mesures montrent que l'illumination minimale est de 4,5 KWh/m². Comme l'ensoleillement pour l'électrification par système photovoltaïque est de 1 KWh/m² donc, strictement inférieur à l'illumination minimale, le potentiel énergétique solaire est énorme [ESSEQAT, 2011].

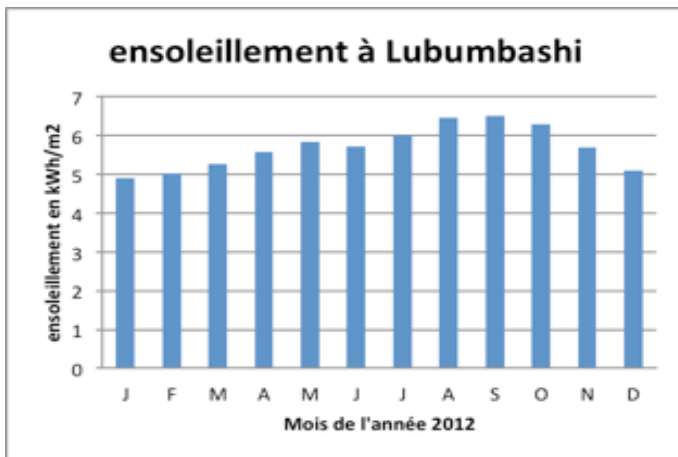


Figure 1 | Ensoleillement (flux solaire) de la ville de Lubumbashi

Pour bien discriminer les maxima sur la **figure 1**, des mesures horaires ont été effectuées par rapport aux conditions atmosphériques favorables, soit, les jours les plus ensoleillés (juillet, Août, Septembre,...) puis par rapport aux jours les moins ensoleillés (décembre, janvier, février,...). Le tableau I donne à titre d'illustration une tranche des mesures horaires d'ensoleillement sur la ville de Lubumbashi.

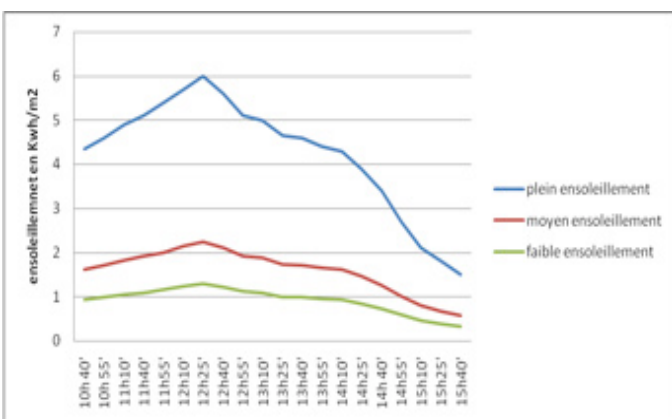


Figure 2 | Ensoleillement en fonction du moment de la journée (août 2016, Décembre 2016 et février 2017)

Tableau I | Mesures d'ensoleillement en fonction du moment de la journée

Moment de la journée	Plein	Moyen	Faible
	(Août 2016) (kWh/m ²)	(Décembre 2016) (kWh/m ²)	(Février 2017) (kWh/m ²)
10h40'	4,34	1,62	0,94
10h55'	4,6	1,72	0,99
11h10'	4,9	1,84	1,06
11h40'	5,1	1,92	1,1
11h55'	5,4	2	1,17
12h10'	5,7	2,15	1,24
12h25'	6	2,25	1,3
12h40'	5,6	2,11	1,22
12h55'	5,1	1,93	1,12
13h10'	5	1,89	1,09
13h25'	4,65	1,74	1
13h40'	4,6	1,72	0,99
13h55'	4,4	1,66	0,96
14h10'	4,3	1,62	0,94
14h25'	3,9	1,47	0,85
14h40'	3,4	1,27	0,73
14h55'	2,7	1,02	0,59
15h10'	2,1	0,81	0,47
15h25'	1,8	0,68	0,39
15h40'	1,5	0,58	0,33

Ce tableau montre que le soleil illumine plus à Lubumbashi entre 10 heures et 14 heures (ensoleillement supérieur à 60% du pic de midi).

La **figure 2** montre la courbe d'insolation en fonction du temps. Elle montre un pic à 12 heures 25 minutes.

Orientation optimale des panneaux solaires.

Le tableau II reprend la déclinaison du soleil, soit, l'angle qu'un rayon de soleil fait avec le plan de l'équateur pour chaque mois de l'année.

Tableau II : déclinaison du soleil en fonction du mois de l'année

Date	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
y (°)	+13	+7	0	-7	-13	-20	-13	-7	0	+7	+13	+20

En considérant la latitude de la ville de Lubumbashi (-11,6647°) et du nombre de jours d'équinoxe (21 jours), l'angle d'orientation optimal est de -19,46° (19,46° sud).

La **figure 3** montre l'angle orientation optimale.

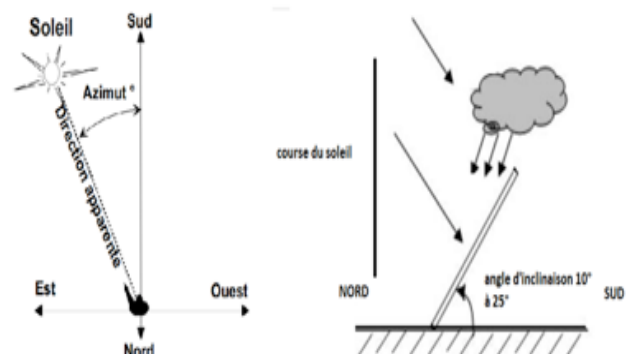


Figure 3 | Angle d'inclinaison des panneaux solaires à Lubumbashi

Le tableau III montre un extrait des mesures de la puissance générée en fonction de l'angle d'orientation du panneau solaire par rapport à l'horizontal et les hémisphères.

Tableau III | Puissance générée en fonction de l'angle d'orientation du panneau solaire par rapport à l'horizontal et les hémisphères

	0°	10°	25°	45°	60°	75°
orient sud-ouest	57,5	42,5	32,5	15	7,2	4,8
orientation sud-est	50,6	50	52,8	39,6	37,4	22
orientation nord-ouest	50,4	53	58,7	55	52,8	46,1
orientation nord-est	59	66	68	61,6	61,6	56

La **figure 4** montre les résultats pour une pose fixe en toiture de l'angle d'orientation du panneau par rapport à l'horizontal. L'angle varie entre 10° et 25° avec un optimum autour de 25°. L'orientation Nord-Est comparée à l'orientation Nord-Ouest, offre un écart de plus de 10% en rendement pour un angle optimal situé entre 10° et 25°.

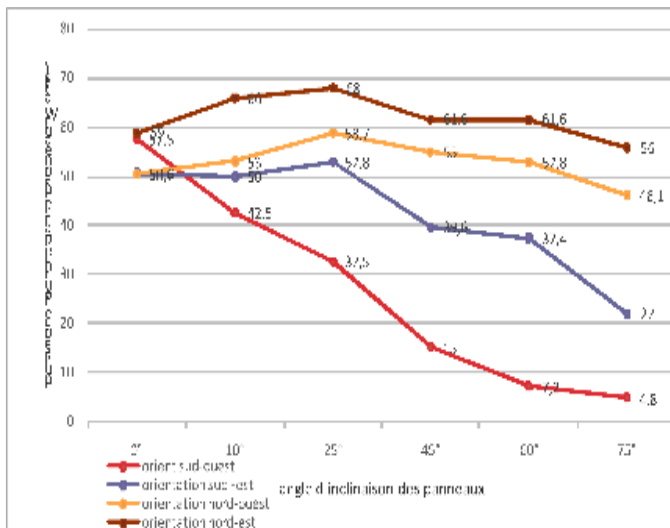


Figure 4 | Puissance du panneau solaire en fonction de l'angle d'orientation.

Ombre Des Obstacles Sur Les Panneaux

La **figure 5** montre qu'un ombrage partiel issu d'une branche de manguier sur 3 modules crée une perte en puissance de près de 50%. Donc, l'ombrage affecte sensiblement le rendement du panneau solaire. Un ombrage total ramène le rendement du panneau solaire à un seuil de 10% comparé au plein ensoleillement quel que soit le moment considéré de la journée.

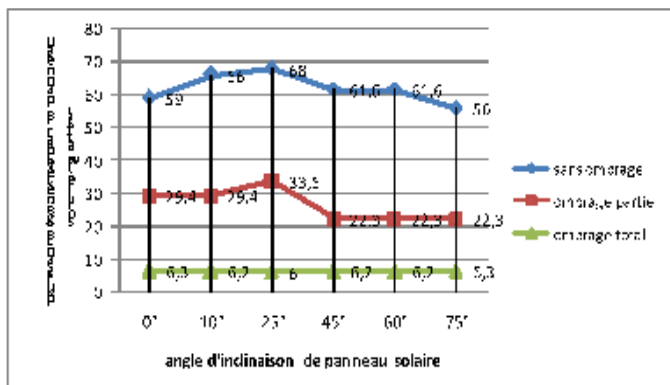


Figure 5 | Puissance générée par le panneau solaire en fonction du taux d'ombrage et de l'angle d'inclinaison

DISCUSSION .

Selon Bruxelles environnement-IBGE, pour une pose en toiture, le panneau solaire offre un rendement meilleur pour une orientation plein Sud de 35° par rapport à l'horizontal pour toute la Belgique sur l'année pour un rendement de 75 % pour une latitude du site évaluée à 50,9°. [IBGE, 2010]

ADOUANE et al. [2014] ont montré que l'angle d'inclinaison influe sur le rendement des modules solaires. Ils ont spécifié que l'angle d'inclinaison varie selon les mois en cours de l'année. Le rendement d'un module photovoltaïque est maximal lorsque les rayons arrivent perpendiculairement sur le module. Pour une inclinaison de 45°, le rendement n'est que de 70%. En hiver, le soleil est bas par rapport à l'horizontal, le module produira d'autant plus lorsque son inclinaison est de 56° et en été un angle de 9° est plus avantageux.

Pour obtenir une production maximale du toit solaire, il faut en plus éviter tout ombrage sur les panneaux durant l'ensoleillement la journée et aux différentes saisons. En effet, si on expose le module d'une manière non uniforme au flux solaire, on ne sait pas laquelle des cellules : celle de faible puissance ou la moins ombragée sera réceptrice. Le problème d'ombrage est donc crucial vu le caractère non linéaire de la relation entre l'ombrage et la perte de production. Pour un même pourcentage d'ombrage sur un module, l'impact sur le rendement peut varier entre 0 et 100% selon l'endroit où l'ombre se matérialise et la topologie du circuit des cellules au sein du module. L'ombrage sur les cellules d'un panneau solaire réduit la tension générée. Plus le nombre de cellules masquées sur un panneau solaire augmente, plus la durée de l'ombre influe sur la puissance générée. [HUSSEIN et al., 2015]. NOTTON et al. [2010] ont montré que pour une cellule ombragée à 50%, la puissance du module baisse de 25,9% par rapport à la production de la cellule et qu'elle est diminuée de 57% avec une cellule complète à l'ombre. D'après ATEK [2013], l'ombrage total horizontal d'une cellule, engendre une réduction de puissance de 17,43% qui est dissipée sous forme de chaleur et l'ombrage total vertical de la cellule provoque une perte de puissance d'environ 21,33%. Pour éviter l'ombrage, des mesures préalables de l'azimut et de la distance qui sépare l'obstacle du panneau doivent être réalisées.

CONCLUSION

Cette étude concerne l'amélioration du rendement d'une installation solaire domestique à Lubumbashi. Les faiblesses du réseau de distribution ont été présentées et la place de l'énergie solaire a été justifiée comme solution palliative aux problèmes de la distribution de l'énergie électrique à Lubumbashi.

Différentes orientations des panneaux solaires ont été réalisées en fonction du taux d'ensoleillement et des ombrages. Les résultats montrent que l'angle optimal d'orientation des panneaux solaires se situe entre 10° et 25° et qu'un ombrage partiel peut affecter le rendement jusqu'à 50%.

RÉSUMÉ

L'énergie photovoltaïque semble être une solution palliative à usage domestique face aux problèmes majeurs d'approvisionnement en courant électrique que rencontre la société nationale d'électricité.

Cet article traite de l'installation photovoltaïque en toiture d'un bâtiment. L'objectif est de déterminer les conditions optimales de pose des panneaux solaires dans la ville de Lubumbashi. Il s'agit d'optimiser le rendement des panneaux solaires en déterminant l'angle d'orientation optimal et de montrer l'influence considérable des ombrages sur le rendement des panneaux solaires. L'angle optimal d'orientation des panneaux solaires à Lubumbashi se situe entre 10° et 25° et qu'un ombrage potentiel peut affecter le rendement jusqu'à 50 %.

Mots clés

Lubumbashi, installation photovoltaïque, ombrage, orientation optimale,

rendement

REFERENCES ET NOTES

- ADOUANE M., HADDADI M, BENAMRANE N, TOUAFEK K, KHELIFA A, Tabet I [2014]. Évaluation de l'influence de l'inclinaison des modules photovoltaïques sur la production d'énergie d'un système hybride, *revue des énergies renouvelables SIENR'14* Ghardaïa 87 – 92
- AJAO K.R., AMBALI R.M., MAHMOUD M. [2013]. *Determination of the Optimal Tilt Angle for Solar Photovoltaic Panel in Ilorin, Nigeria, university of Ilorin, Ilorin-Nigeria Journal of Engineering Science and Technology Review* 6 (1): 87 -90
- Atek M. [2013]. Effets du taux d'ombrage sur les performances des cellules solaires à base de CIGS, mémoire de magistère, université Ferhat abbas, Sétif
- BRABANDERE I., FRANCOY C. [2011]. *Produire son électricité avec une installation photovoltaïque*, http://www.icway.be/index.php?get=icway_resource&mode=view&res_id=10, consulté le 10 juillet 2016.
- DIBWE D. [2009], *Les Identités urbaines en Afrique. Le cas de Lubumbashi (R.D. Congo)*. Paris, L'Harmattan, coll. Mémoires lieux de savoir, 200 p. - ISBN 978-2-296-05316-8.
- ESSEQQAT H., [2011]. Les énergies renouvelables en République Démocratique du Congo, PNUE.
- FEC, [2014]. Chambre des mines, République Démocratique du Congo, rapport annuel.
- HUSSEIN A., MIQDAM T., ALI A., KAVISH M. [2015]. *Effect of shadow on the performance of solar photovoltaic, conference Mediterranean Green Buildings & renewable*, 26-25 August, Florence, Italy
- IBGE, [2010]. *Le photovoltaïque, les facteurs influençant la production, module 4*, Bruxelles.
- LENGE G., KALONJI [2013]. *Les faits du délestage, revue mwana inchi, journal école de l'université de Lubumbashi-N°5*-semaine du 7 au 13 octobre.
- RETSCREEN PLUS [2013]. Logiciel de gestion énergétique, Ministère de ressource naturelle, Canada
- NORTON G., CALUIANU I., COLDA I., CALUIANU S. [2010]. *Influence d'un ombrage partiel sur la production électrique d'un module photovoltaïque en silicium monocristallin, revue des énergies renouvelables*, 13(1) : 49-62.
- ROYER J., DJAKO T., SCHILLER E, SADA B [1998]. Le pompage photovoltaïque, université d'Ottawa /EIER /CREPA.
- SEMAOUI [2004]. Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque, mémoire de magister, université de Ouargla, Ouargla, Algérie.
- STOYANOV L., NOTTON G., ZARKOV Z., LAZAROV V. [2014]. *Estimation de l'influence de l'orientation et de la technologie sur la productivité des modules photovoltaïques intégrés dans les bâtiments, université technique de Sofia, Bulgarie, Revista Termotehnica, an XVII n°2-6*



This work is in open access, licensed under a

Creative Commons Attribution 4.0 International License. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in the credit line; if the material is not included under the Creative Commons license, users will need to obtain permission from the license holder to reproduce the material. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>