

L'EFFET DE L'ORIENTATION ET DE L'ANGLE D'INCLINAISON DES MODULES BIPV SUR LA PRODUCTION D'ENERGIE: APPLICATION SUR BATIMENT EN MILIEU ARIDE.

Khadidja KHENCHI*, Ratiba Wided BIARA**, Hocine BELMILI***

*) Docteur, Département d'Architecture, Faculté de Technologie, Université Tahri Mohamed Bechar, Algérie.

**) Professeur, Département d'Architecture, Faculté de Technologie, Université Tahri Mohamed Bechar, Algérie.

***) Directeur de Recherche, CDER, Alger, Algérie.

RESUME

La croissance démographique grandissante, l'expansion de la construction, ne sont pas sans conséquences sur la surconsommation énergétique. Le bâtiment devient alors une prépondérance à double enjeu : le changement climatique d'une part et, la consommation énergétique d'autre. Partant, les spécialistes favorisent l'usage des énergies renouvelables dans le dessein de lutter contre le réchauffement climatique. Ils encouragent en particulier l'énergie solaire, à profusion dans les milieux arides. Le BIPV (Building Integrated Photovoltaics) s'avère un outil nécessaire dans la conception des buildings, à même de minimiser et de gérer de manière intelligente la consommation du building (Smart building).

Ainsi, la construction deviendrait un allié de l'environnement et de l'économie d'énergie. Or, l'implantation des panneaux solaires dans le paysage urbain, paraît avoir un impact visuel négatif (selon les citoyens). Ce qui justifie l'impératif d'une analyse sur l'impact environnemental. L'intégration au site, devant être le leitmotiv de la réflexion de l'énergie solaire renouvelable (électrique et thermique).

L'objectif de ce travail est de présenter les modalités et dispositifs qui concourent à l'intégration intelligente des capteurs solaires photovoltaïques en milieu aride. Il se veut d'examiner le potentiel d'utilisation d'un système photovoltaïque en façade verticale (azimut 90°) et d'identifier le rendement du BIPV dans chaque orientation et angle d'inclinaison (0°, 30°, 90°), grâce à une série de simulations adoptant le logiciel Polysun, effectué en 8 azimuts (angle d'inclinaison de 0 ° à 90°) tout au long d'année.

Mots clés: Le BIPV, Panneaux Solaires, Intégration, Smart Building, Milieu Aride.

ABSTRACT

The growing demographic growth and the expansion of construction are not without consequences on energy overconsumption. The building becomes then a preponderance with double stake: the climate change on the one hand and, the energy consumption on the other hand. Therefore, specialists favor the use of renewable energies in order to fight against global warming. In particular, they encourage solar energy, which is abundant in arid environments. The BIPV (Building Integrated Photovoltaics) is a necessary tool in the design of buildings, able to minimize and manage intelligently the consumption of the building (Smart building).

Thus, the construction would become an ally of the environment and energy saving. However, the implementation of solar panels in the urban landscape, seems to have a negative visual impact (according to citizens). This justifies the imperative of an analysis of the environmental impact. The integration to the site, must be the leitmotiv of the reflection of the renewable solar energy (electric and thermal).

The objective of this work is to present the modalities and devices that contribute to the intelligent integration of solar photovoltaic collectors in arid environments. It aims to examine the potential use of a photovoltaic system in vertical facade (azimuth 90 °) and identify the performance of BIPV in each orientation and angle of inclination (0 °, 30 °, 90 °), through a series of simulations adopting the software Polysun, carried out in 8 azimuths (angle of inclination from 0 ° to 90 °) throughout the year.

Key words: *BIPV, Solar Panels, Integration, Smart building, Arid environment.*

INTRODUCTION

La capacité d'intégrer l'énergie renouvelable dans la construction et de maintenir la durabilité environnementale, constitue l'un des principaux sujets pour les sociétés humaines de la planète. De nombreux chercheurs, tels que N. M. A. Huijts et al. (2012), ont déclaré que la qualité des ressources naturelles, du développement durable et de la technique utilisée pour désigner les aspects économiques, sociaux et les dimensions environnementales de notre survie à venir est prise en compte dans tous les pays à court et à long terme.

Selon le Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), l'utilisation du photovoltaïque (PV) a augmenté de 55%, considéré comme l'énergie la plus importante des ressources disponibles. Une étude de A. Zahedi (2006) a montré que la capacité mondiale de production d'électricité solaire photovoltaïque devrait connaître une forte augmentation d'ici 2030. D'ici 2040, l'énergie électrique renouvelable pourrait être suffisante pour couvrir la charge de base et la moitié de la consommation mondiale d'électricité. L'étude de A.

B. Stambouli, et al. (2012) révèle que la quantité d'électricité solaire produite dépasse les besoins mondiaux tels que projeté par la pyramide solaire, dans le cas du Sahara algérien avec 50% de l'espace, 10% du système efficacité énergétique et une couverture de 14% des modules PV.

L'Algérie s'intéresse à la substitution des combustibles fossiles et du gaz naturel par des ressources énergétiques renouvelables. Cependant, selon Y. Himri et al. (2008), le gouvernement doit relever le défi de promouvoir les énergies renouvelables pour minimiser l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments, car il s'agit d'un nouveau secteur dans le pays (la consommation dans les seuls bâtiments étant d'environ 20 à 60% du compte global qui est utilisé par tous les secteurs, et une moyenne d'environ 31% au niveau mondial). L'Algérie, considérée comme l'une des nations les plus consommatrices d'énergie de la planète, a évolué à plus de 41% par rapport à la consommation d'énergie de l'Union européenne. Ce niveau de consommation (O. Sotehi et al., 2015) devrait rechercher les éléments à l'origine de la consommation du secteur du bâtiment pour formuler et orienter la consommation d'énergie du secteur, stimuler l'efficacité, la conservation, la mise en œuvre des technologies et la substitution de sources d'énergie telles que les énergies renouvelables sur site.

Si les niveaux de consommation énergétique des bâtiments en Algérie sont très élevés, les demandes d'énergie pour le chauffage et le refroidissement sont davantage élevées en été et en hiver en raison de la nature du climat ; or, une grande partie de cette énergie est perdue à travers la façade de l'enveloppe extérieure des bâtiments (revêtements, ouvertures). Étant donné que les bâtiments de hauteur moyenne représentent la typologie dominante en Algérie (A. Senouci et al., 2012), le vitrage des fenêtres devrait jouer un rôle important en tant que matériau de construction, pour lequel les fenêtres (BIPV) peuvent être une alternative.

OBJECTIF DE L'ETUDE

Le but de cette étude est d'étudier le potentiel d'intégration d'un système PV sur façade verticale (azimut 90°) dans un édifice public d'une hauteur optimum, sous un climat aride (à Béchar ville), afin d'identifier le rendement du photovoltaïque (BIPV) dans chaque orientation et avec un angle d'inclinaison (0°, 30°, 90°).

REVUE DE LITTERATURE

Le photovoltaïque (PV) est dérivé de la langue grecque. Des chercheurs, tels que (N. Mahato et al., 2015) ont convenu que le mot photo indique «Lumière» et voltaïque indique «Production d'électricité». L'effet photovoltaïque a été

découvert par Alexander Becquerel en 1839, une tendance qui s'est développée dans les années suivantes (S. Sfaelou et al., 2016). Selon (P. Heinsteint et al., 2013), le PV est défini comme un composant de construction intégré appelé «BIPV»: les modules de production d'électricité sont à la fois des unités fonctionnelles du bâtiment fini et des éléments de construction de la peau du bâtiment depuis le remplacement du matériau conventionnel. La production d'énergie du BIPV peut être fusionnée avec d'autres caractéristiques des unités fonctionnelles d'un bâtiment tel que l'ombrage solaire (diminution de l'énergie de refroidissement), la protection de l'enveloppe du bâtiment, le préchauffage de l'air ou de l'eau (N. Friling et al., 2009).

Les plaques (BIPV) sont légères, faciles et rapides à installer et à mettre en place. Ajouté à cela l'intégration d'un système dans les façades des bâtiments augmente l'attrait et la distinction du bâtiment, de par sa disponibilité en différentes couleurs, matériaux et tailles (K. Khencha et al., 2019). De plus, les systèmes (BIPV) peuvent être un outil polyvalent pour offrir une esthétique, avec un design qui rénove la valeur d'un bâtiment (K. H. Solangi et al., 2011). La figure.1 : Montre l'évolution du marché du (BIPV) entre 2015 et 2025 (C. Ballif et al., 2018). Actuellement, environ 50% du marché mondial du (BIPV) est associée aux produits de toitures non vitrées (M. Tripathy et al., 2015).

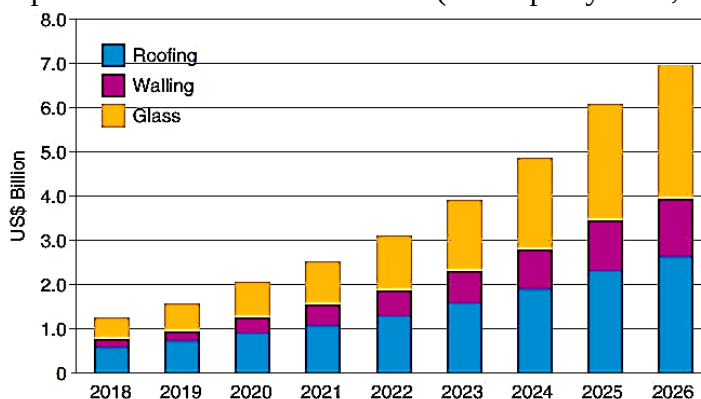


Figure 1. Projection de la capacité mondiale installée dans la perspective du marché du (BIPV).

Les emplacements des éléments photovoltaïques à intégrer dans un nouveau bâtiment sont généralement de trois aspects différents : sur façade (fenêtre vitrée, mur-rideau ou mur), sur une pente ou des toits plats, ainsi que des surfaces de pavillon courbes. Les systèmes (BIPV) sont considérés comme une partie fonctionnelle essentielle de la construction du bâtiment ou comme un système photovoltaïque intégré dans l'architecture du bâtiment. Il existe pourtant un problème de taille, celui de la standardisation des bâtiments à l'échelle mondiale. Une question qui risque de retarder la diffusion de cette technologie et son acceptation généralisée dans le marché de la construction

(Figure.2, et Figure.3). Par conséquent, les architectes se doivent de travailler sur la conception par rapport au contexte (K. Khencha et al., 2020).

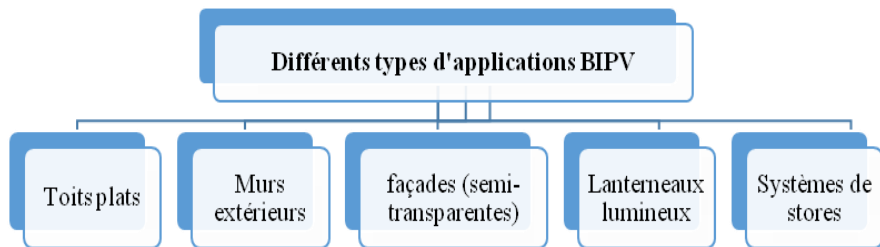


Figure 2. Les catégories principales des (BIPV). (Source. Auteurs).

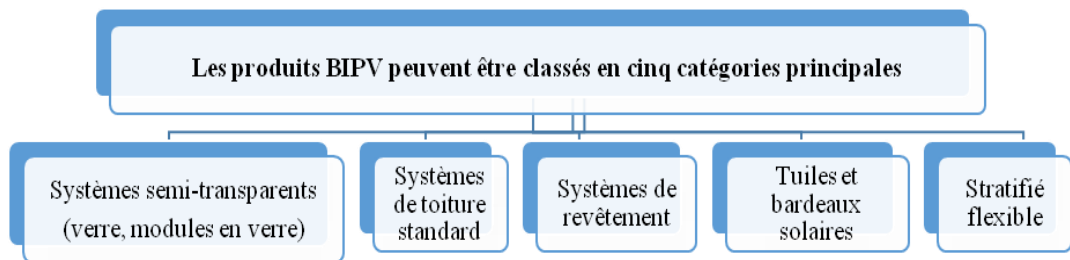


Figure 3. Différents types d'application (BIPV). (Source. Auteurs).

L'exploitation du système d'énergie renouvelable BIPV est insuffisante, mais la plupart des pays de la région semi-aride bénéficient d'une grande quantité de rayonnement solaire. L'évaluation des satellites effectuée par le Centre aérospatial allemand (DLR) a conclu que l'Algérie¹ détient l'un des potentiels solaires le plus élevé du bassin méditerranéen vu sa situation géographique avec 169440TWh/an. L'énergie quotidienne reçue sur une surface horizontale est d'environ 5 kWh dans la plupart des territoires ; 1700 kWh/m²/an pour le Nord et 2263 kWh/m²/an pour le Sud, comme indiqué dans le tableau 1. Tous les pays reçoivent plus de 200h d'ensoleillement de durée par an et, peuvent atteindre jusqu'à 3.900h au Sahara. Ainsi, le développement de l'énergie solaire est pratique en raison des conditions climatiques qui règnent en Algérie au long de l'année (K. Khencha et al., 2019).

La performance des panneaux photovoltaïques à différentes orientations et angles d'inclinaison pour la ville de Guangzhou (latitude 27°N) a été étudiée par (C. Wei et al., 2019). Selon leur rapport, la puissance moyenne mensuelle

¹ L'Algérie est le dixième plus grand pays du monde et, le plus grand pays d'Afrique d'une superficie totale de 2 381 741 km². Ce pays est séparé topographiquement en trois grandes régions qui s'étendent d'est en ouest. La région de Tell est la première (la zone côtière de la Méditerranée). Les hauts plateaux sont la deuxième avec un climat semi-aride, qui est plus à l'intérieur des terres et sont tout aussi cohérentes, jusqu'à la troisième région : le Sahara, qui couvre près de 80% du territoire algérien (M. Abdelhakeem et al., 2015).

des panneaux photovoltaïques à différents angles d'inclinaison a presque la même tendance dans le spectre, avec l'incidence moyenne mensuelle du rayonnement solaire sur eux. Cette constatation confirme que la quantité de rayonnement solaire sur une installation photovoltaïque est le principal facteur qui détermine l'efficacité du système. À partir des graphiques de la puissance de sortie en 2D des panneaux photovoltaïques, il a été conclu que la valeur optimale de la puissance de sortie annuelle peut être obtenue à partir d'un panneau photovoltaïque orienté vers le sud avec un angle d'inclinaison de 19°. Selon (K. K. Gopinathan, 1991), des conclusions sont tirées pour une inclinaison et une orientation optimale pour la collecte estivale, hivernale et annuelle. Les valeurs de rayonnement annuel totales sont calculées pour toutes les formes et orientations.

Les chercheurs en (YANG Jin-huan et al., 2002) ont étudié l'angle d'inclinaison et l'angle d'azimut optimaux pour un plus grand nombre d'endroits en Chine au moyen d'une équation mathématique spécifiquement développée sur la base du modèle anisotrope. La façade des fenêtres du BIPV est étudiée dans ce contexte, afin de réduire l'émission de CO₂ et la consommation d'énergie. Susan et I. G. N. Antaryama (2020) ont augmenté la production d'énergie en utilisant le concept de pliage à la fois sur le (BIPV) et les principes d'orientation afin de réduire l'émission de CO₂. Dans un immeuble de bureaux japonais utilisant différentes *transmittances* de la cellule solaire semi-transparente, prenant en compte les charges de refroidissement et de chauffage, la production d'énergie et l'éclairage naturel, la réduction totale de l'énergie est de 55 % (T. Miyazaki et al., 2004).

La ville de Béchar montre déjà un climat chaud et aride, provoquant une surconsommation importante d'électricité pour le système de chauffage et de refroidissement hivernal. Selon les ingénieurs, cela ne représente pas un gros problème pour eux, tant que les combustibles fossiles sont disponibles en Algérie dans une large mesure et au prix le plus bas. Mais les bâtiments doivent être conçus en fonction des besoins estivaux. Et c'est parce que le climat dans cette région est très chaud, les refroidisseurs peuvent ne pas suffire à assurer des climats intérieurs confortables. Quant à l'hiver dans cette région, il n'est pas long et ne peut excéder trois mois.

En été, Béchar se spécifie par un climat complètement différent et la température peut dépasser 45°C à l'ombre (Figure.4). En revanche, en hiver, la température peut parfois descendre en dessous de zéro degré Celsius. En plus de toutes les conditions climatiques difficiles qui ont caractérisé cette région au cours des saisons, il y a de forts vents, souvent accompagnés de poussière (vent sableux), qui peuvent atteindre des vitesses de 100 km/h.

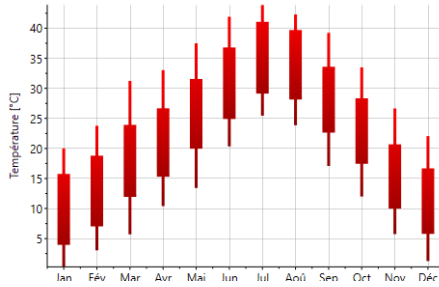


Figure 4. Température

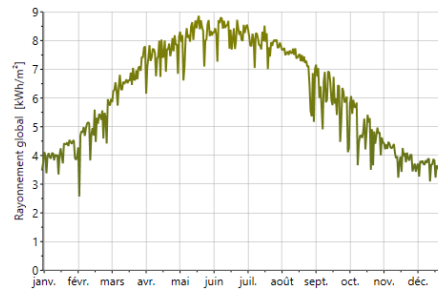


Figure 5. Radiation Global.

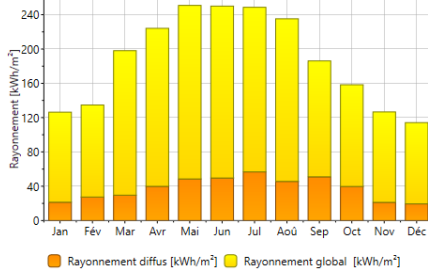


Figure 6. Radiation.

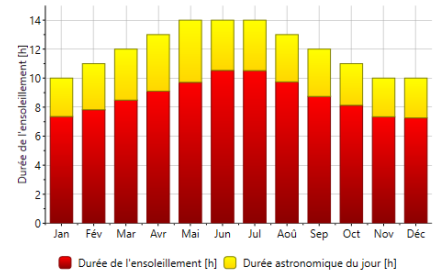


Figure 7. Durée d'ensoleillement

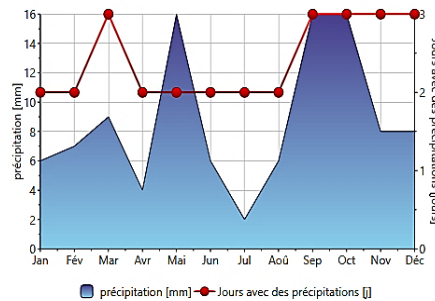


Figure 8. Précipitations.

L'analyse climatique de Bechar confirme la cruauté de la vie tout au long de l'année, et où le pays renferme une longue journée d'été. Les hivers sont relativement chauds et assez équilibrés et parfois doux, mais le point positif est qu'il se caractérise par la disponibilité d'un fort ensoleillement qui peut dépasser 3500 heures par an. Le rayonnement global dans cette région dépasse 9 kW/m² (Figure.5), le rayonnement solaire direct pouvant atteindre 250 kW/m² à l'horizontale (Figure.6). La deuxième durée d'ensoleillement est limitée à 10/14 heures par jour tout au long de l'année (Figure.7). Et l'humidité relative reste quelque peu faible (4% à 20%) avec des précipitations rares et irrégulières au cours de l'année. Elle reste faible entre 11 mm et 16 mm (voir figure.8).

MÉTHODE

Afin de saisir les caractéristiques de conception des fenêtres BIPV (Monocristallin, PV-mono 200) dans un édifice public R+2, une série de simulations a été réalisée en climat aride sous huit azimuts et un angle d'inclinaison de 0° à 90° . La simulation a été réalisée tout au long des quatre saisons en utilisant le logiciel Polysun. Ce processus a été réalisé pour évaluer la puissance de sortie optimale de $1,6 \text{ m}^2$ de fenêtres (BIPV) et, transférer ensuite les résultats au modèle 3D exprimé en pourcentage dans chaque façade, comme guide pour les futurs designers et architectes en Algérie.

RÉSULTATS

Au cours de la première étape de l'enquête, les données relatives à la production d'énergie sont basées sur les paramètres architecturaux présents dans la figure 9 et 10. Pour illustrer la relation entre la production d'énergie annuelle et l'économie de CO_2 obtenue, l'on utilise un module PV monocristallin de $1,6 \text{ m}^2$ sous un climat chaud et aride, en fonction de l'angle d'inclinaison et de l'azimut du module (Voir la figure 11). Ces analyses ont été effectuées sur la performance énergétique de fenêtres BIPV verticales en fonction de différentes orientations du module PV, comme le montre la figure 12.



(a) La façade principale.

(b) La façade latérale.

Figure 9. Vue sur la façade principale et latérale du siège DUAC. Source Auteurs.

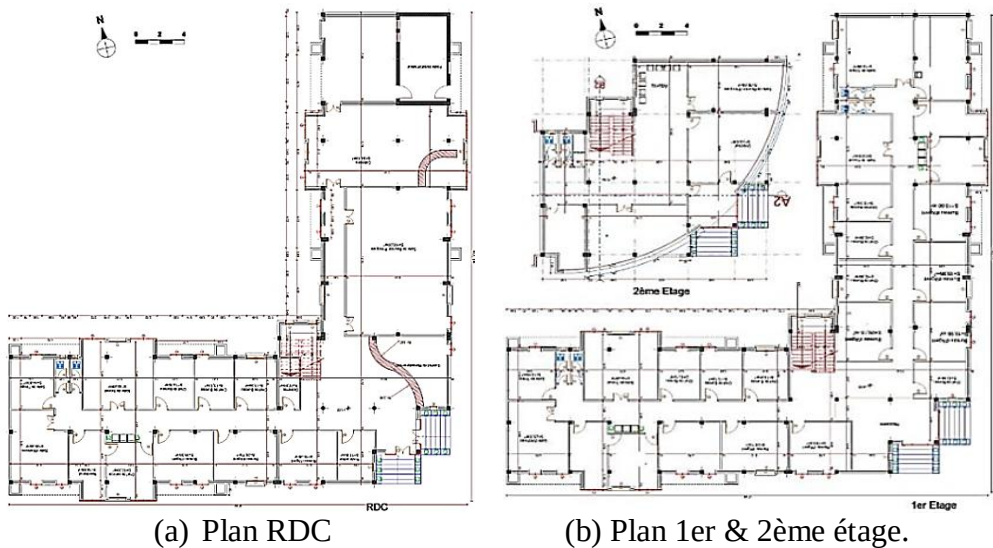
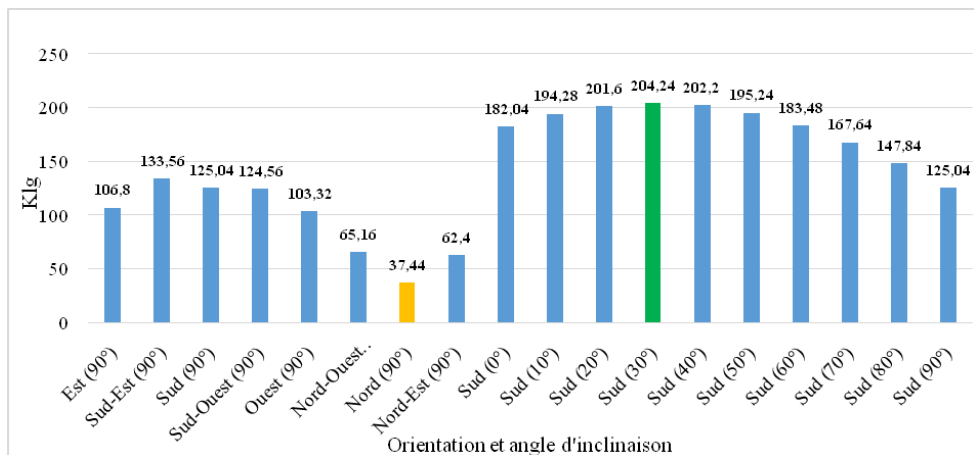


Figure 10. Plans architecturaux du siège DUAC. Source Auteurs.

Surface de la façade principale.	La surface des fenêtres	Surface totale des façades	Surface totale du toit
336m ²	302m ²	1162m ²	630m ²

(a) Les données architecturales du cas d'étude.



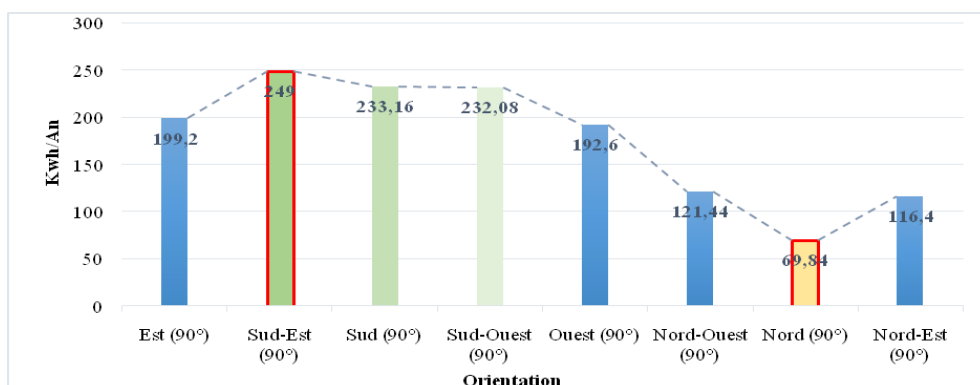
(b) Économiser du CO₂.

Figure 11. La zone de BIPV potentiel utilisé (toit, opaque, fenêtres) et les économies de CO₂ par rapport à l'orientation et l'angle d'inclinaison de la façade de la fenêtre BIPV.

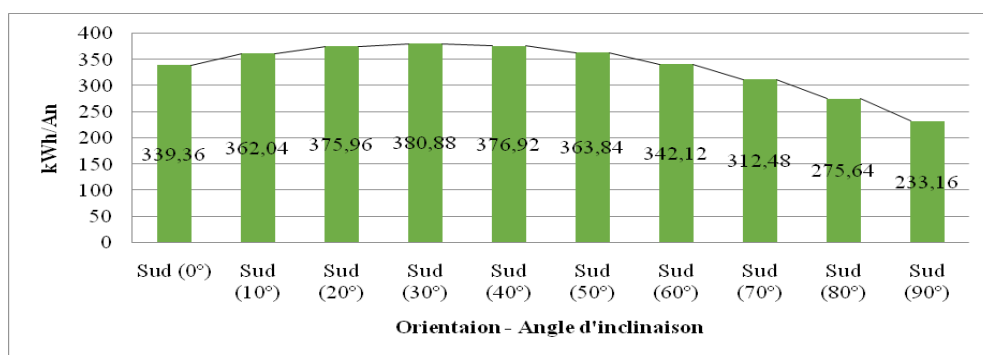
Les données annuelles montrent que la puissance la plus efficace au cours de l'année, a obtenue 249 kWh/m² en orientant le module vers le Sud-Est. Alors

que la puissance la plus faible obtenue en orientant le PV vers le nord est 4 fois plus élevée. Néanmoins, les orientations Est et Ouest se situent toutes les deux dans le niveau accepté de production d'électricité. Cela indique le rôle important de la trajectoire du soleil à chaque saison de l'année dans la conception des fenêtres PV.

En revanche, des recouvrements répétés de différents angles d'inclinaison du plan des panneaux ont été mis en œuvre pour une plage de 0° à 90° avec des incréments de 10° . La puissance de sortie a augmenté de façon spectaculaire de 90° à 30° , puis a de nouveau diminué jusqu'à la pente horizontale 0 . La puissance la plus élevée a été obtenue à l'angle 30° . Cependant, les fenêtres verticales (BIPV) ne produisent que 61,21% d'énergie par rapport à celle installée dans l'inclinaison de 30° . Ce résultat particulier est conforme aux recherches antérieures effectuées à Beyrouth T. Salem et E. Kinab en 2015.



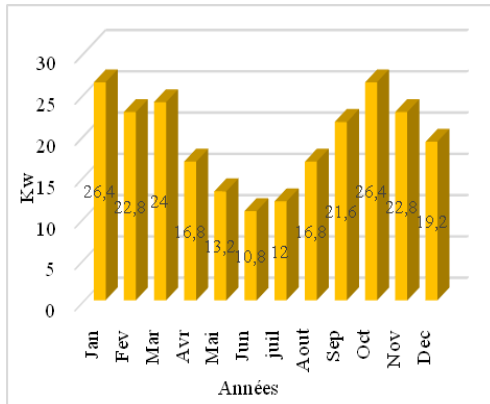
(a) Production d'énergie annuelle kWh /An des fenêtres BIPV verticales



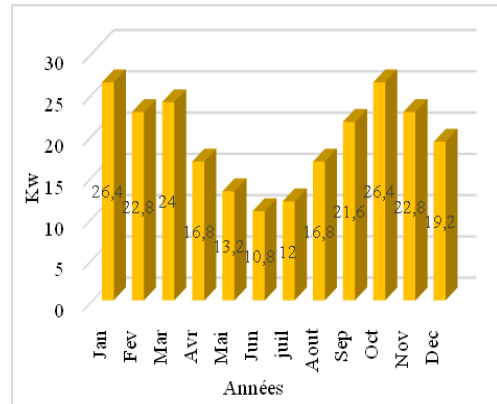
(b) Production d'énergie annuelle

Figure 12. Production d'énergie annuelle affectée par différents angles et orientations d'inclinaison.

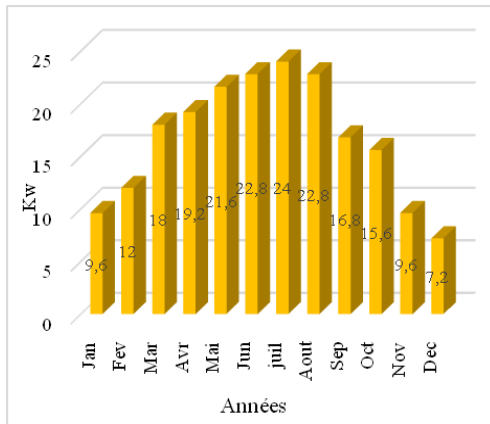
Les figures ci-dessous montrent la performance électrique mensuelle en fonction de la quantité du rayonnement solaire et des orientations (S, N, E et O) respectives du module PV installé verticalement. Le résultat montre une corrélation directe entre l'irradiation solaire et le rendement du PV dans les trois orientations (Nord, Est, Ouest), puisque la production d'électricité augmente avec l'augmentation du rayonnement solaire ; à moins que l'orientation sud ne soit due à la trajectoire du soleil en Algérie. Le soleil passe assez près du zénith à la saison estivale (Hauteur 80°) puisqu'il était aux basses latitudes à la saison hivernale, la production d'énergie la plus élevée enregistrée en juin et octobre 26.4 kWh, alors qu'un résultat approximativement similaire est obtenu dans les orientations ouest car il y a symétrie de l'énergie solaire incidente. La perte maximale de production d'énergie de la façade et à l'Ouest ne dépasse pas 14 %.



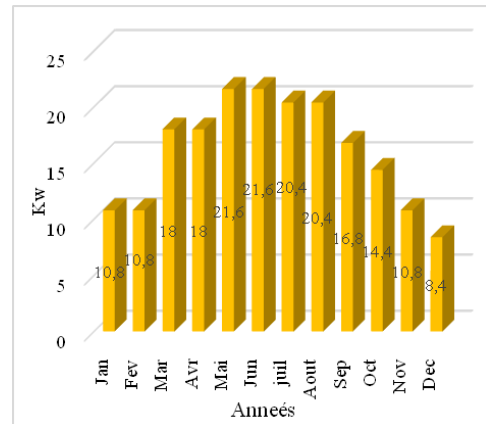
(a) Sud



(b) Nord



(c) Est



(d) Ouest

Figure 13. Puissance de sortie BIPV au niveau de l'orientation (Sud, Nord, Est, Ouest) tout au long de l'année

La différence de production d'énergie dans un bâtiment de R+2 (3 niveaux) entre la production minimale de la surface BIPV orienté vers le (Nord 90°) et la production maximale de la surface BIPV orientée vers le (Sud-Est 90°) a été jusqu'à 3,5 fois. Enfin, à travers le rapport entre la puissance la plus élevée face à la pente sud-30 qui considère 100% avec 380.88 kWh/an est la puissance des autres façades et du toit. Le résultat final est un modèle 3D pouvant être utilisé par les architectes et designers en Algérie.

L'étude de cas porte sur un immeuble de bureaux de DUAC qui contient 2 étages, la superficie du toit est de 630 m², la superficie totale des façades entières est de 1162 m², tandis que la surface de l'ouverture (fenêtres) est égale à 302 m², comme le montre la figure ci-dessus. Par conséquent, après avoir appliqué l'équation (1), il a été révélé que la quantité totale d'énergie produite par les fenêtres verticales BIPV est supérieure à celle du BIPV sur le toit, mais les performances du BIPV dans le toit sont bien meilleures dans la façade.

Selon les résultats précédents, nous pouvons identifier la potentialité d'utilisation des fenêtres BIPV dans les immeubles de hauteur optimum sous climat aride en utilisant l'équation (1) à la température standard du module PV 25°C. La quantité d'énergie générée dans toute la façade est basée sur l'équation (1) :

$$E = G_d \times A_m \times n_{\text{syst}} \quad (1)$$

Où

E = L'énergie photovoltaïque produite à 25°C en kWh.

G_d = Le rayonnement solaire global mensuel par zone sur des surfaces horizontales à Béchar-Algérie en kWh/m².

A_m = Surface PV totale en m²

n_{syst} = Rendement du système PV (0,1 comprend le rendement de l'onduleur, les pertes de câblage, etc.).

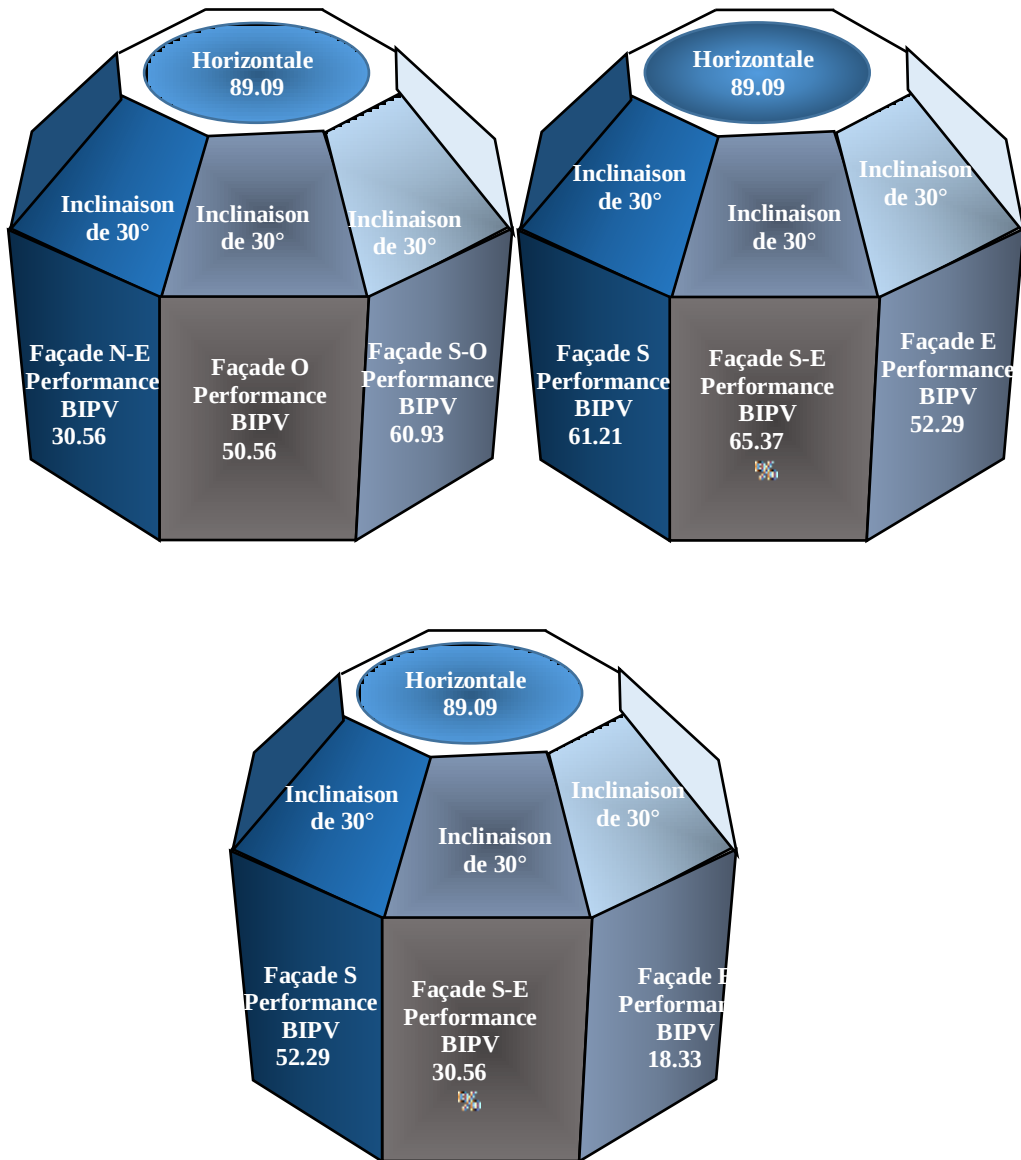


Figure 14. Le pourcentage du rendement BIPV en modèle 3D sous climat chaud et aride.

CONCLUSION

Cette recherche a évalué les performances de sortie de puissance du module photovoltaïque dans un équipement bureautique en fonction de la pente inclinée et de l'angle d'azimut, en plus d'un bref review sur l'état actuel de l'utilisation du BIPV en Algérie.

- (1) Dans l'ensemble, l'utilisation du BIPV dans le secteur du bâtiment algérien par rapport à sa potentialité, dans un climat et un environnement favorable est presque totalement inexistante. Elle s'avère quelque peu utilisée dans certains projets dispersés dans les régions sahariennes qui ne représentent qu'une petite fraction de la situation énergétique mondiale actuelle en Algérie.
- (2) L'application du BIPV dans les immeubles transparents sous un climat chaud et aride est favorable et pratique, elle augmente les économies de CO₂ et produit suffisamment d'énergie pour fournir l'énergie des bâtiments.
- (3) L'utilisation de ces modèles 3D est très bénéfique pour les futurs architectes et designers en Algérie et précisément à Béchar, voire en milieu aride, où il se doit d'encourager les ouvertures en (BIPV).

REFERENCES

- Abdelhakeem, M., Aminu, D. Y., & Kandar, M. Z. (2015). Investigating use of daylight in a typical Algerian public classroom typology. *J. Teknol*, 77(15), 21–30. <https://doi.org/10.11113/JT.V77.6525>
- Ballif, C., Perret-Aebi, L.-E., Lufkin, S., & Rey, E. (2018). Integrated thinking for photovoltaics in buildings. *Nat. Energy*, 3(6), 438–442. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0176-2>
- Friling, N. Jiménez, M. J. Bloem, H. et Madsen, H. (2009) Modelling the heat dynamics of building integrated and ventilated photovoltaic modules, *Energy Build*, vol. 41, p. 1051-1057, doi: 10.1016/j.enbuild.2009.05.018.
- Gopinathan, K. K.(1991) Solar radiation on variously oriented sloping surfaces, *Sol. Energy*, vol. 47, n° 3, p. 173-179, doi: 10.1016/0038-092X(91)90076-9.
- Heinstein, P., Ballif , C., & Perret-Aebi , L-E. (2013). Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potentials, Barriers and Myths. *DE GRUYTER*, 3, 181–194. <https://doi.org/10.1515/green-2013-0020>
- Himri, Y. Malik, A. Stambouli, A. Himri, S.et Belkacem, D. (2013) Review and use of the Algerian renewable energy for sustainable development, *Renew. Sustain. Energy*, vol. 13, p. 1584–1591, doi: 10.1016/j.rser.2008.09.007.
- Huijts, N. M. A. Molin, E. J. E.et Steg, L. (2012) Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework », *Renew. Sustain. Energy*, vol. 16, n° 1, p. 525-531, doi: 10.1016/j.rser.2011.08.018.
- Khencha, K. Biara, R. W. et Belmili, H. (2019) Techno-economic study of BIPV in typical Sahara region in Algeria, *J. Econ. Dev. Environ. People*, vol. 9, n° 1, p. 27-59, doi: 10.26458/jedep.v9i1.654.
- Khencha, K. Biara, R. W. et Belmili, H. (2020) A Solar energy, to the test of the great glass stage in contemporary Architecture in Saharan environment, *J. Mater. Eng. Struct. « JMES »*, vol. 7, n° 3, Art. n° 3.
- Mahato, N., Ansari, M., & Cho, M. H. (2015). Production of Utilizable Energy from Renewable Resources: Mechanism, Machinery and Effect on Environment, *. Advanced Materials Research*, 1116, 1–32. <https://doi.org/doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1116.1>

- Miyazaki, T. Akisawa, A. et Kashiwagi, T. (2005) Energy savings of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows, *Renew. Energy*, vol. 30, n° 3, p. 281-304, doi: 10.1016/j.renene.2004.05.010.
- Salem T. et Kinab, E. (2015) Analysis of Building-integrated Photovoltaic Systems: A Case Study of Commercial Buildings under Mediterranean Climate, *Procedia Eng.*, vol. 118, p. 538-545, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.473.
- Senouci , A. et al. (2012) *Classification of buildings of Oran city (Algeria) based on their seismic vulnerability*, doi: 10.13140/2.1.4966.8167.
- Sfaelou, S. et Lianos, P. (2016) Photoactivated Fuel Cells (PhotoFuelCells). An alternative source of renewable energy with environmental benefits, *AIMS Mater. Sci.*, vol. 3, n° 1, pp. 270-288, doi: 10.3934/materci.2016.1.270.
- Solangi, K. H. Islam, M. R. Saidur, R. Rahim, N. A. et Fayaz, H. (2011) A review on global solar energy policy, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, n° 4, p. 2149-2163, doi: 10.1016/j.rser.2011.01.007.
- Sotehi, O., Chaker, A., & Benamra, L. . (2015). Theoretical Investigation on a Building-Integrated PV/T (BiPVT) System for Electrical and Thermal Energy Saving Case Study: Integrated Solar Village of Bou Saada. *Progress in Clean Energy*, 2, 433–448. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17031-2_30
- Stambouli, A. B. Khiat, Z. Flazi, S. et Kitamura, Y. (2012) A review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues , *Renew. Sustain. Energy*, vol. 16, n° 7, p. 4445-4460. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.031>
- Susan et Antaryama, I. G. N. (2015) Optimisation of Energy Efficiency by Integrated Design of Folding Wall-BIPV and Users Behaviour in Office Building at Surabaya, *GSTF J Eng Technol* 3 (2), pp 39-48. <https://doi.org/10.7603/s40707-014-0007-1>
- Tripathy, M. et Sadhu, P. (2015) Building Integrated Photovoltaic Market trend and its Applications, *TELKOMNIKA Indones. J. Electr. Eng.*, vol. 14 (2), pp. 185-190. doi: 10.11591/telkomnika.v14i2.7338.
- Wei, C. Hui, S. et Yufang, C. (2009) Performance Evaluation of PV Arrays at Different Tilt Angles and Orientations in BIPV, in *Proceedings of ISES World Congress 2007* (Vol. I – Vol. V), Berlin, Heidelberg, p. 315-317, doi: 10.1007/978-3-540-75997-3_52.
- Yang, J-H. Mao, J-J, Chen, Z-H, (2002) Calculation of Solar Radiation on Various Oriented Tilted Surface and Optimum Tilt Angle, *journal of Shanghai Jiaotong University*, (Dept. of Information & Computing Science, Shanghai Univ. of Electric Power, Shanghai 200090, China), p. 07.
- Zahedi, A. (2006) Solar photovoltaic (PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems », *Renew. Energy*, vol. 31, n° 5, p. 711-718, doi: 10.1016/j.renene.2005.08.007.