

Etude d'un Système Photovoltaïque Hybridé avec un Groupe Diesel pour un Développement Durable

Mimi Belatel

Laboratoire d'Electrotechnique, Faculté des Sciences de la Technologie
Université des frères Mentouri, Constantine, Algérie

belatelmimi2002@yahoo.fr

Résumé— Cet article présente les résultats d'une étude effectuée pour l'installation d'une mini-centrale photovoltaïque hybridée avec un groupe diesel et des batteries de stockage. Le développement durable des régions isolées et éloignées du réseau électrique est fortement lié à la disponibilité de l'énergie qui est indispensable pour le fonctionnement des structures de base, telles que l'éclairage public, les infrastructures de l'éducation, la communication et la santé. L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque comme source d'énergie électrique est très largement adoptée pour ces régions.

Mots-clés— Energie Photovoltaïque, Développement durable.

I. INTRODUCTION

Parler de l'énergie photovoltaïque sans l'inclure dans une vision plus globale du développement durable pourrait faire perdre le sens de son utilité. Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures. Cependant, le concept du développement durable a évolué. Il doit plutôt être perçu comme une philosophie, c'est pourquoi il est difficile d'en donner une définition rigoureuse. Malgré tout, on s'accorde généralement à dire qu'il s'agit d'une manière de penser et d'agir qui doit allier le social, l'économique et l'écologie et ce à très long terme.

Le développement et l'exploitation des ressources énergétiques renouvelables et des systèmes de production décentralisée d'électricité d'origine renouvelable ont connu une forte croissance ces dernières années, d'ici une vingtaine d'années, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Il est intéressant de les exploiter sur le lien de consommation, en les transformant directement soit en chaleur, soit en électricité selon les besoins. Cette production par sources d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant le caractère aléatoire de ces sources nous impose d'établir des règles de dimensionnement et d'utilisation de ces systèmes pour les exploiter au mieux. L'augmentation du coût des énergies classiques d'une part, et la diminution de leurs ressources d'autre part, font que l'énergie photovoltaïque devient de plus en plus une solution parmi les options énergétiques prometteuses avec des avantages comme l'absence de toute pollution et la disponibilité au moins en tout point de globe terrestre. Actuellement, on assiste à un regain d'intérêt pour les

installations utilisant l'énergie solaire, surtout dans les régions ayant des conditions climatiques favorables ou encore pour les applications considérables, nous citons le pompage d'eau pour la consommation et l'irrigation en agriculture dans les sites isolés des pays en voie de développement.

En effet, pour un nombre de ces pays, il est difficile de connecter ces sites au réseau électrique national; cependant les inconvénients majeurs de cette énergie sont le prix du générateur qui reste encore élevé ainsi que le rendement énergétique relativement bas. Pour surmonter ces problèmes, deux voies sont souvent suivies:

- Augmenter le rendement énergétique en adoptant des technologies de très haut niveau lors de la fabrication des cellules photovoltaïques;
- Les techniques d'extractions de la puissance de ces ressources demandent des recherches et des développements plus approfondis visant à fiabiliser, baisser les coûts de fabrication, d'usage et de recyclage et augmenter l'efficacité énergétique [1-2].

II. MODELISATION D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

Le modèle mathématique du générateur photovoltaïque est basé sur le circuit équivalent, ce circuit est représenté sur la figure 1 par un générateur de courant, une diode et deux résistances R_s et R_{sh} .

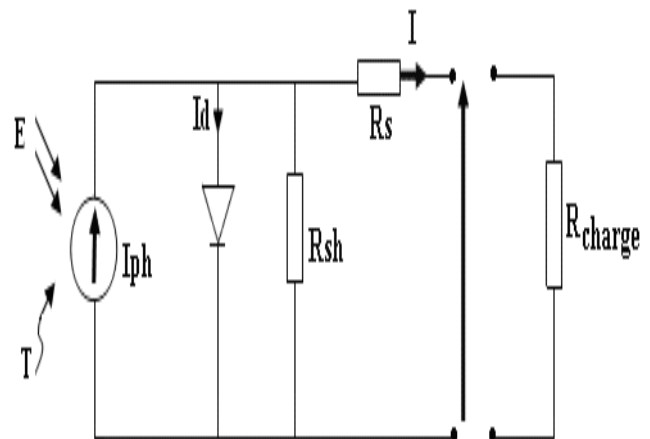


Fig. 1: Schéma électrique d'une cellule photovoltaïque

La caractéristique courant-tension d'une cellule solaire se met sous la forme mathématique suivante:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{V + R_s I}{A U T}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V + R_s I}{R_{sh}}\right) \quad (1)$$

$$I_{ph} = I_{ph}(T_1) \left[1 + K_0(T - T_1) \right] \quad (2)$$

$$I_{ph}(T) = I_{CC}(T_{nom}) \cdot \frac{E}{E_{nom}} \quad (3)$$

$$K_0 = \frac{I_{CC}(T_2) - I_{CC}(T_1)}{I_{CC}(T_1) \frac{1}{T_1 - T_1}} \quad (4)$$

$$I_s = I_s(T_1) \left(\frac{T}{T_1}\right)^{\frac{3}{A}} \exp\left(\frac{-V}{A U T \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right)}\right) \quad (5)$$

$$I_s(T_1) = \frac{I_{CC}(T_1)}{\exp\left(\frac{V_{CO}(T_1)}{A U T \frac{T_1}{T}}\right) - 1} \quad (6)$$

$$R_s = -\frac{dV}{dI_{VCO}} - \frac{1}{XV} \quad (7)$$

$$X_V = I_s(T_1) \frac{1}{A U T} \exp\left(\frac{V_{CO}(T_1)}{A U T \frac{T_1}{T}}\right) \quad (8)$$

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale notée P_{max} pour un point de fonctionnement $P_{max}(I_{max}, V_{max})$ de la courbe courant-tension (courants compris entre 0 et I_{CC} et tension comprise entre 0 et V_{CO}). Donc la puissance fournie par la cellule est donnée par le produit ($V \times I$):

$$P = V \left(I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{V}{A U T}\right) - 1 \right] \right) \quad (9)$$

Cette puissance fournie est maximale au point défini par:

$$I_{max} = I_s \frac{V_{max}}{A U T} \exp\left(\frac{V_{max}}{A U T}\right) \quad (10)$$

Le produit ($V_{max} \times I_{max}$) donne la puissance maximale qui représente 80% environ du produit ($V_{CO} \times I_{CC}$).

On appelle facteur de forme ff (*filling factor*), le rapport entre la valeur maximale de la puissance pouvant être extraite ($P_{max} = I_{max} \times V_{max}$) de la photopile sous les conditions de mesures standardisées, et le produit ($I_{CC} \times V_{CO}$) où:

$$ff = \frac{P_{max}}{V_{CO} \cdot I_{CC}} \quad (11)$$

Pour une cellule de fabrication industrielle, le facteur de forme est de l'ordre de 70%.

Le rendement est donné par le rapport de la puissance électrique maximale générée à la puissance du rayonnement solaire incident:

$$\eta = \frac{V_{max} I_{max}}{P_{solaire}} \quad (12)$$

Une première manière d'étudier la cohérence du modèle développé tout au long de ce travail est d'étudier l'allure des caractéristiques courant-tension et puissance-tension obtenues sous Matlab-Simulink [2-19]:

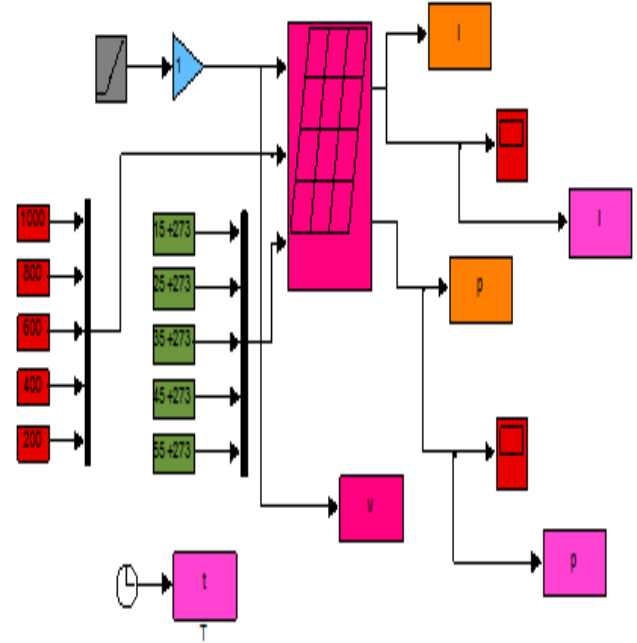


Fig. 2: Block de simulation du panneau photovoltaïque (Changement de l'éclairage et de la température)

Nous avons maintenu un éclairage constant pour différentes température. La courbe caractéristique va présenter des allures différentes selon la température. La tension à vide va diminuer avec la température, à l'inverse du courant de court-circuit. La variation de tension à vide est pratiquement compensée par la variation du courant de court-circuit.

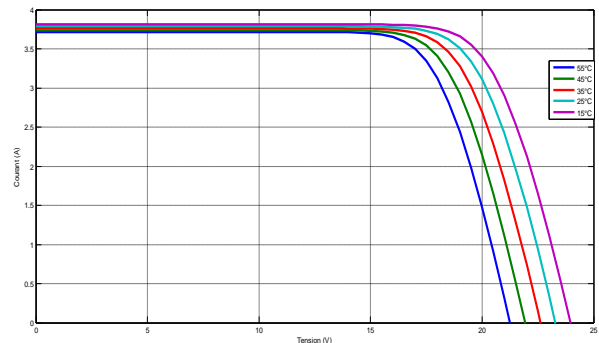


Fig. 3: Influence de la température sur la caractéristique I(V)

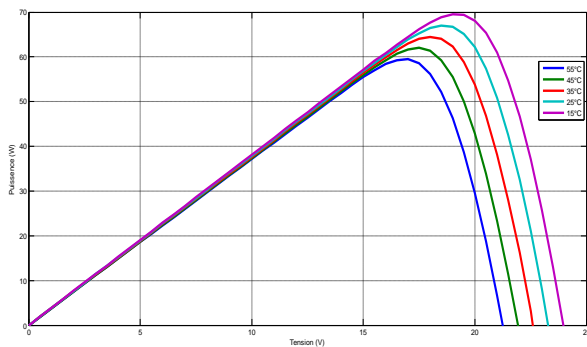


Fig. 4: Influence de la température sur la caractéristique P(V)

Par contre, lorsque nous avons maintenu une température constante à différents éclairagements, on remarque que l'accroissement du courant de court-circuit est beaucoup plus important que l'augmentation de la tension de circuit ouvert, car le courant de court-circuit (I_{sc}) est une fonction linéaire de l'éclairément et la tension du circuit ouvert (V_{oc}) est une fonction logarithmique. On remarque aussi que la puissance délivrée par un générateur PV dépend de la variation de l'éclairément.

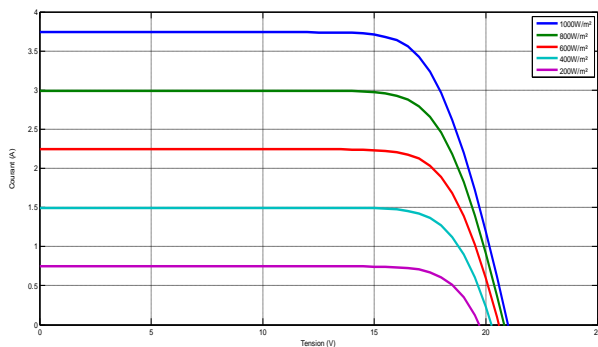


Fig. 5: Influence de l'éclairément sur la caractéristique I(V)

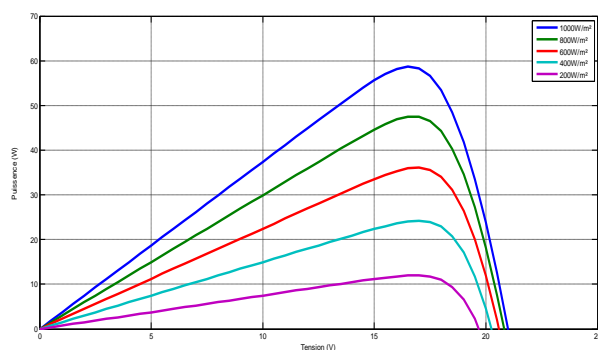


Fig. 6: Influence de l'éclairément sur la caractéristique P(V)

III. PRESENTATION DU SYTEME HYBRIDE ETUDIE

Dans la plupart des régions isolées, le générateur diesel est la source principale d'énergie électrique. Pour ces régions, le prix d'extension du réseau électrique est prohibitif et le prix du combustible augmente radialement avec l'isolement. La baisse continue des prix des générateurs basés sur l'énergie

renouvelable est la fiabilité croissante de ces systèmes ont menés à une plus grande utilisation des sources d'énergies renouvelables par la génération d'énergie électrique dans les régions isolées.

Une des propriétés qui limite l'utilisation de l'énergie renouvelable est liée à la variabilité des ressources. Les fluctuations de la charge selon les périodes annuelles ou journalières et qui ne sont pas forcément corrélées avec les ressources. Pour les régions isolées, la solution à retenir est certainement le couplage entre plusieurs sources, par exemple des éoliennes, des générateurs photovoltaïques et des générateurs diesels.

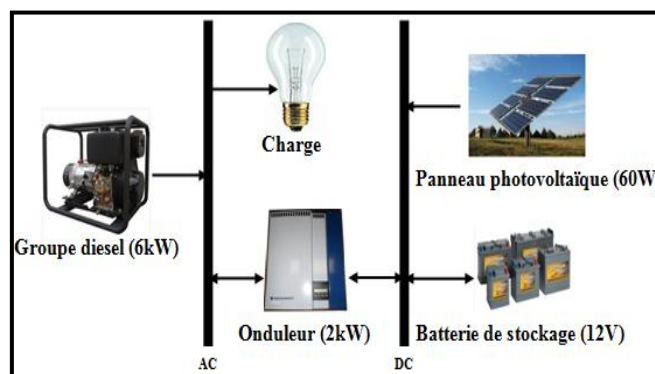


Fig. 7: Modèle étudié

L'objectif de cette étude est la préféabilité de l'utilisation du système d'énergie photovoltaïque en minimisant à la fois le coût du système, le défaut de la charge et l'émission du CO_2 en utilisant le logiciel HOMER.

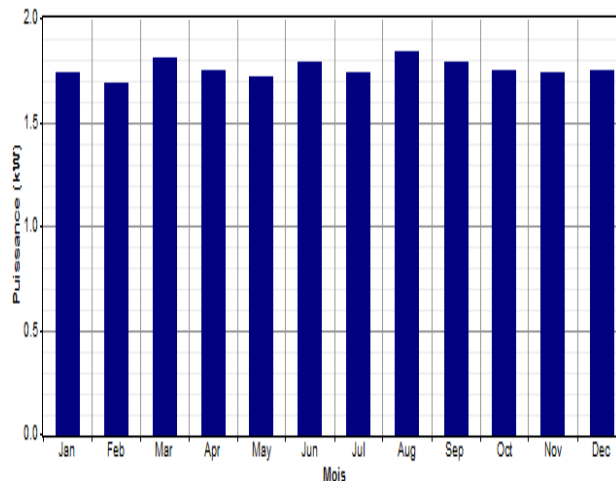


Fig. 8: Puissance photovoltaïque pour chaque mois de l'année

On remarque sur la figure 8 que la puissance atteint sa valeur de crête le mois d'Août, et pour les autres mois de l'année, la puissance fournie varie selon la variation climatique (changement d'éclairément et température pour chaque mois). Le manque de l'énergie photovoltaïque est compensé par le générateur diesel.

Les figures 9 et 10, représente respectivement la variation de l'éclairement et la puissance produite par les panneaux photovoltaïques en fonction de la charge, on remarque que ces deux grandeurs varient avec la variation de la charge pour tout les mois de l'année.

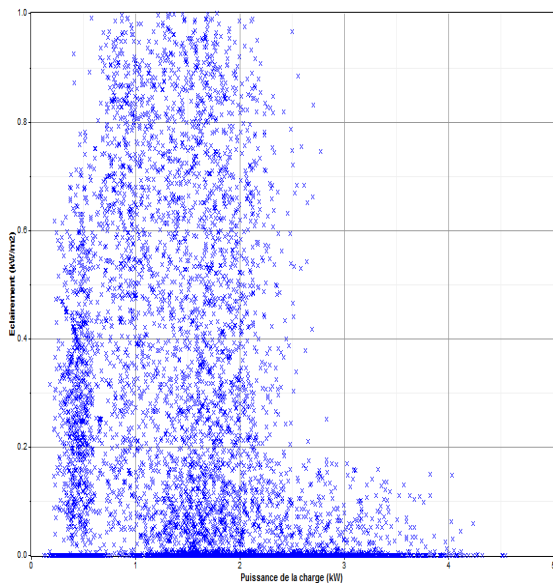


Fig. 9: Variation de l'éclairement

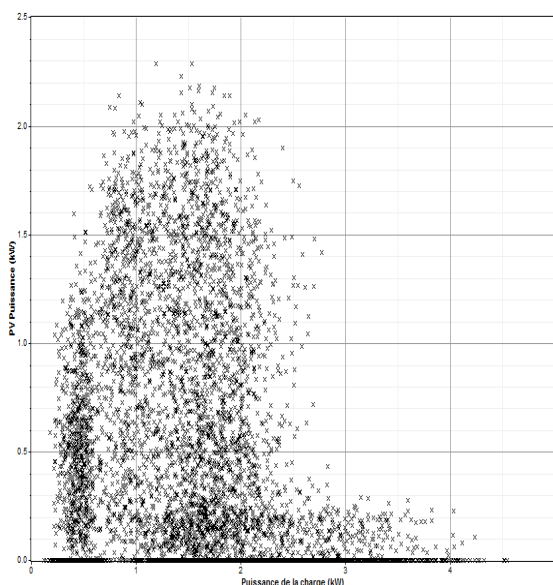


Fig. 10: Variation de la puissance photovoltaïque

À ce jour, le stockage direct de l'énergie électrique n'étant pas possible, l'électricité est convertie en énergie potentielle qui est stockée puis récupérée et retransformée pour être utilisable. En revanche, la chaleur peut être stockée directement via un matériau spécifique ou transformée, en énergie chimique par exemple. La nature du stockage est

multiple et en fonction du temps de décharge, de la puissance et de la durée requises comme représenté à la figure 11. Le stockage peut être à usage fixe ou centralisé, on parle alors de stockage stationnaire, mais il peut être aussi mobile. On différencie aussi le stockage en fonction de sa capacité (quantité de charge électrique disponible): le stockage est dit de faible capacité lorsque celle-ci est de l'ordre du kWh et de forte capacité si elle est supérieure à 10 MWh. Dans ce cas, on parle de stockage massif de l'énergie.

Les onduleurs sont des structures en pont constituées le plus souvent d'interrupteurs électroniques comme des IGBT (transistors de puissance). Dans le cas standard, par un jeu de commutation commandée de manière appropriée, le plus souvent par MLI, l'énergie électrique continue fournie est modulée afin d'obtenir un signal alternatif. On distingue les onduleurs de tension et les onduleurs de courant, en fonction de la source d'entrée continue: source de tension ou source de courant. La technologie des onduleurs de tension est la plus maîtrisée et est présente dans la plupart des systèmes industriels, dans toutes les gammes de puissance (quelques Watts à plusieurs MW). La principale caractéristique de l'onduleur PV est la recherche du meilleur point de fonctionnement du système comme représenté à la figure 12.

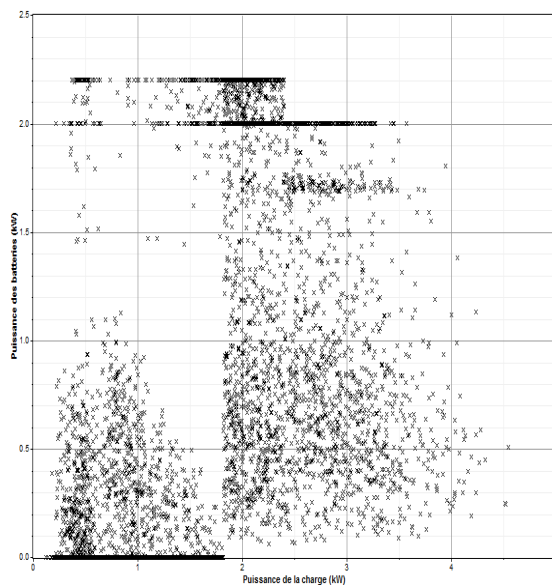


Fig. 11: Puissance des batteries

Le stockage de l'énergie concerne principalement le stockage de l'électricité et celui de la chaleur. Le stockage de l'électricité vise à répondre à quatre problématiques principales: la récupération de la production d'énergie excédentaire par rapport à la demande du moment, la fourniture d'énergie pour compenser l'insuffisance due au caractère intermittent de l'offre, la fourniture d'énergie pour alimenter un pic de demande occasionnel et la fourniture d'énergie en cas de défaillance du système électrique ou de mauvaise qualité du réseau local.

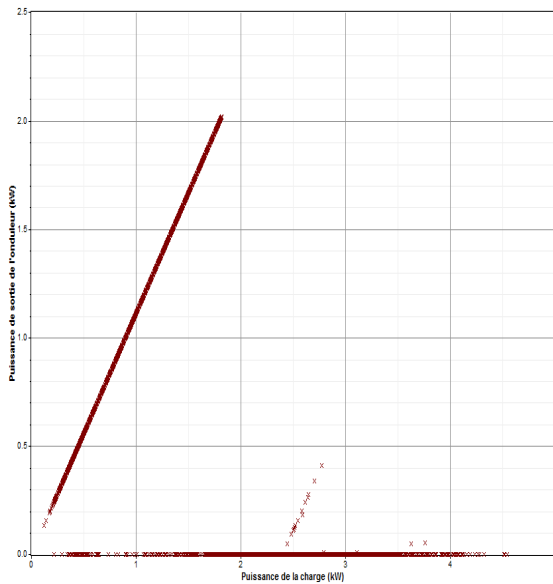


Fig. 12: Puissance de l'onduleur

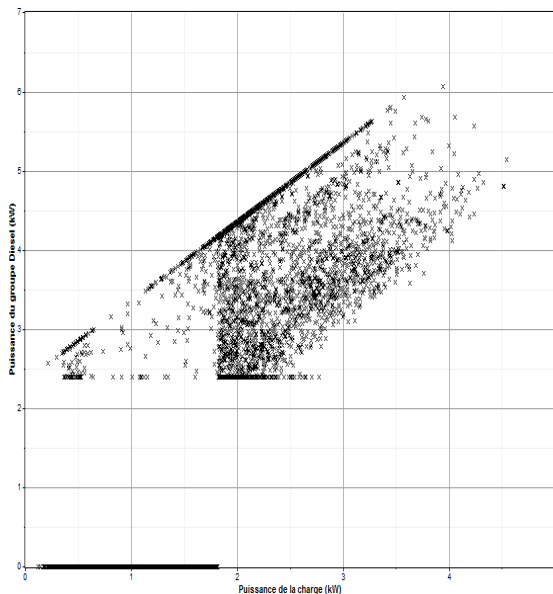


Fig. 13: Puissance du groupe Diesel

Les réseaux à courant alternatif avec diesel, tout comme ceux interconnectés fournissent pour leurs charges, deux formes d'énergies active et réactive. Dans les processus industriels et domestiques utilisant l'énergie électrique, seule l'énergie active est transformée au sein de l'outil de production en énergie mécanique, thermique, lumineuse, ...etc. L'énergie réactive est utilisée pour l'alimentation des circuits magnétiques des moteurs, des autotransformateurs, ...etc.

On remarque sur la figure 14, que théoriquement les émissions du CO₂ qui menace la prospérité de l'écosystème pour le système photovoltaïque sans groupe diesel sont nulles, contrairement lorsqu'on couple les panneaux photovoltaïques avec le groupe diesel comme représentés dans la figure 15.

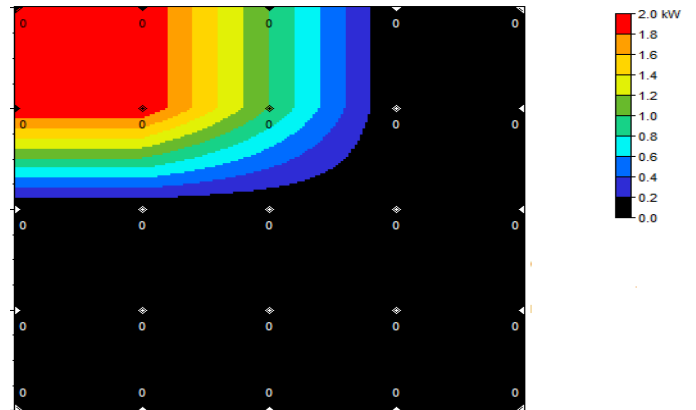


Fig. 14: Emissions du CO₂ pour le système photovoltaïque

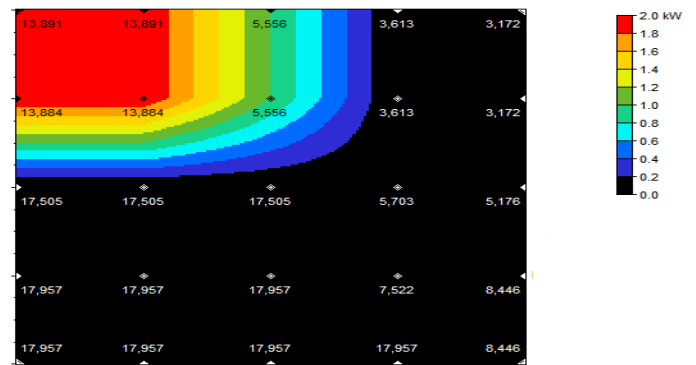


Fig. 15: Emissions du CO₂ pour le système (photovoltaïque-groupe diesel)

Les conditions économiques et environnementales de fonctionnement des générateurs diesel approvisionnant les réseaux autonomes ne sont pas optimaux et devraient être améliorées. Environnementales, d'abord, car les générateurs diesel vieilles et rouillées, polluent l'air et le sol. Economiques, ensuite, car le diesel est importé de loin et ne crée à peu près aucun emploi dans les communautés. De plus, les prix élevés, un désir de garder des dépenses énergétiques et l'emploi à l'intérieur de ces communautés éloignées. La volonté de travailler vers la durabilité et l'indépendance tout en réduisant des impacts sur l'environnement sont toutes des motivations pour minimiser l'utilisation du diesel dans les communautés isolées.

La figure 16, représente le coût des différents étages du système étudié à base de panneaux photovoltaïques, groupe diesel, batteries de stockage, onduleur et une charge alternative.

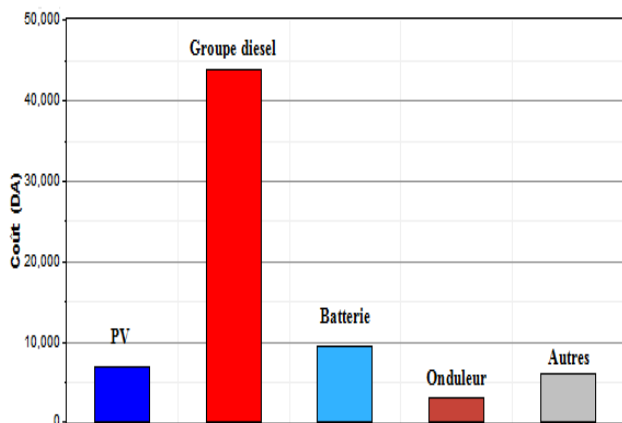


Fig. 16: Coût des différents étages du système étudié

IV. CONCLUSION

L'énergie solaire photovoltaïque contribue énormément dans le développement durable des régions isolées et éloignées du réseau de distribution électrique. Les mini-centrales photovoltaïques offrent une solution très intéressante pour l'alimentation en énergie électrique nécessaire au développement de ces régions. De la même occasion, elles permettent de réduire l'impact négatif de l'utilisation du diesel seul pour la production énergétique sur l'environnement. Dans la structure de la mini-centrale photovoltaïque hybride, une source d'énergie auxiliaire est prévue, c'est le groupe diesel. Elle sera utilisée pour l'approvisionnement direct ou pour le chargement des batteries en cas d'absence du soleil pour une période très prolongée.

REFERENCES

- [1] J.J. Fireaux, "Physique et Energie, Travail sur les Panneaux Photovoltaïques", Faculté Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, 2007.
- [2] M. Belatel et A. Boukazzoula, "Étude de l'Énergie Photovoltaïque pour un Développement Durable", Université Constantine1, Algérie, 2014.
- [3] F. M. Gonzalez-Longatt, "Model of Photovoltaic Module in Matlab", *Conférence II CIBELEC'05*, Spaine, 2005.
- [4] H.L. Tsai, C.S. Tu and Y.J. Su, "Development of Generalized Photovoltaic Model using Matlab/Simulink", *Conférence WCECS'2008*, San Fransisco, USA, 2008.
- [5] S. Sheik Mohammed, "Modeling and Simulation of Photovoltaic Module using MATLAB/Simulink", *International Journal of Chemical and Environmental Engineering*, Vol. 2, N°5, 2011, pp. 350-355.
- [6] H. L. Tsai, C. S. Tu, "Development of Generalized Photovoltaic Model using Matlab/Simulink", *Conférence WCECS'08*, USA, 2008.
- [7] M. Belatel et al. "Technologie du Couplage d'un Système Hybride de Type Photovoltaïque-éolien avec la Pile à Combustible pour la Production de l'Électricité Verte", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 14 N°1, 2011, pp.145 – 162.
- [8] M. Belatel, "Étude Techno-économique d'un Système Hybride (PV-E) utilise pour la Protection de l'Environnement en Algérie", *Conférence CNPIE'2011*, Skikda, Algérie 2011.

- [9] M. Belatel, "Modélisation d'un Système Hybride de type Photovoltaïque-éolien utilisé pour la Production d'Énergie", *Conférence ICRE'12*, Algérie, 2012.
- [10] M. Belatel, "Étude de l'Énergie Photovoltaïque pour fournir de l'eau Potable aux Zones Rurales", *Conférence CIGE'2013*, Bechar, Algérie, 2013.
- [11] J. R. Hernanz et al., "Modelling of Photovoltaic Module," *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO'10)*, Granada, Spain, March, 2010.
- [12] T. Salmi, M. Bouzguenda, A. Gastli, A. Masmoudi, "MATLAB/Simulink based Modelling of Solar Photovoltaic Cell," *International Journal of Renewable Energy Reaserch*, Vol. 2, N°2, 2012, pp. 213-218.
- [13] F. M. González-Longatt, "Model of Photovoltaic Module in Matlab", *Conférence II CIBELEC'05*, 2005.
- [14] S. Chatterjee and S. Mallika, "Cascaded Multilevel Inverter for Photovoltaic Systems with PI control," *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, Vol. 2, N° 2, 2012, pp. 1-15.
- [15] M. Makhlof et al., "Vectorial Command of Induction Motor Pumping System Supplied by a Photovoltaic Generator", *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 62, N° 1, 2011, pp. 3-10.
- [16] F. Z. Zerhouni, "Optimisation d'un Système à Energie Verte avec Validation Pratique", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, N° 1, 2008, pp. 41-49.
- [17] A. Ould Mohamed Yahya et al., "Étude et Modélisation d'un Générateur Photovoltaïque", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 11, N° 3, 2008, pp. 473-483.
- [18] N. S. Damanhuri et al., "System Design and Cost Analysis Simulation of Small Scale Dual-Tariff Solar Photovoltaic (PV) System in UiTM Pulau Pinang Malaysia", *Proceedings of the World Congress on Engineering 2010*, Vol II, June, 2010, London, U.K.
- [19] A. Hamidat, et al., "Étude et Réalisation d'une Mini Centrale Photovoltaïque Hybride pour l'Électrification du Refuge Assekrem", *Revue des Energies Renouvelables*, Vol. 10, N°2, 2007, pp. 265 – 272.