

IV.1 Introduction

Dans le but d'avoir l'intérêt d'intégrer une source d'énergie renouvelable au réseau électrique économiquement, une étude dédiée à l'évaluation de l'impact d'installation solaire avec le réseau sera établis dans ce chapitre. Trois points essentiels seront traités : 1- Etudié le modèle qui estime la puissance crête aux bornes d'un générateur photovoltaïque à partir des conditions climatiques réel (température et l'éclairement) ainsi même les caractéristiques techniques du module dans les conditions standard. 2- Etudié un cas par simulation d'un système hybride (PV-réseau). 3- Etudie un cas réel à partir de l'installation PV installé au niveau du laboratoire de génie énergétique et génie informatique (L2GEGI) de l'université Ibn Khaldoun Tiaret.

IV.2 Puissance produite par un champ photovoltaïque

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire des modules solaires constituant le champ photovoltaïque pour opter un système photovoltaïque suffisant afin de couvrir les besoins et la capacité de charge de la batterie. Pour avoir un dimensionnement optimal, il nous apparut indispensable d'utiliser un modèle mathématique cohérent. A cet effet, nous avons présenté dans cette partie, quelques modèles mathématiques permettant de calculer la puissance délivrée par le module solaire photovoltaïque^[28].

IV.2.1 Modèle de Lu Lin

Le modèle d'essai présenté ci-dessous permet de calculer la puissance maximale fournie par le module, en utilisant la température et l'éclairement solaire incident. Ce modèle a été élaboré et validé expérimentalement par Lu Lin en 2004.

IV.2.1.a Première approche

$$P_m = -(a \times G + b)T_c + c \times G + d \quad (IV.1)$$

Avec : P_m : Puissance maximale produite (W); a , b , c et d sont des constantes positives qui peuvent être connues expérimentalement; T_c : Température de la cellule, qui varie en fonction de l'éclairement et de la température ambiante, selon la relation linéaire suivante :

$$T_c = T_a + [NOCT - 20]/800 \quad (IV.2)$$

Avec : T_a : Température ambiante (K); NOCT : Température nominale de fonctionnement de la cellule solaire (Nominal Operating Cell Temperature). Elle est définie comme étant la température de la cellule, si le module est soumis sous certaines conditions comme

l'éclairement solaire (800 W/m^2), la distribution spectrale (AM 1.5), la température ambiante ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) et la vitesse de vent ($> 1\text{m/s}$); G : Eclairement solaire incident sur un plan incliné (W/m^2).

Les constantes a , b , c et d sont égales, respectivement à 0.0002 , 0.0004 , 0.1007 et 0.1018 .

IV.2.1.b Deuxième approche

La puissance produite du générateur photovoltaïque peut être calculée à partir de l'équation suivante :

$$P = \eta \times S \times N \quad (\text{IV.3})$$

S : Surface du module photovoltaïque ; G : Eclairement solaire sur plan incliné (W/m^2); N : Nombre de modules constituant le champ photovoltaïque. Le rendement instantané est représenté par la relation suivante :

$$\eta = \eta_r (1 - \gamma(T_c - T_0)) \quad (\text{IV.4})$$

η_r : Rendement de référence du module sous les conditions standards. ($T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$, $G = 1000 \text{ W/m}^2$ et AM1.5) γ : Coefficient de température ($^\circ\text{C}$) déterminé expérimentalement, il est défini comme étant la variation du rendement du module pour une variation de 1°C de la température de la cellule. Les valeurs typiques de ce coefficient se situent entre 0.004 et $0.006 \text{ }^\circ\text{C}$. L'intérêt de ce modèle réside dans sa simplicité et sa facilité de mise en œuvre à partir des caractéristiques techniques données par le constructeur dans les conditions standard (la puissance totale P , la tension en circuit ouvert V_{co} , le courant de court-circuit I_{cc} et la surface du panneau).

IV.2.1.c Modèle du Borowy et Salameh

Ce modèle a été développé par Borowy et Salameh en 1996. Ce modèle est basé sur le circuit équivalent à une diode (IV.1).

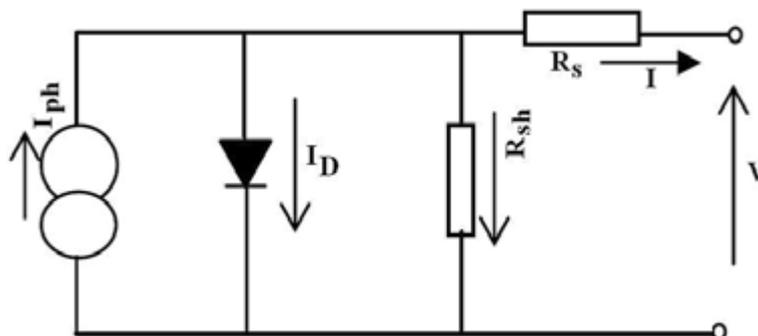


Figure IV.1. Circuit équivalent à une diode.

Ce modèle fait usage des spécifications des modules photovoltaïques données par les fabricants. Donc il offre une façon très simple de connaître la puissance produite par les modules photovoltaïques^[28].

IV.3 Calcul du gain économique

Pour calculer le gain dans la facture d'électricité pour une installation PV-réseau nous avons procédé la méthode suivante :

1- Calcule la facture de l'énergie consommé en cas du réseau seul et calcule de la facture journalière total comme suit :

*Facture de consommation par heure sans PV = prix du KWh*énergie consommé par heure

*Facture total sans PV = \sum Facture de consommation par heure sans PV

2- Calcule la facture de l'énergie consommé en cas du réseau couplé avec le générateur PV et calcule de la facture journalière total comme suit :

*Puissance consommée par heure avec PV = Puissance demandée-Puissance produite par le générateur PV.

**Facture de consommation par heure avec PV = prix du KWh*énergie consommé par heure avec PV

*Facture total avec PV = \sum Facture de consommation par heure avec PV

3- Calcule du gain de la facture horaire et la facture journalière total comme suit :

Gain horaire = Facture de consommation par heure sans PV - Facture de consommation par heure avec PV

$$\text{Gain total} = \sum \text{gain horaire}$$

IV.3.1 Evaluation du gain économique par simulation

Dans cette partie, En se basant sur le modèle du Borowy et Salameh. Les résultats illustrés ci-dessous sont obtenus par la simulation du modèle présenté dans le chapitre précédent (chapitre II) en utilisant les données météorologiques réelles (température et éclaircissement solaire) pour une journée de chaque saison de TIARET 2018, ce qui rend la production du générateur PV variable pour chaque jour de la saison.

IV.3.1.a Profil de la charge demandée

La première étape à suivre consiste à déterminer le moment où nous avons besoin d'électricité, et à définir notre consommation. Cette étape demande relativement beaucoup de réflexion car une erreur à ce stade faussera nos résultats. Donc au départ, nous choisissons le

profil de consommation d'énergie électrique (Figure IV.2) qui sera fixe pour toutes saisons dans cette partie.

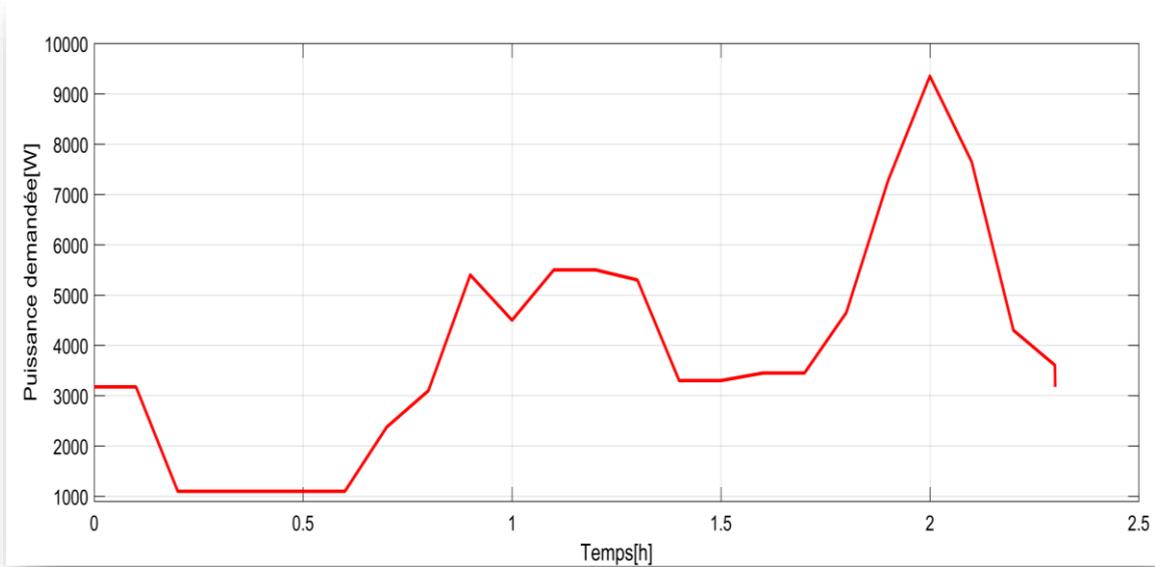


Figure IV.2. Profil de la charge.

IV.3.1.b Saison d'hiver

Pour cette saison, nous avons choisi une journée du mois de janvier, les profils de la température et de l'éclairement sont montrés par les figures IV.3 et IV.4 respectivement.

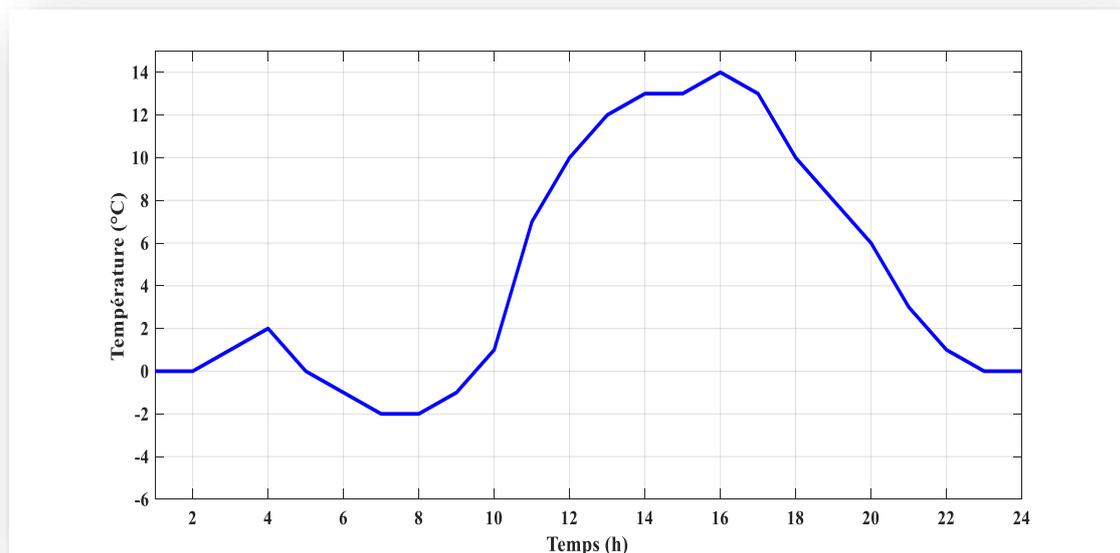


Figure IV.3. Température du mois de Janvier.

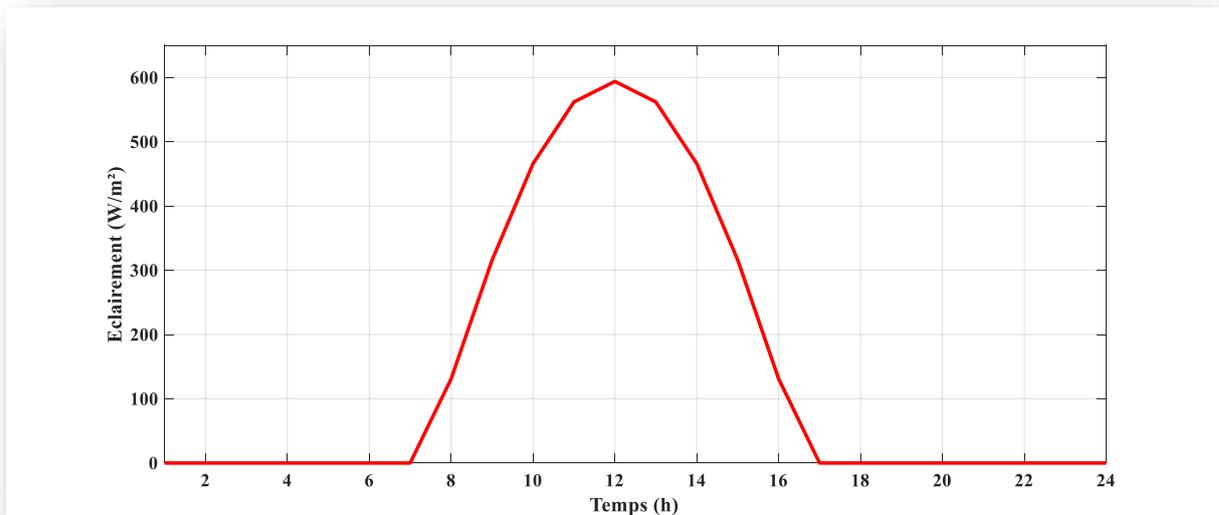


Figure IV.4. Eclairement du mois de Janvier.

La puissance maximale produite par le générateur PV dans ce cas est donnée par la figure IV.5, on remarque que le générateur ne produit aucune puissance dans l'intervalle de [00h à 06h] et de [16h à 00h].

Pour une journée de janvier et d'après la même figure IV.5, la production commence à partir de 06 :30h avec une puissance de 275W et continue à augmenter jusqu'elle atteint le maximum à 11h avec un puissance de 5000 W et puis réduire pour s'éliminer à 16.00h.

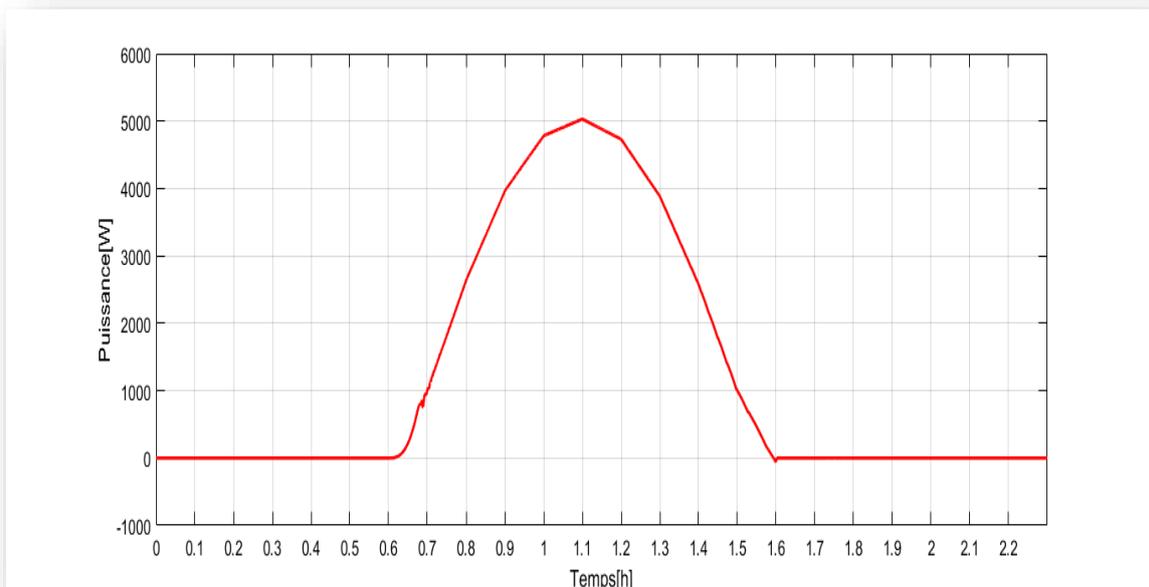


Figure IV.5. Puissance produit par le générateur PV (mois de janvier).

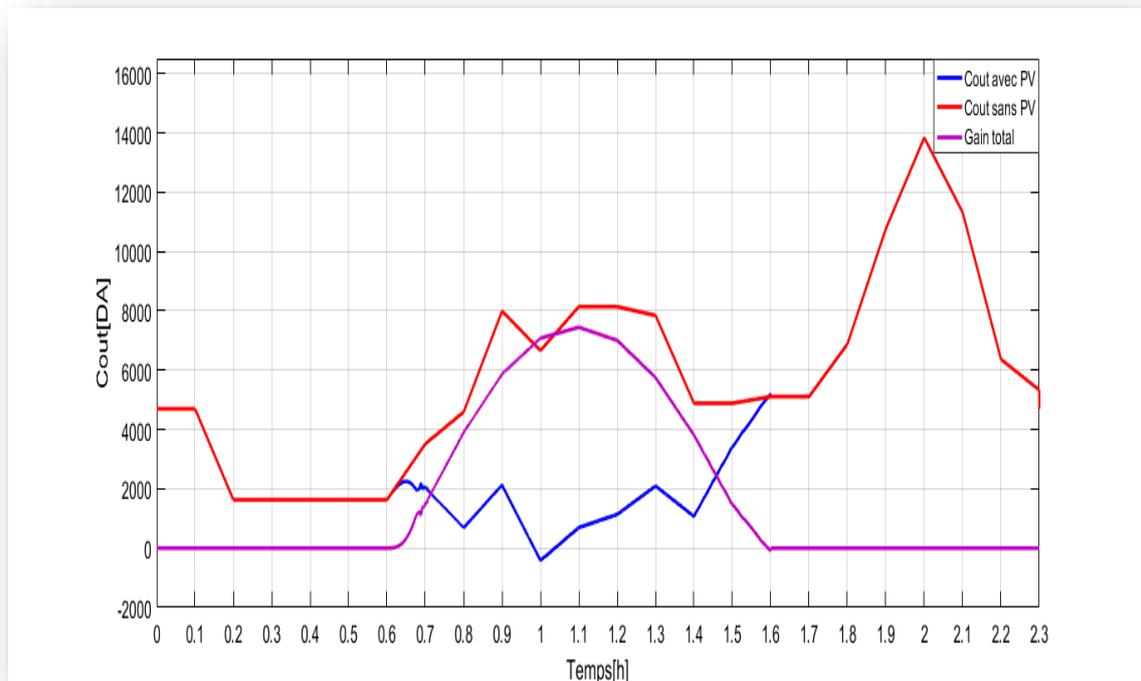


Figure IV.6. Coût d'énergie et gain.

En se basant sur les données présentées ci-dessus (la consommation et la production de générateur PV), la figure IV.6 montre le coût d'énergie horaire dans le cas où la charge alimente que par le réseau (courbe rouge) et au cas où la charge alimentée par le réseau public et le générateur PV (courbe en bleu).

Sur la même figure IV.6, nous avons montré le gain dans la facture qu'est clairement dépend directement à la production du GPV, en l'occurrence on peut enregistrer un gain de 7000 DA dans la facture de l'énergie électrique comme un gain maximal lorsque la production du GPV est maximal.

IV.3.1.c Saison de printemps

Pour cette saison, nous avons choisi une journée du mois d'avril, les profils de la température et de l'éclairement sont montrés par les figures IV. 7 et IV.8 respectivement.

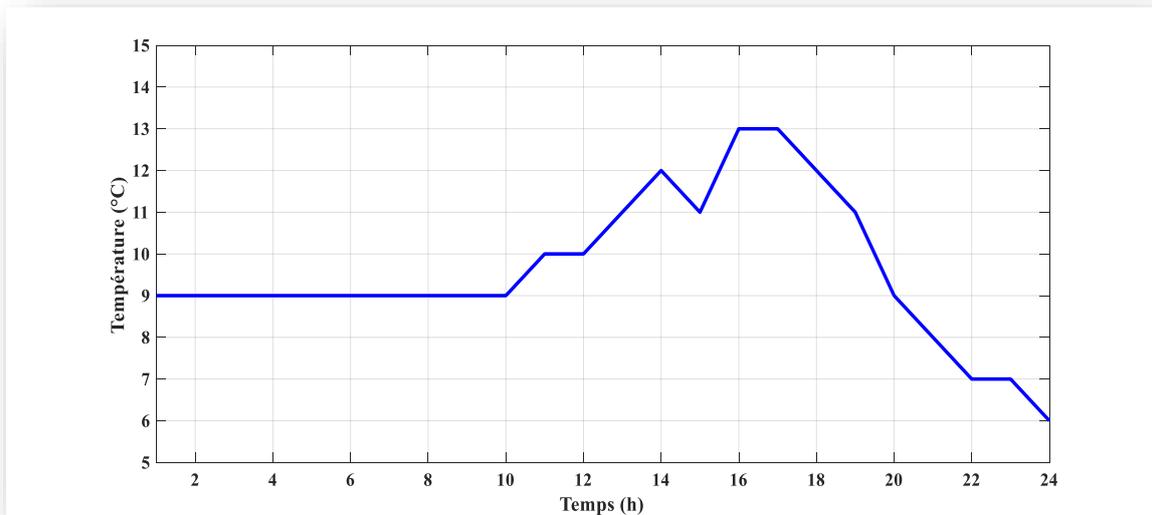


Figure IV.7. Température du mois d'Avril.

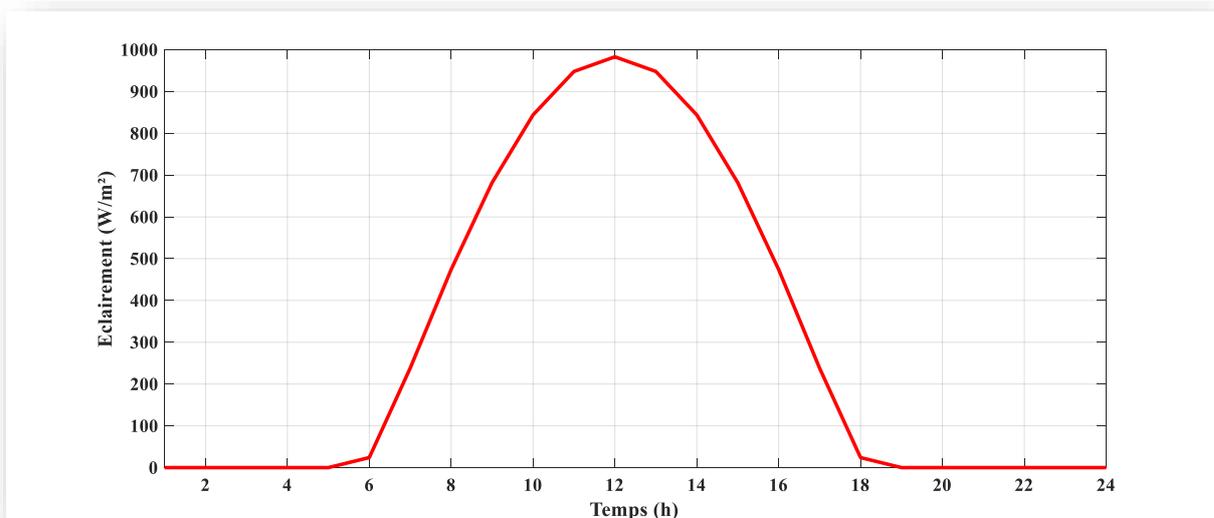


Figure IV.8. Eclairement du mois d'Avril.

La figure IV.9 montre la puissance maximale produite par le générateur PV dans ce cas, il est clair que l'intervalle horaire de la production du générateur est élargi un peu plus, la production commence à partir de 05h:30m avec une puissance de 2750W et continue à augmenter jusqu'à elle atteint le maximum à 11h avec une puissance de 5000 W et puis réduire pour s'éteindre à 16.00h.

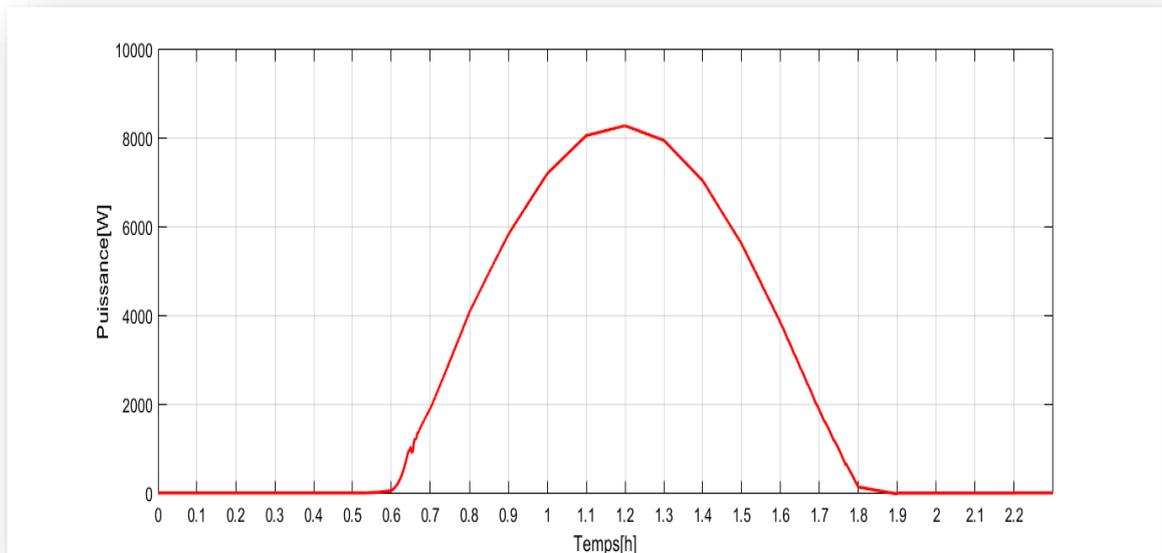


Figure IV.9. Puissance produit par le générateur PV (mois d'Avril).

De la même manière du premier cas, d'après la production du GPV et le profil de charge, on peut calculer le cout horaire de l'énergie électrique dans les deux variantes : sans GPV présenté par la courbe rouge et avec GPV courbe en bleu montré dans la figure IV.10

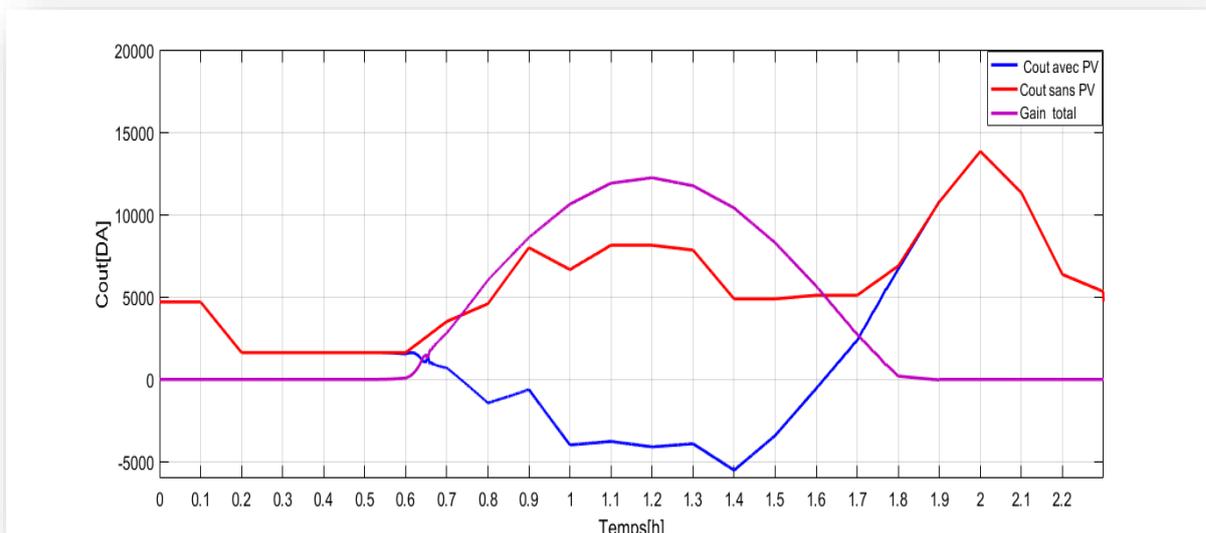


Figure IV.10. Cout d'énergie avec/sans PV et le gain horaire (mois d'Avril).

Lorsque la production du GPV est maximale au voisin du 8000W, Le gain dans cette situation passe de 7000 da jusqu'au 12500 da.

IV.3.1.d Saison d'été

Pour cette saison, nous avons choisi une journée du mois de juin, les profils de la température et de l'éclairement sont montrés par les figures IV.11 et IV.12 respectivement.

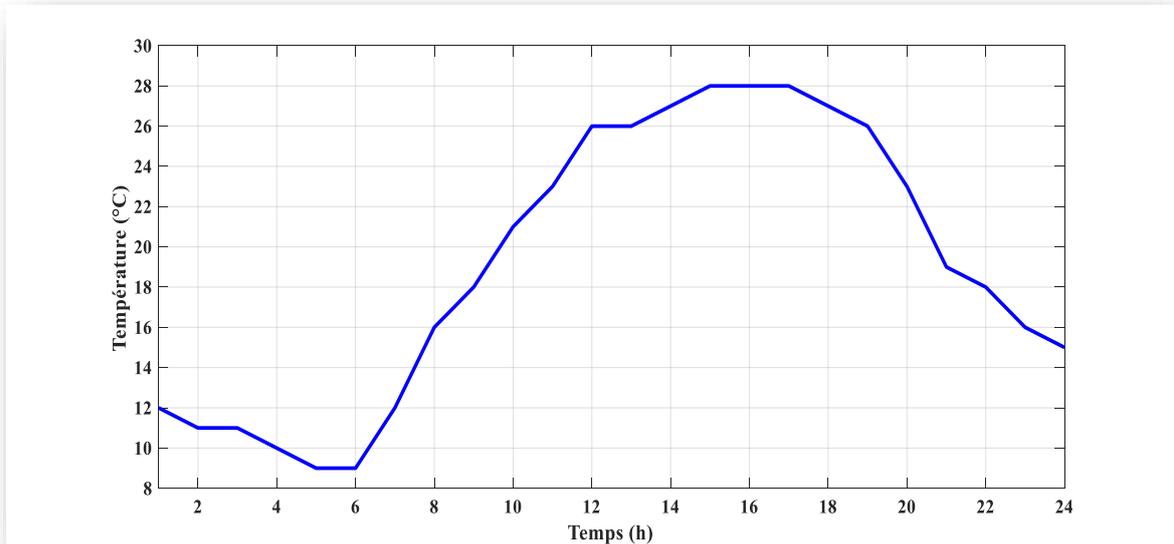


Figure IV.11. Température du mois de Juin.

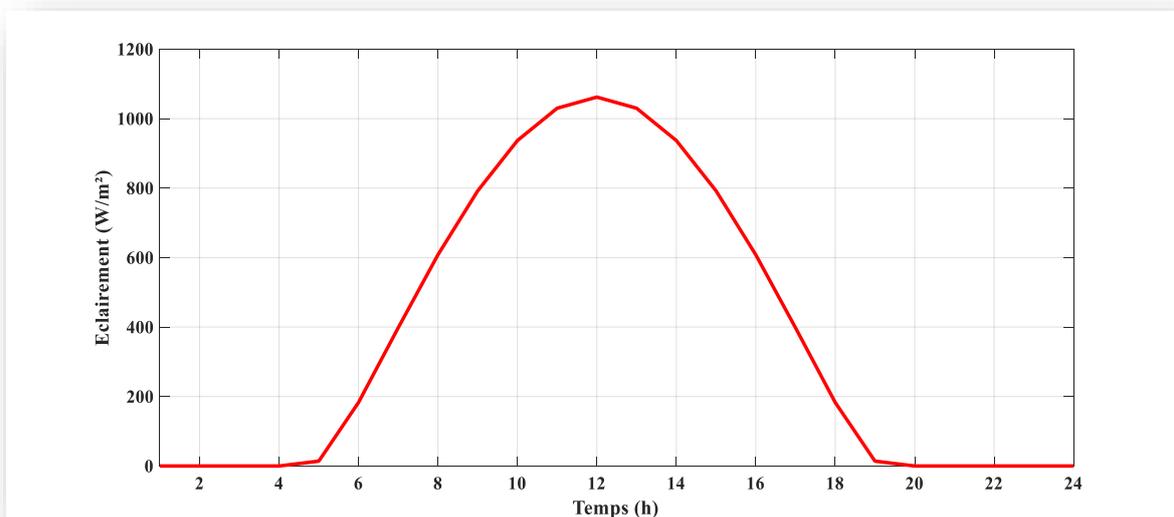


Figure IV.12. Eclairement du mois de Juin.

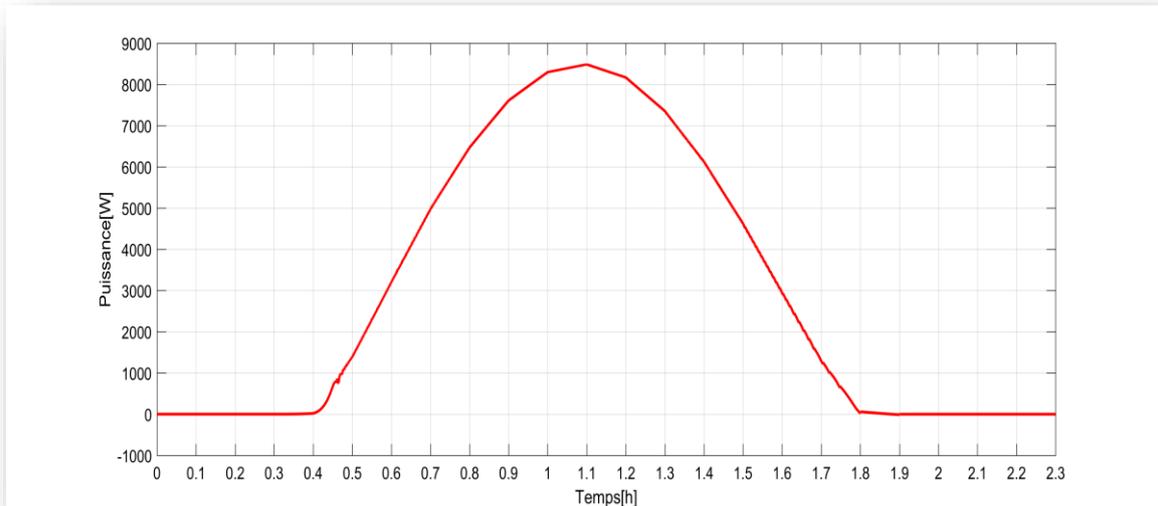


Figure IV.13. Puissance produit par le générateur PV (mois de juillet).

La production du GPV qui présenté par la figure IV.13 pour le mois de juin, montre que cette dernière dépend directement à l'éclairement, dans ce cas-là, il est clair que la production commence à partir de 04.00 h, c'est dans cette saison que la production d'un GPV atteint le maximum par rapport aux autres saisons.

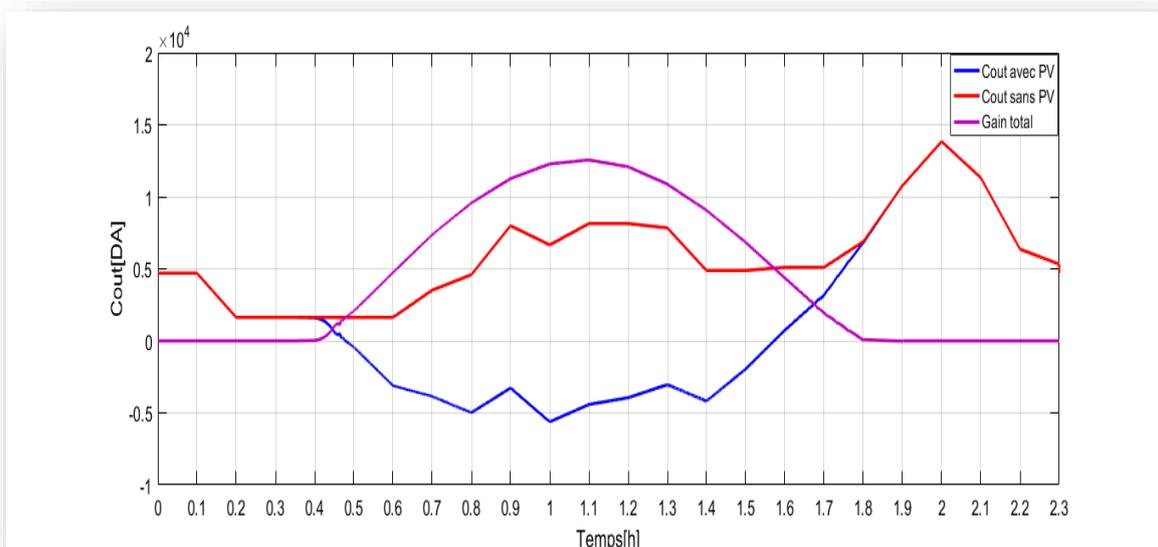


Figure IV.14. Cout d'énergie avec/sans PV, le gain total (mois de Juillet).

La figure IV.14 montre les couts horaires sans et avec GPV ainsi que le gain, par cette production et pour notre système, la production du GPV dépasse la demande, une énergie

gratuite ce qui résulte non seulement un gain de 100% dans la facture d'énergies, mais un bénéfice au cas où le reste d'énergie produite par le GPV est vendu ce qui explique la partie négative dans le cout horaire avec GPV (courbe bleue).

IV.3.1.e Saison d'automne

Pour cette saison, nous avons choisi une journée du mois d'octobre, les profils de la température et de l'éclairement sont montrés par les figures IV. 15 et IV. 16 respectivement.

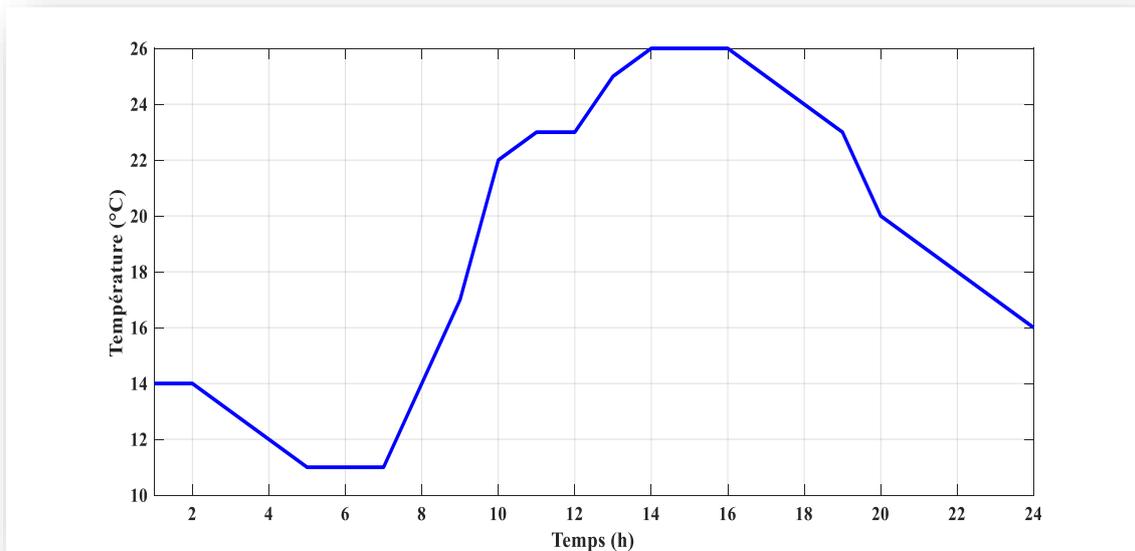


Figure IV.15. Température du mois d'Octobre.

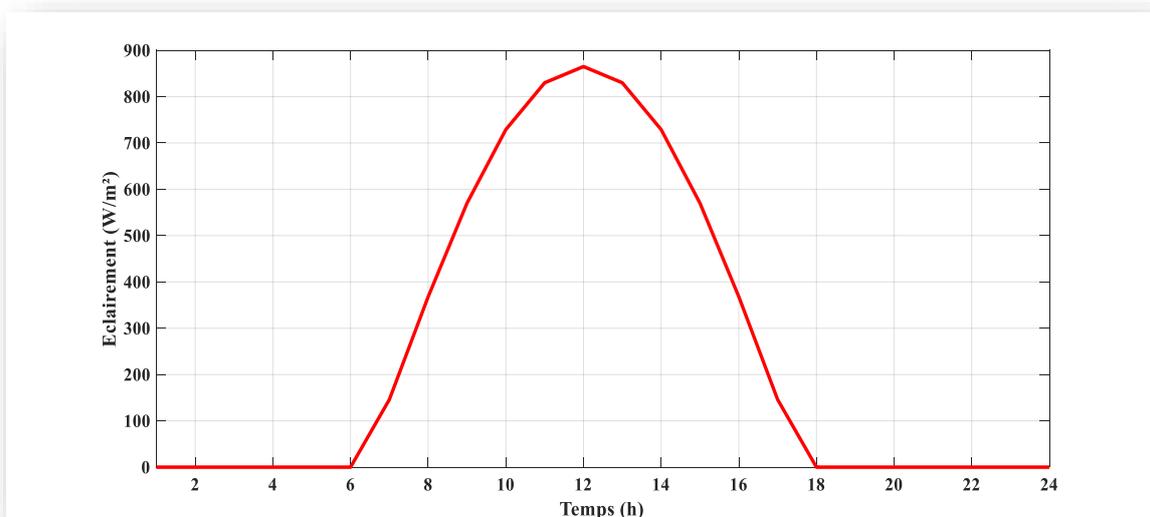


Figure IV.16. Eclairement du mois d'Octobre.

La production pour cette saison est donnée par la figure IV.17

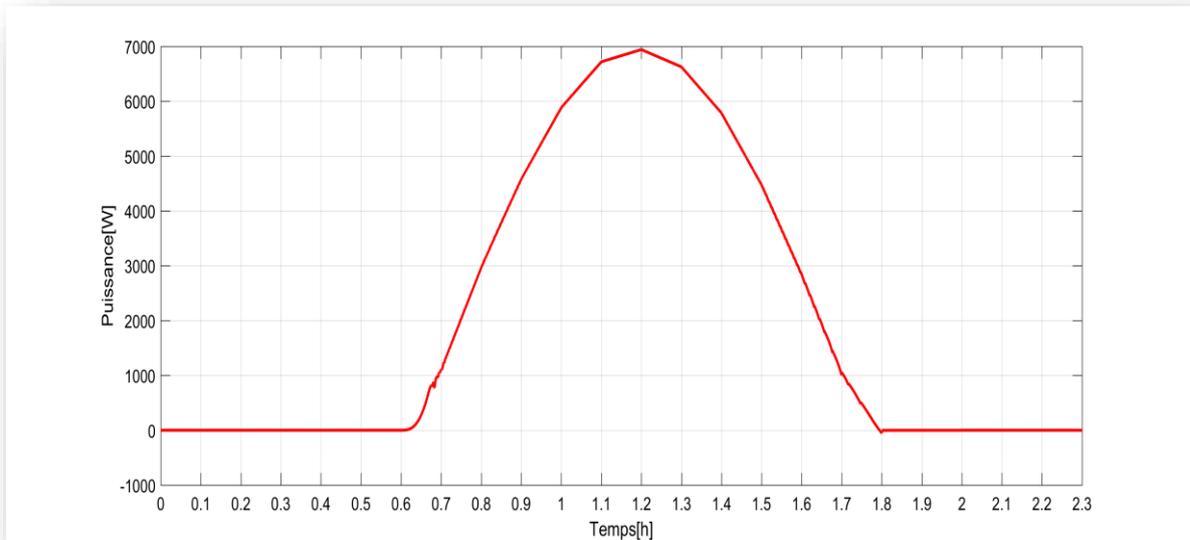


Figure IV.17. Puissance produit par le générateur PV (mois d'Octobre).

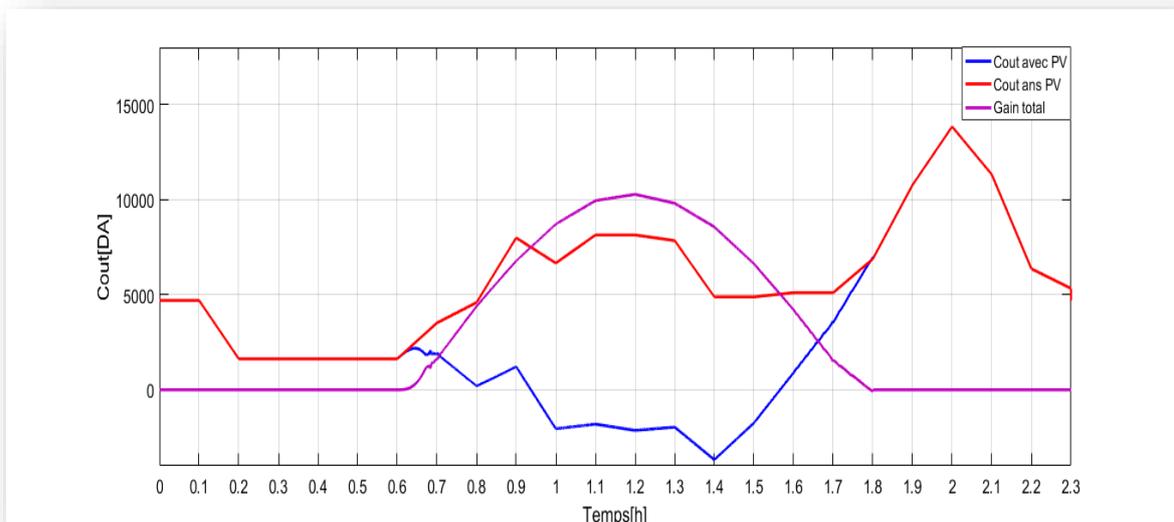


Figure IV.18. Cout d'énergie avec/sans PV, le gain total (mois d'Octobre).

La figure IV.18 montre le cout d'énergie et le gain dans la facture horaire, pour le mois d'octobre, une production maximale du GPV qui induit un bénéfique dans le poche ce qui montré par le gain allure en violet et l'allure de la facture avec GPV en bleu.

IV.3.2 Partie pratique

Dans cette partie pratique, deux points essentiels à étudier avant d'entamer le travail : le profil de la charge demandé et la puissance produite par le GPV.

Pour le profil de la charge demandé, nous avons adopté pour chaque saison un scénario qui dépend sur les activités des membres du laboratoire ainsi le mode de vie algérien dans chaque saison, par exemple : en été les gens commencent le travail très tôt contrairement à l'hiver.

Sur la base des données métrologique réel et utilisant l'approche présenté ci-dessus par le modèle de Lu Lin, on peut estimer la production du GPV pour une journée dans chaque saison qui sera l'image de la production pour toute la saison.

Noté que le rendement η_r d'un panneau solaire est :

$$\eta_r = \frac{P_n}{G * S} \quad (IV.5)$$

IV.3.2.a Description du système

Figure IV.19 représente le générateur PV installé sur la terrasse du laboratoire, c'est un ensemble de 20 modules photovoltaïques de marque « Dimel SOLAR » de technologies différentes : le monocristallin et le polycristallin. La puissance crête des trois types de module est respectivement 80Wc, 100 Wc, et 135 Wc. La puissance totale est de 2.1 kWc. Les modules sont orientés en plein Sud avec une inclinaison de 35°.



Figure IV.19. GPV installé au niveau du laboratoire L2GEGI

Le système de stockage électrochimique est composé de huit batteries. Elles sont fabriquées par « Banner GMBH ». La tension nominale de chaque batterie est de 12V et la capacité de stockage est de 100Ah.

Le régulateur de charge utilisé est équipé de la technologie MPPT de marque « Dimel Solar ».

Il supporte une tension d'entrée PV jusqu'à 47V et un courant de 20A.

L'onduleur utilisé est « Dimel Solar ». De marque Victron Energy. Sa puissance nominale est de 800W sous une tension d'entrée de 24V.



Figure IV.20. Armoire de commande du GPV

IV.3.2.b Saison d'hiver

La figure IV.21 montre la courbe de la charge demandée en rouge et la puissance produite par le GPV en bleu.

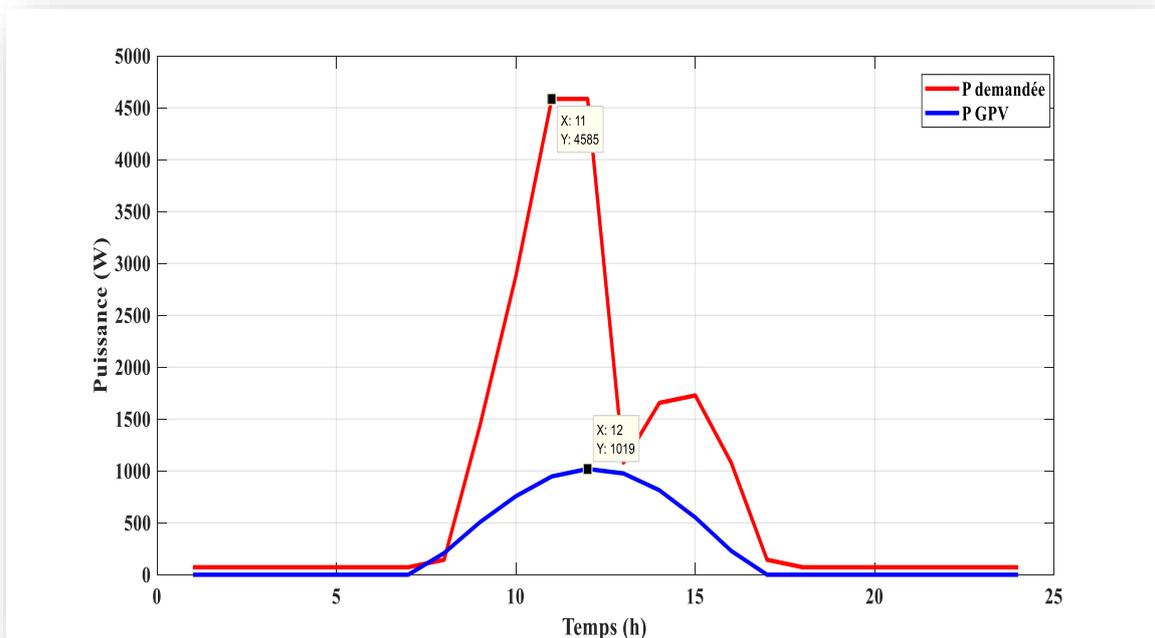


Figure IV.21. Puissance demandée et Produite par le GPV (mois de janvier).

En hiver, et comme montré dans la figure IV.21, les gens commencent le travail un peu tard, la demande sur l'énergie électrique commence selon notre pensée à 9h du matin et continue à augmenter jusqu'au 12h quand tous les membres du laboratoire travail et presque tous les appareils électriques fonctionnent (plein charge). Une baisse dans la demande est signalée entre 13h et 14h (des membres quitte le laboratoire pour le Petit déjeuner), la charge rétablis son maximum à partir de 15h et commence a réduit jusqu'à s'annulation à 18h ou toutes les membres quitte le laboratoire.

Concernant la production pour ce cas-là (une journée de la saison d'hiver), le GPV commence à produire l'électricité à partir de 7h du matin, atteint son maximum vers les 13h et s'annule au voisin de 17h.

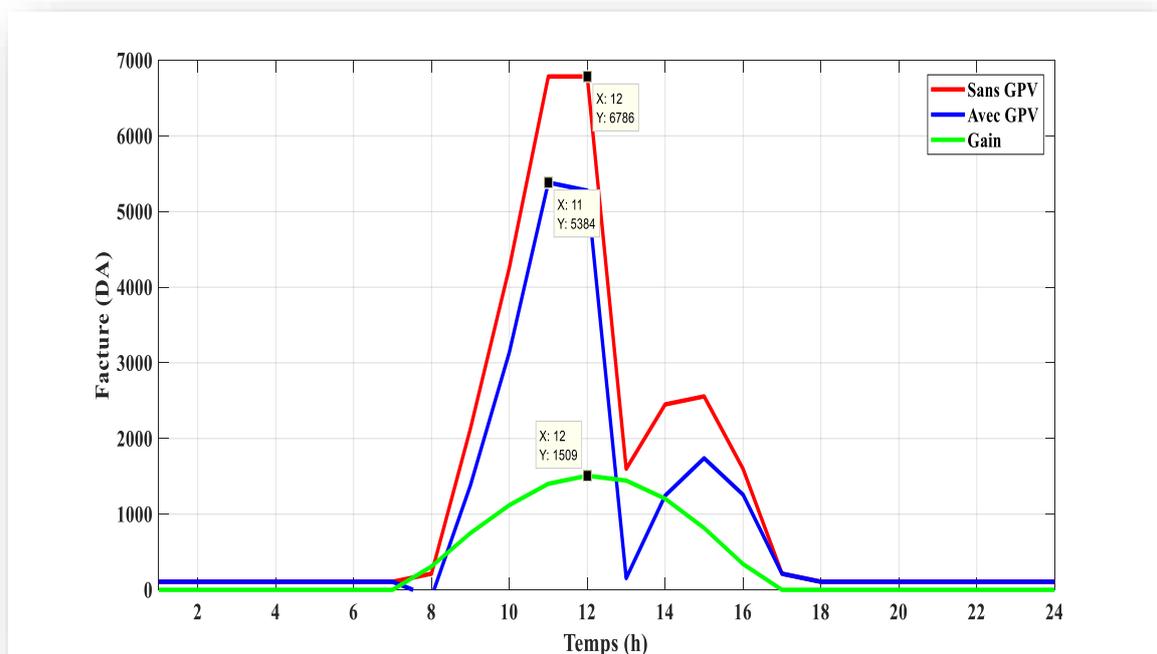


Figure IV.22. Facture d'énergie avec et sans PV et le gain horaire (mois de janvier).

En se basant sur les données citées ci-dessus, la figure IV.22 représente l'étude économique pour cette saison en terme de facture sans GPV en rouge et avec GPV en bleu, comparant ces deux résultats, la facture horaire maximale sans GPV est autour de 7000DA pour les heurs en plein charge, l'utilisation du GPV avec sa production réduit la facture de 7000DA à 5200DA pour l'heure plein charge (courbe en bleu) ce qui produit un gain d'argent considérable (courbe en verte).

IV.3.2.c Saison de printemps

Dans cette saison, nous avons choisi une journée du mois d'Avril, la production du GPV augmente à 50% par rapport celle du mois du janvier comme montré dans la figure IV.23. De la même manière pour le profil de la charge que nous avons estimé une augmentation de 20 à 30 % par rapport au mois d'hiver à cause du projet PFE master et licence ainsi l'intégration de nouveaux doctorants dans le laboratoire.

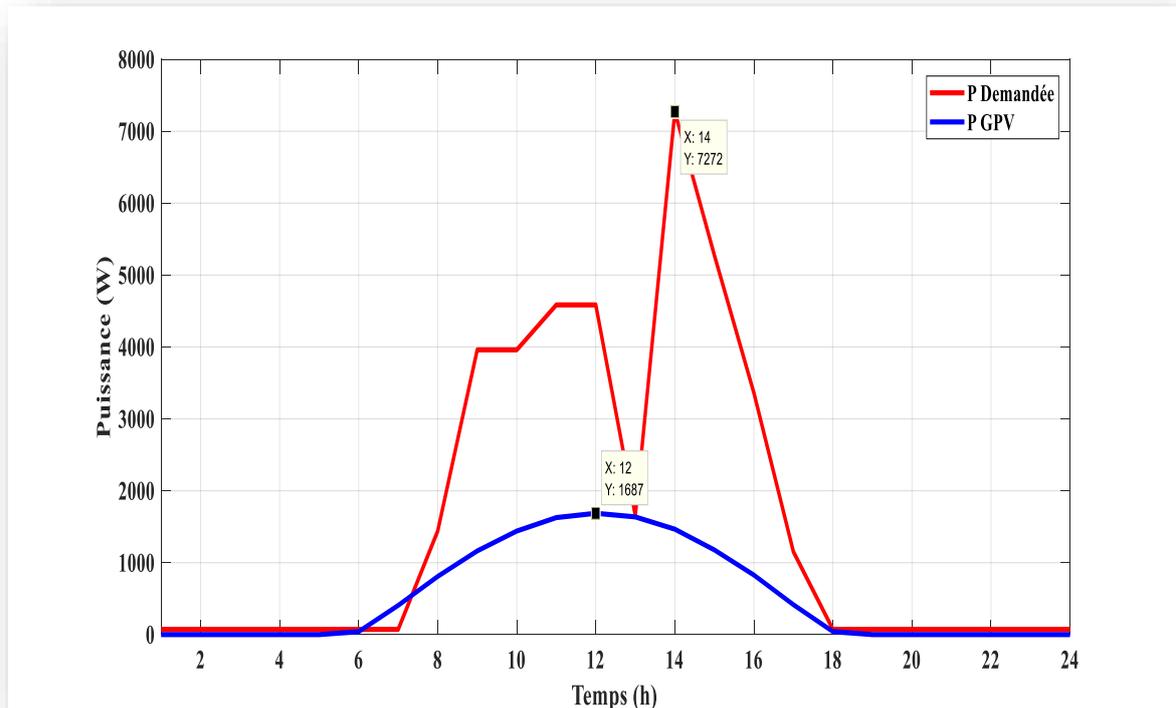


Figure IV.23. Puissance demandée et Produite par le GPV (mois d'Avril).

La figure IV.24 montre la facture doit être payée heure par heure, l'augmentation de la charge demandée provoque une augmentation importante dans la facture sans GPV, ce dernier (le GPV) avec sa production de puissance influe directement sur la facture payée et la baisse d'une manière remarquable (de 10760DA jusqu'à 8600DA à 14h).

Le rapport production / consommation, nous a conduit à un gain important dans la facture pour toutes les heures où le GPV produit la puissance, ce qui est clairement montré dans la figure IV.24, courbe en verte.

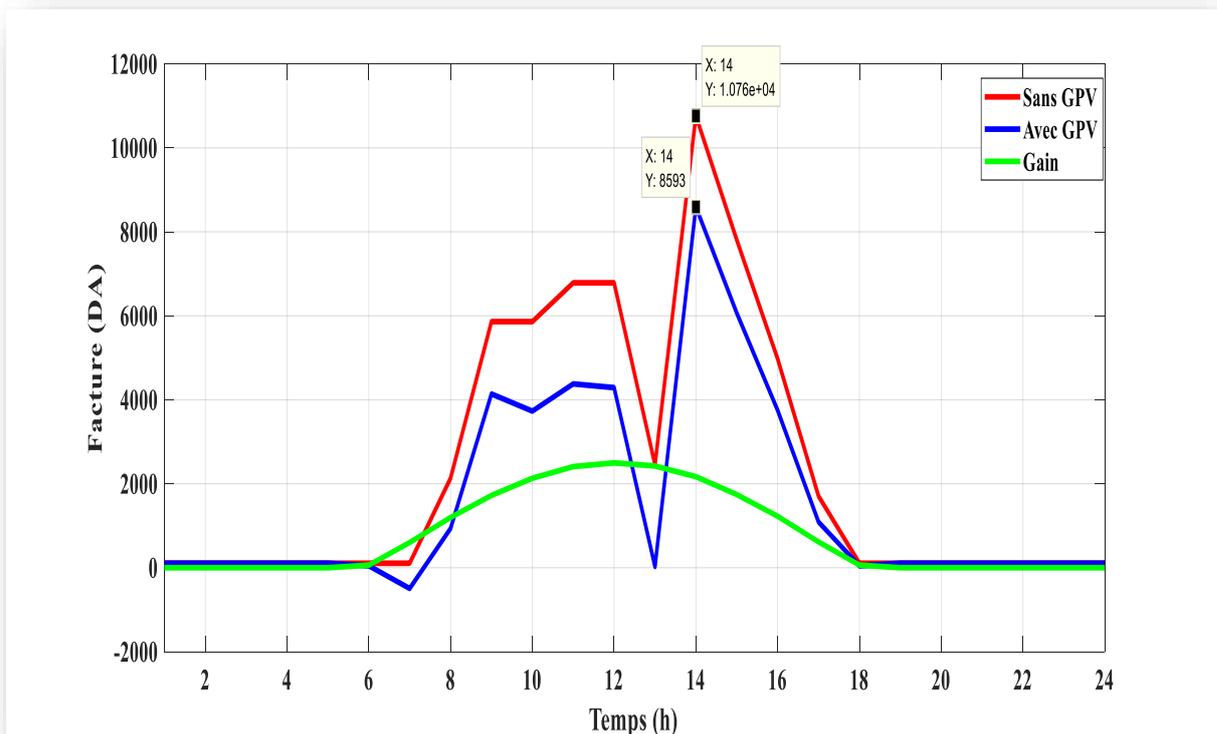


Figure IV.24. Facture d'énergie avec et sans PV et le gain horaire (mois d'Avril).

IV.3.2.d Saison d'été

L'été, c'est la saison la plus active avec les soutenances des PFE, les états d'avancement ainsi l'augmentation de la température qui nécessite l'utilisation des climatiseurs, Tous sa nous avons le prendre en considération pour estimer le profil de charge journalière représenté dans la figure IV.25, courbe en rouge.

D'autre part, les conditions climatiques dans cette saison sont les plus efficaces pour les installations photovoltaïques qui peuvent être exploités à son maximum de production, ce qui est validé dans notre cas avec une puissance produite atteignant les 2000 W à midi proche à la production maximale de l'installation GPV qui est égale à 2100W (figure IV.25, courbe en bleu).

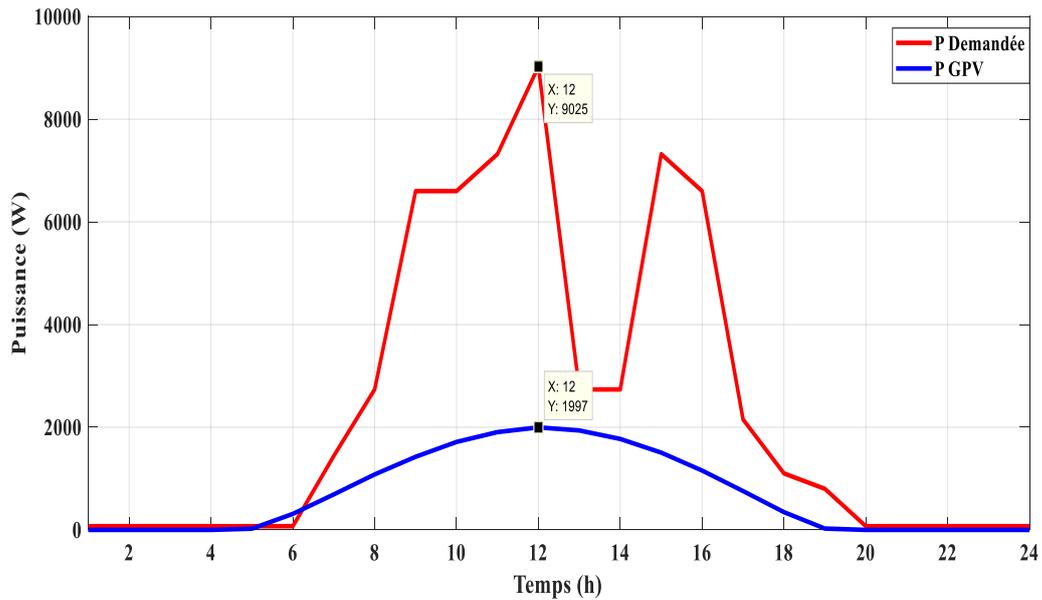


Figure IV.25. Puissance demandée et Produite par le GPV (mois de Juin).

Sur la base des résultats représentés dans la figure IV.25, on peut calculer les factures pour les deux variantes (sans GPV et avec GPV) ainsi le gain.

Figure IV.26 montre la facture horaire paie sans GPV (courbe en rouge) et avec GPV (courbe en bleu).

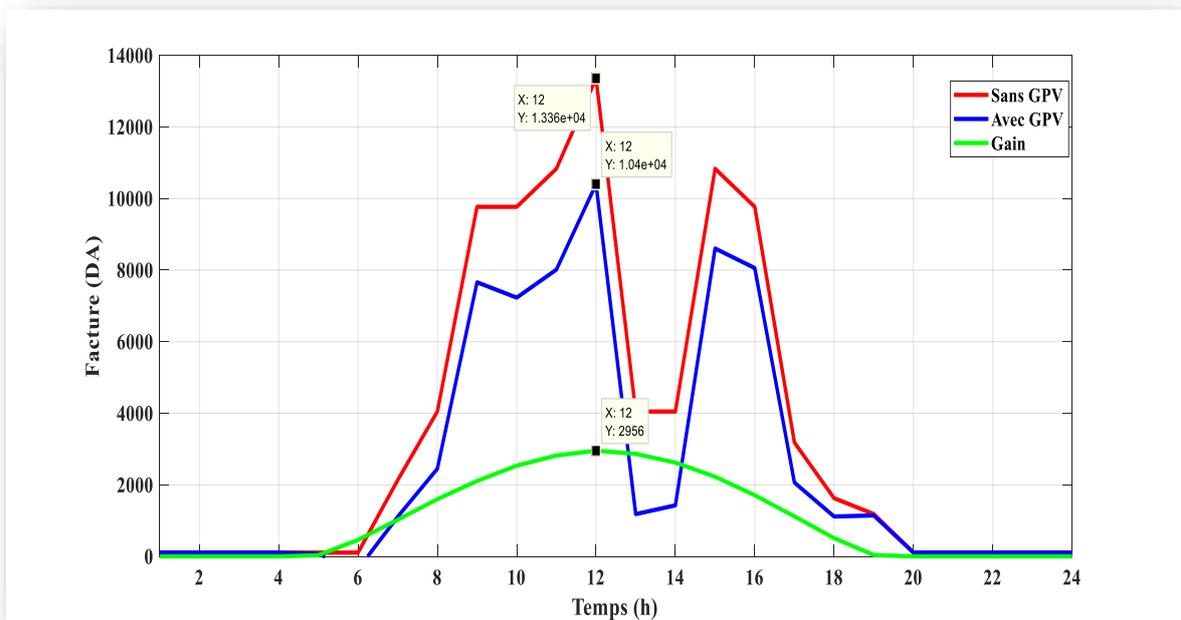


Figure IV.26. Facture d'énergie avec et sans PV et le gain horaire (mois de juin).

Malgré la demande excessive de l'énergie électrique qu'est la raison d'une augmentation énorme dans la facture à payer (courbe en rouge) en cas de l'alimentation des charges par le réseau Sonelgaz seul, l'installation photovoltaïque avec sa production durant cette saison peut offrir une solution rentable et réduire la facture de l'énergie électrique (courbe en verte) ce qui est validé par un gain le plus supérieure par rapport aux autres saisons.

IV.3.2.e Saison d'automne

La figure IV.27 représente la charge demandée estimée et la puissance produite par le GPV, la saison de la rentrée universitaire avec un climat modéré d'où nous avons estimé que cette saison et la saison où la demande de l'électricité est au minimum par rapport à celle des autres saisons.

La production solaire est considérable dans cette saison qui atteint les 1600W à midi comme montré dans la figure.

De ce fait, la figure IV.28 montre les factures à payer sans GPV et avec GPV, on peut remarquer qu'il existe des moments où la production solaire dépasse la demande ce qui rend l'alimentation de la charge du laboratoire complètement gratuite et une possibilité de vendre une partie de l'énergie produite par le GPV au Sonelgaz (injection de puissance dans le réseau) ce qui est représenté par des factures négatives.

Un gain considérable dans cette saison est enregistré dans l'argent (courbe verte) atteint les 2400DA quand le GPV produit son maximum.

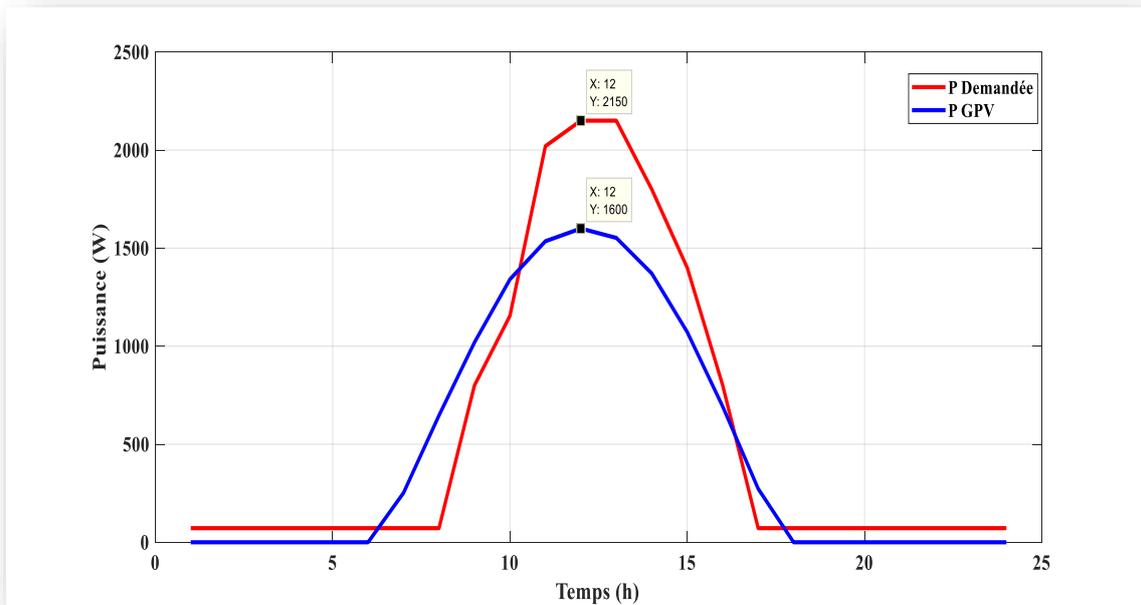


Figure IV.27. Puissance demandée et Produite par le GPV (mois d'Octobre).

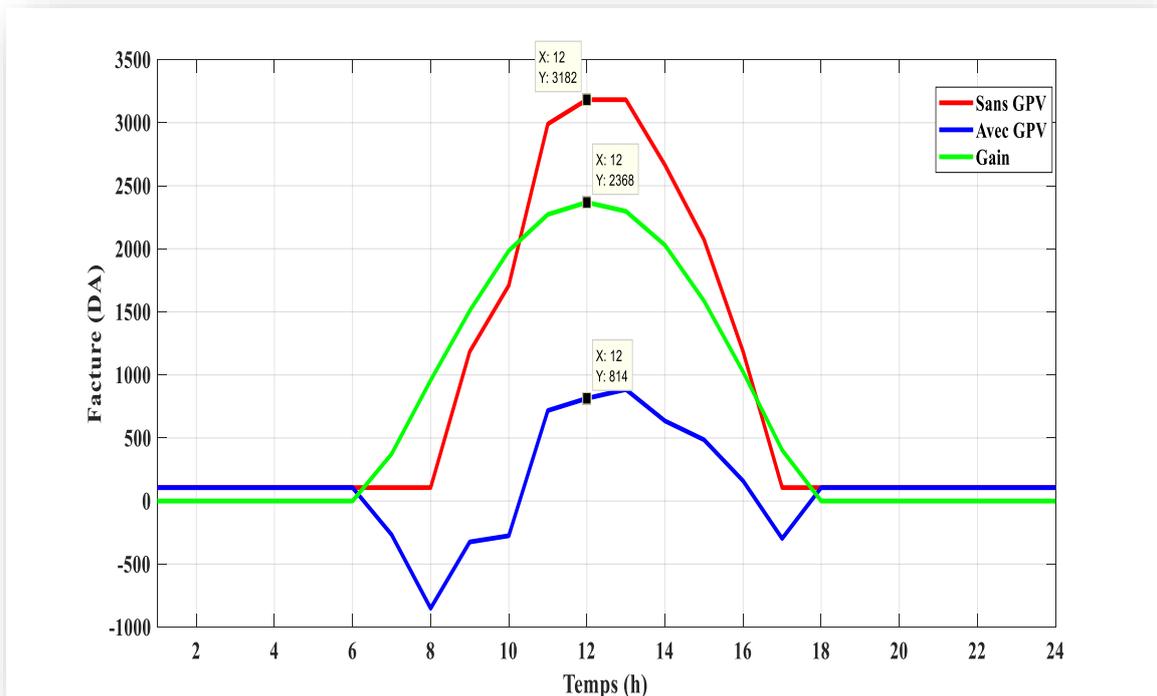


Figure IV.28. Facture d'énergie avec et sans PV et le gain horaire (mois d'Octobre).

Le tableau IV.1 représente les factures globales pour une journée de l'année du chaque saison sans et avec GPV ainsi le gain total.

Saison	Sans GPV (DA)	Avec GPV (DA)	Gain (DA)
Hiver	3008.8	2119.3	8895.8
Printemps	5661.6	3776.4	1885.2
été	8577.6	6113.8	2463.9
Automne	1987.2	3067.6	1680.4

Tableau IV.1 Facture totale à paie pour une journée de la saison

Ces chiffres montrent l'efficacité économique et la rentabilité d'une installation photovoltaïque, avec un rendement maximal en été.

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré l'efficacité économique et la rentabilité d'une centrale de production solaire qui dépend essentiellement des conditions climatiques, Ce qui convient avec celles de l'Algérie. L'estimation théorique de la capacité d'un champ photovoltaïque en fonction du rendement des panneaux et les paramètres du climat est aussi bien étudiée par des approches théoriques ce qui facilite l'étude des GPV.

Conclusion générale

Nous avons déjà vu que l'épuisement des ressources fossiles, la flambée des cours du brut et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre nous poussent vers la recherche d'autres types d'énergies inépuisables, économiques et non polluantes. Pour cela ont à recours aux énergies renouvelables. L'exploitation de ces énergies prend, jour après jour, une place de plus en plus importante dans notre quotidien, en particulier, l'utilisation des systèmes photovoltaïques.

Le travail présenté dans ce mémoire concerne une application des plus actuelles des énergies renouvelables, celle de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque. Une meilleure rentabilité de ce système à énergies renouvelables implique forcément un meilleur conditionnement, donc adaptation.

Ce système connaît un grand essor. Pour que ce type de production soit rentable, c'est-à-dire : simple, fiable et à moindre coût, il faut optimiser toute la chaîne de production pour obtenir de bons rendements. Cela peut être réalisé par un choix judicieux des constituants, un bon dimensionnement des composants et des techniques de commandes performantes.

Le principal objectif de ce mémoire est d'étudier, commander et gérer le fonctionnement d'un système PV raccordé au réseau électrique puis évaluer l'impact économique de ce dernier.

Une généralité et une description appropriée des systèmes photovoltaïques, les différents éléments qui les construisent ainsi qu'un bref rappel sur le contexte des énergies renouvelables mondiales ainsi que de photovoltaïque nationale joue un rôle prépondérant dans le premier chapitre.

La modélisation du système PV élaboré dans le deuxième chapitre consiste à la mise en équations des différentes parties les constituant : la cellule photovoltaïque, les convertisseurs statiques : l'hacheur survolteur, permettant la commande en tension du panneau photovoltaïque et afin d'éviter la dissipation de la puissance et les échauffements excessifs dans les composants électroniques on a choisi un convertisseur survolteur à deux étages.

Le traitement global de l'énergie électrique du système en particulier au niveau du générateur doit être optimiser, en plaçant celui-ci à chaque instant à son point optimal de fonctionnement. Donc il faut assurer le fonctionnement de générateur photovoltaïque à son point de puissance maximale (PPM), (cet objectif est effectué par l'introduction d'un contrôleur MPPT. Plusieurs algorithmes (MPPT) ont été développés et largement adaptés

Conclusion générale

pour déterminer le point de puissance maximum. Une comparaison entre plusieurs algorithmes de commande d'MPPT a été dédiée dans le but de trouver la commande d'MPPT la plus performante. Cette étude comparative montre que les meilleurs résultats sont obtenus par la commande MPPT par mode glissant floue parmi les autres. Les résultats sont obtenus par la simulation du système sous le logiciel MATLAB/SimPowerSystem.

Le troisième chapitre est consacré à l'adaptation de l'énergie produite par le GPV a la charge et au réseau électrique par l'intermédiaire du convertisseur CC-AC multiniveau. On utilise ce type de convertisseur pour fournir et assure une qualité de signale amélioré.

A la lumière de notre étude, une stratégie gestion énergétique et de contrôle du SPVRR a été établie. Le gestionnaire fournit un cadre souple pour contrôler, coordonner le fonctionnement du système et déterminer ainsi le mode de fonctionnement adéquat. Finalement on conclure que le système est fiable grâce à un défaut appliqué.

L'estimation théorique de la capacité d'un champ photovoltaïque en fonction du rendement des panneaux et les paramètres climatiques élaboré dans le dernier chapitre prouve l'efficacité économique et la rentabilité d'une centrale de production solaire qui dépend essentiellement des conditions climatiques, Ce qui convient avec celles de notre wilaya.

