



**Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



Performances d'une mini-centrale hybride alimentant une ferme agricole saharienne

Ahmed KADRI ^{*1}, Abderrahmane HAMIDAT ^{**2}

^{*} Ecole Nationale Supérieure Agronomique, El-Harrach – Alger, Algérie

^{**} Division Solaire Thermique et Géothermie, CDER, BP. 62 Route de l'Observatoire - Alger, Algérie

¹ kadri.a@hotmail.fr

² hmdab@yahoo.com

Résumé: En Algérie, la consommation énergétique électrique dans le secteur agricole représente une part non négligeable par rapport à la consommation nationale, 13% en 2005. Dans les fermes agricoles, l'énergie électrique est utilisée principalement pour l'irrigation, l'abreuvement du bétail, l'éclairage des bâtiments d'élevage et la conservation. La majorité de la source d'énergie utilisée est le fossile, supérieure à 90%. Pour les deux prochaines décennies, la politique énergétique nationale est orientée vers la diversification de la source énergétique et le développement des énergies renouvelables. En effet, il est prévu pour les énergies renouvelables atteindre 40% de la production globale d'électricité d'ici 2030.

Ainsi, le but de notre travail est de déterminer les performances d'une mini-centrale photovoltaïque hybride autonome destinée pour alimenter en électricité une ferme agricole saharienne. Une étude de cas a été réalisée pour une ferme agricole réelle située dans la daïra d'El Guerara, wilaya de Ghardaïa. La mini-centrale hybride est dimensionnée pour alimenter en électricité l'éclairage et les équipements électriques. Un profil de charges a été proposé pour la consommation électrique de la ferme. Les résultats obtenus sont très satisfaisants et ont montré que le système hybride permet de satisfaire la charge demandée par la ferme agricole.

Mots clés : Photovoltaïque, Hybride, Ferme agricole, Simulation, Energie renouvelable.

I. INTRODUCTION

L'énergie électrique est un facteur important pour développer une agriculture moderne. Ainsi, la consommation de l'énergie électrique dans le domaine de l'agriculture représente une part non négligeable dans le bilan énergétique. En Algérie, les statistiques ont donné un taux de 13% pour l'année 2005 [1]. Dans les fermes agricoles, la consommation électrique est causée principalement par les équipements d'irrigation, l'abreuvement du bétail, l'éclairage des bâtiments d'élevage et la conservation. Le fossile représente la source

d'énergie la plus utilisée, supérieur à 90%. L'utilisation des machines électrique dans le secteur agricole augmente les besoins en électricité, ce qui encourage l'utilisation d'autre source d'énergie pour améliorer l'efficacité énergétique des fermes. Pour les deux prochaines décennies, la politique énergétique nationale est orientée vers la diversification de la source énergétique et le développement des énergies renouvelables. En effet, il est prévu pour les énergies renouvelables atteindre 40% de la production globale d'électricité d'ici 2030 [2]. Cette politique vise de réduire la consommation des combustibles fossiles (pétrole et gaz) et de la même occasion de réduire les émissions des gaz à effet de serre (GES) tel que le CO₂. Les GES sont la cause principale du réchauffement climatique de la terre. C'est un choix stratégique qui a été motivé par la disponibilité d'un immense potentiel solaire. Dans la région du Sud, la durée d'ensoleillement est égale à 3500 heures par an et l'irradiation solaire journalière reçue sur une surface horizontale est supérieure à 7kWh/m². Ainsi, le Sahara algérienne bénéficie des conditions favorables à l'utilisation de l'énergie solaire pour électrifier les fermes agricoles.

Dans cet article, notre travail porte sur la détermination des performances d'une mini-centrale photovoltaïque hybride autonome destinée pour alimenter en électricité une ferme agricole saharienne. La mini-centrale hybride est dimensionnée pour alimenter en électricité l'éclairage et les équipements électriques d'une ferme agricole réelle située dans la daïra d'El Guerara, wilaya de Ghardaïa.

II. LES FERMES ET SYSTEMES D'ELEVAGE EN ALGERIE

Les systèmes d'élevages en Algérie peuvent être spécialisés pour la production de la viande, le lait ou mixte. Selon Benyoucef [3], trois principaux systèmes d'élevages mixtes se distinguent en Algérie à l'instar des pays d'Afrique

du Nord : le système d'élevage extensif pastoral, le système d'élevage en fermes et le système d'élevage familial.

A. Le système d'élevage extensif pastoral

Ce système prend des formes différentes selon l'espèce animale et la zone. Dans le cas des bovins de race locale, il s'agit d'un système extensif sans gardiennage. Il est couramment rencontré dans les régions de montagne du Nord et concerne en général des troupeaux de petite taille (5 à 10 têtes). Ce système d'élevage bovin concerne dans la majorité, des animaux de race brune de l'Atlas.

Dans le cas des ovins, associés à d'autres animaux, la situation diffère selon la race et la zone. Au Nord, il s'agit essentiellement d'animaux conduits en petits troupeaux (10 à 20 têtes) exploitées pour l'autoconsommation et pâturant un espace mini. Par contre en milieu steppique, il s'agit le plus souvent de troupeaux d'effectifs importants (200 à 5000 têtes) qui, selon les cas, sont conduits en troupeaux organisés par race et par catégorie animale ou en troupeaux mixtes associant des caprins et parfois des camelins lorsqu'il s'agit de troupeaux nomades.

B. Le système d'élevage en fermes

Dans les régions littorale et sublittoral, on rencontre essentiellement des bovins de races spécialisées pour le lait ou la viande conduits dans des ateliers laitiers et d'engraissement en association avec des activistes agricoles classiques. Les troupeaux sont en général constitués d'animaux de races locales et croisées. En zone steppique, à côté des troupeaux pastoraux, il existe quelques exploitations d'élevage ovin, finalité de production de viande. Les grandes superficies dont elles disposent sont composées essentiellement de parcours ainsi que de soles fourragères parfois irriguées. Dans certains cas des bovins spécialisés élevés pour le lait sont associés aux ovins à viande, notamment dans la partie agro-pastorale de la steppe. Dans la région du sud, et notamment dans les oasis, les animaux d'élevage sont exploités en petits troupeaux en élevage hors sol. Ils sont parfois associés à des caprins. Les animaux sont alimentés à l'étable à l'aide de fourrages cultivés et de sous-produits du palmier dattier [4].

C. Le système d'élevage familial

Ce système d'élevage concerne de petits troupeaux composites pâturant aux alentours des villages ou en bordure des routes. En milieu steppique, les animaux du village (ovins et caprins d'une part, les bovins d'autre part) sont organisés en troupeaux collectifs et conduits sous la garde de bergers du

village. Cependant dans les oasis, le troupeau est composé surtout de chèvres locales ou de brebis de type D'man par exemple, exploité en petits effectifs pour le lait et pour la viande à des fins d'autoconsommation familiale [4].

III. CONSOMMATION D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE DANS LA FERME

La consommation énergétique finale par secteur d'activité pour l'agriculture en échappe les secteurs de l'industrie, le transport, tertiaire, et le transport représente 12.65% de la consommation totale (Fig. 1).

Entre 2000 et 2005, l'évolution de la consommation électrique et les produits pétroliers, montre que la consommation du secteur agricole a augmenté de 8% en moyenne, soit 8% en gasoil et 5.5% en électricité [5]. La Fig. 2 représente la consommation d'énergie par type d'énergie en 2005.

Le gasoil est la source la plus utilisée, sa consommation représente 96% de bilan énergétique de l'agriculture et 16% du bilan national, tandis que la consommation en énergie électrique pour l'irrigation représente 4%. La consommation d'énergie électrique dans les fermes agricoles est due à l'utilisation des électriques pour le pompage de l'eau, l'éclairage, le trait, et la préparation des aliments.

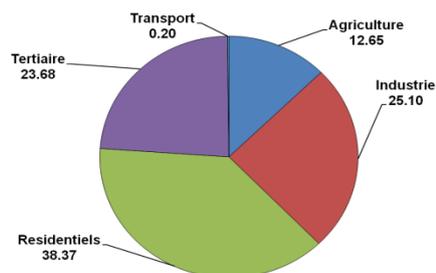


Fig. 1: Consommation énergétique finale par secteur d'activité en 2005.

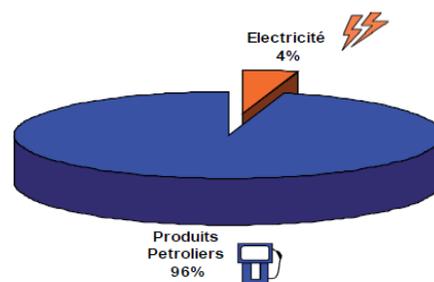


Fig. 2 : Consommation de secteur de l'agriculture par type d'énergie en 2005.



A. Le pompage de l'eau

L'élevage, l'irrigation et l'alimentation sont les principaux qui consomment de l'eau dans le secteur agricole [6]. Dans les régions du sud, le pompage de l'eau des nappes souterraines est la principale source d'alimentation en eau les fermes agricoles. Une comparaison sur la consommation de l'eau entre la région d'Adrar et Ghardaïa a été réalisée.

Dans la région d'Adrar, le pompage de l'eau assure 71% de l'eau pour l'irrigation, soit 202.21 Hm³/an. Tandis que l'alimentation en eau potable (A.E.P) représente 27%, soit 78.07 Hm³/an, et l'industrie consomme 2%, ce qui représente 4.26 Hm³/an. Pour la région de Ghardaïa, l'irrigation occupe 64%, soit 132.97 Hm³/an. L'A.E.P représente un taux de 33%, soit 67.43 Hm³/an, et enfin, l'industrie consomme 3%, soit environ 5.98 Hm³/an [7].

B. Les équipements d'éclairage

Pour l'éclairage des bâtiments, le nombre et la nature des points lumineux diffèrent fortement selon les lieux. La durée d'éclairage quotidienne en hiver est de 118 minutes en moyenne. Mais cette durée varie en fonction de la catégorie animale présente dans le bâtiment et les pratiques de l'éleveur. Par norme, un éclairage est suffisant, avec une lampe de 100 watts (à incandescence) pour 14m² [8].

C. Les équipements de préparation des aliments

D'après Oestges [9], la fabrication des aliments composés entraîne plusieurs opérations successives :

- le broyage pour réduire des produits grossiers en petites particules afin d'en faciliter le mélange ultérieur et l'assimilation par les animaux ;
- le mélange qui consiste à associer les composants préalablement dosés et broyés, et à les répartir de façon homogène.

Les deux opérations se font grâce aux machines qui sont menées avec des moteurs alimentés en courant électrique.

D. Salle de traite

Par salle de traite, il y a des stalles aménagées dans un local séparé de l'étable ou sur remorque (traite en prairie). Les installations diffèrent principalement par la disposition des animaux pendant la traite, le degré de mécanisation et d'automatisation.

Dans cette salle la traite se fait à l'aide de machine de traite, qui se compose généralement d'une pompe à vide

entraînée par moteur électrique, système de pulsation, le faisceau-trayeur, et le système d'évacuation de lait.

E. La ventilation

Qu'il s'agisse de ventilation dynamique ou statique, le renouvellement d'air d'un bâtiment est un élément primordial pour assurer le bien-être et la santé animale. Le principe repose sur l'utilisation de ventilateurs commandés par un régulateur muni d'une sonde de température. Les ventilateurs sont employés comme extracteur plaçant le bâtiment en légère dépression entraînant ensuite une arrivée d'air frais par des ouvertures prévues à cet effet [10].

IV. MODELISATION DU SYSTEME PV HYBRIDE

La mini-centrale hybride est constituée d'une générateur PV, d'un convertisseur, et des batteries de stockage (Fig. 3). Elle utilise aussi un groupe électrogène comme une source d'appoint pour charger les batteries [11][12][13]. La modélisation des composants du système permet de nous donner ses performances.

A. Modélisation de générateur PV

Le module PV est constitué de plusieurs cellules qui transforment l'énergie solaire en énergie électrique. Dans ce travail, nous avons élaboré, sous environnement Matlab, un programme de simulation pour le calcul de la caractéristique $I=f(I,V)$ et la puissance électrique maximale (P_m) du module photovoltaïque en fonction de l'irradiation solaire globale et de la température de jonction T_j . La caractéristique $I=f(I,V)$ du module photovoltaïque est déduite du schéma électrique équivalent de la cellule photovoltaïque (Fig. 4).

La loi de nœuds, nous permet d'écrire l'équation suivante :

$$I = I_L - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

Et on déduit l'équation générale du module photovoltaïque où tous les paramètres seront relatifs au module photovoltaïque et non à la cellule photovoltaïque [14][15]:

$$I = I_L - I_0 * \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{AV_t} \right) - 1 \right] - \frac{V + I}{R_s} \quad (2)$$

Avec, I_L est le photocourant, I_0 est le courant de saturation de la diode, A est le facteur d'idéalité de la diode, R_s est la résistance série et R_{sh} est la résistance shunt. Où V_t est donnée par l'équation suivante :



**Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies**

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



$$V_t = \frac{k}{q} \quad (3)$$

Avec, T_j est la température de jonction, k est la constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K) et q est la charge de l'électron ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C)

$$I_0 = (I_{cc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}) \exp\left(-\frac{V_{oc}}{N_c \cdot A \cdot V_t}\right) \quad (6)$$

$$R_s = R_{s0} - \frac{N_c \cdot A \cdot V}{I_0} \exp\left(-\frac{V_{oc}}{N_c \cdot A \cdot V_t}\right) \quad (7)$$

$$I_L = I_{cc} \left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}}\right) + I_0 \left(\exp\left(\frac{I_{cc} R_s}{N_c \cdot A \cdot V_t}\right) - 1\right) \quad (8)$$

$$R_{sh} = R_{sh0} \quad (9)$$

Où : N_c est le nombre de cellule dans une module PV.

La validité du modèle est obtenue en utilisant la déviation standard de l'erreur (DSE) et l'erreur relative (E_x). Ces équations sont données comme suit :

$$DES = \left[\frac{\sum (I_{cal} - I_{mes})^2}{N} \right]^{0.5} \quad (10)$$

Où : I_{cal} et I_{mes} sont les valeurs calculer et mesurées de courant. N est le nombre de mesure.

$$E_x = \frac{X_{cal} - X_{mes}}{X_{mes}} \times 100 \quad (11)$$

Avec : X est la puissance maximale du module photovoltaïque.

Les résultats de calcul d'erreur sont donnés dans le Tableau 1. Ces résultats montrent que le modèle mathématique proposé présente des valeurs de l'erreur DSE et l'erreur relative très faibles.

TABLEAU 1 : RESULTATS DU DES POUR LE MODULE PV DE TYPE UDTS-50.

G (W/m ²)	T _j (°C)	P _m (W)	DSE	E _x (%)
1030	42.6	46.62	0.157	0.922
824	41.3	39.23	0.112	0.529
589	37.0	29.73	0.061	0.132

En utilisant le modèle de la caractéristique $I=f(I,V)$, nous avons écrit un programme de simulation sous Matlab. Les Fig. 5 et 6 donnent les courbes de la caractéristique puissance en fonction de la tension pour différents éclaircements et températures de jonction.

B. Estimation de l'état de charge des batteries

Dans le système hybride avec stockage, l'état de charge des batteries doit être correctement estimé [16][17][18][19].

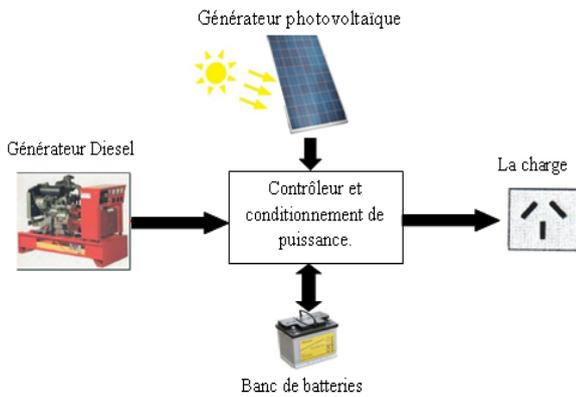


Fig. 3: Configuration d'un système photovoltaïque-diesel-batteries

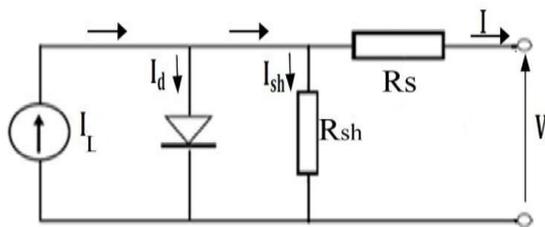


Fig. 4 : Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Le modèle utilisé pour l'équation (2) est basé sur le calcul des cinq paramètres de la caractéristique $I=f(I,V)$. Ces paramètres sont : I_L , I_0 , R_s , R_{sh} et A . Ces paramètres sont déterminés à partir des données qui sont le courant de court-circuit I_{SC} , la tension à circuit ouvert V_{OC} , le courant I_m et la tension V_m au point de puissance maximale P_m et les pentes au voisinage de V_{OC} et de I_{SC} . Les équations des paramètres sont les suivantes :

$$-R_{s0} = \left(\frac{dV}{dI}\right)_{V=V_{oc}} \quad (4)$$

$$-R_{sh0} = \left(\frac{dV}{dI}\right)_{I=I_{cc}} \quad (5)$$

$$A = \frac{V_m + I_m R_{s0} - V_{oc}}{\ln\left(I_{sc} - \frac{V_m}{R_{sh}} - I_m\right) - \ln\left(I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh}}\right) + \left(\frac{I_m}{I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{sh0}}}\right)}$$



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



L'énergie stockée dans les batteries en tranche horaire (t) pendant la période de charge est calculée par :

$$E_{Bc}(t) = E_{Bc}(t-1)(1 - n_s) + \left[\frac{E_{pv}(t) - E_1(t)}{n_{cnv}} \right] n_{bat} \quad (12)$$

L'énergie stockée dans les batteries pendant la période de décharge est :

$$E_{Bd}(t) = E_{Bd}(t-1)(1 - n_s) + \left[\frac{E_{pv}(t) - E_1}{n_{cnv}} \right] \quad (13)$$

Où $E_{Bc}(t)$ et $E_{Bc}(t-1)$ sont l'énergie stockée dans les batteries pour deux temps successifs, n_s est le coefficient pour lequel les batteries s'autodéchargent, n_{cnv} est le coefficient de convertisseur, et n_{bat} est l'efficacité de charge des batteries comprise de 0.65 à 0.85. L'estimation de l'état de charge des batteries (EDC) est compliquée, il dépend de l'énergie des batteries pendant la charge et le décharge (E_{Bd}). Le choix de l'énergie minimum (EDC_{min}) à maintenir les batteries est en fonction du coût et la durée de vie du système photovoltaïque hybride. Ainsi, l' EDC en tranche horaire de temps t est calculer par :

$$EDC(t) = \frac{E_{Bd}(t)}{C_{bat} V_{nb}} \quad (14)$$

Où C_{bat} et V_{nb} sont respectivement la capacité et la tension du banc des batteries.

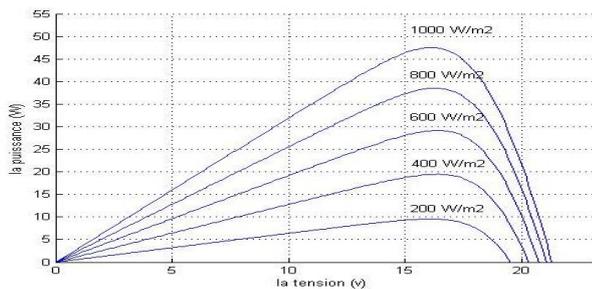


Fig. 5 Caractéristiques puissance-tension pour différents éclaircissements

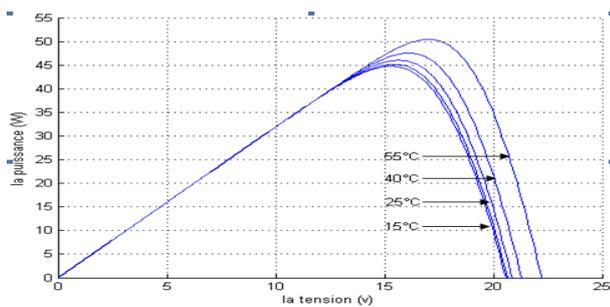


Fig.6 Caractéristiques puissance-tension pour différentes températures

V. PERFORMANCES DE LA MINI-CENTRALE HYBRIDE ALIMENTANT UNE FERME AGRICOLE

A. Présentation du site et profile de charge de la ferme

1) Présentation de site :

La ferme agricole étudiée est située au niveau d'El-Guerara, une ville distant de 150 km du chef-lieu de la wilaya de Ghardaïa (Fig. 7). Ces coordonnées géographiques sont : latitude 32° N, longitude 4° E et d'altitude 450 m.

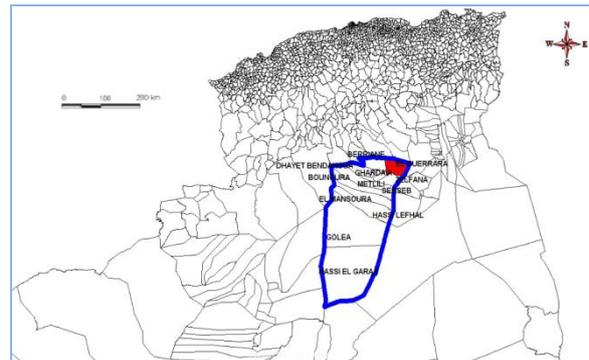


Fig.7 Localisation de la ferme agricole (point rouge) dans la wilaya de Ghardaïa (trait bleu).

2) Les données météorologiques :

Le gisement solaire de Ghardaïa est important. Sa situation géographique lui donne une importante richesse énergétique, l'irradiation globale journalière reçue sur un plan horizontal est de l'ordre de 6kWh/m² en moyenne [20]. La Fig.8 montre l'évolution de l'irradiation solaire reçue sur un plan horizontal et sur un plan incliné de 32°. Le mois de juin avec une irradiation solaire de 6984 Wh/m² est le mois le plus favorable de l'année. Les températures moyennes mensuelles de Ghardaïa sont représentées dans la Fig.9. Ces données sont relevées durant les années 2000 et 2009 par l'ONM.

3) Profile de charge d'énergie

Pour cette ferme agricole, nous avons établis un profile de charge journalier basé sur une enquête menée au niveau de la ferme et sur le programme de fonctionnement de ces équipements électriques. Le profile de consommation électrique est représenté par l'histogramme de la Fig. 10.

La consommation est importante tôt le matin, entre 4 et 6 heures, et entre 8 et 10 heures du matin et entre 17 et 18 heures de l'après midi à cause de l'utilisation de la machine de trait et les machines de grande puissance telles que le



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



mélangeur et le broyeur pour la préparation des aliments. Le soir, la consommation est due essentiellement à l'éclairage de la ferme et les locaux des travailleurs.

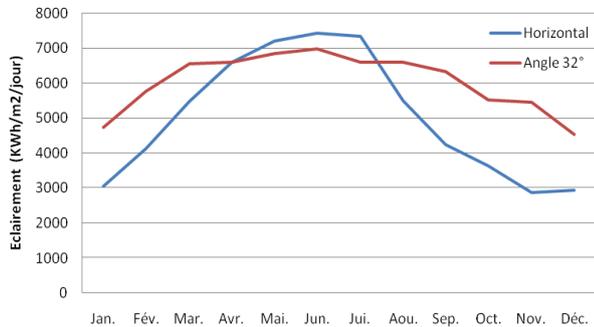


Fig. 8 relevée de l'ensoleillement moyen mensuel global de Ghardaïa

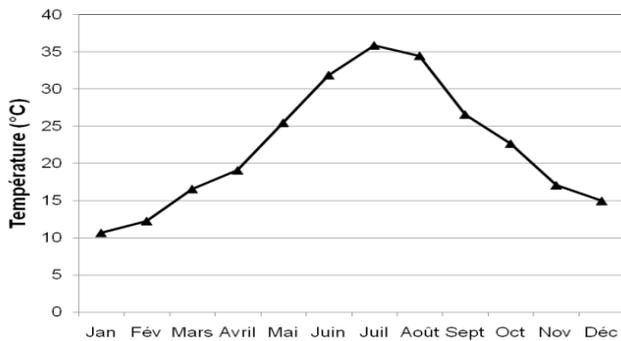


Fig. 9 : Température ambiante relevée à Ghardaïa, Source : ONM 2009

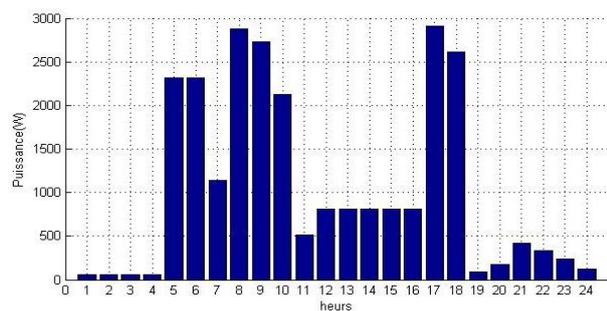


Fig. 10 : Le profil de charge de la consommation journalière

B. Résultats et discussions

1) Dimensionnement de la mini-centrale hybride

Le dimensionnement de la mini-centrale hybride est basé l'utilisation des conditions les plus favorables de l'irradiation solaire et le déficit en énergie est compensé par le groupe électrogène qui a pour rôle de charger les batteries et non la

charge. Le profil de charge de la ferme agricole donne une énergie électrique égale à 25 kWh/j. Ainsi, les résultats de dimensionnement présentent une puissance crête du générateur photovoltaïque égale à 3.76 kWc, un convertisseur de 3kVA (48 Vdc et 220 Vac), une capacité des batteries de 820 Ah (24 batteries de 2 V et 820 Ah) et un groupe électrogène de 5 kVA.

2) Résultats de la simulation du système

Notre programme de simulation, nous permet d'obtenir les résultats concernant le fonctionnement et l'évolution des paramètres de la mini-centrale hybride tels que la tension, le courant et la puissance produite par le générateur PV et les différents bilans d'énergie. La tension de fonctionnement du générateur photovoltaïque est optimisée à l'aide du convertisseur dc/ac. La tension d'entrée du convertisseur dc/ac est égale à 48V. La distribution de la consommation énergétique mensuelle et l'énergie produite par le générateur photovoltaïque montre que la majorité de la consommation énergétique est assurée par la source solaire photovoltaïque (Fig. 11).

Les bilans énergétiques du système sont présentés dans la Fig. 13. Ces bilans sont obtenus pour les mois de décembre et juin qui représentent respectivement la période la moins ensoleillée et la plus ensoleillée. Les résultats montrent que le rendement énergétique du générateur photovoltaïque est légèrement meilleur en décembre, 10.80% contre 10.37% pour le mois de juin. Bien que, l'énergie produite au mois de juin est nettement plus importante, 21.90 contre 13.70 kWh/j pour décembre. Cette différence est due à l'effet négatif de la température sur la cellule photovoltaïque. En décembre la température ambiante est faible par rapport au mois de juin qui dépasse les 30°C.

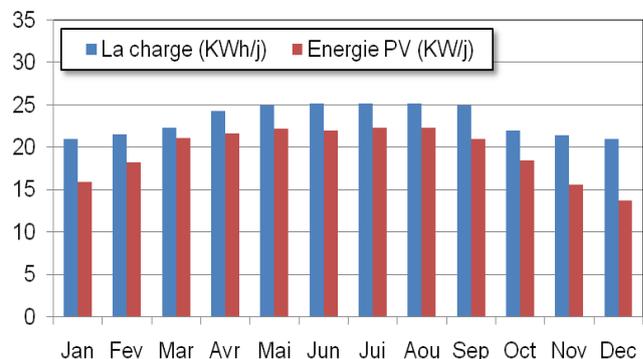


Fig. 11 : Distribution de la charge journalière et la puissance délivrée par le générateur PV.



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

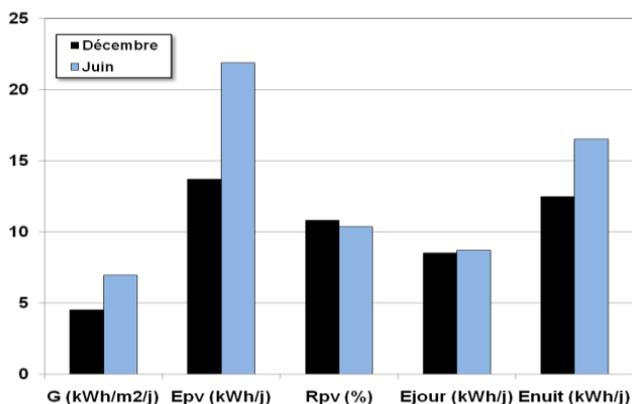


Fig. 13 : Le bilan énergétique du système PV hybride

V. CONCLUSION

Notre étude présente la simulation des performances d'un système photovoltaïque hybride pour alimenter une ferme agricole saharienne. Dans cette étude, les données sont réelles issues d'une ferme agricole réelle située à El-Guerara W. Ghardaïa. Les résultats obtenus par la simulation montrent que le système hybride, proposé dans ce travail, permet de satisfaire la demande énergétique de la ferme agricole sans perte d'énergie. En effet, le dimensionnement sur la base du mois le plus favorable, nous a permis de réduire les dimensions du générateur photovoltaïque et la capacité de stockage des batteries. Les déficits existants ont été satisfaits par l'utilisation du groupe électrogène.

VI. REFERENCES

- [1] Kadri Ahmed, Simulation des performances d'une mini-centrale électrique multi-sources alimentant une ferme agricole saharienne. Mémoire de Magister 2011, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, El-Harrach, Alger, 102p.
- [2] Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique. Document du Ministère de l'Energie et des Mines, Edit. Satinfo, Mars 2011.
- [3] M. Benyoucef, Diagnostique systémique de la filière lait en Algérie. Thèse de doctorat. INA d'El-Harrach, Alger, 396p, 2005.
- [4] A. Boubkeur, Essai d'établissement de typologie d'exploitation d'élevage laitiers dans le contexte du sud algérienne : cas de la wilaya d'Adrar. Mémoire de magister 2010, INA d'El-Harrach, Alger, 145p.

- [5] Consommation énergétique final de l'Algérie, APRUE, Ministère de l'Energie et des Mines, Edition 2009.
- [6] K. Descheemaeker, Improving water productivity in mixed crop-livestock farming systems of sub-Saharan Africa. Agricultural Water Management, Volume 97, N° 5, pp. 579-586, 2009.
- [7] www.abhs.dz
- [8] M. Frioui. La ferme d'élevage d'El-Alia. Mémoire de magister, INA d'El-Harrach, Alger, 196p, 1997.
- [9] O. Oestges. La mécanisation des travaux à la ferme. Edition Gembloux, Belgique, 233p. 1979.
- [10] T. Norton. Assessing the ventilation effectiveness of naturally ventilated livestock buildings under wind dominated conditions using computational fluid dynamics. Biosystèmes Engineering, Volume 103, N°1, pp.78-99. 2009.
- [11] M. Rashed, A. Elmitwally, S. Kaddah. New control approach for a PV-diesel autonomous power system. Electric Power Systems Research, Volume 78, Issue 6, pp. 949-956, 2008.
- [12] E.M. Nfah, J M. Ngundam, R. Tchinda. Modeling of solar/diesel/battery hybrid power systems for far-north Cameroon. Renewable Energy, Volume 32, N°5, pp. 832-844, 2007.
- [13] P. Arun. Optimum sizing of photovoltaic battery systems incorporating uncertainty through design space approach. Solar Energy, Volume 83, N°7, pp. 1013-1025, 2009.
- [14] D.S.H. Chan, J.R. Philips and J.C.H. Phang. A comparative study of extraction methods for solar cell model parameters. Solid State Electronics, Vol. 29, pp. 329-337, 1986.
- [15] W. Zhou, H. Young, Z. Fang. A novel model for photovoltaic array performance prediction. Applied Energy, vol. 84, pp.1187-1198, 2007.
- [16] W.X. Schen. Optimally sizing of solar array and battery in a standalone photovoltaic system in Malaysia. Renewable Energy, vol. 34, pp. 348-352, 2009.
- [17] S. Diaf. A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid photovoltaic wind system. Energy Policy, vol. 35, pp. 5708-5718, 2007.
- [18] G. Notton. Optimal sizing of a grid-connected PV system for various PV module technologies and inclinations, inverter efficiency characteristics and locations. Renewable Energy, vol. 35, pp. 541-554, 2010.
- [19] S.M. Shaahid, M.Elhadidy. Economic analysis of hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for residential loads in hot regions-A step to clean future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 12, pp.488-503, 2008.
- [20] PV-GIS. <http://rejrc.ec.europa.eu/pvgis/>