

# **ETUDE TECHNICO- ECONOMIQUE D'UN SYSTEME HYBRIDE (EOLIEN – PHOTOVOLTAÏQUE-DIESEL) DE PRODUCTION D'ELECTRICITE SANS INTERRUPTION**

**D .KOUSSA, M.BELHAMEL**

Route de l'observatoire BP.62, Bouzaréah , Alger  
Tél. :(021) 90 15 03 – 90 14 46 Fax :(021) 90 16 54 – 90 15 60

## **RESUME :**

Le rôle d'un système hybride (éolien – photovoltaïque – Diesel) de production d'électricité sans interruption dans les régions isolées en voie de développement n'est pas seulement d'apporter « une puissance énergétique », mais un outil de développement social et économique des zones rurales. Le nombre de kilowattheures produit peut paraître insignifiant devant la capacité de production énergétique du pays, mais ces quelques dizaines ou centaines de kilowattheures peuvent ranimer tout l'espoir d'un village ou d'une communauté . Ainsi, le travail proposé consiste en un dimensionnement d'un système hybride pour alimenter une maison type, qui peut être située dans différentes zones climatiques algériennes.

Une étude économique est élaborée. Ceci nous a permis de comparer les contraintes financières relatives à chacun des systèmes. Ainsi, pouvoir choisir le système présentant d'une part une couverture totale de la charge et d'autre part des problèmes techniques les plus modérés que possible sans oublier le côté financier du système considéré.

## **ABSTRACT**

The duty of a hybrid system (wind - photovoltaic - Diesel) for the production of electricity without interruption in isolated regions in developing countries is not only to bring " an energetic power ", but a tool of social and economic development for the farming zones. The number of kilowatt-hours produced can appear insignificant compared to the country energetic production, but these few hundred kilowatt-hours can revive all the hope of a village or a community. Thus, the proposed work consists of sizing a hybrid system to supply a standard house that can be situated in different Algerian climatic zones.

An economic study is elaborated. It permits us to compare the relative financial constraints to each system. Thus, to be able to choose the system presenting a total cover of the load on the one hand and on the other hand of most moderate technical problems as possible without forgetting the financial side of the considered system.

## **I. INTRODUCTION**

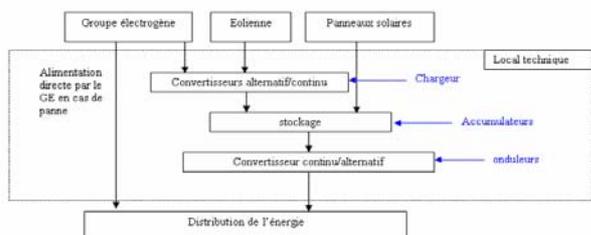
Des récentes estimations ont montré qu'actuellement près de 2.2 milliards d'individus ne sont toujours pas raccordés aux grands réseaux d'électricité [1](ce qui représente environ 44% de la population mondiale), pour la plus part située dans les pays du tiers monde dont l'Algérie, ou plus de 50% vivent encore sans électricité, 95% d'entre eux vivent dans la partie sud algérienne du fait des plus faibles revenus, de la présence des régions rudes et d'une faible densité de population.

Les systèmes hybrides (éolien –photovoltaïque) bien adaptées à une production décentralisée d'électricité peuvent contribuer résoudre ce problème. La donnée initiale dans la mise en œuvre d'un système de production à source d'énergies renouvelables comme pour tout autre système énergétique est la demande, qui va être déterminée par rapport à la charge à alimenter. Cette demande doit être estimée aussi précisément que possible tant d'un point de vue des puissances appelées que de sa répartition temporelle, même si son caractère souvent aléatoire rend cette tâche bien difficile.

L'ajout d'un groupe électrogène à un système de production d'énergies renouvelables, peut d'une part augmenter la fiabilité du système, alimenter des charges plus énergivores et diminuer de manière importante le coût de l'électricité produite par une diminution importante de la taille des générateurs solaire et éolien. Nous allons envisager dans notre étude d'alimenter une maison isolée située dans quatre zones climatiques algériennes ou de manière plus exacte d'apporter un certain service énergétique à un foyer quelconques. En fait, ce n'est pas l'énergie en soi que réclame une population mais un service énergétique, a nous de le lui apporter au moindre coût et avec une efficacité énergétique.

## II. PRESENTATION DU SYSTEME HYBRIDE :

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale[2], est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Le système qui nous intéresse regroupe trois parties à savoir l'éolienne et les panneaux solaires et comme appoint le groupe électrogène. Ces trois sources de production de l'énergie passent par un stockage électrochimique (figure.1). Sur notre figure nous avons un aérogénérateur, un champ de panneaux photovoltaïques et un groupe électrogène. Le groupe



électrogène et l'aérogénérateur débitent un courant alternatif dont l'utilisation d'un convertisseur AC/DC est indispensable. En cas de panne l'alimentation se fera directement par le groupe électrogène

Figure (1) Présentation d'un système hybride

## III. CALCUL DES CHARGES

### III.1 LES SITES D'IMPLANTATION

- Nous avons choisi les quatre sites suivants :
- Adrar (La.=27.8, Lo.=0.18W, Al.=263.9m) ;
  - Batna (La.=35.6, Lo.=6.18E, Al.=1051.9m) ;
  - Ghardaïa (La.=32.4, Lo.=3.8,E, Al.=468.4m) ;
  - Tamenrasst (La.=22.8, Lo.=5.5E, Al.=1377m).

Le choix de ces sites à été basé sur la disponibilité des données météorologiques [3],[4]. L'évolution annuelle des caractéristiques climatiques de chacun de ces sites est donnée sur les figures suivantes :

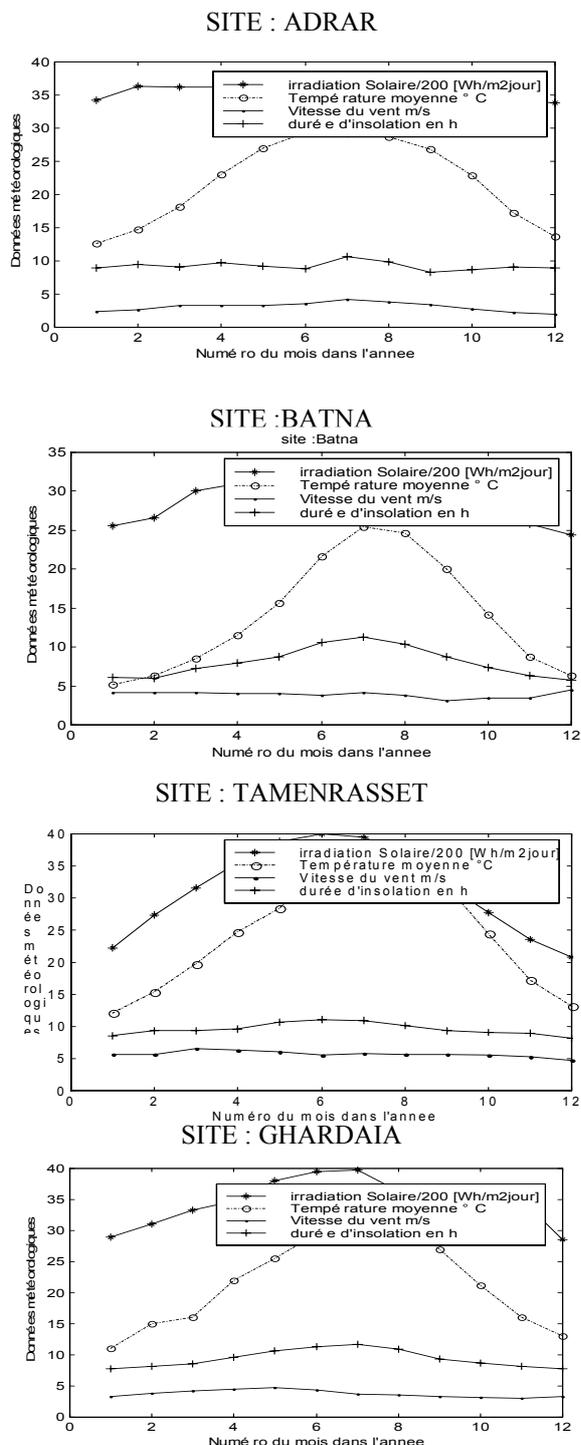


Figure (2) : Caractéristiques climatiques de chacun des sites

### III.2 CARACTERISTIQUES DE LA MAISON CHOISIE

Nous avons choisi une maison type non raccordée au réseau de distribution d'énergie classique et équipée de l'ensemble des appareils permettant de fournir le confort aux occupants.

Les caractéristiques de la maison choisie sont données ci dessous :

- Type : individuelle
- Nombres de pièces : 03 pièces + couloir
- Eclairage (Lampes fluorescentes) : Chambres ; cuisine ; toilette ; salle de bain et couloir.

Equipements électroménagers : Réfrigérateur ;  
Téléviseur Couleur ; Fer à repasser et  
Ventilateur.

### III.3 DETERMINATION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE

La valeur du nombre d'heures de  
consommation[4] est déterminée en fonction des  
consommations :

- Eclairage qui dépend :

a -de l'heure du lever et du coucher du soleil qui  
est fonction de :

\* la situation géographique du site ;

\* la correction due au décalage horaire par  
rapport au temps universel ;

\*la correction due au décalage du  
faisceau de longitude du lieu (3mn/degrés) ;

\*la correction due à la variation  
saisonnnière de l'équation du temps.

b - des heures du lever et du coucher des  
membres de la famille(lever 7h, coucher 23h).

- Equipements

a - Le réfrigérateur :le nombre d'heures de  
fonctionnement du compresseur dépend de la  
température du milieu environnante. Pour cette  
raison nous supposons que:

\* Durant la période hivernale (Octobre -  
Avril) le compresseur ne fonctionne que 8h/24h ;

\* Durant la période estivale celui-ci  
fonctionne 12h/24h.

b - Le ventilateur : Il n'est sollicité que durant la  
période chaude (mai-septembre).

Sur les figures suivantes nous présentons les  
diagrammes relatifs au lever et au coucher du soleil  
en heure locale. Nous constatons que ces paramètres  
varient d'une saison à l'autre. Ainsi connaissant les  
heures du lever et du coucher de la famille, nous  
pouvons déterminer facilement le nombre d'heures  
de consommation relatif à l'éclairage d'une maison  
quelconque sur le lieu considéré.

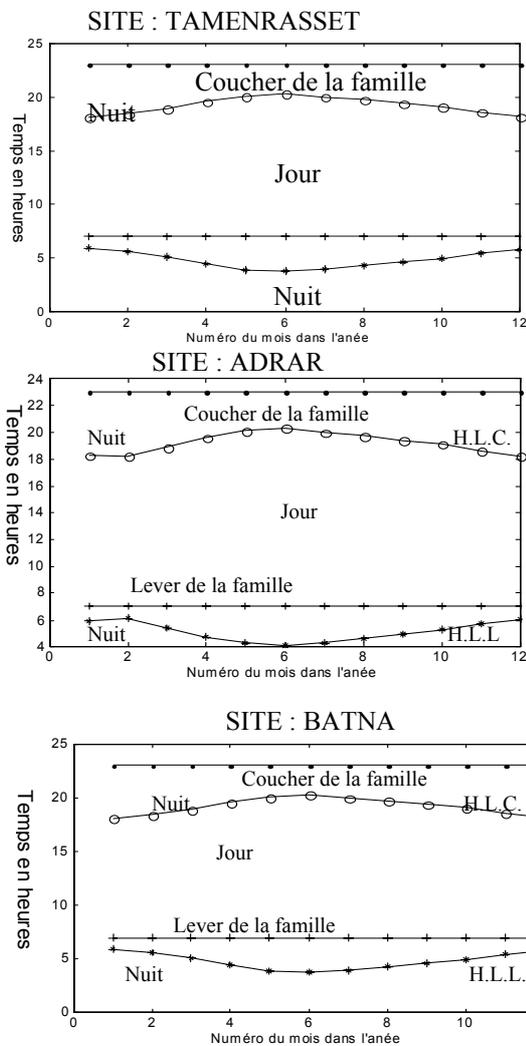
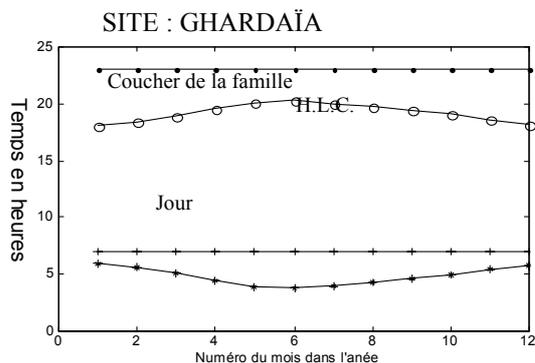


Figure (3) Diagramme de calcul du nombre d'heures  
de consommation

## IV. DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME

### IV.1 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

Pour le calcul du besoin en électricité nous avons  
utilisé la méthode développée par Michel Rodot et  
Al [5]. Dans notre travail nous avons pris comme  
caractéristiques :

Rendement des accumulateurs = 85%, tension  
nominale =48 V, décharge maximale des  
accumulateurs = 50%, nombre de jours de  
stockage= 3 jours, Rendement du générateur  
photovoltaïque =11.3%. Ainsi, pour le  
dimensionnement du système photovoltaïque nous  
avons utilisé le modèle développé par Singer et al  
[6],[11] et nous donnons respectivement sur les  
tableaux qui suivent le nombre de panneaux  
nécessaire pour notre charge et le système de  
stockage .

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nbre. de batteries	4	4	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4

Tableau (1) : Détermination du nombre de batteries

Mois/Sites	ADRAR	GARDAIA	BATNA	TAMENRASSET
Janvier	29	36	60	26
Février	24	33	65	24
Mars	26	24	43	27
Avril	24	23	35	23
Mai	24	23	32	31
Juin	21	21	22	34
Juillet	22	19	19	22
Août	26	22	23	27
Septembre	27	25	28	38
Octobre	27	29	40	30
Novembre	26	37	56	26
Décembre	32	34	66	26
Maximum	32	36	66	38

Tableau (2) : Détermination du nombre de panneaux photovoltaïques

## IV.2 SYSTEME EOLIEN

Concernant le modèle analytique utilisé pour le dimensionnement du système éolien, nous avons adopté celui proposé par B.F.Bell et al [7],[11]. Dans notre cas le type d'aérogénérateur utilisé est du type Darius VAWT dont les caractéristiques sont données comme suit :

$P_s=3kW$  ,  $P_r=3.5 kW$  ,  $A_s= 27.8 m^2$  ,  $\rho_s=10.2 rd/s$  ,  $D_s=6,5m$  ,  $V_{ci}=4m/s$  ,  $V_r=27 m/s$  ,  $V_{co}=35m/s$  et les rendements respectifs du multiplicateur de vitesse et de la génératrice sont de 85% et 80%.

## V. PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Nous donnons sur les figures suivantes les résultats obtenus pour un système hybride éolien-photovoltaïque et comme appoint le groupe électrogène au cas de présence de déficits et de panne.

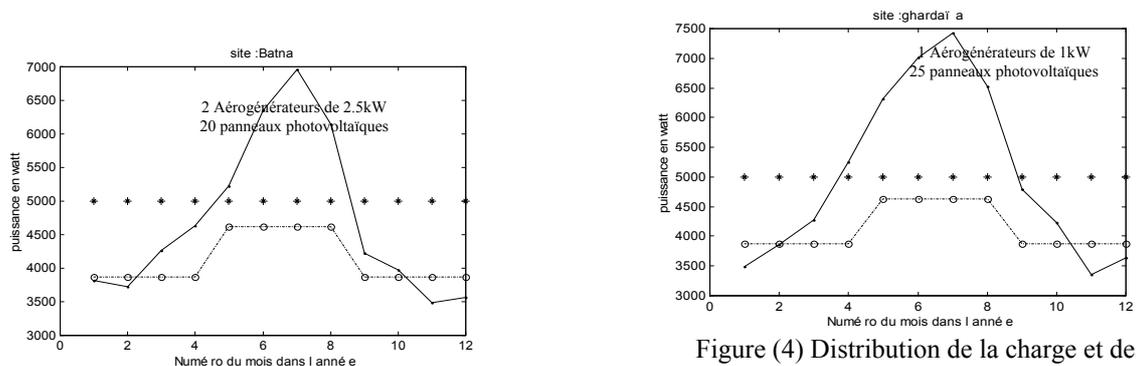


Figure (4) Distribution de la charge et des puissances produites par un système hybride

(-.-) Puissance délivré par le système hybride (éolien- photovoltaïque)

(-o-) charge

(\*\*) Puissance délivrée par un groupe électrogène.

Nous constatons que pour les sites de Ghardaïa et Adrar la charge est complètement couverte respectivement par un aérogénérateur et 28 panneaux photovoltaïques et un aérogénérateur et 25 panneaux photovoltaïques. à l'exception du mois de novembre – décembre, la couverture de cette charge représente un faible déficit qui peut être couvert par un groupe électrogène au lieu d'un ensemble de 8 panneaux photovoltaïques dont le prix de revient est relativement plus important.

Pour le site de Tamanrasset , le potentiel éolien étant très faible alors que le potentiel solaire semble plus satisfaisant ainsi la couverture de la charge peut être effectuée par un ensemble de 32 panneaux photovoltaïques. A cette couverture nous devons rejoindre un groupe électrogène pour pouvoir remédier au déficit représenté par le système photovoltaïque durant les mois de septembre et mai. Par contre, pour le site de Batna, le potentiel énergétique solaire semble relativement faible pour la période hivernale. Ainsi la couverture de la charge sera surtout engendrée par un système éolien compensé par un ensemble de panneaux photovoltaïques (24 P.P.).

Par ailleurs, nous constatons respectivement pour la période estivale mai - sep., juin –août, mai- août et mai - sep. Pour les sites de Batna, Tamanrasset, Adrar et Ghardaïa que la couverture représente une surproduction assez importante 0.5 à 1.5 kW qui peut être exploité soit dans un système de pompage solaire soit dans un système de climatisation (humidification).

## VI. ETUDE ECONOMIQUE DU SYSTEME

Sur la figure (5) nous avons présenté le prix total installé [9] d'un système éolien, photovoltaïque et d'un système hybride, nous constatons que le système éolien (aérogénérateur) représente l'investissement le plus élevé relativement au

système hybride et au système photovoltaïque, nous avons prévu 4 aérogénérateurs de 2.5 kW qui permettent de couvrir complètement la charge. Par ailleurs, le système photovoltaïque représente une solution économique la plus meilleur pour les sites : Adrar, Ghardaïa et Tamanrasset . Par contre, pour le site de Batna, cette solution semble la plus coûteuse par le faite que ce site représente un potentiel énergétique solaire très modéré. Par contre cette solution représente un déficit durant la période hivernale. Ainsi, l'utilisation d'un système hybride peut remédier à la lacune mais le prix de revient sera plus élevé.

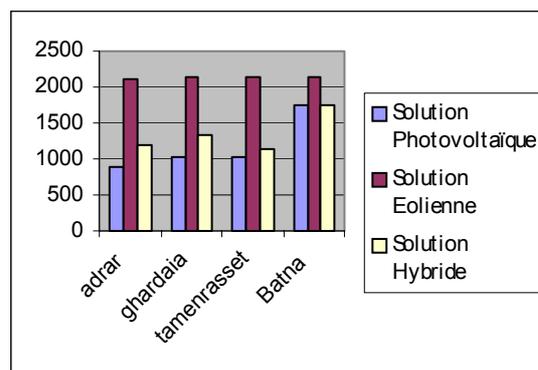


Figure (5) Présentation du prix total installé pour chacun des systèmes

### VI.1 PRIX DU kWh PHOTOVOLTAÏQUE

Sur le tableau ci dessous nous donnons les prix du kWh en DA pour divers sites, divers durée de vie et divers taux d'intérêt. ainsi, nous constatons d'une part que plus la durée de vie est importante plus le prix du kWh diminue et ceci est lié à l'amortissement du système, alors que pour des taux d'intérêts plus élevés le prix de revient augmente ceci étant tous simplement lié au prix de revient de l'installation, de la fluctuation du prix de chacun des composants du système et de l'amortissement.

Site	ADRAR			GHARDAÏA			BATNA			TAMENRASSET		
Taux d'Intérêt	Durée de vie de l'installation(année)											
	10 ans	15 ans	20 ans	10 ans	15 ans	20 ans	10 ans	15 ans	20 ans	10 ans	15 ans	20 ans
5%	118	94	82	135	107	93	231	183	160	138	110	96
10%	143	120	109	163	137	125	279	234	214	167	140	128
15%	170	149	141	194	170	161	332	291	275	199	174	164

Tableau (3) : Prix du kWh photovoltaïque en DA

### VI.2 PRIX DU kWh EOLIEN

Pour ce qui est du système éolien (aérogénérateur), comme nous l'avons soulevé

précédemment que pour couvrir totalement la charge domestique il faut utilisé 4 aérogénérateurs avec une puissance nominale de 2.5kW.

Les mêmes remarques citées pour le photovoltaïque restent valables sauf que le prix du

kWh éolien est nettement plus élevé.

Taux d'intérêt	Durée de vie de l'installation		
	10 ans	15 ans	20 ans
5%	285	226	197
10%	344	288	263
15%	409	359	339

Tableau (4) : Prix du kWh éolien en DA

### VI.3 PRIX DU kWh HYBRIDE

En ce qui concerne la solution hybride et d'après le tableau (5) elle présente un prix du kWh nettement moins élevé que celui d'un système éolien.

Mais par contre comparativement à celui du système photovoltaïque, pour les sites d'Adrar, Ghardaïa et Tamanrasset le système photovoltaïque semble le plus compétitif alors qu'il représente un prix de revient nettement plus faible pour le site de Batna

Site	ADRAR			GHARDAÏA			BATNA			TAMENRASSET		
Taux d'Intérêt	Durée de vie de l'installation(année)											
	10 ans	15 ans	20 ans	10 ans	15 ans	20 ans	10 ans	15 ans	20 ans	10 ans	15 ans	20 ans
5%	157	124	109	175	142	123	149	117	102	233	185	162
10%	190	159	145	216	181	165	180	150	135	283	237	216
15%	226	198	187	257	225	213	213	187	176	336	295	278

TABLEAU (5) : PRIX DU KWH HYBRIDE EN DA

## VII. CONCLUSION

Notre étude a porté sur la modélisation et la simulation d'un système hybride combinant deux sources d'énergies renouvelables qui sont l'éolien et le solaire et comme appoint le groupe électrogène. Un programme de simulation a été mis au point pour prédire le comportement du système en entier.

L'exemple de simulation a été appliqué à quatre sites algériens où les données météorologiques (rayonnement, vitesse du vent, la température ambiante et la durée d'insolation) sont disponibles.

D'après l'analyse faites sur les résultats, la combinaison des deux sources d'énergies relie à un système d'appoint (groupe électrogène) engendre un profit énergétique considérable (présence quotidienne de l'alimentation). Les filières concernant les systèmes hybrides d'exploitation des énergies renouvelables est relativement neuve sur le plan mondial .Son champ d'application est très vaste et nécessite l'apport de tous les spécialistes travaillant indépendamment sur les différentes parties du système.

Nous espérons par ce travail avoir donné un aperçu concernant la dynamique de la conception des systèmes hybrides et avoir apporté un plus à cette filière .

## REFERENCES

- [1] Gilles Notton et Marc Muselli. Utilisation rationnelle de l'énergie et énergies renouvelables, des allies incontestables: application à une production décentralisée d'électricité photovoltaïque. Université de Corse - Centre de Recherches "Energie et Systèmes ".U.R.A. CNRS 2053, Route des Sanguinaires, F-20000 AJACCIO, France.
- [2] Johann Rannou. Analyse du fonctionnement d'une petite centrale électrique hybride en site isolé.2002
- [3] M.Koussa et all. Recueil des paramètres astronomiques relatifs aux sites d'Algérie. Tome1 et 2. Alger. Décembre 1989.
- [4] M.Koussa. Détermination du gisement solaire Alger-Bouzaréah. Thèse de magister. Alger. Mars 1990.
- [5] M. Rodot et A. Benallou. Electricité solaire au service du développement rural. Edition et diffusion : Quadrichromie décembre 1987.
- [6] S. singer, B.Rozenshtein and S. Surazi. Caractérisation of PV. Array Output Using a Small Number of Measured Parameters. Solar Energy Vol .32, N° 5, PP.603-607, 1984.
- [7] Benjamin F,Bell and Jon G.Mccowan. An Analytical Study of Hybrid Wind Passive Solar System.. Solar Energy, Vol.32, N°3,PP. 405-415,1984

- [8] G.De Gevigney – E. Buchet – D.Royer  
Logiciel technico-economique d'installation  
solaire- photovoltaïques.  
DRE /STRE/LES/87.024.
- [9]Le catalogue des outils solaires. Edition  
N°26, PP 1-25, Sept.2001
- [10] D.Koussa and all Système hybride  
(éolien- solaire) pour l'alimentation d'une  
charge à usage domestique. Communication au  
premier séminaire sur l'implication de  
l'énergie solaire et éolienne dans le  
développement durable. 30-31 octobre 2001.  
Adrar Algérie.