

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE



UNIVERSITÉ SAAD DAHLEB. BLIDA  
FACULTÉ DES SCIENCES DE L'INGENIEUR  
DEPARTEMENT DES ENERGIES  
RENOUVELABLES



## Mémoire

Présenté par: **Mr ZOUAKOU Souheil**

Pour l'obtention du Diplôme de:

**MASTER**

**EN ENERGIES RENOUVELABLES**

**OPTION : HABITAT BIOCLIMATIQUE**

**Dimensionnement et simulation d'un  
système hybride éolien-photovoltaïque  
autonome avec batteries intégré dans un  
habitat individuel**

**Soutenue le : 28/09/2016 Devant le jury composé de :**

**Mme KHARCHI  
Mme HAMANE  
Mr LAAFRI  
Mr NAHAL**

**Présidente  
Rapporteur  
Examineur  
Examineur**

*Année Universitaire 2015/2016*

## ***Remerciements***

*Je remercie DIEU de m'avoir donné la force et la patience pour accomplir ce travail.*

*Mes remerciements à ma promotrice Mme Hamane pour ses précieux conseils ainsi que pour son assistance tout au long de ce travail.*

*Je remercie tous mes enseignants qui m'ont guidé tout au long de ces deux longues années .*

*Merci à mes ami(e)s pour tout ce qu'on a vécu ensemble .*

*Un grand merci à Madame Bouzid Chahrazed pour sa gentillesse et ses encouragements.*

*A toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu dans ce mémoire*

*Et enfin un grand merci à une personne très spéciale à qui je tiens beaucoup et qui se reconnaîtra .*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mon père*

*A ma mère*

*A toute ma famille*

*Et aux personnes que j'aime .*

## Résumé

La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement.

Dans ce papier, nous présentons l'étude d'un système hybride éolien photovoltaïque avec stockage pour un habitat résidentiel situé dans les régions d'Oran d'Adrar et de Bouzareah. Cette étude comprend le dimensionnement du système, l'évaluation de ses performances ainsi que l'analyse économique. La simulation dynamique se fera à l'aide du logiciel Trnsys .Les résultats de la simulation définissent la taille des panneaux photovoltaïques , la puissance de l'éolienne et la capacité de stockage des batteries qui alimenteront en électricité la maison .

## Abstract

Electricity production from stand alone power system offer a safety supply to the consumer with respecting the environment.

In this paper the design and simulation of hybrid stand alone system for application in three different locations Oran ,Adrar and Bouzareah are arried out. This study include a sizing of the system the evaluation of the performance and an economic study. The simulation is make with Trnsys The results of the simulation define the optimal type and size of the renewable-based system to be applied in each of the locations examined at the minimum system cost.

## ملخص

إنتاج الكهرباء اللامركزي من مصادر الطاقة المتجددة يوفر أمن أكبر للمستهلكين مع احترام البيئة.

في هذه الورقة، يتم تقديم دراسة نظام هجين للرياح و الألواح الشمسية مع تخزين, لمنزل سكني يقع في مناطق أدرار وهران و بوزريعة . وتتضمن هذه الدراسة تصميم النظام وتقييم الأداء و التحليل الاقتصادي. المحاكاة الديناميكية تتم بواسطة برنامج Trnsys. النتائج الواردة من برامج المحاكاة تحدد حجم قدرة الألواح الشمسية وطاقة الرياح وسعة تخزين البطاريات لتكون التغذية بالكهرباء في المنزل تامة.

# Table des matières

Liste des figures

Liste des Tableaux

Nomenclature

Introduction générale .....	1
1.1. Introduction .....	4
1.2. Généralités sur les systèmes d'énergie hybrides.....	4
1.3. Les systèmes hybrides autonomes (éolien-photovoltaïque) avec stockage .....	5
1.3.1. Avantages et limites des systèmes hybrides (éoliens-photovoltaïques) avec stockage.....	6
1.4. Composants d'un système hybride éolien photovoltaïque avec batteries .....	8
1.4.1. Système photovoltaïque.....	8
1.4.1.1. Caractéristiques d'un module photovoltaïque .....	11
1.4.1.2. Avantages du système photovoltaïque.....	11
1.4.1.3. Limite des systèmes photovoltaïques.....	12
1.4.2. Système éolien .....	12
1.4.2.1. Composants d'un système éolien .....	14
1.4.2.2. Avantages de l'énergie éolienne.....	15
1.4.2.3. Limites des systèmes éoliens.....	15
1.4.3. Les batteries électrochimiques .....	15
1.4.4. Régulateur .....	16
1.4.5. Onduleur .....	16
1.4.6. Les autres composants du système .....	16
1.5. État de l'art : .....	17
1.6. Contribution .....	19
1.7. Conclusion .....	19
2.1. Introduction .....	20
2.2. Caractéristiques climatique de l'Algérie .....	20
2.3. Choix des sites .....	21
2.4. Présentation du logiciel METEONORM.....	21
2.5. Caractéristiques climatiques des régions choisies.....	23
2.5.1 Caractéristiques de la région d'Oran .....	23
2.5.2. Caractéristiques de la région d'Adrar .....	25
2.5.3. Caractéristiques de la région de Bouzareah .....	27
2.6. Définition de la maison d'étude .....	29
2.7. Détermination du profil de consommation .....	31

2.8. Conclusion .....	34
3.1. Introduction .....	35
3.2. Présentation du logiciel TRNSYS .....	35
3.3. Modèles des différents composants du système hybride .....	35
3.3.1. Modèle d'une cellule photovoltaïque.....	35
3.3.2 Modèle d'une Eolienne.....	38
3.3.3 Modèle du Régulateur de charge .....	39
3.3.4 Modèle de la Batterie .....	39
3.3.5 Modèle du convertisseur de tension .....	39
3.4. Modèles de rayonnement solaire.....	40
3.5 Simulation sur TRNSYS .....	41
3.5.1 Configuration du système hybride dans Trnsys .....	41
3.5.2 Les modules utilisés pour simuler le système.....	42
3.5.3. Définition des données d'entrée et de sortie des composants du système .....	43
3.5.4. Définition des paramètres de chaque composant du système.....	44
3.6. Conclusion .....	46
4.1. Introduction .....	47
4.2. Gisement solaire et éolien des différents sites.....	47
4.2.1. Gisement solaire.....	47
4.2.2. Gisement éolien .....	48
4.3. Définition de la charge .....	49
4.4. Dimensionnement du système hybride.....	50
4.4.1. Choix de l'éolienne .....	50
4.4.2. Dimensionnement du champ photovoltaïque.....	59
4.4.2.1 Détermination du nombre de panneaux photovoltaïque.....	60
4.4.2.2 Détermination de la meilleure configuration .....	63
4.5 Dimensionnement des batteries .....	65
4.6. Résultats de la simulation du système hybride .....	66
4.7. Conclusion .....	71
Conclusion générale.....	72
References	

## Liste de figures :

### Chapitre 01 : Généralités et états de l'art

Figure 1.1 Schéma général d'une installation hybride éolien-PV autonome avec système de stockage.....	06
Figure 1.2 Coupe transversale d'une cellule photovoltaïque.....	08
Figure 1.3 Etapes de fabrication d'un panneau PV au silicium cristallin .....	09
Figure 1.4 Panneaux PV au silicium cristallin (à droite monocristallin) a (gauche poly cristallin).....	10
Figure 1.5 Différentes vues d'une éolienne a axe horizontale .....	13
Figure 1.6 Types d'éoliennes a axe vertical .....	13

### Chapitre 02 : Définitions du système et des sites

Figure 2.1 Moyenne annuelle de l'irradiation globale sur une surface horizontale.....	20
Figure 2.2 Atlas de la vitesse moyenne annuelle du vent de l'Algérie estimée à 10 m du sol. ....	21
Figure 2.3 Vue des stations météo algériennes disponible sur le logiciel METEONORM.....	23
Figure 2.4 Emplacement de la station météo Essenia dans la région d'Oran.....	24
Figure 2.5 Emplacement de la station météo d'Adrar.....	25
Figure 2.6 Emplacement du CDER à Bouzareah (Alger).....	27
Figure 2.7 Vue externe de la maison.....	29
Figure 2.8 Plan détaillé de la maison.....	30
Figure 2.9 Vue de façade de la maison.....	30

### Chapitre 03 : Modélisation par le logiciel Trnsys

Figure 3.1 Circuit équivalent d'une cellule solaire pour le modèle à 4 paramètres.....	36
Figure 3.2 Modélisation du système hybride dans Trnsys studio.....	41

### Chapitre 04 : Résultats et discussions

Figure 4.1 Rayonnement global sur la surfaces inclinée dans la région d'Oran d'Adrar et de Bouzareah du 1 au 7 décembre .....	48
Figure 4.2 Vitesse du vent du 1 au 7 décembre pour les régions d'Oran d'Adrar et Bouzareah .....	49

Figure 4.3 Profil de charge horaire pour une journée caractéristique en hiver	49
Figure 4.4 Courbe de puissance de l'éolienne de 500w	50
Figure 4.5 Courbe de puissance de l'éolienne de 1kw	51
Figure 4.6 Courbe de puissance de l'éolienne de 2kw	51
Figure 4.7 Vitesse du vent et énergie fournie par l'éolienne de 0.5 kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Oran	52
Figure 4.8 Vitesse du vent et énergie fournie par l'éolienne de 1kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Oran	52
Figure 4.9 Vitesse du vent et énergie fournie par l'éolienne de 2kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Oran	53
Figure 4.10 énergie fournie par les trois éoliennes a Oran du 1 au 7 décembre	53
Figure 4.11 Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 0.5 kw du 1 au 7 décembre dans la région de Bouzareah	54
Figure 4.12 Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 1 kw du 1 au 7 décembre dans la région de Bouzareah	55
Figure 4.13 Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 2 kw du 1 au 7 décembre dans la région deBouzareah	55
Figure 4.14 Puissance fournie par les trois éoliennes a Bouzareah du 1 au 7 décembre	56
Figure 4.15 Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 0.5 kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Adrar	57
Figure 4.16 Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 1 kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Adrar	57
Figure 4.17 Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 2 kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Adrar	58
Figure 4.18 Puissance fournie par les trois éoliennes a Adrar 1 du 1 au 7 décembre	58
Figure 4.19 Production de chaque source et charge pour la région d'Oran du 1 au 7décembre	66
Figure 4.20 Production de chaque source et charge pour la région de Bouzareah du 1 au 7 décembre	66
Figure 4.21 Production de chaque source et charge pour la région d'Adrar du 1 au 7 décembre	67

Figure 4.22 Production énergétique totale du système et charge pour la région d'Oran.....	68
Figure 4.23 Production énergétique totale du système et charge pour la région de Bouzereah du 1 au 7 décembre.....	68
Figure 4.24 Production énergétique totale du système et charge pour la région d'Adrar du 1 au 7 décembre.....	69
Figure 4.25 Production photovoltaïque et éolienne pour les trois régions.....	70
Figure 4.25 Cout du système photovoltaïque et éolien pour les trois régions .....	70

## Liste de tableaux :

### Chapitre 02 : Définitions du système et des sites

Tableau 2.1 Moyennes mensuelles du rayonnement, température et vitesse du vent d'Oran issu de Meteonorme .....	24
Tableau 2.2 Moyennes mensuelles du rayonnement, température et vitesse du vent à Adrar .....	27
Tableau 2.3 Moyennes mensuelles du rayonnement, température et vitesse du vent à Bouzareah .....	28
Tableau 2.4 Listes des appareils électrique et leurs puissances .....	31
Tableau 2.5 Profil journalier de consommation pour la journée la plus courte en hiver....	32
Tableau 2.6 Profil journalier de consommation pour la journée la plus longue en été.....	33

### Chapitre 03 : Modélisation par le logiciel Trnsys

Tableau 3.1 Modules utilisés dans Trnsys .....	42
Tableau 3.2 Donnée d'entrée et de sortie pour le panneau PV.....	43
Tableau 3.3 Donnée d'entrée et sortie de l'éolienne.....	43
Tableau 3.4 Donnée d'entrée et sortie pour le régulateur onduleur.....	44
Tableau 3.5 Donnée d'entrée et sortie du conditionneur de puissance.....	44
Tableau 3.6 Donnée d'entrée et de sortie de la batterie .....	44
Tableau 3.7 Paramètres de l'éolienne .....	45
Tableau 3.8 Paramètres de l'enduleur.....	45

Tableau 3.9 Paramètres de la batterie .....	45
Tableau 3.10 Paramètres du panneau pv .....	46

### **Chapitre 04 : Résultats et discussions**

Tableau 4.1 Latitude de chaque site .....	47
Tableau 4.2 Caractéristiques de l'éolienne de 500w.....	50
Tableau 4.3 Caractéristiques de l'éolienne de 1kw.....	51
Tableau 4.4 Caractéristiques de l'éolienne 2kw.....	51
Tableau 4.5 Données constructeur du panneau photovoltaïque.....	59
Tableau 4.6 Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 1kw dans la charge totale de la semaine pour la région d'Oran.....	60
Tableau 4.7 Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 2kw dans la charge totale de la semaine pour la région d'Oran.....	60
Tableau 4.8 Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 500 w dans la charge totale de la semaine pour la région d'Oran.....	60
Tableau 4.9 Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 1Kw dans la charge totale de la semaine pour la région de Bouzareah.....	61
Tableau 4.10 Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 2kw dans la charge totale de la semaine pour la région de Bouzareah.....	61
Tableau 4.11 Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 500 w dans la charge totale de la semaine pour la région de Bouzareah.....	62
Tableau 4.12 Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 500 w dans la charge totale de la semaine pour la région d'Adrar.....	62
Tableau 4.13 Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 1k w dans la charge totale de la semaine pour la région d'Adrar.....	63
Tableau 4.14 Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 500 w dans la charge totale de la semaine pour la région d'Adrar.....	63
Tableau 4.15 Cout du système éolien et photovoltaïque pour le site d'Oran.....	64
Tableau 4.16 Cout du système éolien et photovoltaïque pour le site de Bouzareah.....	64
Tableau 4.17 Cout du système éolien et photovoltaïque pour le site d'Adrar.....	64

## Nomenclature

- V<sub>co</sub>** : Tension en circuit ouvert (Volt)
- I<sub>cc</sub>** : Courant de court circuit (Ampère)
- LPSP** : Loss of Power supply probability. (%)
- G<sub>h</sub>**: Irradiation global sur un plan horizontal (KWh/m<sup>2</sup>)
- D<sub>h</sub>**: Irradiation diffuse sur un plan horizontal (KWh/m<sup>2</sup>)
- B<sub>n</sub>**: Irradiation direct sur un plan incliné (KWh/m<sup>2</sup>)
- T<sub>a</sub>**: Température ambiante (C°)
- FF**: Vitesse du vent (m/s)
- PB**: Puissance vers ou de la batterie (KJ/h)
- F**: état de charge de la batterie (%)
- FC**: état de charge maximum lors de la charge (%)
- FD**: état de charge minimum lors de la décharge (%)
- eff 1,2,3**: efficacité du régulateur et de l'onduleur (%)
- Q** : état de charge (%)
- Q<sub>m</sub>**: Capacité de la batterie (Ah)
- Q<sub>c</sub>,Q<sub>d</sub>**: Paramètre de capacité pour la charge et la décharge
- eq<sub>c</sub>, eq<sub>d</sub>** : Tension de circuit ouvert à la charge maximum (Volt)
- g<sub>c</sub>, g<sub>d</sub>** : Coefficients de H pour la formule tension courant
- r<sub>qc</sub> r<sub>qd</sub>**: Résistance interne à l'état de charge max (Ω)
- I<sub>L,ref</sub>** : Photocourant (Ampère)
- I<sub>o,ref</sub>** : Courant de saturation inverse au condition de ref (Ampère)
- γ** : Paramètre de la courbe I(v)
- R<sub>s</sub>** : Résistance série du module pv (Ω)
- B**: Inclinaison du panneaux pv (°)

**I<sub>sc</sub>** : Courant de court circuit (Ampère)

**I<sub>mp</sub>** : Courant au mpp (Ampère)

**K** : Constante de boltzman ( $m^2Kg s^{-2}K^{-2}$ )

**T<sub>c</sub>**: Température du module (C°)

**R<sub>s</sub>** : Résistance shunt du module ( $\Omega$ )

**U<sub>0</sub>** : Vitesse du vent en amont (m/s)

**P<sub>0</sub>** : Pression (Pascal)

**A<sub>1</sub>** : Surface de balayage du rotor en amont (m<sup>2</sup>)

**U<sub>r</sub>** : Vitesse a travers le rotor (m/s)

**PR<sub>+</sub>** : Pression en amont du rotor (Pascal)

**PR<sub>-</sub>**: Pression en aval du rotor (Pascal)

**U<sub>w</sub>** : Vitesse du vent en aval (m/s)

**A<sub>w</sub>** : Surface de balayage du rotor en amont (m<sup>2</sup>)

**Q** : Masse volumique de l'air (kg/m<sup>3</sup>)

**P<sub>in</sub>**: Puissance d'entrée (KJ/h)

**P<sub>out</sub>**: Puissance de sortie (KJ/h)

**P<sub>nom</sub>** : Puissance nominal (KJ/h)

**$\delta$** : Déclinaison solaire (°)

**TSV** : Temps solaire vrai (heures)

**TU** : Temps universel. (heures)

**$\omega$** : L'angle horaire. (°)

**$\psi$**  : La latitude du lieu. (°)

**G<sub>sc</sub>** : La constante solaire (w/m<sup>2</sup>)

**HT** : L'irradiation globale sur un plan incline. (KWh/m<sup>2</sup>)

**Hd** : La composante diffuse. (KWh/m<sup>2</sup>)

**Hb :** La composante directe (KWh/m<sup>2</sup>)

**FSOC :** Fractional state of charge (%)

## **Introduction générale**

Depuis quelques années, le monde est confronté à des enjeux énergétiques et climatiques sans précédent pour lesquels de fortes alternatives sont attendues. Relever ces défis devra passer par une période de transition où le recours aux énergies renouvelables, l'amélioration de l'efficacité énergétique, et la modération de la consommation dans les comportements seront les principaux vecteurs du changement. Les efforts à entreprendre dans le domaine des énergies renouvelables sont considérables car leur part dans l'énergie finale n'est pas suffisant, Différents facteurs climatiques, énergétiques ou économiques telles que le réchauffement climatique, la raréfaction des énergies fossiles, la libéralisation du marché de l'énergie soutiennent une prise de conscience accrue dans le domaine des énergies renouvelables de la part des usagers ou des décideurs politiques. [1]

D'un point de vue économique, les installations à base d'énergies renouvelables ne sont pas encore compétitives mais il est raisonnable de penser qu'elles le deviendront à court terme, en particulier avec le renchérissement du prix des énergies fossiles, De plus, une grande partie du monde ne sera sans doute jamais raccordée aux réseaux électriques dont l'extension s'avère trop coûteuse pour les territoires isolés, peu peuplés ou difficiles d'accès, la tendance est donc de consommer au niveau local l'énergie produite. Dans un tel contexte, il convient de lever les difficultés liées à l'emploi des énergies propres. L'une de ces difficultés en est l'optimisation de la combinaison de plusieurs énergies (comme par exemple le soleil, le vent, ...) et l'utilisation des dispositifs de stockage pour pallier au caractère intermittent de ces énergies. [1]

La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant, le caractère aléatoire des sources impose des règles particulières de dimensionnement et d'exploitation des systèmes de récupération d'énergie, Le jumelage des sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ... peut constituer un complément ou une alternative aux générateurs diesels utilisés généralement pour la génération d'électricité dans les régions isolées. [1]

L'utilisation de l'énergie hybride (solaire-éolien) est de plus en plus utilisée dans diverses applications en sites isolés telles l'éclairage, les télécommunications, la réfrigération ou le pompage. [1]

En ce qui concerne notre pays, l'enjeu du développement des énergies renouvelables est encore plus important. En effet, ces énergies permettront de plus en plus de couvrir la croissance nécessaire et légitime des services énergétiques de base dans les domaines du développement rural, de l'habitat, de la santé, de l'éducation puis à long terme, de l'industrie. [2]

Ainsi de part sa situation géographique, l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation des énergies solaire et éolienne. En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement solaire reçu (169.440 TWh/an), le plus important de tout le bassin méditerranéen, qui représente 5.000 fois la consommation Algérienne en électricité, notre pays couvre certains de ses besoins en énergie solaire. Tandis que l'énergie éolienne qui représente un potentiel important dans certaines régions, donne une autre extension pour notre pays pour diversifier sa production d'électricité d'origine renouvelables dans les décennies à venir. [2]

L'objet de ce travail est d'étudier la possibilité de couvrir les besoins électriques d'un foyer à partir d'un aérogénérateur et de panneaux photovoltaïques. A partir des données horaires de vitesse du vent, de rayonnement solaire et de la consommation horaire journalière nous allons simuler à l'aide de l'outil TRNSYS la production énergétique du système hybride pour trois différentes régions de notre pays.

Ce travail sera organisé de la façon suivante :

Dans **Le chapitre 1** nous présenterons de façon générale les systèmes hybrides de production d'énergie et plus particulièrement le système éolien- photovoltaïque ou nous définirons et détaillerons ces différents composants ensuite nous ferons un résumé des principaux travaux scientifiques faits sur l'application des systèmes hybrides PV-éolien dans l'habitat.

**Le chapitre 2** définit le système étudié c'est-à-dire la description de la maison, son architecture, son orientation, le profil de consommation. ensuite nous parlerons du potentiel énergétique des 3 différentes régions.

**le chapitre 3** sera dédié à la modélisation et la simulation . on introduira les différentes équations mathématiques qui ont servi à modéliser chaque composant du système , ensuite nous expliquerons le fonctionnement du logiciel TRNSYS ainsi que toutes les étapes nécessaires à la simulation .

**le chapitre 4** est consacré aux résultats de la simulation et à leurs interprétations et nous finirons par une conclusion générale sur le travail que nous avons fait.

# **CHAPITRE 1**

## **Généralités et états de l'art**

## **1.1. Introduction**

L'énergie électrique provenant de sources renouvelables, en particulier le vent et le soleil, est considérée comme une alternative de production intéressante dans les systèmes d'énergie électrique du monde d'aujourd'hui. Cependant Les fluctuations de la charge selon les périodes annuelles ou journalières ne sont pas forcément corrélées avec les ressources énergétiques disponibles. Pour surmonter cette limite, la solution à retenir, pour les sites isolés, est certainement le recours et la combinaison de plusieurs sources, telles que les systèmes hybrides éolien-photovoltaïques avec batteries.

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à ce type de systèmes, nous présenterons de manière détaillée les systèmes hybrides éolien-photovoltaïques avec batteries, Nous en décrivons ensuite les principaux composants, avantages et inconvénients. Ensuite, nous exposons une revue des travaux de recherche récents appliqués à ces systèmes particuliers.

## **1.2. Généralités sur les systèmes d'énergie hybrides**

Le terme « Système d'Energie Hybride » fait référence aux systèmes de génération d'énergie électrique multi-sources. Il s'agit de systèmes complexes associant différentes sources renouvelables ou bien combinées avec des sources conventionnelles (générateur diesel...), différents éléments de stockage et différentes charges. Ils permettent la compensation du caractère intermittent des sources renouvelables et offrent un rendement énergétique global plus élevé.

Les systèmes d'énergie hybrides peuvent être connectés aux réseaux électriques ou autonomes, pour le premier cas La production énergétique hybride est alors centralisée et mise en réseau entre plusieurs sites de production et de consommation. La connexion des sources hybrides aux réseaux électriques doit respecter certaines normes qui ne sont pas forcément spécifiques au domaine d'énergies renouvelables.

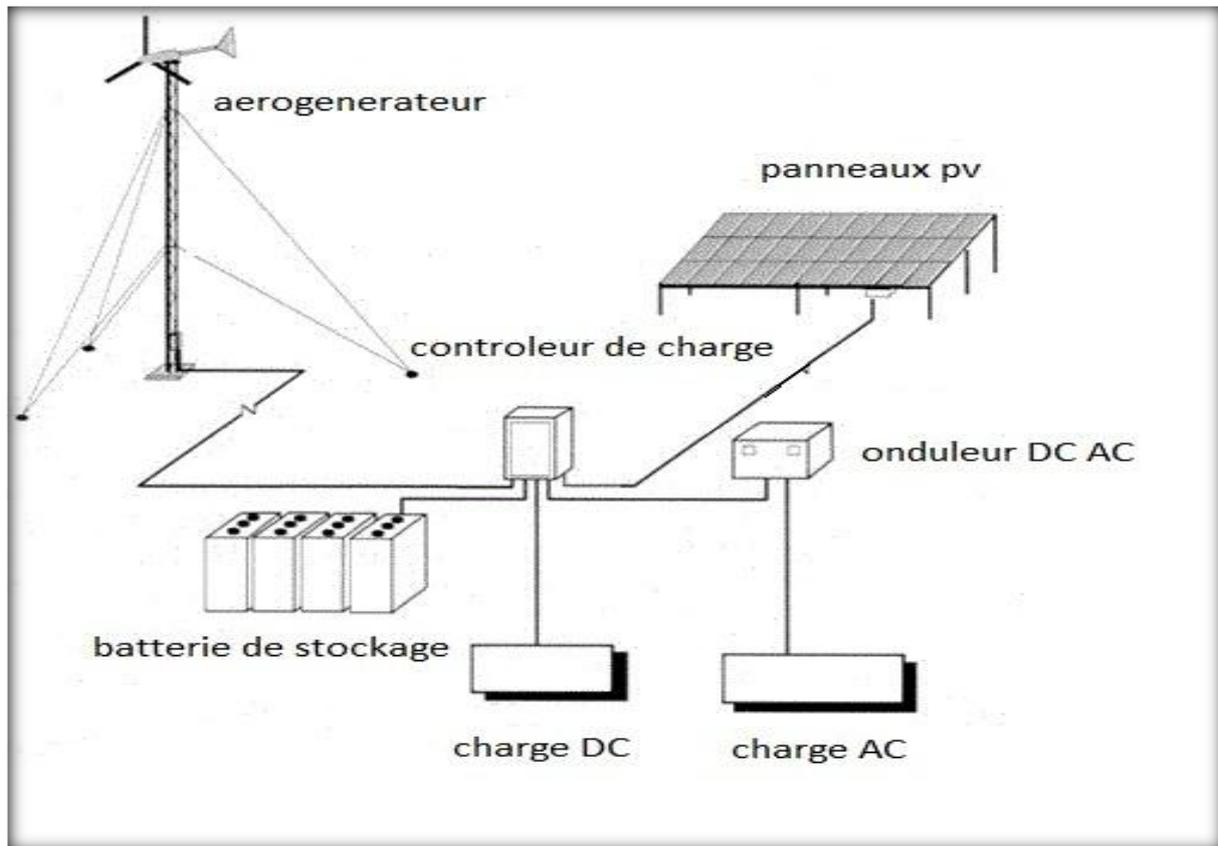
Dans les sites isolés où le réseau n'existe pas, il est donc pratique et dans la majorité des cas nécessaire que le système hybride possède une autonomie totale. Il est donc impératif d'associer un élément de stockage de type accumulateur électrochimique ou hydrogène au système dans la mesure où la consommation et la production sont fortement découplées.

Dans les applications existantes, ce sont quasi-systématiquement des systèmes de petite puissance avec des batteries d'accumulateurs au plomb. Le dimensionnement du système de stockage est généralement lié à l'autonomie en jours recherchée. Cependant, le stockage représente une part très importante du coût et de l'entretien de l'installation, d'autant plus que la durée de vie des accumulateurs est bien inférieure à celle du panneau photovoltaïque, de l'éolienne et des convertisseurs d'énergie statiques. Dans ce cas particulier, le surcoût est acceptable en comparaison du prix qu'il aurait fallu allouer à l'installation d'une nouvelle ligne électrique. [1]

### **1.3. Les systèmes hybrides autonomes (éolien-photovoltaïque) avec stockage**

La **figure 1.1** donne un exemple typique d'une unité de production hybride non raccordée au réseau couplant deux sources d'énergie éolienne et solaire avec un stockage de l'énergie, c'est un réseau électrique complètement autonome à courant continu DC et/ou à courant alternatif AC.

Les systèmes hybrides sont souvent classés en deux filières selon le type de nœud électrique et des convertisseurs associés. La première est caractérisée par un couplage des sources autour d'un bus commun alternatif AC, la seconde topologie des systèmes hybrides est fondée sur un couplage avec un bus commun continu DC. La majorité de ces systèmes sont utilisés en sites isolés où l'énergie est produite et directement consommée sur place.



**Figure 1.1.** Schéma général d'une installation hybride éolien-pv autonome avec système de stockage

### 1.3.1. Avantages et limites des systèmes hybrides (éoliens-photovoltaïques) avec stockage

Les systèmes hybrides les plus répandus sont caractérisés par un couplage éolien-photovoltaïque. L'intérêt de la combinaison de ces deux sources énergétiques est justifié par le fait qu'ils présentent les ressources les mieux partagées. La complémentarité de ces deux ressources est très significative que ce soit à l'échelle annuelle ou à l'échelle journalière. En effet, le vent souffle plus pendant l'hiver et l'automne et il diminue au printemps tandis que le rayonnement solaire le plus intense se situe pendant l'été. De même, sur une journée, le rayonnement solaire est plus fort pendant le jour alors que le vent peut souffler aussi la nuit. Cette complémentarité saisonnière et journalière des ressources solaires et éoliennes permet par exemple au site isolé d'avoir une disponibilité de l'énergie plus fiable, laquelle, bien entendu, dépend du site d'implantation. Ainsi, le fait de mettre en place un système hybride en combinant un panneau photovoltaïque et un aérogénérateur avec un générateur de secours à moteur diesel pourrait traiter les besoins en énergie pendant toute l'année. Cependant, le moteur diesel

demande un approvisionnement en carburant. Son utilisation dans des sites isolés peut ainsi être polluante, bruyante et économiquement moins viable en comparaison avec les sources d'énergies renouvelables. Dans plusieurs applications, le moteur diesel est évité en incluant dans les systèmes un dispositif de stockage d'énergie par accumulateur électrochimique. Dès lors que le coût de stockage représente la contrainte économique principale, les systèmes hybrides doivent être convenablement conçus pour réduire au minimum les besoins en accumulateur d'énergie dans le cas d'un fonctionnement autonome. Dans certains systèmes, on remarque l'utilisation d'une nouvelle technologie de stockage basée sur l'hydrogène synthétisé par électrolyse de l'eau qui semble être un débouché privilégié des énergies renouvelables. Un autre avantage des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques consiste en leur efficacité environnementale. Au cours de leur fonctionnement, ils ne génèrent, ni émissions nocives, ni gaz polluants. Ils utilisent seulement l'énergie du soleil et du vent comme « carburant », donc ils créent un impact environnemental faible et contribuent activement à réduire le réchauffement climatique. L'éolienne générerait un peu de bruit selon la distance d'implantation mais sans effet gênant pour l'utilisateur.

Néanmoins, l'hybridation de ces sources d'énergies renouvelables pose certains problèmes. D'abord, compte tenu de leur nature discontinue, il y a une difficulté à pouvoir produire à chaque instant l'énergie demandée par la charge. En plus, si l'excès d'énergie ne peut être éliminé, la production doit alors être limitée ou même arrêtée. Cela implique une évaluation précise des ressources renouvelables du site et une conception adaptée du système, optimisant ainsi les ressources énergétiques et conduisant à une quantité minimale d'énergie non fournie. Ensuite l'hybridation pose le problème de l'interconnexion et de la gestion énergétique. La commande de ces systèmes est faite en fonction de l'état de charge de la batterie, Les deux générateurs doivent limiter leurs puissances de sortie lorsque les batteries sont complètement chargées et ne peuvent donc plus stocker d'énergie. De même, l'onduleur et la charge doivent atténuer leurs puissances pour arrêter la décharge des batteries quand leur état de charge atteint un niveau limite inférieur prédéfini.

La dynamique des générateurs d'énergies renouvelables peut aussi causer des problèmes dans le fonctionnement des systèmes hybrides. Citons à titre d'exemple, le démarrage d'une éolienne quand la vitesse du vent est élevée : en l'occurrence, la puissance produite par l'éolienne atteint presque instantanément la puissance nominale du générateur et de tels changements rapides

dans la production d'énergie peuvent générer des problèmes de qualité d'énergie (variation de tension et de fréquence) et même l'arrêt complet du système.

Nous avons lieu aussi d'évoquer les effets négatifs d'une surtension que provoquent un court-circuit ou l'arrêt d'une charge importante.

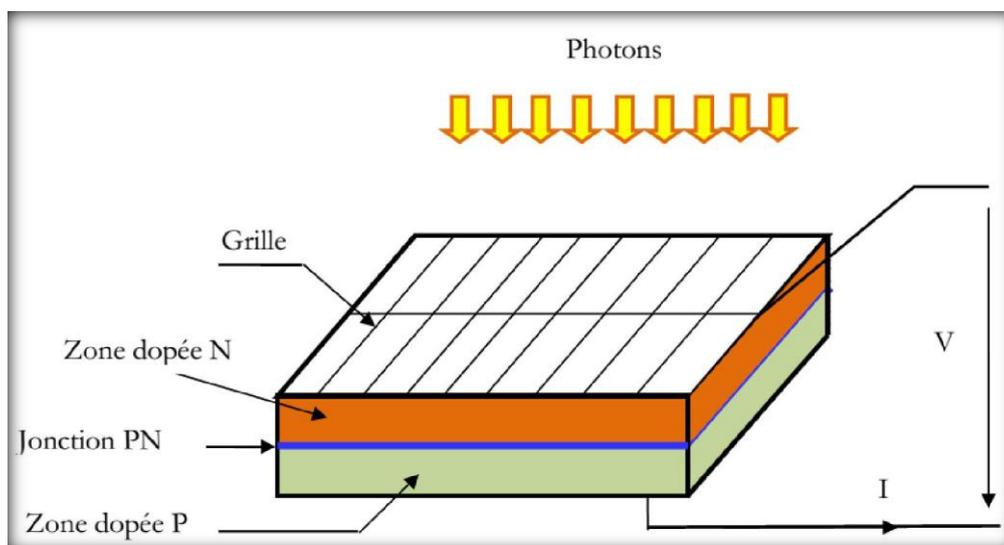
## 1.4. Composants d'un système hybride éolien photovoltaïque avec batteries

### 1.4.1. Système photovoltaïque

Le système photovoltaïque convertit le rayonnement solaire en électricité. Il est composé de :

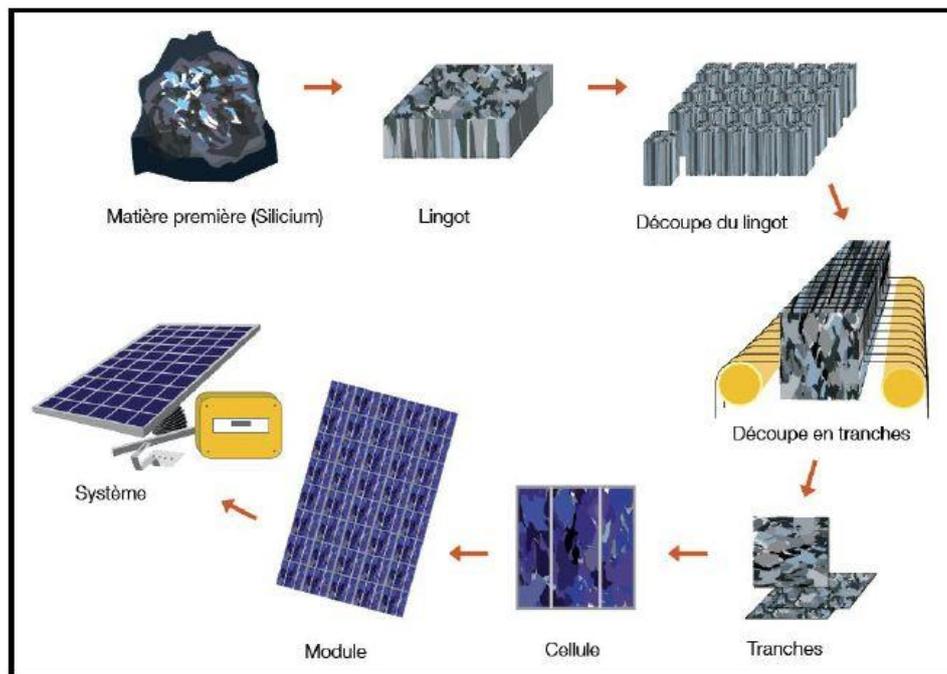
- cellules qui sont l'élément de base de l'unité collectant la lumière du soleil .
- modules ou panneaux rassemblant un grand nombre de cellules au sein d'une Unité.

La cellule est constituée de semi-conducteurs à base de silicium (Si), de sulfure de cadmium (S Cd) ou de tellure de cadmium (Cd Te). Elle se présente sous la forme de deux fines plaques [type n et type-p] en contact étroit [jonction n-p] , Quand la lumière atteint la cellule cela crée un champ électrique à travers les couches, créant ainsi un flux électrique voir **Fig 1.2** , Plus la lumière est intense, plus le flux électrique est important. [2]



**Fig 1.2.** Coupe transversale d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est constituée d'une ou deux couches de matériau semi-conducteur, le plus souvent le silicium. Elle est soit tranchée à partir de lingots, soit sous forme de rubans de silicium, soit en couches minces déposées sur un support à bas coût voir **figure 1.3** Sa performance se mesure en termes de rendement de transformation de la lumière du soleil en électricité. Dans le commerce, les cellules solaires les plus répandues ont un rendement de 13-15%, Ce qui signifie qu'environ un sixième de la lumière du soleil frappant une cellule produit de l'électricité. [2]

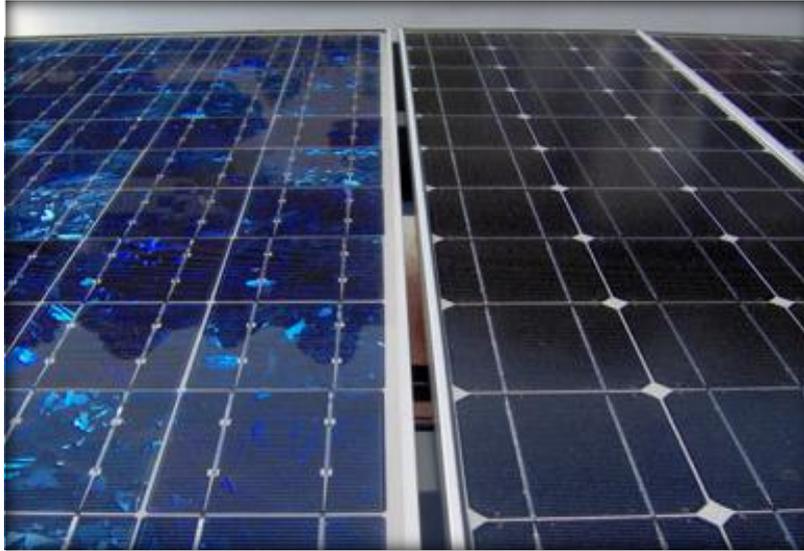


**Figure 1.3** étapes de fabrication d'un panneau pv au silicium cristallin

Il existe différentes technologies des cellules solaires:

#### a- Technologie du silicium cristallin

Les cellules en silicium cristallin sont composées de fines tranches coupées à partir d'un seul cristal de silicium (monocristallin) ou d'un bloc de cristaux de silicium (poly cristallin) **Figure 1.4**. Leur rendement varie entre 12% et 17%. Il s'agit de la technologie la plus répandue, représentant aujourd'hui environ 90% du marché.



**Figure 1.4** panneaux PV au silicium cristallin (à droite monocristallin) a (gauche polycristallin)

### **B- Technologie des couches minces (Thin Film)**

Les cellules en couches minces sont constituées de très fines couches d'un matériau photosensible déposées sur un support à bas coût tel que le verre, l'acier inoxydable ou le plastique. Les coûts de production du procédé des couches minces sont inférieurs à ceux de la technologie cristalline qui nécessite davantage de matière première. Cet avantage en termes de prix est toutefois contrebalancé par des rendements généralement moins élevés (entre 5% et 13%).

### **c- Autres types de cellules**

Il existe d'autres types de technologies photovoltaïques actuellement commercialisées ou encore à l'étude comme les cellules à concentration, les Cellules flexibles ... etc.

### 1.4.1.1. Caractéristiques d'un module photovoltaïque

**-Puissance crête :** puissance maximale produite par un module dans les conditions standards ensoleillement de 1000 w/m<sup>2</sup> à l'horizontale, température de 25 c et masse d'air optique de 1,5.

**-Caractéristique de I(V):** courbe représentant le courant débité en fonction de la tension au borne du module.

**-Tension à vide (Vco):** tension à vide en l'absence de courant.

**-Courant de court-circuit (Icc):** courant débiteur en cours circuit.

### 1.4.1.2. Avantages du système photovoltaïque

Il est très sûr et d'une grande fiabilité. L'espérance de vie d'un module solaire est d'environ 30 ans. La performance des cellules photovoltaïques est généralement garantie par les fabricants pour une durée de 20 à 25 ans. Au-delà, la puissance d'une cellule reste néanmoins supérieure à 80% de la puissance initiale. Le photovoltaïque est donc une technologie fiable sur le long terme. De plus, la fiabilité des produits est garantie aux consommateurs par des standards de qualité très élevés au niveau européen.

Les modules photovoltaïques sont recyclables et les matériaux utilisés pour leur production (silicium, verre, aluminium, etc.) peuvent être réutilisés. Le recyclage n'est pas seulement bénéfique pour l'environnement, il contribue également à réduire l'énergie nécessaire pour produire ces matériaux et ainsi à réduire leur coût de fabrication.

L'énergie solaire photovoltaïque exige peu de maintenance. Les modules solaires ne nécessitent pratiquement aucune maintenance et sont faciles à installer.

L'énergie solaire photovoltaïque peut être intégrée de manière esthétique dans les bâtiments, Les modules solaires peuvent couvrir toits et façades, contribuant ainsi à l'autonomie énergétique des bâtiments. Ils sont silencieux et peuvent être intégrés de manière très esthétique.

Le temps de retour énergétique d'un module diminue constamment. Cela signifie que le temps mis par un module photovoltaïque pour générer autant d'énergie qu'il en a fallu pour le produire est assez court. Sur sa durée de vie, un module produit plus d'énergie qu'il n'en faut pour le fabriquer.

### 1.4.1.3. Limite des systèmes photovoltaïques

On peut en citer le coût de la technologie de fabrication et la taille de l'installation doit être en accord avec la surface du toit de l'habitat ou du lieu où elle sera implantée.

## 1.4.2. Système éolien

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement.

Le système éolien transforme l'énergie du vent en énergie électrique : l'éolienne est couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif, le générateur est relié à un réseau électrique ou bien il fonctionne de manière autonome couplé avec un système d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie.

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal. [2]

### a- Aérogénérateurs à axe Horizontal

L'axe de leur rotor est parallèle au sol voir **figure 1.5**, Elles sont les plus utilisées car elles délivrent plus de puissance. Mais elles nécessitent un dispositif d'orientation pour suivre la direction du vent et elles doivent être placées dans des endroits dégagés et espacés de la maison à cause de leur très grande sensibilité au vent turbulent et de la vitesse très grande de ses pales qui peuvent engendrer un vrai problème de sécurité en cas de leur rupture.

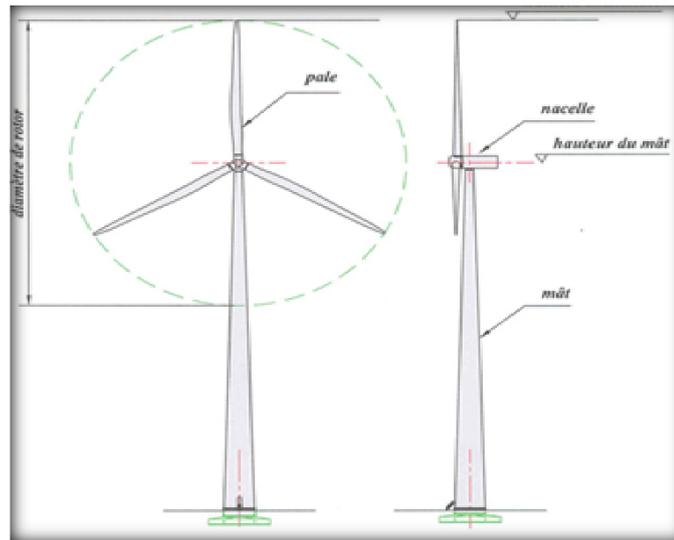


Figure 1.5. différentes vues d'une éolienne à axe horizontal

**b- Aérogénérateurs à axe vertical**

L'axe de leur rotor est perpendiculaire au sol voir **figure 1.6** , Ces éoliennes captent le vent quelle que soit sa direction et ne nécessitent donc aucun dispositif d'orientation mais leur Puissance est faible , ces éoliennes sont plus adaptées à une utilisation sur des toits d'immeubles ou de maison car elles sont moins sensible à l'incidence du flux .

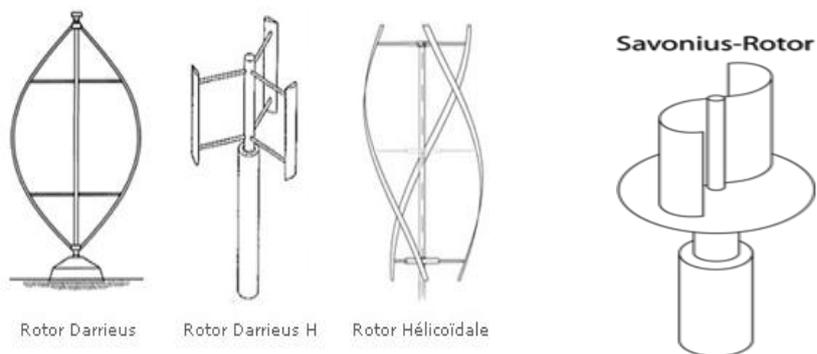


Figure 1.6 types d'éoliennes à axe vertical

### 1.4.2.1. Composants d'un système éolien

-**Les pales** : ce sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor. Elles peuvent être fabriquées en bois, en lamellé-collé, en alliages d'aluminium ou en matériaux composites.

-**Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation. C'est en général, une pièce d'acier moulée.

-**L'arbre primaire (ou arbre lent)** : il relie les pales au multiplicateur.

-**Le multiplicateur**: il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.

-**L'arbre secondaire** : il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.

-**Le générateur électrique** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut être un dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.

-**Le mât** : c'est un tube en acier, pilier de toute l'infrastructure, Sa hauteur est importante plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente. Pour les éoliennes à axe horizontale il est fixé au sol grâce à des pylônes en acier ou en béton armé. Ces supports peuvent être autoporteurs, haubanés, rabattables, carénés ou à treillis.

-**Les outils de mesure du vent** : la girouette pour la direction et les anémomètres pour la vitesse.

### 1.4.2.2. Avantages de l'énergie éolienne

L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, contrairement aux énergies fossiles c'est une énergie propre qui n'a aucun impact néfaste sur l'environnement, Elle constitue un bon complément du système photovoltaïque et elle est bien adaptée pour les sites isolés ventés.

### 1.4.2.3. Limite des systèmes éoliens

- **La sécurité** : le mât doit être robuste et l'éolienne bien fixée pour éviter les accidents. Dans les régions froides, la glace peut s'accumuler sur les pales des éoliennes, causer de fortes vibrations et être projetée à grande distance.

- **Voisinage** : avant de faire l'acquisition d'un système éolien il faut prendre en compte l'aspect esthétique et le bruit qui peut déranger le voisinage.

- **Faune ailée locale** : il faut éviter d'installer le système éolien sur un parcours migratoire ou à un endroit où de nombreux oiseaux font leurs nids ou se nourrissent.

- **Interférences électromagnétiques** : les systèmes éoliens produisent parfois des interférences électromagnétiques qui compromettent la réception des programmes radiophoniques ou de télévision.

### 1.4.3. Les batteries électrochimiques

Le stockage d'énergie est un facteur clé dans un système d'énergie hybride en site isolé étant donné le caractère aléatoire et variable dans le temps des énergies renouvelables. Lorsqu'on parle de stockage d'électricité, on pense immédiatement aux batteries électrochimiques qui constituent ainsi les références en la matière. Ces accumulateurs restituent, sous forme d'énergie électrique l'énergie chimique générée par des réactions électrochimiques internes réversibles.

Les technologies et variantes en sont nombreuses :

**a- Les batteries au plomb** : constituent l'investissement le plus économique pour un système multi-sources et présentent l'avantage d'être recyclable à plus de 90%. Cependant, ces batteries sont sensibles aux mauvais usages et leur durée de vie est souvent bien inférieure à celle du dispositif générateur d'électricité.

**b- Les batteries alcalines (Ni/Cd et Ni/MH)** : sont beaucoup plus robustes mais aussi plus coûteuses. Elles sont mieux adaptées aux basses températures. Par contre, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant.

**c- Les batteries au lithium** : présentent « techniquement » les meilleures performances. L'autodécharge des accumulateurs Li-ion est en effet faible alors que leur énergie massique stockée est relativement bien supérieure. Cependant leurs principales défaut et le coût relativement élevé.

#### **1.4.4. Régulateur**

Le rôle du régulateur est d'assurer et régulé la charge des batteries. Il optimise la puissance des panneaux et des éoliennes et empêche les décharges/surcharges profondes.

#### **1.4.5. Onduleur**

L'onduleur convertit le courant direct à faible tension produit par les panneaux PV ou les batteries en courant alternatif standard utilisable.

#### **1.4.6. Les autres composants du système**

Ce sont les composants nécessaires au bon fonctionnement du système et situés entre les générateurs et la charge finale, Il comprend le support des panneaux, le logement des batteries, les câbles, les connecteurs, les protections

### 1.5. État de l'art :

Pour sélectionner une combinaison optimale pour le système hybride qui correspond à la charge donnée, plusieurs méthodes de dimensionnement plus au moins complexe peuvent être utilisées. Certaines de ces méthodes utilisent des algorithmes très complexes alors que d'autres font appel à des logiciels dédiés. Les principaux articles et thèses qui traitent de ces méthodes ont été sélectionnés et classés par ordre chronologique .

**Markvart [3]** a utilisé une simple méthode de construction graphique pour dimensionner de façon optimale un système hybride PV-éolien, pour cela il a considéré les moyennes mensuelles de l'irradiation et de la vitesse du vent. Cependant seulement deux configurations ont été prises en compte ( le système PV et batterie seul ou le système PV et éolien seul), plusieurs facteurs importants comme l'inclinaison des modules PV ou la hauteur de l'éolienne n'ont pas été pris en compte ,les résultats ont montré que le système hybride est plus rentable que les systèmes PV seul ou éoliens seul.

**A. D. Babul et al [4]** ont proposé une méthode qui utilise une approximation de trois densités de probabilité au lieu de deux, qui sont la diminution de l'énergie stockée ,l'augmentation de celle-ci ou le fait qu'elle reste constante, L'approximation de trois densités de probabilité augmente la précision du dimensionnement du système sans augmenter l' effort ou le temps de calcul de l'ordinateur .

**S. Diaf et al [5]** ont fait une Analyse technico économique d'un système hybride (photovoltaïque/éolien) autonome pour le site d'Adrar en utilisant les données des moyennes mensuelles et le mois le plus défavorable .les résultats montrent que la méthode du mois le plus défavorable présente un coût du système plus élevé par rapport à celle de la moyenne des valeurs mensuelles par an, mais elle est plus fiable .

**Dhaker Abbes et al [6]** ont utilisé un algorithme évolutionnaire (génétique) pour déterminer l'impact économique et écologique du cycle de vie du système. L'analyse a montré qu'il faut 4 ans pour amortir le coup écologique de fabrication du système .Les résultats montrent aussi que l'éolienne est plus efficace énergétiquement et moins polluante que les panneaux PV.

**Jing Li et al [7]** ont élaboré un algorithme simplifié utilisant une méthode itérative pour le dimensionnement d'un système hybride PV/éolienne /Batteries. La simplification consiste à fixer la puissance de l'éolienne et de dimensionner juste les panneaux PV en considérant que la charge de la batterie est constante. La configuration optimale peut être trouvée en essayant toutes les configurations pour atteindre un cout du système minimum .

**Gregoris Panayiotou et al [8]** ont utilisé l'outil de simulation TRNSYS pour modéliser un système hybride PV-EOLIEN autonome pour électrifier une maison sur deux sites différents mais qui présentent le même type de climat méditerranéen ( Nicosie à chypre et Nice en France). Les résultats montrent que le site de Nice présente de meilleurs résultats que Nicosie à cause d'un meilleur profil de vent .

**Chong Li et al [9]** ont utilisé l'outil HOMER pour étudier la faisabilité technico-économique d'un système hybride autonome éolien /PV pour une maison en Chine. Les résultats ont montré que 72% de l'énergie électrique provient du solaire et que 28% proviennent de l'éolienne mais que le cout de installation hybride est plus important que le cout du photovoltaïque ou l'éolien seul .

**Akbar Maleki et al [10]** ont dans leurs travaux évalué les performances de différents algorithmes évolutionnaires pour satisfaire la demande en énergie en tenant compte du LPSP ,les résultats montrent que l'algorithme ABSO a montré de meilleurs résultats que les autres (IHSBSA, IHS, IPSO, PSO, TS, and SA ) et que le systèmes PV-éolien-batterie a le cout le plus élevée pour des LPSP de (0%, 0.3% et 1%) alors que le système PV-batterie est plus adéquat pour un LPSP de l'ordre de 5 % .

## **1.6. Contribution**

Notre travail consiste à dimensionner une installation hybride constituée de panneaux photovoltaïques et d'un aérogénérateur pour couvrir les besoins électriques d'un foyer.

A partir des données horaires de vitesse de vent, du rayonnement solaire et de la consommation horaire journalière nous allons simuler à l'aide de l'outil TRNSYS la production énergétique du système hybride pour trois différentes régions de notre pays .

## **1.7. Conclusion**

Dans ce chapitre une brève description des systèmes d'énergie hybride a été présentée. Les principales notions liées à la technologie utilisée dans les systèmes à énergies hybrides ont été données, ainsi que les avantages et les inconvénients de ces systèmes, les principaux travaux faits sur les systèmes hybrides ont aussi été abordés .

# **CHAPITRE 2**

## **Définition du système et des sites**

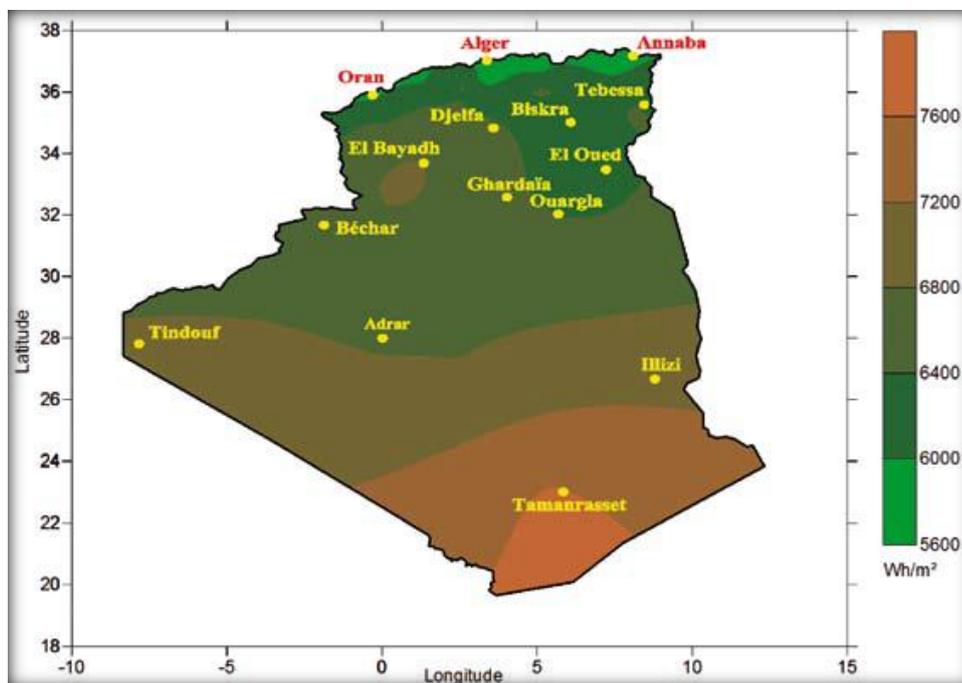
## 2.1. Introduction

L'énergie solaire et l'énergie éolienne dépendent fortement des conditions météorologiques (ensoleillement, vitesse du vent) du site d'installation du système hybride.

Dans ce chapitre nous allons donner une brève description des régions sur lesquelles l'étude a été réalisée ainsi que les caractéristiques climatiques de chaque site .ensuite nous présenterons la maison qui a servi à l'étude et nous calculerons la charge électrique en fonction des besoins des habitants.

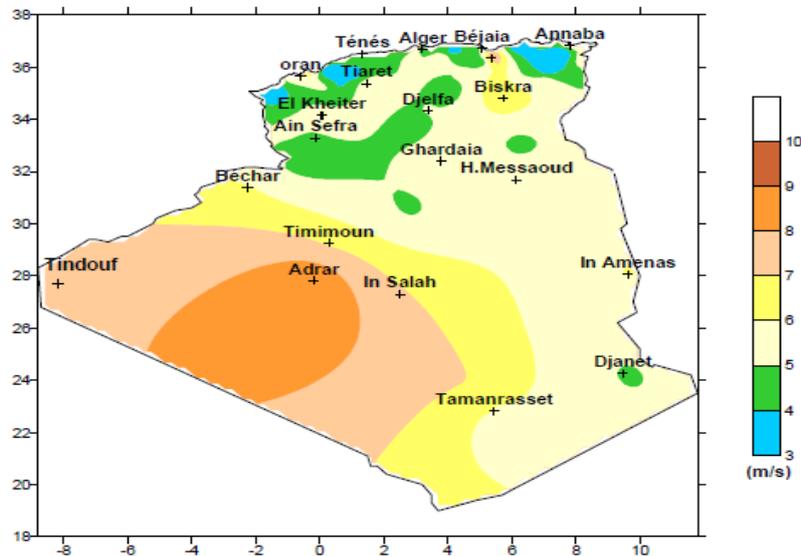
## 2.2. Caractéristiques climatiques de l'Algérie

L'Algérie dispose d'un gisement solaire très important à cause de sa situation privilégiée, dont la durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le désert. Le total de l'énergie reçue est estimé à 169400 TWh/an. [2]



**FIGURE 2.1** Moyenne annuelle de l'irradiation globale sur une surface horizontale

La ressource éolienne de l'Algérie varie considérablement d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et un climat très diversifiés. La figure 2.2 représente la carte de la répartition géographique de la vitesse du vent à 50 m du sol. Cette carte a été établie à partir des données de vitesse du vent mesurées à 10 m du sol au niveau de 75 stations du réseau de l'ONM.



**Figure 2.2** Carte de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 50 m du sol [12]

Il est à noter que le sud algérien est caractérisé par des vitesses de vent plus élevées que le nord, plus particulièrement le sud ouest avec des vitesses supérieures à 4m/s et qui dépassent la valeur de 6m/s dans la région d'Adrar. Concernant le nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers de Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et El kheiter ainsi que dans la région délimitée par Bejaia au nord et Biskra au sud [12].

### 2.3. Choix des sites

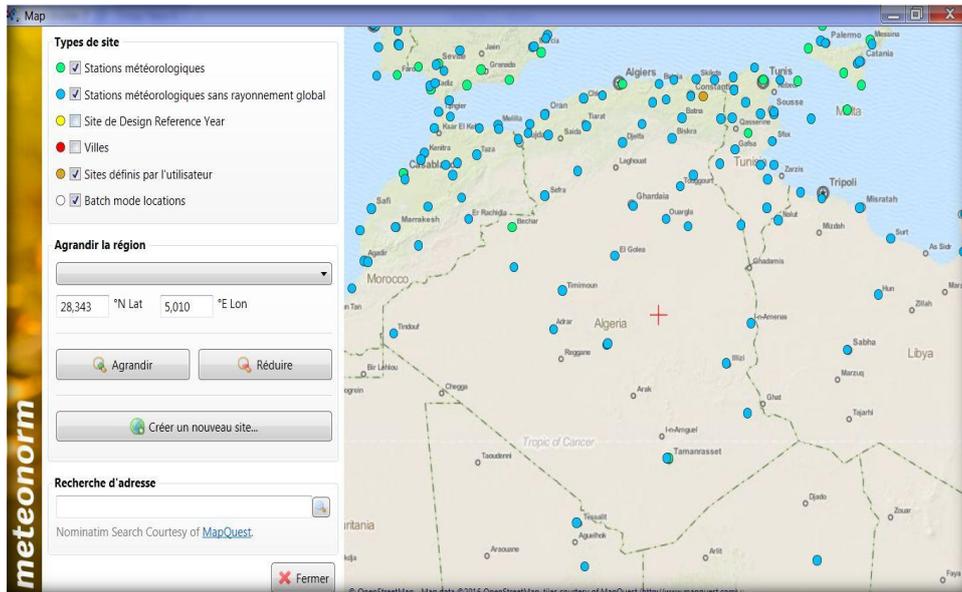
Nous avons choisi les sites de (Bouzareah, ORAN et ADRAR), parce que ces régions appartiennent à des zones climatiques bien distinctes du pays (le littoral, et le sud) et aussi parce que comme mentionné ces régions disposent d'un potentiel renouvelable non négligeable, et enfin parce que nous disposons des données horaires de vitesse de vent issues des stations météo, quant à la température et l'irradiation elles sont extraites du logiciel de données météo METEONORM version 7.

## 2.4. Présentation du logiciel METEONORM

METEONORM est un logiciel qui contient une base très exhaustive de données météorologiques issues de stations de mesure mais il peut également calculer ces données pour des zones où il n'existe pas de station météo en faisant une interpolation à l'aide d'algorithmes spécifiques. Il permet aussi à partir des moyennes mensuelles de trouver les données horaires avec plus au moins de précision.

### Bases de données

- Base de données contenant plus de 8 325 stations météo
- Paramètres mesurés : moyennes mensuelles du rayonnement global, température, humidité, précipitation, jours avec précipitation, vitesse et direction du vent, durée d'ensoleillement
- Périodes couvertes : 1961 à 1990 et 2000 à 2009 pour les données de température, d'humidité, de précipitations, de vitesses du vent.
- Données de rayonnement global mises à jour pour la période 1981- 2010
- Nouveaux paramètres dérivés : pluie battante, spectre UVA/B et rayonnement érythémateux
- Utilisation de données satellite pour régions à faible densité de stations météo
- Couvre l'ensemble du globe, y compris les régions polaires .



**FIGURE 2.3** Vue des stations météo algériennes disponible sur le logiciel METEONORM

## 2.5. Caractéristiques climatiques des régions choisis

### 2.5.1 Caractéristiques de la région d'Oran

La ville d'Oran est la deuxième plus grande ville d'Algérie et une des plus importantes villes du Maghreb, c'est le chef-lieu de la wilaya du même nom, elle se trouve au bord de la rive sud du bassin méditerranéen. Située au nord-ouest de l'Algérie, à 432 km de la capitale Alger. Ces coordonnées sont  $35^{\circ} 42' 10''$  Nord et  $0^{\circ} 38' 57''$  Ouest son altitude varie entre 0 m et 429,3 m et sa population est de 1 million d'habitants.

Oran bénéficie d'un climat méditerranéen classique marqué par une sécheresse estivale, des hivers doux, un ciel lumineux et dégagé pendant les mois d'été. Les précipitations deviennent rares voire inexistantes, et le ciel est lumineux et dégagé. Les faibles précipitations (420 mm de pluie) et leur fréquence (72,9 jours par an) sont aussi caractéristiques de ce climat. [11]



**Figure 2.4** Emplacement de la station météo Essenia dans la région d'Oran

	Gh KWh/m <sup>2</sup>	Dh KWh/m <sup>2</sup>	Bn KWh/m <sup>2</sup>	Ta °C	FF m/s
Janvier	92	29	150	10.4	2.6
Février	101	43	118	11.8	2.8
Mars	152	54	166	14.2	3.4
Avril	183	68	176	16.1	3.9
Mai	218	80	198	19.4	4
Juin	230	73	227	23.4	3.9
Juillet	248	57	268	26.1	3.8
Août	217	64	221	26.3	3.5
Septembre	168	52	189	23.4	3.2
Octobre	133	46	161	20.1	2.9
Novembre	97	30	149	14.6	2.7
Décembre	82	28	130	11.9	2.8
Année	1918	624	2152	18.1	3.3

**Tableau 2.1** Moyennes mensuelles du rayonnement ,température et vitesse du vent d'Oran issus de Meteonorme

nous remarquons que le rayonnement global horizontal reçu est de 1918 KWh/m<sup>2</sup> sur une année, il atteint le maximum au mois de juillet avec 248 KWh/m<sup>2</sup> reçue alors que le minimum ce situ au mois de décembre avec 82 KWh/m<sup>2</sup> reçue. La température moyenne mensuelle est de 18.1 °C sur une année , le mois de janvier est le plus froid avec une température moyenne minimum de 10.4 °C alors que le mois d' Août est le plus chaud avec 26.3 °C de moyenne .

Pour les vitesses de vent la moyenne annuelle est de 3.3 m/s , le mois le plus défavorable est le mois de janvier avec 2.6 m/s de moyenne alors que le mois le plus venté est le mois de mai avec 4 m/s.

### 2.5.2. Caractéristiques de la région d'Adrar

La ville d'Adrar est le chef lieu de la wilaya d'Adrar située au grand sud algérien à 1 400 km au sud-ouest d'Alger ,ses coordonnées sont 27° 52' 00" Nord 0° 17' 00" Ouest avec une altitude de 279 m , le nombre d'habitants est de 64 781 .

Adrar a un climat désertique chaud typique de la zone saharienne hyper-aride, c'est-à-dire du cœur du Sahara, avec un été très long et un hiver court. La moyenne annuelle des précipitations atteint à peine 14 - 15 mm, tombant essentiellement en automne ou au printemps. La moyenne de jours où le mercure dépasse la barre des 40 °C est de l'ordre de 130 jours par an ,ce qui fait d'Adrar l'une des villes les plus chaudes du monde Le ciel est clair, le soleil omniprésent, le beau temps perpétuel. L'irradiation solaire figure parmi les plus élevées au monde et la durée moyenne de l'ensoleillement est environ de 3978 h par an . [11]



**FIGURE 2.5** Emplacement de la station météo d'Adrar

	<b>Gh</b> KWh/m2	<b>Dh</b> KWh/m2	<b>Bn</b> KWh/m2	<b>Ta</b> °C	<b>FF</b> m/s
Janvier	<b>141</b>	<b>18</b>	<b>253</b>	<b>12.9</b>	<b>4.8</b>
Février	<b>147</b>	<b>27</b>	<b>209</b>	<b>16.2</b>	<b>5.2</b>
Mars	<b>202</b>	<b>37</b>	<b>256</b>	<b>21.4</b>	<b>5.2</b>
Avril	<b>223</b>	<b>45</b>	<b>259</b>	<b>25.3</b>	<b>5.8</b>
Mai	<b>242</b>	<b>60</b>	<b>248</b>	<b>30.5</b>	<b>6.1</b>
Juin	<b>240</b>	<b>59</b>	<b>242</b>	<b>35.2</b>	<b>5.6</b>
Juillet	<b>244</b>	<b>61</b>	<b>245</b>	<b>38.2</b>	<b>5.5</b>
Août	<b>231</b>	<b>55</b>	<b>246</b>	<b>37.2</b>	<b>5.3</b>
Septembre	<b>192</b>	<b>53</b>	<b>210</b>	<b>33.3</b>	<b>5</b>
Octobre	<b>167</b>	<b>44</b>	<b>204</b>	<b>27.5</b>	<b>4.5</b>
Novembre	<b>149</b>	<b>25</b>	<b>224</b>	<b>19</b>	<b>4.1</b>
Décembre	<b>128</b>	<b>20</b>	<b>234</b>	<b>14.4</b>	<b>3.9</b>
Année	<b>2296</b>	<b>504</b>	<b>2832</b>	<b>25.9</b>	<b>5.1</b>

**Tableau 2.2** Moyennes mensuelles du rayonnement ,température et vitesse du vent a Adrar

Pour la région d'Adrar nous remarquons que le rayonnement global annuel sur une surface horizontale est de 2296 KWh/m2 .Il atteint le maximum au mois de juillet avec 244 KWh/m2 reçu, alors que le minimum ce situe au mois de décembre avec 128 KWh/m2 reçu. La température moyenne mensuelle est de 25.9 °C sur une année. Le mois de janvier est le plus froid avec une température moyenne minimum de 12.9 °C. alors que le mois de juillet est le plus chaud avec 38.2 °C de moyenne . Pour les vitesses de vent la moyenne annuelle est de 5.1 m/s , le mois le plus défavorable est le mois de décembre avec 3.9 m/s de moyenne alors que le mois le plus venté est le moi de mai avec 6.1 m/s.

### 2.5.3. Caractéristiques de la région de Bouzareah

Bouzareah est une commune de la wilaya d'Alger en Algérie, située dans la proche banlieue Ouest d'Alger. Ses coordonnées sont  $36^{\circ} 47' 24''$  Nord  $3^{\circ} 01' 04''$  Est sa hauteur est de 384 m et elle est habitée par 94203 habitants. Le Climat de Bouzareah et donc d'Alger est de type méditerranéen. Elle est connue par ses longs étés chauds et secs. Les hivers sont doux et humides: la neige est rare mais pas impossible. Les pluies sont abondantes et peuvent être diluviennes. Il fait généralement chaud surtout de la mi-juillet à la mi-août. [11]



FIG 2.6 Emplacement du CDER à Bouzareah (Alger)

	<b>Gh</b> KWh/m <sup>2</sup>	<b>Dh</b> KWh/m <sup>2</sup>	<b>Bn</b> KWh/m <sup>2</sup>	<b>Ta</b> °C	<b>FF</b> m/s
Janvier	<b>81</b>	<b>33</b>	<b>115</b>	<b>10.2</b>	<b>3.2</b>
Février	<b>91</b>	<b>43</b>	<b>100</b>	<b>11</b>	<b>3.7</b>
Mars	<b>141</b>	<b>63</b>	<b>132</b>	<b>13.5</b>	<b>4.1</b>
Avril	<b>166</b>	<b>75</b>	<b>142</b>	<b>15.6</b>	<b>4.5</b>
Mai	<b>198</b>	<b>87</b>	<b>163</b>	<b>19.1</b>	<b>4.7</b>
Juin	<b>224</b>	<b>81</b>	<b>204</b>	<b>23.2</b>	<b>4.2</b>
Juillet	<b>239</b>	<b>71</b>	<b>236</b>	<b>25.9</b>	<b>3.6</b>
Août	<b>207</b>	<b>73</b>	<b>192</b>	<b>26.3</b>	<b>3.3</b>
Septembre	<b>157</b>	<b>63</b>	<b>152</b>	<b>23.3</b>	<b>3.2</b>
Octobre	<b>124</b>	<b>48</b>	<b>144</b>	<b>20.2</b>	<b>3.1</b>
Novembre	<b>87</b>	<b>35</b>	<b>119</b>	<b>14.7</b>	<b>3.0</b>
Décembre	<b>73</b>	<b>27</b>	<b>120</b>	<b>11.8</b>	<b>3.1</b>
Année	<b>1784</b>	<b>699</b>	<b>1817</b>	<b>17.9</b>	<b>3.6</b>

**Tableau 2.3** Moyennes mensuelles du rayonnement ,température et vitesse du vent à Bouzareah

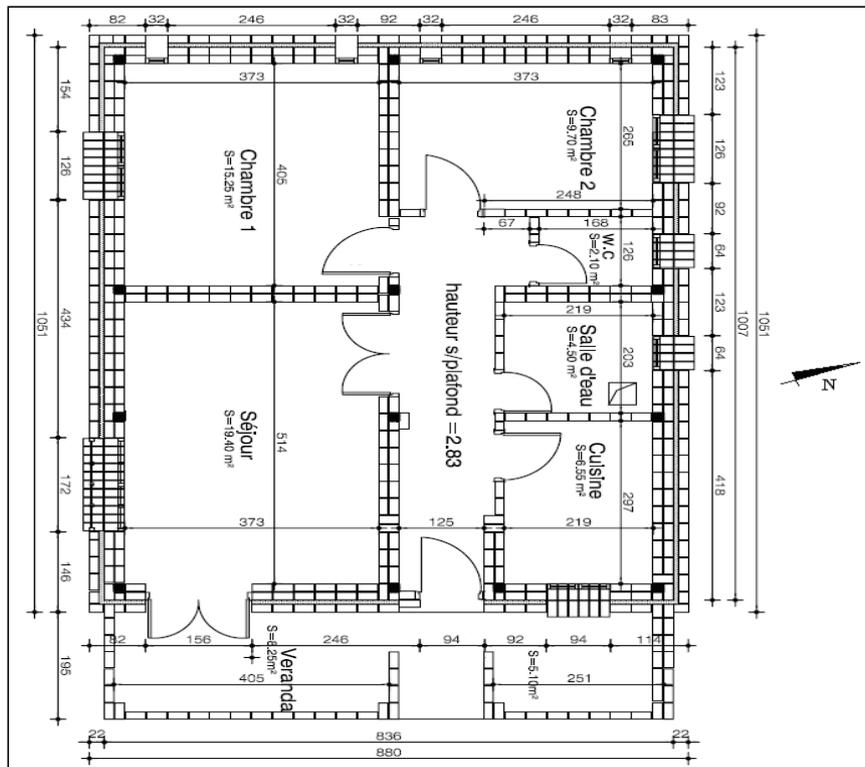
Pour la région de Bouzareah nous remarquons que la rayonnement global horizontal reçu est de 1784 KWh/m<sup>2</sup> sur une année. Il atteint le maximum au mois de juillet avec 239 KWh/m<sup>2</sup> reçu alors que le minimum se situe au mois de décembre avec 73 KWh/m<sup>2</sup> reçu. La température annuelle des moyennes mensuelles est de 17.9 °C , le mois de janvier est le plus froid avec une température moyenne minimum de 10.2 °C alors que le mois d'Août est le plus chaud avec 26.3 °C de moyenne . Pour les vitesses du vent la moyenne annuelle est de 3.6 m/s , le mois le plus défavorable est le mois de novembre avec 3.0 m/s de moyenne alors que le mois le plus venté est le mois de mai avec 4.7 m/s .

## 2.6. Définition de la maison d'étude

La maison type qui va servir pour notre étude est la maison prototype du CNERIB. Le choix s'est porté sur cette maison parce que d'une part elle a une architecture simple, elle est rectangulaire avec une toiture à deux versants, ce type de maison est très répandu surtout dans les zones rurales ,et d'autre part c'est une maison à basse énergie construite avec des matériaux isolants. Donc c'est très intéressant de coupler l'aspect thermique à l'aspect électrique et de réduire très fortement la dépense énergétique de celle-ci.



**Figure 2.7** Vue externe de la maison



**Figure 2.8** Plan détaillé de la maison

La maison contient deux chambres une salle de séjour, une cuisine, et enfin une salle de bain et des toilettes.



**Figure 2.9** Vue de façade de la maison

La plus grande face de la toiture fait  $(6,08 \times 10,51) = 63,9 \text{ m}^2$ , elle est inclinée de  $18^\circ$ , l'autre surface fait  $(2,56 \times 10,51) = 26,90 \text{ m}^2$  et est inclinée de  $40^\circ$ .

## 2.7. Détermination du profil de consommation

La maison est habitée par 4 personnes, un couple avec deux enfants le père travaille et les deux enfants étudient ils sont absents de la maison de 7 h à 17 h ,la mère ne travaille pas .

Les deux chambres sont éclairées chacune par une lampe halogène, dans le séjour il y'a deux lampes halogènes, un téléviseur plat et un ordinateur. En cuisine on dispose d'une lampe néon, d'une cuisinière électrique qui se compose de 3 plaques de cuisson, d'un réfrigérateur, et d'un ventilateur pour évacuer les odeurs de cuisson et aussi d'un cumulus d'eau chauffée par un système d'appoint électrique. Dans La salle de bain il y'a une lampe halogène et une machine à laver. Les WC sont éclairés par une lampe halogène. La maison dispose aussi d'un climatiseur installé au niveau du couloir.

Appareils électrique	Puissance en watt	Appareils électrique	Puissance en watt
Lampe halogène	15	Lave-linge	1500
Lampe néon	25	Réfrigérateur + congélateur	300
Téléviseur plat	43	Climatiseur	800
Ordinateur	70	Appoint électrique	1000
Table de cuisson électrique (3 foyers)	300	ventilateur de cuisine	30

**Tableau 2.4** Listes des appareils électrique et leurs puissances

Pour notre étude nous avons choisi de déterminer une consommation horaire journalière. Nous choisirons le cas le plus défavorable entre deux profils de consommation établi pour une journée type en hiver et en été, la journée la plus courte en hiver (21 décembre) et la plus longue en été (21 juin) .

heure	Appareils	Puissance W
0-1	Réfrigérateur	<b>300</b>
1-2	Réfrigérateur	<b>300</b>
2-3	Réfrigérateur	<b>300</b>
3-4	Réfrigérateur	<b>300</b>
4-5	Réfrigérateur	<b>300</b>
5-6	Réfrigérateur+appoint	<b>1300</b>
6-7	3 lampe+néon+réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	<b>500</b>
7-8	Néon+Réfrigérateur	<b>325</b>
8-9	Réfrigérateur+lave linge	<b>1800</b>
9-10	Réfrigérateur	<b>300</b>
10-11	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	<b>630</b>
11-12	Réfrigérateur	<b>300</b>
12-13	Réfrigérateur	<b>300</b>
13-14	Réfrigérateur+TV	<b>343</b>
14-15	Réfrigérateur+TV	<b>343</b>
15-16	Réfrigérateur+TV	<b>343</b>
16-17	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	<b>430</b>
17-18	4 lampe+réfrigérateur+TV+PC+appoint	<b>1473</b>
18-19	4 lampe+réfrigérateur+TV+PC	<b>473</b>
19-20	4 lampe+ néon+réfrigérateur+TV+PC+cuisin+ventil	<b>828</b>
20-21	Réfrigérateur+néon	<b>325</b>
21-22	2 lampe+réfrigérateur+TV+PC	<b>443</b>
22-23	Réfrigérateur	<b>300</b>
23-24	Réfrigérateur	<b>300</b>

**Tableau 2.5** Profil journalier de consommation pour la période hiver

heure	Appareils	Puissance W
0-1	Réfrigérateur+climatiseur	<b>1100</b>
1-2	Réfrigérateur+climatiseur	<b>1100</b>
2-3	Réfrigérateur	<b>300</b>
3-4	Réfrigérateur	<b>300</b>
4-5	Réfrigérateur	<b>300</b>
5-6	Réfrigérateur	<b>300</b>
6-7	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	<b>430</b>
7-8	Réfrigérateur	<b>300</b>
8-9	Réfrigérateur+lave linge	<b>1800</b>
9-10	Réfrigérateur	<b>300</b>
10-11	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	<b>630</b>
11-12	Réfrigérateur	<b>300</b>
12-13	Réfrigérateur	<b>300</b>
13-14	Réfrigérateur+TV+climatiseur	<b>1143</b>
14-15	Réfrigérateur+TV+climatiseur	<b>1143</b>
15-16	Réfrigérateur+TV+climatiseur	<b>1143</b>
16-17	Réfrigérateur+ cuisinière +ventilateur	<b>430</b>
17-18	Réfrigérateur+TV+PC	<b>413</b>
18-19	Réfrigérateur+TV+PC	<b>413</b>
19-20	Réfrigérateur+TV+PC+ cuisinière +ventil	<b>743</b>
20-21	Réfrigérateur+néon	<b>325</b>
21-22	2 lampe+réfrigérateur+TV+PC	<b>443</b>
22-23	2 lampe+réfrigérateur+TV+PC+climatiseur	<b>1243</b>
23-24	Réfrigérateur+climatiseur	<b>1100</b>

**Tableau 2.6** Profil journalier de consommation pour la période d'été

Le Total de la consommation par jour est de 15,625 kWh pour la journée d'été et de 12,556 kWh pour la journée d'hiver.

## **2.8. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons parlé du gisement solaire et éolien en Algérie ,ensuite nous avons défini les trois sites qui serviront pour faire l'étude avec les moyennes mensuelles du rayonnement et du vent qui nous ont servi à déterminer le potentielle énergétique de chaque région . Et enfin nous avons donné les caractéristiques de la maison qui servira pour notre étude avec le profil de consommation électrique.

# **CHAPITRE 3**

## **Modélisation par le logiciel Trnsys**

### 3.1. Introduction

Dans ce chapitre nous présentons le logiciel Trnsys ainsi que les modèles mathématiques qui définissent chaque composant du système hybride .et aussi les modèles de calcul du rayonnement solaire . ensuite nous expliquons les différentes étapes nécessaires pour la simulation et définissons les données d'entrées de notre modèle .

### 3.2. Présentation du logiciel TRNSYS

Le logiciel de simulation TRNSYS est un environnement complet et extensible, dédié à la simulation dynamique des systèmes. Développé par le CSTB dans le cadre de la collaboration internationales, il est aujourd'hui la référence au niveau mondial de la simulation dynamique de bâtiments et de systèmes. Plusieurs centaines de composants sont disponibles (énergie solaire, photovoltaïque, éoliennes ,hydraulique , chaudières pile à combustible ..... ) ces bibliothèques peuvent être connectées pour effectuer des études pluridisciplinaires techniques et économiques. TRNSYS Studio assure l'interface entre le schéma de principe du projet à modéliser et TRNSYS , la conception modulaire de Trnsys permet aux utilisateurs un contrôle sur les organigrammes et la possibilité de créer le composant spécifique pour un problème poser.

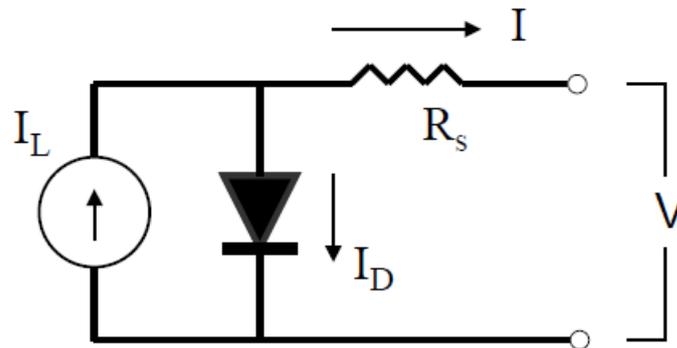
### 3.3. Modèles des différents composants du système hybride

Chaque composant du système hybride est modélisé par des équations mathématiques ,qui tentent de prévoir le comportement du système , plus le modèle est complexe plus on se rapproche du cas réel .

#### 3.3.1. Modèle d'une cellule photovoltaïque

Le modèle utilisé pour caractériser la cellule solaire est le circuit équivalent de quatre paramètres développés par Townsend en 1989 et détaillé par Duffie et Beckman en 1991 . Il est utilisé pour modéliser les cellules photovoltaïques cristallines . Les quatre paramètres pour ce modèle sont :  $I_{L,ref}$  ,  $I_{o,ref}$  ,  $\gamma$  et  $R_s$  . ce sont des valeurs empiriques qui ne peuvent pas se déterminer directement de la mesure . Trnsys les calcule à partir des données du constructeur.

Le circuit électrique équivalent correspondant à une cellule solaire est



**Figure 3.1** Circuit équivalent d'une cellule solaire pour le modèle à 4 paramètres

L'équation du courant en fonction de la tension de la cellule est

$$I = I_L - I_o \left[ \exp\left(\frac{q}{\gamma k T_c} (V + IR_s)\right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

$R_s$  et  $\gamma$  sont des constantes . le photocourant  $I_L$  dépend linéairement de la radiation incidente

$$I_L = I_{L,ref} \frac{G_T}{G_{T,ref}} \quad (3.2)$$

L'insolation de référence  $G_{ref}$  est donnée comme le paramètre 4 elle est de 1000 W/m<sup>2</sup>. Le courant inverse de saturation  $I_o$  dépend de la température selon cette équation

$$\frac{I_o}{I_{o,ref}} = \left( \frac{T_c}{T_{c,ref}} \right)^3 \quad (3.3)$$

Une méthode itérative est employée pour calculer le courant  $I_{mp}$  et la tension  $V_{mp}$  au MMP sur la courbe des caractéristiques .

Pour déterminer  $I_{L,ref}$ ,  $I_{o,ref}$ ,  $\gamma$  et  $R_s$  les équations suivantes sont utilisées avec les données constructeur .

$$0 = I_{L,ref} - I_{o,ref} \left[ \exp\left(\frac{q}{\gamma k T_{c,ref}} V_{oc,ref}\right) - 1 \right] - \frac{V_{oc,ref}}{R_{sh}} \quad (3.4)$$

$$I_{sc,ref} = I_{L,ref} - I_{o,ref} \left[ \exp\left(\frac{q I_{sc,ref} R_s}{\gamma k T_{c,ref}}\right) - 1 \right] - \frac{I_{sc,ref} R_s}{R_{sh}} \quad (3.5)$$

$$I_{mp,ref} = I_{L,ref} - I_{o,ref} \left[ \exp\left(\frac{q}{\gamma k T_{c,ref}} (V_{mp,ref} + I_{mp,ref} R_s)\right) - 1 \right] - \frac{V_{mp,ref} + I_{mp,ref} R_s}{R_{sh}} \quad (3.6)$$

$$I_{L,ref} \approx I_{sc,ref} \quad (3.7)$$

$$\gamma = \frac{q(V_{mp,ref} - V_{oc,ref} + I_{mp,ref} R_s)}{k T_{c,ref} \ln\left(1 - \frac{I_{mp,ref}}{I_{sc,ref}}\right)} \quad (3.8)$$

$$I_{o,ref} = \frac{I_{sc,ref}}{\exp\left(\frac{q V_{oc,ref}}{\gamma k T_{c,ref}}\right)} \quad (3.9)$$

Une dernière équation est utilisée pour déterminer le dernier paramètre c'est la dérivée mathématique de la tension en fonction de la température aux conditions de référence d'un circuit ouvert .

$$\frac{\partial V_{oc}}{\partial T_c} = \mu_{voc} = \frac{\gamma k}{q} \left[ \ln\left(\frac{I_{sc,ref}}{I_{o,ref}}\right) + \frac{T_c \mu_{isc}}{I_{sc,ref}} - \left(3 + \frac{q \varepsilon}{A k T_{c,ref}}\right) \right] \quad (3.10)$$

$$A = \frac{\gamma}{N_s} \quad (3.11)$$

### 3.3.2 Modèle d'une Eolienne

La théorie du moment et la conservation de la masse nous donnent en supposant que la densité de l'air ne change pas

$$A_1 U_0 = A_R U_R = A_w U_w \quad (3.12)$$

$$A_1 U_0 - A_w U_w - (A_1 - A_w) U_0 - Q = 0 \quad (3.13)$$

La résolution de l'équation nous donne la formule du débit

$$Q = A_w (U_0 - U_w) \quad (3.14)$$

La conservation du moment dans la direction horizontale nous donne après arrangement

$$D = \rho A_w U_0^2 - \rho A_w U_w^2 - \rho U_0 (A_w (U_0 - U_w)) \quad (3.15)$$

$$D = \rho A_w U_w (U_0 - U_w) \quad (3.16)$$

L'équation de Bernoulli qui calcule la différence de pression en amont et en aval est donnée comme suit

$$p_R^+ - p_R^- = \frac{1}{2} \rho (U_0^2 - U_w^2) \quad (3.17)$$

La force de poussé est donnée par

$$D = A_R (p_R^+ - p_R^-) \quad (3.18)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho A_R (U_0^2 - U_w^2) \quad (3.20)$$

L'expression de la poussé de l'équation de Bernoulli combinée avec celle de la théorie du moment nous donne

$$U_R (U_0 - U_w) = \frac{1}{2} (U_0^2 - U_w^2) \quad (3.21)$$

$$U_R = \frac{(U_0 + U_w)}{2} \quad (3.22)$$

La puissance de sortie de l'éolienne est écrite comme le produit de la poussée et de la vitesse

$$P = D U_R \quad (3.23)$$

$$P = \left( \frac{1}{2} \rho A_R (U_0^2 - U_w^2) \right) U_R \quad (3.24)$$

On en déduit l'équation de la puissance

$$P = \frac{1}{2} \rho A_R U_0^3 4 a(1-a)^2 \quad (3.24)$$

Et enfin le coefficient de performance

$$C_p = 4 a(1-a)^2 \quad (3.25)$$

### 3.3.3 Modèle du Régulateur de charge

Le modèle mathématique teste  $F$  avec plusieurs paramètres, le premier et de voir si  $F < FC$ , la batterie peut être déchargée quand  $PD > PA$ , ou ne rien faire quand  $PD < PA$ , dans le dernier cas  $PR = PA - PL$ , si  $F < FC$  le programme détermine si  $F < FB$  et la batterie a été chargée ( $PB > 0$ ). Si c'est deux conditions sont réunies alors la batterie est en charge totale.

Une autre condition est de respecter le paramètre  $P_{MAX}$ , la puissance de sortie du régulateur ne doit pas être inférieure à celle du PV ou de l'éolienne  $(PL)(\text{eff}2) < PL_{MAX}$

### 3.3.4 Modèle de la Batterie

L'équation qui décrit la charge et la décharge et la suivante, avec pour la charge  $I > 0$  et l'inverse pour la décharge.

$$V = e_{qd} - g_d H + I r_{qd} \left( 1 + \frac{m_d H}{Q_d / Q_m - H} \right) \quad (3.26)$$

$$V = e_{qc} - g_c H + I r_{qc} \left( 1 + \frac{m_c H}{Q_c / Q_m - H} \right) \quad (3.27)$$

### 3.3.5 Modèle du convertisseur de tension

La perte de puissance d'un convertisseur de tension dépend du courant qui le traverse, Laukamp a proposé une expression mathématique qui le décrit.

$$P_{\text{loss}} = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \quad (3.28)$$

$$P_{\text{in}} - P_{\text{out}} = P_0 + (U_S / U_{\text{out}}) P_{\text{out}} + (R_{\text{ipn}} / U_{\text{out}}^2) P_{\text{out}}^2 \quad (3.29)$$

Une autre relation permet d'écrire

$$\frac{P_{in}}{P_{nom}} = \frac{P_0}{P_{nom}} + \left[ 1 + \frac{U_s}{U_{out}} \right] \cdot \frac{P_{out}}{P_{nom}} + \frac{R_{ipn}}{U_{out}^2} \cdot P_{nom} \cdot \left[ \frac{P_{out}}{P_{nom}} \right]^2 \quad (3.30)$$

### 3.4. Modèles de rayonnement solaire

La déclinaison du soleil  $\delta$  est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan équatorial de la terre. La déclinaison varie entre  $-23.45^\circ$  (le 21 décembre) et  $+23.45^\circ$  (le 21 juin) et elle nulle aux équinoxes. La déclinaison solaire est bien représentée par la formule (3.31)

$$\delta = 23.45 \cdot \sin \left( 2\pi \cdot \frac{284+n}{365} \right) \quad (3.31)$$

L'angle horaire ( $\omega_s$ ) étant l'angle formé par le plan méridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu

$$\omega_s = 15 \text{ (TSV-12)} \quad (3.32)$$

La hauteur angulaire est l'angle formé par la direction du soleil et le plan horizontal.

$$\sin(\gamma) = \sin \psi \cdot \sin \delta + \cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (3.33)$$

Par ciel clair et pendant la durée de jour d'insolation  $S_0$  (du lever au coucher du soleil), le sol reçoit le rayonnement solaire maximal .

$$\sigma = \frac{S}{S_0} \quad (3.34)$$

$$S_0 = \left( \frac{2}{15} \right) \cos^{-1}(-\tan \psi \cdot \tan \delta) \quad (3.35)$$

L'éclairement extraterrestre à la limite supérieure hors atmosphère, sur un plan horizontal, est donné par

$$I = G_{sc} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) (\cos \psi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \psi \cdot \sin \delta) \text{ [w/m}^2\text{]} \quad (3.36)$$

L'irradiation horaire est donnée par

$$I_0 = \frac{1236}{\pi} G_{sc} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) (\cos \psi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + (\omega_2 - \omega_1) \sin \psi \cdot \sin \delta) \quad (3.37)$$

Le rayonnement solaire sur un plan incliné est estimé en fonction de l'énergie reçue sur un plan horizontal par le modèle de Liu Jordan par l'équation suivante

$$\bar{H}_T = \bar{H}_b \cdot \bar{R}_b \cdot \bar{H}_d \cdot \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \cdot \bar{H} \cdot \rho \cdot \left( \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right) \quad (3.38)$$

Avec

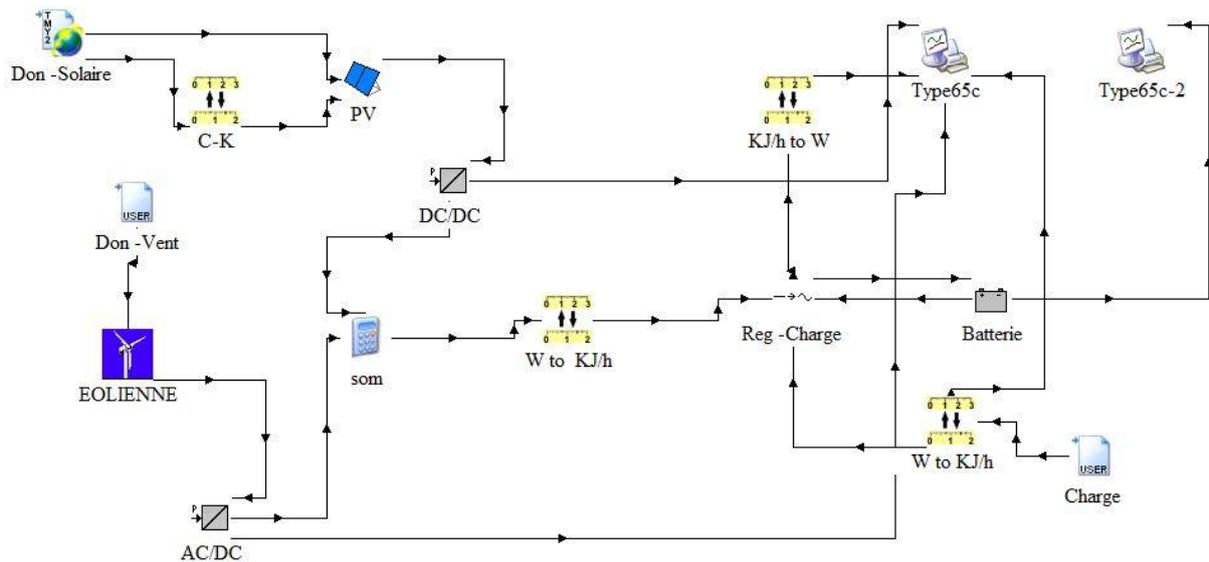
$$R_b = \frac{\cos(\psi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega s') + \omega s' \cdot \sin(\psi - \beta) \cdot \sin(\delta)}{\cos(\psi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega s) + \omega s \cdot \sin(\psi) \cdot \sin(\delta)} \quad (3.39)$$

### 3.5 Simulation sur TRNSYS

Pour simuler notre système hybride nous devons proposer une configuration adéquate

#### 3.5.1 Configuration du système hybride dans Trnsys

Le système est composé de modules qui représentent les panneaux photovoltaïques ,l'éolienne ,les batteries de stockage, le régulateur de charge et l'onduleur .il comprend aussi des modules qui permettent de convertir les unités et d'importer les données météo.



**Figure 3.2** Modélisation du système hybride dans Trnsys studio

### 3.5.2 Les modules utilisés pour simuler le système

Nom du module	Code	Description
Panneaux photovoltaïque	Type 94a	Ce composant modélise les performances électriques d'un module photovoltaïque poly-cristallin ou monocristallin.
Eolienne	Type 90	C'est un modèle mathématique pour un système de conversion d'énergie éolienne, ce modèle calcule la puissance de sortie d'une éolienne à partir de la courbe de puissance fournie par le constructeur.
Convertisseur de tension	Type 175a	C'est un modèle mathématique pour une unité de conditionnement de puissance et de tension ,elle permet de choisir une tension de sortie pour des convertisseurs AC/DC , DC/AC ou AC/AC.
Régulateur de charge et onduleur	Type 48b	Ce composant modélise un régulateur de charge et un onduleur en même temps.
Batterie	Type 47c	Ce modèle pour une batterie électrochimique opère avec un système de génération d'énergie avec un régulateur de charge ,il permet de calculer l'état de charge des batteries ,leurs tensions ,le courant etc
Fichier météo	Type 109	Ce module permet de lire des fichier météo au format tmy2
Fichier de données	Type 9a	Ce module permet de lire n'importe qu'elle donnée sous un format de fichier texte ,dans notre cas on l'utilise pour modéliser notre charge électrique .
Traceur de courbe	Type 65	ce modèle permet de tracer n'importe quelle courbe en choisissant le nombre de variables, l'échelle etc
Système de conversion d'unités	Type 57	Il permet de convertir des données dans un système d'unités utilisables, dans notre cas c'est l'énergie demandée par la charge en Kwh.

**Tableau 3.1** Modules utilisés dans Trnsys

### 3.5.3. Définition des données d'entrée et de sortie des composants du système

Dans Trnsys on peut définir des données d'entrée et de sortie pour chaque composant du système ,chaque donnée de sortie d'un module est relié avec une donnée d'entrée d'un autre module et ainsi de suite .

#### - Panneau PV

Irradiation globale	Donnée de sortie du fichier météo
Température ambiante	Donnée de sortie du fichier météo
Inclinaison de la batterie	Inclinaison du toit
Rayonnement direct	Donnée de sortie du fichier météo
Rayonnement diffus	Donnée de sortie du fichier météo
Puissance de sortie	Donnée d'entrée pour le conditionneur de puissance

**Tableau 3.2** Données d'entrée et de sortie pour le panneau PV

#### -Eolienne

Signal de contrôle	éolienne en marche ou à l'arrêt
Vitesse du vent	Donnée de sortie du fichier météo
Pression barométrique	Donnée de sortie du fichier météo
Puissance générée	Donnée d'entrée pour le conditionneur de puissance

**Tableau 3.3** Données d'entrée et de sortie de l'éolienne

**-Régulateur onduleur**

Puissance d'entrée	Donnée de sortie du conditionneur de puissance
Puissance de la charge	Donnée de sortie du fichier de charge
Fraction de l'état de charge	Donnée de sortie de la batterie
Puissance de ou vers la batterie	Donné d'entrée pour la batterie

**Tableau 3.4** Données d'entrée et sortie pour le régulateur onduleur**- Conditionnement de puissance**

Tension d'entrée	Donnée de sortie du panneau PV et de l'éolienne
Tension de sortie	Tension de sortie voulue
Puissance de sortie	Donnée d'entrée pour le régulateur de charge

**Tableau 3.5** Données d'entrée et sortie du conditionneur de puissance**-Batterie**

Puissance générée	Donnée de sortie du régulateur
Fraction de l'état de charge	Donnée d'entrée du régulateur
Puissance	Puissance délivrée par les batteries

**Tableau 3.6** Données d'entrée et de sortie de la batterie**3.5.4. Définition des paramètres de chaque composant du système**

Trnsys nous permet d'introduire certains paramètres qui sont propres à chaque composant du système hybride, ils peuvent être des données fournies par le constructeur ou des réglages propres à chaque utilisateur.

**-Eolienne**

Hauteur de mesure de la vitesse du vent	10 mètres
Hauteur de l'éolienne	Selon le modèle
Perte de l'éolienne	Négligé

**Tableau 3.7** Paramètres de l'éolienne**-Régulateur et onduleur**

Efficacité de l'onduleur	0.78
Efficacité du régulateur de charge	0.96
Taux minimum du FSOC	1
Taux maximum du FSOC	0.2
Puissance	6000 w

**Tableau 3.8** Paramètres de l'onduleur

L'efficacité du régulateur et de l'onduleur est fournie par le constructeur. Le High Limit on FSOC qui détermine le taux de charge maximum pour lequel la batterie s'arrête de se charger est de 1 .Cela veut dire que la charge ne s'arrête que si la batterie est complètement chargée . Le low limit of FSOC et le taux minimum de charge pour lequel la décharge n'est pas permise ,il a été fixé à 20% pour éviter l'usure des batteries. La puissance de sortie du régulateurs doit être supérieure à celle générée , nous choisissons 6000 W ce qui est préconisée pour des batteries de 48 Volt.

**-Batterie**

Capacité de la cellule	Exprimé en Wh
Nombre de cellules en parallèles	Augmente le courant
Nombre de cellules en série	Augmente la tension
Efficacité de charge	0.7

**Tableau 3.9** paramètres de la batterie

**-Panneaux photovoltaïques**

Tension de circuit ouvert
Courant de court-circuit
Courant mppt
Tension mppt
Température nominale de fonctionnement
Nombre de cellules par module
Dimension d'un module

**Tableau 3.10** Paramètres du panneau pv**3.6. Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons pu nous familiariser avec le logiciel de simulation Trnsys , nous avons parlé des modèles mathématiques utilisés pour définir le système . Ensuite nous avons résumé les étapes importantes de la simulation et les paramètres à prendre en compte .

# **CHAPITRE 4**

## **Résultats et discussions**

## 4.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons dimensionner le champ photovoltaïque, l'éolienne et les batteries. pour cela il nous faut connaître le gisement solaire et éolien disponibles sur les trois sites ,nous choisirons ensuite des modèles réels d'éoliennes et de panneaux photovoltaïques qui serviront dans notre étude. Ensuite nous analyserons et nous discuterons les différents résultats de la simulation comme la puissance générée par l'éolienne ainsi que l'énergie photovoltaïque produite et enfin nous déterminerons la configuration la plus rentable et nous comparerons ces résultats pour les trois sites sélectionnés ,La simulation horaire du système pour les 3 régions a été faite pour le mois le plus défavorable en terme de potentiel solaire ,mais pour des raisons de clarté et pour faciliter la compréhension des résultats nous n'avons choisi de travailler que sur la première semaine de chaque mois .

## 4.2. Gisement solaire et éolien des différents sites

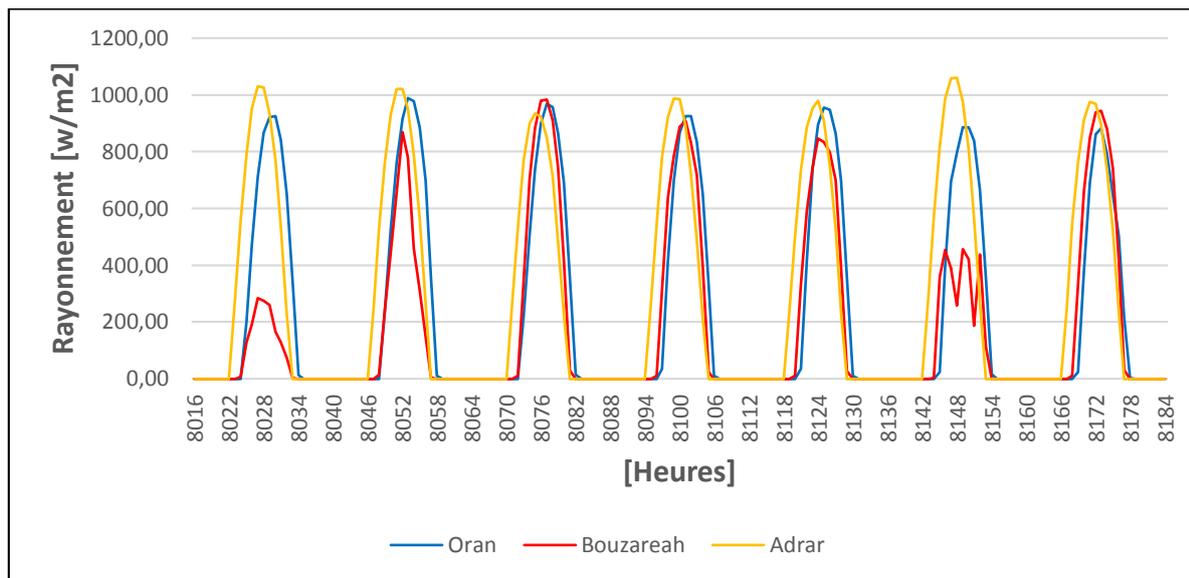
### 4.2.1. Gisement solaire

La maison sélectionnée pour faire notre étude dispose d'une toiture a deux faces .il est donc nécessaire de déterminer laquelle des deux est la mieux adaptée à accueillir les panneaux photovoltaïque .pour cela nous comparerons les deux inclinaisons avec la latitude de chaque site.

Oran	Adrar	Bouzareah
35,63°	27,8°	36,71°

Tableau 4.1 Latitude de chaque site

Nous remarquons que pour la région d'Oran et Bouzareah l'inclinaison de 40 ° est la mieux adaptée alors que pour Adrar c'est l'inclinaison de 18 °.

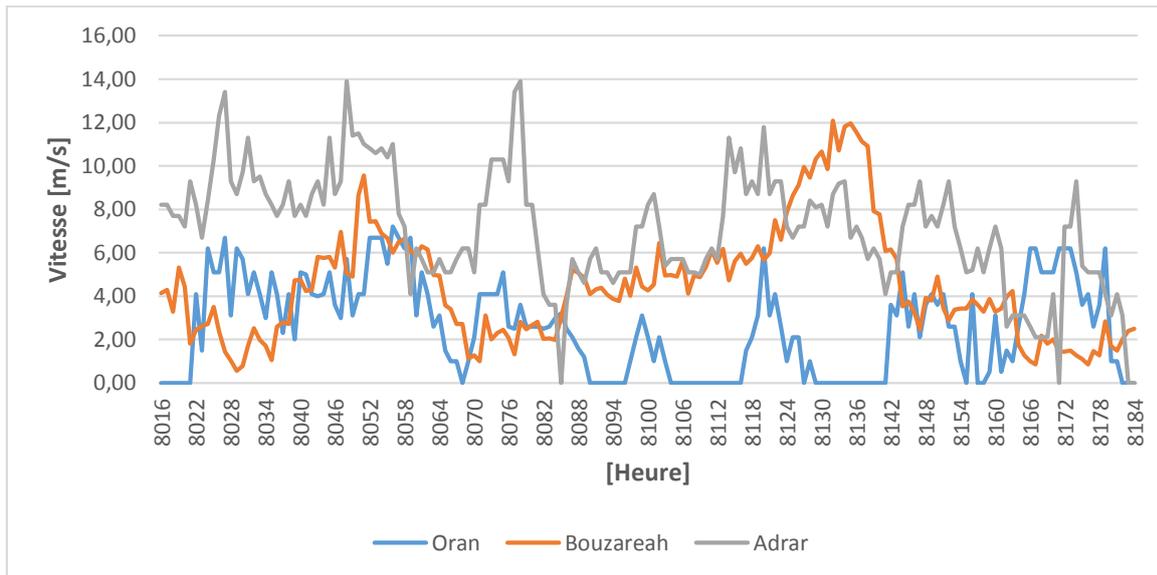


**Figure 4.1** Rayonnement global sur la surface inclinée dans les régions d'Oran, d'Adrar et de Bouzareah du 1 au 7 décembre.

La figure 4.1 représente le rayonnement global reçu sur la surface inclinée choisie dans la région d'Oran, d'Adrar et de Bouzareah. Nous remarquons que celui-ci atteint un pic de  $978,03 \text{ W/m}^2$  avec un total reçu par semaine de  $40,694 \text{ KW/m}^2$  pour Oran, alors que pour Bouzareah la maximum est de  $983,22 \text{ W/m}^2$  pour un total reçu de  $31,120 \text{ KW/m}^2$ , quand à Adrar le maximum est de  $1060,88 \text{ W/m}^2$  et elle reçoit  $48,401 \text{ KW/m}^2$ .

#### 4.2.2. Gisement éolien

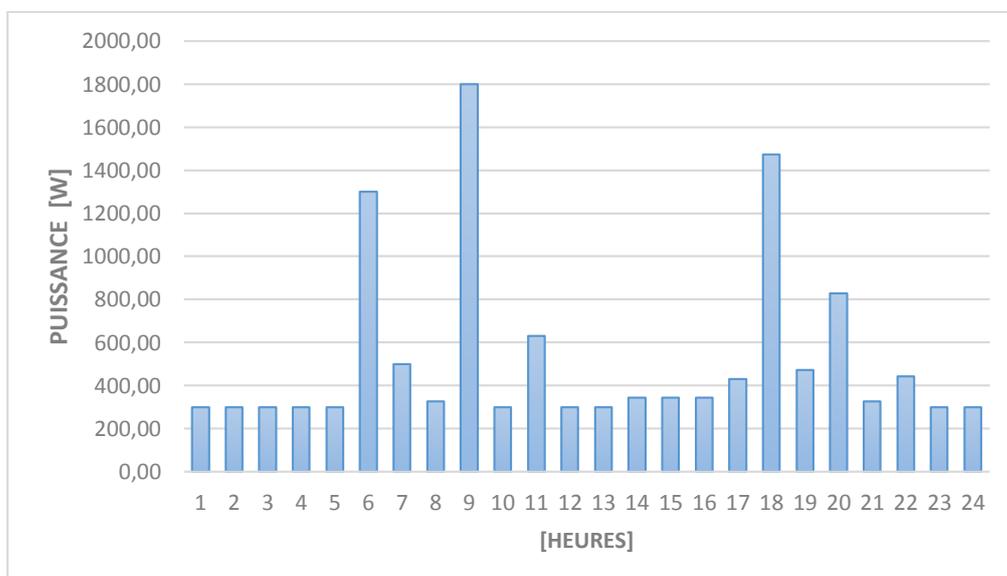
Pour connaître le gisement éolien disponible pour les trois régions nous avons utilisé les mesures horaires réelles des trois sites pour la période du 1 décembre au 7 décembre.



**Figure 4.2** Vitesse du vent du 1 au 7 décembre pour les régions d'Oran d'Adrar et Bouzareah

La figure 4.2 nous montre que le profil du vent est très différent d'une région à une autre , En effet pour la région d'Oran les vitesses oscillent autour de 4 et 5 m/s avec quelques pointes à 7m/s. Pour Bouzareah les vitesses peuvent atteindre les 12 m/s mais c'est beaucoup plus rare ,alors que pour Adrar on dépasse beaucoup plus fréquemment les 6 m/s avec des pointes qui peuvent atteindre les 14 m/s .

### 4.3. Définition de la charge



**Figure 4.3** Profil de charge horaire pour une journée caractéristique en hiver

La figure 4.3 montre les besoins électriques de la maison pour une journée entière ,nous remarquons que le maximum de la consommation se situe à 9h du matin qui correspond à la période d'utilisation du lave-linge , les autres pics dans la charge sont dus a l'utilisation de l'appoint électrique qui sert pour l'eau chaude sanitaire .

#### 4.4. Dimensionnement du système hybride

Pour dimensionner notre système de façon à couvrir la totalité des besoins électriques de la maison nous avons choisi de fixer la puissance de l'éolienne et de dimensionner le champ photovoltaïque pour couvrir le reste de la charge. Pour cela trois combinaisons seront utilisées Une première avec une éolienne de puissance égale à 0.5 kw , une deuxième avec une éolienne de 1 kw et une troisième avec une puissance de 2 kw. Une étude de cout permettra de choisir la combinaison la plus favorable.

##### 4.4.1. Choix de l'éolienne

Nous avons choisi des éoliennes a axe horizontal de la marque AEOLOS parce qu'elle ont des vitesses de démarrage très petites  $< 3$  m/s.

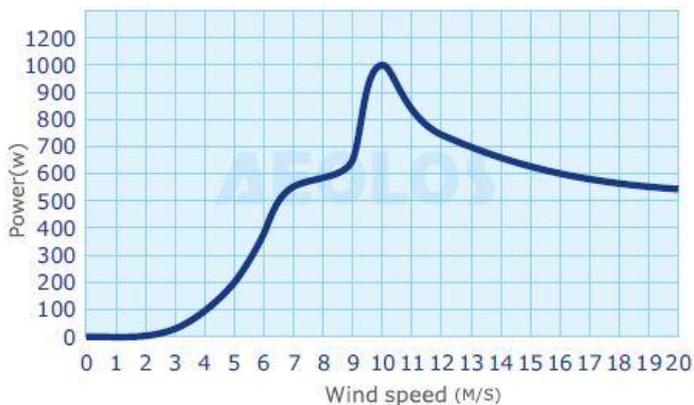


Figure 4.4 Courbe de puissance de l'éolienne de 500w

Aeolos-H 500w
Puissance nominale 500 w
Poids 19.7 kg
Diamètre du rotor 1.7 m
Vitesse du rotor 470 rpm
Hauteur du mat 10 m
Vitesse de démarrage 2.0
Vitesse nominale 10 m/s
Vitesse de coupure 18 m/s

Tableau 4.2 Caractéristiques de l'éolienne de 500 w



Figure 4.5 Courbe de puissance de l'éolienne de 1kw

<b>Aeolos-H 1kw</b>
Puissance nominale 1000 w
Poids 60 kg
Diamètre du rotor 3.2 m
Vitesse du rotor 350 rpm
Hauteur du mat 10 m
Vitesse de démarrage 2.5 m/s
Vitesse nominale 12 m/s
Vitesse de coupure 25 m/s

Tableau 4.3 Caractéristiques de l'éolienne de 1kw

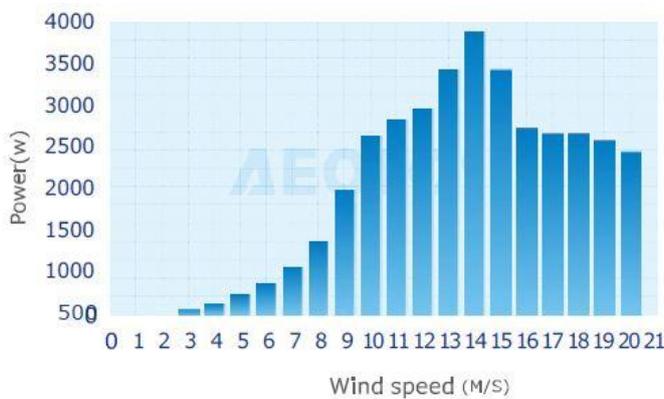
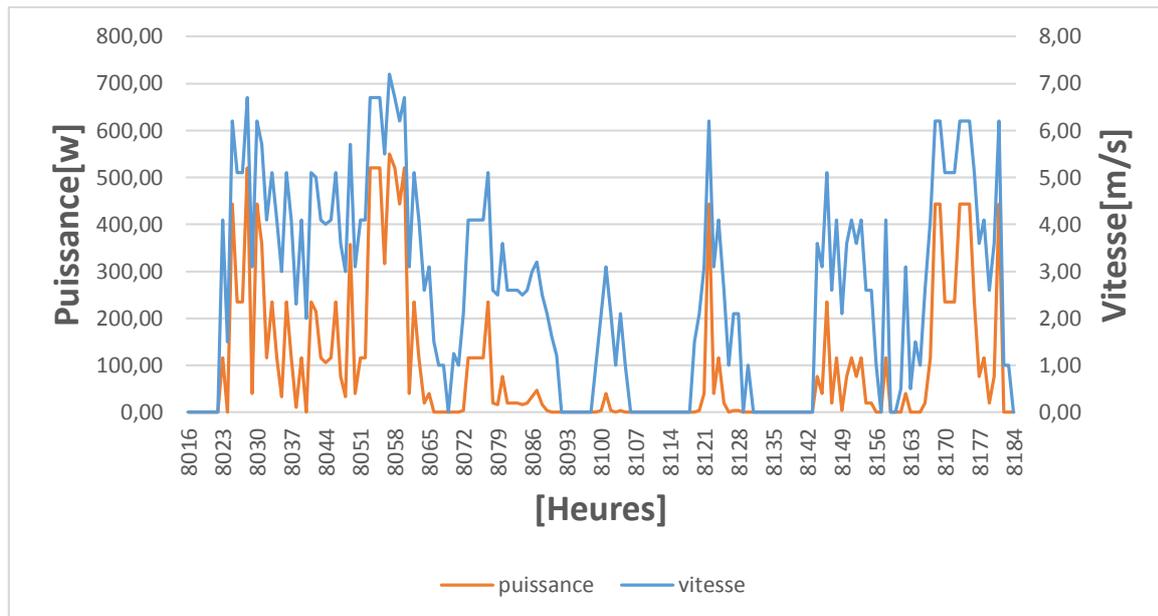


Figure 4.6 Courbe de puissance de l'éolienne 2kw

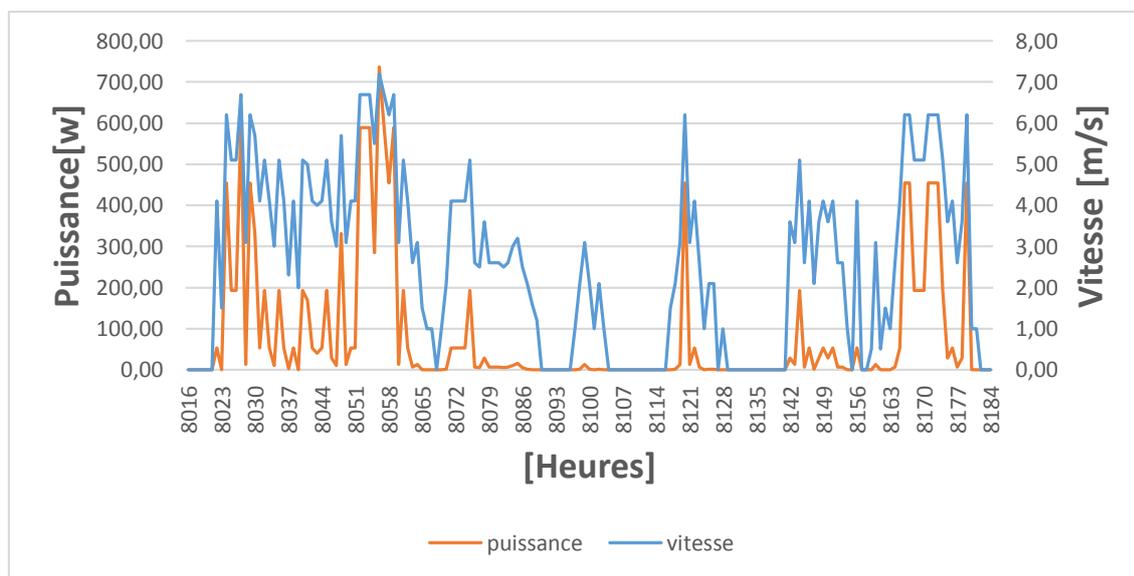
<b>Aeolos-H 2kw</b>
Puissance nominale 2000 w
Poids 125 kg
Diamètre du rotor 4 m
Vitesse du rotor 250 rpm
Hauteur du mat 10 m
Vitesse de démarrage 2.5 m/s
Vitesse nominale 14 m/s
Vitesse de coupure 25 m/s

Tableau 4.4 Caractéristiques de l'éolienne de 2kw

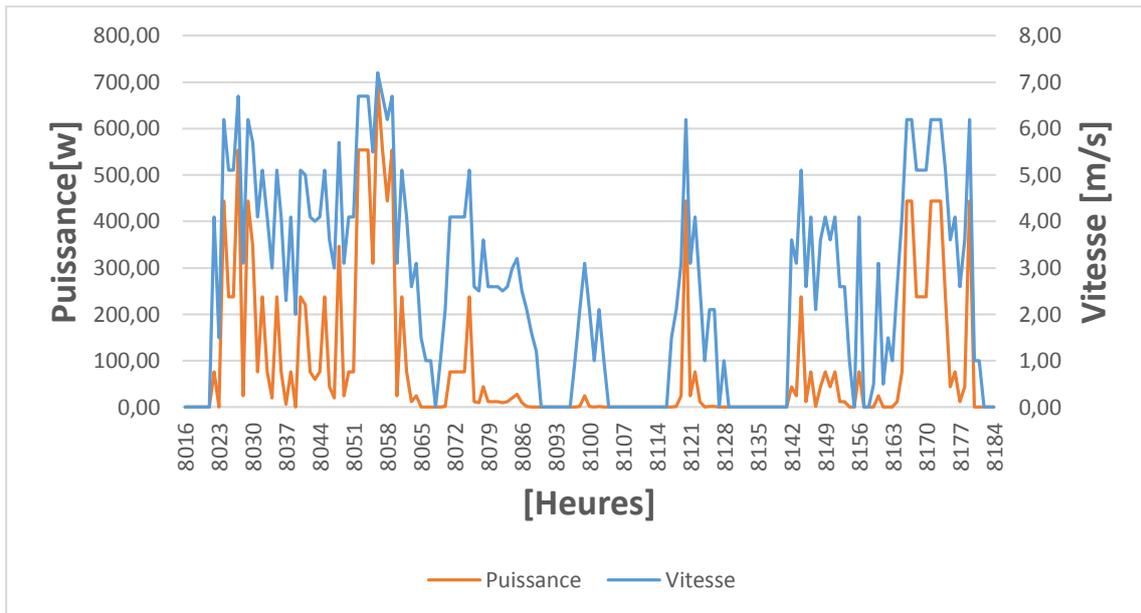
Chaque éolienne est caractérisée par sa puissance nominale ,il est donc nécessaire de déterminer l'énergie générée par nos trois éoliennes en fonction des variation horaires de la vitesse du vent.



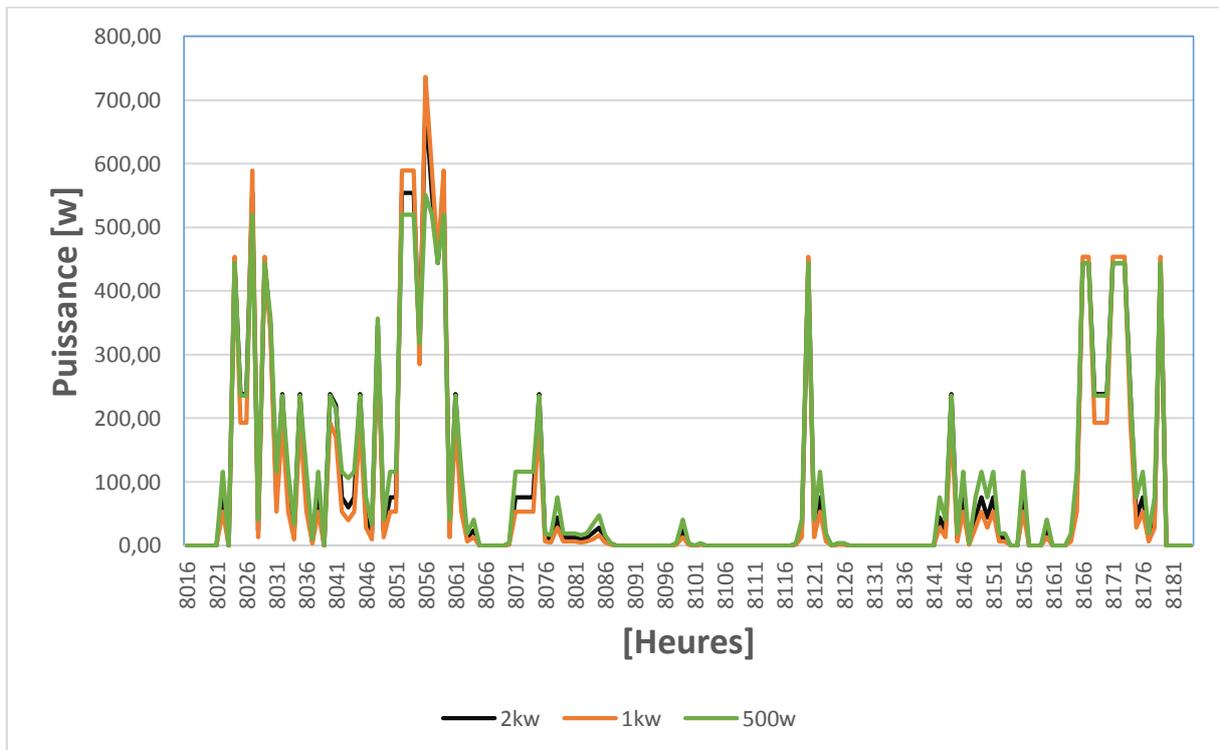
**Figure 4.7** Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 0.5 kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Oran



**Figure 4.8** Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 1kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Oran



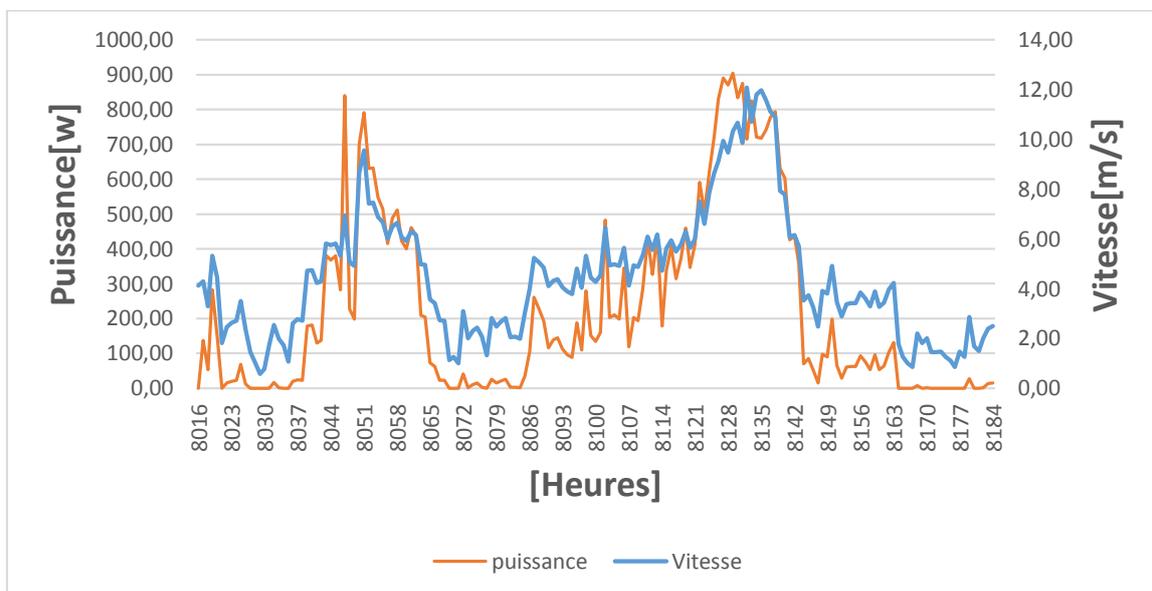
**Figure 4.9** Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 2kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Oran



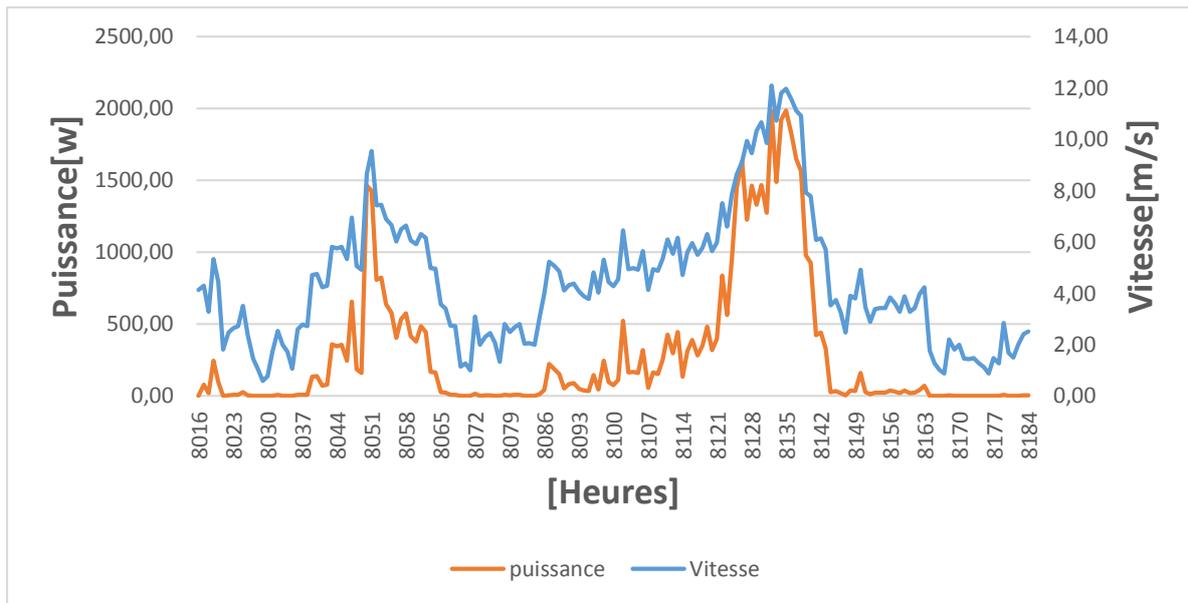
**Figure 4.10** Puissance fournie par les trois éoliennes à Oran du 1 au 7 décembre

Les figures 4.7 ,4.8 ,4.9 et 4.10 nous montrent la puissance fournie par les trois aérogénérateurs dans le site d'Oran Nous remarquons que l'éolienne de 1 kw peut produire jusqu'à 736,14 W au maximum de la vitesse qui est de 7,2 m/s et que le maximum produit par l'éolienne de 2 kw est de 696,13 W pour la même vitesse . Quand à celle de 500 W elle ne peut produire que 550,45 W à cette même vitesse . A Inverse l'éolienne de 2kw produit 238,04 W à 5,10 m/s alors que celle de 1 kw produit 193,44 W a la même vitesse ,quand à l'éolienne de 500 w elle produit 235,30 W à cette vitesse .

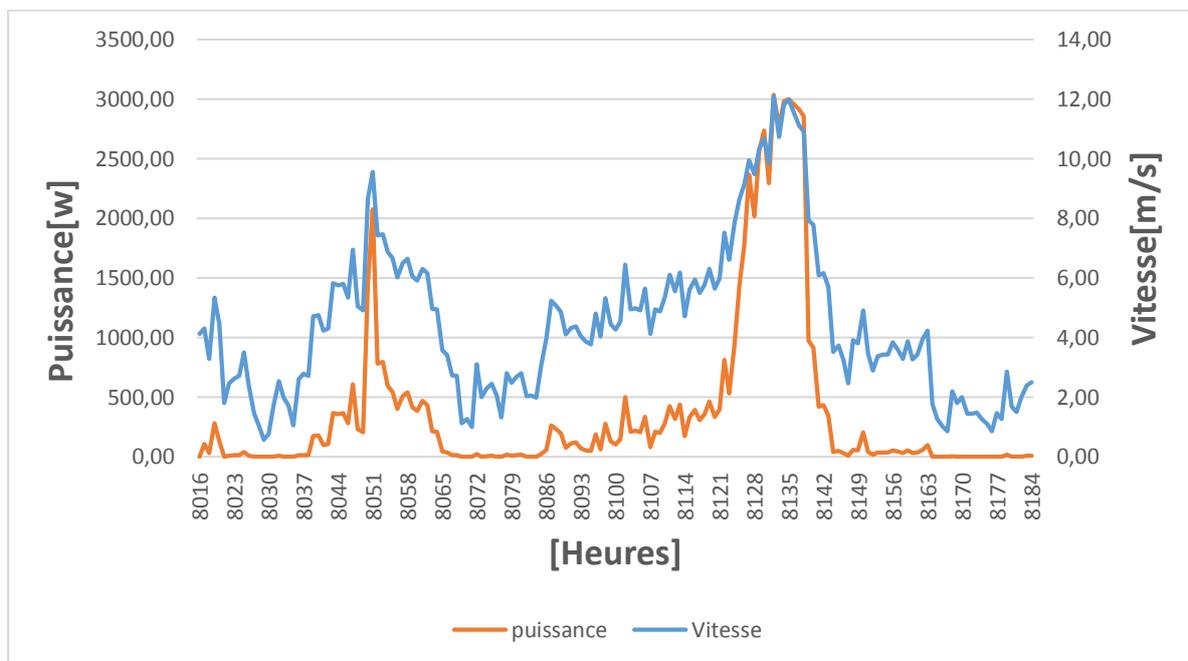
Ces résultats nous permettent de dire que le choix d'une éolienne ne dépend pas uniquement de sa puissance nominale mais il faut prendre en considération le nombre d'heures de fonctionnement qui dépend de la vitesse de démarrage de l'éolienne .



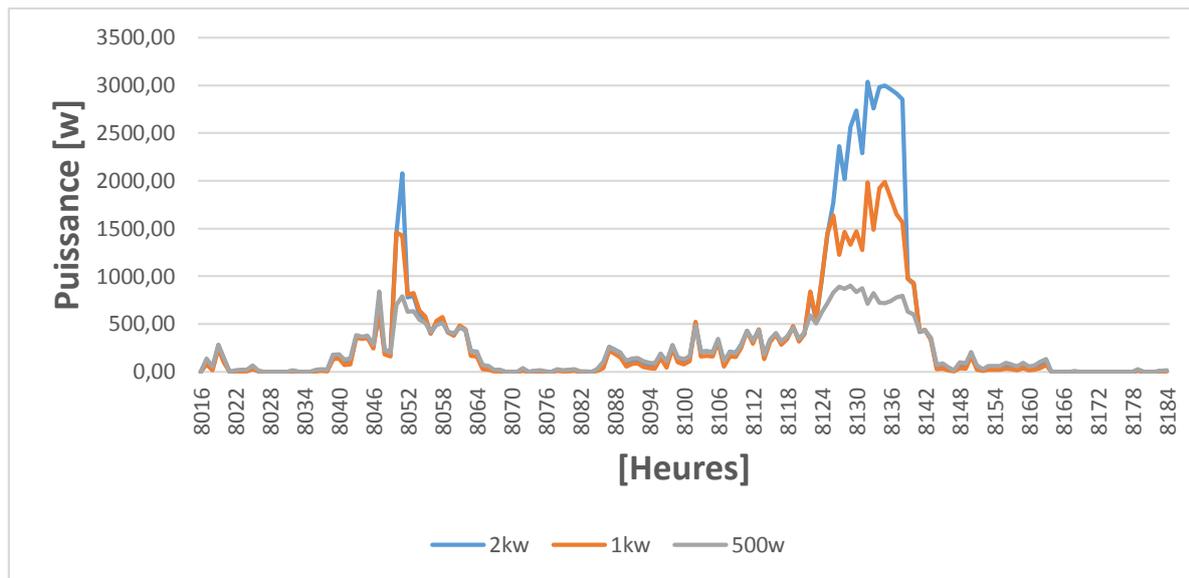
**Figure 4.11** Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 0.5 kw du 1 au 7 décembre dans la région de Bouzareah



**Figure 4.12** Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 1 kw du 1 au 7 décembre dans la région de Bouzareah



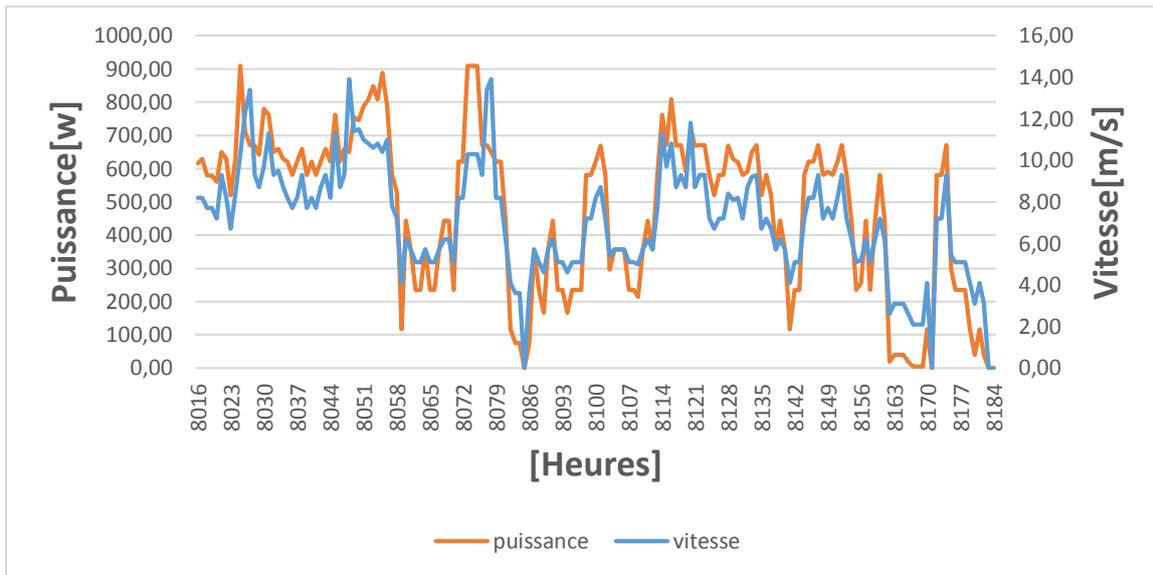
**Figure 4.13** Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 2 kw du 1 au 7 décembre dans la région de Bouzareah



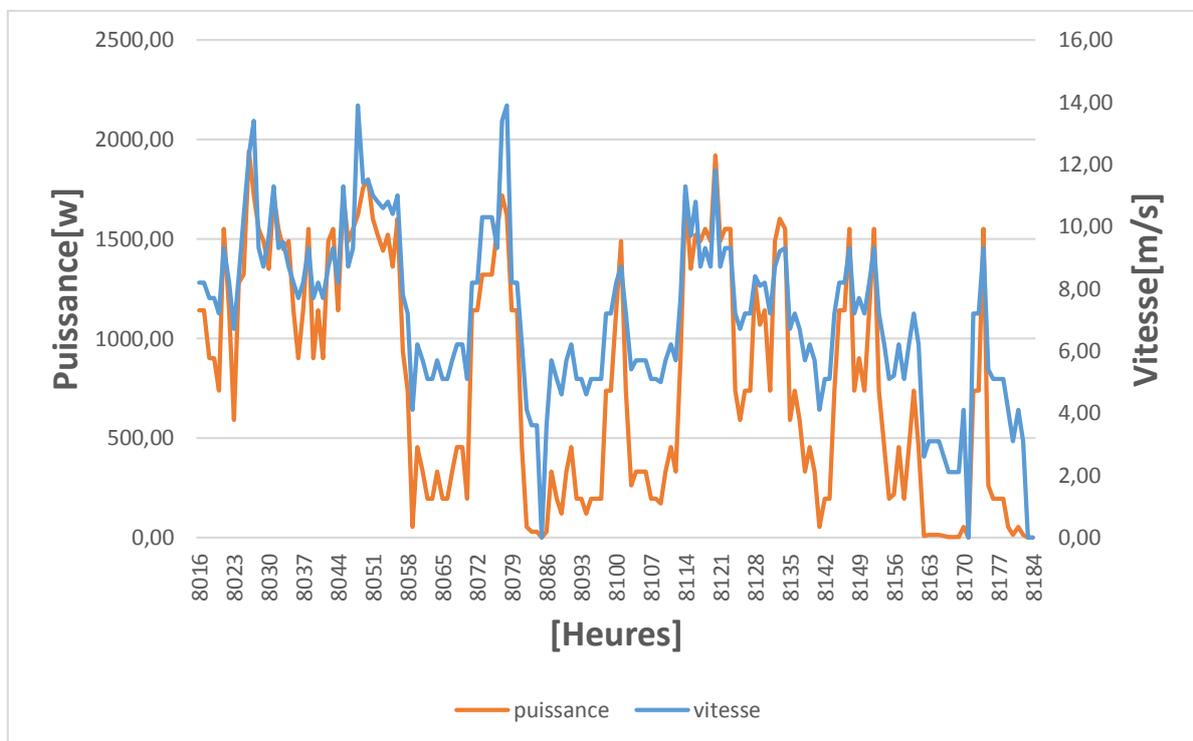
**Figure 4.14** Puissance fournie par les trois éoliennes a Bouzareah du 1 au 7 décembre

Les figures 4.11 ,4.12 ,4.13 et 4.14 donnent la puissance produite par les éoliennes pour le site de Bouzareah nous remarquons que l'éolienne de 1 kw peut produire jusqu'à 2000 W au maximum de la vitesse qui est de 12,09 m/s et que le maximum produit par l'éolienne de 2 kw est de 3000 W pour la même vitesse ,quand à celle de 500 w elle ne peut produire que 870,34 W à cette même vitesse .

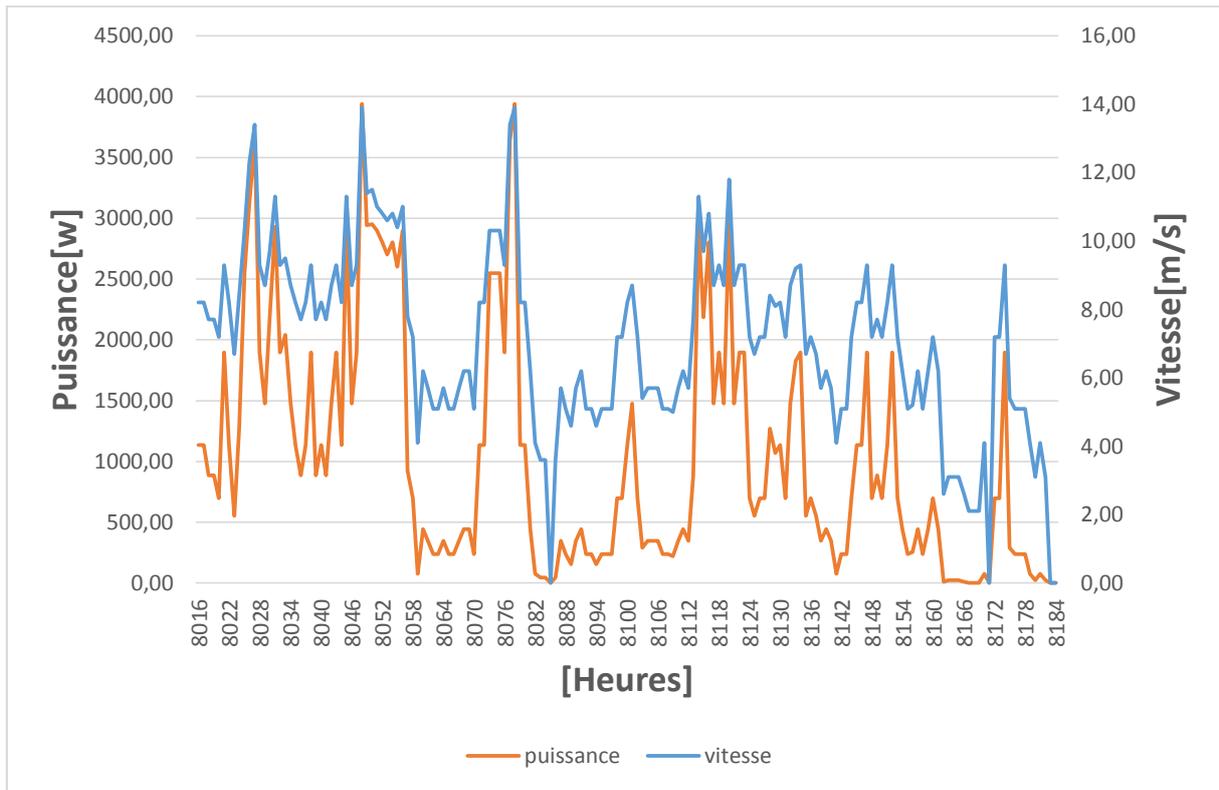
Ces résultats nous permettent de dire que les éoliennes de 1kw et 2kw sont beaucoup plus productives à de grande vitesse de vent à l'inverse de celle de 500w.



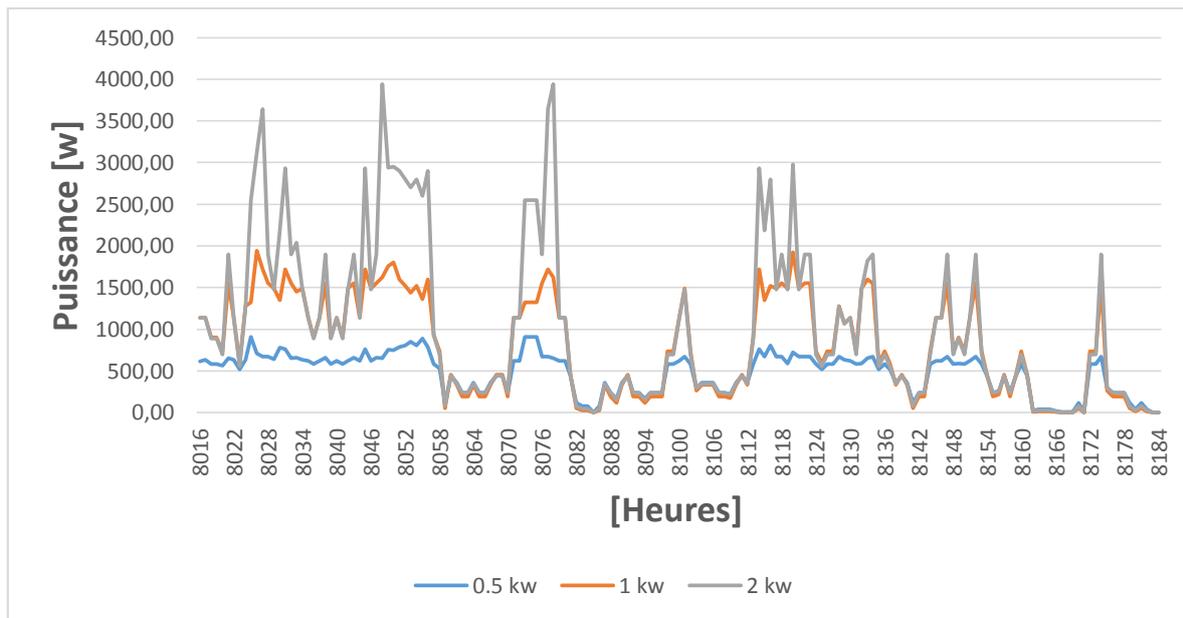
**Figure 4.15** Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 0.5 kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Adrar



**Figure 4.16** Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 1 kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Adrar



**Figure 4.17** Vitesse du vent et puissance fournie par l'éolienne de 2 kw du 1 au 7 décembre dans la région d'Adrar



**Figure 4.18** Puissance fournie par les trois éoliennes a Adrar du 1 au 7 décembre

Les figures 4.15,4.16,4.17 et 4.18 nous font remarquer que l'éolienne de 1 kw peut produire jusqu'à 1920 W pour 11,09 m/s mais dès que les vitesses dépassent les 12 m/s la production diminue, la même chose est observée pour l'éolienne de 500W ou le maximum produit est de 909 W à 10,30 m/s alors que l'éolienne de 2 kw peut produire jusqu' 3800 W pour une vitesse de 13,40 m/s. ces résultats montrent que l'éolienne de 2Kw est la plus performante pour les grandes vitesses de vent.

#### 4.4.2. Dimensionnement du champ photovoltaïque

Pour déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques nous avons calculé la production hebdomadaire en énergie de l'éolienne en la comparant avec le total de la consommation sur une semaine, ensuite le déficit en énergie nous permettra de déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires.

Le modèle de panneaux photovoltaïques choisis pour cette étude est fabriqué en Algérie de la marque Condor c'est un modèle poly-cristallin et qui présente un bon rapport qualité prix. Le tableau 4.5 résume ces principales caractéristiques.

Puissance nominale	145 w
Tension de circuit ouvert	22.9 V
Courant de court-circuit	7.48A
Courant mppt	7.78 A
Tension mppt	18 V
Température nominale	45 C
Nombre de cellules par module	36
Dimension d'un module	1m2

**Tableau 4.5** Données constructeur du panneau photovoltaïque

## 4.4.2.1 Détermination du nombre de panneaux photovoltaïque

Nombre de PV	Contribution PV	Contribution éolienne 1kw	Charge totale hebdomadaire	Contribution totale
15	58,463 kwh 53,45%	14,050 kwh 12,84%	109,37 kwh	66,29 %
25	97,439 kwh 89.09%	14,050 kwh 12,84%	109,37 kwh	101,93%

**Tableau 4.6** Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 1kw dans la charge totale de la semaine pour la région d'Oran

Nombre de PV	Contribution PV	Contribution eolienne 2kw	Charge totale hebdomadaire	Contribution totale
15	58,463 kwh 53,45%	15,244 kwh 13,94%	109,37 kwh	67,1 %
25	97,439 kwh 89.09%	15,244 kwh 13,94%	109,37 kwh	103,03%

**Tableau 4.7** Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 2kw dans la charge totale de la semaine pour la région d'Oran

Nb pv	Contribution pv	Contribution eolienne 0.5kw	Charge 1 semaine	totale
15	58,463 kwh 53,45%	16,320 kwh 14,92%	109,37 kwh	68,37 %
24	93,542 kwh 85.52%	16,320 kwh 14,92%	109,37 kwh	100,44%

**Tableau 4.8** Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 500 w dans la charge totale de la semaine pour la région d'Oran

Les résultats nous montrent que la production de l'éolienne de 500 w est supérieure a celle de 2Kw et 1Kw avec respectivement 16,320 KWh .15,244 KWh et 14,050 KWh produits. La contribution de celles-ci dans la charge totale est respectivement de 14,92% . 13,94% et 12,84% , ces chiffres s'expliquent par le fait que l'éolienne de 500w fonctionne pendant une durée plus grande en comparaison avec les autres éoliennes qui ont un rendement plus intéressant lorsque les vitesses dépasse les 6 m/s.

Le nombre de modules photovoltaïques nécessaires pour satisfaire la totalité de la charge hebdomadaire est de 25 modules pour la configuration avec les éoliennes de 1Kw et 2Kw alors qu'il faut 24 modules pour satisfaire la demande totale pour la configuration avec 500 w.

Nombre de PV	Contribution PV	Contribution éolienne 1kw	Charge totale hebdomadaire	Contribution totale
5	19,211 kwh 17,47%	48,509 kwh 44,35%	109,37 kwh	61,82 %
16	61,477 kwh 56.21%	48,509 kwh 44,35%	109,37 kwh	100,5%

**Tableau 4.9** Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 1Kw dans la charge totale de la semaine pour la région de Bouzareah

Nombre de PV	Contribution PV	Contribution éolienne 2kw	Charge totale hebdomadaire	Contribution totale
5	19,211 kwh 17,47%	64,154 kwh 55,91%	109,37 kwh	73,38 %
13	49,950 kwh 45.67%	48,509 kwh 55,91%	109,37 kwh	101,58%

**Tableau 4.10** Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 2kw dans la charge totale de la semaine pour la région de Bouzareah

Nombre de PV	Contribution PV	Contribution éolienne 0.5 kw	Charge totale hebdomadaire	Contribution totale
5	19,211 kwh 17,47%	37,658 kwh 34,43%	109,37 kwh	51,90 %
19	49,950 kwh 66.74%	37,658 kwh 34,43%	109,37 kwh	101,17%

**Tableau 4.11** Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 500 w dans la charge totale de la semaine pour la région de Bouzareah

Les résultats nous montrent que la production de l'éolienne de 2 kw est supérieure a celle de 1Kw et de 0.5 Kw avec respectivement 64,154 KWh ,48,509 KWh et 37,658 KWh produit . La contribution de celles-ci dans la charge totale est respectivement de 73,38% . 61,82% et 34,43% .Ces chiffres s'expliquent par le fait que les éoliennes de plus grande puissance ont un rendement plus élevée pour les grandes vitesses .

Le nombre de modules photovoltaïques nécessaires pour satisfaire la totalité de la charge hebdomadaire et de 13 modules pour la configuration avec les éoliennes de 2Kw et il est de 16 pour celle de 1Kw alors qu'il faut 19 modules pour satisfaire la demande totale pour la configuration avec 500 w.

Nombre de PV	Contribution PV	Contribution éolienne 0.5 kw	Charge totale hebdomadaire	Contribution totale
5	29,788 kwh 27,23%	79,895 kwh 73,05%	109,37 kwh	100,28 %

**Tableau 4.12** Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 500 w dans la charge totale hebdomadaire pour la région d'Adrar

Nombre de PV	Contribution PV	Contribution éolienne 1 kw	Charge totale hebdomadaire	Contribution totale
0	0 kwh 0 %	134,417 Kwh 122,94 %	109,37 kwh	122,94 %

**Tableau 4.13** Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 1k w dans la charge totale hebdomadaire pour la région d'Adrar

Nombre de PV	Contribution PV	Contribution éolienne 2 kw	Charge totale hebdomadaire	Contribution totale
0	0 kwh 0 %	172,599 Kwh 157,81 %	109,37 kwh	157,81 %

**Tableau 4.14** Contribution du photovoltaïque et de l'éolienne 500 w dans la charge totale hebdomadaire pour la région d'Adrar

Les résultats nous montrent que la production de l'éolienne de 500 w produit 79,895 KWh et contribue ainsi à la majorité de la charge à hauteur de 73.05 %. Il suffit donc juste de 5 panneaux photovoltaïques pour satisfaire la demande en énergie de la maison, sachant que même le système photovoltaïque seul peut satisfaire la totalité de la demande. Pour cela il faut 19 modules. Mais le fait d'utiliser un système hybride permet d'avoir une complémentarité entre les deux sources renouvelables, en ce qui concerne les deux autres éoliennes les résultats ont montré qu'elles sont surdimensionnées pour ce cas-là, et elles vont engendrer un cout supplémentaire qui n'est pas nécessaire.

#### 4.4.2.2 Détermination de la meilleure configuration

Cette étape a pour but de choisir entre les trois combinaisons qui s'offrent à nous pour chacun des sites. Ceci n'a pas pour but de calculer le cout exact de l'installation qui peut fortement varier selon les marques des différents composants , mais juste d'avoir un ordre d'idée pour savoir laquelle des trois combinaisons est la moins couteuse pour notre installation ,Pour cela nous calculerons juste le cout du système photovoltaïque et de l'éolienne .

Configuration	Cout de l'éolienne	Cout du photovoltaïque	Cout totale
500 w+PV	1900 \$ x 120=228000 da	24x15268 da =366432 da	594432 da
1Kw+PV	4250 \$ x 120=510000 da	25x15268 da =381700 da	891700 da
2Kw+PV	6700 \$ x 120=804000 da	25x15268 da =381700 da	1185700 da

**Tableau 4.15** Cout du système éolien et photovoltaïque pour le site d'Oran

Configuration	Cout de l'éolienne	Cout du photovoltaïque	Cout totale
500 w+PV	1900 \$ x 100=190000 da	19x15268 da =290092 da	480092 da
1Kw+PV	4250 \$ x 100=425000 da	16x15268 da =244288 da	669288 da
2Kw+PV	6700 \$ x 100=670000 da	13x15268 da =198484 da	868484 da

**Tableau 4.16** Cout du système éolien et photovoltaïque pour le site de Bouzareah

Configuration	Cout de l'éolienne	Cout du photovoltaïque	Cout totale
500 W+PV	1900 \$ x 100=190000 da	5x15268 da =76340 da	266340 da
1Kw	4250 \$ x 120=510000 da	0	510000 da
2Kw	6700 \$ x 100=670000 da	0	670000 da

**Tableau 4.17** Cout du système éolien et photovoltaïque pour le site d'Adrar

Les résultats montrent que pour les trois sites sélectionnés l'utilisation de l'éolienne de 500 w est la meilleure solution d'un point de vue économique .

## 4.5 Dimensionnement des batteries

Cette étape est très importante si on veut que notre système hybride soit complètement autonome. En effet le but principal des batteries est de remplacer la source d'énergie renouvelable lorsque celle-ci n'arrive plus à satisfaire la demande.

Pour dimensionner la capacité des batteries nous avons utilisé la formule suivante: [4]

$$C \text{ (Ah)} = (D \times N) / (L \times U)$$

Avec

**N** le nombre de jours où l'énergie est insuffisante. Nous prenons 3 jours

**D** la demande énergétique quotidienne exprimée en Wh/jour = 12556 Wh/jour

**U** la tension en Volt sous laquelle est installé le parc de batteries nous choisissons du 48 V

**L**, la profondeur de décharge minimum des batteries. Nous la prenons 20 % donc 0,2

Donc  $C = 3923,75 = 4000 \text{ Ah}$

Nous choisissons des batteries de capacité de **250 Ah** qui se trouve partout sur le marché.

Donc  $N = (\text{nombre de batterie}) = 4000/250 = \mathbf{16 \text{ batterie}}$ .

### 4.6. Résultats de la simulation du système hybride

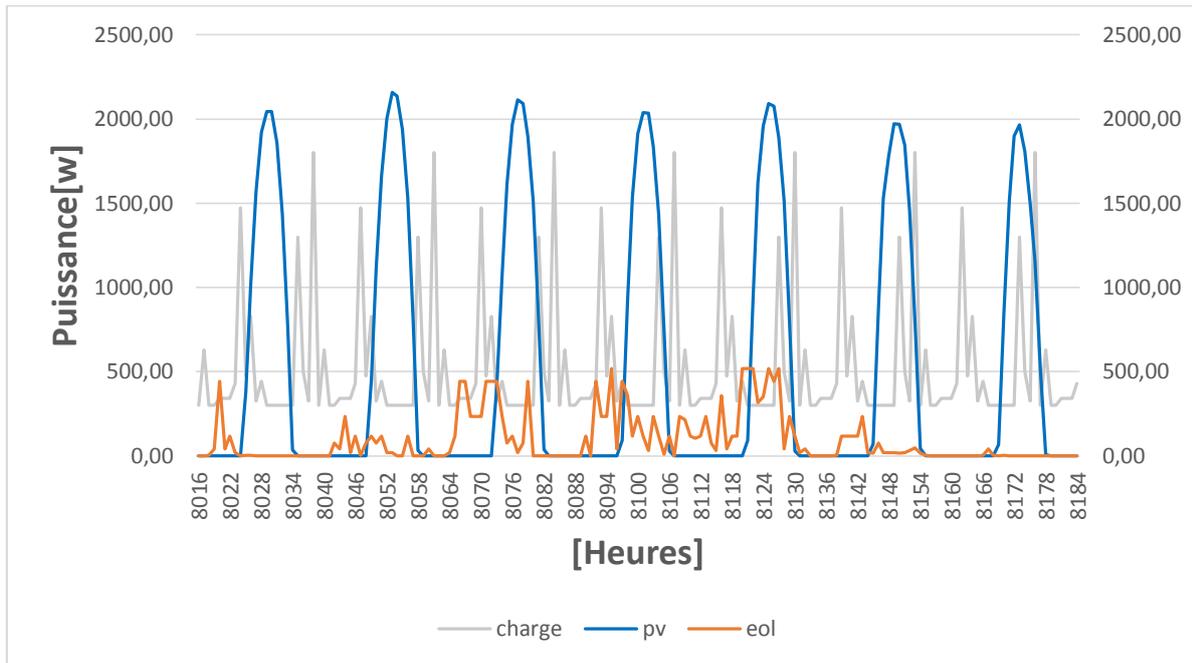


Figure 4.19 Production de chaque source et charge pour la région d'Oran du 1 au 7 décembre

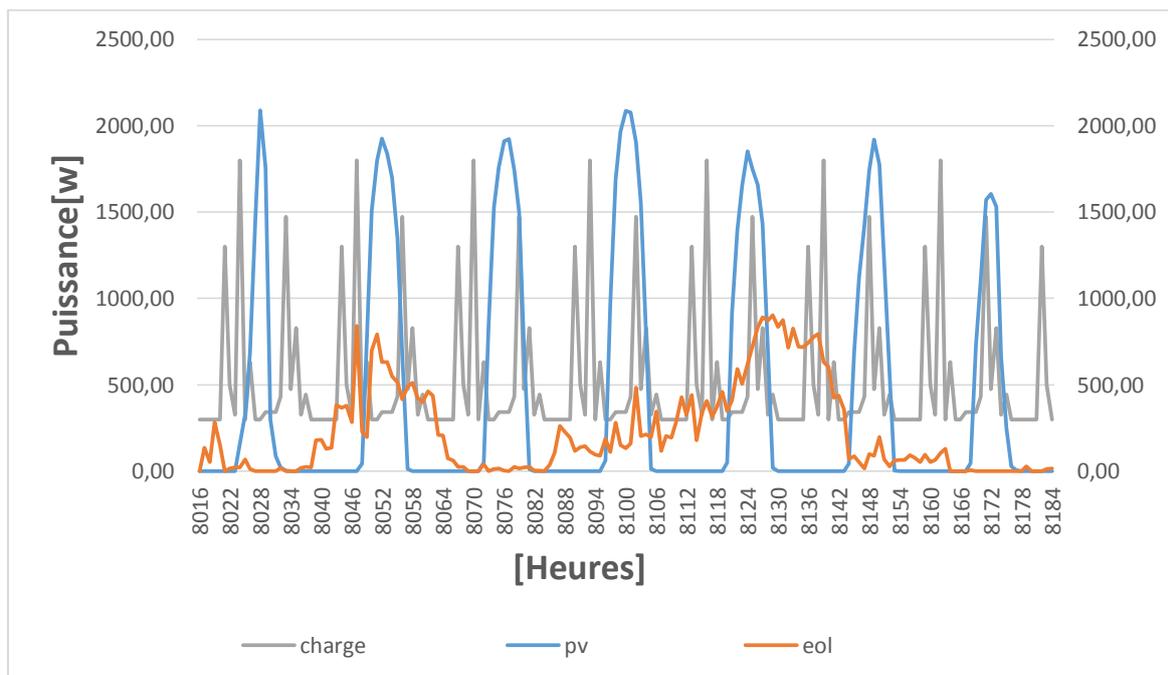
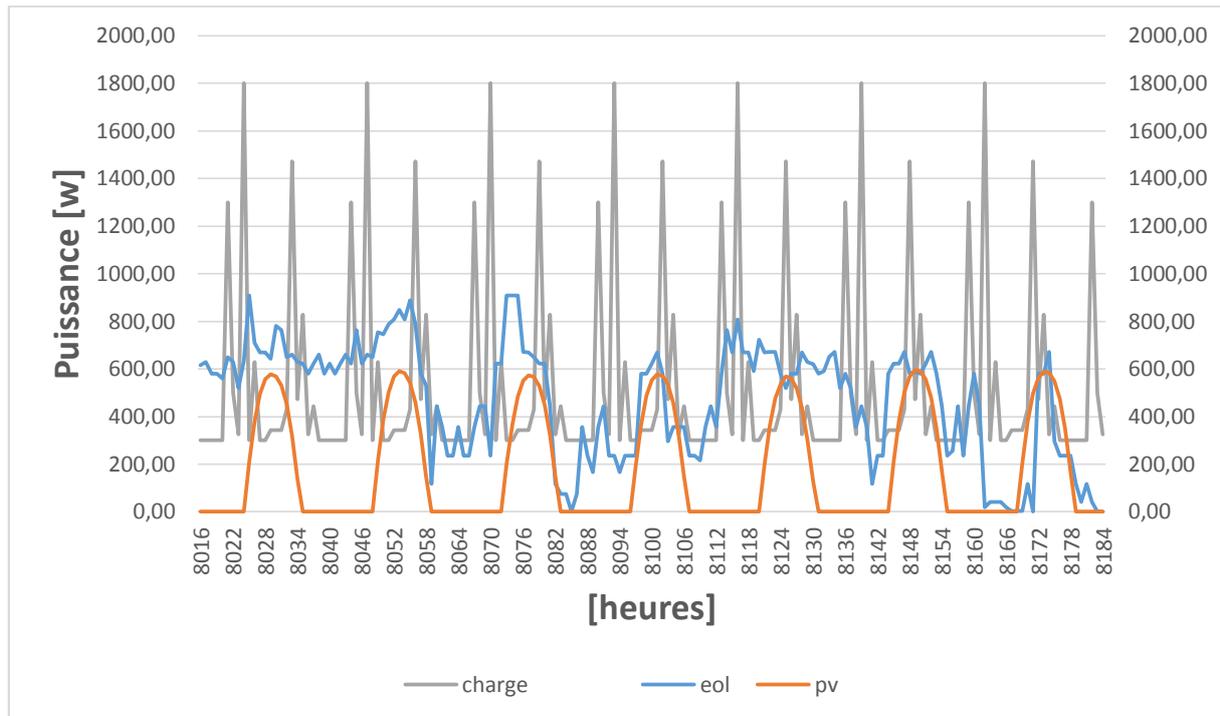


Figure 4.20 Production de chaque source et charge pour la région de Bouzareah du 1 au 7 décembre

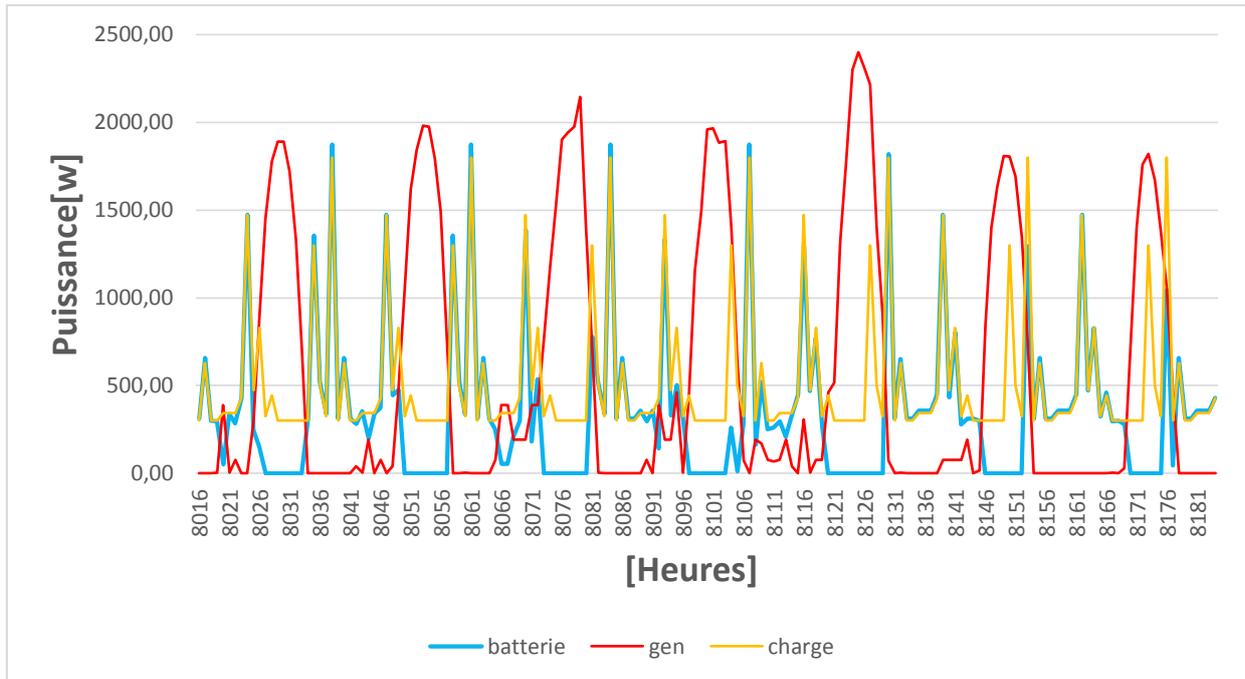


**Figure 4.21** Production de chaque source et charge pour la région d'Adrar du 1 au 7 décembre

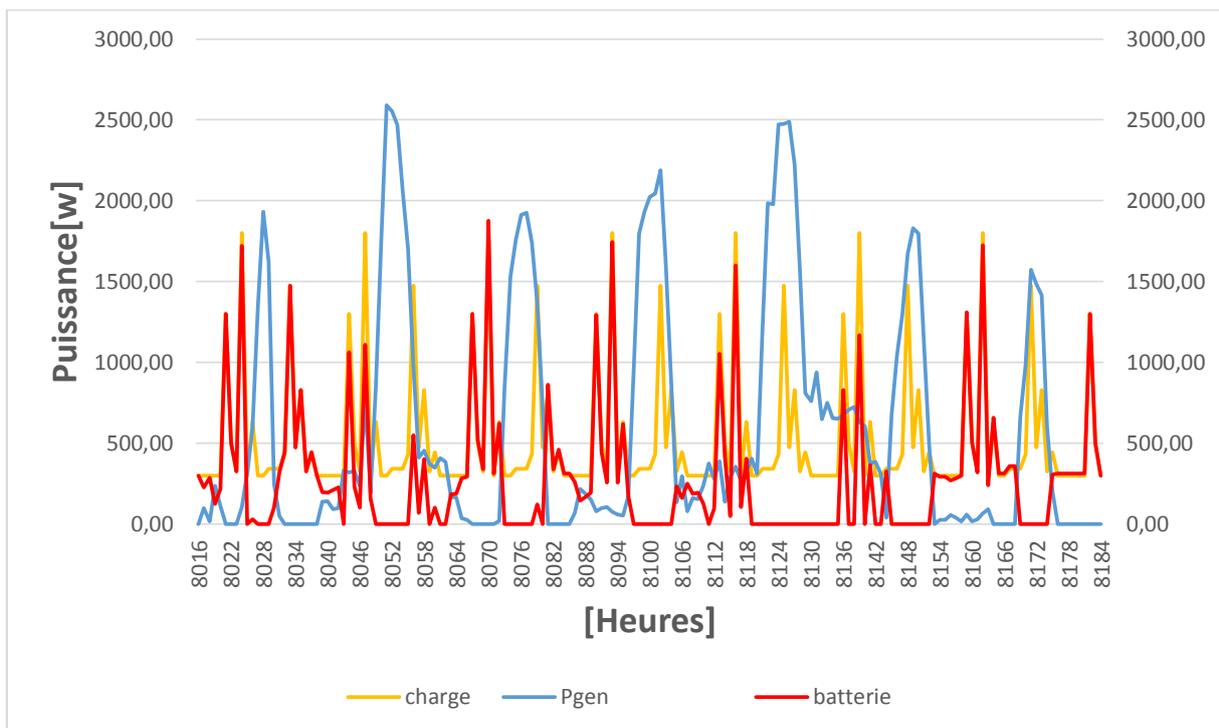
La figure 4.19 nous montre que la production de l'éolienne dans la région d'Oran est plus faible par rapport à celle du photovoltaïque, ce qui permet de dire que l'énergie éolienne est utilisée comme complément de l'énergie photovoltaïque qui constitue la principale source.

La figure 4.20 nous permet aussi de mettre en évidence la discontinuité des ressources renouvelables dans la région de Bouzareah, nous remarquons un important déphasage entre la production et la consommation et plus spécialement entre les deux sources. Dans certaines nuits l'énergie éolienne n'est pas nulle.

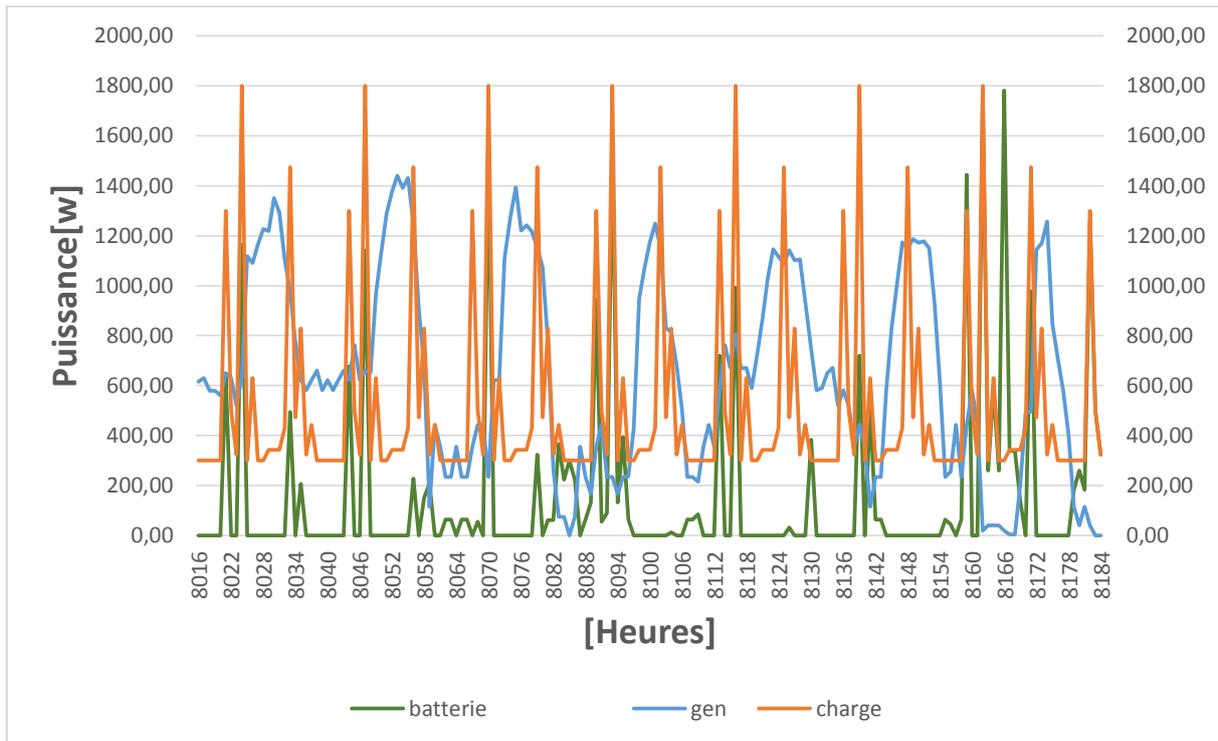
La figure 4.21 nous montre que la production de l'éolienne est bien supérieure à celle du photovoltaïque dans la région d'Adrar et qu'elle ne souffre pas de beaucoup de discontinuité contrairement à l'énergie solaire qui subit le cycle jour/nuit. Dans ce cas nous pouvons dire que l'énergie éolienne constitue la principale source.



**Figure 4.22** Production énergétique totale du système et charge pour la région d'Oran

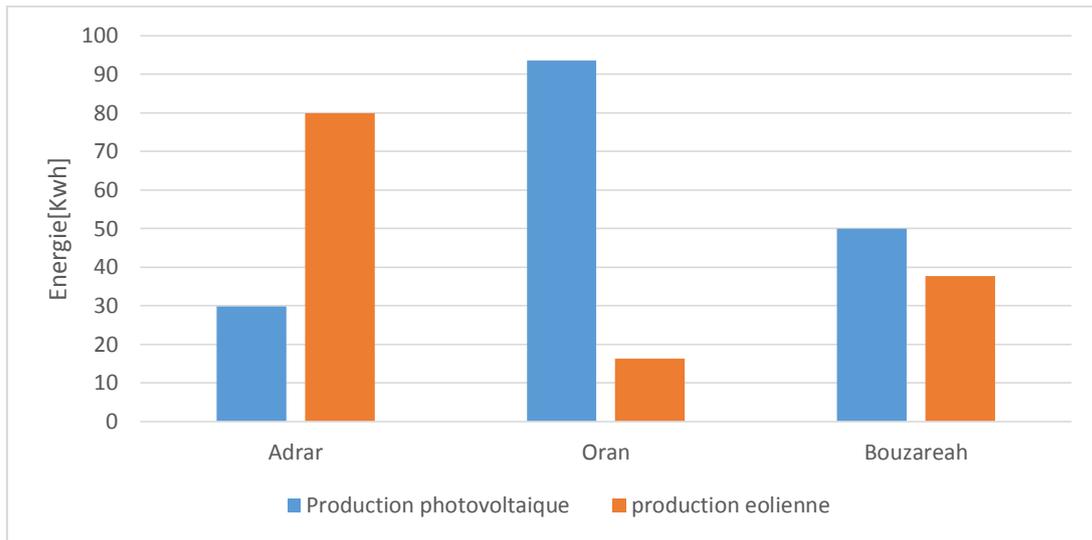


**Figure 4.23** Production énergétique totale du système et charge pour la région de Bouzereah du 1 au 7 décembre



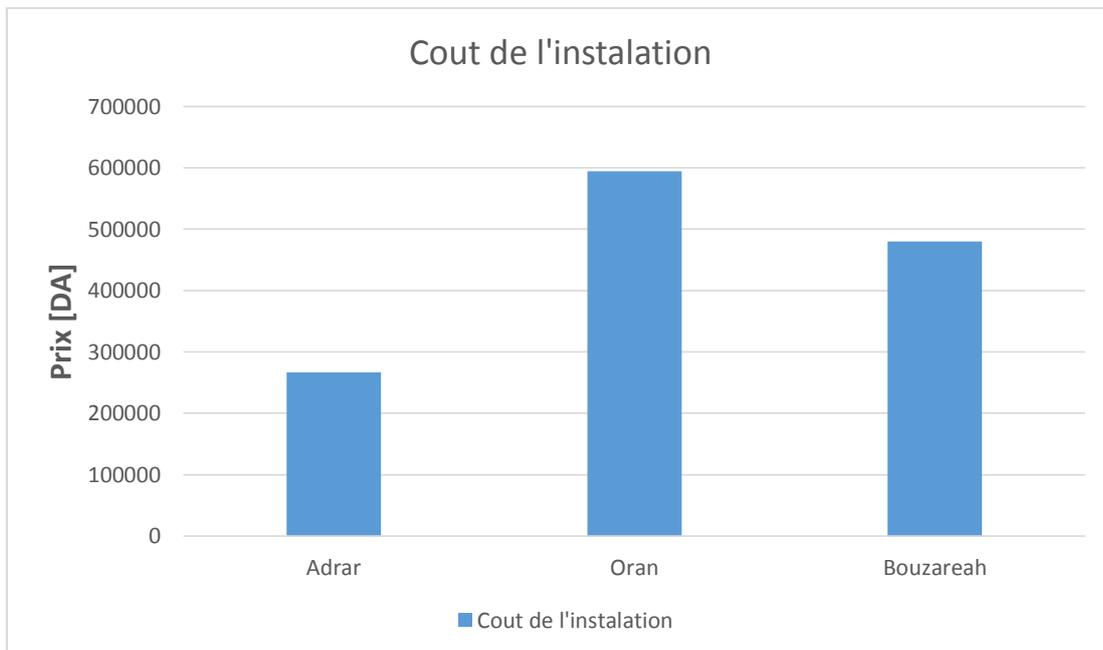
**Figure 4.24** Production énergétique totale du système et charge pour la région d'Adrar du 1 au 7 décembre

Les figures 4.22 ,4.23 et 4.24 représente la production totale du système hybride et des batteries. Nous remarquons pour les sites d'Oran et de Bouzareah que pour certaines nuit l'énergie produite est nulle a cause de l'inexistence du rayonnement solaire et des vitesse de vent très faible ,alors que pendant certaines périodes la production de la source renouvelable est supérieure à la charge dans ce cas le surplus d'énergie sert à recharger les batteries qui nous fournirons plus tard de l'énergie lorsque la production est inferieure à la demande. Pour le site d'Adrar l'énergie produite est rarement nulle même pendant la nuit et ce grâce à l'énergie éolienne qui est plus continue, et donc la batterie est moins sollicitée ce qui permet de rallonger sa durée de vie .



**Figure 4.25** Production photovoltaïque et éolienne du système pour les trois régions

On remarque que la production de l'éolienne dans Adrar est beaucoup plus importante que pour les deux autres régions contribution de l'éolienne dans la région d'Adrar est beaucoup plus importante que le photovoltaïque. Alors que pour bouzaraeh et Oran elle est considéré que comme une source d'énergie secondaire ,l'essentielle de la production est assurée par le photovoltaïque .



**Figure 4.25** Cout du système photovoltaïque et éolien pour les trois régions

Malgré le fait que ces chiffres ne sont pas du tout représentatifs de la valeur réel du système hybride qui comprend l'achat, l'entretien, la durée de vie .... La figure 4.25 nous donne une idée sur le fait que cela coute beaucoup moins chère de produire l'électricité par des sources renouvelables dans la région d'Adrar que dans la région côtière, avec une différence notable dans le cout entre Bouzaraeh et Oran.

#### **4.7. Conclusion**

Ce chapitre nous a permis d'exploiter les résultats de la simulation de façon très intéressante, Nous avons pu dimensionner le système hybride pour couvrir la charge totale sur les trois sites, tout en respectant les spécificités architecturales de la maison et en essayant de minimiser le cout de l'installation .nous avons pu voir le comportement des batteries lorsque la source renouvelable est insuffisante . les résultats on montré aussi que les éoliennes de petites puissances sont plus rentables dans les sites ou le gisement éolien est moyen voir faible comme pour les sites d'Oran et Bouzareaah. Nous avons aussi déterminé que la région d'Adrar est beaucoup plus intéressante en terme de développement des énergies hybrides du fait de son gisement solaire et éolien très important.

## Conclusion générale

Dans ce mémoire nous avons dimensionné une installation hybride constituée de panneaux solaires, d'éoliennes et de batteries de stockage pour l'alimentation en électricité d'une maison isolée située dans les régions d'Oran, d'Adrar et de Bouzareah.

A travers ce projet d'étude nous avons traité les points suivants :

- 1. Détermination du gisement solaire et éolien des trois sites sélectionnés**, à partir des données de l'irradiation solaire et des vitesses du vent. nous avons constaté que la région d'Adrar dispose des gisements solaire et éolien les plus importants. le rayonnement global reçu par la surface de la toiture pendant toute la semaine est de 48,401 KW/m<sup>2</sup>. alors que pour Oran et Bouzareah sa valeur est de respectivement 40,694 KW/m<sup>2</sup> et 31,120 KW/m<sup>2</sup>. La même constatation a été faite pour les vitesses du vent sur le site d'Adrar où le vent souffle plus fort et avec régularité par rapport aux deux autres régions.
- 2. Détermination de la charge électrique de la maison pour une famille de 4 personnes.**
- 3. Modélisation des systèmes hybrides : éolien et solaire.** Nous avons sélectionné un ensemble de modules photovoltaïques et éoliens de petite puissance adaptée pour générer de l'électricité à partir du vent et de la ressource solaire disponible.
- 4. Dimensionnement du système hybride :** Nous avons dimensionné le système hybride éolien solaire et batterie pour notre application pour le mois le plus défavorable en énergie solaire. en essayant trois combinaisons possibles et en augmentant à chaque fois la puissance de l'éolienne tout en comparant le déficit en énergie qui sera alimentée par des panneaux photovoltaïques. ensuite on choisira la combinaison qui présente le coût le moins élevé. les résultats ont montré que pour les trois sites l'utilisation de l'éolienne de 500W en complément de panneaux photovoltaïques est la plus adaptée à notre cas.

En perspective, ce travail pourra être complété en dimensionnant le système hybride par d'autres méthodes qui utilisent des algorithmes spécifiques et dont le but est d'éviter le surdimensionnement du système ce qui réduira le coût total de l'installation.

## *Bibliographie*

- [1] Dakher Abbas ,Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome , mémoire pour l'obtention d'une thèse de doctorat a l'université de Poitiers (2012).
- [2] ZOHRA BENHACHANI ,élaboration d'un modelé de dimensionnement d'un système hybride eolien-photovoltaïque pour alimenter une ferme dans la région des Aurès , mémoire pour l'obtention d'un magister de l'université de Batna (2011) .
- [3] Markvart , Sizing of hybrid photovoltaic-wind energy system ,Solar Energy Vol. 51. No. 4. pp. 277-281. (1996).
- [4] A. D. Babul et al, sizing of a stand alone hybrid wind photovoltaic system using a three event probability density approximation ,Electric Power Systems Research 39 (1996).
- [5] S. Diaf et al, Analyse technico économique d'un système hybride (photovoltaïque/éolien) autonome pour le site d'Adrar , centre de développement des énergie renouvelable CDER (2006).
- [6] Dakher Abbas, Etude d'un système hybride éolien photovoltaïque avec stockage. Dimensionnement et analyse du cycle de vie ,européen journal of Electric engineering (2010).
- [7] Jing Li et al ,Simple sizing algorithm for Stand-Alone PV/Wind/Battery hybrid microgrids Energies 5, 5307-5323 (2012).
- [8] Gregoris Panayiotou et al , Design and simulation of a PV and a PV-Wind standalone energy system to power a household application ,Renewable Energy 37 .355e363 (2012) .
- [9] Chong Li et al ,Techno-economic feasibility study of autonomous hybrid wind/PV/ battery power system for a household in Urumqi, China , Energy 55 . 263e272 (2013) .
- [10] Akbar Maleki et al ,Optimal sizing of autonomous hybrid photovoltaic/wind/battery power system with LPSP technology by using evolutionary algorithms , Solar Energy 115 471–483 (2015).
- [11] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)
- [12] Lilia Aiche eps Hamane, 2003, thèse de magister, « contribution à l'élaboration de la carte du gisement énergétique éolien de l'Algérie »