



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

N° d'ordre : M...../GE/2020

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES MASTER ACADEMIQUE

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Electrotechnique Industrielle

### *Thème*

**ÉTUDE ET SIMULATION D'UNE INSTALLATION A BASE D'ENERGIE  
RENOUVELABLE POUR L'ALIMENTATION D'UN SYSTEME DE  
CLIMATISATION D'UN APPARTMENT A EL BAYADH.**

Présenté par :

- Saria Nasreddine

Soutenu le 22 / 11 / 2020 devant le jury composé de :

- Président : Pr. BEKKOUCHE Benaïssa
- Examineur : Dr. CHAOUUCHE Abdellah
- Encadreur : Dr. SOUAG Slimane

Année Universitaire : 2019 / 2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## **Résumé**

L'exploitation des ressources renouvelables est en plein essor dans les pays industrialisés et même dans certains pays sous-développés.

Dans ce travail, nous présentons l'étude et la Dimensionnement d'un système de climatisation plat basé sur des sources d'énergie renouvelables, l'énergie éolienne, l'énergie photovoltaïque et un système hybride (éolien-photovoltaïque)

Un système de production d'électricité hybride (éolien-photovoltaïque) entièrement autonome était la solution idéale.

## **Mots clés :**

- ✚ Energie renouvelable
- ✚ Energie éolienne
- ✚ énergie solaire
  - ✚ Energie Photovoltaïque
  - ✚ Système Hybride Energie renouvelable
  - ✚ Système Hybride éolienne- Photovoltaïque
  - ✚ Système de climatisation
  - ✚ Dimensionnement d'un Système de climatisation

## **Abstract**

The exploitation of renewable resources is booming in industrialized countries and even in some underdeveloped countries.

In this work, we present the study and sizing of a flat air conditioning system based on renewable energy sources, wind energy, photovoltaic energy and a hybrid system (wind-photovoltaic)

A fully autonomous hybrid (wind-photovoltaic) power generation system was the ideal solution.

## **Keywords :**

- ✚ renewable energy
- ✚ Wind power
- ✚ Solar energy
- ✚ Photovoltaic energy
- ✚ Hybrid Renewable Energy System
- ✚ Hybrid Wind-Photovoltaic System
- ✚ Air conditioning system
- ✚ Sizing of an air conditioning system

## ملخص

استغلال الموارد المتجددة في ازدهار في البلدان الصناعية وحتى في بعض البلدان المتخلفة.

نقدم في هذا العمل دراسة وتصميم نظام تكييف شقة اعتمادا على مصادر الطاقة المتجددة طاقة رياح و طاقة كهروضوئية و نظام هجين (رياح-كهروضوئية)  
كان نظام إنتاج الكهرباء الهجينة (الرياح - الكهروضوئية) بالكامل قائمة بذاتها هي الحل الأمثل.

### الكلمات المفتاحية :

الطاقة المتجددة

طاقة الرياح

الطاقة الشمسية

الطاقة الكهروضوئية

نظام الطاقة المتجددة الهجين

نظام طاقة الرياح الكهروضوئية الهجين

نظام تكييف الهواء

تصميم نظام تكييف الهواء

# *Remerciements*

*Le présent travail a été effectué à l'université d'Abd el Hamid ibn badis Mostaganem, faculté de science et technologie département de génie électrique.*

*Un grand merci au bon Dieu de nous avoir guidé vers le bon chemin de la lumière et du savoir.*

*Je tiens à remercier, monsieur Slimane Souage d'avoir accepté d'encadrer mon travail.*

*J'exprime ma reconnaissance à tous les membres de jury d'avoir, accepté de lire et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de ce mémoire.*

*Comme je remercie tous ceux qui ont aidés de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

# **Dédicace**

*Louange à Dieu, dont la grâce est bonne, je dédie ce travail à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, mon père, ma mère, mes frères et tous mes amis proches.*

# SOMMAIRE

Introduction générale :.....	1
<b>Chapitre I : généralité sur le système hybride énergie renouvelable (SHER) .....</b>	<b>2</b>
<b>I-1 Introduction :.....</b>	<b>2</b>
<b>I-2 Qu'est-ce qu'un système hybride d'énergie?.....</b>	<b>2</b>
<b>I-2-1 Importance de l'hybridation .....</b>	<b>3</b>
<b>I-2-2 Combinaisons de SHER.....</b>	<b>3</b>
<b>I-3 Généralité sur les systèmes éoliens : .....</b>	<b>5</b>
<b>I-3-1 Définition de l'énergie éolienne :.....</b>	<b>5</b>
<b>I-3-2 Les différents types d'éoliennes :.....</b>	<b>6</b>
<b>I-3-3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :.....</b>	<b>8</b>
<b>II-4 L'énergie solaire :.....</b>	<b>12</b>
<b>I-4-1 LE SOLAIRE THERMIQUE :.....</b>	<b>12</b>
<b>I-4-2 LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE : .....</b>	<b>13</b>
<b>I-5 Composante système hybride (éolienne-photovoltaïque) :.....</b>	<b>17</b>
<b>Conclusion :.....</b>	<b>19</b>
<b>Chapitre II : Dimensionnement système climatisation d'un appartement .....</b>	<b>20</b>
<b>II-1 Introduction : .....</b>	<b>20</b>
<b>II-2-3- Climatisation : mode d'emploi .....</b>	<b>22</b>
<b>II-2-4- les différents types de climatiseurs : .....</b>	<b>23</b>
<b>II-2-5- Critère de choix d'un climatiseur :.....</b>	<b>26</b>
<b>II-2-7- Quelques conseils pour une climatisation optimale : .....</b>	<b>31</b>
<b>II-2-8 Dimensionnement d'un Climatiseur : .....</b>	<b>31</b>
<b>Conclusion :.....</b>	<b>34</b>
<b>Chapitre III : Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement .....</b>	<b>35</b>
<b>III-1 Introduction :.....</b>	<b>36</b>
<b>III-2 Calcule de la Consommation :.....</b>	<b>36</b>
<b>III-2-1 Consommation en cas de froid :.....</b>	<b>37</b>
<b>III-2-2 Consommation en cas de chauffage : .....</b>	<b>38</b>
<b>III-3 Localisation du lieu : .....</b>	<b>38</b>
<b>III-4 Dimensionnement du système PV et éolienne Chacun séparément :.....</b>	<b>39</b>
<b>III-4-1 Dimensionnement du système PV :.....</b>	<b>39</b>

<b>III-4-2 Dimensionnement du système éolien :</b> .....	41
<b>III-5 Dimensionnement système hybride PV éolienne :</b> .....	45
<b>III-5-1 Calcule de consommation en cas de système hybride PV-éolienne( Ctrh) :</b>	47
<b>III-5-2 Dimensionnement des batteries.....</b>	47
<b>III-5-3 Dimensionnement du système PV :</b> .....	47
<b>III-5-4 Dimensionnement du système éolien :</b> .....	48
<b>Conclusion :</b> .....	48
<b>Chapitre IV : Simulation et discussion des résultats</b> .....	49
<b>IV-1 Introduction :</b> .....	50
<b>IV-2 Simulation dans le cas de chaque système séparément</b> .....	50
<b>IV-2-1 Simulation d'un système PV :</b> .....	50
<b>IV-2-2 Simulation d'un système éolienne :</b> .....	53
<b>IV-3 Simulation d'un système hybride (SH : PV- éolienne) :</b> .....	58
<b>IV-3-1 Système PV:</b> .....	58
<b>IV-3-2 Système éolienne :</b> .....	60
<b>IV-3-3 Comparaison :</b> .....	64
<b>Conclusion :</b> .....	65
<b>Conclusion générale :</b> .....	67
<b>Référence Bibliographie :</b> .....	68



# Liste des figures

<b>FigureI-1:</b> Système autonome hybride photovoltaïque-éolien avec stockage	<b>2</b>
<b>FigureI-2 :</b> Système hybride à énergies renouvelables	<b>3</b>
<b>FigureI-3:</b> Structure de SHER à bus à courant continu	<b>4</b>
<b>FigureI-4 :</b> Structure de SHER à bus à courant alternatif	<b>5</b>
<b>FigureI-5 :</b> Structure de SHER à bus à courant continu/courant alternatif	<b>5</b>
<b>FigureI-6:</b> Conversion de l'énergie cinétique du vent	<b>6</b>
<b>FigureI-7 :</b> configuration à axe horizontal [11]	<b>7</b>
<b>FigureI-8 :</b> éolienne de type Darrieus et Savonius [11]	<b>8</b>
<b>FigureI-9:</b> les composantes de l'aérogénérateur	<b>9</b>
<b>FigureI-10 :</b> Forces appliquées sur un élément de pale [16]	<b>11</b>
<b>FigureI-11:</b> Les deux types d'énergie solaire.	<b>12</b>
<b>FigureI-12:</b> Principe du chauffe-eau solaire	<b>12</b>
<b>FigureI-13 :</b> Principe de la conversion photovoltaïque	<b>13</b>
<b>FigureI-14:</b> Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.	<b>15</b>
<b>Figure I-15 :</b> Courbe courant -tension d'une cellule photovoltaïque.	<b>16</b>
<b>Figure I-16 :</b> Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien. [21]	<b>17</b>
<b>figureII-1 :</b> principe de fonctionnement de climatiseur	<b>23</b>
<b>figureII-2 :</b> climatiseurs réversibles	<b>24</b>
<b>figureII-3 :</b> climatiseurs inverter	<b>25</b>
<b>figureII-4:</b> plan de l'appartement	<b>32</b>
<b>FigureIII-1 :</b> Une carte indiquant où étudier	<b>37</b>
<b>Figure III-2</b> carte des heures de soleil	<b>39</b>
<b>Figure III-3:</b> Carte du gisement éolien en Algérie	<b>42</b>
<b>Figure III-4 :</b> courbe typique d'une éolienne	<b>44</b>
<b>Figure III-5 :</b> Schéma synoptique du système hybride étudié.	<b>45</b>
<b>FigureIII-6 :</b> Schéma de principe du système hybride photovoltaïque- éolien.	<b>46</b>
<b>Figure IV-1 :</b> Carte représente l'irradiation solaire	<b>48</b>
<b>Figure IV-2 :</b> Courbe (V-I) représente le courant I en fonction de tension V	<b>49</b>
<b>Figure IV-3 :</b> Courbe (V-P) représente la puissance P en fonction de tension V	<b>49</b>
<b>Figure IV-4 :</b> Courbe (V-I) représente le courant I en fonction de tension V	<b>50</b>
<b>Figure IV-5 :</b> Courbe (V-P) représente la puissance P en fonction de tension V	<b>50</b>
<b>Figure IV-6 :</b> le schéma d'éolienne	<b>52</b>
<b>Figure IV-7 :</b> le schéma bloc d'éolienne	<b>52</b>
<b>Figure IV-8 :</b> la puissance de turbine en vitesse de vent=4m/s	<b>53</b>
<b>Figure IV-9 :</b> la puissance de turbine en vitesse de vent=7m/s	<b>53</b>
<b>Figure IV-10 :</b> la puissance de turbine en vitesse de vent=9m/s	<b>54</b>
<b>Figure IV-11 :</b> la puissance de turbine en angle de pale B=1	<b>55</b>
<b>Figure IV-12 :</b> la puissance de turbine en angle de pale B=3	<b>55</b>
<b>Figure IV -13:</b> Courbe (V-I) représente le courant I en fonction de tension V	<b>57</b>
<b>Figure IV-14 :</b> Courbe(V-P) représente la puissance P en fonction de tension V	<b>57</b>
<b>Figure IV-15 :</b> Courbe (V-I) représente le courant I en fonction de tension V	<b>58</b>
<b>Figure IV-16 :</b> Courbe(V-P) représente la puissance P en fonction de tension V	<b>58</b>
<b>Figure IV-17 :</b> la puissance de turbine en vitesse de vent=4m/s	<b>59</b>
<b>Figure IV-18 :</b> la puissance de turbine en vitesse de vent=7m/s	<b>59</b>
<b>Figure IV-19 :</b> la puissance de turbine en de vent=9m/s	<b>60</b>
<b>Figure IV-20 :</b> la puissance de turbine en angle de pale B=1	<b>61</b>
<b>Figure IV-21 :</b> la puissance de turbine en angle de pale B=3	<b>61</b>

# Liste des tableaux

<b>Tableau III-1</b> Caractéristique de climatiseur 12000 BTU	<b>35</b>
<b>Tableau III-2</b> Détails des unités intérieures climatiseur 7000 BTU	<b>36</b>
<b>Tableau III-3</b> Détails de l'unité extérieure climatiseur 7000 BTU	<b>36</b>
<b>Tableau III-4</b> Consommation en cas de froid	<b>36</b>
<b>Tableau III-5</b> Consommation en cas de chauffage	<b>37</b>
<b>Tableau III-6</b> Caractéristique de système PV	<b>38</b>
<b>Tableau III-7</b> Caractéristique de panneaux PV	<b>39</b>
<b>Tableau III-8</b> Caractéristique de turbine éolienne [31]	<b>43</b>

# Introduction générale

# Introduction générale :

L'énergie est l'un des fondements de la vie et l'énergie ne vient pas sans source.

Il existe de nombreux types de sources d'énergie, dont certaines Non renouvelables et certains d'entre eux sont renouvelables, comme l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie des vagues marines et les énergies non renouvelables. Telles que l'énergie provenant du pétrole et du gaz, etc.

En raison de l'importance de l'énergie, les gens recherchent des sources renouvelables d'énergie renouvelable pour répondre à leurs besoins quotidiens, les plus importants étant l'énergie solaire et éolienne. Son importance réside non seulement dans le fait qu'il est renouvelable, mais il présente également plusieurs autres avantages, dont le plus important est la préservation de l'environnement.

Parfois, la température augmente et parfois elle diminue, et une personne a besoin d'une température appropriée pour vivre confortablement.

C'est pourquoi il a découvert les systèmes de climatisation, et le système de climatisation s'est développé au fil du temps et a traversé de nombreuses étapes.

Au début, les humains utilisaient des ventilateurs manuels pour le refroidissement et le feu pour se réchauffer.

Jusqu'à aujourd'hui, les gens utilisent des climatiseurs à haut rendement qui garantissent une température appropriée et contrôlable.

Ce système doit fonctionner à partir d'une source d'énergie, donc dans ce travail, nous allons étudier et dimensionner un système de climatisation d'appartement et nous allons étudier et dimensionner et simuler des systèmes d'énergie renouvelable pour connecter ce système de climatisation.

Le travail se compose de quatre chapitres. Nous parlerons dans le premier chapitre des généralités sur les énergies renouvelables et les systèmes hybrides pour les énergies renouvelables .

dans le deuxième chapitre Nous étudierons et dimensionner un système de climatisation pour l'appartement susmentionné.

dans le troisième chapitre, nous étudierons et dimensionner un système d'énergie photovoltaïque et éolien afin de connecter l'ancien système de climatisation .

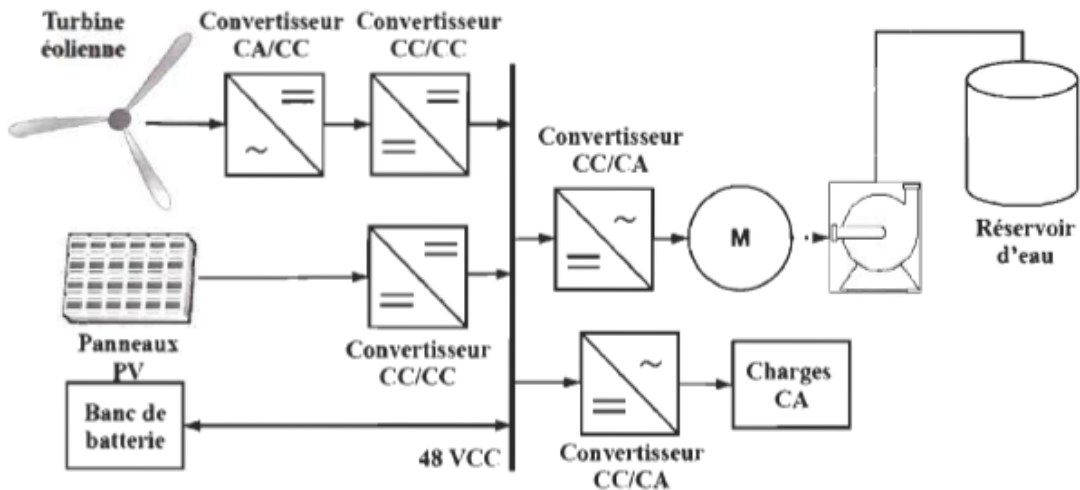
dans le dernier chapitre, nous simulerons les systèmes d'énergie renouvelable susmentionnés à travers le programme Matlab Simulink et discuterons des résultats.

# Chapitre I

**I-1 Introduction :**

D'après Global Ennery Assissent, en 2013, les sources d'énergies renouvelables couvrent environ 20% de la consommation mondiale d'énergie [1]. De nos jours, différents types de SER sont utilisés dans les applications agricoles. L'énergie solaire photovoltaïque est la plus utilisée dans les applications agricoles, ensuite l'éolien. Les autres types de SER sont d'une importance mineure pour l'irrigation. Pour satisfaire les besoins en énergie et réduire les impacts environnementaux, l'idée d'utiliser les sources d'énergies renouvelables telles que l'énergie solaire photovoltaïque [2]-[3], l'énergie solaire thermique [4], l'énergie éolienne [5], [6], la biomasse [7] et les systèmes hybrides à énergies renouvelables [8]-[9] pour pomper l'eau, a été proposée par de nombreux chercheurs à travers le monde..

À la lumière de ce qui précède, les sources d'énergie renouvelables sont les plus courantes C'est l'énergie solaire et éolienne. Utilisation L'éolienne n'est pas de la date d'aujourd'hui. Dans le passé, des éoliennes étaient utilisées en tant que source d'énergie pour pomper l'eau mécaniquement et encore couramment utilisé dans de nombreux pays en développement. Energie les éoliennes sont l'une des sources les plus prometteuses pour les applications de pompage de l'eau. Les éoliennes modernes utilisent des générateurs pour produire du courant alternatif (AC) ou courant continu (DC). Ces générateurs sont connectés aux pompes



**FigureI-1:** Système autonome hybride photovoltaïque-éolien avec stockage

**I-2 Qu'est-ce qu'un système hybride d'énergie?**

De façon générale, un système hybride d'énergie est un système qui combine différents systèmes de production. Par exemple, la combinaison éolien-diesel est un système hybride d'énergie. D'après [10], de nos jours, les systèmes hybrides d'énergie associent au moins deux technologies complémentaires : une ou plusieurs sources d'énergie classiques, généralement des générateurs au diesel, et au moins une source d'énergie renouvelable. Les systèmes hybrides d'énergie sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées. Les systèmes hybrides à énergies renouvelables sont fiables, sans pollution et permettent de répondre à la demande d'énergie sur de longues périodes.

### I-2-1 Importance de l'hybridation

Aujourd' hui, il est devenu impératif pour les chercheurs de trouver en dehors des Énergies fossiles et fissiles d'autres sources d'énergie propre et renouvelable. Il s'agit entre autre des énergies provenant des sources comme le soleil, le vent, la géothermie, la biomasse et l'océan. Ces sources d'énergie propre et durable sont favorables à l'environnement contrairement aux sources d'énergie conventionnelles. Toutefois, ces sources d'énergies renouvelables varient en fonction du temps de la journée, de la saison et de l'année. La nature aléatoire de ces sources a conduit les chercheurs à se tourner vers l'hybridation, c'est-à-dire la combinaison de deux ou plusieurs sources d'énergies renouvelables. L'hybridation apporte donc au système une disponibilité accrue et un approvisionnement constant des charges en énergie.

D'après le Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne de l'Université du Québec à Rimouski [10], la combinaison de plusieurs sources d'énergie, surtout les renouvelables, permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique qu' économique. L'hybridation des sources d'énergies renouvelables a un intérêt considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement et leur prix de revient attractif.

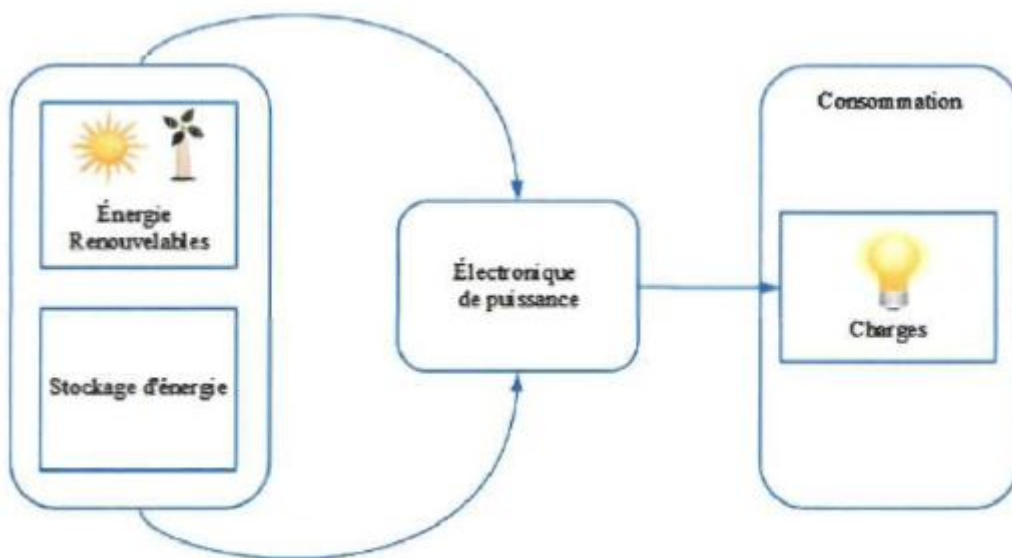
De plus, l'hybridation permet de :

- Lisser la puissance délivrée par la source d'énergie;
- Palier pendant une durée limitée une indisponibilité partielle ou totale de la Source d'énergie.

Cependant, ces solutions exigent un dimensionnement laborieux préalable basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables du site d'implantation en amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval. Cette gestion rigoureuse de l'énergie s'appuie sur l'intello agence des dispositifs de régulation et de contrôle.

### I-2-2 Combinaisons de SHER

Il existe plusieurs structures ou dispositions de systèmes hybrides à énergies renouvelables. L'électronique de puissance est très importante dans un système hybride à énergies renouvelables (FigureI-2). Les systèmes de stockage comme les batteries et le stockage d'hydrogène (piles à combustible) sont habituellement utilisés.

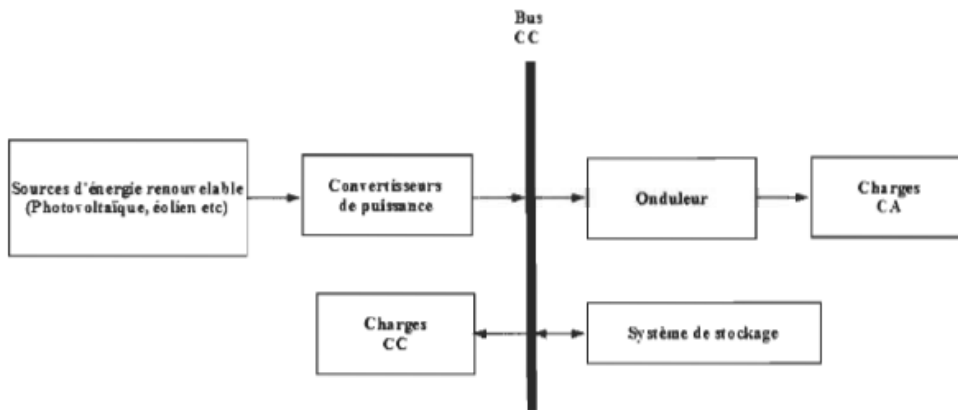


FigureI-2 : Système hybride à énergies renouvelables

Un système hybride à énergies renouvelables combine deux ou plusieurs Technologies d'énergies renouvelables comme les panneaux photovoltaïques, les éoliennes, les petites turbines hydroélectriques, etc. En outre, il comprend des équipements d'électronique de puissance et des systèmes de stockage. Trois architectures s'imposent parmi les SHER à savoir: architecture à bus CC, architecture à bus CA et architecture mixte à bus CC-CA.

**I-2-2-1 Architecture à bus CC :**

Dans cette architecture (FigureI-3), les composants de production d'énergie (Électricité) sont tous connectés au bus à courant continu CC à travers des convertisseurs de puissance. Les composants de production d'énergie à CA sont d'abord connectés à un redresseur qui se chargera de la conversion CA-CC. Le système de stockage (par exemple une batterie ou un accumulateur électrochimique) est connecté au bus CC. Généralement, les batteries sont protégées contre la surcharge et la décharge profonde par un régulateur de charge. Les charges à courant alternatif peuvent être alimentées en énergie à travers un onduleur. Les batteries et les convertisseurs sont dimensionnés pour alimenter des pics de charge [10]. L'avantage d'une telle architecture réside dans sa simplicité, ce qui permet de simplifier le système de commande. Cependant, le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs.



**FigureI-3:** Structure de SHER à bus à courant continu

**I-2-2-2 Architecture à bus CA :**

La puissance fournie par chaque composant de production d'électricité est centralisée sur un bus à courant alternatif (CA). Les générateurs CA peuvent être directement connectés sur le bus CA ou avoir besoin d'un convertisseur CA/CA. Les générateurs CC utilisent un onduleur pour être connectés sur le bus CA. Les batteries sont liées au bus CA à travers un convertisseur bidirectionnel. Les charges CC peuvent éventuellement être alimentées par les batteries.



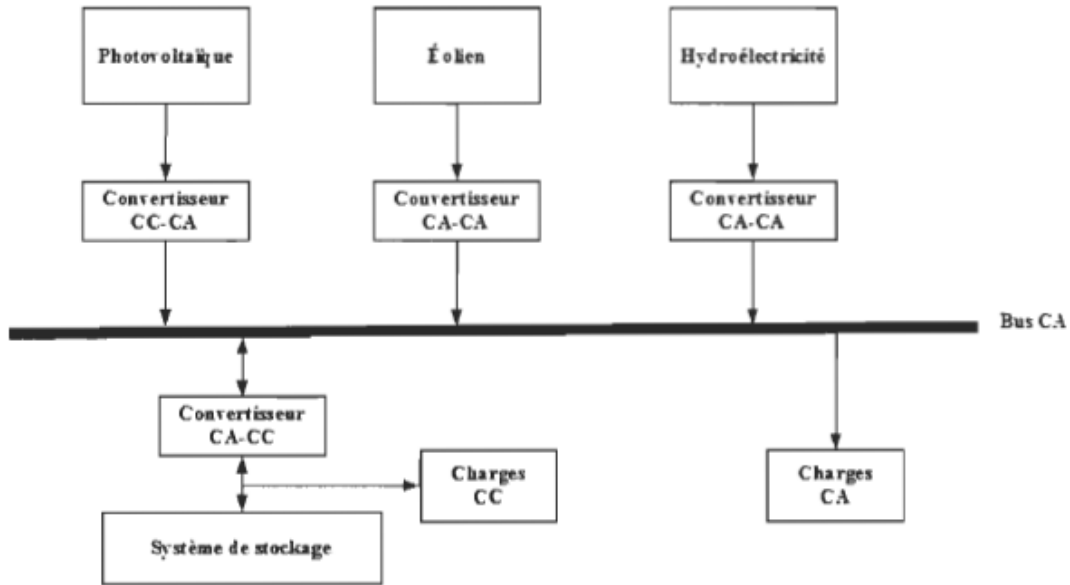


Figure I-4 : Structure de SHER à bus à courant alternatif

**I-2-2-3 Architecture mixte à bus CC/CA :**

Dans la configuration à deux bus, les sources d'énergie renouvelable peuvent alimenter une partie de la charge en CA et l'autre partie en CC. Les deux bus doivent être reliés par un convertisseur bidirectionnel.

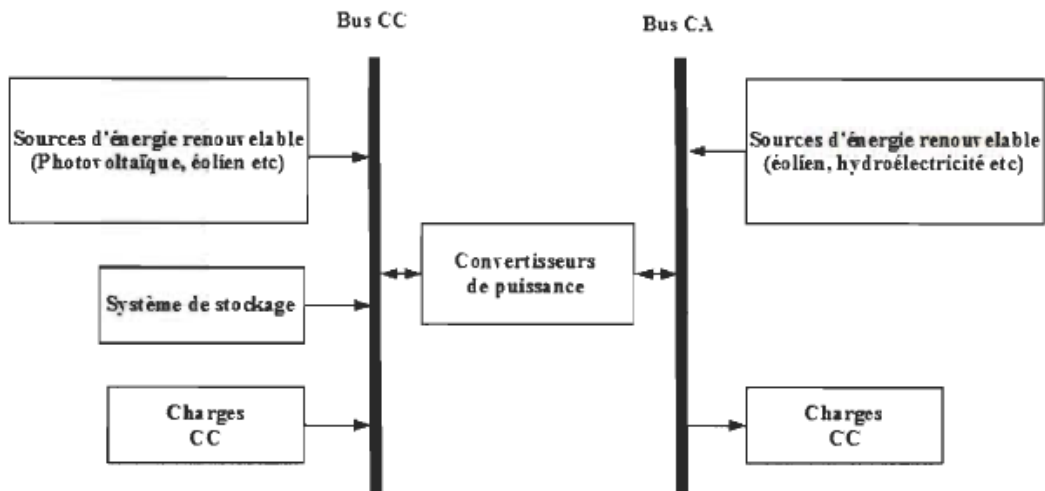
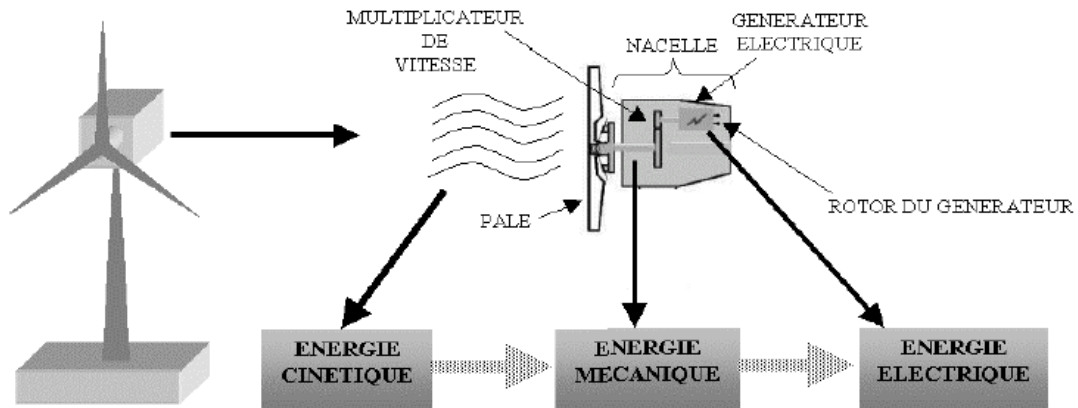


Figure I-5 : Structure de SHER à bus à courant continu/courant alternatif

**I-3 Généralité sur les systèmes éoliens :**

**I-3-1 Définition de l'énergie éolienne :**

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, elles sont généralement utilisés pour produire de l'électricité et entre dans la catégorie des énergies renouvelables.



**FigureI-6:** Conversion de l'énergie cinétique du vent

### I-3-2 Les différents types d'éoliennes :

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal [11]:

#### a) Les éoliennes à axe horizontal :

Ce sont les machines les plus répandues actuellement du fait de :

- Leur rendement est supérieur à celui de toutes les autres machines. Elles sont appelées éoliennes à axe horizontal car l'axe de rotation du rotor est horizontal, parallèle à la direction de vent. Elles comportent généralement des hélices à deux ou trois pales, ou des hélices multiples pour le pompage de l'eau.
- Elles ont un rendement élevé.
- Les éoliennes à axe horizontal (ou à hélice) sont de conception simple.

Sur base du nombre de pales que compte l'hélice, on peut distinguer deux groupes:

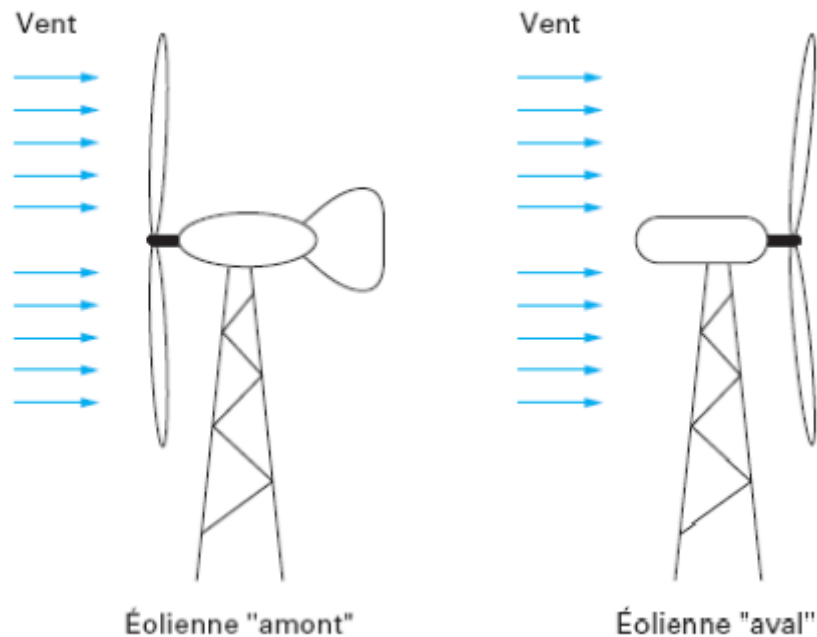
#### -les éoliennes à rotation lente "multiples"

Elles sont, depuis longtemps, relativement répandues dans les campagnes, et servent quasi exclusivement au pompage de l'eau.

#### - Aérogénérateurs :

Les éoliennes à rotation rapide, bi- ou tripales en général, constituent actuellement la Catégorie des éoliennes en vogue, et sont essentiellement affectées à la production d'électricité, d'où leur nom le plus courant "d'aérogénérateurs".

Parmi les machines à axe horizontal parallèle à la direction du vent, il faut encore différencier l'aérogénérateur dont l'hélice est en amont de machine par rapport au vent « hélice au vent » et celle dont l'hélice est en aval de la machine par rapport au vent « hélice sous le vent ».



**Figure I-7** : configuration à axe horizontal [11]

b) **Les éoliennes à axe vertical** [11] :

Pour ces capteurs, l'axe de rotation est vertical et perpendiculaire à la direction du vent, et sont les premières structures développées pour produire de l'électricité. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol, donc elles sont facilement accessibles.

Elles sont adaptées à tous les vents et ne nécessitent pas de dispositif d'orientation.

Deux d'entre elles sont particulièrement remarquables : Savonius et Darrieus.

- L'éolienne Savonius comporte principalement deux demi cylindres dont les axes sont décalés l'un par rapport à l'autre. Comme les machines à aubes, elle utilise essentiellement la traînée pour tourner. Cette machine présente deux avantages :

- Elle est simple à fabriquer
- Elle démarre avec des vitesses de vent de l'ordre de 2 m/s

- L'éolienne inventée par le Français Darrieus est un rotor dont la forme la plus courante rappelle vaguement un fouet à battre les œufs. Cette machine est bien adaptée à la fourniture d'électricité. Malheureusement, elle ne peut pas démarrer seule. Ce type de machine, qui peut offrir les puissances les plus fortes n'a pas connu le développement technologique qu'il méritait à cause de la fragilité du mécanisme encore mal maîtrisée. Toutefois, cela devrait pouvoir être résolu si des efforts supplémentaires étaient faits dans la recherche sur ce sujet.



*Éolienne de type Darrieus.*



*Éolienne de type Savonius.*

**FigureI-8** : éolienne de type Darrieus et Savonius [11]

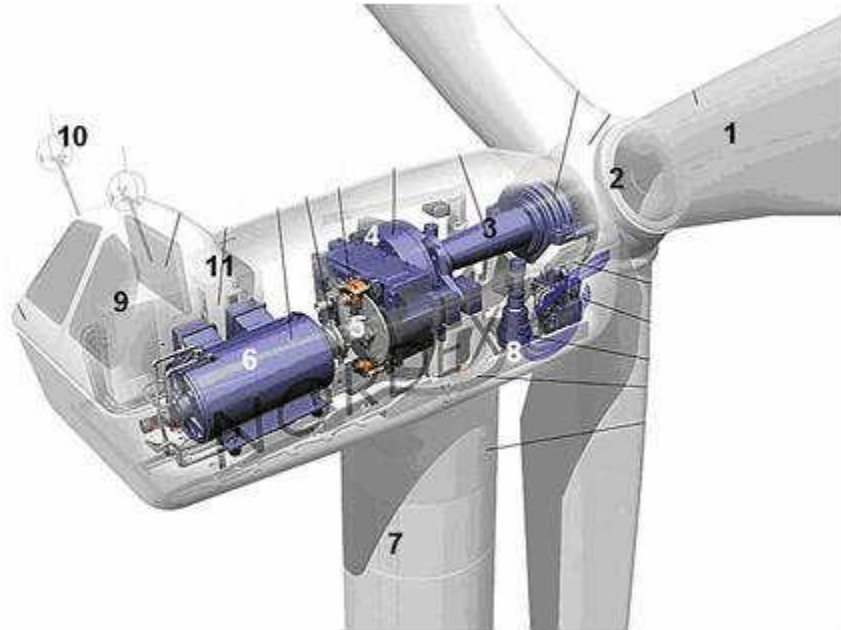
### **I-3-3 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :**

Les éoliennes permettent de convertir l'énergie du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en deux étapes:

- Au niveau de la turbine (rotor), qui extrait une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite.
- Au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique, transmise ensuite au réseau électrique. [12]

#### **I-3-3-1 ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UN AÉROGÉNÉRATEUR (A AXE HORIZONTAL) [13] :**

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou utilisée par des charges isolées.



**FigureI-9:** les composantes de l'aérogénérateur

1. **Les pales** : sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor
2. **Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.
3. **L'arbre primaire** (ou arbre lent) : relie les pales au multiplicateur.
4. **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.
5. **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.
6. **Le générateur électrique** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut-être une 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.
7. **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 mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mât a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.
8. **Le système d'orientation de la nacelle** : c'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein.
9. **Le système de refroidissement** : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.
10. **Les outils de mesure du vent** : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.
11. **Le système de contrôle électronique** : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.
12. Au pied du mât se trouve un **transformateur**.

### **I-3-3-2 Caractéristiques technologiques des éoliennes :**

#### **1 Le supportage**

Les pylônes peuvent être réalisés en acier ou en béton armé. Ils peuvent être autoporteurs et auto-résistants ou haubanés. Si le haubanage permet de réduire les dimensions du mât, par contre il pénalise l'emprise au sol. Pour limiter l'occupation

au sol, le supportage de plusieurs éoliennes par une seule structure est envisagée ; dans ce cas, les pylônes constitués de structures métalliques en treillis sont intéressants. Actuellement les mats en caisson, souvent en acier et fortement ancrés au sol, sont très répandus pour les éoliennes de forte puissance.[14]

### 2 Les pales [15]

Les pales sont une partie très importante des éoliennes. De leur nature dépendront le bon fonctionnement et la durée de vie de la machine ainsi que le rendement du moteur éolien. Plusieurs éléments caractérisent ces pales :

- la longueur
- la largeur
- le profil
- les matériaux
- le nombre

Parmi ces éléments, certains sont déterminés par les hypothèses de calcul, puissance et couple et d'autres sont choisis en fonction de critères tel que : coûts, résistance au climat ...

#### Les matériaux :

-Les matériaux utilisés pour la réalisation des pales sont variés et ont bénéficié de nombreux progrès, particulièrement ceux dus aux pales d'hélicoptère.

Contrairement à ce que l'on croit fréquemment, ce n'est pas dans le domaine de l'aérodynamique que réside la difficulté mais bien dans celui de la construction et de la résistance des matériaux. En effet, c'est dans le mode de réalisation des pales qu'il y a le plus à faire pour augmenter la sécurité de marche.

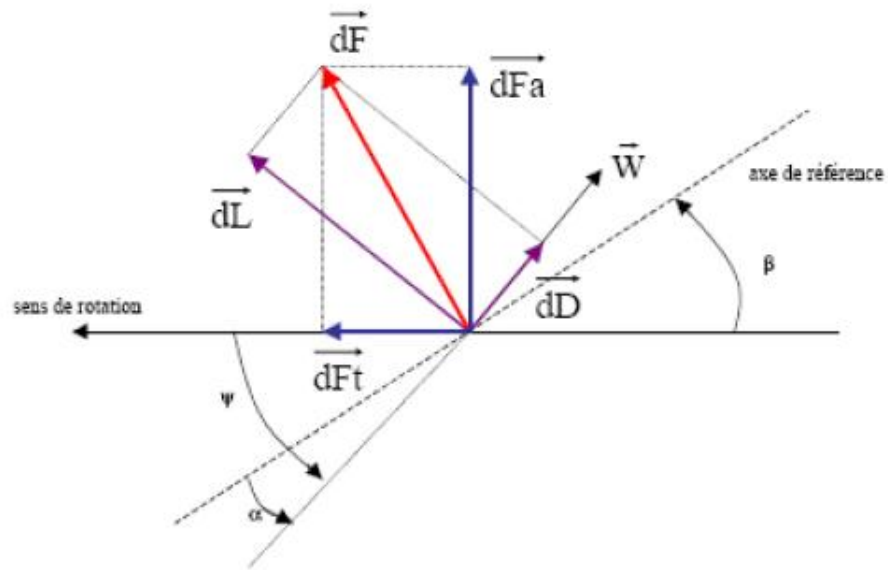
Les matériaux utilisés pour la réalisation des pales sont donc essentiels et doivent répondre à plusieurs exigences : ils doivent être assez légers, résistants à la fatigue mécanique, à l'érosion et à la corrosion, et de mise en oeuvre ou d'usinage simple.

On rencontre plusieurs types de matériaux :

- **le bois** : il est simple, léger, facile à travailler et il résiste bien à la fatigue mais il est sensible à l'érosion, peut se déformer et est réservé pour des pales assez petites.
- **le lamellé-collé** : c'est un matériau composite constitué d'un empilement de lamelles de bois collées ensemble. Il est possible de réaliser des pales jusqu'à 5 à 6 m de longueur ayant une bonne tenue en fatigue.
- **les alliages d'aluminium** : pour des pales allant principalement jusqu'à 20 m de longueur.
- **les matériaux composites** : leur intérêt est de permettre la réalisation de toutes les formes et dimensions, ainsi que d'obtenir les caractéristiques mécaniques exactes recherchées : pale vrillée, corde évolutive, changement de profil.

#### **I-3-3-3 Bilan des forces sur une pale**

L'action du vent relatif sur un profil aérodynamique engendre sur la section de pale de largeur  $dr$  et de longueur de corde  $l$  une distance  $r$  de l'axe de rotation une force résultante  $dF$



**FigureI-10** : Forces appliquées sur un élément de pale [16]

On peut décomposer la force résultante  $dF$  de la manière suivante :

- la portance  $dL$  normale à la direction du vent apparent.
- La force de  $dD$ , parallèle à la direction du vent.

On peut aussi la décomposer d'une autre manière :

- La pousse axiale  ${}_a dF$ , perpendiculaire au plan de rotation.

La pousse tangentielle  ${}_t dF$ , dans la direction de rotation

Les modules des forces  $dD, dL$  s'expriment en fonction de deux coefficients, le coefficient de portance  $C_L$  et le coefficient de traînée  $C_D$

La force de portance :  $L = \frac{1}{2} \rho w^2 dA C_L$  (1-1)

La force de traînée :  $D = \frac{1}{2} \rho w^2 dA C_D$  (1-2)

La poussée axiale :  $F_t = \frac{1}{2} C_z \rho w^2 S$  (1-3)

La poussée de rotation:  $F_a = \frac{1}{2} C_x \rho w^2 S$  (1-4)

Avec

$dA = l(r) \cdot dr$  : surface du tronçon de pale

$l(r)$  : longueur de la corde à la distance  $r$  de l'axe de rotation

$C_L$  : coefficient de portance (sans dimension)

$C_D$  : coefficient de traînée (sans dimension)

$C_z$  : coefficient de portance suivant le plan de rotation

$C_x$  : coefficient de poussée

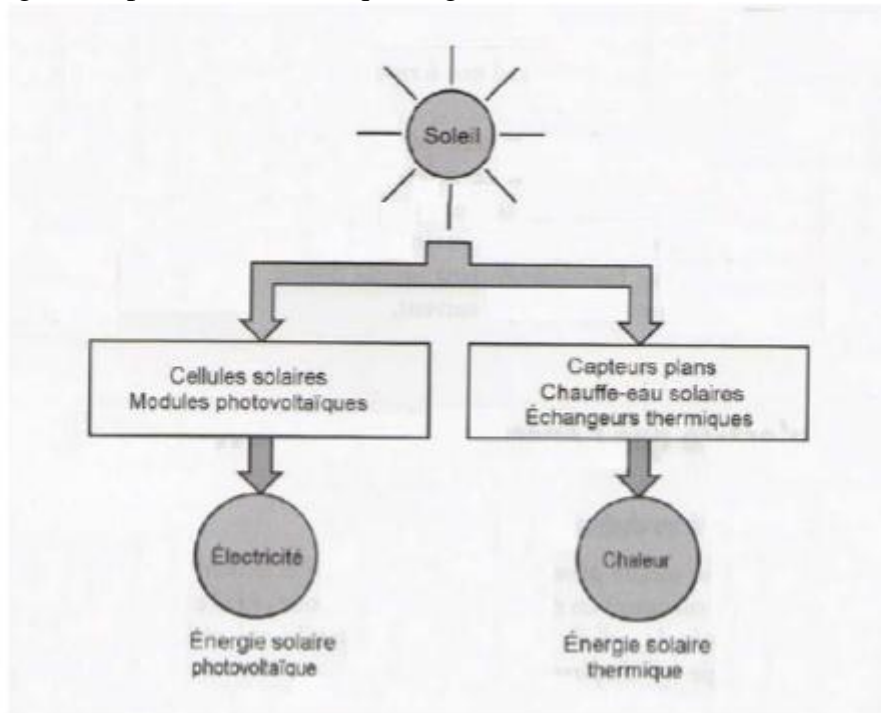
$W$  : module du vent apparent

Ces coefficients  $C_L$  et  $C_D$  dépendent du profil de la pale et de l'angle d'incidence  $\alpha$

. Dans l'analyse du fonctionnement des turbines éoliennes on utilise le diagramme du rapport  $C_x/C_z$  en fonction de l'angle d'incidence  $\alpha$ . Ce rapport reflète le rendement de conversion de l'énergie éolienne

## II-4 L'énergie solaire :

L'énergie solaire est la ressource énergétique la plus abondante sur terre. Elle est à l'origine de la majorité des énergies renouvelables, mais elle est très atténuée. Le rayonnement solaire peut être utilisé pour produire soit directement de l'électricité à l'aide de semi-conducteur photovoltaïque, soit de la chaleur solaire thermique pour le chauffage ou la production électrique (FigureI-11).

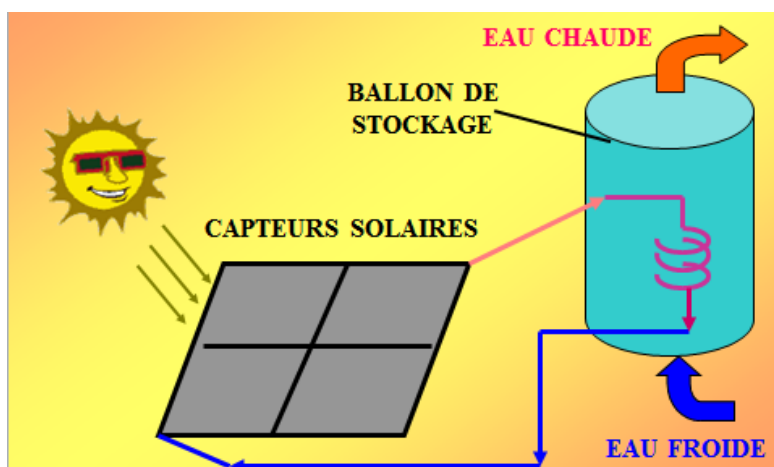


**FigureI-11:** Les deux types d'énergie solaire.

Les deux utilisations de l'énergie solaire :

### I-4-1 LE SOLAIRE THERMIQUE :

L'énergie solaire est récupérée pour fournir de la chaleur pour la production d'eau chaude, ou la climatisation.



**FigureI-12:** Principe du chauffe-eau solaire



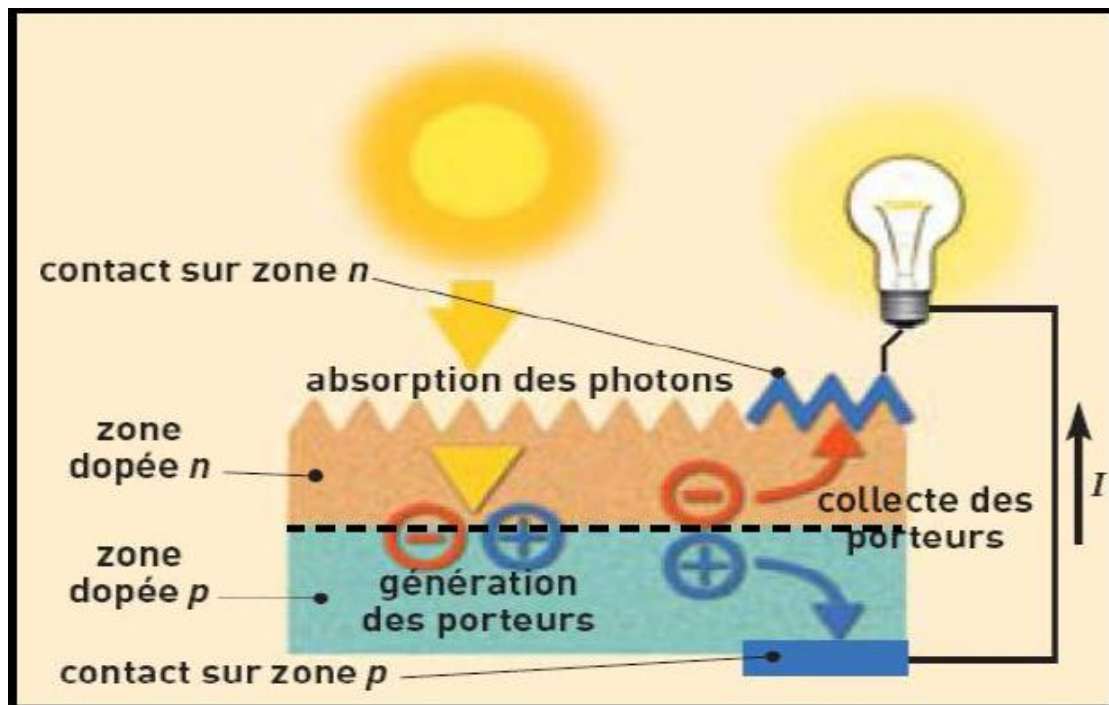
## I-4-2 LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE :

### I-4-2-1 Technologie des cellules solaires :

Le Silicium est l'un des matériaux le plus courant sur terre, c'est le sable, mais un haut degré de pureté est requis pour en faire une cellule photovoltaïque et le procédé est coûteux. Selon les technologies employées, on retrouve le Silicium monocristallin avec un rendement de 16 à 18%, le Silicium Polycristallin de rendement de 13 à 15%, le silicium amorphe présente une efficacité entre 5 et 10%. D'autres matériaux tels que l'Arséniure de Galium et le Tellure de Cadmium qui sont en court de test dans les laboratoires est présentent un rendement de (38%). [17]

### I-4-2-2 Principe de fonctionnement d'une cellule solaire photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement *dopée de type n* et *dopée de type p*. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau *n* diffusent dans le matériau *p*. La zone initialement dopée *n* devient chargée positivement, et la zone initialement dopée *p* chargée négativement.[17]



FigureI-13 : Principe de la conversion photovoltaïque.

Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone  $n$  et les trous vers la zone  $p$ . Une jonction (dite  $p-n$ ) a été formée. En ajoutant des contacts métalliques sur les zones  $n$  et  $p$ , une diode est obtenue. Lorsque la jonction est éclairée, les photons d'énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, chacun fait passer un électron de la bande de valence dans la bande de conduction. Si une charge est placée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone  $n$  rejoignent les trous de la zone  $p$  *via* la connexion extérieure, donnant naissance à une différence de potentiel: le courant électrique circule (voir figure I-13).[17]

### I-4-2-3 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

Les avantages de l'énergie photovoltaïque les plus importants sont [18]:

#### I-4-2-3-1 Avantages :

- + Energie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et gratuit.
  - + L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
  - + Génère l'énergie requise.
  - + Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.
  - + L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
  - + La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus.
- 
- + Entretien minimal.
  - + Aucun bruit.

#### I-4-2-3-2 Inconvénients :

- La fabrication des panneaux photovoltaïques relèvent de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles.
- Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.
- Le coût d'investissement sur une installation photovoltaïque est cher.

#### I-4-2-4 Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque :

Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque comprend un générateur de courant qui modélise l'éclairement et une diode en parallèle qui modélise la jonction PN. Mais le schéma équivalent réel tient compte de l'effet résistifs parasites dus à la fabrication, il est représenté sur le schéma équivalent par deux résistances. [19], [20].

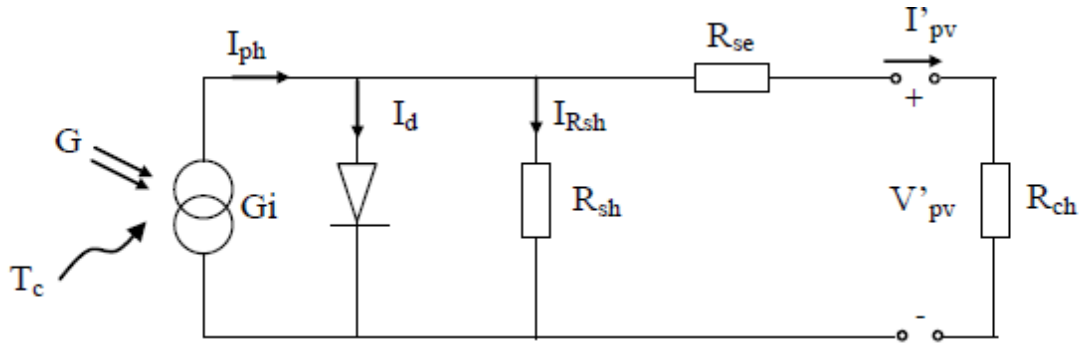


Figure I-14: Schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Avec :

$G_i$  : Source de courant parfaite.

$R_{sh}$ : Résistance shunt qui prend en compte les fuites inévitables de courant qui intervient entre les bornes opposées positive et négative d'une cellule.

$R_{se}$  : Résistance série qui est due aux différentes résistances électriques que le courant rencontre sur son parcours (résistance de contact)

$D$  : Diode matérialisant le fait que le courant ne circule que dans un seul sens.

$R_{ch}$  : Résistance qui impose le point de fonctionnement sur la cellule en fonction de sa caractéristique courant-tension à l'éclairement considéré.

Une cellule solaire est caractérisée par les paramètres fondamentaux suivants:

- **Courant de court-circuit ( $I_{sc}$ )** : C'est la plus grande valeur du courant générée par une cellule pour une tension nulle ( $V'_{pv}=0$ ).

- **Tension en circuit ouvert ( $V_{oc}$ )** : Représente la tension aux bornes de la diode quand elle est traversée par le photo-courant  $I_{ph}$  ( $I_d = I_{ph}$ ) quand ( $I'_{pv}=0$ ). Elle reflète

la tension de la cellule en absence de lumière, elle est exprimée mathématiquement par :

$$V_{oc} = \frac{mkT_c}{e} \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) = V_t \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_0}\right) \quad (1-5)$$

Où :

$$V_t = \frac{mkT_c}{e} \quad (1-6)$$

Avec :

$V_t$  : La tension thermique.

$T_c$  : La température absolue.

$m$  : Facteur idéal de la jonction.

$K$  : Constante de Boltzmann ( $K= 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/k)

$e$  : Charge de l'électron ( $e=1.6 \cdot 10^{-19}$ ).

□ **Point de puissance maximale ( $P_{max}$ )**: est le point  $M(V_{opt}, I_{opt})$  de la figure (I-15) où la puissance dissipée dans la charge est maximale

$$P_{max} = V_{opt} * I_{opt} \quad (1-7)$$

Avec :

$V_{opt}$  : La tension optimale.

$I_{opt}$  : Le courant optimale.

• **Rendement maximum** : est le rapport entre la puissance maximale et la puissance à l'entrée de la cellule solaire.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{int}} = \frac{V_{opt} * I_{opt}}{A_{pv} * G} \quad (1-8)$$

Où :

$G$  : l'irradiation reçue par unité de surface ( $W/m^2$ ). qui représente la puissance lumineuse

$A_{pv}$  : Surface effective des cellules.

Les conditions normalisées de test des panneaux solaires sont caractérisées par un rayonnement instantané de **1000W/m<sup>2</sup>** d'une température ambiante de **25°C** et d'un spectre **AM de 1.5**. AM représente l'Air Masse qui est l'épaisseur de l'atmosphère que la lumière

doit pénétrer. Ces conditions sont appelées **STC** (Standard Test Conditions) cela correspond à un ensoleillement assez fort.

La figure (I-15) présente la courbe courant-tension d'une cellule photovoltaïque avec les points importants qui la caractérise.

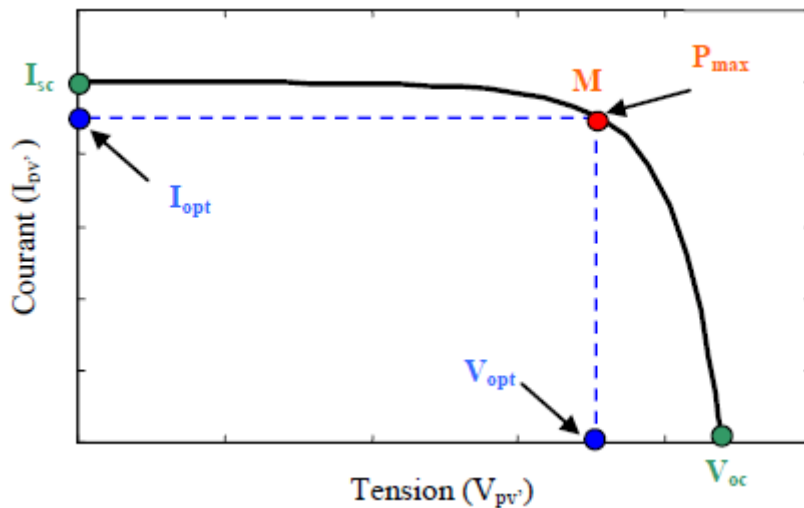


Figure I-15 : Courbe courant -tension d'une cellule photovoltaïque.

I-5 Composante système hybride (éolienne-photovoltaïque) :



Figure I-16 : Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien. [21]

A : Panneau Photovoltaïque ; a : Parafoudre ; B : Éolienne ; m : Moniteur de batterie ; R : Chargeur de batterie ; S : Sectionneur ; 1 : Disjoncteur de protection ; 2 : Régulateur charge/décharge ; 3 : Disjoncteur CC ; 4 : Batterie ; 5 : Onduleur ; 6 : Coffret de branchement électrique ; 7 : Charge électrique ;

**a : Parafoudre [21] :**

Le parafoudre ou « suppresseur de surtension » va protéger le système contre les surtensions d'origine atmosphérique comme la foudre, en dérivant le courant de surtension vers la mise à la terre. Il est habituellement placé après le panneau, dans la boîte de jonction, pour dissiper le surplus d'énergie et écrêter les hausses de tension. Dans le cas hybride il sera aussi placé dans la boîte de jonction associée à l'éolienne (Voir Figure II.2).

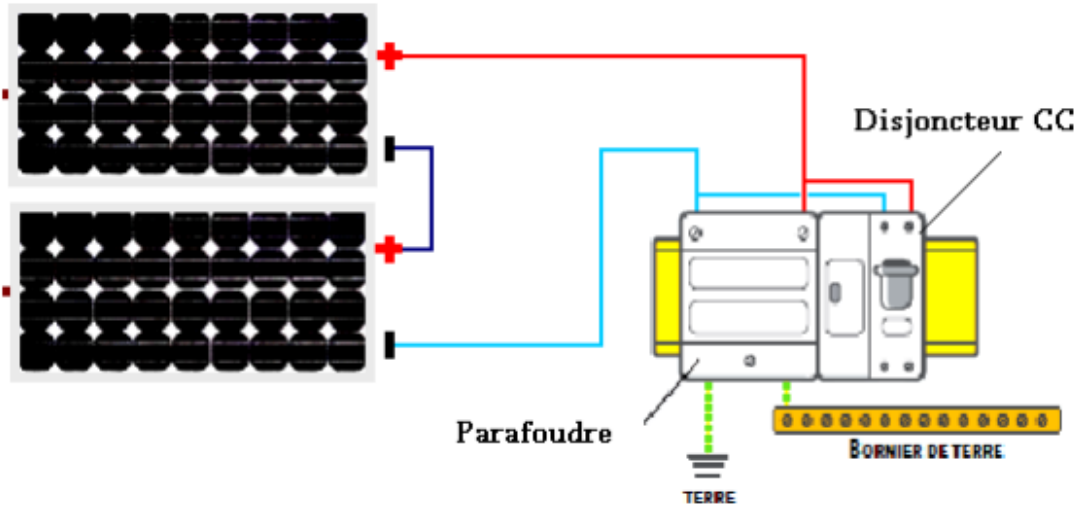


Figure I-17: Position du parafoudre dans le système d'énergie hybride. [21]

**m : Moniteur de batterie :**

Il affiche les valeurs de tension, de courant, et de capacité en ampère-heure de la batterie afin de vérifier et de contrôler son état.

**R : Chargeur de batterie :**

Le rôle de cet appareil est de contrôler et réguler la charge de la batterie.

**S : Sectionneur :**

C'est un interrupteur d'arrêt qui est placé après l'éolienne. Il a pour rôle d'isoler tout le système de l'éolienne, de façon à permettre l'entretien ou la réparation des équipements électriques. Il va assurer aussi la protection contre les surintensités dues à des défauts électriques

**1 : Disjoncteur de protection :**

C'est un disjoncteur à courant continu qui est installé entre le panneau photovoltaïque et le régulateur pour isoler et protéger le système lors de la maintenance du panneau ou quand survient un défaut électrique. Il doit pouvoir supporter le courant de court-circuit et la tension ouverte du panneau ou du champ PV.

**2 : Régulateur charge/décharge :**

Il est installé entre la batterie et le panneau Photovoltaïque; Il sert à contrôler le courant qui rentre ou qui sort de la batterie afin d'éviter qu'elle ne soit endommagée par un excès de charge ou de décharge.

**3 : Disjoncteur CC :**

## **Chapitre I      généralité sur le système hybride énergie renouvelable (SHER)**

C'est un disjoncteur à courant continu qui est installé entre la batterie et l'onduleur pour isoler et protéger le circuit batterie onduleur contre des défauts électriques. Il est indispensable lorsque l'onduleur n'est pas lui-même équipé d'une protection à basse tension. On peut cependant utiliser à la place du disjoncteur, un fusible branché sur le conducteur non mis à la terre. Tous ces dispositifs doivent être conformes aux normes et aux codes en vigueur pour les installations CC et CA.

### **4 : Batterie [21]:**

La batterie doit être installée si possible dans une enceinte isolée ou un bac en plastique avec couvercle et entreposée dans un endroit bien ventilé, car elle est sensible aux variations de températures.

### **5 : Onduleur :**

L'onduleur convertit le courant continu sortant de la batterie en courant alternatif nécessaire au fonctionnement de la majorité des appareils électriques domestiques. Faire attention dans le choix de l'onduleur car la forme d'onde qu'il reproduit peut ne pas convenir à certains appareils; aussi l'onduleur doit pouvoir absorber le pic de puissance lors de leur allumage. Privilégier un onduleur à rendement élevé et installer le aussi près que possible de la batterie pour diminuer les pertes électriques dans les fils conducteurs.

### **6 : Coffret de branchement électrique :**

Il contient le disjoncteur principal, les fusibles ou les disjoncteurs secondaires indispensables à la protection des appareils électriques de la maison. Les différents circuits électriques de la maison y sont rattachés pour être protégés (ex : le circuit de l'éclairage, celui des petits électroménagers et celui des gros électroménagers).

### **7 : Charge électrique [21]:**

La charge électrique est la quantité d'énergie que consomme l'ensemble des appareils présents dans la maison (ex : éclairage, électroménager, électronique, etc.). Il est conseillé choisir des appareils « éco énergie » et de changer sa façon de consommer l'électricité. Par exemple, éteindre les appareils que l'on n'utilise pas. Bien souvent les dysfonctionnements rencontrés sont dû à un choix inadapté d'appareils électriques à consommation trop élevée.

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons traité des généralités sur les énergies renouvelables et les systèmes hybrides entre eux, et dans les prochains chapitres nous dimensionnerons un système de climatisation d'un appartement et nous étudierons et dimensionnerons des système d'énergie renouvelables pour alimenter le système de climatisation .

# Chapitre II



**II-1 Introduction :**

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié les systèmes hybrides pour les énergies renouvelables. Dans ce chapitre, nous allons étudier et dimensionner un système de climatisation pour un appartement composé de trois pièces et séjour.

**II-2-1 les différentes fonctions d'un climatiseur :**

Les climatiseurs sont des appareils complets offrant une large gamme de fonctions pour améliorer votre quotidien, votre santé et l'environnement dans lequel vous vivez. En effet, un climatiseur vous permet de :

- Refroidir l'air à une température idéale contrôlée par un thermostat précis (manuel ou électronique) ;
- Chauffer l'air en hiver (pour les climatiseurs dits " réversibles " ) ;
- Réaliser de réelles économies (économies de chauffage + plus-value lors de la revente de votre logement en fonction de la valeur de la climatisation installée).
- Purifier l'air (en option) ;
- Déshumidifier l'air (en option) ;

**II-2-2- les avantages d'une climatisation :****Une solution contre la chaleur****Evolution du climat**

Selon les météorologues et les climatologues, la multiplication et la sévérité des vagues de chaleur estivales sont une des manifestations les plus visibles du réchauffement climatique de la planète : provoquant une augmentation des températures à toutes les saisons, il "élargit" l'été tout en accentuant les épisodes de canicules.

Concrètement, les étés sont amenés à être de plus en plus longs, et les pics de chaleur de plus en plus élevés.

**Protéger les personnes**

La crise sanitaire consécutive à la canicule de l'été 2003 a démontré l'importance de protéger les personnes fragiles (enfants, séniors, malades) des fortes chaleurs.

Des programmes d'actions spécifiques destinés à équiper tous les bâtiments accueillant des personnes âgées (maisons de retraite, foyers) d'une pièce climatisée ont d'ailleurs été mis en place.

Six mois après l'été 2003, une enquête de TNS Sofres a même révélé que de plus en plus de particuliers (surtout les femmes) souhaitent équiper leur logement d'une solution de climatisation : *Désormais, protéger les plus fragiles n'est plus un luxe, mais une nécessité.*

**Améliorer le confort**

En rafraîchissant l'air intérieur, que ce soit en période caniculaire ou tout au long de l'été, la climatisation procure un bien-être remarquable. Ce confort a des effets

positifs sur chacun, et les bénéfiques d'équiper un logement ou un local d'un système de climatisation sont nombreux :

- Logement : Soumis à de multiples stress tout au long de la journée et fatigués par les transports en commun, la plupart des gens considèrent aujourd'hui leur logement comme un cocon dans lequel ils peuvent se ressourcer.

Sensations d'inconfort, transpiration, fatigue, troubles du sommeil ou encore irritabilité, ne sont que les manifestations les plus bénignes d'une trop grande chaleur à la maison.

Il est pourtant facile d'y remédier rapidement afin de permettre à toute la famille de se réunir dans une atmosphère sereine et de récupérer rapidement le soir de sa fatigue quotidienne.

En plus de protéger les personnes les plus fragiles, climatiser son intérieur contribue à faire de lui le refuge confortable auquel tout le monde aspire. Donnée non négligeable, il pourra contribuer également à valoriser votre appartement ou votre maison, et donc à vous faire réaliser une intéressante plus-value lors de sa revente.

- Bureaux et commerces : sur le lieu de travail, l'exposition à la chaleur combinée aux facteurs individuels (âge, santé physique, fatigue, énergie dépensée) et aux facteurs collectifs (organisation et conditions de l'activité) a des effets majeurs sur la santé, mais aussi sur les performances mentales et physiques des individus.

En plus d'apporter du confort à ses employés, climatiser ses locaux se traduit donc par ***un accroissement de la productivité.***

En renforçant également le bien-être de ses visiteurs et clients, une entreprise augmente d'autant le plaisir de chacun à passer du temps dans ses locaux et donc ses opportunités de ventes et sa performance.

### - **Une solution de chauffage l'hiver**

En plus d'apporter du froid l'été, la plupart des climatiseurs sont équipés d'une fonction " chauffage " destinée à vous chauffer l'hiver. Ces appareils sont dits " réversibles " sur le principe de la pompe à chaleur car ils ont en effet la particularité d'inverser leur cycle frigorifique, vous permettant d'alterner, au gré des saisons, l'usage que vous ferez de votre appareil.

En optant pour les climatiseurs réversibles fixes, vous ne surchargerez plus votre intérieur avec des appareils encombrants : **vous climatiserez et pourrez chauffer votre logement avec un seul appareil.**

Surtout, investir dans ce type d'appareil " 2 en 1 " est une solution extrêmement économique puisque :

- les climatiseurs fixes réversibles n'étant pas plus chers que les climatiseurs classiques, l'option " chauffage " reste donc beaucoup moins onéreuse qu'un chauffage électrique, gaz ou fuel, et vous permet donc d'investir dans un système de chauffage à moindre coût.

- Avec un coefficient de performance (COP) (Voir la rubrique COP) de 2 à 3 voire 4, un climatiseur réversible vous permettra surtout de réaliser de considérables

économies d'énergie : en effet, lorsqu'une pompe à chaleur consomme 1000 W pour fonctionner, son rendement peut atteindre 3000 W et même 4000 W pour certaines. *En clair, pour 3 ou 4 kWh consommés, vous n'en payez qu'un seul !*  
Attention : Seule, la fonction de réversibilité ne peut constituer qu'un complément de chauffage pour la demi-saison, car elle est généralement moins efficace en dessous de 0°/5°C. Si vous souhaitez remplacer totalement votre système de chauffage par un climatiseur réversible (chaud et froid), il vous faudra choisir un appareil réversible équipé d'un compresseur doté de la technologie " Inverter " : cette technologie augmentant le coefficient de rendement pour une performance énergétique plus efficace, il vous garantira un chauffage optimal jusqu'à - 15°C et une consommation encore plus économique.[22]

### **- Une solution pour un air plus sain**

Climatiser, chauffé, purifié, déshumidifié : méfiez-vous ! Ces appareils vous promettant toutes les fonctions possibles le font généralement toutes mal. Préférez des climatiseurs chaud et froid dotés de technologies ayant fait leurs preuves. Malgré tout, certains climatiseurs fixes disposent de possibilités " accessoires " telles que la déshumidification ou la purification, mais qui ne pourront en aucun cas se substituer à un déshumidificateur d'air ou à un purificateur en cas de réel besoin.

Déshumidification : en réduisant le taux d'humidité présent dans l'atmosphère, le climatiseur équipé d'une telle fonction supprimera les germes et les moisissures, augmentant le confort et limitant ainsi le développement des maladies.

Purification : certains climatiseurs sont dotés d'un ioniseur destiné à purifier l'air qu'il traite : en freinant le passage de l'azote (N<sub>2</sub>) qu'il contient, au profit de la circulation d'oxygène, il permet d'enrichir l'air pulsé de 30 % d'oxygène supplémentaire. Cela se traduit par une plus grande sensation de fraîcheur ainsi que par un effet dynamisant sur les personnes.

En envoyant des ions négatifs dans l'air, l'air est purifié par précipitation électrostatique des ions positifs qui tiennent en suspension dans l'air tous les polluants.

### **II-2-3- Climatisation : mode d'emploi**

#### **- Comment ça marche ?**

Un climatiseur fonctionne de la même façon qu'un réfrigérateur, produisant du froid d'un côté et du chaud de l'autre, à l'identique du principe d'une pompe à chaleur. Le déplacement des calories est réalisé grâce à un gaz frigorigène circulant en permanence dans un circuit fermé.

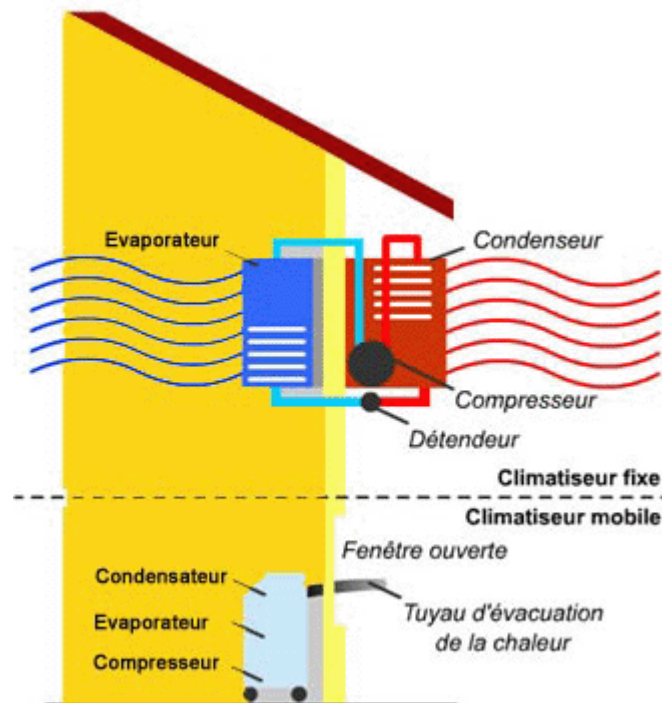
Au cours de son circuit, en absorbant la chaleur, le fluide passe en boucle de l'état liquide à l'état gazeux et transporte les calories entre le condenseur et l'évaporateur. Le compresseur "comprime" le fluide frigorigène (ou réfrigérant) chargé de transférer

l'énergie frigorifique (froid) et calorifique (chaud).

La chaleur devant ensuite être rejetée sans réchauffer l'atmosphère, le condenseur du climatiseur se chargera d'évacuer ces calories vers l'extérieur.[22]

**Important :**

C'est pour cette raison que même le climatiseur le plus compact (climatiseur mobile), aura toujours besoin d'un tuyau relié à l'extérieur lui permettant d'évacuer l'air chaud pour refroidir le condenseur (par l'embrasure d'une fenêtre ou par un trou en façade). Dans le cas des climatiseurs avec split, le condenseur est situé dans l'unité extérieure de l'appareil (fixée au mur sur la façade du logement ou posée sur un rebord de fenêtre ou d'un balcon). C'est donc elle qui se charge alors d'évacuer l'air chaud grâce à un ventilateur.



figureII-1 : principe de fonctionnement de climatiseur

**II-2-4- les différents types de climatiseurs :**

La famille des climatiseurs est très variée et vous permettra de répondre au mieux à votre besoin en climatisation tout en s'adaptant à votre logement et à vos contraintes. Elle est constituée de différents modèles dont les particularités tiennent à la fois de l'esthétique, des performances et du prix mais aussi de l'installation qu'ils impliquent :

- Les climatiseurs monobloc mobiles ;
- Les climatiseurs monobloc fixes ou semi-mobiles dits " prêts-à-poser " ;
- Les climatiseurs split ou multi-split fixes ;
- Les climatiseurs split mobiles ;

- Les climatiseurs de caves à vin ;
- Les climatiseurs de chambres froides.

Parmi eux, il existe également deux grandes variantes optionnelles :

- Les climatiseurs réversibles ;
- Les climatiseurs Inverter.

**CLIMATISEUR REVERSIBLE (fonctionnement "en pompe à chaleur") :**

En plus d'apporter du froid l'été, certains climatiseurs sont équipés d'une fonction "chauffage" destinée de vous apporter du chaud l'hiver. Ces appareils sont dits "réversibles" car ils ont en effet la particularité d'inverser leur cycle frigorifique, vous permettant d'alterner, au gré des saisons, l'usage que vous ferez de votre appareil.

Investir dans ce type d'appareil "2 en 1" est une solution extrêmement économique : en effet, les climatiseurs réversibles étant plus répandus que les climatiseurs froid seul, ils ne sont donc pas beaucoup plus chers que les climatiseurs classiques.

L'option "réversibilité" reste d'ailleurs moins onéreuse que n'importe quel chauffage classique, vous permettant donc d'investir dans un système de chauffage à moindre coût. Avec un coefficient de performance (COP) (Voir la rubrique COP) de 2 à 3 (voire 4), un climatiseur réversible vous permettra surtout de réaliser de considérables économies d'énergie : en effet, lorsqu'une pompe à chaleur consomme 1000 W pour fonctionner, son rendement peut atteindre 3000 W et même 4000 W pour certaines. En clair, pour 3 ou 4 kWh consommés, vous n'en payez qu'un seul !

De plus, vous ne surchargerez plus votre intérieur avec de multiples appareils, parfois très encombrants : avec un seul appareil, vous climatiserez et pourrez chauffer votre intérieur.[23]

**Attention :** Seule, la fonction de réversibilité ne peut constituer qu'un complément de chauffage pour la demi-saison, car elle est généralement moins efficace en dessous de 0°/5°C. Si vous souhaitez remplacer totalement votre système de chauffage par un climatiseur chaud et froid, il vous faudra choisir un appareil réversible équipé d'un compresseur dit "Inverter" : sa technologie augmentant le coefficient de rendement pour une performance énergétique plus efficace, il vous garantira un chauffage optimal jusqu'à - 15°C et une consommation encore plus économique.

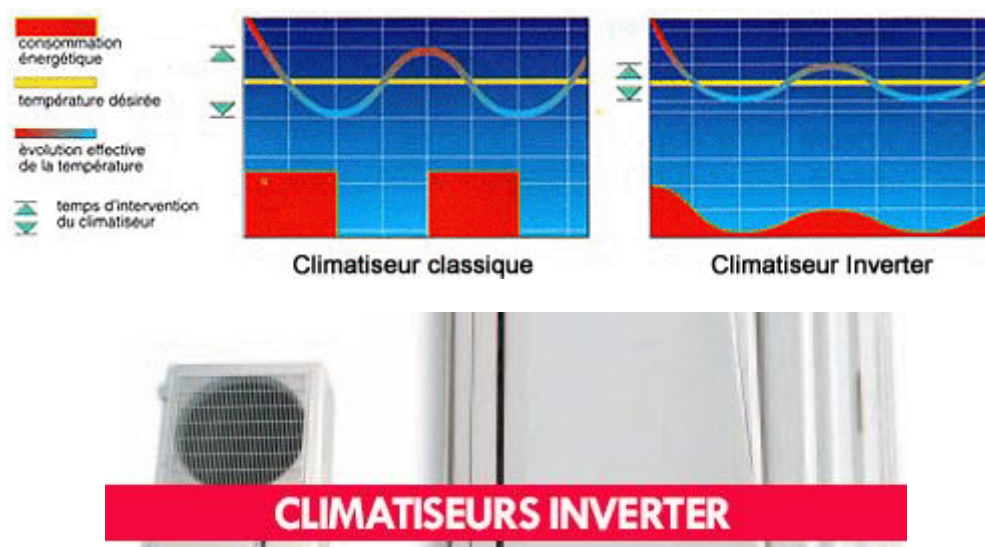


**figureII-2** : climatiseurs réversibles

**CLIMATISEUR INVERTER :**

Lorsque vous branchez un climatiseur classique, celui-ci fonctionne d'abord à pleine puissance afin d'atteindre la température sélectionnée. Une fois que celle-ci est atteinte, il s'éteint et se remet en marche dès que le thermostat remonte à nouveau. Jusqu'à ce que vous l'éteigniez, le climatiseur alternera ainsi les cycles de marche et d'arrêt afin de tenter de maintenir continuellement la température désirée. Ce fonctionnement discontinu est source d'inconfort mais aussi d'une consommation électrique accrue ainsi que d'une usure prématurée du compresseur.[22]

La **technologie Inverter** dont certains climatiseurs sont équipés agit sur la variation et la régulation en continu de la vitesse de son compresseur : concrètement, elle vous permet d'obtenir une température de confort plus rapidement et de la maintenir, en permanence, avec plus de précision. Notez également que les classes énergétiques des climatiseurs Inverter sont meilleures que celles des climatiseurs non Inverter.



**figureII-3** : climatiseurs inverter

Cette technologie japonaise (au Japon, plus de 80% des climatiseurs en sont dotés) était autrefois réservée à certains modèles haut-de-gamme parmi les plus onéreux. Si les climatiseurs Inverter restent aujourd'hui 10 à 20 % plus chers que les modèles traditionnels, la généralisation de la technologie les a rendus très abordables. Un investissement très vite rentabilisé grâce à leurs nombreux avantages :

- Plus confortables (régulation constante de la température) ;
- Plus silencieux (pas de cycles marche-arrêt)
- Plus performants (COP proche de 4) ;
- Plus économiques en " froid " (jusqu'à 30% d'économie) ;
- Plus efficaces et économiques en " chaud " (jusqu'à 60 % d'économies + sont performants même si la température extérieure descend jusqu'à - 15°C).

**II-2-5- Critère de choix d'un climatiseur :**

Plusieurs critères doivent être pris en compte afin que votre climatiseur soit le plus adapté possible à vos locaux et à vos besoins [22] :

- La puissance
- La classe énergétique
- Le rendement à froid (déterminé par l'EER = Energy Efficiency Rating)
- Le coefficient de performance (COP)
- Le débit d'air
- Le niveau sonore

**a- La puissance :**

La puissance d'un climatiseur détermine la surface maximale que l'appareil est capable de refroidir (et/ou de chauffer, s'il s'agit d'un réversible). Cette puissance dépendra donc du bilan thermique du lieu à climatiser, en fonction de la région où il se trouve, des apports de chaleur réalisés par le nombre de personnes, de la surface du vitrage, de l'isolation et de la nature des murs.

En pratique, en tenant compte des apports gratuits de chaleur, on considère que :

- **80 W/m<sup>2</sup> environ sont suffisants pour une chambre ;**
- **100 W/m<sup>2</sup> environ sont suffisants pour un séjour.**

La puissance d'un climatiseur, qu'il s'agisse de sa puissance de réfrigération ou de chauffe (s'il s'agit d'un réversible), est exprimée soit en Watt soit en BTU (British Thermal Unit). La correspondance entre les BTU et les Watts est la suivante [24] :

$$1W = 3,414 \text{ BTU}$$

$$2\ 500W = 9\ 000 \text{ BTU}$$

$$3\ 500W = 12\ 000 \text{ BTU}$$

(A noter : Pour les climatiseurs réversibles, la puissance exprimée en BTU est toujours un peu plus élevée pour le chauffage que pour la réfrigération).

Afin de déterminer quelle puissance choisir pour la surface que vous avez à traiter, reportez-vous au tableau d'équivalences ci-dessous :

PUISSANCE = SURFACE TRAITABLE (Pour une hauteur moyenne de 2,50m)

$$7\ 000 \text{ BTU} = 7 \text{ à } 15 \text{ m}^2$$

$$9\ 000 \text{ BTU} = 15 \text{ à } 25 \text{ m}^2$$

$$12\ 000 \text{ BTU} = 25 \text{ à } 35 \text{ m}^2$$

$$18\ 000 \text{ BTU} = 35 \text{ à } 50 \text{ m}^2$$

$$24\ 000 \text{ BTU} = 50 \text{ à } 70 \text{ m}^2$$

$$30\ 000 \text{ BTU} = 70 \text{ à } 80 \text{ m}^2$$

Attention : Il est important de tenir compte du volume total de la pièce à traiter (et donc de la hauteur sous-plafond). Par ailleurs, l'efficacité de la climatisation dépend également de la nature des murs : par exemple, on ne choisira pas le même appareil pour une chambre de 20m<sup>2</sup> et pour une véranda de 20m<sup>2</sup> orientée plein sud.

Ces équivalences ne sont donc données qu'à titre indicatif, dans la mesure où elles ont été calculées pour une pièce bien isolée disposant d'un nombre raisonnable d'ouvertures vitrées et d'une hauteur sous-plafond de 2m50.

#### Et dans le cas d'un climatiseur réversible ?

Bien évaluer la puissance dont devra disposer son climatiseur est encore plus important s'il est réversible (destiné à produire du chauffage l'hiver) : en effet, un chauffage de puissance insuffisante sera beaucoup plus gênant pour votre confort qu'un climatiseur qui dont la puissance aurait été un peu sous-dimensionnée. Seule, la fonction de réversibilité ne peut constituer qu'un complément de chauffage pour la demi-saison, car elle n'est généralement pas efficace en dessous de 5°C. Si vous souhaitez remplacer totalement votre système de chauffage par un climatiseur chaud et froid, il vous faudra choisir un appareil réversible dit " Inverter ", car efficace jusqu'à - 15°C

#### **b- La classe énergétique du climatiseur :**

L'Union Européenne s'est engagée dans une démarche d'amélioration de l'efficacité énergétique des appareils électriques, celle-ci s'inscrivant dans une démarche globale de préservation de l'environnement.

Différentes directives européennes (92/75/CEE, 94/2/CE, 95/12/CE, 96/89/CE, 2003/66/CE, etc.) ont donc décidé d'équiper chaque climatiseur d'une étiquette-énergie contenant les spécificités de l'appareil. Celle-ci est une indication pour le consommateur afin de l'aider à faire son choix parmi les différents modèles. Elle contient[22] :

- Les performances globales en matière d'économie d'énergie (A,B,C,D,E,F,G) ;
- La consommation d'énergie en Kilowatts en mode refroidissement ;
- La puissance frigorifique en Kilowatts ;
- Le rapport d'efficacité énergétique (EER en froid et COP en chaud) ;
- Le type d'appareil froid seul, réversible ;
- L'efficacité en mode chaud pour les réversibles (A,B,C,D,E,F,G) ;
- Le niveau sonore en DB (A). Attention : Il est important de tenir compte du volume total de la pièce à traiter (et donc de la hauteur sous-plafond). Par ailleurs, l'efficacité de la climatisation dépend également de la nature des murs : par exemple, on ne choisira pas le même appareil pour une chambre de 20m<sup>2</sup> et pour une véranda de 20m<sup>2</sup> orientée plein sud.

Ces équivalences ne sont donc données qu'à titre indicatif, dans la mesure où elles ont été calculées pour une pièce bien isolée disposant d'un nombre raisonnable d'ouvertures vitrées et d'une hauteur sous-plafond de 2m50.

#### Et dans le cas d'un climatiseur réversible ?

Bien évaluer la puissance dont devra disposer son climatiseur est encore plus important s'il est réversible (destiné à produire du chauffage l'hiver) : en effet, un



chauffage de puissance insuffisante sera beaucoup plus gênant pour votre confort qu'un climatiseur qui dont la puissance aurait été un peu sous-dimensionnée. Seule, la fonction de réversibilité ne peut constituer qu'un complément de chauffage pour la demi-saison, car elle n'est généralement pas efficace en dessous de 5°C. Si vous souhaitez remplacer totalement votre système de chauffage par un climatiseur chaud et froid, il vous faudra choisir un appareil réversible dit " Inverter ", car efficace jusqu'à - 15°C

**A noter :** Depuis 2013, l'échelle des classes de performances énergétiques a changé : elle inclut désormais la classe A+++ , tant pour le SCOP que pour le SEER. La classe C (pour les produits neufs européens) est également supprimé. (Pour plus d'informations, voir plus bas : rubrique " Important " : nouvelle réglementation depuis 2013)

L'efficacité énergétique d'un climatiseur est mesurée principalement à partir de son EER (en froid) et de son COP (en chaud), c'est à dire du rapport entre l'énergie absorbée (pour l'EER) ou restituée (pour le COP) avec l'électricité consommée. Celle-ci s'exprime par une lettre, allant de A à G, correspondant à la classe énergétique à laquelle il appartient (la classe A étant celle du rendement optimum, et la G celle du rendement le moins efficace). Il est à noter que les différences de performance entre deux classes voisines sont minimales.

### c- L'EER

L'EER (Energy Efficiency Rating) est le coefficient d'efficacité frigorifique d'un climatiseur. Il correspond à l'efficacité énergétique de la pompe à chaleur fonctionnant en mode froid, et donc au rendement du climatiseur lorsqu'il rafraîchit. Il est calculé en divisant l'énergie frigorifique fournie (en Watts) par l'énergie électrique consommée (en Watts).

$$EER = \text{énergie utile frigorifique (ou chaleur absorbée à l'évaporateur)} / \text{énergie fournie au compresseur.}$$

**A noter :** depuis 2013, l'EER, incluant désormais une notion saisonnière, est devenu le SEER. (pour plus d'informations, voir plus bas : rubrique " Important " : nouvelle réglementation depuis 2013)

### d- Le COP

Le COP (Coefficient Of Performance) est le coefficient de performance d'un climatiseur. Il correspond au rendement de la pompe à chaleur fonctionnant en mode chauffage et se calcule en faisant le rapport entre la chaleur restituée (l'énergie utile) et l'électricité consommée (l'énergie facturée). Le coefficient de performance est mesuré en laboratoire selon les normes européennes. Plus le COP est élevé, plus le climatiseur est performant et plus la facture d'électricité est diminuée (échelle allant

de 1 à 5).

ex : un COP de 3 signifie que la pompe à chaleur restitue 3 kWh de chauffage pour 1 kWh d'électricité consommée...

COP = énergie utile calorifique côté condenseur / énergie fournie au compresseur.

**A noter :** depuis 2013, le COP, incluant désormais une notion saisonnière, est devenu le SCOP.

(pour plus d'informations, voir plus bas : rubrique " Important " : nouvelle réglementation depuis 2013)

### **Important : Nouvelle réglementation à partir de 2013 :**

Depuis le 1er janvier 2013, suite à la mise en application de la directive ErP (imposant de nouvelles exigences énergétiques et écologiques pour les équipements européens), la mesure de performances des pompes à chaleur air-air et des climatiseurs (d'une puissance inférieure à 12kW) a changé :

- Indicateurs de rendement : se voulant plus précis, ils intègrent désormais dans leur calcul une notion saisonnière, devenant ainsi le SCOP (coefficient de performance saisonnier) et le SEEER (ration d'efficacité énergétique saisonnier). *Comme par le passé, plus ces deux mesures sont élevées, plus l'appareil est performant.*

- Classes de performances énergétiques : leur échelle inclut désormais la classe A+++ , tant pour le SCOP que pour le SEER. La classe C (pour les produits neufs européens) est également supprimé [22].

#### **e- Le débit d'air**

Le débit d'air d'un climatiseur doit être réglable et suffisant pour assurer une bonne climatisation :

- dans une petite pièce, un faible débit de 150 m<sup>3</sup>/heure sera suffisant.

- dans une grande pièce, le climatiseur doit souffler 4 à 8 fois le volume de la pièce en une heure (ex : un débit d'air de 300 m<sup>3</sup>/heure sera conseillé pour une pièce d'environ 30 m<sup>2</sup>).

Attention : Le débit d'air ne doit pas être trop élevé afin d'éviter toute sensation de courant d'air.

#### **f- Le niveau sonore (en db)**

Le bruit engendré par un climatiseur est principalement provoqué par son compresseur et par son débit d'air. Le compresseur d'un climatiseur split étant placé dans son unité extérieure (installée en dehors de l'habitation), c'est la raison pour laquelle ce type d'appareil fait partie des plus silencieux, le bruit de l'unité intérieure n'étant du qu'à son débit de l'air. Les climatiseurs les plus bruyants sont donc les climatiseurs monoblocs puisqu'ils réunissent tous ces éléments en une seule entité, placée à l'intérieur du logement.

En moyenne, le niveau sonore d'un climatiseur est compris entre 20 (climatiseurs fixes) et 55/60 décibels pour les mobiles les plus puissants.

**II-2-6- Où installer son climatiseur ?**

Afin de séduire les particuliers, les climatiseurs se font toujours plus compacts tout en s'alignant sur le design contemporain. Ils se fondent aujourd'hui totalement dans votre intérieur jusqu'à devenir invisibles (ex : intégré dans un faux plafond).

Dissimuler au maximum votre climatiseur ne sera donc jamais plus (et n'aurait jamais du être) le critère déterminant pour choisir où l'installer. Bien au contraire : *choisir* intelligemment l'emplacement de votre climatiseur, c'est combiner le plus possible efficacité thermique, confort des occupants et esthétique.

Les climatiseurs split nécessitant le raccordement d'une unité extérieure à une, voire plusieurs, unité(s) intérieure(s), choisir leur emplacement est délicat et souvent dicté par les impératifs de l'emplacement de l'unité extérieure[22] :

**- Unité intérieure :**

S'il est conseillé d'installer l'unité intérieure d'un climatiseur split en haut d'un mur, elle peut l'être de différentes façons :

- en position centrale, au dessus d'une ouverture de porte ou de fenêtre ;
- entre un mur et une fenêtre, dans un recoin ;
- près de grandes ouvertures, afin de compenser la chaleur véhiculée par les baies vitrées

(Important : en règle générale, les dimensions des climatiseurs sont étudiées pour qu'ils puissent être installés au-dessus d'une porte)

- Dans une chambre à coucher, il est conseillé d'installer le climatiseur le plus éloigné possible du lit et de bien régler les volets d'air pour ne pas être gêné par la ventilation d'air frais.
- De même, dans un séjour, il est préférable d'éviter de placer le climatiseur dans la zone directe d'occupation de la pièce.

**- Unité extérieure :**

L'unité extérieure doit être fixée au mur sur la façade du logement ou posée sur un rebord de fenêtre, sur un balcon ou même sur le toit. Mais son installation ne doit surtout pas relever du hasard :

- Selon les modèles, elle doit être placée à 5, 10 ou 15 mètres de l'unité intérieure ;
- L'emplacement choisi doit être à la fois ventilé tout en étant à l'abri du vent et de la chaleur, des chutes de neige ou de tout écoulement d'eau ;
- L'unité extérieure doit être d'un accès facile ;
- Elle doit être installée sur un support solide, résistant à la corrosion ;

Attention : renseignez-vous sur les règles d'urbanisme ou sur le règlement de votre copropriété avant de réaliser votre installation, car l'unité extérieure, installée en façade de l'immeuble ou de la maison, n'est pas toujours très esthétique et peut être assez bruyante pour vos voisins.

**II-2-7- Quelques conseils pour une climatisation optimale :**

- Il est conseillé de choisir un climatiseur équipé d'une filtration efficace de l'air ;
- Nettoyez régulièrement et correctement les filtres ;
- Contrôler régulièrement l'unité extérieure (dégager les feuilles, la végétation...) et s'assurer que le ventilateur peut tourner librement sans aucune gêne ;
- Réglage du climatiseur : la différence entre la température extérieure et celle de l'air fourni par votre climatiseur ne doit pas excéder 7/8 °C (Un écart trop grand entre ces deux valeurs peut être à l'origine des troubles de santé que peuvent provoquer les systèmes de climatisation).[22]

**II-2-8 Dimensionnement d'un Climatiseur :**

Et **comprendre** la **différence de puissance** du au double ! simple  
Une formule simple existe à ce sujet [25]

$$( P=G \times V \times \Delta T ) \quad (2-1)$$

**P**= puissance nécessaire du climatiseur

**G**= Vétusté de l'isolation du logement

0.40W/ C°.m3 (excellente Isolation sans ponts thermique)

°/Cm3 Isolation RT 2005 (logement **2007 – 2012**) **0.75W**

0.80W/ C°.m3 Isolation RT 2000 (logement **2001 – 2006**)

0.95W/ C°.m3 (logement **1990 – 2000**)

1.15W/ C°.m3 (logement **1983 – 1989**)

**1.40W**/ C°.m3 (logement **1974 – 1982**)

1.80W/ C°.m3 (Aucune Isolation)

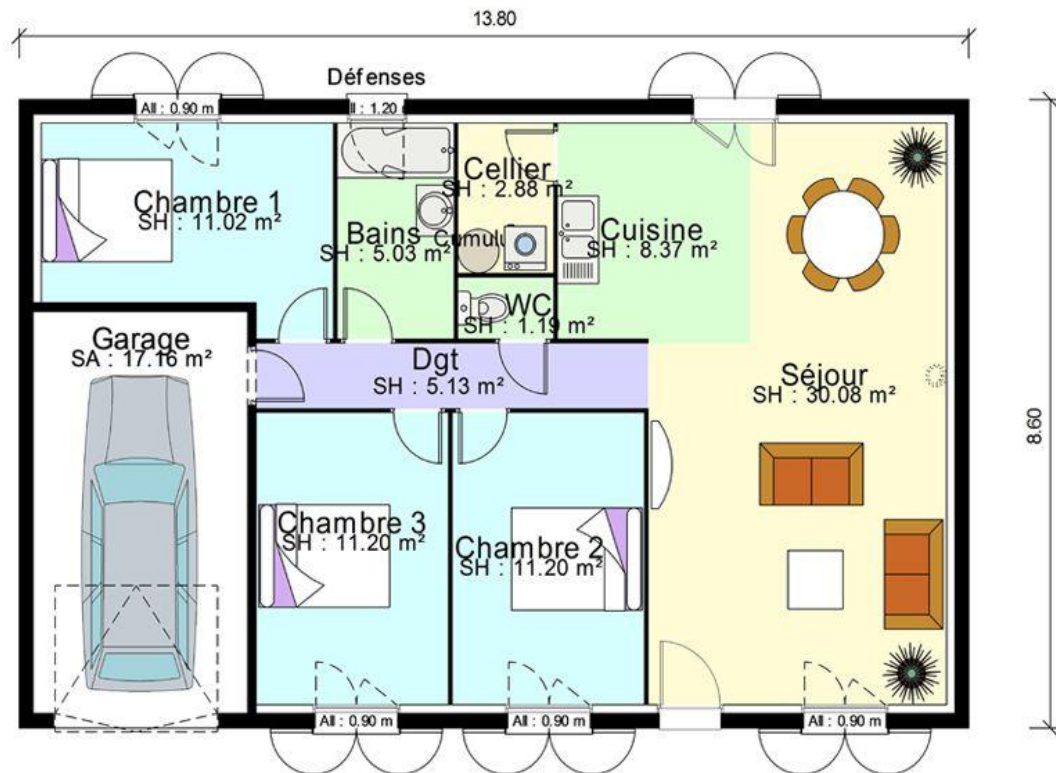
**V**= Volume de la pièce (M3)

(Longueur x largeur x hauteur)

(2-2)

$\Delta T$ = Différence entre **température intérieure souhaitée** et la **température minimum extérieure** pour le calcul chauffage ou maximum pour climatisation

## II-2-8-1 Dimensionnement :



figureII-4:plan de l'appartement.

-température minimale extérieure de  $-10^{\circ}$

-température maximal extérieure de  $40^{\circ}$

-et en température intérieure souhaitée  $21^{\circ}$

Pour Isolation (logement 1974 – 1982)

$$G=1.40W/C^{\circ}.m^3$$

Chambre1 :

Hauteur=2.5 m

pour le calcul chauffage

$$\Delta T=21-(-10)=31^{\circ}$$

(2-3)

$$p = 1.4 * 11.02 * 2.5 * 31 = 1195,67 W$$

(2-4)

En BTU :

$$1W = 3,414 \text{ BTU}$$

$$p = 1537,29 * 3,414 = 4082,01738 \text{ BTU} \quad (2-5)$$

pour le calcul froid :

$$\Delta T = 40 - 21 = 19^\circ \quad (2-6)$$

$$p = 1,4 * 11,02 * 2,5 * 19 = 732,83W = 2501,88162 \text{ BTU} \quad (2-7)$$

Chambre2 et 3 :

$$p = 1,40 * 11,2 * 2,5 * 31 = 1215,2 \text{ W} \quad (2-8)$$

En BTU :

$$p = 1562,4 * 3,414 = 4148,6928 \text{ BTU} \quad (2-9)$$

pour le calcul froid :

$$p = 1,40 * 11,2 * 2,5 * 19 = 744,8 \text{ w} = 2542,7472 \text{ BTU} \quad (2-10)$$

Séjour :

$$p = 1,40 * 30,08 * 2,5 * 31 = 3263,68 \text{ W} \quad (2-11)$$

En BTU :

$$p = 4196,16 * 3,414 = 11142,20352 \text{ BTU} \quad (2-12)$$

pour le calcul froid :

$$p = 1,40 * 30,08 * 2,5 * 19 = 2000,32 \text{ W} = 6829,09248 \text{ BTU} \quad (2-13)$$

Chambre1 :

## **Chapitre II                    Dimensionnement système climatisation d'un appartement**

Utilisé un climatiseur de puissance 7000 BTU réversible inverter

Chambre2 :

Utilisé un climatiseur de puissance 7000 BTU réversible inverter

Séjour :

Utilisé un climatiseur de puissance 12000 BTU réversible inverter

### **Conclusion :**

Nous avons étudié et dimensionner un système de climatisation pour cet appartement qui comprend le nombre et la puissance des climatiseurs nécessaires pour assurer la meilleure climatisation possible en froid et en chaleur

# Chapitre III



## Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

### III-1 Introduction :

Dans le chapitre précédent, nous avons dimensionné un système de climatisation pour un appartement. Dans ce chapitre, nous allons concevoir un système d'énergie renouvelable, (éolienne et photovoltaïque), pour faire fonctionner le système de climatisation de cet appartement.

### III-2 Calcule de la Consommation :

$$1w=3.414 \text{ BTU}$$

$$7000\text{btu}=2050.38\text{W}$$

$$12000\text{btu}=3514.93\text{W}$$

LG DUALCOOL Inverter | Garantie 10 ans | 12 000 BTU | Ioniseur | Chaud & Froid [26]

**Tableau III-1** Caractéristique de climatiseur 12000 BTU

Capacité de refroidissement (Min/Nominale/Max) (kW)	0,88/3,52/3,87
Capacité de refroidissement (Min/Nominale/Max) (Btu/h)	3 000/12 000/13 200
Capacité de chauffage (Min/Nominale/Max) (kW)	0,88/3,52/4,04
Capacité de chauffage (Min/Nominale/Max) (Btu/h)	3 000/12 000/13 800
Débit d'air (intérieur) - Refroidissement, Max/H/M/L (m <sup>3</sup> /min)	12,5/9,3/7,2/2,7
Débit d'air (intérieur) - Chauffage, Max/H/M/L (m <sup>3</sup> /min)	13/10/7/5,5
EER (W/W)	3.24
EER ((Btu/h)/W)	11.06
COP (W/W)	3.61
COP ((Btu/h)/W)	12.31

Calcule de l'énergie électrique consommée :

$$12000 \text{ btu}=3514.93 \text{ W}$$

$$\text{Energie consommé en froid}=3514.93/3.24=1084,85 \text{ W}$$

$$\text{Energie consommé en chauffage} =3514.93/3.61= 973,66 \text{ W}$$

**Marque: Samsung 7000 BTU [27]**

### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

**Tableau III-2** Détails des unités intérieures climatiseur 7000 BTU

Puissance Nominale en refroidissement	2.0KW-7000BTU
Puissance Nominale en chauffage	2.20KW-7500BTU
Volume d'air filtré unité intérieure	540m <sup>3</sup> /h
Niveau sonore unité intérieure à 1 mètre	21dB(A)
Dimensions unité intérieure	820*286*205mm
Poid unité intérieure	9Kg

**Tableau III-3** Détails de l'unité extérieure climatiseur 7000 BTU

Puissance Nominale en refroidissement	4.0KW-13600BTU
Puissance MAX en Refroidissement	6.0KW-20500BTU
Puissance Nominale en chauffage	4.4KW-15000BTU
Puissance MAX en chauffage	7.3KW-24900BTU
Puissance absorbée en refroidissement	1.02KW
Puissance absorbée en chauffage	0.99KW
SEER-classe énergétique saisonnière en froid	6.10-classeA+++
SCOP-classe énergétique saisonnière en chaud	4.0-classeA++
Niveau sonore unité extérieure à 1mètre	47dB(A)
Type de réfrigérant prechargé dans le compresseur	R32
Diamètre de tuyau	¼ er3/8
Longueur Max de tuyau	30m
Dénivelé max possible	15m
Dimensions unité extérieure	790*548*285mm
Poid unité extérieure	41Kg
Température de fonctionnement	15C à +43C

#### III-2-1 Consommation en cas de froid :

**Tableau III-4** Consommation en cas de froid

appareille	Puissance en (w)	Nbr d'appareille	Sum (w)	Nbr d'heures de marche/j	énergie consommé (Wh)/j
Climat 7000btu	1020	3	3060	12	36720
Climat 12000 btu	1084.85	1	1084.85	12	13018,2
		Puissance d'onduleur	4144,85	Consommation quotidienne totale(Wh/j)	49738,2

## Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

### III-2-2 Consommation en cas de chauffage :

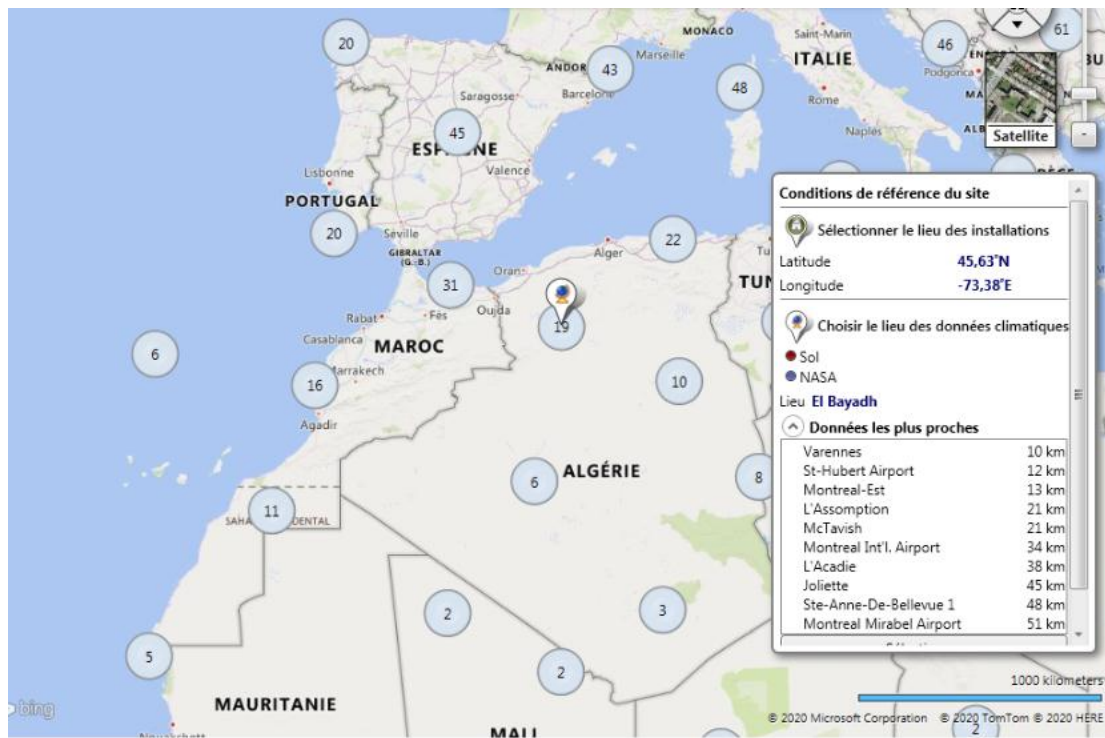
**Tableau III-5** Consommation en cas de chauffage

appareil	Puissance en (w)	Nbr d'appareille	Sum (w)	Nbr d'heures de marche/j	énergie consommé (Wh)/j
Climat 7000btu	990	3	2970	12	35640
Climat 12000 btu	974	1	974	12	11688
		Puissance d'onduleur	3944	Consommation quotidienne totale (wh)	47328

**Max puissance consommé c'est en froid : 4144.85 W**

**Donc puissance d'onduleur doit suivre la puissance max : 4144,85 W en utilise 4500 W**

### III-3 Localisation du lieu :



**FigureIII-1** : Une carte indiquant où étudier (logiciel utilisé RETScreen Expert)

## Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

### III-4 Dimensionnement du système PV et éolienne Chacun séparément :

#### III-4-1 Dimensionnement du système PV :

**Tableau III-6** Caractéristique de système PV

rendement de l'onduleur	0.92
La tension du Système	24
faible jours	3h
profondeur max de décharge	0.8
Capacité de batterie(Ah)	200
Tension des batteries	12
Efficacité du système (Es)	0.85

#### III-4-1-1 Dimensionnement des batteries [28] :

**Consommation quotidienne totale réelle (Ctr):**

$$\text{Ctr} = \frac{\text{Consommation quotidienne totale}}{\text{rendement de l'onduleur}} = \frac{49738,2}{0.92} = \mathbf{54063,26 \text{ Wh}} \quad (3-1)$$

**Calcul de la taille du banc de batteries(w) [TbB(w)]:**

$$\text{TbB(w)} = \frac{\text{Ctr} * \text{faible jours}}{\text{profondeur max de décharge}} = \frac{54063,26 * 0.125}{0.8} = \mathbf{8447,38W} \quad (3-2)$$

**Calcul de la taille du banc de batteries(Ah) [Tbb(Ah)]:**

$$\text{TbB(Ah)} = \frac{\text{TbB(w)}}{\text{Système de volts}} = \frac{8447,38}{24} = \mathbf{351.97 \text{ Ah}} \quad (3-3)$$

**Calculassions nombre de batterie en série :**

$$\text{nombre de batterie en série} = \frac{\text{Système de volts}}{\text{Volts des batteries}} = \frac{24}{12} = \mathbf{2 \text{ batteries en série}} \quad (3-4)$$

**Calculassions nombre group de batterie en série :**

$$\text{nombre group de batterie en série} = \frac{\text{TbB(Ah)}}{\text{Capacité de batterie(Ah)}} = \frac{351.97}{200} = \mathbf{1.75 \approx 2} \quad (3-5)$$

$$\text{nombre de batterie} = 2 * 2 = \mathbf{4 \text{ batterie s}} \quad (3-6)$$

### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

#### III-4-1-2 Dimensionnement des panneaux PV :

Caractéristique de panneaux PV [29]:

Tableau III-7 Caractéristique de panneaux PV

Module	SFM300/SFP300
Pmax	300W
Dimension et nbre de cell	156mm*156mm 72 pcs /6*12
Tolérance	±3%
Vmp	36.25V
Imp	8.28A
Voc	43.8V
Isc	9.10A
Tension de fonctionnement max.	1000v
Diodes	3 by-pass
Dimension	1958mm*992mm*50mm
Poids	24.5Kg
Température de foncti	-40/+85C
Humidité relative	0 à 100%
Résistances	Une bille d'acier de 227 g tombe de 1 m de haut et une vitesse de vent de 60 m / s
Garantie	Pm n'est pas inférieur à 90% en 10 ans et 80% en 25 ans

53,1632110579479

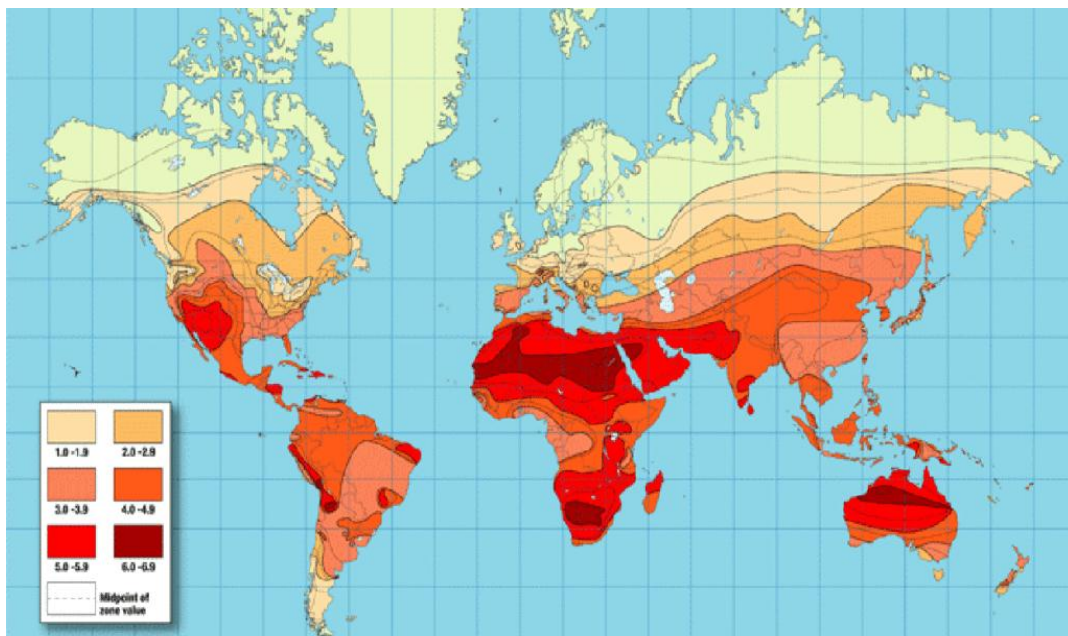


Figure III-2 carte des heures de soleil [30]

### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

Le nombre d'heures d'ensoleillement minimum(Nhm) = 6.5

$$\text{puissance des panneaux solaires} = \frac{C_{tr}}{N_{hm}} / E_s = \frac{54063,26}{6.5} / 0.85 = 9785, \quad (3-7)$$

$$\text{nbr des panneaux solaires} = \frac{\text{puissances des panneaux solaires}}{\text{puissance de panneau solaire}} = \frac{9785,21}{300} = 33 \quad (3-8)$$

#### III-4-1-3 Dimensionnement du Régulateur :

**Taux de sécurité = 1.56**

Courant de régulateur :

**Courant de régulateur** = nbr de panneaux solaire parallèle \* Isc \* Taux de sécurité  
(3-9)

$$\text{Courant de régulateur} = 33 * 9.1 * 1.56 = \mathbf{468,468A} \quad (3-10)$$

Tension de régulateur :

**Tension de régulateur** = nbr de panneaux solaire série \* Voc \* Taux de sécurité

$$\text{Tension de régulateur} = 1 * 43.8 * 1.56 = \mathbf{68,328v} \quad (3-11)$$

**On utilise 8 régulateurs de 60A MPPT**

#### III-4-2 Dimensionnement du système éolien :

##### III-4-2-1 Puissance et énergie d'une éolienne :

La puissance potentielle se calcule en watt (W) ou en kW (1 kW = 1 000 W). L'énergie se calcule en fonction du temps en W-heure (ou kW-h) : 1 kW de puissance délivrée pendant une heure donne 1 kW-h.

Les éléments qui déterminent la puissance de sortie (kW-h produits) d'une éolienne sont [31] :

- la vitesse du vent ;
- le diamètre du rotor ;

### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

- la masse de l'air ;
- le nombre et la forme de pales ;
- le rendement mécanique du rotor vers l'axe de la génératrice ;
- le rendement électrique de la génératrice ;
- la limite de Betz.

#### Puissance éolienne : quelques valeurs

On peut donner un ordre d'idées des puissances potentielles sur différentes éoliennes [31].

- Micro éoliennes : diamètre de rotor de 0,5 à 2 m : de 100 W à 1 kW.
- Petites éoliennes : diamètre de rotor de 2 à 12 m : de 1 kW à 36 kW.
- Moyennes éoliennes : diamètre de 12 à 35 m entre 36 et 350 kW.
- Grandes éoliennes : diamètre de rotor de 35 à 125 m : 350 kW à 5 MW.

Le petit et moyen éolien est adapté à l'équipement de particulier, d'exploitants agricoles, d'entreprises. Les moyennes et grandes éoliennes sont destinées à la production d'électricité pour le réseau.

#### Puissance éolienne de sortie

L'éolienne tire son énergie de l'énergie cinétique du vent. L'énergie cinétique du vent dépend de sa masse et de sa vitesse selon la formule [31] :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \quad (3-12)$$

La masse  $m$  de l'air se nomme  $\rho$ .

Les éoliennes récupèrent cette énergie cinétique en ralentissant le vent dans l'espace déterminé par la surface de leur rotor.

Il faut donc calculer le débit d'air qui passe dans l'éolienne (kg par seconde).

Débit = Vitesse x Surface x  $\rho$ . Celui-ci dépend en effet :

- de la vitesse du vent  $V$  ;
- de la surface  $S$  couverte par les pales (qui forme donc un cercle, soit  $\pi R^2$ ) ;
- de la masse de l'air  $\rho$ .

#### Calcul de puissance

En liant ces deux formules, le calcul de la puissance peut s'exprimer par une formule simplifiée [29] :

### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

$$P = \frac{1}{2} Rho * s * v^3 \quad (3-13)$$

dans laquelle :

- P est la puissance (en W) ;
- S est la surface du cercle de rayon égal à la longueur d'une pale ;
- V est la vitesse du vent (en m/s, c'est-à-dire mètre par seconde) ;
- Rho est la masse volumique (le "poids") de l'air.[31]

#### "Poids" de l'air

La masse de l'air (Rho) peut varier d'environ 20 % en fonction de la température et surtout de l'humidité. Une valeur moyenne de 1,2 kg/m<sup>3</sup> est admise pour le calcul[31].

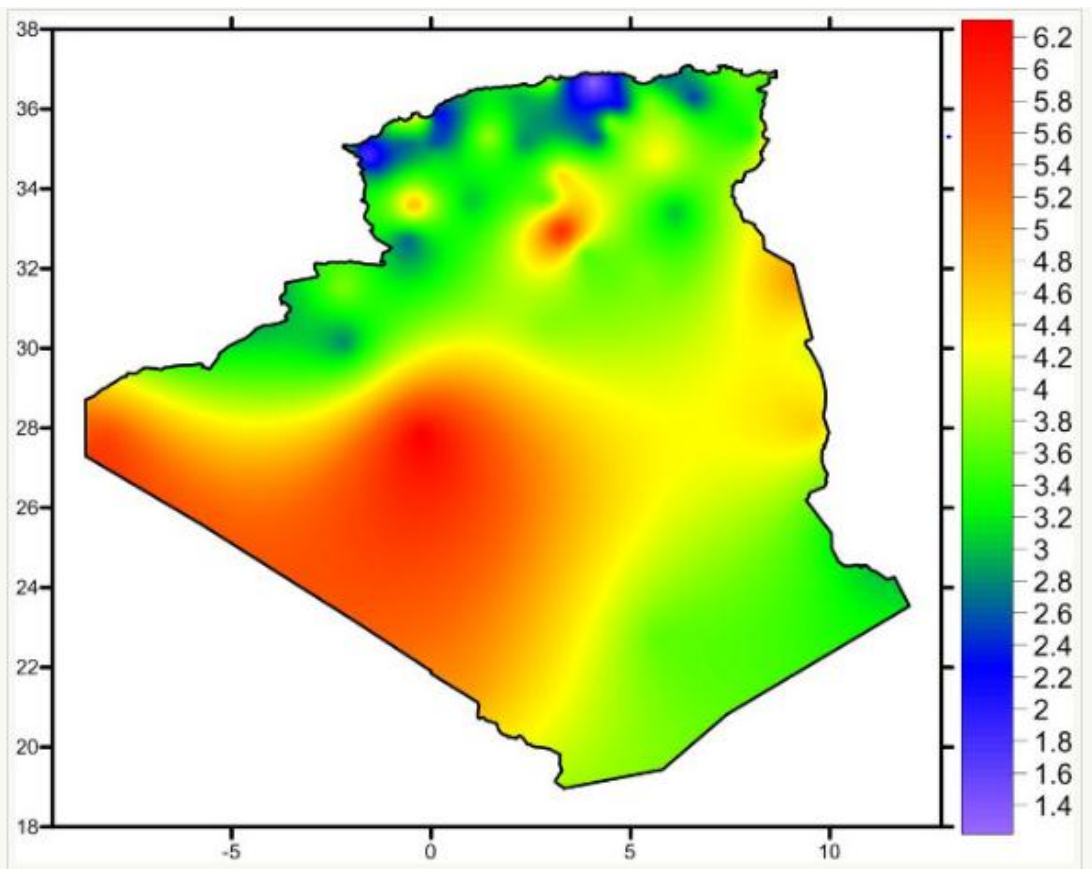


Figure III-3: Carte du gisement éolien en Algérie [32]



### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

#### III-4-2-2 Choix d'éolienne :

$$\text{Energie demandé} = \frac{C_{tr}}{E_s} = \frac{54063.26}{0.85} = 63603,83 \text{ Wh} \quad (3-14)$$

Le nombre d'heures de vent(Nhv)=17h

Calcule de l'énergie d'éolienne

$$\text{puissance d'éoliennedemandé} = \frac{\text{Energie demandé}}{N_{hv}} = \frac{63603,83}{17} = 3741,4 \text{ W} \quad (3-15)$$

**Tableau III-8** Caractéristique de turbine éolienne [33]

HY--2000W paramètre technique			
Puissance nominale(W)	2000	Matériau de la Pales	Plastiques Fiberglass-Reinforced
La vitesse du vent nominale(m/s)	9	Méthode de régulation de vitesse	Adjustable-Pitch de lames
Démarrage de la vitesse du vent(m/s)	2.5	Style du générateur	3-phase AC PM
Travailler la vitesse du vent(m/s)	3~25	La hauteur du pylône (m)	6
A survécu à la vitesse du vent(m/s)	50	Méthode Stop	Sweepback Adjustable-Pitch
Vitesse de rotation nominale (r/min)	360	Machine principale Poids (kg)	130
Diamètre du rotor(m)	4	Tension de fonctionnement(v)	DC48V/240/AC220V

### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

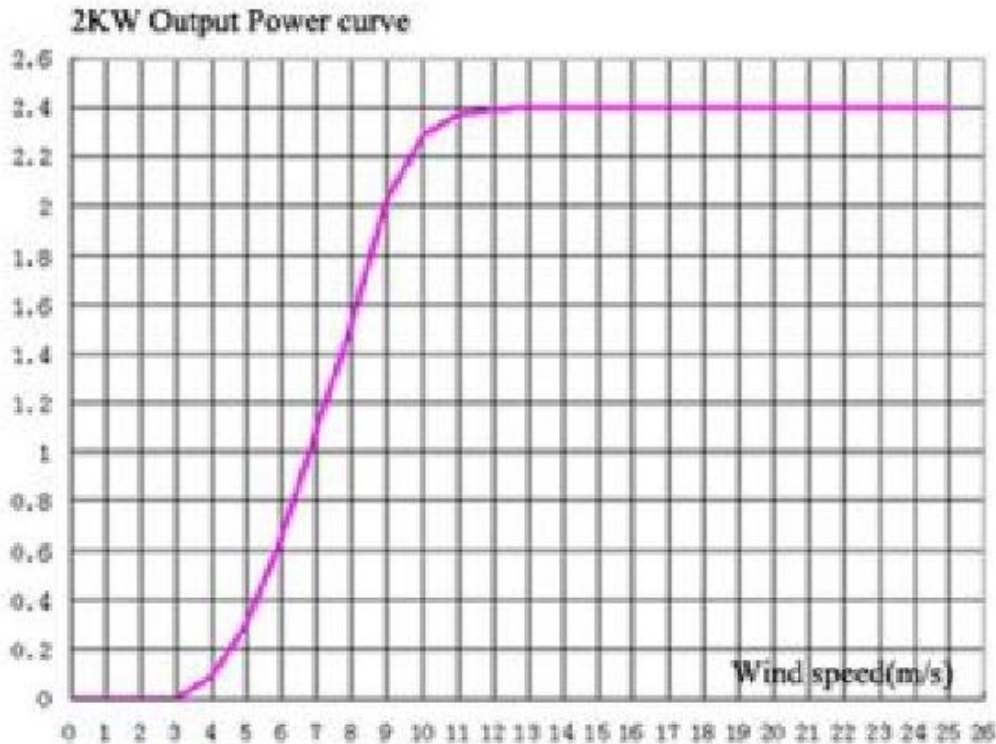


Figure III-4 : courbe typique d'une éolienne [33]

#### III-4-2-3 Nombre d'éolienne demandé :

$$\text{Nbr d'éolienne demandé} = \frac{\text{puissance d'éoliennedemandé}}{\text{puissance d'éolienne}} = \quad (3-16)$$

$$\text{Nbr de éolienne demandé} = \frac{3741,4}{2000} = 1,87 \approx 2 \text{ éoliennes de 2KW}$$

#### III-4-2-4 Nombre et taille de batterie :

**nombre de batterie = 2 batterie de 200 Ah**

#### III-5 Dimensionnement système hybride PV éolienne :

Dans notre cas précis, on s'intéresse aux systèmes de petites puissances qui regroupent deux parties à savoir l'éolienne et les panneaux solaires. Ces deux sources de production de l'énergie passent par un stockage électrochimique (Fig.III.5), et produisent du courant continu facilement convertible en courant alternatif, grâce à

### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

l'intégration d'un onduleur autonome dans le circuit. En couplant ces systèmes et en les associant à un dispositif de stockage de l'énergie, nous aurons alors les avantages suivants [34]:

- Exploitation du système sans interruption;
- Possibilité de préserver le surplus d'énergie produite par ce système;
- Sécurité d'approvisionnement quelles que soient les conditions météorologiques.

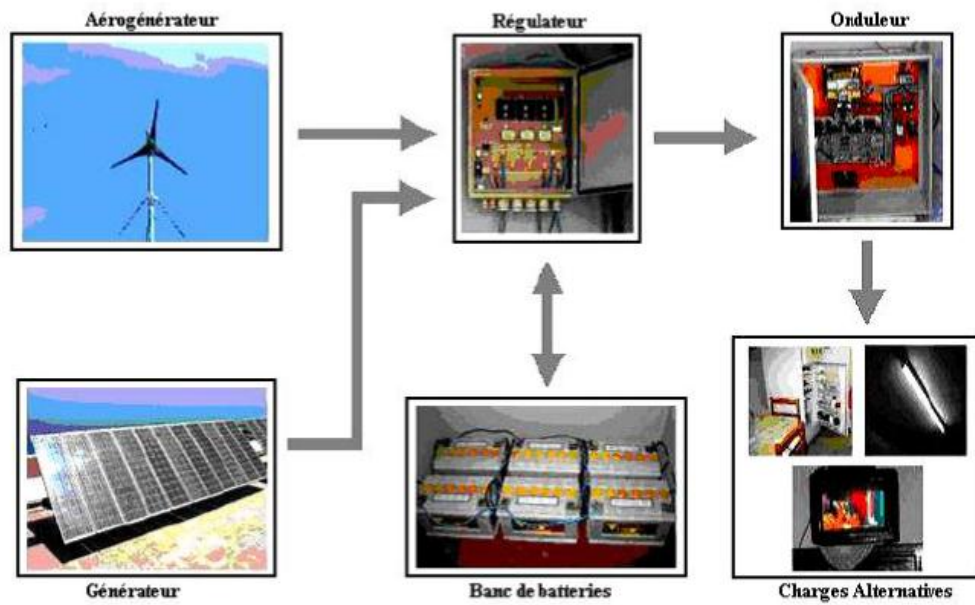


Figure III-5 : Schéma synoptique du système hybride étudié.

#### Système de conversion d'énergie hybride

Ce système est caractérisé par deux sources énergétiques (photovoltaïque et éolienne):  
le générateur photovoltaïque (PV) est connecté à la charge par un convertisseur DC/DC commandé en MPPT (Maximal Power Point Tracking), et la turbine éolienne (WT) entraîne un générateur à aimants permanents (GSAP) qui lui même est connecté à la charge par un convertisseur AC/DC commandé. Le couplage des deux systèmes est fait par l'intermédiaire d'un bus continu, comme l'indique la figure III.6[34]

### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

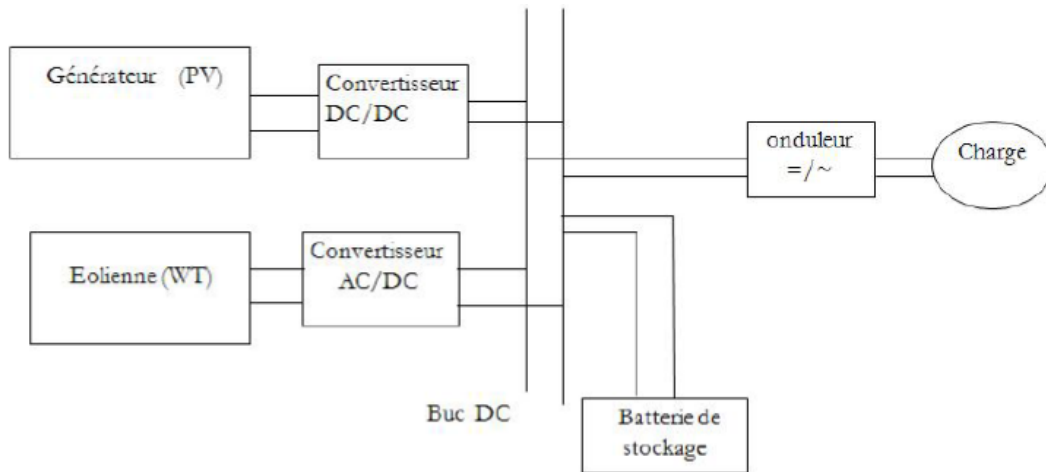


Figure III-6 : Schéma de principe du système hybride photovoltaïque- éolien.

#### III-5-1 Calcule de consommation en cas de système hybride PV-éolienne( Ctrh) :

Nous lierons 50% de la consommation à l'énergie éolienne et les 50% restants à l'énergie photovoltaïque

$$Ctrh = \frac{54063.26}{2} = 24869.1 \text{ Wh} \quad (3-17)$$

#### III-5-2 Dimensionnement des batteries

Le nombre de Batteries c'est le même = 4 batterie de 200 Ah 12V

#### III-5-3 Dimensionnement du système PV :

##### III-5-3-1 Dimensionnement des panneaux solaire :

Le nombre d'heures d'ensoleillement minimum(Nhm) = 6.5

$$\text{puissance des panneaux solaire} = \frac{Ctrh}{Nhm} / E_s = \frac{24869.1}{6.5} / 0.85 = 4501,19 \text{ W} \quad (3-18)$$

$$\text{nbr des panneaux solaires} = \frac{\text{puissances des pannoux solaires}}{\text{puissance de pannoux solaire}} = \frac{4501,19}{300} \approx 15 \quad (3-19)$$

15 panneaux solaires de 300W 24V

##### III-5-3-2 Dimensionnement de régulateur :

Taux de sécurité = 1.56

### Chapitre III Dimensionnement (SH: éolienne-PV) pour climatisé l'appartement

**Courant de régulateur :**

**Courant de régulateur** = nbr de panneaux solaire parallèle \*  $I_{sc}$  \* Taux de sécurité (3-9)

$$\text{Courant de régulateur} = 15 * 9.1 * 1.56 = \mathbf{212,94A} \quad (3-20)$$

**Tension de régulateur :**

**Tension de régulateur** = nbr de panneaux solaire série \*  $V_{oc}$  \* Taux de sécurité

$$\text{Tension de régulateur} = 1 * 43.8 * 1.56 = \mathbf{68,328v} \quad (3-21)$$

**On utilise 4 régulateurs de 60A MPPT**

**III-5-4 Dimensionnement du système éolien :**

**III-5-4-1 Choix d'éolienne :**

$$\text{Energie demandé} = \frac{C_{tr}}{E_s} = \frac{24869.1}{0.85} = 29257,76 \text{ Wh} \quad (3-22)$$

Le nombre d'heures de vent ( $N_{hv}$ ) = 17h

Calcule de l'énergie d'éolienne

$$\text{puissance d'éolienne demandé} = \frac{\text{Energie demandé}}{N_{hv}} = \frac{29257,76}{17} = 1721,04 \text{ W} \quad (3-23)$$

**III-5-4-2 Nombre d'éolienne demandé :**

$$\text{Nbr d'éolienne demandé} = \frac{\text{puissance d'éolienne demandé}}{\text{puissance d'éolienne}} = \quad (3-24)$$

$$\text{Nbr de éolienne demandé} = \frac{1721,04}{2000} = 0,86 \approx 1 \text{ éoliennes de 2KW}$$

**Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons Dimensionné un système d'énergie renouvelable dans le but de relier la climatisation précédemment étudiée de l'appartement, où nous avons Dimensionné un système d'énergie photovoltaïque et l'énergie éolienne séparément, puis un système hybride entre ces deux énergies renouvelables.

# Chapitre IV

### IV-1 Introduction :

Auparavant, nous avons conçu un système de climatisation pour un appartement et nous avons dimensionné un système d'énergie renouvelable pour connecter ce système composé d'un système d'énergie photovoltaïque et de l'énergie éolienne séparément, et nous avons dimensionné un système hybride entre eux, et dans ce chapitre nous simulerons ces deux systèmes avec le programme **Matlab Simulink**

### IV-2 Simulation dans le cas de chaque système séparément

#### IV-2-1 Simulation d'un système PV :

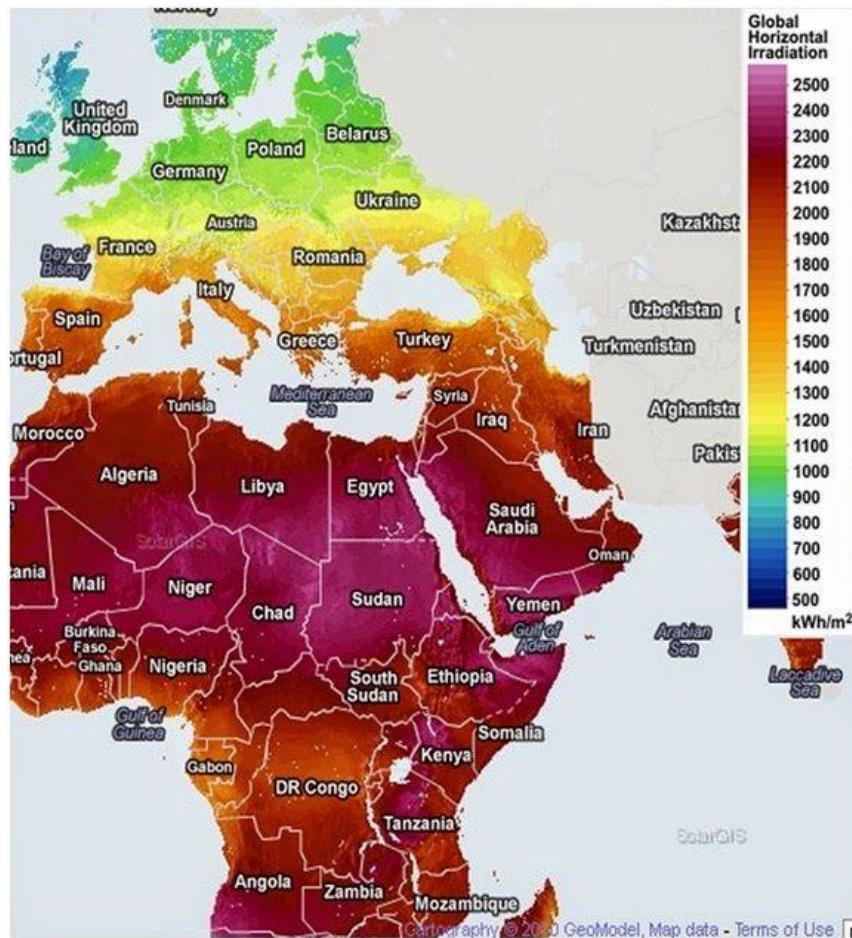


Figure IV-1 : Carte représente l'irradiation solaire [35]

#### IV-2-1-1 Caractéristique :

$N_{pp}=33$ ; % nombre de panneaux photovoltaïques en parallèle

$N_{ss}=1$ ; % nombre de panneaux photovoltaïques en série

$R_s=0.38572$ ;

$R_p=153.5644$ ;

$K_i=0.0024$ ;

$K_v=-0.08$ ;

$T_n=298.15$ ;

$G_n=1000$ ;

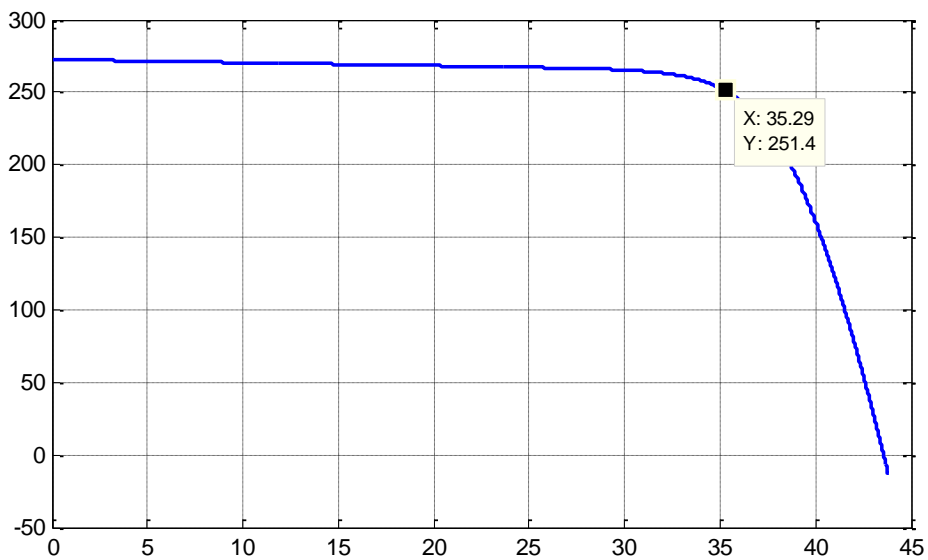
$I_{pvn}=8.28$ ;

Vocn=43.8;  
 Iscn=9.1;  
 Ns=72;  
 A=268.2578758;

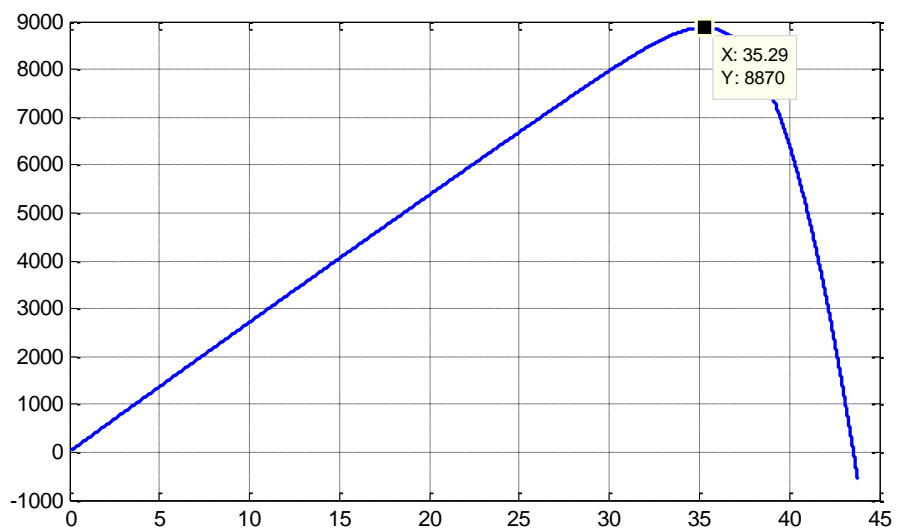
k = 1.3806503e-23; % Boltzmann [J/K]  
 q = 1.60217646e-19; % Charge d'électron [C]

a = 0.97484;

**IV-2-1-2 Simulation on cas Irradiation G=1000W/m<sup>2</sup> :**



**Figure IV-2 :** Courbe (V-I) représente le courant I en fonction de tension V



**Figure IV-3 :** Courbe (V-P) représente la puissance P en fonction de tension V



IV-2-1-3 Simulation on cas Irradiation  $G=2000\text{w/m}^2$  :

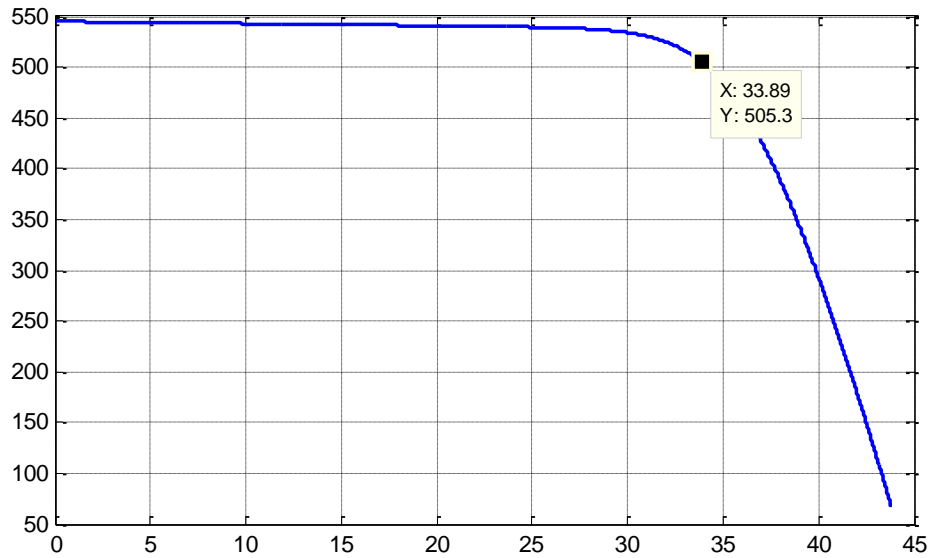


Figure IV-4 : Courbe (V-I) représente le courant I en fonction de tension V

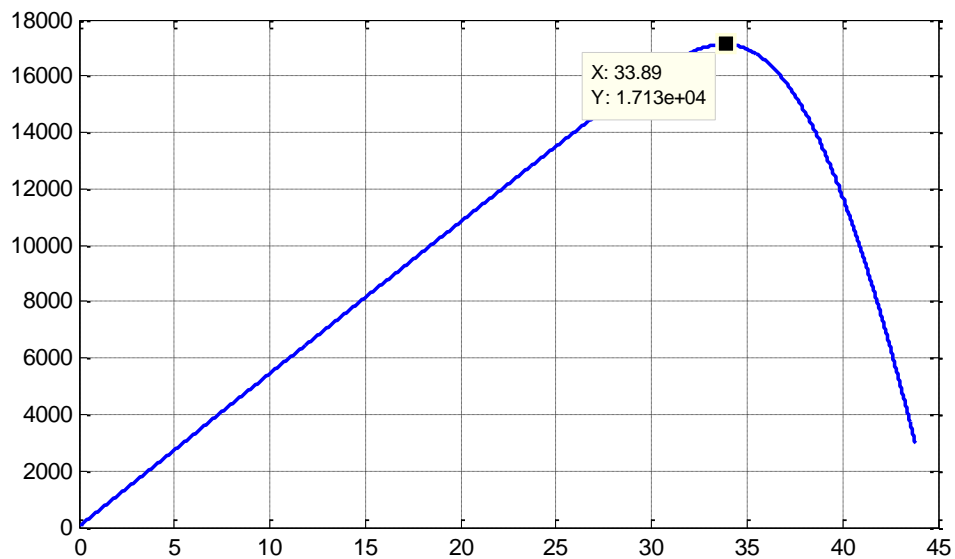


Figure IV-5 : Courbe (V-P) représente la puissance P en fonction de tension V

**IV-2-1-4 Interprétation du résultat :**

- a) On remarque à travers cette simulation en rayonnement solaire estimé à 1000w / m<sup>2</sup> que la puissance maximale produite par ce système est d'environ **8870W** à une tension de **35.29V** et un courant estimé à **251.4A DC**
- b) On remarque à travers cette simulation en rayonnement solaire estimé à 2000w / m<sup>2</sup> que la puissance maximale produite par ce système est d'environ **17130W** à une tension de **33.89V** et un courant estimé à **505.3A DC**

**IV-2-1-5 Comparaison :**

-L'énergie dont nous avons besoin pour ce système est estimée à 54.06326 Kwh.

-Les heures de soleil sont 6.5 h.

Donc Si G=1000w/m<sup>2</sup> en a

L'énergie produite par le système=8870\*6.5= 57655 W

C'est plus que l'énergie dont nous avons besoin pour faire fonctionner le système de climatisation.

**Remarque :**

A travers la carte du rayonnement solaire à travers le monde (Figure IV-1), on constate que le Irradiation solaire en Algérie est estimé à G=2000w / m<sup>2</sup> ou plus.

**IV-2-2 Simulation d'un système éolienne :**

$$C_p(\beta, \lambda) = A_1 \left[ \left( \frac{A_2}{\lambda_i} - A_3 \beta - A_4 \right) e^{\frac{A_5}{\lambda_i}} - A_6 \lambda \right] \quad (4-1)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (4-2)$$

$$A_1 = 0.5; A_2 = 116; A_3 = 0.4; A_4 = 5; A_5 = -21; A_6 = 0.0068$$

$$\text{Puissance de turbine : } P_t = \frac{1}{2} C_p \rho V^3 \quad (4-3)$$

Limite de betz :  $C_p(\beta, \lambda)$

$$\lambda = \frac{\omega_t * R_t}{V} \quad (4-4)$$

$$P_t = \omega_t * C_t \quad (4-5)$$

$$\text{Couple génératrice : } C_g = \frac{1}{G} C_t \quad (4-6)$$

$$\text{Vitesse mécanique : } \omega_{mec} = (C_g - C_{em}) \frac{1}{J_{total} * s + f} \quad (4-7)$$

Vitesse de rotation de turbine :  $\omega_t = \frac{1}{G} \omega_{mec}$  (4-8)

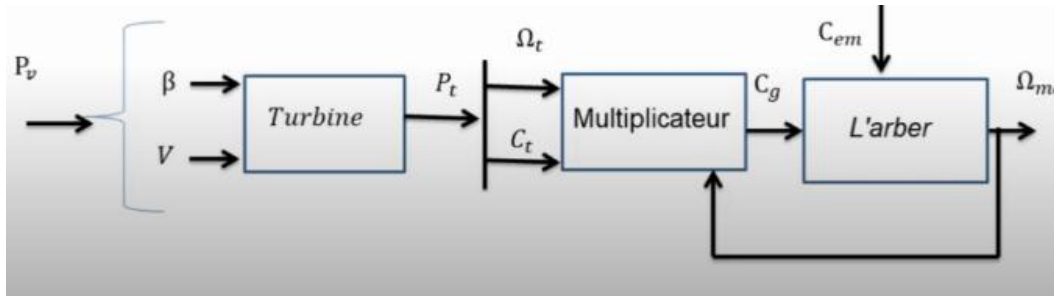


Figure IV-6 : le schéma d'éolienne

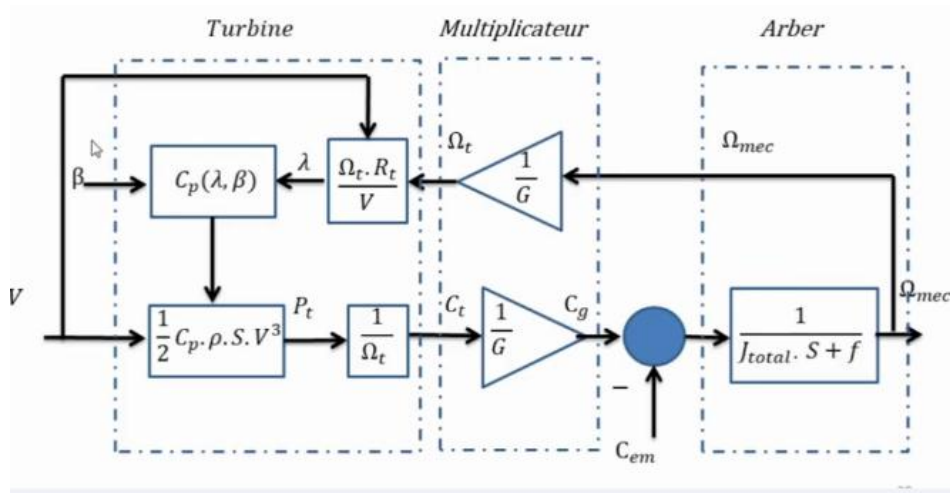


Figure IV-7 : le schéma bloc d'éolienne

**IV-2-2-1 Caractéristique :**

Pour l'angle de pale  $\beta=2$

$\lambda=10$

$C_{pmax}=0.39$

$J=0.21 ; f=0.0001 ; G=6 ; \rho=1.22 ; R_t=1.9 ; \lambda_{opt}=10 ; C_{pmax}=0.39 ; s=\pi \cdot R_t^2$

**IV-2-2-2 Simulation on cas de fixé l'angle de pale  $B=2$  et varier le vitesse de vent (V) :**

a)  $V=4m/s$  :

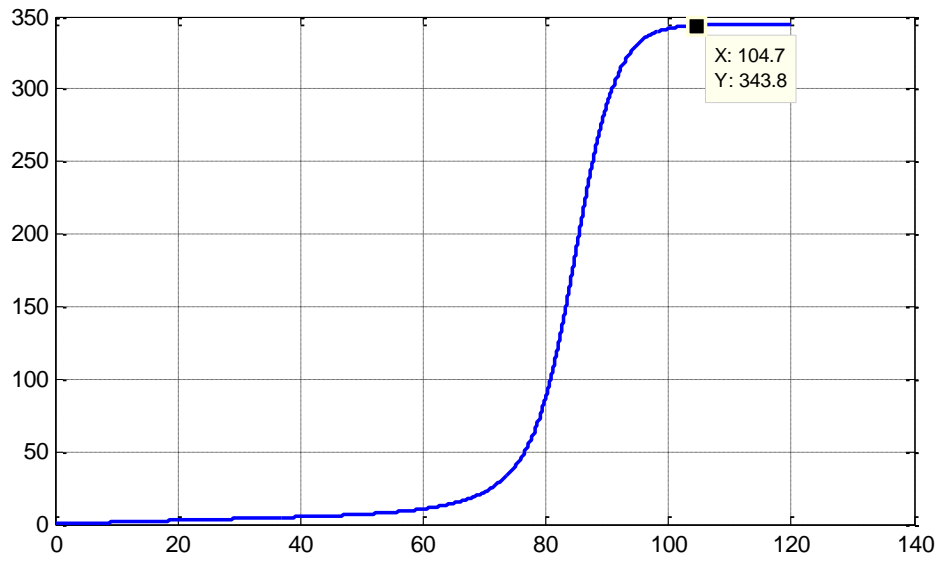


Figure IV-8 : la puissance de turbine en vitesse de vent=4m/s

b)  $V=7\text{m/s}$

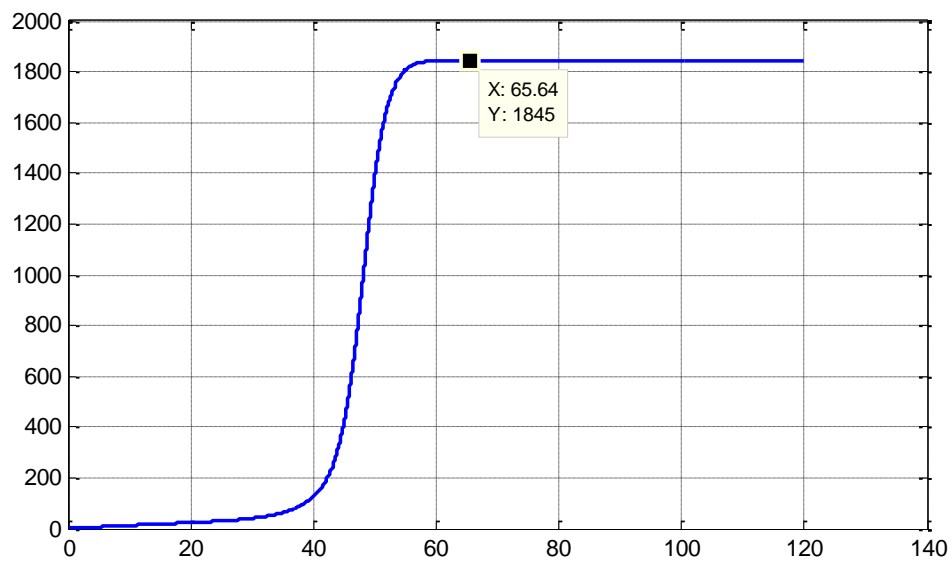


Figure IV-9 : la puissance de turbine en vitesse de vent=7m/s

c)  $V=9\text{m/s}$

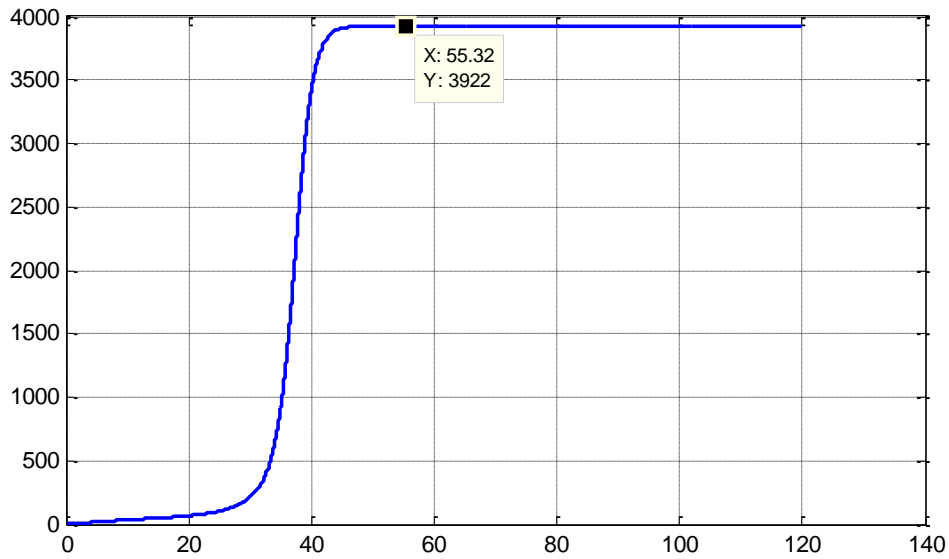


Figure IV-10 : la puissance de turbine en vitesse de vent=9m/s

#### IV-2-2-2-1 Interprétation du résultat :

- a) On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse de vent de **4m / s** que la puissance a commencé à augmenter puis elle a été fixée à une valeur estimée à **343.8 watts**.
- b) On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse de vent de **7m / s** que la puissance a commencé à augmenter puis elle a été fixée à une valeur estimée à **1845 watts**.
- c) On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse de vent de **9m / s** que la puissance a commencé à augmenter puis elle a été fixée à une valeur estimée à **3922 watts**.

#### IV-2-2-3 Simulation on cas de fixé la vitesse de vent a $V=9\text{m/s}$ et varier l'angle de pale(B) :

- a) **B=1:**

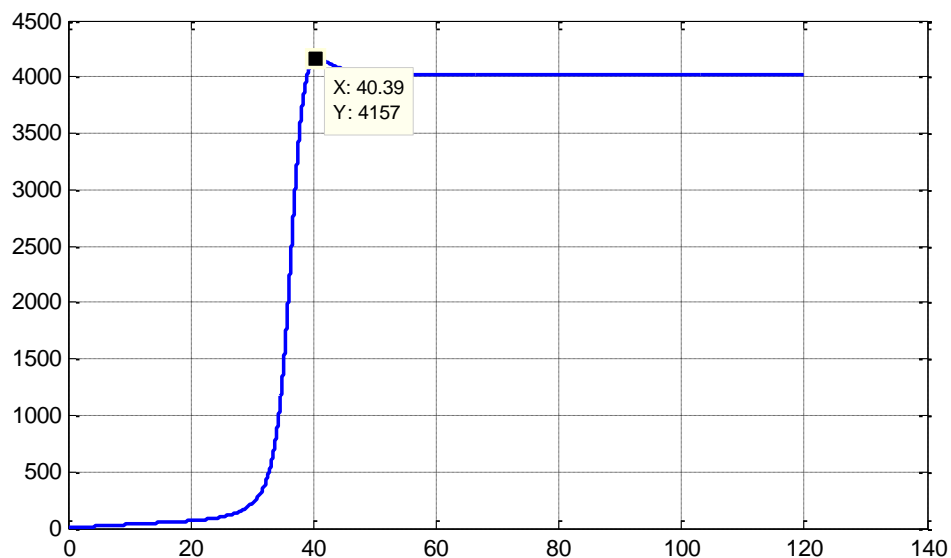


Figure IV-11 : la puissance de turbine en angle de pale B=1

b) B=3:

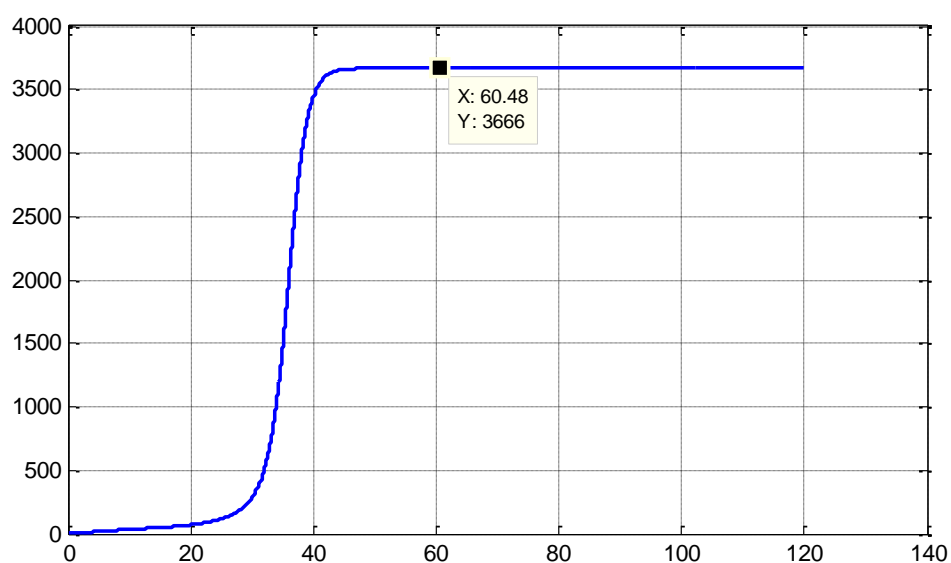


Figure IV-12 : la puissance de turbine en angle de pale B=3

#### IV-2-2-3-1 Interprétation du résultat :

- On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse du vent de **9m/s** et un angle de pale de **B=1** que la puissance a commencé à augmenter jusqu'à atteindre une valeur maximale de **4157 watts** puis s'est stabilisée à une valeur de **4020 watts**.

- b) On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse du vent de **9m/s** et un angle de pale de **B=3** que la puissance a commencé à augmenter jusqu'à atteindre une valeur maximale de **3666 watts** puis s'est stabilisée à cette valeur.

**IV-2-2-4 Comparaison :**

-L'énergie dont nous avons besoin pour ce système est estimée à 54.06326 Kwh.

-Les heures du vent sont 17h.

Et de lui si le vitesse de vent  $V=4\text{m/s}$  et  $B=2$  on a :

L'énergie produite par le système= $343.8*17= 5844,6$  W

Moins que la valeur de l'énergie dont nous avons besoin pour bien faire fonctionner le système

Et si le vitesse de vent  $V=7\text{m/s}$  on a :

L'énergie produite par le système= $1845*17= 31365$  W

Aussi Moins que la valeur de l'énergie dont nous avons besoin pour bien faire fonctionner le système

Et si le vitesse de vent  $V=9\text{m/s}$  on a :

L'énergie produite par le système= $3922*17= 66674$  W

C'est plus que l'énergie dont nous avons besoin pour bien faire fonctionner le système de climatisation

**Remarque :**

La vitesse du vent n'est pas constante pendant les heures de la journée, parfois elle est plus rapide que 9 m/s, et parfois elle est de 4 ou 3m/s, et à partir d'elle l'énergie électrique produite augmente et diminue et son total peut être supérieur, égal ou légèrement inférieur à l'énergie dont nous avons besoin pour faire fonctionner le système.

**IV-3 Simulation d'un système hybride (SH : PV- éolienne) :****IV-3-1 Système PV:****IV-3-1-1 Simulation on cas Irradiation= $1000\text{w/m}^2$  :**

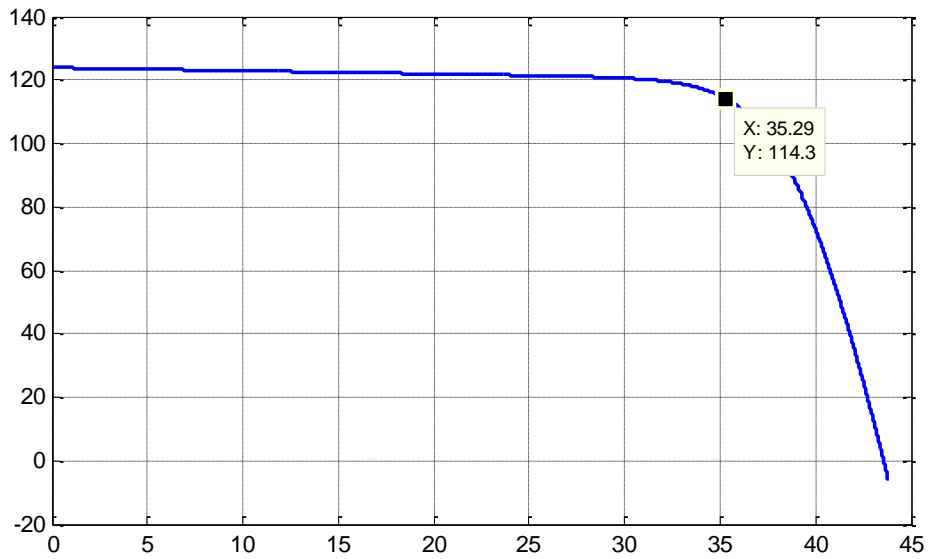


Figure IV -13: Courbe (V-I) représente le courant I en fonction de tension V

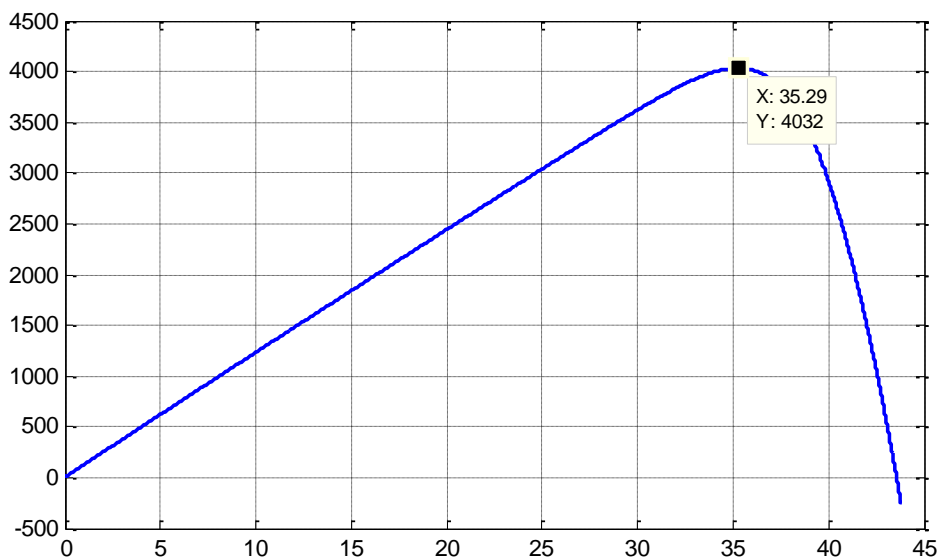


Figure IV-14 : Courbe (V-P) représente la puissance P en fonction de tension V

On remarque à travers cette simulation en rayonnement solaire estimé à  $1000\text{w} / \text{m}^2$  que la puissance maximale produite par ce système est d'environ **4032W** à une tension de **35.29V** et un courant estimé **114.3 A DC**

**IV-3-1-2 Simulation on cas Irradiation=2000w/m<sup>2</sup> :**



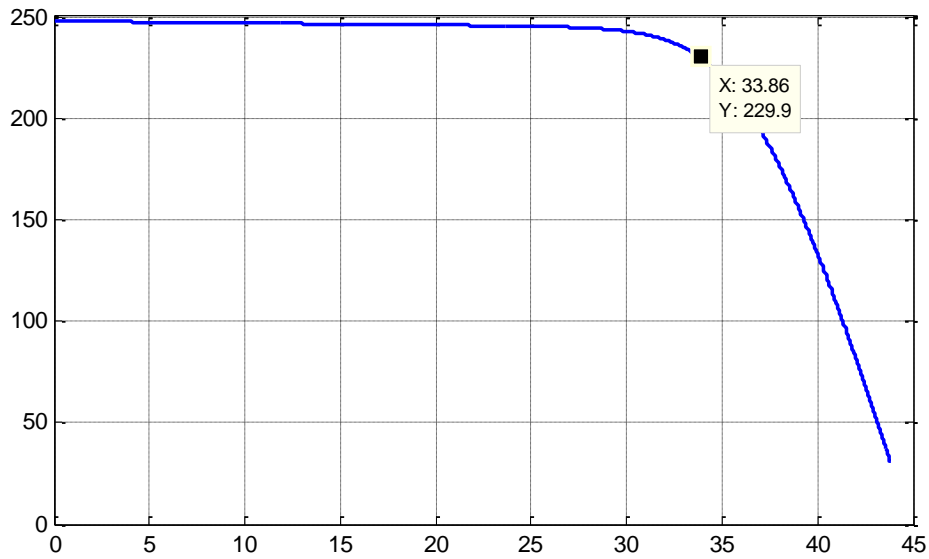


Figure IV-15 : Courbe (V-I) représente le courant I en fonction de tension V

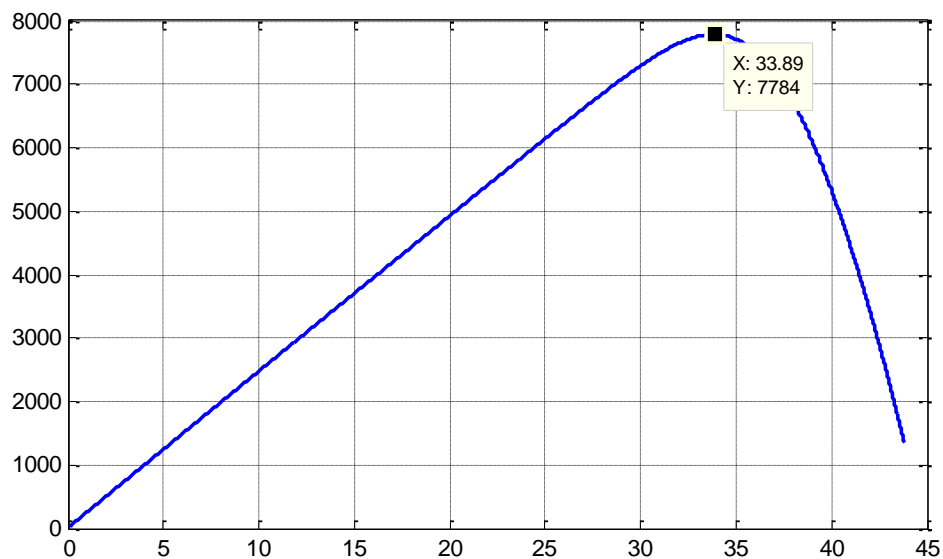


Figure IV-16 : Courbe (V-P) représente la puissance P en fonction de tension V

On remarque à travers cette simulation en rayonnement solaire estimé à 2000w / m<sup>2</sup> que la puissance maximale produite par ce système est d'environ **7784 W** à une tension de **33.89V** et un courant estimé **229.9 A DC**

IV-3-2 Système éolienne :

IV-3-2-1 Simulation on cas de fixé l'angle de pale  $B=2$  et varier la vitesse de vent (V) :

a)  $V=4\text{m/s}$

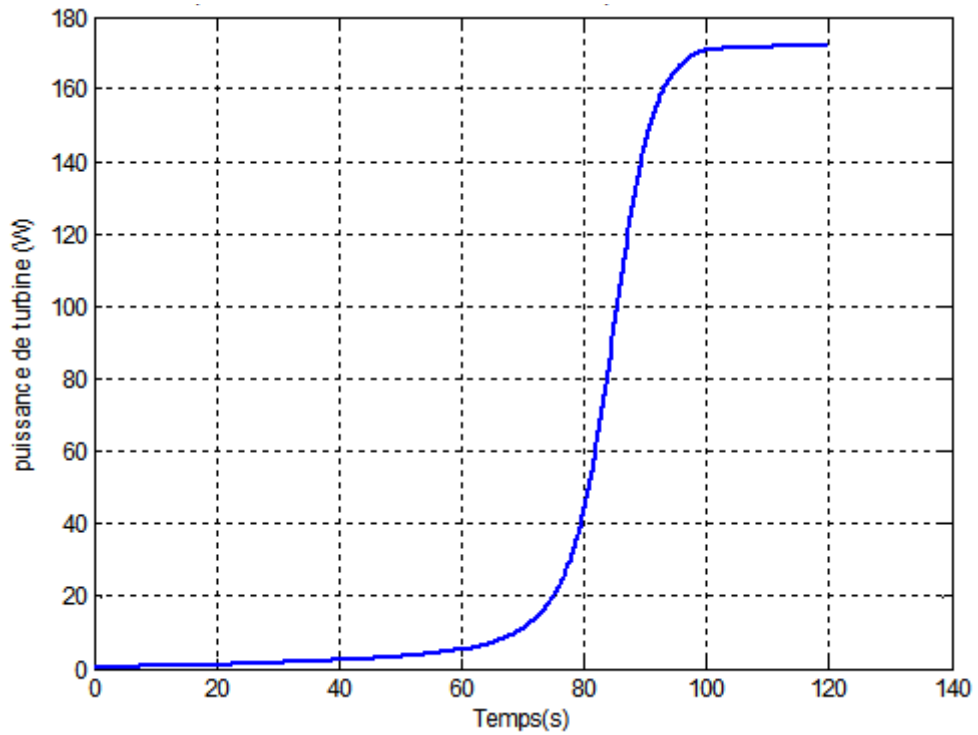


Figure IV-17 : la puissance de turbine en vitesse de vent=4m/s

b)  $V=7\text{m/s}$

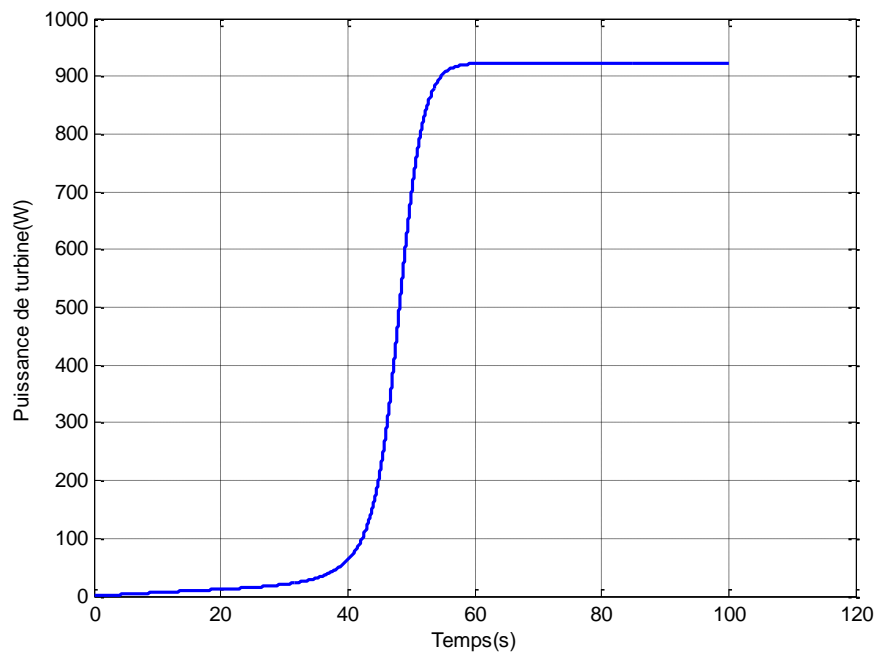


Figure IV-18 : la puissance de turbine en vitesse de vent=7m/s

•  $V=9\text{m/s}$

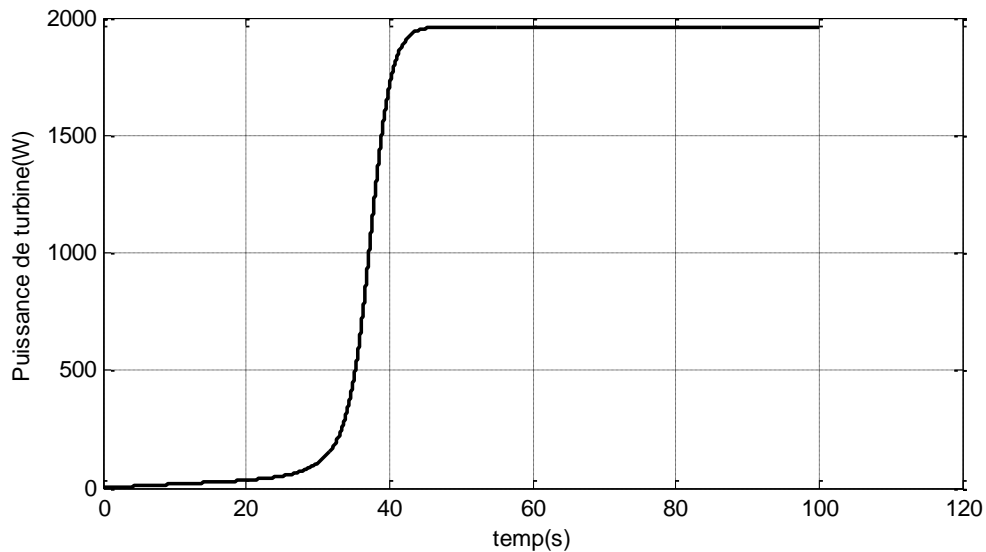


Figure IV-19 : la puissance de turbine en de vent=9m/s

#### IV-3-2-1-1 Interprétation du résultat :

- On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse de vent de **4m / s** que la puissance a commencé à augmenter puis elle a été fixée à une valeur estimée à **175 watts**.
- On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse de vent de **7m / s** que la puissance a commencé à augmenter puis elle a été fixée à une valeur estimée à **925 watts**.
- On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse de vent de **9m / s** que la puissance a commencé à augmenter puis elle a été fixée à une valeur estimée à **2000 watts**.

#### IV-3-2-2 Simulation on cas de fixé la vitesse de vent a $V=9m/s$ et varier l'angle de pale(B) :

- B=1:**

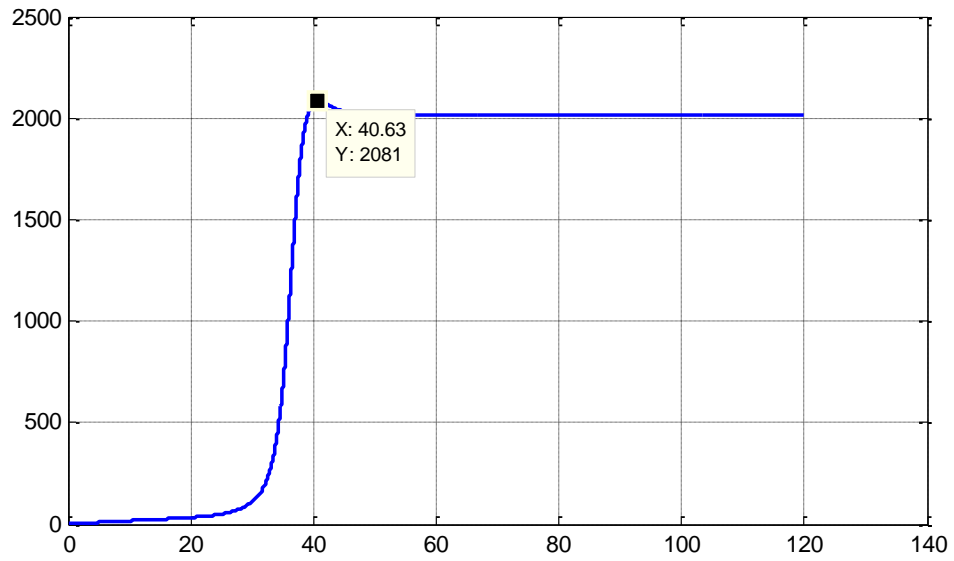


Figure IV-20 : la puissance de turbine en angle de pale B=1

b) B=3:

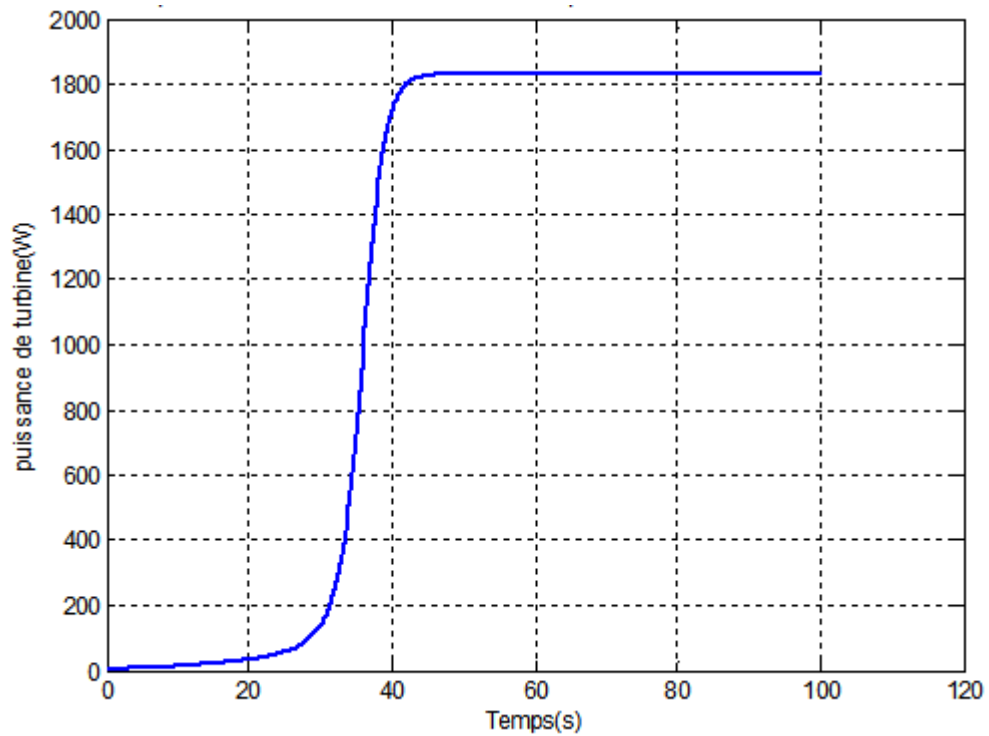


Figure IV-21 : la puissance de turbine en angle de pale B=3

**IV-3-2-2-1 Interprétation du résultat :**

- a) On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse du vent de **9m/s** et un angle de pale de **B=1** que la puissance a commencé à augmenter jusqu'à atteindre une valeur maximale de **2081 watts** puis s'est stabilisée à une valeur de **2000 watts**.
- b) On remarque à travers la courbe issue de la simulation à une vitesse du vent de **9m/s** et un angle de pale de **B=3** que la puissance a commencé à augmenter jusqu'à atteindre une valeur maximale de **1825 watts** puis s'est stabilisée à cette valeur.

**IV-3-3 Comparaison :**

-L'énergie dont nous avons besoin de chaque système est **24869,1 Wh**

-Les heures de soleil sont 6.5 h.

-Les heures du vent sont 17h.

**IV-3-3-1 système PV :**

Après les résultats de la simulation

Si l'irradiation **G=1000w/m<sup>2</sup>** on a la puissance produite=**4032 W**

Donc l'Énergie produite= $4032 \times 6.5 = 26208 \text{ Wh} > 24869,1 \text{ Wh}$

**IV-3-3-2 système éolienne :**

-Si la vitesse de vent  $V=4\text{m/s}$  et  $B=2$  on a :

La puissance produite=**175 W**

Donc l'Énergie produite= $175 \times 17 = 2975 \text{ Wh} < 24869,1 \text{ Wh}$

-Si la vitesse de vent  $V=7\text{m/s}$  et  $B=2$  on a :

La puissance produite=**925 W**

Donc l'Énergie produite= $925 \times 17 = 15725 \text{ Wh} < 24869,1 \text{ Wh}$

-Si la vitesse de vent  $V=9\text{m/s}$  et  $B=2$  on a :

La puissance produite=**2000 W**

Donc l'Énergie produite= $2000 \times 17 = 34000 \text{ Wh} > 24869,1 \text{ Wh}$

La vitesse de vent pour meilleur fonctionnement de système est  $>$  à **7m/s**

**Conclusion :**

D'après les résultats de cette simulation et des études précédentes, il apparaît que le système PV est meilleur par rapport au système éolien, et il apparaît que le système hybride entre les deux énergies est le meilleur par rapport aux deux énergies séparément. Parce que chacun de ces deux systèmes a des avantages et des inconvénients, et dans le système hybride, chaque système couvre les défauts de l'autre système, par exemple lorsque le soleil est absent, il y a du vent.

# Conclusion générale

## Conclusion générale :

Grâce à ce travail, nous avons conclu que les énergies renouvelables ont une grande importance, d'innombrables avantages et inconvénients, mais elles ne dépassent pas ses avantages. Les types d'énergie renouvelable les plus connus et les plus répandus sont l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque.

À travers l'étude, le dimensionnement et la simulation que nous avons faite, nous concluons que le système PV est plus efficace que l'énergie éolienne, en particulier dans la zone étudiée, et le mieux était de combiner ces deux sources d'énergie dans un système hybride car l'énergie PV a une heure précise car elle ne fonctionne pas la nuit et par temps nuageux Ce défaut est couvert par l'énergie éolienne.

Grâce à l'étude et à la dimensionnement du système de climatisation de l'appartement, nous sommes arrivés à plusieurs choses, dont le plus important est que la meilleure performance du système de climatisation est une bonne isolation de l'endroit à climatiser, et cela ne consomme pas beaucoup d'énergie, et la deuxième chose est de choisir le bon climatiseur pour le lieu, L'utilisation d'un climatiseur d'une capacité supérieure à celle nécessaire est une charge pour le système et non un avantage.

Investir dans le domaine des énergies renouvelables est un investissement prometteur qui génère de nombreux avantages économiques et environnementaux, bien que cet investissement soit confronté à de nombreuses difficultés, mais ses résultats méritent davantage d'efforts au profit de toute l'humanité.

Le système de climatisation est devenu une nécessité de la vie et nécessite plus d'études pour le développer, d'autant plus qu'il consomme beaucoup d'énergie, il est donc impératif d'étudier la possibilité de le relier aux énergies renouvelables.



# Référence Bibliographie :

- [1] Global Energy Assessment - Toward a Sustainable Future, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, GEA, 2012.
- [2] Ahmed A., A. Hafez, "Autonomous Photovoltaic Water Pumping System" Journal of Electrical Engineering 2012; 12: 1-6.
- [3] M. A. Elgendy, B. Zahawi, and D. J. Atkinson, "Comparison of directly connected and constant voltage controlled photovoltaic pumping systems," Sustainable Energy, IEEE Transactions 2010; 1:184-192.
- [4] L. C. Spencer, "A comprehensive review of small solar-powered heat engines," Part 1. A history of solar powered devices up to 1950. Solar Energy 1989;43: 191-196
- [5] Brett G. Ziter, "Electric Wind Pumping for Meeting Off-Grid Community Water Demands," University of Guelph, School of Engineering. Guelph Engineering Journal, (2),14 - 23 . ISSN: 1916-1107. ©2009.
- [6] Smulders PT, "Jongh J. Wind water pumping: status, prospects and barriers," Renewable Energy 1994; 5:587-594
- [7] Ramadhas AS, Jayaraj S, Muraleedharan C, "Power generation using coir-pith and wood derived producer gas in diesel engines," Fuel Processing Technology 2006; 87:849-853.
- [8] J. L. Bernal-Agustin, R. Dufo-Lopez, J. a Dominguez-Navarro, and J. M. YustaLoyo, "Optimal Design of a PV -Wind system for water pumping," Int. Conf, pp. 1- 6, 2008.
- [9] M. Turki, J. Belhadj and X. Roboam, "Water / Energy management approaches of an autonomous water desalination unit fed by a hybrid (Photovoltaic-Wind) system," International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb 2014; 1-8.
- [10] H. Ibrahim, A. Ilinca and I. Perron, Investigations des différentes alternatives renouvelables et hybrides pour l'électrification des sites isolés, Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne LREE-03-Septembre 2008.
- [11] Énergie éolienne, Théorie, conception et calcul pratique des installations, Désiré Le Gourières, Edition EYROLLES, 1980.
- [12] N. Laverdure, D. Roye, S. Bacha, R. Belhomme, "Technologie des systèmes éoliens – intégration dans les réseaux électriques", la Revue 3EL, no. 39, 2004
- [13] <http://oooxygene.alwaysdata.net/eolienne.html>
- [14] C.Boris et G. Christophe « Énergie éolienne, fonctionnement, contraintes et perspective sur l'avenir <http://membres.lycos.fr/tipemaster/TIPE/Eole.html>
- [15] C. Benoudjit « étude pour la conception d'un banc d'essais pour énergie éolienne » : thèse de magistère de l'université de Batna, juin 2004
- [16] Nicolas LAVERDURE « Sur l'intégration des générateurs éoliens dans les réseaux faibles ou Insulaires » thèse de doctorat de L'INPG Spécialité Génie Electrique Institut national Polytechnique de décembre 2005
- [17] Dr. BELAID LALOUNI Sofia Maître de Conférences Classe B Cours Énergie Solaire Photovoltaïque 2014/2015
- [18] Lalouni. Optimisation de la qualité d'énergie électrique dans le cas d'un chargeur de batterie, Mémoire de magister, Université de Bejaia, 2005

## Référence Bibliographie

[19] K.Nishioka, N.Sakitani, K.Kurobe, Y.Yamamoto. Y.Ishikawa ,Y.Uraoka, T.Fuyuki, Analysis of the temperature characteristics in polycrystalline Si solar cells using modified equivalent circuit model, Journal Appliqué de physique, vol. 42, pp: 7175-7179,2003.

[20] Lalouni Sofia, Etude, commande et simulation d'une chaîne hybride (photovoltaïque-éolienne) de production d'énergie électrique, Thèse de Doctorat en Science, université de Bejaia, 2009

[21] S. Diaf, M. Haddadi et M. Belhamel, ' Analyse technico économique d'un système hybride (photovoltaïque/éolien) autonome pour le site d'Adrar', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 9, N°3, pp 127 – 134, 2006..

[22] <https://www.avenuedesspecialistes.com/100-questions-sur-la-climatisation,fr,8,70.cfm#88>

[23] <http://www.cybat-plombierparis.com/nos-metiers/entreprise-climatisation-a-paris-val-de-marne/clim-reversible-climatisation/>

---

[24] <https://www.meilleur-artisan.com/discussion/difference-entre-watt-et-btu-en-climatisation.19719.html>

[25] <https://www.clim-pretaposer.com/site/medias/Dimensionnement-climatiseur.pdf>

[26] <https://www.lg.com/dz/climatiseurs-residentiels/lg-DSP12ALG>

---

[27] [http://www.europeaneshop.com/index.php?main\\_page=product\\_info&products\\_id=325&language=fr](http://www.europeaneshop.com/index.php?main_page=product_info&products_id=325&language=fr)

[28] <http://energie-developpement.blogspot.com/2012/01/photovoltaique-batteries-capacite.html>

[29] <https://ar.aliexpress.com/item>

[30] <https://www.pinterest.com/pin/847310117367546811/>

[31] <https://eolienne.ooreka.fr/astuce/voir/385527/mini-eolienne>

[32] <https://www.cder.dz/spip.php?article1446>

[33] [https://fr.made-in-china.com/co\\_xindaenergy/product\\_2kw-Variable-Pitch-Electric-Wind-Turbine-Power-Electric-Generator-for-Home\\_euuyusng.html](https://fr.made-in-china.com/co_xindaenergy/product_2kw-Variable-Pitch-Electric-Wind-Turbine-Power-Electric-Generator-for-Home_euuyusng.html)

[34] ferrah-billel Etude d'un système Hybride (photovoltaïque –éolien)- MEMOIRE master université Annaba Année : 2014/2015

[35] <https://www.pinterest.com/pin/626492998138123213/>

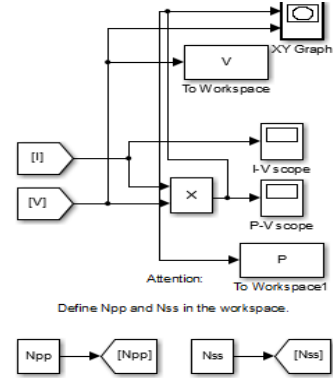
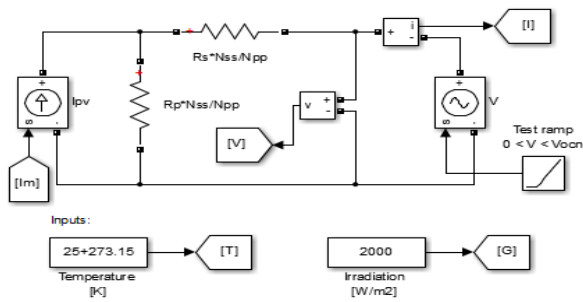
## Référence Bibliographique

[36] SIMULINK solar array model - Author: Marcelo G. Villalva - mvillalva@gmail.com - may / 2009. SIMULINK solar array model - Modified by: Saad Motahhir saad.motahhir@usmba.ac.ma - may / 2015

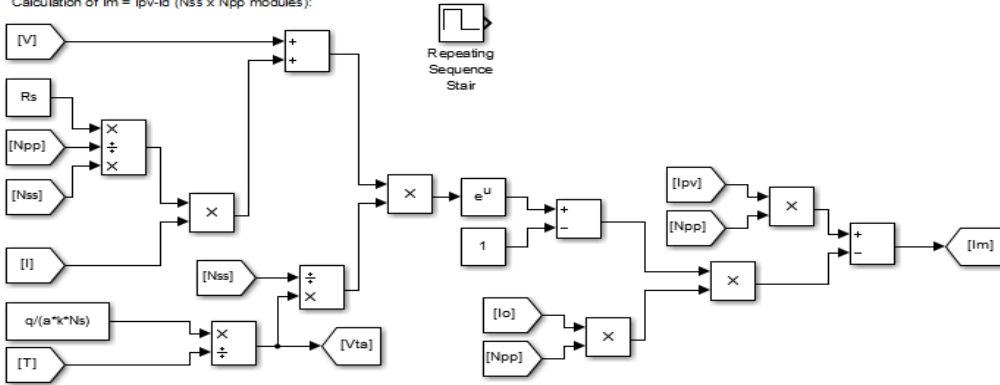
# Annexes

## Modèle Simulink de PV [36]

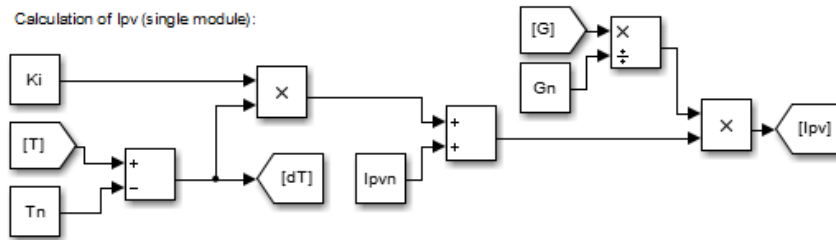
Discrete,  
Ts = 0.0001 s.  
powergui



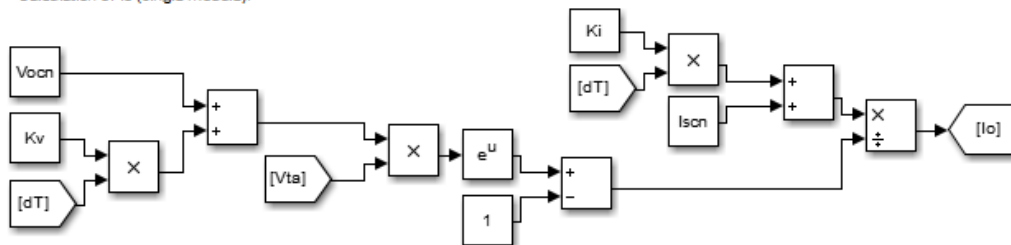
Calculation of  $I_m = I_{pv} - I_d$  ( $N_{ss} \times N_{pp}$  modules):



Calculation of  $I_{pv}$  (single module):



Calculation of  $I_o$  (single module):



## Annexes

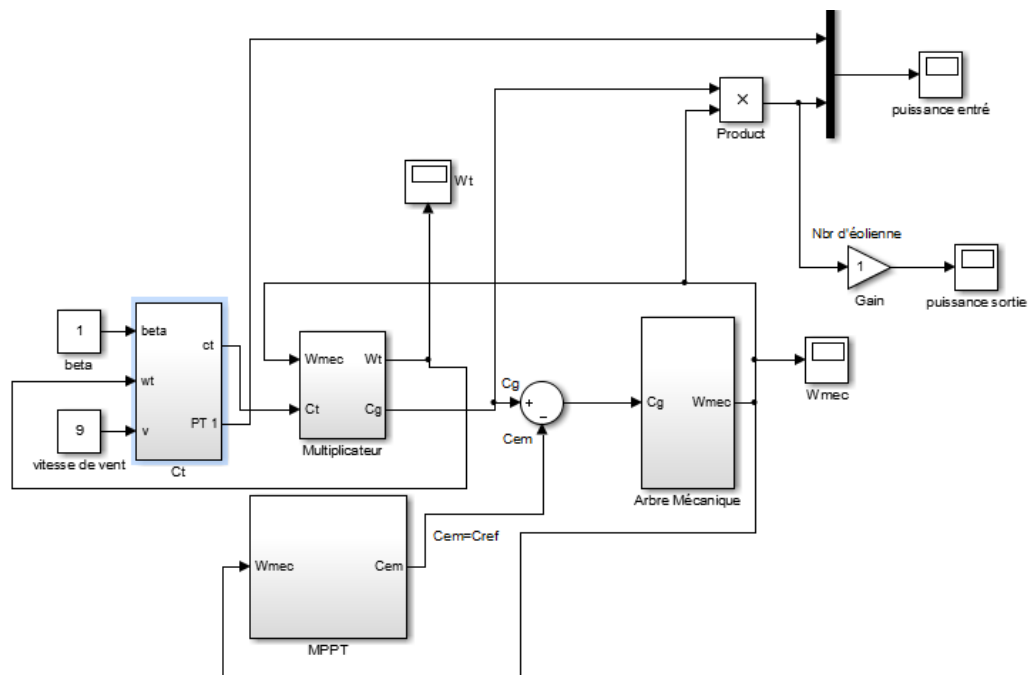
### Le programme Matlab :

```
Npp=33; % number of PV panels in parallel
Nss=1; % number of PV panels in series
Rs=0.38572;
Rp=153.5644;
Ki=0.0024;
Kv=-0.08;
Tn=298.15;
Gn=1000;
Ipvn=8.28;
Vocn=43.8;
Iscn=9.1;
Ns=72;
A=268.2578758;
```

```
k = 1.3806503e-23; %Boltzmann [J/K]
q = 1.60217646e-19; %Electron charge [C]
```

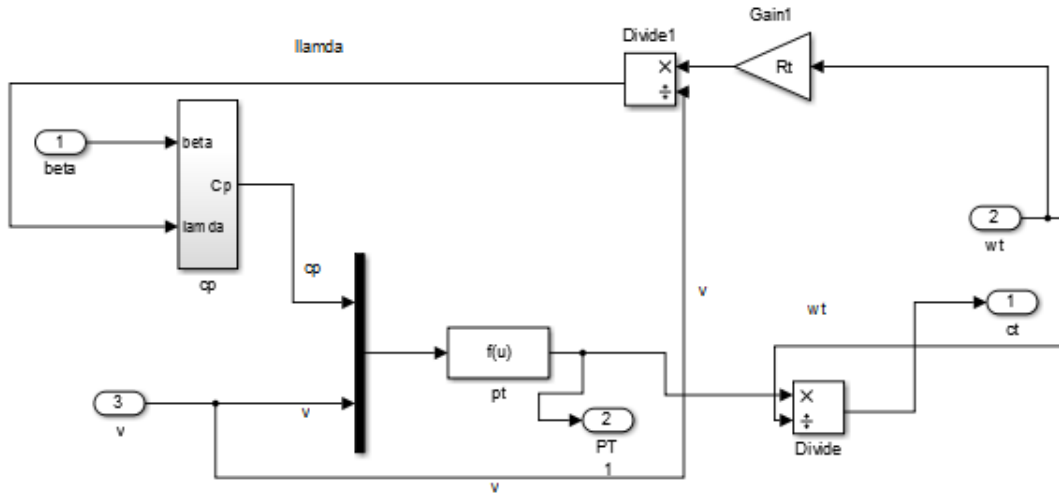
```
a = 0.97484;
```

### Modèle Simulink de d'éolienne :

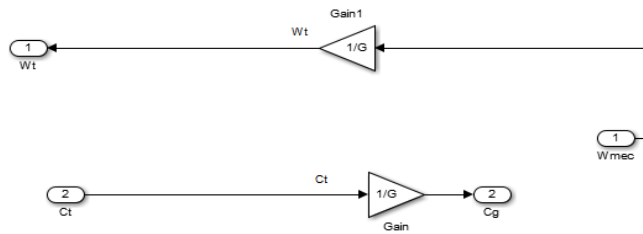


Ct :

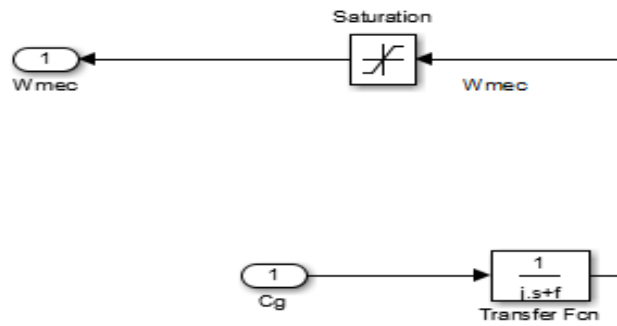
# Annexes



## Multiplicateur :



## Arbre Mécanique :



## MPPT :

