



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université Amar Telidji- Laghouat**

**FACULTE : Technologie**

**DEPARTEMENT : Electrotechnique**

**MEMOIRE DE MASTER**

**Présenté par : BELMEHDI Ilyas**

**BENDAHAM Mustapha**

**DOMAINE : Sciences et Technologies**

**FILIERE : Electrotechnique**

**OPTION : Electrotechnique Industrielle**

**Thème**

Etude technique des mécanismes d'un  
système hybride éolien-solaire destiné  
à l'éclairage public

Jury de soutenance :

<b>Nom et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
SAROUTE Mohamed	MAA	Président
BOUCHIBA OumElkheir	MCB	Examineur
MAHDJoubi Abdelhalim	MCA	Rapporteur

**Promotion : 2021-2022**

Nous remercions **ALLAH**  
tout puissant de nous avoir donné la santé,  
le courage et la patience de mener à terme ce présent travail.



Nos remerciements  
s'adressent à notre encadreur

**Dr. MAHDJOUBI Abdelhalim**

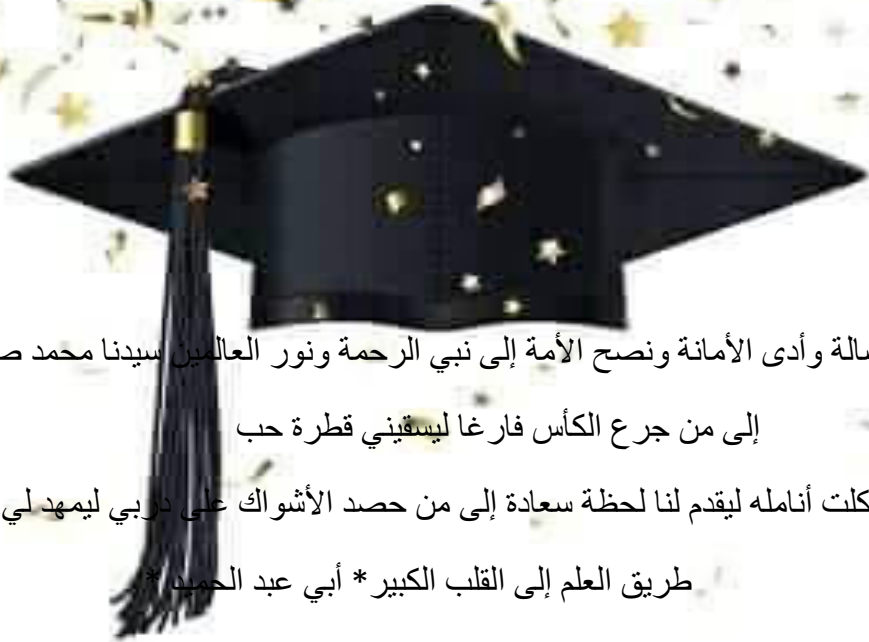
pour son soutien,  
ses compétences et ses conseils.

Nous tenons à remercier tous les membres de jury de  
soutenance **Mr. SAROUTE Mohamed**

**Mme. BOUCHIBA Omelkheir**

Un grand merci aussi à toutes les personnes  
qui ne sont pas citées et  
qui ont néanmoins contribuées à ce travail.

الهي لا يطيب الليل إلا بشكرك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك.. ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك.. ولا تطيب الآخرة  
إلا بعفوك.. ولا تطيب الجنة إلا برويتك  
" الله جل جلاله "



إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ونصح الأمة إلى نبي الرحمة ونور العالمين سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم  
إلى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة حب  
إلى من كلت أنامله ليقدم لنا لحظة سعادة إلى من حصد الأشواك على دربي ليمهد لي ويسهل لي  
طريق العلم إلى القلب الكبير \* أبي عبد الحميد \*

إلى من أروضتني الحب والحنان إلى رمز الحب وبلسم الشفاء إلى القلب الناصع بالبياض من بسمتها غايتي وتحت أقدامها جنتي

\* أمي عائشة \*

إلى من تمننت لي النجاح والرفق ومنحتني الإصرار والمثابرة والقوة إلى الروح التي سكنت روحي ورافقتني بقلبها وروحها في كل  
خطوة

إلى خطيبيتي \* رفيده \*

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والسند إخوتي \* حمزة \* حفيظة \* صليحة \* نجمة \* حجة \*

و إلى أولاد إخوتي كل باسمه

والى جميع الأصدقاء والأحباب الذين نكن لهم الاحترام والحب

إهداء : بالمهدي إلياس

الهي لا يطيب الليل إلا بشورك ولا يطيب النهار إلا بطاعتك.. ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك.. ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك.. ولا تطيب الجنة إلا برويتك

" الله جل جلاله "



إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة ونصح الأمة  
إلى نبي الرحمة ونور العالمين سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم  
إلى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة حب  
إلى من كلت أنامله ليقدّم لنا لحظة سعادة إلى من حصد الأشواك على دربي ليمهد لي طريق العلم

إلى القلب الكبير \* أبي سعد \*

إلى من أروضتني الحب والحنان إلى رمز الحب وبلسم الشفاء إلى القلب الناصع بالبياض

\* أمي سويعد \*

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة إلى إخوتي

\* سيد احمد \* حليلة \* نجاة \* سارة \* فريال \*

والى جميع الأصدقاء والأحباب الذين نكن لهم الاحترام والحب

إهداء: بن دحام مصطفى

## ملخص

إن الاستهلاك المتزايد للطاقة الكهربائية يتطلب منا إيجاد مصادر جديدة تساهم في حل هذا المشكل. في هذا العمل تطرقنا لدراسة نظام هجين ذي مصدرين (طاقة الشمس-طاقة الرياح) وتطبيقه كمثال في الإنارة العمومية.

تمت دراسة هذا النظام وتطبيقه على ثلاث ولايات (ارزيو – الأغواط - أدرار) واستعنا في دراسة على برنامج محاكاة Homer. من خلال النتائج رأينا مدى تأثير الظروف المناخية على عمل النظام. ارتأينا في الأخير إلى اقتراح تطبيق نظام ذكي يقوم بتشغيل أحد أو كلا المصدرين اعتمادا على المعلومات المدخلة.

**كلمات مفتاحيه :** الطاقة الكهربائية، طاقة الشمس، طاقة الرياح، نظام هجين، برنامج محاكاة، إنارة عمومية، نظام ذكي .

## Résumé

La demande croissante de l'énergie électrique nous oblige à trouver des sources alternatives pour régler ce problème. Dans ce travail, on a étudié un système hybride (Energie solaire – Energie éolienne) et l'appliquer comme exemple dans l'éclairage public.

On a étudié ce système en l'appliquant à trois wilayas (Arzew – Laghouat – Adrar) ; on a utilisé un logiciel appelé Homer. A partir des résultats obtenus, on a constaté l'influence des conditions climatiques sur le fonctionnement du système. A la fin, nous proposons à appliquer un système intelligent qui permet de fonctionner l'une ou les deux sources en se basant sur les données acquises.

**Mots clés :** Energie électrique, Energie solaire, Energie éolienne, Système hybride, Logiciel de simulation, Eclairage public, Système intelligent.

## Abstract

The growing demand for electrical energy forces us to find alternative sources to solve this problem. In this work, we have studying a hybrid system (Solar Energy – Wind Energy) and applying it as an example in public lighting.

This system has been studied by applying it to three wilayas (Arzew – Laghouat – Adrar); we used a software called Homer. From the results obtained, we noted the influence of climatic conditions on the functioning of the system. In the end, we propose to apply an intelligent system that makes it possible to operate one or both sources based on the acquired data.

**Key words:** Electrical energy, solar energy, wind energy, hybrid system, Simulation software, public lighting, smart system.

## Sommaire

liste des figures .....	i
Liste des tableaux .....	ii
Liste des abréviations .....	iii
Liste des symboles .....	iii
Introduction Générale .....	1
<b>Chapitre I Généralité sur la production électrique photovoltaïque et éolienne .....</b>	<b>3</b>
I.1 Introduction .....	4
I.2 Exploitation de l'énergie photovoltaïque.....	4
I.2.1 Technologie des cellules photovoltaïques.....	5
I.2.2 Différents types des cellules photovoltaïques .....	5
I.2.3 Avantages et Inconvénients d'une installation PV	6
I.3 Exploitation de l'énergie éolienne.....	8
I.3.1 Types d'éoliennes.....	8
I.3.2 Principe de fonctionnement d'une éolienne.....	10
I.3.3 Avantages et Inconvénients de l'énergie éolienne .....	12
I.4 Conclusion.....	13
<b>Chapitre II Système hybridephotovoltaïque-éolien destiné à l'éclairage public .....</b>	<b>14</b>
II.1 Introduction .....	15
II.2 Présentation du système hybride.....	15
II.3-Modèle du système hybride PV / Eolien avec stockage batteries .....	16
II.3.1 Module du générateur photovoltaïque.....	16
I.3.2 Modèle du générateur éolien .....	17
II.4 Eclairage public utilisant source hybride.....	20
II.5 Conclusion .....	24
<b>Chapitre III Simulation du module hybride.....</b>	<b>25</b>
III.1 Introduction .....	26
III.2 Logiciel de simulation .....	27
III.2.1 Fonctionnement de logiciel .....	28
III.3 Résultat de Simulation.....	29
III.3.1 Paramètre d'ensoleillement.....	29
III.3.2 Paramètre de éolienne .....	31

III.3.3 Résultats de dimensionnement .....	32
III.3.4 Production moyenne mensuelle solaire .....	33
III.3.5 Puissance de sortie moyenne pour le module PV-JA Jam6 60-270 .....	34
III.3.6 Puissance de sortie pour une journée .....	35
III.3.7 La vitesse de vent moyenne mensuelles .....	41
III.3.8 Puissance de sortie moyenne mensuelle .....	42
III.3.9 Vitesse de vent et puissance de sortie crête par jour chaque saison .....	44
III.3.10 Système hybride PV-Eolien .....	49
III.4 Système de traitement proposé .....	51
III.5 Conclusion .....	51
Conclusion Générale.....	<b>53</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure	Titre	Page
Figure I.1	Système Photovoltaïque	4
Figure I.2	Exemple de chaîne de production de cellules photovoltaïques en silicium	5
Figure I.3	Conversion de l'énergie cinétique du vent	8
Figure I.4	Configuration à axe horizontal	9
Figure I.5	Eolienne à axe vertical	10
Figure I.6	Les compositions d'une éolienne	10
Figure II.1	Système hybride photovoltaïque éolien avec stockage batteries	16
Figure II.2	Puissance éolienne en fonction de la vitesse du vent	18
Figure II.3	Influence de l'exposant (Cte) sur la vitesse de design de l'éolienne	19
Figure II.4	Eclairage public type 1	20
Figure II.5	Eclairage public type 2	21
Figure II.6	Eclairage public type 3	22
Figure II.7	Eclairage public type 4	23
Figure III.1	Eclairage public utilisant source hybride solaire-éolienne	27
Figure III.2	Interface du logiciel Homer	28
Figure III.3	Etapes de saisie des paramètres d'ensoleillement	28
Figure III.4	Schéma du circuit	29
Figure III.5	Paramètre d'ensoleillement	30
Figure III.6	Paramètre d'éolienne région	31
Figure III.7	Résultats de dimensionnement	32
Figure III.8	Production moyenne mensuelle solaire	33
Figure III.9	Puissance de sortie moyenne pour le module PV-JA Jam6 60-270	35
Figure III.10	Puissance de sortie crête et l'ensoleillement pour une journée de janvier	36
Figure III.11	Puissance de sortie crête et l'ensoleillement pour une journée de avril	37
Figure III.12	Vitesse de vent et puissance de sortie crête pour une journée juillet	38
Figure III.13	Puissance de sortie crête et l'ensoleillement pour une journée de october	39
Figure III.14	Vitesse de vent moyenne mensuelle	41
Figure III.15	Puissance de sortie moyenne mensuelle	43
Figure III.16	Vitesse de vent et puissance de sortie crête pour une journée janvier	44
Figure III.17	Vitesse de vent et puissance de sortie crête pour une journée Avril	45
Figure III.18	Vitesse de vent et puissance de sortie crête pour une journée juillet	46
Figure III.19	Vitesse de vent et puissance de sortie crête pour une journée Octobre	47
Figure III.20	Production électrique de la source PV-Eolien	49
Figure III.21	Coût d'un système hybride pour l'éclairage public	50
Figure III.22	Système de traitement proposé	51

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
Tableau I.1	Comparatif des différentes technologies	5
Tableau III.1	Les valeur max et min de production moyenne mensuelle solaire	34
Tableau III.2	Les valeur max et min de Puissance de sortie moyenne pour le module PV-JA Jam6	35
Tableau III.3	Les valeur de puissance de sortie moyenne et l'ensoleillement moyenne de chaque mois	40
Tableau III.4	Les valeur max et min de vitesse de vent moyenne mensuelle	42
Tableau III.5	Les valeur max et min de Puissance de sortie les puissances générées mensuelle	43
Tableau III.6	Les valeur de puissance de sortie moyenne et vitesse de vent moyenne de chaque mois	48
Tableau III.7	Production électrique de la source PV-Eolien	50

## Liste Des Abréviations

PV	Photovoltaïque
GPV	Générateur Photovoltaïque
PPM	Un Point De Puissance Maximale
MPPT	Maximum Power Point Tracking
DC	Direct Curent
AC	Alternative Curent

## Liste des symboles

I	Courant	A
V	Tension	V
NOCT	Normal Operating Celle Temperature	°C
V	Vitesse du vent	m/s
A	Surface traversée par le vent	m <sup>2</sup>
A <sub>pv</sub>	Surface des modules photovoltaïques	m <sup>2</sup>
$\eta_{pv}$	Rendement de conversion	
I <sub><math>\beta</math></sub>	Eclairement solaire incident sur le plan d'ouverture	W/m <sup>2</sup>
F <sub>p</sub>	Facteur des pertes	
$\eta_{dc/dc}$	Rendement de conversion du module PV	
$\eta_{stc}$	Rendement de conversion sous des conditions standards	
$\eta_c$	Rendement de la cellule	
T <sub>c</sub>	Température de cellule	°C
T <sub>amb</sub>	Température ambiante	°C
$\alpha$	Coefficient de conversion	°C <sup>-1</sup>
$\eta_m$	Rendement du multiplicateur	
$\eta_g$	Rendement de la génératrice	
C <sub>p</sub>	Rendement aérodynamique	
$\rho$	Densité de l'air (0.225)	kg/m <sup>3</sup>
A <sub>eol</sub>	Surface balayée par le rotor	M <sup>2</sup>
V <sub>in</sub>	Vitesse de démarrage de production nette de puissance de l'éolienne	m/s
V <sub>nom</sub>	Vitesse nominale	m/s
P <sub>nom</sub>	Puissance nominale	W
Cte	Coefficient de correction d'interpolation.	

# **Introduction Générale**

## Introduction Générale

Les énergies renouvelables étaient négligées mais de jour en jour trouvent leur emplacement qu'elles méritent. Ces énergies renouvelables telles que l'énergie du Soleil, de l'eau, des marées, du vent et de la biomasse doivent être exploitées malgré la faiblesse du rendement et du pouvoir énergétique et trouvent un enjeu majeur vis-à-vis les énergies fossiles en posant la prévention de l'environnement et mettre la Terre contre toute dégradation.

Nous avons d'abord l'énergie solaire qui peut être exploitée l'énergie thermique pour le chauffage par exemple; ou en produisant de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ; Un nuage passant devant le soleil peut réduire de moitié la puissance électrique produite par une centrale photovoltaïques en quelques secondes.. Deuxièmement, on a l'énergie du vent qui peut donner de l'électricité en utilisant les éoliennes ; Un changement de vitesse ou de direction du vent aura une conséquence également immédiate sur la rotation des pales d'éolienne. Ces deux sources d'énergie entrent en jeu avec les conditions météorologiques et les zones géographiques. Pour cela, avant l'exploitation ces sources, on doit connaître des informations concernant la variation de l'ensoleillement et la vitesse du vent de la zone à étudier. En plus, l'enjeu majeur des producteurs d'électricité et de fournir cette énergie à tout instant et à l'échelle d'un pays, être égale à celle de la consommation.

Les systèmes hybrides tels que Eolien – Photovoltaïque affectent positivement les régions isolées ; non seulement d'apporter une source d'énergie, mais un outil de développement social et économique comme pour les zones rurales. Le nombre de kilowattheures produit peut paraître insignifiant devant la capacité de production énergétique du pays, mais ces quelques dizaines ou centaines de kilowattheures peuvent ranimer tout l'espoir d'un village ou d'une communauté.

Vu la complexité des réseaux électriques, le développement social et industriel l'introduction de l'outil informatique devient indispensable que se soit dans la phase du traitement des bases de données ou dans la phase d'exploitation et de gestion des systèmes industriels. Dans notre cas, cet outil nous facilite la tâche en simulant la source hybride et voir la possibilité de l'utiliser pour l'éclairage public. Elle permet de nous donner aussi une prévision du côté d'investissement dans la vie quotidienne.

On constate clairement que la demande mondiale d'énergie est en augmentation en raison du nombre croissant de personnes qui jouissent d'un niveau de vie élevé. D'ici 2050, la population de la planète devrait dépasser les 9 milliards. Vu que les sources traditionnelles telles que le bois, le charbon, le gaz naturel ou autre tendent à s'affaiblissent et leur stock devient de plus en plus mineur ; ceci d'un coté et d'un autre coté, on doit voir l'importance de faire face au changement climatique causé par les émissions de dioxyde de carbone et d'autres pressions environnementales qui nous oblige à faire un effort collectif massif compte tenu de l'immensité du système énergétique, de la croissance demandée et de protéger convenablement notre planète.

Notre mémoire est divisé en trois chapitres :

- En premier chapitre, on fait une description générale sur la production électrique (éolien – photovoltaïque).
- Le second chapitre est consacré au système hybride éolien – photovoltaïque tout en exposant plusieurs types de ces sources utilisées pour l'éclairage public.
- Tandis que, le troisième chapitre on présente une simulation du modèle hybride en utilisant un logiciel nommé Homer pro. L'étude est faite pour trois régions différentes en Algérie Arzew, Laghouat et Adrar.

Nous terminerons ce travail par une conclusion générale.

# **Chapitre I**

## **Généralité sur la production électrique photovoltaïque et éolienne**

### I.1 Introduction

La production d'électricité décentralisée par sources d'énergies renouvelables, offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant le caractère aléatoire de ces sources nous impose d'établir des règles de dimensionnement et d'utilisation de ces systèmes pour les exploiter au mieux.

Considérant leurs caractéristiques saisonnières respectives, les énergies (solaire et éolienne) ne se concurrencent pas mais au contraire peuvent se valoriser mutuellement. C'est pourquoi on propose des systèmes hybrides composés de ces deux sources d'énergie, qui consiste en l'exploitation optimale de la complémentarité entre elles.

### I.2 Exploitation de l'énergie photovoltaïque

L'énergie solaire est la source énergétique la plus abondante sur terre. Elle est à l'origine de la majorité des énergies renouvelables. Le rayonnement solaire peut être utilisé pour produire directement de l'électricité à l'aide de semi-conducteur photovoltaïque.

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) provient de la conversion directe de l'énergie provenant de photons, compris dans le rayonnement lumineux en énergie électrique. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules ou de photopiles fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible qui réalisent cette transformation d'énergie. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique statique courant-tension  $I(V)$  non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau de rayonnement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. [1]

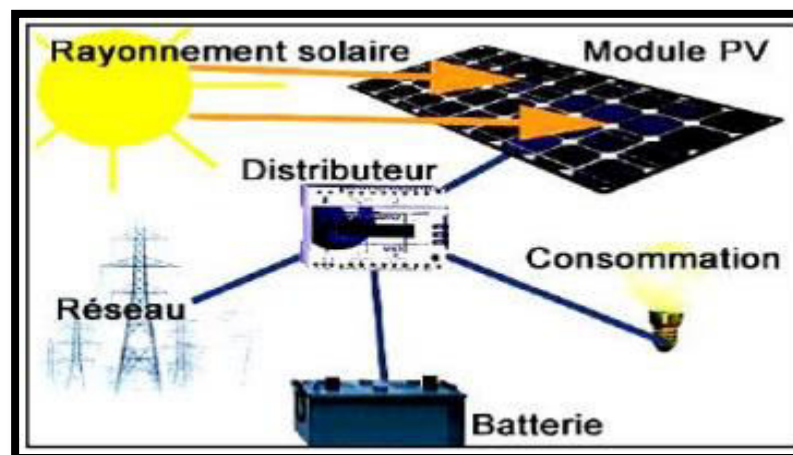


Figure I.1: Système Photovoltaïque [1]

## I.2.1 Technologie des cellules photovoltaïques

Plusieurs technologies sont actuellement développées pour réaliser des cellules photovoltaïques dont les degrés de maturité, les performances et les durées de vie sont très différents. Les principales technologies industrialisées en série à ce jour sont le silicium mono- ou poly cristallin et le silicium en couche mince. Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques. Pour le rendre opérationnel, il doit subir au préalable une série de traitements [2]

- un procédé métallurgique de raffinage du silicium pour le rendre pur à 99 % suivi d'une seconde purification chimique pour lui donner toutes les qualités électroniques nécessaires.

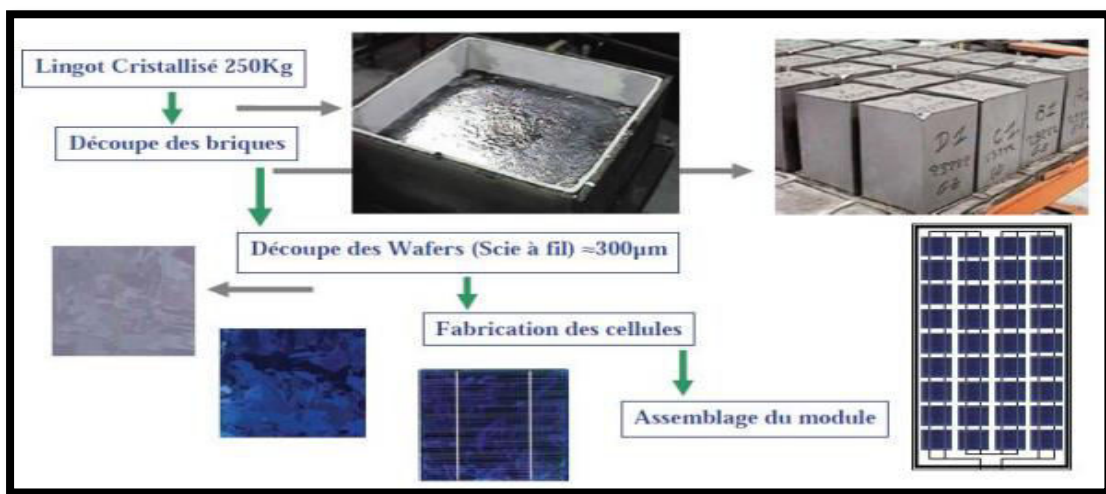


Figure I.2: Exemple de chaîne de production de cellules photovoltaïques en silicium [2]

## I.2.2 Différents types des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules. [3]

Tableau I.1 Comparatif des différentes technologies [4]

Technologie	Monocristallin	Polycristallin	Amorphe
	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Très bon rendement : 14 à 20 %.</li> <li>* Durée de vie : importante (30 ans)</li> <li>* Coût de fabrication :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Bon rendement : 11 à 15 %.</li> <li>* Durée de vie : importante (30 ans)</li> <li>* Coût de fabrication :</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Rendement faible : 5 à 9 %.</li> <li>Durée de vie : assez importante (20 ans)</li> </ul>

<b>Caractéristiques</b>	<p>élevé.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Puissance : 100 à 150 Wh/m<sup>2</sup>.</li> <li>* Rendement faible</li> </ul> <p>Sous un faible éclairage.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* perte de rendement Avec l'élévation de la température.</li> <li>* Fabrication : élaborés à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal</li> <li>* Couleur bleue</li> </ul> <p>Uniforme</p>	<p>meilleur marché que les</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* panneaux monocristallins</li> <li>* Puissance : 100Wh/m<sup>2</sup>.</li> </ul> <p>* Rendement faible sous un faible éclairage.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* perte de rendement avec l'élévation de la température.</li> <li>* Fabrication : élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui en se refroidissant forme plusieurs cristaux.</li> <li>* Ces cellules sont bleues, mais non uniforme : on distingue des motifs créés car les différents cristaux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Coût de fabrication : peu onéreux par rapport aux autres technologies</li> <li>* Puissance : 50Wh/m<sup>2</sup></li> <li>* Fonctionnement correct</li> </ul> <p>avec un éclairage faible.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Peu sensible aux températures élevées.</li> <li>* Utilisables en panneaux souples.</li> <li>* Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium.</li> <li>* Rendement faible en plein soleil.</li> <li>* Performances diminuant avec le temps.</li> <li>* Fabrication : couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.</li> </ul>
<b>Part de marché</b>	43 %	47 %	10 %

### **I.2.3 Avantages et Inconvénients d'une installation PV**

#### **Avantages**

- Son carburant est gratuit : le soleil est la seule ressource dont a besoin un panneau solaire. Et le soleil brillera jusqu'à la fin des temps. De plus, la plupart des cellules photovoltaïques sont fabriquées à base de silicium, un matériau abondant et non toxique (second matériau le plus abondant sur Terre).
- L'énergie solaire photovoltaïque ne génère ni bruit, ni émissions nocives, ni gaz polluants: L'électricité solaire utilise seulement l'énergie du soleil comme carburant. Elle

ne crée aucun coproduit nocif et contribue activement à réduire le réchauffement climatique.

-Les systèmes photovoltaïques sont très sûrs et d'une grande fiabilité :L'espérance de vie d'un module solaire est d'environ 30 ans. La performance des cellules photovoltaïques est généralement garantie par les fabricants pour une durée de 20 à 25 ans. Le photovoltaïque est donc une technologie fiable sur le long terme. De plus, la fiabilité des produits est garantie aux consommateurs.

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

### **Inconvénients**

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.

- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%).

- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.

-Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru .la fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulation associés soient judicieusement choisis

- Tributaire des conditions météorologiques.

- Beaucoup d'appareils vendus dans le marché fonctionnent au 220 à 230 V alternatif. Or, l'énergie issue du générateur PV est unidirectionnelle et de faible voltage (<30V), elle doit donc être transformée par l'intermédiaire d'un onduleur.[5-10]

### I.3 Exploitation de l'énergie éolienne

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, elles sont généralement utilisées pour produire l'électricité.

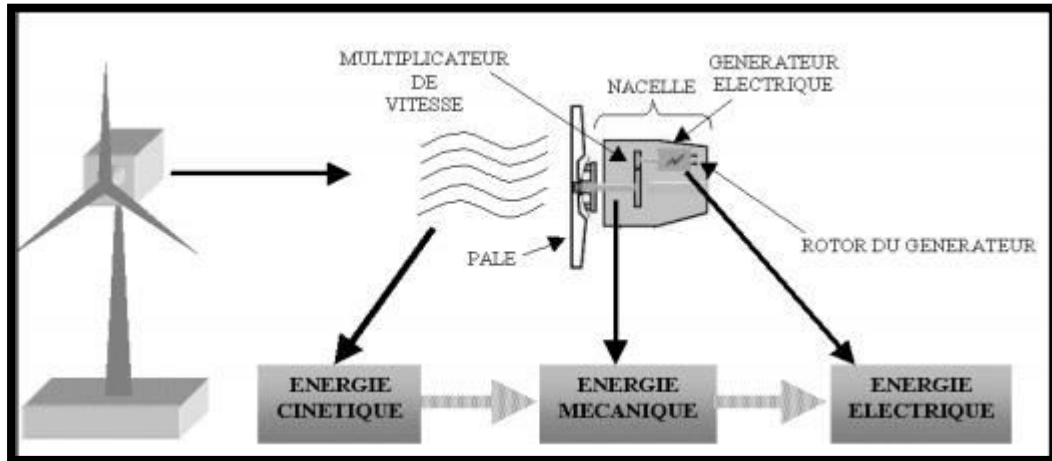


Figure I.3: Conversion de l'énergie cinétique du vent [6]

#### I.3.1 Types d'éoliennes

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe Horizontal [7]

##### a) Eoliennes 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.

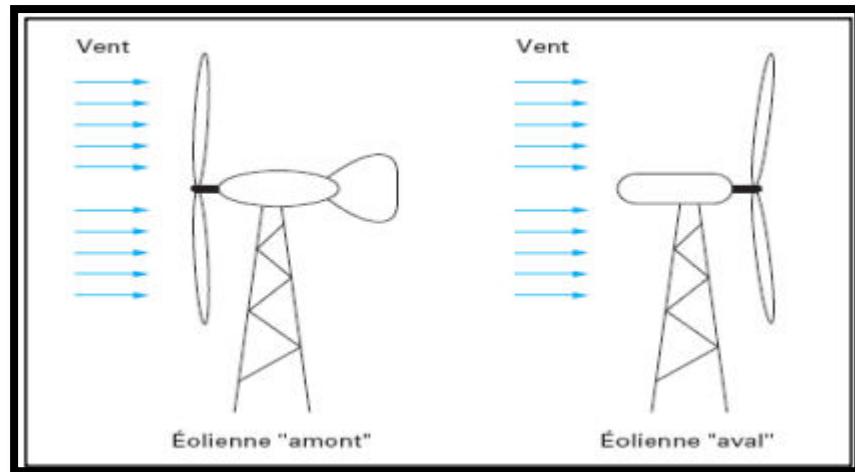


Figure I.4: Configuration à axe horizontal [7]

### b) Eoliennes à axe vertical

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.



(a) Éolienne de type Darrieus



(b) Éolienne de type Savonius.

Figure I.5 : Eolienne à axe vertical [7]

### I.3.2 Principe de fonctionnement d'une éolienne

Le vent fait tourner des pales qui font-elles même tourner le générateur de l'éolienne. A son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. L'électricité éolienne est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage d'électricité éolienne. [8]

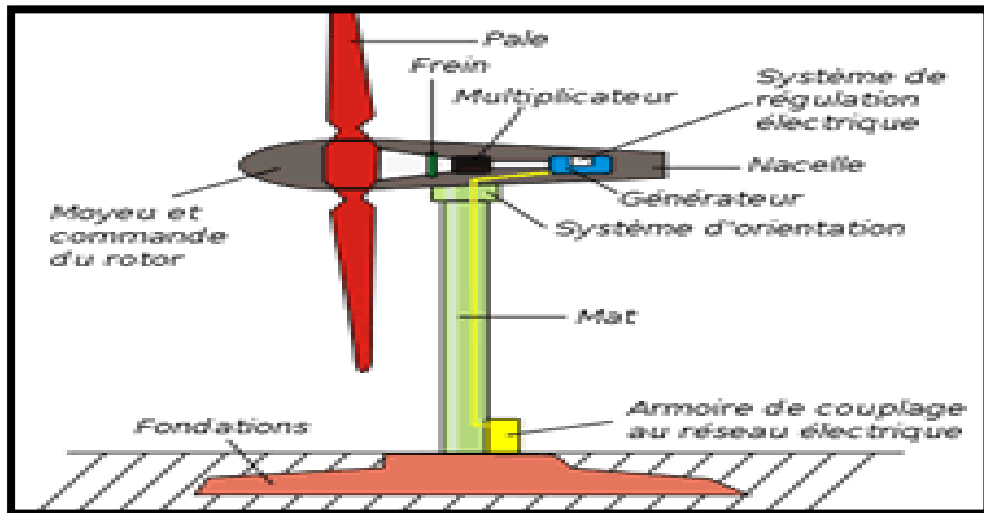


Figure I.6 : Les compositions d'une éolienne [8]

Une éolienne est composée d'équipements suivants [9]

- **Les pales** : sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor
- **Le moyeu** : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.
- **L'arbre primaire (ou arbre lent)** : relie les pales au multiplicateur.
- **Le multiplicateur** : il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.
- **L'arbre secondaire** : il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.
- **Le générateur électrique** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre Jusqu'à 5 MW. Il peut-être 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
- **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 mat a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.
- **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.
- **Le système de refroidissement** : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.
- **Les outils de mesure du vent** : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.
- **Le système de contrôle électronique** : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.
- Au pied du mât se trouve un transformateur.

### **I.3.3 Avantages et Inconvénients de l'énergie éolienne**

#### **Avantages**

La croissance de l'énergie éolienne est évidemment liée aux avantages de l'utilisation de ce type d'énergie :

- \* L'énergie éolienne n'est non plus une énergie à risque comme l'est l'énergie nucléaire est ne produit évidemment pas de déchets radioactifs dont on connaît la durée de vie.
- \* L'énergie éolienne est une énergie renouvelable, c'est à dire que contrairement aux énergies fossiles, les générations futures pourront toujours en bénéficier.
- \* L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu puisque les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées, contrairement aux procédés continus de la plupart des centrales thermiques et des centrales nucléaires.
- \* Ceux-ci fournissent de l'énergie même lorsque l'on n'en a pas besoin, entraînant ainsi d'importantes pertes et par conséquent un mauvais rendement énergétique.
- \* Les parcs éoliens se démontent très facilement et ne laissent pas de trace.
- \* C'est une source d'énergie locale qui répond aux besoins locaux en énergie. Ainsi les pertes en ligne dues aux longs transports d'énergie sont moindres. Cette source d'énergie peut en plus stimuler et impulser l'économie locale, notamment dans les zones rurales, désertiques et arides.
- \* C'est l'énergie la moins chère à grande échelle entre les énergies renouvelables.
- \* L'énergie éolienne crée plus d'emplois par unités d'électricité produite que n'importe quelle source d'énergie traditionnelle.
- \* Les frais de fonctionnement sont assez limités étant donné le haut niveau de fiabilité et la simplicité relative des technologies mises en œuvre.

### **Inconvénients**

\* L'électricité éolienne est une énergie intermittente. C'est une des raisons qui, historiquement, a fondé le remplacement des moulins par des machines à vapeur pour la meunerie, le pompage, etc.

\* l'énergie éolienne ne peut être utilisée que comme énergie d'appoint et ne pourra jamais subvenir à elle seule aux besoins en électricité (existants même en l'absence de vent).[11]

### **I.4 Conclusion**

Nous avons présenté dans ce présent chapitre d'un part des différentes notions qui entrent dans l'exploitation des deux énergies : solaire photovoltaïque et éolienne. Et d'autre part, nous avons évoquée tous les éléments constitutifs des deux systèmes photovoltaïques et éoliens, ainsi que leurs principes de fonctionnements, ce qui permet d'introduire à l'analyse du système hybride formé par ces deux systèmes au deuxième chapitre.

# Chapitre II

## Systeme hybride photovoltaïque-éolien destiné à l'éclairage public

## **II.1 Introduction**

Pour un développement durable, le recours à l'utilisation des systèmes énergétiques à sources d'énergies renouvelables est devenu indispensable. Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement.

Cependant, ces solutions exigent au préalable un dimensionnement laborieux basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables du site d'implantation à l'amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval et un savoir-faire que seule l'expérience dans l'ingénierie des systèmes énergétiques pourra assurer. Nous allons présenter dans ce chapitre les différentes caractéristiques du système hybride photovoltaïque-éolien pour destiné éclairage public, en se basant sur les différentes définitions des constitutifs de ce système.

## **II.2 Présentation du système hybride**

Un système hybride est un système qui fait intervenir au moins deux sources d'énergie renouvelable comme un panneau photovoltaïque, une éolienne, une charge et autres accessoires. Souvent, ces sources renouvelables sont associées à une source conventionnelle comme un générateur diesel, nécessaire pour délivrer une puissance en continue.

En plus des sources d'énergies renouvelables, les systèmes hybrides associent des dispositifs de stockage comme les batteries, les super condensateurs, les piles à combustible. L'objectif principal d'un système hybride est de répondre à la demande de la charge en favorisant l'énergie produite par les sources renouvelables par rapport à celle fournie par les autres sources. La performance d'un système hybride en termes de rendement et de durée de vie, est influencée d'une part par la conception, c'est-à-dire par le dimensionnement des différentes composantes qui le constitue, la technologie de ces composantes, l'architecture,...etc. D'autre part, cette performance dépend aussi du choix de la stratégie de gestion considérée.

Énergie solaire photovoltaïque et éolienne ; ce sont deux sources essentielles qui compose le système hybride destiné à l'éclairage public.

### II.3-Modèle du système hybride PV / Eolien avec stockage batteries

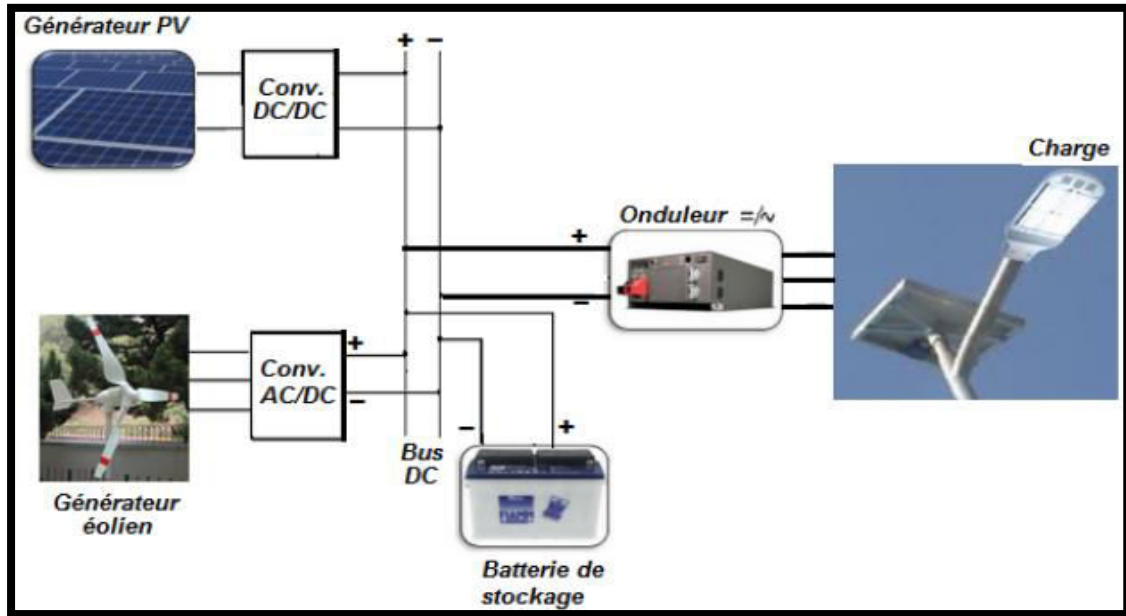


Figure II. 1: Système hybride photovoltaïque éolien avec stockage batteries [11]

#### II.3.1 Module du générateur photovoltaïque

La prédiction des performances d'un générateur photovoltaïque GPV nécessite l'élaboration d'un modèle mathématique permettant l'étude de son fonctionnement pour les différentes conditions météorologiques (éclairage, température, etc.). Ainsi, de nombreux travaux portent sur le développement des modèles mathématiques pour la simulation de la caractéristique courant-tension (I-V) du générateur PV. [12]

D'autres sont orientés vers la modélisation des performances des modules PV en termes de puissance électrique produite via la recherche du point de puissance maximale MPPT (Maximum Power Point Tracking). Toute fois la puissance maximale du générateur PV devient un objectif important dans la modélisation et l'estimation des performances des systèmes PV. La puissance produite par un générateur est exprimée en fonction du rendement de conversion  $\eta_{pv}$  de la surface de captation  $A_{pv}$  [m<sup>2</sup>] et de l'éclairage solaire incident sur le plan d'ouverture  $I_{\beta}$  [W/m<sup>2</sup>] en [13-14]

$$P_{pv} = \eta_{ph} A_{ph} I_{\beta} = \eta_{dc} \eta_m F_p A_{pv} I_{\beta} \quad (II.1)$$

Rendement de conversion rendement de conversion DC/DC et  $F_p$  facteur des pertes  $\eta_{dc/dc}$ . le rendement de conversion du module PV est donné en fonction du rendement de conversion sous des conditions standards  $\eta_{stc}$  (25°C, 1000W/m<sup>2</sup>), de la température  $T_c$  cellule et du coefficient de variation du rendement  $\alpha$ , admis constant pour les cellules fabriquées en silicium par l'expression. Le rendement de la cellule peut être modélisé par l'expression :

$$\eta_c = \eta_{stc} [1 - \alpha(T_c - 25)] \quad (II.2)$$

La température de la cellule est donnée par l'expression :

$$T_c = T_{amb} + \frac{I_\beta}{800} (NOCT - 20) \quad (II.3)$$

(Normal Operating Celle Température) est la température de fonctionnement du module en NOCT circuit ouvert sous un éclairage de 800 W/m<sup>2</sup> et une température ambiante de 20°C sous une vitesse du vent de 1m/s. la température cellule peut poser parfois plusieurs problèmes liés au choix de la position des modules PV, des dispositions et des manières d'effectuer ces mesures. Le rayonnement solaire pose des problèmes moindres.

L'éclairage solaire sur la surface du module sous ciel claire peut être estimé par le modèle bien connu de Liu et Jordan (1963). Ce modèle est basé sur l'hypothèse de la répartition isotropique du rayonnement diffus provenant du ciel (luminance du ciel constante en tout point). Le rayonnement solaire global incident sur un plan incliné d'un angle  $\beta$  par rapport à l'horizontal  $I_\beta$  représente la somme de trois composantes : directe  $I_{b\beta}$ , diffuse  $I_{d\beta}$  et réfléchi par le sol  $I_{r\beta}$  :

$$I_\beta = I_{b\beta} + I_{d\beta} + I_{r\beta} \quad (II.4)$$

### II.3.2 Modèle du générateur éolien

La puissance de sortie d'un aérogénérateur est donnée en général par l'expression :

$$P_{GE} = \frac{1}{2} \eta \rho A_{eol} V^3 = \frac{1}{2} (C_p \eta_m \eta_G) \rho A_{eol} V^3 \quad (II.5)$$

$C_p \eta_m \eta_G$ : sont respectivement le rendement aérodynamique, le rendement du multiplicateur de vitesse et le rendement du générateur électrique.

$V$   $\rho$   $A_{\text{eol}}$  : sont respectivement la vitesse du vent, la densité de l'air ( $0.225\text{kg/m}^3$ ) et la surface balayée par le rotor. Des efforts considérables ont été déployés de par le monde pour modéliser la puissance produite par un aérogénérateur en fonction de la vitesse de vent pour l'estimation des performances avant l'achat du système ou l'établissement des méthodes de tests pour la validation des modèles numériques

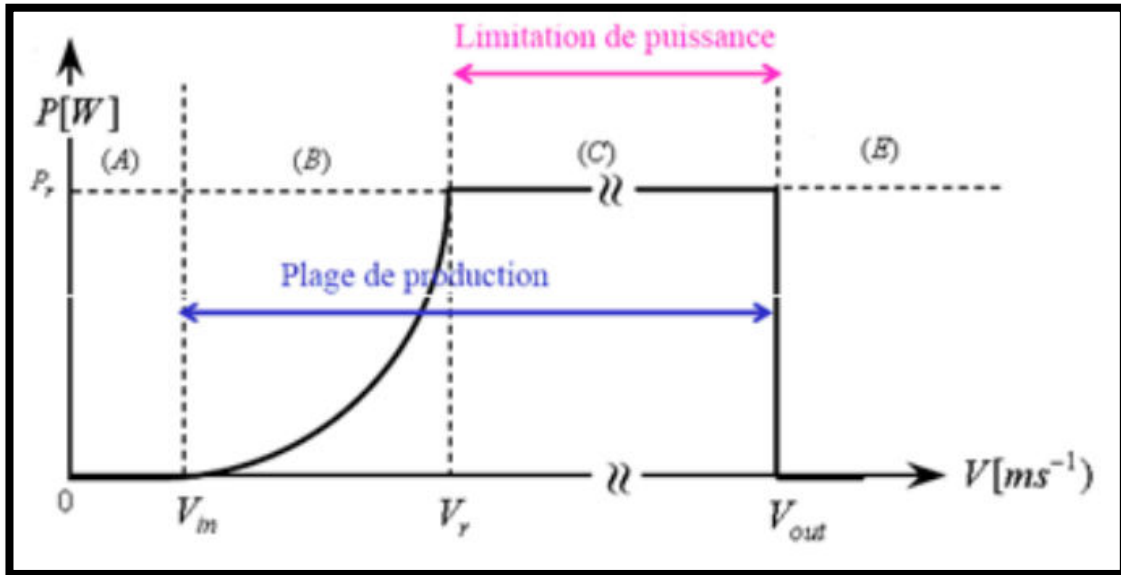


Figure II.2 : Puissance éolienne en fonction de la vitesse du vent [11]

Ces modèles peuvent être linéaires, quadratiques ou cubiques qui sont inspirés essentiellement du modèle polynomial général de Powell.

$$P_{GE} = P_{\text{nom}} \frac{V^{Cte} - V_{in}^{Cte}}{V_{\text{nom}}^{Cte} - V_{in}^{Cte}} \quad (\text{II.6})$$

$V_{in}$  est la vitesse de démarrage de production nette de puissance de l'éolienne et  $V_{\text{nom}}$  est la vitesse nominale.  $P_{\text{nom}}$  est la puissance nominale. La dérivation du rendement global de l'éolienne par rapport à la vitesse du vent permet de déterminer la vitesse de conception optimale de l'aérogénérateur :

$$\left. \frac{d\eta}{dV} \right|_{V_d} = 0 \Rightarrow V_d = \left( \frac{3}{3-Cte} \right)^{\frac{1}{Cte}} V_{in} \quad (\text{II.7})$$

Avec Cte : coefficient de correction d'interpolation.

Sur la figure (II.3) pour  $C_{te}=1$ , on retrouve le modèle linéaire ; pour  $C_{te} \geq 3$ , l'équation n'a pas de solutions réelles et par conséquent il n'est y'à pas de valeur de  $V_d$ , ceci est dû au fait que la courbe correspondante est plus raide que la courbe idéale.

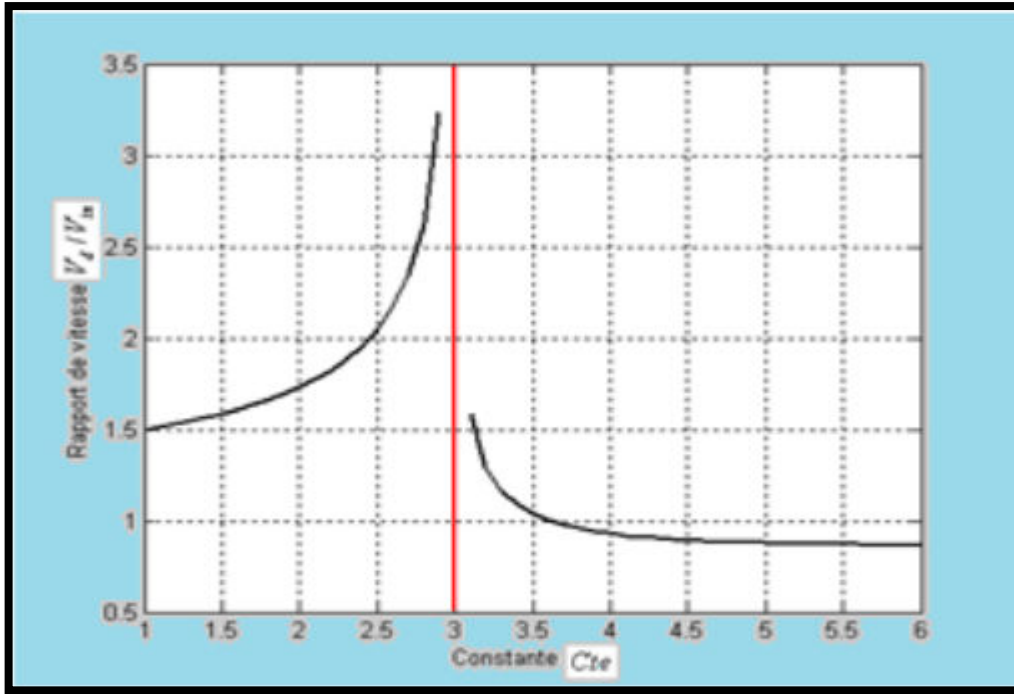


Figure II.3 : Influence de l'exposant ( $C_{te}$ ) sur la vitesse de design de l'éolienne [11]

La puissance nominale produite par la machine est déduite sous la forme :

$$P_{nom} = \frac{3}{cte} \left(1 - \frac{Cte}{3}\right)^{1 - \frac{3}{Cte}} \eta \frac{1}{2} \rho A V_{in}^3 \left(\frac{V_{nom}^{Com}}{V_{in}^{Cte}} - 1\right) \quad (II.8)$$

D'après la formule II-8, on voit clairement que la puissance effective à exploiter n'est plus celle calculée théoriquement. En plus pendant le fonctionnement du système ou de la source on justifie par l'énergie consommée.

## II.4 Eclairage public utilisant source hybride

Il y'a plusieurs types d'éclairage public utilisant une source hybride PV-Eolien. On a choisi 4:

### Type 01



Figure II.4 : Eclairage public- Type1 [15]

Ce type présente les caractéristiques suivantes :

- **Eolienne** : 600W 24V
  - **Panneau solaire** : 150W module solaire polysilicon 24V
  - **LED Lampe** : 60W,DC 24V, 12 heure/jour, 5 premières heures 100% , les heures de repos diminuent à 50 %
  - **Banque de batteries** : 200 AH 12V batterie au gel à décharge profonde, sans entretien
  - **Poteau d'éclairage public hybride** : 8m hauteur de l'éolienne (dans la phase, joint de coupelle), 6m Hauteur de la lampe à LED, avec support de panneau solaire, bras de lampe 2pc, poteau d'enterrement direct
- Contrôleur hybride éolien et solaire** : Contrôleur hybride MPPT
- **boîtier de batterie** : une boîte pour 2 batteries 200 AH.

## Type 02



Figure II.5: Eclairage public- Type2 [16]

Le type 2 présente les caractéristiques suivantes :

- **Éolienne** : 100W – 500W
- **Panneau solaire** : Poly Cristalline Silicone 90W -360W
- **La batterie** : 120AH – 240 AH, Batterie au plomb-gel sans entretien, anti-éclaboussures, anti-fuites
- **Hauteur du poteau** : 6m – 10m
- **Température de fonctionnement** : -40°C +80°C
- **Contrôleur** : 15A/12V – 20A/12V, Contrôle automatique de la lumière et de l'heure ; Protection contre les surcharges/décharges ; Protection contre les inversions de connexion ; Allumer automatiquement avec capteur de lumière ; Éteignez après 11-12 heures plus tard.

**Type 03**



Figure II.6: Eclairage public- Type3 [15]

Le type 3 présente les caractéristiques suivantes :

- **Eolienne** : 300W
- **Panneau solaire** : 38W / 18V
- **LED Lampe** : 38W
- **Température de fonctionnement** : -20°C +60 °C
- **Tension** : 12/24V
- **Contrôleur** : Contrôleur MPPT
- **Espacement** : 20-25m
- **Temps de charge** : 8 heures
- **Poteau d'éclairage public hybride** : 6-7m
- **Temps d'éclairage** : 3-5 Jour de pluie

## Type 04



Figure II.7 : Eclairage public- Type4 [17]

Le type 4 présente les caractéristiques suivantes :

- **Panneau solaire** : module solaire poly/monocristallin 80W – 320W
- **Eolienne** : 100 W - 600 W
- **Batterie** : batterie de stockage sans réparation 110 AH- 300 AH
- **Contrôleur**: contrôleur numérique intelligent (sortie à une ou deux lignes, protection contre les surcharges/décharges excessives)
- **Source lumineuse** : lumière LED 30W – 180W, éclairage moyen 15-30 lux, angle de faisceau 120°
- **Matériau du support** : structure en acier spécial, trempage à chaud, peinture au pistolet,
- **poteau d'éclairage** : 6 m à 12 m
- **Temps de travail** : 8 -10 heures (réglable) Continuer par temps humide : 3- 5 jours
- **Domaine d'application** : temps d'ensoleillement supérieurs à 2200 heures un an
- **plage de température** : -20°C +60°C

#### II.4.1 Contrôleur utilisant dans les types

##### MPPT :

Dans ce régulateur, un circuit mesure en permanence la tension et le courant au générateur pour tirer de l'énergie au point de puissance maximale. Ceci permet de garantir que le maximum de l'énergie sera récupéré, quels que soient les conditions météorologiques.

En général, ces régulateurs fonctionnent soit en élevant, soit en réduisant la tension. L'avantage de ce régulateur est qu'il permet de travailler grande plage de température et permet de charger les batteries à 100%.

### **PWM :**

Le régulateur PWM gère de façon optimale les connexions et les déconnexions du module au reste du système. Selon l'état de charge des batteries, il effectue des coupures plus ou moins longues et plus ou moins fréquentes. Cette technologie permet de charger les batteries à 100% de leur capacité. Elle est de loin la plus utilisée dans les installations photovoltaïques autonomes.

D'après les figures illustrées II-4 à II-7, on voit qu'il y plusieurs types des sources hybrides PV-Eolienne y compris des différentes designs et formes. Ceci a l'avantage d'utiliser le type qui convient à l'endroit ou au site voulu. En plus, plusieurs constructeurs se concurrent dans ce domaine afin de donner le meilleur produit avec le minimum du cout, ce qui affecte le cote d'investissement.

### **II.5 Conclusion**

Le système hybride présente un avantage clair vis-à-vis le chargement bénéfique la batterie d'un coté et d'un autre cote l'avantage d'utiliser la source photovoltaïque, éolienne ou les deux ensemble.

On a présenté l'utilisation des sources hybrides pour l'éclairage public et voir l'importance d'utiliser ce types de sources. Puisque ils existent plusieurs types des sources hybrides, on peut utiliser ce qui convient à notre situation y compris les conditions climatiques et géographiques.

# Chapitre III

## Simulation du module hybride

### III.1 Introduction

Il existe plusieurs configurations pour un système hybride. Basées sur une stratégie de contrôle, deux des plus fréquents sont:

- Couplage de bus en courant alternatif (CA)
- Couplage de bus en courant direct (CD)

Une autre configuration pourrait être la combinaison des deux précédentes. Ces configurations doivent être intégrées dans le dimensionnement et la simulation d'un système hybride.

Les systèmes hybrides ont un niveau de complexité élevé du fait de la multitude de choix d'options et de combinaisons. En raison de l'interaction dans les systèmes hybrides de plusieurs ressources énergétiques, plusieurs technologies avec leur prix spécifique, différents profils d'utilisateurs énergétiques, différentes contraintes etc. Il est plus qu'approprié d'utiliser un outil de simulation assez performant pour avoir l'option optimale et comparer différents scénarii. Outil particulièrement adapté pour l'analyse de projets et les études de faisabilité.

Une fois qu'une option est choisie, une autre méthodologie éprouvée de dimensionnement et d'évaluation peut s'appliquer.

Les systèmes électriques hybrides sont un mix de générateurs fonctionnant aux énergies conventionnelles, de technologies combinées de production de chaleur et d'électricité, d'aérogénérateurs, de panneaux photovoltaïques, de batteries, de piles à combustibles, d'hydroélectricité, de biomasse et d'autre.

Homer est un logiciel de modélisation énergétique. C'est un outil puissant pour concevoir et analyser les systèmes électriques hybrides. Ce logiciel est couramment utilisé partout dans le monde par des dizaines de milliers de personnes. Dans notre étude du système hybride, on procède d'ajouter deux sources une solaire et l'autre éolienne.

Dans ce chapitre, nous avons utilisé un logiciel Homer pro afin de simuler un modèle du système hybride que nous avons choisi dans trois régions en Algérie (Arzew, Laghouat, Adrar) avec la comparaison entre les modules PV, Eolien et hybride.

## III.2 Logiciel de simulation

Dans notre étude, on a utilisé le logiciel Homer pro 3.14 comme outil de simulation.

### Exemple d'application

On applique un proto type dont les caractéristiques est équipements les suivants :



Figure III.1 : Eclairage public utilisant source hybride solaire-éolienne [17]

- **Panneau solaire** : module solaire poly/monocristallin 80W – 320W
- **Éolienne** : 100 W - 600 W
- **Batterie** : batterie de stockage sans réparation 120 AH - 300 AH
- **Contrôleur**: contrôleur numérique intelligent (sortie à une ou deux lignes, protection contre les surcharges/décharges excessives)
- **Source lumineuse** : lumière LED 30W – 180W, éclairage moyen 15-30 lux, angle de faisceau 120°
- **Matériau du support** : structure en acier spécial, trempage à chaud, peinture au pistolet, **poteau d'éclairage** : 6 m à 12 m
- **Temps de travail** : 8 - 10 heures (réglable) Continuer par temps humide : 3- 5 jours
- **Domaine d'application** : temps d'ensoleillement supérieurs à 2200 heures un an
- **plage de température** : -20°C +60°C

pour les paramètre d'environnement comme l'ensoleillement, vitesse du vent et autres , on a utilisé trois exemple de région :

- La région d'Arzew
- La région de Laghouat
- La région d'Adrar

### III.2.1 Fonctionnement de logiciel

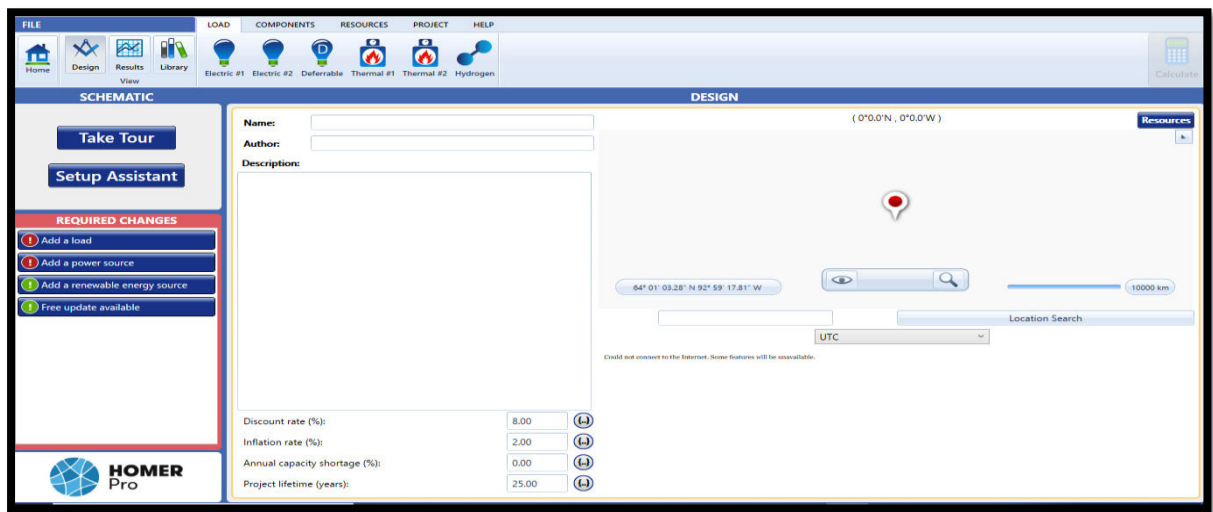


Figure III.2 : Interface du logiciel Homer

Etape 01 : sélectionnez la zone

Etape 02 : ajouter une charge

Etape03 : ajouter source d'énergie (PV/Eolienne)

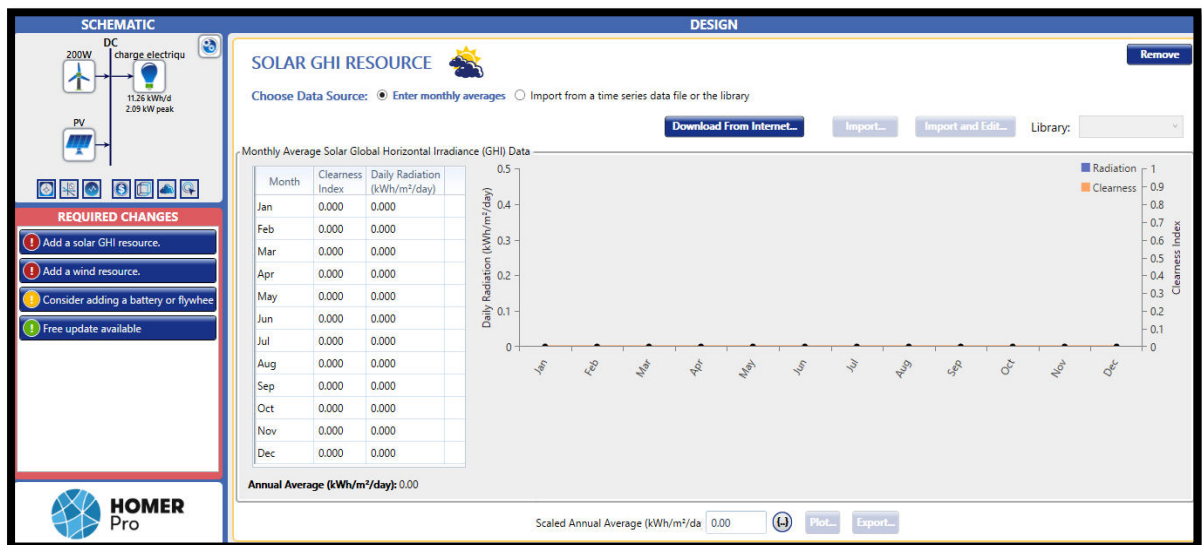


Figure III.3 : Etapes de saisie des paramètres d'ensoleillement

Etape 04 : ajouter les ressources solaire et éolienne

Etape 05 : ajouter batterie

Etape 06 : schéma de circuit

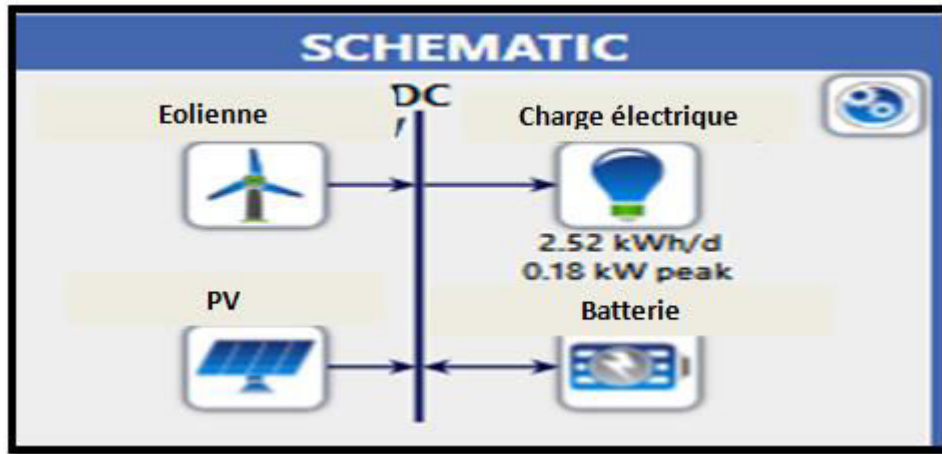


Figure III.4: Schéma du circuit

Etape 07 : simulation (calculât)

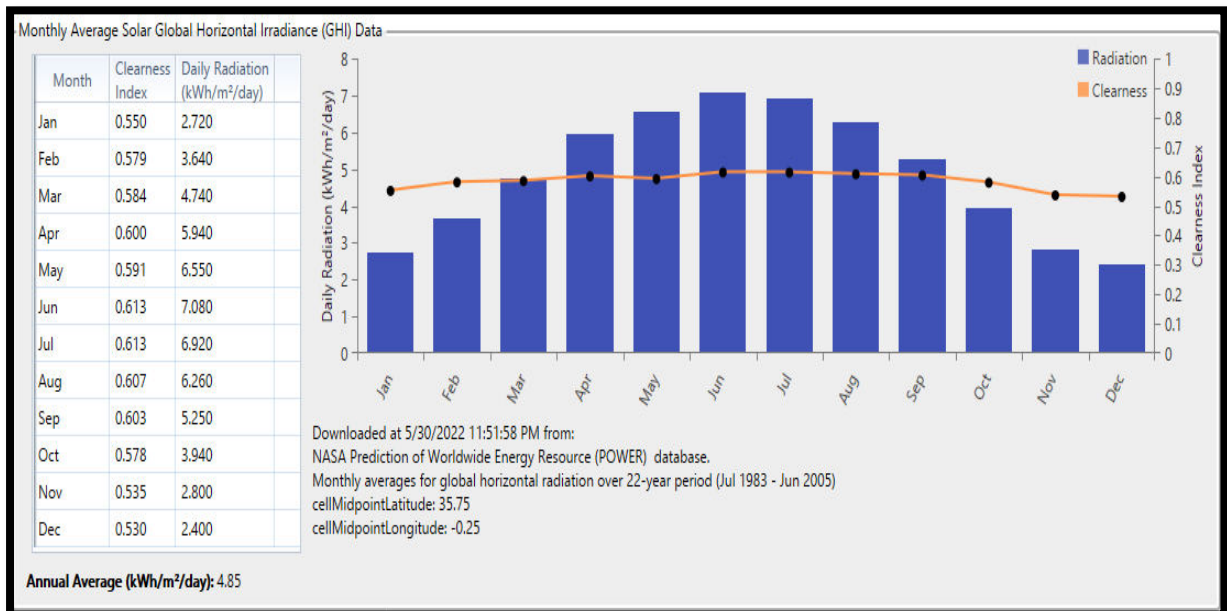
### III.3 Résultat de Simulation

Avant le lancement du modèle de simulation on doit entrer des données telle que : paramètres d’enseillement et vitesse de vent

#### III.3.1 Paramètre d’enseillement

Pour la figure (III.5) présent les paramètre d’enseillement

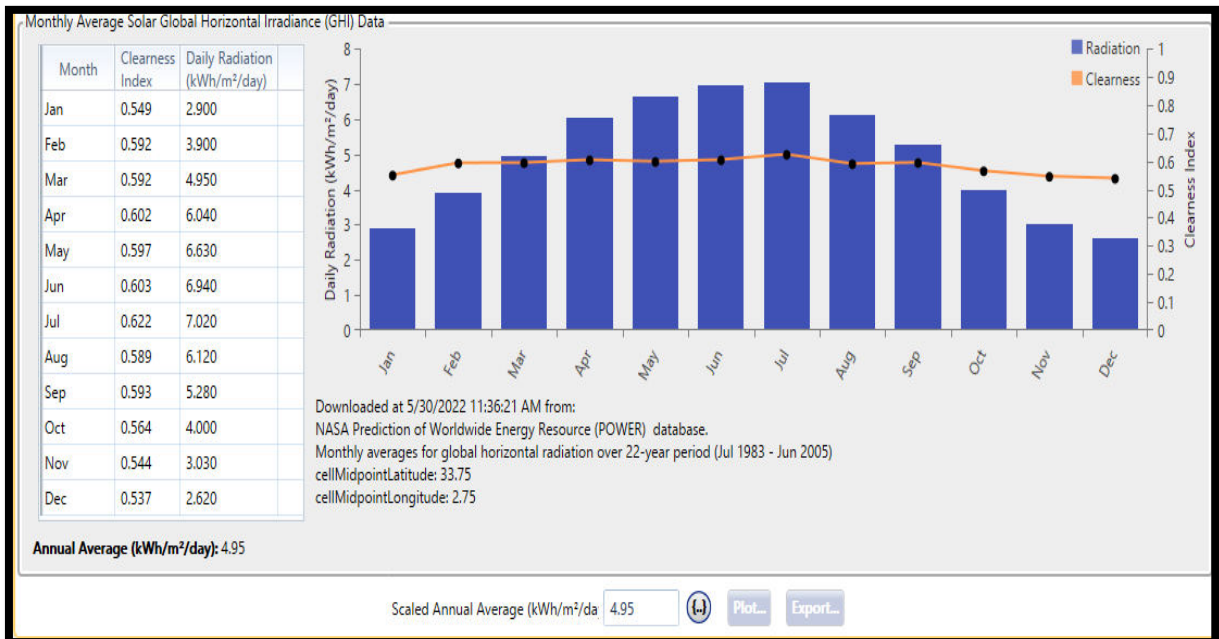
Les coordonnées de région d’Arzew VM5R+34W, Arzew, Algeria ( 35°51.5'N , 0°18.6'W )



( a ) Région d’ARZEW

Les coordonnées de région de Laghouat

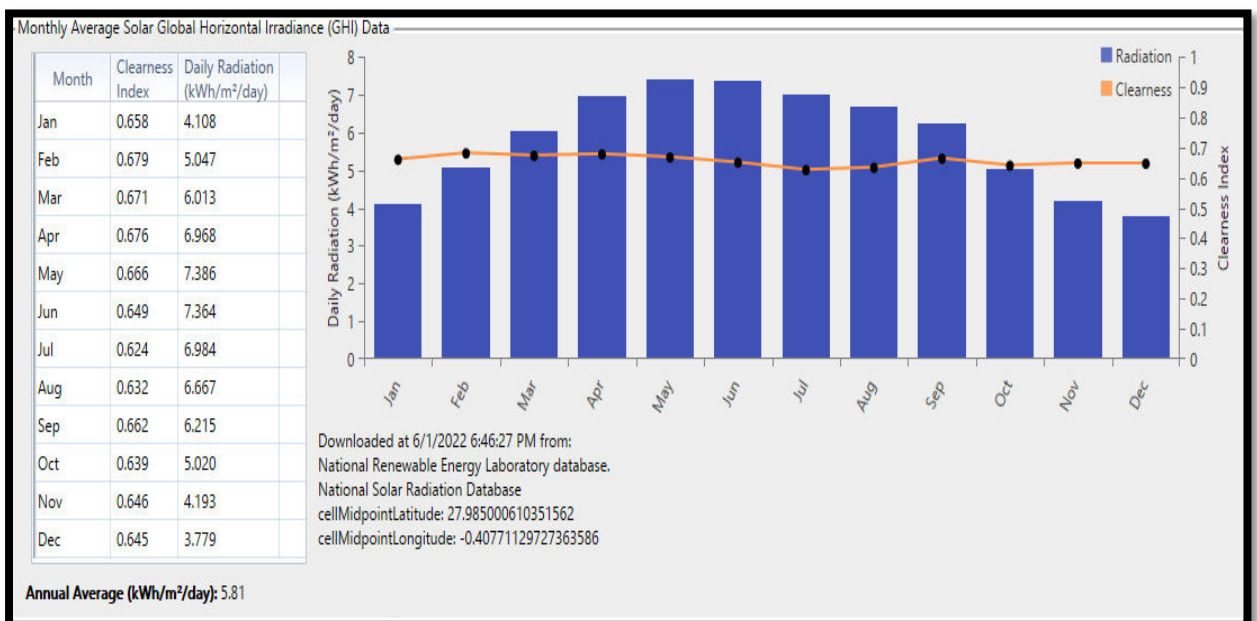
Trans-Sahara Hwy, Laghouat, Algeria ( 33°48.5'N , 2°51.8'E )



( b ) Région de laghouat

Les coordonnées de région d'Adrar

2P8P+X8 Adrar, Algeria ( 28°1.0'N , 0°15.9'W )

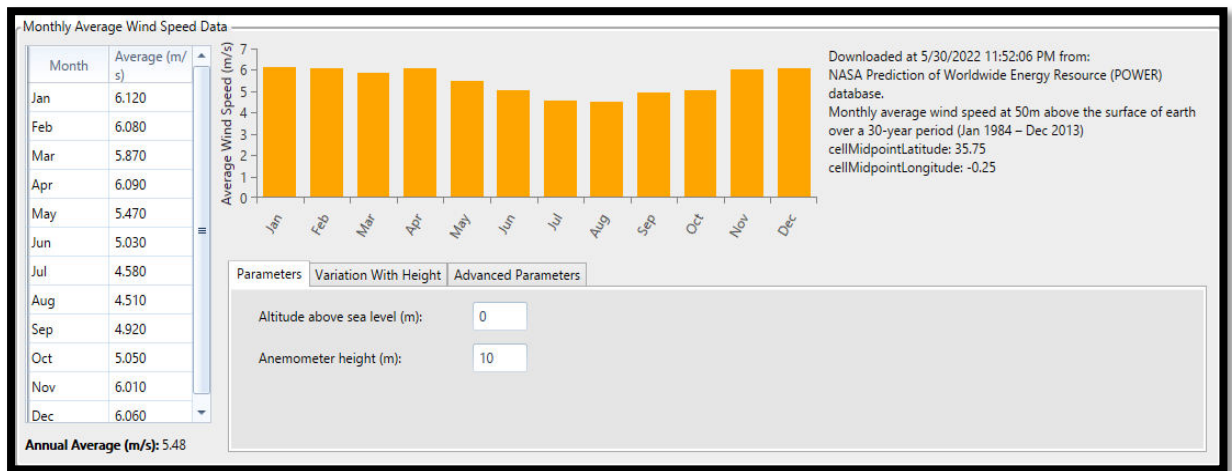


( c ) Région d'Adrar

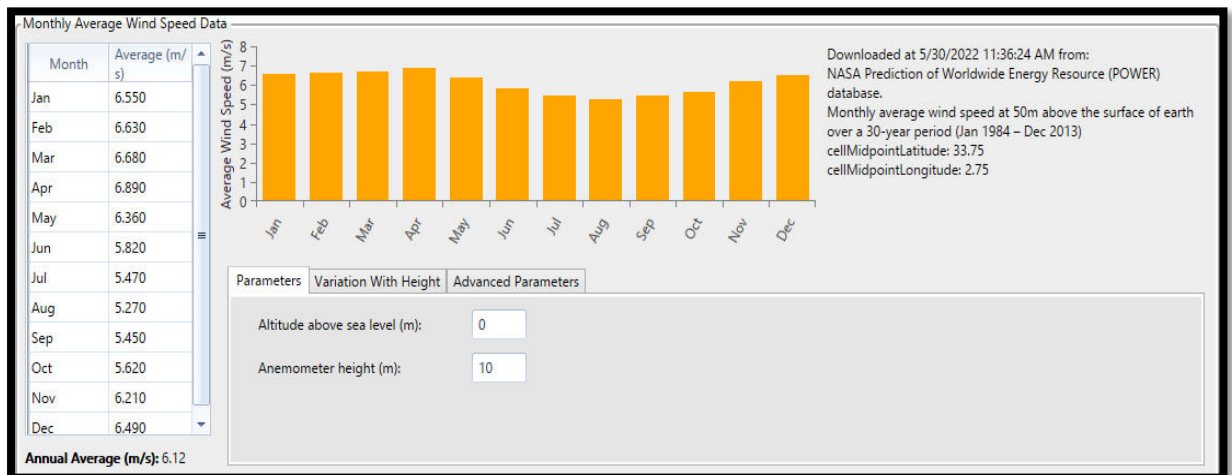
Figure III.5 : Paramètre d'ensoleillement

### III.3.2 Paramètre de l'éolienne

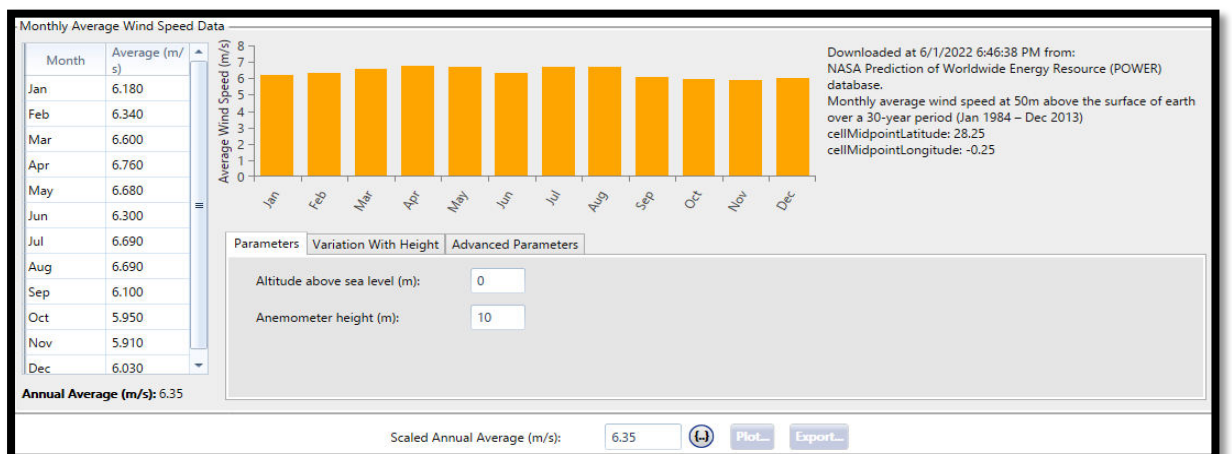
Pour la figure (III.6) présent les paramètres de l'éolienne



( a ) Région d'ARZEW



( b ) Région de Laghouat













( c ) Région d'Adrar











Figure III.6: Paramètre d'éolienne

### III.3.3 Résultats de dimensionnement











La figure III.7 présente les résultats de dimensionnement du système hybride

Architecture						
			PV-JA270 (kW) ▾	Eolienne 200W ▾	Batterie ▾	Dispatch ▾
			0.927		3	CC
			0.875	1	2	CC
				3	3	CC

( a ) Région d'Arzew

Architecture						
			PV-JA270 (kW) ▾	Eolienne 200W ▾	Batterie ▾	Dispatch ▾
			0.860		3	CC
			0.599	1	3	CC
				2	5	CC

( b ) Région de Laghouat

Architecture						
			PV-JA270 (kW) ▾	Eolienne 200W ▾	Batterie ▾	Dispatch ▾
			0.647		2	CC
			0.533	1	2	CC
				2	4	CC

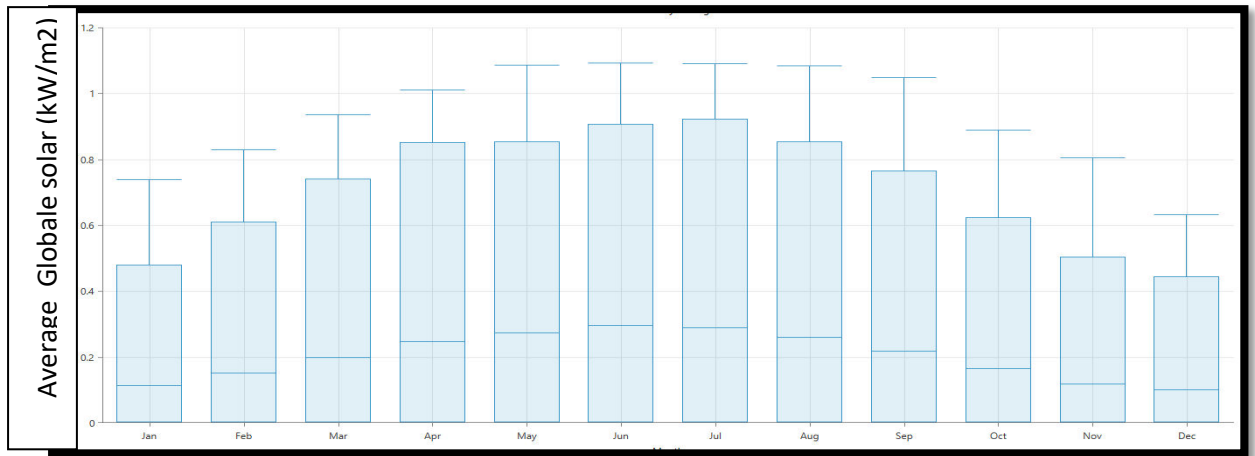
( c ) Région d'Adrar

Figure III.7 Résultats de dimensionnement

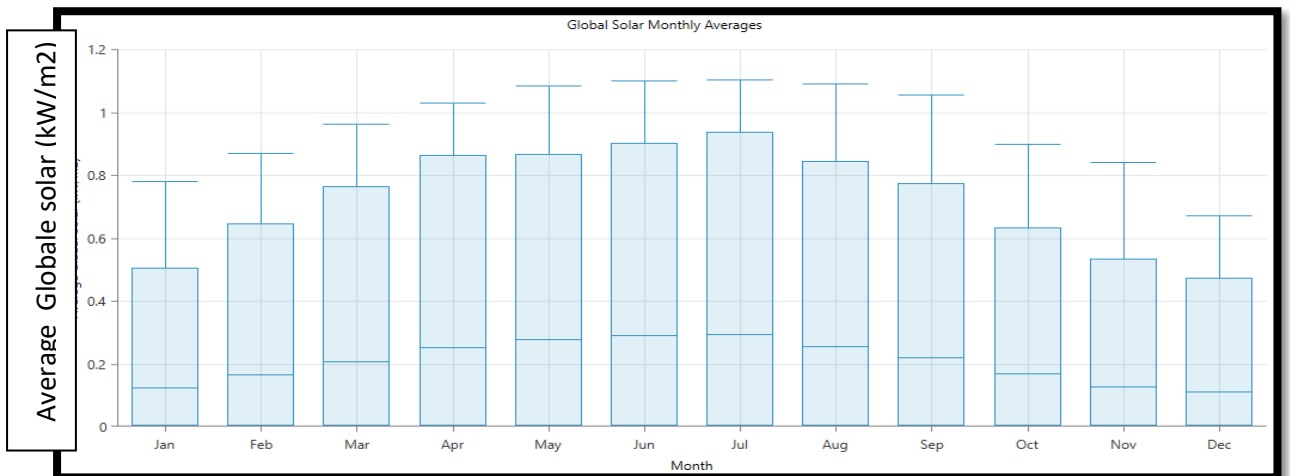
On note dans pour la figure III.7 que le logiciel gère les sources automatiquement. On donne la puissance générée pour le modèle PV et le nombre de générateur éolienne et le nombre de batterie.

### III.3.4 Production moyenne mensuelle solaire

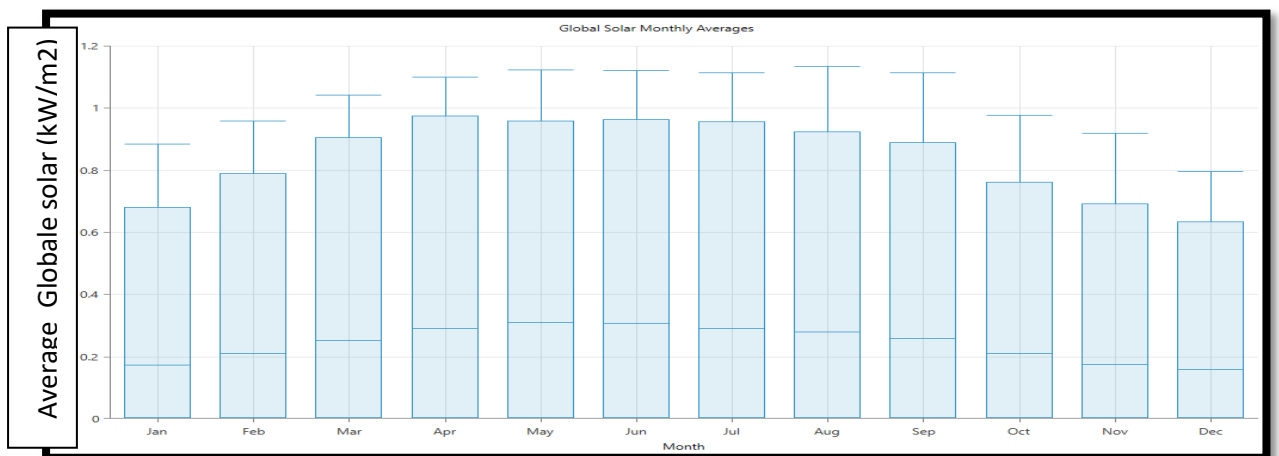
Pour la figure (III.8) en présent la production moyenne solaire de janvier au décembre



( a ) Région d'ARZEW



( b ) Région de Laghouat



( c ) Région d'Adrar

Figure III.8: Production moyenne mensuelle solaire

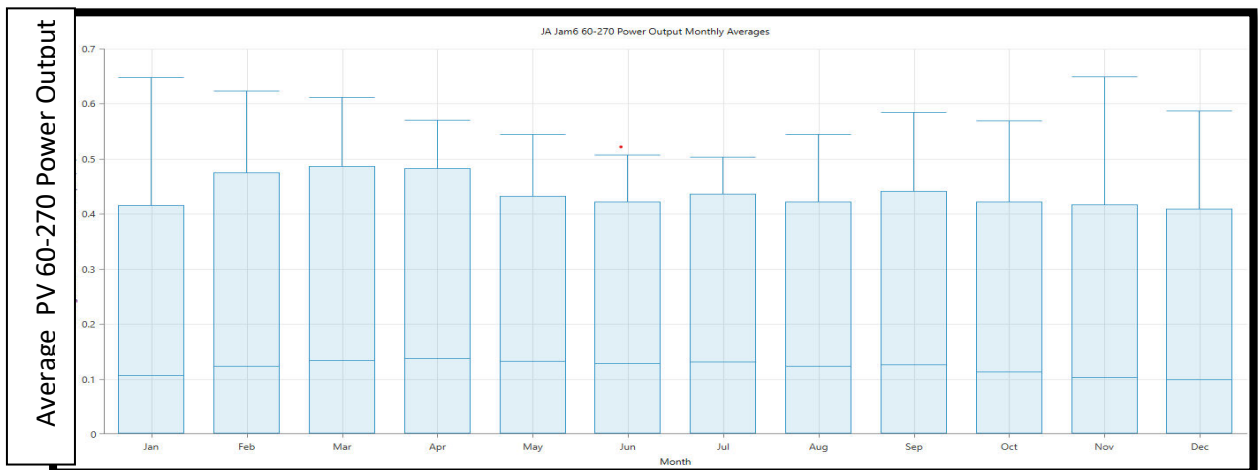
Pour le tableau (III.1) on donne les valeurs max et min de production moyenne mensuelle solaire pour les régions mentionnées:

Tableau III.1 Les valeur max et min de production moyenne mensuelle solaire

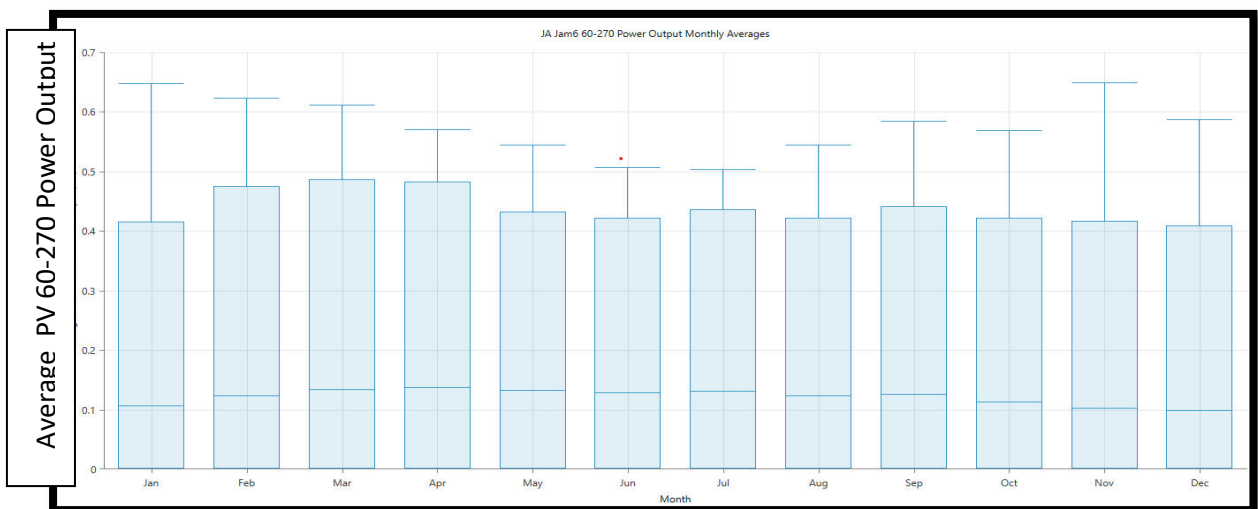
La région	Max de production kW/m <sup>2</sup>	Mois	Min de production kW/m <sup>2</sup>	Mois
Arzew	0.92	Juillet	0.44	Décembre
Laghouat	0.94	Juillet	0.47	Décembre
Adrar	0.97	Avril	0.63	Décembre

### III.3.5 Puissance de sortie moyenne pour le module PV-JA Jam6 60-270

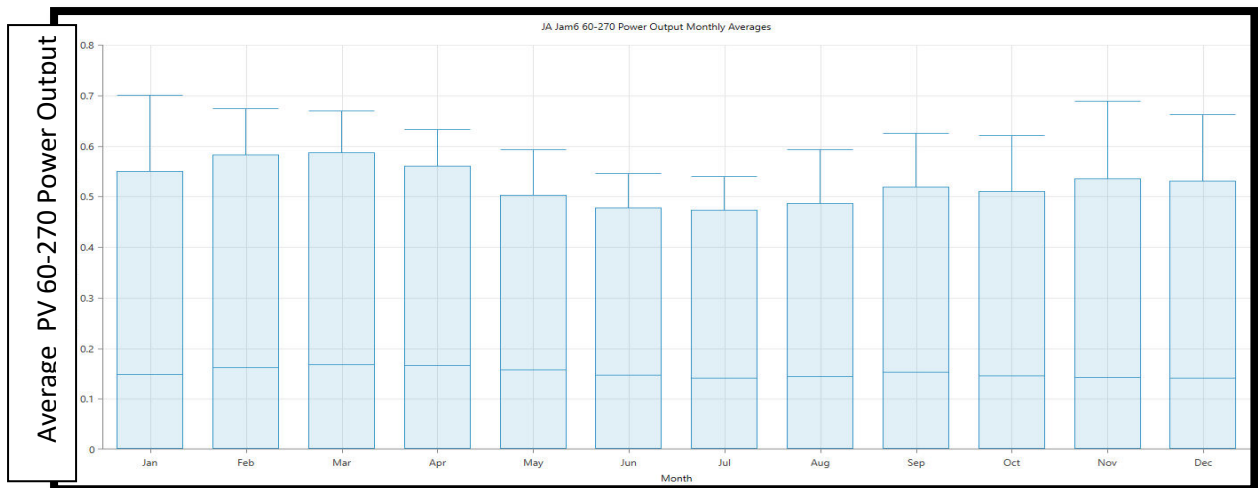
Pour le modèle du PV utilisé, on donne les puissances générées mensuelle prend aux une année pour les trois régions la figure (III.9)



( a ) Région d'Arzew



( b ) Région de Laghouat



( c ) Région d’Adrar

Figure (III.9) : Puissance de sortie moyenne pour le module PV-JA Jam6 60-270

Pour le tableau (III.2) on donne les valeurs max et min de Puissance de sortie moyenne pour le module PV-JA Jam6

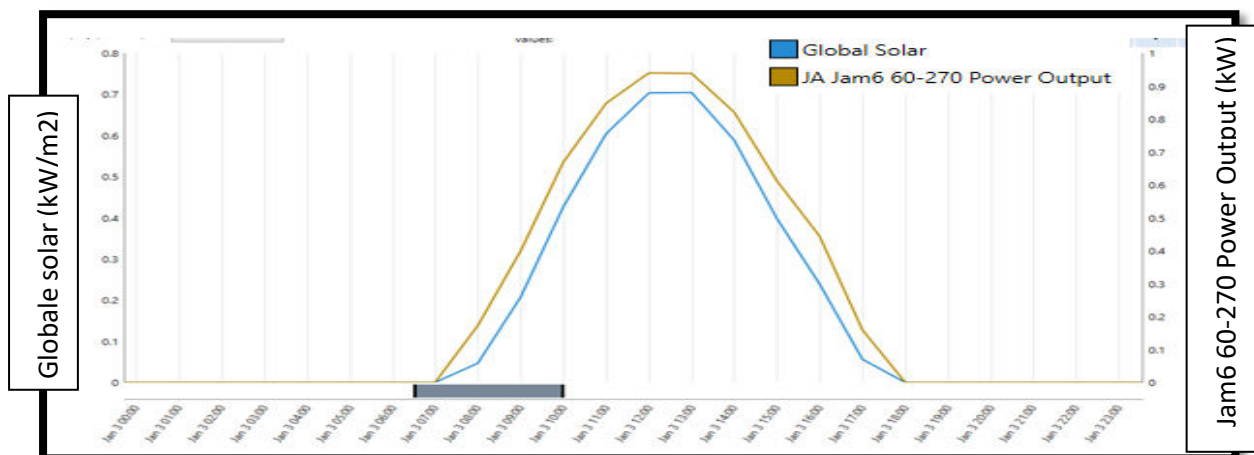
Tableau III.2 Les valeur max et min de Puissance de sortie moyenne pour le module PV-JA Jam6

La région	Max de puissance de sortie (kW)	Mois	Min de puissance de sortie (kW)	Mois
Arzew	0.71	Avril	0.58	Décembre
Laghouat	0.67	Mars	0.56	Décembre
Adrar	0.53	Mars	0.43	Juillet

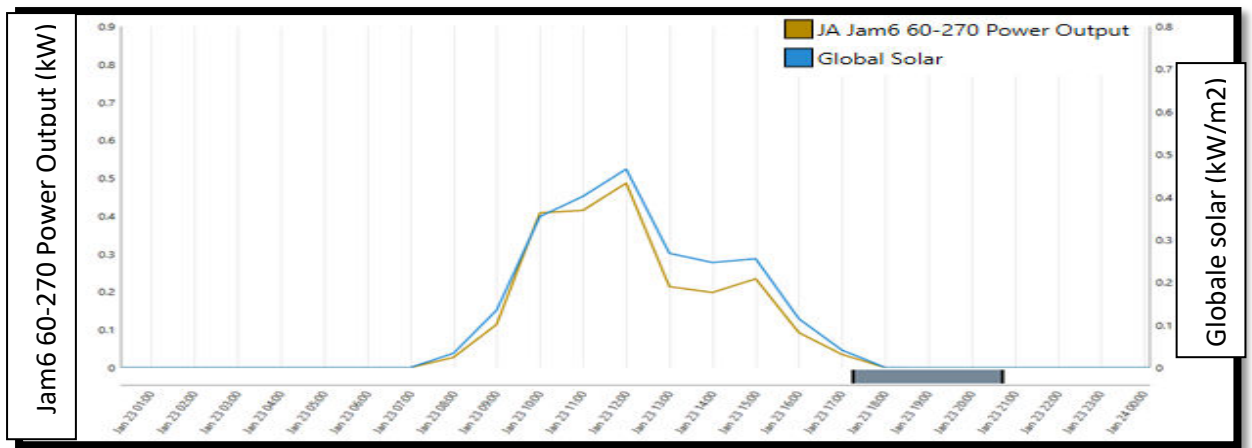
### III.3.6 Puissance de sortie pour une journée

On présente ci-dessous les puissances de sortie de PV et l’ensoleillement pour un jour de chaque saison

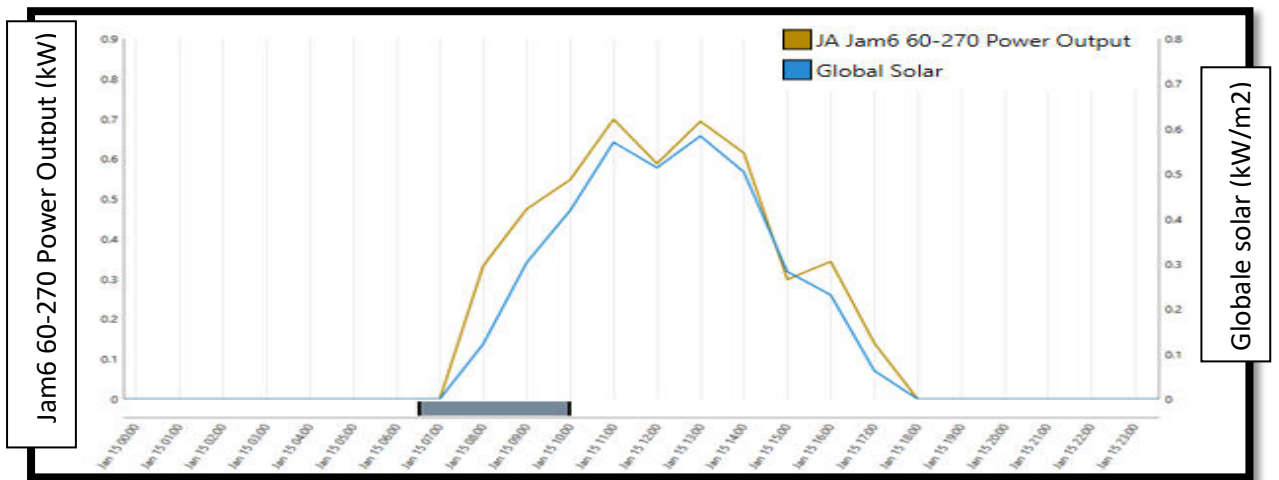
Les jours pour le mois de janvier la figure (III.10)



( a ) Région d’ARZEW



( b ) Région de laghouat

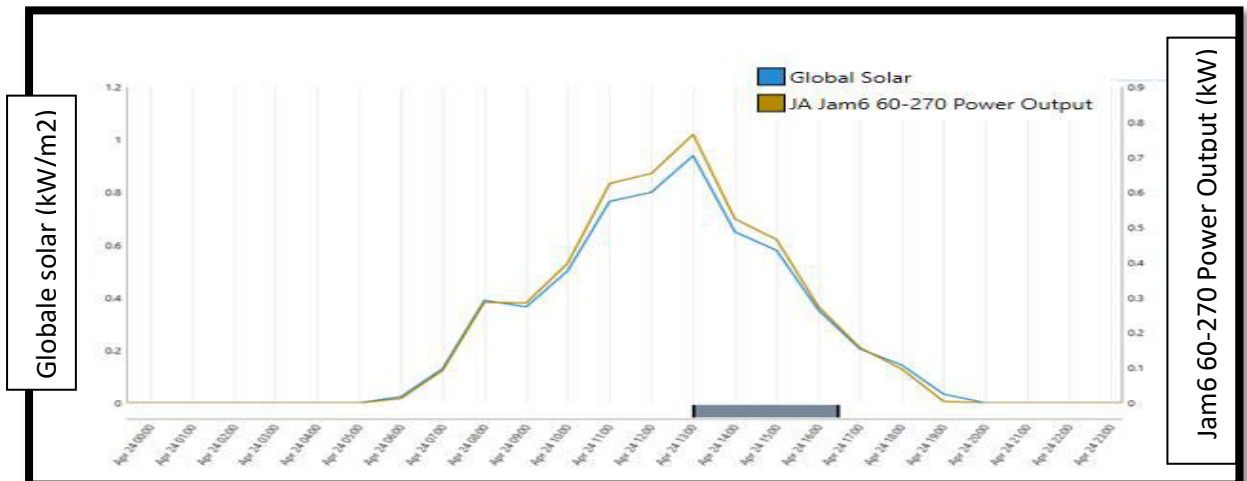


( c ) Région d'Adrar

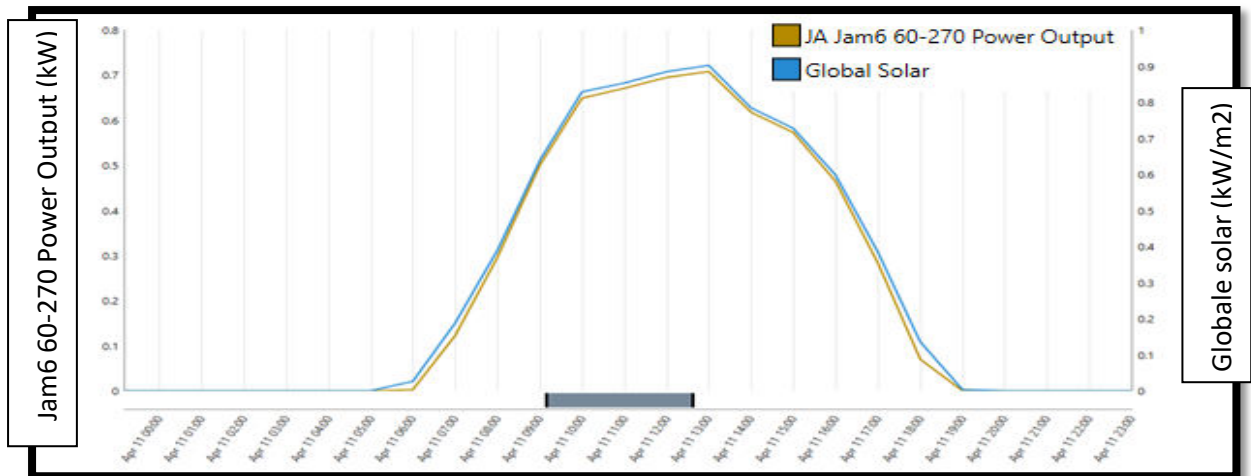
Figure III.10: Puissance de sortie crête et l'ensoleillement pour une journée de janvier

On note dans les courbes précédentes pour les jours de janvier, l'ensoleillement et la puissance de sortie crête est comparable pour toutes les régions.

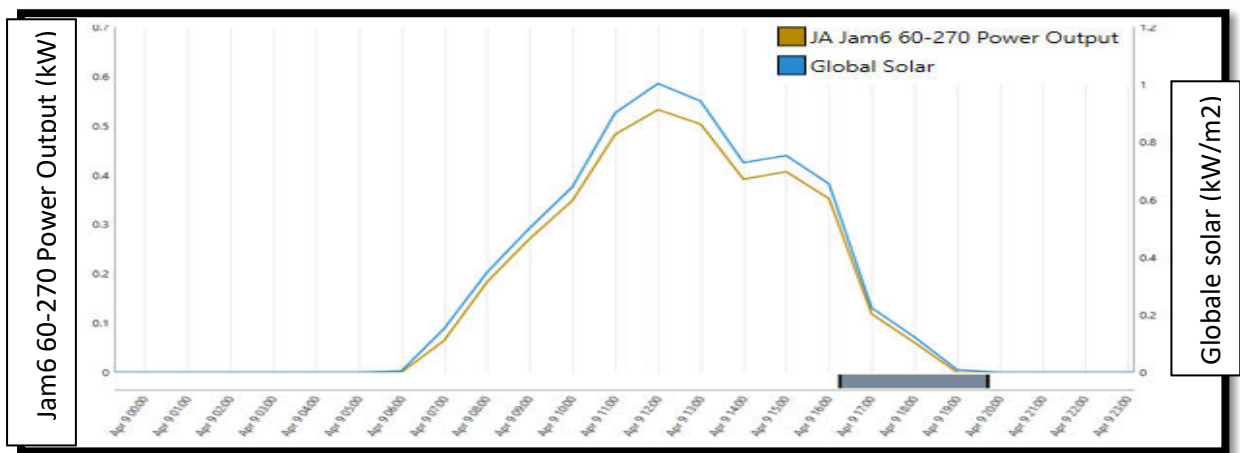
Les jours pour le moi d'avril la figure (III.11)



( a ) Région d'ARZEW



( b ) Région de Laghouat

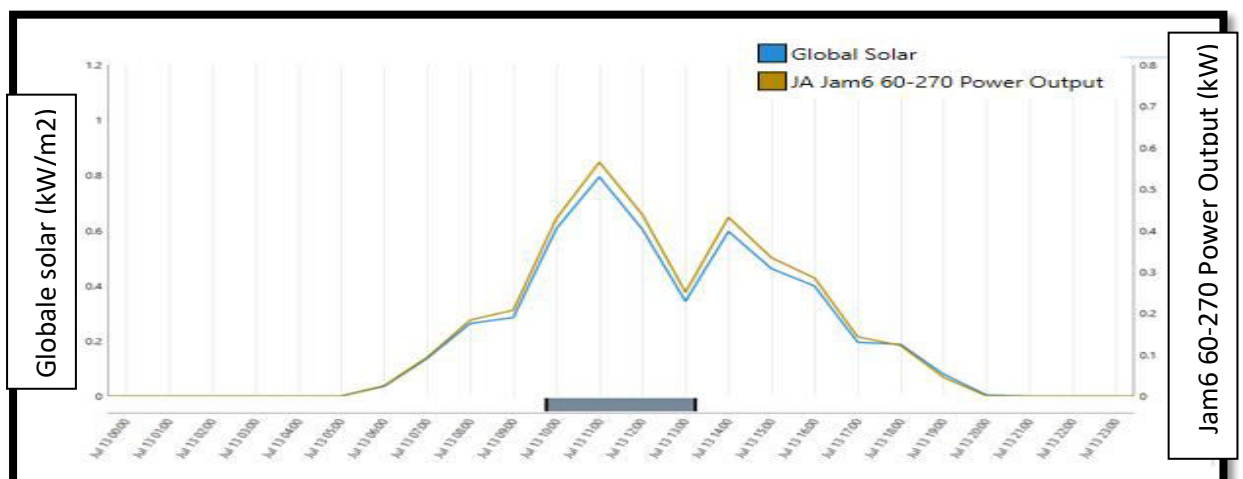


( c ) Région d'Adrar

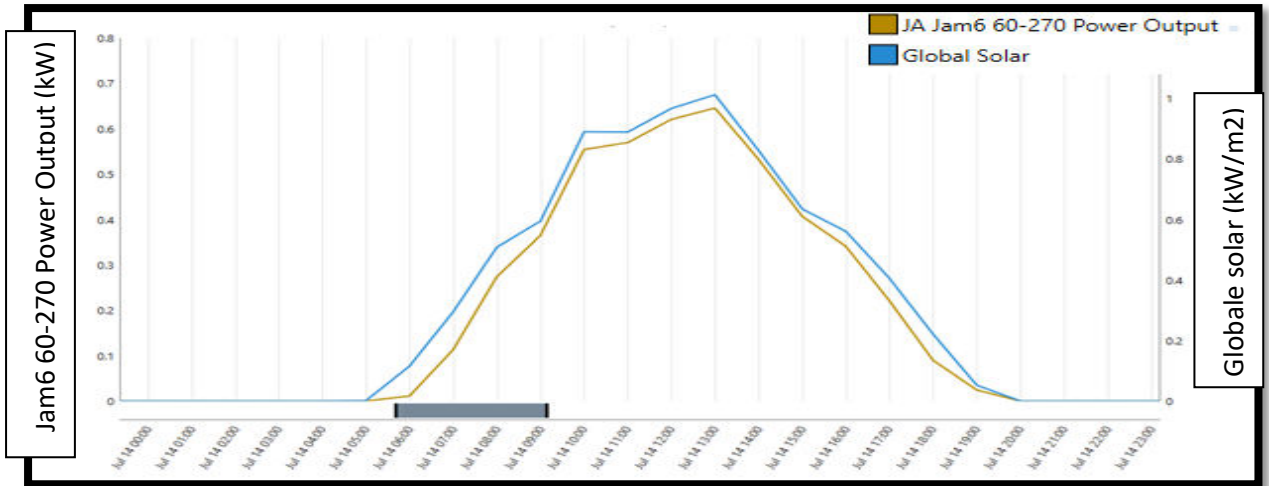
Figure III.11: Puissance de sortie crête et l'ensoleillement pour une journée de avril

On note dans les courbes précédentes pour les jours d'Avril l'ensoleillement et la puissance de sortie crête comparable pour la région d'Arzew et Laghouat et différente pour la région d'Adrar ensoleillement 1 kW/m2 et puissance 0.53W.

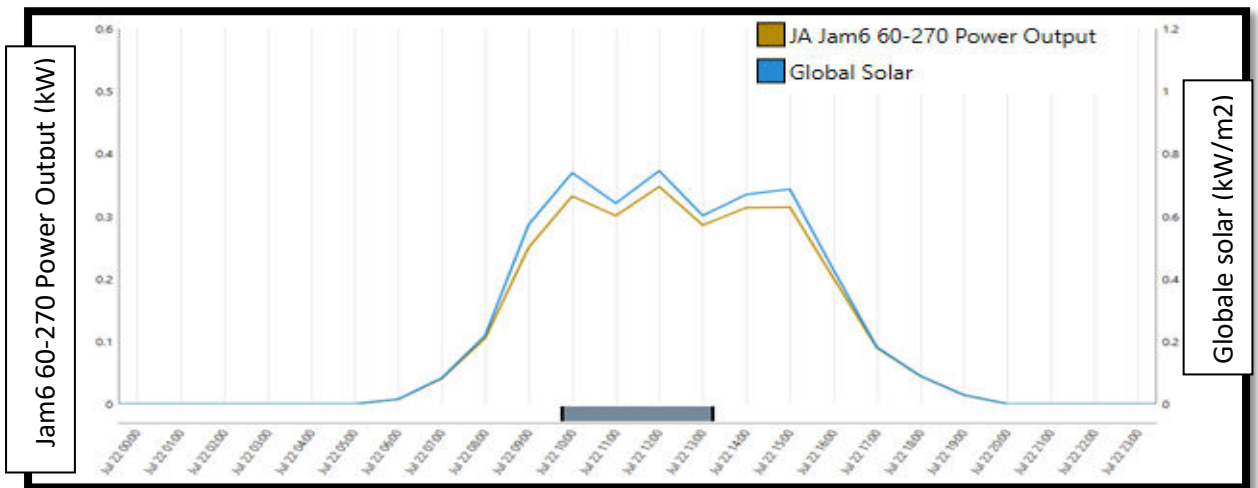
Les jours pour mois de juillet la figure (III.12)



( a ) Région d'ARZEW



( b ) Région de laghouat

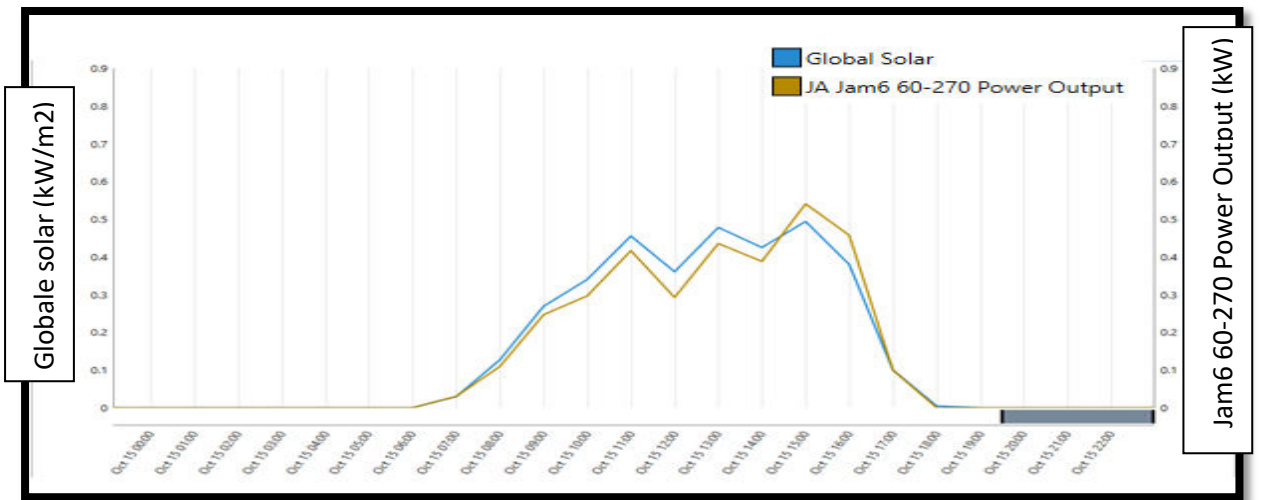


( c ) Région d'Adrar

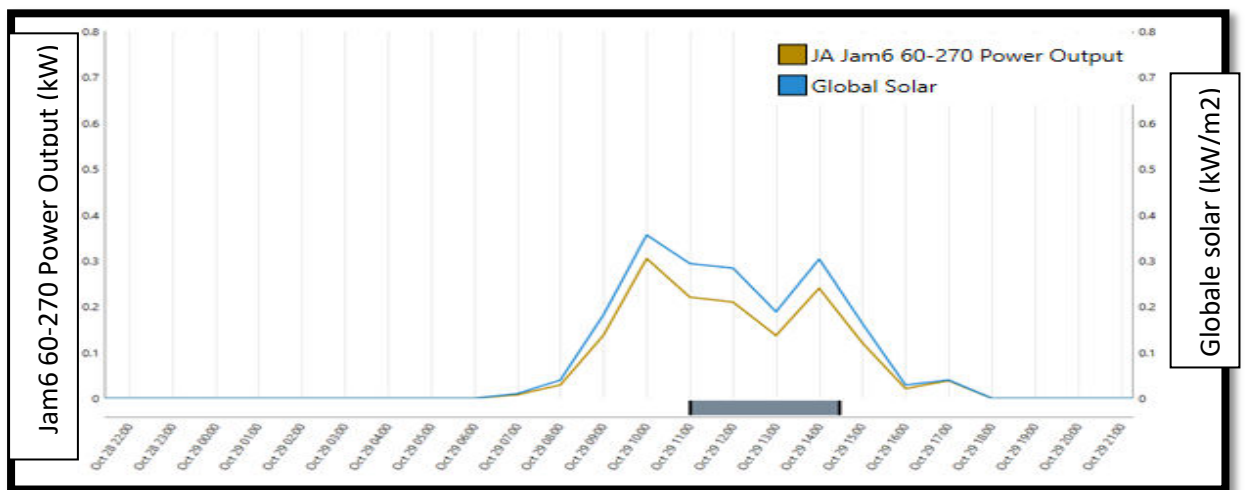
Figure III.12 : Puissance de sortie crête et l'ensoleillement pour une journée de juillet

On note dans les courbes précédentes pour les jours de juillet l'ensoleillement et la puissance de sortie crête pas comparable pour toute les régions puisque l'ensoleillement est élevé tandis que la puissance est faible.

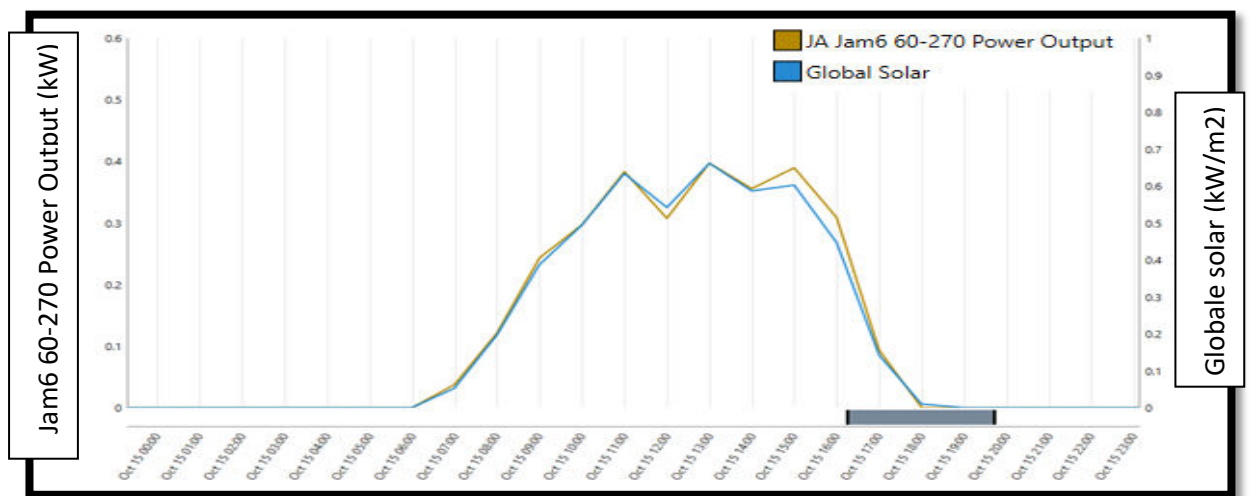
Les jours pour mois d'octobre la figure (III.13)



( a ) Région d'ARZEW



( b ) Région de Laghouat



( c ) Région d'Adrar

Figure III.13 : Puissance de sortie crête et l'ensoleillement pour une journée de octobre

On note dans les courbes précédentes pour les jours d'octobre l'ensoleillement et la puissance de sortie crête sont comparables pour toute les régions.

Pour le tableau (III.3) on donne les valeurs max de puissance de sortie moyenne et l'ensoleillement par mois pour les régions mentionnées:

Tableau III.3 Puissance de sortie moyenne et l'ensoleillement moyenne de chaque mois

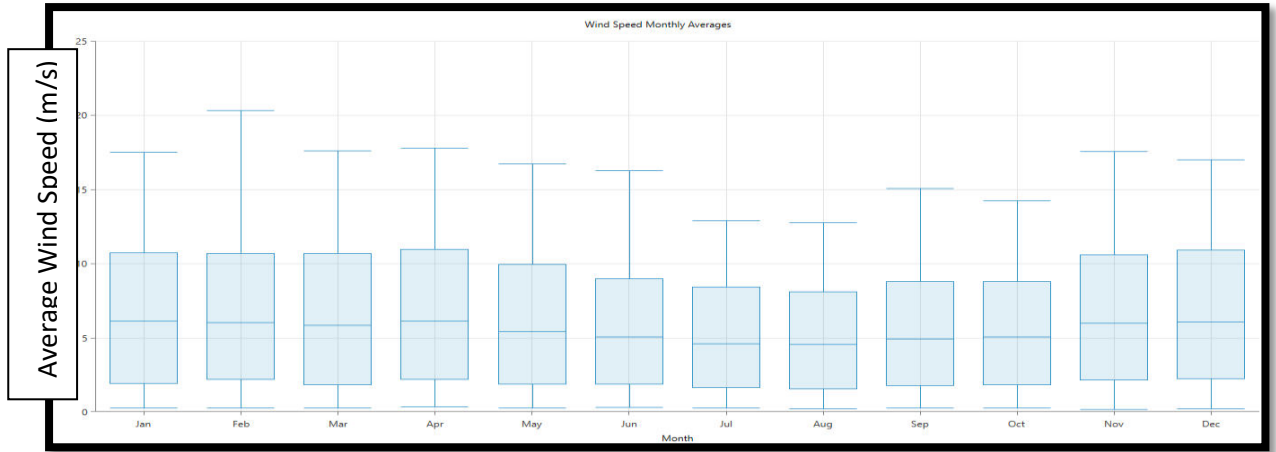
Mois	Arzew		Laghouat		Adrar	
	L'ensoleillement moyenne (kW/m <sup>2</sup> )	Puissance moyenne (kW)	L'ensoleillement moyenne (kW/m <sup>2</sup> )	Puissance moyenne (kW)	L'ensoleillement moyenne (kW/m <sup>2</sup> )	Puissance moyenne (kW)
Janvier	0.11	0.15	0.12	0.14	0.17	0.14
Février	0.15	0.17	0.16	0.16	0.21	0.15
Mars	0.20	0.19	0.20	0.18	0.25	0.15
Avril	0.24	0.20	0.25	0.19	0.29	0.15
Mai	0.27	0.20	0.27	0.18	0.30	0.14
Juin	0.29	0.20	0.28	0.17	0.30	0.13
Juillet	0.28	0.20	0.29	0.18	0.29	0.13
Aout	0.26	0.20	0.25	0.17	0.27	0.13
Septembre	0.21	0.18	0.22	0.17	0.25	0.14
Octobre	0.16	0.16	0.17	0.15	0.20	0.13
Novembre	0.11	0.14	0.13	0.14	0.17	0.13
Décembre	0.10	0.13	0.10	0.13	0.15	0.12

D'après le tableau III.3, on constate que la puissance moyenne de sortie du module PV prene son meilleur rendement pour les trois régions durant les mois mars jusqu'à mai. Une petite baisse de puissance est observée durant les mois où la température avoir des valeurs élevées et ceci à cause du point de fonctionnement des panneaux PV ; c'est-à-dire au de la d'une certaine température le rendement du panneau sera faible. Autre, les trois régions ont une faible puissance de sortie pour le mois du décembre.

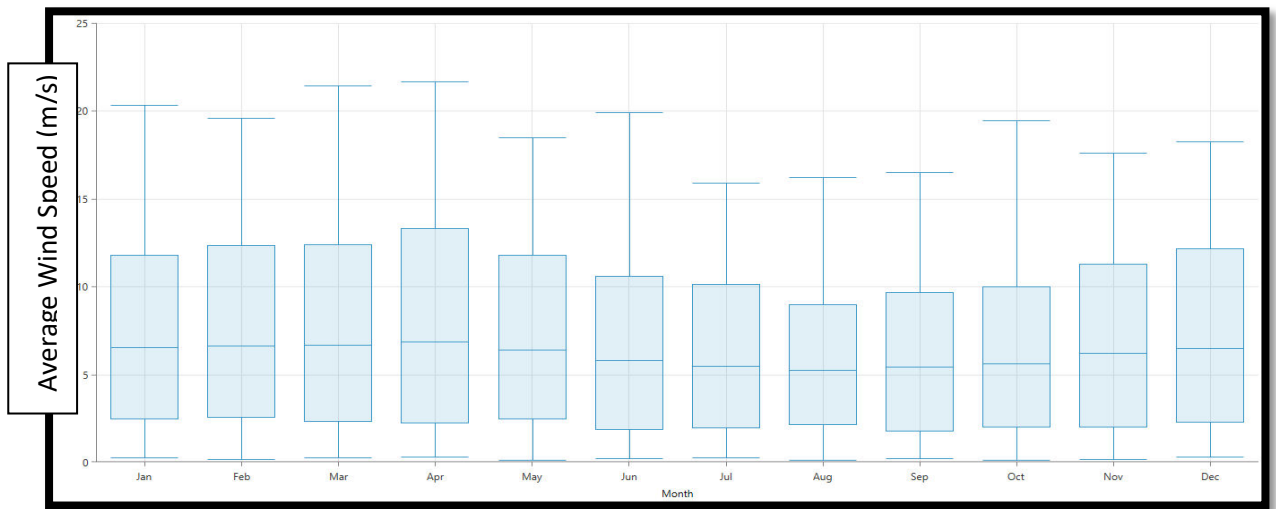
La fluctuation observée des valeurs mentionnées dans le tableau ci-dessus peuvent être expliquées du fait que les mesures sont moyennes pour toute la région mentionnée. Réellement, lorsqu'on veut implanter les panneaux, on doit choisir le site qui convient.

### III.3.7 La vitesse de vent moyenne mensuelle

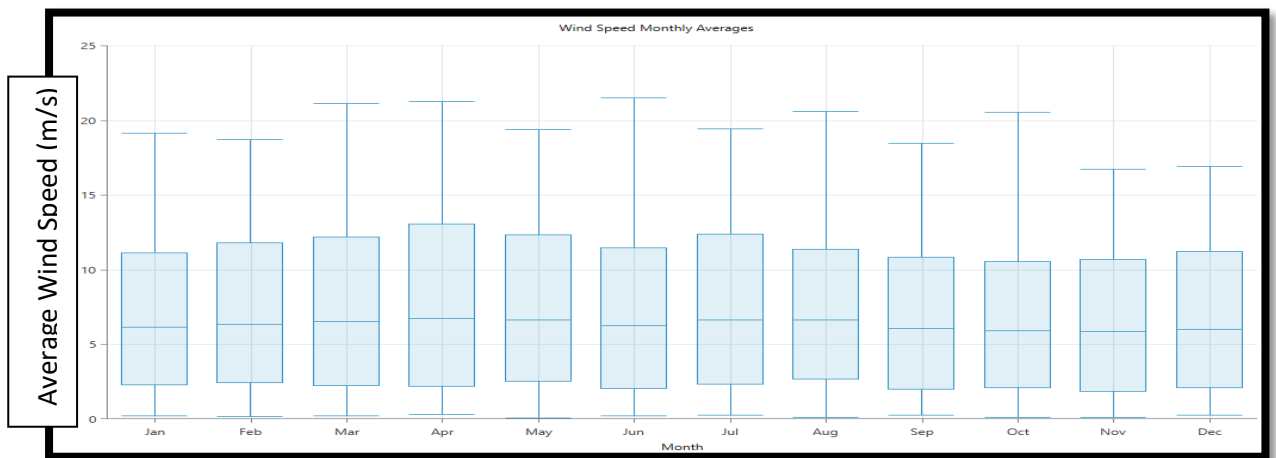
Pour la figure (III.14) On présente la vitesse du vent moyenne du janvier au décembre



( a ) Région d'Arzew



( b ) Région de Laghouat



( c ) Région d'Adrar

Figure III.1 Vitesse de vent moyenne mensuelle

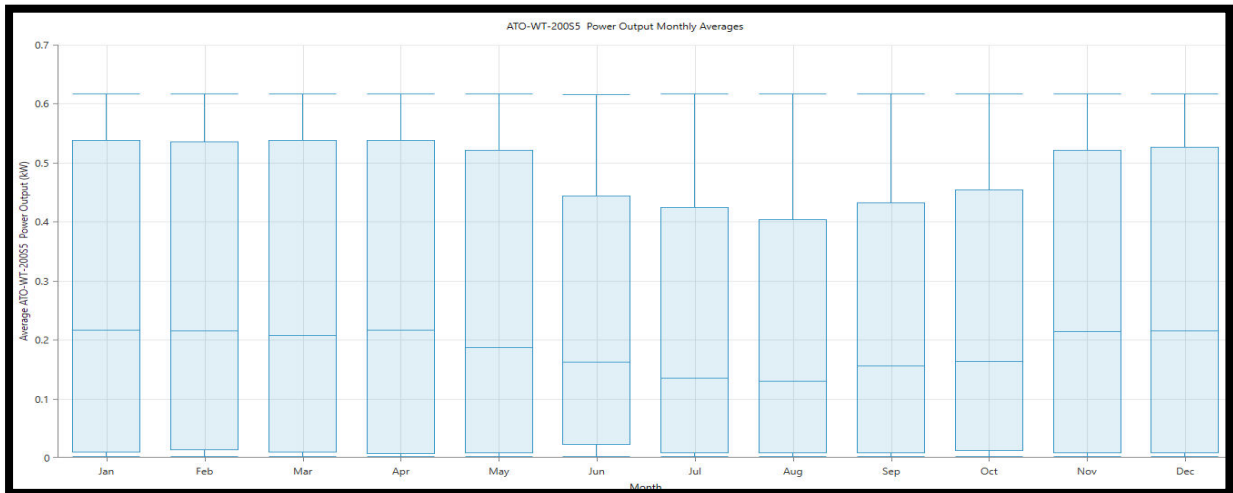
Pour le tableau (III.4) on donne les valeurs max de vitesse de vent moyenne mensuelle pour les régions mentionnées:

Tableau III.4 les valeurs max et min de vitesse de vent moyenne mensuelle

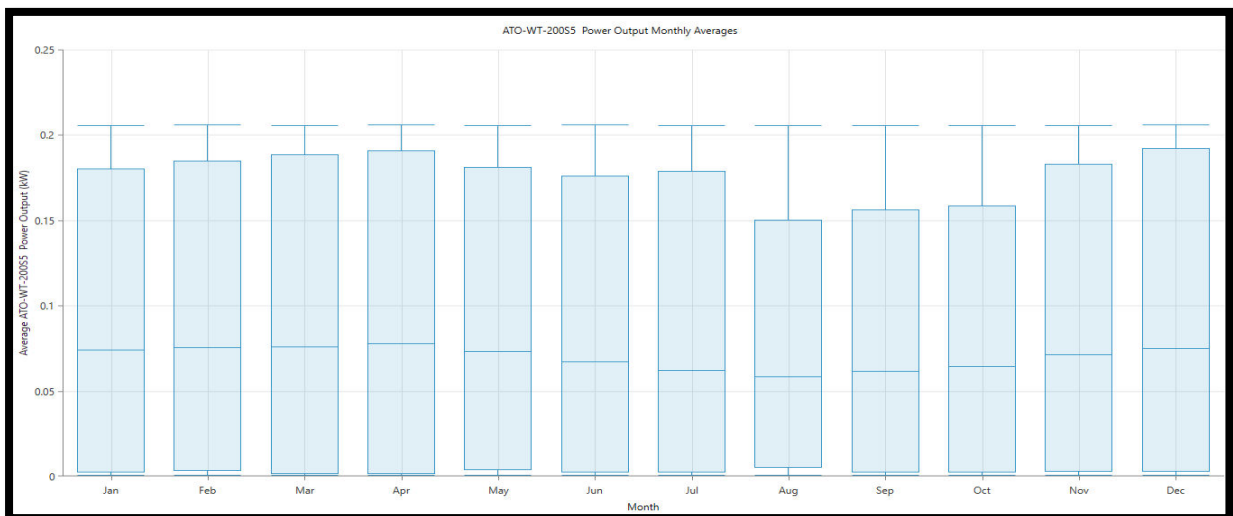
La région	Max de vitesse de vent m/s	Mois	Min de vitesse de vent m/s	Mois
Arzew	10.95	Avril	8.11	Aout
Laghouat	13.34	Avril	9.01	Aout
Adrar	13.08	Avril	10.56	Octobre

### III.3.8 Puissance de sortie moyenne mensuelle

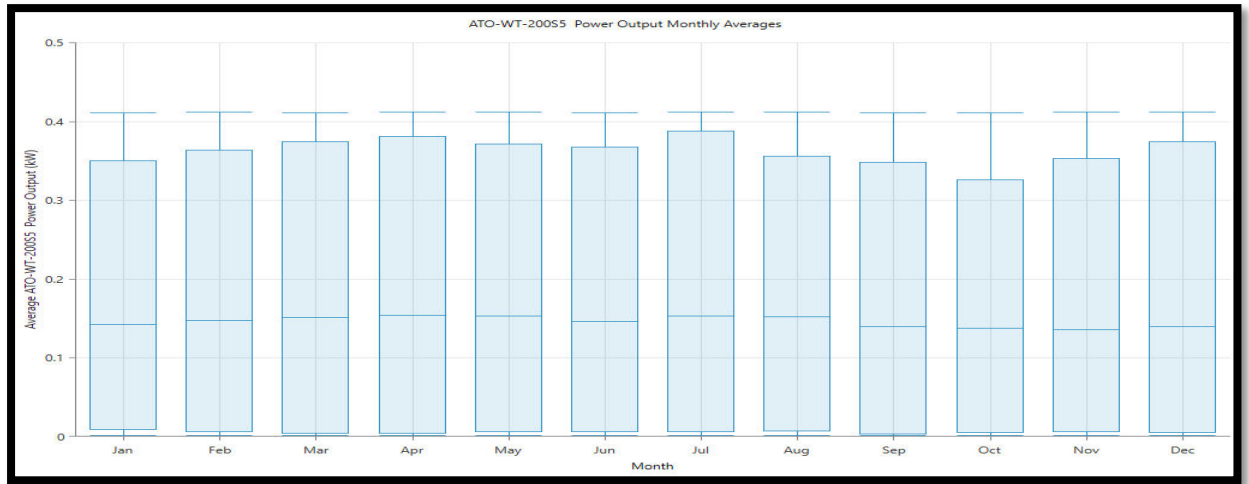
Pour le modèle de l'éolienne utilisé, on donne les puissances générées mensuelle pendant une année pour les trois régions la figure (III.15)



( a ) Région d'Arzew



( b ) Région de laghouat



( c ) Région d'Adrar

Figure III.15: Puissance de sortie moyenne mensuelle

On donne dans le tableau (III.5) les valeurs max et min pour la vitesse du vent pour les trois régions étudiées

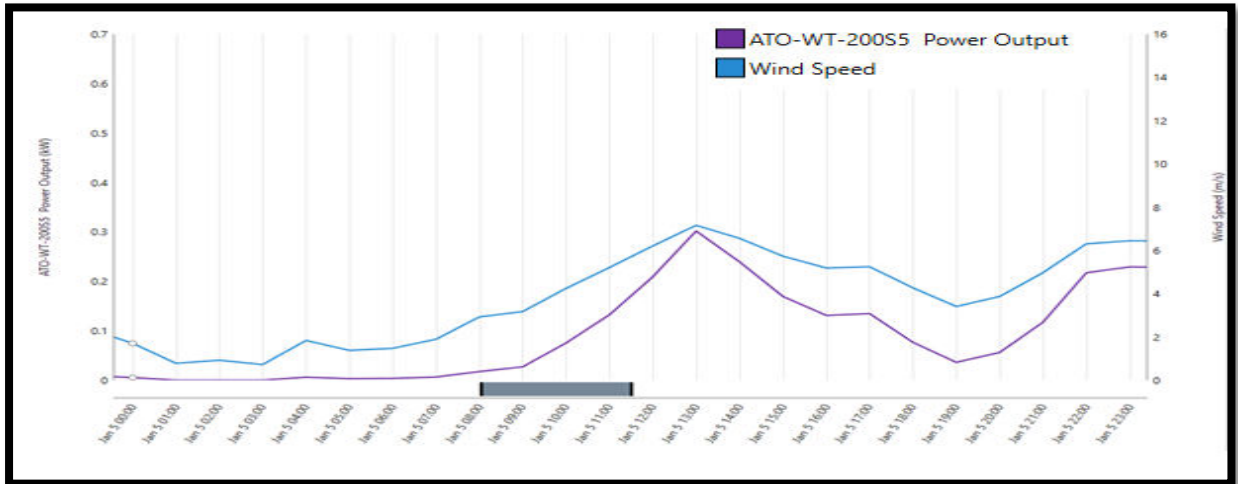
Tableau III.5 Les valeur max et min de Puissance de sortie les puissances générées mensuelle

La région	Max de puissance de sortie (kW)	Mois	Min de puissance de sortie (kW)	Mois
Arzew	0.54	Avril	0.40	Aout
Laghouat	0.38	Avril	0.30	Aout
Adrar	0.39	Juillet	0.33	Octobre

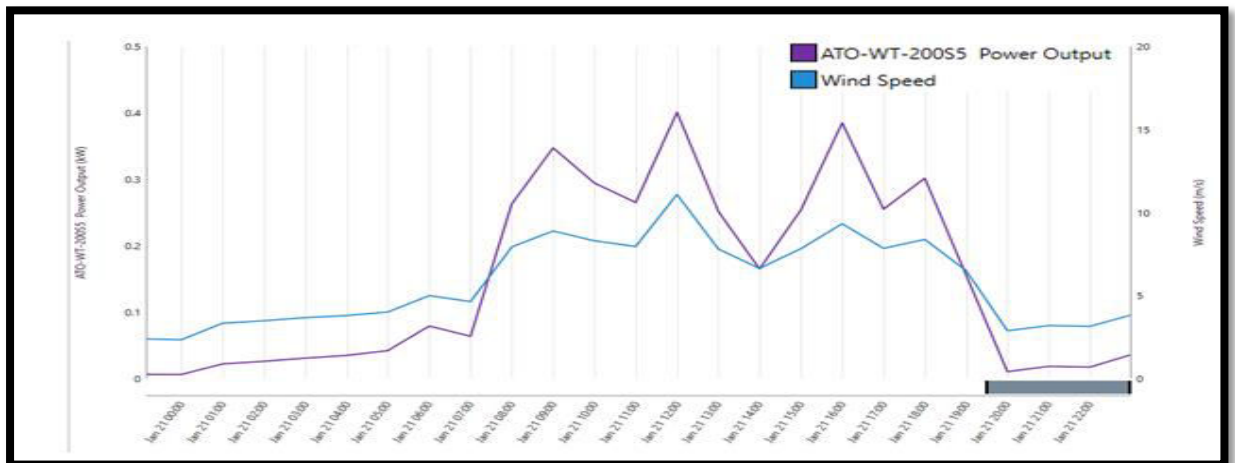
### III.3.9 Vitesse de vent et puissance de sortie crête par jour chaque saison

Pour prend la puissance de sortie de éolienne et vitesse de vent pour un jour de chaque saison

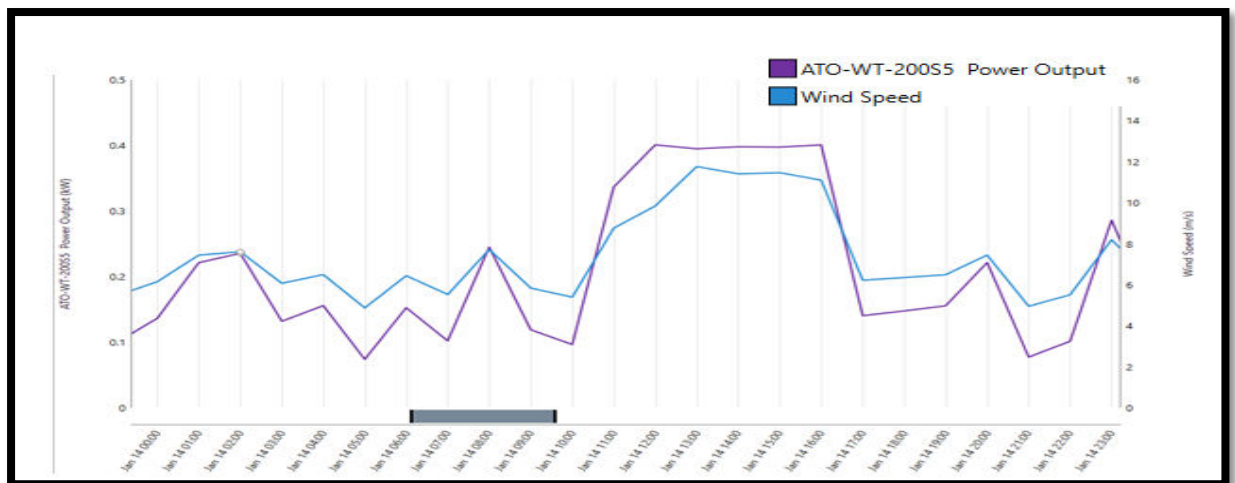
Pour le mois de janvier la figures (III.16)



( a ) Région d'Arzew



( b ) Région de Laghouat

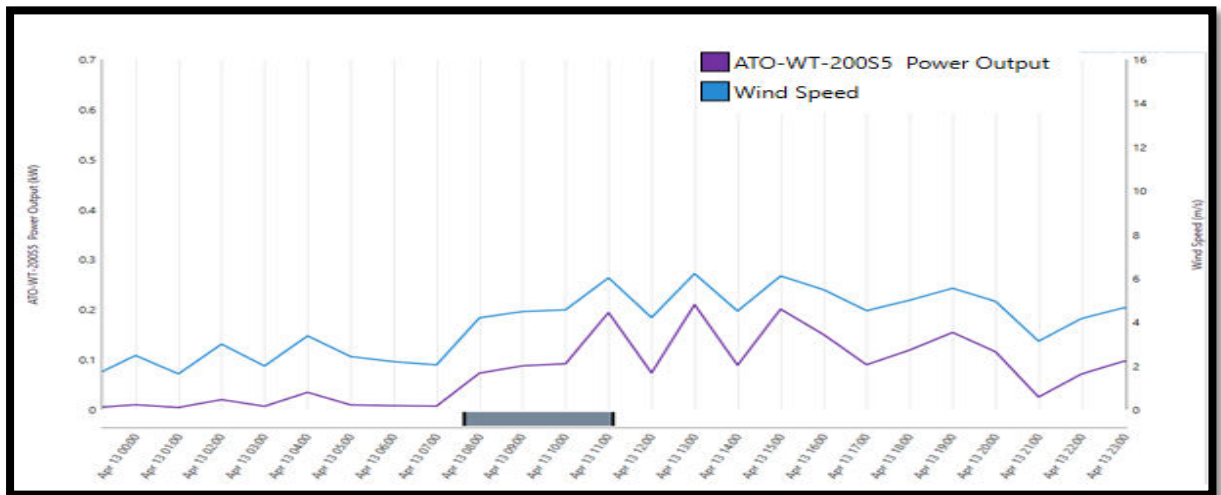


( c ) Région d'Adrar

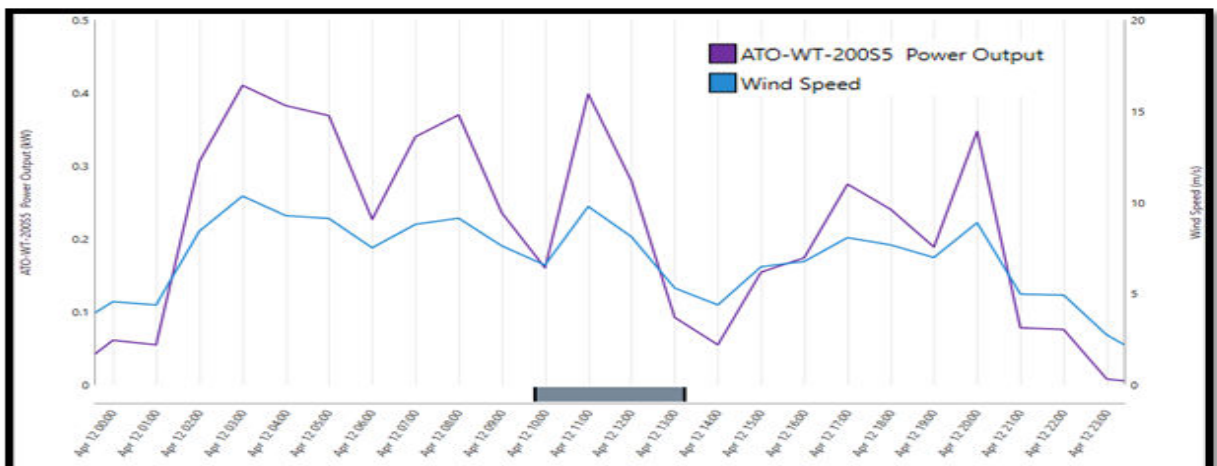
Figure III.16: Vitesse de vent et puissance de sortie crête pour une journée de janvier

On note dans les courbes précédentes pour les jours de janvier la puissance de sortie et la vitesse de vent comparable pour la région de Laghouat et Adrar 0.4W par rapport la région d'Arzew 0.30W.

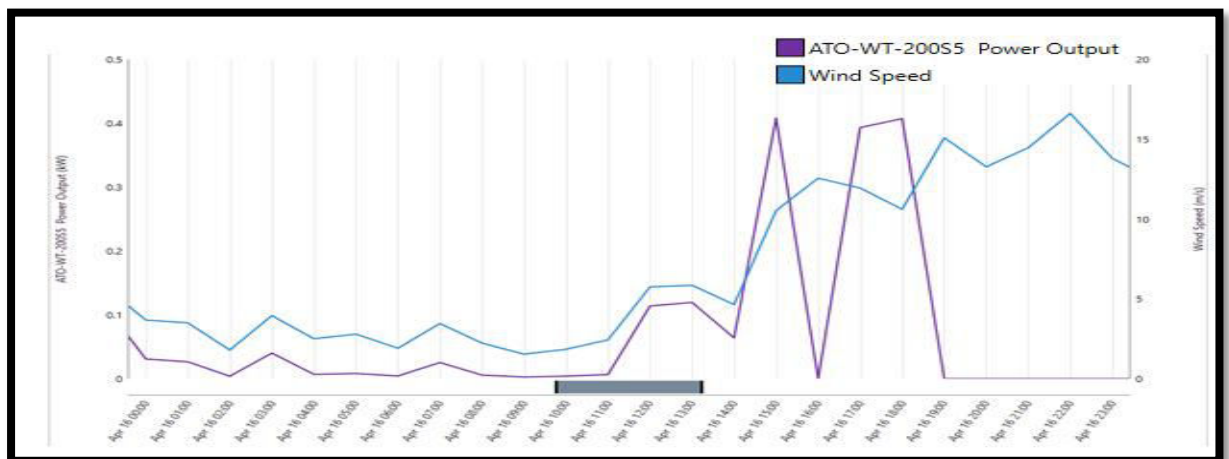
Pour le mois d'avril la figure (III.17)



( a ) Région d'Arzew



( b ) Région de Laghouat

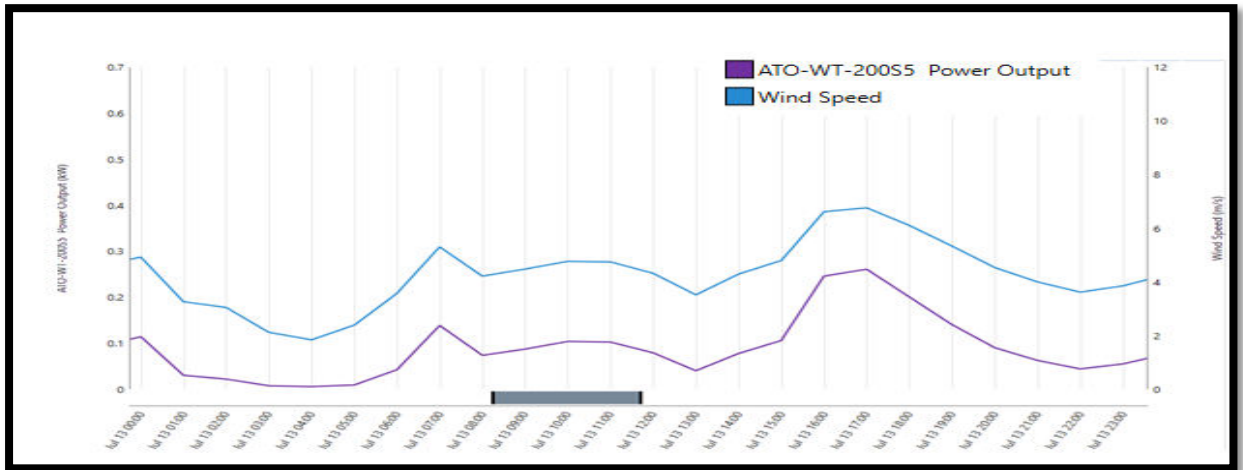


( c ) Région d'Adrar

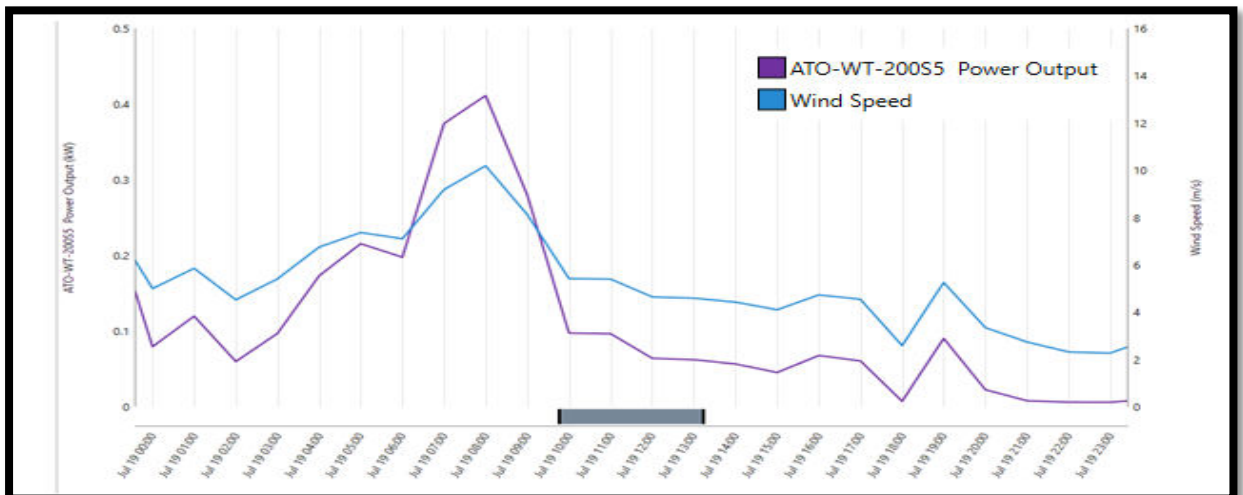
Figure III.17: Vitesse de vent et puissance de sortie crête pour une journée de Avril

On note dans les courbes précédentes pour les jours d'avril la puissance de sortie et la vitesse de vent comparable pour la région de Laghouat et Adrar 0.41W par rapport la région d'Arzew 0.21W.

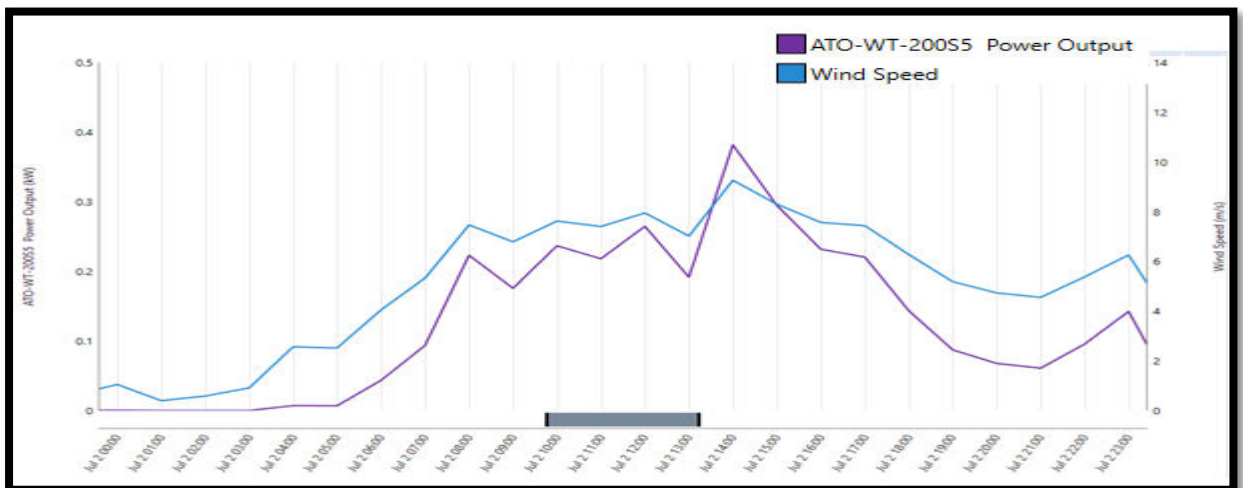
Pour le mois de juillet les figures (III.18)



( a ) Région d'Arzew



( b ) Région de Laghouat

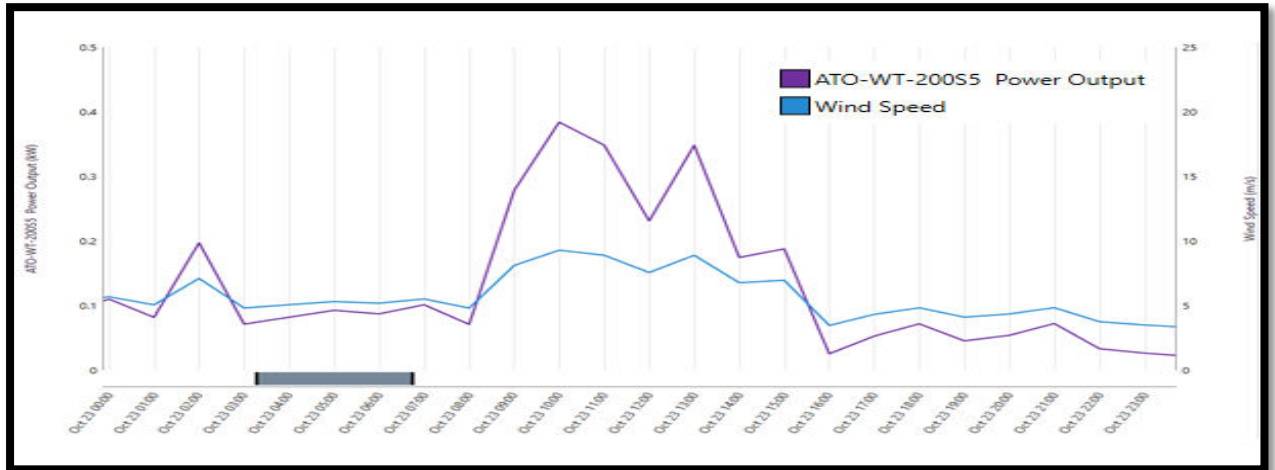


( c ) Région d'Adrar

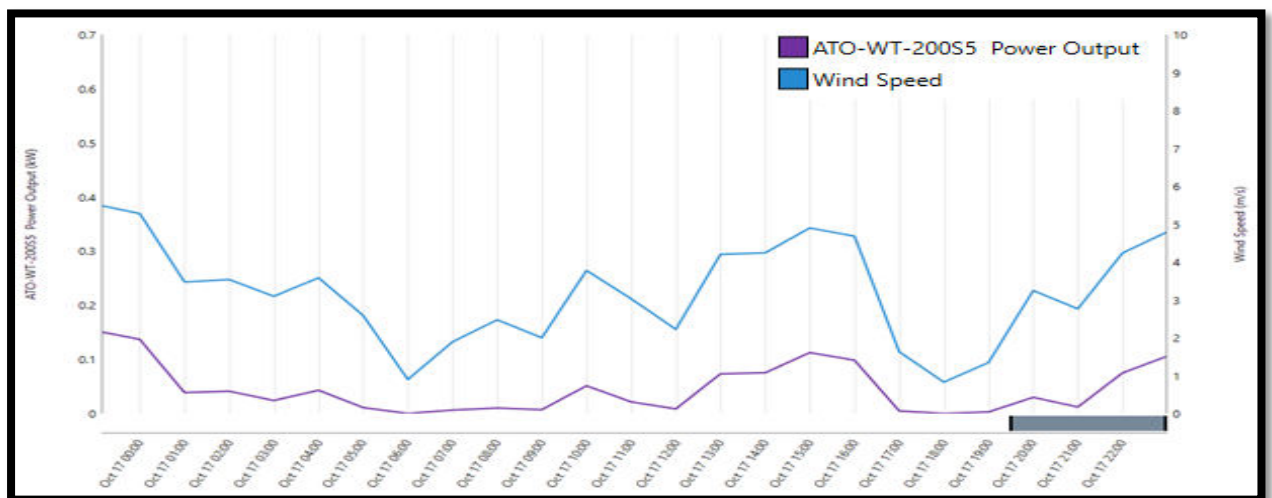
Figure III.18: Vitesse de vent et puissance de sortie crête pour une journée de juillet

On note dans les courbes précédentes pour les jours de Juillet la puissance de sortie et la vitesse de vent pour la région de Laghouat est élevée 0.41W par rapport la région d'Arzew 0.26W et Adrar 0.38W.

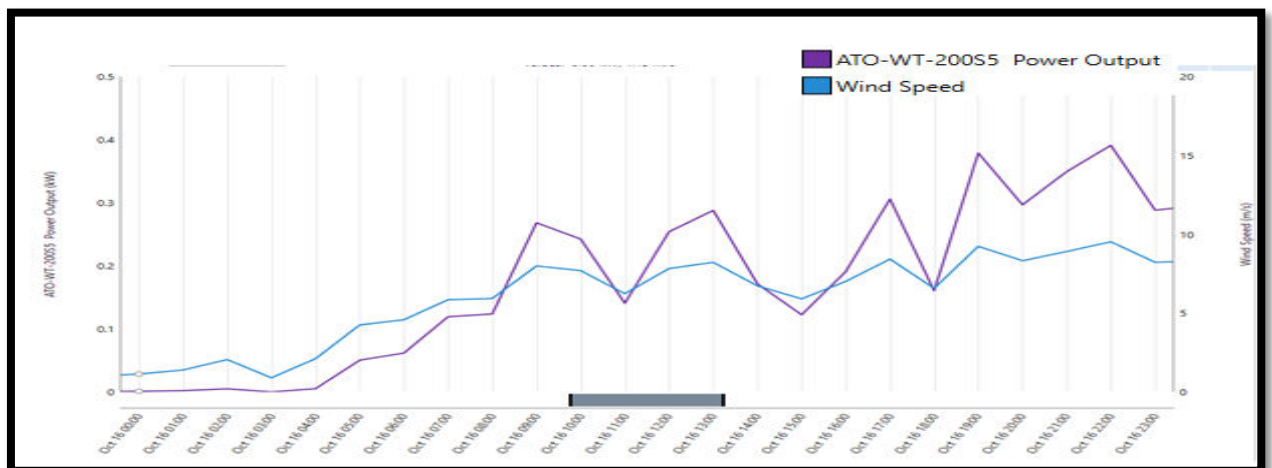
Pour le mois d'octobre les figures (III.19)



( a ) Région de d'Arzew



( b ) Région de Laghouat



( c ) Région d'Adrar

Figure III.19 : Vitesse de vent et puissance de sortie crête pour une journée de Octobre

On note dans les courbes précédentes pour les jours d’octobre la puissance de sortie et la vitesse de vent comparable pour la région de Laghouat et Adrar 0.41W par rapport la région d’Arzew 0.21W.

Pour le tableau (III.6) on donne les valeurs max de puissance de sortie moyenne du modèle éolien et la vitesse de vent par mois pour les régions mentionnées:

Tableau III.6 Puissance de sortie moyenne et vitesse de vent moyenne de chaque mois

Mois	Arzew		Laghouat		Adrar	
	Vitesse de vent (m/s)	Puissance moyenne (kW)	Vitesse de vent (m/s)	Puissance moyenne (kW)	Vitesse de vent (m/s)	Puissance moyenne (kW)
Janvier	6.12	0.21	6.55	0.14	6.18	0.14
Février	6.09	0.21	6.63	0.15	6.33	0.14
Mars	5.87	0.20	6.68	0.15	6.60	0.15
Avril	6.10	0.21	6.88	0.15	6.75	0.15
Mai	5.47	0.18	6.36	0.14	6.68	0.15
Juin	5.02	0.16	5.82	0.13	6.29	0.14
Juillet	4.59	0.13	5.47	0.12	6.68	0.15
Aout	4.51	0.12	5.27	0.11	6.68	0.15
Septembre	4.92	0.15	5.45	0.12	6.10	0.13
Octobre	5.05	0.16	5.61	0.13	5.94	0.13
Novembre	6.01	0.21	6.21	0.14	5.91	0.13
Décembre	6.06	0.21	6.48	0.14	6.02	0.13

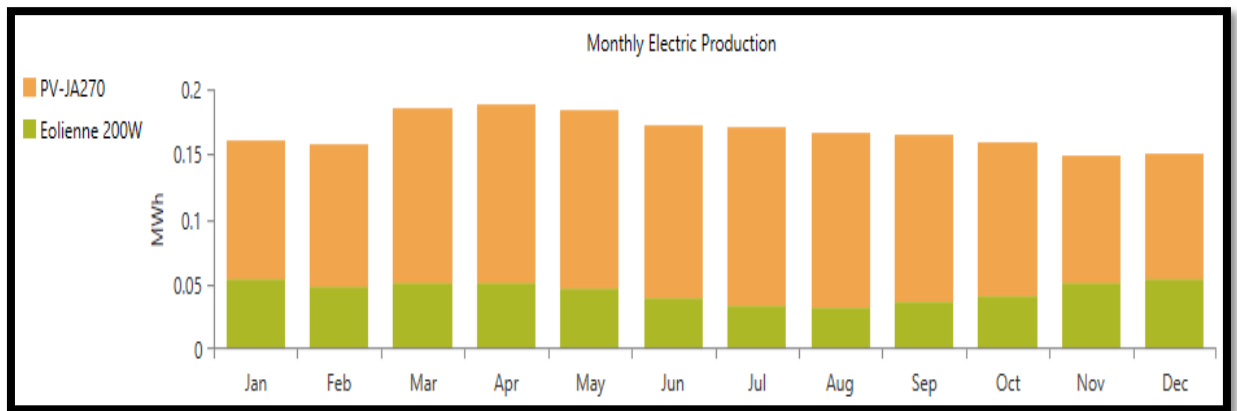
D’après le tableau III-6, on constate que la puissance moyenne produite par la source éolienne dans les régions de Laghouat et Adrar sont comparables, tandis que à Arzew est plus élevé. ; Ceci est justifié par l’utilisation de 3 générateurs éoliens dans le logiciel. A titre d’information cette stratégie d’utiliser plusieurs générateurs est appliquée automatiquement par le logiciel.

Pour les vitesses du vent des trois régions étudiées n’ont pas une stratégie fixe ; ce qui reflète sur la puissance générée. Les facteurs qui causent la fluctuation de la vitesse du vent est peut être justifiée par le suivant :

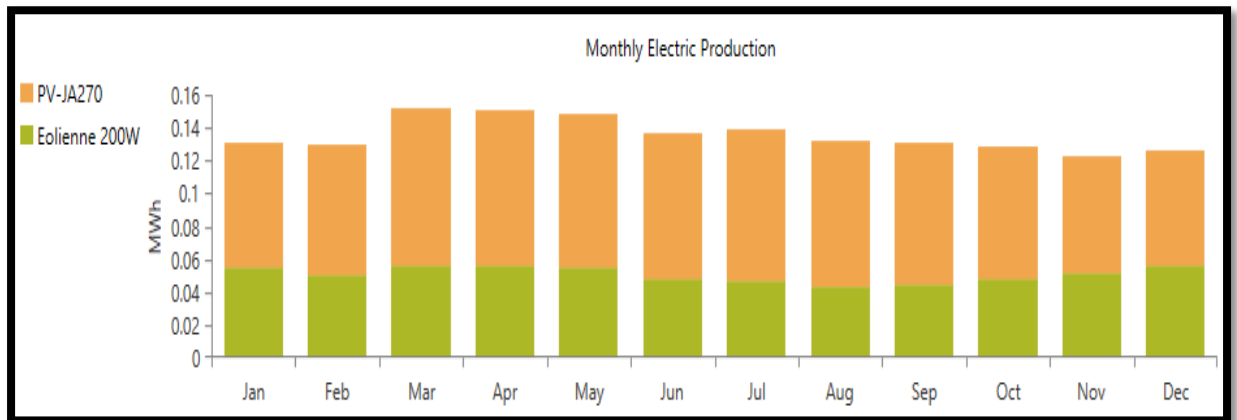
- Les vagues et les marrées pour les régions dans les cotes
- Le passage transitoire des saisons
- Les courants des mers et des océans

### III.3.10 Système hybride PV-Eolien

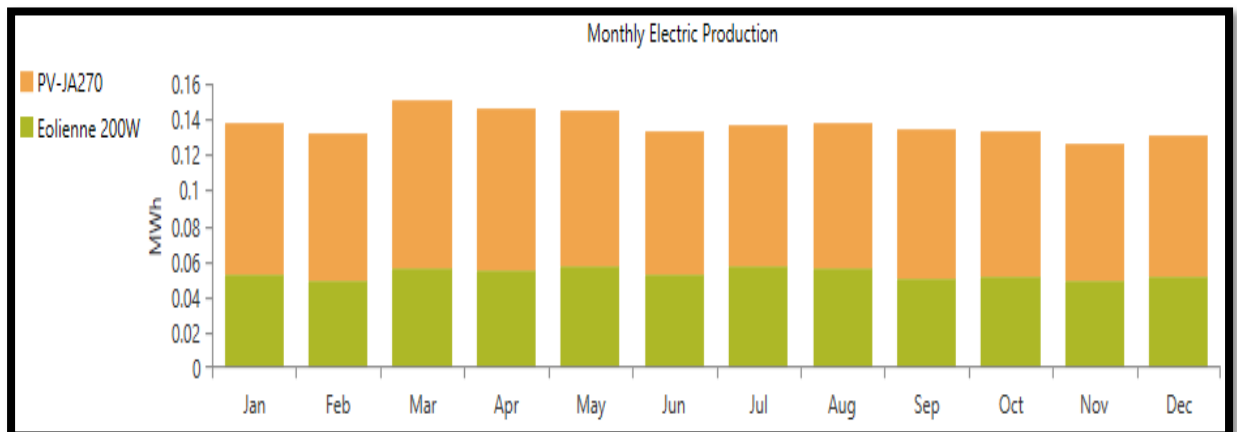
Pour la figure (III.20) on présente la production électrique de la source hybride PV-Eolienne



( a ) Région d'ARZEW



( b ) Région Laghouat



( c ) Région d'Adrar

Figure III.20: Production électrique de la source PV-Eolien

La figure III.20 on présente la production électrique de la source hybride éolien-PV. On note que la production hybride pour les régions Arzew et Laghouat varient de la même façon tandis que la variation de la région d'Adrar est différente.

Tableau III.7 Production électrique de la source PV-Eolien

La région	Production-PV- KW/ans	%	Production éolienne kW/ans	%
Arzew	1496	73.02	538	26.8
Laghouat	1016	62.5	609	37.5
Adrar	1007	61.2	638	38.8

D'après le tableau III.7, on voit que la puissance du module PV dans la région d'Arzew est plus élevée (1496 kW / ans) avec un taux d'exploitation de 73.02% par rapport aux régions de Laghouat (1016 kW/ans) et Adrar (1007 kW/ans) ; tandis que la production du module éolien est faible dans la région d'Arzew (538 kW/ans) moins de productivité par rapport aux régions de Laghouat (609 kW/an) et Adrar (638 kW/an).

Autrement dit, l'exploitation de la production d'énergie solaire est meilleure dans la région d'Arzew, quant à la région de Laghouat et Adrar, il est possible d'exploiter l'énergie hybride, puisque le taux d'énergie éolienne est d'environ 40% du total.

En général, l'utilisation de l'énergie hybride dépend de la productivité de la région à la fois en énergie solaire et éolienne

Component	Capital (DA)	Replacement (DA)	O&M (DA)	Fuel (DA)	Salvage (DA)	Total (DA)
ATO-WT-200S5	DA47,367.53	DA0.00	DA904.93	DA0.00	DA0.00	DA48,272.46
Discover AES 2.64 kwh batterie	DA6,616.00	DA5,844.82	DA0.00	DA0.00	-DA792.46	DA11,668.37
JA Jam6 60-270	DA17,500.00	DA0.00	DA0.00	DA0.00	DA0.00	DA17,500.00
System	DA71,483.53	DA5,844.82	DA904.93	DA0.00	-DA792.46	DA77,440.82

Figure III.21 : Coût d'un système hybride pour l'éclairage public

Quant à l'aspect économique, on note le coût élevé des équipements éoliens par rapport aux équipements solaires. Par exemple, l'exploitation de l'énergie hybride est coûteuse dans la région d'Arzew et n'est pas appropriée car le coût est supérieur à l'installation. Vu le coût, l'exploitation de l'éclairage avec la source solaire est plus efficace et à moins coût par rapport à la source hybride.

### III.4 Système de traitement proposé

La figure(III.22) présente un système de traitement pour choisir la source convenable de fonctionnement. L'idée de ce système base sur la collecte des conditions météorologiques de la région étudiée ; puis en fonction des données acquises, on passe à la phase du traitement et par conséquent, on procède à utiliser seule la source solaire, éolienne ou les deux ensemble.

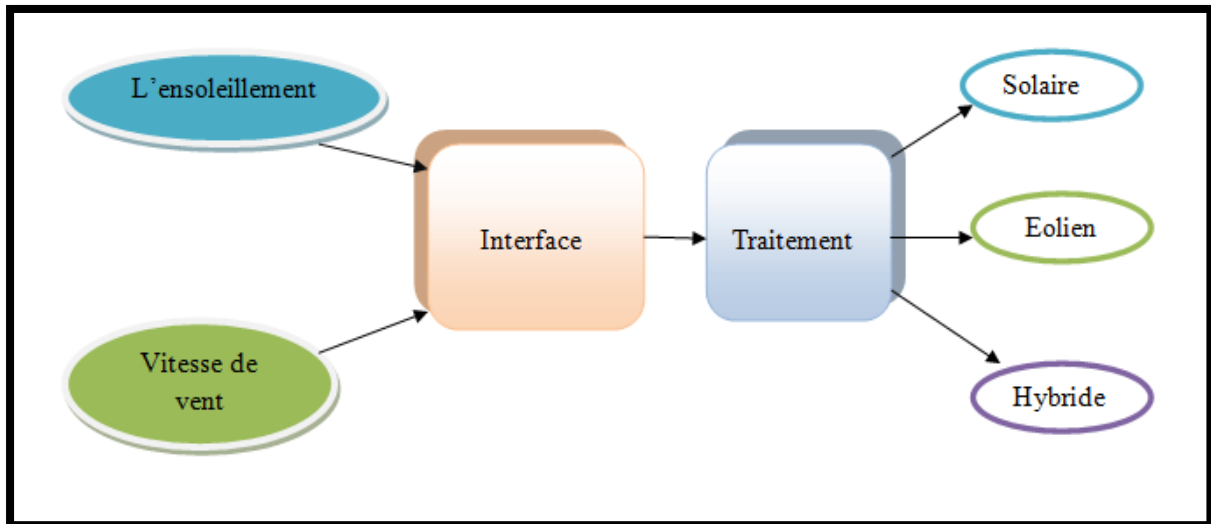


Figure III.22 : Système de traitement proposé

### III.5 Conclusion

D'après les résultats exposés, on voit clairement que les conditions météorologiques des régions sont indispensables pour voir la faisabilité des sources proposées. En plus, on doit procéder à une étude technico-économique détaillée afin de voir la rentabilité de cette source hybride.

L'outil informatique est nécessaire pour bien gérer le fonctionnement du système étudié et avoir une bonne stratégie de gestion selon les informations collectées.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

L'efficacité d'un système hybride par rapport à un système pur éolien ou pur photovoltaïque, dépend de beaucoup de facteurs fondamentaux comme la charge, le régime du vent, le rayonnement solaire, le coût d'investissement, le système de stockage et autres. Les systèmes photovoltaïques sont actuellement économiques pour les installations de faibles puissances. Pour les systèmes d'énergie autonomes le coût du stockage représente la plus grande contrainte du coût global. Minimiser le coût du stockage et optimiser sa capacité est la raison essentielle de la combinaison des systèmes éolien et photovoltaïque.

Vu le développement des systèmes électriques y compris les réseaux électriques qui deviennent complexes, l'introduction de l'outil informatique est devenu une nécessité majeure pour le bon fonctionnement de ces systèmes. Comme dans notre cas, l'outil informatique représentée par les logiciels de simulation a facilité notre étude efficacement et surtout lorsqu'on utilise plusieurs sources d'alimentation.

Dans notre étude, on a exposé un modèle d'une source hybride autonome qui peut fonctionner l'éclairage public convenablement. L'étude technico-économique approfondie en prenant la nature de la région en considération est indispensable afin d'avoir une idée sur la rentabilité des systèmes hybrides ; c'est-à-dire que le gisement d'une région que se soit du côté d'ensoleillement ou vitesse du vent ne suffit pas, il faut passer à l'étude technique pour que conclure de la faisabilité de la source solaire, éolienne ou ma source hybride. Un autre aspect d'utiliser ce système est pour usage particulier comme une usine un site militaire ou autre. Le fruit de ces systèmes est de compenser l'énergie consommée et faciliter l'optimisation d'écoulement.

L'utilisation des énergies renouvelables domine de jour en jour et impose une alternative source d'énergie. Comme exemple, on voit que le marché des voitures électriques s'agrandisse et d'ici dix ans plus que la moitié des voitures dans le monde entier seront électriques. Autre l'aire du numérique développe tous les secteurs de vie ; on constate que le monde tend vers l'aspect des systèmes intelligents.

# **Références Bibliographiques**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] C. Zidani, F. Benyarou et B. Benyoucef, « Simulations de la position apparente du soleil et estimation des énergies solaires incidents sur un capteur plan photovoltaïque pour la ville de Tlemcen (Algérie) », Revue énergies renouvelables, Vol.6, pp.69-76, 2003.
- [2] W. De Soto, S.A. Klein and W.A. Beckman. Improvement and validation of a model for PV array performance. Solar Energy 2006; 80(1) pp: 78-88.
- [3] F.Z.ZERHOUNI, « Adaptation Optimale d'une Charge à un Générateur Photovoltaïque », Mémoire de Magister, Institut d'Electronique, USTO, 1996.
- [4] B. FLECHE, D. DELAGNES, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT Approche générale, Juin 2007.
- [5] A. Celik, N. Acikgoz. Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline PV modules using four- and five-parameter models. Applied Energy 2007; 84(1) pp : 1-15.
- [6] HASSINI née BELGHITRI HOUDA, «modélisation, simulation et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque», université Abou-bakr belkaid de Tlemcen, 2010.
- [7] Energie éolienne, Théorie, conception et calcul pratique des installations, Désiré Le Gourières, Edition EYROLLES, 1980
- [8] N. Laverdure, D. Roye, S. Bacha, R. Belhomme, "Technologie des systèmes éoliens – Intégration dans les réseaux électriques", la Revue 3EL, no. 39, 2004.
- [9] Site web : <http://oooxygene.alwaysdata.net/eolienne.html>
- [10] Powel, W. R «An Analytical Expression for the Average Output Power of a Wind Machine», 1981, Solar Energy, 26, pp 77-80..
- [11] Mr. Rafik MANSOURI Thème de mémoire Master2 «Caractérisation D'un Kit Hybride Photovoltaïque-éolien Sur Site Isolé D'Adrar» ; 19 Juin 2013 , université d'ADRAR.
- [12] W. De Soto, S.A. Klein and W.A. Beckman. Improvement and validation of a model for PV array performance. Solar Energy 2006; 80(1), pp: 78-88.
- [13] B.D. Shakya, Lu Aye, P. Musgrave. Technical feasibility and financial analysis of hybrid wind/PV system with hydrogen storage for Cooma. International Journal of Hydrogen Energy 2005; 30, pp:9-20.
- [14] M.K. Deshmukh, S.S. Deshmukh. Modeling of hybrid renewable energy systems. Renewable & Sustainable Energy Reviews 2008; 12, pp: 235-249.
- [15] Site web: [https://fr.made-in-china.com/co\\_hepu-solar-light/product\\_Hepu-7m-Pole-Height-40W-LED-Solar-Hybrid-LED-Lighting\\_oshgunieg.html](https://fr.made-in-china.com/co_hepu-solar-light/product_Hepu-7m-Pole-Height-40W-LED-Solar-Hybrid-LED-Lighting_oshgunieg.html)
- [16] Siteweb:<https://forestarlighting.en.made-ichina.com/product/ZFKxdrEufmkw/China-Wind-Solar-Hybrid-Power-LED-Street-Lighting-System.html>
- [17] Site web: <http://www.linklightsolar.com/wind-solar-hybrid-street-light.html>