

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique (GEE)

Filière : Electronique



MASTER INSTRUMENTATIONS

PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté par : GUETTARI Anissa Hafsia

Intitulé du Sujet

**ETUDE ET DIMENSIONNEMENT D'UN SYSTEME D'ENERGIE
ELECTRIQUE MIXTE: PHOTOVOLTAIQUE ET EOLIEN**

Soutenu en 2018, devant le jury composé de :

M ^r MELIANI Sidi Mohammed	MCA	Univ. Tlemcen	President
M ^r ZOUGAGH Nabil	MCA	Univ. Tlemcen	Examineur
M ^r GHAFfour Kheireddine	Prof	Univ. Tlemcen	Encadreur

Année Universitaire 2017-2018

Remerciements

En préambule à ce mémoire je remercie ALLAH qui ma donner la force, la patience et le courage durant ces longues années d'études.

Je souhaite remercier chaleureusement Mr GHAF FOUR Kheireddine professeur à l'université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen de m'avoir encadrer pour ce travail, je lui exprime toute ma gratitude pour sa patience, sa confiance, son soutien incondionnelle et ses qualité humaines.

Je tiens également à remercier Mr MELIANI Sidi Mohammed MCA à l'université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen d'avoir bien voulu présider le jury de ce mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à Mr ZOUGAGH Nabil MCA à l'université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen de l'intérêt qu'il a apporter à mon travail en acceptant d'examiner ce mémoire et de faire partie du jury.

En fin je tient du fond du cœur à remercier mes très cher parents pour leurs contribution, leur soutien et leurs patience sans qui ce mémoire n'aurai jamais vu le jour.

Sans oublier mon mari, ma sœur, mes frères, mon oncle MEHIRIS Abdellah pour ces conseil et son aide précieuse qu'il ma apporté et tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce modeste travail sans être mentionné ici.

Dédicace

- ❖ *A mes chers parents Lahcen et Nadjat pour leurs sacrifice, leurs amour, leurs tendresse et leurs prières pour moi que dieu vous protège du mal et vous donne santé et longue vie je vous aime.*
- ❖ *A mon cher marie Mohammed El Amin qui ma toujours encourager et pousser à aller de l'avant Mercie.*
- ❖ *A mon fils Zakaria, tu à illuminé ma vie depuis ta naissance que dieu te protège et te bénisse mon amour je te dédie ce travail.*
- ❖ *A mon unique sœur Khaoula Rania je te souhaite tous le bonheur du monde ma cherie je t'aime.*
- ❖ *A mon frères Karim que dieu te protège la ou tu es et que ta vie soit comblé de bonheur.*
- ❖ *A mon frère Mohamed, sa femme Dounia et sa fille Meriem je vous souhaite que du bonheur je vous aime.*
- ❖ *A mes grandes mère Seghira et Zineb que dieu vous donne santé et longue vie.*

Anissa Hafsia

Listes des symboles

V : Vitesse de la masse d'air (m/s).

θ : L'angle du soleil au zénith.

\vec{V}_0 : Vitesse axiale du vent en amont de l'éolienne.

v_n : vitesse nominale du vent(m/s).

v_m : Vitesse maximale du vent (m/s).

v_d : Vitesse à partir de laquelle l'éolienne commence à fournir de l'énergie(m/s).

v_1 : Vitesse du vent à l'entrée de la colonne d'air (m/s).

v_2 : Vitesse du vent à la sortie de la colonne d'air (m/s).

v : Vitesse instantanée du vent (m/s).

v' : Vitesse au travers de la section balayée par les pales (m/s).

\vec{V} : Vecteur unitaire tangent au pales.

V_{cc} : Tension continu (v).

V_m : Tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule PV (v).

V_{co} : Tension de circuit ouvert (v).

V_p : Tension de sortie de la cellule (v).

V_a, V_b, V_c : Les valeurs instantanées des tensions triphasées (v).

U_c : Tension à la sortie du redresseur (v).

I_d : Intensité du rayonnement reçu à la surface de la terre (Kw/m^2).

I_{ph} : Photo courant (A).

I_m : Courant à a puissance maximale de fonctionnement de la cellule PV (A).

I_{cc} : Courant de court-circuit (A).

I_p : Courant délivré par une cellule éclairée (A).

I_d : Courant de la diode à l'obscurité (A).

I_s : Courant de saturation (A).

i_a, i_b, i_c : Les valeurs instantanées des courants triphasés (A).

P_n : Puissance nominale de l'éolienne (w).

P_p : Puissance extraite du vent (w).

P_{eol} : Puissance aérodynamique de l'éolienne (w).

P: Nombre de paires des pales de la génératrice.

R_s : Résistance série (Ω).

R_{sh} : Résistance parallèle (Ω).

R: Rayon des pales (m).

C_p : Coefficient de puissance.

C_p^{opt} : Valeur maximale que peut prendre le coefficient de puissance C_p .

λ : Vitesse normalisé.

λ_{opt} : Vitesse spécifique optimale maximisant le coefficient de puissance d'une turbine éolienne.

β_i : L'angle d'inclinaison des pales (en degré).

C_m : Coefficient du couple mécanique.

T_t : couple de la turbine éolienne (N.m).

m: Masse d'air

E_c : Energie cinétique

h: Constante de PLANCK.

\vec{E}_i : Champ électrique interne.

η : Le rendement de conversion de la cellule.

N_d : Nombre d'atome donneur (cm^{-2}).

N_a : Nombre d'atome accepteur (cm^{-2}).

q : Charge élémentaire (c)

K : Constante de BOLTZMANN.

T : Température

dx : Longueur de la colonne d'air (m).

S : Section de la colonne d'air (m^2).

ρ : Densité volumique de l'air (g/m^3).

Ω_t : Vitesse de rotation avant multiplicateur (tr/min).

Ω : Vitesse de rotation de la génératrice (tr/min).

Φ_f : Flux magnétique des aimants.

R_t : Rayon de la surface balayée par les pales (m).

R_S : Résistance des enroulements dans la génératrice (Ω).

L_S : Inductance des enroulements (H).

Abréviation utilisées

PV: Photovoltaïque.

GPV: Générateur photovoltaïque.

P&O: Perturbe et Observe.

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

PPM: Point de Puissance Maximale.

Si: Silicium.

BV: Bande de Valence.

BC: Bande de conduction.

DC: Courant continu (Direct Current).

AC: Courant alternatif (Alternatif Current).

CC: Courant Continu.

UV: Ultra Violet.

IR: Infra Rouge.

AM: Air Mass.

GTO: Gate Turn Of.

CDER: Centre de Développement des Energies Renouvelable.

Liste des figures

Figure I. 1 : Schéma synoptique du système hybride étudié.....	3
Figure I. 2 : L'énergie solaire intercepter par la terre. [2]	5
Figure I. 3 : Spectre solaire relevés dans plusieurs conditions selon la convention AM.....	7
Figure I. 4 : Rayonnement direct, diffus et réfléchi. [3]	7
Figure I. 5 : Effet photovoltaïque dans une cellule.....	8
Figure I. 6 : Principaux éléments d'une installation PV.....	9
Figure I. 7 : Chaîne de conversion PV avec convertisseur DC/DC contrôlée par une commande PPM.....	10
Figure I. 8 : Moyenne annuelle de la durée d'insolation calculé (SS0)	11
Figure I. 9 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçu sur une surface horizontale.....	11
Figure I. 10 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale incliné à la latitude du lieu.	12
Figure I. 11 : Moyenne annuelle d' l'irradiation globale inclinée vertical sur.	12
Figure I. 12 : Moyenne annuelle de l'irradiation globales incliné vertical est et ouest.....	13
Figure I. 13 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale inclinée vertical sud Est et sud Ouest...	13
Figure I. 14 : Capacité mondiale d'énergie éolienne installée[25].....	14
Figure I. 15 : Eoliennes à axe verticale.[12].....	16
Figure I. 16 : Principe de la trainée différentielle.[21]	16
Figure I. 17 : Principe de la variation cyclique d'incidence.[12]	17
Figure I. 18 : Configuration des éoliennes à axe horizontal.[12]	18
Figure I. 19 : Principaux composants d'une éolienne.[12].....	19
Figure I. 20 : Composants de la nacelle.[22]	20
Figure I. 21 : Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.[12]	23
Figure I. 22 : Principe du générateur synchrone.....	25
Figure I. 23 : Machine asynchrone.	26
Figure I. 24 : Redresseur à diodes électrique.....	27
Figure I. 25 : Batterie en plomb.[33]	28
Figure I. 26 : Hacheur réversible en courant.[17].....	28

Figure I. 27 : Architecture du bus à CC avec batteries de stockage.[18].....	29
Figure I. 28 : Structure d'un onduleur triphasé.....	30
Figure I. 29 : Atlas éolien de l'Algérie à 10m du sol[23]	30
Figure II. 1 : La silice	34
Figure II. 2 : Lingot de silicium à l'état solide.[36]	35
Figure II. 3 : Découpe des wafers au scies à fil.[35]	36
Figure II. 4 : Dopage du silicium [37].....	37
Figure II. 5 : Transitions inter-bandes d'électrons dans un semi-conducteur. Le cas a) correspond à un semi-conducteur à gap direct, le cas b) à un gap indirect [10]	39
Figure II. 6 : Coefficient d'absorption du silicium et profondeur de pénétration des photons en fonction de la longueur d'onde[10]	40
Figure II. 7 : La cellule photovoltaïque. [6].....	41
Figure II. 8 : Structure (image gauche) et diagramme de bande (image droite) d'une cellule photovoltaïque[10]	41
Figure II. 9 : Phénomène de diffusion et de transition dans la jonction PN. [4]	42
Figure II. 10 : De la cellule solaire au champ PV [9]	43
Figure II. 11 : Caractéristique électrique I(V) de la cellule PV.....	43
Figure II. 12 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique de la cellule PV	45
Figure II. 13 : Influence de la température sur la caractéristique de la cellule PV.....	46
Figure II. 14 : Le rendement électrique de la cellule en fonction du dopage Nd.....	46
Figure II. 15 : Rendement quantique interne en fonction du dopage Nd.....	47
Figure II. 16 : Rendement quantique externe en fonction du dopage Nd.....	47
Figure II. 17 : Puissance maximale de la cellule en fonction du dopage Nd.....	48
Figure II. 18 : Rendement électrique en fonction de l'épaisseur de l'émetteur.	49
Figure II. 19 : Rendement quantique interne en fonction de l'épaisseur de l'émetteur.	49
Figure II. 20 : Rendement quantique externe en fonction de l'épaisseur de l'émetteur.	50
Figure II. 21 : Puissance maximale en fonction de l'épaisseur de l'émetteur.	50
Figure II. 22 : Caractéristiques I(V) et P(V) de la cellule photovoltaïque.....	51

Figure II. 23 : Rendement quantique interne et externe de la cellule photovoltaïque.	52
Figure III. 1 : Schéma électrique d'une cellule PV.[28]	54
Figure III. 1 : Colonne d'air animé d'une vitesse v	55
Figure III. 3 : Vitesse de vent (V) et vitesse tangentielle de l'aubage $\Omega t.Rt$	57
Figure III. 4 : courbe du coefficient de puissance C_p . [13].....	58
Figure IV. 1 : Schéma du système à dimensionnée.	62
Figure IV. 2 : Consommation des appareils	66
Figure IV. 3 : Cohérence du système.....	67
Figure IV. 4 : Câblage du système.....	68
Figure IV. 5 : Résumé du rapport de projet	69
Figure IV. 6 : Données générale partie 1.	70
Figure IV. 7 : Données générales partie 2.....	70
Figure IV. 8 : Rapport détaillée du projet.	71
Figure IV. 9 : Bilan énergétique annuel du système complet.	72
Figure IV. 10 : Bilan énergétique de l'accumulateur.	72
Figure IV. 11 : Vitesse du vent à 10m et température extérieur	73
Figure IV. 12 : Irradiation spécifique	73
Figure IV. 13 : Présentation des énergies.	74
Figure IV. 14 : Energie de charge, décharge et perte de l'accumulateur.....	74
Figure IV. 15 : L'irradiation du générateur photovoltaïque et l'énergie PV produite	75
Figure IV. 16 : Couverture solaire et rendement du système.	75
Figure IV. 17 : Température du module PV.	76
Figure IV. 18 : Etat de charge de l'accumulateur.....	76
Figure IV. 19 : Emissions évitées en Kg/an.....	77
Figure IV. 20 : Rentabilité	78

Liste des tableaux

Tableau I. 1 : Classification des turbines éoliennes.....	21
Tableau II. 1 : Comparatif des différentes technologies de fabrication des cellule.....	37
Tableau IV. 1 : Consommations des équipement électrique de la maison isolé	63
Tableau IV.2 : Cout des matériaux utilisés.....	64

Résumé:

L'exploitation des sources énergétiques renouvelables connaît un grand essor dans les pays industrialisés et même dans quelque pays sous-développés. Le rôle d'un système de production d'énergie électrique mixte n'est pas seulement d'apporter une puissance énergétique aux régions isolées mais aussi un outil de développement social et économique des zones rurales.

Ce travail consiste à étudier et dimensionner le générateur photovoltaïque et le banc de batteries au sein d'un système de production d'électricité mixte (photovoltaïque-éolien) totalement autonome.

Mots-clés: Système mixte (photovoltaïque-éolien), dimensionnement, banc de batteries.

ملخص:

عرف استخدام الموارد الطاقوية المتجددة نموا كبيرا في البلدان الصناعية و حتى في بعض الدول السائرة في طريق النمو. إن دور النظام الهجين (كهر وضوئي-ريحي) لإنتاج الطاقة الكهربائية ليس فقط تحقيق قدرة طاقوية و لكن أداة للتنمية الاجتماعية و الاقتصادية للمناطق الريفية.

يتكون هذا العمل من دراسة و تحجيم للمولد الكهروضوئي و لمجموعة البطاريات ضمن نظام هجين (كهروضوئي-ريحي) لإنتاج الكهرباء مستقل تماما.

كلمات مفتاحية: نظام هجين (كهروضوئي-ريحي)، تحجيم، مجموعة البطاريات.

Abstract:

The exploitation of renewable resources has been a great rise in industrialized countries and even in some underdeveloped countries. The role of a mixed power generation (PV-wind) is not only to bring "energy power", but a tool for social and economic development of rural areas.

The work consists of studying and sizing the PV array and battery bank for a mixed system (PV-wind) totally autonomous.

Keywords: mixed system (photovoltaic-wind) - Sizing - Battery bank.

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Listes des symboles	
Abréviations utilisées	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale:.....	1
Chapitre I : Généralités sur le système d'énergie électrique mixte: photovoltaïque et éolien	
I.1. Etat de l'art du système hybride:	3
I.2. La chaîne de production PV:	4
I.2.1. Le soleil:	4
I.2.1.1. Le rayonnement lumineux:	5
I.2.2. L'énergie solaire photovoltaïque:.....	8
I.2.2.1. L'effet photovoltaïque:.....	8
I.2.3. Principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome:.....	8
I.2.4. Convertisseur DC/DC à pilotage MPPT:.....	9
I.2.4.1. Principe de fonctionnement d'un étage DC/DC:.....	10
I.2.5. L'atlas solaire:[29]	11
I.2.5.1. Moyenne annuelle de la durée d'insolation et des irradiances globales, cas d'un ciel totalement clair:	11
I.3. La chaîne de production éolienne:	14
I.3.1. Le vent:	14
I.3.2. La notion de couple:	14
I.3.3. Historique:	14
I.3.4. Définition de l'énergie éolienne:	15
I.3.5. Etude d'un aérogénérateur:	15
I.3.5.1. Définition d'un aérogénérateur:	15
I.3.5.1.2. Eolienne à axe verticale:	15
I.3.5.1.2. Eolienne à axe horizontale:.....	17
a. Le rotor:.....	19
b. La nacelle:.....	19
c. Le mat:	21
I.3.6. Classification des turbines éoliennes:	21
I.3.7. Principe de fonctionnement d'une éolienne:	22

I.3.8.Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne:	22
I.3.8.1.Le système de régulation pitch:	23
I.3.8.2.Le système de régulation stall:	24
I.3.9.Machine électrique:	24
I.3.9.1.La machine synchrone:	24
I.3.9.2.La machine asynchrone:	25
I.3.10.Redresseur:	26
I.4.Système de stockage:	27
I.4.1.Fonctionnement d'un accumulateur au plomb:	27
I.5.Hacheur réversible en courant:	28
I.6.Bus à courant continu:	29
I.7.Onduleur:	29
I.8.Atlas du vent:	30

Chapitre II : Etude et simulation d'une cellule photovoltaïque

II.1.Historique:	33
II.2.Fabrication des cellules photovoltaïques au silicium:	33
II.2.1.Extractions et purification du silicium:	34
a. Obtention des lingots de silicium:	34
b. Obtention des wafers PV:	35
c. Dopage du silicium:	36
II.3.Fonctionnement physique de la cellule photovoltaïque:	38
II.3.1.Interaction photon/semi-conducteur:	38
II.4.Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque:	41
II.5.De la cellule photovoltaïque au panneaux photovoltaïque:	42
II.6.Etude des caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque:	43
II.6.1.Rendement de conversion:	44
II.6.2.Facteur de forme:	44
II.6.3.Influence du niveau d'éclairement sur la cellule PV:	45
II.6.4.Influence de la température sur la cellule PV:	45
II.7.simulation d'une cellule PV avec PC1D:	46
II.7.1.Influence des paramètres physiques:	46
II.7.1.2.Influence du dopage Nd:	46
II.7.2.Influence des paramètres géométrique:	48
II.7.2.1.Influence de l'épaisseur de l'émetteur N:	48

Chapitre III :Modélisation des générateurs photovoltaïque et éolien

III.1.Modélisation du générateur photovoltaïque:	54
III.1.1.Modèle de la cellule photovoltaïque:	54

III.2.Modélisation du générateur éolien	55
III.2.1.Modèle de la turbine	55
III.2.1.1.Puissance de la turbine:.....	55
III.2.1.2.Vitesse normalisé:.....	56
III.2.1.3.Coefficient de puissance:	57
III.2.1.4.Le coefficient de couple:.....	58
III.2.2.Modèle du multiplicateur:.....	58
III.2.3.Modèle de la génératrice synchrone à aimant permanent:	59

Chapitre IV :Dimensionnement du système d'énergie électrique mixte photovoltaïque et éolien

IV.1. Dimensionnement de l'installation photovoltaïque par calcul manuel:	62
IV.1.1. dimensionnement des panneaux PV:	63
IV.1.2. Dimensionnement des batteries:	64
IV.1.3. Dimensionnement du régulateur:.....	64
IV.1.4. Dimensionnement des câbles:.....	65
IV.1.5. Choix de l'éolienne:	65
IV.1.6. Cout de l'installation:	65
IV.1.7. Calcul de rentabilité:.....	66
IV.2. Dimensionnement de l'installation PV avec le logiciel PVSOL:.....	66
IV.2.1. Chargement de la consommation des appareils:	66
IV.2.2. Vérification de la cohérence du système:	67
IV.2.3. Bilan énergétique annuel:	72
IV.2.4. Présentation graphique des résultats:.....	73
IV.2.4.1. Présentation graphique des données météorologiques:.....	73
IV.2.4.2. Présentation graphique des énergies:.....	74
IV.2.5. Calcul de rentabilité:.....	78
<i>Conclusion générale</i>	79
<i>Bibliographie</i>	81
<i>ANNEXE</i>	85
Annexe A:	86
Annexe b :.....	91
Annexe c:	92

Introduction générale

Introduction générale:

Depuis le début du siècle la consommation énergétique est en très forte croissance dans toutes les régions du monde, une plus grande part de ces énergies est produite par les sources fossiles (pétrole, charbon et gaz). Cependant ces sources présente de nombreux inconvénients principalement leurs impacte sur l'atmosphère et le fait qu'elles tendent à s'épuisé vu qu'elles ne sont pas renouvelable.

C'est à cette effet que les énergies renouvelables apparaissent à nos jours et à long terme comme une option énergétique prometteuse qui répond à ces besoins, avec des avantages comme l'abondance, l'absence de toutes pollution et la disponibilité en tous points du globe terrestre.

Pour les systèmes à distance tels que les relais de télécommunication en plein désert, les stations de satellite et les sites isolés qui sont loin d'un système d'énergie conventionnelle; les énergies renouvelables sont considéré comme des sources alternatives attrayantes et privilégiées.

Pour les systèmes autonome le cout de stockage représente encore la principale contrainte économique combinant à la fois l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque conduirait à réduire au minimum l'exigence de stockage et donc le cout globale du système.

Ce mémoire présente une étude et un dimensionnement d'un système d'énergie électrique mixte: PV et éolien rédiger en quarte chapitres:

Le premier chapitre rassemble l'état de l'art du système d'énergies électrique mixte et quelque généralités sur les deux systèmes PV et éolien.

Le deuxième chapitre présente une étude sur la cellule PV; sa fabrication et ces caractéristique avec une simulation de l'influence des paramètre physique et géométrique sur ces différentes caractéristique avec le logiciel PC1D.

Le troisième chapitre contient la modélisation du générateur photovoltaïque et du générateur éolien.

Le quatrième chapitre un dimensionnement et une simulation avec le logiciel PVSOL d'un système d'énergie mixte pour une maison isolée à Tlemcen.

Chapitre I

*Généralités sur le système
d'énergie électrique mixte:
photovoltaïque et éolien*

I.1. Etat de l'art du système hybride:

Le système de production d'énergie mixte combine et exploite deux ou plusieurs sources d'énergies dans le but que l'une complète l'autre.

Les sources d'énergies renouvelables comme est le cas pour le photovoltaïque et l'éolien ne produisent pas une puissance constante donc l'utilisation d'un système de stockage est obligatoire.

Un système de production d'énergie mixte incorpore un système de distribution à courant alternatif (AC), un système à courant continu(CC), un système de stockage, des convertisseurs de puissance, des charges et une option de gestion des charges ou un système de supervision. Presque tout les systèmes mixtes classique contiennent deux bus: un bus à courant continu CC pour les sources et les charges à courant continu et les batteries et un bus à courant alternatif pour les générateurs à courant alternatif et le système de distribution.

Dans notre système, les chaines de production se composent de:

- Panneaux photovoltaïque connecté au bus CC à travers des convertisseurs DC/DC à pilotage MPPT.
- Une éolienne reliée au bus CC à travers un redresseur à diode.

Pour le stockage une batterie électrochimique est utilisée qu'on relie au bus CC à l'intermédiaire d'un contrôleur de charge/décharge de sont coté le bus CC est reliev aux charges alternatives via l'onduleur.

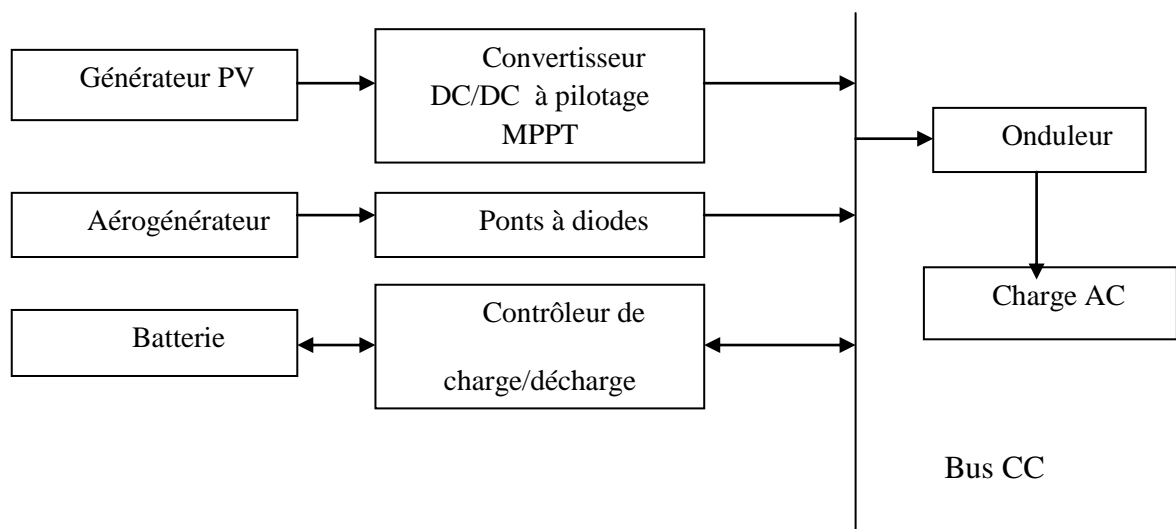


Figure I. 1 : Schéma synoptique du système d'énergie électrique mixte étudié.

1.2.La chaine de production PV:

1.2.1.Le soleil:

Le soleil est une étoile âgée de 4 milliard d'années, tournant lentement sur elle même (2 km/s, 1 révolution en ~ 26 jours), il est Situé à ~ 150 millions de km de la terre il faudra ~ 8 mn à la lumière qui s'échappe de sa surface pour nous atteindre, son rayon est de ~ 700 000 km.[1]

Les flux de photons émettent en très grande quantités par le soleil appelés aussi radiations ou rayons traversent l'espace à la vitesse de 300 000 km/s (c'est la vitesse de la lumière) pour atteindre la terre à différentes longueur d'ondes; ces longueurs d'ondes nous permettent de distingué les différents types de rayons: le spectre solaire.

- Les rayons de très courtes longueur d'onde comme les rayons X et les rayons gamma qui sont très dangereux mais qui s'arrêtes dès les couches supérieurs de l'atmosphère.
- Les rayons de très longues longueurs d'ondes comme les ondes radio sont très faible à la surface de la terre.
- Les rayons qui nous parviennent:
 - Les ultra-violet (UV), de 200 nm à 400 nm ils sont invisible, ne chauffe pas les matières et provoquent des dommages sur les cellules.
 - La lumière visible de 400 nm à 800 nm elle nous permet de distingué les formes et les couleurs.
 - Les infrarouges (IR) de 800 nm à 1400 nm ils sont invisible et chauffent la matière solide ou gazeuse qu'ils rencontrent.

Le flux solaire reçu au niveau du sol dépend de:

- L'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre.
- La latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi que de son altitude.
- La période de l'année.
- L'instant considéré dans la journée.
- La nature des couches nuageuse.

1.2.1.1. Le rayonnement lumineux:

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante : La quantité d'énergie libérée par le soleil (captée par la planète terre) pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an.

Une partie de ce rayonnement peut être exploitée pour produire directement de la chaleur (solaire thermique) ou de l'électricité : c'est **l'énergie solaire photovoltaïque**. Ce mode de production ne nécessite pas de réseau de distribution. En effet on peut produire de l'énergie électrique là où on la consomme :

- Villages, maisons isolées (un tiers de la population mondiale n'a pas accès à l'énergie électrique).
- Relais de communication,
- Pompage de l'eau,
- Refuges....,

La terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre .

Le rayonnement reçu peut être dégradé par des relations géométriques et par les propriétés physiques de la surface terrestre.

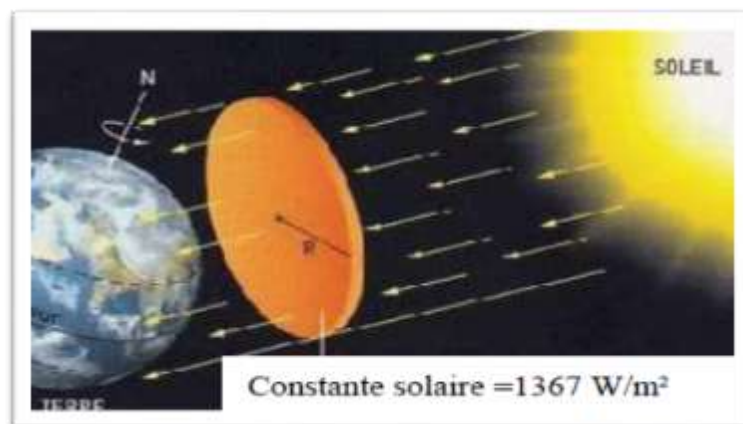


Figure I. 2 : L'énergie solaire intercepter par la terre. [2]

La part d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser. Celle-ci est caractérisée par le nombre de masse d'air AM qui est une notion instituée pour comparer et unifier les performances des cellules photovoltaïques cette notion quantifie la puissance absorbée par l'atmosphère en fonction de l'angle θ du soleil par rapport au zénith:[10]

$$AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (1)$$

- Soleil au zénith: $\theta = 0^\circ$: AM1.
- Soleil à 30° : AM2.
- Soleil à 48° : AM1.5G c'est le spectre standard le plus étudié. G signifiant global car il tient compte à la fois des radiations directes et diffuses ce spectre donne des irradiances de 970 w/m^2 arrondi à 1kw/m^2 .
- AM1.5 D ce spectre tient compte que des radiations directe.
- AM0 correspond à l'irradiation hors atmosphère utilisée pour les applications spatiale.

Le rayonnement qui atteint le niveau de la mer à midi dans un ciel clair est de 1000 W/m^2 et est décrit en tant que rayonnement de la masse d'air "1" (ou AM1).

Lorsque le soleil se déplace plus bas dans le ciel, la lumière traverse une plus grande épaisseur d'air, perdant plus d'énergie. Puisque le soleil n'est au zénith que durant peu de temps, la masse d'air est donc plus grande en permanence et l'énergie disponible est donc inférieure à 1000 W/m^2 .

Pour une surface perpendiculaire aux rayons incidents, les spectres AM0 et AM1.5 sont représentés sur la figure suivante:

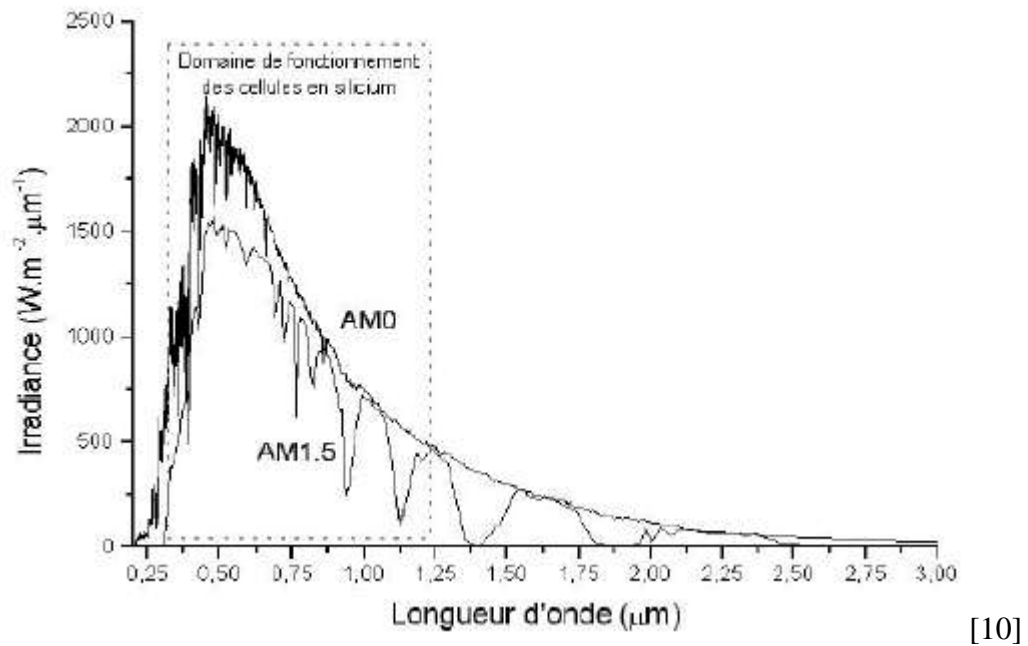


Figure I. 3 : Spectre solaire relevés dans plusieurs conditions selon la convention AM.

Une cellule photovoltaïque peut recevoir un rayonnement incident qui présente trois origines:

- Le rayonnement solaire direct.
- Le rayonnement solaire diffus qui est le rayonnement issu de toute la voûte céleste. le spectre du rayonnement diffus est plus riche en bleu que le rayonnement direct. les cellules photovoltaïques sont bien sensibles au rayonnement diffus.
- Le rayonnement réfléchi.[2]

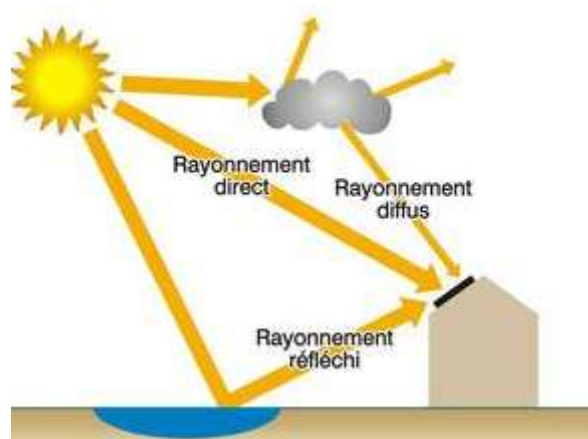


Figure I. 4 : Rayonnement direct, diffus et réfléchi. [3]

1.2.2.L'énergie solaire photovoltaïque:

C'est l'énergie récupérée à partir de la lumière du soleil par des panneaux photovoltaïques et qui est directement transformée en électricité, cette énergie résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur (silicium, CdTe, AsGa, CIS...etc.) d'un photon en électron. [5]

1.2.2.1.L'effet photovoltaïque:

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les photons constituant la lumière attaquent les atomes exposés au rayonnement. Les électrons des couches électroniques supérieures, appelés aussi électrons de valence ont tendance à être arrachés. Dans les cellules PV, une partie des électrons ne revient pas à son état initial et les électrons arrachés créent une tension électrique continue et faible.

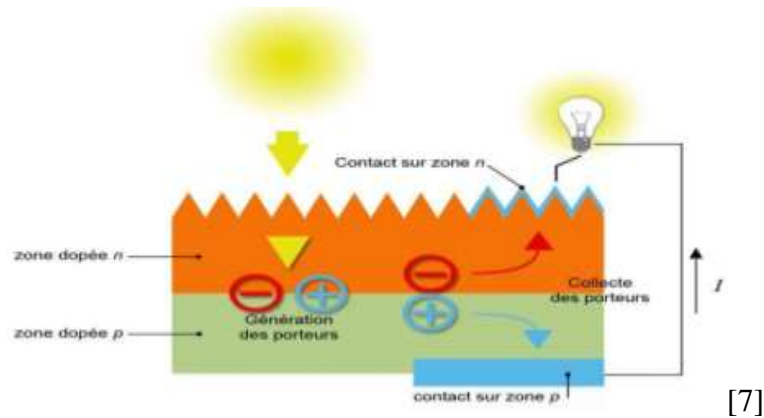


Figure I. 5 : Effet photovoltaïque dans une cellule

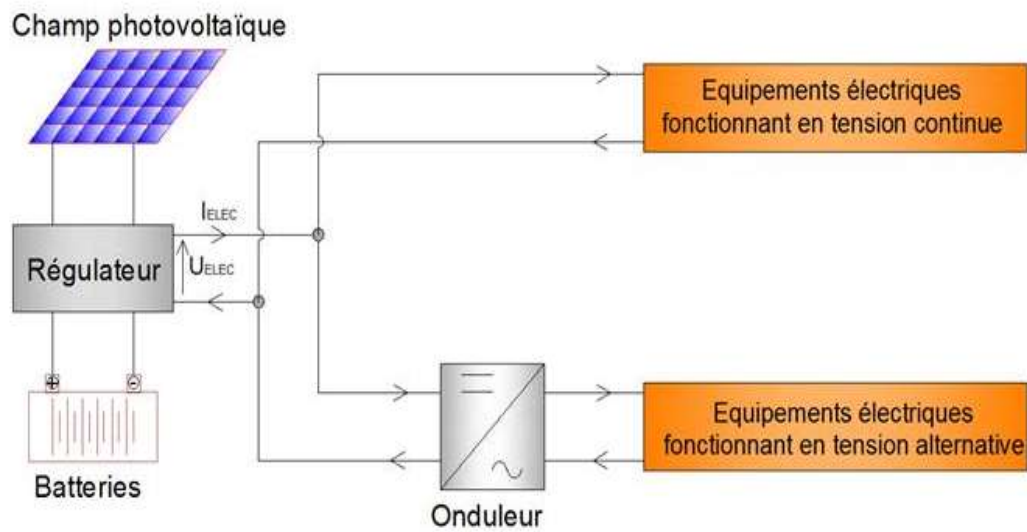
1.2.3.Principe de fonctionnement d'un système photovoltaïque autonome:

Un système PV est composé des 4 grands éléments (les panneaux PV, les batteries, l'onduleur autonome et le régulateur solaire), le principe de fonctionnement d'un tel système repose sur l'effet PV qui permet à certains matériaux (Si, GaAs, As...) d'émettre des électrons lorsqu'ils sont exposés à la lumière; c'est électrons représentent l'énergie électrique qui va être stocker dans des batteries de (12 volt ou 24 volt) pour être utiliser ultérieurement.

Les panneaux PV produisent du courant continu et vue que les batterie stockent et restituent le même courant donc il faut convertir ce courant en un courant alternatif pour qu'il

soit compatible aux courant consommer par les appareils électrique en utilisant un onduleur autonome.

En fin pour faire travailler l'ensemble de ses éléments il faut un cerveau au système et c'est le rôle du régulateur solaire, qui va notamment contrôler la charge et la décharge des batteries de tel façon à ce qu'elles ne soient ni complètement chargée ni complètement déchargée, la qualité de cet élément joue un rôle dans la performance du système et dans la durée de vie des batteries.



[8]

Figure I. 6 : Principaux éléments d'une installation PV.

1.2.4. Convertisseur DC/DC à pilotage MPPT:

Les panneaux solaires de première génération sont généralement dimensionnés pour que leurs (PPM) correspondent à la tension nominale des batteries de 12 ou 24 Volts. Grâce à cette configuration, une simple connexion directe via une diode anti-retour suffit pour effectuer le transfert d'énergie du générateur photovoltaïque (GPV) à la charge. Cependant, les caractéristiques non-linéaires du module photovoltaïque et sa sensibilité aux conditions extérieures, comme l'éclairement et la température, induisent des pertes énergétiques. L'utilisation d'un étage d'adaptation afin d'optimiser la production d'énergie à tout moment est ainsi de plus en plus préconisée.[12]

I.2.4.1.Principe de fonctionnement d'un étage DC/DC:

Figure I. 7 présente le schéma de principe d'un module photovoltaïque doté d'un étage d'adaptation (DC-DC) entre le (GPV) et la charge. Cette structure correspond à un système plus communément appelé système autonome. Il permet le plus souvent d'alimenter une batterie pour stocker de l'énergie ou une charge qui ne supporte pas les fluctuations de la tension (ballast,...). Cet étage d'adaptation dispose d'une commande (MPPT) qui permet de rechercher le (PPM) que peut fournir un panneau solaire photovoltaïque.

De nombreuses recherches sur les commandes (MPPT) ont été effectuées afin de trouver un système optimal permettant une recherche du (PPM) selon l'évolution de la puissance fournie par le GPV. Les commandes (MPPT) développées, sont toutes basées sur une commande extrême de type Perturbe & Observe, (P&O).[12]

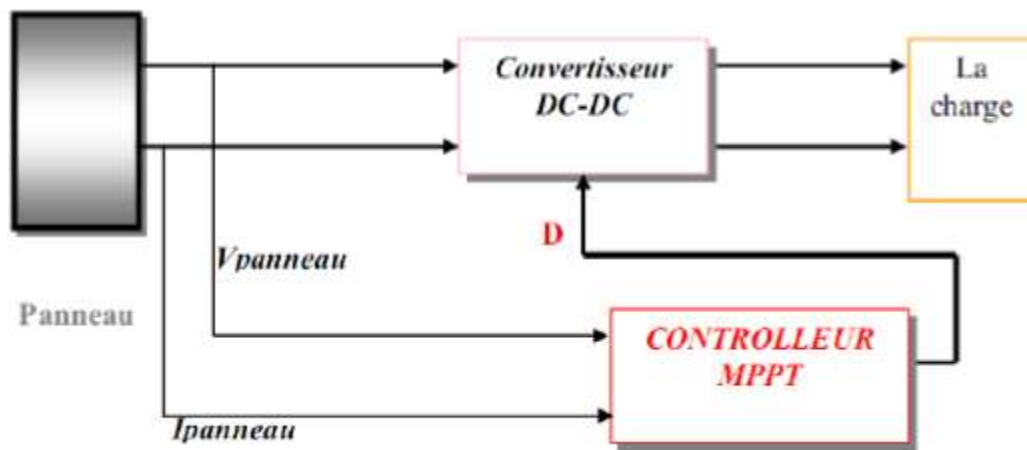


Figure I. 8 : Chaîne de conversion PV avec convertisseur DC/DC contrôlée par une commande PPM.

I.2.5.L'atlas solaire:[29]

I.2.5.1.Moyenne annuelle de la durée d'insolation et des irradiances globales, cas d'un ciel totalement clair:

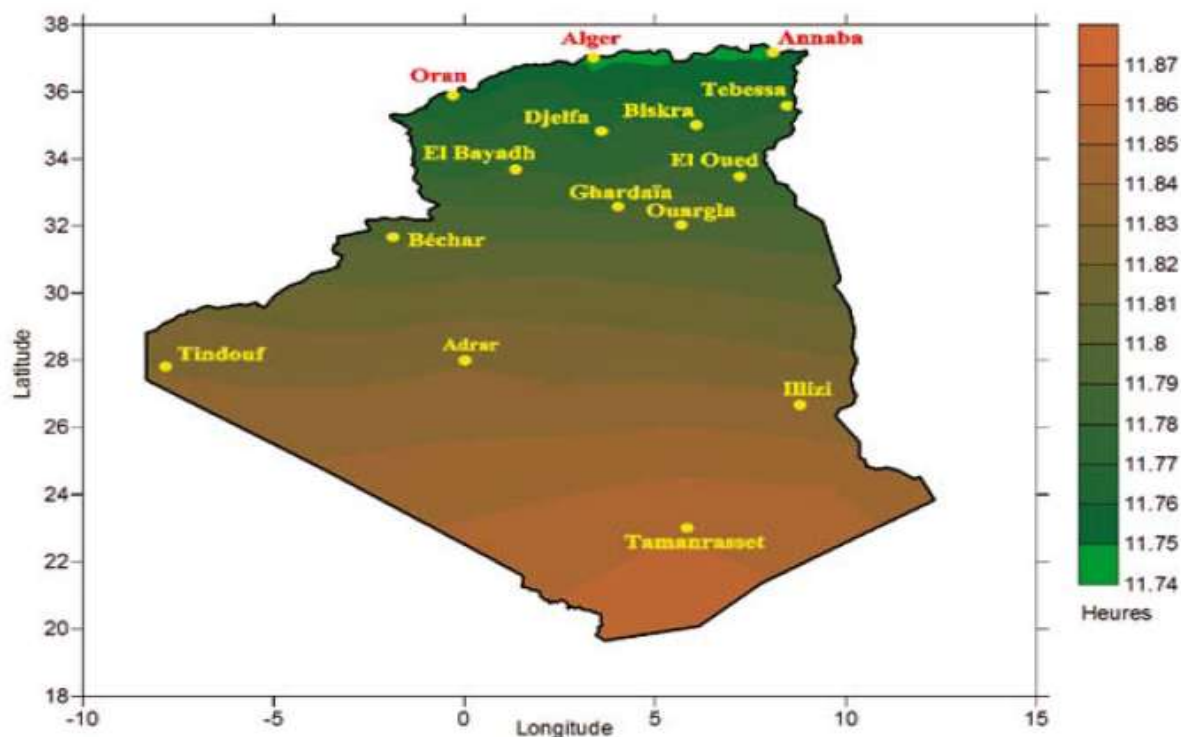


Figure I. 9 : Moyenne annuelle de la durée d'insolation calculé (SS0)

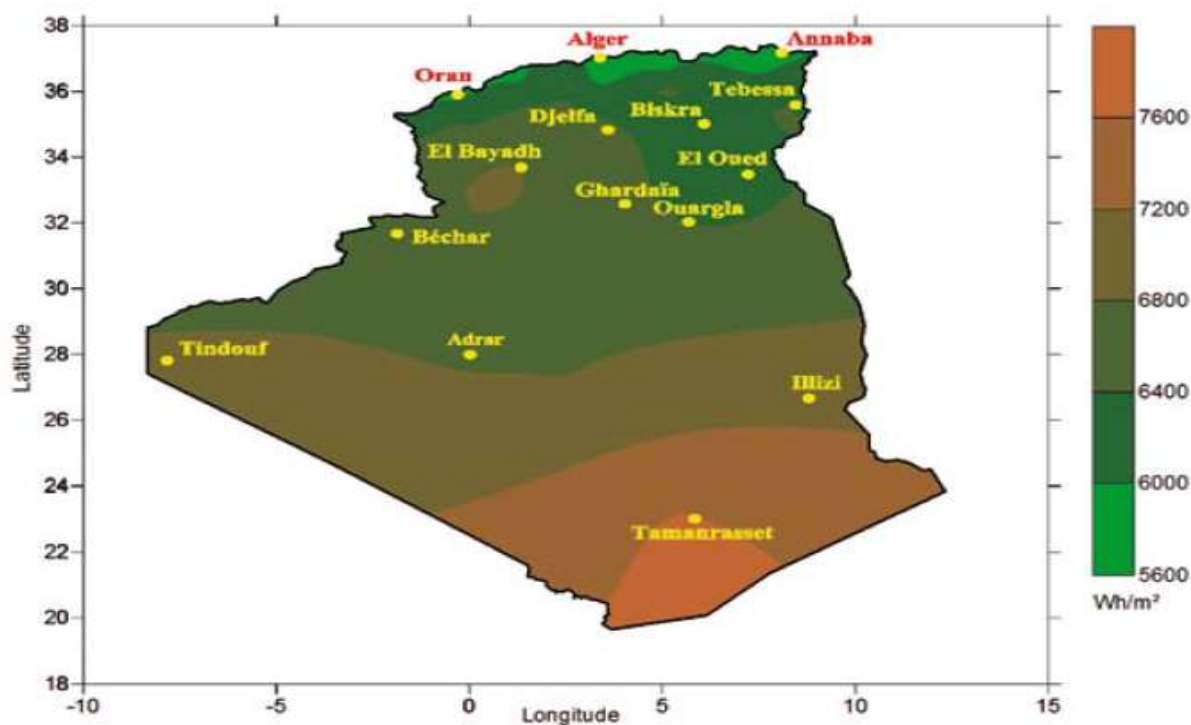


Figure I. 10 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale reçu sur une surface horizontale.

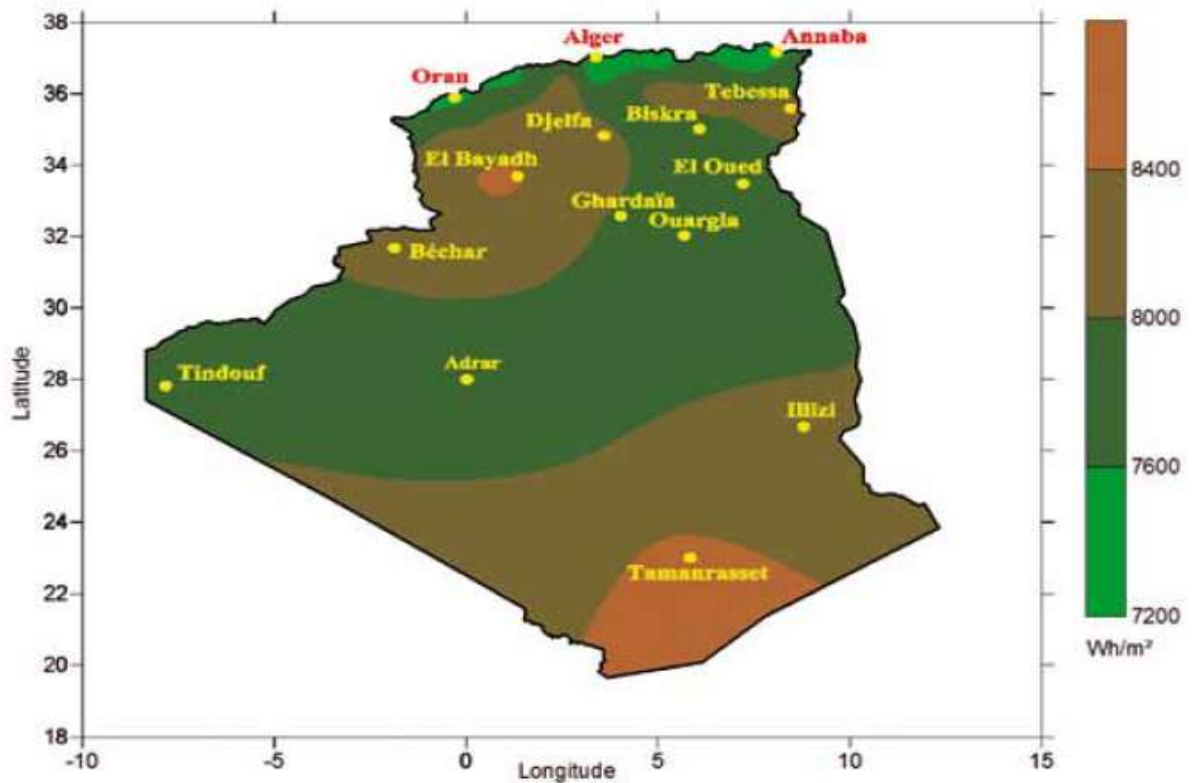


Figure I. 11 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale inclinée à la latitude du lieu.

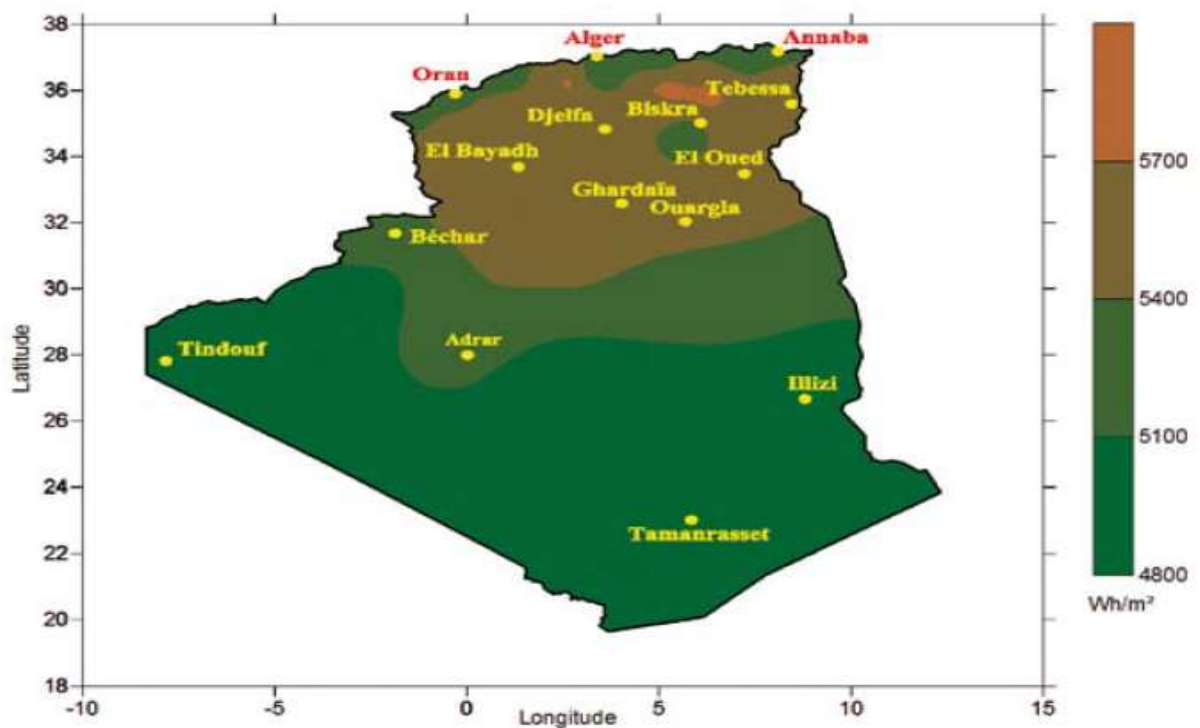


Figure I. 12 : Moyenne annuelle d' l'irradiation globale inclinée vertical sur.

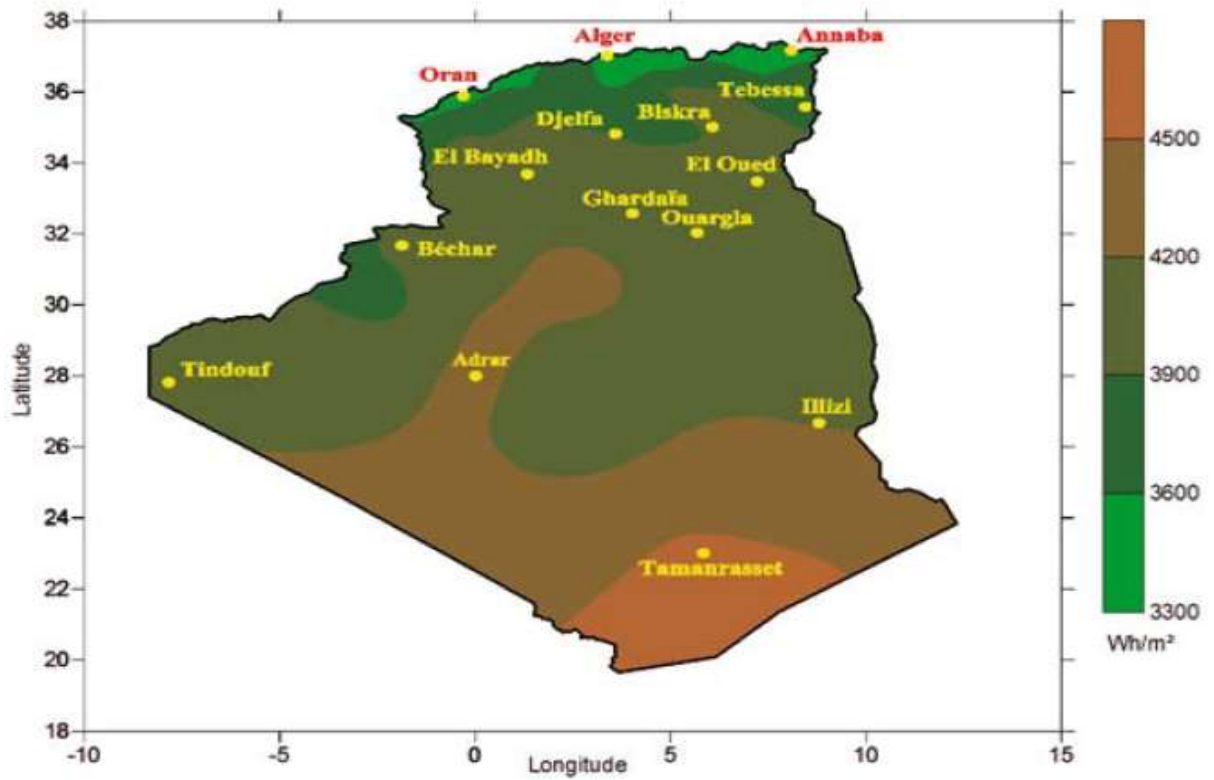


Figure I. 13 : Moyenne annuelle de l'irradiation globales incliné vertical est et ouest.

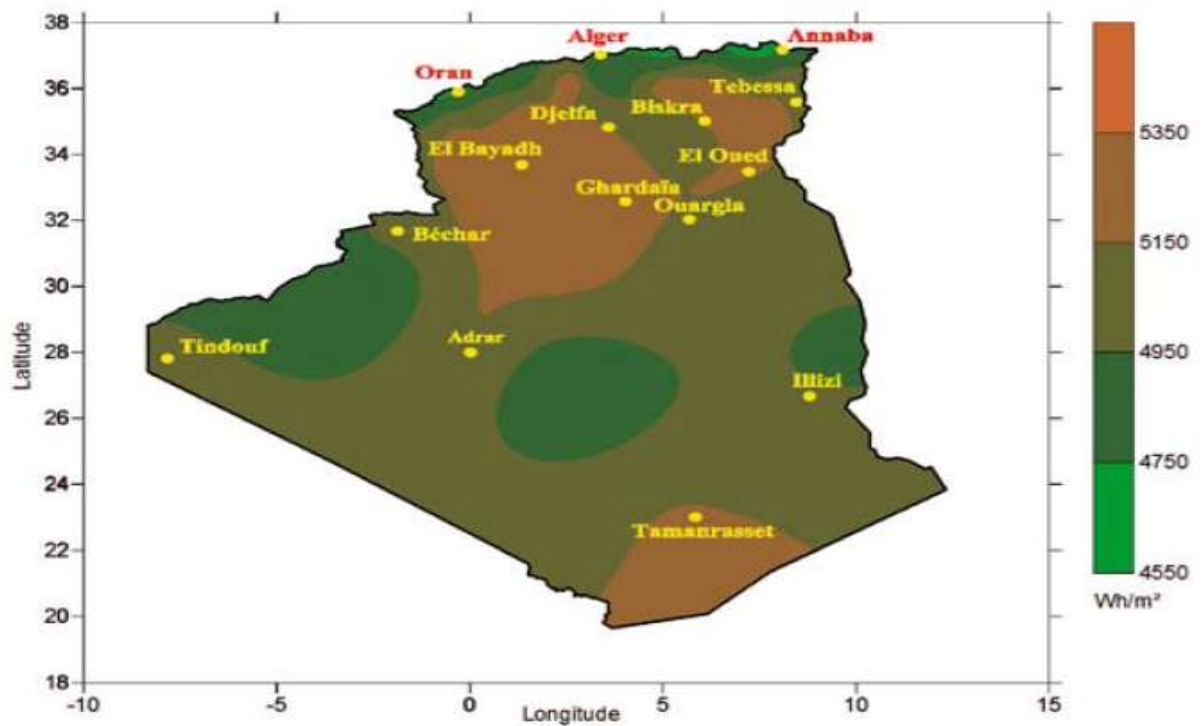


Figure I. 14 : Moyenne annuelle de l'irradiation globale inclinée vertical sud Est et sud Ouest.

1.3.La chaine de production éolienne:

1.3.1.Le vent:

Le vent est utilisé par l'humanité depuis la nuit des temps, il provient du déplacement des masses d'air due indirectement à l'ensoleillement de la terre, c'est les différences de température et de pression induites dans l'atmosphère par l'absorption du rayonnement solaire qui mettent les vents en mouvement.

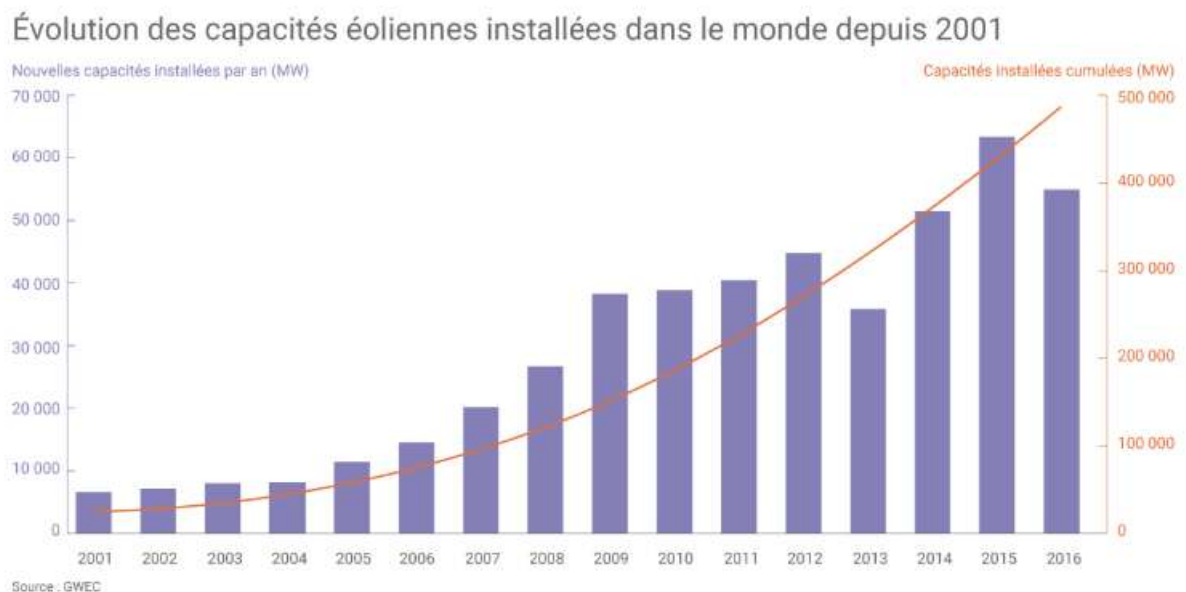


Figure I. 15 : Capacité mondiale d'énergie éolienne installée[25]

1.3.2.La notion de couple:

Le couple moteur c'est un effort de rotation appliqué à un axe qui doit son appellation à la façon dont l'action s'obtient: un bras qui tire, un bras qui pousse, selon deux forces égales et opposées; un couple élevé permet une grande puissance au démarrage d'une machine ou d'un outil.

1.3.3.Historique:

1891: premier aérogénérateur Danemark.

1941: USA bipale de 1.25Mw.

1920: France bipale de 20 mètre de diamètre.

1950- 60: Tripales 30 mètre 800Kw.

1985: Californie près de 400Mw.

1.3.4.Définition de l'énergie éolienne:

L'énergie éolienne est l'une des énergies renouvelables propre que l'on tire du vent l'humanité c'est inspiré du moulin à vent pour la mettre en œuvre c'est en fait la production d'énergie électrique à partir de l'énergie cinétique du vent, en effet si on considère une masse d'air m qui se déplace à une vitesse V , l'énergie cinétique de cette masse est:

$$E_c = \frac{1}{2}mV^2 \quad (2)$$

1.3.5.Etude d'un aérogénérateur:

1.3.5.1.Définition d'un aérogénérateur:

Un aérogénérateur ou éolienne est un dispositif conçu pour transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique grâce à un générateur.

Il existe deux types d'éoliennes:

1.3.5.1.2.Eolienne à axe verticale:

Ces éoliennes sont les premières structures développées pour la production de l'électricité grâce au vent, leurs avantages ces qu'elles sont silencieuses et tout leurs dispositifs de conversion ce trouve au pied de l'éolienne ce qui rend les opérations de maintenance plus facile, l'inconvénient c'est que leurs rendement est moins bon car les vents sont faibles à proximité du sol.



Figure I. 16 : Eoliennes à axe verticale.[12]

On trouve deux types d'éoliennes à axes verticale:

Eolienne de types SAVONIUS qui illustre le principe de la trainée différentielle tel que, sont rotor est composé par deux demi-cylindres tournant sur le même axe. les efforts exercés par le vent sur chacune des faces d'un corps creux sont d'intensités différentes ce qui crée un couple moteur entraînant la rotation de l'ensemble. cette éolienne a une faible vitesse de démarrage, elle est peu bruyante et s'intègre facilement en ville vue sa forme esthétique. le fonctionnement de cette éolienne ne dépend pas de la direction du vent et sont coefficient de performance C_p peut atteindre la valeur de 0.3 par contre sont rendement est faible et sont poids est élevé.

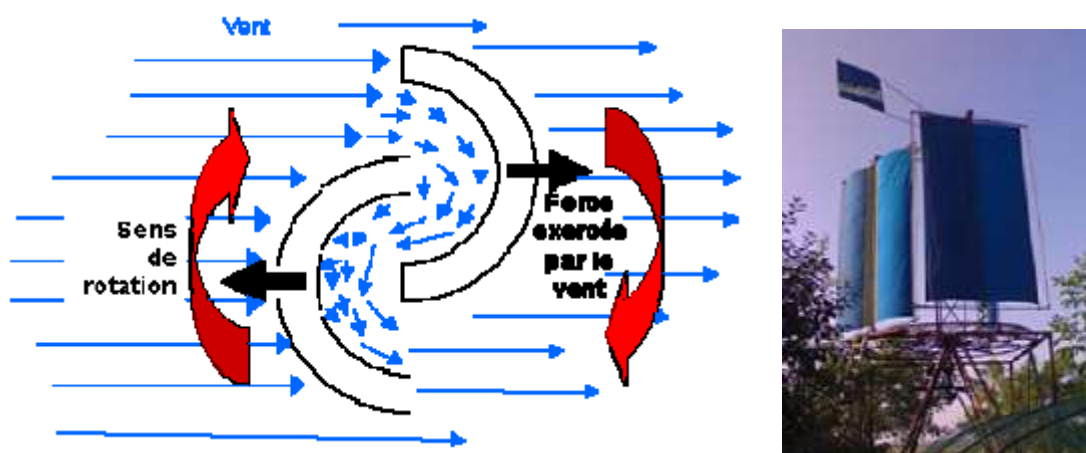


Figure I. 17 : principe de la trainée différentielle.[21]

Eoliennes de type DARRIEUS qui illustre le principe de la variation cyclique d'incidence, c'est une éolienne capable de fournir une puissance et un rendement important que ceux fournis par une de type SAVONIUS par contre elle ne peut pas démarrer toute seule, elle doit être lancée par un dispositif annexe tel que (montage d'une éolienne SAVONIUS sur le même rotor ou l'utilisation d'une génératrice en moteur). son fonctionnement est basé sur le fait qu'un profil placé dans un écoulement d'air selon différents angles est soumis à des forces de direction et d'intensité variable, le résultat de ces forces génère alors un couple moteur entraînant la rotation du dispositif, ces forces sont créées par la combinaison de la vitesse propre de déplacement du profil et de la vitesse du vent.

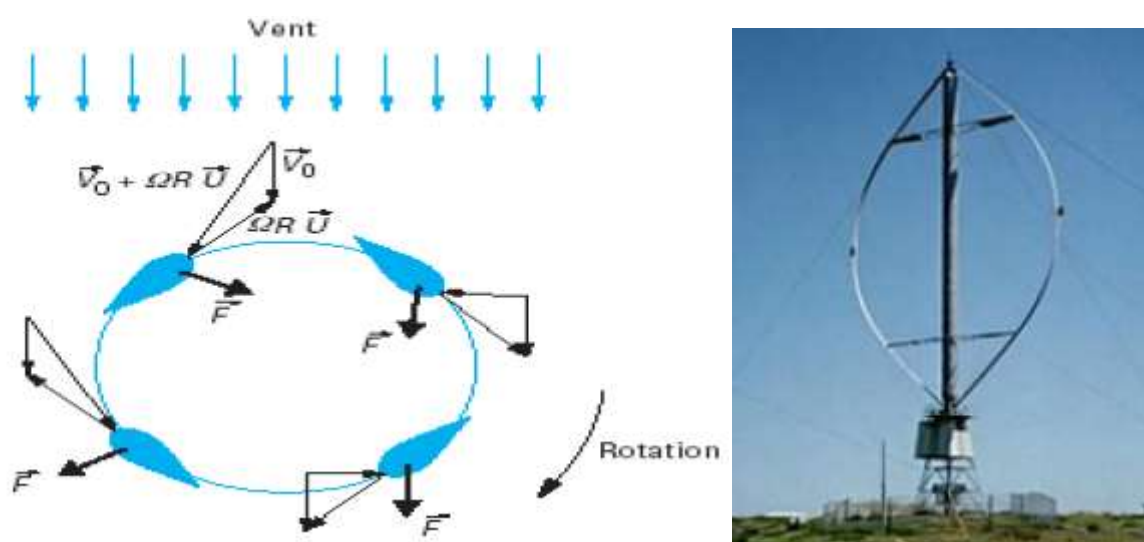


Figure I. 18 : Principe de la variation cyclique d'incidence.[12]

\vec{V}_0 : Vitesse axiale du vent en amont de l'éolienne.

Ω : Vitesse angulaire de rotation des pales.

R: Rayon des pales.

\vec{V} : Vecteur unitaire tangent aux pales.

1.3.5.1.2. Eolienne à axe horizontale:

Elles ont été inspirées des moulins à vents, elles sont formées de plusieurs pales généralement trois pales, tournant de façon aérodynamique. La portance de ces pales génère un couple moteur destiné à entraîner une génératrice, une pompe...etc.

Il existe deux types de configurations:

- éolienne amont (hélice au vent): le vent souffle sur le devant des pales.
- éolienne aval (hélice sous le vent): le vent souffle sur l'arrière des pales.

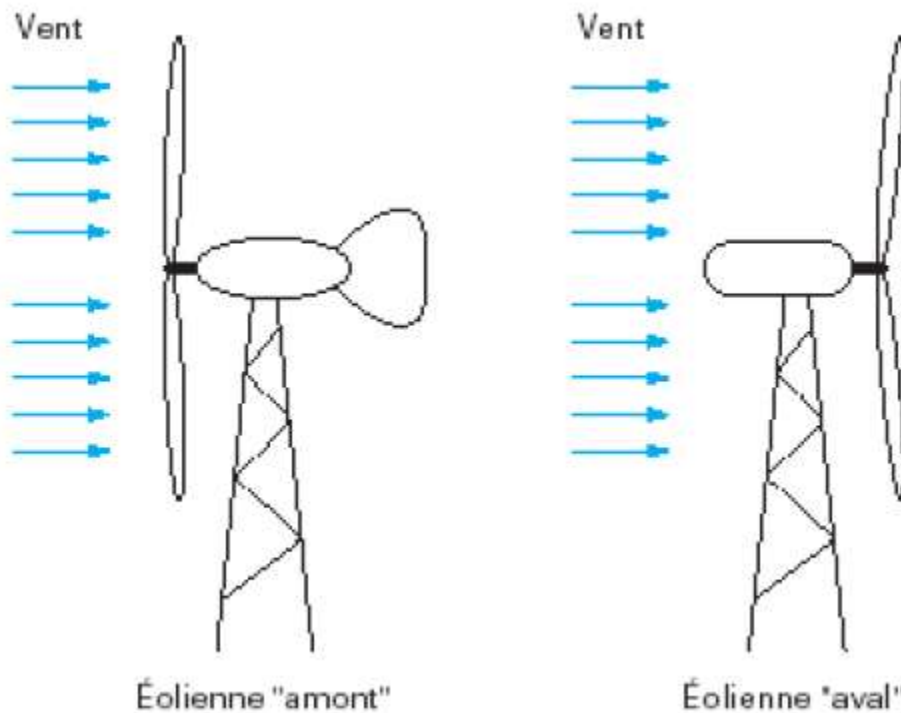


Figure I. 19 : Configuration des éoliennes à axe horizontal.[12]

Le choix de la technologie de l'éolienne tombe sur les éoliennes à axe horizontale car elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et leur coût est moins important, avec un rendement aérodynamique supérieur à celle à axe verticale.

Une éolienne à axe horizontale a trois composants essentiels : le rotor, la nacelle et le mât, comme illustré sur la **Figure I. 20**.

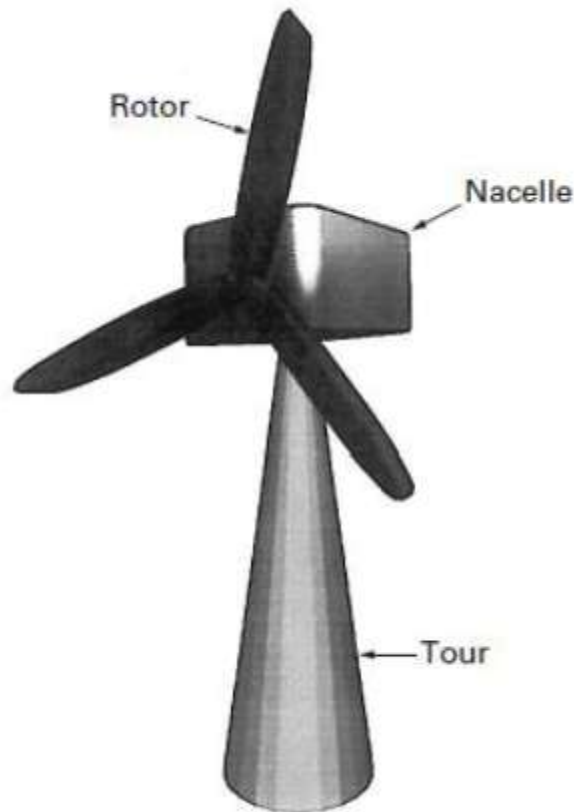


Figure I. 21 : Principaux composants d'une éolienne.[12]

a. Le rotor:

C'est le capteurs d'énergie qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique il est constitué de plusieurs pales (3 en générale) et de l'arbre primaire.

Les pales sont en fibre de verre et de matériaux composite elles représentent le capteurs de l'énergie cinétique leurs longueur atteint actuellement entre 30 et 55 mètres la puissance d'une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par ses pales donc au carrée du diamètre du rotor (entre 60 et 110 mètres). [11]

b. La nacelle:

Elle est montée en haut du mat et contient tout les composants mécaniques , pneumatiques et certains composants électrique et électronique nécessaire au fonctionnement de l'éolienne.

L'électricité produite dans la nacelle est transporter au sol par des câbles électrique ce trouvant à l'intérieur du mat de l'éolienne.

Les différents composants de la nacelle:

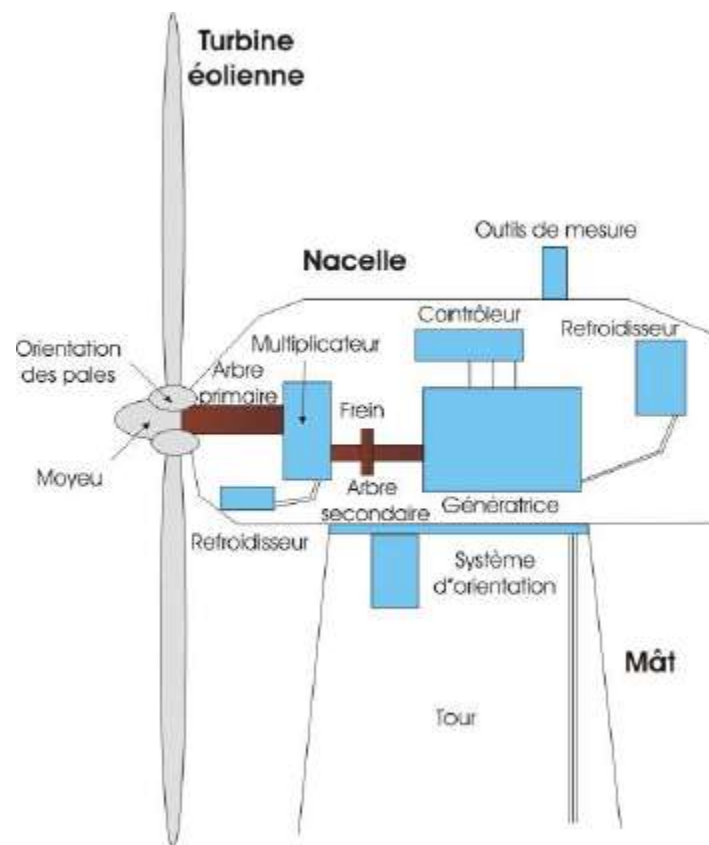


Figure I. 22 : composants de la nacelle.[22]

- Le multiplicateur de vitesse: il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse; c'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire qu'entraîne la génératrice électrique.
- L'arbre secondaire: il est équipé d'un frein à disque mécanique qui permet de limiter la vitesse du rotor en cas de vents violents ou de l'immobiliser au cours des opérations de maintenance.
- La génératrice: elle assure la conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique, sa puissance peut atteindre jusqu'à 5MW, elle 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 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: assurer par ventilateur, radiateur d'eau ou de huile il est destiné au multiplicateur et à la génératrice.
- Les outils de mesure du vent: girouette pour la direction et anémomètre pour la vitesse.
- Le système de contrôle électronique: Il gère le fonctionnement générale de l'éolienne et de sont mécanisme d'orientation. il s'agit d'un ordinateur qui gère le démarrage de la machine lorsque la vitesse du vent est suffisante (de l'ordre de 5m/s), le pas des pales, le freinage de la machine, l'orientation de l'ensemble rotor nacelle face au vent de façon à maximiser la récupération d'énergie et réduire les efforts in stationnaires sur l'installation. il assure aussi la gestion des différentes pannes éventuelles pouvant survenir.

c. Le mat:

C'est un tube en acier qui supporte l'ensemble des équipements (la nacelle et le rotor), il est fixé sur une fondation implanté dans le sol, sa hauteur est importante plus elle augmente plus la vitesse du vent augmente.

1.3.6. Classification des turbines éoliennes:[13]

Tableau I. 1 : Classification des turbines éoliennes

Echelle	Diamètre de l'hélice	Puissance délivré
Petite	Moins de 12m	Moins de 40kw
Moyenne	12m à 45m	De 40kw à 1Mw
Grande	46m et plus	1Mw et plus

Vue que les couts de fondation, de construction, de raccordement au réseau et d'autre composants de l'éolienne sont plus ou moins les même quelque soit la taille de l'éolienne alors une grande éolienne est le meilleur choix, ce type de turbine est conçu pour les installations en mer ou encore dans les endroits qui peuvent comprendre qu'une seul éolienne avec des besoins en énergie plus ou moins important.

Cependant le choix d'une petite éolienne peut se révéler avantageux dans un réseau électrique faible, ou encore pour des raisons esthétique du paysage et aussi pour des utilisations domestique.

1.3.7.Principe de fonctionnement d'une éolienne:

Lorsque le vent souffle à une vitesse d'au moins 4m/s soit environ 15km/h les pales commencent à tourner en entraînant l'arbre primaire; sa vitesse n'étant pas suffisante pour généré de l'électricité un multiplicateur augmente cette vitesse jusqu'à 1500 tr/min et la transmet via l'arbre secondaire qui à sont tour fait tourner une génératrice ; dans celle-ci l'interaction entre les électro-aimant du rotor (partie mobile) et les bobine de fil de cuivre du stator (parie fixe) produit un courant électrique.

Quand la vitesse du vent atteint 14m/s soit 50km/h l'éolienne fournit sa puissance nominale, la génératrice délivre donc un courant électrique alternatif à la tension de 690volts à 50Hz dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent. en effet quand la vitesse du vent augmente la portance s'exerçant sur les pales augmente et la puissance délivrée par la génératrice s'accroit.

si le vent devient plus violent l'éolienne est freinée grâce à un système de régulation électronique et au delà d'un certain seuil 25m/s soit 90km/h les pales sont mises en drapeau (parallèle à la direction du vent) et leurs portance devient quasiment nulle tant que la vitesse du vent reste ainsi l'éolienne ne produit plus d'électricité.

1.3.8.Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne:

Les éoliennes sont conçues de manière à produire un maximum de puissance pour des vents de forces moyenne.

Elles atteignent leurs puissance nominal P_n pour une vitesse de vent nominal v_n de 50km/h soit 14m/s, pour des vitesses de vent supérieur à v_n la turbine éolienne doit modifier ces paramètre aérodynamique à fin d'éviter les surcharges mécanique; de sorte que la puissance récupérer par la turbine ne dépasse pas la puissance nominale. il y a d'autre grandeurs dimensionnâtes: v_d la vitesse du vent à partir de la quelle l'éolienne commence à fournir de l'énergie et v_m la vitesse maximale du vent au-delà de la quelle l'éolienne doit être stoppée pour des raisons de sureté de fonctionnement.

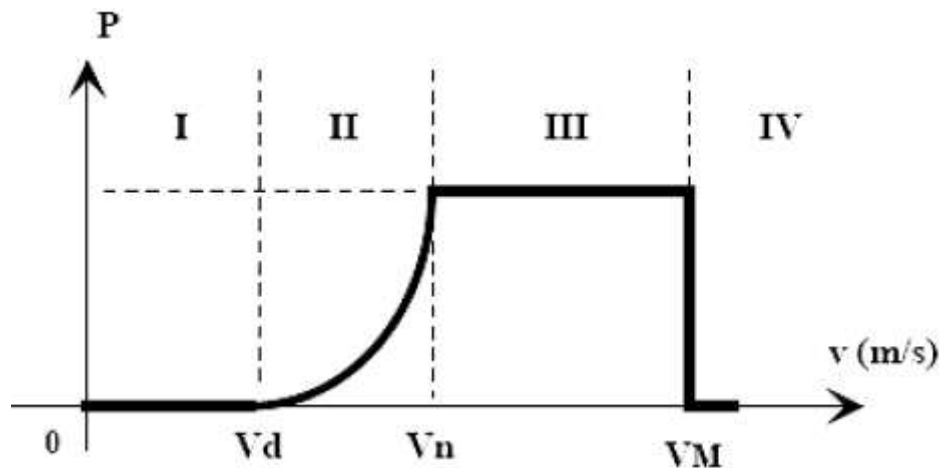


Figure I. 23 : Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.[12]

Sur le diagramme on remarque qu'il y a quatre zones:

Zone I: où $P=0$ (pas de puissance fourni)

Zone II: dans la quelle la vitesse fourni sur l'arbre dépend de la vitesse du vent v .

Zone III: la vitesse de rotation maintenue constante par un dispositif de régulation et où la puissance P de la turbine reste sensiblement égale à P_n .

Zone IV: dans la quelle le système de sureté de fonctionnement arrête la rotation et le transfert de l'énergie.

Dans la plupart des éoliennes on trouve deux systèmes de régulation:

1.3.8.1.Le système de régulation pitch:

c'est une régulation par variation de l'angle de calage des pales en fonction de la puissance active à extraire.

dans ce système le coefficient de puissance C_p ne vari plus en fonction de λ mais en fonction de la vitesse du vent à vitesse de rotation constante ce qui permet de maintenir la puissance constante dans la zone III.[11]

1.3.8.2. Le système de régulation stall:

C'est un système de régulation à accrochage aérodynamique, le plus robuste car c'est la forme des pales qui conduit à une perte de portance au-delà d'une certaine vitesse de vent, mais la courbe de puissance maximale n'est pas plat et chute plus vite.

Il s'agit donc d'une solution passive et robuste (pas besoins de système d'orientation des pales).[12]

1.3.9. Machine électrique:

Il existe sur le marché plusieurs types de machines électriques qui peuvent jouer le rôle de génératrice dans un système aérogénérateur qui demande des caractéristiques très spécifiques. Le cahier des charges pour une génératrice éolienne varie selon le type et les dimensions géométriques de la voilure parmi les plus utilisées:

- Une génératrice à courant continu(dynamo).
- Une génératrice asynchrone à courant alternatif.
 - une génératrice asynchrone à cage d'écureuil.
 - Une génératrice asynchrone à double alimentation .
 - Une génératrice asynchrone à rotor bobiné.
- Une génératrice synchrone à courant alternatif (alternateur)

1.3.9.1. La machine synchrone:

La machine synchrone est constituée d'une partie mobile le rotor et d'une partie fixe le stator, ce type de machine permet de développer des couples mécaniques considérables.

Le principe de fonctionnement est basé sur la création d'une variation de flux magnétique par la rotation d'un aimant (rotor) passant devant les faces de trois bobines fixe (le stator) alimentées par le réseau **Figure I. 24** , cette variation provoque l'apparition d'une force électromotrice d'induction dans chacune des bobines, créant ainsi un courant triphasé.

Dans ce type de générateur, la rotation de l'aimant entraîné par le rotor de l'éolienne, doit être synchrone avec l'excitation des bobines, d'ou son appellation.[13]

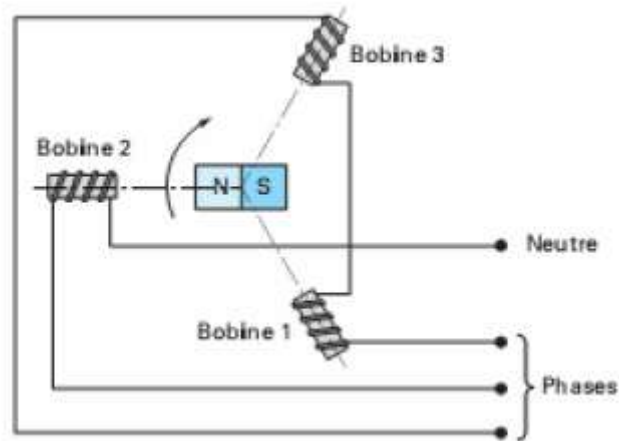


Figure I. 25 : Principe du générateur synchrone.

1.3.9.2. La machine asynchrone:

La connexion direct au réseau de ce type de machines est bien plus doué grâce à la variation du glissement se produisant entre le flux du stator et la vitesse de rotation du rotor, comme pour les machines synchrones il existe différents types de machines asynchrones, qui associées à divers convertisseurs de puissances fonctionnant avec des domaines de variation de vitesse de rotation plus ou moins grandes. deux des désavantages des machines à induction sont la consommation de puissance réactive et le courant élevé au démarrage mais ces problèmes peuvent être résolus par l'utilisation d'éléments d'électronique de puissance, une variante de ce type de machines pourraient se développer dans les prochaines années; le générateur asynchrone doublement alimenté.

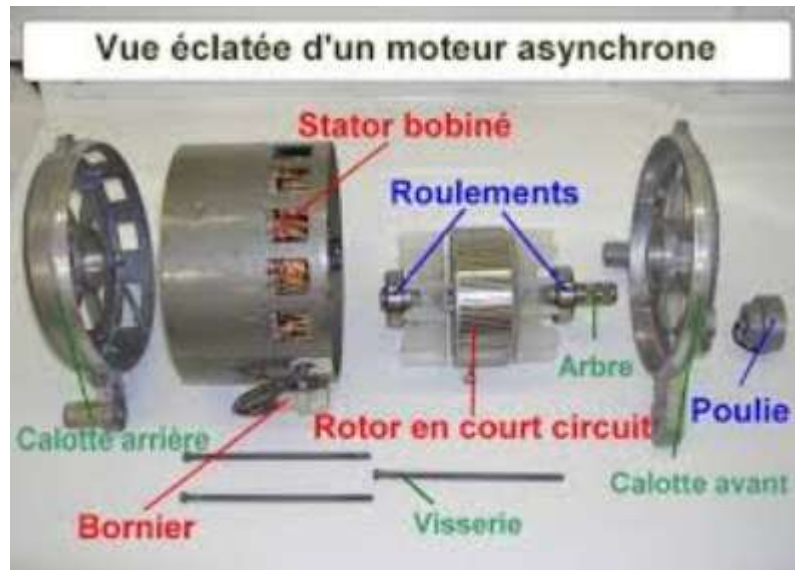


Figure I. 26 : Machine asynchrone.

I.3.10.Redresseur:

Il existe une multitude de redresseurs ceux basés sur des modules entièrement commandés et les ensemble de petite puissance, les premiers sont couteux et les deuxièmes comme le pont de diode ont un cout réduit, peut onéreux mais semble attractif à condition que les performances énergétique ne soient pas trop dégradées.

Etudiant le redresseur à diodes dont les diodes sont supposées idéales donc leurs conduction correspond à un court circuit et leurs blocage correspond à un circuit ouvert. Dans ces conditions les deux diodes qui conduisent à chaque séquence correspondent à la phase ayant la tension la plus positive pour la diode du demi pont supérieure et à la phase ayant la tension la plus négative pour la diode du demi pont inferieur. La tension et le courant redresser sont relievé à la tension et courant de phase. Nous présentons le pont triphasé à diodes alimenté par un système de tension sinusoïdale triphasé **Figure I. 27** deux diodes d'un même bras ne peuvent conduire simultanément. lorsque D_1 conduit l'une des diodes D'_2 et D'_3 conduit également; il en vient que D_1 conduit lorsque V_1 est supérieur à V_2 et V_3 . [14]

Pendant chaque séquence de conduction, la tension U_c à la sortie du redresseur est:

$$U_c = \max(V_j) - \min(V_j); j=1,2,3. \quad (3)$$

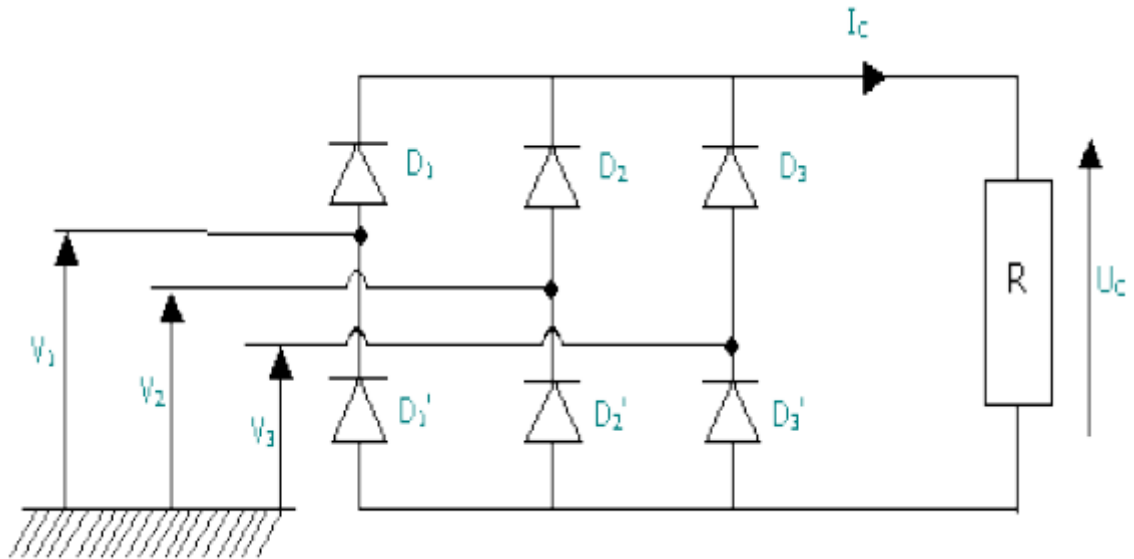


Figure I. 28 : Redresseur à diodes électrique

1.4.Système de stockage:

Il existe deux catégories de stockage de l'énergie: directe et indirecte.

- Les système directs utilisables sont les supers condensateurs et les inductances supraconductrices. (SMES: Super conductor Magnetic Energy Storage).[15]
- Les systèmes indirecte sont:[15]
 - Les accumulateurs électrochimiques.
 - Les accumulateurs à volant d'inertie (FES: Flywheel Energy Storage)
 - Les systèmes à air comprimé en bouteilles.
 - Les systèmes électrolyseur- Hydrogène- Pile à combustible (ou à PAC réversible).

Dans ce domaine les batteries au plomb-acide sont les plus rependues car elles offrent le meilleur compromis en termes de cout/performance/ entretien.

1.4.1.Fonctionnement d'un accumulateur au plomb:

Un accumulateur est un système électrochimique capable de restituer sous forme électrique l'énergie chimique stockée. En plus, les réactions internes sont réversibles. Ce système se compose de deux électrodes(positives et négative) et d'un électrolyte **Figure I. 29** l'électrode positive est en dioxyde de plomb (PbO_2) et la négative en plomb. L'électrolyte

est une solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) qui permet le flux d'ions entre les deux électrodes et crée un courant. La différence de potentiel entre les deux électrodes est de 2V.[16]

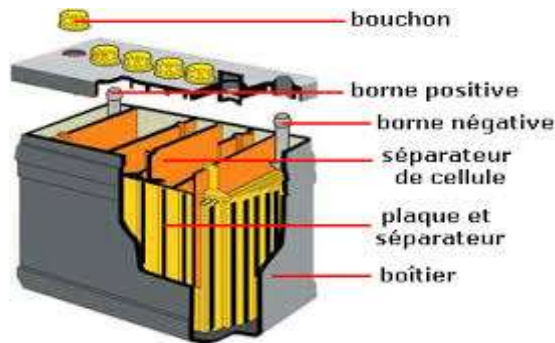


Figure I. 30 : Batterie en plomb.[33]

1.5.Hacheur réversible en courant:

Dans le cas du hacheur utilisé pour adapter la tension aux bornes du générateur PV, le transfert de l'énergie s'effectue dans un seul sens, de la source (générateur PV) vers le bus à courant continu.

Dans le cas du hacheur utilisé par la charge/décharge des batteries, le courant électrique doit être réversible. Ainsi, pour réaliser le transfert d'énergie dans les deux sens un hacheur survolteur et un hacheur dévolteur ont été associés comme l'indique la **Figure I.26**.

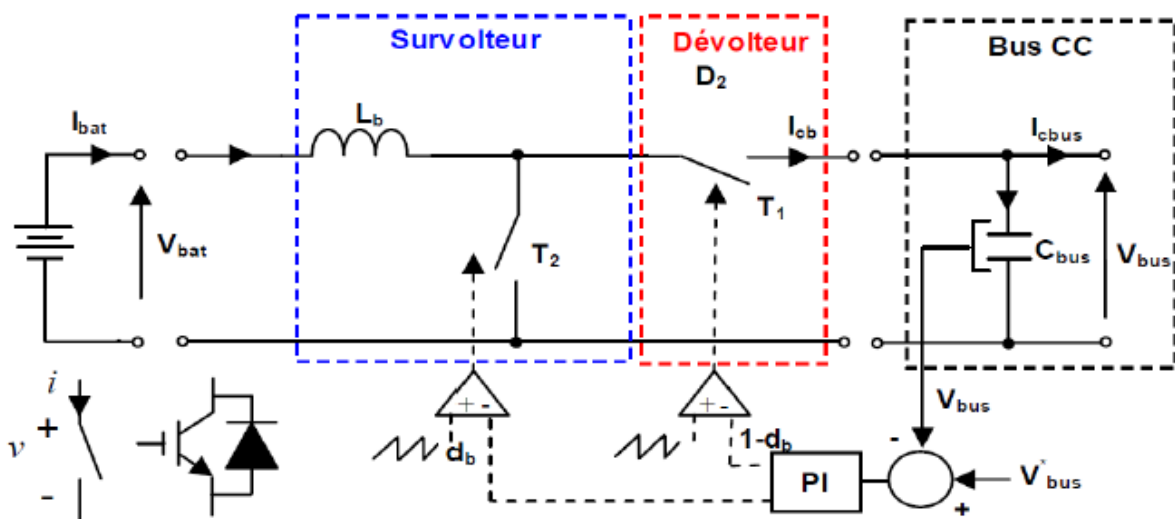


Figure I. 31 : Hacheur réversible en courant.[17]

I.6. Bus à courant continu:

Les éoliennes et les panneaux PV sont connectés à un bus à courant continu. Pour un fonctionnement optimale, ceux-ci ont besoin d'une tension constante sur ce bus.

La régulation de la tension continu V_{cc} sur le bus CC est mise en œuvre par un hacheur réversible en courant connecté à un bon de batteries. Ainsi le bus à CC est réguler à une valeur de tension constante en contrôlant le flux d'énergie entre les batteries et le bus.

Quand l'énergie fournie par les sources d'énergies renouvelables est insuffisante pour faire face à une augmentation soudaine de la charge, la tension du bus à CC devient inferieur à la valeur de référence. Dans ce cas, l'énergie manquante est obtenue à partir des batteries.

Quand il y a excès d'énergie il est utilisé pour recharger les batteries. L'architecture de ce système est présentée dans la **Figure I. 27**

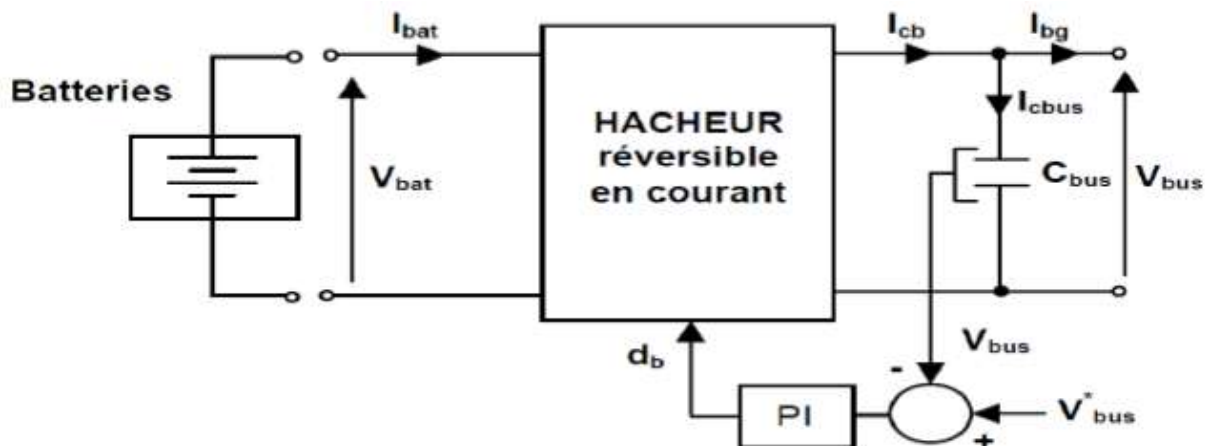


Figure I. 32 : Architecture du bus à CC avec batteries de stockage.[18]

I.7. Onduleur:

L'onduleur de tension est un convertisseur statique constitué de cellules de commutation généralement à transistor ou des thyristors GTO pour des grandes puissances. il est constitué de trois bras, de deux interrupteurs pour chacun, pour assurer la continuité en courants. Chaque interrupteur est monté en antiparallèle avec une diode de récupération.

Les interrupteurs (K1,K4),(K2,K5),(K3,K6) sont contrôlés de manière complémentaire pour éviter le court-circuit de la source.[19][20]

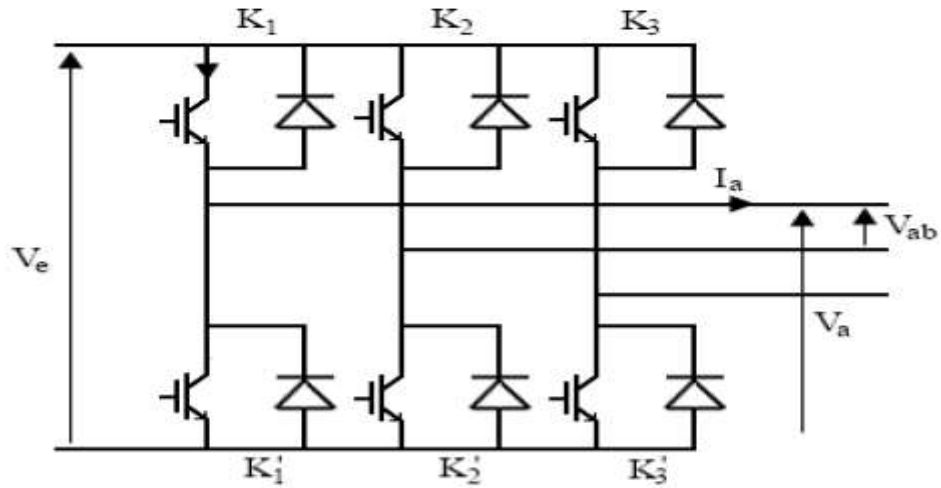


Figure I. 33 : Structure d'un onduleur triphasé.

I.8. Atlas du vent:

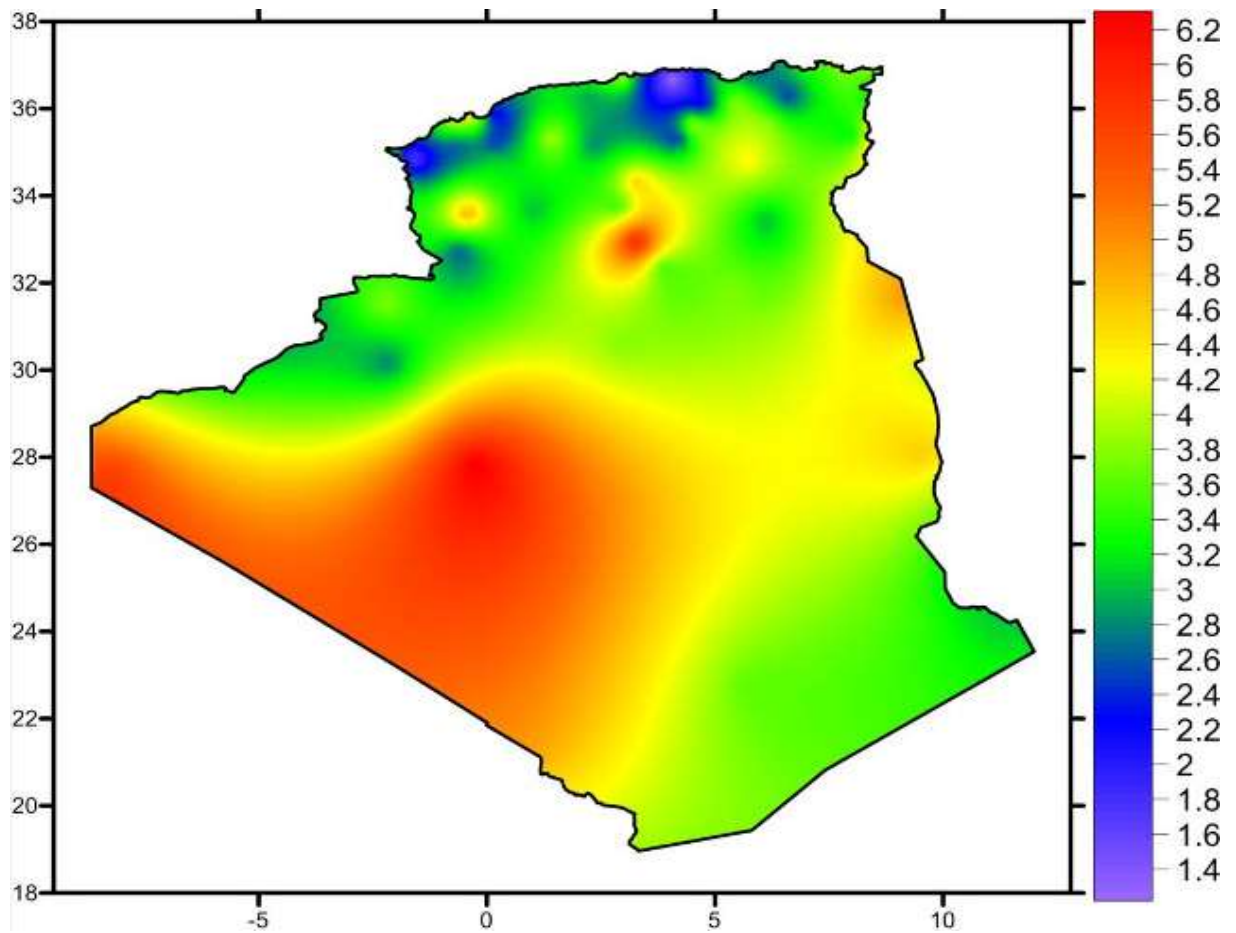


Figure I. 34 : Atlas éolien de l'Algérie à 10m du sol[23]

Le site de Ain Salah affiche une vitesse moyenne du vent de 6.4 m/s à coté d'Adrar qui enregistre 6.3m/s. La wilaya d'Illizi, doté d'une dizaine de station, montre des vitesses dépassant les 5m/s tandis que le site de Hassi R'mel affiche des vitesses moyennes assez importantes atteignant 6.5m/s

Quant au nord du pays, plusieurs microclimats sont également détectés d'ouest en est, observe-t-il. Dans le cas des hauts plateaux, il est constaté que dans l'extrême ouest, la région de Mecheria affiche une vitesse moyenne particulièrement intéressante de 5.6m/s.

Une vitesse de 5.6m/s est enregistrer à Tiaret et de 5.1m/s à Djelfa, tandis qu'a M'sila, la vitesse moyenne est de 5.3m/s. Mais selon le CDER, bien que cet atlas préliminaire donne des informations utile pour la quantification du potentiel existant, il reste insuffisant pour le choix des sites éligibles à l'implantation de fermes éoliennes.[23]

Chapitre II

Etude et simulation d'une cellule photovoltaïque

II.1.Historique:

Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

- **1839** : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.

- **1875** : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.

- **1954** : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

- **1958** : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

- **1973** : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.

- **1983** : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

La première *cellule photovoltaïque (ou photopile)* a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés".

C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé.

II.2.Fabrication des cellules photovoltaïques au silicium:

Il existe deux technologies de fabrication de cellules PV:

- Les cellules dites cristallines.
- Les cellules dites à couches minces.

II.2.1.Extractions et purification du silicium:

La matière première d'une cellule PV est la silice (dioxyde de silicium SiO_2) c'est l'élément le plus abondante dans la croûte terrestre après l'oxygène il représente 25% de la masse de la croûte terrestre.

La fabrication des cellules PV repose sur l'extraction et la purification du silicium (Si) car il n'existe pas à l'état pur grâce à la formule chimique suivante: $SiO_2 + 2C \rightarrow Si + CO$.

La purification se fait dans un four à une température pouvant atteindre jusqu'à $3000^\circ C$; la silice doit être purifiée encore de plusieurs ordres de grandeur pour obtenir un lingot de silicium purifiés à 99.99%.



Figure II. 1 : la silice [38]

a. Obtention des lingots de silicium:

Après la purification vient l'étape de cristallisation du silicium liquide pour obtenir un lingot de Si à l'état solide.

Il existe deux grandes méthodes de cristallisation:

- Obtenir un Si poly cristallin (plusieurs cristaux).
- Obtenir un Si monocristallin (un seul cristal).

Dans le cas de ce sujet on va faire l'étude sur le Si monocristallin, la méthode de fabrication de ce dernier est celle de CZOCHRALSKI; elle consiste à mettre le Si dans un creuset de quartz en le maintenant à l'état liquide à l'aide d'éléments chauffants.

Lorsque la surface est à la température limite de solidification on y plonge un germe monocristallin à fin que le Si se solidifie sur celui-ci selon la même orientation cristallographique, on tire lentement le germe vers le haut avec un mouvement de rotation, tout en contrôlant la température et la vitesse pour obtenir un lingot de silicium monocristallin sous forme circulaire constitué d'un seul cristal ayant une couleur uniforme grise, avant le polissage on effectue l'équeutage qui consiste à éliminer les extrémités du lingot soit mal cristallisé soit riche en impureté en suite on fait un polissage pour unifier le diamètre du lingot.



Figure II. 2 : Lingot de silicium à l'état solide.[36]

b. Obtention des wafers PV:

Les lingots cylindriques obtenus sont ensuite sciés en fines plaques de $200\mu\text{m}$ d'épaisseur appelé wafers grâce à des scies à fil.

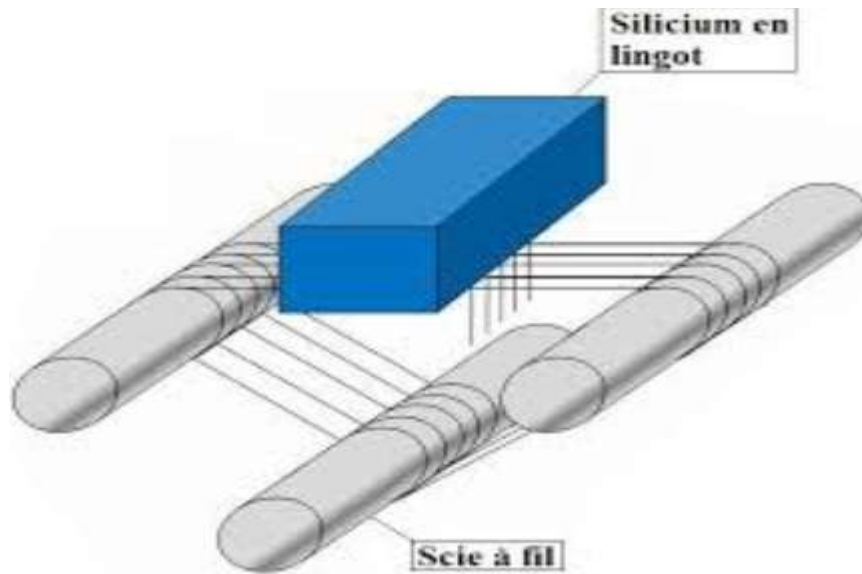


Figure II. 3 : découpe des wafers au scies à fil.[35]

c. Dopage du silicium:

Pour faire le dopage les wafers ils sont introduit dans des réacteurs de croissance pour réaliser une jonction PN.

La méthode de dopage utilisé par la filière PV est le dopage par diffusion, en utilisant un four dans lequel on injecte des gaz avec une solution dopante pour le silicium, grâce à la chaleur le dopant a une énergie suffisante pour entrer dans la plaquette de silicium.

Les wafers subiront soit un dopage de type N (en ajoutant un atome de phosphore au sein de la structure cristalline du silicium), soit un dopage de type P (en ajoutant un atome de bore au sein de la structure cristalline du silicium).

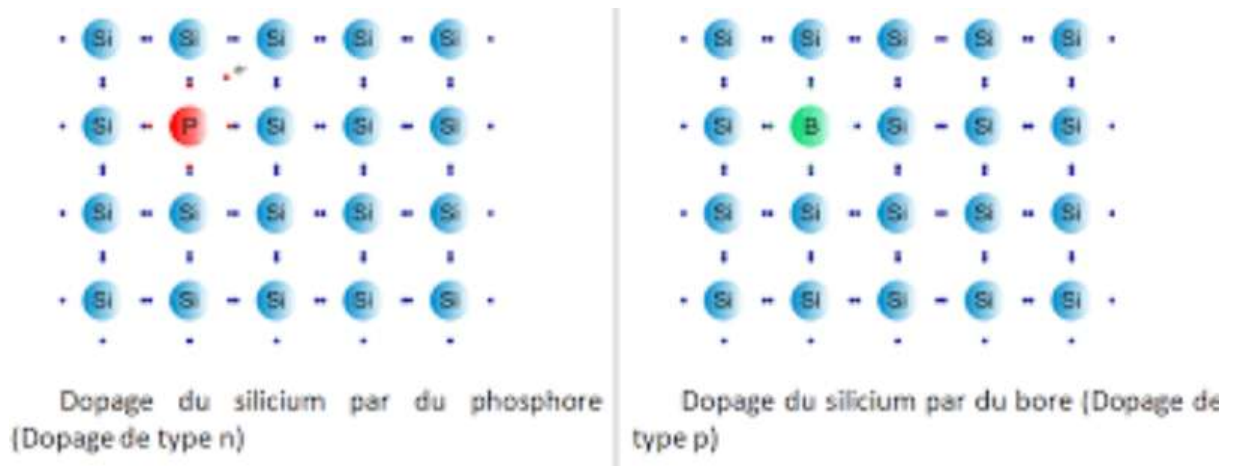


Figure II. 4 : Dopage du silicium [37]

par la suite on associe un wafer dopé N avec un wafer dopé P pour créer la jonction PN.

Tableau II. 1 : Comparatif des différentes technologies de fabrication des cellules

Matériau	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Principales utilisations
Monocristallin	12 à 18% (24,7% en laboratoire)	20 à 30 ans	*très performant *Méthode de production coûteuse et laborieuse.	Aérospatiale, Modules pour toits,
Poly cristallin	11 à 15% (19,8% en laboratoire)	20 à 30 ans	* Adapté à la production à grande échelle. Plus de 50% du marché mondial.	Modules pour toits, façades, Générateurs...
Amorphe	5 à 8% (13% en laboratoire)		* Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. *Fonctionnement si faible luminosité. *Fonctionnement par temps couvert. *Fonctionnement si ombrage partiel * La puissance de sortie	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), Intégration dans le bâtiment

			varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.	
Composite monocristallin GaAs	18 à 20% (27.5% en laboratoire)		* Lourd, fissure facilement	Systèmes de concentrateurs Aérospatiale (satellites)
Composite polycristallin CdS, CdTe, etc.)	8% (16% en laboratoire)		Nécessite peu de matériaux mais certains contiennent des substances polluantes.	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment.

II.3.Fonctionnement physique de la cellule photovoltaïque:

II.3.1.Interaction photon/semi-conducteur:

Un gap c'est l'écart entre la bande de valence et la bande de conduction il représente une caractéristique fondamentale des semi-conducteurs.

Il existe deux types de gap:

- Gap directe; quand le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence coïncident dans l'espace des K, pour ce gap les transitions inter bandes s'effectuent verticalement et sont radiatives, ceci illustre le fonctionnement des semi-conducteurs binaires III-V comme le GaAs, la valeur de ce gap vaut 3.4 eV pour une longueur d'onde de 365nm.
- Gap indirect; pour celui la les transitions électroniques entre les extrema des bandes sont oblique et donc non radiatives. Les électrons du sommet de la bande de valence peuvent toute fois être directement excités vers le minimum relatif central de la bande de conduction grâce à un photon de plus grande énergie. Pour que la transition s'effectue dans le gap indirect, il faut qu'un phonon soit au

préalable absorbé ou émis par l'électron, afin que le vecteur d'onde de ce dernier corresponde au maximum de la bande de valence, pour absorber un photon. Notons que la valeur du gap indirect du silicium est de 1,12 eV à 300 K (ce qui correspond à une longueur d'onde de 1107 nm).

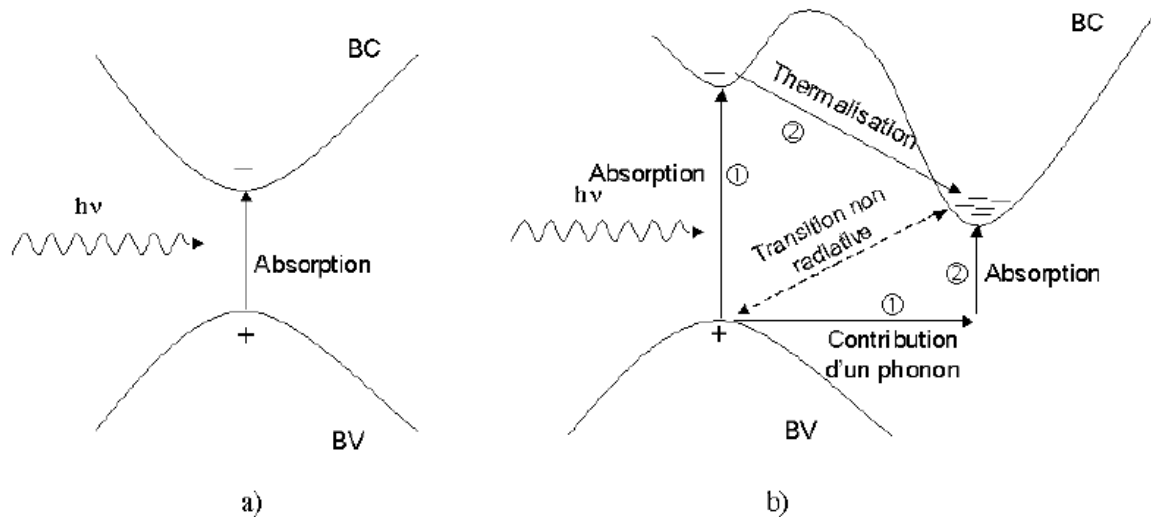


Figure II. 5 : Transitions inter-bandes d'électrons dans un semi-conducteur. Le cas a) correspond à un semi-conducteur à gap direct, le cas b) à un gap indirect [10]

Le coefficient d'absorption est une caractéristique essentielle du matériau dans le domaine photovoltaïque; il traduit l'interaction entre les photons et un semi-conducteur et représente le nombre de photons absorbés par unité d'épaisseur du matériau en fonction de leur longueur d'onde.

Dans la **Figure II. 6** nous observons que pour des longueurs d'onde inférieures à 365nm, la majorité des photons incidents est absorbée dans les 100 premiers Å du matériau. Comme on a vu précédemment ces transitions directes ne sont plus possibles pour des longueurs d'onde plus grandes, pour cela il faut qu'un phonon au moins vienne assister l'électron pour que ce dernier passe dans la bande de conduction cela minimise la probabilité de transmission.

L'élévation de la longueur d'onde mène à la diminution du coefficient d'absorption, lorsque l'énergie devient inférieure à celle du gap du matériau (à l'énergie d'un phonon près), la transition n'est plus possible et le photon n'est pas absorbé.

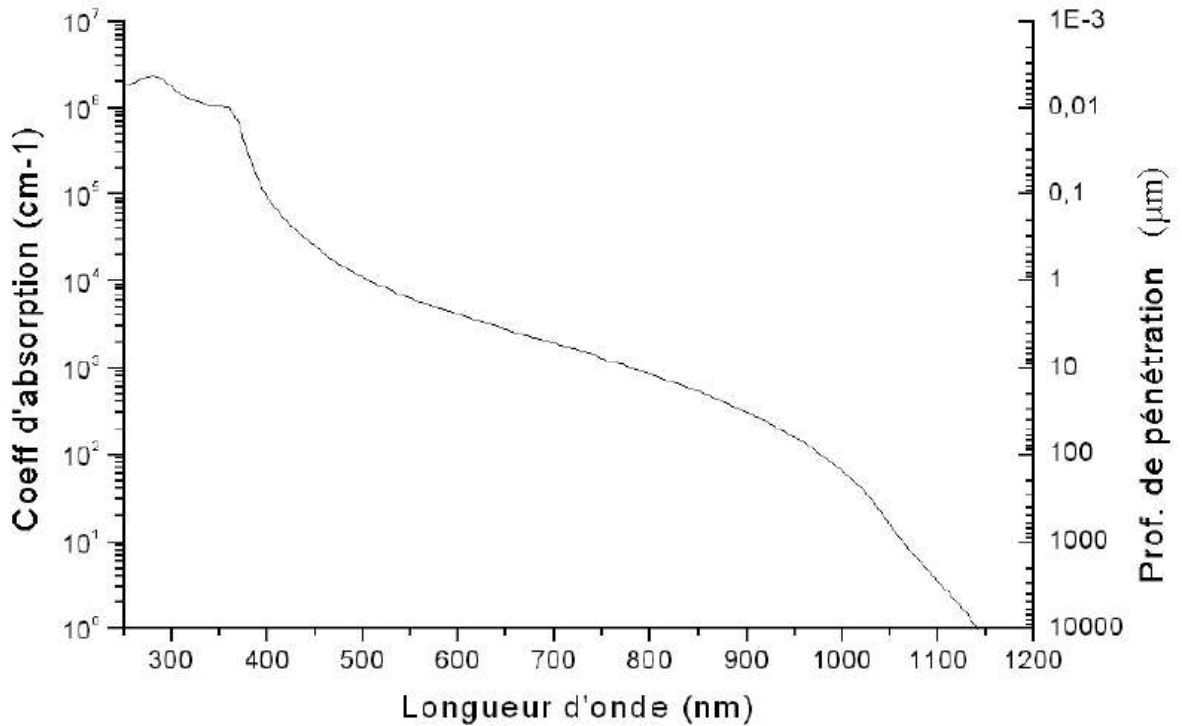


Figure II. 7 : Coefficient d'absorption du silicium et profondeur de pénétration des photons en fonction de la longueur d'onde[10]

L'interaction photon/électron au sein du semi-conducteur se traduit par la génération d'une paire électron/trou, qui modifie localement la conductivité du matériau. dans un régime de faible injection (la densité de porteurs photo-générés est faible devant celle des porteurs majoritaires au sein du matériau).

Ainsi cet excès de porteurs est plus sensibles dans le cas des porteurs minoritaires (trous dans la région dopée N et électron dans la région dopée P). la cellule PV se comporte comme un générateur, il s'agit à présent de séparer ces deux types de porteurs pour éviter qu'ils ne se recombinent entre eux, et de les collecter dans un circuit électrique extérieur.

La face supérieure de la cellule est traitée de manière à optimiser la quantité de lumière entrant dans la cellule au moyen de traitement de surface, par l'application d'une couche anti reflet qui minimise les pertes due à la réflexion à moins de 5%.



Figure II. 8 : la cellule photovoltaïque. [6]

II.4.Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque:

Une cellule PV est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique selon trois mécanismes:

- Absorption des photons par le matériau constituant le dispositif.
- conversion de l'énergie du photon en énergie électrique.
- Collecte des particules générées dans le dispositif.

La jonction PN permet de créer un champ électrique qui va permettre de dissocier les paires électron/trous.

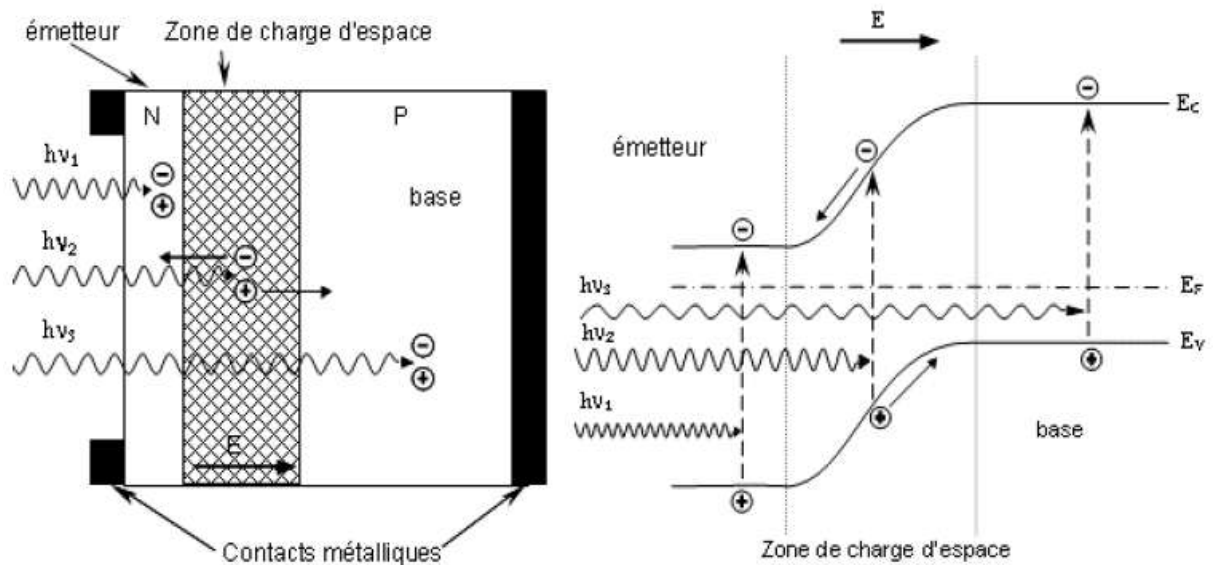


Figure II. 9 : Structure (image gauche) et diagramme de bande (image droite) d'une cellule photovoltaïque.[10]

Celons la zone les porteurs créés auront un comportement différent tel que:

- Dans la zone N ou P les porteurs minoritaires qui arrive à la zone de charge d'espace sont envoyés vers la zone P pour les trous et vers la zone N pour les électrons ou il sont majoritaires. On aura un photo-courant de diffusion.
- Dans la zone de charge d'espace les paires électrons/ trous créées sont dissocié par le champ électrique tel que; les électrons se dirige vers la région N et les trous vers la région P ce qui nous donne un photo-courant de génération.

La somme de ces deux courants (photo courant de diffusion et photo courant de génération) donne un photo courant résultant I_{ph} ; c'est un courant de porteurs minoritaires et il est proportionnel à la densité lumineuse.

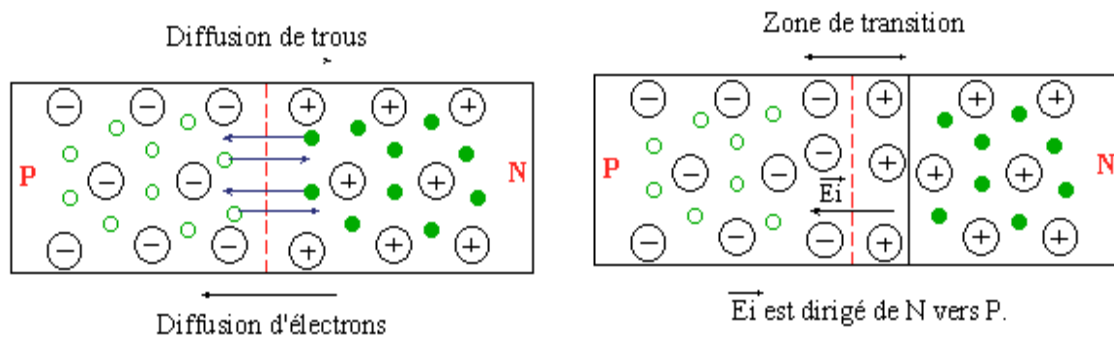


Figure II. 10 : phénomène de diffusion et de transition dans la jonction PN. [4]

II.5.De la cellule photovoltaïque au panneaux photovoltaïque:

L'association de plusieurs cellules identiques en série ou en parallèle donnent un module PV dont la caractéristique est la même que celle d'une cellule, cette association se fait en soudant les cellules deux à deux par un ou plusieurs collecteurs métalliques en forme de ruban; en face avant vient le pole négatif et en face arrière vient le pole positif.

Pour un seul module il y'a de 36 à 72 cellules en série selon le fabricant, l'association en série permet l'utilisation des modules à des tensions élevés compatibles avec les charges usuelles comme les onduleurs.

Pour avoir un panneau PV il suffit de faire l'association de plusieurs module PV en série ou en parallèle.

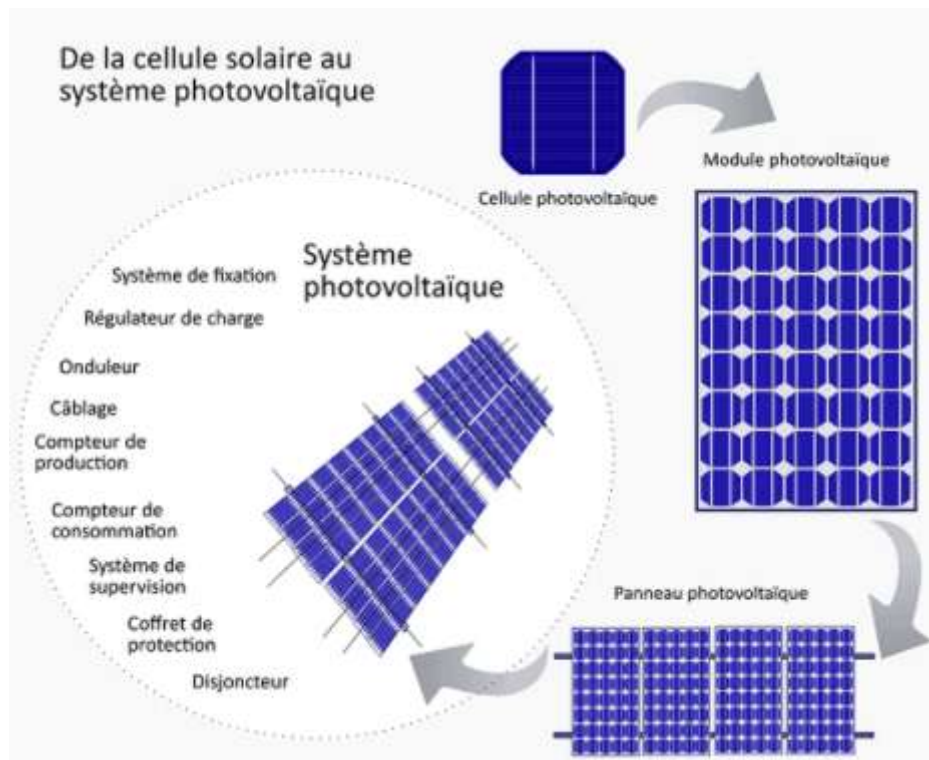


Figure II. 11 : De la cellule solaire au champ PV [9]

II.6. Etude des caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque:

Lorsque la cellule est à l'obscurité sa caractéristique est identique à celle d'une diode mais lorsqu'elle est sous éclairement sa caractéristique à l'allure présenté dans la **Figure II. 12** .

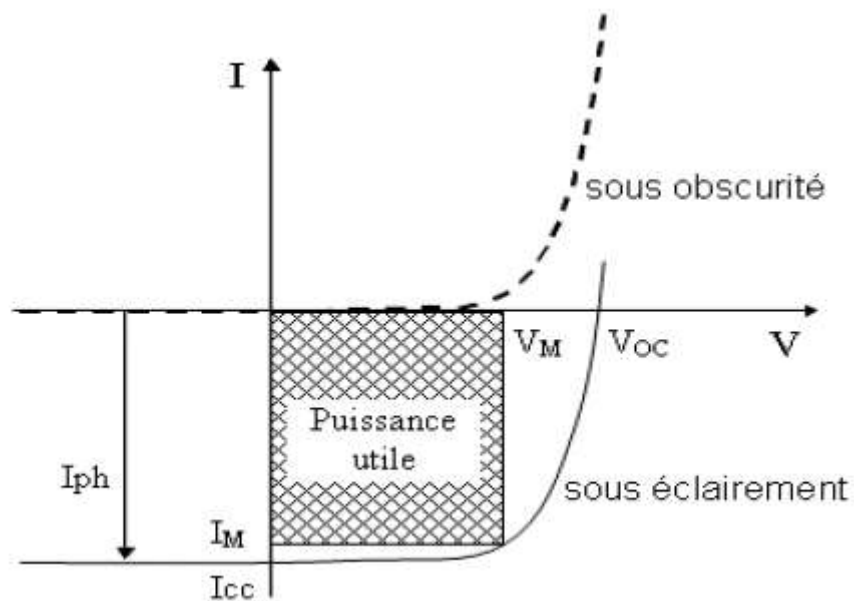


Figure II. 13 : Caractéristique électrique I(V) de la cellule PV

A partir de cette allure on déduit les paramètres électrique propre à la cellule:

- I_{cc} : courant de court-circuit obtenu pour $V=0$.
- V_{co} : tension de circuit ouvert obtenu pour $I=0$.
- I_m : courant à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.
- V_m : tension à la puissance maximale de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.

II.6.1. Rendement de conversion:

Le rendement énergétique maximum η_m des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport de la puissance maximale (P_m) fournie par la cellule sur la puissance du rayonnement solaire incident (P_i) [30] :

$$\eta_m = \frac{P_m}{P_i} = I_m * \frac{V_m}{S} \phi = \frac{FF * V_{co} * I_{cc}}{P_i} \quad (4)$$

Avec:

S: surface de la cellule (m²).

ϕ : flux incident (W/m²).

II.6.2. Facteur de forme:

Ce coefficient représente le rapport entre la puissance maximale que peut délivrer la cellule notée P_m et la puissance formée par le rectangle $I_{cc} * V_{co}$ (puissance optimale)[30]:

$$FF = \frac{P_m}{P_{opt}} = \frac{I_m * V_m}{I_{cc} * V_{co}} \quad (5)$$

Plus la valeur de ce facteur sera grande, plus la puissance exploitable le sera également. Les meilleures cellules auront donc fait l'objet de compromis technologiques pour atteindre le plus possible les caractéristiques idéales.

II.6.3. Influence du niveau d'éclairement sur la cellule PV:

Le courant produit par la cellule PV dépend fortement du niveau d'éclairement, le courant de court circuit est directement proportionnel à l'éclairement; tel que lorsque l'éclairement est multiplier par deux le courant de court circuit est également multiplier par deux.

Quant à la tension elle est peut sensible aux variations du niveau d'éclairement.

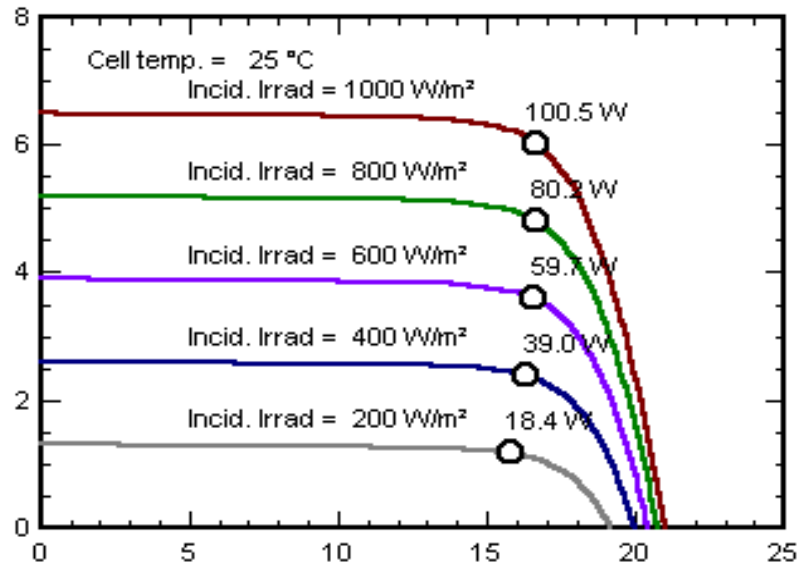


Figure II. 14 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique de la cellule PV [31]

II.6.4. Influence de la température sur la cellule PV:

Une cellule PV convertit une énergie radiative (rayonnement) en énergie électrique avec un rendement compris entre 5% et 16% selon la technologie, le reste du rayonnement est converti en grande partie sous forme de chaleur; cette chaleur a un effet notable sur la tension de la cellule PV, par contre son effet est négligeable sur le courant.

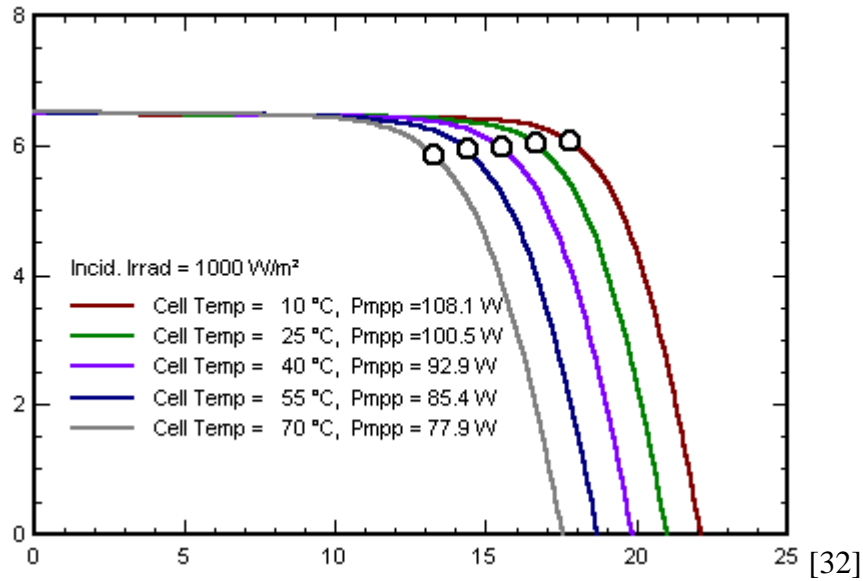


Figure II. 15 : Influence de la température sur la caractéristique de a cellule PV [32]

II.7.simulation d'une cellule PV avec PC1D:

II.7.1.Influence des paramètres physiques:

II.7.1.2.Influence du dopage Nd:

Rendement électriques de la cellule en fonction du dopage Nd:

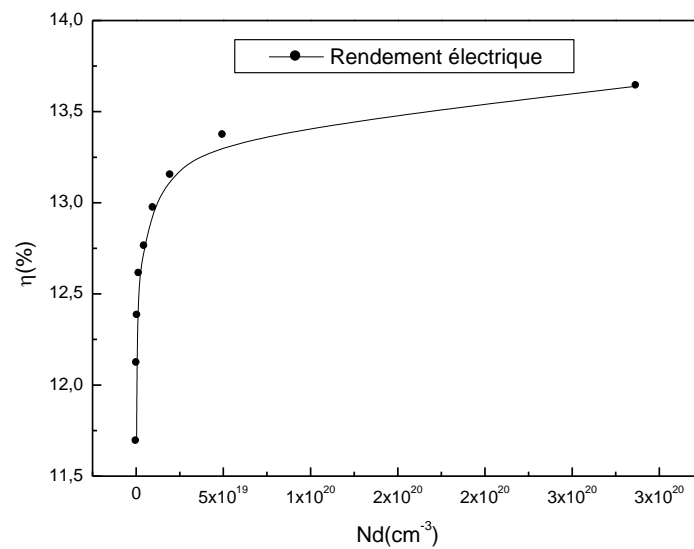


Figure II. 16 : Le rendement électrique de la cellule en fonction du dopage Nd.

Rendement quantique de la cellule en fonction du dopage Nd:

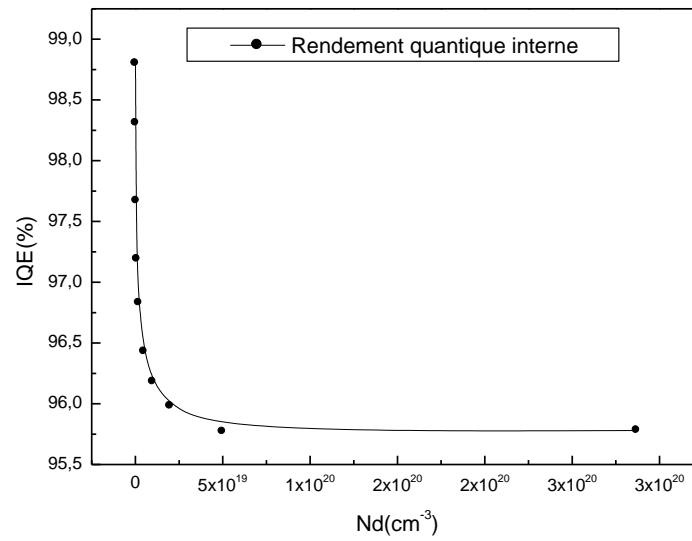


Figure II. 17 : Rendement quantique interne en fonction du dopage Nd.

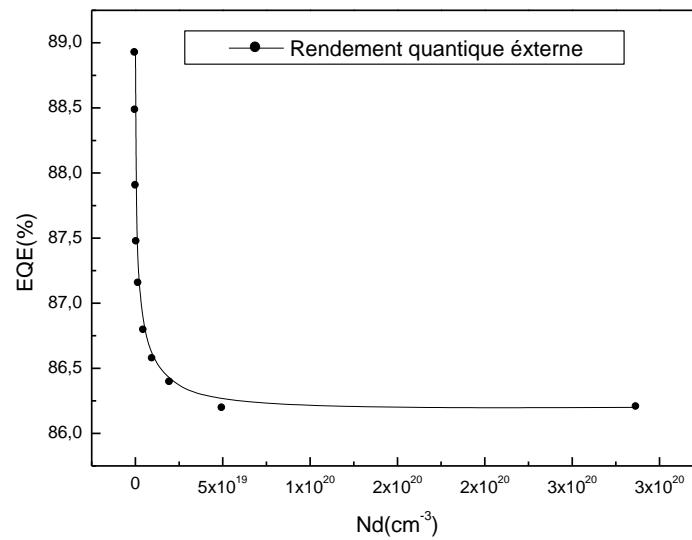


Figure II. 18 : Rendement quantique externe en fonction du dopage Nd.

Puissance maximale de la cellule en fonction du dopage:

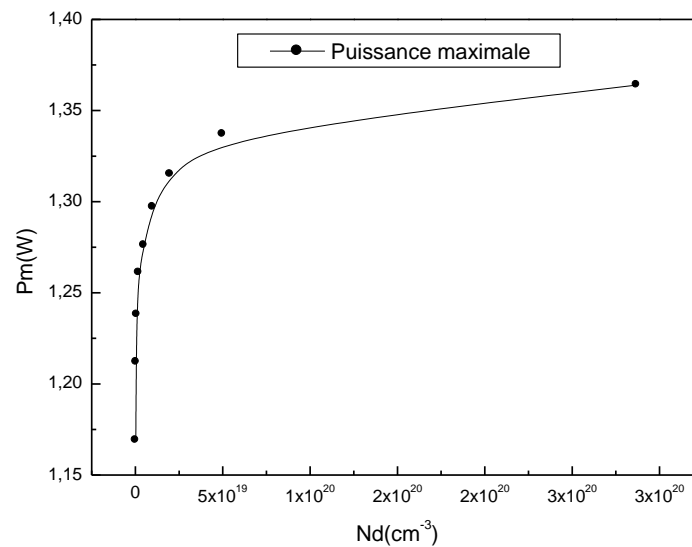


Figure II. 19 : Puissance maximale de la cellule en fonction du dopage Nd.

Remarque:

L'influence des paramètres physiques de la cellule sur le rendement électrique, quantique interne et externe, et sur la puissance maximale est comme suite:

- Plus le dopage Nd augmente plus le rendement électrique augmente et tend à ce fixé vers $Nd = 2,87 \times 10^{20} \mu m$.
- Pour les deux rendements quantique interne et externe, plus Nd augmente plus ils diminuent puis ils tendent à ce fixées respectivement vert 95.78% et 86.2%.
- Pour l'influence du dopage sur la puissance maximale, d'après la courbe obtenue plus Nd augmente plus Pm augmente et tend à rester fixe à environ $Pm = 1,35 W$.

II.7.2. Influence des paramètres géométrique:

II.7.2.1. Influence de l'épaisseur de l'émetteur N:

Rendement électrique de la cellule en fonction de l'épaisseur de l'émetteur N:

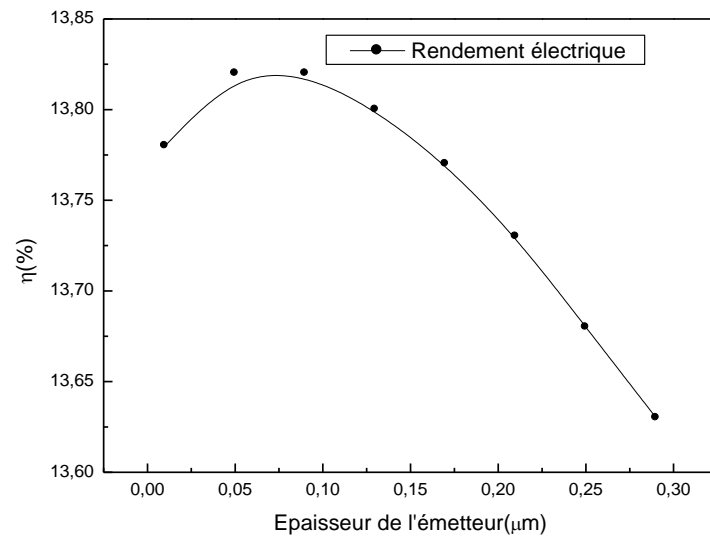


Figure II. 20 : Rendement électrique en fonction de l'épaisseur de l'émetteur.

Rendement quantique de la cellule en fonction de l'épaisseur de l'émetteur N:

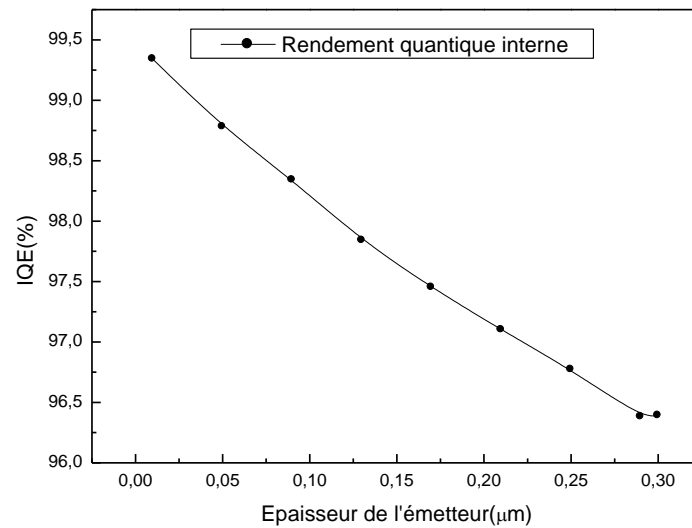


Figure II. 21 : Rendement quantique interne en fonction de l'épaisseur de l'émetteur.

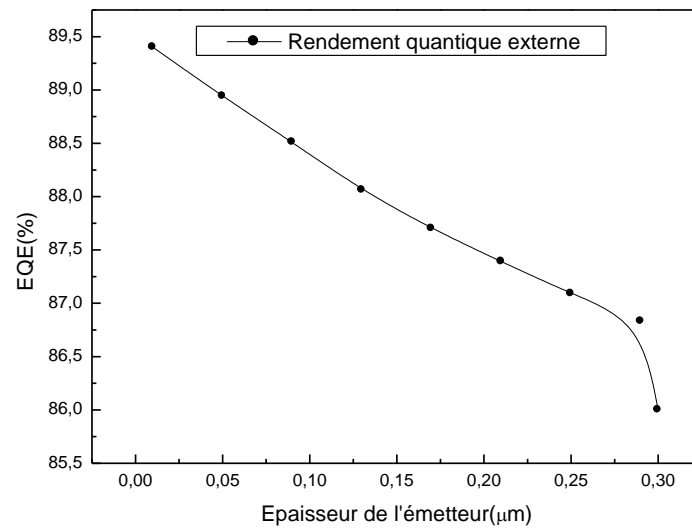


Figure II. 22 : Rendement quantique externe en fonction de l'épaisseur de l'émetteur.

Puissance maximale de la cellule en fonction de l'épaisseur de l'émetteur:

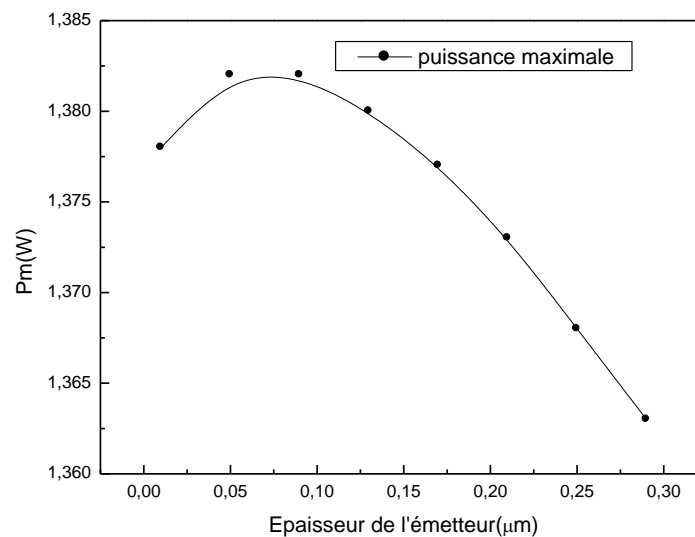


Figure II. 23 : Puissance maximale en fonction de l'épaisseur de l'émetteur.

Remarque:

L'influence des paramètres géométriques sur le rendement électrique, quantique interne et externe et sur la puissance maximale sont comme suite:

- Pour le rendement électrique il augmente pour une épaisseur de N comprise entre $0 \mu m$ et $0.1 \mu m$ puis il diminue.
- Pour le rendement quantique interne et externe ils diminuent proportionnellement avec l'épaisseur de l'émetteur.
- Pour la puissance maximale de la cellule elle augmente pour une épaisseur de l'émetteur comprise entre $0 \mu m$ et $0.1 \mu m$ et puis elle diminue.

Model de la caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule photovoltaïque:

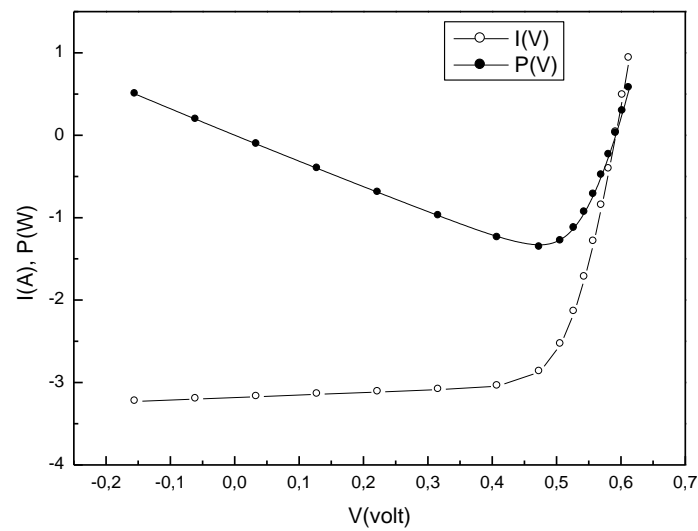


Figure II. 24 : Caractéristiques I(V) et P(V) de la cellule photovoltaïque.

Model du rendement quantique interne et externe d'une cellule photovoltaïque:

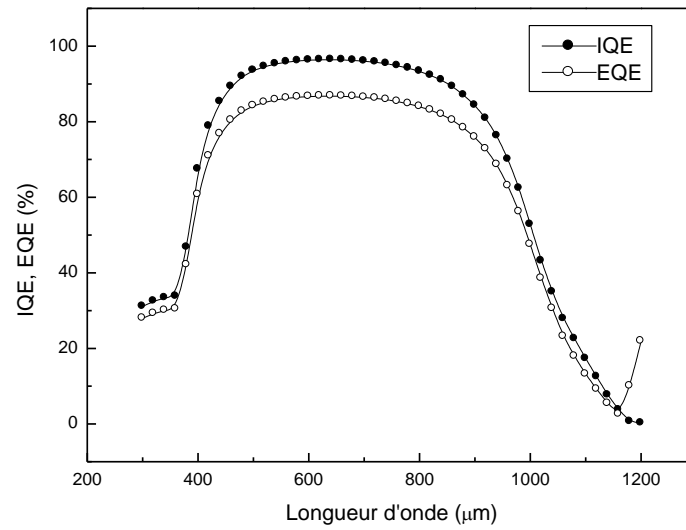


Figure II. 25 : Rendement quantique interne et externe de la cellule photovoltaïque.

Chapitre III
Modélisation des
générateurs photovoltaïque
et éolien

III.1. Modélisation du générateur photovoltaïque:

III.1.1. Modèle de la cellule photovoltaïque:

Figure III. 1 représente un modèle électrique de la cellule PV ce modèle prend en compte les facteurs limitatifs, il est composé d'une cellule idéal décrite comme une source de courant qui produit un photo courant I_{ph} ou I_{cc} qui dépend de la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode, a celle ci on additionne le modèle réel qui tient compte des courants de fuites modélisés par la résistance R_{sh} et la résistivité de la cellule qui dépend de la résistance série R_s .

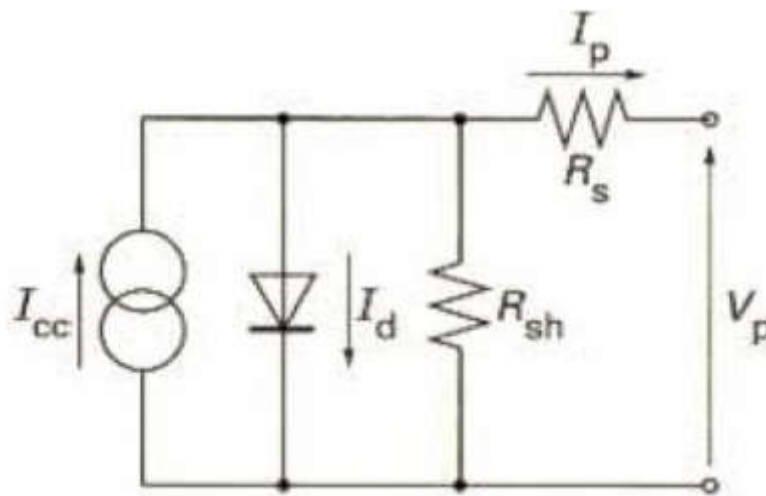


Figure III. 2 : Schéma électrique d'une cellule PV.[28]

La résistance série est due au contact ohmique face avant et arrière et la résistance parallèle est due au courant de fuite par le bord de la cellule.

Le courant délivré par une cellule PV éclairé s'écrit:

$$I_p(V_p) = I_{ph} - I_d(V_p) \quad (6)$$

Avec I_{ph} : densité de courant photo généré et I_d : densité de courant d'obscurité.

Pour une cellule PV idéale l'équation (6) peut être écrite sous la forme suivante:

$$I_p(V_p) = I_{ph} - I_s \left(\exp\left(\frac{qV}{nKT}\right) - 1 \right) \quad (7)$$

Avec:

I_s : courant de saturation de la diode.

q : charge élémentaire.

K : constante de BOLTZMANN.

T : température.

n : coefficient d'idéalité de la diode.

III.2. Modélisation du générateur éolien

III.2.1. Modèle de la turbine

III.2.1.1. Puissance de la turbine:

Considérons l'énergie cinétique d'une colonne d'air de longueur dx , de section S , de masse volumique ρ , animée d'une vitesse v **Figure III. 3** :[26]

$$dE_c = \frac{1}{2} \rho * s * dx * v^2 \quad (8)$$

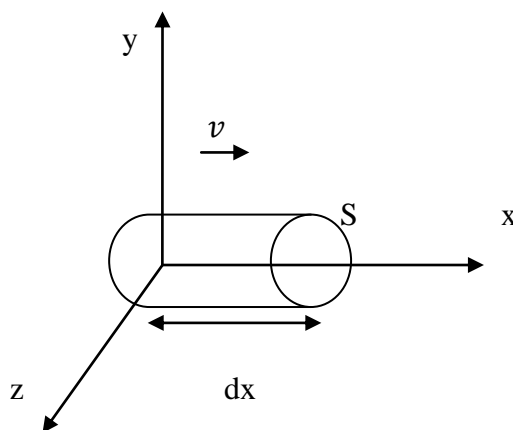


Figure III. 4 : Colonne d'air animé d'une vitesse v .

La dérivée de l'énergie cinétique par rapport au temps donne la puissance P_v extraite du volume d'air en mouvement.

On a $dx = v dt$ donc l'expression de P_v s'écrit:

$$P_v = \frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2} * \rho S v^3 \quad (9)$$

ρ : densité volumique de l'air.

v : Vitesse instantané du vent (m/s).

E_c : Energie cinétique du vent(joules).

La puissance aérodynamique d'une éolienne s'écrit:

$$P_{eol} = \frac{1}{2} \rho S v' (v_1^2 - v_2^2) \quad (10)$$

V' : vitesse au travers de S la section balayée par les pales de l'éolienne.

avec: $v' = \frac{v_1 - v_2}{2}$ on à: $P_{eol} = \frac{1}{4} \rho S (v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2)$

Puisque: $v_2 = \frac{v_1}{3}$ il vient:

$$P_{eol} = \frac{16}{27} * \frac{1}{2} \rho S v_1^3 = \frac{16}{27} P_v \quad (11)$$

Une éolienne ne peut récupérer qu'une partie de l'énergie cinétique du vent ne dépassant pas 59%. [26]

III.2.1.2. Vitesse normalisé:

La vitesse normalisé λ est le rapport de la vitesse linéaire en bout de pales de la turbine $\Omega_t R_t$ sur la vitesse instantané du vent, elle est donnée par l'expression suivante:

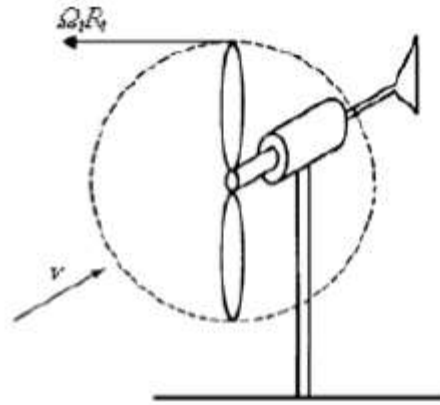
$$\lambda = \frac{\Omega_t R_t}{v} \quad (12)$$

Avec:

v : la vitesse du vent (m/s).

Ω_t : vitesse de rotation avant multiplicateur (rad/s).

R_t : rayon de la surface balayée par les pales (m).



[26]

Figure III. 5 : Vitesse de vent (V) et vitesse tangentielle en bout de paleq $\Omega t.Rt$

III.2.1.3. Coefficient de puissance:

Le coefficient de puissance lie la puissance éolienne à la puissance du vent tel que:

$$P_{eol} = C_p P_v \quad (13)$$

$$C_p = \frac{P_{eol\ max}}{P_v} = 0.59 \quad (14)$$

C_p^{opt} est la valeur maximale que peut prendre le coefficient de puissance C_p , il est associé à la vitesse spécifique normalisée λ_{opt} pour laquelle la turbine a été dimensionnée suivant une vitesse de vent nominale Ω_{tn} . [27]

$$C_p(\lambda, \beta_i) = (0.44 - 0.0167\beta_i) \sin\left(\pi \frac{(\lambda - 3)}{15 - 0.3\beta_i}\right) - 0.00184(\lambda - 3)\beta_i \quad (15)$$

β_i : l'angle d'inclinaison des pales en degré.

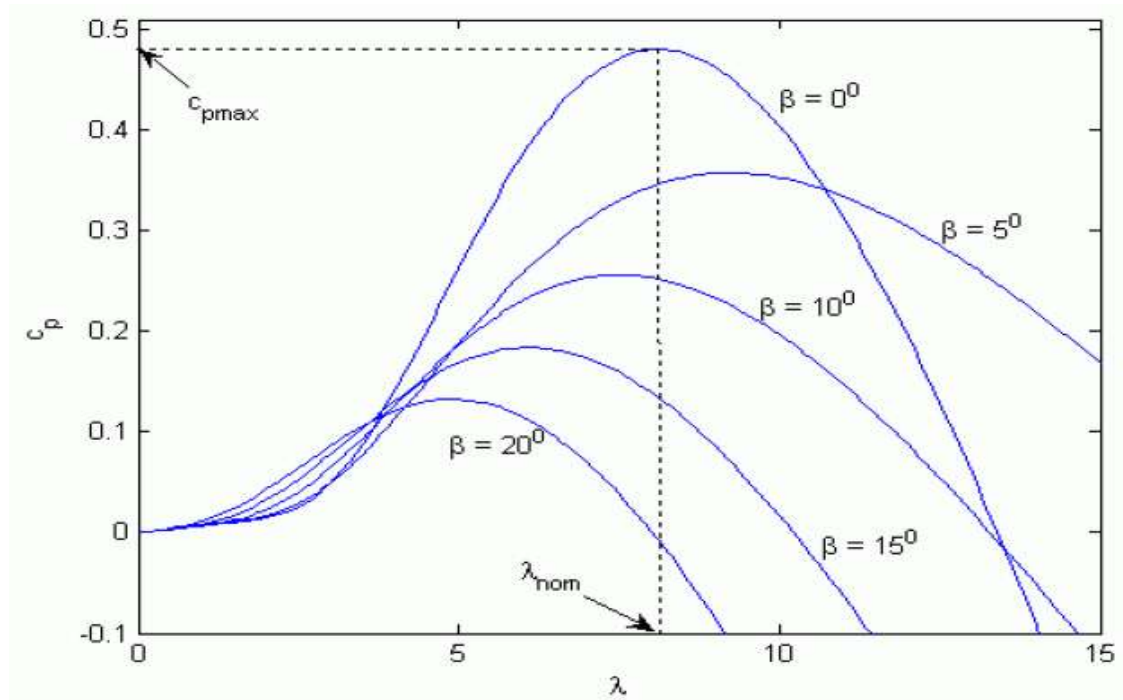


Figure III. 6 : Courbe du coefficient de puissance C_p . [13]

III.2.1.4. Le coefficient de couple:

Le coefficient C_m est proche du coefficient de puissance C_p il est utile pour estimer la valeur du couple pour différents points de fonctionnement [26]

L'expression du couple est comme suite:

$$T_t = \frac{C_p}{\lambda} * \frac{1}{2} * \rho \pi R_t^3 * v^2 \quad (16)$$

avec: $C_m = C_p/\lambda$ coefficient du couple.

T_t : couple de la turbine éolienne (N.m).

III.2.2. Modèle du multiplicateur:

Le multiplicateur adapte la vitesse (lente) de la turbine à la vitesse de la génératrice, ce multiplicateur est modélisé mathématiquement par les équations suivantes : [13]

$$C_g = \frac{C_{aer}}{G} \quad (17)$$

$$\Omega_{turbine} = \frac{\Omega_{mec}}{G} \quad (18)$$

Avec:

C_g : Couple issu du multiplicateur.

C_{aer} : Le couple aérodynamique.

$\Omega_{turbine}$: Vitesse de rotation de la turbine.

Ω_{mec} : Vitesse de rotation mécanique.

III.2.3. Modèle de la génératrice synchrone à aimant permanent:

Grâce aux nombreux avantages qu'elle a par rapport aux autres types de machines électriques (performances, robustesse, ...), la machine synchrone à aimants permanents est intéressante pour une application en générateur couplé à une turbine éolienne.

Les concepteurs nous donnent des précisions concernant la façon de modéliser ce composant. Le modèle de la machine synchrone possède quatre sorties de type électrique : les trois bornes des enroulements stator et une borne représentant le neutre. Les phases sont connectées en étoile.[27]

La génératrice synchrone à aimant permanent est modélisée dans un repère abc. Le modèle circuit en termes de tension et de courant sous forme matricielle est donné par [12]:

$$[V]_{(3)} = [e]_{(3)} - [R_s][i]_{(3)} - [L_s] \frac{d}{dt} [i]_{(3)} \quad (19)$$

Avec:

$$[V]_{(3)} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}, [e]_{(3)} = P\phi_f\Omega \begin{bmatrix} \sin(p\Omega t) \\ \sin(P\Omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ \sin(P\Omega t - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix}, [L_s] = \begin{bmatrix} L_s & M_s & M_s \\ M_s & L_s & M_s \\ M_s & M_s & L_s \end{bmatrix}, \quad (20)$$

$$[R_s] = \begin{bmatrix} R_s & 0 & 0 \\ 0 & R_s & 0 \\ 0 & 0 & R_s \end{bmatrix}.$$

L'expression du couple électromagnétique est donnée par :

$$C_{em}(t) = \frac{e_a(t) \cdot i_a(t) + e_b(t) \cdot i_b(t) + e_c(t) \cdot i_c(t)}{\Omega(t)} \quad (21)$$

Où V_a, V_b, V_c sont les valeurs instantanées des tensions triphasées ; i_a, i_b, i_c sont les valeurs instantanées des courants triphasés ; R_s est la résistance des enroulements ; L_s est l'inductance des enroulements ; P est le nombre de paires des pôles de la génératrice ; Φ est le flux magnétique des aimants ; Ω est la vitesse de rotation de la génératrice.

Chapitre IV

Dimensionnement du système d'énergie électrique mixte photovoltaïque et éolien

IV.1. Dimensionnement de l'installation photovoltaïque par calcul manuel:

Sur la **Figure IV. 1** est représenté le système à dimensionner:

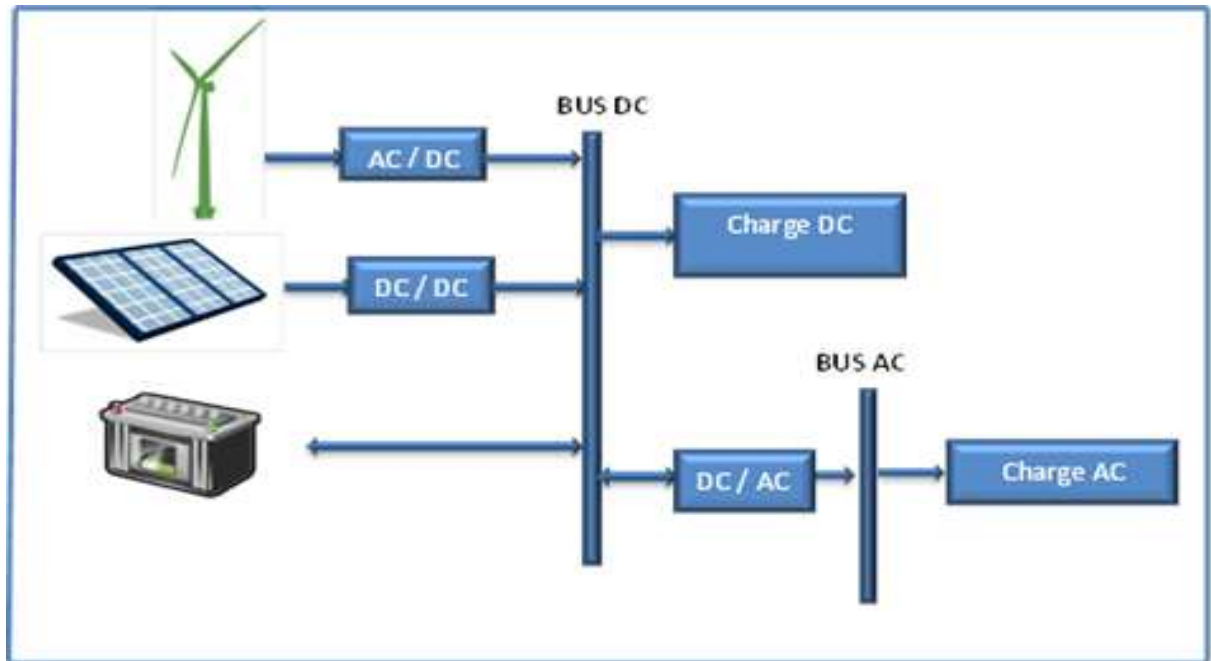


Figure IV. 2 : Schéma du système à dimensionné.

Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour maison isolée de surface environ $160m^2$ à Tlemcen.

Les différentes applications des systèmes photovoltaïques sont :

l'éclairage, le pompage, la réfrigération et le matériel audio visuel.

Pour l'éclairage 7 lampes économiques de 15W sont nécessaires. Les réfrigérateurs ou les congélateurs de type solaire 12 ou 24V qui ont un volume voisin de 100 litres consomment environ 600 Wh/jour. Le matériel audiovisuel (TV, démo, Hi-fi) de type 12V consomment 50W avec un temps d'utilisation de 6 heures.

Le **Tableau IV.1** résume les puissances des différents équipements ainsi que les temps d'utilisation.

Tableau IV. 1 : Consommations des équipement électrique de la maison isolée.

Charge	Puissance(W)	Temps d'utilisation (h)	Energie/jours (Wh/j)	Energie/an KWh/an
7 Lampes	15	04	420	153.3
Réfrigérateur	130	24	3120	1138.8
2 Ventilateurs	110	04	880	321.2
(TV+ Démo)	100	06	600	219
PC	200	03	600	219
Four micro-onde	1100	03	3300	1204.5
Hotte	150	03	450	164.25
Totale			9370	3420.05

En tenant compte des puissances des composants et du temps d'utilisation, nous obtenons une consommation journalière $E_j = 9370$ Wh/jour

Dans ce qui suit je dois calculer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires, dimensionner les batteries de stockage, le régulateur et la section des câbles.

IV.1.1. dimensionnement des panneaux PV:

La surface $S(PV)$ des panneaux PV nécessaires pour produire cette puissance est calculée par la formule suivante:[24]

$$S(PV) = E_j / (H * \eta_{PV} * f_T * \eta_b) \quad (22)$$

Où:

η_{PV} : Le rendement des modules photovoltaïques 15%

η_b : Le rendement des batteries égale à 0.85

f_T : Le coefficient de correction de température pris égale à 0.8.

H: La moyenne de l'irradiation solaire reçue.

Pour le cas du site de Tlemcen de latitude $35^\circ 01'$ et de longitude $-01^\circ 46'$ la moyenne de l'irradiation solaire reçue d'après PVSOL de 1986 jusqu'à 2005 est de $5.22 \text{ kWh/m}^2/\text{j}$

La surface calculée ainsi:

$$S(PV) = \frac{9370}{5.22 * 0.15 * 0.8 * 0.85} = 17.59m^2 \quad (23)$$

Le nombre de module PV monocristallin (condor 190Wc, 22.35V, 1580*808*45mm) nécessaire est 17.

Avec une intensité solaire crête de 1000W/m², la puissance crête du générateur obtenue est:

Pc= Nbre de module* Surf panneau* intensité crête* rendement PV.

$$Pc = 17 * 1.27664 * 1000 * 0.15 = 3.25Kwc \quad (24)$$

IV.1.2. Dimensionnement des batteries:

Après avoir calculé l'énergie consommée E_j on choisi le nombre de jours d'autonomie N dont on souhaite bénéficier 3 dans ce cas, on utilise la profondeur de décharge maximale acceptable par la batterie D=0.85 et on calcule la capacité C de la batterie en appliquant la formule (25) .

$$C = E_j * N / (\eta_b * D * U) \quad (25)$$

Où U est la tension de la batterie 12V.

$$C = 9370 * \frac{3}{0.8 * 0.85 * 12} = 3444.85Ah.$$

On peut utiliser 18 batteries de 200 Ah/12V

IV.1.3. Dimensionnement du régulateur:

Le régulateur contrôle la charge et la décharge des batteries. Le dimensionnement de la régulation de charge (à l'entrée) est fonction de la puissance du générateur. Tandis que le dimensionnement de la régulation de décharge (à la sortie) est fonction de la puissance totale des récepteurs. Ainsi, il faut tenir compte du courant de charge maximale que les modules sont susceptibles de débiter (on prend 1,5 fois le courant de court circuit total des modules qui est de 5.71A) et du courant de sortie du régulateur qui doit être supérieure à la valeur maximale appelée par les récepteurs

Le courant d'entrée $I_e = 1.5 * 17 * 5.71 = 145.605A$.

Le courant de sortie $I_s = 1.5 * \frac{300}{12} = 37.5A$.

Un régulateur de 40A est nécessaire et un onduleur de 24V/220V

IV.1.4. Dimensionnement des câbles:

La chute de tension admissible pour la liaison panneaux-régulateur est $\Delta U = 0.5V$ et la distance maximale toléré entre le champ et la batterie est $L=10$ mètres.

La section du câble S_c se calcule à partir du courant de sortis et de la résistivité du cuivre par l'équation.

$$S_c = \rho_c * I_s * L / \Delta U \quad (26)$$

$$. S_c = 1.6 \cdot 10^{-8} * 37.5 * \frac{10}{0.5} = 12mm^2.$$

IV.1.5. Choix de l'éolienne:

Puisque le PV et l'éolien fonctionne en complémentarité le rôle de l'éolienne ici vient chargé les batteries restantes lors des jours nuageux ou la nuit toute en alimentant la maison.

Donc on choisie une éolienne domestique de 1000W.

IV.1.6. Cout de l'installation:

Tableau IV. 2 :Cout des matériaux utilisés.

<i>Matériels</i>	<i>Prix unitaire HT €</i>	<i>Prix unitaire TTC €</i>
<i>Module 190W monocristallin(17)</i>	<i>110*17=1870</i>	<i>129*17=2193</i>
<i>Batterie(18)</i>	<i>200*18=3600</i>	<i>234*18=4212</i>
<i>Régulateur</i>	<i>256</i>	<i>299</i>
<i>Onduleur</i>	<i>92</i>	<i>108</i>
<i>Eolienne régulateur compris</i>	<i>1871.24</i>	<i>2238</i>
<i>Totale</i>	<i>7689.24</i>	<i>9050</i>

IV.1.7. Calcul de rentabilité:

Dans cette maison on a investi 2193€ dans des modules PV la consommation est de 3420.05 KWh/an le prix du KWh est de 0.04€ on économise donc $3420.05 \times 0.04 = 136.8€$ par an pour amortir le cout de cet investissement on doit attendre $2193 / 136.8 = 16$ ans

Après amortissement on gagne 136.8€/an.

IV.2. Dimensionnement de l'installation PV avec le logiciel PVSOL:

La simulation du système PV a été faite avec le logiciel PVSOL Standalone 5.5(R3).

Après avoir entrer les données météorologiques (Tlemcen ZENATA), la consommation des appareils et choisie le module (PVSOL Example mono 200W), l'accumulateur (PVSOL Example de capacité 230Ah), et l'onduleur (Berel electronic GmbH Ec) de 1500W/24V; j'ai vérifier la cohérence du système avant de lancer la simulation.

IV.2.1. Chargement de la consommation des appareils:

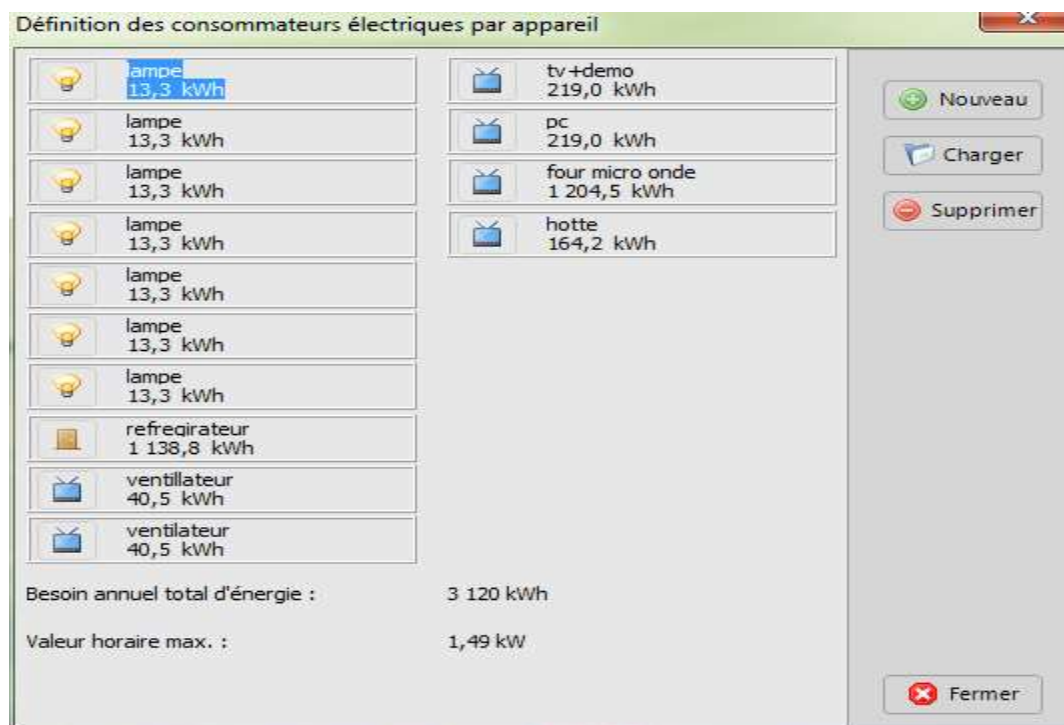


Figure IV. 3 : Consommation des appareils.

IV.2.2. Vérification de la cohérence du système:

The screenshot shows a software window titled "Vérification système" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into several sections:

- Vérification tensions MPP**

Tension accumulateur accouplé directement :	23 - 28 V
Tensions MPP du gén. PV à 25°C et 500W/m ² ou 1000W/m ² :	29 - 29 V
- Vérification débit onduleur c.a.**

Puissance nominale c.a. de l'onduleur :	1,50 kW
Puissance max. des appareils :	1,49 kW
- Vérification tension de l'onduleur**

Tension nom. c.c. de l'onduleur :	24 V
Tension accumulateur :	24 V
- Vérification câblage c.c.**

Passage de courant dans câblage à STC :	90 A
Charge maximale de câblage isolé en cuivre, groupe 3 :	442 A
Pertes de câblage relatives sous STC :	0,17 %

Below these sections, the text "Système cohérent !" is displayed in green. At the bottom left, there is a button labeled "Système total" and a scroll bar. At the bottom center, there is a button labeled "Suivant". At the bottom left, there is a note: "Calcul avec extrêmes fixes (voir Options->Paramètres)".

Figure IV. 4 : Cohérence du système.

Le câblage du système est sur la **Figure IV. 5** :

Nombre de modules en série:1.

Nombre de modules en parallèle: 13.

Nombre d'accumulateurs en série: 2.

Voir sous options s.v.p. -> entrez paramètres



Nom du projet : maison isolée
 Description de la variante : Variante système

17/09/2018

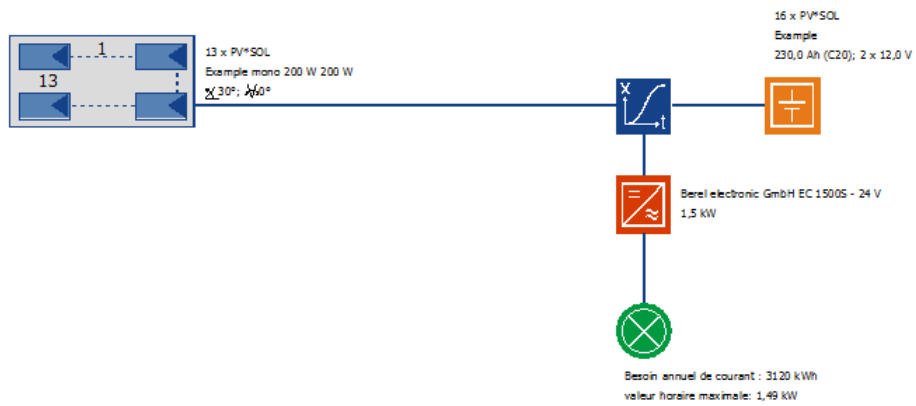


Figure IV. 6 : Câblage du système.

Site :	TLEMCEN/ZENATA
Jeu de données météorologiques :	TLEMCEN/ZENATA (1986-2005)
Puissance PV :	2,60 kWp
Surface totale/d'absorption PV :	21,11 / 21,12 m ²
Irradiation générateur PV :	45 413 kWh
Énergie PV produite :	4 281,0 kWh
Besoin :	3 119,5 kWh
Consommation couverte par énergie solaire :	3 074,3 kWh
Consommation non couverte par système PV :	45,2 kWh
Couverture solaire :	98,6 %
Taux de puissance :	55,0 %
Rendement spécifique annuel :	1 182,4 kWh/kWc
Emissions CO2 évitées :	1 889 kg/a
Rendement système :	6,8 %
Puissance utile gén. PV :	9,4 %

Les résultats se calculent selon une modélisation mathématique. Les rendements effectifs du système PV variable en fonction des conditions météorologiques, de l'efficacité des modules, de l'onduleur, et d'autres facteurs. Le diagramme ci-dessus est un croquis et ne remplace en aucun cas un plan technique du système PV.

Figure IV. 7 : Résumé du rapport de projet.

Les données du projet en générale sont présentées dans les **Figure IV. 8** et **Figure IV. 7**

Voir sous options s.v.p. -> entrez paramètres



Nom du projet :	maison isolée	17/09/2018	
Description de la variante :	Variante système		
Système autonome			
Site :	TLEMEN/ZENATA	Puissance PV :	2,60 kWp
Jeu de données météorologiques :	TLEMEN/ZENATA	Surface totale/d'absorption PV :	21,1 m ² / 21,1 m ²
Nombre de générateurs partiels :	1		
Générateur partiel 1: Nom du gén. partiel			
Puissance :	2,60 kW	Réflexion du sol :	20,0 %
Surface totale / d'absorption du module :	21,1 m ² / 21,1 m ²	Pertes dues à...	
Module PV	13 x	déviat. de AM 1.5 :	1,0 %
Fabricant :	PV*SOL	déviat. des caractéristiques du fabricant :	2,0 %
Type :	Exemple mono 200 W	en diodes :	0,5 %
Puissance nominale :	200 W	par pollution :	0,0 %
Déviat. de la puissance nominal :	0 %		
Rendement (STC) :	12,3 %		
Modules en série :	1		
Tension MPP (STC) :	29 V		
Orientation :	0,0 °		
Inclinaison :	30,0 °		
Montage :	ventilé		
Ombre portée :	Non		
Accumulateur			
Fabricant :	PV*SOL	Efficacité de charge moyenne :	85,0 %
Type :	Exemple	Efficacité de décharge moyenne :	99,0 %
Tension nom. :	12,0 V	Régulateur de charge	
Capacité C20 :	230,0 Ah	Seuil inf. décharge accum. :	30,0 %
Auto-décharge :	0,3 %/Jour		

Figure IV. 9 : Données générale partie 1.

Onduleurs pour systèmes autonomes			
Fabricant :	Berel electronic GmbH	Tension nom. c.c. :	24,0 V
Type :	EC 1500S - 24 V	Consommation de veille :	0,0 W
Puissance nominale c.a. :	1,5 kW	Rendement au débit nom. :	95,0 %
Tension nominale c.a. :	230,0 V		
Consommation totale des appareils individuels : 3 120 kWh			
lampe	Type : Eclairage		13 kWh
lampe	Type : Eclairage		13 kWh
lampe	Type : Eclairage		13 kWh
lampe	Type : Eclairage		13 kWh
lampe	Type : Eclairage		13 kWh
lampe	Type : Eclairage		13 kWh
lampe	Type : Eclairage		13 kWh
refrigirateur	Type : Appareil à utilisation continue		1 139 kWh
ventilateur	Type : En fonction de l'utilisation		40 kWh
ventilateur	Type : En fonction de l'utilisation		40 kWh
tv+demo	Type : En fonction de l'utilisation		219 kWh
pc	Type : En fonction de l'utilisation		219 kWh
four micro onde	Type : En fonction de l'utilisation		1 204 kWh
hotte	Type : En fonction de l'utilisation		164 kWh
Résultats de la simulation du système complet			
Irradiation sur horizontale :	40 360 kWh	Pertes accumulateur :	393 kWh
Irradiation générateur PV :	45 413 kWh	Niveau de charge au début de la simulation :	31,3 %
Irradiation moins réflexion :	43 586 kWh	Niveau de charge à la fin de la simulation :	31,3 %
Énergie PV produite :	4 281 kWh	Couverture solaire :	98,6 %
Besoin :	3 120 kWh	Taux de puissance :	55,0 %
PV*SOL Pro 5.5 (R3)			2

Figure IV. 10 : Données générales partie 2.

Voir sous options s.v.p. -> entrez paramètres



Nom du projet :	maison isolée	17/09/2018	
Description de la variante :	Variante système		
Utilisation directe de l'énergie PV :	1 489 kWh	Rendement final :	3,2 h/d
Consommation non couverte par système PV :	45 kWh	Rendement spécifique annuel :	1 182 kWh/kWc
Excédent générateur PV :	556 kWh	Rendement système :	6,8 %
Consommation couverte par énergie solaire :	3 074 kWh	Puissance utile générateur :	9,4 %
Décharge accumulateur :	1 843 kWh	Rendement onduleur :	92,3 %
Charge accumulateur :	2 236 kWh	Rendement accumulateur :	82,4 %

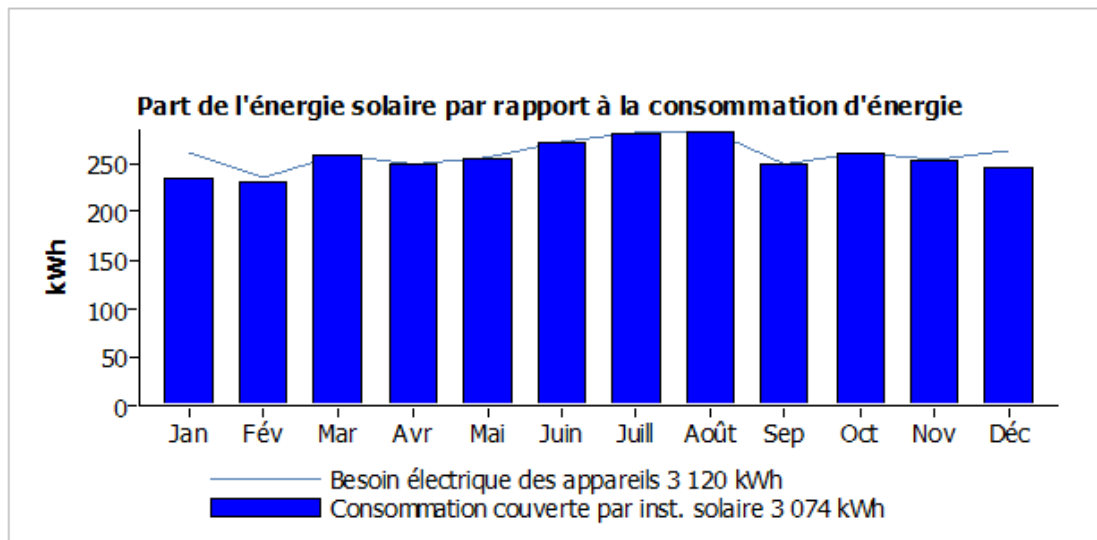
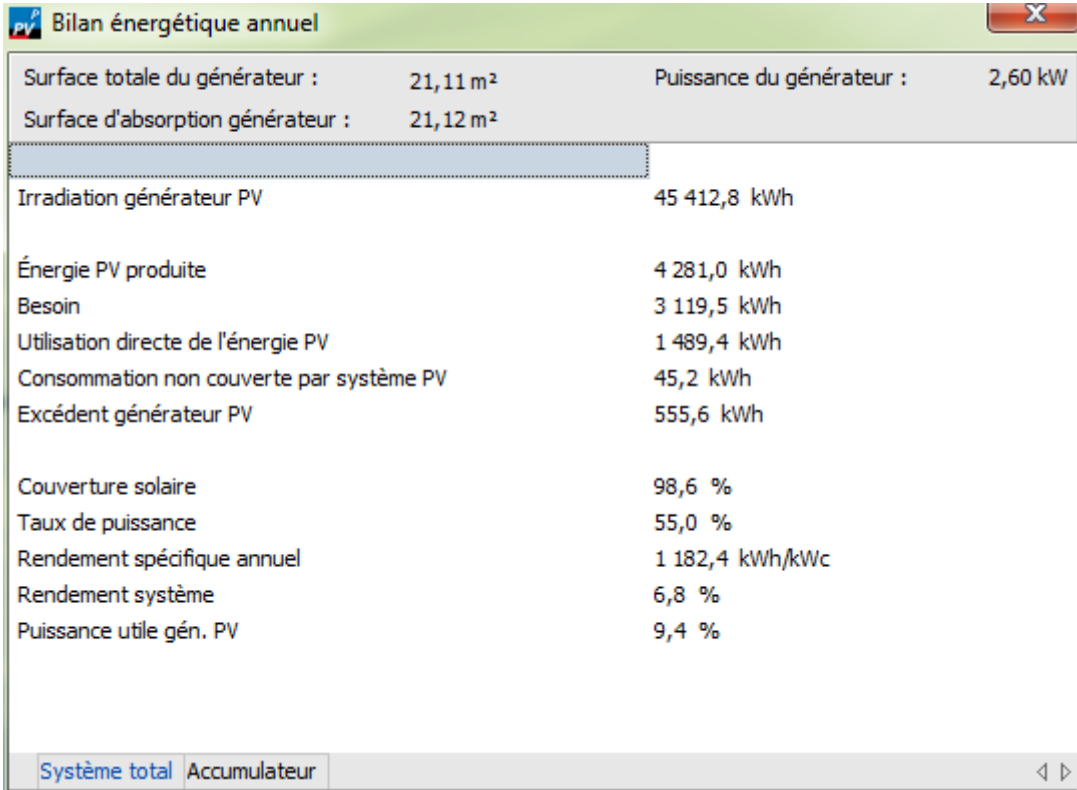


Figure IV. 11 : Rapport détaillée du projet.

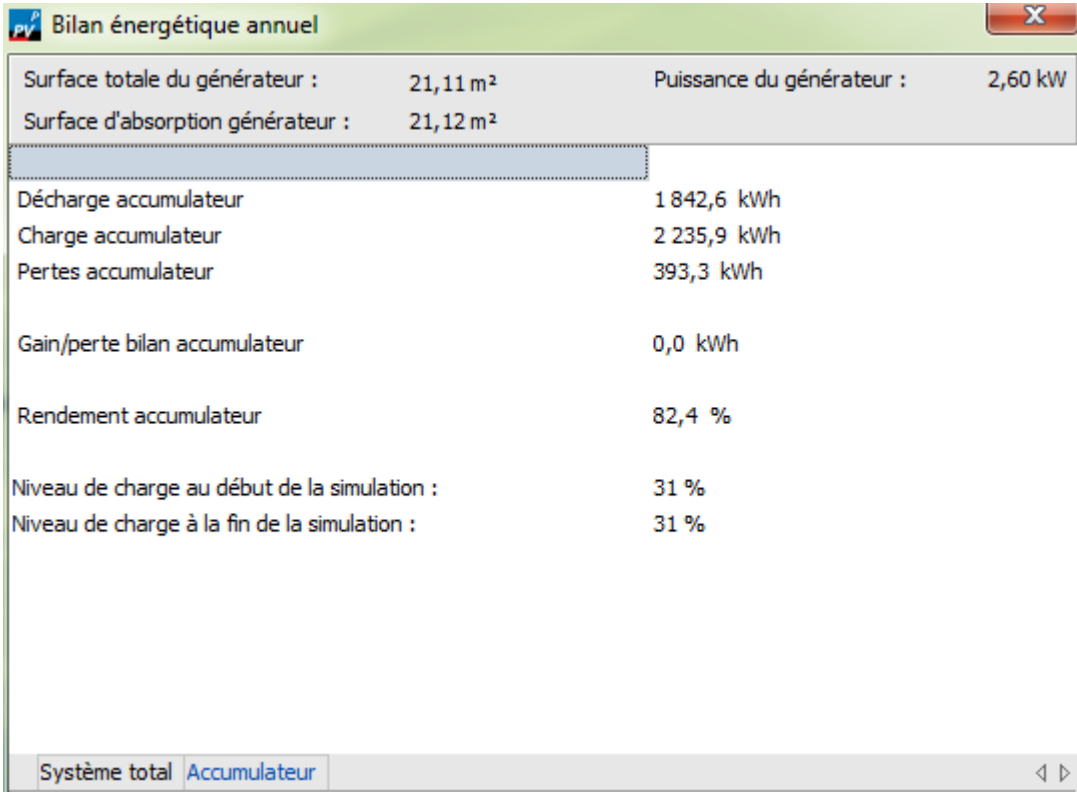
IV.2.3. Bilan énergétique annuel:



Bilan énergétique annuel			
Surface totale du générateur :	21,11 m ²	Puissance du générateur :	2,60 kW
Surface d'absorption générateur :	21,12 m ²		
Irradiation générateur PV			
			45 412,8 kWh
Énergie PV produite			
			4 281,0 kWh
Besoin			
			3 119,5 kWh
Utilisation directe de l'énergie PV			
			1 489,4 kWh
Consommation non couverte par système PV			
			45,2 kWh
Excédent générateur PV			
			555,6 kWh
Couverture solaire			
			98,6 %
Taux de puissance			
			55,0 %
Rendement spécifique annuel			
			1 182,4 kWh/kWc
Rendement système			
			6,8 %
Puissance utile gén. PV			
			9,4 %

Système total | Accumulateur

Figure IV. 12 : Bilan énergétique annuel du système complet.



Bilan énergétique annuel			
Surface totale du générateur :	21,11 m ²	Puissance du générateur :	2,60 kW
Surface d'absorption générateur :	21,12 m ²		
Décharge accumulateur			
			1 842,6 kWh
Charge accumulateur			
			2 235,9 kWh
Pertes accumulateur			
			393,3 kWh
Gain/perte bilan accumulateur			
			0,0 kWh
Rendement accumulateur			
			82,4 %
Niveau de charge au début de la simulation :			
			31 %
Niveau de charge à la fin de la simulation :			
			31 %

Système total | Accumulateur

Figure IV. 13 : Bilan énergétique de l'accumulateur.

IV.2.4. Présentation graphique des résultats:

IV.2.4.1. Présentation graphique des données météorologiques:

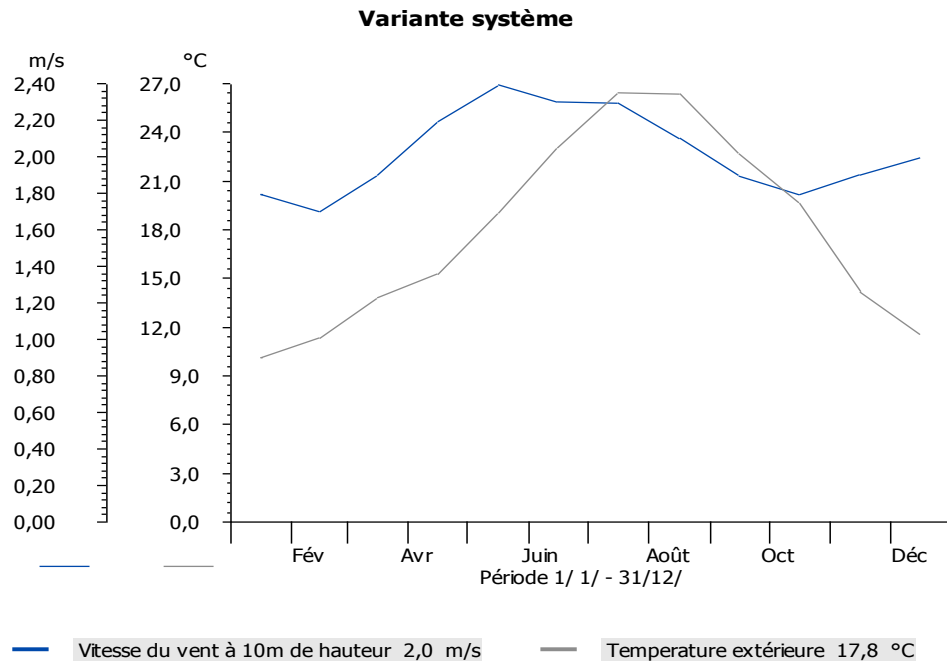


Figure IV. 14 : Vitesse du vent à 10m et température extérieur.

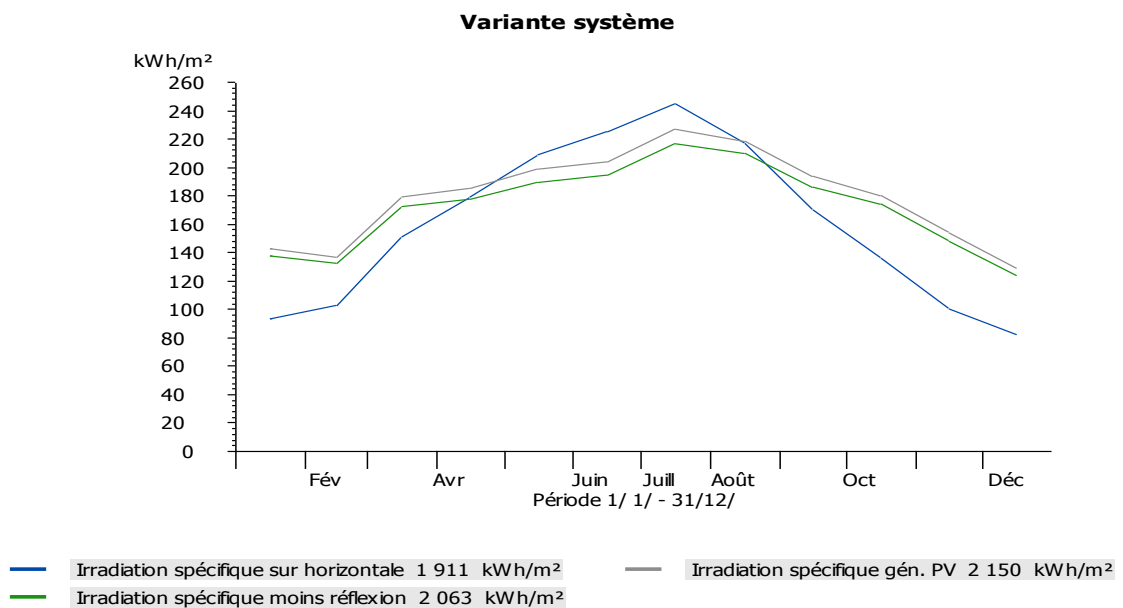


Figure IV. 15 : Irradiation spécifique.

IV.2.4.2. Présentation graphique des énergies:

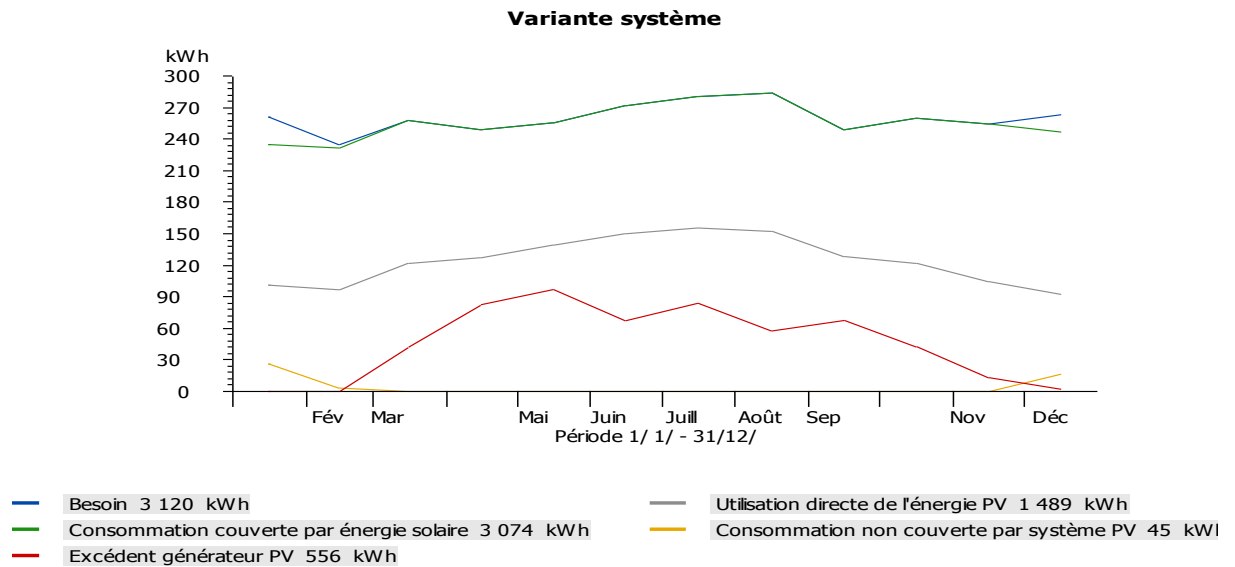


Figure IV. 16 : Présentation des énergies.

IV.2.4.2.1. Energies de l'accumulateur:

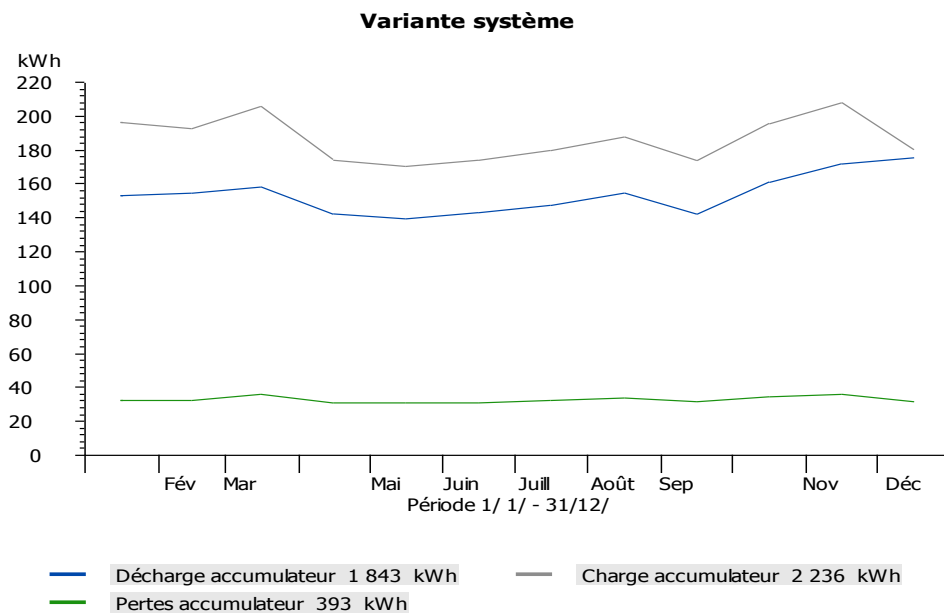


Figure IV. 17 : Energie de charge, décharge et perte de l'accumulateur.

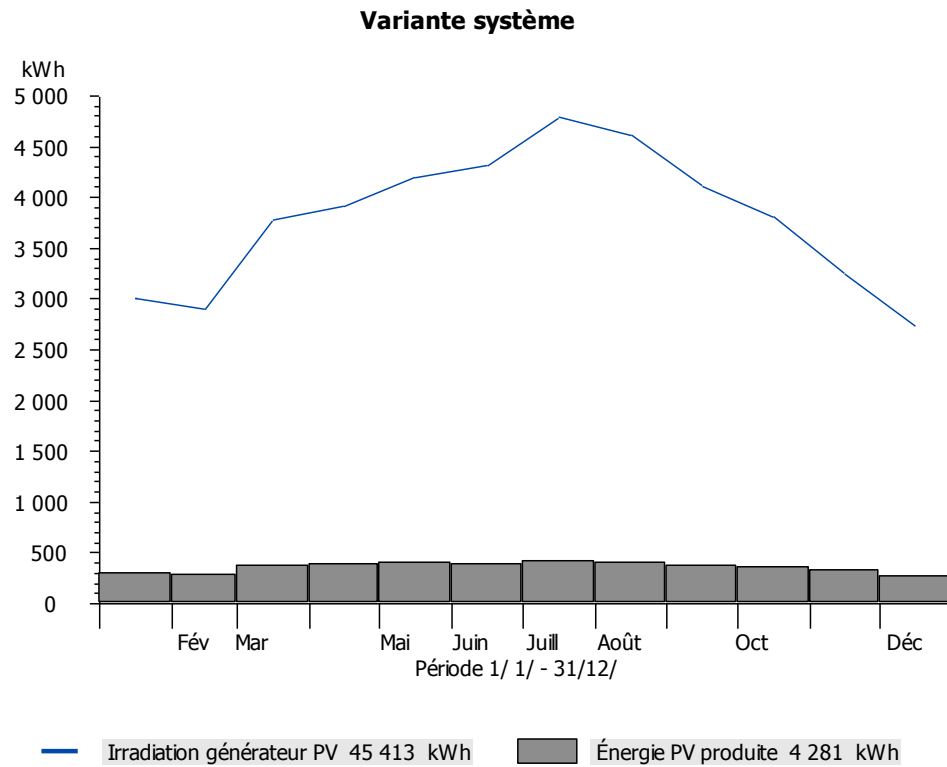


Figure IV. 18 : L'irradiation du générateur photovoltaïque et l'énergie PV produite.

IV.2.4.2.2. Présentation graphique du système totale:

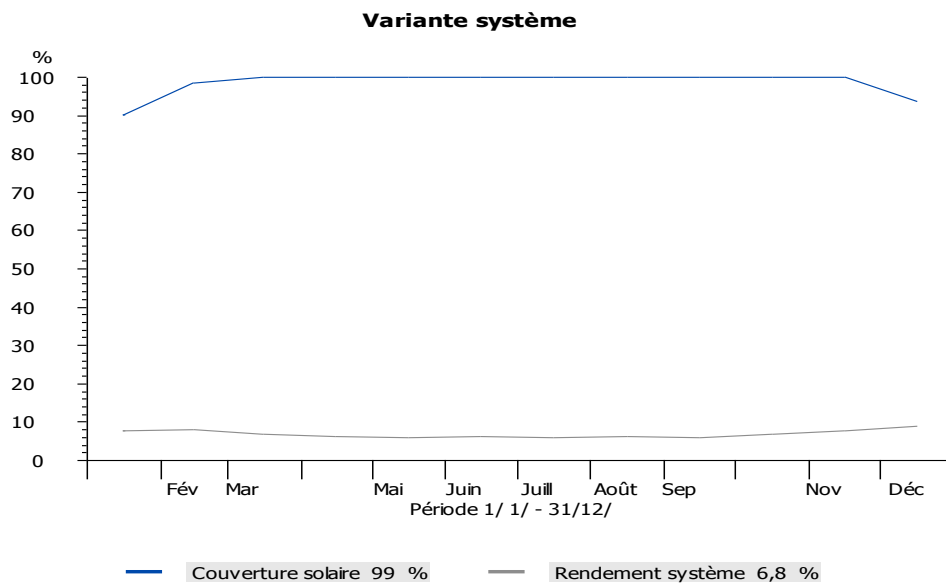


Figure IV. 19 : Couverture solaire et rendement du système.

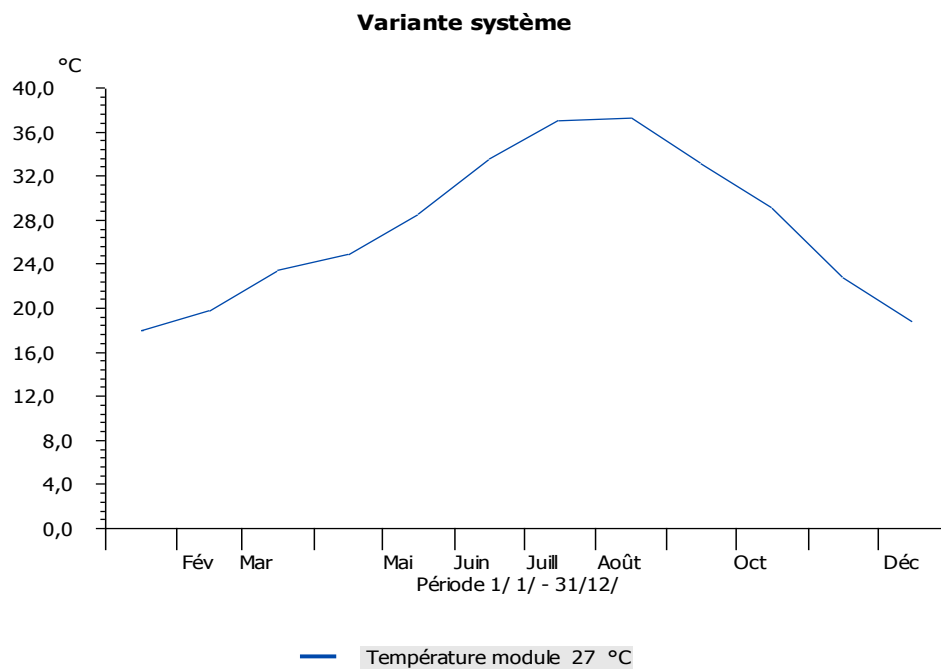


Figure IV. 20 : Température du module PV.

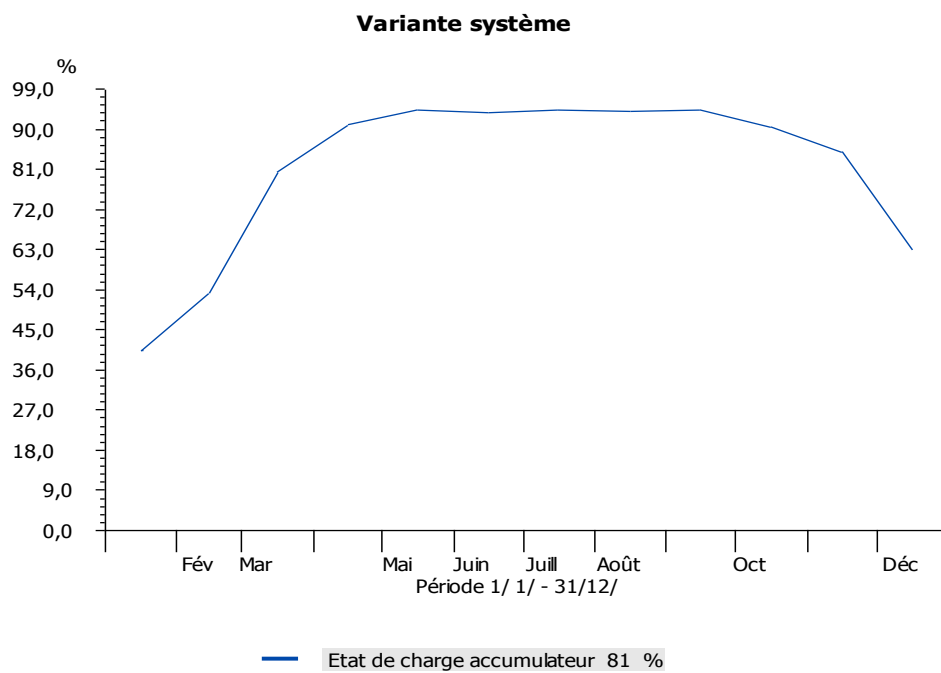
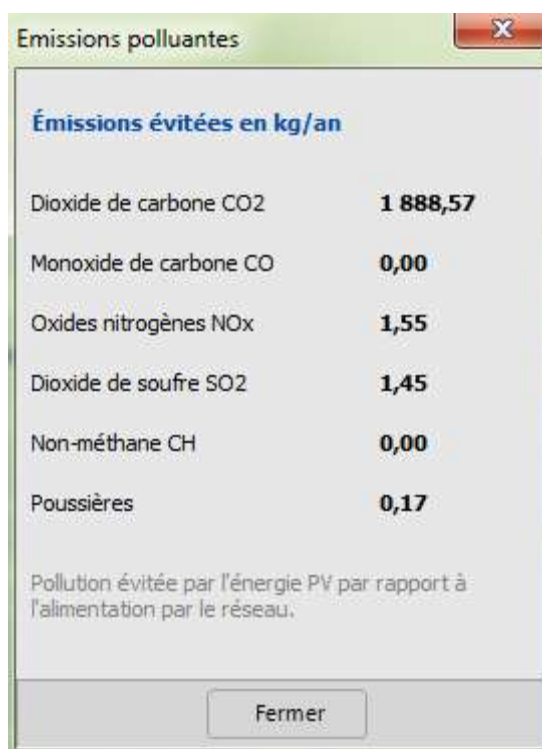


Figure IV. 21 : Etat de charge de l'accumulateur.



The image shows a software window titled "Emissions polluantes" with a close button (X) in the top right corner. The window displays a table of avoided emissions in kg/year for various pollutants. The table has two columns: the pollutant name and the corresponding value. Below the table, there is a note in French: "Pollution évitée par l'énergie PV par rapport à l'alimentation par le réseau." At the bottom of the window, there is a button labeled "Fermer".

Émissions évitées en kg/an	
Dioxyde de carbone CO ₂	1 888,57
Monoxyde de carbone CO	0,00
Oxydes nitrogènes NO _x	1,55
Dioxyde de soufre SO ₂	1,45
Non-méthane CH ₄	0,00
Poussières	0,17

Pollution évitée par l'énergie PV par rapport à l'alimentation par le réseau.

Fermer

Figure IV. 22 : Emissions évitées en Kg/an.

IV.2.5. Calcul de rentabilité:

maison isolée



Réf. variante : Variante système

Date : 18/09/2018

Calcul de rentabilité

Système	
Puissance PV :	2,600 kWp
Surface totale PV :	21,11 m ²
Bilan électrique	
Besoin des appareils :	3 120 kWh
Énergie produite par générateur :	4 281 kWh
Consommation, non couverte :	45 kWh
Paramètres de rentabilité	
Durée de vie modules :	25 Années
Durée de vie électronique :	25 Années
Durée de vie accumulateur :	5 Années
Taux d'augmentation du prix de l'accumulateur :	0 %
Intérêts capital :	4,7 %
Taux d'augmentation coût de maintenance :	2,0 %
Coût (Valeur comptant)	
Investissement :	-57 156 €
Partie modules PV :	-23 400 €
Partie électronique :	-7 800 €
Partie accumulateur :	-25 956 €
Subvention :	0 €
Coût d'exploitation :	-6 928 €
Coût de production de courant : 1,03 €/kWh	
Coût annuel total : 4 411 €/a	

Calcul de rentabilité selon méthode valeur capital.
D'autres méthodes peuvent procurer d'autres résultats.

Figure IV. 23 : Rentabilité.

Conclusion générale

Conclusion générale:

Les système de production d'énergie renouvelable sont amenés à connaitre des développements importants liés essentiellement à une volonté de plus en plus affichée de diversification des moyens de production d'énergie et d'un meilleur respect de l'environnement seulement d'un point de vue économique ces système ne sont pas encore compétitifs.

ce mémoire étudie un système d'énergie électrique mixte totalement autonome, l'un des objectifs d'un tel système est de produire de l'électricité pour satisfaire à tout instant la demande d'un consommateur dans un site isolé.

Nous avons présenté les composants de ce système et leurs fonctionnement ensuite nous avons donné le modèle mathématique des deux générateurs PV et éolien.

Pour la chaine de production PV l'utilisation d'un hacheur boost commandé par la technique MPPT permet de maximiser la puissance produite par le générateur PV.

Les deux sources énergétique PV et éolienne fonctionne en complémentarité; lorsque il ya du soleil la charge s'alimente directement des panneaux PV et la nuit ou lors des jours nuageux l'éolienne vient chargé les batteries et alimenter la charge, de ce fait on peut dire que l'éolienne vient réduire le nombre de batteries et donc réduire le cout du système.

En fin, on dira que les systèmes à énergie renouvelable représente l'avenir de l'humanité pour tous leurs avantages et leurs inconvénient vue que le monde entier s'acharne l'a dessus et que ces ressources sont partout sur le globe terrestre.

Comme perspective il serra très intéressant de mené plus de recherche sur les système hybride d'énergie renouvelable; en plus de l'éolienne et du PV utilisé une source d'énergie classique (comme le générateur diesel). Et pour les régions connecter au réseau nationale d'électricité il est bon d'être connecter au réseau principale; le consommateur st servi et le surplus de l'énergie est renvoyer sur le réseau.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Frédéric Paletou Université de Toulouse, Observatoire Midi-Pyrénées Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse & Tarbes www.ast.obs-mip.fr.
- [2] Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07
- [3] <http://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/enseillement-belgique.html>.
- [4] MORNAY Thomas Sup D VERNAY Alexis Sup D VOLLE Marion Sup D Classes préparatoires CPE Institution des Chartreux.
- [5] <http://www.ef4.be/fr/archives/energies-renouvelables/solaire-photovoltaïque/fonctionnement.html>
- [6] <http://123solaire.fr/panneau-photovoltaïque.html>
- [7] <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durable-cellules-photovoltaïques-coeur-panneaux-solaires-1688/page/5/>
- [8] <http://www.photovoltaïque.guidenr.fr/cours-photovoltaïque-autonome/>
- [9] <https://particuliers.engie.fr/electricite/conseils-electricite/photovoltaïque/schema-panneau-photovoltaïque.html>
- [10] Oleskiy Nichiporuk / Thèse en physique / 2005 / INSA de Lyon
- [11] M.Budinger, D.Lery.Y.Deblzer, "A fuzzy logic controlled power electric system for variable speed wind energy conversion system", Revue 3EI N°21 juin 2000.
- [12] MAHAMMEDI Abdellatif "Etude et optimisation d'un système hybride éolien-photovoltaïque" Mémoire de magister Université FERHAT ABBAS-SETIF1.
- [13] REDJEM Radia, " Etude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne" Mémoire de magister, Université MENTOURI de Constantine.
- [14] L.Zarour, "Etude technique d'un système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien hors réseau," Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine, juin, 2010.

[15] B. Multon, H. Ben Ahmed, "Le stockage stationnaire d'énergie électrique: pourquoi et comment?," *Revue 3^E.I*, n°48, pp. 18-29, mars, 2007.

[16] T. E. Ruhlmann, "Lead Acid Batteries For Stationary Float Service and Cycling Service Part2: selection criteria," *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp. 153, July 2003.

[17] A.Jossen, J.Garche, H.Doering, M.Goetz, W.Knaupp, L.Joerissen, "Hybrid system with lead-acid battery and proton-exchange membrane fuel cell", *Journal of Power Source*, Vol. 144, pp.395-401, 2005.

[18] I.Vechiu, "Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome," *Thèse Université du Havre, France*, Décembre, 2005.

[19] Guy Strutzer Eddie Smigiel, "modélisation et commande des moteurs triphasés", Ellipse édition marketing S.A.2000.

[20] O.Carlson, A.Grauers; J.Svensson, A.Larsson, "A comparison of electrical systems for variable speed operation of wind turbines", *European wind energy conf.*, 1994, p.500-505.

[21] NASR SARAH et MOUBAYED NAZIH, "Etude comparative entre éolienne à axe horizontal et éolienne à axe vertical" *Université Libanaise, Faculté de Genie 1, Tripoli, Liban*.

[22] SYLVAIN DELENCLOS, "L'énergie éolienne", 2016-2017.

[23] <http://www.algerie-eco.com/2018/01/01/cder-publication-dun-nouvel-atlas-eolien-de-lalgerie/>

[24] M. Buresch "Photovoltaic energy systems," *Mc Graw-Hill, New York*, 1983.

[25] Site internet de l'institut allemand DEWI, <http://www.dewi.de>.

[26] B. Fellah, "Système hybride PV-éolien, de production d'électricité appliqué aux sites de Tlemcen et de Bouzareah," *Thèse Magister, Université de Tlemcen*, Dec2012.

[27] A.Mercki, "Etude comparative d'une chaîne de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance", *Thèse de doctorat, INP Toulouse, France*, 2005.

[28] Francis Domain, Hervé Boileau, *Savoie Mont-Blanc, France*.

[29] Mohamed Redha YAICHE, Abdellah BOUHANIK, "Atlas solaire Algérien".

[30] M.Fellah Boumediene, "Système hybride photovoltaïque et éolien de production d'électricité application au site de Tlemcen et Bouzareah", Mémoire de Magister, école doctorale: énergies renouvelables, université ABOU BAKR BELKAID de TLEMCEM

[31] http://sulfate.ch/Energie/A%20PARTIR%20DU%20SOLEIL_fichiers/image025.gif

[32] http://sulfate.ch/Energie/A%20PARTIR%20DU%20SOLEIL_fichiers/image030.gif

[33] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTkyAG64PIHWVQg>

PMH53kHkr52JuPTXH1iANl8UH6DjAS1FfUr9

[34] <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRqvKde-ijILZ8KE4M75GK>

rqcP4OixhOAjwZHXBMcrkflscmRVy

[35] http://www.photovoltaique.guidenr.fr/I_4_wafer-photovoltaique.php

[36] https://www.google.fr/url?sa=i&rct=j&q=&esrc=s&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjG5ujgj77dAhXNy4UKHWrkDkUQjhx6BAgBEAM&url=https%3A%2F%2Ffr.depositphotos.com%2F36436899%2Fstock-photo-silicon-ingot.html&psig=A0vVaw13P7oiulCO6INudIp_vhoA&ust=15371338694061167

[37] <http://encyclopedie-energie.org/articles/les-fours-de-cristallisation-du-silicium-photovolta%C3%AFque>

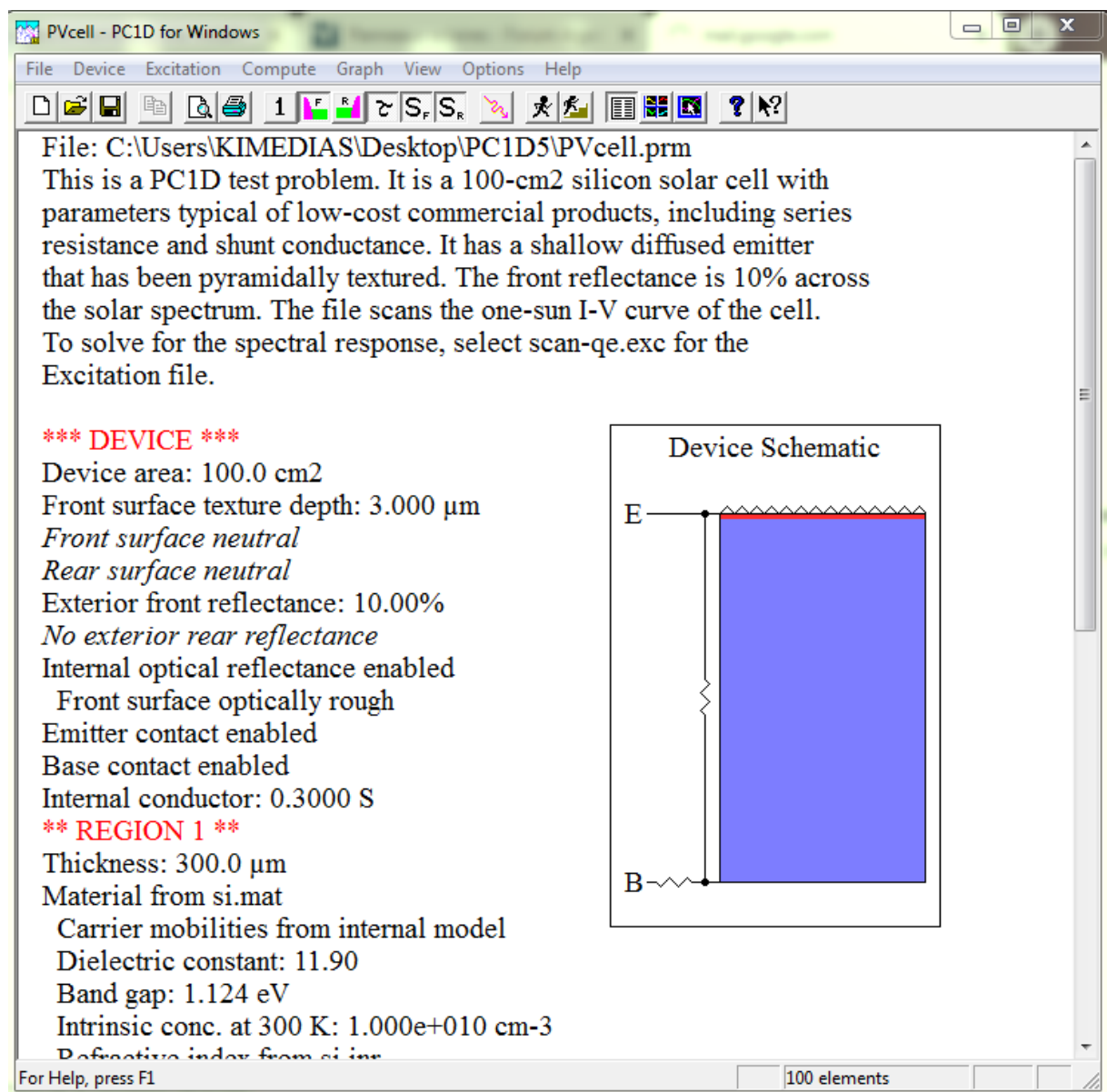
[38] https://www.google.nl/search?q=la+silice&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj3zInIjsjdAhUix4UKHaWKA8Q_AUICigB&biw=1366&bih=667#imgrc=PX-unKQTI10VrM

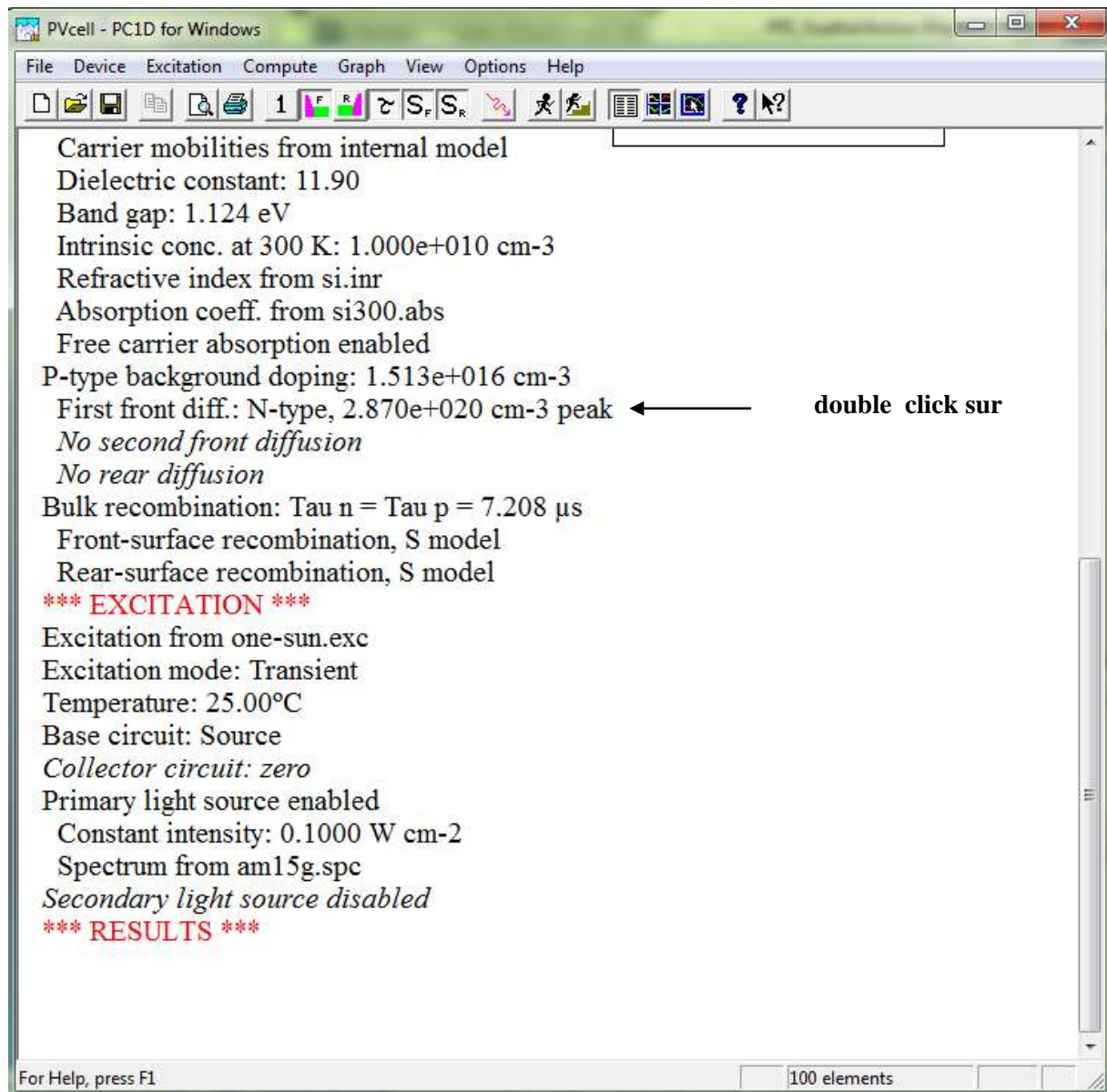
[39] <https://docplayer.fr/docs-images/25/5967260/images/9-0.png>

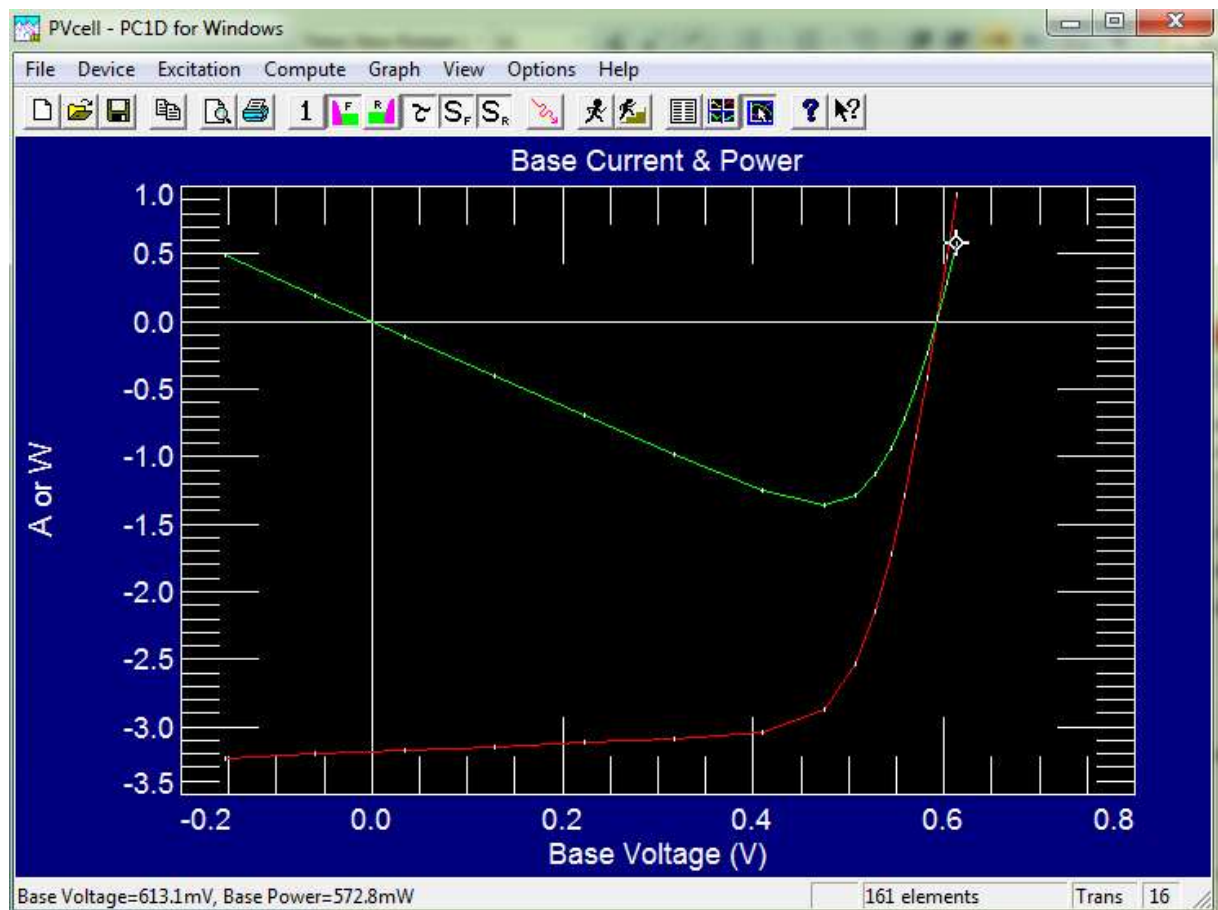
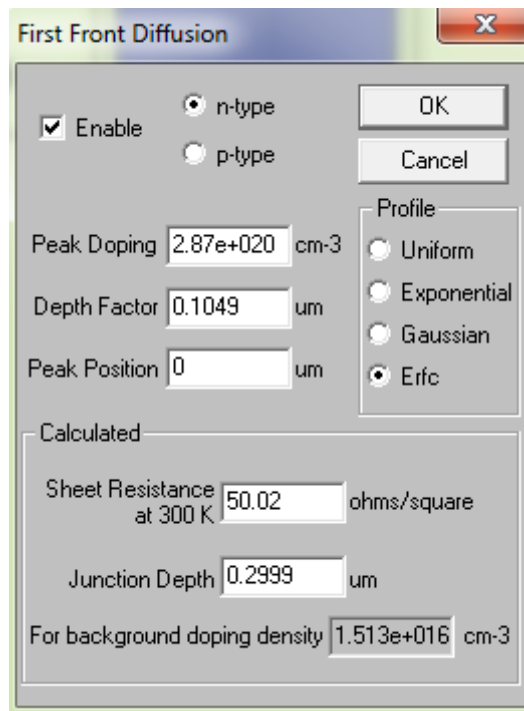
ANNEXE

Annexe A: Présentation du logiciel PC1D

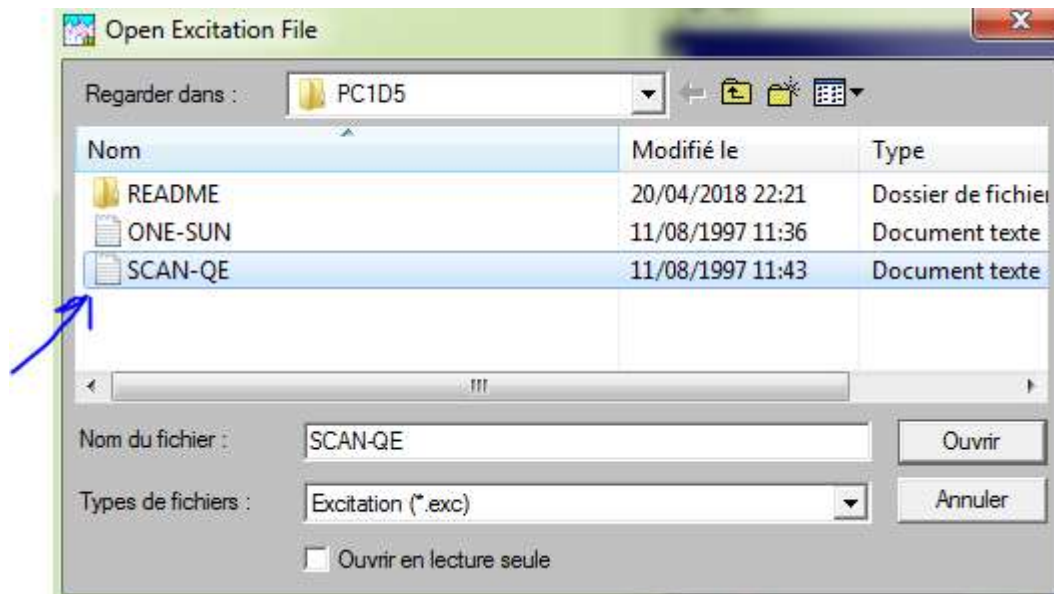
C'est un logiciel qui permet de modéliser la cellule photovoltaïque ainsi que faire l'étude de ces caractéristique courant tension et puissance tension et avoir une idée sur l'influence des paramètres physique et géométrique sur le rendement quantique et électrique et sur la puissance de la cellule.

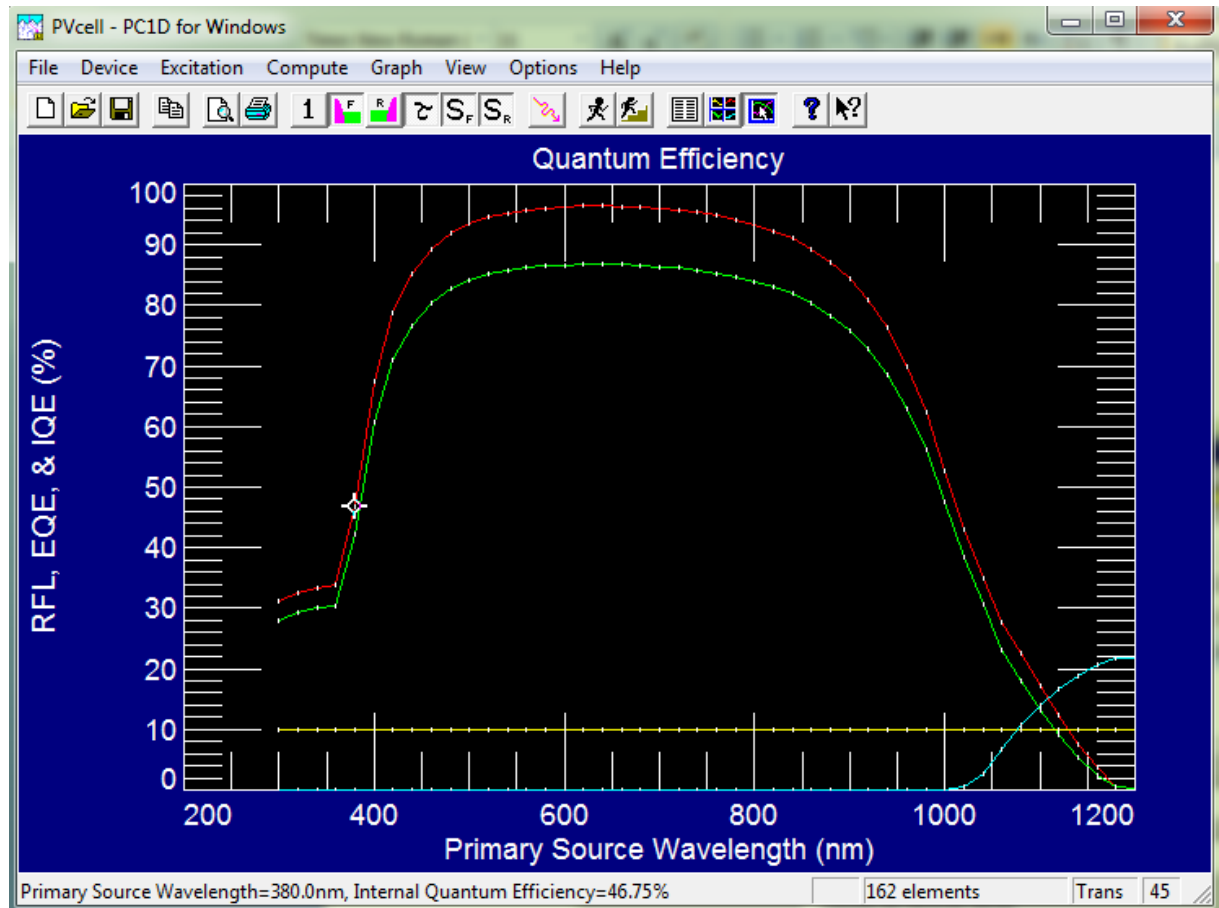




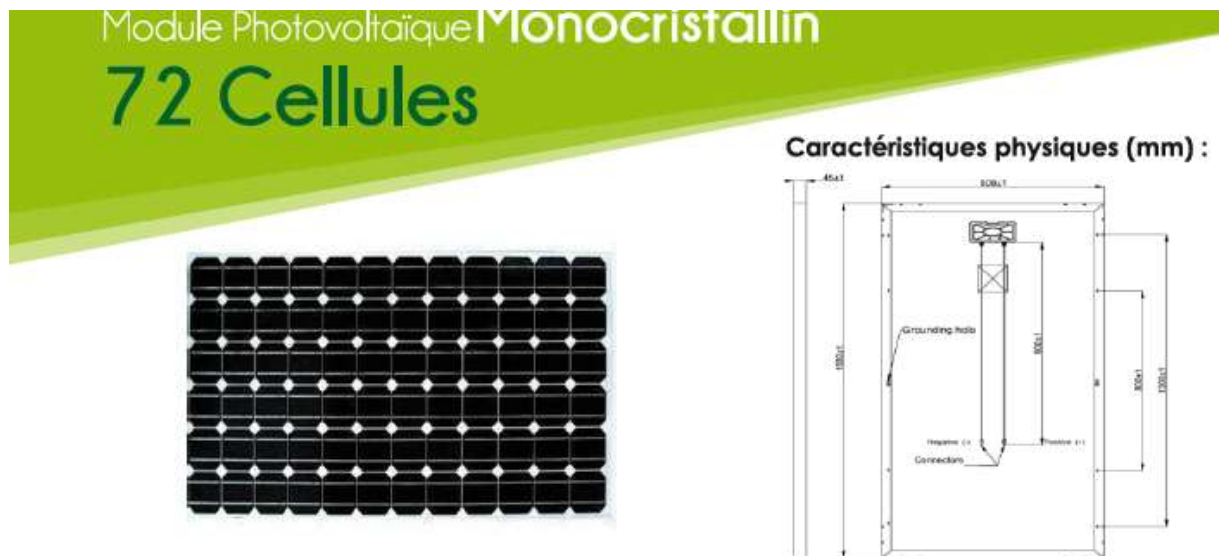


Bulk recombination: $\tau_n = \tau_p = 7.208 \mu\text{s}$
Front-surface recombination, S model
Rear-surface recombination, S model
*** EXCITATION ***
Excitation from one-sun.exc ←
Excitation mode: Transient
Temperature: 25.00°C
Data circuit: Source





Annexe b : Fiche technique du module PV

**Caractéristiques électriques :**

	Unité	Module		
Puissance nominale	W	190	195	200
Voltage Circuit ouvert (V _{co})	V	45.36	45.57	45.64
Courant de court Circuit I _{sc}	A	5.71	5.77	5.85
Tension mpp V _{mpp}	V	37.36	37.72	38.64
Courant mpp I _{mpp}	I	5.08	5.16	5.24
Système voltage max VDC	V	1000		
Facteur de température (cellule):				
Température nominale de fonctionnement	NOCT	45±2°C		
Coefficient de température de puissance	%/°C	-0.37		
Coefficient de température de courant	%/°C	+0.033		
Coefficient de température de voltage	%/°C	-0.241		

Caractéristiques mécaniques :

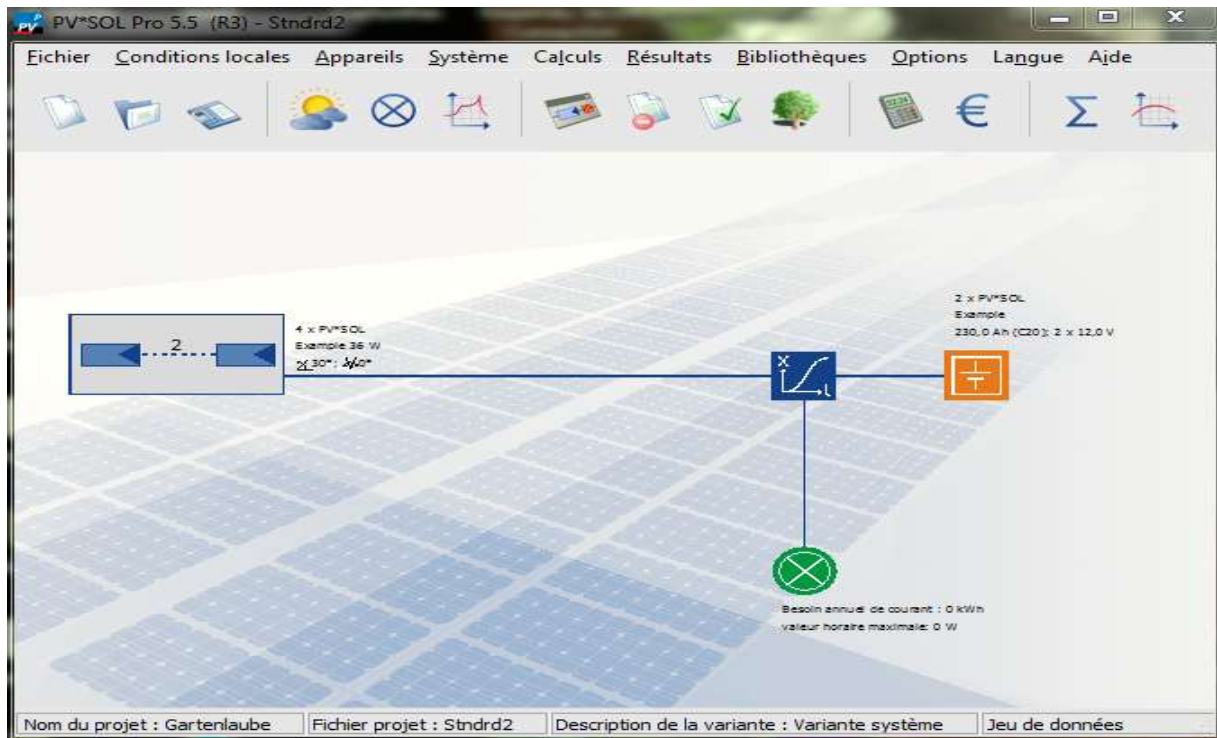
Type de cellule	Cellule monocristalline avec anti-reflection
Nombre de cellules par module	72 cellules (6x12)
Dimensions de la cellule	125x125 mm
Dimensions du module	1580x808x45 mm
Poids du module	14,5 kg
Cadre	Alliage en aluminium anodisé
Type de verre	Verre trempé, 3.2 mm d'épaisseur
Boîte de jonction et connecteur	IP65, 3 Diodes By-passe et câbles compatibles avec un connecteur MC4
Température d'utilisation	- 40°C à 85°C

STC : 1000 w/m², AM1.5 et 25°C température de la cellule; NOCT : Température nominale de fonctionnement de la cellule.

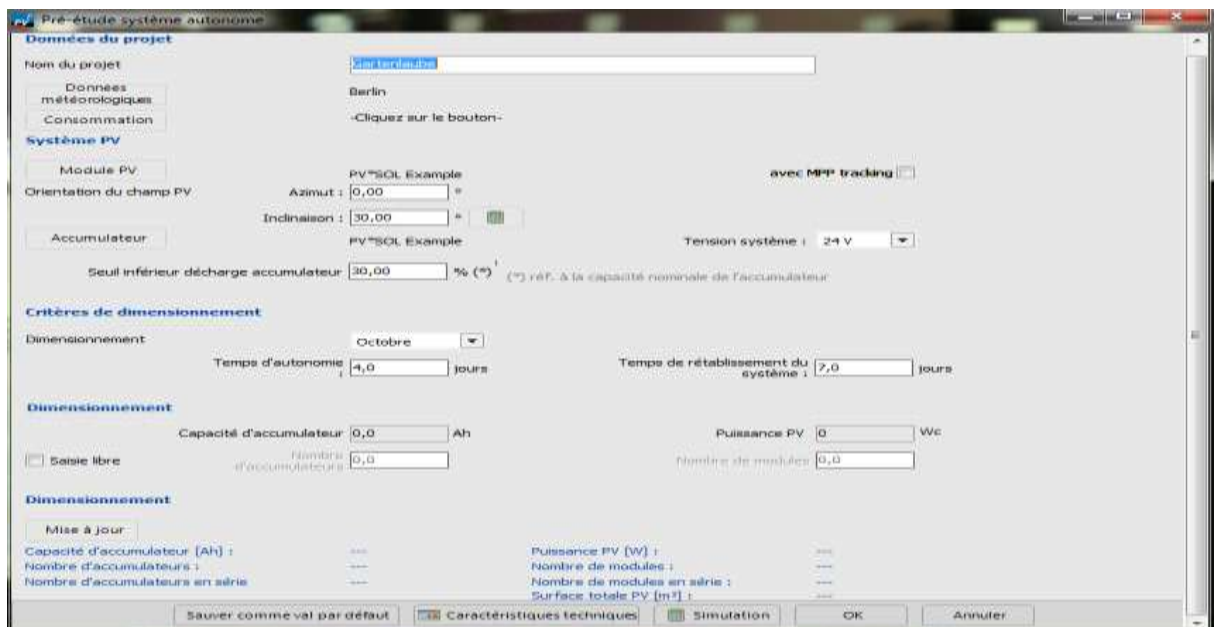
Annexe c: Présentation du logiciel PVSOL Pro Standalone 5.5 (R3)

PVSOL pro standalone 5.5(R3) est un produit de Valentin software, c'est un logiciel gratuit permettant de dimensionnée et d'optimisé tous types d'installations PV autonome

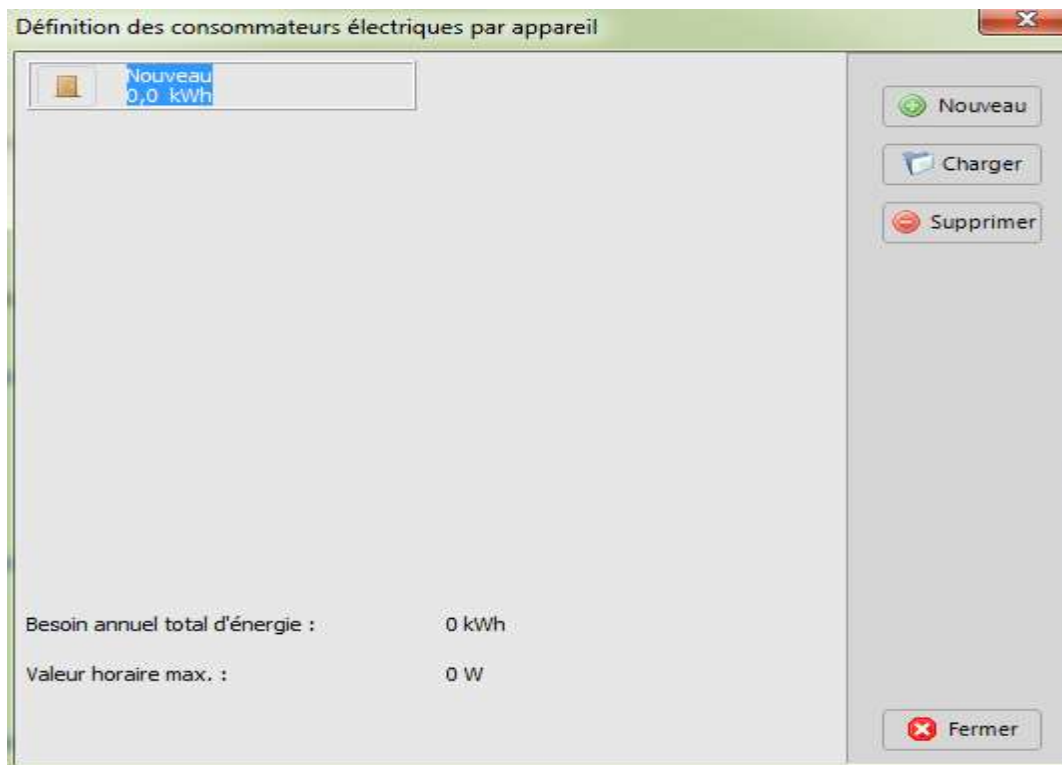
Page d'accueil du logiciel:



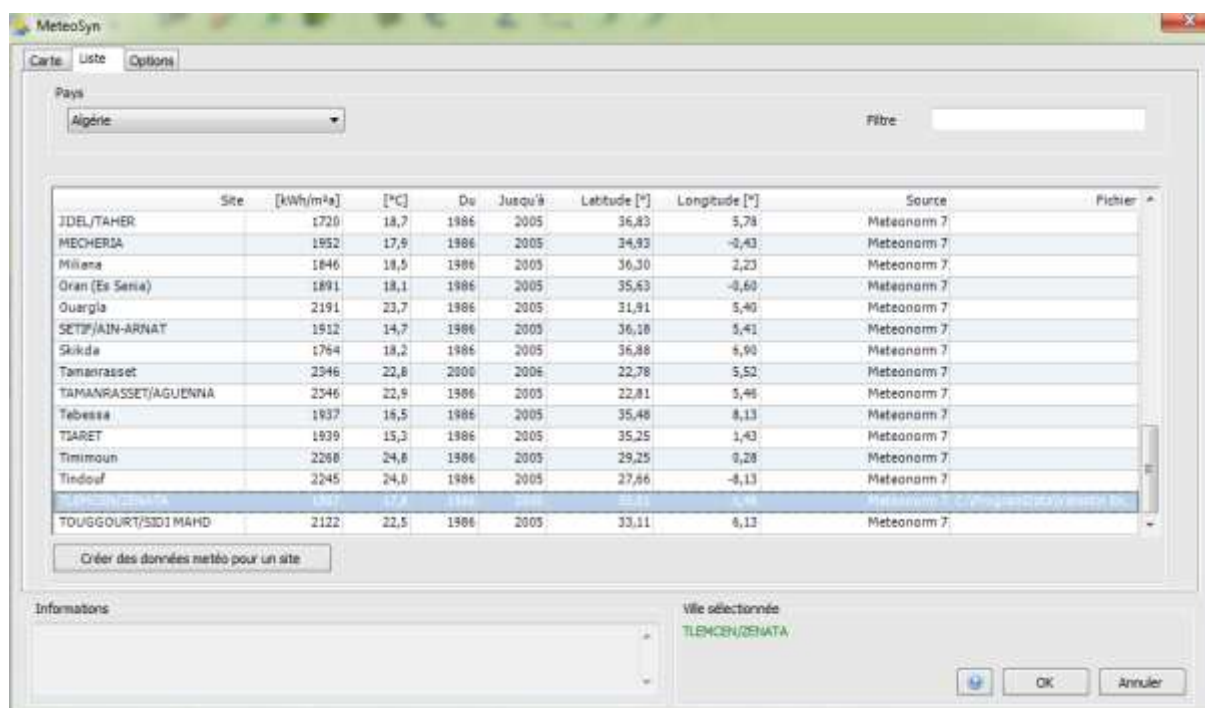
On appuis sur fichier puis nouveau projet la fenêtre suivante apparait:



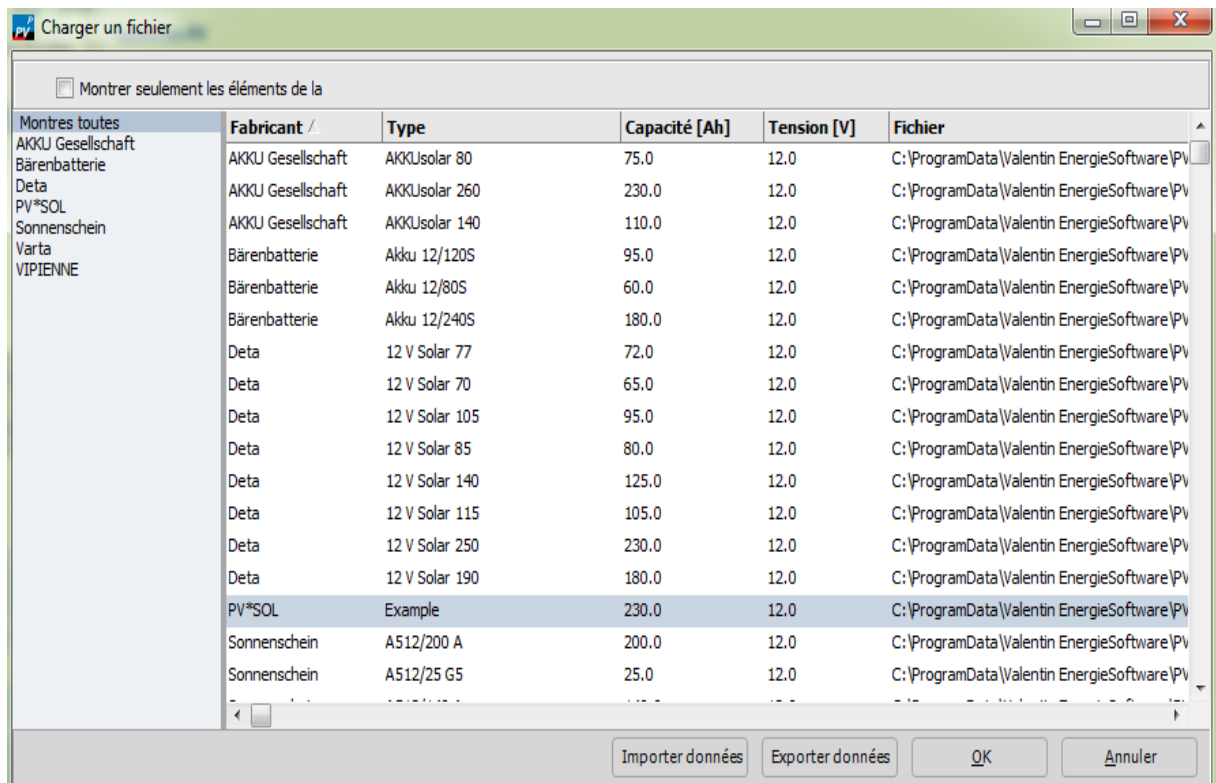
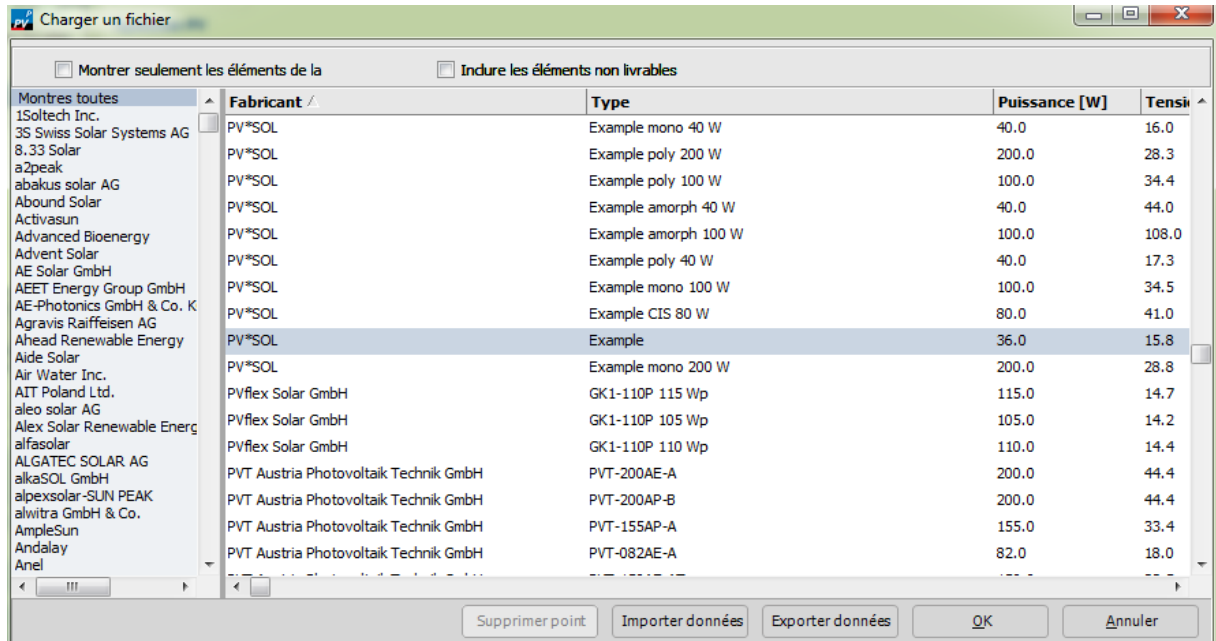
En cliquant sur données la fenêtre suivante s'affiche dedans on charge nos appareil avec leurs consommation en W .



En cliquant sur données météorologique la fenêtre suivante apparait et on choisit le site souhaité.



Pour choisir le module PV, et l'accumulateur on clique respectivement sur sur Module PV et Accumulateur après avoir charger les données météorologique et les données de consommation les deux fenêtré suivante apparaissent respectivement:



Pour lancer la simulation en clique sur Calculs puis sur simulation.

Les 3 fenêtres suivantes reflètent les caractéristique des matériaux:

Caractéristiques techniques : Configuration du système

Mode d'opération générateur

MPP Tracking

Accouplage direct de l'accumulateur

Nombre de trackers MPP

Un tracker MPP du système

Par générateur partiel

Appareils

Consommateurs de c.c.

Consommateurs c.a.

Système avec générateur d'appoint

Nombre de générateurs partiels :

Puissance PV : kWc

Surface totale PV : m²

Surface d'absorption PV : m²

Perles

Vérification

Diagramme du système

Simulation

OK

Annuler

Système Générateur PV Accumulateur Régulateur de charge

Caractéristiques techniques : générateur partiel

Référence :

Module PV

Créer une prévis. de l'emplac. du toit avec Photo Plan

Importer

Photo Plan

Exporter

Type de montage

Sur châssis

Ventilé

Sans ventilation

Puissance du générateur

Nombre de modules prédéfini

Nombre de modules

Déterminer puissance à partir de la surface du toit

Paramètres du toit

Puissance générateur PV résultante kWc

Orientation

Montage fixe

Orientation (szimut) °

Guidage monoaxe

Angle d'inclinaison °

Guidage bi-axe

Visualisation

Irradiation : 1 187 kWh/m²a

Raccordement

Nombre de modules en série : Raccordement

Tension MPP (STC) [V] :

Nombre de Strings parallèle :

Perles

Vérification

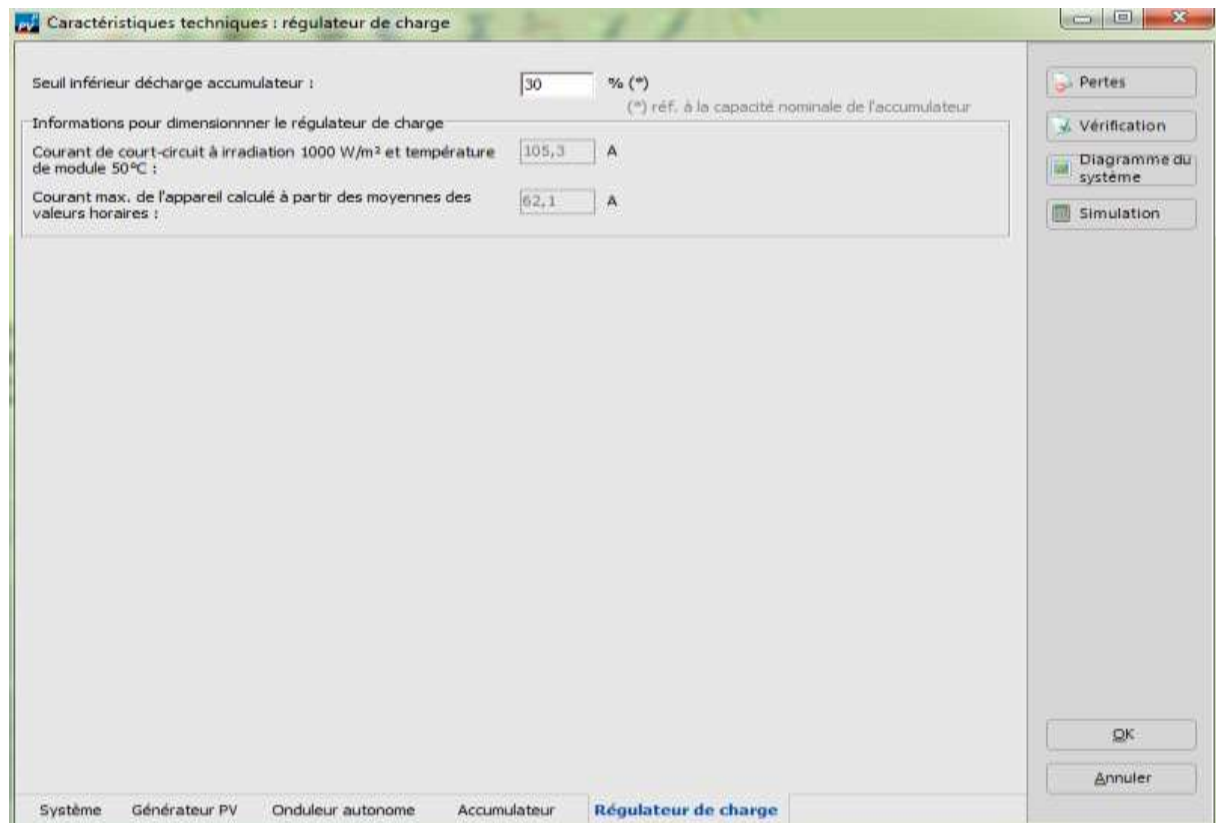
Diagramme du système

Simulation

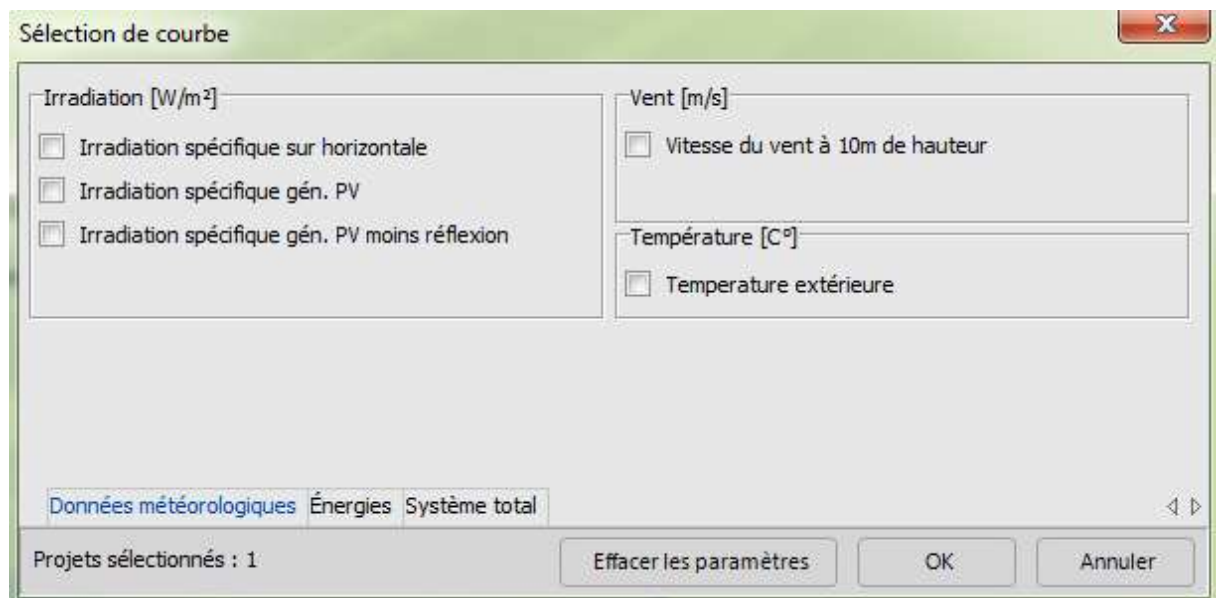
OK

Annuler

Système **Générateur PV** Accumulateur Régulateur de charge



En cliquant sur résultat puis courbes la fenêtre suivante s'affiche; on peut donc sélectionner les courbes qu'on souhaite visualiser:



En cliquant sur résultat puis bilan énergétique les deux fenêtré suivante apparaissent :

Bilan énergétique annuel		
Surface totale du générateur :	21,11 m ²	Puissance du générateur :
Surface d'absorption générateur :	21,12 m ²	2,60 kW
Irradiation générateur PV		
		45 412,8 kWh
Énergie PV produite		
		4 281,0 kWh
Besoin		
		3 119,5 kWh
Utilisation directe de l'énergie PV		
		1 489,4 kWh
Consommation non couverte par système PV		
		45,2 kWh
Excédent générateur PV		
		555,6 kWh
Couverture solaire		
		98,6 %
Taux de puissance		
		55,0 %
Rendement spécifique annuel		
		1 182,4 kWh/kWc
Rendement système		
		6,8 %
Puissance utile gén. PV		
		9,4 %
Système total Accumulateur		
Fermer		

Bilan énergétique annuel		
Surface totale du générateur :	21,11 m ²	Puissance du générateur :
Surface d'absorption générateur :	21,12 m ²	2,60 kW
Décharge accumulateur		
		1 842,6 kWh
Charge accumulateur		
		2 235,9 kWh
Pertes accumulateur		
		393,3 kWh
Gain/perte bilan accumulateur		
		0,0 kWh
Rendement accumulateur		
		82,4 %
Niveau de charge au début de la simulation :		
		31 %
Niveau de charge à la fin de la simulation :		
		31 %
Système total Accumulateur		
Fermer		

Pour calculer la rentabilité en clique sur calculs puis calcul de rentabilité la fenêtre suivante s'affiche:

Saisie paramètres pour calcul de rentabilité

Paramètres généraux | Repartition du coût | Coût PV | Financement

Intérêts capital [%]

Taux d'augmentation du prix [%]

Coût du carburant Coût d'exploitation

	Modules PV	Electronique	Accumulateur
Durée de vie [années]	<input type="text" value="25"/> *	<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="5"/>
Taux d'augmentation du prix [%]		<input type="text" value="0,00"/>	<input type="text" value="0,00"/>

* Période considérée

Coût de production de courant : 1,03 €/kWh
Coût annuel: 4 411 €