الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DR. YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique et de l'Informatique



Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Génie Électrique

Option : énergies solaire et éolien

THEME

CONTROLE DE FLUX DE PUISSANCE D'UN SYSTEME DE GENERATION HYBRIDE (PV, EOLIEN ET DIESEL) DANS UN MICRO RESEAU ISOLE

Proposé et dirigé par :

Dr. HENINI. Noureddine

Préparé et présenté par :

M. MELOUANE Hocine

M. SIHAOUI Hamza

Année Universitaire 2014-2015

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES I
LISTE DES TABLEAUX I
LISTE DES ACRONYMES I

Introduction générale .....

CHAPITRE I: SYSTEMES HYBRIDES DE GENERATION D'ENERGIE RENOUVELABLE ……. ... 04
1. Introduction.……. …..... 05

2. les principaux composants d'un système SEH……... 05
2.1. le générateur éolien …… 05
2.2 Le générateur photovoltaïque.……... 06
2.3. générateur diesel…… 07
1.4. batteries de stockage……. … 08
1.5. système de supervisons … ……..... 08
1.6. Les convertisseurs ……. 09
1.7. les charges……..... 09
3. classification de system hybride …… ……..... 10

3.1. classification de selon l'interface de connexion ……. 10

3.1.1. Systèmes Hybrides l'interface DC……. ……. 10
3.1.2. Systèmes Hybrides l'interface AC…… ……..... 11

3.2. Classification de system hybrides par la gamme de puissance……..... 12

4. Quelques configurations des systèmes hybrides ……. 13
4.1. Le système hybride éolien-générateur à combustible……. 13
4.2. Le systèmes hybride solaire-générateur à combustible…….. 14
4.3. Le système hybride éolien à combustible…… 15

5. Qualités de l'énergie produit par system hybride ……. 15
6. problème rencontre dans le fonctionnement SEH ……. 16
7. conclusion……. 17

CHAPITRE II : DEFINITIONS DES BESOINS ET DES RESSOURCES MATERIELLES…… 18

1. Introduction…….. 19

2. Présentation du site et caractéristiques de la charge……. 19
2.1. L'emplacement du système hybride…… 19
2.2. Caractérisation de la charge et Prédétermination du profil énergétique de la Demande…… 20
3. La configuration choisie……... 21
4. estimation des ressources énergétiques solaire et éoliennes…… *23*

5. les spécifications techniques des principaux éléments du SEH choisi ……. *24*
5.1. La Turbine Eolienne…… *24*

5.2. Les panneaux photovoltaïques…….. *25*

5.3 Le générateur Diesel …… *26*
5.4. Le système de stockage : Batteries…… *27*
5.5. Les convertisseurs.……..... *28*
6. Conclusion…..…… *31*

CHAPITRE III : MODELISATION *ET STRATEGIE DE GESTION D'ENERGIE* …… 31
1. Introduction…… 32
2. Modélisation du système hybride ……... 33
2.1 Modélisation du générateur photovoltaïque ……. 34
2.1.1 Modèle d'une cellule solaire …….. 34
2.1.2. Modèle photovoltaïque……. 37

2.1.2.3. Le modèle de système générateur PV utilisé …… …….. 38
2.2. Modèle générateur éolien……. 42
2.2.1. Puissance de sortie de la turbine éolienne…… 42
2.2.2 La Courbe de puissance…….. 44
2.2.3 Performances de la turbine éolienne …….. 45
2.2.4. Le modèle de système générateur éolien utilisé…….. 45
2.3. Modélisation de la batterie……. 46
2.4. Modélisation du groupe électrogène…….. 47
3. Architecture de l'installation étudiée ……... 47
4. Stratégie de fonctionnement et de gestion du flux d'énergie …… 49
5. Algorithme de gestion d'énergie……. 49
6. Conclusion …….. 52

CHAPITRE IV : RESULTATS DE SIMULATION ET DISCUSSIONS……. ….. 53
1. Introduction…….. 54
2. Résultats de Simulation et discussions…….. 54
2.1. Variation de Vent.……. 54
2.2. Variation d'irradiation.…….. 55
2.3. Caractérisation de la charge et Prédétermination du profil énergétique de la Demande…… 57
3. Indices de performance du système étudié…… 59
3.1. Puissance produite par le générateur PV …… 59
3.2. Puissance produite par le générateur éolien ……... 61
3.3. Puissance produite par le générateur diesel…… 62
3.4. *Comparaison entre la puissance du générateur diesel et le surplus.*…….. 63
3.4. Puissance Total……... 63
3.5. *Evolution horaire de la puissance à l'entrée de la batterie ……..* 64
3.6. Evolution horaire de la production Puissance totale et de la puissance à l'entrée de la batterie…….. 65
3.7. Evolution horaire de l'Energie produite par les trois générateurs (PV, Eolien et diesel) et Puissance d'entre de batterie sur une période d'un jour …….. 66

4. Évolution des énergies échangées au niveau du bus AC……. 67
5. comparaison entre la production et consommation d'énergie électrique…….. 68
6. Conclusion……. 70
Conclusion générale.…….. 71

Bibliographie.…… 74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 *Classification des SEH par gamme de puissance……* 12

Tableau I.2*Classification des systèmes éoliens- diesel basée sur le taux de pénétration de l'énergie éolienne……..* 13

Tableau- II.1 *Données géographiques du site de Tindouf……..* 20

Tableau II-2 : Distribution journalière de la charge électrique……. 21

Tableau II-3 : *Caractéristiques techniques de PROVEN 15……....* 24

Tableau II-4 : Courant délivré par PROVEN 15……... 26

Tableau II- 5: Caractéristiques du générateur PV……. 27

Tableau II- 6: Caractéristiques du moteur PERKINS 404C-22G …… 28

Tableau II- 7: *Caractéristiques des batteries……..* 29

Tableau IV.1. Comparaison entre la production et consommation d'énergie électrique... 68

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 *Chaine de conversion avec une génératrice asynchrone et convertisseurs statiques ……..06*

Figure I.2.*Principe du fonctionnement d'un GP ……..07*

Figure I.3 *Configuration de générateur diesel ……..07*

Figure I4*. Système de supervision ……..08*

Figure I.5. *Structure d'un SH Eolien/PV/Diesel connecté à une charge …… 09*

Figure I.6. *Système hybride de puissance avec bus CC avec sources renouvelables et générateur diesel 09*

Figure I.7 *Système hybride de puissance avec bus CC avec mini réseau avec sources renouvelables…….. 10*

Figure I.8 *Schéma de principe d'un système hybride éolien-diesel……14*

Figure 1.9 . Schéma de principe d'un système hybride solaire photovoltaïque- générateur thermique……. 14

Fig. I.10 Perturbations influant sur la qualité d'énergie ……. 15

Figure II- 1 : schéma de principe de l'installation étudié …….. 23

Figure II- II : le générateur photovoltaïque *KD180 GX-LP* …….. *25*

Figure II-2- *Évolution de la vitesse du vent sur un jour ……21*

Figure III.1 : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque…… .. 32

Figure III.2 *: Influence des résistances shunt et série sur la caractéristique courant-tension D'une cellule photovoltaïque.……36*

Figure III-3 : *Caractéristiques : courant-tension I(V) et puissance-tension P(V) d'une cellule.…… 37*

Figure III.4: *Influence de l'éclairement et de la température sur les caractéristiques I –V Du module photovoltaïque.…….. .38*

Figure III.5 : *La caractéristique I (V) du GPV (effet éclairement).……..39*

Figure III.6 : La caractéristique I (V) du générateur PV (effet) a température)……..40

Figure III.7 : *La caractéristique P(V) du GPV effet a éclairement.……40*

Figure III.8 *: La caractéristique P(V) du GPV (effet température).……41*

Figure III-9 : *Schéma de la turbine éolienne.…… …42*

Figure III-10 : *Caractéristique coefficient de puissance/vitesse spécifique de vitesse pour différents angles d'inclinaison des pales ……..43*

Figure II- 11 : *Courbe typique de puissance en fonction de la vitesse du vent ……..44*

Figure III-12 : *Architecture du système étudié ……..48*

Figure IV-1- : *Évolution de la vitesse du vent sur un jour. ……55*

Figure III-2 : Évolution journalier des irradiations solaires (*diffus real*) horaire pour le site Tindouf ……56

Figure II-3 : Évolution journalier des irradiations solaires (globale real) horaire pour le site Tindouf…….56

Figure II-4*: Évolution journalier des irradiations solaires (global clear) horaire pour le site Tindouf ……57*

Figure IV-***5****: lustration du profil de charge pour un jour…….. ..59*

Figure IV-6 : *Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi …..60 (diffus real*)

Figure IV-7 : Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi …….61 (Global clear)

Figure IV-8 : *Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH ……..61 (Global real)*

Figure IV-7 *Distribution de la puissance produite par le générateur éolien dans le SEH …….. .61*

Figure IV-8 *: Distribution de la puissance produite par le générateur diesel Dans le SEH …….. 62.*

Figure IV-9 *: Evolution horaire du moteur diesel et surplus…….. 63*

Figure IV-12 : *Evolution horaire* de la puissance total Dans le SEH relatif au site Tindouf …… 64

Figure IV-13*: Evolution horaire de la puissance à l'entrée de la batterie, ……. 65*

Figure **IV.14**: *Evolution horaire de la production Ptot et de la puissance à l'entrée de la batterie, ……. 65*

Figure V-15 : *Energie produite par les trois générateurs (PV, Eolien et diesel) et Puissance d'entre de de la batterie ……..66*

Figure IV.16*: Evolution horaire de la puissance (Peol, Ppv, Pge ,Ptot ,Pch et Pen bat) Dans le SEH relatif au site Tindouf ……...65*

Figure IV.15 : Histogramme de la comparaison entre de la puissance produire et consommée……69

LISTE DES ACRONYMES

SEH: Système D'énergie Hybride

GD : Générateur diesel

GPV: Générateur Photovoltaïque

CA: Courant alternatif

CC: courant Continu

Pc: puissance Crête

$C_{bat\ min}$: Capacité minimale de stockage de la batterie

$C_{bat\ max}$: Capacité maximale de stockage de la batterie

SOC: Etat de charge de batterie

η_{bat}: Rendement de la batterie

η_{cha}: Rendement pendant de la charge de la batterie

η_{decha}: Rendement pendant de la décharge de la batterie

A_C: la surface totale de captation du générateur photovoltaïque (m²),

Es : irradiation solaire globale du lieu considéré (W/m²)

P_{gen}: La puissance produite par un générateur photovoltaïque

η_{gen}: le rendement du générateur photovoltaïque

Vco : Tension à vide (V)
Icc : Courant de court circuit (A)

ηref : rendement de référence du générateur photovoltaïque,

TC: température de la cellule (°C),

η CC/CA : rendement du convertisseur CC/CA

Pf : facteur de remplissage du module.

C_B: $capacite\ de\ la\ batterie$

P (V) : Fonction de puissance de l'aérogénérateur (W)

$f(V)$: Fonction de distribution de la vitesse du vent

β : coefficient tenant compte de la variation du rendement du module photovoltaïque

$R\Omega$: est la vitesse linéaire périphérique en bout de pales de l'hélice

Ω : vitesse de rotation du rotor (rad/s).

C_p: Coefficient de puissance de l'éolienne

V_v: $vitesse\ de\ vent$

I_{ph}: $courant\ cree\ par\ conversion\ de\ la\ lumiere\ Photo - courant$

I_D: $courant\ traversant\ la\ diode$

P_m: $puissance\ mecanique$

C_{bat}: $Capacite\ de\ stokage\ de\ la\ batterie$

λ:Coefficient de vitesse spécifique

β: Angle d'inclinaison des pal du vent

SURP : Indice pour "Surplus» de la production d'énergie

T_f: Temps du fonctionnement du générateur diesel

N_{mod}: Nombre de modules dans le panneau PV

P_{eol}: Puissance de sortie de l'aérogénérateur

V(H_m):Vitesse du vent a la hauteur des mesures

V(H):Vitesse du vent a la hauteur H

Ptot : puissance total

Ppv : puissance de générateur photovoltaïque

Peol : puissance de générateur éolien

Pge : puissance de générateur diesel

Pen bat : puissance d' entre de batterie

Ptot : puissance total

Symbole	Désignation	unité
C_p	Coefficient de puissance de l'éolienne	/
Ω	Vitesse de rotation de la turbine	[tr/mn]
V_v	Vitesse du vent	[m/s]
q	Charge de l'électron	[C]
I_{sc}	Courant de court-circuit	[A]
V_{oc}	Tension en circuit ouvert	[V]
I_S	Courant de saturation	[A]
I	Courant fournie par la cellule	[A]
, $I_{AC\ nom}$	Courant nominal	[A]
I_{ph}	Courant créé par conversion de la lumière Photo-courant	[A]
I_D	Courant traversant la diode	[A]
I_{mp}	Courant maximal sous conditions standards	[A]
V_{mp}	Tension maximale du module sous conditions standards	[V]
β_0	Coefficient de la tension en fonction de température	[V/°C]
α	Coefficient de courant en fonction de température	[A/°C]
R	Longueur de pales	[m]
R_p	Résistance shunt	[Ω]
R_S	Résistance Série	[Ω]
U_{Bat}	Tension de la batterie	[V]
V_{CELL}	Tension aux bornes de la cellule	[V]
P_m	Puissance mécanique	[W]
A	Surface de balayage des pales de l'éolienne	[m²]
Tj	Température de jonction de la cellule photovoltaïque	[K]
E_S	Irradiation solaire globale dans le plan des panneaux	[W/m²]
T_{amb}	température ambiante	[°C]
V_d	Vitesse de démarrage de l'éolienne	[m/s]
V_n	Vitesse nominale de l'éolienne	[m/s]
V_c	Vitesse d'arrêt spécifique de l'éolienne	[m/s]
H	Hauteur du moyen de l'éolienne	[m]
C_{bat}	Capacité de stockage de la batterie	[Ah]

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays émergents auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement.

Le recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon et le gaz naturel Pour les plus répandus pour la production d'électricité, permet d'avoir des coûts de production Faibles.

Mais conduit à un dégagement massif de gaz polluants. Ainsi, la production électrique à partir de ces combustibles est à l'origine de 40 % des émissions mondiales de CO_2.

Beaucoup plus accessibles et très adaptées à la production décentralisée, les énergies renouvelables offrent la possibilité de produire de l'électricité proprement et surtout dans une moindre dépendance des ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles.

Et l'impact économique est sans appel, chaque semaine dans le monde, plus d'un million d'habitants s'ajoute à la population des villes.

Par énergie renouvelable, on entend des énergies issues du soleil, du vent, de la chaleur de la terre, de l'eau ou encore de la biomasse. A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables

sont des énergies à ressource illimitée. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue.

L'exploitation des ressources renouvelables connaît un grand essor dans les pays industrialisés et même dans quelques pays sous-développés. L'Algérie, un pays très vaste d'un climat très diversifié, ayant deux grandes zones géographiques distinctes, le Nord méditerranéen et le Sud saharien, peut devenir un bon concurrent dans cette course de recours aux énergies renouvelables. En effet, concernant l'énergie solaire, l'Algérie bénéficie de quelque 3 000 [heures] en moyenne d'ensoleillement par an, autant dire que la source est abondante.

Pourtant, rares sont les installations solaires et seuls certains centres de recherche tels le centre de développement des technologies avancées et le centre de développement des énergies renouvelables pour ce qui est du nord du pays, et certains sites isolés du sud algérien semblent l'utiliser.

A l'heure actuelle, on assiste à un regain sans précédant pour les énergies renouvelables. Leur application est passée à un échelon supérieur, de l'individu à la communauté, du cas

isolé au cas collectif et de la maison au village. L'ère après pétrole se prépare dans le plus grand des soins .

Malgré une apparence anodine, la production d'électricité est synonyme de perturbations. En effet, L'utilisation excessive d'un mode de production accentue fortement l'effet nuisible qui lui est associé et il apparaît évident que la diversification des sources est une solution et une voie à promouvoir dans une politique de développement durable, dans laquelle de nombreuses nations s'engagent aujourd'hui plus ou moins timidement.

Parmi les systèmes les plus prometteurs pour l'utilisation des énergies renouvelables, il y a les Systèmes d'Energie Hybrides (SEH, pouvant constituer un complément ou une alternative aux groupes électrogènes) souvent utilisés dans les régions isolées ou éloignées, vu que le prix d'extension du réseau électrique s'avère prohibitif et le surcoût de l'approvisionnement en combustible augmente radicalement avec l'isolement. Le terme « Système d'Energie Hybride » fait allusion aux systèmes de génération d'énergie électrique utilisant plusieurs types de sources. Dans cette notion, on exclut les grands réseaux interconnectés dans lesquels les sources peuvent aussi être de plusieurs types. Les SEH sont généralement conçus pour répondre à un besoin énergétique allant du simple éclairage jusqu'à l'électrification complète de villages ou de petites îles.

L'utilisation de plusieurs sources d'énergie dans un SEH doit avoir une incidence profitable sur la production d'énergie, en termes de coût et de disponibilité, étant entendu que le bilan « écologique» est supposé à priori favorable. Les moyens de production individuels tels que l'éolien, le photovoltaïque, le petit hydraulique etc. présentent des capacités de production incertaines et souvent fluctuantes, non corrélées à l'évolution de la charge.

Le système hybride présent en somme un double avantage afin de minimiser les perturbations de l'environnement grâce à une consommation sur le lieu de production de ressources naturelles renouvelables et d'une sécurité d'approvisionnement quelles que soient les conditions météorologiques. Et dans tous les cas, la bonne qualité de la puissance doit être garantie par rapport aux normes de sécurité des personnes et d'usage des équipements.

Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire est une contribution pour un contrôle de puissance des sources d'énergie renouvelable dans un SEH

A cet effet notre mémoire est organise comme suite

Dans le premier chapitre, une recherche bibliographique sur les systèmes hybrides de Génération d'énergie renouvelable pour des sites isolés a été faite. Nous nous intéressons à L'état de l'art, en particulier relatif aux sources d'énergie qui composent ces systèmes Habituellement. Nous décrivons les différentes solutions technologiques permettant d'exploiter les différentes sources d'énergies renouvelables existantes en site isolé.

Le deuxième chapitre concerne la définition des besoins énergétique et des ressources matérielles nécessaires pour l'élaboration de notre système. Nous présentons les principaux composants intégrés dans l'installation, les profils de charge et d'irradiation solaire et de vitesse du vent. Nous décrivons aussi les paramètres du système et les caractéristiques du site.

Dans Le troisième chapitre, les composants principaux du SEH seront modélisés sous le code de calcul MATLAB/Simulink. Nous adoptons des modèles existants. Nous Focalisons principalement sur la modélisation de source de production renouvelable ainsi que sur l'algorithme de gestion de l'énergie au sein d'un système hybride et autonome.

Dans le quatrième chapitre, nous exposons l'ensemble des résultats obtenus Numériquement que nous interprétons.

Enfin, en conclusion de ce travail, nous envisageons des axes pour les futurs travaux de Mémoires.

CHAPITRE I : SYSTEMES HYBRIDES DE GENERATION D'ENERGIE ELECTRIQUES

1. INTRODUCTION

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité. En pratique le générateur photovoltaïque est combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène à combustible, ou aux deux à la fois avec des accumulateurs de Stockage de l'énergie. Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée.

2. Les principaux composants d'un système SEH

Les énergies renouvelables comme les panneaux photovoltaïques, l'énergie éolienne ou Bien sont souvent utilisées dans les SH, ses systèmes peuvent inclure D'autres composants comme les convertisseurs statiques et dynamiques, des batteries pour le stockage de l'énergie, et aussi bien des charges principales et des charges de délestage. La majorité de ses éléments se travaillent en parallèle pour introduire un système équilibré sert bien fonctionner afin d'atteindre un but précis.

2.1. Le générateur éolien

Parmi les différents générateurs d'énergie renouvelable utilisés dans le système d'énergie Hybride, l'éolienne est techniquement et économiquement la plus développée. En général, on peut la classée en trois catégories -Système éolien sans convertisseur électronique : La plupart de ces topologies sont.

Fondées sur une machine asynchrone à cage d'écureuil directement connectée à la grille. Il Contient un démarreur utilisé pour réduire le courant d'appel pendant le démarrage et des Batteries de condensateurs nécessaires pour compenser la puissance réactive. A l'ajout des Convertisseurs électroniques de puissance la complexité et le coût de système sera Augmenté, mais au contraire le control du processus de la puissance sera bien évidement Plus précis.

-Système éolien à l'aide partielle de convertisseur électronique : une structure particulière de cette topologie basée sur l'utilisation d'une machine asynchrone à rotor bobiné, cette Bobine peut être alimentée par un convertisseur électronique afin d'atteindre une plage de vitesse variable de 2% à 4 %.

-Système éolien à l'aide complet du convertisseur électronique : dans cette configuration on peut utiliser une machine asynchrone à cage d'écureuil ou bien une machine synchrone, L'application de convertisseur électronique peut s'impliqué à éliminer la boite de vitesse.

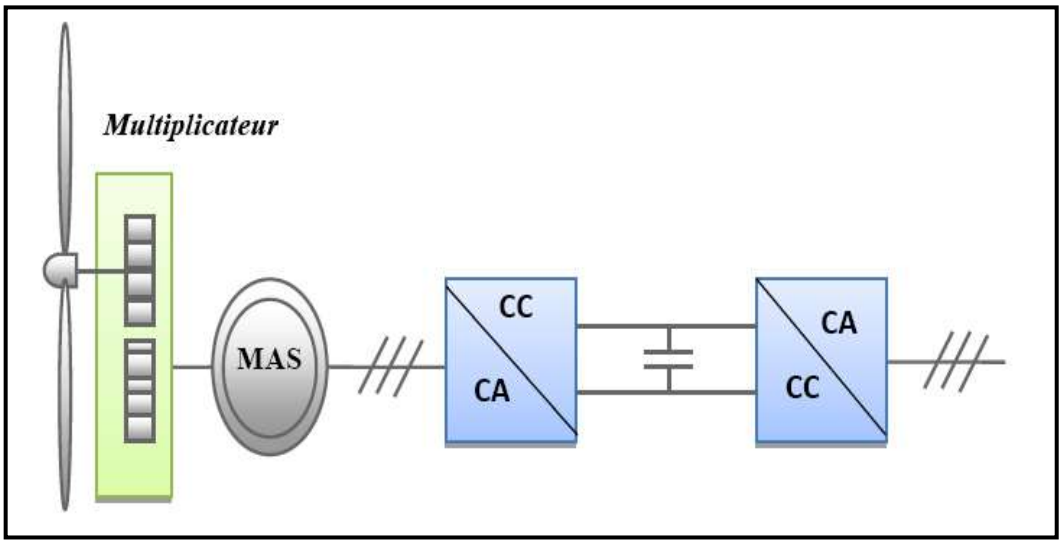


Figure I.1 *Chaine de conversion avec une génératrice asynchrone et convertisseurs statiques*

Plusieurs endroits utilisent ce générateur pour une production autonome, les exemples Sont Nombreuses, on va citer quelques-uns présentés dans la Figure I.1

2.2 Le générateur photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque qui est à l'origine du phénomène, les cellules photovoltaïques les plus répandues sont constituées de semi-conducteurs, principalement à base de silicium. Le Matériau constituant la cellule photovoltaïque doit donc posséder deux niveaux d'énergie et Être assez conducteur pour permettre l'écoulement du courant : d'où l'intérêt des semi-conducteurs pour l'industrie photovoltaïque. Afin de collecter les particules générées, un Champ électrique permettant de dissocier le pair électron / trou créées est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction P-N. D'autres structures peuvent également être Utilisées

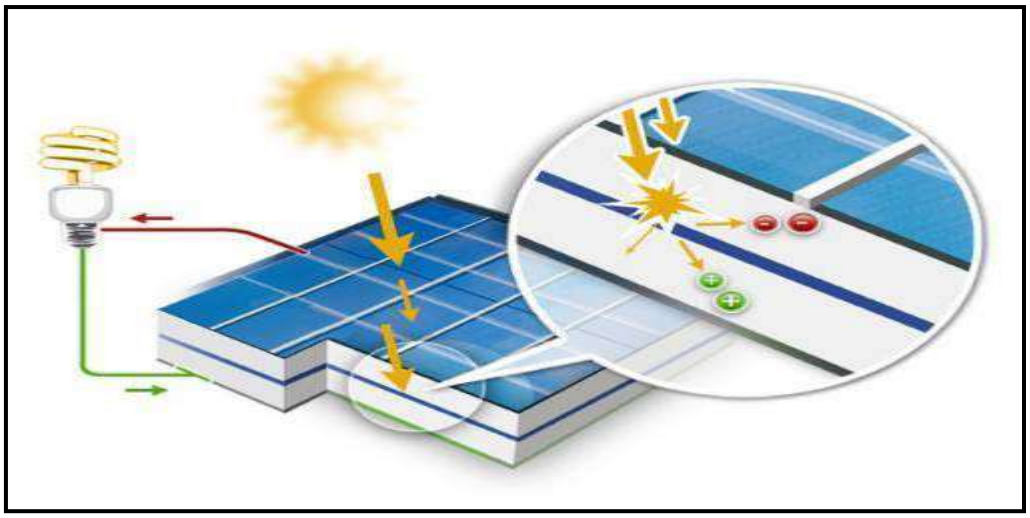


Figure I.2.*Principe du fonctionnement d'un GP*

En parallèle avec l'installation des générateurs éoliens, on va citer quelques endroits où L'installation des PV fait partie de la production énergétique

2.3. Générateur diesel

Dans le cas des installations à sources d'énergies renouvelables autonomes, il est Nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un SH, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone. La fréquence du réseau est liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré. Les réseaux de courant alternatif avec diesel, tout comme ceux interconnectés fournissent pour leurs charges, deux formes d'énergie : active et réactive. Quand le générateur diesel fournit de l'énergie au réseau, il sera connecté généralement à un bus CA. Dans ce cas, un système de commande doit être utilisé pour une distribution correcte de la puissance fournie par les générateurs diesels

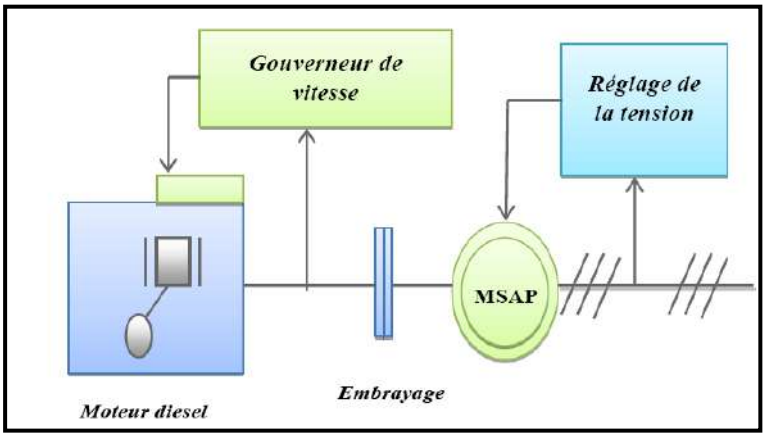


Figure I.3 *Configuration de générateur diesel*

2.4 Batteries de stockage

Bien que le développement scientifique se poursuive, le stockage de l'énergie électrique est Toujours un défi. L'utilisation d'une batterie pile combustible est très importante dans tous les systèmes Hybrides. Le système de batterie permet de résoudre l'inconvenant majeur des énergies Renouvelables celle de non continuité de production de l'énergie dans des situations Spécifiées, les batteries construisent par l'acide et du plomb compromet l'efficacité à être chargé et déchargé pour une longue période ce qui les rend idéales à l'application avec des systèmes des énergies renouvelables. Actuellement, les batteries plomb-acide ont une efficacité aller-retour d'environ 75% et une espérance de vie de 20 ans .

Mais outre la capacité de stockage, le système de stockage, il doit en effet également répondre aux critères suivants lors du dimensionnement :

- Puissance crête déterminée
- Cyclabilité élevée
- Bon rendement en charge et en décharge dans la gamme de puissance en production et en consommation
- Pertes d'auto-décharges faibles
- Coûts réduits.

2.5. Système de supervision

Pour bien maitriser la commande d'un système hybride on doit appliquer avec lui un Système de supervision, cet outil nous permet de bien pouvoir englober tous les informations des composants de système, parfois la commande est intégrée individuellement pour les déférents éléments comme les batteries des charges qui incluent un système de commande pour empêcher la surcharge des batteries

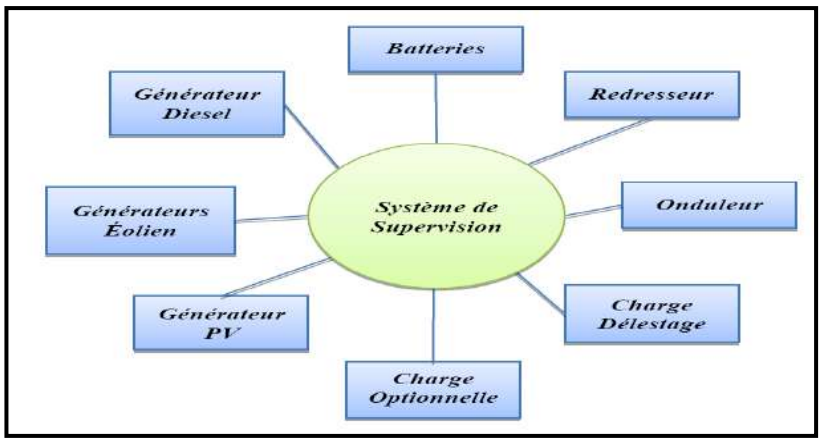


***Figure I.4**. Système de supervision*

Dans la même vision et dans les auteurs ont proposé plusieurs méthodes de commande Et de supervision pour un système hybride, afin de faire une interaction entre un superviseur et un processus ce qui prend un modèle plus proche du système réel. Les travaux ont été faits pour une modélisation et analyse d'une stabilité d'un système hybride. Les aspects théoriques ont été utilisés avec des réseaux de pétri et de logique flou pour un apprentissage afin de bien vouloir maitriser le modèle de supervision et faire l'appliquer pour résoudre les problèmes de stabilité.

2.6. Les convertisseurs

Leur utilité sert à charger les batteries de stockages et faire la conversion électrique par la Transformation de CC au CA et inversement, dans la structure des SH on trouve trois types de convertisseurs les redresseurs, les hacheurs et les onduleurs. Les redresseurs réalisent la Conversion CA/CC. Ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA, ce sont des appareils relativement simples, pas chers et a bon rendement.
Les onduleurs sont des convertisseurs CC/CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour Alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer le fonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur ; Ceux-ci sont les plus flexibles, mais aussi les plus chers. Parfois, les fonctions de redresseur et d'onduleur sont réalisées par un seul appareil.
Les hacheurs sont des convertisseurs qui permettent de réaliser la conversion CC /CC pour Adapter la tension entre deux sources [1].

2.7. Les charge

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Il existe deux charges à Caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eau etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Les charges à CC peuvent avoir aussi des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci sont les variations transitoires de tension et de courant pendant les changements dans le fonctionnement de système [2].

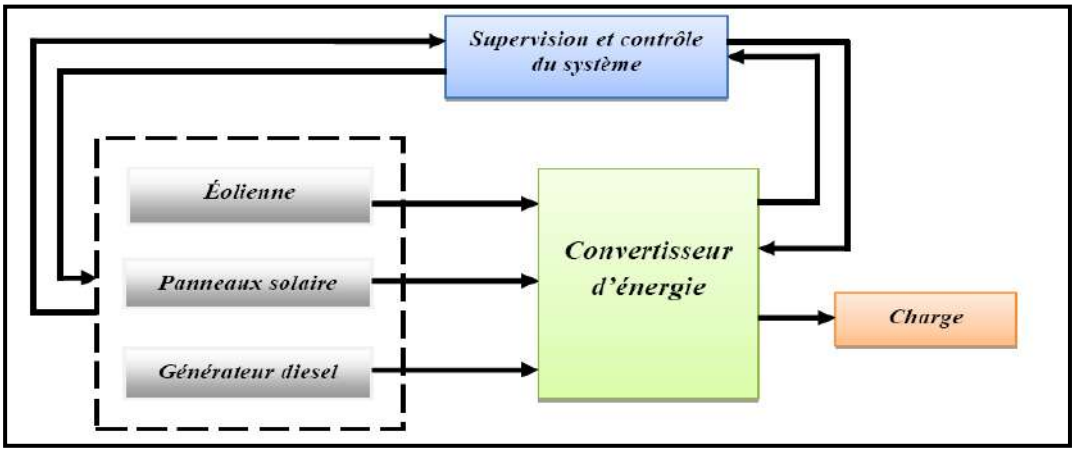


Figure I.5. *Structure d'un SH Eolien/PV/Diesel connecté à une charge*

3. Classification des systèmes hybrides

3.1. Classification de selon l'interface de connexion

3.1.1. Systèmes Hybrides l'interface DC

La figure (1.6) montre un système de Micro réseaux isolés DC conventionnel avec une liaison en courant alternatif à travers un onduleur. La majorité de ces systèmes présente une structure où le bus DC de la batterie pile combustible est le point central de connexion. En général, les petites éoliennes produisent de l'électricité en AC à séquence variable, laquelle est redressée et appliquée au bus DC. Cette énergie est ensuite stockée ou reconvertie en AC (à amplitude et fréquence fixes) à travers un onduleur pour fournie a la charge.

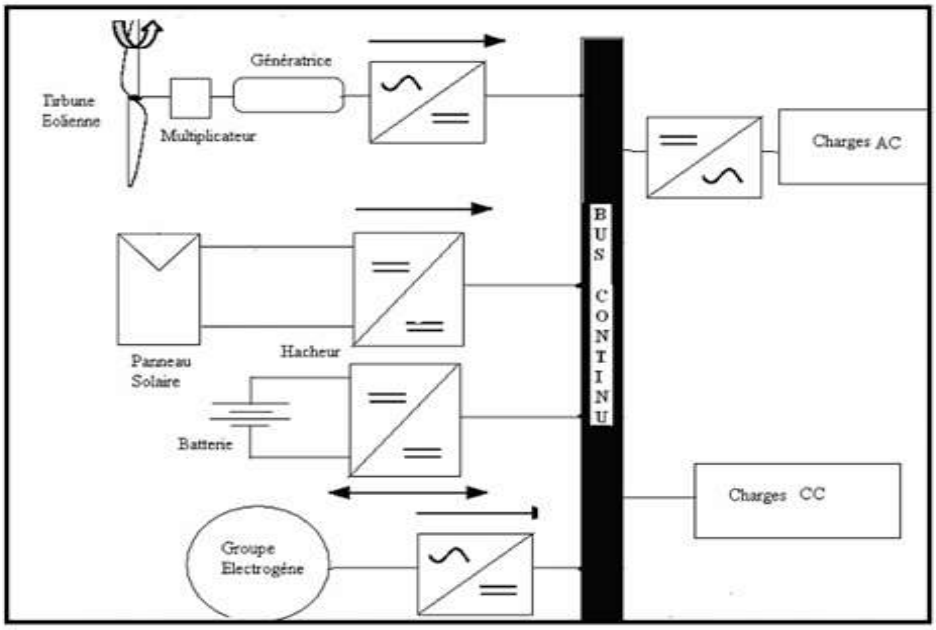


Figure I.6. *Système hybride de puissance avec bus CC avec sources renouvelables et générateur diesel*

3.1.2. Systèmes Hybrides l'interface AC

Dans cette topologie, les différentes sources de production sont raccordées au bus commun de distribution en courant alternatif avec des onduleurs dédiés (Figure 1.7). De telles structures associent des composants de génération en DC ou en AC. La faisabilité technique et économique de cette structure est liée aux progrès des convertisseurs statiques et de leur commande. L'avantage principal est la modularité qui permet la connexion et/ou le remplacement de modules de production en cas de besoin de plus d'énergie.

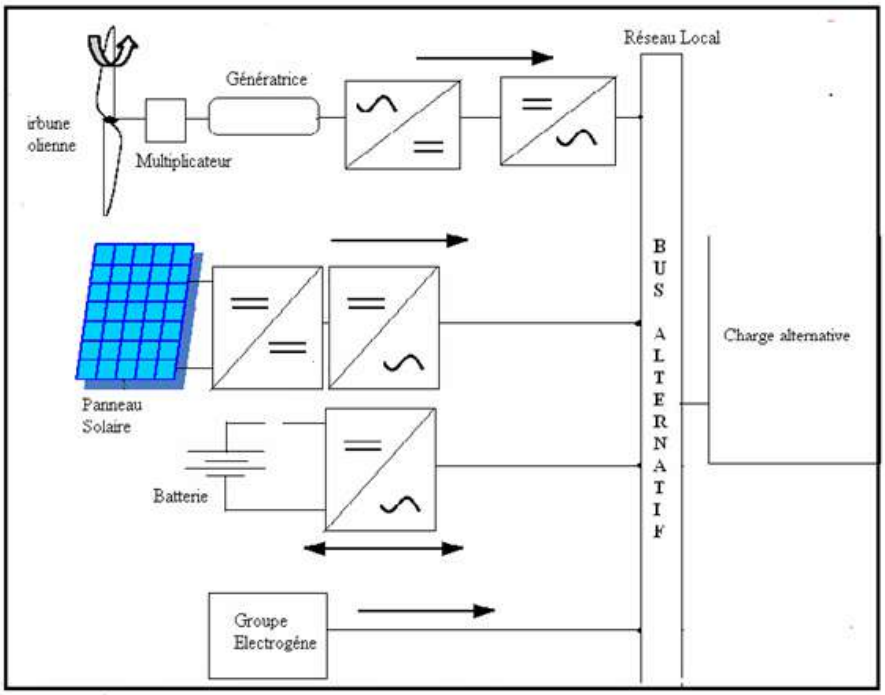


Figure I.7 *Système hybride de puissance avec micro réseau isole avec sources renouvelables*

3.2. Classification des systèmes hybrides par gamme de puissance

Le champ d'application des systèmes hybrides est trop vaste à cause des multiples Structures, cette richesse en structure mène la tache de classification des systèmes un peu Compliqué, on peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance Selon le tableau suivant

Tableau I.1 *Classification des SEH par gamme de puissance*

Puissance du SH en KW	Application
Faible< 5	Système autonome : station de télécommunication, pompage de l'eau, autres applications isolés.
Moyenne entre 10 et 250	Micro réseaux isolés : alimentation d'un village isolé, des zones rurales…
Grande > 500	Grand réseaux isolés

Si on prend l'exemple d'un système hybride éolien-diesel, on peut voir une classification Particulière qui sépare ses générateurs selon le taux de pénétration de l'énergie éolienne et

Donne leurs caractéristiques de fonctionnement par le tableau suivant donnant trois types [3].

Tableau I.2*Classification des systèmes éoliens- diesel basée sur le taux de pénétration de l'énergie éolienne*

4. Quelques configurations des systèmes hybrides

Les systèmes hybrides ce sont des systèmes qui combines entres deux ou plusieurs sources d'énergies différentes, et cela afin d'assurer la continuité du service électrique ou avoir plus d'énergie avec un cou min ou encore minimisé le danger environnemental, et dans ce sens là, plusieurs architectures sont envisageable :

4.1. Le système hybride éolien-générateur à combustible

C'est un système qui combine entre la turbine éolienne et un générateur à combustible (le diesel ou autre chose). Le système éolien qui produit une puissance électrique instable (énergie cinétique du vent instable) est accompli par le générateur à diesel et cela pour assuré la stabilité de cette dernière.

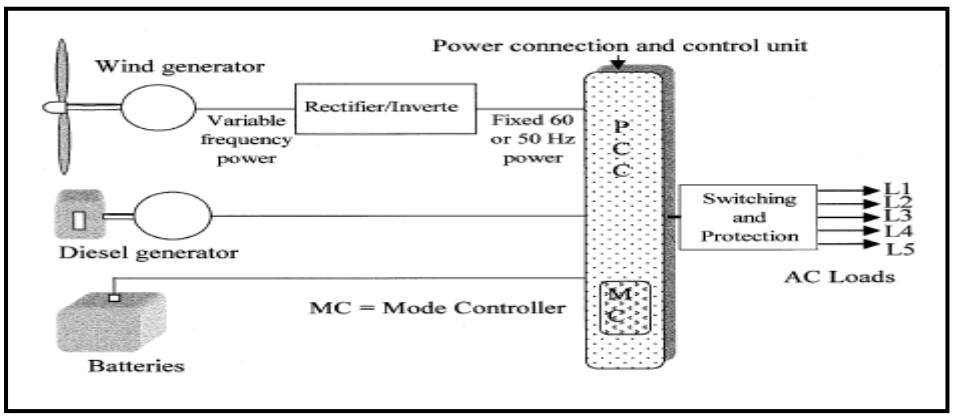


Figure I.8. *Schéma de principe d'un système hybride éolien-diesel*

4.2. Le systèmes hybride solaire-générateur à combustible

C'est un système qui combine entre le système solaire photovoltaïque ou autre avec le générateur électrique à combustible (diesel ou autre) et cela comme le montre le schéma ci-dessous (Voir La figure (I.9) annexe)

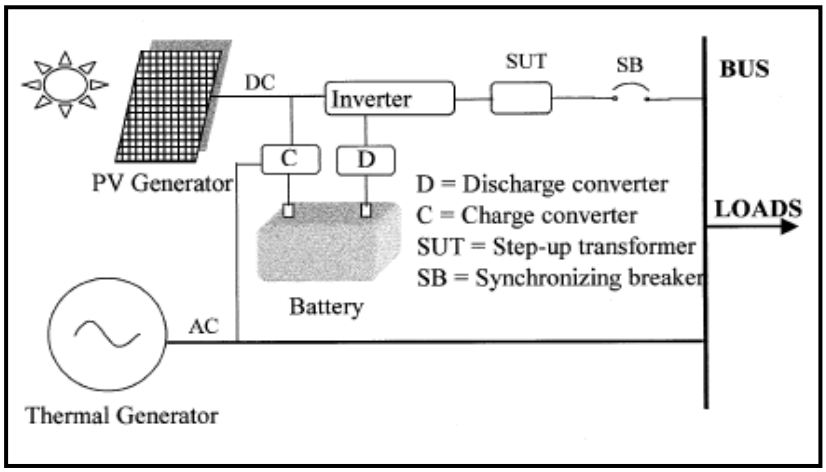


Figure 1.9 . Schéma de principe d'un système hybride solaire photovoltaïque- générateur thermique .

4.3. Le système hybride éolien-pile à combustible

C'est un système qui combine entre la turbine éolienne et la pile à combustible qui remplace le générateur à diesel avec l'avantage d'être propre (non polluante),

5. Qualités de l'énergie produite par les systèmes hybrides

La qualité d'énergie se réfère à la stabilité de la tension et de la fréquence du réseau ainsi que l'absence des phénomènes électrique telle que les creux de tension, les distorsions harmoniques et flicker. Puisqu'il n'y a pas de normes internationales spécifiques pour les systèmes de génération électrique en sites isolés, les caractéristiques du réseau isolé doivent être semblables aux caractéristiques électriques des grands réseaux interconnectés. Du fait que l'appareillage utilisé par les consommateurs connectés aux réseaux isolés, tout comme ceux

connectés aux grands réseaux interconnectés utilisent les mêmes appareilles en conséquence les exigences de la qualité d'énergie sont les mêmes. Les mesures

et les définitions utilisées dans les normes sont basées sur la fréquence et la tension. La norme européenne EN50160 [8] inclut des recommandations pour les valeurs de la tension des réseaux isolés.

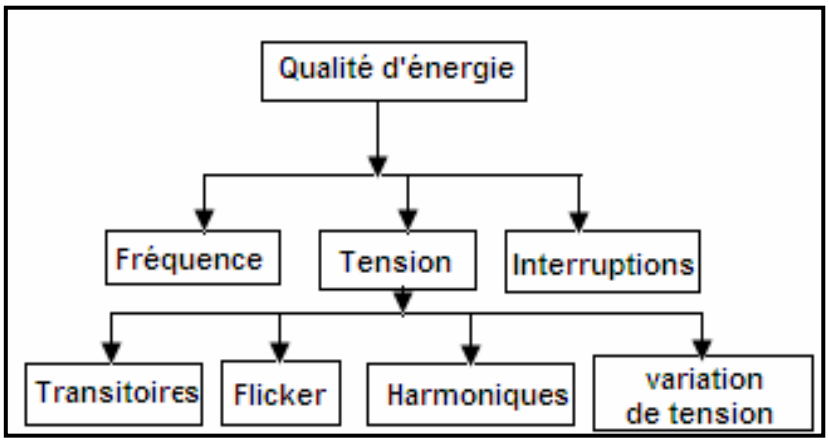


Figure I.10 Perturbations influant sur la qualité d'énergie

6. problèmes rencontres dans le fonctionnement des SEH

Plusieurs problèmes peuvent se manifester durant le fonctionnement du système hybride, Les causes sont nombreuses mais en général sont liées aux :

- ✓ Variations de l'énergie d'origine renouvelable.
- ✓ Manque de connaissance dans le domaine de la quantité de l'énergie en réseau fiable.

La solution aux variations brusques de changement de demande de l'énergie par la charge Pour un système SEH réside dans le fonctionnement parallèle des générateurs à énergies Renouvelables avec les générateurs diesels. Dans ce type de fonctionnement, les sources D'énergie renouvelable agissent comme une charge négative, en réduisant la charge moyenne Des générateurs diesel, ces derniers peuvent fonctionner à une puissance très basse, mais l'économie de carburant est modeste à cause du rendement très faible. Ainsi et au but de

garder un moteur diesel au régime de ralenti pour une demande de puissance nulle suppose une consommation de carburant non négligeable [5].

Le fonctionnement de générateur renouvelable peut causer des problèmes aux systèmes SEH Si le démarrage est influencé par des perturbations externes ou bien internes. Dans ce cas la Production de l'énergie électrique peut-être connu des changements rapides ce qui résulte des variations de tension et de fréquence impliquant une mauvaise qualité d'énergie qui peut détruire des appareils électroniques sensibles.

Un autre problème peut persister dans le cas où la production de l'énergie électrique par les Générateurs renouvelables est suffisante à la demande de la charge. Dans ce cas la quantité de carburant économisé peut alors être augmentée en faisant fonctionner les générateurs diesels en intermittence. Ces générateurs démarrent et s'arrêtent en fonction de la variation de l'énergie renouvelable et de la charge.

Parfois la production de l'énergie renouvelable soit plus importante que la consommation De l'énergie, la présence d'un système de stockage comme les batteries peut se fonctionner en faveur. Rendu compte que pour un système sans stockage l'utilisation d'une charge de Délestage est indisponible afin de maintenir l'équilibre énergétique et la stabilité de tension et de fréquence

Plusieurs études et recherches ont était élaborer afin de comprendre et trouver des solutions Aux problèmes de fonctionnement des SH.*E. Muljadi* and *H.E. McKenna* dans ont fait un travail d'analyse concernant un type de SH éolien diesel, ils ont trouvé que plusieurs facteurs contribuent à la fluctuation de voltage parmi eux :

- ✓ Une chute de tension causée par les surtensions des courants de charges.
- ✓ Le démarrage de machine asynchrone dans l'éolienne produise une puissance réactive Jouant un rôle de déséquilibrage de puissance dans le système.

L'utilisation d'une MAS de Petite taille en la démarrons en douceur peut supprimer le problème.

- ✓ Des variations en fréquence lorsque l'éolienne produit plus de puissance que nécessaire, dans ce cas le moteur diesel perd le contrôle de sa vitesse de rotor.

De nombreuses solutions techniques peuvent être mises en oeuvre pour remédier aux Problèmes ci-dessus. Toutefois dans toute production d'électricité, les implications Économiques des solutions doivent être examinées très attentivement. Dans le même aspect la tache de diagnostic des systèmes hybrides est trop importante pour trouver des solutions aux problèmes qui apparaissent dedans les systèmes SEH.

Dans [11] l'auteur a bien présenté des méthodes de diagnostic des systèmes hybrides basés

Sur l'utilisation d'un modèle afin d'atteindre un objectif de diagnostiquer les problèmes à Partir de la connaissance structurelle, comportementale ou fonctionnelle du système, en Représentant ces connaissances séparément de la connaissance sur la tâche de diagnostic. Le travail qu'il a fait est devisé en deux étapes, La première étape consiste à détecter à l'aide d'une classification floue, les fautes qui présentent les mêmes symptômes à partir d'une connaissance préalable des états de défaillance obtenues par apprentissage afin de réduire les chemins ou les scénarios à explorer lors de la deuxième phase. La deuxième étape sert à diagnostiquer la faute parmi celles détectées à l'étape précédente.

7. conclusion

Ce chapitre nous a permis de donner un aperçu général sur les différentes structures des systèmes hybrides de génération de l'énergie Électrique, où nous avons constaté que l'avantage principal de l'utilisation des sources Renouvelables dans la construction d'un système hybride peut aider à résoudre plusieurs Problèmes qui apparaissent au niveau de l'impact de l'utilisation des ressources classiques sur l'environnement et plus précisément comme une émission de gaz à effet de serre

CHAPITRE II : DEFINITIONS DES BESOINS ET DES RESSOURCES MATERIELLES

1. Introduction

En fonction de l'application et des sources d'énergie disponibles, il est possible d'intégrer différentes sources énergétiques, aussi bien renouvelables que conventionnelles.

Le système peut en outre être élargi en toute simplicité par ajout de composants ou de n générateurs électriques pour répondre à des besoins en énergie croissants.

Cette structure décentralisée de l'alimentation en énergie correspond au caractère Décentralisé des énergies renouvelables.

- ✓ En associant plusieurs sources d'énergie, les avantages de chacune d'elles sont ains Ajoutés:
- ✓ Le système photovoltaïque réduit la consommation, le temps de fonctionnement et donc de la maintenance du groupe,
- ✓ La présence du stockage par batteries réduit la puissance nominale du groupe,
- ✓ La présence du groupe réduit la taille du champ photovoltaïque et la capacité de Stockage des batteries diminuant ainsi le coût du système,
- ✓ La fiabilité du système global est augmentée,
- ✓ Les puissances et les énergies mises en jeu sont plus importantes et la charge à Alimenter plus élevée [7] Se posent alors les problèmes suivants:
- ✓ Choisir correctement la taille de chaque composant du système énergétique,
- ✓ Optimiser la gestion de l'énergie au sein de ce système,
- ✓ Enfin, rechercher la configuration optimale, c'est-à-dire le coût de production minimal.

2. Présentation du site et caractéristiques de la charge

2.1 L'emplacement du système hybride

Il existe une multitude de sites favorables pour la production d'énergie décentralisée sur le territoire nationale de l'Algérie, et plus spécifiquement aux régions isolées se trouvant en majorité dans le sud algérien. Le choix de ces sites a été basé sur la disponibilité des données météorologiques. Notre point d'intérêt étant focalisé sur la production hybride PV-éolien, le choix du site ne présente pas une tâche facile, chacun jouit d'un nombre d'avantages par rapport à l'autre, en se basant sur les conditions météorologiques dominantes, le choix s'est porté sur la préfecture de Tindouf,

Et **Tindouf** (ou **Tindouf)** en est une ville située à 1 900 [km] au sud-ouest d'Alger. La ville compte 60000 habitants, les données géographiques du lieu sont présentées sur le tableau II.1

caractéristique / **site**	**Longitude [°]**	**Latitude [°]**	**Altitude[m]**	**situation géographique**
Tindouf	**8,14 W**	**27 ,40 N**	**386**	**Sahara**

Tableau- II.1 *Données géographiques du site de Tindouf*

Nous allons étudier la faisabilité de couvrir ces besoins avec une solution 100% propre

2.2. Caractérisation de la charge et Prédétermination du profil énergétique de la Demande

Un Système de production de l'énergie dépend essentiellement du profil de la consommation à satisfaire. La puissance demandée par un foyer de nature donnée. L'heure de sollicitation maximale du système énergétique par la charge varie en fonction de la durée du jour.

Le besoins énergétique du site choisie inclue l'éclairage, le fonctionnement des appareils électriques (réfrigération, ordinateurs, téléviseurs…). Le site compte 24000 personnes, avec une consommation estimée à 0.26 kWh/jour et par personne, ce qui donne une consommation journalière de 6240 kWh/j, ce qui donne une puissance moyenne journalière de 54 ,729kW, qui n'est pas constante durant toute la journée.

La distribution journalière de cette charge est représentée par les diagrammes ci-dessous

Tableau II-2 : Distribution journalière de la charge électrique.

Heures	Charge [kW]	Heures	Charge [kW]
00 :00 – 01 :00	**30**	12 :00 – 13 :00	**55**
01 :00 – 02 :00	**30**	13 :00 – 14 :00	**55**
02 :00 – 03 :00	**25**	14 :00 – 15 :00	**60**
03 :00 – 04 :00	**25**	15 :00 – 16 :00	**60**
04 :00 – 05 :00	**25**	16 :00 – 17 :00	**65**
05 :00 – 06 :00	**25**	17 :00 – 18 :00	**60**
06 :00 – 07 :00	**30**	18 :00 – 19 :00	**75**
07 :00 – 08 :00	**35**	19 :00 – 20 :00	**100**
08 :00 – 09 :00	**40**	20 :00 – 21 :00	**110**
09 :00 – 10 :00	**50**	21 :00 – 22 :00	**130**
10 :00 – 11 :00	**55**	22 :00 – 23 :00	**75**
11 :00 – 12 :00	**58.5**	23 :00 – 00 :00	**40**

On remarque que le profil de consommation a généralement la même tendance d'évolution journalière. Il y a un creux de consommation la nuit entre 00h et 7h et un pic de Consommation, le soir entre 18h et 22h.

Ces informations restent très difficiles à exploiter car le profil de consommation est aussi Variable selon les saisons.

3. La configuration choisie

Pour les systèmes hybrides une puissance en dessous de 100kW, la connexion bus AC, avec une batterie de stockage, est très répandue.

Le champ d'application des systèmes hybrides est très large dans une plage de 10 kW à 250 kW C'un Micro réseaux isolés: alimentation d'un village isolé

L'installation proposiez constituée principalement de (26) générateurs photovoltaïques il s'agit d'un champ de panneaux (ou modules) solaires photovoltaïques, un groupe des turbines éoliennes(07), (08) générateurs diesel et d'un banc de batteries d'accumulateurs et des organes de conversion de l'énergie produite en 220 V alternatif (onduleur) et d'un redresseur. Le choix des composants se fait de telle sorte que le système puisse continuellement fournir à l'usager l'énergie dont il a besoin.

Installée sur le sol à proximité des habitations, les panneaux photovoltaïques exposés au soleil et la turbine éolienne exposée au vent. Après transformation par l'onduleur en courant alternatif 220 V, ce dernier pourra être utilisé soit directement, soit être stocké dans la batterie d'accumulateurs pour une utilisation ultérieure.

Dépendant du lieu géographique d'implantation du générateur et du profil de consommation d'électricité du client, un groupe électrogène pourra ponctuellement compléter la production d'énergie. L'ensemble des générateurs fournit du courant alternatif à 50 Hz et 220 V, permettant d'utiliser potentiellement les mêmes applications qu'avec un raccordement au réseau de distribution public.

Un couplage de tous les consommateurs et de tous les générateurs du côté AC (voir fig. II- 08) permet de réaliser des systèmes flexibles constitués de composants modulaires. En fonction de l'application et des sources d'énergie disponibles, il est possible d'intégrer différentes sources énergétiques, aussi bien renouvelables que conventionnelles. Le système peut en outre être élargi en toute simplicité par ajout de composants ou de générateurs électriques pour répondre à des besoins en énergie croissants.

Le système modulaire présente une série d'avantages au regard de la planification de l'installation et du montage (concept, installation, extensibilité et compatibilité) tout en réduisant les coûts spécifiques du système.

Le système choisi dans notre étude, est réalisé de telle sorte à obtenir un fonctionnement parallèle des deux sources (éolienne, photovoltaïque) avec uns groupes électrogènes de secours, conçu pour l'alimentation d'un site isolé.

Le système parallèle relie les deux sources (éolienne, photovoltaïque) en même temps à la batterie et le groupe électrogène intervient en secours (quand les batteries sont déchargées).Tous les composants y sont connectés selon la figure (fig. II-08) suivante :

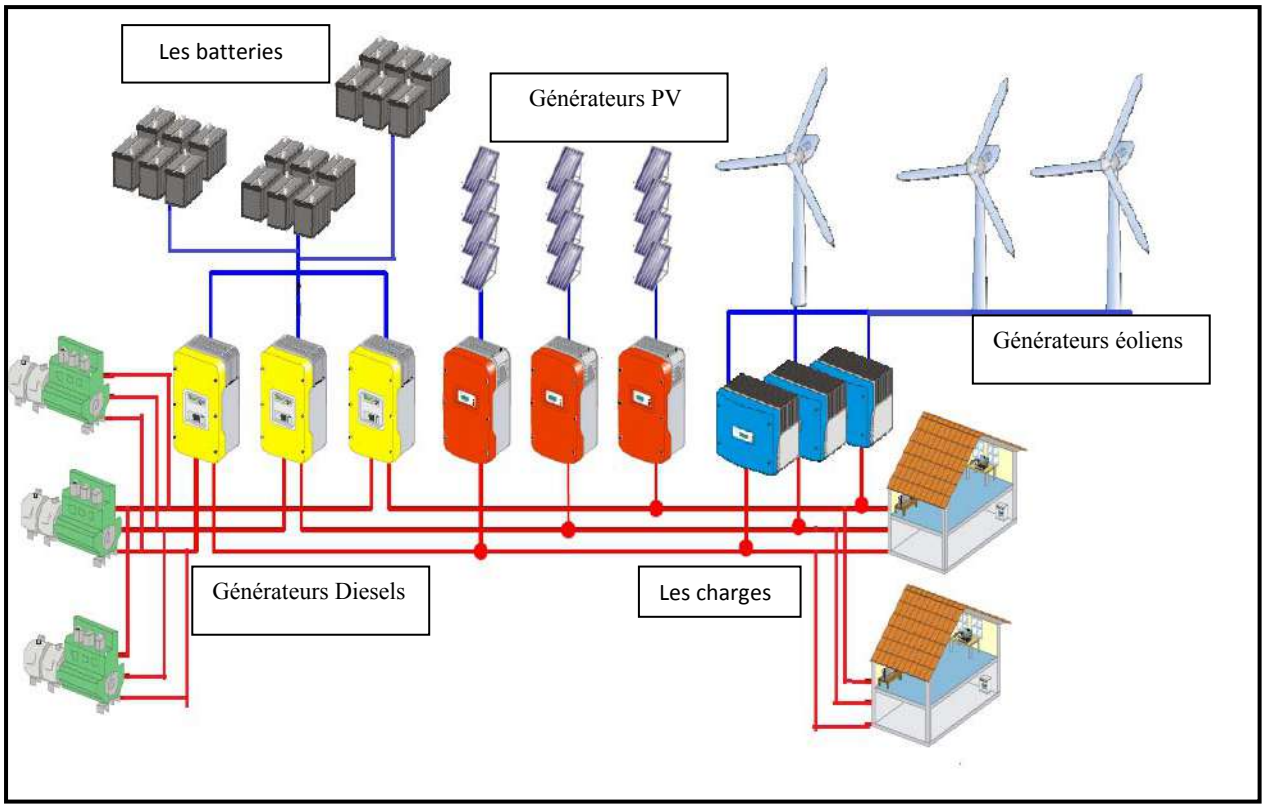


***Figure II-1** : schéma de principe de l'installation étudié*

4. Estimation des ressources énergétiques solaire et éolienne

L'étape essentielle dans la conception d'un système couplé est la détermination de sa taille optimale qui dépend essentiellement des données climatiques du site. Généralement, on utilise les moyennes mensuelles des données climatiques et / ou une estimation du nombre de jours consécutifs de faible ressource climatique (vent, irradiation solaire) pour déterminer la surface de l'aérogénérateur, la taille des panneaux photovoltaïques et la capacité des batteries. Or, le comportement dynamique du système couplé vis-à-vis de la nature stochastique de l'irradiation solaire influe d'une manière remarquable sur la taille du système nécessaire pour une application déterminée. L'analyse des ressources locales (vitesse du vent et éclairement), requiert une campagne de mesure et une analyse préalable des spécificités du site. Pour créer une base de

référence pour notre étude nous avons choisi d'adopter des données pertinentes des mesures techniques faites pendant un jour

5. les spécifications techniques des principaux éléments du SEH choisi

5.1. La Turbine Eolienne

La turbine éolienne ayant une caractéristique qui lui est propre et qui dépend de paramètres de construction qui définissent son potentiel à prélever l'énergie de la masse d'air en mouvement. La turbine choisie est de marque ***PROVEN ENERGY 15,*** c'est une turbine à axe horizontal de moyenne puissance (15 kW à une vitesse de 12 m/s), à trois pâles, le rotor fonctionne dans la direction du vent (downwind), elle dispose de caractéristiques très avancées en matière de sécurité (système de freinage en cas d'urgence ou pour entretien), de flexibilité et de disponibilité. Selon sa courbe de puissance (donnée ci-dessous), PROVEN ENERGY15 peut développer de l'énergie même à très bas régime du vent (3 m/s), comme elle peut opérer à des vitesses élevées (7O m/s) sans risque de passer en survitesse et ce à l'aide d'un dispositif de guidage des pales [22].

Aux grandes vitesses du vent, les pâles se déplacent dans la direction du vent formant un angle supérieur à 90° avec l'axe de rotation, ce qui donne au rotor une forme conique et diminue ainsi la vitesse de rotation. La turbine fonctionne sans réducteur de vitesse, ce qui réduit énormément le niveau de bruit et les pertes par frottement mécanique, ainsi que les périodes d'arrêt et le coût d'entretien. L'éolienne PROVEN15 considérée est caractérisée par les données présentées dans le tableau II-4. Selon le constructeur, la caractéristique de la puissance d'éolienne est illustrée sur la figure II-

Tableau II-3 : *Caractéristiques techniques de PROVEN 15 [22].*

Spécifications	Proven Energy 15	Unité
Puissance nominale	15	kW
Vitesse nominale du vent	12	m/s
Vitesse min. du vent (pour démarrage)	2,5	m/s
Vitesse max. dont la turbine peut supporter	70	m/s
Masse du rotor	1200	Kg
Diamètre du rotor	9	M
Surface balayée par le rotor	64	m2
Hauteur de la tour	25	M
Masse de la tour	1478	Kg

Vitesse de rotation maximale	140	tr/min
Système de freinage mécanique		
Nombre de pâle	3	
Matériau des pâles	Polypropylène	
Tension nominale à la sortie génératrice après rectification (courant DC)	300	V(DC)
Durée de vie	25	Ans

Une éolienne est caractérisée par sa courbe de puissance qui donne la variation de puissance disponible en fonction de la vitesse du vent.

- La puissance nominale (de projet) est la puissance donnée pour un vent déterminé, appelé vent nominal. Au-delà de cette vitesse du vent, la puissance est maintenue constante grâce au dispositif de régulation.

Dans le site de Tindouf la vitesse moyenne de vent est (4m /s), la turbine choisi fournie une puissance moyenne de (5kw) a la cette vitesse, qui ce nécessite (07) turbine pour produire ce puissance supérieur a (30kw)

5.2. Les panneaux photovoltaïques

Selon la puissance totale demandée ainsi que le type de notre installation, nous avons opté pour l'installation de (26) générateurs, PV de puissance de 5 kW (puissance PV totale de 130 kW), chacun sera relié à une phase des bus d'alimentation. Nous avons choisis les panneaux photovoltaïques Du type **KD180GX-LP** de **SUD CONCEPT** marque **KYOCERA**, dont les caractéristiques techniques sont résumés par le tableau II-5.



Figure II- 2 : le module photovoltaïque *KD180 GX-LP*

Tableau II- 5: Caractéristiques du générateur PV.

Performances électriques sous la condition standard de test STC	
Puissance maximale	180 W (+/- 5%)
Tension maximale	23,6 V
Courent maximal	7,63 A
Tension circuit ouvert (Voc)	29,5 V
Courent de court circuit (Isc)	8,35 A
Tension maximale du système	600 V
Coefficient de température de Voc	-1,06×10-1 V/°C
Coefficient de température de Isc	5,01×10-3 A/°C
Performances électriques à 800 W/m2, NOCT, AM1.5	
Puissance maximale	127 W
Tension maximale	20,8 V
Courant maximal	6,1 A
Tension circuit ouvert (Voc)	26,5 V
Courent de court circuit (Isc)	6,8 A
Caractéristiques du module	
Nombre de cellule par module	48 cellules
Dimensions (longueur×largeur×épaisseur)	1341×990×36 mm
Poids	16,5 kg

La surface d'un module est de 1,3276 m^2. De Chacun (26) générateurs est constituée de27 modules, avec une surface de 35. 845 m^2. La surface totale des panneaux PV est donc de 1000 m^2.

5.3 Le générateur Diesel

En vue du caractère non régulier des ressources renouvelables, un générateur Diesel est nécessaire comme un système d'appoint. Le générateur choisi est de type **404C-22G** du constructeur PERKINS, il développe une puissance maximale de 18 .5kW, on besoins de (08) Générateur diesel pour assurer la continuité d'énergie de la charge

Tableau II- 6: Caractéristiques du moteur PERKINS 404C-22G

Constructeur	PERKINS	
Pays	UK	
Modèle	404C-22G	
Vitesse de rotation	1500 tr/min	
Puissance net	18.5 kW	
Nombre de cylindres	4 en ligne	
Diamètre cylindre / course	84 / 100 mm	
Cylindrée	2,21 litre	
Aspiration	Naturelle (sans suralimentation)	
Refroidissement	À eau	
Circuit électrique	12 V	
Consommation du carburant	100% de la charge	**5,4** Litre/ h
	75 % de la charge	**4,0** Litre/ h
	50% de la charge	**2,9** Litre/ h
	25% de la charge	**2,27** Litre/ h
Consommation spécifique du carburant	245 g / kWh	
Volume d'huile de lubrification	10,6 Litre	
Volume eau de refroidissement	6,98 Litre	

Comme l'installation est autonome, le DG est contraint de fonctionner à tout moment de la journée, et ce pour combler d'éventuel manque de production par les générateurs renouvelables, ou même pour fournir la totalité de la charge demandée (130kw) (.puissance maximale d'un générateur Diesel de 18 .5kW , Les besoins (08)générateur Diesel). Entre autre, il est utilisé pour la recharge des batteries.

5.4. Le système de stockage : Batteries

Il est possible d'assurer la fourniture de toute l'énergie nécessaire au site directement par les générateurs, cependant, dans le but de minimiser le fonctionnement du générateur diesel et

par suite les émissions des gaz, il est judicieux de rajouter un système de stockage d'énergie. Cela nous permet d'exploiter au maximum les ressources renouvelables disponibles en rechargeant les batteries par ces dernières (éolienne et solaire). Enfin, dans le cas d'une brusque demande d'électricité, le stockage remplit la fonction de source «tampon », en attendant que le groupe démarre et prenne le relais de la fourniture.

Le cas échéant, les batteries sont rechargées par le diesel. Les caractéristiques des batteries sont données par le tableau ci-dessous.

Tableau II- 7: *Caractéristiques des batteries [23].*

Spécifications	Valeurs	Unités
Type de courant délivré	DC	
DDP	48	V
Courant de décharge	192	A
Puissance	9.2	kW
Capacité nominale	1923	Ah
Etat de charge minimale permise	50 %	% de la charge max.
O&M	180	$/kWh
Coût	3680	$
Durée de vie minimale	10	ans

Les batteries sont réparties en trois rames de capacité de 641 Ah, chaque rame est reliée à une phase des bus AC

5.5. Les convertisseurs

Afin d'adapter la forme de l'´energie électrique délivrée par un composant de l'installation en fonction de l'application visée, un convertisseur statique lui sera nécessairement connecté.

Les onduleurs jouent un rôle clé au regard de l'efficacité énergétique et de la fiabilité. Dans le cas d'un générateur photovoltaïque leur rôle ne se limite pas à transformer le courant continu (DC) généré par le panneau PV en courant alternatif (AC) de tension et de fréquence souhaitées (par ex. 230 V et 50 Hz), mais consiste également à exploiter le champ PV à son point de puissance maximal (Maximum Power Point MPP). De plus, les onduleurs doivent assurer une surveillance fiable du réseau pour le protéger contre les défaillances et interrompre l'alimentation en cas d'erreurs du réseau.

5.5.1. Convertisseur bidirectionnel pour les batteries : Sonny Island 5048

Un convertisseur bidirectionnel (AC/DC redresseur, DC/AC onduleur) est nécessaire pour assurer la conversion du courant DC, délivré par la batterie, au courant AC pour alimenter les bus (fonction onduleur), et inversement pour la recharge des batteries à partir des busAC (fonction redresseur En plus de la conversion, il assure les tâches suivantes :

- ✓ Contrôle de la fréquence et du potentiel,
- ✓ Contrôle de l'état de charge et/ou décharges des batteries (augmente ainsi la durée d vie),
- ✓ Connexion et déconnexion des charges en cas de surcharge,
- ✓ Assure la connexion avec plusieurs sources,
- ✓ Contrôle du fonctionnement d'autres Sunny Island,
- ✓ Stockage des informations (carte MMC),
- ✓ Assure les fonctions de protection et de sécurité (courts-circuits, sur courant,

Température excessive…).

Les convertisseurs de ce type seront installés, de tell sorte que chaque convertisseur est relié à une phase et à une rame des batteries (le circuit électrique de l'installation est triphasé)
(Voir le tableau II-12: Caractéristiques techniques du convertisseur Sunny Island 5048 annexeA)

5.5.2. Onduleurs pour la turbine: WB6000 (SMA Windy Boy)

Le rôle de cet onduleur est de convertir le courant DC variable à la sortie du redresseur intégré avec la turbine (**ECM15004ME/300)** en courant AC à 220 Vac et 50 Hz pour alimenter les bus. La puissance de chaque onduleur est de 6 kW (total 42 kW). (07)WB6000 seront installés, chacun développe une phase .

5.5. 3.Onduleur photovoltaïque : Sunny Mini Central 6000 A

Conversion du courant continu en alternatif Les panneaux PV développent du courent continu, il faut donc installer des onduleurs dont le rôle est d'injecter l'énergie solaire transformée par conversion photovoltaïque dans le réseau basse tension de 220…240 V à une fréquence de 50 Hz. Les onduleurs utilisés sont de fabrication SMA technologie, de type Sunny Mini Central 6000A (SMC6000A). Comme le WB6000, les onduleurs SMC6000A seront installés de la même manière.

6. Conclusion

Ce chapitre nous représente les spécifications techniques des principaux éléments du système hybride et caractéristique de matérielle, Choisir correctement la taille de chaque composant du système énergétique

CHAPITRE III : MODELISATION ET STRATEGIE DE GESTION D'ENERGIE

1. Introduction

La Modélisation est particulièrement importante pour la conception des systèmes hybride, ayant des composants dans différents domaines, et qui de plus sont couplés dans le but de réaliser des performances optimales. La simulation est caractérisée par la conception des systèmes basés sur les diagrammes blocs.

L'environnement MATLAB/Simulink a retenu notre intérêt de part la maturité et la richesse de ses outils de développement et de vérification. L'approche de modélisation et de simulation adoptée est réalisée sous cet environnement en exploitant les différents outils existants, notamment la Sim Power Systems toolbox.

2. Modélisation du système hybride

2.1. Modélisation du Générateur photovoltaïque

2.1.1. Modèle d'une cellule solaire idéel et réel

Les cellules solaires sont généralement associées en série et en parallèle, puis encapsulées sous verre pour obtenir un module photovoltaïque. Un générateur PV est constitué de modules interconnectés pour former une unité produisant une puissance continue élevée compatible avec le matériel électrique usuel. Les modules PV sont habituellement branchés en série-parallèle pour augmenter la tension et l'intensité à la sortie du générateur. Les modules interconnectés sont montés sur des supports métalliques et inclinés suivant l'angle désiré en fonction du lieu, cet ensemble est souvent désigné par champ de modules.

Ainsi la caractéristique « I−V » du générateur PV est basée sur celle d'une cellule élémentaire modélisée par le circuit équivalent bien connu de la **figure III.1**. Ce circuit introduit une source de courant et une diode en parallèle, ainsi que des résistances série **Rs** et parallèle (shunt) **Rp** pour tenir compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule.

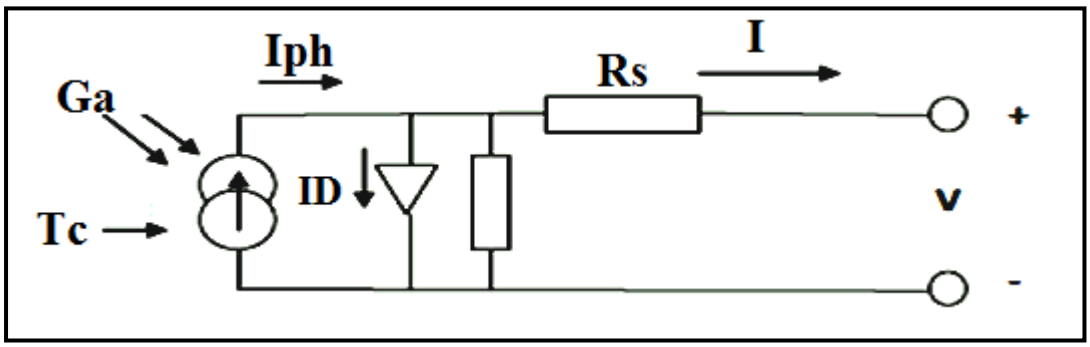


Figure III.1 : Circuit électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.

La résistance série est due à la contribution des résistances de base et du front de la jonction et des contacts face avant et arrière. La résistance parallèle rend compte des effets, tels que le courant de fuite par les bords de la cellule, elle est réduite du fait de la pénétration des impuretés métalliques dans la jonction (surtout si cette pénétration est profonde). Ce circuit peut être utilisé aussi bien pour une cellule élémentaire, que pour un module ou un panneau constitué de plusieurs modules .

Dans la **figure III.1**les différents paramètres caractéristiques des cellules photovoltaïques sont:

I_{ph} : Les courants générés par les cellules solaires (A) ;
R_s : Série de résistance (Ω) ;
R_P : Résistance parallèle (Ω) ;
G_a : Éclairement de la lumière du soleil (W/m2) ;
I_d : courant de diode (A) ;
I : courant de sortie du PV (A) ;
V : tension de sortie du PV (V) ;

Le fabricant du module solaire donne d'autres paramètres requis pour modeler les piles solaires. La fiche technique qui donne les caractéristiques électriques est calculée sous le STC. De condition normale d'essais quand la température T est 25°C et l'irradiante G est 1000 W/m2. Les paramètres qui peuvent être trouvés à l'intérieur de la fiche technique sont :

V_{oc} : tension de circuit ouvert (V) ;
I_{sc} : courant de court-circuit (A) ;
P_{mp} : puissance au point de puissance maximum ;
V_{mp} : tension au point de puissance maximum ;
I_{mp} : courant au point de puissance maximum.

Du **Figure III.1** le courant de sortie de la cellule de PV est :

$$I = Iph - Id \quad \text{.....III.1}$$

Où :

Par équation de Shockley, l'identification de courant de diode est donnée par :

$$I_d = I_0(e^{\frac{qV_d}{kT}} - 1) \text{.....III.2}$$

Où :

I_0: Courant de saturation renversé de diode ;

q : Charge élémentaire d'électron (1.602 x 10-19 Cb) ;

Vd : Tension de diode ;

k : C constant de Boltzmann (1.381 x 10-23 J/K) ;

T : La température en Kelvin (°k).

La relation entre la tension et le résultat actuel en remplaçant le courant de diode :

$$I = I_{ph} - I_0(e^{qV_d/kT} - 1) \text{ .....III .3}$$

Où V_d est la tension de rendement de la cellule de PV.

La saturation renversée I_0 est trouvée en employant l'équation ci-dessus. En plaçant l'égale du courant I à zéro et le calcul à T_1 de la température .

$$I_0(T_1) = \frac{I_{ph}(T_1)}{(e^{\frac{qV_{0c}}{kT}} - 1)} \text{.....III.4}$$

Le courant produit par les piles solaires I_{pv} peut être rapproché avec l'ISC courant de court-circuit dedans. Le courant produit peut être calculé pour l'autre irradiance. Le courant, la température et l'irradiance standard de la fiche technique sont employés pour déterminer le courant à l'état différent.

$$\text{Isc} \approx \text{Iph}$$

$$I_{sc}(T_1) = (\frac{G}{G_{nom}})I_{sc}(T_{1,nom}) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{III.5}$$

Où :

$Isc\ (T1)$: Courant au T1 de la température ;

$T1,$: La température de la cellule de la fiche technique au STC ;

$Gnom$: Irradiance de fiche technique au STC.

Après calcul, donne l'équation du PV.

$$I = I_{ph} - I_0\left[e^{q\left(\frac{V+I.R_S}{aKT}\right)}\right] - \left(\frac{V+I.R_S}{R_p}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{I.6}$$

Où :

A : le facteur de qualité de diode entre 1 et 2 et doit être estimé. La valeur de « A» est égale à 1 pour la diode idéale.

V : est la tension de cellules. Pour un module de PV, la tension de cellules est multipliée par le montant total des cellules en série.

$$I_0 = I_0(T_1)\left(\frac{T}{T_1}\right)^{\frac{3}{n}} . e^{\frac{qV\ q(T_1)}{ak\left(\frac{1}{T}-\frac{1}{T_1}\right)}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{III.7}$$

Le courant de saturation renversé I_0 dépend de la température T. I_l est calculé par l'équation suivante :

La valeur de la résistance série Rs est mesurée de la pente *dV/dI* de la courbe I-V à la tension de circuit ouvert de point L'équation de Rsest donnée par :

$$R_s = -\frac{dV}{dI} - \frac{akT/q}{I_0.e^{\left(\frac{qV_{oc}}{akT}\right)}} \quad \text{III.8}$$

Le modèle est accompli en employant les équations récursives suivantes pour trouver les courants.. L'équation récursive est employée pour calculer le courant pour p une cellule en parelle. Il est plus commode de résoudre numériquement. L'équation présente une méthode simplifiée pour calculer la série de résistance et pour négliger le résistance parallèle de e.

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{ph} - I_n - I_0\left[e^{q\left(\frac{V+I_n.R_S}{akT}\right)} - 1\right]}{-1 - I_0\left(\frac{q.R_S}{akT}\right)e^{q\left(\frac{V+I_n.R_S}{akT}\right)}} \quad \text{III.9}$$

La Figure (III.2) : représente de l'Influence des résistances shunt et série sur la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque

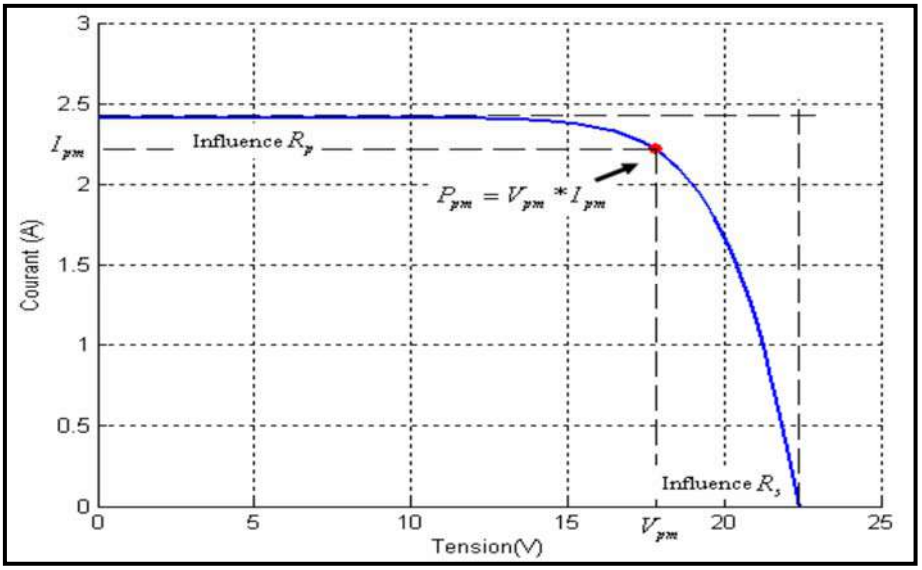


Figure III.2 *: Influence des résistances shunt et série sur la caractéristique courant-tension D'une cellule photovoltaïque*

2.1.1. Modèle photovoltaïques

Afin d'augmenter la tension d'utilisation, les cellules *PV* sont connectées en série. La tension nominale du module est habituellement adaptée à la charge. Les modules peuvent également être connectés en série et en parallèle afin d'augmenter la tension et l'intensité d'utilisation.

La courbe caractéristique d'un panneau PV :

Représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes du panneau PV depuis le court-circuit (tension nulle correspondant au courant maximum ne produit) jusqu'au circuit ouvert (courant nul pour une tension maximale aux bornes du panneau PV). Cette courbe est établie dans des conditions ambiantes de fonctionnement données (température=25°C, insolation =1000W/m2).

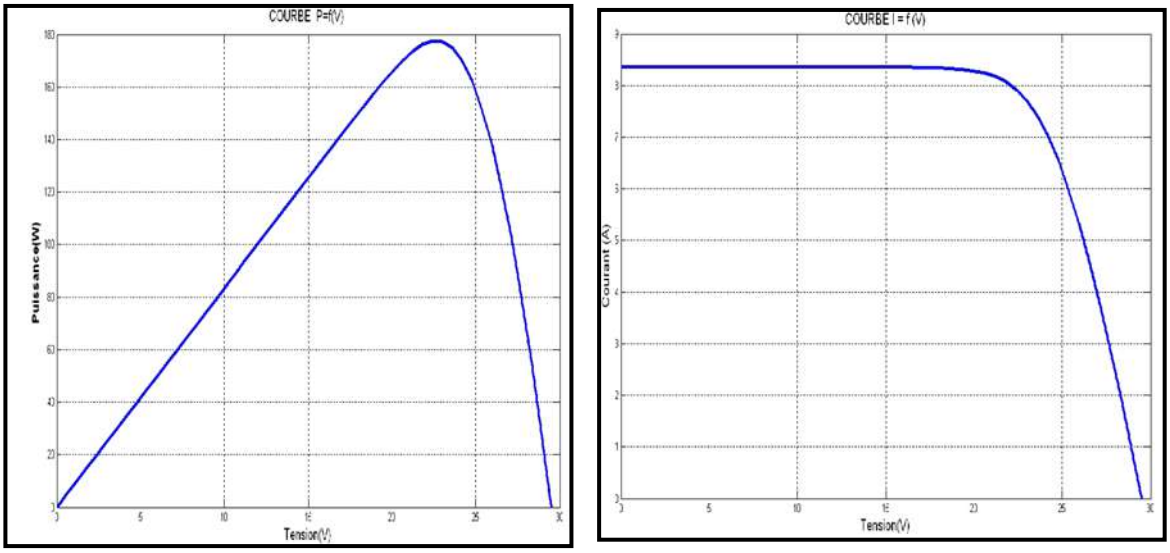


Figure III-3 : *Caractéristiques : courant-tension I(V) et puissance-tension P(V) du module KD180GX-LP de KYOCERA*

La caractérisation de la cellule photovoltaïque ayant été présentée, nous définirons, par la suite, quelques facteurs pouvant influencer son fonctionnement.

2.1.1.1. Influence de l'éclairement et de la température sur la caractéristique I (V)

Influence de l'éclairement L'apport d'énergie permettant la séparation électron-trou étant assuré par l'énergie lumineuse, il est donc normal que l'augmentation de l'ensoleillement entraine automatiquement l'augmentation des paires électron-trou séparées. Le courant débité IPh est donc proportionnel à l'ensoleillement.

Les résultats de simulation de la caractéristique (I-V) du générateur PV sont représentés dans les figure III-7 pour différentes valeurs d'éclairement (200, 400, 600, 800, 1000 W/m^2) et une température constant de 25 °C.

Ces résultats, obtenus pour le modèle présenté ci dessus, montrent que la caractéristique (I-V) dépend de l'éclairement. Le courant délivré par le générateur PV et la tension augmentent avec l'éclairement, et par conséquent la puissance produite par le générateur PV est augmentée. Il est à noter que la tension de circuit ouvert est peu influencée par la variation de l'éclairement, contrairement au courant du court-circuit qui augmente d'une manière consistante.

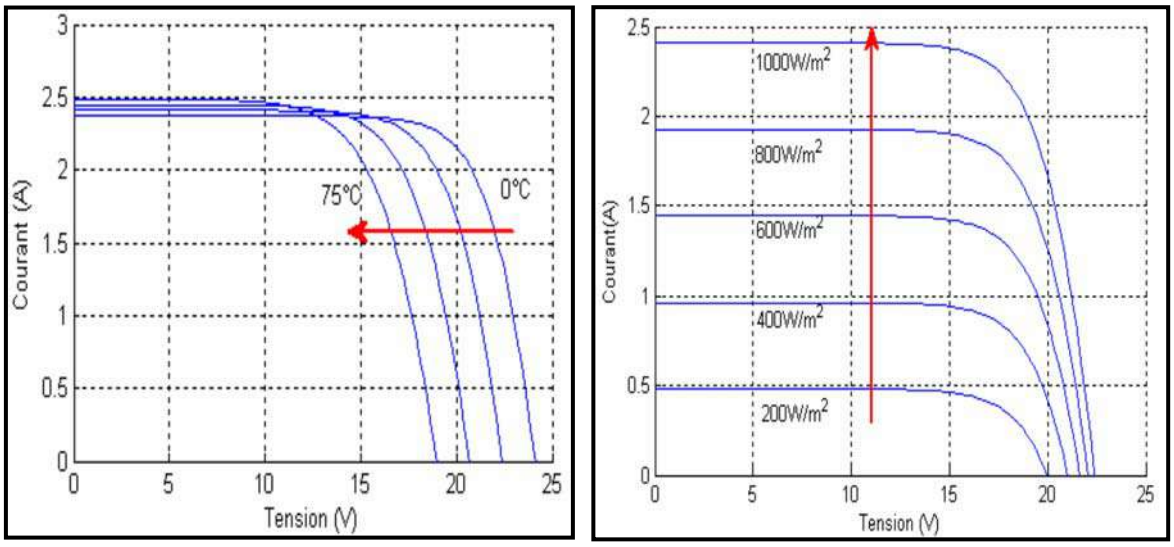


Figure III.4: *Influence de l'éclairement et de la température sur les caractéristiques I –V Du module photovoltaïque*

2.1.2.3. Le modèle de système générateur PV utilisé

La puissance produite par un générateur photovoltaïque est estimée à partir des données de l'irradiation globale sur plan incliné, de la température ambiante et des données du constructeur pour le module photovoltaïque utilisé, elle est exprimée par la relation donnée par [09]:

$$\rho_{gen} = \eta_{gen} \times A_C \times E_S \quad \ldots\ldots\ldots \text{(III.10)}$$

Tel que :

Ac : la surface totale de captation du générateur photovoltaïque (m²),

ηgen : le rendement du générateur photovoltaïque,

Es : irradiation solaire globale du lieu considéré (W/m²)

Le rendement d'un générateur photovoltaïque ηgen est calculé par l'équation suivante:

$$\rho_{gen} = \eta_{mod} \times \eta_{dc/ac} \times P_f \times N_{mod} \text{ .....(III.11)}$$

$$\eta_{mod} = \eta_{ref}\{1 - \beta(Tc - Tref)\}\text{.....(III.12)}$$

Avec :

β : coefficient tenant compte de la variation du rendement du module photovoltaïque en fonction de la température, qui est pris à 0.0045 /°C,

ηref : rendement de référence du générateur photovoltaïque,

TC: température de la cellule (°C),

NOCT : température nominale de fonctionnement de la cellule,

η CC/CA : rendement du convertisseur CC/CA (ce rendement est égal à 0 .95),

Pf : facteur de remplissage du module, égal à 0.9.

2.1.2.3 .a .Influence de l'éclairement et de la température sur la caractéristique I (V) d'un système générateur PV

La figure (III.6) montre l'influence de l'éclairement sur la caractéristique *I* (*V*) . A une Température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouver

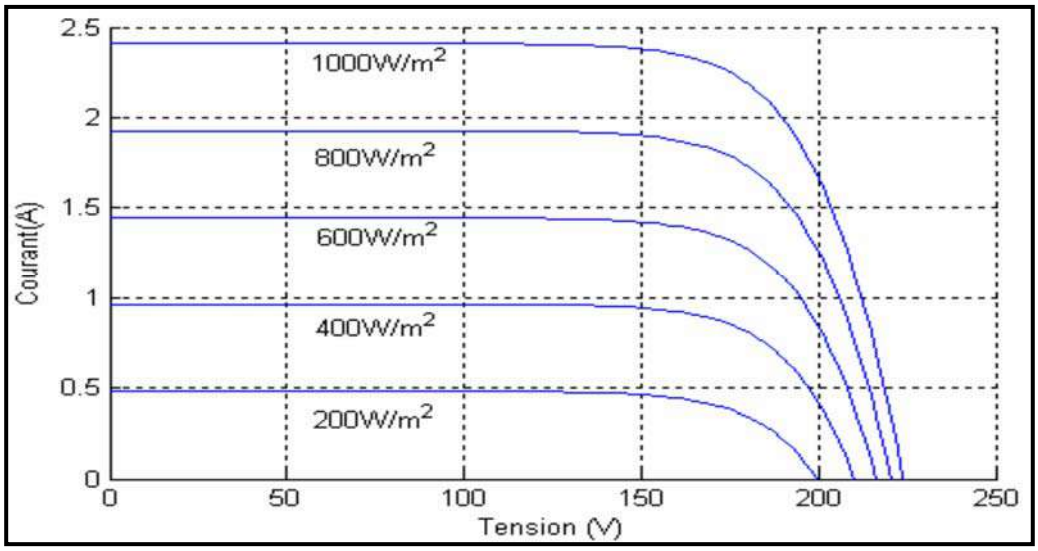


Figure III.5 : *La caractéristique I (V) du GPV (effet éclairement)*

La figure (III.7) montre l'influence de la température sur la caractéristique $I(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I(V)$. Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influe négativement sur la tension de circuit ouvre. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution.

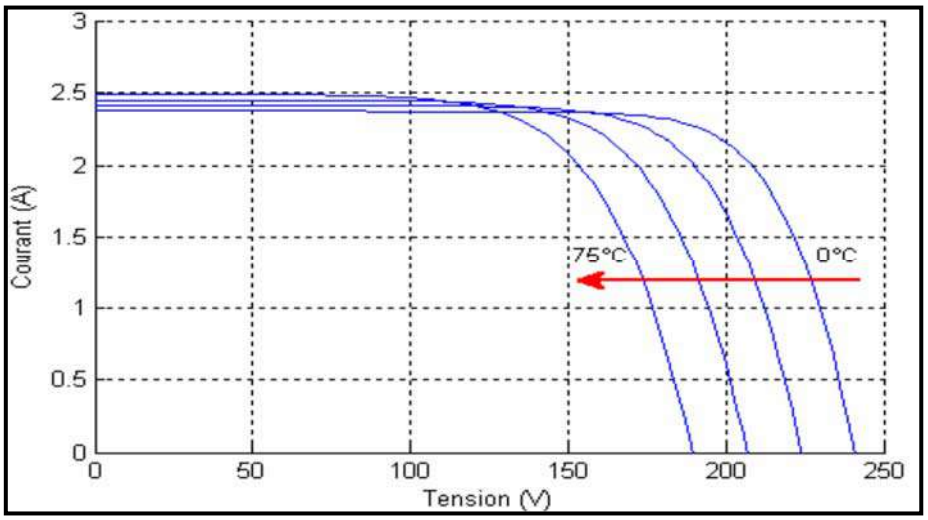


Figure III.6 : La caractéristique I (V) du générateur PV (effet) a température)

La figure (III.8) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement

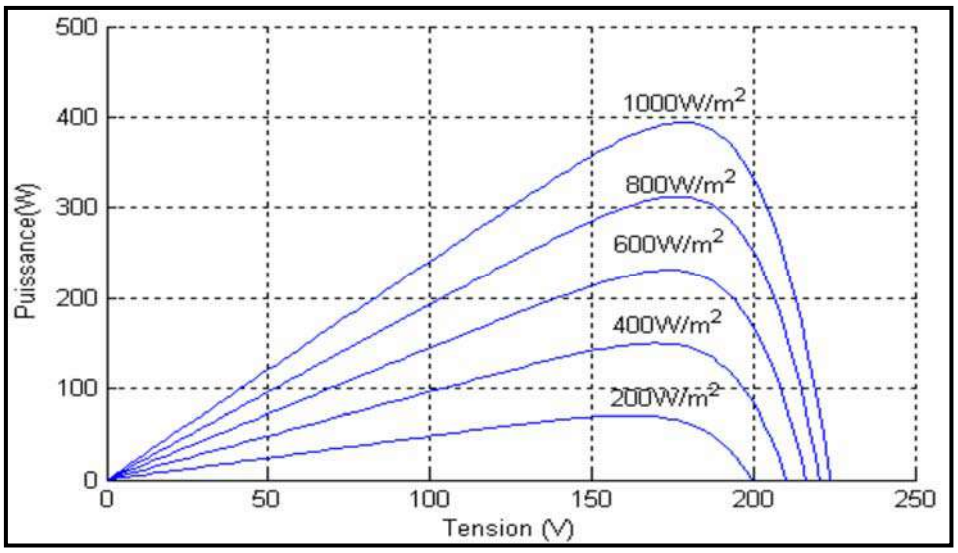


Figure III.7 : *La caractéristique P(V) du GPV effet a éclairement*

ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(V)$ et l'influence de la température sur la caractéristique $P(V)$ du générateur illustre sur la figure(III.9.).

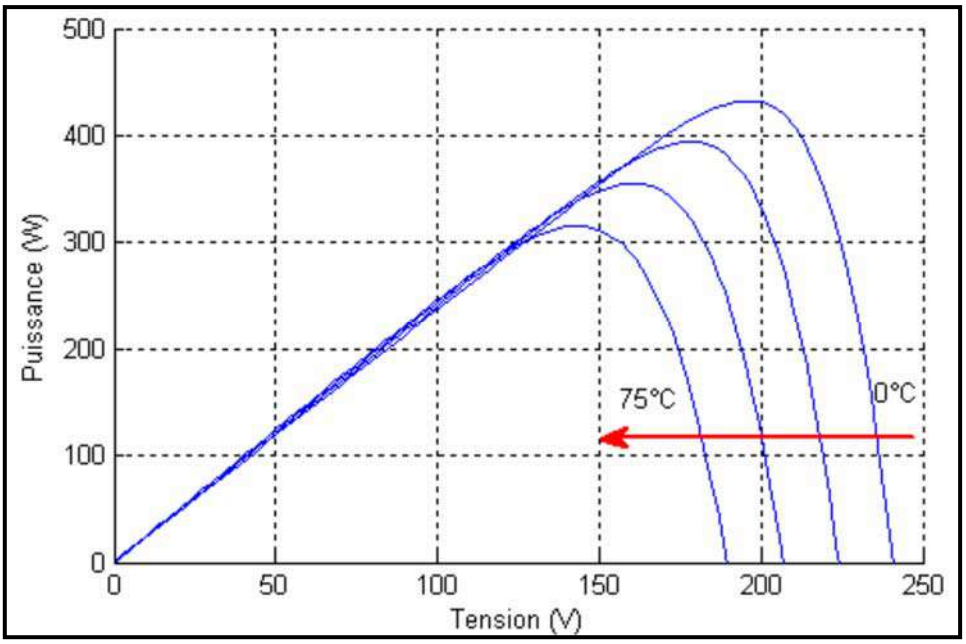


Figure III.8 *: La caractéristique P(V) du GPV (effet température)*

2.2. Modélisation du Générateur éolien

2.2.1. Puissance de sortie de la turbine éolienne

L'énergie cinétique du vent est captée par les pales afin de la transformer en énergie Mécanique. La turbine éolienne étudiée ici, est constituée de pales de longueur R entraînant une génératrice électrique avec l'intermédiaire de l'arbre de la turbine (figure III-7).

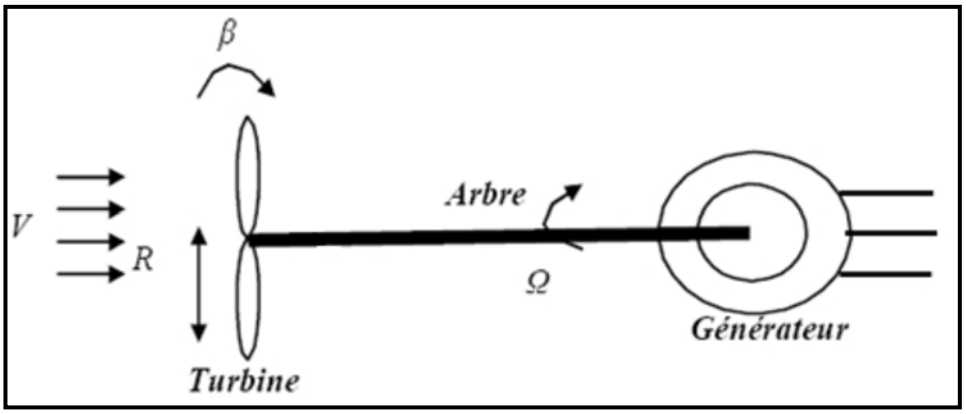


Figure III-9 : *Schéma de la turbine éolienne*

Le niveau de modélisation recherché pour la turbine doit nous permettre d'appréhender les phénomènes électriques et proposer des modèles numérisés du comportement aérodynamique de la turbine. Le comportement de la turbine est donné par la courbe

$Cp\ (\lambda, \beta\ )$. Les équations (III.13) et (III.14), permettent de modéliser les caractéristiques d'une turbine d'éolienne.

La puissance mécanique Pm qu'une turbine éolienne peut extraire d'une masse d'air traversant la surface balayée par son rotor est :

$$P_{m=C_p\ (\lambda,\beta)\frac{pA}{2}V_v{}^3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.13)}$$

ρ est la densité de l'air (Kg/m^3), *A* est la surface balayée par de rotor de l'éolienne (m^2), *Vv* est la vitesse du vent et *Cp* est le coefficient de puissance de la turbine. Ce dernier dépend du rapport de vitesses λ (ou TSR, Tip Speed Ratio). La valeur du coefficient de puissance

Cp va dépendre de la vitesse de rotation de la turbine (qui peut s'exprimer en fonction de la vitesse spécifiqueλ) et de l'angle d'inclinaison des pâles (*β)* [15]

Dans la littérature, des expressions approchées du coefficient de puissance pour les turbines des éoliennes sont proposées

avec

$$C_p(\lambda.\beta) = C_1\left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3\beta - C_4\right)\exp\left(\frac{-C_5}{\lambda_i}\right) + C_6\lambda_i \text{.....(III.14)}$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda+00\varepsilon\beta} - \frac{0035}{\beta^3+1} \text{ .....(III.15)}$$

Et les coefficients *C 1 à C 6*

C1 = 0.5176 ; C2 = 116 ; C3 = 0.4 ; C4 = 5 ; C5 = 21 ; C6 = 0.0068.

$$\lambda=\frac{R\Omega}{V} \text{ .....(III.16)}$$

RΩ : est la vitesse linéaire périphérique en bout de pales de l'hélice

Ω : vitesse de rotation du rotor (rad/s).

La figure III-9 représente les allures de la courbe *Cp* (λ) de l'éolienne

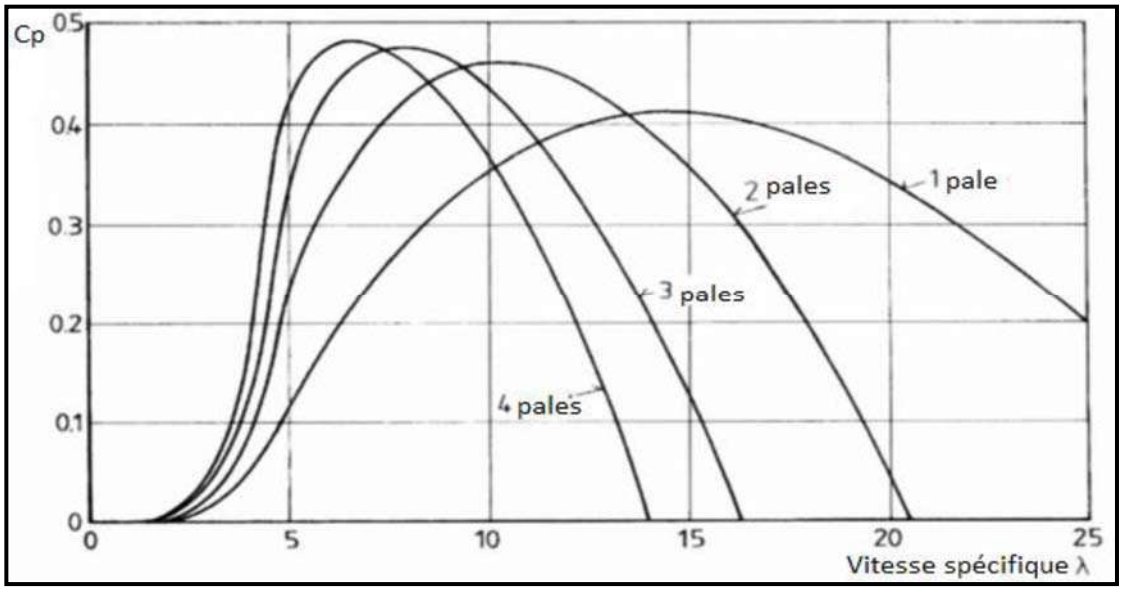


Figure III-10 : *Caractéristique coefficient de puissance/vitesse spécifique de vitesse pour différents angles d'inclinaison des pales*

La courbe spécifique possède une forme en cloche. Plus la caractéristique *Cp* (λ) sera en cloche, plus l'adaptation de la vitesse de rotation de l'éolienne par rapport à celle du vent sera nécessaire pour rester dans la zone optimale. Le sommet de cette courbe est équivalent à la puissance maximale « extractible » donc au point optimal. Il est caractérisé par la vitesse réduite optimale λ opt et le coefficient de puissance maximal *Cp* opt pour avoir un taux de production d'énergie non négligeable.

La valeur maximale de *Cp (Cp* =0.48) est obtenue pour β=0 et λ=8.1.
La caractéristique du coefficient de puissance varie avec l'angle d'orientation des pales (β) et le ratio de vitesse (λ). La relation (IV.18) montre qu'une petite variation de la vitesse du vent(V) induit une grande variation de la puissance générée.

2.2.2. La Courbe de puissance

Le rapport entre la vitesse du vent et la production de puissance électrique pour la turbine éolienne est représenté par la courbe de la puissance. Une courbe de la puissance idéalisée typique est montrée dans la figure III.11 La caractéristique de puissance en fonction de la vitesse du vent est alors évaluée.

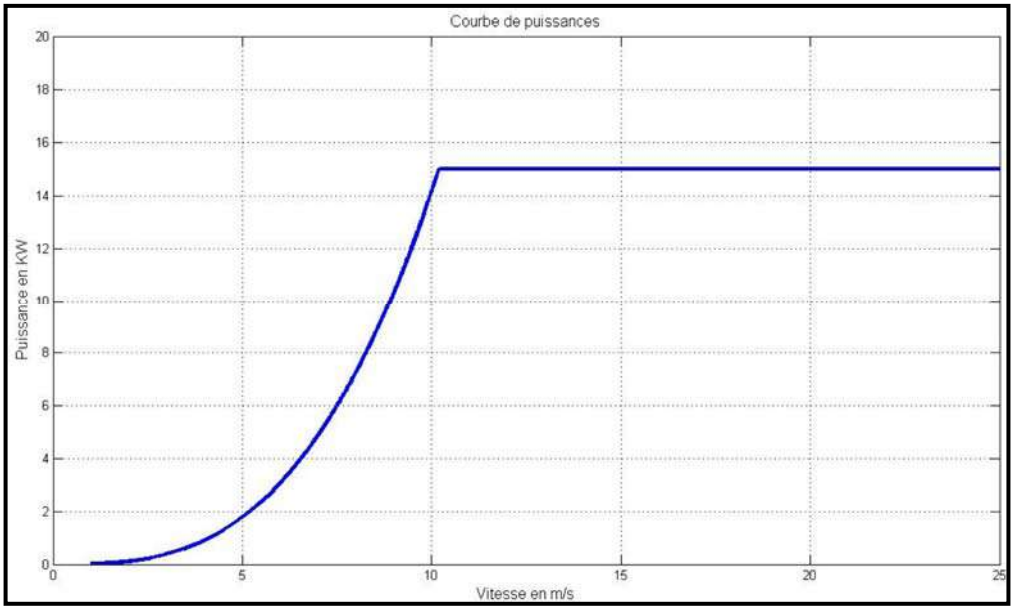


Figure II- 11 : *Courbe typique de puissance en fonction de la vitesse du vent*

2.2.3. Performances de la turbine éolienne

La turbine éolienne développe sur son arbre une puissance dénommée puissance nominale Pn. La puissance Pn est obtenue à partir d'une vitesse du vent vn, dénommée vitesse nominale. Lorsque la vitesse du vent est supérieure à vn la turbine éolienne doit modifier ses paramètres afin d'éviter la destruction mécanique, de sorte que sa vitesse de rotation reste pratiquement constante.

A côté de la vitesse nominale vn, on spécifie aussi :

- la vitesse de démarrage, vd, à partir de laquelle l'éolienne commence à fournir de l'énergie,
- la vitesse maximale du vent, vm, pour laquelle la turbine ne convertit plus l'énergie éolienne, pour des raisons de sûreté de fonctionnement.

2.2.4. Le modèle de système générateur éolien utilisé

La puissance extraite par un aérogénérateur éolien de puissance nominale *Pn* dépend de la vitesse du vent.

Dans la littérature, plusieurs modèles sont présentés pour simuler la caractéristique puissance-vitesse de l'aérogénérateur. Parmi ces modèles on trouve le modèle quadratique décrit par l'équation suivante:

$$P_{\text{éol}}(V_{\text{v}}) = \begin{cases} P_n \cdot \frac{{V_v}^2 - {V_d}^2}{{V_v}^2 - {V_d}^2} & V_d < V_v < V_n \\ P_n & V_n < V_v < V_c \\ 0 & V_v \leq V_d \quad et \quad V_v \geq V_c \end{cases} \quad \text{..... (III.17)}$$

où *Pn* est la puissance électrique nominale, *V v* est la vitesse du vent à la hauteur du moyeu *Vd* : vitesse de démarrage, *Vn* vitesse nominale définie comme la vitesse pour laquelle la puissance produite par l'aérogénérateur est maximale, *Vc* vitesse d'arrêt spécifiques. Extrapolation de la vitesse En effectuant la caractérisation d'un site éolien, il est impératif de connaître la hauteur sur laquelle les mesures sont prises et ensuite adapter les résultats à la hauteur de mat de l'éolienne. En effet, la vitesse du vent augmente selon la hauteur. La méthode

la plus utilisée pour l'extrapolation de ces vitesses à une hauteur différente de celle de mesure est celle utilisant la loi de puissance qui est définie par l'expression (III-18)

$$V(H) = V(H_m)\left(\frac{H}{H_m}\right)^{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.18)}$$

Où : H est la hauteur à laquelle le vent est estimé (hauteur du moyen de l'éolienne),

Hm est la hauteur des appareils de mesure (généralement 10 m).

V(Hm) et V(H) sont respectivement la vitesse du vent à la hauteur des mesures et la vitesse du vent à la hauteur H.

α : est un facteur empirique exprimant les influences de la rugosité de la surface et de la stabilité atmosphérique. On prend α = 0,14.

2.3. Modélisation de la batterie

Les paramètres électriques suivants sont employés pour caractériser une batterie :

- ✓ La capacité nominale *C*batmax est le nombre maximal d'ampères-heures (Ah) qui peut être extraite de la batterie, dans des conditions de décharge prédéterminées.
- ✓ L'état de charge SOC (State of charge) à l'instant *t* est le rapport entre la capacité présente et la capacité nominale à l'instant *t* : *SOC(t) = Cbat(t)/Cbatmax(t)* ($0 \leq SOC \leq 1$). Si *SOC* = 1, la batterie est totalement chargée. Si *SOC* = 0, la batterie est totalement déchargée.
- ✓ Le régime de charge (ou décharge) est le paramètre qui reflète le rapport entre la capacité nominale d'une batterie et le courant auquel celle-ci est chargée (ou déchargée).

Dans le but de prévenir les décharges profondes la charge de l'accumulateur est maintenue dans une certaine plage. Cette plage est définie par :

$$C_{batmin}(t) \leq C_{bat}(t) \leq C_{batmax}(t) \ldots\ldots\ldots \text{(III.19)}$$

avec

$$C_{batmin} = DOD.C_{bat} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(III.20)}$$

DOD est la profondeur de décharge de la batterie, pris égal à 0.5.

Les processus de charge et de décharge de la batterie sont donnés respectivement par :

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) + ((\,p_{tot}(t) - P_{cha}(t)) + P_{ge}(t))\eta_{ac/dc}\eta_{cha}\Delta t \ldots \text{(III.21)}$$

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) + (\,p_{tot}(t) - P_{cha}(t))\Delta t/\eta_{dc/ac}\eta_{decha} \quad \text{(III.22)}$$

Où :

- ✓ cha: est le rendement pendant le processus de la charge de la batterie
- ✓ : est le rendement pendant le processus de la décharge de la charge

Cbat (t) est la capacité Cbat de la batterie à l'instant t

Cbat (t-1) est la capacité Cbat de la batterie à l'instant t-1 (le pas de temps est considéré égal à 1 heure).

Lorsque t=0, Cbat (t-1) est la capacité initiale de la batterie.

2.4. Modélisation du groupe électrogène

Un groupe électrogène résulte de l'association d'un moteur thermique et d'une génératrice électrique, le plus souvent de type synchrone. Bien que le type de carburant diffère selon les groupes, nous nous limiterons ici aux groupes diesel.

Le modèle utilisé est un modèle linéaire : la consommation en carburant (en litres/h) est supposée croître linéairement avec la puissance utile demandée par la charge.

De façon à modéliser la consommation du groupe électrogène en fonction de la puissance électrique qui lui est demandée, nous nous sommes basés sur les données du constructeur, elles sont fournies par la société PERKINS. Les données de consommation sont exprimées en fonction du pourcentage de la puissance nominale du groupe électrogène (25% ,50%, 75%,100%). Ces données sont représentées sur le tableau II-6.

3. Architecture de l'installation étudiée

La finalité de ce travail est d'évaluer les performances du système hybride .Nous avons donc étudié un système complet composé :

- ✓ d'un générateur photovoltaïque comme source d'énergie renouvelable
- ✓ d'un générateur éolien comme source d'énergie renouvelable

- ✓ d'une charge simulant la consommation de l'utilisateur final
- ✓ d'un bus alternatif
- ✓ de convertisseurs permettant d'ajuster les tensions à celles du bus alternatif
- ✓ d'une unité de stockage d'énergie constituée de pack batteries
- ✓ d'un générateur diesel.

Tous les composants du système exceptée la charge sont connectés à un bus alternatif via des convertisseurs (CC/CA pour le champ PV et l'éolienne et bidirectionnel pour le pack batterie).

Pour la gestion du système on considère l'algorithme réalisé sur le bus AC.

On calcule les puissances de chaque composant sur ce bus illustré sur le schéma du l'installation étudié (figure III- 12).

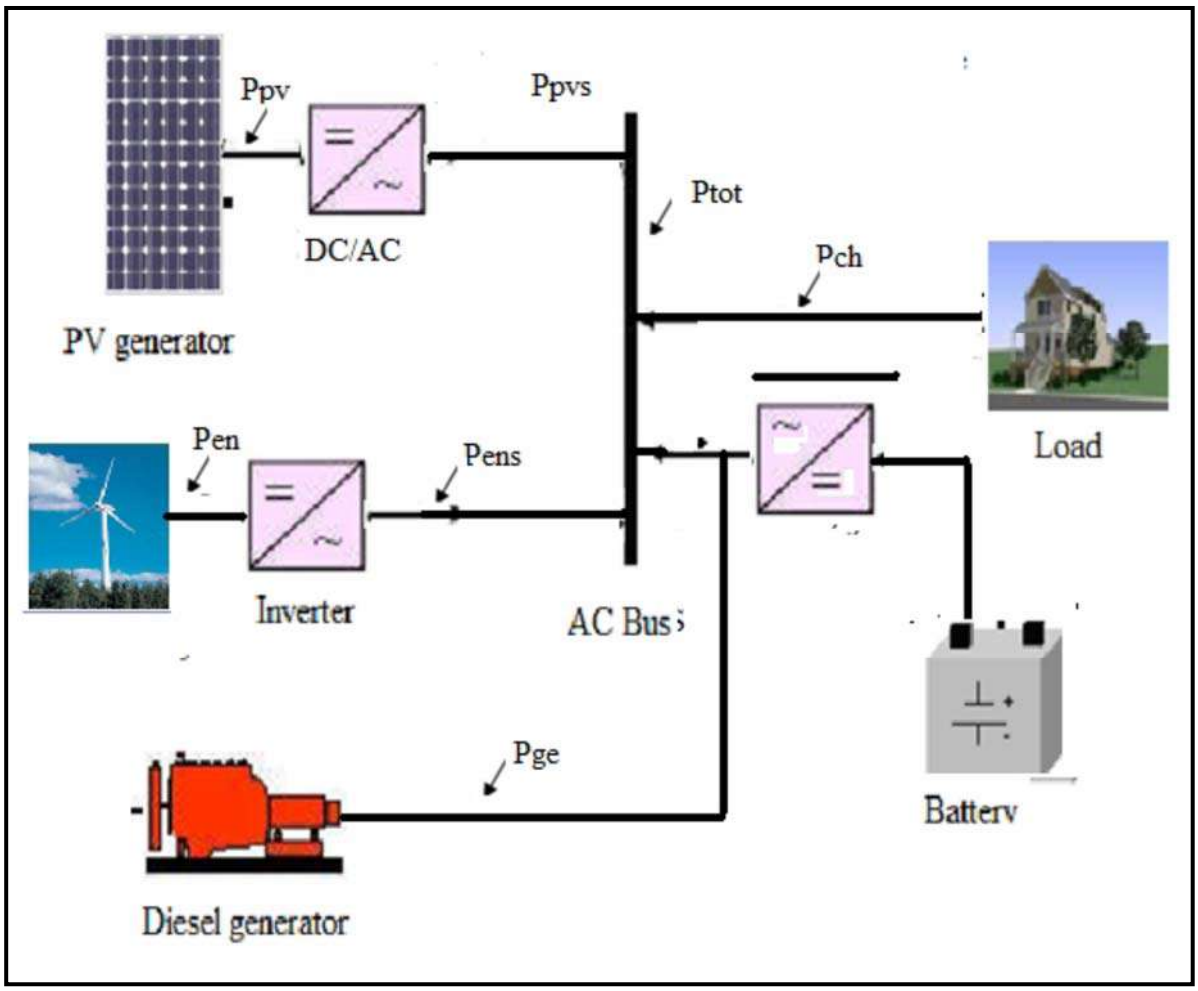


Figure III-12 : *Architecture du système étudié*

4. Stratégie de fonctionnement et de gestion du flux d'énergie

Le fonctionnement du micro-réseau peut être décrit ainsi:

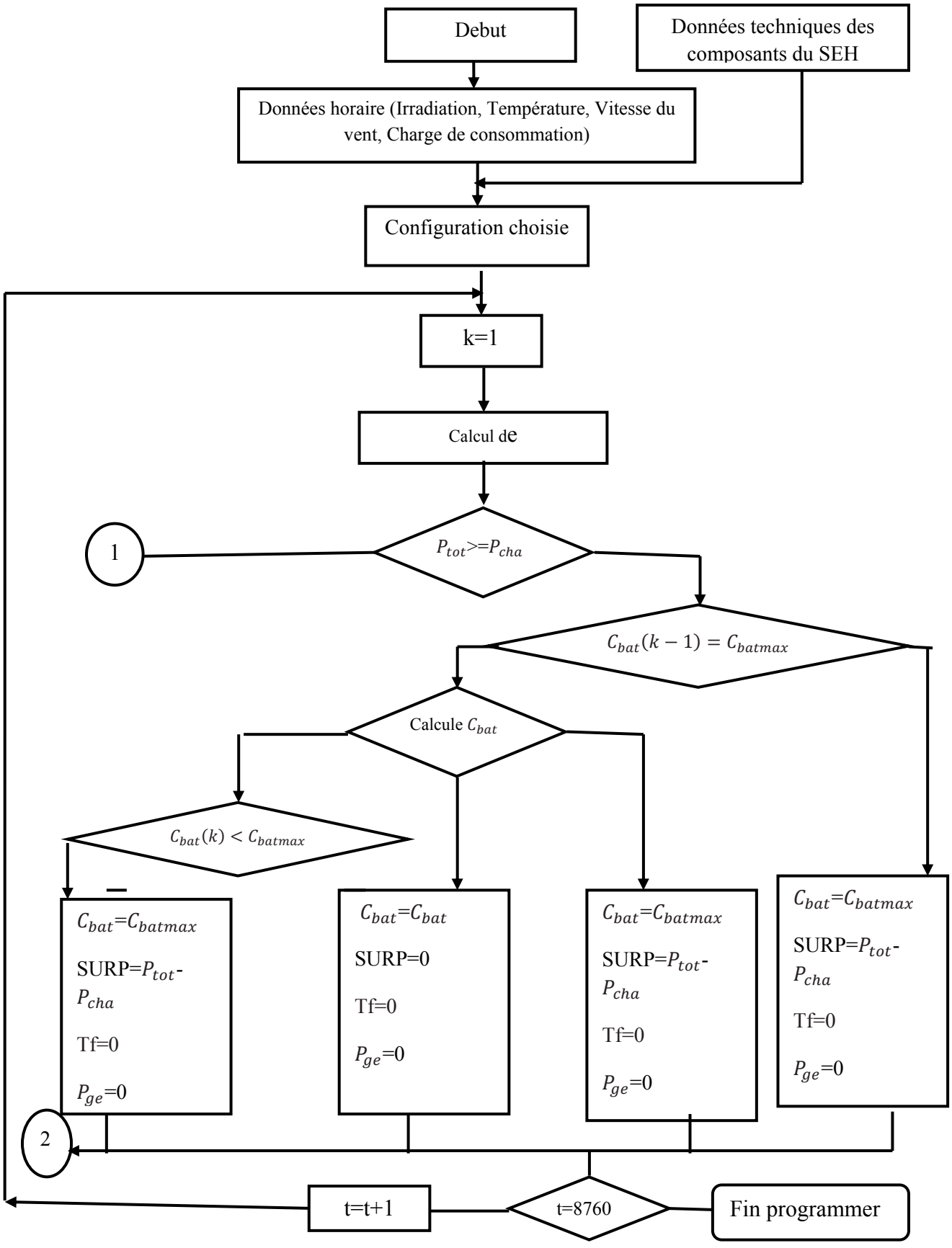
- Si la puissance totale produite par les ressources renouvelables (PV et éolienne), Ptotest supérieure à la demande (Pch), le surplus de puissance ΔP (Ptot - Pch) est stocké dans les batteries et le nouvel état de charge (SOC) du banc de batteries est calculé. Si les batteries sont complètement chargées (SOC = 90%) et que Ptot est toujours supérieure à Pch, le surplus d'énergie est dissipé (à travers une résistance par exemple) ou injecté dans le réseau si l'unité dispose d'un raccordement.

- Si la puissance Ptot est inférieure Pch et que l'état de charge (SOC) est suffisant, le déficit de puissance est comblé par la décharge des batteries et le nouvel SOC est calculé.

Dans le cas où la puissance au niveau du bus continu est égale à la puissance fournie par les sources d'énergie, les batteries ne sont pas sollicitées et l'état de charge du banc de batteries reste inchangé.

5. Algorithme de gestion d'énergie

Nous présentons sur la figure IV-14 l'organigramme relatif au programme MATLAB, l'algorithme de gestion d'énergie pour le Système hybride


Debut
Données techniques des composants du SEH
Données horaire (Irradiation, Température, Vitesse du vent, Charge de consommation)
Configuration choisie
k=1
Calcul de
1
P_{tot}>=P_{cha}
$C_{bat}(k-1) = C_{batmax}$
Calcule C_{bat}
$C_{bat}(k) < C_{batmax}$
C_{bat}=C_{batmax}
SURP=P_{tot}-P_{cha}
Tf=0
P_{ge}=0
C_{bat}=C_{bat}
SURP=0
Tf=0
P_{ge}=0
C_{bat}=C_{batmax}
SURP=P_{tot}-P_{cha}
Tf=0
P_{ge}=0
C_{bat}=C_{batmax}
SURP=P_{tot}-P_{cha}
Tf=0
P_{ge}=0
2
t=t+1
t=8760
Fin programmer

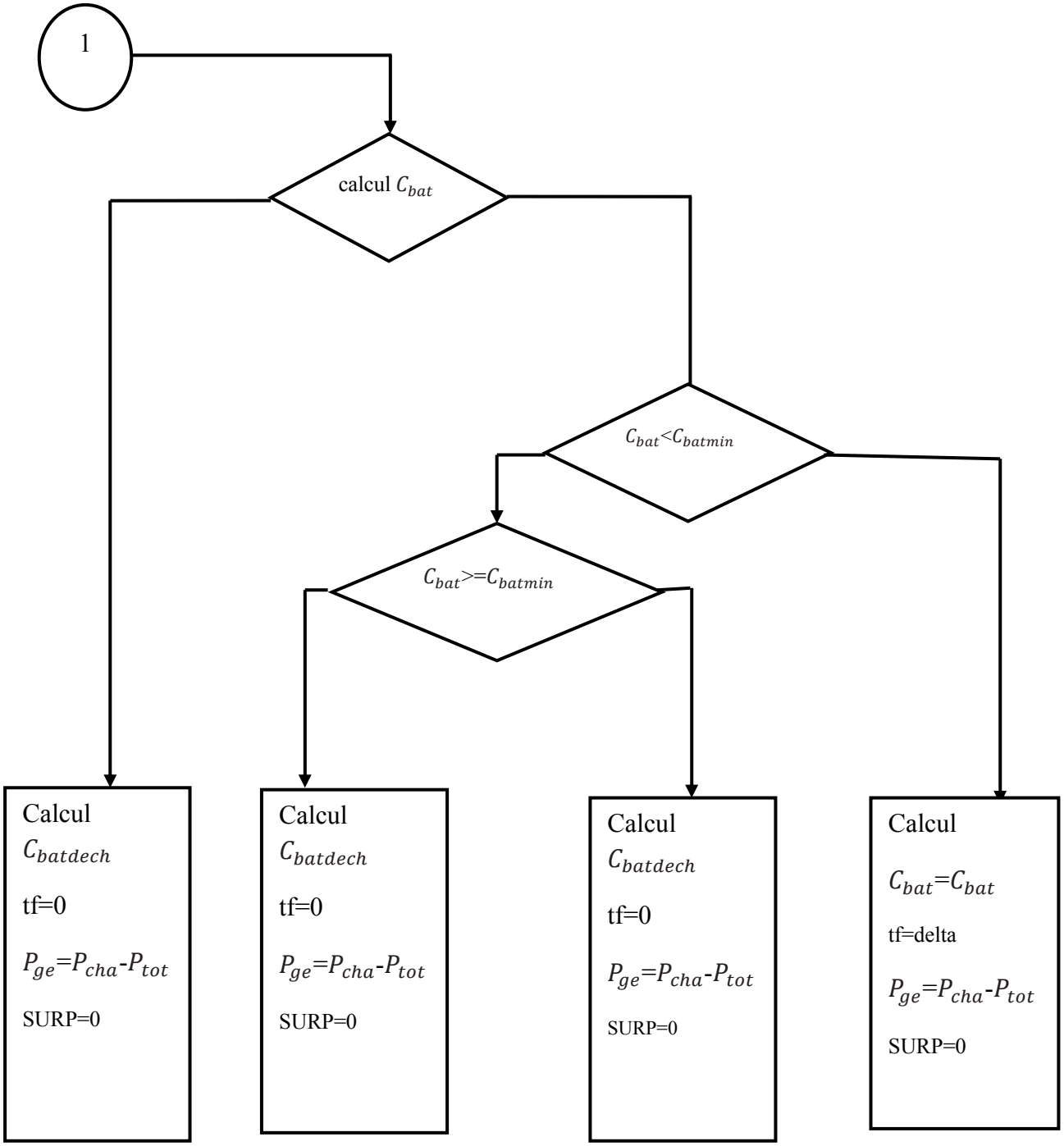


Figure IV-14**:** Organigramme de calcul

5.Conclusion

La première approche préconisée dans le cadre de nos simulations est de suivre L'évolution des caractéristiques électriques des deux générateurs renouvelables PV et éolien composant le système. Les propriétés physiques de ces composants sont le plus souvent exprimées sous forme de courbes caractéristiques. Ainsi, on connaît les courbes I= f(V) des capteurs solaires photovoltaïques et la courbe de puissance de l'éolienne. Les données visualisées par de telles courbes servent alors à préciser les performances énergétiques du composant en question et permettent leur comparaison avec d'autres composants ou références.

CHAPITRE IV : RESULTATS DE SIMULATION ET DISCUSSIONS

1. Introduction

Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement et leur prix de revient vraiment attractif.

Cependant, ces solutions exigent un dimensionnement laborieux préalable basé sur une connaissance approfondie du gisement en Energies Renouvelables du site d'implantation à l'amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval et un savoir-faire que seule l'expérience dans l'ingénierie des systèmes énergétiques pourra assurer. Cette gestion rigoureuse de l'énergie s'appuie sur l'intelligence des dispositifs de régulation et de contrôle

2. Résultats de simulation et discussion

Pour l'installation étudiée, l'environnement Matlab permet la représentation graphiques des résultats, il fournit tous les paramètres de fonctionnement des composants et de l'ensemble de l'installation étudiée (la fraction de l'énergie renouvelable, l'énergie totale produite et la consommation, l'excès …).

Les résultats ainsi générés sont traités à travers la mise en place de critères de comparaison et d'indices de performances bien définis. Le traitement de ces résultats nous permet de déterminer dans quelles conditions le système est rentable lors de son fonctionnement. Ainsi, ils peuvent rapidement nous livrer les conclusions relatives à l'utilisation du SEH. C'est précisément l'objet de ce travail.

2.1. Variation du vent

Une simulation est réalisée pour tester l'efficacité de la stratégie de fonctionnement de l'éolienne et de poursuivre sa puissance de sortie.

Le profil de vent utilisé pour cette simulation est présenté dans la figure IV-1. La figure illustre le profil pour un jour.

Cette courbe représente la vitesse journalière sur un jour. En 2015, des relevés effectués sur le même site nous donnent les vitesses de vent à 20m du sol.

Pour évaluer le potentiel éolien du site, des mesures de vitesses du vent ont été prises sur site durant l'année 2015, avec un intervalle de 1 heure (24 mesures par jour).

Etant donné que le potentiel de puissance éolienne est à peu près proportionnel au cube de la vitesse du vent. Il faudrait donc raffiner l'information sur la vitesse du vent en fonction du degré de précision requis.

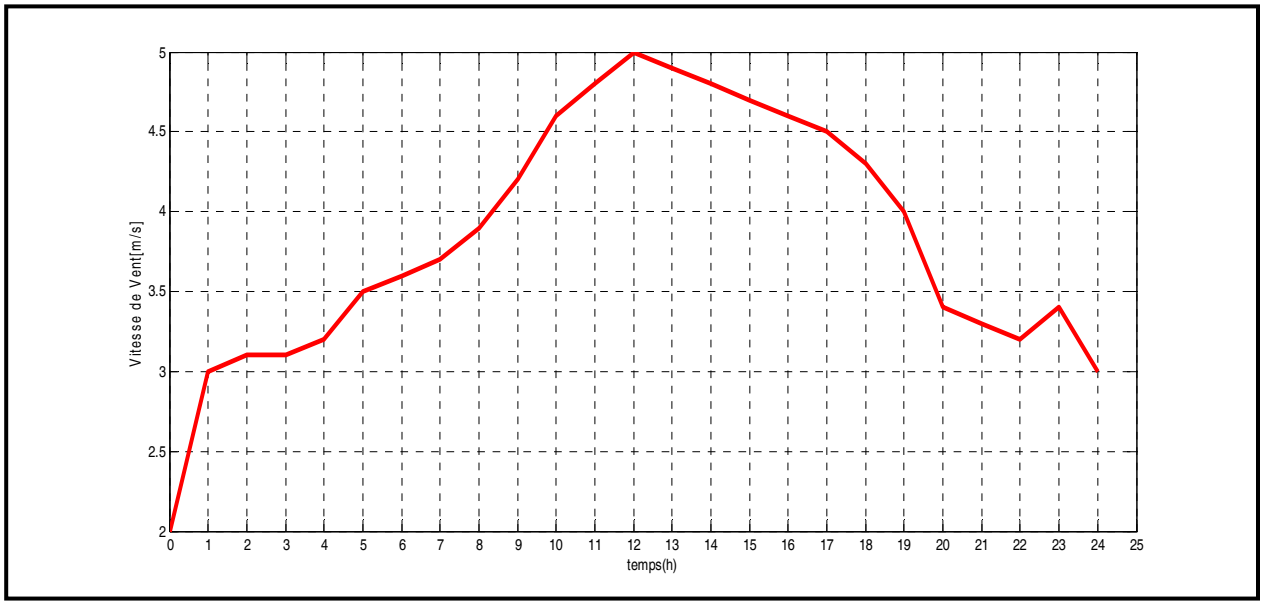


Figure IV-1- : *Évolution de la vitesse du vent sur un jour.*

2.2. Variation d'irradiation

Pour tester l'efficacité de l'algorithme utilisé dans le système de conversion Photovoltaïque nous avons utilisé un profil journalier (24 mesures par jour) d'irradiation solaire globale (en W/m^2), par pas de temps d'une heure. La figure III-2 présente les variations de l'irradiation solaire en fonction de temps pour un jour, Tindouf.

2.2.1. Irradiation (*diffus real.sky*) ciel nuageux

La figure IV-2 présente les variations de l'irradiation solaire en fonction de temps pour un jour, Tindouf.(ciel nuageux)

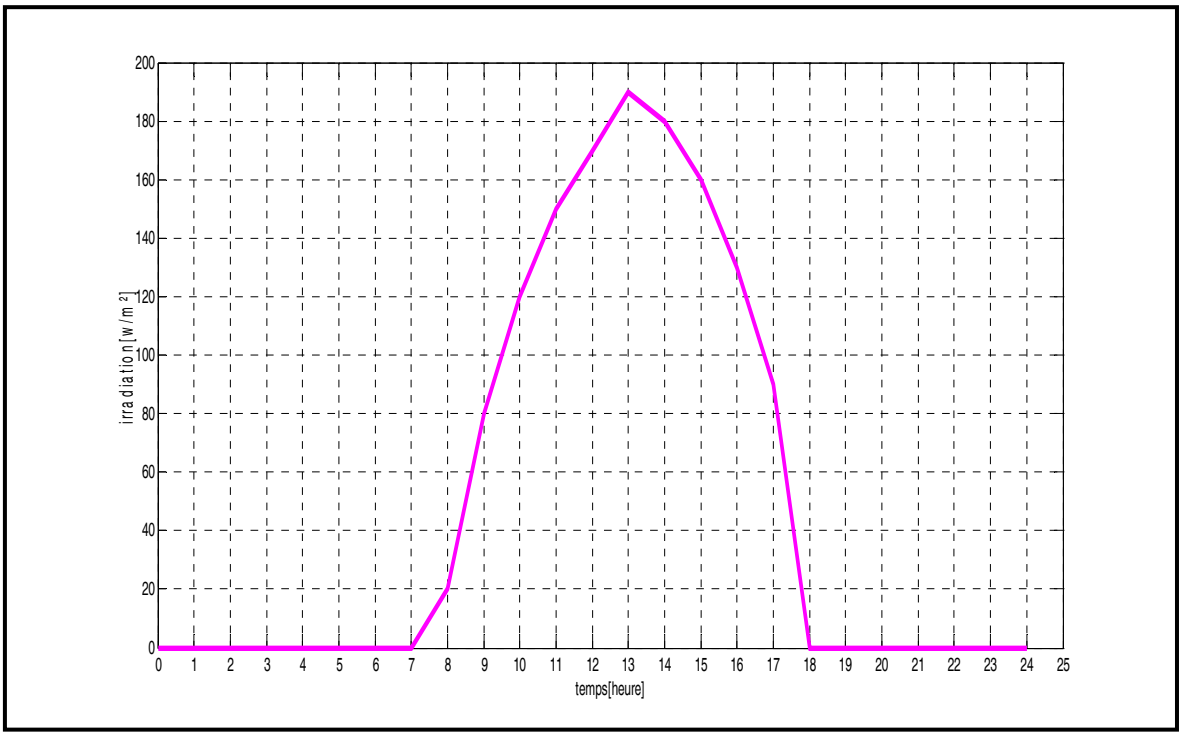


Figure IV-2 : Évolution journalier des irradiations solaires (*diffus real.sky*) horaire pour le site Tindouf

2.2.2. Irradiation (globale real .sky)

La figure IV-3 présente les variations de l'irradiation solaire en fonction de temps pour un jour, Tindouf.(ciel réel)

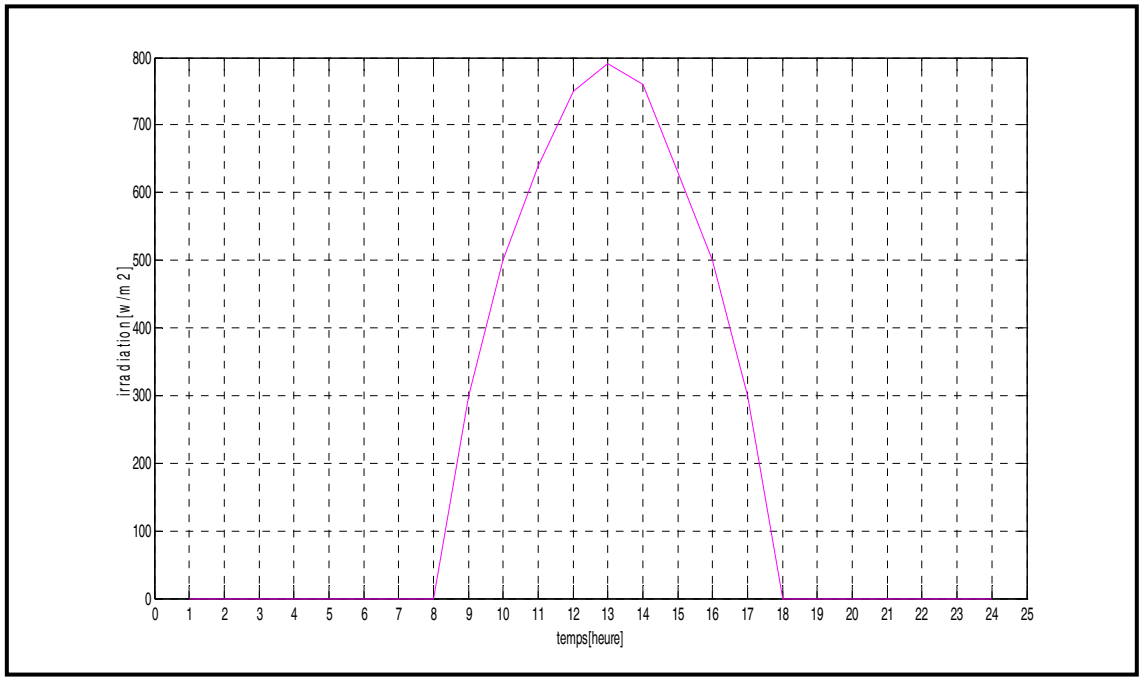


Figure II-3 : Évolution journalier des irradiations solaires (globale real.sky) horaire pour le site Tindouf

2.2.3. Irradiation (global clear.sky)

La figure IV-4 présente les variations de l'irradiation solaire en fonction de temps pour un jour, Tindouf.(ciel clear.sky)

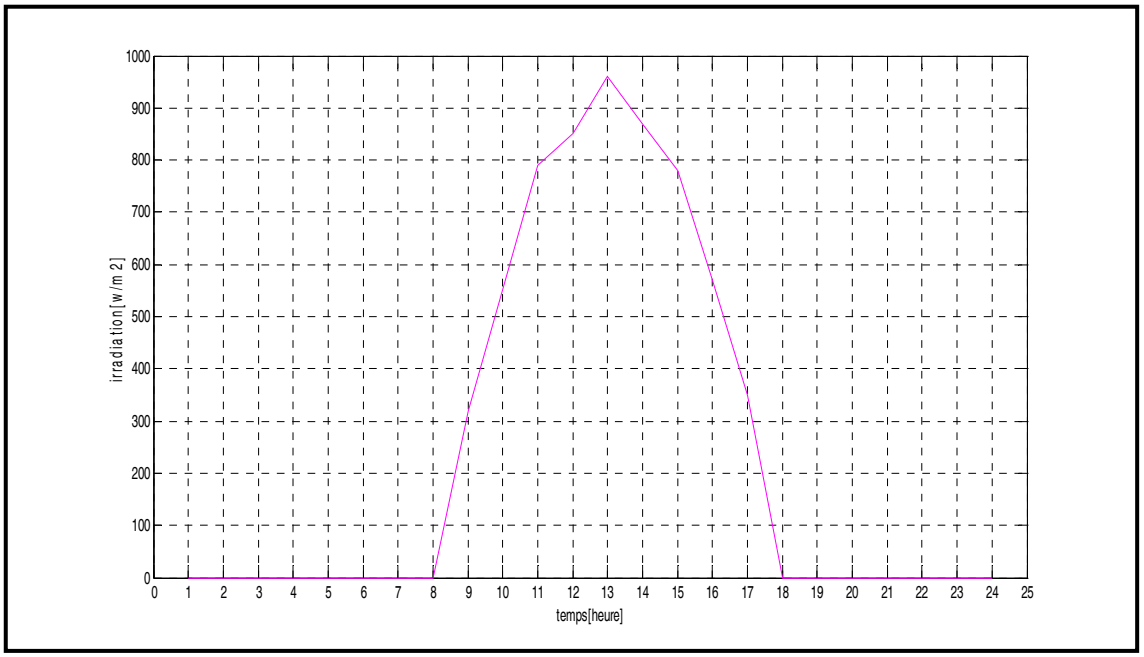


***Figure II-4**: Évolution journalier des irradiations solaires (global clear.sky) horaire pour le site Tindouf*

2.2. Caractérisation de la charge et Prédétermination du profil énergétique de la Demande

C'est une description de la demande d'électricité (alimentation d'un village isolé). Elle inclue l'éclairage, le fonctionnement des appareils électriques (réfrigération, ordinateurs, téléviseurs…). Le site compte 24000 personnes, avec une consommation estimée à 0.26 kWh/jour et par personne, ce qui donne une consommation journalière de 6240 kWh/j, ce qui donne une puissance moyenne journalière de 54 ,729kW, qui n'est pas constante durant toute la journée. La distribution journalière de cette charge est représentée par Figure IV-***3*** ci-dessous

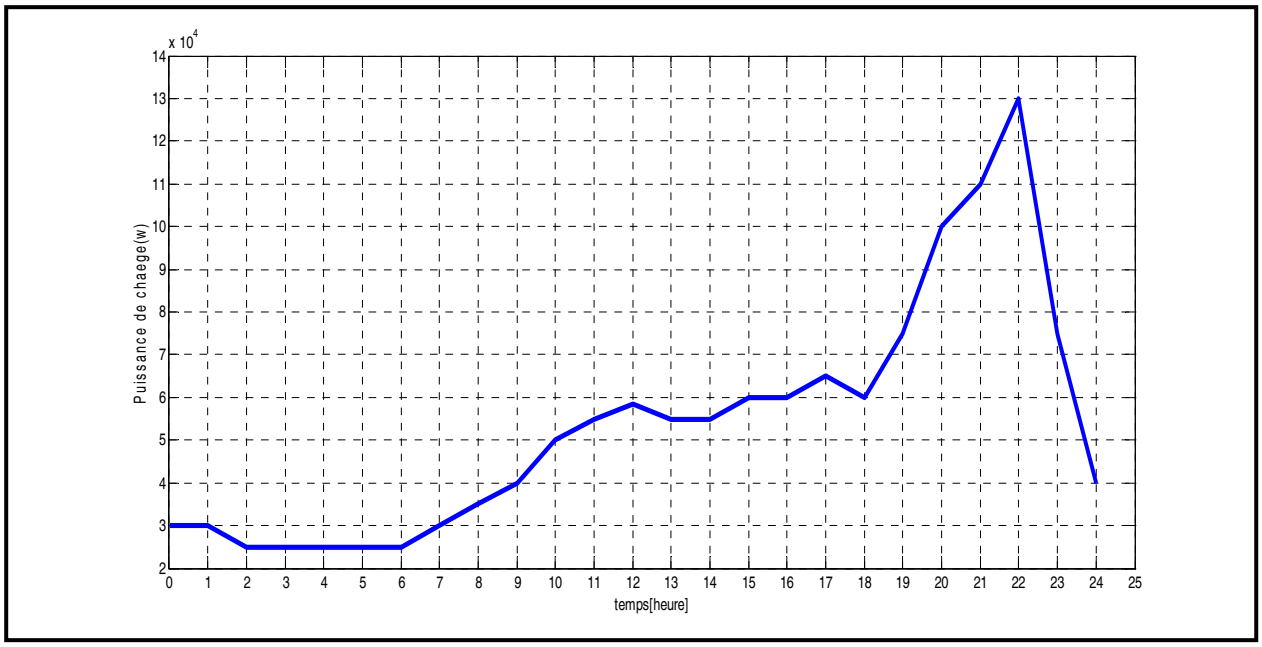


Figure IV-5*: illustration du profil de charge pour un jour*

Les besoins en énergie des populations La figure IV.5 représente la puissance demandée

pour 24h de fonctionnement

On remarque que le profil de consommation a généralement la même tendance d'évolution

Journalière. Il y a un creux de consommation la nuit entre 0h et 7h et un pic de Consommation, le soir entre 18h et 22h.

La courbe représentative de la charge totale illustrée dans la Figure-IV.5 peut être décomposée en trois zones :

- 1er zone : Entre minuit et 7h du matin, cette période est caractérisée par un minimum de consommation journalière (période de nuit),
- 2ème zone : Entre 7h et 18h du soir, pendant cette durée la consommation est moyenne et est relativement constante.
- 3ème zone : Entre 18h et minuit, c'est la période de consommation maximale, elle inclue l'heure de pointe (le pic). Tous les éléments de l'installation doivent être dimensionnés par rapport à la valeur de ce pic, qui est de 130 kW entre 22 h et 23h.

3. Indices de performance du système étudié

Pour les systèmes hybrides ayant une puissance en dessous de (150kW, la connexion bus AC, avec une batterie de stockage, est très répandue.

Le champ d'application des systèmes hybrides est très large dans une plage de 10 kW à 250 kW. C'un Micro réseaux isolés: alimentation d'un village isolé,

La distribution de la puissance produite par les générateurs PV et éolien et diesel relatif au système étudié et au site Tindouf

3.1. Puissance produite par le générateur PV

Après l'analyse des résultats obtenus pour la puissances journalières du PV, on remarque que la période de fonctionnement du PV est c'est environ entre 07h et 18h, soit 11 heures par jours ou a irradiation proportionnel a La production générateur PV , est nulle, ou très faible, aux périodes de consommation électrique (entre 19 h et 06 h) ne pas irradiation

3.1.1. La puissance produite a la générateur PV ciel *nuageux*

puissances journalières du PV, on remarque que la période de fonctionnement du PV est c'est environ entre 07h et 18h, soit 11 heures par jours ou a irradiation proportionnel a La production générateur PV , est nulle, ou très faible,

la puissance maximale produite a la générateur PV a jour seuil nuageux Ppv=95kw

La Figure IV-6 représente la puissance produite a la générateur PV a jour ciel nuageux

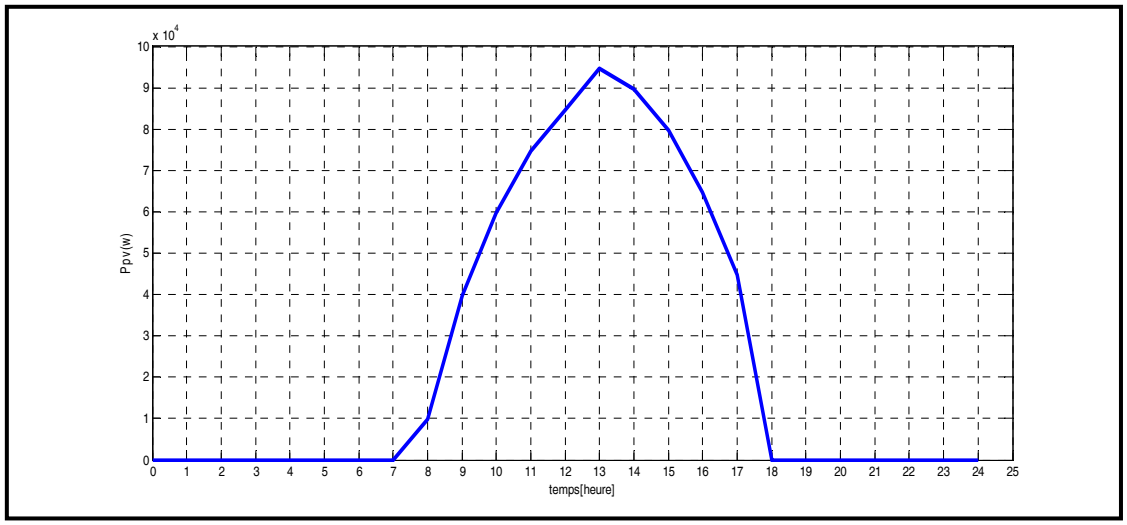


Figure IV-6 : *Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi (diffus real)*

3.1.2. La puissance produite a la générateur PV ciel clear

la puissance maximale produite a la générateur PV a jour seuil clear (Ppv=470kw)

La puissance élève parce que la irradiation augment (irradiation proportionnel a production Ppv)

La mayeur puissance produite a trois jour défirent

La Figure IV-7 représente la puissance produite a la générateur PV a jour ciel clear

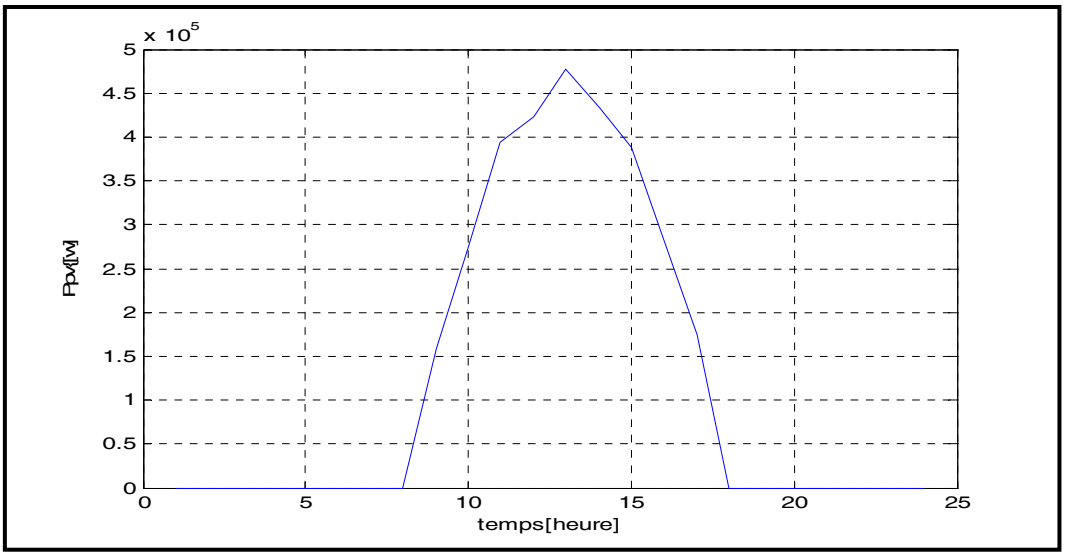


Figure IV-7 : Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi (Global clear)

3.1. 3.La puissance produite a la générateur PV ciel réel

la puissance maximale produite a la générateur PV a jour seuil réel (Ppv=380kw)

La Figure IV-8 représente la puissance produite a la générateur PV a jour ciel réel

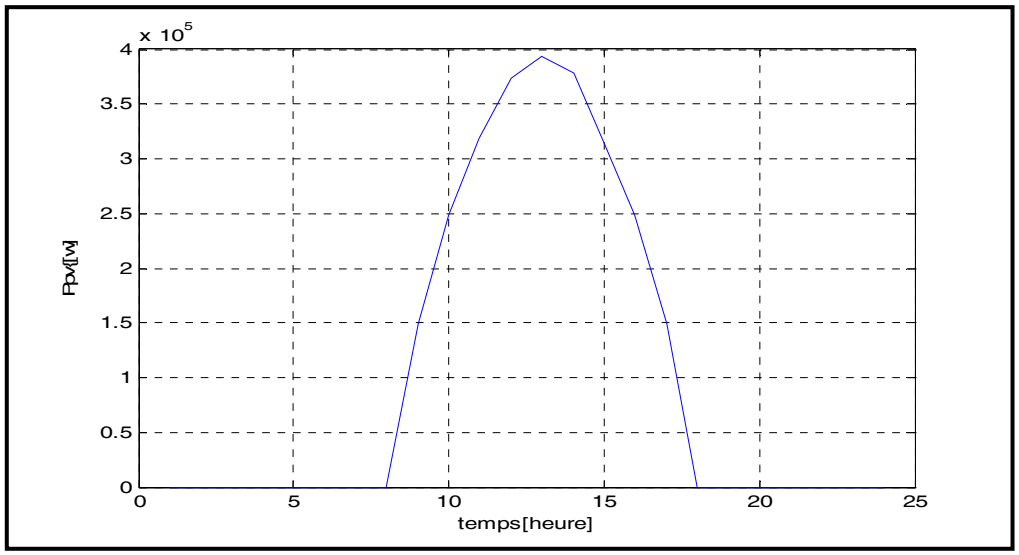


Figure IV-8 : *Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi (Global real)*

3.2. Puissance produite par le générateur éolien

On remarque que ces courbes sont très sembles avec celles qui représentent la distribution des vitesses moyennes journalières du vent. La Puissance éolien maximum 30KW a midi

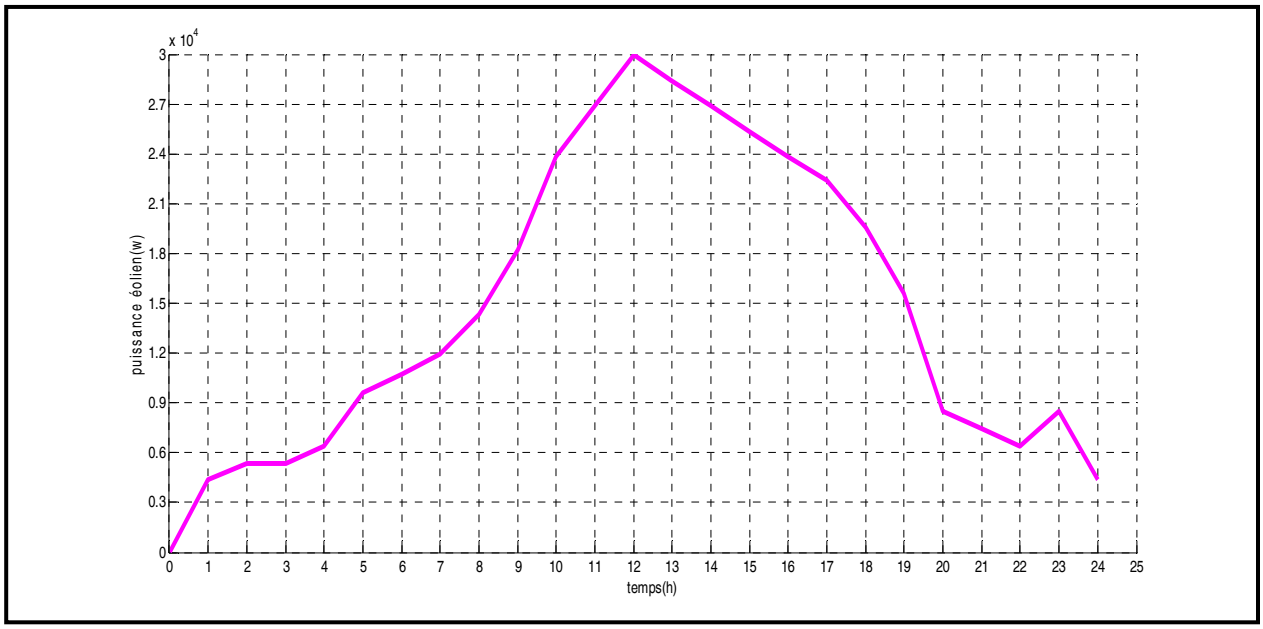


Figure IV-9 *: Distribution de la puissance produite par le générateur éolien dans le SEH relatif au site Tindouf*

3.3. Puissance produite par le générateur diesel

A partir de ces courbes, on remarque que le profil des puissances journalières du DG sont mais à des valeurs différentes. Ils sont caractérisés par deux minimums (production faible ou nulle) Le premier minimum, qui correspond à la période entre 01h et 09h du matin, représente une très faible production, un arrêt pour la période09h et 17h '(nulle). Il charge électrique dans cette période (la nuit). Et troisième période 17h et 00h Production maximum Puissance de générateur 120 KW

Le diesel est donc utilisé pour combler le manque et pour recharger les batteries.

Cette période de la journée correspond à la charge électrique maximale (heure de pointe)

Pge max=125kw

La Figure IV-10 représente la puissance produite a la générateur diesel 24h

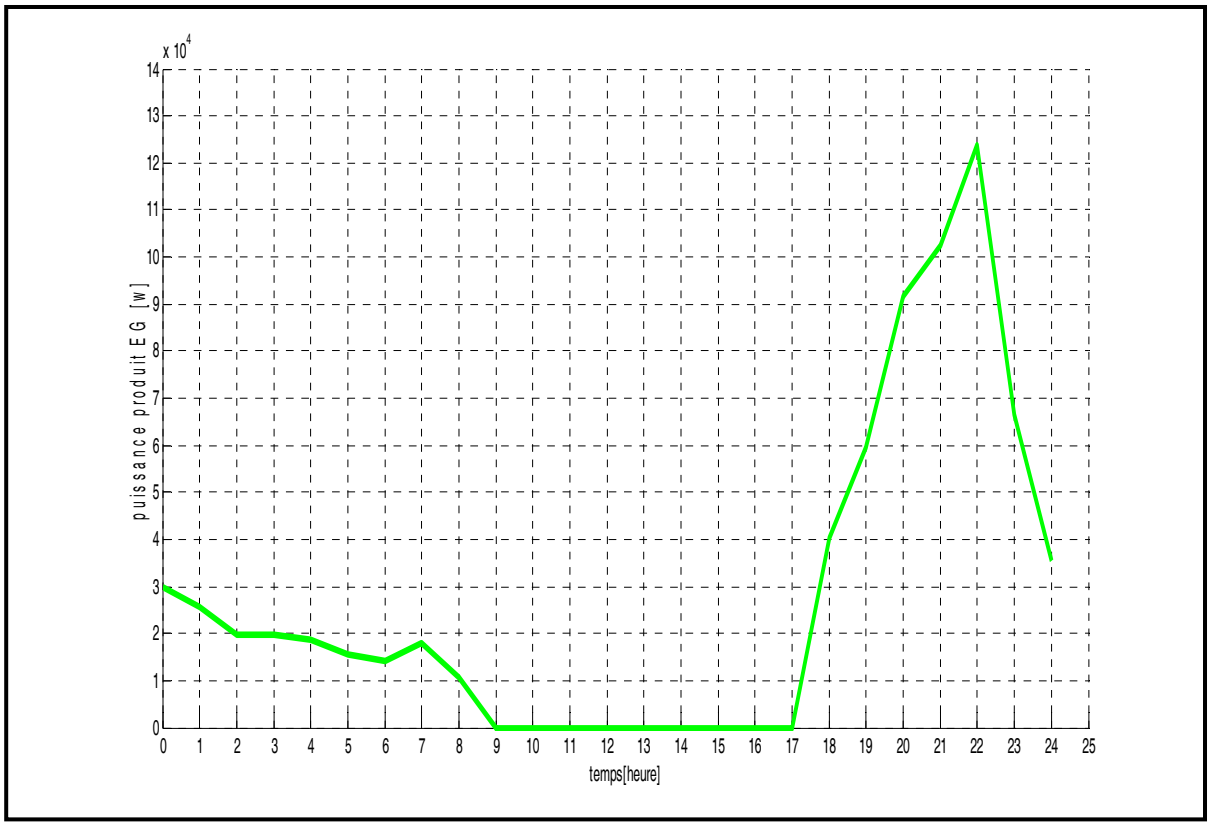


***Figure IV-10** : Distribution de la puissance produite par le générateur diesel*

Dans le SEH relatif au site Tindouf

3.3 .1 *Comparaison entre la puissance du générateur diesel et le surplus*

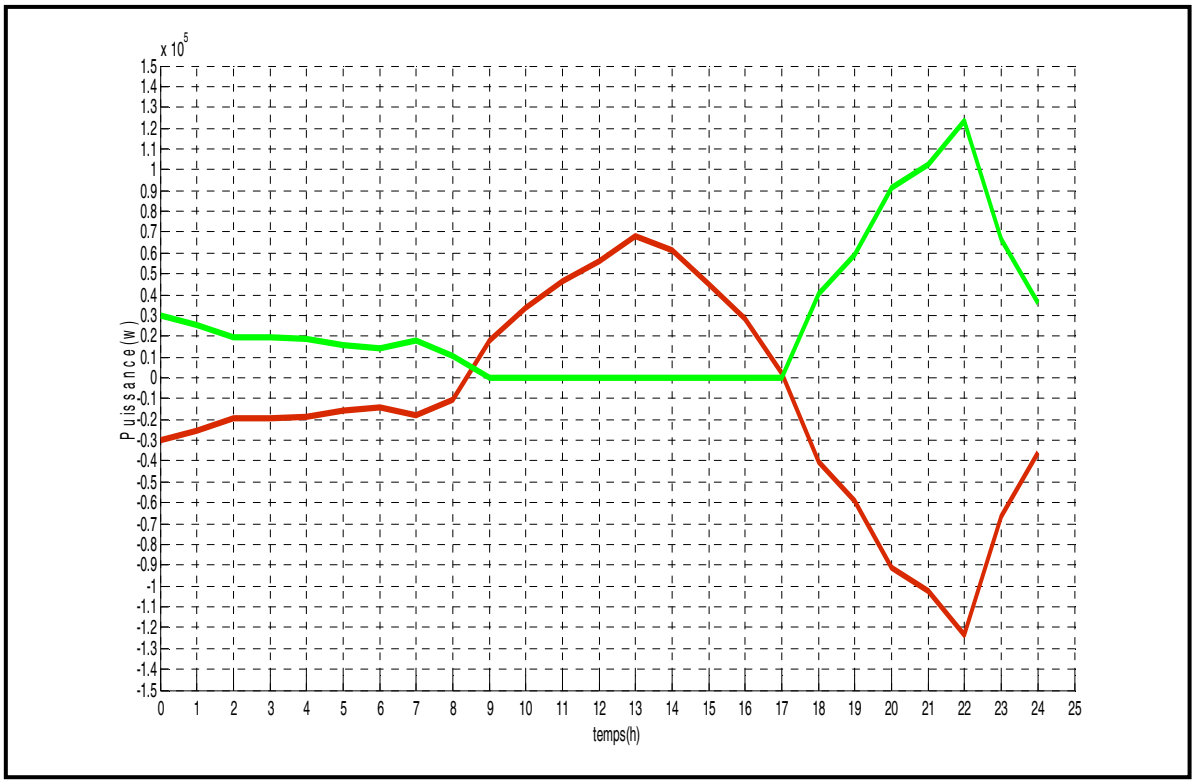


Figure IV-11 *: Evolution horaire du générateur diesel et le surplus*

3.4. La Puissance total

La puissance totale égale la somme entre puissance produite a la générateur photovoltaïque a la générateur éolien

On remarque que ces courbes avec la puissance générateur PV (Ppv=95kw) plus la puissance de générateur éolien (Peol=30kw) ,égale la puissance total (Ptot =125kw)

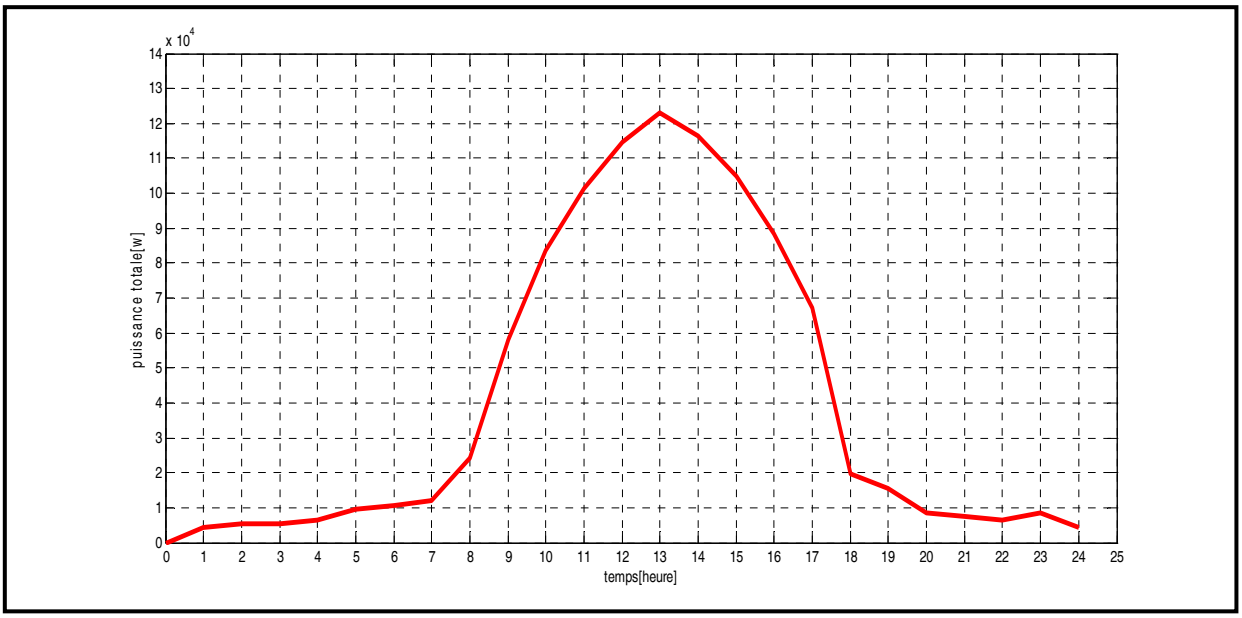


Figure IV-12 : *Evolution horaire* de la puissance total Dans le SEH relatif au site Tindouf

3.5. *Evolution horaire de la puissance à l'entrée de la batterie*

On voit via cette figure, que la batterie se charge durant la période de production photovoltaïque, ayant lieu entre 12h30 et 20h , la puissance de la batterie étant positive le long de cette période.

Le restant de la journée la batterie se décharge, et c'est elle qui couvre la demande, sa puissance dans ce cas est négative.

La décharge et la recharge de l'accumulateur sont imposées par le consommateur et les systèmes de production.

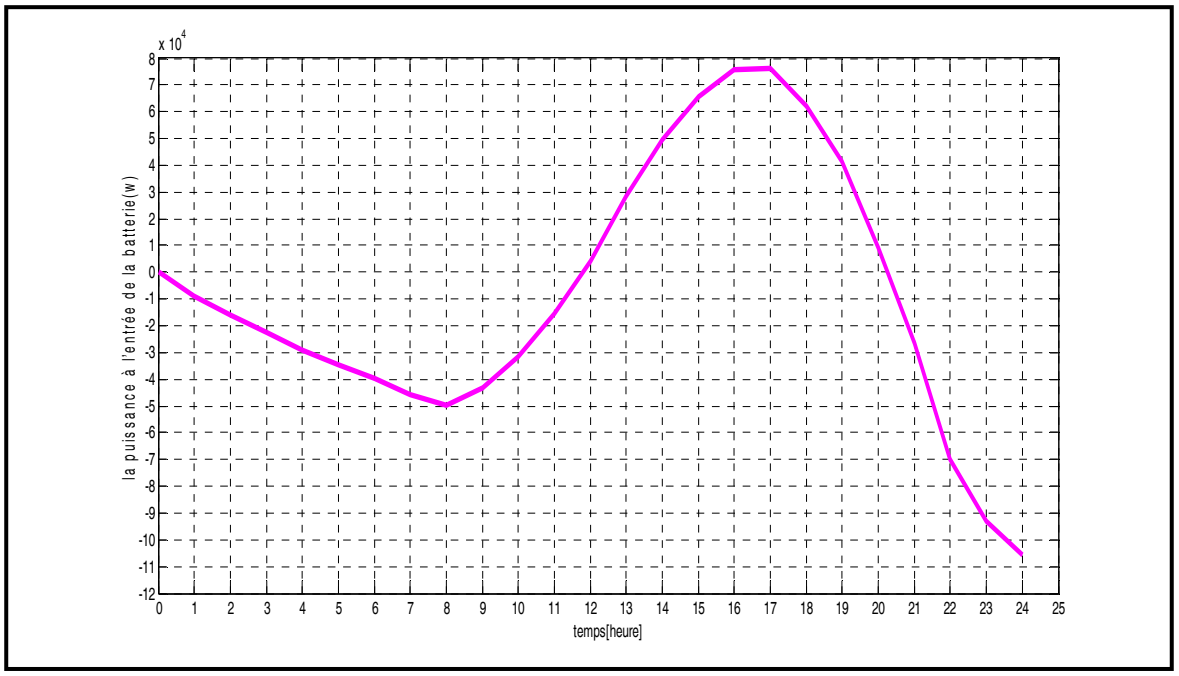


***Figure IV-13**: Evolution horaire de la puissance à l'entrée de la batterie,*

3.6 *Evolution horaire de la production Puissance totale et de la puissance à l'entrée de la batterie*

***Figure* .IV.14** représente l'évolution horaire, sur un jour du anis, de la production Ptot et de la puissance à l'entrée de la batterie

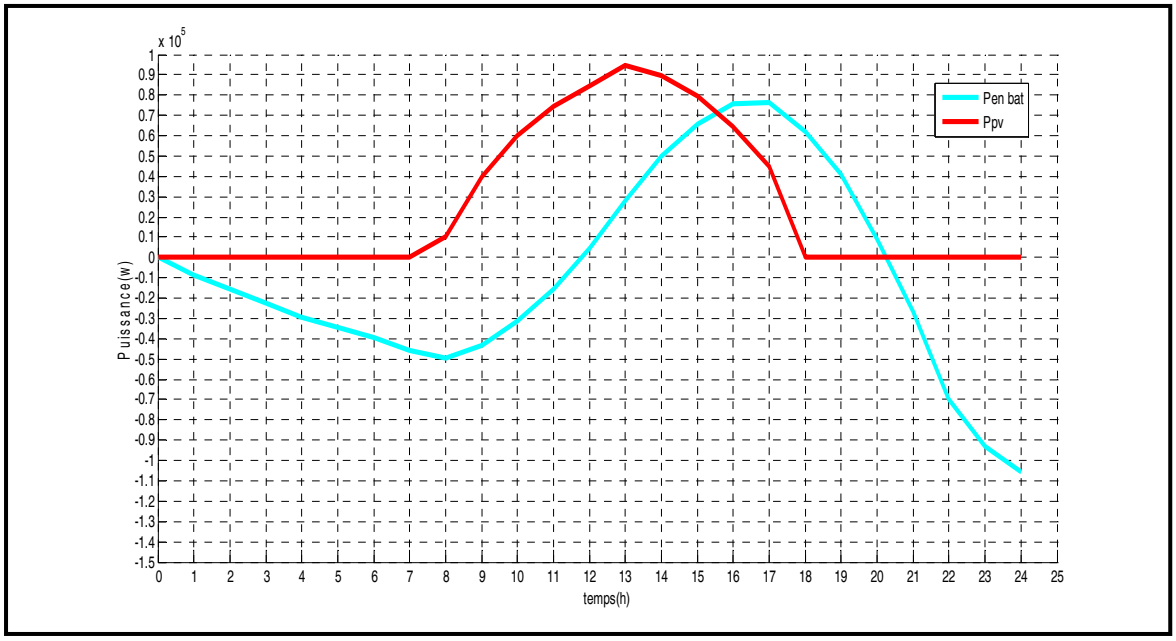


***Figure* .IV.14**: *Evolution horaire de la production Ptot et de la puissance à l'entrée de la batterie,*

On voit via cette figure, que la batterie se charge durant la période de production photovoltaïque, ayant lieu entre 12h30 et 20h , la puissance de la batterie étant positive le long de cette période.

Le restant de la journée la batterie se décharge, et c'est elle qui couvre la demande, sa puissance dans ce cas est négative.

La décharge et la recharge de l'accumulateur sont imposées par le consommateur et les systèmes de production

3.7. *Evolution horaire de l'Energie produite par les trois générateurs (PV, Eolien et diesel) et Puissance d'entre de batterie* sur une période d'un jour

Le premier pic de production à environ 8h du matin, est due à :

- Une augmentation de la charge électrique,
- Une très faible production (ou nulle) du PV à cette période de la journée,
- L'état de charge des batteries est minimal.
- Le diesel est donc utilisé pour combler le manque et pour recharger les batteries.
- Le second pic à lieu environ 21h, ce pic est justifié du fait que :
- Cette période de la journée correspond à la charge électrique maximale (heure de pointe), La production du PV est nulle

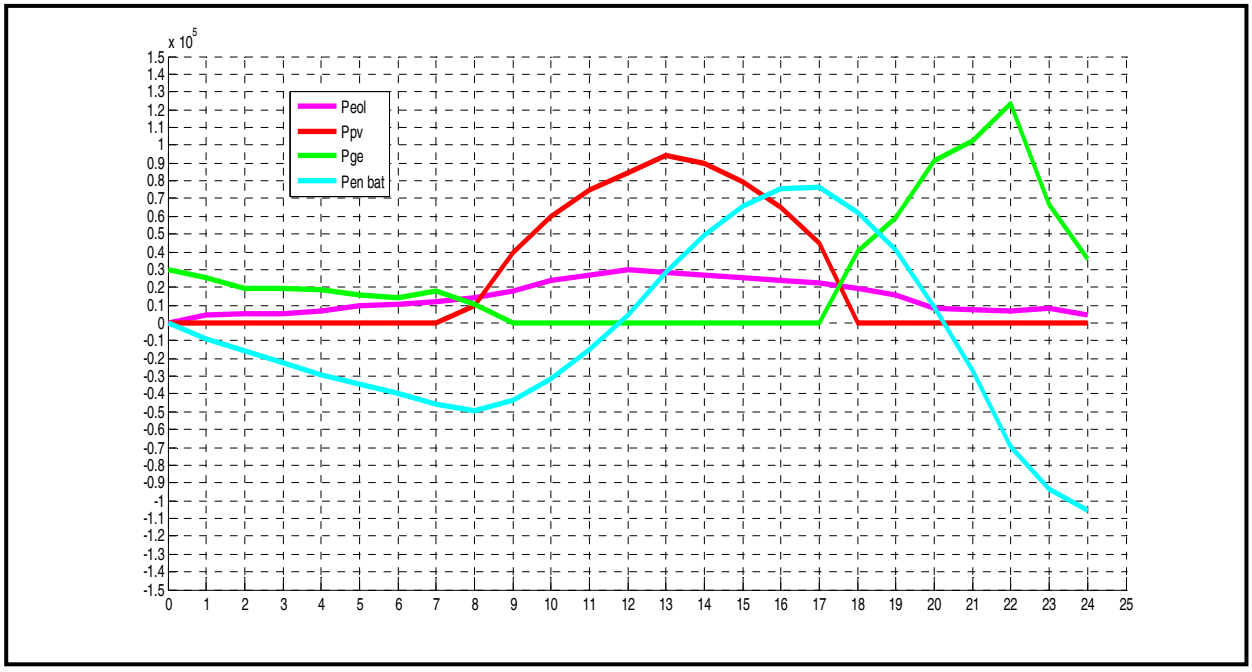


Figure V-15 : *Energie produite par les trois générateurs (PV, Eolien et diesel) et Puissance d'entre de batterie sur une période d'un jour*

4. Évolution des énergies échangées au niveau du bus AC

Les courbes sur les figures IV-16 représentent respectivement les profils en puissance tournelle Il s'agit d'énergie de la consommation et de l'énergie produite par les SEH (PV et éolien) ainsi que de l'énergie produite par le groupe diesel pour un jour de fonctionnement du système.

On remarque que de 00h00 à environ 08h00 heures, la production d'électricité consommée par l'utilisateur est entièrement assurée par le système de stockage (batteries), le générateur diesel est le générateur éolienne.

Aux alentours de 07h00 heures, le champ PV et l'éolienne prennent le relais de la production pendant environ une heure. En ce moment, le groupe diesel s'arrêts alimente la charge puis, sa production étant excédentaire, il commence alors à stocker une partie sous forme chimique en alimentant les batteries. Cette alimentation s'arrête aux environs de 18h00 heures. Vers 18 heures, la production du champ PV n'est plus excédentaire (l'ensoleillement n'étant plus suffisant ou la vitesse du vent faible ou les deux ne suffisent pas), le déficit en alimentation du système est par conséquent assuré par le système de stockage. Le générateur diesel est en démarre puisque les batteries contiennent la charge nécessaire au fonctionnement. Cet état dure jusqu'aux environs de 21 heures qui coïncide avec une consommation maximale journalière..

La figure en question fait apparaitre que le même fonctionnement journalier se répète pendant toute le jour . Ainsi, nous pouvons dire qu'aux premières heures de la journée ce sont les batteries qui assurent la sécurité d'approvisionnement des consommateurs sans interruption. Le groupe diesel quand a lui, il démarre quand l'état de charge des batteries est au dessous d'un certain seuil et devient faible. Pendant le fonctionnement du groupe diesel, il alimente directement les besoins énergétiques des charges et charge l'ensemble batteries simultanément. Une fois l'état de charge des batteries dépasse une certaine limite et le stockage des batteries devient important, le système reprend son fonctionnement normal.

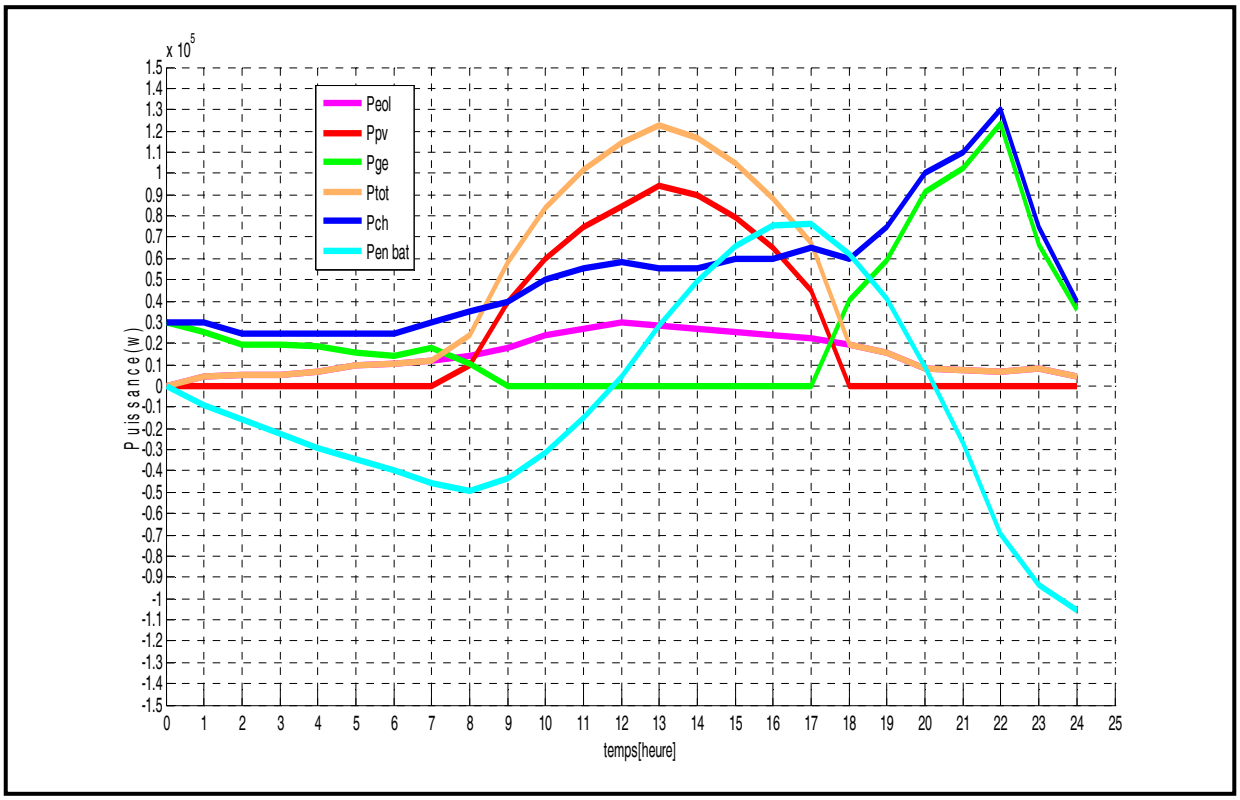


***Figure IV.16**: Evolution horaire de la puissance (Peol, Ppv, Pge ,Ptot ,Pch et Pen bat) Dans le SEH relatif au site Tindouf*

5. Comparaison entre la production et consommation d'énergie électrique

La production et la consommation d'énergie sur un jour sont détaillées dans le tableau IV-1

Tableau IV.1. Comparaison entre la production et consommation d'énergie électrique

Composant	Production (kW /j)
Eolienne	14.956
Surface PV	26.763
GD	27.997
PTotal	41.719
P ch	54.729
Ptooot	69.716
Pbat	14.997

Histogramme représente la comparaison entre de la puissance produire et consommée

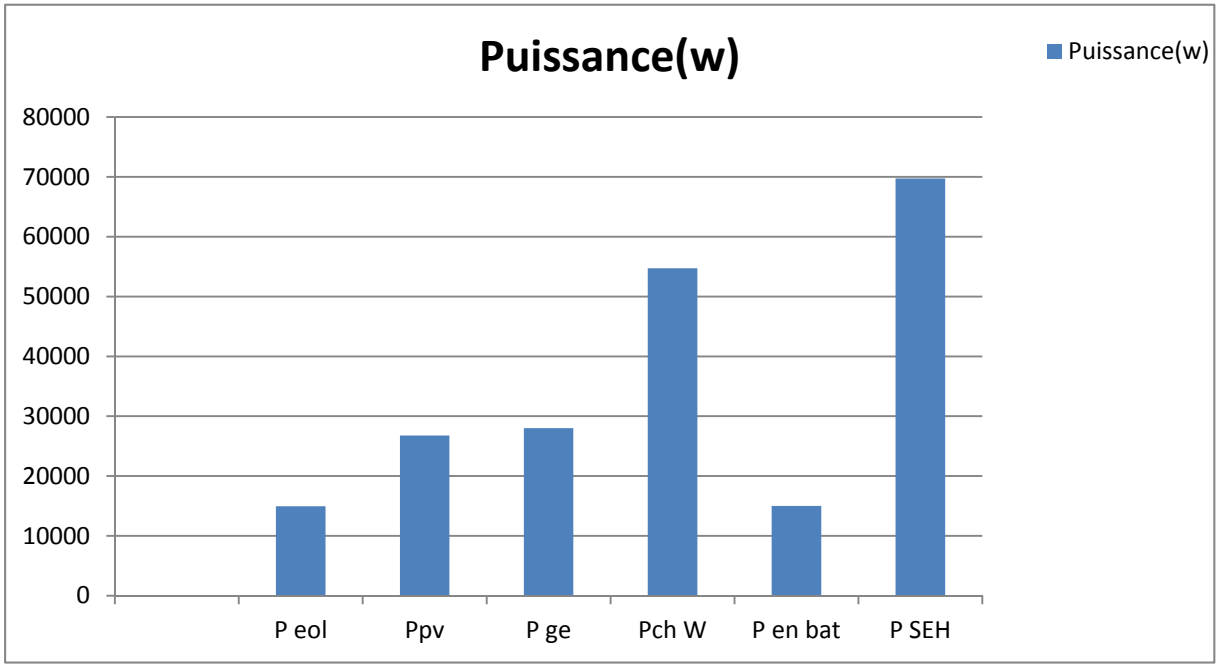


Figure IV.17 : Histogramme de la comparaison entre de la puissance produire et consommée

6. Conclusion

Le système de conversion de l'énergie éolienne et photovoltaïque pour le site en question est donc utilisé de façon optimale en considérant que son choix est effectué, correctement, en fonction des paramètres du site. La production d'énergie dans une installation hybride et autonome s'avère difficile et doit, en toute rigueur, dépendre à la fois, des caractéristiques météorologiques du lieu où le système est installé et, également du profil de consommation. En effet, la nature intermittente des sources renouvelables rend difficile la prédiction de cette production en termes de puissance ou d'énergie afin d'assurer une alimentation permanente de la charge

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire, concerne la gestion d'énergie des systèmes de génération d'énergie électrique pour un fonctionnement autonome. Ces dispositifs semblent être amenés à connaître des développements importants liés essentiellement à une volonté de plus en plus affichée de diversification des moyens de production, d'un meilleur respect de l'environnement.

Nous sommes arrivés à montrer l'intérêt que suscitent les énergies renouvelables dans les pays du Maghreb en Afrique du nord. Ces énergies sont au terme de ces études rentables, puisque la région en question possède un potentiel en Enr très important. La concrétisation de la configuration choisie à travers une étude de cas pour un site en Algérie (Tindouf) permet l'implémentation et la validation d'applications spécifiques tenant compte des spécificités du site.

L'utilisation des énergies renouvelables comporte des avantages sur le plan financier et environnemental.
Elles innovent la conception des systèmes diminuant ainsi les coûts qui y sont reliés.
L'architecture modulaire permet :

- de contribuer à un programme de mesures d'action précoce en matière de technologie,
- de contribuer à la croissance du marché photovoltaïque et éolien,
- une installation hybride qui représente une solution alternative efficace et qui permet de diminuer les émissions de gaz à effet de serre en réduisant l'utilisation de combustible fossile.
- d'atteindre un rendement maximal,
- une efficacité sur le plan énergétique.

L'utilisation de plusieurs sources d'énergie dans un SEH a une incidence profitable sur la production d'énergie, en termes de coût et de disponibilité, étant entendu que le bilan « écologique » est supposé à priori favorable.
Les moyens de production tels que l'éolien, le photovoltaïque, etc. présentent des capacités de production incertaines et souvent fluctuantes, non corrélées à l'évolution de la charge. Le but premier d'un SEH est d'assurer l'énergie demandée par la charge et si

possible, de rendre maximale dans le bilan, la part d'énergie provenant des sources

d'énergie renouvelable.

Les performances de générateur PV et éolien fluctuent avec les conditions climatiques. Afin d'exploiter au maximum l'énergie solaire et éolienne, l'adaptation des générateurs est nécessaire pour les faire fonctionner dans les conditions optimale. Le modèle de simulation développé peut être utilisé, non seulement pour analyser la performance d'un système hybride, mais aussi pour dimensionner le système le plus adaptable pour l'alimentation des différentes charges électriques pour n'importe quelle localité spécifiée, pourvu que les données météorologiques locales soient disponibles.

En résumé, on peut dire qu'avec une installation hybride on peut atteindre :

1) Objectif principal: alimenter les charges électriques
   - ✓ Sans interruption
   - ✓ Avec une bonne qualité de puissance
   - ✓ Au moindre coût

2) Objectif secondaire
   - ✓ Maximiser l'utilisation des énergies renouvelables
   - ✓ Minimiser la consommation en combustible fossile

Perspectives

Pour la continuité de ce travail, il nous vient à l'esprit de définir les axes de recherches qui sont, à notre avis, prometteurs pour le développement de notre travail :

- ✓ Il serait possible de réaliser l'optimisation de systèmes plus complexes en ajoutant par exemple une pile à combustible et un électrolyseur pour produire de l'hydrogène directement sur le site. L'intérêt d'un couplage entre différentes sources d'énergies, dans le but de lisser la courbe de production d'énergie et la rendre moins aléatoire.
- ✓ Etudier en détail le fonctionnement d'un système hybride avec stockage. En effet, lors du stockage de l'énergie, celle-ci doit passer du point de génération vers le bus AC et traverser le convertisseur bidirectionnel qui relie la batterie au système ; ceci signifie que, dans les systèmes fonctionnant avec une forte capacité de stockage, cette topologie présente des niveaux de pertes supérieurs.
- ✓ Entre la simulation numérique et l'implémentation sur une installation réelle, il est intéressant de réaliser une étape intermédiaire, en testant des algorithmes de commande conçus sur un banc d'essai du système.

Concernant la modélisation du système autonome, il serait intéressant à court terme d'introduire des modèles raffinés au niveau modulaire et de réaliser le prototype virtuel du système complet. De façon complémentaire, un autre objectif serait de développer une bibliothèque de modèles en se basant sur des travaux et projets qui traitent essentiellement du domaine de la génération et de la récupération d'énergie. Il est important de noter, l'efficacité d'une approche de modélisation automatique des composants d'un système d'énergie hybride SEH.

Bibliographie

Références Bibliographiques

[1] A. Mirecki, “Etude comparative de chaînes de conversion d’énergie dédiées à une éolienne de petite puissance”, Thèse Toulouse Polytechnique National Institut, avril 2005.

[2] I. Vechiu; « Modélisation et analyse de l’intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome », Thèse de doctorat d’état, Université du Havre- décembre 2005.

[3]: J .Labbé, “L’hydrogene electrolytique comme Moyen de Stockage d’electricite Pour Systemes Photovoltaïques Isoles”, Thèse de Doctorat, l’Ecole des Mines de Paris, pp. , 21 décembre 2006.

[4]: Ashok, S., “Optimised model for community-based hybrid energy system”, Renewable Energy Vol.32, No.7, 2007, pp. 1155-1164..

[5]: I. Cruz, F. Arias, F. Avia, L. M. Arribas, R. P. Fiffe, “Assessment of different energy storage systems for wind energy integration”, European Wind Energy Conference, 2001.

[6] S. Bellarbi ; « Etude comparative de chaînes de conversion d’énergie dédiées à une éolienne de petite puissance », Mémoire de Magister, ENP 2009.

[7] J. Muller, R. Desserrières ; «Conversion photovoltaïque », Publié par Club CRIN, 2002.

[8] J. Appelbaum; «Performance analysis of dc motor-photovoltaic converter system Solar Energy »

[9]: E. Ian Baring-Gould, L. Flowers, P. Lundsager, “Worldwide status of wind-diesel applications”, Pre-Workshop Wind-Diesel 101, 2004, Anchorage, Alaska.

[10] Site Internet de l’institut allemand DEWI, http://www.dewi.de

[11] A. Tounzi ; «Utilisation de l’énergie éolienne dans la production de l’électricité», Journées électrotechnique du club EEA, Paris, 28-29 Janvier 1999.

[12]: Jérémy LAGORSE, “ Systèmes électriques hybrides à énergie renouvelable Dimensionnement, modélisation et simulation ”, Journée Technique Energie Problématiques et méthodologies, Université de Technologie de Belfort Montbéliard, p4 ,28/05/2009

[13]: H.G. Beyer and C. Langer, “A Method for the Identification of Configurations of PV/Wind Hybrid Systems for the Reliable Supply of Small Loads", Solar Energy, Vol. 57, pp. 381-391, 1996.

[14]: J. Muller, R. Desserrières, “Conversion photovoltaïque”, Publié par: Club CRIN,

2002.

[15] O. Gergaud, B. Multon, H. Ben Ahmed ; « Modélisation d'une chaîne de conversion éolienne de petite puissance », Electrotechnique du Futur, Nancy France, pp. 17-22, Nov. 2001.

[16] L. Protin, S. Astier, ; «Convertisseurs photovoltaïques », Techniques de l'ingénieur-Génie Electrique D3 360

[17]: O. GERGAUD, "Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur », thèse de doctorat, l'ENS de Cachan France, p 6, 2002.

[18]BAGHDADI Fazia; « modélisation et simulation des performances d'une installation hybride de conversion d'énergies renouvelables», thèse de magister, université mouloud mammeri de tizi-ouzou 26 /09 /2011

[19] BRIHMAT Fouzia « Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale hybride PV/Eolien». thèse de magister, L'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,07/2012

[20] KEBE Abdoulaye « Contribution au pré dimensionnement et au contrôle des unités de production d'énergie électrique en site isolé à partir des énergies renouvelables : Application au cas du Sénégal», thèse de doctorat, université paris-sud Faculté des Sciences d'Orsay ,Novembre 2013

[21] A. DUMBS; « Développement d'outils pour l'analyse des systèmes hybrides photovoltaïque-diesel», thèse de l'Ecole des mines de Paris, Décembre 1999.