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 : énergie solaire éolienne

THEME

Gestion de l'écoulement de puissance dans un système énergétique hybride.

Proposé et dirigé par,

Dr. Hanini

Préparé et présenté Par,

Mlle. TAIEB Soumia
Mlle. MADHOUI Rabia

Année Universitaire 2015-2016

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à

Mes chère parents symbole de tendresse profonde et permanente, de sacrifice et d'amour éternel, que dieu les protègent pour moi et leur accordent une bonne santé et une longue vie.

Mes cher frères et sœurs ;

Mon mari qui je l'aime beaucoup ;

A tout ma famille ;

Mes amis (es) et mes collègues ;

A tout ceux qui m'on aidé à réaliser de prés ou de loin ce mémoire ;

A ceux qui me sont chère et ceux que j'ai aimé du fond de mon cœur.

Soumia

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à

Mes chère parents symbole de tendresse profonde et permanente, de sacrifice et d'amour éternel, que dieu les protègent pour moi et leur accordent une bonne santé et une longue vie.

Mes cher frères et sœurs ;

Mes neveux et nièces ;

Mes beaux-frères ;

Mes amis (es) et mes collègues;

A tout ceux qui m'on aidé à réaliser de prés ou de loin ce mémoire ;

Marwa

Résumé :

Ce travail constitue une contribution à l'étude des systèmes de conversion d'énergie électrique hybrides associés à un système de stockage pour sites de nature climatique en Algérie. La démarche retenue exploite une méthodologie d'analyse de la complémentarité qui existe entre les deux énergies solaire et éolienne à partir de leurs variations saisonnières respectives.

Pour cela nous avons utilisé méthodes : La première est basée sur la moyenne des valeurs mensuelles annuelles, la seconde est basée sur le mois le plus défavorable.

Les résultats obtenus montrent que la méthode du mois le plus défavorable du système hybride par rapport à la première, cela est du à la meilleure fiabilité que présente le système déduit de cette méthode.

Mots clés: Système Photovoltaïque –Système éolien - Système hybride photovoltaïque- éolien –Système de Stockage –Dimensionnement-Optimisation.

Abstract:

This work is a contribution to the study of systems for converting electrical energy associated with a hybrid storage system for site kind climate in Algeria. The approach adopted uses a methodology of analysis of the complementarity between both solar and wind power from their respective seasonal variations.

For this we used two different methods: The first is based on the average annual monthly values, the second is based on the worst month.

The results show that the method of the worst month this of the hybrid system compared to the first, this is due to the greater reliability that the system has inferred from this method.

Keywords: Photovoltaic System -Wind System - Hybrid photovoltaic-wind-Storage System- Sizing - Optimization.

ملخص

يساهم هذا العمل في دراسة نظم تحويل الطاقة الكهربائية المرتبطة بنظام تخزين هجين لموقع مناخي في الجزائري النهج المعتمد يستخدم منهجية لتحليل التكامل الموجود بين الطاقتين الشمسية والرياحية لتحليل التكامل انطلاقا من تغيراتهما الموسمية

وقد استعملنا طريقتين مختلفتين الطريقة الاولى تعتمد على القيم المتوسطة السنوية للشهور خلال عام بينما تعتمد الثانية على قيم الشهر الاسوء في العام

تظهر النتائج ان الطريقة الثانية تكلف اكثر من الطريقة الاولى يرجع هذا الى زيادة موثوقية النظام المسير بهذه الطريقة

الكلمات المفتاحية النظام الكهروضوئي النظام الريحي النظام الهجين الريحي الكهروضوئي نظام التخزين

LISTE DE FIGURES

Chapitre I : System hybrides de génération d'énergie renouvelable

Figure I.1 : Architecture d'un système d'énergie hybride……..6

Figure I.2 : Circuit équivalent de la cellule solaire ……9

Figure I.3 : Influence de RS sur la caractéristique I=f (V)……..10

Figure I.4 : Influence de RP sur la caractéristique I= f (V)……..11

Figure I.5: Influence de l'éclairement sur la caractéristique I= f (V)……..12

Figure I.6 : Influence de la température sur la caractéristique I= f (V)……13

Figure I.7 Configuration de générateur diesel……14

Figure I.8. Système de supervision……15

Figure I.9. Structure d'un SH Eolien/PV/Diesel connecté à une charge……..16

Figure I.10. Système hybride de puissance avec bus DC avec sources renouvelables et générateur
diesel…….17

Figure I.11 Système hybride de puissance avec mini réseau avec sources renouvelables…….. …17

Figure I.12 Schéma de principe d'un système hybride éolien-diesel [Muk.R]……18

Figure 1.13 . Schéma de principe d'un système hybride solaire photovoltaïque- générateur thermique [Muk.R]……...19

Fig. I.14 Perturbations influant sur la qualité d'énergie…….19

Chapitre II : Présentation de la Configuration choisie

Figure II- 1 Répartition journalière de la charge électrique……..28

Figure II-2- Évolution de la vitesse du vent sur un jour……29

Figure III-3 : Évolution journalier des irradiations solaires (diffus real) horaire pour le site Tindouf……29.

Figure II-4 : Évolution journalier des irradiations solaires (globale real) horaire pour le site Tindouf……30

Figure II-5: Évolution journalier des irradiations solaires (global clear) horaire pour le site Tindouf……30

Figure II- 6 : le générateur photovoltaïque KD180 GX-LP……33

Chapitre III : modélisation et dimensionnement du système hybride

Figure III.1 : Tracé des vitesses moyennes du vent à 10 m du sol…….. . 44

Figure. III-2: Cellules, module et panneau photovoltaïques……. ……. … 45

Figure III.3 : Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque…… 46

Figure III.4 : Schéma bloc du Générateur Photovoltaïque……. 46

Figure III-5: Schéma de la turbine éolienne…….. 47

Figure III-6 : Caractéristique coefficient de puissance/vitesse spécifique de vitesse pour différents angles d'inclinaison des pales……49

Figure III.7 : Modèle de la voilure……49

Figure III - 8 : Courbe typique de puissance en fonction de la vitesse du vent…… 51

Figure III.9 : Schéma électrique équivalent de nb éléments de batteries en séries….52

Figure III.10: Modèle électrique de la batterie……..53

Figure III-11 : Architecture du système étudié…….. 59

Chapitre IV : résultats et discussions

Figure IV-1- : Évolution de la vitesse du vent sur un jour ……...……..63

Figure IV-2 : Évolution journalier des irradiations solaires horaire pour le site Tindouf.. 63

Figure IV-3: lustration du profil de charge pour un jour…….. 64

Figure IV-4 : Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi (Diffus real) …….66

Figure IV-5 : Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi (Global clear)…… 66

Figure IV-6 : Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi (Global real …….67

Figure IV-7 : Distribution de la puissance produite par le générateur éolien dans le SEH relatif au site Tindouf …….……..67

Figure IV-8 : Distribution de la puissance produite par le générateur diesel Dans le SEH relatif au site Tindouf……. 68

Figure IV-9 : Evolution horaire de la puissance total Dans le SEH relatif au site Tindouf

…… 68

Figure IV -10 : Energie produite par les trois générateurs (PV, Eolien et diesel) et

Puissance d'entre de batterie sur une période d'un jour……. 69

Figure IV.11: Evolution horaire de la puissance (Peol, Ppv, Pge ,Ptot ,Pch et Pen bat) Dans le SEH relatif au site Tindouf…….. 70

Figure IV.12 : Histogramme de la comparaison entre de la puissance produire et consommée ……..71
Figure IV.13 : Surfaces des panneaux photovoltaïques et des éoliennes obtenues à la région de Tindouf ……72
Figure IV.14: Nombre de panneaux photovoltaïques et des éoliennes obtenues à la région de Tindouf ……72
Figure IV.15 : Surfaces de panneaux photovoltaïques et d'éoliennes obtenues à la région de Tindouf …… 73
Figure IV.16 : Nombre de panneaux photovoltaïques et d'éoliennes obtenues à la région de Tindouf……73

Liste des tableaux

Tableau I.1 Classification des SEH par gamme de puissance…….20

Tableau I.2 Classification des systèmes éoliens- diesel basée sur le taux de pénétration de l'énergie éolienne……..21

Tableau- II.1 Données géographiques du site de Tindouf.…….26.

Tableau II-2 : Distribution journalière de la charge électrique……...27

Tableau II-3 : Caractéristiques techniques de PROV……*32.*

Tableau II-4 : Courant délivré par PROVEN 15…….32

Tableau II- 5: Caractéristiques du générateur PV……34

Tableau II- 6: Caractéristiques du moteur PERKINS 404C-22G……35.

Tableau II- 7: Caractéristiques des batteries ……36

Nomenclature :

λ_o	Longueur d'onde	$\boldsymbol{m}$
h	Constante de Planck	**j·s**
C	Vitesse de la lumière	$\boldsymbol{m^{-1}}$
ϕ	Latitude du lieu	°
λ	Longitude du lieu	°
δ	Déclinaison du soleil	°
H	L'angle horaire du soleil	°
E_{g}	L'énergie de gap de semi-conducteur	**J**
E_{C}	L'énergie de la bande de conduction	**J**
E_{V}	L'énergie de la bande de valence	**J**
E_c	L'énergie cinétique du vent	**J**
M	Masse d'air qui traverse l'éolienne	**Kg**
F	Force de l'air sur l'éolienne	**N**
V_1	Vitesse d'air en amont de l'éolienne	$\boldsymbol{m^{-1}}$
V_2	Vitesse d'air en aval l'éolienne	$\boldsymbol{m^{-1}}$
C_p	Coefficient de puissance de l'éolienne	**--**
λ_n	Vitesse spécifique ou normalisée	$\boldsymbol{m^{-1}}$
R_t	Rayon de la surface balayée	$\boldsymbol{m}$

C_m	Coefficient de couple de l'éolienne	**--**
P_m	Puissance mécanique disponible sur l'arbre d'un aérogénérateur	**W**
T_t	Couple de la turbine éolienne	**N·m**
C	Facteur d'échelle de Weibull	$\boldsymbol{m^{-1}}$
K	Facteur de forme de Weibull	**--**
$I(V)$	Courant délivré sur une charge par une cellule PV éclairée	**A**
I_{Ph}	Photo-courant de cellule	**A**
I_d	Courant de jonction I_d (courant traversant la diode)	**A**
I_r	Courant dérivé par la résistance shunt	**A**
I_{cc}	Courant de court-circuit d'une cellule photovoltaïque	**A**
I	Courant de cellule	**A**
V	Tension de cellule	**V**
T	Température de la jonction	**°K**
q	Charge de l'électron (1,6·10−19CC)	$\boldsymbol{C}$
I_0	Courant de saturation inverse de la diode	**A**
v	Tension de seuil de diode (1,1VV)	**V**
n	Facteur d'idéalité de la photopile	**--**
R_S	Résistance série de la cellule	**Ω**
R_{sh}	Résistance parallèle ou Shunt de la cellule	**Ω**

V_{CO}	Tension en circuit ouvert	**V**
E	Force électromotrice F.E.M	**V**
ϕ	Flux par pôle	**Wb**
U	Tension extraite de la génératrice	**V**
R_a	Résistance de l'induit	**Ω**
La	L'inductance de l'induit	**H**
I	Courant extrait de la génératrice	**A**
P_{em}	Puissance électromagnétique	**W**
R_t	Rayon de la turbine	**m**
Ω_t	Vitesse angulaire de la turbine	**rad. s^{-1}**
V , V_x	Vitesse du vent	**ms^{-1}**
β	Angle de calage des pales	**°**
T_t	Couple développé par la turbine	**N· m**
ρ	Masse volumique de l'air [ρ =1,225 Kg .m^{-3}]	**Kg .m^{-3}**
T_a	Température ambiante moyenne journalière	**°C**
T_C	Température cellule moyenne journalière	**°C**
$NOCT$	Température nominale de fonctionnement de la cellule	**°C**
θ_i	Angle d'incidence	**°**
E_S	Ensoleillement dans le plan des modules	**W/m^2**

T_J	Température de jonction de la cellule	**°C**
I_G	Courant fourni par le groupe de modules	**A**
V_G	Tension aux bornes du groupe de modules	**V**
K	Constante de Boltzmann (1,38·10−23J/K)	**J/K**
E_0	Tension à vide de la batterie chargée	**V**
R_b	Résistance interne de la batterie	**Ω**
I_b	Courant de décharge de la batterie (> 0)	**A**
Q_0	Capacité de la batterie	**Ah**

Table des matières

LISTE DES FIGURES I

LISTE DES TABLEAUX II

LISTE DES ACRONYMES III

INTRODUCTION GENERALE…….……1

CHAPITRE 01 : **SYSTEM HYBRIDES DE GENERATION D'ENERGIE**

I .1 . Introduction ……4

I. 2 Définition du système d'énergie hybride (S.E.H) ……..…4

I.3 Etat de l'art……..4

I. 4 Les principaux composants d'un système SEH ……..7

I.5 Descriptions des composantes du système hybride photovoltaïque-éolien……7

I.5.1 Le générateur éolien ……..7

I.5.2 Types d'aérogénérateur dans les systèmes éoliens……..7

I.5 .3 Le générateur photovoltaïque :……..9

I.5.4 Modèle d'une cellule solaire photovoltaïque……..9

I.5 .5 Influence des résistances série et shunt ……..10

I.5.5.1 Influence de la résistance série RS ……..10

I.5.5.2 Influence de la résistance parallèle ……..10

I.*5.5 .3 Influence de l'éclairement* ……..……..…11

I.5.5.4 Influence de la température……12

I .5.6 Générateur diesel……..…….13

I.5.7 Batteries de stockage ……..14

I.5.8 Système de supervision ……..14

I.5.9 Les convertisseurs ……..15

I.5.10 Les charge ……..16

I.6 Classification des systèmes hybrides (DC.AC)……..…….16

I. 6.1.Systèmes Hybrides DC pour des Petites Communautés Isolées……..……..16

I.6.2. Systèmes Hybrides AC pour des Petites Communautés Isolées…….....17

I.7 quelques configurations des systèmes hybrides……..18

I.7.1. Le système hybride éolien-générateur à combustible ……..18

I.7. 2. Le système hybride solaire-générateur à combustible……..18

I.7.3. Le système hybride éolien-pile à combustible …….……..18

I.8. Qualités de l'énergie produite par les systèmes hybrides…….…….……18

I.9. Classification des systèmes hybrides *par gamme de puissance*……..19

I.10 problèmes rencontres dans le fonctionnement des SEH ……..……..21

I.11.Conclusion ……..…….……..23

CHAPITRE 02 : PRESENTATION DE LA CONFIGURATION CHOISIE

II.1 Introduction……..25

II.1 Présentation du site et caractéristiques de la charge……...25

II.1.1 L'emplacement du système hybride……..……25

II.1.1.a. Site d'implantation. ……..……..…25

II.1.1.b. Données géographiques du lieu……..……..…26

II.1.2. Caractérisation de la charge et Prédétermination du profil énergétique de la Demande…….26

II.1.2.a. Chargement primaire……..……...…26

III.3. Variation climatiques sur le site Tindouf……..28

III.3.1. Potentiel éolien……..…….28

III.3.2. Potentiel Solaire…….…….29

II.4 La configuration du système d'alimentation en énergie…….……31

II.4.1.1 La Turbine Eolienne…….……..31

II.4.1.2 Les panneaux photovoltaïques…….……..33

II.4.1.3 Le générateur Diesel……..34

II.4.1.4 Le système de stockage : Batteries……36

II.4.1.5 Les convertisseurs……..……37

II.5 Le fonctionnement de l'installation……...……..38

II.6 Conclusion…….……...…38

CHAPITRE03 : MODELISATION ET DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME HYBRIDE

III.1.Introduction…….……...…..41

III.2. Caractéristiques des énergies photovoltaïque et éolienne…….41

III.2.1. générateur Photovoltaïque……..41

III.2.2 Générateur éolien : ……..43

III.2.3. Potentiel solaire ……43

III.2.4. Potentiel éolien……...44

III.3. Modélisation du système hybride photovoltaïque-éolien……..44

III.3.1 Générateur photovoltaïque……..…44

III.3.1.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque……..……..44

III.3.1.2.Modélisation du générateur PV……..……..…45

III.3.2. Modèle éolien…….……47

III.3.2.1. Puissance de sortie de la turbine éolienne……..……47

III.3.2.2Modélisation du système éolien……...49

III.3.2.3 La Courbe de puissance……50

III.3.2.4. Modélisation du gisement éolien…….51

III.3.2.5 Performances de la turbine éolienne…….51

III.3.3 Modélisation du système de stockage……..52

III.3.3.1 Modèle de Copetti de batterie……..52

III.3.3.2Modélisation de la batterie…….53

III.3.4 Modélisation du groupe électrogène……54

III.4. Dimensionnement du système hybride photovoltaïque-éolien ……..54

III.4.1. Méthode de dimensionnement hypothèses technico-économiques…….54

III.4.2. Données climatiques et l'énergie demandée……...55

III.4.3. Performance du système et détermination du mois le plus défavorable……..55

III.4.4. Taille des composantes renouvelables …….55

III.4.5. Scénario 1 (s = 1), les moyennes annuelles pour chaque mois ……..…56

III.4.6 Scénario 2 (s = 2), la méthode du mois le plus défavorable…….56

III.4.7. Surfaces retenues des composantes renouvelables ……..…57

III.4.8. Coefficient d'autonomie R …….57

III.4.9. Capacité du système de stockage ……..57

III.5.Architecture de l'installation étudiée……..58

III.5.1 Principe de fonctionnement…….59

III.6. Conclusion…….60

CHAPITRE 04 : RESULTATS DE ET DISCUSSIONS

IV.1. Introduction……..….62

IV.2.Résultats de simulation et discussion ……...62

IV.2.1. Variation du vent…….....62

IV.2.2. Variation d'irradiation……..…63

IV.2.3. Caractéristique de la charge choisie……..…64

IV.3. Indices de performance du système étudié……..65

IV.3.1.Puissance produite par le générateur PV…….65

IV.3.2. Puissance produite par le générateur éolien ……..67

IV.3.3.Puissance produite par le générateur diesel…….68

IV.3.4. la Puissance total ……...68

IV.4. Évolution des énergies échangées au niveau du bus AC…….69

IV.5comparaison entre la production et consommation d'énergie électrique……..71

IV.4. Dimensionnement du système hybride photovoltaïque-éolien ……..71

IV.5 Résultats ……71

IV .6 Conclusion…….74

Conclusion générale……...…….75

Références bibliographiques…….……..……77

Introduction générale

Depuis le début du siècle, la consommation énergétique mondiale est en très forte croissance dans toutes les régions du monde. Il semble que tendanciellement, les consommations d'énergie vont continuer à augmenter, sous l'effet de la croissance économique d'une part, et de l'augmentation de la consommation d'électricité par habitant d'autre part, quels que soient les cas de figures envisagés.

Pour cela les énergies renouvelables apparaissent à nos jours et à long terme comme la solution adéquate qui couvre ce besoin énergétique en diminuant l'inconvénient majeur émis par les énergies fossiles et fissiles: le gaz à effet de serre.

Elles sont devenues une forme d'énergie indispensable par leur souplesse, la simplicité d'utilisation et la multiplicité des domaines d'activités où elles sont appelées à jouer un rôle. Ces modes de production ainsi que les moyens de distribution associés sont amenés à subir de profonds changements au cours des prochaines décennies.

Disponibles en quantité supérieure aux besoins énergétiques actuels de l'humanité, les ressources d'énergie renouvelable représentent par ailleurs une chance pour plus de deux milliards de personnes, habitant des régions isolées, d'accéder à l'électricité. Ces atouts, alliés à des filières de plus en plus performantes, favorisent le développement des énergies renouvelables.

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

Ainsi de sa part sa situation géographique, l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation des énergies solaire et éolienne .En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement solaire reçu (169.440 TWh/an), le plus important de tout le bassin méditerranéen , et représente5.000 fois la consommation Algérienne en électricité et 60 fois la consommation de l'Europe des 15 (estimée à 3.000 TWh/an)[1], notre pays couvre certains de ses besoin en énergie solaire.

Tandis que l'énergie éolienne qui représente un potentiel important à la région sud Adrar très précisément, donne un autre extension pour notre pays pour se diversifier au point de production d'électricité d'origine renouvelables dans les décennie à venir.

Cependant, la production d'électricité à partir seulement d'une des deux sources d'énergie citées ci-dessus, est un objectif très souvent limité par le prix de revient final du KWh électrique produit, en raison de l'intégularité du vent et de la discontinuité dans le temps du rayonnement solaire qui posent le problème du stockage d'énergie. Or cet aspect de ces énergies est encor aujourd'hui un de ceux qui ralentissent le plus leur développement, car ce stockage, d'autant plus important que les régimes de vent soient irréguliers ou que les temps d'ensoleillement soient faibles, constitue souvent une grande part (environ 20%).
De l'investissement d'une installation de production d'énergie électrique à partir du vent ou du rayonnement solaire.

Considérant leurs caractéristiques saisonnières respectives, ces deux énergies ne se concurrencent pas mais au contraire peuvent se valoriser mutuellement. C'est pourquoi on propose ici un système hybride composé de ces deux sources d'énergie, qui consiste en l'exploitation optimale de la complémentarité entre elles.

Ainsi cette complémentarité d'énergie est accompagnée par un système de stockage assuré par des batteries au plomb, pour cela le dimensionnement de stockage optimale basé sur la partie de modélisation des composants constituant ce système et la charge de l'utilisation.

Le but de notre travail la simulation numérique du fonctionnement d'une centrale de production d'énergie électrique autonome hybride,

Pour atteindre cet objectif, nous avons scindé notre mémoire en quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre, une recherche bibliographique sur les systèmes hybrides de génération d'énergie renouvelable pour des sites 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 .
- Le deuxième chapitre concerne une présentation de la configuration choisie. 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.

- Le troisième chapitre est dédiée à l'optimisation du système hybride (Photovoltaïque – éolienne - diesel) en introduisons une analyse des charges et des caractéristiques , ainsi que les méthodes de dimensionnements basées sur les moyennes mensuelles et le mois le plus défavorable de chacun des deux sites
- 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

System hybrides de génération d'énergie

I .1 . INTRODUCTION

Pour un développement durable, le recours à l'utilisation des systèmes énergétiques à sources d'énergies renouvelables est devenu indispensable.

Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement et leur prix de revient vraiment attractif. Cependant, ces solutions exigent au préalable un dimensionnement laborieux basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables du site d'implantation à l'amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval et un savoir faire que seule l'expérience dans l'ingénierie des systèmes énergétiques pourra assurer.

Cette gestion rigoureuse de l'énergie s'appuie sur l'intelligence des dispositifs de régulation et de contrôle rendu possible grâce à des logiciels très performants. Ces installations hybrides vont connaître, à moyen terme un intérêt certain grâce à leur flexibilité vis-à-vis des sources d'énergie primaire.

Nous allons présentés dans ce chapitre les différents caractéristiques du système hybride photovoltaïque-éolien-diesel, en ce basant sur les différents définitions des constitutifs de ce système.

I. 2 Définition du système d'énergie hybride (S.E.H)

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. [1]

Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue. Dans bien de régions, les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit.[2]

I.3 Etat de l'art

Il est important de noter que les systèmes d'énergie hybrides (S.E.H) participent au développement du marché de l'énergie renouvelable.

De même, ils constituent un compromis économique acceptable entre les frais d'immobilisation nécessités par les S.E.H autonomes et les frais d'exploitation et d'entretien des génératrices alimentées aux combustibles fossiles qui sont tous deux élevés. L'ampleur de ces frais est étroitement liée aux fluctuations saisonnières du rayonnement solaire et à la vitesse moyenne du vent.

Les configurations du S.E.H que nous rencontrons dans la littérature peuvent incorporer une distribution :

- à courant alternatif CA;
- à courant continu CC ;
- avec un système de stockage, des convertisseurs, des charges, des charges de délestage et une option de gestion des charges ou un système de supervision [3].

Dans la plupart des cas, les systèmes hybrides classiques contiennent deux bus [4] : un bus à CC pour les sources, les charges à CC et les batteries et un bus à CA pour les générateurs à CA et le système de distribution . Les sources d'énergie renouvelable peuvent être connectées au bus à CA ou à CC en fonction de la dimension et la configuration du système. L'interconnexion entre les deux bus peut être réalisée par l'intermède de l'électronique de puissance : onduleurs/redresseurs ou convertisseurs bidirectionnels. A part la charge principale, un système hybride peut contenir aussi des charges auxiliaires (charge différée, charge optionnelle, charge de délestage) pour réaliser l'équilibre énergétique. Si la charge principale est alimentée sans interruption, les charges auxiliaires sont alimentées en énergie par ordre de priorité, seulement quand il existe un surplus d'énergie. Ainsi, dans un S.E.H avec des batteries de stockage et charges auxiliaires, s'il existe un excès d'énergie (venant des sources d'énergie renouvelable), celui ci passera d'abord dans les batteries et ensuite, il sera utilisé pour alimenter les autres charges auxiliaires en fonction de leur priorité. Dans un tel système, les batteries de stockage jouent un double rôle : charge et source.

Ces systèmes sont largement instrumentés, avec des capteurs qui permettent d'obtenir les conditions météo :

- Vitesse du vent;
- Direction du vent;
- Ensoleillement dans le plan horizontal;
- Températures ambiantes;
- Ensoleillement dans le plan des panneaux;
- Températures des panneaux [5].

Des capteurs nous permettent de mesurer les courants, tensions et puissances de :

- Chaîne de production photovoltaïque;
- Chaîne de production éolienne ;
- Batterie;
- Bus continu;
- Réseaux;
- Charges : Les charges sont constituées par les éléments de consommation de chaque ménage (lampes, charge de batteries, ordinateurs, télévision et autres) et de ceux qui sont mises en commun (exemple l'éclairage publique, la production d'eau et autres).

Ces données sont envoyées vers un système de gestion et de pilotage qui permet de commander le niveau de tension de la batterie. Avec une telle structure, nous pouvons contrôler les transferts d'énergie en intervenant sur le niveau de la tension batterie [5].

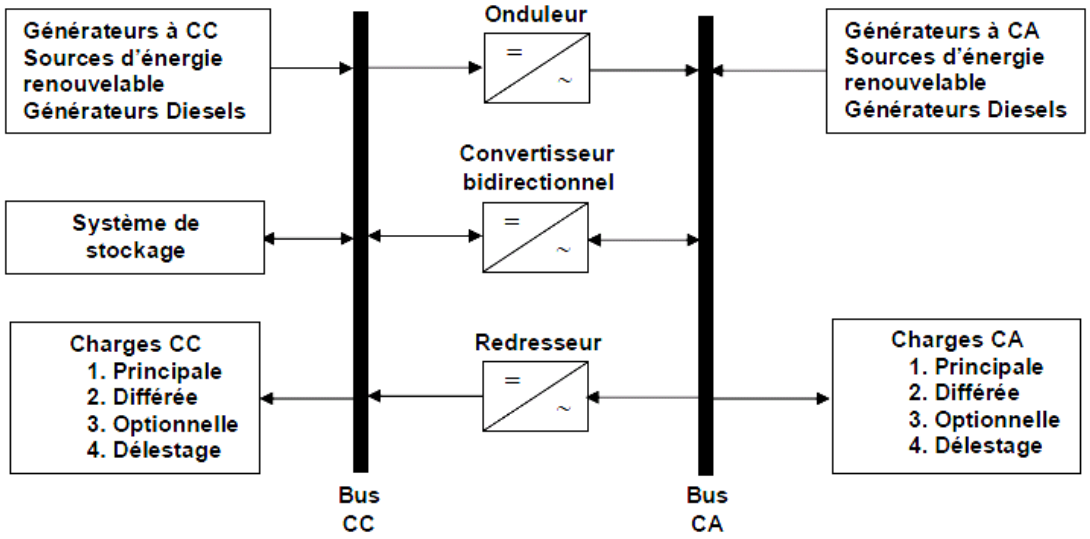


Figure I.1 : *Architecture d'un système d'énergie hybride*. [5]

Les systèmes d'énergies hybrides utilisés pour des applications de très faible puissance (en dessous de 5 kW) alimentent généralement des charges à CC [6].

Les systèmes plus grands, ayant une puissance supérieure à 100 kW, sont centrés sur le bus à CA, avec des sources d'énergie renouvelable conçues pour être connectées aux grands réseaux interconnectés [7]. Si ces systèmes contiennent des sous-systèmes de stockage, ce qui est rare, c'est pour lisser les variations de l'énergie de nature renouvelable.

Le champ d'application des S.E.H est très large et par conséquent, il est difficile de classer ces systèmes. On peut néanmoins essayer de réaliser un classement par gamme de puissance . Les seuils de puissance donnés ne sont que des ordres de grandeurs.

I. 4 Les principaux composants d'un système SEH

Les systèmes hybrides photovoltaïque-éolien-diesel comprennent généralement :

- un système générateur ;
- un système de régulation ;
- un système de stockage ;
- des équipements de puissance ;
- une charge.

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.

I.5 Descriptions des composantes du système hybride photovoltaïque-éolien

I.5.1 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, il ya :

I.5.2 Types d'aérogénérateur dans les systèmes éoliens

La conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique peut être identifiée selon le générateur électrique utilisé :

- ***Générateur asynchrone***

C'est une machine à induction asynchrone qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique [8]. Pour réaliser la génération de l'énergie électrique la machine doit être entraînée au-delà de la vitesse de synchronisme (variable suivant la charge) le cas d'une génératrice à cage d'écureuil. Son rotor peut être à cage d'écureuil ou bobinée. La puissance nécessaire à sa magnétisation est fournie par le réseau lorsqu'elle est couplée en parallèle ou par une batterie de condensateurs dans le cas d'une utilisation isolée [8]. Pour les petites puissances, le rotor est à cage d'écureuil, pour des puissances plus importantes, le rotor est bobiné, relié à l'extérieur via un collecteur simplifié à trois bagues, et court-circuité en fonctionnement normal. Mais on peut aussi modifier les propriétés électromécaniques du générateur en agissant sur le rotor par ces connexions « Machine Asynchrone Double Alimentée MADA ».

- ***Générateur synchrone***

La génératrice synchrone (ou alternateur) n'a pas besoin de magnétisation extérieure pour créer son champ magnétique. Celui-ci est créé par des bobines ou par des aimants permanents, placés sur le rotor tournant induisant un courant dans le stator bobiné. Cette génératrice étant indépendante du réseau, elle fournit une fréquence variable en fonction de la vitesse de rotation, donc de la vitesse du vent. Le raccordement au réseau, qui lui exige une fréquence fixe, s'effectue par un convertisseur qui comporte un étage

redresseur, un bus continu et un onduleur : on reconstruit donc une onde sinusoïdale parfaite, ce qui permet aussi de gérer plus facilement la qualité de l'énergie produite.

❖ ***Génératrice électrique à courant continu***

La génératrice à courant continu (à excitation séparée) [9] est une machine tournante qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique apparaissant sous forme de tension et courant continu. Elle comporte deux circuits bobinés :

1. l'un est un circuit inducteur, porté par le stator, et il crée un champ de direction fixe sous les pôles de la machine ; il est pour cela appelé « circuit de champ » ou encore « Circuit d'excitation »,

2. et l'autre est un circuit induit ou circuit d'armature, porté par l'armature du rotor ; il crée des forces électromotrices induites 'F.E.M'.

La force électromotrice F.E.M peut être exprimée par la relation suivante [10] :

$$E = \frac{P}{a} \cdot N \cdot n \cdot \phi$$

Avec :

E : Force électromotrice F.E.M (Volt) ;

P : Nombre de paires de pôles ;

a : Nombre de paires de voies en parallèles ;

n : Vitesse (tr/s) ;

N : Nombre total de conducteurs actifs ;

ϕ : Le flux par pôle en Wb.

❖ ***Générateur à structures spéciales***

Des machines à structures spéciales avec un principe de fonctionnement spécial aussi. Le but de leurs fabrications est la réponse au besoin actuel, mentionnant par exemple : la machine à réluctance variable, la Machine Asynchrone Double Stator, …etc

I.5 .3 Le générateur photovoltaïque :

Un générateur photovoltaïque est constitué à la base par des cellules photovoltaïques. Elles produisent de l'électricité du moment où elles sont exposées au rayonnement solaire. Elles ne polluent pas, n'ont aucune pièce mobile, ne nécessitent

pratiquement aucun entretien et ne produisent aucun bruit. La cellule photovoltaïque est donc un moyen sûr et écologique de produire de l'énergie.

I.5.4 Modèle d'une cellule solaire photovoltaïque

Dans la littérature, une cellule photovoltaïque est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série.

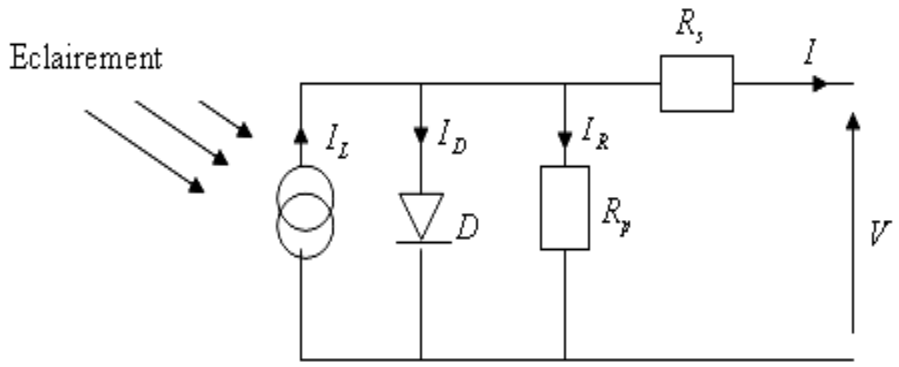


Figure I.2 : *Circuit équivalent de la cellule solaire.*

I.5 .5 Influence des résistances série et shunt

I.5.5.1 Influence de la résistance série RS

Les performances d'une cellule photovoltaïque sont d'autant plus dégradées que la résistance série est grande ou que la résistance shunt est faible [11]. La figure (I.3) montre l'influence de la résistance série sur la caractéristique I=F(V) de la cellule. Cette influence est traduite par une diminution de la pente de la courbe dans la zone où la cellule fonctionne comme source de tension. La chute de tension correspondante est liée au courant généré par la cellule.

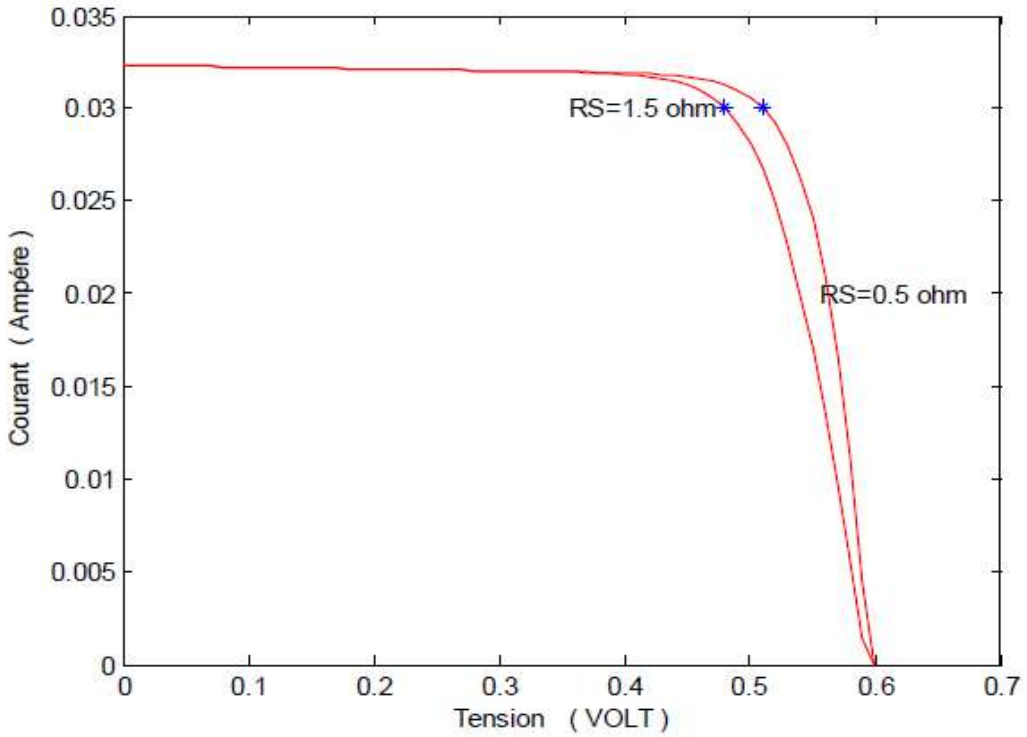


Figure I.3 : *Influence de Rs sur la caractéristique I=f (V).*

I.5.5.2 Influence de la résistance parallèle

La résistance shunt, est liée directement au processus de fabrication, et son influence se montre que pour de très faibles valeurs de courant [11]. La figure (I.4) montre que cette influence se traduit par une augmentation de la pente de la courbe de puissance de la cellule dans la zone correspondant à un fonctionnement comme source de courant. Ceci provient du fait qu'il faut soustraire de la photo courant, outre le courant direct de diode, un courant supplémentaire variant linéairement avec la tension développée.

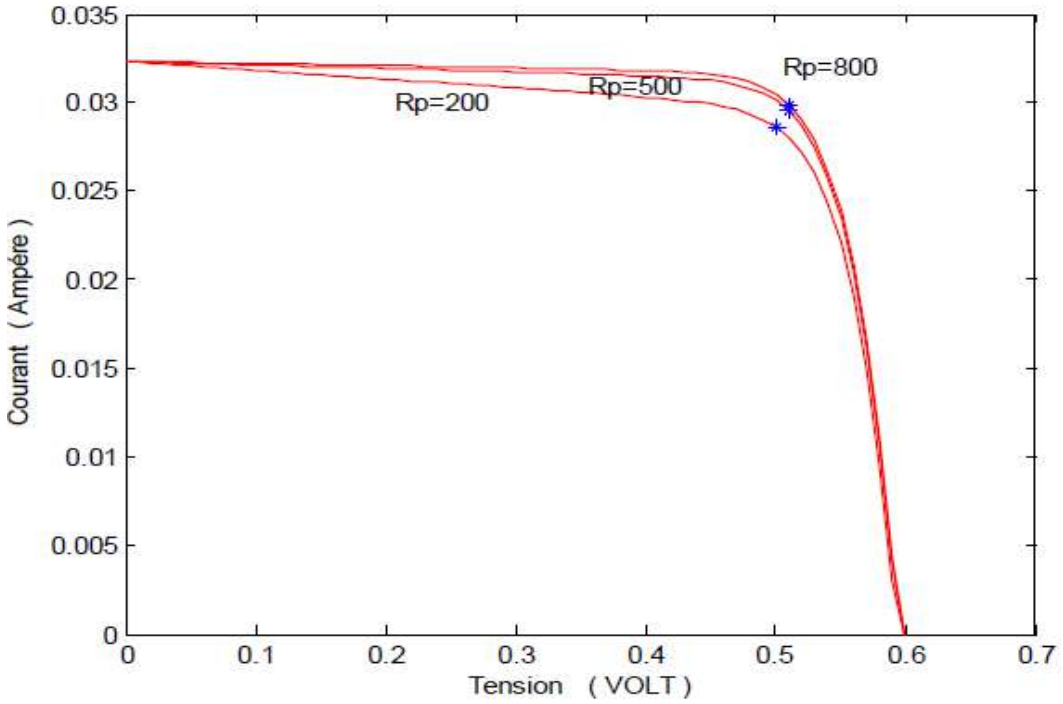


Figure I.4 : *Influence de R_P sur la caractéristique I= f (V).*

I.*5.5 .3 Influence de l'éclairement*

Le photo-courant I_{PH} est pratiquement proportionnel à l'éclairement ou au flux lumineux ψ. Le courant $I_d(V_d)$, étant par définition le courant directe de la jonction sous obscurité, et normalement non modifié. Ceci n'est valable que pour des cellules n'utilisant pas la concentration du rayonnement solaire ou travaillant sous une faible concentration. En effet, la densité des porteurs de charges et donc le courant de saturation sont modifiés par la variation de la température et de la concentration de l'éclairement. Le photo-courant créé dans une cellule solaire photovoltaïque est aussi proportionnel à la surface S de la jonction soumise au rayonnement solaire ; par contre la tension de circuit ouvert n'en dépend pas et n'est fonction que de la qualité du matériau et du type de jonction considérée. La figure (I.5) représente les caractéristiques I=F(V) d'une cellule photovoltaïque (jonction p-n sur du silicium monocristallin de 57mm de diamètre) à 28°C et sous diverses valeurs de l'éclairement ψ [11].

A chacune de ces valeurs de flux lumineux correspond une puissance électrique maximale que pourrait fournir la cellule solaire. Notons aussi la légère diminution de la tension du circuit ouvert suite à une chute du flux lumineux.

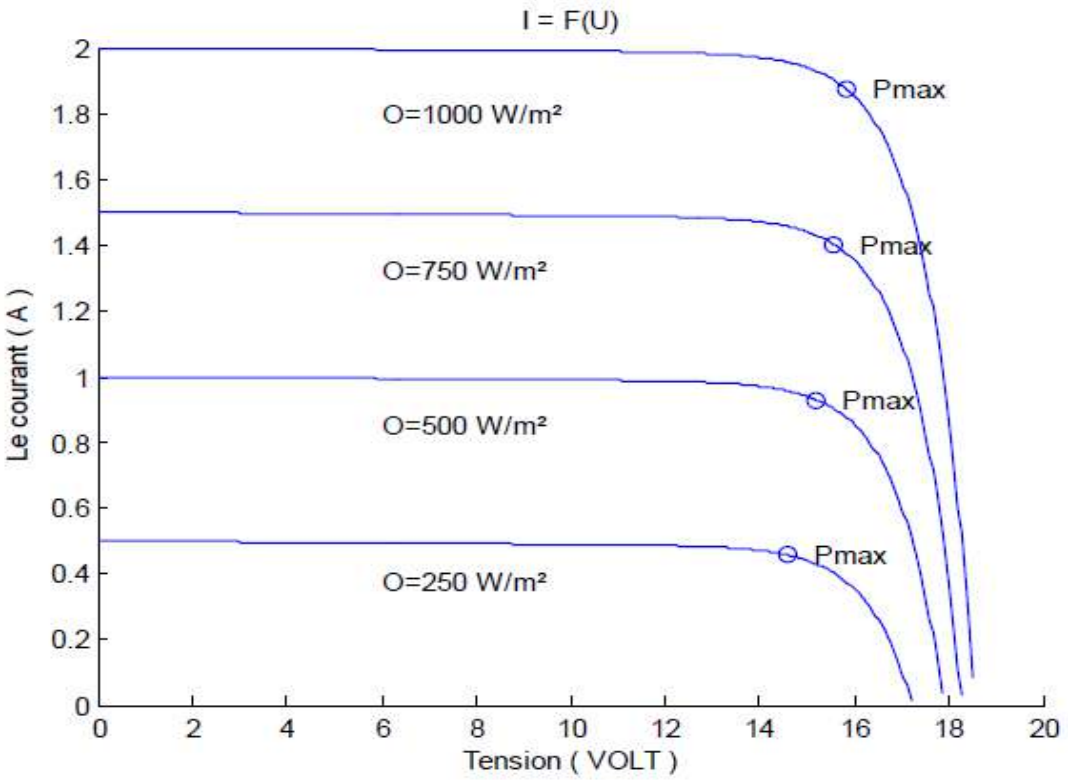


Figure I.5*: Influence de l'éclairement sur la caractéristique I= f (V).*

I.5.5.4 Influence de la température

La température est un paramètre très important dans le comportement des photopiles [11]. En effet, si la température augmente, le photo-courant augmente à peu près de $3 \cdot 10^{-2} \cdot mA \cdot K^{-1}$ par Cm^2 de cellule et par conséquence le courant I, ce qui engendre une diminution de la tension du circuit ouvert V_{co} (figure (I.6). L'augmentation de la température se traduit aussi par la diminution de la puissance maximale disponible, de l'ordre de $5 \cdot 10^{-5}$ W/K par Cm^2 de cellule, soit une variation de 0,35% par degré.

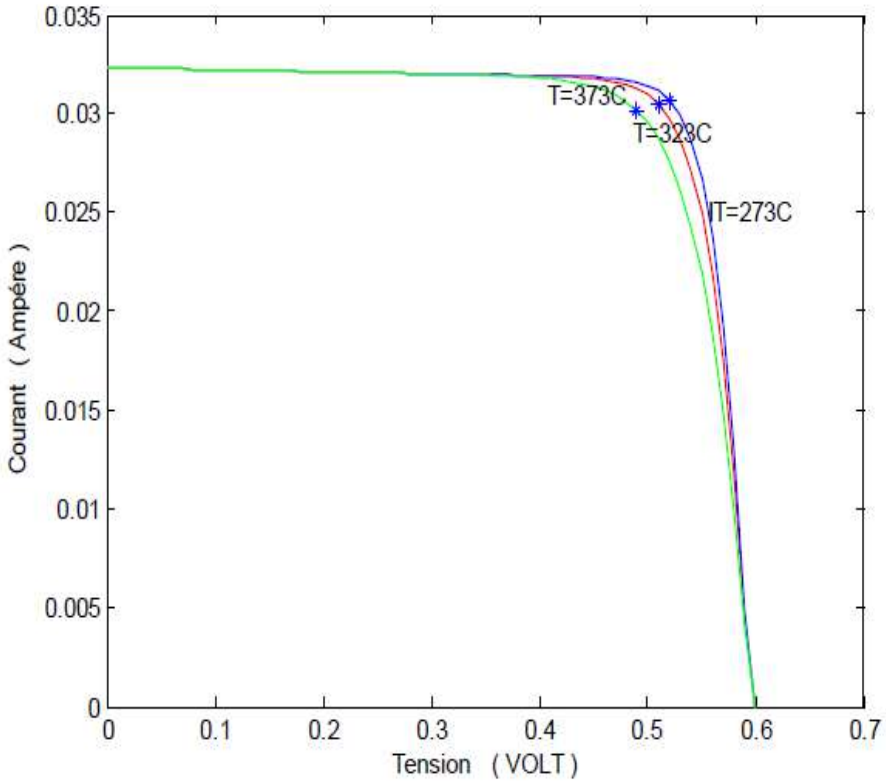


Figure I .6 : *Influence de la température sur la caractéristique I= f (V)*

I .5.6 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 [12].

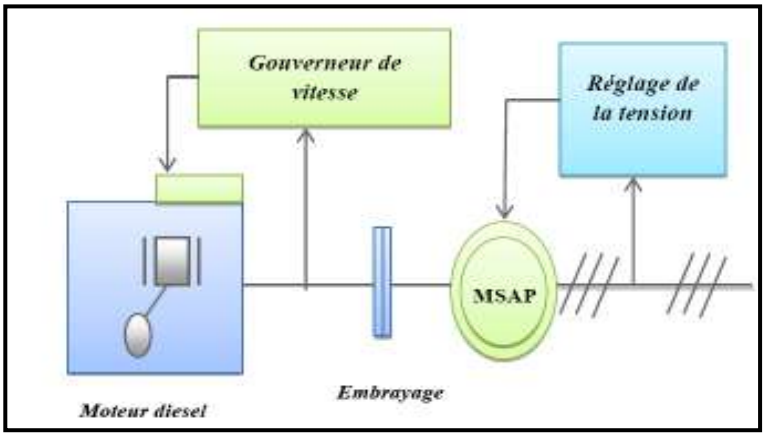


Figure I.7 *Configuration de générateur diesel*

I.5.7 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 [13].

Mais outre la capacité de stockage, le système de stockage, il doit en effet également répondre aux critères suivants lors du dimensionnement [14]:

- 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.

I.5.8 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 .

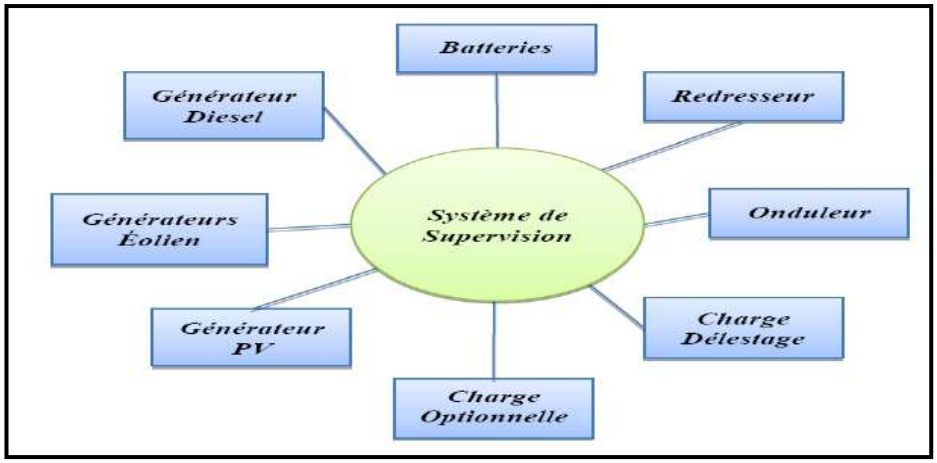


***Figure I.8**. Système de supervision*

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.

I.5.9 Les convertisseurs

Dans un SEH, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le CC en CA et vice-versa. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les SEH : les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Dans le SEH, ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA. Ce sont des appareils

relativement simples, pas chers et à bon rendement. Les onduleurs convertissent le CC en CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. Les onduleurs sont autonomes lorsqu' ils imposent leur propre fréquence à la charge. L'onduleur non autonome exige la présence d'une source à CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer les deux régimes de fonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur. Ceux-ci sont les plus flexibles, mais sont aussi les plus chers. Parfois, les fonctions de redresseur et d'onduleur sont réalisées par un seul appareil.

I.5.10 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 [15].

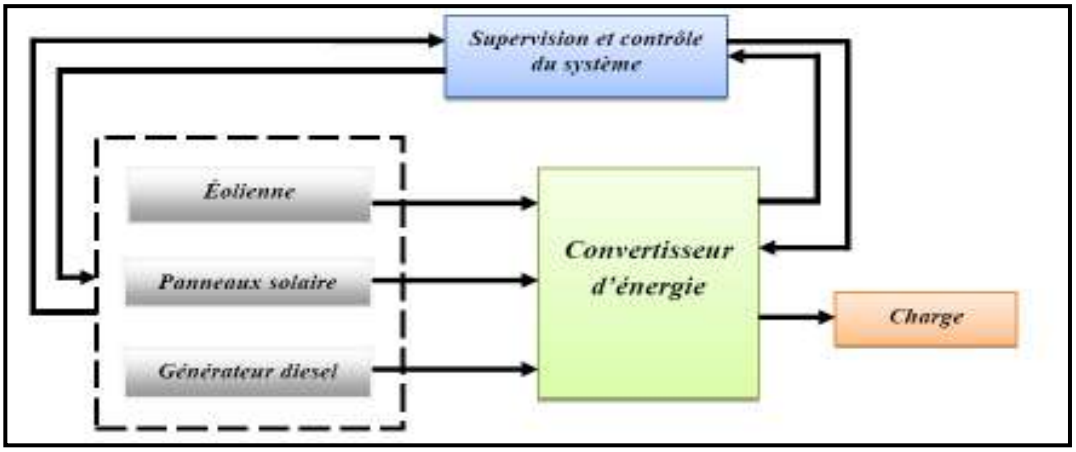


Figure I.9. *Structure d'un SH Eolien/PV/Diesel connecté à une charge*

I.6 Classification des systèmes hybrides (DC.AC)

I. 6.1.Systèmes Hybrides DC pour des Petites Communautés Isolées

La figure (1.10) montre un système de petite puissance 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 fréquence 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 fournir de l'énergie à la charge.

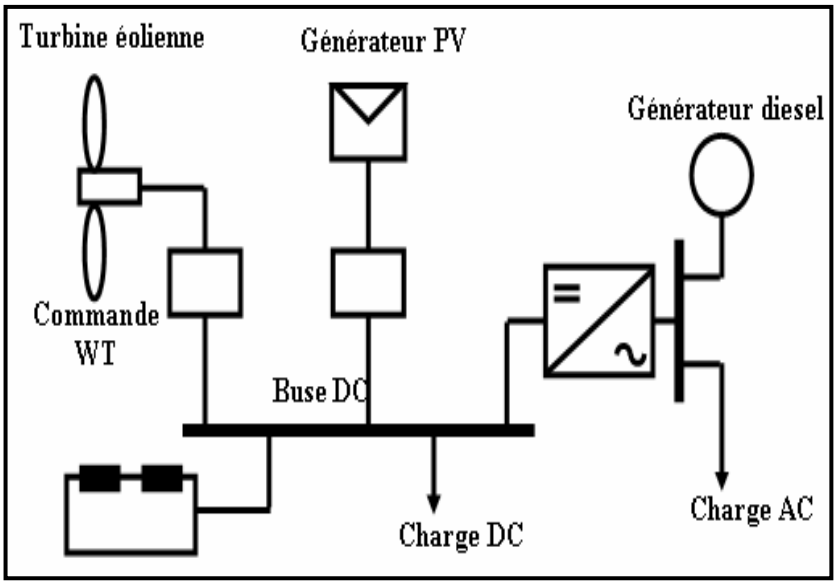


Figure I.10. *Système hybride de puissance avec bus DC avec sources renouvelables et générateur diesel*

I.6.2. Systèmes Hybrides AC pour des Petites Communautés Isolées

Dans cette topologie (mini-réseau), les différentes sources de production sont raccordées au bus commun de distribution en courant alternatif avec des onduleurs dédiés (Figure 1.11). 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.

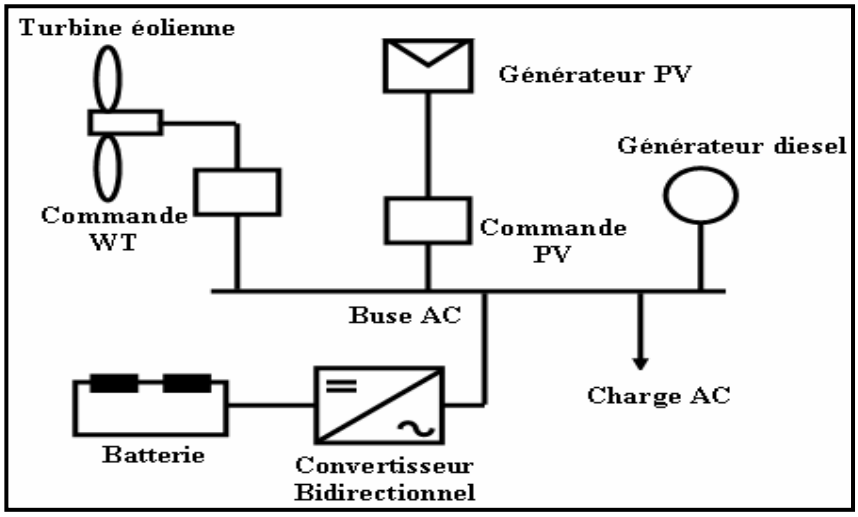


Figure I.11 *Système hybride de puissance avec mini réseau avec sources renouvelables*

I.7 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 [Muk.R]:

I.7.1. 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.

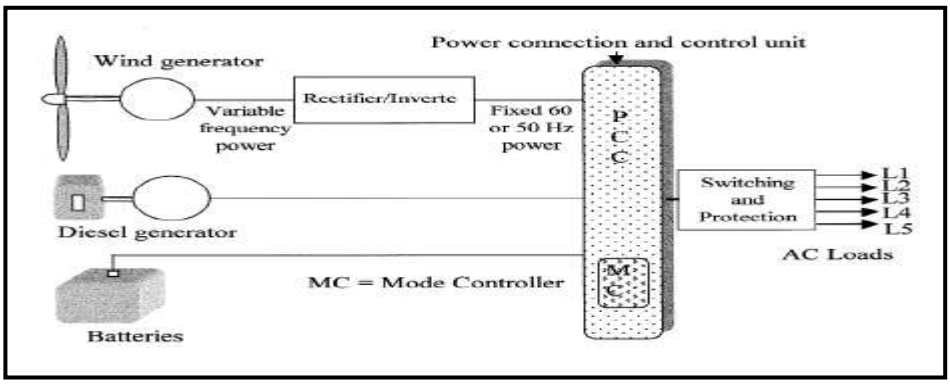


Figure I.12 *Schéma de principe d'un système hybride éolien-diesel [Muk.R].*

I.7. 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 (figure (1.13)

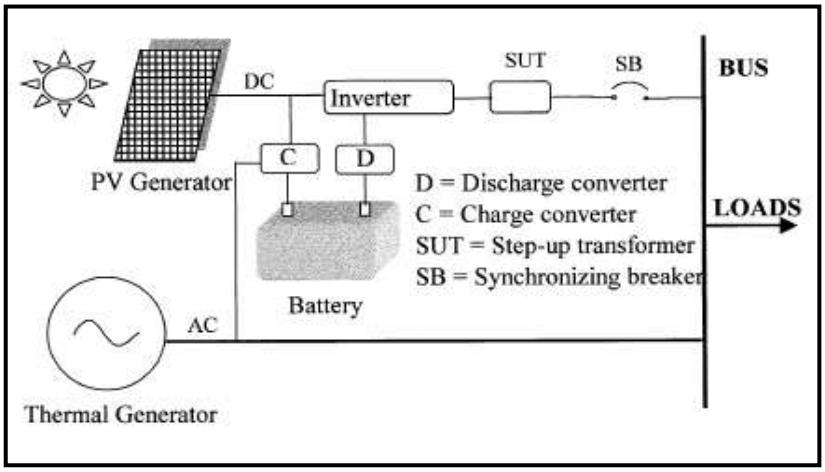


Figure 1.13 .*Schéma* de principe d'un système hybride solaire photovoltaïque- générateur thermique [Muk.R].

I.7.3. 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),

I.8. 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 [16] inclut des recommandations pour les valeurs de la tension des réseaux isolés.

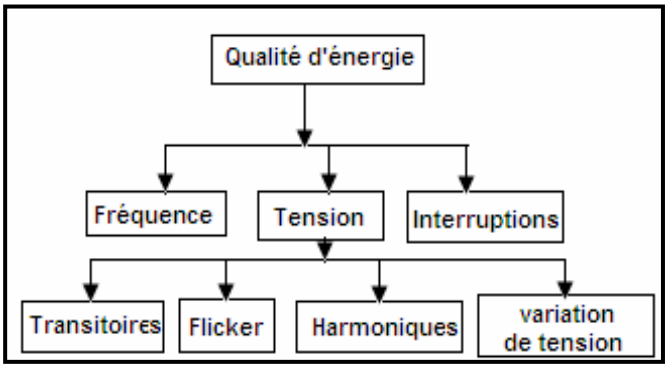


Fig. I.14 *Perturbations influant sur la qualité d'énergie*

I.9. 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.

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

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

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 [17].

		pénétration	
Niveau de pénétration	**Caractéristique de fonctionnement**	Pic instantané	Moyenne annuelle
faible	-GD fonctionne sans arrêt. -La production éolienne réduit la charge du diesel. -Toute l'énergie éolienne alimente la charge principale. -Il n'y a pas de système de supervision	< 50%	< 20%
moyen	-GD fonctionne sans arrêt. -Commande relativement simple. -Pour des niveaux élevés d'énergie éolienne, des charges secondaires sont réparties pour assurer une charge suffisante pour le diesel ou la production éolienne est réduite	50%-100%	20% - 50%
Elevé	-GD peut être arrêté en fonction de la production éolienne. -Systèmes auxiliaires pour contrôler la tension et la fréquence. -Commande complexe	100%-400%	20% -150%

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

I.10 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 [18].

Le fonctionnement de générateur renouvelable peut causer des problèmes aux systèmes SH 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 [19] 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 œuvre 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.

I.11.CONCLUSION

Ce chapitre nous a permis de donner un aperçu général sur le système d'énergie hybride (S.E.H) qui combines deux systèmes très populaires actuellement dans le marché de la production d'énergie électrique d'origine renouvelable, les systèmes photovoltaïques et les systèmes éoliens.

Dans ce contexte, les principales notions liées à la technologie utilisée dans les S.E.H ont été données. Notre travail portant sur un S.E.H composé d'une éolienne, des panneaux photovoltaïques générateur diesel et de batteries de stockage, une attention particulière a été consacré à ce type de sources et de stockage. Les différents types d'architectures existants, les outils de dimensionnement, ainsi que les problèmes habituels des S.E.H ont également été présentés.

Le dimensionnement et le fonctionnement des composantes du S.E.H doivent tenir compte des variations de la charge et des ressources renouvelables disponibles pour maximiser l'utilisation des ressources renouvelables. Dans ce but, les sources du S.E.H étudié sont modélisées puis dimensionnées dans le chapitre suivant.

Chapitre II :

Présentation de la Configuration choisie

II.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 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 [17] 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.

La configuration du SEH dépend évidemment des ressources énergétiques disponibles ainsi que des contraintes de l'utilisation. Ceci requiert une campagne de mesure et une analyse préalable des spécificités du site.

II.1 Présentation du site et caractéristiques de la charge

II.1.1 L'emplacement du système hybride

II.1.1.a. Site d'implantation

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

II.1.1.b. Données géographiques du lieu

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

II.1.2. Caractérisation de la charge et Prédétermination du profil énergétique de la Demande

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.

Les besoins énergétiques du site à alimenter se décomposent en deux types de charges :

- Une charge électrique : c'est l'énergie électrique consommée directement par les Utilisateurs
- Unité de dessalement : représente l'énergie électrique destinée pour la Production.

La caractéristique de la charge permet de spécifier le type d'application (raccordé au réseau, hors réseau) et de caractériser les besoins en énergie (la charge électrique).

Dans notre cas d'étude l'application est hors réseau, le but de SEH est d'alimenter en énergie une charge triphasée, la charge électrique est en courant alternatif (CA).

II.1.2.a. Chargement primaire

C'est une description de la demande d'électricité du site. 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 les diagrammes ci-dessous

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**

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

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.

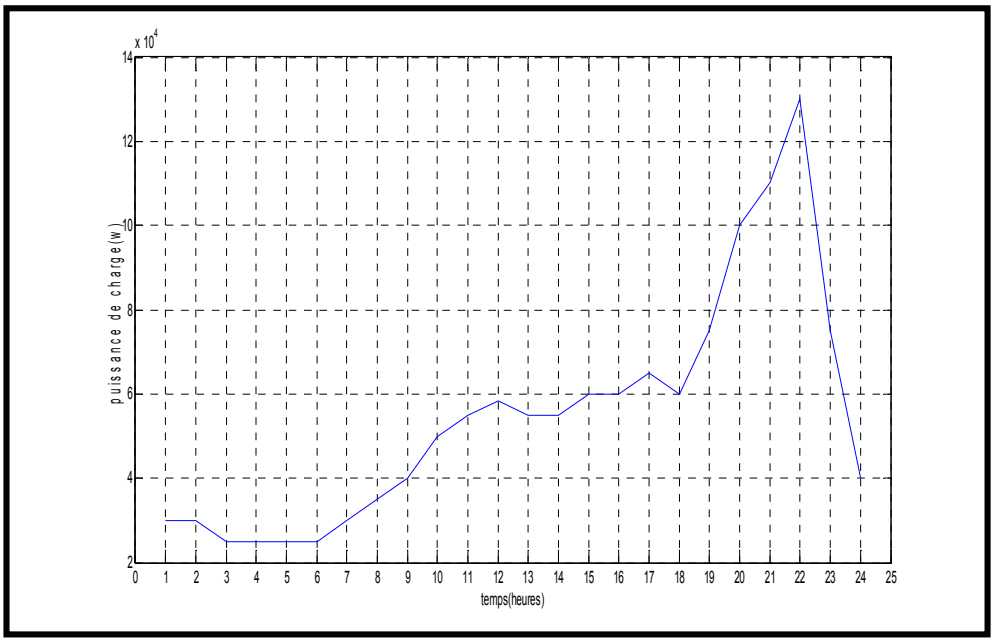


Figure II- 1 Répartition journalière de la charge électrique.

III.3. Variation climatiques sur le site Tindouf

Nous donnons sur les diagrammes ci-dessous l'évolution annuelle et sur un jour des principales caractéristiques climatiques du site Tindouf choisi :

III.3.1. Potentiel éolien

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. [18]

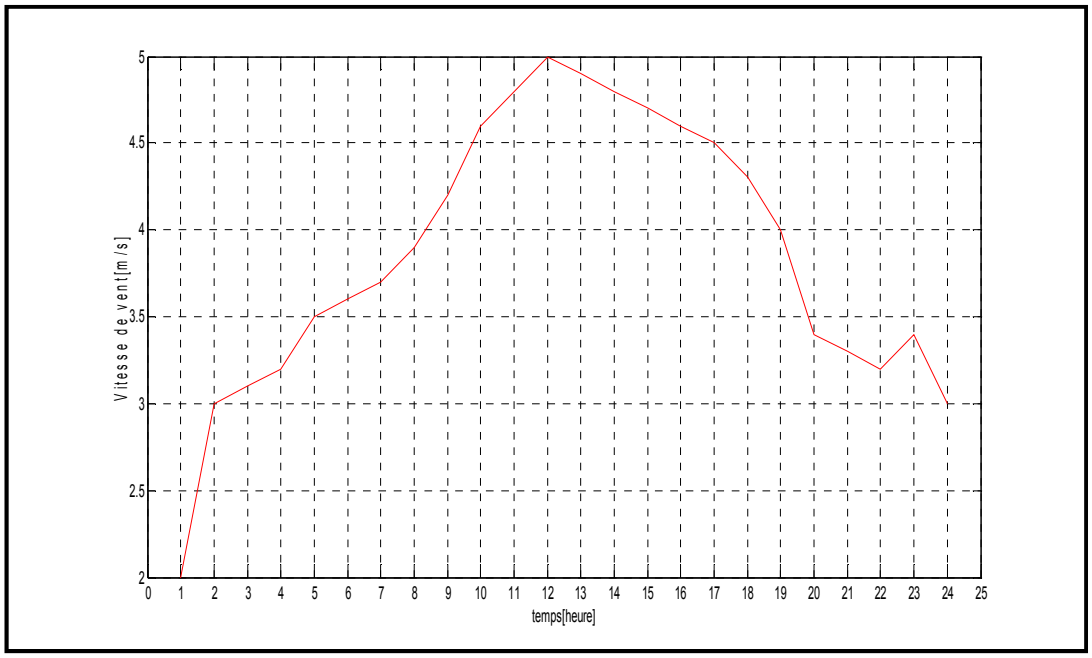


Figure II-2- Évolution de la vitesse du vent sur un jour.

III.3.2. Potentiel Solaire

De même que les vitesses, des mesures de l'irradiation solaire ont étaient prises sur le site (24 mesures par jour). En utilisant l'orientation et l'inclinaison des modules PV, la latitude du lieu et les valeurs du rayonnement global.

Comparaison entre 3 configurations Choisie pour irradiations solaire

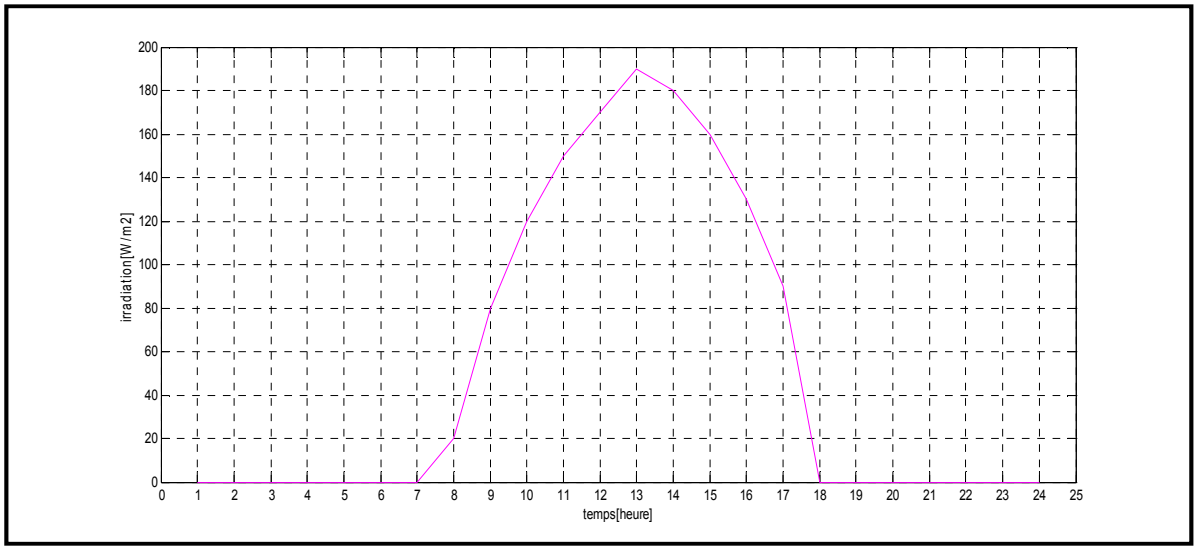


Figure III-3 : Évolution journalier des irradiations solaires (*diffus real*) horaire pour le site Tindouf

Remarquons qu'au niveau de l'irradiation solaire le site Tindouf présente un profil régulier sur jour Irradiation globale real

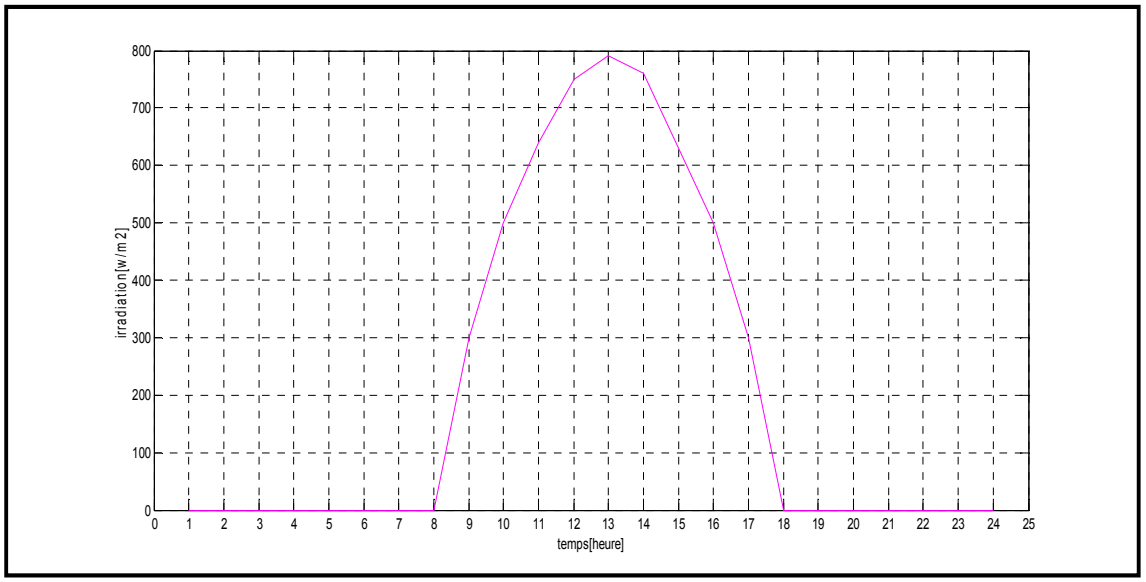


Figure II-4 : Évolution journalier des irradiations solaires (globale real) horaire pour le site Tindouf

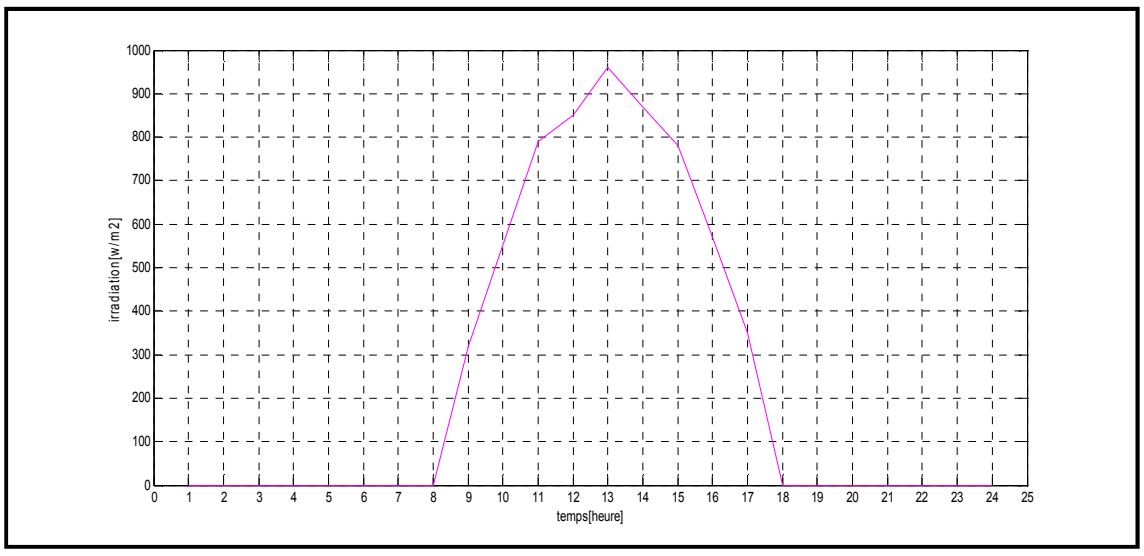


Figure II-5: Évolution journalier des irradiations solaires (global clear) horaire pour le site Tindouf

II.4 La configuration du système d'alimentation en énergie

Le projet Open- Gain concerne la mise en œuvre d'un système hybride de production D'énergies opérationnelles basées sur deux sources d'énergies renouvelables (solaire et éolienne) et d'une source fossile (diesel).

Le système de production d'énergie est conçu sur la base d'une étude D'investigation du marché. Des technologies de l'état de l'art des éléments de systèmes ont été sélectionnées.

II.4.1.1 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 (70 m/s) sans risque de passer en survitesse et ce à l'aide d'un dispositif de guidage des pales [27].

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 (figure II-6), 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-8.

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 aprè rectification (courant DC)	300	V(DC)
Durée de vie	25	ans

Tableau II-3 : Caractéristiques techniques de PROVEN 15 [28].

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 derégulation.

- **Redresseur contrôleur ECM15004ME/300 :** dont le rôle est de convertir le courant AC variable à la sortie du *GW15000* en courant DC variable avec une fréquence Constante de 50 Hz.

Le courant délivré par le générateur et ce du redresseur en fonction du régime de vent est Donné par le tableau suivant :

Vitesse rotation [tr/min]	Sortie GW15000 [VAc]	Sortie ECM15004ME/300 [VDc]
0	**0**	**0**
70 - 140	200 – 225	240 – 300
140	225	300

Tableau II-4 : Courant délivré par PROVEN 15.

II.4.1.2 Les panneaux photovoltaïques

Selon la puissance totale demandée ainsi que le type de notre installation, nous avons Opté pour l'installation de trois générateurs PV de puissance de 5 kWp (puissance PV Totale de 15 kWp), 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-6.



Figure II- 6: le générateur photovoltaïque *KD180 GX-LP*

Le tableau (II-6) décrit un modèle du champ solaire et ses paramètres. Les paramètres du Modèle sont les caractéristiques du champ photovoltaïque : les modules utilisés, le nombre

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

Tableau II- 5: Caractéristiques du générateur PV.

NOCT est le « Normal Operating Cell Temperature », un paramètre fourni par le Constructeur des panneaux solaires.
NOCT est la température de fonctionnement des cellules photovoltaïques dans les Conditions suivantes : un ensoleillement de 800 W/m², une température ambiante de 20°C Et une masse d'air optique AM égale à 1. Nous prenons : NOCT = 49 °C
La surface d'un module est de 1,3276 m^2. Chacun des trois générateurs est constituée de 27 modules, avec une surface de 35. 845 m^2. La surface totale des panneaux PV est donc de 107,535 m^2.

II.4.1.3 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.

Moteur Diesel

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	

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

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 (cas le plus défavorable). Entre autre, il est utilisé pour la recharge des batteries.

II.4.1.4 Le système de stockage : Batteries

Il est possible d'assurer la fourniture de toute l'énergie nécessaire au site directement par Les trois 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.

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	a

Tableau II- 7: Caractéristiques des batteries [28].

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

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 (cas le plus défavorable). Entre autre, il est utilisé pour la recharge des batteries

II.4.1.5 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.

a) 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 bus AC (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 de 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…).

Trois 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 annexe)

b) 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 18 kW). Trois WB6000 seront installés, chacun développe une phase (voir schéma électrique annexe D).

c) 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, trois SMC6000A seront installés de la même manière. (Voir le tableau II- 12Les caractéristiques techniques de cet onduleur annexe).

II.5 Le fonctionnement de l'installation

L'analyse du fonctionnement du système et de ses composants permet de fixer Préalablement une partie de ces paramètres. Le reste de ces paramètres est déterminé par des routines d'optimisation afin de compléter la définition du système en termes de dimensionnement.
Les hypothèses et critères utilisés sont détaillés dans ce chapitre.
L'installation pour application en site isolé est constituée principalement de trois générateurs photovoltaïques il s'agit d'un champ de panneaux (ou modules) solaires photovoltaïques, d'une turbine éolienne, d'un générateur 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 .L'onduleur (convertisseur DC/AC) sera utilisé dans les systèmes incluant un bus alternatif. 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 produisent du courant continu. 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.

II.5.1 Système modulaire couplé du côté AC

De nombreux composants nouveaux ou renouvelés, sont aujourd'hui candidats à la production et/ou stockage d'électricité. Ils constituent une offre de plus en plus riche permettant de couvrir de nouveaux besoins en électricité, éventuellement indépendante du réseau de distribution pour des applications isolées, mobiles ou nomades : générateurs photovoltaïques et éoliens, groupes électrogènes à cogénération, composants électrochimiques accumulateurs et piles à combustibles de technologies très variées.

Soulignons que la plupart de ces composants sont **modulaires** (cellulaires) et présentent une propriété « basse tension et fort courant » remarquable qui suscite des études spécifiques, d'une part sur des convertisseurs statiques adaptés à cette propriété, d'autre part relativement à l'exploitation judicieuse de leur modularité par la bonne maîtrise des déséquilibres dans les associations série et parallèle.

II.6 Conclusion

Nous avons donné la structure de la représentation de l'installation étudiée dans ce mémoire.

Chapitre III
Modélisation et dimensionnement du système hybride

III.1.Introduction

La modélisation est un moyen destine a représente par une forme mathématique une fonction ou un processus technologique. Elle a pour but d'étudier théoriquement le comportement de certains paramètres et de les optimiser en respectant une contrainte donnée.

Elle 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.

Le générateur photovoltaïque (PV) et la turbine éolienne sont largement utilisés dans les applications des sources d'énergie renouvelables et il est important d'avoir la capacité à évaluer les performances des systèmes installés.

Dans ce cadre, nous présenterons dans ce chapitre d'abord, la modélisation du système hybride photovoltaïque-éolien diésel, en ce proposons l'élaboration des modèles mathématiques pour les deux systèmes de productions, afin de renforcer la maîtrise de leur exploitation, surtout du point de vue des écoulements des puissances de production en fonction des conditions météorologiques données ou estimées. Puis nous passons au dimensionnement des différents constituants de ce système hybride afin d'obtenir sa taille optimale.

III.2. Caractéristiques des énergies photovoltaïque et éolienne

III.2.1. générateur Photovoltaïque

Par définition un générateur photovoltaïque (PV) transforme l'énergie des photons (de la Lumière) en électricité .L'effet photovoltaïque est réalise par les cellules Photovoltaïques correspondant à des semi conducteurs dont la structure électronique a été Modifiée (insertion d'impuretés. Dans notre cas nous nous intéressons uniquement aux propriétés électriques des générateurs photovoltaïques, et particulièrement à leurs comportements en puissance.

L'association de cellules photovoltaïques forme un module, et nous appellerons < générateur Photovoltaïque > un module ou l'association de plusieurs modules. On considère que le comportement en puissance d'un générateur photovoltaïque est identique a celui d'une cellule.

L'énergie 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. L'énergie électrique produite par un générateur photovoltaïque est donnée par **[1]** :

$E_{PV}=R_{PV} \cdot S_{PV} \cdot P_F \cdot H$

Ou :

S_{PV} : La surface totale du générateur photovoltaïque

PV : Le rendement du générateur photovoltaïque ;

H : L'irradiation solaire sur plan incliné ($Kwh/m2$)

P_F : Le facteur de remplissage du module, égal à 0.

Le rendement du générateur photovoltaïque est représenté par l'équation suivante :

$R_{PV}=\eta_r \{1-\gamma (Tc-25)\}$

$Tc=Ta+G_{ins}(\frac{NOCT-20}{800})$

γ : Coefficient tenant compte de la variation du rendement du module photovoltaïque en fonction de la température, qui est pris à (0.0045 /°C) ;

η_r : Le rendement de référence du générateur photovoltaïque ; : Le rendement de référence du ;

T_a : Température ambiante moyenne journalière (°C) ;

T_c : Température cellule moyenne journalière (°C) ;

NOCT : Température nominale de fonctionnement de la cellule.

III.2.2 Générateur éolien :

La puissance contenue sous forme d'énergie cinétique, P (W), dans le vent est exprimée par :

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^3$$

Avec :

S : Surface traversée par le vent (m^2) ;

ρ : Densité de l'air $(\rho = 1{,}225 Kg/m^3)$;

V : Vitesse du vent (m/s) .

Le générateur éolien ne peut récupérer qu'une partie de cette puissance de vent et qui représente la puissance produite par le générateur éolien :

$$P_{eol} = \frac{1}{2} \rho C_e S V^3 10^{-3}$$

Ou :

Ce : Facteur d'efficacité, qui dépend de la vitesse du vent et de l'architecture du système [2]. il est déterminé à partir des performances de l'unité de transformation.

$$C_e = C_P \cdot \eta_m \cdot \eta_g$$

Ou :

η_m et η_g : représentent le rendement respectivement du multiplicateur et de la génératrice.

C_P : Le coefficient de performance de la turbine éolienne. Il ne peut théoriquement pas dépasser une limite dite limite de Betz (Cp limite = 0.593).

Par conséquent, l'énergie produite par le générateur éolien est exprimée par

$$E_{eol} = P_{eol} \cdot \Delta t$$

III.2.3. Potentiel solaire

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'ensoleillement sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national , soit prés de 1700 KWh\ m^2\an au Nord et 2650 KWh\ m^2\an au sud du pays .

III.2.4. Potentiel éolien

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement du à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes (Voir Figure III.1).

Le Nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien.

La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud-ouest, avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar.

Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et Kheïter ainsi que dans la région délimitée par Bejaïa au Nord et Biskra au Sud **[2]**.

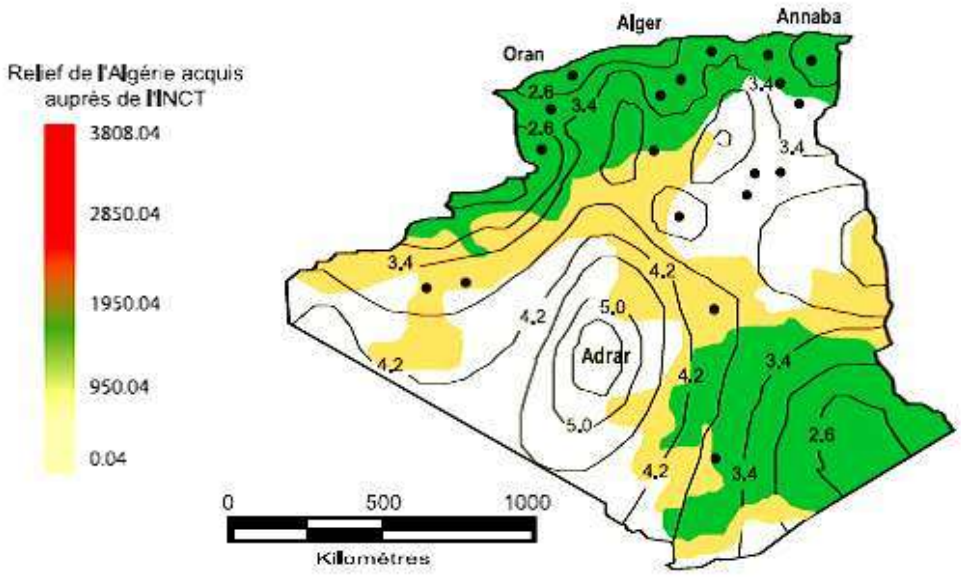


Figure III.1 : *Tracé des vitesses moyennes du vent à 10 m du sol.*

III.3. Modélisation du système hybride photovoltaïque-éolien

III.3.1 Générateur photovoltaïque

III.3.1.1 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une jonction P-N est créée par la mise en contact d'un semi-conducteur dopé N (donneurs d'électrons) et d'un semi-conducteur dopé P (composé de trous). L'interface entres

ces deux régions s'appelle une jonction. La naissance d'une différence de potentiel lorsque les Les contacts de la face éclairée de la cellule ont la structure d'une grille afin de n'occulter qu'une faible partie de la surface (5 à 10%). La face arrière peut être entièrement métallisée. Afin de réduire les pertes par réflexion du rayonnement incident, une couche antireflet recouvre uniformément toute la face avant.

La puissance maximale pouvant être délivrée par le module photovoltaïque est définie sur sa caractéristique *I-V* par le point de puissance maximale (MPP en anglais, Maximum Power Point).

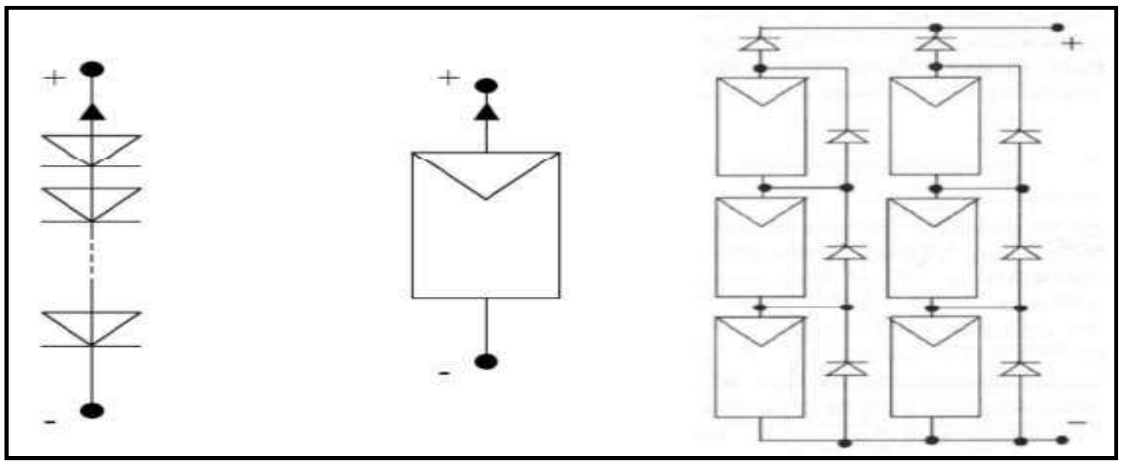


Figure. III-2: *Cellules, module et panneau photovoltaïques*

III.3.1.2.Modélisation du générateur PV

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 [3]:

$P_{gen} = \eta_{gen} \times A_C \times E_S$

Tel que :

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

η_{gen}: Le rendement du générateur photovoltaïque,

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

Le rendement d'un générateur photovoltaïqueη_{gen} est calculé par l'équation suivante:

$$\eta_{gen} = \eta_{mod} \times \eta_{dc/ac} \times P_f \times N_{mod} \quad \text{III.3}$$

$$\eta_{mod} = \eta_{ref}\{1 - \beta(Tc - Tref)\} \quad \text{III.4}$$

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,

η_{gen}: 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.

Le modèle à une diode est le modèle le plus classique de la littérature **[4]**. Il fait intervenir un générateur de courant pour la modélisation du flux lumineux incident, une diode pour les phénomènes de polarisation de la cellule, deux résistances (série et shunte) pour les pertes, le modèle d'une cellule est celui de la figure ci-dessous

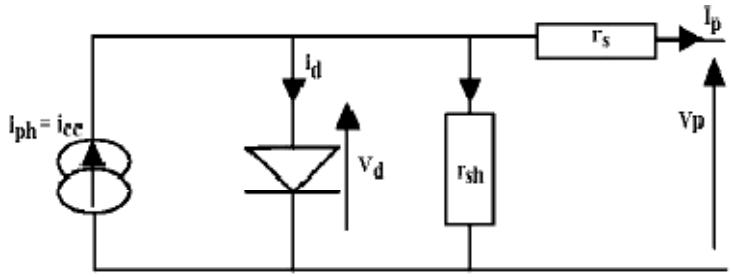


Figure III.3 : *Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque.*

Ce modèle comporte quatre variables .Les deux variables d'entrée sont :

E_S : Ensoleillement dans le plan des modules (W /$m2$) ;

T_J : Température de jonction de la cellule ($°C$) Les deux variables de sortie sont :

I_G : Courant fourni par le groupe de modules (A)

V_G : Tension aux bornes du groupe de modules (Volts).

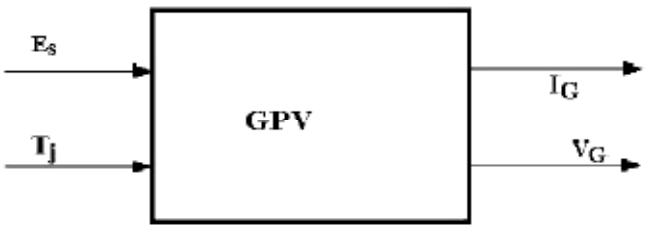


Figure III.4 *: Schéma bloc du Générateur Photovoltaïque.*

Nous obtenons alors l'équation caractéristique pour un groupe de modules photovoltaïques déduite du schéma électrique équivalent

$I_G = I_{ph} - I_d - I.R_{Sh}$

Le courant, I_{ph} est directement dépendant de l'ensoleillement et de la température des modules et peut se mettre sous la forme :

$I_{ph} = P_1 . E_s . [1 + P_2(E_S - E_{sref}) + P_3 (T_j - T_{jref})]$

Ou :

E_{sref} :1000W\m^2 : Ensoleillement de référence

T_{jref} :25°C : Température de référence des modules ;

P_1, P_2, P_3 : Paramètres constants.

Le courant de polarisation de la jonction P-N, I_d est donné par l'expression :

$$I_d = I_{Sat} \cdot \left[exp\left(\frac{q}{K \cdot A \cdot n_S T_J} (V_G + R_S \cdot I_G) \right) - 1 \right]$$

Avec :

I_{Sat} : Courant de saturation (A) ;

K : Constante de Boltzmann $(1{,}38 \cdot 10^{-23} J/K)$;

q : Charge élémentaire $(1{,}6 \cdot 10^{-19} C)$;

A : Facteur d'idéalité de la jonction.

III.3.2. Modèle éolien

III.3.2.1. 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-5).

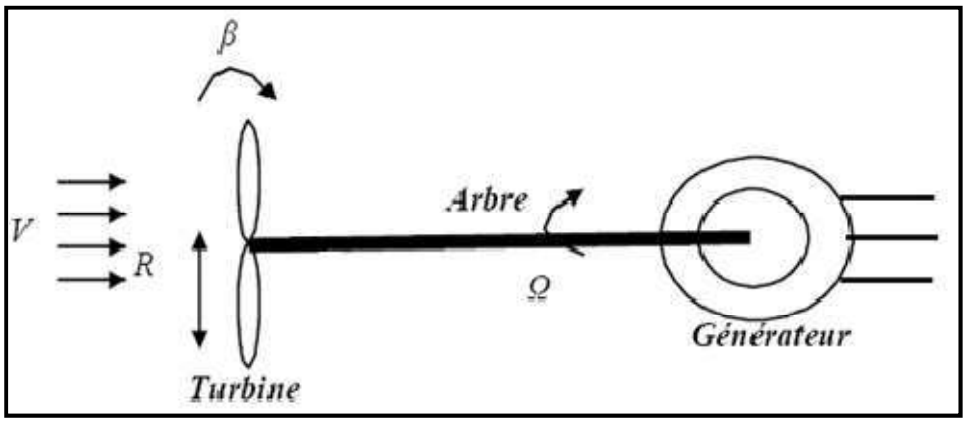


Figure III-5: *Schéma de la turbine éolienne*

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* (λ, β). Les équations (III.5) et (III.6), 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 :

$$P_{m=C_p\,(\lambda,\beta)\frac{pA}{2}V_v{}^3}$$

ρ est la densité de l'air (Kg/m^3),

A est la surface balayée par de rotor de l'éolienne (m^2),

V_v 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)* **[5]**

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

$$C_p(\lambda.\beta) = C_1\left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3\beta - C_4\right)\exp\left(\frac{-C_5}{\lambda_i}\right) + C_6\lambda_i. \qquad \text{III.6}$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda+00\varepsilon\beta} - \frac{0035}{\beta^3+1}. \qquad \text{III.7}$$

Et les coefficients *C 1 à C 6*

C = 0.5176 ; C = 116 ; C = 0.4 ; C = 5 ; C = 21 ; C = 0.0068.

$$\lambda=\frac{R\Omega}{V} \qquad \text{III.8}$$

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

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

La figure III-6 représente les allures de la courbe *Cp* (λ) de l'éolienne

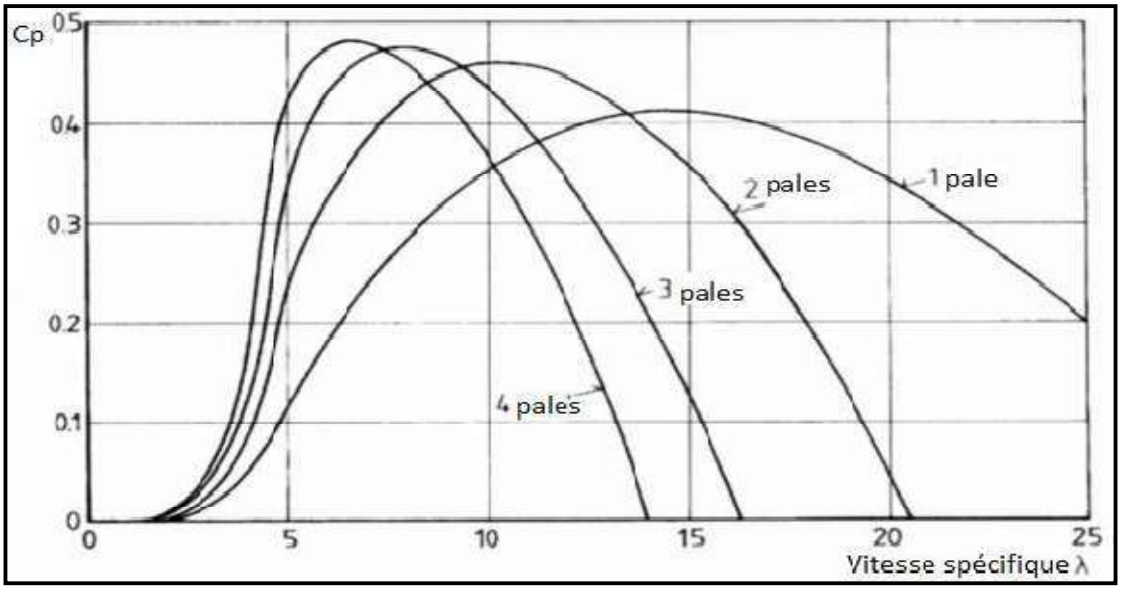


Figure III-6 : *Caractéristique coefficient de puissance/vitesse spécifique de vitesse pour différents angles d'inclinaison des pales*

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 montre qu'une petite variation de la vitesse du vent(V) induit une grande variation de la puissance générée.

III.3.2.2Modélisation du système éolien

Une voilure éolienne transforme l'énergie de la masse d'air en mouvement et délivre une puissance mécanique, caractérisée par la vitesse de rotation et le couple mécanique :

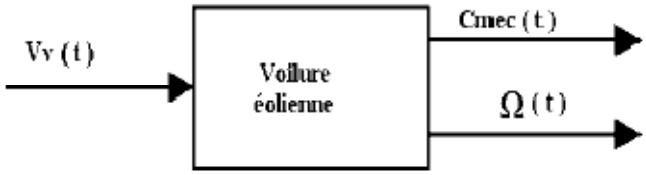


Figure III.7 *: Modèle de la voilure.*

Selon la caractéristique propre de la voilure C_P (λ) donnée par l'équation suivante:

$$C_p = \frac{2 \cdot P_{eol}}{\tau \cdot S \cdot V_V^3}$$

On peut calculer la puissance éolienne qui est donnée par l'équation ci-dessous :

$$P_{eol} = \frac{1}{2} \cdot C_P(\lambda) \cdot \rho \cdot S \cdot V_V^3$$

Le couple éolien est donné par l'équation suivante :

$$C_{eol} = C_{mec} = \frac{1}{2} \cdot \frac{C_P(\lambda) \cdot \rho \cdot R \cdot S \cdot V_V^2}{\lambda}$$

Dans notre travail, nous avons utilisé un modèle simplifié basé sur la connaissance de la densité de probabilité de Weibull et qui a donnée preuve de précision. Ce modèle suppose que la puissance moyenne produite par un aérogénérateur est estimée par la relation suivante et proposé par

$$P = \int_{V_{in}}^{V_{out}} P(v) f(v) dv$$

Ainsi, connaissant les caractéristiques de l'aérogénérateur choisi, de la moyenne mensuelle par jour de la vitesse du vent et de la densité de probabilité correspondante, nous pouvons déduire rapidement la puissance produite par l'aérogénérateur

III.3.2.3 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.8

La caractéristique de puissance en fonction de la vitesse du vent est alors évaluée.

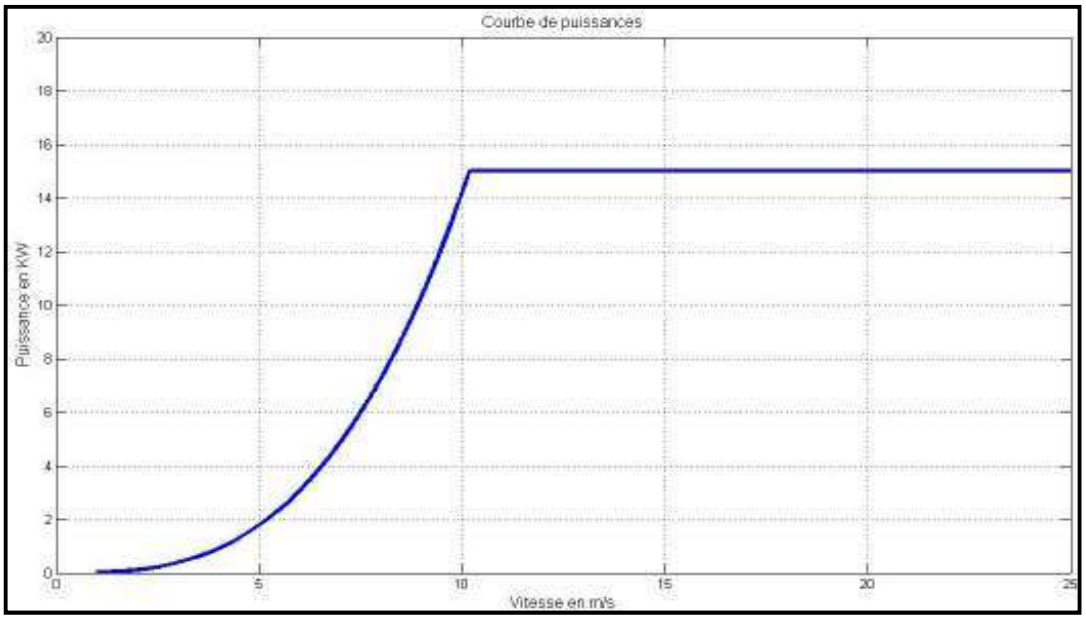


Figure III - 8 : *Courbe typique de puissance en fonction de la vitesse du vent*

III.3.2.4. Modélisation du gisement éolien

La distribution de Wei bull **[6]** décrit la distribution en fréquence de la vitesse du vent. Elle s'est avérée approprié pour la description des propriétés statistiques du vent. La fonction de Wei bull est fonction de deux paramètres c et k et s'écrit :

$F(V)$=1−e $[\frac{v^k}{c}]$

ou :

c : Facteur d'échelle (m/s)

v : Facteur de forme sans dimension, il caractérise l'asymétrie de la distribution.

Ainsi, en utilisant la définition de $f\ (v)$, celle-ci s'écrit donc :

$$f\ (v)=\left(\frac{k}{c}\right)\ (\frac{k}{c})^{k-1}e[-\left(\frac{v}{c}\right)]^k$$

Pour différents paramètres k et c

III.3.2.5 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 V_n, on spécifie aussi :

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

III.3.3 Modélisation du système de stockage

III.3.3.1 Modèle de Copetti de batterie

Parmi les modèles des batteries, celui basé sur l'observation du phénomène physico-chimique de la charge et de la décharge du système de stockage. Ce modèle **[7]** est basé sur le schéma électrique. (Voir Figure III.9), la batterie est alors décrite par seulement deux éléments dont les caractéristiques dépendent d'un certain nombre de paramètres : une source de tensions et sa résistance interne.

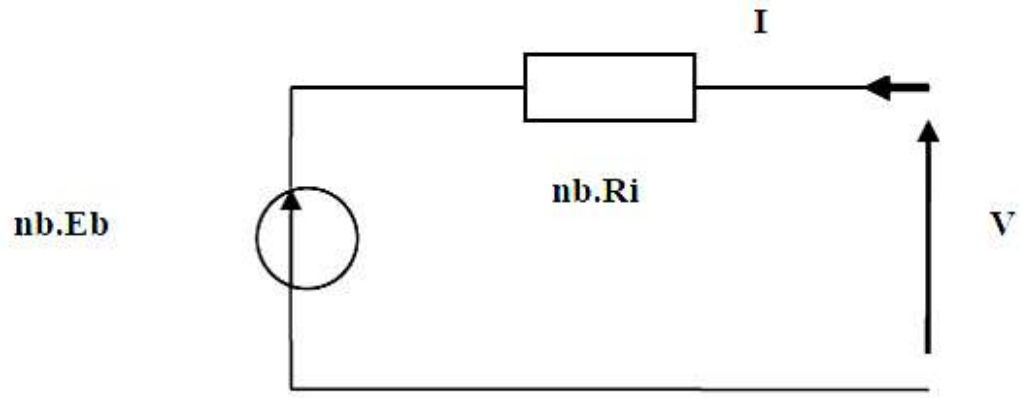


Figure III.9 : *Schéma électrique équivalent de nb éléments de batteries en séries.*

Le modèle de batterie implanté dans les programmes de simulations numériques s'inspire du modèle des batteries Ford . Soit U, la tension aux bornes de la batterie (Voir la Figure III.10) :

$$U = E_0 - k.\frac{\int ib.dt}{q0} - R_B.I_B$$

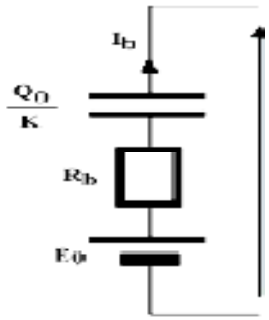


***Figure III.10**: Modèle électrique de la batterie.*

III.3.3.2Modélisation 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 :

$$C_{batmin}(t) \leq C_{bat}(t) \leq C_{batmax}(t) \quad \text{.III.12}$$

avec

$$C_{batmin} = DOD.C_{bat} \quad \text{III.13}$$

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 :

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) + (\big(p_{tot}(t) - P_{cha}(t)\big) + P_{ge}(t))\eta_{ac/dc}\eta_{cha}\Delta t \quad \text{III.14}$$

$$C_{bat}(t) = C_{bat}(t-1) + \big(p_{tot}(t) - P_{cha}(t)\big)\Delta t/\eta_{dc/ac}\eta_{decha}. \quad \text{III.15}$$

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

C_{bat} (t) est la capacité C_{bat}de la batterie à l'instant t

C_{bat} (t-1) est la capacitéC_{bat} de la batterie à l'instant t-1 (le pas de temps est considéré égal à 1 heure).

Lorsque t=0, C_{bat} (t-1) est la capacité initiale de la batterie.

III.3.4 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%).

III.4. Dimensionnement du système hybride photovoltaïque-éolien

III.4.1. Méthode de dimensionnement hypothèses technico-économiques

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 (irradiation solaire, vitesse du vent) pour déterminer la taille des panneaux photovoltaïques, la surface de l'aérogénérateur 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 [8, 9]. En tenant compte de ces deux facteurs, et dans le but d'optimiser un système couplé, on a réalisé une simulation qui utilise les valeurs journalières de l'irradiation solaire et de la vitesse du vent pour évaluer l'énergie produite par le système. Pour tenir compte de la nature stochastique du rayonnement et de la vitesse du vent, et on a considéré une année de référence des deux grandeurs [10].

III.4.2. Données climatiques et l'énergie demandée

Les performances des panneaux photovoltaïques et des aérogénérateurs sont directement corrélées aux données climatiques qui sont en principe l'irradiation solaire et la vitesse du vent. Pour un profil de charge donné, la taille du système augmente quand les ressources climatiques sont faibles. Généralement, la grandeur de la demande en énergie est une fonction variable du temps. Dans notre cas, on a adopté une valeur de la consommation journalière constante durant chaque saison. Par ailleurs, nous nous sommes limités au cas des systèmes de faible puissance qui correspond au cas des applications domestiques, où la consommation est de l'ordre de 2,547KWh par jour (saison hivernale et automnale), et de 3,027KWh par jour (saison estivale et printanière)

III.4.3. Performance du système et détermination du mois le plus défavorable

L'énergie mensuelle produite par le système par unité de surface est notée $E_{pv,m}$(KWh\m^2) pour le photovoltaïque et $E_{eol,m}$(KWh\m^2) pour l'éolien (où m = 1, …, 12, représente le mois de l'année), et E_d l'énergie demandée [11].

Dans un premier temps, nous avons calculé le mois le plus défavorable du système qui est une fonction de la charge mensuelle. Nous déterminons le mois le plus défavorable pour le système photovoltaïque seul et pour le système éolien seul durant l'année 2015.

On note S_{pv} et S_{eol} les surfaces respectivement des panneaux et de l'aérogénérateur qui peuvent produire une couverture de 100 % de la charge durant le mois le plus défavorable :

$$S_{PV} = Max\left(\frac{E_d}{E_{PV}}\right)$$

$$S_{eol} = Max\left(\frac{E_d}{E_{eol}}\right)$$

Du fait que la charge demandée est constante, pour chaque saison, pour les données photovoltaïques et éoliennes; les résultats montrent que le mois le plus défavorable est celui dont le rapport entre l'irradiation solaire et la vitesse du vent soit minimum.

III.4.4. Taille des composantes renouvelables

L'énergie totale produite par les deux générateurs photovoltaïque et éolien qui alimentent la charge est exprimée par:

$E_{pv} . S_{pv} + E_{eol} . S_{eol} = E_d$

En utilisant les deux sources renouvelables, la charge est divisée en deux parties. Si la fraction de la charge donnée par le système photovoltaïque est f, alors le complémentaire qui

est (1 - f) de la demande doit être satisfait par le système éolien. Les valeurs limites de f correspondent à des systèmes purs. En effet, f = 1 correspond à une utilisation de 100 % du photovoltaïque et f = 0 représente 100 % d'utilisation du système éolien. Donc les équations deviennent :

$E_{pv} . S_{pv} = f E_d$

$E_{eol} . S_{eol} = (1-f) E_d$

Avec :

$E_{pv} = R_{pv} \cdot S_{pv} \cdot H$

Et :

$E_{eol} = 0{,}6125 \cdot C_p \cdot S_{eol} \cdot V^3$

Dans cette étude, deux scénarios sont considérés qui sont basés respectivement sur les moyennes annuelles pour chaque mois et la moyenne du mois le plus défavorable de l'énergie totale incidente [12].

III.4.5. Scénario 1 (s = 1), les moyennes annuelles pour chaque mois

Dans cette méthode, nous avons déterminé les surfaces des panneaux photovoltaïques et de l'aérogénérateur à partir des valeurs moyennes annuelles calculées à partir des valeurs mensuelles, qu'on note. $\overline{E_{PV}}$ et $\overline{E_{eol}}$.

La charge est notée $\overline{E_d}$ et les surfaces des composantes solaire et éolienne sont données par les équations suivantes :

$$S_{PV}^{S=1} = f \frac{\overline{E_d}}{\overline{E_{PV}}}$$

$$S_{eol}^{S=1} = (1-f) \frac{\overline{E_d}}{\overline{E_{eol}}}$$

En pratique, ce scénario est utilisé lorsqu'on ne dispose que des données moyennes climatiques annuelles.

III.4.6 Scénario 2 (s = 2), la méthode du mois le plus défavorable

Pour cette méthode, on détermine les surfaces en respectant le mois le plus défavorable pour le solaire et pour l'éolien.

La surface requise pour les composantes renouvelables est donnée par :

$$S_{PV}^{S=2} = f Max \left(\frac{\overline{E_d}}{\overline{E_{PV}}} \right)$$

$$S_{eol}^{S=2} = (1-f) Max \left(\frac{\overline{E_d}}{\overline{E_{eol}}} \right)$$

Ce scénario est utilisé lorsqu'on dispose d'une base de données mensuelle du site considéré.

III.4.7. Surfaces retenues des composantes renouvelables

La composante retenue de la surface $S_{i;a}$ (i = 1 pour le PV et i = 2 pour l'éolien) est particulièrement essentielle pour les systèmes de petite échelle économique. Ceci est pris en compte en introduisant la surface de l'unité de composante $S_{i.u}$($S_{PV,u}$= 0,3m^2 et $S_{eol,u}$= 0,65m^2). La surface retenue est calculée à partir de l'équation suivante :

$$S_{i,u}^{S} = \text{Cte}\ S_{i,u}$$

Avec :

Cte : Nombre entier voisin à degré élevé du rapport. $\frac{S_i^S}{S_{i,S}}$.

S : Représente le scénario.

III.4.8. Coefficient d'autonomie R

Le coefficient d'autonomie R du système [13] est calculé à partir du rapport du nombre total des jours où on a le déficit au nombre total des jours de l'opération.

$$R = 1 - \frac{Njd}{Ntot}$$

Avec :

Njd: Nombre total des jours de l'année où on a le déficit d'énergie ;

Ntot: Nombre total des jours de l'année de fonctionnement.

Pour une opération annuelle, le nombre total est égal à 365 jours.

Dans le système de mesure et d'optimisation, le critère d'autonomie est : $R \geq R_{min}$ avec R_{min} la fraction minimale du temps alloué pour lequel le système doit couvrir la demande.

III.4.9. Capacité du système de stockage

La taille de la batterie de stockage est déterminée à partir de la charge demandée maximale $E_{d,max}$ (charge mensuelle maximale). La capacité de la batterie de stockage(en Ah) pour une période de temps Δt par jour est donnée par l'équation suivante :

$$C_{bat} = \frac{E_{d,max} \cdot 1000}{V_{Sys}} \cdot \frac{\Delta t}{N_m}$$

Avec :

V_{sys} :Tension nominale du système [V];

N_m : Nombre de jours du mois le plus défavorable ;

Δt : Durée relative en jours à l'autonomie demandée, qui est définie par le concepteur.

La capacité réelle de la batterie est déterminée à partir de la capacité d'une unité de batterie $C_{bat,u}$ comme pour le cas des surfaces des générateurs photovoltaïque et éolien.

Elle est donnée par l'équation suivante :

$$C_{bat,u} = C^{te} C_{bat,u}$$

Avec :

C^{te} qui est une constante donnée par la partie entière du rapport $\left(\frac{C_{bat}}{C_{bat,u}}\right)$.

III.5.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- 11).

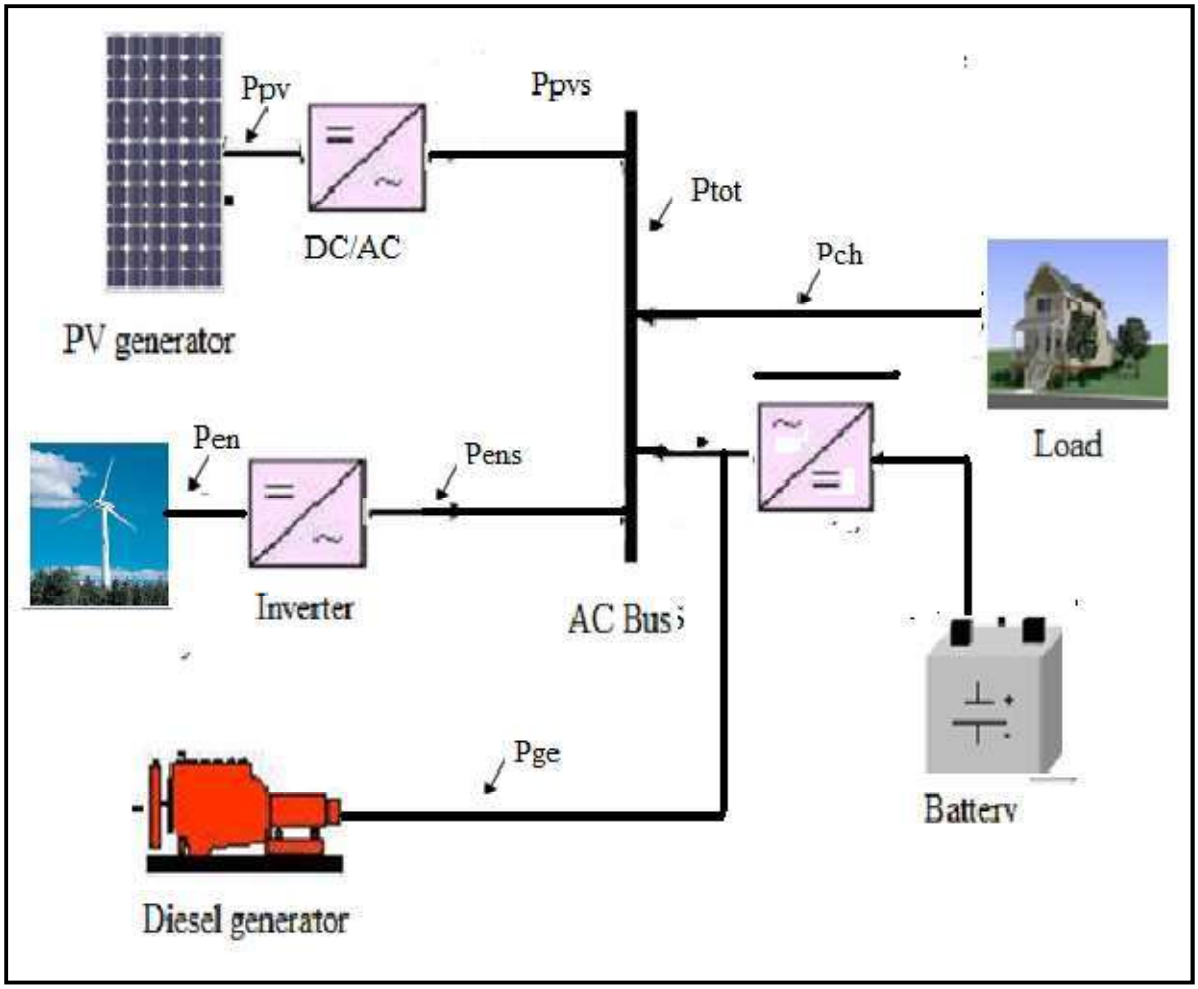


Figure III-11 : *Architecture du système étudié*

III.5.1 Principe de fonctionnement

Les performances d'un SEH, sont influencées par le choix de la stratégie de fonctionnement. La priorité est la fourniture de l'énergie demandée par l'utilisateur à partir de l'énergie produite par le champ photovoltaïque et l'éolienne. Ces générateurs peuvent être suppléés par des groupes électrogènes afin d'assurer la fourniture électrique du consommateur lorsque l'état de charge des accumulateurs est insuffisant Lorsque la charge de consommation est faible, le générateur diesel est éteint. La puissance des batteries, l'énergie solaire et l'énergie éolienne sont transférées à la charge à travers l'onduleur. Dans le cas de charges de consommation moyennes, le groupe électrogène diesel alimente la charge directement. Le surplus d'énergie générée à partir de la génératrice diesel est utilisé pour charger la batterie à travers le convertisseur bidirectionnel dans le mode de charge des batteries. C'est pourquoi le groupe électrogène diesel fonctionne dans des conditions optimales.

Le PV et l'éolien alimentent la charge du consommateur. S'il ya un déficit, la Charge fait appel au système de batterie pour combler ce déficit d'énergie. Si l'énergie totale produite par le PV et l'éolienne avec celle stockée dans la batterie ne satisfait pas la
Charge, à ce moment-là le groupe électrogène intervient pour combler le déficit. Son arrêt et son démarrage sont conditionnés respectivement par le seuil maximal et le seuil minimal de la batterie.

III.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présentées une étude de dimensionnement et d'optimisation technico-économique du système hybride photovoltaïque/éolien autonome avec batteries de stockage, en utilisant deux scénarios préalables.

Le premier scénario est basé sur la moyenne des valeurs mensuelles annuelles dans laquelle la taille des générateurs photovoltaïque et éolien est déterminée à partir des valeurs moyennes mensuelles des contributions de chaque composant.

Dans le second scénario, la détermination des tailles de ces deux composants du système est basée sur le mois le plus défavorable (défini comme étant le mois qui nécessite la plus grande utilisation de la surface du générateur photovoltaïque/éolien).

Chapitre IV :

Résultats de et discussions

IV.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 .

IV.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.

IV.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.

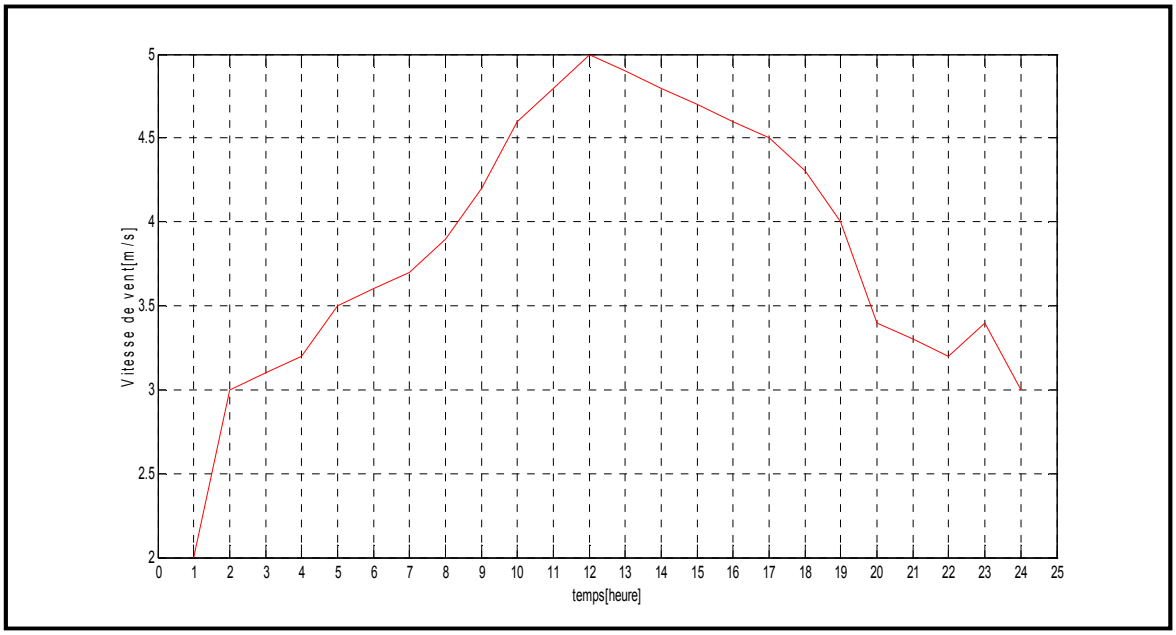


Figure IV-1- : *Évolution de la vitesse du vent sur un jour.*

IV.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 **IV**-2 présente les variations de l'irradiation solaire en fonction de temps pour un jour .

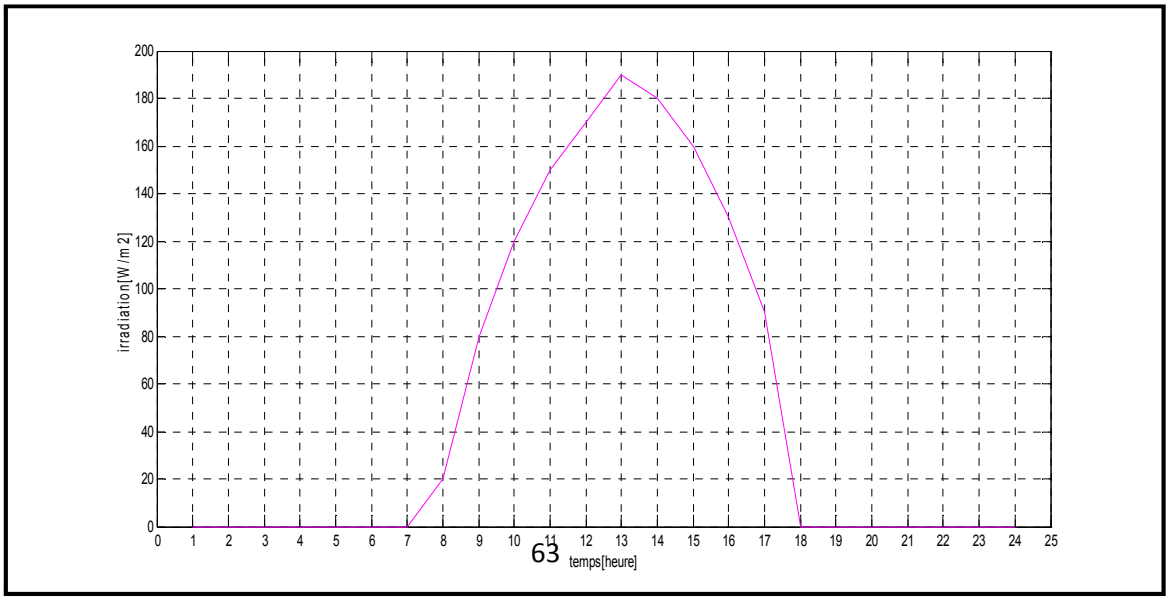


***Figure IV-2** : Évolution journalier des irradiations solaires horaire pour le site Tindouf*

IV.2.3. Caractéristique de la charge choisie

Ce système autonome doit permettre d'alimenter une communauté de 480 personnes, et une unité de dessalement par osmose inverse pour la production de l'eau douce.

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

Le dimensionnent d'un tel système de production de l'énergie dépend essentiellement du profil de la consommation à satisfaire. La puissance demandée par un foyer de nature donnée n'est par figée le long de l'année. L'heure de sollicitation maximale du système énergétique par la charge varie en fonction des saisons conséquence à la variation de la durée du jour.

Dans notre cas d'étude l'application est raccordée au réseau, le but de SEH est d'alimenter en énergie une charge triphasée, la charge électrique est en courant alternatif (CA).

Dans notre étude nous avons choisi une charge de type AC fonctionnant en Permanence un jour données respectivement sur les figures IV-3.

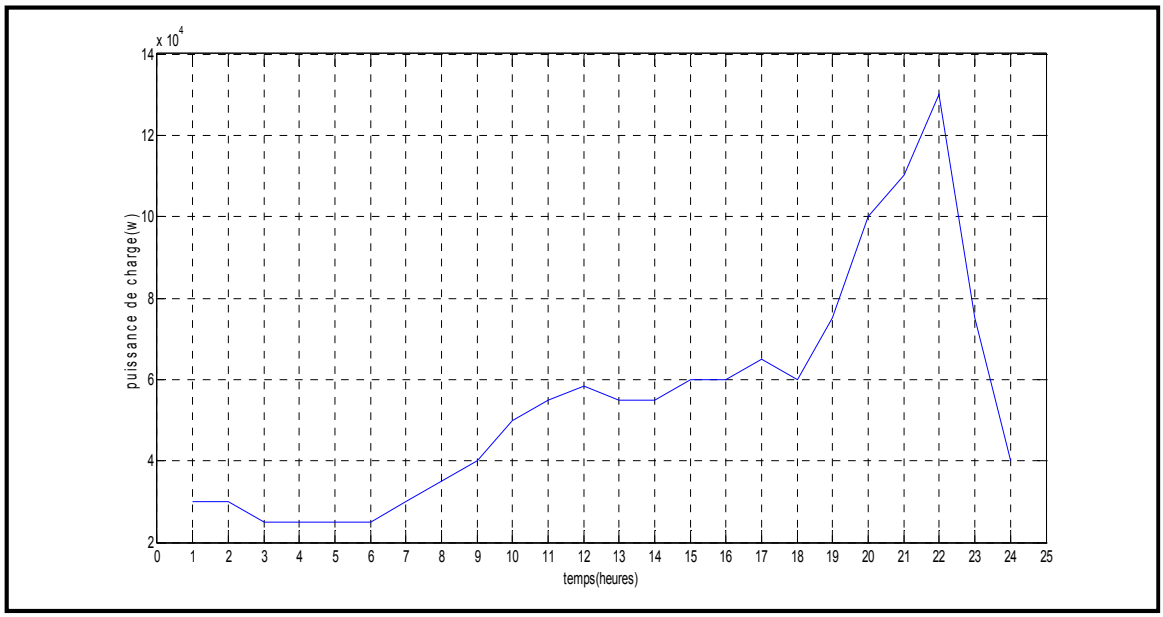


***Figure IV-3:** lustration du profil de charge pour un jour*

Les besoins en énergie des populations La figure IV.3 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.3 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.

IV.3. Indices de performance du système étudié

Les résultats de simulation obtenus pour le système testé permettent une évaluation complète des paramètres du SEH. Les paramètres de performance, le fonctionnement du système et l'influence de ses paramètres décrits ci-dessous, proviennent de l'analyse de l'ensemble des simulations réalisées.

La distribution de la puissance produite par les générateurs PV et éolien et diesel relatif au système étudié et au site Tindouf est illustré dans les figures IV-4 et IV-7.et IV8

IV.3.1.Puissance produite par le générateur PV

Après l'analyse des résultats obtenus pour les 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 . La production par PV est nulle, ou très faible, aux périodes de consommation électrique (entre 19 h et 06 h),

Comparaison entre 3 configurations Choisie pour la puissance produite a la générateur PV (Défirent irradiations solaire)

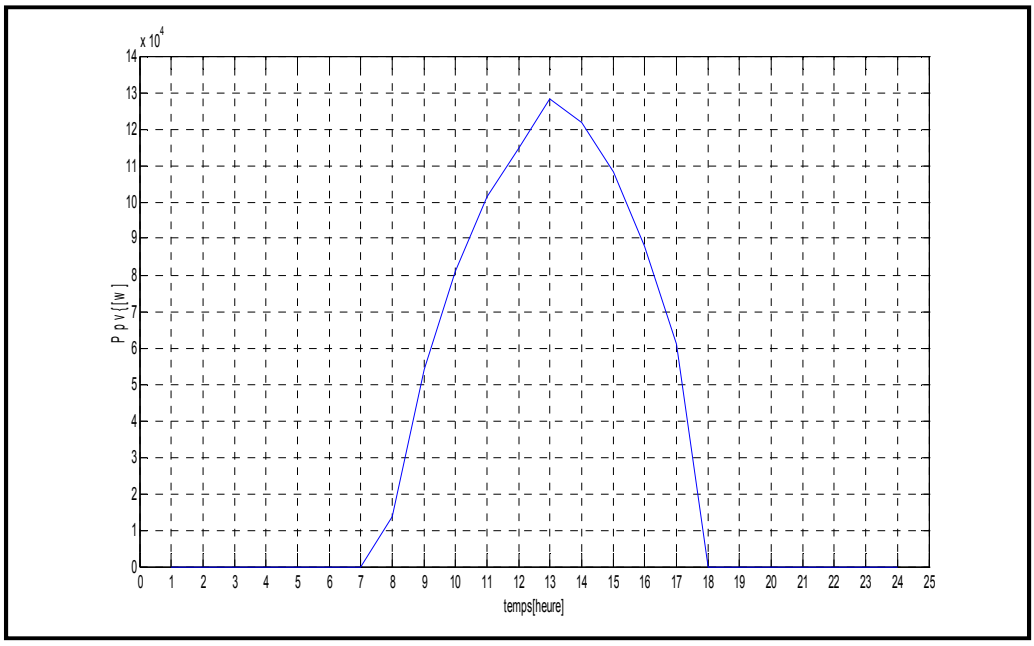


Figure IV-4 : *Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi (Diffus real*)

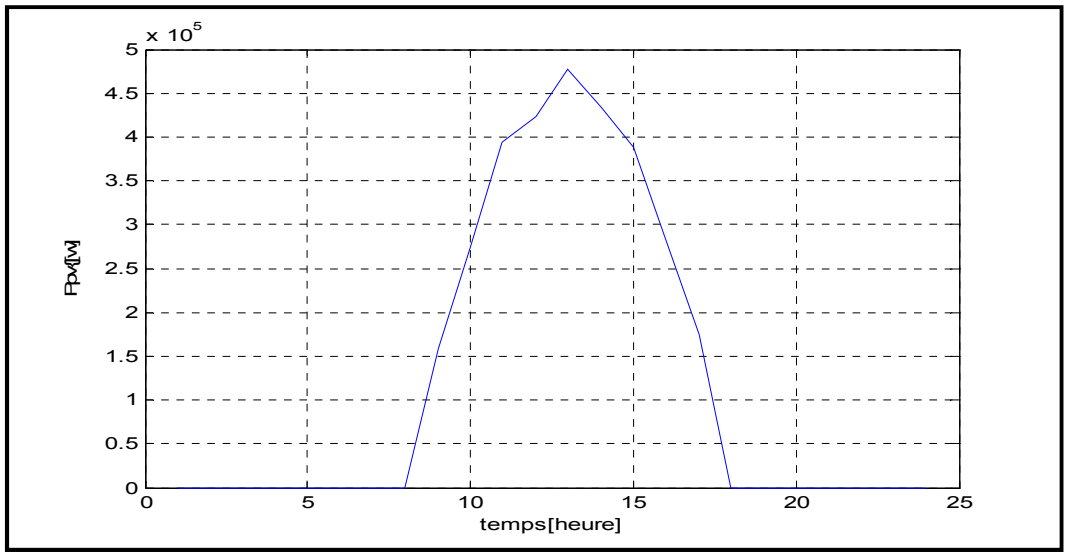


Figure IV-5 : Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi (Global clear)

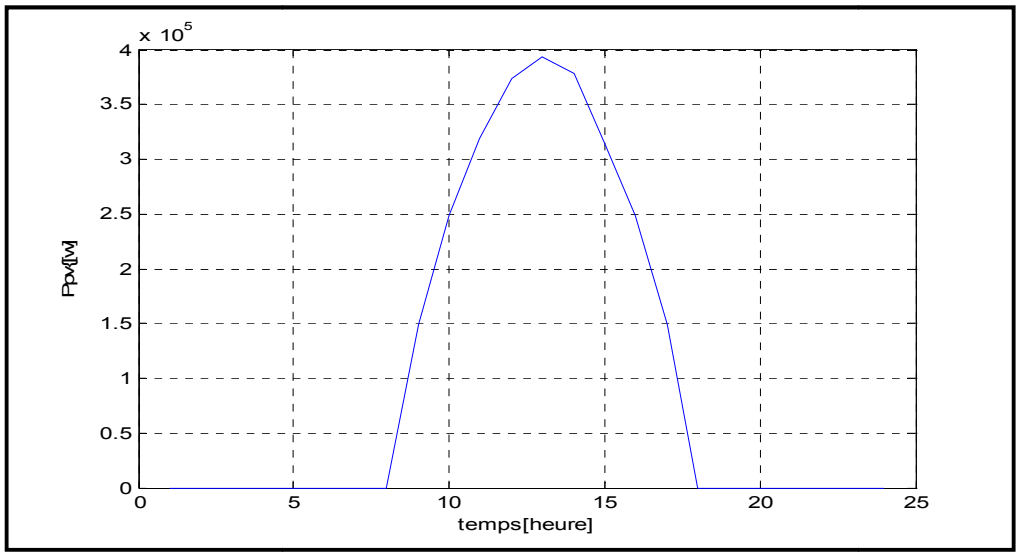


Figure IV-6 : *Distribution de la puissance produite par le générateurs PV relatif au SEH et au site choisi (Global real)*

IV.3.2. Puissance produite par le générateur éolien

On remarque que ces courbes sont très semblables avec celles qui représentent la distribution des vitesses moyennes journalières du vent. Le point P_{eol} maximum est 30KW apprit midi 12H .

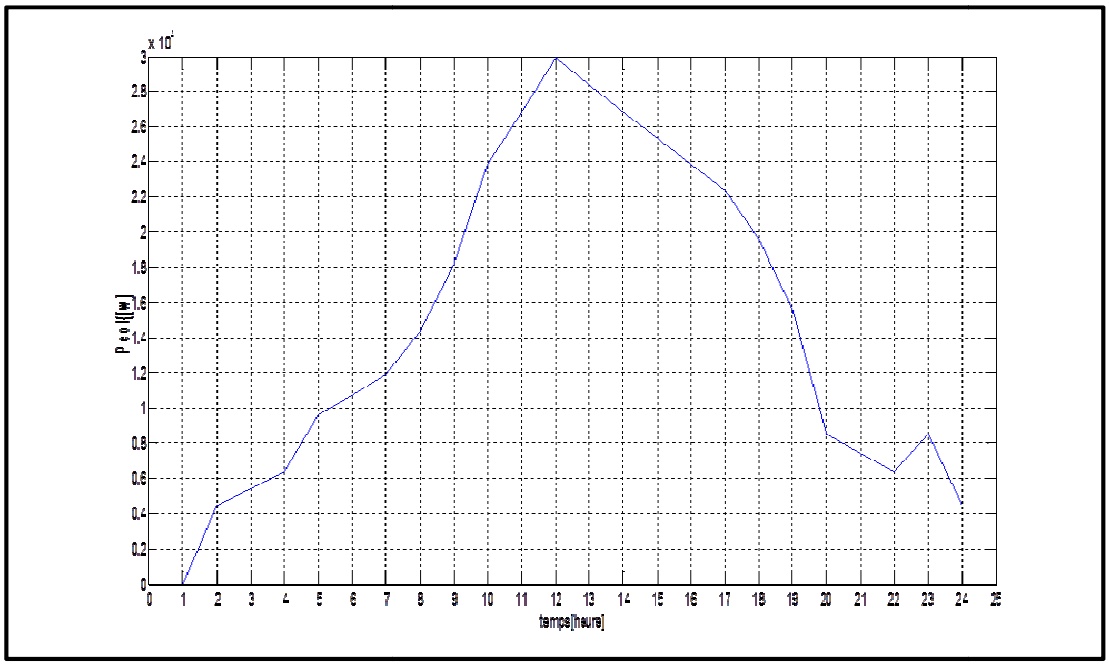


Figure IV-7 *: Distribution de la puissance produite par le générateur éolien dans le SEH relatif au site Tindouf*

IV.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).. Et troisième période 17h et 00h Production maximum P_{ge}= 120 KW

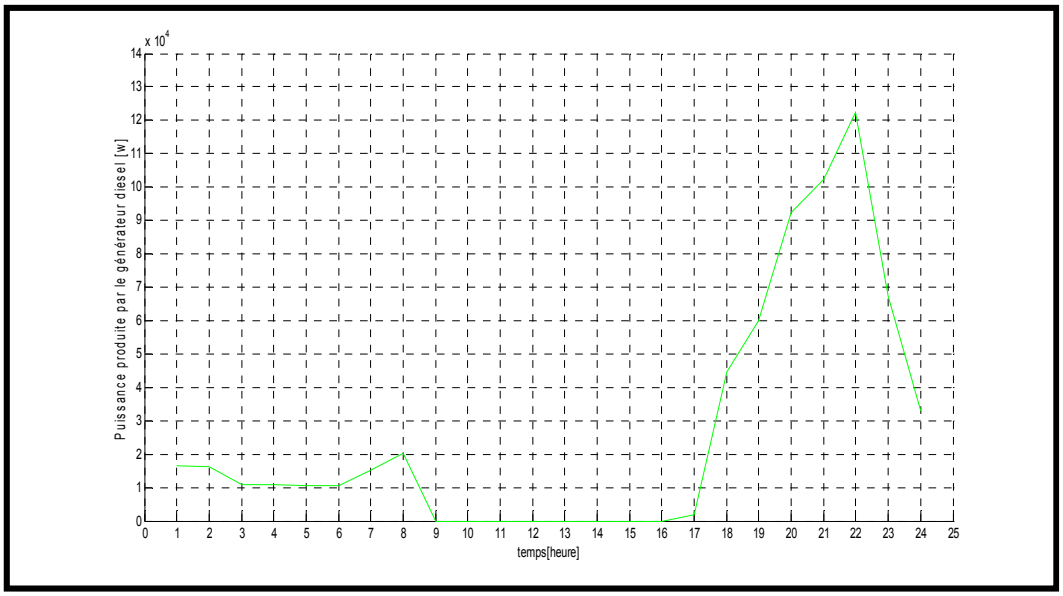


Figure IV-8 *: Distribution de la puissance produite par le générateur diesel*

Dans le SEH relatif au site Tindouf

IV.3.4. la Puissance total

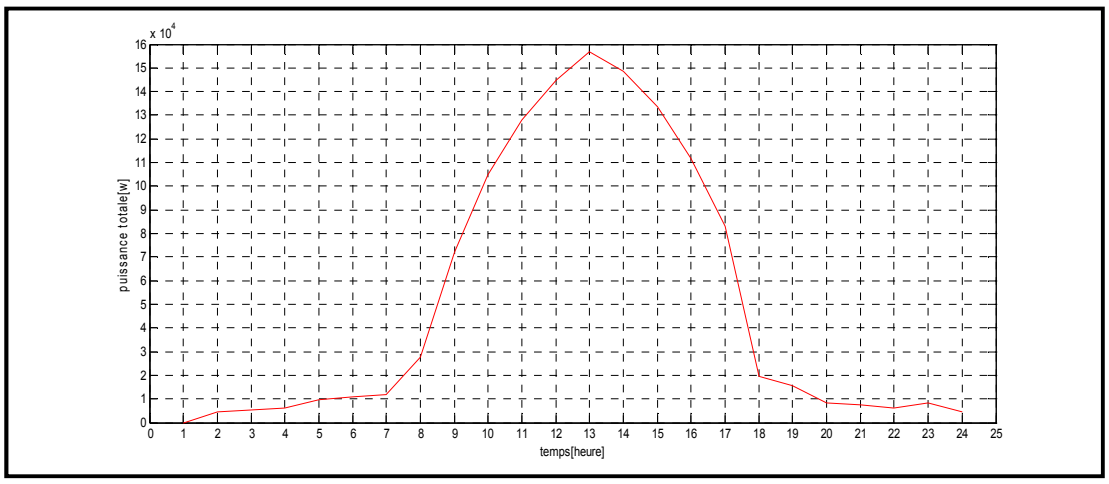


Figure IV-9 : *Evolution horaire de la puissance total Dans le SEH relatif au site Tindouf*

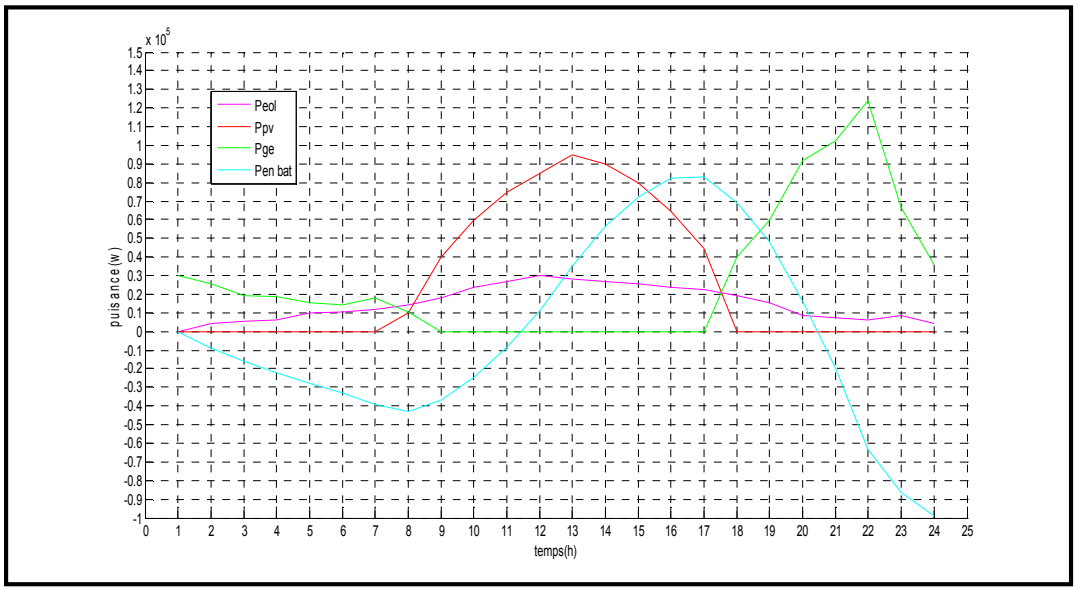


Figure* IV *-10 : *Energie produite par les trois générateurs (PV, Eolien et diesel) et Puissance d'entre de batterie sur une période d'un jour*

IV.4. Évolution des énergies échangées au niveau du bus AC

Les courbes sur les figures IV-14 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 son arrêt 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 tout 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.

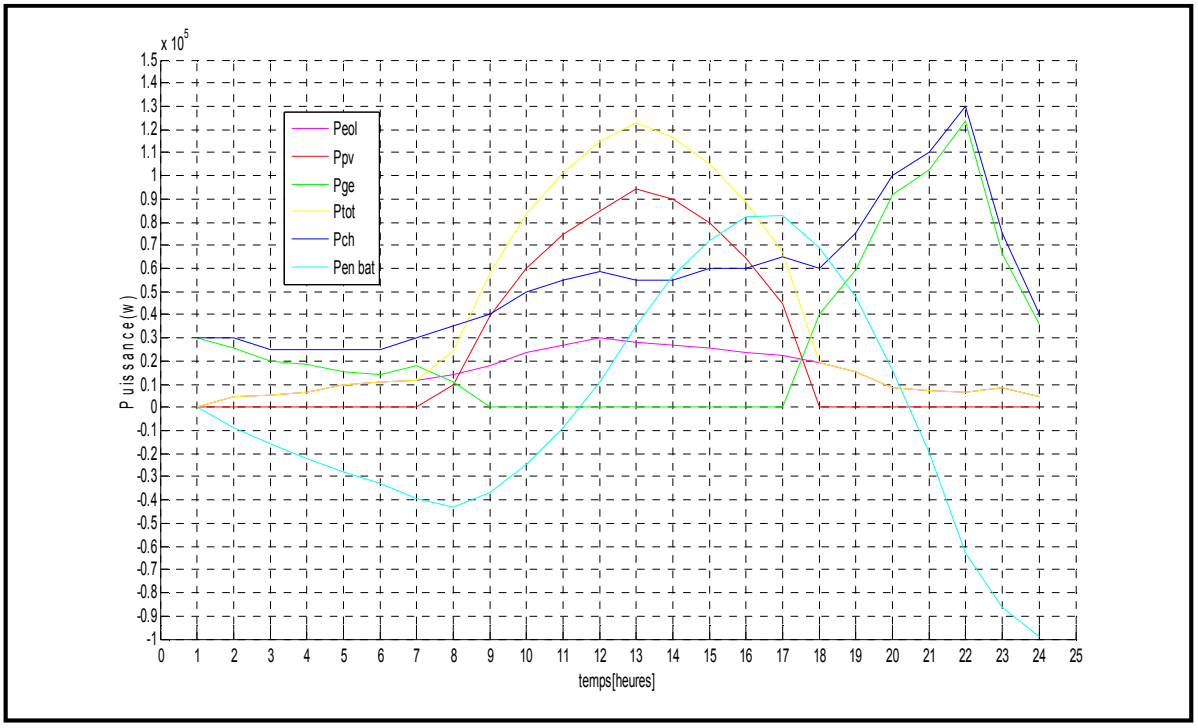


***Figure IV.11**: Evolution horaire de la puissance (Peol, Ppv, Pge ,Ptot ,Pch et Pen bat) Dans le SEH relatif au site Tindouf*

IV.5comparaison entre la production et consommation d'énergie électrique

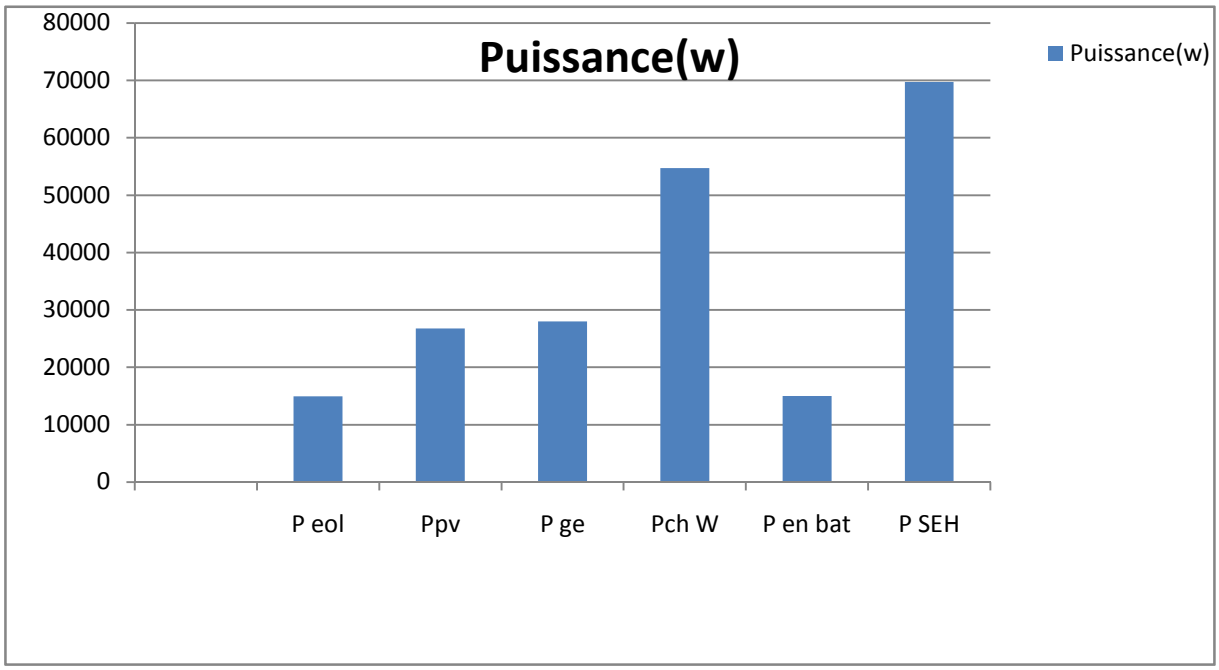


Figure IV.12 : *Histogramme de la comparaison entre de la puissance produire et consommée*

IV.4. Dimensionnement du système hybride photovoltaïque-éolien

La configuration du système hybride photovoltaïque-éolien dépend évidemment des ressources énergétiques disponibles ainsi que des contraintes de l'utilisation. Ceci requiert une campagne de mesure et une analyse préalable des spécificités du site qui ne pouvaient pas faire l'objet d'une étude complète dans le cadre de ce mémoire.

IV.5 Résultats

IV.5.1. « Scénario 1 »

Les résultats de simulation pour le scénario 1 sont représentés dans les figures suivantes :

IV.5.1.1 Surfaces et nombres des panneaux photovoltaïques et des éoliennes

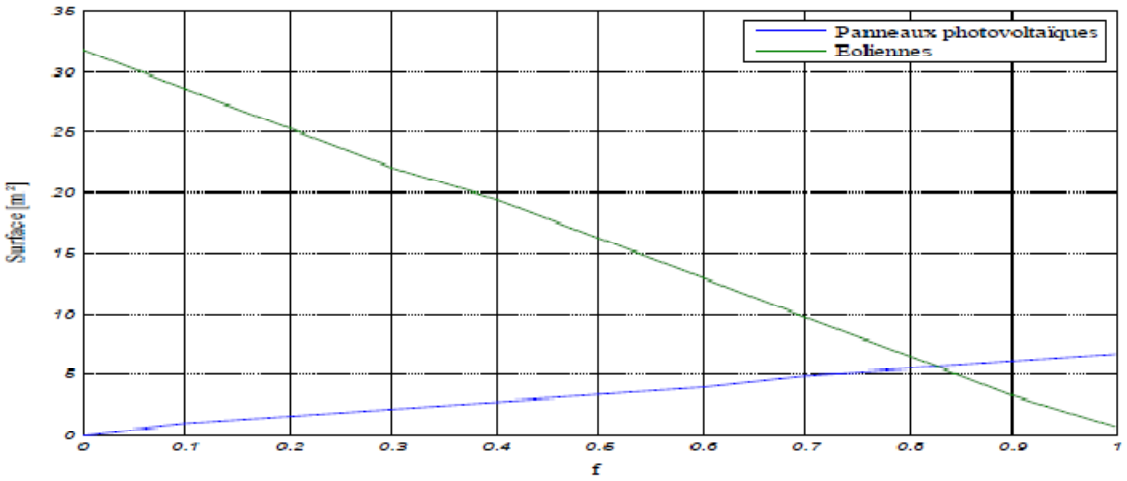


Figure IV.13 : *Surfaces des panneaux photovoltaïques et des éoliennes obtenues à la région de Tindouf*

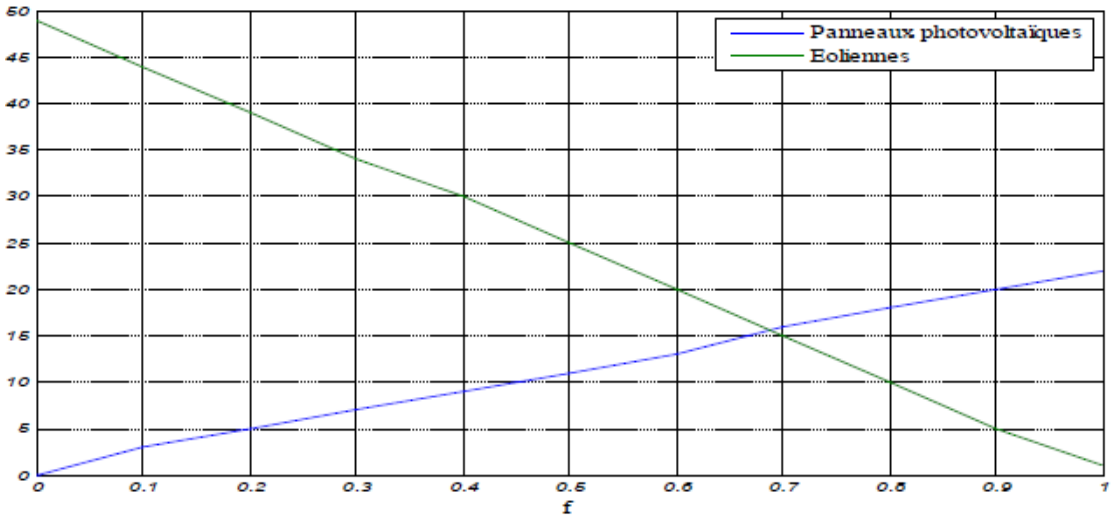


Figure IV.14*: Nombre de panneaux photovoltaïques et des éoliennes obtenues à la région de Tindouf*

Nous remarquons d'après les figures IV.13 et IV.14 que :

- Pour un f = 0, on a un système éolien pur :

Avec une surface de $32m^2$ balayée par l'éolienne ce qui implique un nombre totale de : 49 éoliennes.

- Pour un f = 1, on a un système photovoltaïque pur :

On obtiendra un système photovoltaïques pur avec un avec une surface de $6{,}5m^2$ ce qui résulte un nombre totale de : 22 panneaux.

IV.5.2. « Scénario 2 »

Les résultats de simulation pour le scénario 02 sont représentés dans les figures suivantes :

IV.5.2.2.Surfaces et nombres des panneaux photovoltaïques et des éoliennes :

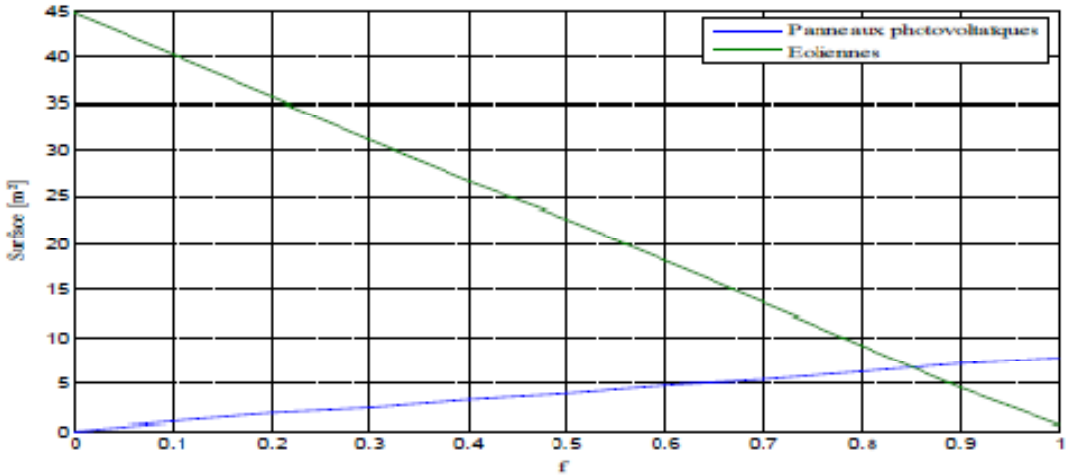


Figure IV.15 : *Surfaces de panneaux photovoltaïques et d'éoliennes obtenues à la région de Tindouf*

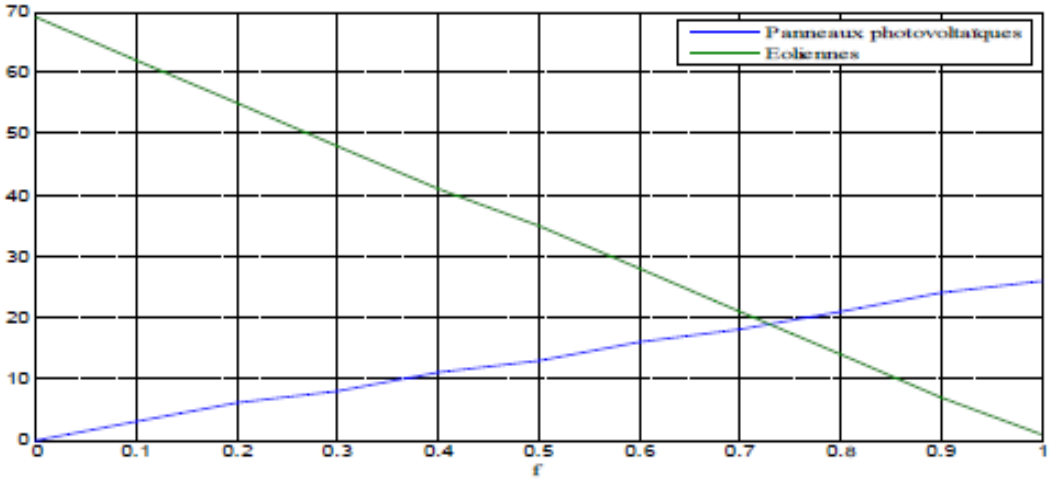


Figure IV.16 : *Nombre de panneaux photovoltaïques et d'éoliennes obtenues à la région de Tindouf*

En ce qui concerne les résultats obtenus pour le scénario **02** , en remarquent que :

- Pour système éolien pur (f minimale) : une surface de $45m^2$ qui donne un nombre de 69 éoliennes.
- Pour le système photovoltaïques pur (f maximale), est donne une surface de $8m^2$ équivalente à un nombre de 27 panneaux

- Donc nous constatons finalement que, la configuration la plus économique du système d'énergie hybride en utilisant le scénario02 est un système photovoltaïque pur, et la tendance de l'usage du photovoltaïque sur l'éolien est plus favorable pour le site de Tindouf .

IV .6 Conclusion

Dans cette étude nous avons présenté une méthode de dimensionnement optimale basée sur les résultats d'une simulation utilisant une année de référence (2015) de l'irradiation solaire globale et de la vitesse du vent journalière pour les sites de Tindouf .

Nous avons examiné deux scénarios afin d'illustrer l'autonomie relative à l'énergie photovoltaïque et à l'énergie éolienne pour le système hybride. Le premier scénario utilise la moyenne des valeurs mensuelles par an, alors que, le deuxième scénario introduit la notion du mois le plus défavorable.

Les résultats obtenus montrent que la configuration la plus économique des perméabilités entre les deux systèmes photovoltaïque et éolien du système d'énergie hybride étudié dans ce mémoire est un système photovoltaïque pur, qui correspond à un f maximale f=1, pour les deux scénarios .

A partir de ces résultats, on constate qu'il y a une tendance économique favorable pour l'usage du photovoltaïque sur l'éolien, cela est dû à cause de la disponibilité de l'énergie solaire dans le site qui domine largement l'énergie éolienne.

Conclusion générale

Les travaux réalisés pendant 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

Références Bibliographiques

CHAPITRE 1

[1]. O.DERUELLE, « Mise au point d'un système de spectroscopie pour mesurer des sections efficaces neutroniques applicables à un possible développement du nucléaire comme source d'énergie », Thèse de Doctorat en sciences, Université de Paris XI ; pp.9-12, 2002.

[2]. EurObserv'ER, « Seventh inventory of worldwide electricity production from renewable energy sources », 2005.

[4]. L. BROMAN, J.A. DUFFIE, and E. LINDBERG, « A Concentrated Course in Solar Thermal Process Engineering », 2*ee*, Inc,. ISES Solar World Congress, 1991.

[5]. B. FLECHE, D. DELAGNES, « Energie solaire photovoltaïque », STI ELT Approche générale, Juin 2007.

[6]. A.LABOURET, M.VILLOZ, « Energie solaire photovoltaïque », Edition Dunod, Paris, 2006.

[7]. S.PETIBON, « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques », Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2009.

[8]. C.P.de BRICHAUMBOT et C.VAUGE, « Le Gisement solaire », Edition tech. & doc, Paris, 1982.

[9].Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interfaces(Translation Journals style)," IEEE Transl. J. Magn.Jpn., vol. 2, Aug. 1987, pp. 740–741 [Dig. 9thAnnu. Conf. MagneticsJapan, 1982, p. 301].

[10].M. Young, The Techincal Writers Handbook.Mill Valley, CA: University Science, 1989.

[11].J. U. Duncombe, "Infrared navigation—Part I: An assessment of feasibility (Periodical style)," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-11, pp. 34–39, Jan. 1959.

[12]. S. Chen, B. Mulgrew, and P. M. Grant, "A clustering technique for digital communications channel equalization using radial basis function networks," IEEE Trans. Neural Networks, vol. 4, pp. 570–578, July 1993.

[13].R. W. Lucky, "Automatic equalization for digital communication," Bell Syst. Tech. J., vol. 44, no. 4, pp. 547–588, Apr. 1965.

[14].P S.. Bingulac, "On the compatibility of adaptive controllers (Published Conference Proceedings style)," in Proc. 4th Annu. Allerton Conf. Circuits and Systems Theory, New York, 1994, pp. 8–16.

[15].G. R. Faulhaber, "Design of service systems with priority reservation," in Conf. Rec. 1995 IEEE Int. Conf. Communications, pp. 3–8.

[16].W. D. Doyle, "Magnetization reversal in films with biaxial anisotropy," in 1987 Proc. INTERMAG Conf., pp. 2.2-1–2.2-6.

[17].G. W. Juette and L. E. Zeffanella, "Radio noise currents n short sections on bundle conductors (Presented Conference Paper style)," presented at the IEEE Summer power Meeting, Dallas, TX, June 22–27, 1990, Paper 90 SM 690-0 PWRS.

[18].J. G. Kreifeldt, "An analysis of surface-detected EMG as an amplitude-modulated noise," presented at the 1989 Int. Conf. Medicine and Biological Engineering, Chicago, IL.

[19]J. Williams, "Narrow-band analyzer (Thesis or Dissertation style)," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., HarvardUniv., Cambridge, MA, 1993.

CHAPITR 2

[1].G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics (Book style with paper title and editor)," in Plastics, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64.

[2].W.-K. Chen, Linear Networks and Systems (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.

[3]. H. Poor, An Introduction to Signal Detection and Estimation. New York: Springer-Verlag, 1985, ch. 4.

[4].B. Smith, "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," unpublished.

[5].E. H. Miller, "A note on reflector arrays (Periodical style—Accepted for publication)," IEEE Trans. Antennas Propagat., to be published.

[6].J. Wang, "Fundamentals of erbium-doped fiber amplifiers arrays (Periodical style—Submitted for publication)," IEEE J. Quantum Electron., submitted for publication.

[7].C. J. Kaufman, Rocky Mountain Research Lab., Boulder, CO, private

[8].Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interfaces(Translation Journals style)," IEEE Transl. J. Magn.Jpn., vol. 2, Aug. 1987, pp. 740–741 [Dig. 9th Annu. Conf. Magnetics Japan, 1982, p. 301].

[9].M. Young, The Techincal Writers Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

[10].J. U. Duncombe, "Infrared navigation—Part I: An assessment of feasibility (Periodical style)," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-11, pp. 34–39, Jan. 1959.

[11].S. Chen, B. Mulgrew, and P. M. Grant, "A clustering technique for digital communications channel equalization using radial basis function networks," IEEE Trans. Neural Networks, vol. 4, pp. 570–578, July 1993.

[12].R. W. Lucky, "Automatic equalization for digital communication," Bell Syst. Tech. J., vol. 44, no. 4, pp. 547–588, Apr. 1965.

CHAPITRE 3

[1] .S. P. Bingulac, "On the compatibility of adaptive controllers (Published Conference Proceedings style)," in Proc. 4th Annu. Allerton Conf. Circuits and Systems Theory, New York, 1994, pp. 8–16.

[2] .G. R. Faulhaber, "Design of service systems with priority reservation," in Conf. Rec. 1995 IEEE Int. Conf. Communications, pp. 3–8.

[3] .W. D. Doyle, "Magnetization reversal in films with biaxial anisotropy," in 1987 Proc. INTERMAG Conf., pp. 2.2-1–2.2-6.

[4] .G. W. Juette and L. E. Zeffanella, "Radio noise currents n short sections on bundle conductors (Presented Conference Paper style)," presented at the IEEE Summer power Meeting, Dallas, TX, June 22–27, 1990, Paper 90 SM 690-0 PWRS.

[5] J. G. Kreifeldt, "An analysis of surface-detected EMG as an amplitude-modulated noise," presented at the 1989 Int. Conf. Medicine and Biological Engineering, Chicago, IL.

[6] J. Williams, “Narrow-band analyzer (Thesis or Dissertation style),” Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, 1993.

[7] .N. Kawasaki, “Parametric study of thermal and chemical nonequilibrium nozzle flow,” M.S. thesis, Dept. Electron. Eng., Osaka Univ., Osaka, Japan, 1993.

[8] .J. P. Wilkinson, “Nonlinear resonant circuit devices (Patent style),” U.S. Patent 3 624 12, July 16, 1990.

[9] . Criteria for Class IE Electric Systems (Standards style), IEEE Standard 308, 1969.

[10] Letter Symbols for Quantities, ANSI Standard Y10.5-1968.

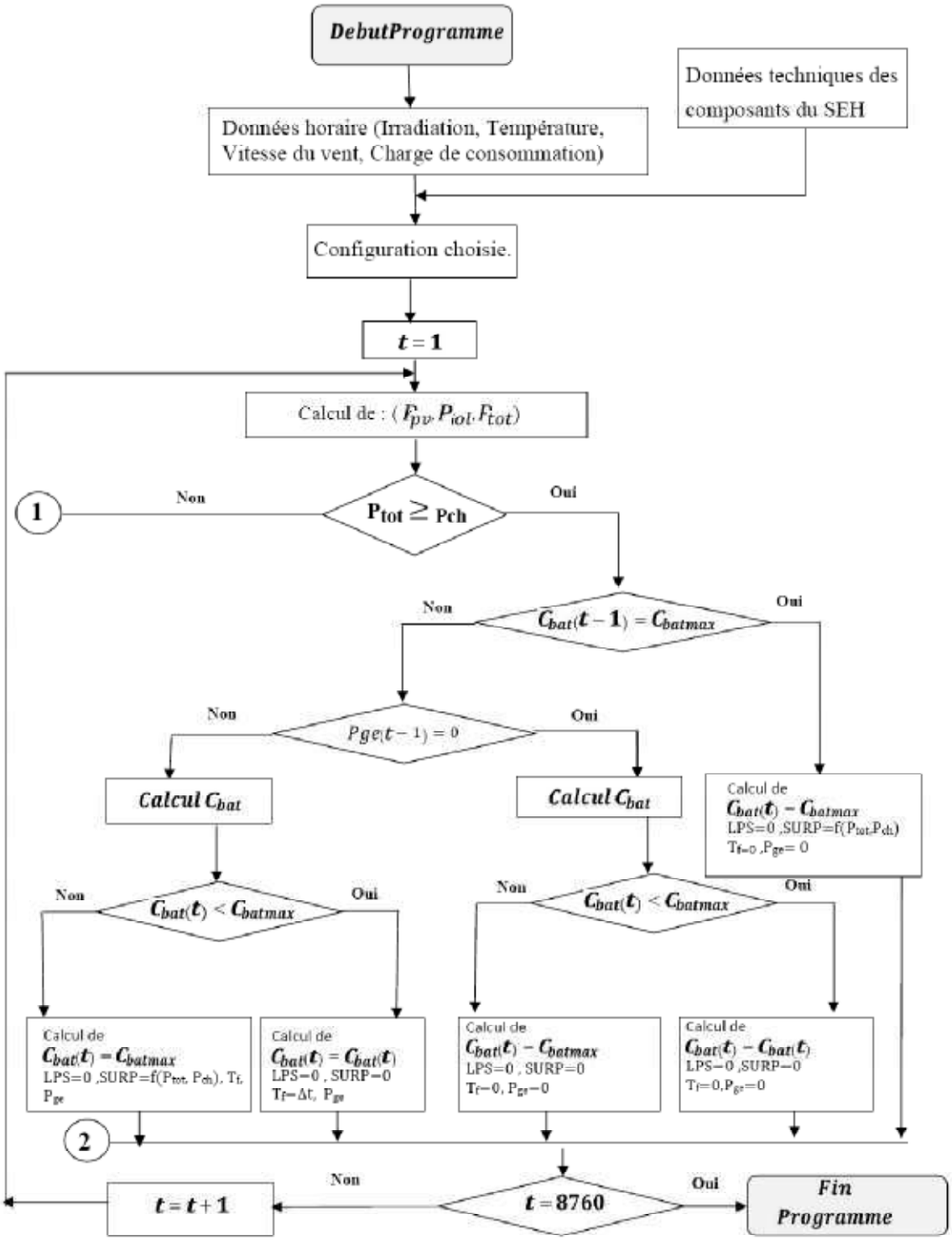
[11] R. E. Haskell and C. T. Case, “Transient signal propagation in lossless isotropic plasmas (Report style),” USAF Cambridge Res. Lab., Cambridge, MA Rep. ARCRL-66-234 (II), 1994, vol. 2.

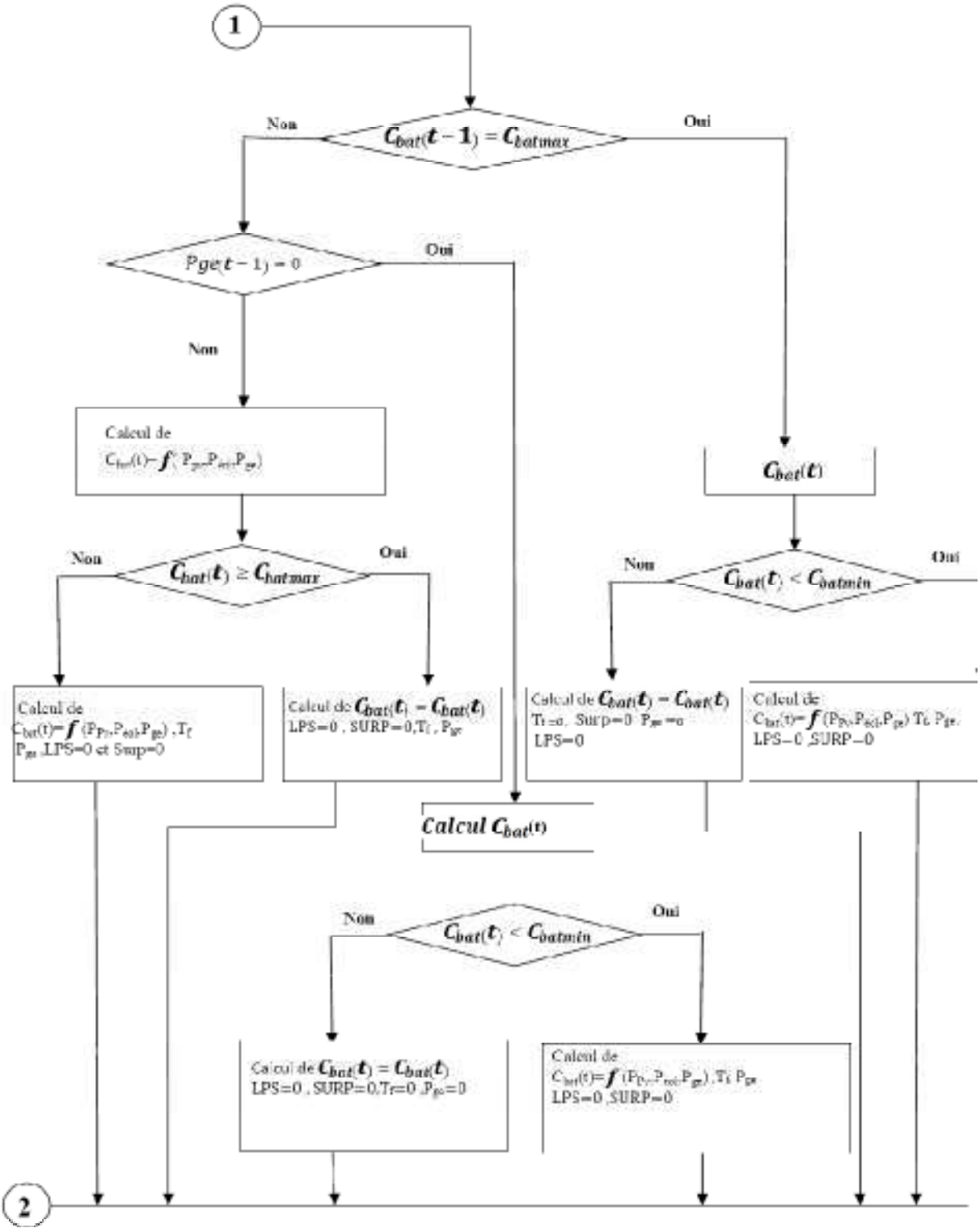
[12] E. E. Reber, R. L. Michell, and C. J. Carter, “Oxygen absorption in the Earth’s atmosphere,” Aerospace Corp., Los Angeles, CA, Tech. Rep. TR-0200 (420-46)-3, Nov. 1988.

[13] (Handbook style) Transmission Systems for Communications, 3rd ed., Western Electric Co., Winston-Salem, NC, 1985, pp. 44–60. Motorola Semiconductor Data Manual, Motorola Semiconductor Products Inc., Phoenix, AZ, 1989.

Annexes

- **Organigramme de calcul**




1
Non
$C_{bat}(t-1) = C_{batmax}$
Oui
$Pge(t-1) = 0$
Oui
Non
Calcul de
$C_{bat}(t) = f(P_{pv}, P_{ecl}, P_{ge})$
$C_{bat}(t)$
Non
$C_{bat}(t) \geq C_{batmax}$
Oui
Non
$C_{bat}(t) < C_{batmin}$
Oui
Calcul de
$C_{bat}(t) = f(P_{pv}, P_{ecl}, P_{ge})$, T_f
P_{ge} ,LPS=0 et Surp=0
Calcul de $C_{bat}(t) = C_{bat}(t)$
LPS=0 , SURP=0, T_f , P_{ge}
Calcul de $C_{bat}(t) = C_{bat}(t)$
T_f =0, Surp=0 P_{ge} =0
LPS=0
Calcul de
$C_{bat}(t) = f(P_{pv}, P_{ecl}, P_{ge})$ T_f, P_{ge},
LPS=0 ,SURP=0
Calcul $C_{bat}(t)$
Non
$C_{bat}(t) < C_{batmin}$
Oui
Calcul de $C_{bat}(t) = C_{bat}(t)$
LPS=0 , SURP=0,T_f=0 ,P_{ge}=0
Calcul de
$C_{bat}(t) = f(P_{pv}, P_{ecl}, P_{ge})$,T_f P_{ge}
LPS=0 ,SURP=0
2