REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DES TECHNOLOGIES
D'EPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme Doctorat LMD

Spécialité : Conversion d'énergie et entraînement électrique

Par
YAHIAOUI ADEL

COMMANDE, ANALYSE ET OPTIMISATION D'UNE CHAINE PHOTOVOLTAIQUE A BASE D'UN CONVERTISSEUR DE PUISSANCE

Soutenue le …/…/…

Devant le jury :

Président :**A. Tlemçani**Professeur, Université de Médéa

Directeur de thèse :**K. Benmansour**Professeur, Université de Médéa

Examinateurs :**F. Bouchafa**Professeur, Université de l'USTHB

A. Ferdjouni Maître de conférences A, Université de Blida

D. Boudana Maître de conférences A, Université de Médéa

Invité :**M. Tadjine**Professeur, ENP

Dédicaces

A ma famille, mes parents

mes frères et sœurs et leurs

enfants et A tous mes amis

Remerciements

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire ont été conjointement au sein du Laboratoire de Recherche en Electrotechnique et Automatique (LREA) à l'université de yahia fares de Medea et du Laboratoire de commande des processus (LCP) à l'Ecole Nationale polytechnique de EL-Harrach algérie.

Je remercie chaleureusement Monsieur Khelifa BENMANSOUR, Professeur à l'Université de Medea, directeur de thèse, pour avoir assuré de manière agréable le suivi de mon travail et pour m'avoir fait profiter de son expérience. Ses compétences scientifiques, ses conseils, sa disponubilité et sa qualité humaine ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance au Professeur Mohamed TADJINE, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique de El-Hrrach, pour son soutien scientifique et humain tout au long de ce travail de recherche.

C'est un grand honneur & plaisir que Monsieur Tlamçani, Professeur à l'université de Medea préside le jury de ce modeste travail.

Je veux remercier d'une manière toute particulière Monsieur Bouchafa, Professeur àl'université de USTHB pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en acceptant de l'examiner.

Mes remerciements s’adressent aussi à Monsieur Ferdjouni, Maître deConférences classe A à l’université de Blida, d’avoir accepté d’examiner cette thèse.

C’est un grand honneur que Monsieur Boudana, Maître de Conférences classe Aà l’Université de Medea soit membre de jury de cette thèse.

A toutes les personnes appartenant ou non au LREA et au LCP, qui ont contribué de prés ou de loin, directement ou indirectement à l’aboutissement de ce travail en particulier Madame Fodhil, doctorante à l’université de Blida, et Madame Cheggaga, Maître de Conférences classe B à l’Université de Blida, trouvez ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Résumé

Notre avenir énergétique doit être basé sur des énergies non polluantes ayant des ressources importantes. Les énergies renouvelables sont les meilleurs candidats mais avec une production intermittente.

L'objectif des travaux présentés dans cette thèse est d'évaluer les performances d'un système autonome de production d'énergie électrique, couplant un champ photovoltaïque, un générateur diesel et un système de stockage composé de batteries. Une nouvelle approche de dimensionnement optimale et la simulation des systèmes d'énergie renouvelable hybride est proposée pour électrifier un site rural isolé en Algérie. L'optimisation par essaim de particules (PSO) algorithme a été appliquée pour minimiser simultanément le coût total du système, la probabilité de perte de charge (LLP) et les émissions de CO2 du système.

Une optimisation par loup gris (GWO) a été appliqué pour une conception optimal et minimiser le Coût totale du système hybride.

L'emploi de système d'énergie renouvelable hybride peut conduire à optimiser l'exploitation de la source renouvelable. L'interconnexion de plusieurs sources d'énergie renouvelable dans un système d'énergie hybride peut avoir une incidence profitable sur la production d'énergie électrique, en termes de Coût et de disponibilité.

Mots clés : énergie renouvelable hybride, émission CO_2, LLP, Coût, GWO, PSO.

ملخص

.إنتاج مع ولكن المرشحين أفضل هي المتجددة كبيرة. الطاقة موارد مع النظيفة الطاقة في لدينا الطاقة مستقبل يقوم أن يجب متقطع

حقل الكهربائية،واقتران الطاقة لتوليد مستقل نظام أداء هوتقييم الأطروحة هذه في عرضت التي الأعمال من الهدف الطاقة نظم ومحاكاة الأمثل للتصميم جديد أسلوب ويقترح البطاريات مع لتخزين ا ونظام الديزل، الضوئية،مولدات تطبيق تم (PSO) و انبعاثات من اجل تحسين الثمن الكلي للمشروع LLP و الضياع في الحمولةCO2.المتجددة واحد، وقت و خوارزمية

مصادرالطاقة بين للمصدرمتجدد. الربط لاستخداماالأمثل تحقيقا إلى يؤدي أن يمكن المتجددة للطاقة الهجين النظام استخدام توافرها ومدى التكلفة حيث الكهرباء،من بإنتاج تأثيرمفيدعل لها يكون أن يمكن الهجين الطاقة نظام في متعددة المتجددة

البحث: كلمات التكلفة, LLP،CO_2, المتجددة الهجينة الطاقة

Abstract

Our energy future must be based on clean energy with significant resources. Renewables are the best candidates but with intermittent production.

The objective of the work presented in this thesis is to evaluate the performance of an autonomous system of electric power generation, coupling a photovoltaic field, a diesel generator and a storage system with batteries. A new optimal design approach and simulation of hybrid renewable energy systems is proposed to electrify an isolated rural site in Algeria. The particle swarm optimization (PSO) algorithm was applied to simultaneously minimize the total cost of the system, the load loss probability (LLP) and CO2 emissions of the system.

The grey wolf optimizer (GWO) was applied for optimal concept and minimizes the total cost of hybrid system.

The use of hybrid renewable energy system can lead to optimize the use of the renewable source. The interconnection of multiple renewable energy sources in a hybrid energy system can have a beneficial impact on the production of electricity, in terms of cost and availability.

Keywords: hybrid renewable energy, CO2 emissions, LLP, Cost, GWO, PSO.

SOMMAIRE

Introduction générale……..1

Chapitre 1 : Etat de L'art sur les Systèmes d'Energies Renouvelables Hybrides …….5

1.1 introduction ……5
1.2 définition des systèmes hybrides ……5
1.3 Les réserves d'énergie mondiale …….....5
1.4 Tendance d'énergie mondiale …….....6
1.5 Les systèmes d'énergies renouvelables hybrides ……...8
1.6 Les systèmes photovoltaïques ……9
1.6.1 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau ……9
1.6.2 Systèmes photovoltaïques non connectés au réseau…….....10
1.6.2.1 Systèmes photovoltaïques autonomes ……...……...11
1.6.2.2 Systèmes photovoltaïques autonomes hybrides ……..12
1.7 Principaux composants des systèmes hybrides ……..13
1.7.1 Générateurs photovoltaïques ……..……13
1.7.2 Eoliennes.……..…….17
1.7.3 Piles à combustibles……...…..18
1.7.4 Générateur Diesel ……18
1.7.4.1 Groupe diesel fonctionnant à vitesse fixe…….....20
1.7.4.2 Groupe diesel fonctionnant à vitesse variable……..……20
1.7.5 Système de stockage ……20
1.7.6 Convertisseurs ……...22
1.7.7 La charge ……...23
1.7.8 Système de supervision…….23
1.8 Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides (PV/groupe électrogène)……24
1.8.1 Configuration série ……24
1.8.2 Configuration commutée ……..25
1.8.3 Configuration parallèle ……..…..26
1.9 Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des systèmes d'énergie hybride ……..27
1.10 Conclusion…….29

CHAPITRE 2 : Modélisation et Dimensionnement des Composants du Système Hybride……30

2.1 Introduction ……30

2.2 Modélisation des composants ……..30

2.2.1 Modélisation du générateur photovoltaïque ……..30

2.2.2 Modélisation du système de stockage ……..34

2.2.2.1 Equation électrique de charge et décharge……...35

2.2.2.2 Equation de l'état de charge…….35

2.2.3 Modélisation de la consommation en fuel du groupe électrogène ……..36

2.3 Dimensionnement des systèmes d'énergie hybrides……..37

2.4 Dimensionnement du système ……..39

2.4.1 Description de la méthode LPSP……...39

2.4.2 Application de la LPSP à l'installation PV ……..41

2.4.3 Dimensionnement du groupe diesel……..41

2.5 Modèle de simulation ……...42

2.4.1 Système photovoltaïque ……..42

2.4.2 Batterie de stockage ……..43

2.4.3 Générateurs diesel ……..43

2.6 Méthodologie adoptée ……44

2.7 Conclusion ……45

Chapitre 3: Dimensionnement et Gestion d'énergie du Système Hybride : Application au Site de Djanet…….46

3.1 Introduction ……...46

3.2. Présentation du site et ressources météorologiques ……..46

3.2.1. L'emplacement du système hybride ……..46

3.2.2 Les données météorologiques ……..47

3.3 Le profil de charge ……...47

3.4 Les différents éléments du système ……..48

3.4.1. L'onduleur ……..48

3.4.2 Les batteries ……..48

3.4.3. Régulateur de charge ……49

3.4.4. Générateur photovoltaïque ……..49

3.5 Dimensionnement du système ……..50

3.5.1. Dimensionnement du banc des batteries ……50

3.5.2 Dimensionnement du générateur photovoltaïque ……..50

3.6 Développement de l'approche proposé ……52

3.7 Résultats de dimensionnement ……..54

3.8 Simulation du comportementdu système ……54

3.9 Conclusion……58

Chapitre 4: Optimisation Multi-Objective et Dimensionnement Optimal d'un Système Hybride pour le Site d'Ilamane…….59

4.1 Introduction ……59

4.2 Configuration du system ……59

4.3 Cas étudié ……...60

4.4 Profil de charge ……..61

4.5 Méthodologie ……62

4.5.1 Optimisation par essaim de particules (PSO) ……62

4.5.2 La méthode de contrainte ……65

4.5.3 Probabilité de Perte de la charge et des émissions polluantes ……..65

4.6 Fonction objectif et modèle économique ……...66

4.7 Procédure d'optimisation ……...67

4.8 Application et résultats ……..69

4.9 La simulation du comportement par Homer ……..73

4.9.1 Présentation du logiciel…… ……..73

4.9.2 Description du système ……..74

4.9.3 Les caractéristiques de chaque composant du système ……..76

4.9.4 Résultats et discussions ……76

4.10 Production d'énergie annuelle ……77

4.11 Résultats économiques ……....79

4.12 Conclusion ……...81

Chapitre 5: Optimisation Mono-Objective et Conception Optimale par Loup Gris du Système Hybride: Application au site de Djanet (Illizi)……...……..83

5.1 Introduction ……83

5.2 Optimiseur de loup gris (GWO) ……...…..83

5.3 Description du problème ……...86

5.4 Application et résultat ……87

5.5 Analyse de sensibilité ……..91

5.5.1 Impact de l'efficacité de l'onduleur ……..91

5.5.2 Impact des variations de charge ……92

5.6 Conclusion ……...94

Conclusion générale ……95

Bibliographie ……98

Annexes……109

Annexe 1……109

Annexe 2……113

Annexe 3…….117

Annexe 4…….121

Nomenclature

A : Facteur d'idéalité relative au module.

A_p : Surface de panneaux photovoltaïque en (m^2)

ACS : Coût annuel du système.

ACC :Coût annuel du capital.

ARC : Coût de remplacement annuel.

AFC : Coût annuel en carburant des groupes électrogènes.

AOM : Coût d'entretien annuel d'opération.

AUT : Autonomie du système (Jours).

α, β, δ, w : Hiérarchie des loups gris.

C : Capacité utile totale de la batterie

C_{Batmax}: La capacité maximale (Ah).

C_{anntot} :Coût annualisé total.

C_{Batmin}: Capacité minimale (Ah).

$C_B(t-1)$: L'énergie stockée dans la batterie à l'heure précédente.

c_1 et c_2 : Paramètres de mise à l'échelle sociale

C_{cap} : Coût en capital de chaque composante

CO2 :Emission de gaz

C_{NPC} : Le présent coût net.

CRF :le facteur de récupération capital.

DOD : Profondeur de décharge.

$\vec{D}$: La distance entre la proie et les loups gris

E_{Bmin} : Seuil minimal de l'énergie disponible dans la batterie.

E_{def} : Energie électrique et énergie thermique.

E_{grid} : Energie provenant du réseau conventionnel.

E_{prim} : Energie primaire AC ou DC.

f_d : Facteur de décharge de la batterie.

E_f : Facteur d'émission.

f : Taux d'inflation annuel

gbest (j) : Représente la meilleure position globale dans l'essaim à l'itération k.

GWO: Optimisation par Loup Gris

N : Nombre d'années.

n_b : Nombre des batteries.

n_p : Nombre des cellules en parallèle.

n1 : Facteur de non idéalité de la jonction de la diode 1.

n2 :Facteur de non idéalité de la jonction de la diode 2.

N_{PV} : Nombre de modules photovoltaïques.

n_s : Nombre des cellules en série.

PCI_v : Energie contenue dans un litre de combustible.

P_L (t) : L'énergie demandée par la charge à une heure t.

I : Courant fourni par la cellule.

V : Tension aux bornes de la cellule.

i : Taux d'intérêt.

i' : L'intérêt du prêt en (%)

I_0 : Courant de saturation (Ampères).

I_m : Courant max(Ampères).

Isc : Courant de court-circuit (Ampères).

I01 : Courant de saturation de la diode 1.

I01 : Courant de saturation de la diode 2.

K : Constante de Boltzmann.

LPS: Loss of Power Supply.

LPSP : Loss of Power Supply probability.

LLP: Probabilité de perte de charge

P_{GE}^{0} : Puissance nominale du groupe.

PCI_V : Énergie contenue dans un litre de combustible.

Pm : Puissance électrique maximum du module dans les conditions standards (Wc)

Pbestj (k) : Représente la meilleure position de particule j à l'itération k.

PSO : Optimisation par essaim de particule.

q : Charge de l'électron.

Q_V^0 : Consommation à cette puissance nominale.

Q : Représente les ampères-heures emmagasinés ou restitués pendant l'intervalle de temps considéré.

$\frac{Q_V^0}{P_{GE}^0}$: Consommation spécifique du groupe.

R_i : Résistance de la batterie (Ω).

R_{proj} :Durée de vie de projet.

R_s : Résistance série du module (Ω).

R_{Sh} : Résistance parallèle du module (Ω).

r_1 et r_2 : Représentent des nombres aléatoires uniformes entre 0 et 1,

SFF : Facteur de fonds d'amortissement

t : Temps (s)

T : Température (°C).

T_a : Températures ambiantes (°C).

T_j : Température de la jonction (°C).

T_{ref} : Température de jonction de référence (298°Kelvin).

TU : Temps universel (h).

V_{bat} : Tension nominale de la batterie (volts).

V_d : Tension directe de conduction de la diode (volts).

V_g : Tension de gassing (volts).

V_m : Tension max (volts).

V_{oc} : Tension du circuit ouvert (volts).

w (j) : Le facteur de pondération pour la manipulation de l'impact de l'histoire présidente de vitesses sur la vitesse courant.

$\vec{X}$: La position du loup gris.

$\overrightarrow{X_p}$: La position de la proie.

$\vec{A}$, $\vec{C}$: Les coefficients des vecteurs.

y : Durée de vie des composants.

y_{rep} : Durée de vie des banques de la batterie dans l'année.

η_{bat} : Rendement de la batterie.

η_{Bch} : Rendement de charge de la batterie.

η_{GE} : Rendement du groupe électrogène.

η_{ond}: Rendement de l'onduleur.

η: L'efficacité de la batterie.

λ : Fiabilité des composants

Liste des tables

Table 3.1 Les caractéristiques électriques du module PV…….50

Table 3.2 nombre des panneaux PV en fonction de LPSP……55

Table 3.3 Pourcentage de production journalière……...56

Table 3.4 Bilan énergétique mensuel…….....56

Table 3.5 Bilan énergétique annuel…….56

Table 4.1 Résultats de dimensionnement par PSO……..73

Table 4.2 Bilan énergétique annuel……..74

Table 4.3 Bilan économique du système…….74

Table 4.4 Résultats de la production annuelle d'énergie pour les deux sources…….79

Tableau 4.5 résultats du bilan annuel des batteries…….79

Table 4.6 résultats du bilan annuel du convertisseur……...79

Table 4.7 Emissions des gaz polluants……80

Table 4.8 bilan économique annuel du système……..81

Tableau 5.1 Résultats de l'algorithme GWO de dimensionnement optimal par rapport à l'algorithme PSO …….89

Tableau 5.2 Coût capital annuel de chaque composant ……89

Table des figures

Figure 1.1 Les réserves d'énergie mondiale par rapport à la demande annuelle……6

Figure 1.2 La tendance mondiale en énergie …….7

Figure 1.3 les prévisions mondiales de la demande en énergie photovoltaïque pour l'année 2020 ……7

Figure 1.4 Structeur de la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde en 2012 ……10

Figure 1.5 Système photovoltaïque autonome…….12

Figure 1.6 Architecture électrique d'un système photovoltaïque autonome hybride……..12

Figure 1.7 Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque……13

Figure 1.8 Présentation des composants photovoltaïques……...14

Figure 1.9 Ensemble de cellules composées d'une association de 3 branches en parallèle ayant chacun 2 cellules en série……..15

Figure 1.10 Caractéristiques I(V) d'une cellule et du groupement de cellules de la figure 1.9……..15

Figure 1.11 caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule……16

Figure 1.12 Configuration du générateur diesel……19

Figure 1.13 diagramme de Ragone des systèmes électrochimiques rechargeables……....21

Figure 1.14 tableau comparatif des caractéristiques principales pour les différentes technologies……..22

Figure 1.15 système de supervision……..24

Figure 1.16 Système hybride PV - Diesel série ……..25

Figure 1.17 Système hybride PV - Diesel commuté ……26

Figure 1.18 Système hybride PV - Diesel parallèle …….27

Figure 1.19 Courbe du rendement d'un moteur diesel ayant une puissance nominale de 75 KW ……...28

Figure 2.1 Schéma équivalent d'un module photovoltaïque…….31

Figure 2.2 Evolution de la caractéristique I(V) du module PV en fonction de l'ensoleillement …...……...31

Figure 2.3 Evolution de la caractéristique I(V) du module PV en fonction de la température ……...……32

Figure 2.4 Modèle électrique équivalent à deux diodes de la cellule photovoltaïque…….33

Figure 2.5 Cellule électrochimique de base……..34

Figure 2.6 modèle équivalent électrique d'une batterie……35

Figure 2.7 Tension, courant et l'état de charge de la batterie en fonction du temps……36

Figure 2.8 la puissance journalière produite par le générateur PV en kWh pour le site de Djanet……43

Figure 3.1 localisation géographique du site de Djanet en Algérie……..47

Figure 3.2 Données annuelle d'ensoleillement pour le site de Djanet……..48

Figure 3.3 Données annuelle de température pour le site de Djanet…….48

Figure 3.4 Courbes de profils de charge horaires……...49

Figure 3.5 Organigramme du calcul……52

Figure 3.6 Configuration du système……53

Figure 3.7 organigramme de simulation du système hybride……...54

Figure 3.8 Energie mensuelle produite par GE……57

Figure 3.9 consommation mensuelle du fuel……57

Figure 3.10 Energie mensuelle photovoltaïque produite…….57

Figure 3.11 Energie mensuelle excès……...57

Figure 3.12 Capacité de stockage moyenne mensuelle en KWh…….57

Figure 3.13 Consommation journalière du groupe électrogène en fuel……...58

Figure 3.14 Energie journalière produite comparée avec la consommation……58

Figure 3.15 Heures de fonctionnement du GE……..58

Figure 3.16 Capacité de stockage moyenne journalière en kW/h…….58

Figure 4.1 configuration du système…….61

Figure 4.2 Données annuelle d'ensoleillement pour le site d'Ilamane……61

Figure 4.3 Données annuelle de température pour le site d'Ilamane……61

Figure 4.4 Courbe de profile de charge horaire……...62

Figure 4.5 organigramme du l'algorithme PSO……65

Fig. 4.6 Organigramme de la simulation-PSO……..69

Figure 4.7 Convergence d'optimisation du coût annuel du system par PSO……...71

Figure 4.8 Convergence d'optimisation d'émission de CO2 par PSO…….71

Figure 4.9 convergence d'optimisation de la perte d'énergie par PSO……71

Figure 4.10 Energie mensuelle produite par PV, générateur diesel et capacité de stockage moyenne……72

Figure 4.11 Energie annuelle produite pour chaque composant…….72

Figure 4.12 Coût des différents éléments du système optimisé par PSO……...73

Figure 4.13 Schéma du système……...76

Figure 4.14 Résultats de simulation…….78

Figure 4.15 Evaluation économique des coûts…….82

Figure 4.16 Evaluation économique des composants……..82

Figure 5.1 Hiérarchie des loups gris (la dominance diminue de haut en bas)……84

Figure 5.2 Positionner le mécanisme de mise à jour des agents de recherche et les effets de A sur celui-ci ……86

Figure 5.3 Attaquer la proie contre la recherche de proie ……86

Figure 5.4 Le processus et le pseudo code du GWO ……87

Figure 5.5 Organigramme d'optimisation par GWO ……..88

Figure 5.6 Convergence de l'optimisation du système de coûts annuel en utilisant l'algorithme PSO ……89

Figure 5.7 Convergence de l'optimisation du système de coût annuel en utilisant l'algorithme GWO ……...…89

Figure 5.8 Puissance journalière produite par le panneau PV ……89

Figure 5.9 Coûts des différents éléments optimisés par GWO ……90

Figure 5.10 Energie annuelle produite pour chaque composant ……90

Figure 5.11 La gestion de l'énergie du système hybride ……91

Figure 5.12 l'énergie quotidienne générée par les panneaux photovoltaïques et les DG par rapport à la consommation ……91

Figure 5.13 Gestion d'énergie du système PV……91

Figure 5.14 Gestion d'énergie du système GE ……91

Introduction générale

Face à l'épuisement des ressources énergétiques fossile et aux problèmes environnementaux causés par l'émission des gaz à effet de serre, lors de l'exploitation de ces ressources, des ressources énergétiques alternatives ont été développées et doivent continuer à l'être.

Le développement et l'exploitation des ressources énergétiques renouvelables et des systèmes de production décentralisés d'électricité d'origine renouvelable ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici une vingtaine d'années, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Il est intéressant de les exploiter sur le lieu de consommation, en les transformant directement soit en chaleur, soit en électricité selon les besoins. Cette production par sources d'énergies renouvelables offre une plus grande garantie d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant le caractère aléatoire de ces sources nous impose d'établir des règles de dimensionnement et d'utilisation de ces systèmes pour les exploiter au mieux.

La production d'électricité au moyen d'un système hybride combinant plusieurs sources d'énergie renouvelables est d'un grand intérêt pour les pays en développement, comme les pays de Maghreb. Ces pays possèdent de nombreuses régions, isolées éloignées des réseaux de distribution classiques d'électricité. Ainsi l'extension de ces réseaux serait d'un coût financier exorbitant. Pour résoudre ce problème, l'exploitation du potentiel en énergies renouvelables dont dispose ces pays doit être une priorité.

L'énergie solaire en Algérie représente un potentiel significatif. En effet, le pays reçoit plus que 3000h de soleil par an avec un niveau d'ensoleillement élevé. La moyenne annuelle d'ensoleillement solaire quotidienne varie de 5 à 7 kWh/m^2 dans la mesure où des surfaces inclinées aux angles optima sont considérées [1].

La distribution des systèmes photovoltaïques est due aux programmes nationaux qui ont été entrepris et financiers par le gouvernement. Le premier programme qui a été lancé en 1985 s'appelle 'le grand programme du sud d'énergie solaire'. Son but était d'installer les unités photovoltaïques autonomes pour différentes applications. La réalisation de ce programme a permis ce qui suit [1]:

- ✓ L'électrification de petits villages isolés dans le désert du Sahara.
- ✓ L'installation des systèmes photovoltaïques de pompage de l'eau.
- ✓ L'alimentation des récepteurs de télécommunication par des modules photovoltaïques dans les emplacements lointains.

L'électrification rurale dans les pays du sud est basée dans la majorité des cas sur les systèmes maisons solaires avec une utilisation limitée. Ce qui donne l'impression que les systèmes photovoltaïques visent une population pauvre. Les générateurs diesels génèrent plus d'électricité mais souffrent des coûts d'entretien et de la fourniture du fuel.

La partie relative à l'énergie renouvelable et la promotion de l'efficacité énergétique est un objectif important dans la politique énergétique nationale. Ainsi, également le stockage et la consommation d'énergie, en particulier l'électricité. La combinaison hybride des systèmes PV-diesel-batterie est économiquement réalisable dans de nombreux cas pour l'alimentation en énergie électrique dans des zones isolées où les compagnies d'électricité ne sont pas disponibles. Le système PV-Diesel a une plus grande fiabilité pour la production d'électricité qu'un système PV seul ou système diesel seul. Cela signifie que les systèmes d'alimentation hybrides ont une plus grande flexibilité, une plus grande efficacité et des coûts moindres pour la même quantité de production d'énergie [2]. En outre, l'intégration de l'installation photovoltaïque avec le stockage de la batterie et l'unité diesel comme un système de secours permet une réduction des coûts d'exploitation et de polluants émis dans l'atmosphère [3]. Plusieurs méthodes peuvent être trouvées dans la littérature pour la conception optimale du système hybride PV-Diesel-batterie [4, 5]. Mais il y a quelques œuvres qui tiennent compte de plus d'un objectif dans le problème d'optimisation des systèmes d'énergies renouvelables hybrides (HRES) en utilisant les algorithmes évolutionnaires (EA) [6, 7, 8].El-Hefnawi [9]présenté une méthode d'optimisation pour la conception du système hybride PV-Diesel-batterie. La méthode d'optimisation commence par la modélisation du générateur diesel et l'optimisation des PV et la taille de la batterie en termes de nombre minimum de jours de stockage et la zone de gamme minimum de PV. EkeR et al[10],développés un modèle mathématique linéaire pour minimiser le coût total d'un système hybride d'énergie renouvelable. Ils ne considérés que des panneaux solaires et des éoliennes et ont utilisé une méthode graphique pour résoudre le problème d'optimisation. Dufo-Lopez et Bernal-Agustin [11] développés l'optimisation hybride par les algorithmes génétiques (GA) qui les utilisés

pour déterminer le dimensionnement et le contrôle de fonctionnement d'un système PV-Diesel.

Le travail qui a été défini pour cette recherche concerne l'étude des performances d'une installation photovoltaïque hybride de conversion d'énergie renouvelable et d'évaluer ces potentialités en utilisant des sources renouvelable, un groupe électrogène comme générateur de secours et leurs hybridation avec des batteries et autres composant du système. Ce travail présente aussi une modélisation et simulation d'un système d'énergie renouvelable hybride, appliqué pour deux sites isolés : Djanet et Ilamane en Algérie. Optimisation multi objective et dimensionnement optimal du système hybride par PSO et GWO est considéré pour minimisé le coût total du système, la totale émission du CO_2 produite par le groupe électrogène ainsi que la probabilité de perte de charge (LLP).

L'algorithme d'optimisation par la loup gris (GWO) a été appliqué pour un dimensionnement optimal et minimise le coût total du système de production d'énergie renouvelable hybride dans le site de "Djanet". Les résultats obtenus par cette nouvelle méthode sont comparés avec l'algorithme d'optimisation par essaim de particules (PSO).

Dans ce contexte, cette étude constitue une contribution pour une meilleure intégration des sources d'énergie renouvelable dans un système d'énergie renouvelable hybride.

Afin d'accomplir au mieux cette étude, le présent mémoire est structuré en cinque principaux chapitres en plus de l'introduction générale et de la conclusion générale.

Le premier chapitre aborde le concept théorique de l'énergie solaire et décrit les différents composants et configurations des systèmes hybrides avec leurs inconvénients et leurs avantages.

Le deuxième chapitre aborde les différents modèles des constituants d'un système hybride (PV-diesel-Batterie) et le choix du modèle pour accomplir notre travail ainsi que l'exposition de la méthode choisie pour le dimensionner du système.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les résultats de dimensionnement et la simulation du système hybride choisi, ainsi que l'algorithme de gestion d'énergie à l'aide d'un programme de simulation réalisé sous Matlab.

Dans le quatrième chapitre, nous présentons une optimisation multi objective et dimensionnement optimal par la méthode d'essaim de particule (PSO). Une comparaison des

résultats de la simulation obtenus par la méthode PSO et le logiciel HOMER est présentée, ainsi qu'une évaluation technico-économique du site rural désigné.

Dans le cinquième chapitre, la méthode d'optimisation par la loup gris (GWO) est appliqué pour déterminer la configuration optimal, et minimise le coût total du système hybride dans le site de Djanet. Les résultats obtenus par GWO sont comparé par la méthode PSO.

Enfin, les principaux résultats de ce travail de recherche et les perspectives qui en résultent sont donnés ainsi qu'une conclusion générale.

ANNEXE 1 : LES RESULTATS JOURNALIERS OBTENUS PAR MATLAB POUR LE SITE D'ILAMANE

Tableau 1 : Résultats journaliers Obtenus par Matlabde l'installation hybride à "Ilamane" pour les mois de Janvier, Février et Mars.

Janvier			Février			Mars		
Energie produite par PV (KWh)	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**	**Energie produite par PV (KWh)**	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**	**Energie produite par PV (KWh)**	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**
24.04	107.03	0.00	31.55	77.75	0.00	23.77	92.69	0.00
24.01	99.64	0.00	31.11	81.64	0.00	27.74	91.75	0.00
29.43	99.10	0.00	30.13	84.80	0.00	28.03	92.46	0.00
30.23	100.81	0.00	27.18	86.64	0.00	19.42	90.39	0.00
29.91	101.23	0.00	30.31	88.04	0.00	10.86	79.57	0.00
30.09	101.30	0.00	21.61	87.54	0.00	27.71	72.80	0.00
29.97	101.29	0.00	26.60	85.11	0.00	22.49	71.41	0.00
30.39	101.35	0.00	29.01	85.74	0.00	32.26	71.73	0.00
30.04	101.35	0.00	22.46	85.62	0.00	30.75	75.84	0.00
29.66	101.32	0.00	10.85	76.65	0.00	31.61	79.58	0.00
18.46	97.16	0.00	25.86	68.87	0.00	32.43	84.17	0.00
30.95	95.12	0.00	21.53	66.42	0.00	31.70	88.74	0.00
31.43	98.83	0.00	26.12	63.31	0.00	31.30	92.76	0.00
22.64	99.04	0.00	28.51	63.63	0.00	31.68	96.78	0.00
17.19	93.48	0.00	28.63	65.42	0.00	30.63	100.34	0.00
29.25	89.71	0.00	30.80	67.43	0.00	31.65	102.08	0.00
30.33	92.25	0.00	31.01	70.91	0.00	31.74	102.12	0.00
30.61	95.31	0.00	31.07	74.55	0.00	28.01	101.74	0.00
27.53	97.15	0.00	29.66	77.68	0.00	28.60	101.39	0.00
29.96	98.78	0.00	31.30	80.83	0.00	14.94	95.91	0.00
18.25	96.87	0.00	30.76	84.51	0.00	30.94	92.13	0.00
5.24	83.59	0.00	29.68	87.46	0.00	31.94	96.35	0.00
16.02	69.46	0.00	31.27	90.72	0.00	16.87	93.79	0.00
8.32	56.63	0.00	28.28	93.51	0.00	32.85	92.59	0.00
30.87	49.60	0.00	32.33	96.24	0.00	20.78	92.88	0.00
32.15	53.56	0.00	31.81	100.28	0.00	17.92	86.31	0.00
32.79	58.49	0.00	17.20	98.10	0.00	28.20	82.86	0.00
31.38	62.97	0.00	30.80	95.10	0.00	34.31	87.10	0.00
31.74	66.79	0.00	23.20	95.43	0.00	33.07	93.13	0.00
32.11	71.13	0.00				33.22	98.70	0.00
29.75	74.90	0.00				32.95	102.30	0.00
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
824.77	**87.59**	**0.00**	**800.60**	**82.07**	**0.00**	**860.37**	**90.40**	**0.00**

ANNEXE 1 : LES RESULTATS JOURNALIERS OBTENUS PAR MATLAB POUR LE SITE D'ILAMANE

Tableau 2 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Ilamane"pour les moisd'Avril, Mai et Juin.

Avril			Mai			Juin		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
32.04	102.56	0.00	28.93	99.22	0.00	26.18	71.47	0.00
31.79	102.49	0.00	30.16	100.08	0.00	27.02	69.80	0.00
21.17	98.69	0.00	21.31	98.00	0.00	26.05	68.27	0.00
27.58	95.36	0.00	28.83	95.08	0.00	18.11	62.93	0.00
31.67	96.63	0.00	33.24	97.06	0.00	24.84	56.69	0.00
21.79	94.29	0.00	31.70	100.66	0.00	27.29	54.62	0.00
34.04	94.33	0.00	31.00	102.56	0.00	25.55	53.02	0.00
34.37	99.34	0.00	31.89	102.83	0.00	26.53	50.73	0.00
34.45	102.66	0.00	30.27	102.55	0.00	26.28	49.07	0.00
34.37	102.77	0.00	34.10	102.74	0.00	25.90	47.02	0.00
32.86	102.83	0.00	29.28	102.56	0.00	25.01	44.49	0.00
32.25	102.81	0.00	30.67	102.48	0.00	26.49	42.18	0.00
29.90	101.93	0.00	29.99	102.30	0.00	26.25	40.39	0.00
32.14	102.87	0.00	29.48	102.19	0.00	24.89	38.06	0.00
31.73	102.81	0.00	30.21	102.24	0.00	22.39	35.80	1.32
29.19	102.41	0.00	28.27	102.02	0.00	23.27	36.36	1.98
29.15	102.22	0.00	29.79	102.04	0.00	20.52	35.02	1.98
29.45	102.25	0.00	27.90	102.06	0.00	18.13	35.23	3.29
33.15	102.93	0.00	28.25	101.41	0.00	24.72	36.17	0.66
34.85	102.81	0.00	26.72	100.53	0.00	24.23	36.79	1.32
33.96	103.17	0.00	28.37	99.63	0.00	22.29	36.23	1.98
32.90	103.01	0.00	26.64	98.70	0.00	22.93	36.87	1.98
31.81	102.75	0.00	25.45	96.68	0.00	24.03	36.52	1.32
31.81	102.63	0.00	22.60	93.07	0.00	24.95	36.80	0.66
30.10	102.54	0.00	26.56	89.15	0.00	25.29	37.51	1.32
30.90	102.66	0.00	29.87	88.83	0.00	22.75	36.05	1.32
27.72	102.10	0.00	25.77	88.28	0.00	22.60	36.55	1.98
28.25	101.26	0.00	24.82	85.29	0.00	22.27	35.65	1.32
26.13	100.05	0.00	23.92	82.09	0.00	20.74	35.62	2.63
28.35	99.07	0.00	23.39	77.64	0.00	25.64	37.95	1.32
			25.56	74.30	0.00			
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
919.86	**101.14**	**0.00**	**874.93**	**96.59**	**0.00**	**723.12**	**44.33**	**26.34**

ANNEXE 1 : LES RESULTATS JOURNALIERS OBTENUS PAR MATLAB POUR LE SITE D'ILAMANE

Tableau 3 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Ilamane" pour les mois de Juillet, Aout et Septembre.

Juillet			Aout			Septembre		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
10.99	34.16	4.61	24.26	37.28	1.32	28.35	39.12	0.00
17.32	35.44	3.29	30.63	39.80	1.32	29.30	39.29	0.00
18.67	34.53	2.63	30.49	42.22	0.00	28.96	40.01	0.00
21.40	36.31	1.98	30.19	43.93	0.00	29.26	40.49	0.00
25.94	37.70	1.32	30.08	45.43	0.00	31.01	41.64	0.00
25.78	37.49	0.66	27.20	45.94	0.00	29.69	43.39	0.00
17.70	34.79	2.63	28.77	45.28	0.00	25.09	42.88	0.00
18.40	35.14	2.63	30.10	45.96	0.00	27.05	40.36	0.00
18.02	35.81	3.29	29.80	47.31	0.00	31.04	40.34	0.00
25.69	37.53	1.32	15.91	43.19	0.00	30.80	42.42	0.00
26.08	37.45	0.66	26.17	37.42	0.66	29.89	44.17	0.00
26.33	37.57	0.66	28.80	38.55	0.66	31.24	45.71	0.00
24.06	36.85	0.66	30.10	39.65	0.00	32.19	48.43	0.00
24.52	37.02	1.32	29.05	40.72	0.00	32.51	51.72	0.00
19.23	35.57	2.63	29.73	41.55	0.00	30.20	54.27	0.00
26.43	38.11	1.32	30.04	42.81	0.00	28.41	55.19	0.00
27.21	38.57	0.66	29.31	43.96	0.00	25.40	53.81	0.00
28.33	39.74	0.66	27.34	44.03	0.00	26.81	51.66	0.00
26.47	39.46	0.00	24.76	41.98	0.00	26.88	50.24	0.00
23.05	36.74	0.66	22.41	38.07	0.00	24.48	47.41	0.00
15.03	34.33	3.95	27.19	37.93	1.32	27.01	45.37	0.00
27.35	37.26	0.66	26.26	38.35	0.66	15.25	38.88	1.32
27.14	38.22	0.66	19.26	35.94	1.98	22.60	37.53	1.32
26.44	38.54	0.66	19.70	35.86	2.63	22.89	36.39	1.98
26.73	38.67	0.66	29.11	39.14	1.32	27.86	39.08	1.32
23.41	37.96	0.66	29.00	40.25	0.00	29.25	39.50	0.00
23.28	37.15	1.32	28.61	40.66	0.00	27.08	39.39	0.00
15.23	34.09	3.95	26.07	40.00	0.00	30.19	39.24	0.00
18.22	35.48	3.29	22.10	36.39	0.66	30.61	40.83	0.00
24.98	38.08	1.32	25.70	37.39	1.32	30.12	42.36	0.00
23.88	37.52	0.66	27.48	38.85	1.32			
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
703.32	**36.88**	**51.35**	**835.62**	**40.83**	**15.14**	**841.42**	**43.70**	**5.93**

ANNEXE 1 : LES RESULTATS JOURNALIERS OBTENUS PAR MATLAB POUR LE SITE D'ILAMANE

Tableau C4 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Ilamane" pour les mois d'Octobre, Novembre et Décembre.

Octobre			Novembre			Décembre		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
37.16	43.56	0.00	30.17	98.66	0.00	29.66	75.27	0.00
31.79	46.55	0.00	29.53	99.47	0.00	21.98	73.43	0.00
18.37	50.24	0.00	31.91	100.43	0.00	22.77	67.57	0.00
18.85	52.78	0.00	27.41	102.85	0.00	23.54	63.35	0.00
33.03	53.39	0.00	24.02	104.02	0.00	22.68	60.90	0.00
35.69	54.19	0.00	22.52	103.15	0.00	18.11	61.83	0.00
34.94	55.65	0.00	20.76	102.36	0.00	13.40	53.43	0.00
30.67	57.29	0.00	14.46	93.28	0.00	24.14	52.33	0.00
18.20	60.12	0.00	26.32	89.54	0.00	28.60	51.64	0.00
20.63	63.73	0.00	16.14	80.39	0.00	28.76	50.68	0.00
33.65	65.13	0.00	31.16	78.25	0.00	26.54	49.12	0.00
33.71	65.22	0.00	29.81	79.06	0.00	27.76	47.09	0.00
34.36	65.77	0.00	26.95	78.11	0.00	19.81	42.59	0.00
30.47	66.97	0.00	14.88	72.71	0.00	25.67	38.36	0.66
17.31	69.35	0.00	31.14	64.98	0.00	25.97	38.25	1.32
19.98	72.12	0.00	28.40	67.09	0.00	19.91	38.07	0.66
32.75	72.79	0.00	24.08	69.58	0.00	17.26	35.78	2.63
34.21	72.97	0.00	14.97	69.96	0.00	18.51	38.09	1.98
34.27	73.60	0.00	15.62	60.88	0.00	21.73	42.88	0.66
31.37	74.92	0.00	26.94	61.55	0.00	26.08	45.60	0.00
17.28	77.94	0.00	29.52	61.68	0.00	29.72	45.71	0.00
20.56	81.07	0.00	31.23	62.30	0.00	29.50	45.46	0.00
34.52	82.98	0.00	31.19	63.53	0.00	30.58	45.85	0.00
31.05	82.59	0.00	31.36	64.91	0.00	29.60	46.23	0.00
32.45	84.65	0.00	31.47	66.38	0.00	27.31	45.50	0.00
31.41	86.65	0.00	31.40	68.28	0.00	20.06	41.94	0.00
31.31	88.53	0.00	31.23	70.39	0.00	17.22	35.82	1.32
32.69	91.05	0.00	28.14	72.52	0.00	26.36	35.85	3.29
28.66	94.21	0.00	23.81	74.77	0.00	22.38	40.25	0.00
24.55	97.11	0.00	22.37	77.06	0.00	21.06	41.20	0.66
23.57	99.92	0.00				11.43	36.41	3.29
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
889.43	**71.07**	**0.00**	**778.88**	**78.60**	**0.00**	**728.10**	**47.95**	**16.46**

Chapitre 1 :

Etat de L’art sur les Systèmes d’Energies Renouvelables Hybrides

1.1 Introduction

Le terme « Système D'énergie Hybride » fait allusion aux systèmes de génération d'énergie électrique utilisant plusieurs types de sources. La combinaison des sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ou les petites centrales hydroélectriques peut constituer un complément ou une alternative aux groupes électrogènes diesels[12]. Les systèmes d'énergies hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grand réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées mais la présence du générateur diesel dans ce type de système hybride autonome suscite certaines discussions quant aux notions de « propreté » et de durabilité [12,13]. L'objective de ce chapitre est de présenter les systèmes d'énergies renouvelables hybrides, les composants utilisés dans ces systèmes. Puis nous présentons les différentes configurations des systèmes hybrides ainsi que les avantages et les inconvénients chaque configuration.

1.2 Définition des systèmes hybrides

Un système d'énergie hybride est défini comme une installation qui utilise deux ou plus des technologies de la génération d'énergies : un ou plusieurs sources de production d'énergie classique (groupe diesel en général) et au moins une source de production d'énergies renouvelables. L'objective d'utiliser des technologies multiples est de réunir les avantages et les meilleurs caractéristiques opérationnelles de chaque système [14].

Les performances d'un système d'énergie hybride (rendement, durée de vie) sont influencées d'une part par sa conception, c'est-à-dire le dimensionnement des composants, le type de composants … etc., et d'une autre part par le choix de la stratégie de fonctionnement. Des paramètres permettant d'évaluer ces performances comme : l'économie de carburant, le coût du KW, le nombre et la durée des pannes, le nombre d'arrêts pour l'entretien…etc.

1.3 Les réserves d'énergie mondiale

Les réserves des ressources naturelles d'énergie mondiale telle que l'Uranium, le gaz, le pétrole et le charbon par rapport à la demande annuelle sont limités comme l'indique la figure 1.1[15]. Pour répondre au besoin mondial d'énergie, de nouveaux procédés de recherche sur l'énergie alternative sont accentués. L'un des énergies alternatives qui répond à cette demande, pour le moment, est l'énergie solaire. L'énergie solaire est disponible partout sur ma planète, à des degrés divers et entièrement renouvelable. Son apport est variable avec les jours et les saisons, mais elle est relativement prévisible.

L'énergie que reçoit la terre est énorme et durable à tel point que l'énergie totale consommée annuellement par le monde entier, est fournie dans un temps aussi court qu'une demi-heure.

Pour une journée ensoleillée, les radiations solaires sur terre atteignent 3000watts par mètre carré selon l'emplacement. Sur la figure1.1, en constatant l'énergie annuelle qu'on reçoit du soleil, il est très clair de dire qu'on doit utiliser cette énorme énergie.

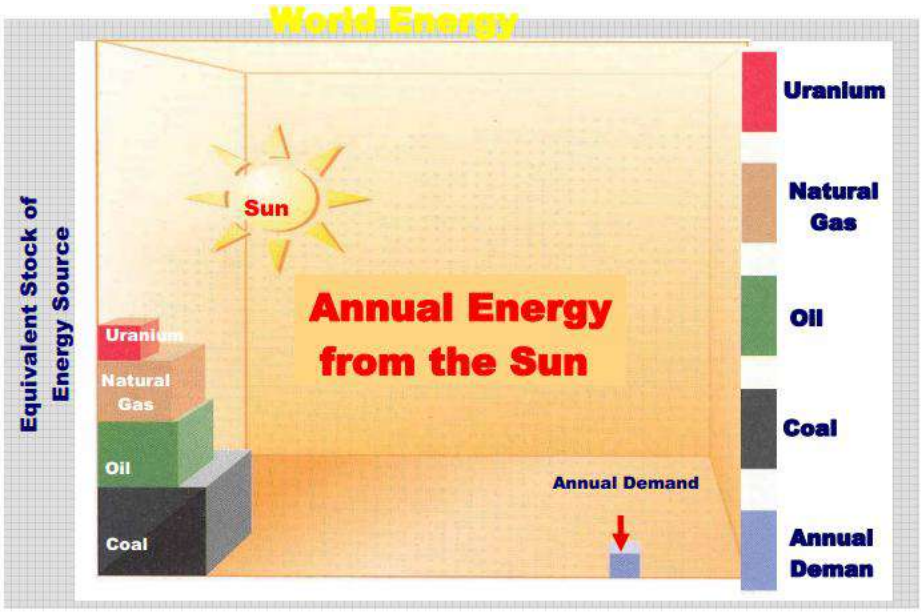


Figure 1.1Les réserves d'énergie mondiale par rapport à la demande annuelle [15].

1.4 Tendance d'énergie mondiale

Le monde est fortement convaincu par le fait que l'unique énergie alternative à l'énergie naturelle conventionnelle est l'énergie renouvelable, en particulier l'énergie solaire. Par conséquent, la plupart des pays du monde ont introduit l'énergie solaire dans leur politique énergétique. La figure 1.2 montre la tendance mondiale en matière d'énergie [15], on peut constater que pour l'année 2050, environ 50% de la production d'énergie, est de type renouvelable et 25% de cette énergie renouvelable sera de l'énergie solaire. Pour l'année 2100, environ 90% de la production d'énergie, sera renouvelable, 70% de ce pourcentage est de type solaire. On ce basant sur les deux pourcentages mentionnés précédemment, on peut dire que le marché de production d'énergie s'oriente dans la direction de l'énergie photovoltaïque.

La figure 1.3 montre les prévisions du besoin de la demande mondiale de l'énergie solaire jusqu'à l'année 2020. On peut constater sur la figure que l'Asie mène le monde avec 15,7 GW suivi par l'Europe avec 12,7 GW et les Etats-Unis avec 8,3 GW. La demande totale en énergie

photovoltaïque pour l'année 2020 est estimé à 49 GW comme mentionné sur le fond de la figure. En plus des pays mentionnés ci-dessus, cette estimation prend en considération le japon et le reste du monde.

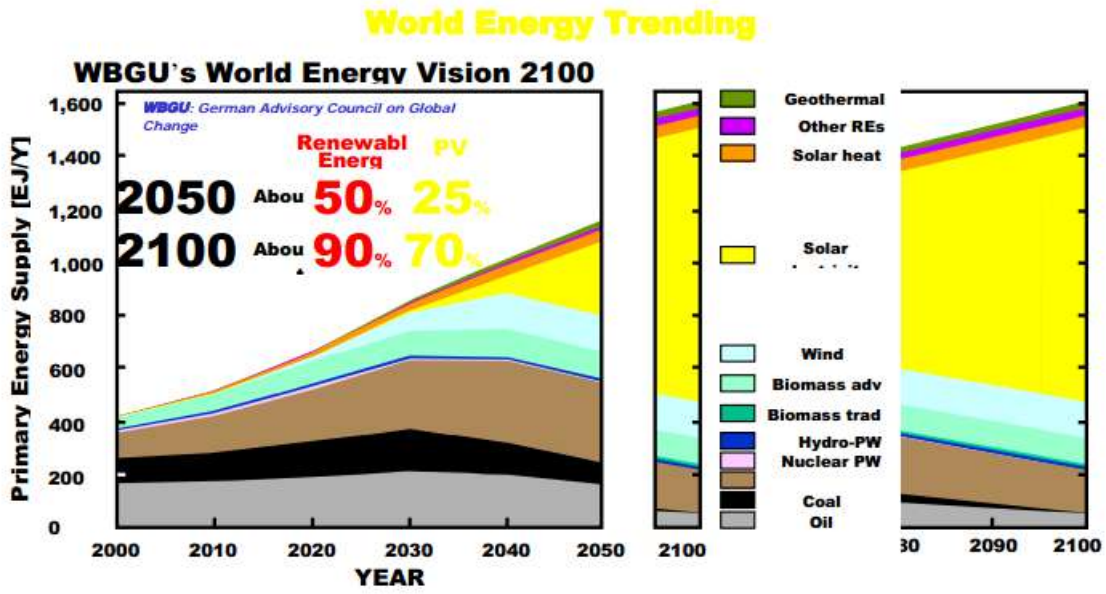


Figure 1.2 La tendance mondiale en énergie [15].

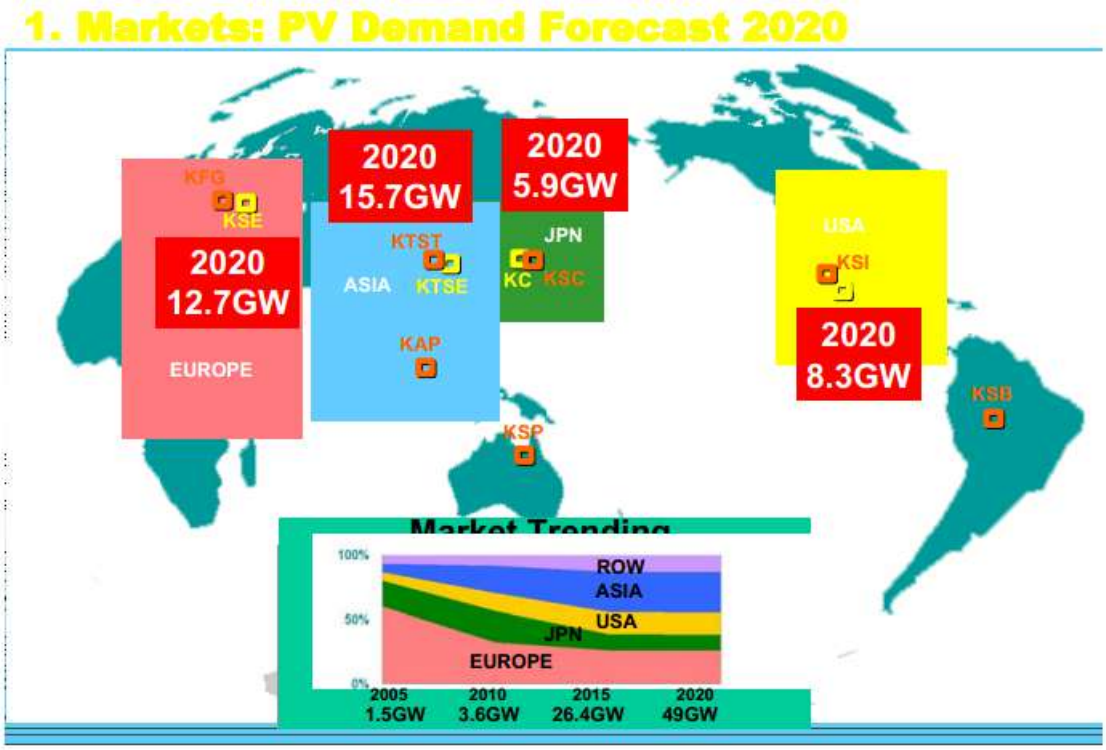


Figure 1.3 les prévisions mondiales de la demande en énergie photovoltaïque pour l'année 2020 [15].

1.5 Les systèmes d'énergies renouvelables hybrides

Pour les sites isolés et les zones éloignées du réseau électrique classique, la possibilité d'être connecter avec ce réseau reste un problème majeur au faite que le prix d'extension est prohibitif en parallèle avec l'augmentation de prix du combustible aussi. En évidence le prix des générateurs basés sur l'énergie renouvelable connaissent une baisse continue de prix au même temps une fiabilité croissante, ses avantages ont menés à une utilisation importante de génération de l'énergie électrique par les énergies renouvelables.

La relation qui mène ses énergies renouvelables au limite de l'utilisation à propos la variabilité des ressources et la fluctuation des charges selon les périodes annuelles et journalières liées aux conditions climatiques par exemple font l'objet d'une solution plus générale au niveau de la génération de l'énergie électrique, celle qui entraine une présence d'un système hybride de génération d'énergie rentre en application pour servir de l'énergie électrique aux relais de télécommunication, des postes frontières, l'habitat isolé, les dispensaires ...etc. plusieurs application et recherches peut y avoir connaitre dans des endroits déférents dans le monde entier. A Khartoum [16] pour une utilisation d'un système hybride afin d'alimenter des petits maisons, l'Inde [17] pour une intégration d'un système hybride dédie à fournir de l'énergie électrique pour des iles isolées et l'Arabie saoudite en [18] pour une étude présenté dans le cadre d'examiner la possibilité de l'utilisation d'un système hybride pour répondre au besoin de demande de l'énergie électrique à un petit village.

Dans [19] une étude complète d'un système hybride éolien/photovoltaïque/diesel autonome été présentés, les résultats ont été bien illustrées, préfèrent cette installation en comparaison avec d'autres installations basées sur une source renouvelable ou deux.

Plusieurs paramètres rentrent dans l'étude des systèmes hybrides, le dimensionnement de système est le premier a considéré, malgré que dans la littérature, il est difficile de trouver comment dimensionner les différents composants d'un système autonome. La plupart des ouvrages portent sur la théorie de base des technologies, mais rarement sur le dimensionnement précis des équipements de base (panneaux solaires, les éoliennes ou bien les génératrices). Les articles quant à eux ne fournissement pas ces informations, mais plutôt des informations très spécifiques sur l'étude réalisée et des comparaisons des résultats. Dans [20] on trouve une nécessité d'avoir une méthode d'optimisation pour garantir une efficacité de fonctionnement pour un système hybride autonome éolien/photovoltaïque. La méthode étudiée par les auteurs est basée sur l'algorithme génétique pour une optimisation parfaite du

système en comparaison avec les méthodes classiques utilisées. Un autre travail présenté par R. Chedid et al dans [21] donnons un outil qui aide a déterminé une bonne configuration d'un système hybride afin de bénéficier d'une construction optimale. Dans la même conception et dans [22], les auteurs ont fait apparaitre une méthode d'analyse pour l'optimisation du même système.L'architecteur, et même le choix de la stratégie de fonctionnement de système hybride peut aussi influencer sur l'image complète du système. D'autres paramètres permettent de faire évaluer les performances comme l'économie de carburant, le coût du KW, le nombre et la durée des pannes et le nombre d'arrêts pour l'entretien [23].

1.6 Les systèmes photovoltaïques

1.6.1 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

A l'heure actuelle, les consommateurs de l'énergie électrique sont surtout alimentés par des centrales électriques situées à de grandes distances. Ceci nécessite de longues lignes de transmission et réseaux de distribution. Ces réseaux d'alimentation fournissent au consommateur un courant alternatif présentant une fréquence et une tension pratiquement constantes (par exemple 230V pour 50Hz). Il est concevable de compléter ces infrastructures par des systèmes décentralisés de génération de chaleur et d'électricité. Cette alimentation en énergie décentralisée se caractérise par des unités d'alimentation relativement petites et situées à proximité immédiate du consommateur. Ceci permet de faire une exploitation plus intense de l'électricité permettant ainsi d'améliorer l'utilisation de sources d'énergie sur le terrain (en particulier les énergies renouvelables d'origine solaire, éolienne ou hydraulique ou encore celle issue de la biomasse). En résumé, on peut parler d'une augmentation de l'efficacité globale allant de pair avec une amélioration de la situation économique qui répond aux critères de durabilité. La figure 1.4 donne une idée de la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde.

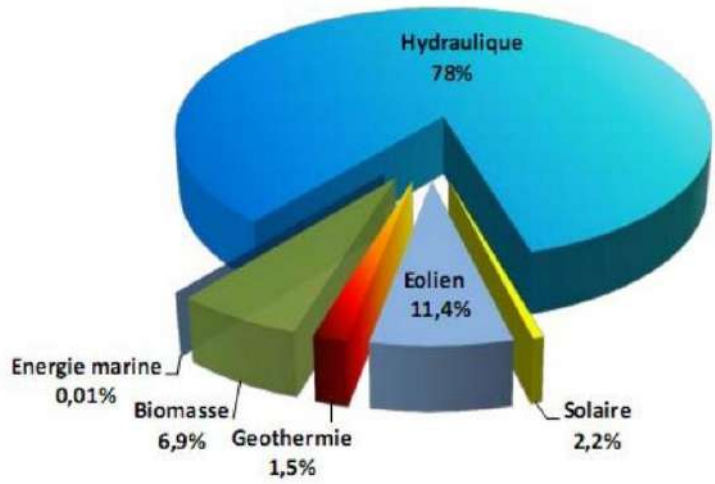


Figure 1.4 Structeur de la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde en 2012 [24].

Dans ce type d'application, la totalité de l'énergie produite est destinée à être revendue au distributeur d'électricité à un tarif de rachat préférentiel.

Les panneaux photovoltaïques débitent sur un bus de tension continue à travers un convertisseur dont le rôle est d'effectuer la conversion DC-AC et de faire en sorte que le générateur PV fonctionne toujours à son point de fonctionnement optimal (MPPT : Maximum Power Point Tracking). Les caractéristiques électriques des panneaux photovoltaïques étant liées aux conditions météorologiques, le convertisseur améliore la rentabilité du système global [25].

Les problèmes concernant l'interconnexion du système photovoltaïque au réseau sont [26, 27] :

- ✓ Le débrochage de système photovoltaïque si le réseau présente une défaillance.
- ✓ La protection contre la foudre.
- ✓ La qualité de puissance fournie au réseau.
- ✓ Les effets des systèmes multiples sur une partie du réseau, en particulier monophasé non équilibré.
- ✓ Le dosage fiable des flux de puissance.
- ✓ Risques techniques et financiers.

1.6.2 Systèmes photovoltaïques non connectés au réseau

Nous distinguons deux types de systèmes photovoltaïques non connectés au réseau. Le système Stand-Alone dans le cas où l'énergie photovoltaïque est l'unique source d'énergie du système. Le système photovoltaïque hybride dans le cas où d'autres dispositifs de production

sont utilisés en appui de la production photovoltaïque. Dans la majeure partie des cas, le mode de production d'appui est constitué d'un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Les systèmes photovoltaïques non connectés au réseau sont principalement utilisés dans les zones où le réseau électrique est très peu dense en raison du coût de raccordement prohibitif. L'énergie produite est destinée à être consommée sur place. L'électrification des sites isolés par systèmes photovoltaïques concerne l'habitat, mais aussi les applications stratégiques telles que les relais de télécommunication se trouvant éloignés des réseaux de distribution électrique [28].

1.6.2.1 Système photovoltaïque autonome

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autre source d'énergie et qui alimentel'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. En règle générale, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique.

La seule production électrique de ce type de systèmes est d'origine photovoltaïque. Un schéma d'un système photovoltaïque autonome est représenté dans la figure 1.5. Du fait de la dé-corrélation entre production photovoltaïque et alimentation des charges du consommateur, un système de stockage est utilisé en tampon, celui-ci étant rechargé en cas de surplus de production et déchargé en cas de surconsommation.

En raison de sa maturité technologique et de son faible coût d'investissement, le moyen de stockage universellement répandu pour de telles applications est du type électrochimique Plomb-Acide [29]. Cependant, de nouvelles technologies sont actuellement envisagées comme celles au Lithium.

Les performances de ce type de système sont directement liées à son dimensionnement. Un sous-dimensionnement a notamment pour conséquences un vieillissement prématuré du système de stockage ainsi qu'un accroissement des délestages de consommation et de production alors qu'un surdimensionnement peut conduire à un surcoût économique.

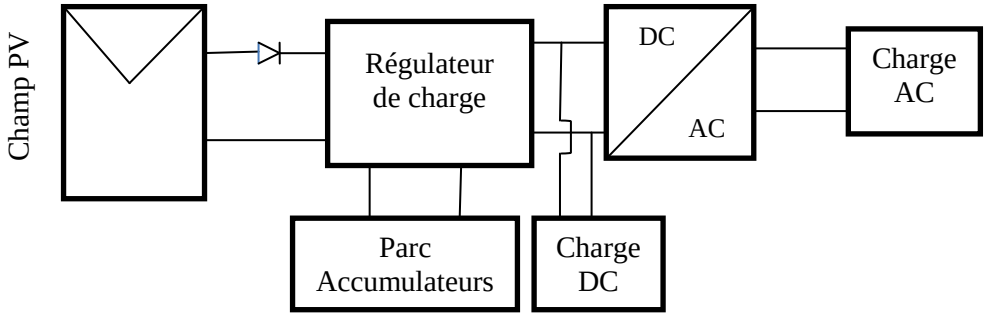


Figure 1.5 Système photovoltaïque autonome.

1.6.2.2 Système photovoltaïque autonome hybride

Dans ce type de système, un second producteur d'énergie (le plus souvent un Groupe Électrogène) est utilisé pour palier les insuffisances de la production photovoltaïque. L'idée étant de faire appel à l'énergie de ce producteur lorsque le système n'est plus en mesure de subvenir aux besoins du consommateur et/ou que l'état de charge de l'accumulateur est trop faible. La figure 1.6 représente une architecture possible d'un système photovoltaïque autonome hybride.

L'avantage de ce type de système est que, théoriquement, le consommateur ne se trouve jamais en situation d'être délesté, le groupe électrogène assurant la fourniture d'énergie lorsque la production PV est insuffisante (sauf dans le cas où le réservoir du groupe électrogène est vide). Les coûts d'investissement des panneaux photovoltaïques et du système de stockage peuvent être minimisés ; par contre, les coûts de fonctionnement principalement liés au prix du combustible du groupe électrogène sont plus importants que pour un système autonome non hybride [25].

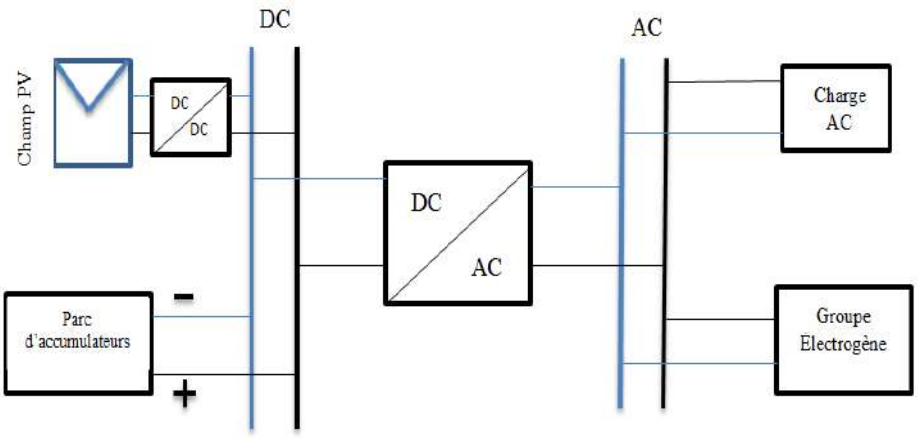


Figure 1.6Architecture électrique d'un système photovoltaïque autonome hybride.

1.7 Principaux composants des systèmes hybrides

Les systèmes d'énergie hybride sont généralement constitués de sources d'énergie classique (générateur diesel), de sources d'énergie renouvelable (éolienne, solaire). Ils peuvent aussi conclure d'autres sources d'énergie comme l'énergie hydroélectrique, marémotrice, géothermique etc., des convertisseurs statiques et dynamiques, des systèmes de stockage (batterie, volant d'inertie, le stockage hydrogène…), des charges principales et délestages et un système de surveillance.

1.7.1 Générateurs photovoltaïques

Une cellule élémentaire composée de matériaux semi-conducteurs est capable de convertir l'énergie de photons reçus à sa surface en une différence de potentiel, créée par une délocalisation d'électron dans le matériau. La circulation des électrons dans le circuit extérieur permet à la cellule PV de fonctionner comme un générateur.

Les cellules PV sont combinées ensemble pour former un module PV qui peut produire une certaine quantité d'énergie sous des conditions d'éclairement et de température variables. Par la suite les modules PV peuvent êtreregroupés à leur tour afin de former un générateur PV. Il est dimensionné selon la puissance nécessairepour une installation donnée [30].

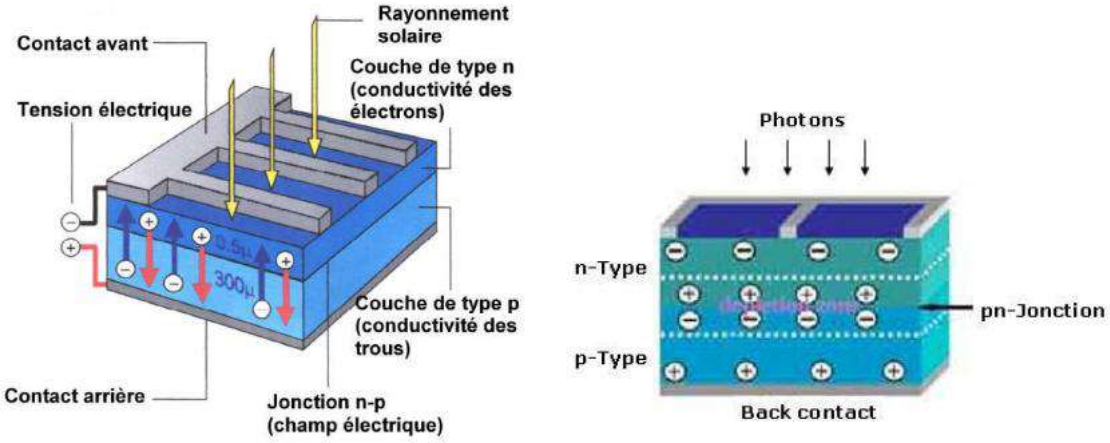


Figure 1.7 Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque [31, 32].

Le rendement énergétique d'un module dépend de la nature des matériaux utilisés. Les valeurs communément rencontrés sont de l'ordre (13 à 16% pour les cellules composées de

silicium monocristallin, 11 à 13% avec du silicium polycristallin et 7 à 8 avec silicium amorphe).

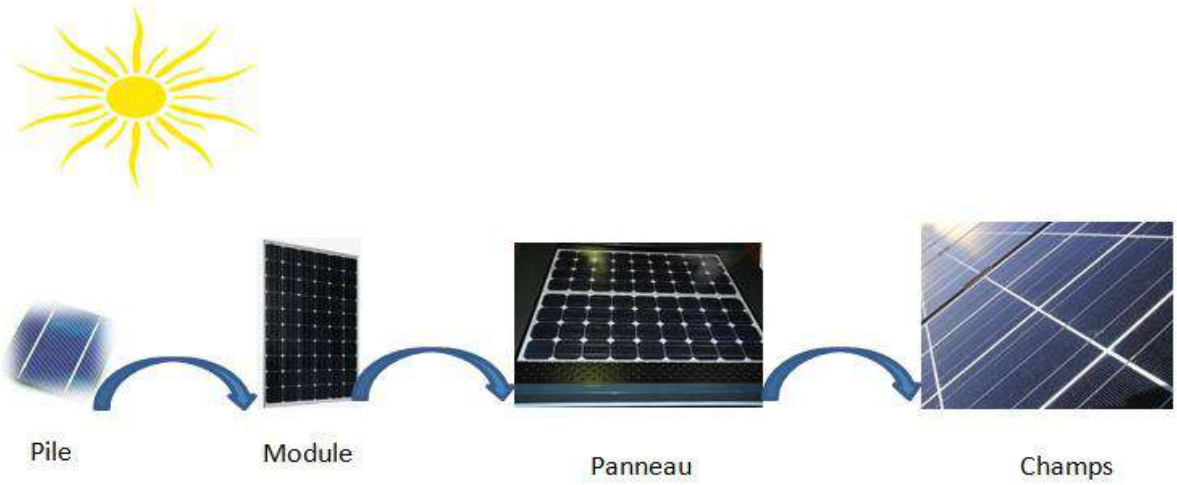


Figure 1.8 Présentation des composants photovoltaïques.

- **Caractéristique d'un module**

Voici la description des paramètres d'un module photovoltaïque:

➢ **La puissance crête P_c:** Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (température de 25°C et un éclairement de 1000 W/m²).

➢ **La caractéristique I (V) :** Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

➢ **Tension à vide V_{oc}** : Tension aux bornes du module en absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".

➢ **Courant de court-circuit I_{sc} :** Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

➢ **Point de fonctionnement optimum (V_m, I_m) :** Lorsque la puissance de crête est maximum en pleinsoleil, $P_m = V_m . I_m$

➢ **Rendement maximal :** Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

➢ **Facteur de forme :** Rapport entre la puissance optimale Pm et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{oc} . I_{sc}$.

- **Propriété du générateur photovoltaïque**

Pour un éclairement homogène et une même température, en associant des cellules PV identiques en série on augmente la tension (la tension résultante est la somme des tensions de

chaque cellule). Si on les associe en parallèle, on augmente le courant résultant (l'intensité résultante est la somme des intensités de chaque ligne de cellules), on peut ainsi constituer un générateur PV adapté aux applications visées.

Comme pour la cellule simple, les caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque dépendent de la température et de l'éclairement de façon générale, de son environnement (orientation et inclinaison, état de surface, ombres partielles).

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit (I_{CC}) et de tension à vide (V_{CO})sont plus ou moins importantes. A titre d'exemple, la figure 1.10 présente la caractéristique d'une cellule d'un ensemble de cellules composé d'une association de 3 branches en parallèle ayant chacune 2 cellules en série (Figure 1.9).

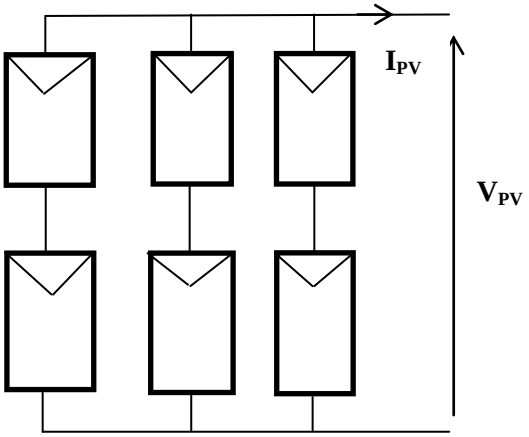


Figure 1.9 ensemble de cellules composées d'une association de 3 branches en parallèle ayant chacun 2 cellules en série.

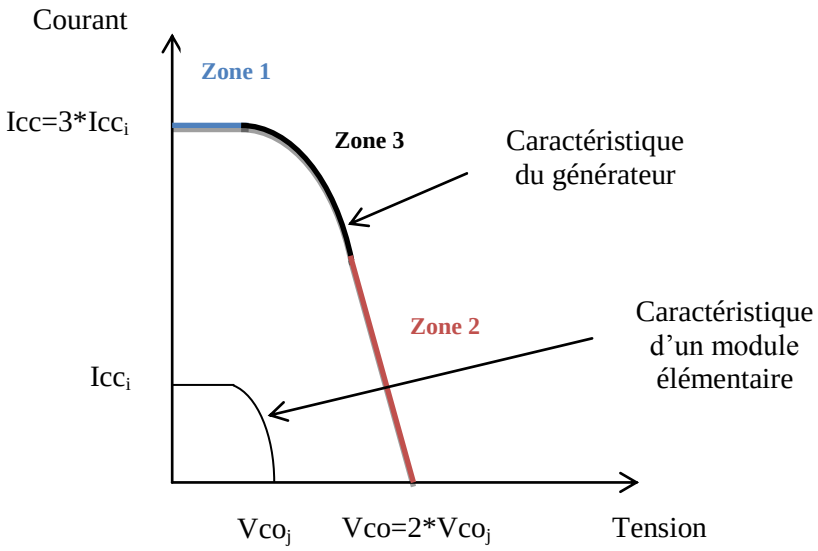


Figure 1.10 caractéristiques I(V) d'une cellule et du groupement de cellules de la figure 1.9 [33].

La caractéristique d'un générateur PV constitué de plusieurs cellules a une allure générale assimilable à celle d'une cellule élémentaire, sous réserve qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule et que l'irradiation et la température soient uniformes.

Nous pouvons décomposer la caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque en 3 zones (figure 1.12) :

- ✓ Une zone assimilable à un générateur de courant I_{CC} proportionnel à l'irradiation, d'admittance interne pouvant être modélisée par $\frac{1}{R_{sh}}$ (Zone 1).
- ✓ Une zone assimilable à un générateur de tension V_{CO} d'impédance interne équivalente à R_s (Zone 2).
- ✓ Une zone où l'impédance du générateur varie fortement de R_s à R_{sh}(Zone 3).

C'est dans la Zone 3 qu'est situé le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur est maximale. Ce point est appelé point de puissance maximale, caractérisé par le couple (I_{mp}, V_{mp}), et seule une charge dont la caractéristique passe par ce point, permet d'extraire la puissance maximale (P_{max}) disponible dans les conditions considérées (figure 1.10) [33].

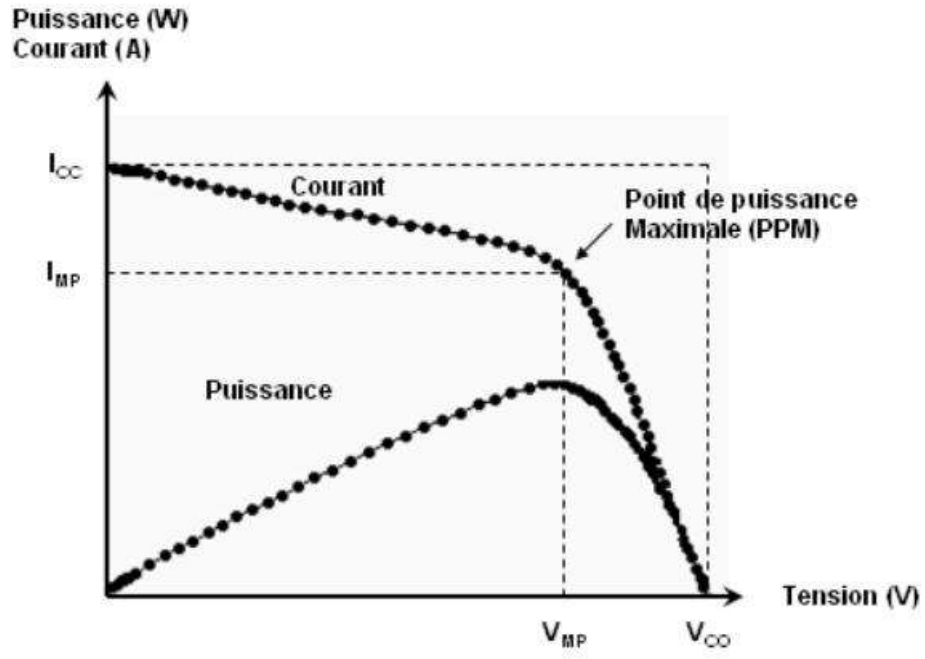


Figure 1.11 caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule.

Le Watt crête (W_C) caractérise la puissance d'un panneau photovoltaïque. La puissance crête représente la puissance délivrée par le panneau au point de puissance maximum [34].

Cette unité est utilisée généralement pour la comparaison du rendement et du prix des produits photovoltaïques. Elle est généralement donnée dans les documents constructeurs dans les conditions standard (1000w/m^2, 25°C).

1.7.2 Eoliennes

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est du indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Un aérogénérateur (éolienne) est une machine qui utilise l'énergie éolienne pour produire de l'énergie électrique. La technologie des aérogénérateurs a énormément évoluée ces 20 dernières années entrainant une spécialisation des différents types d'éolienne.

Le petit éolien désigne les éoliennes de petites et moyennes puissance, de 100 W à 20 kilowatts, montées sur des mats de 10 à 35 mètres, raccordés au réseau ou bien autonomes en site isolé. Le petit éolien est utilisé pour produire de l'électricité et alimenter des appareils électriques (pompe, éclairage, …) de manière économie et durable, principalement en milieu rural. Par exemple, une petite éolienne accompagnée d'un module solaire photovoltaïque et d'un parc de batteries peut garantir l'autonomie énergétique d'un voilier (éclairage, instruments de bord…).

L'élément essentiel pour qu'une petite éolienne soit économiquement rentable est le vent, qui doit être à la fois puissant et fréquent. Les petites éoliennes classiques sont généralement à axe horizontal. Elles comprennent le plus souvent deux à trois pale [35]. Les petites éoliennes peuvent avoir un système mécanique de modification de l'angle de calage des pales ou d'orientation face au vent, alors que les grandes éoliennes utilisent des systèmes de commande électroniques. Les différents types de protections utilisées par les petits systèmes éoliens sont :

- ✓ Basculement (relèvement) de l'axe, normalement horizontal [36].
- ✓ Pas variable par pression du vent. Les pales en fibre se déforment et provoquent undécrochage.
- ✓ Déviation par rapport à l'axe du vent. Le rotor se trouve légèrement décalé par rapport à l'axe de rotation et crée une force de déviation qui régule la puissance aérodynamique.

- ✓ La configuration électrique d'un aérogénérateur a une grande influence sur son fonctionnement. Cette configuration basée sur la caractéristique de la vitesse. Le fait qu'une éolienne fonctionne à vitesse fixe ou à vitesse variable dépend par exemple de cette configuration.

1.7.3 Piles à combustibles

Permis les technologies envisagées pour l'avenir en termes de production d'énergie électrique décentralisée, la pile à combustible est considéré comme une solution très prometteuse [37].

Ce convertisseur d'énergie, à la fois propre et efficace, permet de convertir l'énergie chimique de l'hydrogène, vecteur énergétique fortement pressenti pour le futur par de grands spécialistes mondiaux au vu de son énergie massique 3 fois plus important que l'essence, en une énergie électrique, utilisable directement et une énergie thermique qu'il est possible de valoriser. L'utilisation de cette cogénération permet d'atteindre des rendements très intéressants, jusqu'à 80% dans certains cas.

Les piles à combustible (PAC), générateurs statiques d'électricité et de chaleur. Deux technologies sont actuellement prometteuses et connaissent d'intenses efforts de R&D. d'une part les PAC à membrane polymère PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) fonctionnant à des températures basses comprises entre 50 et 90°C qui sont les plus développées. Le rendement en électricité, supérieur à 80% en théorie, et supérieur à 50% en pratique. D'autre part les PAC à oxydes solides SOFC (Solid Oxyde Fuel Cell) fonctionnant à des températures supérieures à 600°C ce qui implique un moins haut rendement mais permet de valoriser la chaleur produite en cogénération.

1.7.4 Générateur Diesel

Dans le cas des installations à sources d'énergie renouvelables autonomes. Il est nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un système d'énergie hybride, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone. La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse (régulateur de vitesse)sur le moteur diesel [38].

Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constante. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré.

- **Fonctionnement:**

Ils fonctionnent à partir de tous les carburants. Les plus fréquent sont l'essence, le gazole, le gaz naturel, le GPL, les biocarburants et pour les plus puissants le fuel lourd. Le groupe peut être mis en fonctionnement de différentes manières : manuellement, électriquement ou grâce à l'air comprimé selon leur puissance.

Le rendement des groupes électrogènes croît avec leur puissance, mais reste limité au maximum que permet le cycle de Carnot, duquel doivent êtres soustraites les pertes mécaniques et électriques dans l'alternateur et la transmission. En particulier, les groupes de puissance modérée se caractérisent par un médiocre rendement et une consommation élevée. Par exemple un produit commercial qui délivre 5500 W est mû par un moteur à essence de 9,55 kW qui consomme environ 2,5 litres de carburant à l'heure lorsqu'il est utilisé à 2/3 de sa puissance nominale, soit 3600 W. Compte tenu des pertes thermiques inévitables dans les moteurs à combustion interne, cela fait un rendement qui n'excède pas 16 % du pouvoir calorifique du carburant.

Un groupe électrogène moderne est équipé de deux régulations. La tension de sortie est stabilisée (par exemple : 230 V) par un dispositif électronique qui agit sur l'alternateur. La vitesse de rotation du moteur et donc de l'alternateur doit aussi rester constante afin de garantir la fréquence de la tension de sortie (50 Hz). Cette régulation se fait grâce à un dispositif centrifuge analogue au régulateur à boucles de James Watt qui commande directement le carburateur ou de la pompe d'injection. Un dispositif à induction basé sur les courants de Foucault tel que celui qui équipe les anciens indicateurs de vitesse des automobiles, ou un système électronique peuvent encore remplir cette fonction.

Les groupes électrogènes produisent du dioxyde de carbone, qui est un gaz asphyxiant, et du monoxyde de carbone.

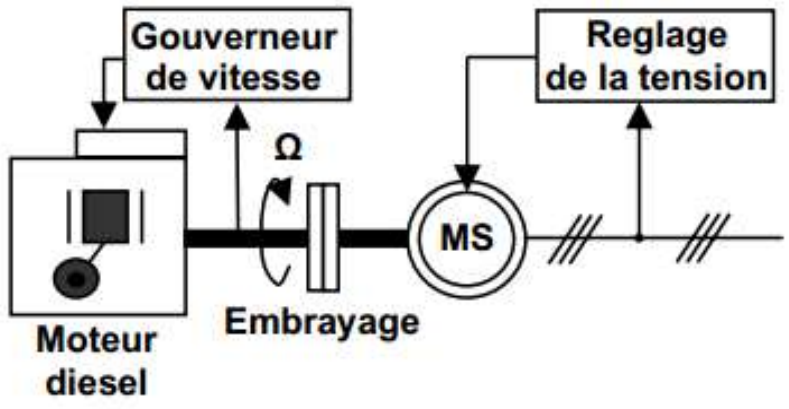


Figure 1.12 Configuration du générateur diesel.

1.7.4.1 Groupe diesel fonctionnant à vitesse fixe

Ce type de groupe électrogène est constitué d'un moteur diesel qui tourne à vitesse constante relié avec une machine synchrone. En parallèle avec sa simplicité, ce groupe diesel présente quelques points négatifs comme le volume sonore qui est plus grand et constant, un niveau d'émission polluante élevé même lorsque la demande d'énergie est faible, une mauvaise stabilité de fréquence et de tension dans le démarrage et une présence d'un second moteur diesel en plus du moteur principal pour des applications embarquées [39].
Pour ce type de moteur la vitesse doit être constante et stable ce qui traduise une nécessité d'avoir un système de commande puissant et fiable.

1.7.4.2 Groupe diesel fonctionnant à vitesse variable

Dans le cadre des recherches d'amélioration concernant le premier type celle à vitesse fixe, le générateur diesel à vitesse variable semble être une solution parfaite au niveau de rendement et de fiabilité [40]. Ce groupe électrogène est basé sur l'association d'une machine génératrice fonctionnant à vitesse et puissance variables entraînée par un moteur diesel et un convertisseur statique qui alimente une charge. L'association d'un convertisseur statique avec l'alternateur nous permet de bien maitriser une variation de fréquence et de puissance à l'état de sortie.

1.7.5 Système de stockage

Le stockage d'énergie est un facteur clé dans un système d'énergie hybride en site isolé. Dans la plupart des cas, les batteries représentes encore la technologie la plus rentable. Elles sont d'habitude du type Plomb-Acide, les batteries nickel-cadmium sont rarement utilisées. Les batteries Plomb-Acide bénéficie en effet d'avantages, tels son faible coût(par rapport à d'autres technologies) et une maturité étayée par un retour d'expérience conséquent. Cette technologie est par ailleurs largement disponible dans le commerce.

- **Les différents types de batteries**

Les différentes technologies rechargeables de stockage d'énergie existantes sont présentées sur la figure 1.13. Les technologies sont comparées en termes de densités d'énergie et de puissance. Cette figure est bien évidement évolutive en fonction des progrès de la recherche, et certains systèmes peuvent devenir concurrents.

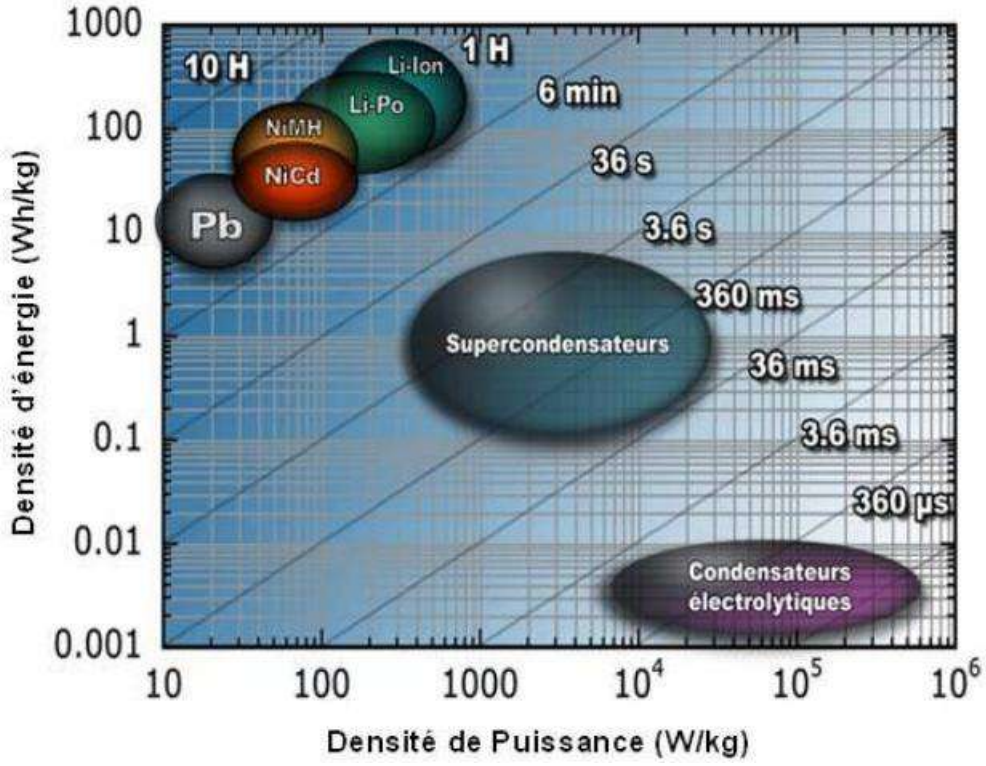


Figure 1.13 diagramme de Ragone des systèmes électrochimiques rechargeables [41, 42].

Dans le domaine électrique, un accumulateur désigne un système physicochimique capable de convertir de façon réversible l'énergie électrique en énergie chimique. L'énergie électrique est donc accumulée, puis restituée en majeure partie. L'accumulateur n'est généralement pas utilisé seul, mais plusieurs sont associés en batterie [43]. Comme indiqué sur la figure 1.13, il existe cinq technologies d'accumulateurs rechargeables d'usage courant : accumulateur au plomb (Pb), accumulateur Nickel cadmium (Ni-Cd), accumulateur Nickel-Metal Hybride (Ni-MH), accumulateur Lithium-ion (Li-ion) et accumulateur Lithium-ion polymètre (Li-Polymer). L'avantage des accumulateurs est qu'ils peuvent stocker une grande densité d'énergie. Ils sont très performants pour délivrer cette énergie à régime constant. Par contre lorsqu'il y a un besoin de charge ou recharge rapide, les accumulateurs ne convient pas. C'est là qu'intervient la technologie des condensateurs et supercondensateurs. Charge et décharge peuvent se faire à très grande vitesse. Malheureusement leur densité d'énergie reste faible par rapport à celle d'accumulateurs.

La comparaison des caractéristiques principales pour les différentes technologies est présentée dans le tableau ci-dessous. Il donne quelques données techniques approximatives sur les technologies existantes [43, 44, 45]. Les données précises se trouvent sur les fichiers techniques des constructeurs.

	Batteries					Super condensateur
	Plomb	NiCd	NiMH	Li-ion	Li-Po	
Densité énergétique (Wh/kg)	15-40	45-80	60-120	110-160	80-130	0,5-10
Nombre de cycle de charge/décharge [a]	200 à 300	500 à 1500	300 à 500	500 à 1000	200 à 300	$>10^5$
Profondeur de décharge	80%	80%	80%	80%	80%	100%
Courant [b]						
(en pic)	5C	20C	5C	Plus de 2C	Plus de 2C	Variable
(utilisation normale)	0,2C	1C	0,5C	1C ou moin	1C ou moin	Variable
Tolérance à la surcharge	Oui	Moyenne	Très faible	Nulle	Très faible	Résistance
Autodécharge par mois	5%	20%	30%	10%	10%	50%
Voltage nominal d'une cellule	2V	1.2V	1.2V	3.6V	3,7 V	0,7 à 2,7 V
Plage de températures de fonctionnement						
(en charge)	10 à 40 °C	0 à 45 °C	0 à 45 °C	0 à 45 °C	0 à 45 °C	
(en décharge)	-20 à 60°C	-40 à 60°C	-20 à 60 °C	-20 à 60°C	-20 à 60°C	-40 à 65°C
Commercialisé depuis	1970	1950	1990	1991	1999	2004

Figure 1.14 tableau comparatif des caractéristiques principales pour les différentes technologies.

Tel que (a) représente la profondeur de décharge. On considère que la batterie est mort lorsqu'elle n'est plus capable de stocker 80% de sa capacité initiale. (b) représente la puissance d'une batterie s'exprime généralement en coefficient multiplicateur « C » de la capacité nominale de stockage de la batterie.

Une batterie de 2A permettant 5C pourra débiter 5*2=10A.

1.7.6 Convertisseurs

Dans un système d'énergie hybride, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le courant continu (DC) en un courant alternatif (AC) et vice-versa. Trois types de convertisseur sont rencontrés dans les systèmes d'énergies hybrides : les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

- Les redresseurs réalisent la conversion AC/DC. Dans le système d'énergie hybride, ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à AC. Ce sont des appareils relativement simples, pas chères et bon rendement. Ils sont généralement monophasés ou triphasés.

- Les onduleurs convertissent le DC en AC. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à AC ou en parallèle avec des sources à AC. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge.
- Les hacheurs, le troisième type de convertisseurs, permettent de réaliser la conversion DC/DC pour adapter la tension entre deux sources.

1.7.7 La charge

La connaissance de la courbe de charge journalière est nécessaire pour un dimensionnement exact des installations hybrides. En effet, la puissance produite par le générateur photovoltaïque et la puissance appelée par la charge varient au court de la journée, d'un jour à un autre (le profil de charge peut différer durant les week-ends par rapport aux jours de la semaine) et selon les saisons. Ces variations de production et de consommation compliquent davantage la conception de l'installation hybride qui doit être dimensionnée pour répondre aux besoins en électricité dans les cas les plus défavorables.

Les équipements à alimenter par une installation hybride doivent être choisis avec précaution. Les charges résistives tel que les chauffes eau, les chauffages et les plaques chauffantes sont proscrites. En raison du coût de production d'électricité élevé dans les régions isolées, le recours aux équipements basse consommation qui permettent de faire des économies d'énergie s'avère une solution rentable

Si l'utilisation prudente de l'énergie électrique dans les régions isolées est évidente pour les concepteurs et installateurs de systèmes hybrides, il n'en est pas le cas pour les habitants de ces régions qui ignorent les concepts d'une installation hybride PV-Diesel. Une période d'adaptation avec ce type d'installation est alors nécessaire [46].

1.7.8 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.

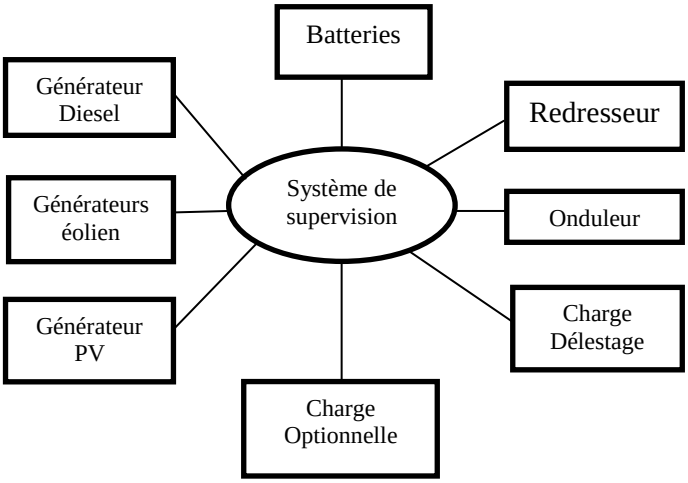


Figure 1.15 système de supervision.

Dans la même vision [47] 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 petri 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.

1.8 Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides (PV/groupe électrogène)

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources. Le système qui nous intéresse regroupe deux moyens pour la production de l'énergie (panneau solaire et une génératrice) passant par un stockage électrochimique.

On distingue les configurations suivantes:

- Système hybride PV - Diesel série.
- Système hybride PV - Diesel commuté.
- Système hybride PV - Diesel parallèle.

1.8.1 Configuration série

Dans cette configuration, l'énergie produite par le générateur diesel est d'abord redressée et puis convertie de nouveau en alternatif pour être fournie à la charge, ce qui implique des

pertes de conversion significatives. Lorsque l'énergie produite par le champ photovoltaïque et l'énergie stockée sont suffisantes pour répondre à la demande de la charge, le diesel est débrayé. La puissance en courant continu fournie par le champ et la batterie est convertie en courant alternatif par un onduleur. De plus, il faut noter que dans la plupart des systèmes de ce type, le rendement du système est diminué à cause du transit d'une grande partie de l'énergie par la batterie, augmentant ainsi le nombre des cycles charge – décharge. Le régime de fonctionnement du générateur dépend d'une part de la demande d'énergie et d'autre part, de l'état de charge de la batterie et de la production du champ PV. La batterie se charge quand l'énergie produite par le champ est en excès. Au contraire, quand l'énergie produite n'est pas suffisante, alors la batterie se décharge. Le contrôleur solaire prévient la surcharge de la batterie et sa décharge trop profonde. On peut également faire appel à un convertisseur DC/DC (MPPT) qui permettra au champ PV de faire fonctionner le champ à son point maximum de puissance. Le système hybride peut travailler de manière automatique si on ajoute un système de mise en marche et arrêt du générateur diesel [48].

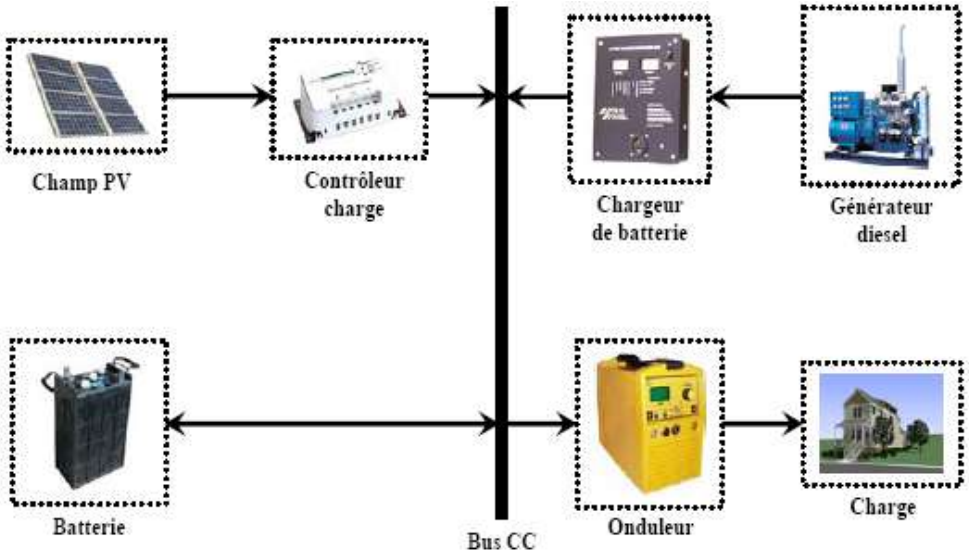


Figure 1.16 Système hybride PV - Diesel série [48].

1.8.2 Configuration commutée

Cette configuration est très fréquemment utilisée malgré ses limitations opérationnelles. La charge peut être alimentée soit par le générateur diesel, soit par l'onduleur alimenté par le photovoltaïque ou la batterie mais le fonctionnement en parallèle n'est pas encore possible. La batterie peut être chargée de nouveau par le champ PV et le diesel. L'avantage principal de cette configuration par rapport à la configuration série consiste dans l'élimination de la

conversion de l'énergie fournie par le générateur d'où l'élimination des pertes supplémentaires de conversion.

En principe, la puissance produite par le générateur est supérieure à la demande de la charge et l'excès est utilisé pour la charge de la batterie. Comme dans le cas précèdent, le diesel est arrêté, lorsque la demande est faible et peut être satisfaite par le champ photovoltaïque et la batterie. La complexité du système implique l'utilisation d'un contrôle automatique à la place de la commande manuelle [46].

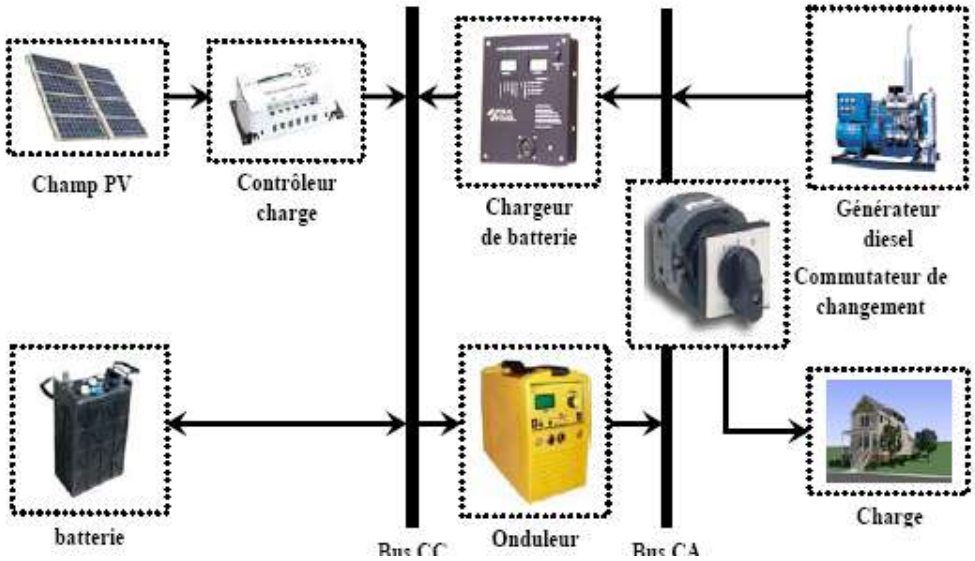


Figure 1.17 Système hybride PV - Diesel commuté [48].

1.8.3 Configuration parallèle

Dans la configuration parallèle, toutes les sources peuvent alimenter la charge séparément à faible et moyenne demande mais également suppléer les pointes en combinant les sources. L'onduleur bidirectionnel peut fonctionner, soit comme un redresseur lorsqu'il y a un excès d'énergie produite par le diesel pour charger la batterie, soit comme un onduleur, pour transférer l'énergie fournie par le champ photovoltaïque ou par la batterie vers la charge. Grâce à l'onduleur bidirectionnel, le système parallèle peut alimenter une charge supérieure à la puissance nominale du générateur. Ce système possède deux améliorations par rapport aux configurations série et commutée. L'association du générateur diesel et de l'onduleur permet l'alimentation d'une charge supérieure à la charge alimentée par chaque élément seul. En principe, la capacité du système est deux fois plus grande dans cette configuration. La possibilité de synchroniser l'onduleur avec le générateur diesel permet une meilleure flexibilité du système et de plus, la puissance nominale du générateur diesel peut être

diminuée, ce qui augmente la partie de l'énergie directement utilisée d'où on obtient une augmentation du rendement du système. En utilisant un seul convertisseur comme onduleur et redresseur, on diminue le nombre des éléments dans le système. De plus, les coûts du câblage et l'installation du système peuvent être diminués par l'intégration de toutes les composantes dans une seule unité, ce qui est avantageux, mais peut empêcher l'augmentation de la taille du système par l'ajout de nouveaux composants si la demande en électricité augmente [48].

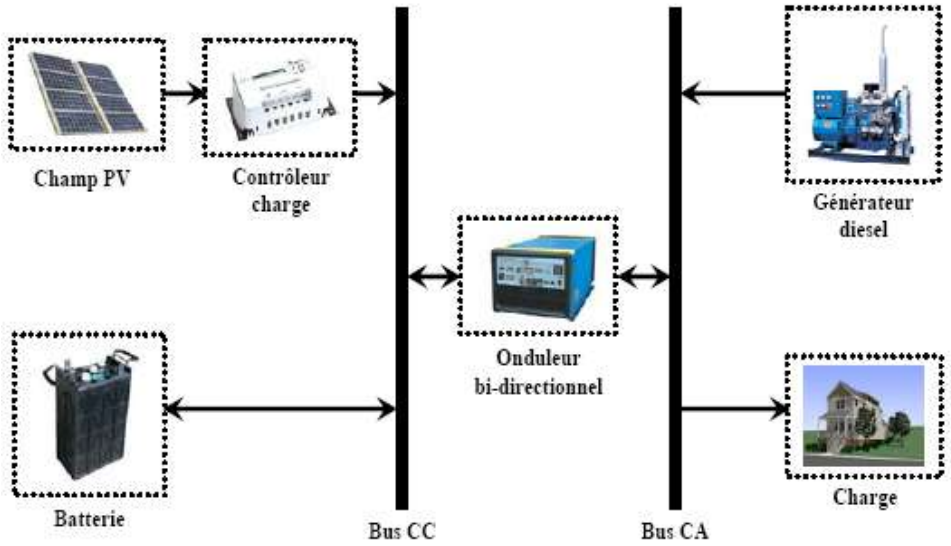


Figure 1.18 Système hybride PV - Diesel parallèle [48].

1.9Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des systèmes d'énergie hybride

Compte tenu de la nature stochastique des sources d'énergie renouvelable, la difficulté principale des systèmes d'énergie hybride comportant ce type de sources est de pouvoir produire à chaque instant l'énergie demandée par la charge. Le moyen le plus simple d'éviter une augmentation du risque de ne pas satisfaire complètement la charge est de faire fonctionner les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels en parallèle, de façon continue. Dans ce type de fonctionnement, les sources d'énergie renouvelable agissent comme une charge négative, en réduisant la charge moyenne des générateurs diesels [49].

Ces derniers peuvent fonctionner à une puissance très basse (figure 1.18), mais l'économie de carburant est modeste à cause du rendement très faible. Ainsi, garder un moteur diesel au régime de ralenti pour une demande de puissance nulle suppose une consommation de carburant non négligeable.



Figure 1.19 Courbe du rendement d'un moteur diesel ayant une puissance nominale de 75 KW

Si l'énergie renouvelable est suffisante pour alimenter la plupart de la charge, la quantité de carburant économisé peut alors être augmentée en faisant fonctionner les générateurs diesels par intermittence. En fonctionnement intermittent, les générateurs diesels démarrent et s'arrêtent en fonction de la variation de l'énergie renouvelable et de la charge. Le nombre de cycles démarrage/arrêt des générateurs diesels peut, par conséquent, être très élevé. Le problème dans ce cas est l'usure prématurée des groupes diesels et de leurs démarreurs. Un autre problème devant être pris en compte quand le générateur diesel fonctionne par intermittence est le temps nécessaire pour le démarrage et l'arrêt. Le système peut, par exemple s'effondrer subitement pendant le démarrage du générateur diesel, si l'énergie renouvelable diminue plus vite que le temps nécessaire pour la phase de démarrage. Il arrive parfois que la production d'énergie renouvelable soit plus importante que la consommation de la charge. Si l'excès d'énergie dans le réseau ne peut pas être éliminé, la production d'énergie renouvelable doit alors être limité ou mêmearrêtée. En général, les systèmes sans utilisent une charge de délestage pour maintenir l'équilibre énergétique et la stabilité de la fréquence. D'autres applications nécessitent des systèmes de commande supplémentaires pour maintenir la qualité de la tension. Tous ces dispositifs, tels que les charges de délestage et les systèmes de commande, augmentent le coût d'investissement qui ne peut pas être justifié par les avantages du système hybride. Seule une stratégie de commande adéquate peut permettre d'intégrer de manière optimale différents composants et donc de rendre le système rentable.

Une surtension peut être causée par un court-circuit, l'arrêt d'une charge importante ou la connexion d'un banc de condensateurs.

Un inconvénient majeur dans un système hybride connecté en réseau triphasé isolé est le déséquilibre de tension entre les phases. Un récepteur électrique triphasé déséquilibré ou de récepteurs monophasés déséquilibrés alimentés par un réseau isolé triphasé peuvent conduire à des déséquilibres de tension. Ces déséquilibres provoquent des couples de freinage parasites et des échauffements supplémentaires dans les machines tournantes à CA.

Du point de vue continuité de la production et de la quantité d'énergie, les facteurs pouvant affecter le fonctionnement d'un système d'énergie hybride sont résumés ci-après :

- Les variations de la charge à long terme : les régions isolées avec les petits réseaux électriques peuvent subir des changements rapides dans leurs besoins en électricité (généralement la demande augmente).
- Les variations de la charge à court terme : en général, la demande en électricité varie beaucoup sur des intervalles de temps assez courts, de l'ordre de quelques minutes.
- Des valeurs minimales sont suivies par des pics.
- Les ressources d'énergie renouvelable : les ressources, comme le vent et le soleil sont stochastiques par leur nature, ont des caractéristiques locales et sont très difficiles à prédire.
- Les perturbations du réseau : les défauts, tel que les courts circuits, peuvent non seulement arrêter les systèmes, mais aussi, au pire des cas détruire certains composants.

1.10Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une description générale des systèmes hybrides, tous les composants ont été introduits afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes. Afin de faciliter la conception, nous avons aussi mis en valeur les avantages et les inconvénients de chaque configuration et décrit les composants utilisés dans ces installations.Nous avons ainsi établi pour la maitrise du profil de charge que le choix de la bonne configuration, ainsi que la connaissance des caractéristiques techniques des composants constituants le système hybride sont des étapes préliminaires et nécessaires pour le dimensionnement et la simulation de ce système.

Tableau 1 : Résultats journaliers Obtenus par Matlabde l'installation hybride à "Djanet" pour les mois de Janvier, Février et Mars.

Janvier			Février			Mars		
Energie produite par PV (KWh)	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**	**Energie produite par PV (KWh)**	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**	**Energie produite par PV (KWh)**	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**
91,08	107,31	0,00	85,50	95,86	0,00	69,65	95,25	0.00
61,24	94,00	0,00	112,54	97,50	0,00	110,96	98,52	0.00
101,08	95,98	0,00	98,02	97,81	0,00	119,78	99,19	0.00
107,31	96,27	0,00	109,52	97,86	0,00	106,26	98,83	0.00
60,45	93,27	0,00	55,55	93,28	0,00	114,09	98,89	0.00
102,98	96,14	0,00	109,94	97,13	0,00	117,54	99,11	0.00
99,68	96,02	0,00	110,20	98,42	0,00	116,30	99,09	0.00
65,91	93,93	0,00	111,81	98,42	0,00	85,80	97,94	0.00
75,15	94,96	0,00	112,74	98,48	0,00	70,86	96,72	0.00
89,38	95,60	0,00	108,98	98,33	0,00	72,48	96,55	0.00
104,48	96,22	0,00	99,24	97,83	0,00	119,44	98,60	0.00
109,55	96,33	0,00	115,34	98,43	0,00	120,57	99,38	0.00
103,11	96,14	0,00	105,93	98,49	0,00	118,89	99,34	0.00
44,77	88,89	0,00	83,35	97,69	0,00	81,31	99,17	0.00
43,54	76,68	0,00	107,15	98,49	0,00	102,40	98,18	0.00
34,94	61,33	0,00	69,76	97,09	0,00	101,73	98,45	0.00
104,47	68,87	0,00	94,32	96,72	0,00	99,44	98,38	0.00
104,63	93,24	0,00	99,32	98,39	0,00	115,19	99,08	0.00
95,50	96,00	0,00	101,34	98,60	0,00	102,24	98,85	0.00
22,16	79,76	0,00	102,54	98,47	0,00	38,75	88,92	0.00
62,22	66,52	0,00	97,72	98,24	0,00	63,50	82,84	0.00
25,06	54,21	0,00	112,49	98,59	0,00	61,06	86,61	0.00
71,71	62,16	6,33	57,00	92,91	0,00	90,21	94,76	0.00
112,33	83,04	0,00	52,19	91,09	0,00	103,07	98,33	0.00
104,66	96,39	0,00	102,59	95,54	0,00	112,78	99,17	0.00
105,79	96,43	0,00	98,28	98,36	0,00	116,96	99,39	0.00
49,52	90,56	0,00	88,19	97,88	0,00	113,191	99,27	0.00
111,27	92,90	0,00	91,12	97,44	0,00	111,21	99,19	0.00
78,70	95,58	0,00	93,15	95,86	0,00	108,14	99,04	0.00
72,69	95,44	0,00				111,43	99,13	0.00
63,89	96,44	0,00				103,68	98,95	0.00
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
2479,4	**88.60**	**0.00**	**2762,5**	**97.17**	**0.00**	**3119,7**	**97.26**	**0.00**

Tableau 2 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Djanet"pour les moisd'Avril, Mai et Juin.

Avril			Mai			Juin		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
77,56	95,19	0,00	94,71	52,38	0,00	61,67	49,31	6,33
124,82	78,01	0,00	113,88	61,62	6,33	78,10	51,57	12,66
114,158	65,32	0,00	113,60	69,00	0,00	101,43	45,16	0,00
434,73	73,35	0,00	115, 30	69,34	0,00	100,02	46,72	6,33
91,93	67,66	0,00	109,22	67,93	0,00	103,64	41,62	6,33
114,70	59,70	0,00	107,22	64,95	0,00	73,17	58,30	12,66
109,28	61,03	0,00	111,01	65,41	0,00	55,82	57,59	6,33
108,49	59,47	0,00	111,51	59,35	0,00	103,88	49,75	0,00
115,61	60,64	0,00	95,97	48,28	6,33	103,06	56,17	0,00
112,34	63,58	0,00	97,35	57,46	0,00	100,44	54,35	6,33
103,40	61,27	0,00	105,41	52,49	0,00	102,62	47,22	0,00
105,33	55,69	0,00	104,89	48,01	0,00	101,95	48,80	6,33
113,29	54,26	0,00	106,63	54,51	6,33	101,35	54,37	6,33
109,02	54,94	0,00	95,92	48,06	0,00	67,79	41,27	6,33
105,97	52,18	0,00	99,08	59,48	6,33	96,64	49,35	12,66
108,76	49,37	6,33	108,27	53,52	0,00	75,16	50,97	6,33
89,74	42,46	6,33	97,98	46,34	0,00	79,82	53,71	0,00
65,77	43,13	6,33	107,72	58,96	6,33000	101,75	46,40	6,33
94,93	53,74	6,33	107,67	56,52	0,00	92,74	51,55	6,33
79,62	44,68	12,66	96,83	47,14	0,00	97,37	53,48	0,00
88,99	52,09	0,00	103,77	52,14	6,33	94,80	46,09	6,33
98,20	55,48	12,66	93,17	52,02	6,33	97,05	53,07	6,33
73,97	42,98	0,00	88,98	44,43	6,33	94,87	41,76	0,00
100,49	52,53	12,66	98,42	50,28	6,33	98,33	47,76	6,33
75,45	41,56	0,00	86,42	49,48	6,33	90,61	56,36	6,33
104,88	54,01	6,33	91,08	53,22	0,00	94,58	48,25	0,00
94,34	46,36	0,00	98,59	43,19	6,33	102,54	56,68	0,00
103,29	54,96	0,00	93,54	47,68	6,33	99,94	50,37	6,33
103,23	48,38	18,99	88,44	52,36	0,00	103,65	55,11	0,00
55,78	44,37	0,00	99,61	43,32	6,33	98,06	48,89	6,33
			94,99	44,55	12,66	98,95	49,31	/
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
2955,7	**55.06**	**63.3**	**3083,5**	**53.98**	**94.95**	**2771,9**	**50.28**	**145.59**

Tableau 3 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à"Djanet" pour les mois de Juillet, Aout et Septembre.

Juillet			Aout			Septembre		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
10.99	45,48	6,33	24.26	49,45	0,00	28.35	46,84	6,33
17.32	46,56	6,33	30.63	45,31	0,00	29.30	56,43	0,00
18.67	51,49	18,99	30.49	55,11	0,00	28.96	52,79	0,00
21.40	54,88	0	30.19	47,42	6,33	29.26	47,26	6,33
25.94	47,87	6,33	30.08	50,29	6,33	31.01	46,55	12,66
25.78	55,22	0,00	27.20	49,77	0,00	29.69	55,91	0,00
17.70	43,51	6,33	28.77	56,90	6,33	25.09	50,34	0,00
18.40	46,82	12,66	30.10	55,90	6,33	27.05	58,28	6,33
18.02	49,38	12,66	29.80	48,77	0,00	31.04	63,72	0,00
25.69	44,32	6,33	15.91	51,30	6,33	30.80	65,62	0,00
26.08	51,08	6,33	26.17	53,59	6,33	29.89	66,28	0,00
26.33	46,17	6,33	28.80	47,97	0,00	31.24	67,19	0,00
24.06	42,38	12,66	30.10	57,53	0,00	32.19	68,76	0,00
24.52	47,24	12,66	29.05	58,65	6,33	32.51	68,66	0,00
19.23	55,60	0,00	29.73	55,08	0,00	30.20	56,07	6,33
26.43	49,01	6,33	30.04	49,14	0,00	28.41	43,80	12,66
27.21	54,26	0,00	29.31	52,17	0,00	25.40	38,34	18,99
28.33	47,73	6,33	27.34	45,64	6,33	26.81	47,73	12,66
26.47	54,66	6,33	24.76	56,38	6,33	26.88	55,59	0,00
23.05	46,88	0,00	22.41	49,16	0,00	24.48	49,51	0,00
15.03	56,20	0,00	27.19	49,88	0,00	27.01	46,76	0,00
27.35	52,88	6,33	26.26	56,16	12,66	15.25	58,23	6,33
27.14	46,08	0,00	19.26	53,79	0,00	22.60	54,85	0,00
26.44	56,27	6,33	19.70	50,09	0,00	22.89	50,27	0,00
26.73	48,81	0,00	29.11	44,39	0,00	27.86	49,30	0,00
23.41	53,56	0,00	29.00	55,56	6,33	29.25	45,62	6,33
23.28	47,79	6,33	28.61	51,02	0,00	27.08	60,08	0,00
15.23	48,78	0,00	26.07	47,19	0,00	30.19	58,63	0,00
18.22	51,16	12,66	22.10	52,63	0,00	30.61	74,62	0,00
24.98	55,99	6,33	25.70	45,83	6,33	30.12	98,10	0,00
23.88	54,09	6,33	27.48	55,65	6,33			
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
2741,4	**49.90**	**177.24**	**3220,5**	**51.49**	**88.62**	**2945,2**	**55.32**	**94.95**

Tableau 4 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Djanet" pour les mois d'Octobre, Novembre et Décembre.

Octobre			Novembre			Décembre		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
37.16	96,56	0.00	30.17	97,17	0.00	29.66	86,01	0.00
31.79	97,26	0.00	29.53	96,32	0.00	21.98	84,9821	0.00
18.37	98,17	0.00	31.91	91,75	0.00	22.77	69,12	0.00
18.85	98,39	0.00	27.41	89,74	0.00	23.54	76,43	0.00
33.03	97,93	0.00	24.02	94,48	0.00	22.68	92,39	0.00
35.69	96,96	0.00	22.52	97,09	0.00	18.11	81,52	0.00
34.94	97,39	0.00	20.76	96,99	0.00	13.40	82,41	0.00
30.67	97,35	0.00	14.46	97,01	0.00	24.14	96,64	0.00
18.20	97,47	0.00	26.32	96,97	0.00	28.60	74,12	0.00
20.63	97,21	0.00	16.14	96,23	0.00	28.76	69,12	0.00
33.65	97,34	0.00	31.16	96,30	0.00	26.54	91,90	0.00
33.71	97,23	0.00	29.81	96,54	0.00	27.76	95,82	0.00
34.36	97,36	0.00	26.95	96,21	0.00	19.81	84,18	0.00
30.47	97,14	0.00	14.88	96,92	0.00	25.67	82,41	0.00
17.31	97,20	0.00	31.14	81,51	0.00	25.97	94,46	0.00
19.98	97,15	0.00	28.40	57,68	0.00	19.91	95,71	0.00
32.75	97,10	0.00	24.08	45,97	0.00	17.26	84,20	0.00
34.21	97,03	0.00	14.97	62,07	0.00	18.51	71,14	0.00
34.27	96,85	0.00	15.62	70,36	0.00	21.73	81,16	0.00
31.37	96,37	0.00	26.94	80,58	0.00	26.08	84,05	0.00
17.28	95,70	0.00	29.52	96,64	0.00	29.72	85,40	0.00
20.56	97,17	0.00	31.23	96,92	0.00	29.50	90,78	0.00
34.52	97,13	0.00	31.19	95,84	0.00	30.58	89,39	0.00
31.05	97,21	0.00	31.36	96,63	0.00	29.60	91,26	0.00
32.45	97,19	0.00	31.47	96,23	0.00	27.31	96,03	0.00
31.41	97,12	0.00	31.40	94,80	0.00	20.06	95,26	0.00
31.31	97,09	0.00	31.23	96,69	0.00	17.22	95,84	0.00
32.69	97,08	0.00	28.14	95,91	0.00	26.36	94,89	0.00
28.66	96,90	0.00	23.81	74,85	0.00	22.38	95,91	0.00
24.55	96,97	0.00	22.37	66,05	0.00	21.06	86,01	0.00
23.57	96,99	0.00				11.43	84,98	0.00
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
3208,4	**97.20**	**0.00**	**2446,0**	**89.32**	**0.00**	**2135,9**	**85.96**	**0.0**

Chapitre 2 :

Modélisation et Dimensionnement des Composants du Système Hybride

System architecture

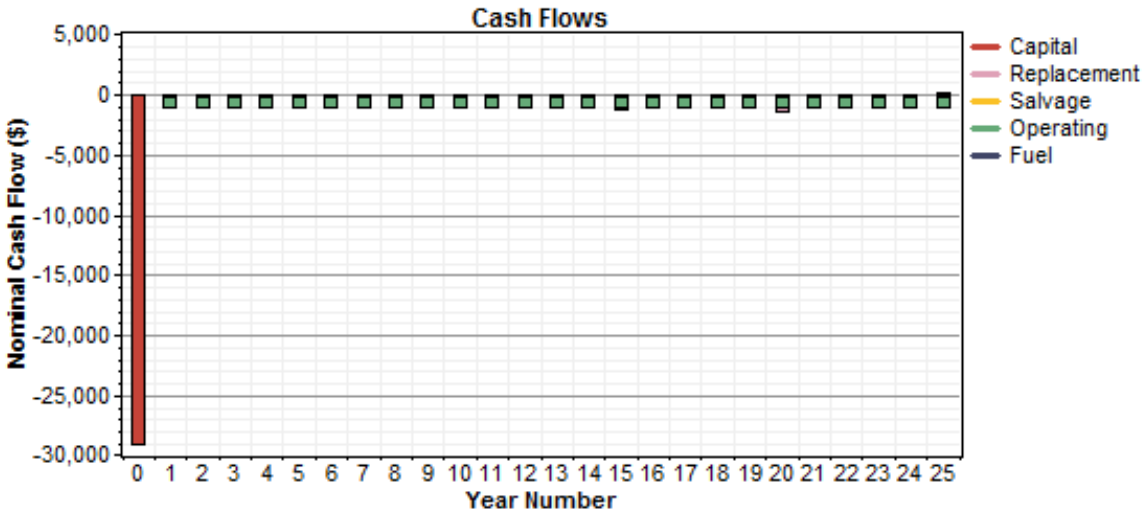
PV Array	2 kW
Generator 1	0.5 kW
Battery	5 Hoppecke 20 OPzS 2500
Inverter	1 kW
Rectifier	1 kW
Dispatchstrategy	Cycle Charging

Costsummary

Total net presentcost	$ 44,161
Levelizedcost of energy	$ 1.024/kWh
Operating cost	$ 1,182/yr

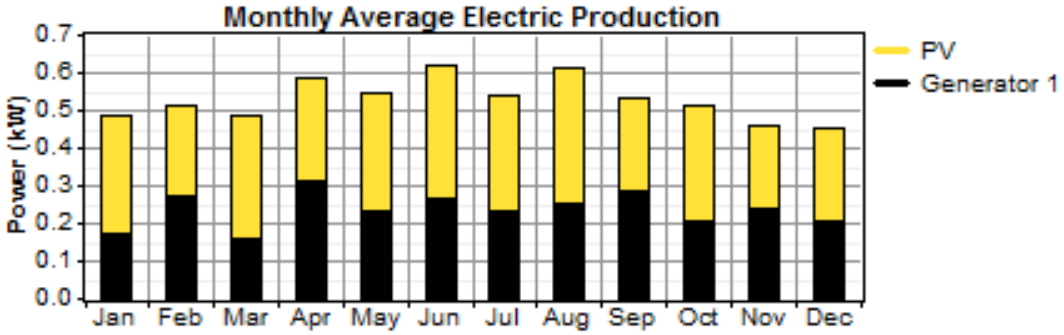
AnnualizedCosts

Component	Capital ($/yr)	Replacement ($/yr)	O&M ($/yr)	Fuel ($/yr)	Salvage ($/yr)	Total ($/yr)
PV	1,565	5	260	0	-3	1,827
Generator 1	4	1	0	147	0	151
Hoppecke 20 OPzS 2500	391	1	767	0	-1	1,159
Converter	313	1	4	0	0	318
System	2,272	8	1,031	147	-4	3,455



Electrical

Component	Production (kWh/yr)	Fraction
PV array	2,564	55%
Generator 1	2,073	45%
Total	4,637	100%



Load	Consumption (kWh/yr)	Fraction
AC primaryload	3,373	100%
Total	3,373	100%

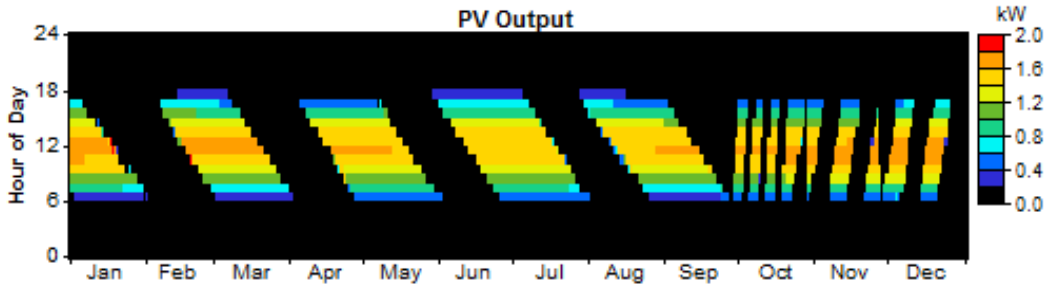
Quantity	Value	Units
Excesselectricity	468	kWh/yr
Unmetload	226	kWh/yr
Capacityshortage	350	kWh/yr
Renewable fraction	0.553	

PV

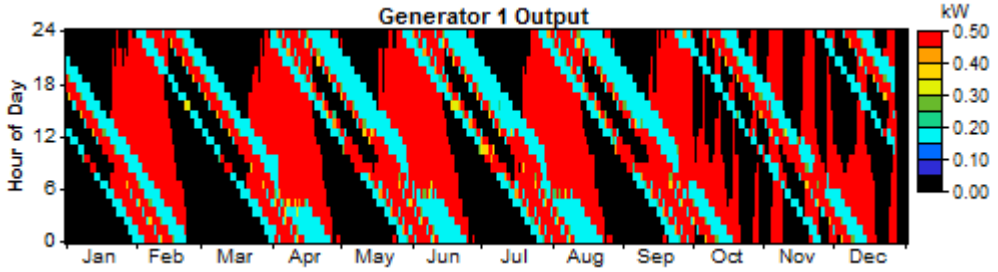
Quantity	Value	Units
Ratedcapacity	2.00	kW
Mean output	0.293	kW
Mean output	7.02	kWh/d
Capacity factor	14.6	%
Total production	2,564	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	1.97	kW
PV penetration	71.2	%

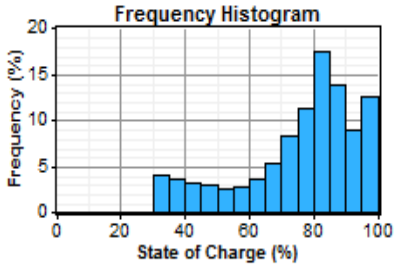
Hours of operation 2,416 hr/yr
Levelizedcost 0.712 $/kWh

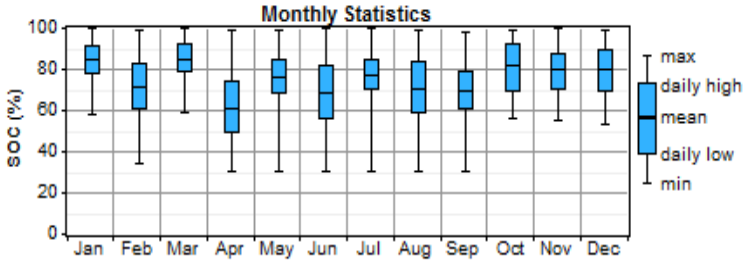


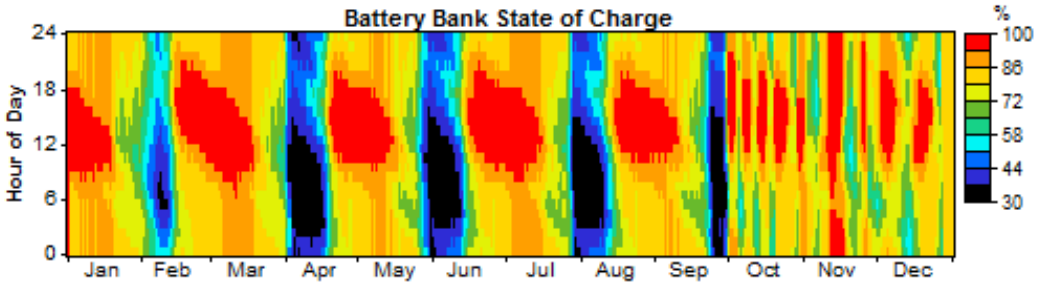
Generator 1



Battery



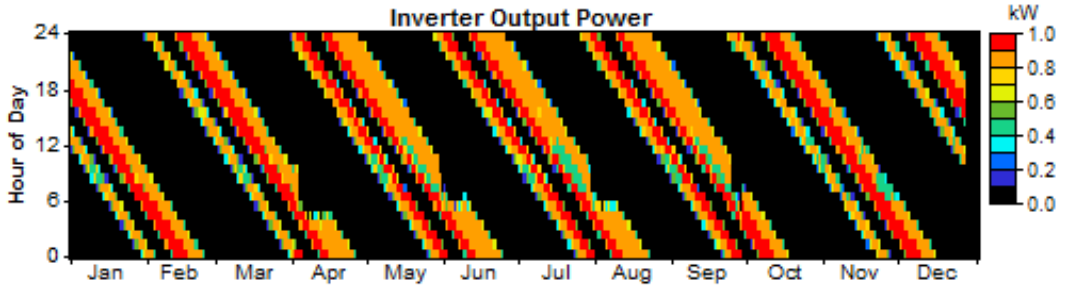


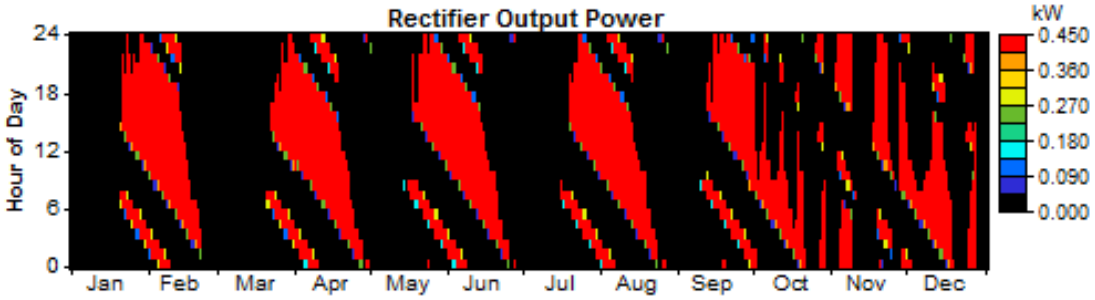


Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	1.00		1.00 kW
Mean output	0.29		0.12 kW
Minimum output	0.00		0.00 kW
Maximum output	1.00		0.43 kW
Capacity factor	28.9		12.0 %

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	3,241	2,596	hrs/yr
Energy in	2,815	1,234	kWh/yr
Energy out	2,534	1,049	kWh/yr
Losses	281	185	kWh/yr





Chapitre 3:

Dimensionnement et Gestion d’énergie:

Application au Site de Djanet

3.1 Introduction

Les chapitres précédents ont présenté une description théorique des différents constituants d'un système hybride PV- générateur diesel- batterie. Dans ce chapitre, nous allonsprésenter le dimensionnement et la simulation d'un système hybride pour l'électrification rurale d'un site dans le sud Algérien. Le programme de simulation est réalisé sous Matlab. Les résultats sont présentés et analysés. Les étapes de calcul sont les suivantes :

- Ressources météorologiques.
- Le profil de charge.
- Paramètres du système.
- Dimensionnement des composants.
- Simulation du système et exploitation des résultats et performances.

3.2. Présentation du site et ressources météorologiques

3.2.1. L'emplacement du système hybride

Le site choisi pour cette étude est un village rural saharien isolé nommé ***"Djanet***". Ce village est situé dans la wilaya d'Illizi. L'électrification du village par les filières classiques (diesel, réseau électrique), en plus des coûts de réalisation excessifs, auraient posé le problème de l'acheminement du combustible.

Le solaire photovoltaïque associé à un groupe électrogène comme appoint pourrait alors constituer une solution durable et plus appropriée pour une alimentation en énergie propre et non polluante.



Figure 3.1 localisation géographique du site de Djanet en Algérie.

3.2.2 Les données météorologiques

Les performances des modules photovoltaïques sont directement corrélées aux données climatiques qui sont en principe l'irradiation solaire en (W/m^2) et la température ambiante en ($^{\circ}C$). Ces données sont prises grâce au système d'acquisition mesurées à un pas de temps fin qui est de 10 minutes.

La taille de chaque vecteurs de grandeur (6 * 366 jours * 24 heures = 52704 données) est trop importante pour un calcul rapide ; il est donc nécessaire de le réduire. Pour cela, nous avons choisi de prendre un pas de temps d'une heure, alors la taille du vecteur devient (366 jours*24 heures = 8784). L'évaluation annuelle des caractéristiques climatiques du site est présentée dans les figures 3.2 et 3.3.

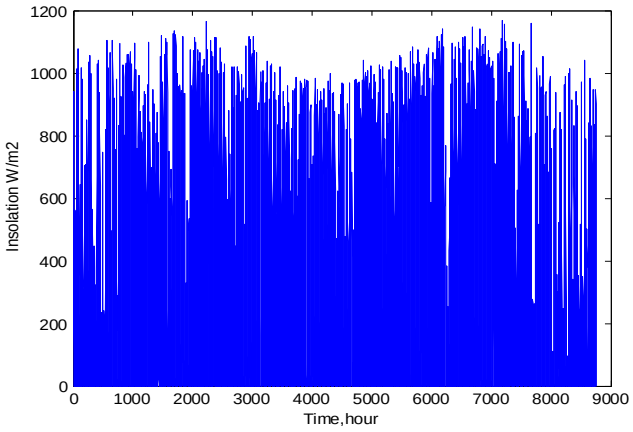


Figure 3.2 Données annuelle d'ensoleillement pour le site de Djanet.

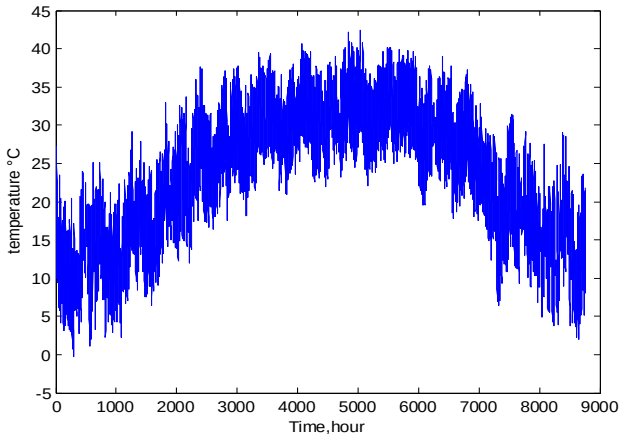


Figure 3.3 Données annuelle de température pour le site de Djanet.

3.3 Le profil de charge

Cette étude tient en compte l'aspect niveau de vie, traditions, comportement et habitudes. Ainsi, nous avons choisi un profil de consommation dont la demande consiste essentiellement à satisfaire les besoins énergétiques de base (éclairage, réfrigération, TV, radio, ventilation). Le nombre d'habitations à électrifier est 10 habitations. Par ailleurs, nous avons considérés les hypothèses suivantes :

- L'habitation sera occupée en permanence durant toute l'année.
- Les équipements électriques sont à basse consommation et fonctionnent sous une tension standard 220V-50 HZ (tension secteur), il ne faudra pas que l'utilisateur puisse remplacer les appareils à basse consommation par des appareils à consommation normale.

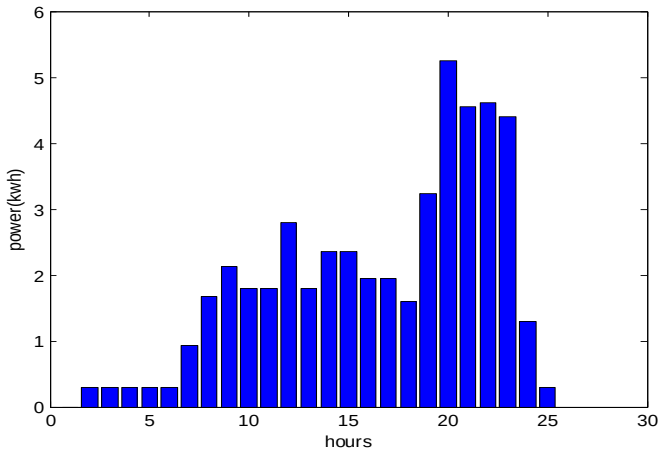


Figure 3.4 Courbes de profils de charge horaires.

La demande énergétique est faible dans l'intervalle de [1-6h] et 24h, ainsi elle est importante dans l'intervalle de [18-22h]. Nous remarquons que la demande est maximale à20hqui est due à l'utilisation de la ventilation durant les périodes chaudes de la journée.

3.4 Les différents éléments du système

Avant d'entamer le dimensionnement de notre système, nous présentons ses principaux éléments.

3.4.1. L'onduleur

Les caractéristiques principales d'un onduleur autonome sont les suivantes :

- La tension d'entrée (12V, 24V ou 48V).
- La tension de sortie 220 AC à 50Hz.
- Le rendement généralement >90% en fonctionnement nominal.
- La consommation en mode veille (2 ou 3% de la puissance nominale).
- Les protections (court-circuit charge, chute de tension coté batterie).
- Le prix très variable selon le type et la puissance des charges utilisées.

3.4.2 Les batteries

Les batteries choisies seront de préférence :

- Des batteries fermées (Valve Regulated Lead Acid) dans lesquelles l'électrolyte est stabilisé par un gel ou un matériau AGM (Absorbent Glass Mat).
- Des batteries à plaques tubulaires dites batteries « stationnaire ».

Pour les systèmes de petite puissance, une tension de 12V est préférée, les récepteurs alimentés en 12V étant plus fréquents, mais au-delà de 2.5 KWh stockés, on passera en 24V ou plus pour limiter les pertes ohmiques en gardant des sections de câble raisonnables. Les batteries sont commercialisées en cellules de 2V, de 200Ah à 3000 Ah ou en ensemble 12V jusqu'à 400Ah. On évitera si possible de mettre en parallèle des batteries.

3.4.3. Régulateur de charge

Le régulateur doit assurer des fonctions de protections :

- Pour éviter une décharge de la batterie dans le panneau.
- Pour éviter une surcharge ou une décharge profonde de la batterie.
- En cas de court-circuit coté charge.

Son rôle est aussi de contrôler le transfert d'énergie entre le générateur photovoltaïque, la batterie et la charge en fonction :

- De la disponibilité de la ressource et de l'état de charge de la batterie.
- Du caractère prioritaire ou non de la charge.

Des fonctions d'affichage sont aussi généralement disponibles [90].

3.4.4. Générateur photovoltaïque

Les caractéristiques électriques de notre panneau photovoltaïque sont données dans le tableau suivant :

Table 3.1 Les caractéristiques électriques du module PV

Module PV	**Caractéristiques électriques**
Puissance crête (W_p)	75 W
Tension de circuit ouvert (V_{oc})	21V
Tension max (V_{mp})	17V
Courant de court-circuit (I_{sc})	4.8A
Courant max (I_{mp})	4.4A

Pour utiliser au mieux le module photovoltaïque, nous chercherons son fonctionnement au maximum de puissance disponible. Ainsi, le régulateur doit inclure une fonction dite

« MPPT » (Maximum Power Point Tracking) qui jouera le rôle d'adaptateur d'impédance entre le module photovoltaïque et la charge [91].

3.5 Dimensionnement du système

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire des modules photovoltaïques constituants le générateur photovoltaïque ainsi que la capacité de charge des batteries .Ces deux éléments sont les plus importants en raison du coût élevé qu'ils totalisent, plus de 50% du prix de l'installation.

3.5.1. Dimensionnement du banc des batteries

La capacité des batteries pour une période de temps est donnée par l'équation suivante :

La capacité de la batterie (en Watt heure) : $$C_{bat}(Wh) = \frac{E_T \cdot AUT}{DOD}$$

La capacité en Ah est donnée par la relation suivante : $$C_{bat}(Ah) = \frac{C_{bat}(Wh)}{V_{bat}}$$

C_{bat} : Capacité nominale de la batterie (Wh ou Ah)

E_T : Energie totale consommée / jour(Wh/Jour)

AUT : Autonomie du système (Jours)

DOD : Profondeur de décharge de la batterie

V_{Bat} : Tension nominale de la batterie(V)

Pour notre système, nous avons :

V_{bat}= 48V, AUT = 3 jours, DOD =0.8 ; E_T = 48.3KWh/j donc :

C_{bat}= 181.125KWh ⟶ C_{bat} =3773.4375Ah

3.5.2 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Après avoir dimensionné le banc des batteries, on passera maintenant au dimensionnement du générateur photovoltaïque. Ce dimensionnement s'appuie sur la méthode LPSP, Ce qui nous permettra alors de présenter nos résultats de simulations que nous avons obtenus par le biais de programme que nous avons effectué.L'organigramme du calculest illustré dans la figure 3.5.

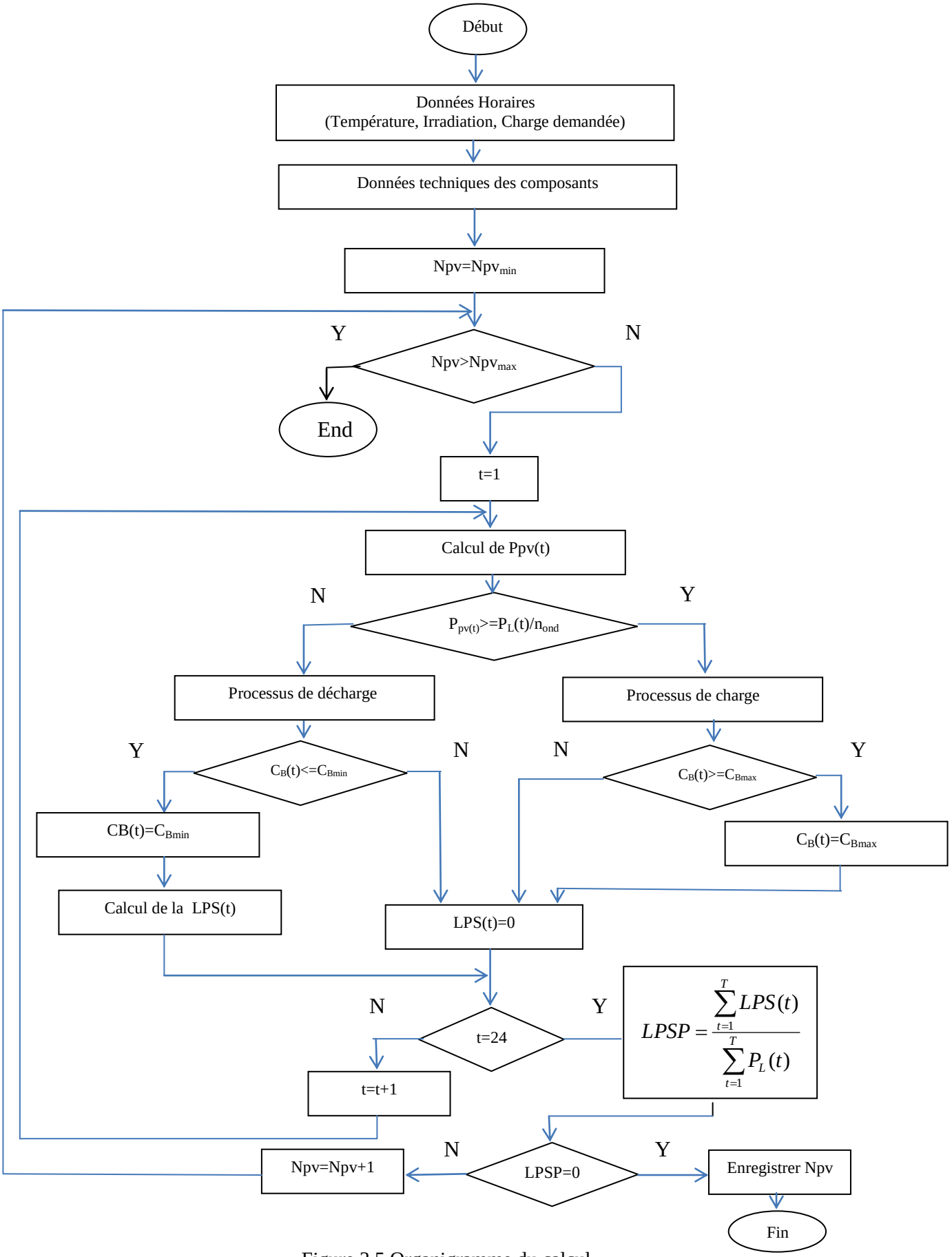


Figure 3.5 Organigramme du calcul

Pour le calcul du dimensionnement et de la simulation du système hybride choisi, nous avons réalisé un programme de simulation sous Matlab.

3.6 Développement de l'approche proposé

La configuration du système est présentée dans la figure 3.6, et l'organigramme de l'algorithme pour la simulation du système hybride est présenté dans la figure 3.7 et le concept de la stratégie opérationnelle pourrait être clairement expliqué comme suit:

- Si la demande de charge sur le rendement de l'onduleur($P_L(t)/n_{ond}$)est inférieure à la puissance totale produite à partir de panneaux photovoltaïques ($P_{PV}(t)$), et la batterie $C_B(t)$ est complètement charger, alors les banques de la batterie sont facturées comme montant que la capacité de l'onduleur et l'excès de puissance sont déversés.
- si la batterie $C_B(t)$ inférieur à C_{Bmax}la puissance excédentaire est utilisée pour charger les banques de la batterie.
- si la demande de charge ($P_L(t)/n_{ond}$est supérieure à $P_{PV}(t)$ et $C_B(t)$ des banques de la batterie est supérieure à C_{Bmin}, alors la puissance de l'insuffisance sera fourni par les banques de la batterie. Sinon, si $C_B(t)$ des banques de batteries est égale à C_{Bmin}, générateurs diesel sont commencés à répondre à la demande de charge et de charger les banques de la batterie.
- Toutefois, si la puissance de l'insuffisance est supérieure à la capacité de l'onduleur, les banques de batteries sont déchargées en quantité que la capacité de l'onduleur, puis les générateurs diesel sont commencé à répondre à la demande de charge.

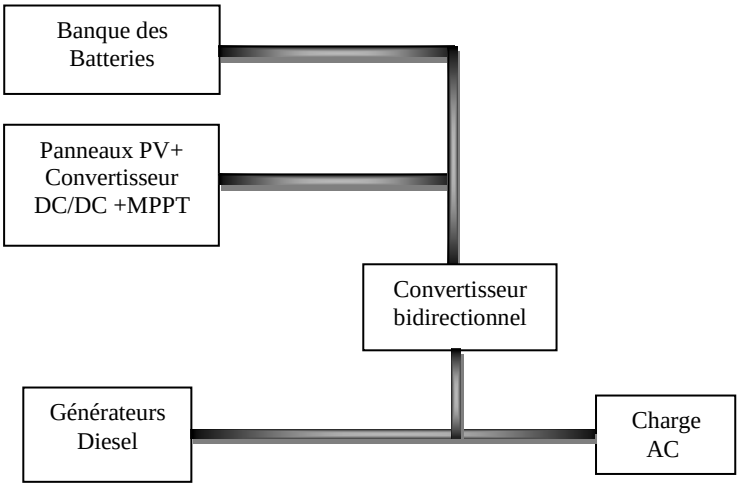


Figure 3.6 Configuration du système

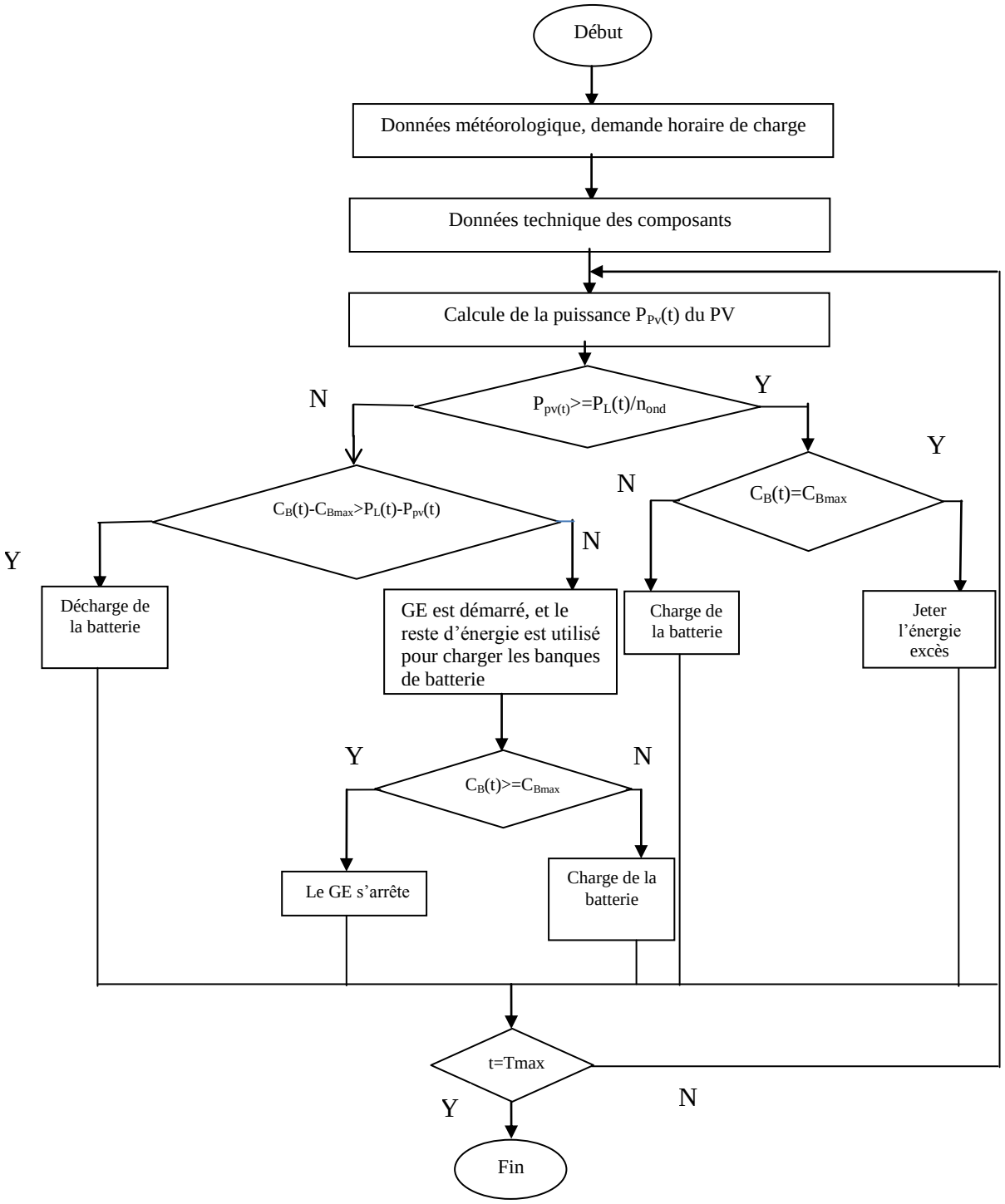


Figure 3.7 organigramme de simulation du système hybride

3.7 Résultats de dimensionnement

Pour un LPSP donnée, le nombre de modules photovoltaïques est donné dans le Tableau 3.2. Pour notre système, nous avons choisi LPSP =0.04qui donne un nombre de modules PV égale à 216.

Table 3.2 nombre des panneaux PV en fonction de LPSP.

LPSP	**0.02**	**0.03**	**0.04**
Nombre des Panneaux PV	221	219	216

3.8 Simulation du comportement du système

A l'aide de Matlab, nous avons programmé et simulé le fonctionnement du système hybride. Notre programme de simulation offre des résultats horaires du système hybride. La simulation a été basée sur les paramètres d'entrée du système suivants :

- **le module photovoltaïque :**

- La puissance maximale crête du module Pc=75W
- La tension de circuit ouvert V_{oc} = 21 V
- Le courant de court-circuitI_{sc} =4.8 A
- La tension crêt maximale V_m = 17 V
- Le courant maximal crêt I_m =4.4 A
- nombre des modules Npv=216

- **la batterie de plomb :**

- Capacité de stockage C_{bat}=181.125 KWh
- Rendement des batteries η_{bat} =85%
- Tension du banc des batteries =48 V

- **Convertisseur AC/DC :**

- Rendement : 98%
- Tension d'entrée : 48 Vdc

- **le groupe électrogène :**

Type de fuel : diesel

Puissance du groupe électrogène = 2.6 KW = 3.3 KVA.

Selon les conditions météorologiques (éclairement et température), nous avons simulé le système hybride et nous avons abouti aux résultats suivants :

Table 3.3 Pourcentage de production journalière

Nature	Pourcentage
Photovoltaïque	94.4627 %
Générateur Diesel	5.5373 %
Energie annuelle excès	1.5229 %

Table 3.4 Bilan énergétique mensuel.

	Energie produite par PV (en KWh)	**Capacité de stockage moyenne (en KWh)**	**Consommation en fuel (en Litres)**	**Energie excès (KW)**	**Heures de fonctionnement du GE (en h/an)**	**Energie produite par le GE (en KWh)**
JANVIER	1300	88.6046	6,33	717,00	1,00	20,00
FEVRIER	1420	87.8545	0,00	1071,90	0,00	0,00
MARS	1620	97.2668	0,00	1296,50	0,00	0,00
AVRIL	1550	54.4687	88,62	12,10	14,00	280,00
MAI	1650	54.4379	82,29	0,00	13,00	260,00
JUIN	1440	48.3240	151,92	0,00	24,00	480,00
JUILLET	1440	49.8778	177,24	0,00	28,00	560,00
AOÛT	1640	51.8210	88,62	0,00	14,00	280,00
SEPTEMBRE	1550	52.6139	101,28	0,00	16,00	320,00
OCTOBRE	1690	96.4810	0,00	1359,80	0,00	0,00
NOVEMBRE	1350	87.1510	0,00	815,90	0,00	0,00
DÉCEMBRE	1170	85.6003	0,00	412,60	0,00	0,00

Table 3.5 Bilan énergétique annuel.

Nature	**valeur**
Energie photovoltaïque annuelle produite	17820 kWh
Capacité de stockage annuelle moyenne	69,90 kWh
Consommation annuelle du groupe électrogène en fuel	696,30 Litres
Energie annuelle produite par le groupe électrogène	2200 kWh
Excès d'énergie annuel	5,685 kWh
Heures de fonctionnement du groupe électrogène	110heures/an

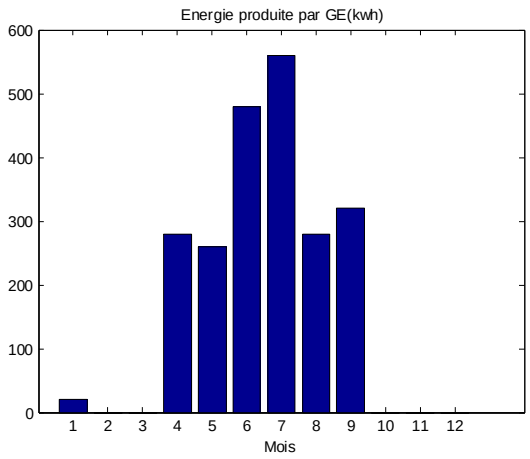


Figure 3.8 Energie mensuelle produite par GE

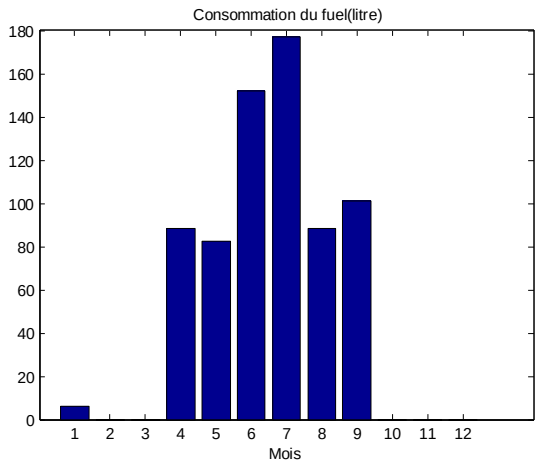


Figure 3.9 consommationmensuelle du fuel

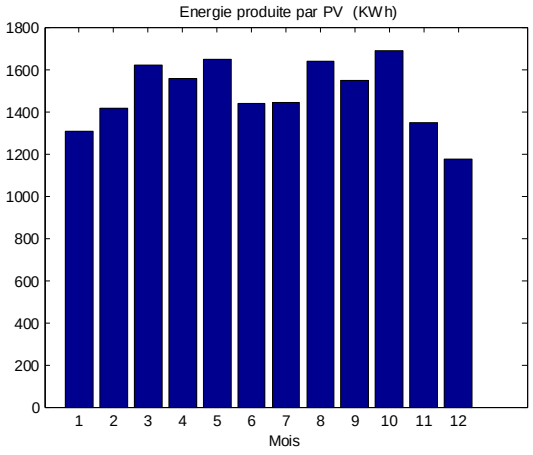


Figure 3.10 Energie mensuelle photovoltaïque produite

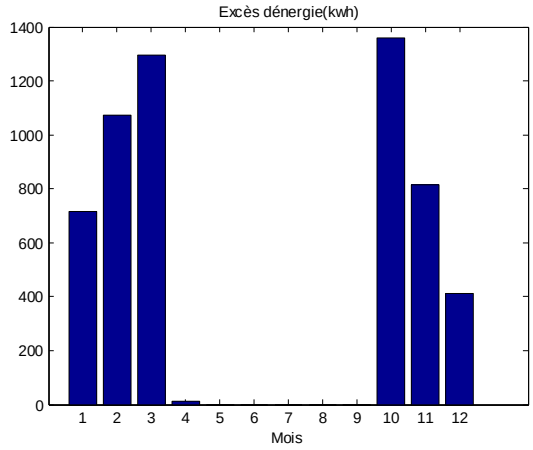


Figure 3.11 Energie mensuelle excès

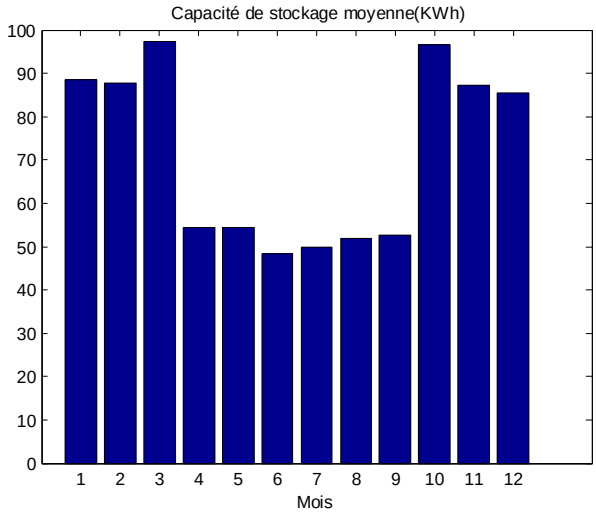


Figure 3.12 Capacité de stockage moyenne mensuelle en KWh.

Notre programme donne des résultats horaires et journaliers, ce qui nous permet de faire des bilans mensuels et annuels.

Les figures 3.8 et 3.9 montrent que la consommation en fuel et l'énergie produite par le groupe électrogène varient d'un mois à un autre, elles sont maximales aux mois de Juillet et elles sont minimales aux mois de Janvier, Avril, Mai, Juin, Août et Septembre.

La figure 3.10 montre une variation mensuelle dans la production d'énergie photovoltaïque,on constate que les piques de production sont relatifs aux mois de mars, mai, aoûtet octobre et la production est minimale dans le mois de Décembre,ces résultats influent sur la capacité de stockage présentée dans la figure 3.12 dont la relation entre les deux paramètres est proportionnelle.

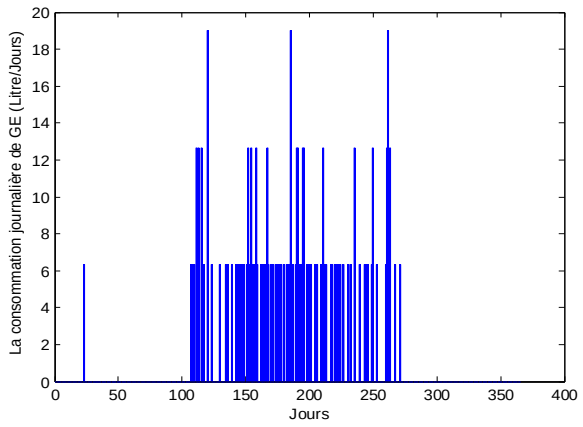


Figure 3.13 Consommation journalière du groupe électrogène en fuel.

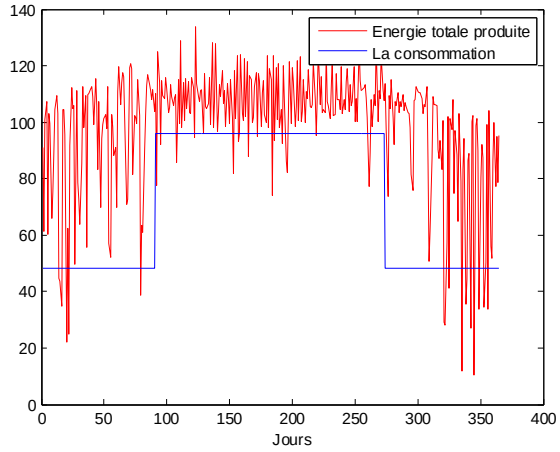


Figure 3.14 Energie journalière produite comparée avec la consommation

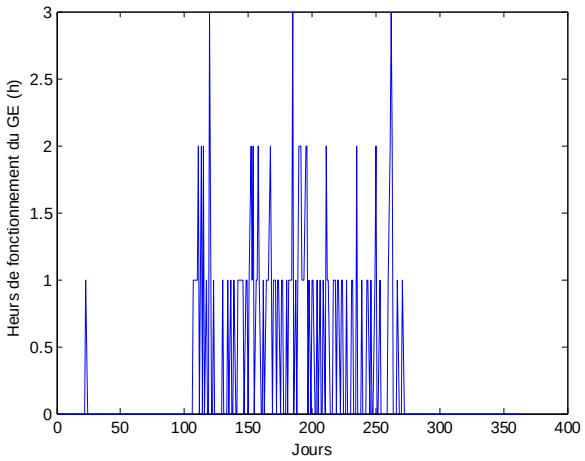


Figure 3.15 Heures de fonctionnement du GE

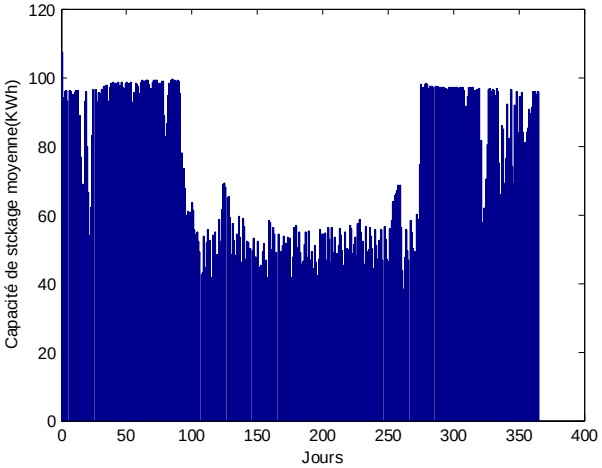


Figure 3.16 Capacité de stockage moyenne journalière en kw/h

L'énergie produite par le système pendant 12 mois compare par la consommation est présenté dans la figure 3.14 On peut constater que la consommation est minimale dans la période hivernale (Janvier, Février, Mars, Octobre, Novembre et Décembre), ce qui est provoqué une diminution de l'énergie totale produite, et elle augmente dans la période estival (Avril, Mai, Juin, Juillet, Aout et Septembre).

On remarque que les résultats obtenus son synchronisés par l'ensoleillement, la température et la charge, on constate aussi que :

- Le pourcentage de l'énergie photovoltaïque est important (94.4627 %) par apport à 5.5373 % de l'énergie produite par le groupe électrogène.
- L'excès d'énergie est faible de l'ordre de 1.5229 %.
- L'utilisation du groupe électrogène est limitée seulement à 110 heures / an).

La procédure de conception a donné lieu à la détermination de la meilleure configuration du système.

Le système hybride PV-DG autonome avec la banque de la batterie semble être une solution technico-économique de motivation pour répondre à la demande d'énergie du consommateur.

3.9 Conclusion

Notre travail dans cechapitrea porté sur le dimensionnement et la simulation d'un système hybride (PV-Diesel-Batterie) à l'aide de logicielMatlab. L'objectif de ce travail est d'examiner la possibilité et les performances d'électrifier une communauté rurale par la solution hybride, alors nous nous sommes aperçues que le fonctionnement du système dépend non seulement des variables d'entrée et de sortie qui sont l'ensoleillement, la température et la charge à alimenter, mais aussi de l'interdépendance entre les différents équipements. Un composant du système mal dimensionné peut compromettre alors, le bon fonctionnement de toute l'installation. Ainsi et à partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que la combinaison de plusieurs sources d'énergie (PV-Diesel-Batterie) est nécessaire pour permettre de couvrir les déficits énergétiques et de répondre à la demande énergétique grandissante des habitant ruraux. Cette demande grandissante est dueessentiellement à la demande de plus en plus grandissante du confort à la maison, plus d'équipements électriques.

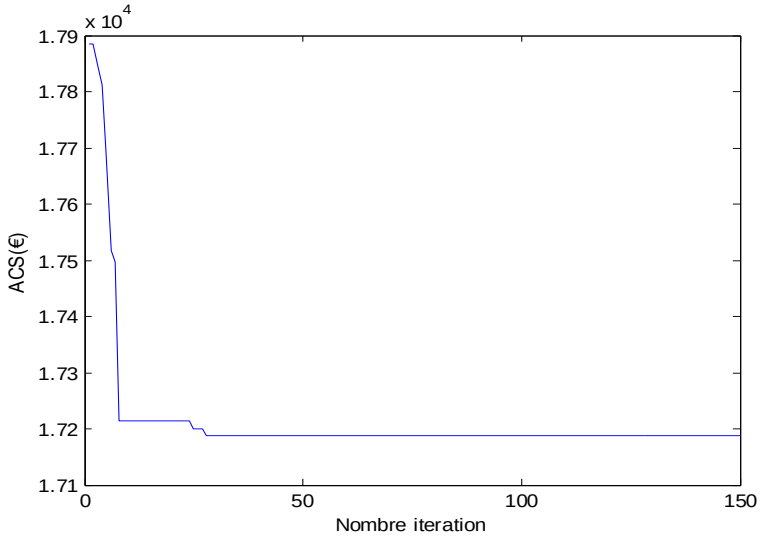


Figure 1. Convergence d'optimisation du coût annuel du system par PSO

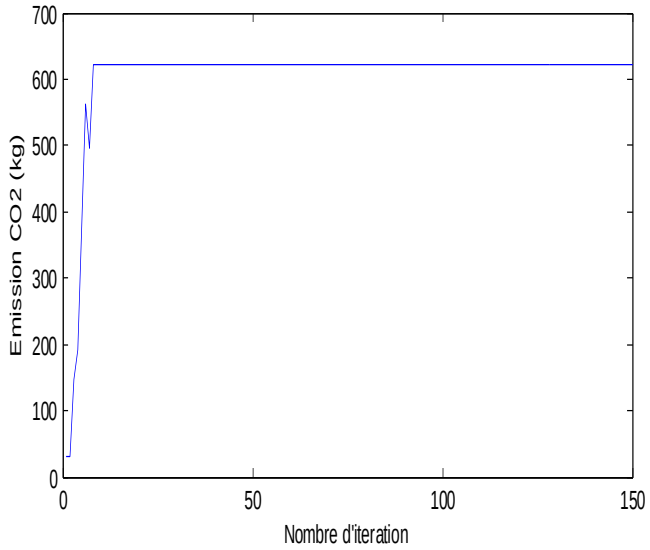


Figure 2. Convergence d'optimisation d'émission de CO_2 par PSO

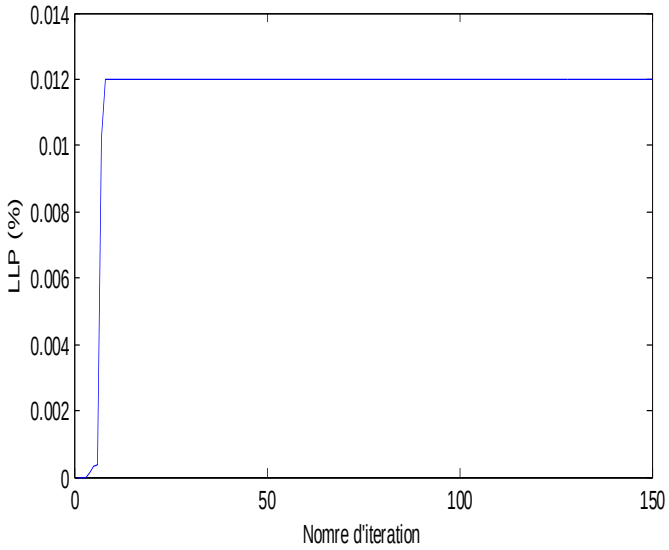


Figure 3. Convergence d'optimisation de la perte d'énergie par PSO

Chapitre 4:

Optimisation Multi-Objective et Dimensionnement Optimal : Application au site d'Ilamane (Tamanrasset)

4.1 Introduction

Un système d'alimentation composé de panneau photovoltaïque (PV), générateur diesel (GE), batterie et la charge est considéré dans ce chapitre. Une nouvelle approche est proposée pour la conception optimale des systèmes d'énergie renouvelable hybrides. L'optimisation par essaim de particules (PSO) a été appliqué pour minimiser simultanément le coût total du système, la probabilité de perte de charge (LLP) et les émissions de CO_2 du système de production d'électricité hybride pour un village rural isolé au sud de l'Algérie nommé "Ilamane". Ces données géographiques est les suivants: Latitude: 23.12 °N, Longitude: 5.27 °E et Altitude: 1928 m. Cette étude révèle également l'importance des PV et des systèmes de batteries. Sans leurs connexions, le coût annuel du générateur diesel devient très élevé. En outre, la méthode proposée est utilisé efficacement pour faire face à la réduction de coût d'un système hybride dans la non-existence ou l'état de charge non satisfait, enfin les résultats de notre algorithme sontcomparés avec le logiciel HOMER.

4.2 Configuration du system

Le système hybride est constitué de panneaux photovoltaïques, GE et les banques de la batterie pour le stockage d'énergie est présentés dans la figure 4.1. Afin de simplifier le modèle, la capacité totale de plusieurs GE est utilisé pour la simulation. Les GE_s sont connectés au système de bus CA et fournissant directement la demande de charge sans aucune unité de conversion. Lorsque l'électricité provenant de sources d'énergie renouvelables qui ne peuvent pas répondre à la demande de charge, une stratégie sera nécessaire pour trouver la solution la plus économique, démarrage de GE ou en utilisant la puissance des banques de la batterie. Ce système utilise également la charge de vidage qui a la fonction de jeter l'excès de puissance à chaque fois que la puissance de l'énergie renouvelable est plus que la demande de charge et les banques de batteries sont complètement chargées.

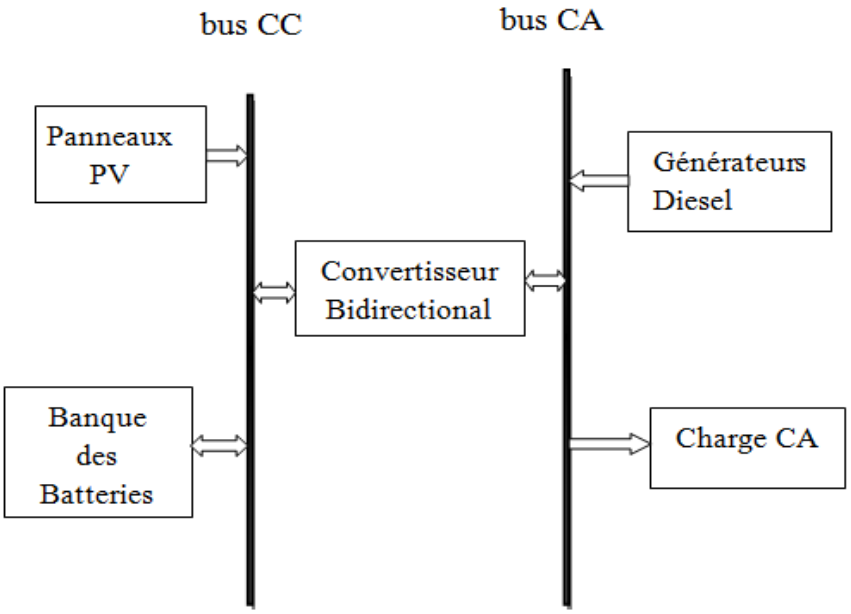


Figure 4.1 configuration du système

4.3 Cas étudié

Le cas étudié dans cechapitreest unvillage rural dans le sud Algérie nommé "Ilamane".Ce village situé dans la wilaya de Tamanrasset et il est constitué d'un nombre réduitde foyers.L'évaluation annuelle des caractéristiques climatiques du site est présentés dans les figures 4.2 et 4.3.

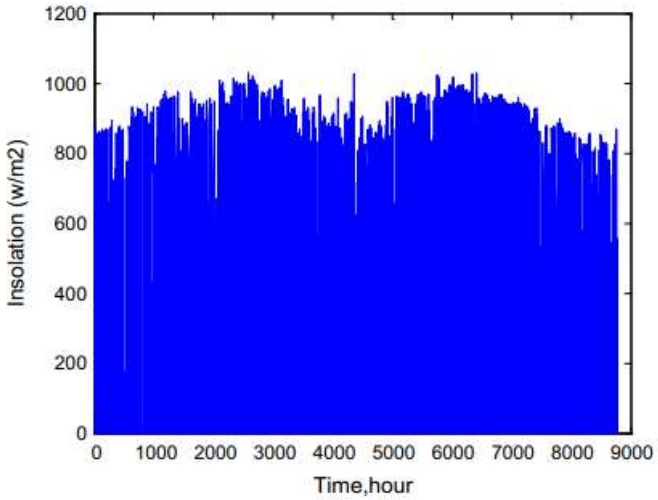


Figure 4.2 Données annuelle d'ensoleillement pour le site d'Ilamane.

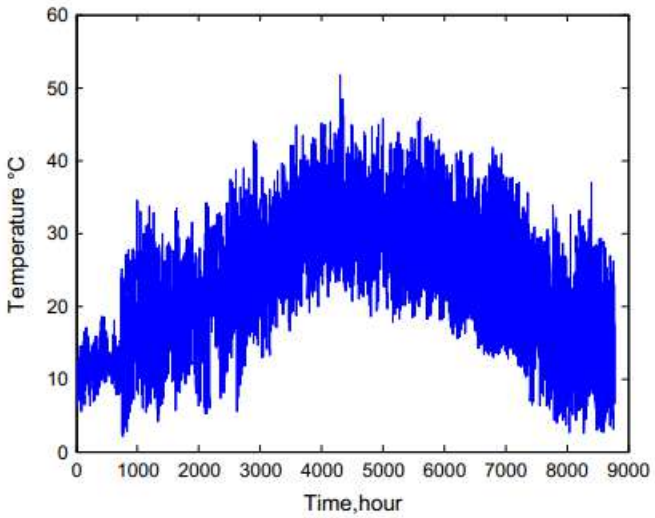


Figure 4.3 Données annuelle de température pour le site d'Ilamane.

4.4 Profil de charge

Cette étude tient en compte l'aspect niveau de vie, traditions, comportement et habitudes selon les deux saisons distinctes qui sont l'hiver et l'été. Ainsi, nous avons choisi un profil de consommation dont la demande consiste essentiellement à satisfaire les besoins énergétiques de base (éclairage, réfrigération, TV, radio, ventilation). Le nombre d'habitations à électrifier est 10 habitations.

Nous avons considéré deux profils de charge ; hivernal (S1: Octobre; Novembre; Décembre, Janvier, Février; Mars) et estival (S2 : Avril, Mai, Juin, Juillet, Aout, Septembre).

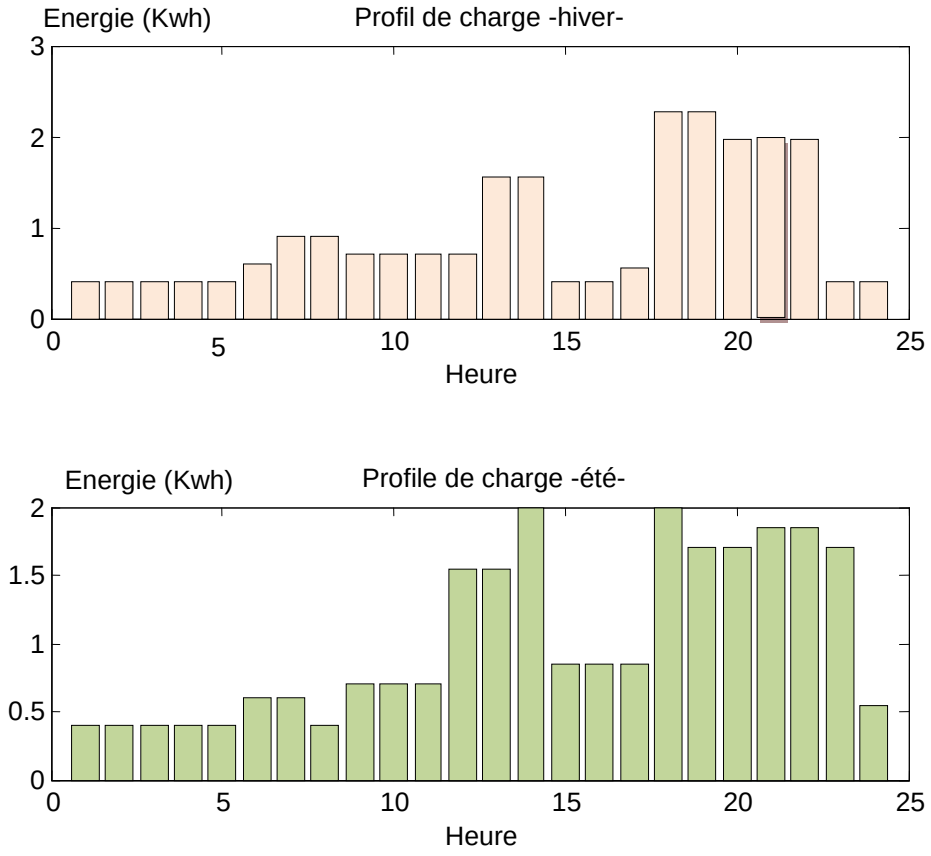


Figure 4.4 Courbes de profils de charge horaires [108].

La demande énergétique est faible dans l'intervalle de [1-5h] et [23-24h], ainsi elle est importante dans l'intervalle de [18-22h] pour l'hiver et dans l'intervalle [12-23h] pour l'été. Nous remarquons que la demande est maximale dans la saison d'hiver à l'intervalle [18-19h]. Mais la

demande journalière estivale est supérieure à la demande journalière hivernale qui est due à l'utilisation de la ventilation durant les périodes chaudes de la journée.

4.5 Méthodologie

4.5.1 Optimisation par essaim de particules (PSO)

Le concept de PSO caractérisée comme une simple heuristique de mécanisme bien équilibré avec la flexibilité d'améliorer et d'adapter les capacités globales et locales d'exploration. Ilsutilisent une technique de recherche stochastique à la réduction exigence de mémoire, de calcul efficace et plus facile à mettre en œuvre par rapport à d'autres métaheuristiques de calcul évolutionnaire et intelligence en essaim d'évolution. PSO est une population basé sur la technique d'optimisation stochastique développée par le Dr Eberhert et le Dr kennedy en 1995 [92]. Par ailleurs, PSO présente plusieurs avantages par rapport à d'autres méthodes d'optimisation de la manière suivante [93]:

- Il est un algorithme dérivé-exempt contrairement à de nombreuses techniques classiques.
- Il a la possibilité d'être intégré avec d'autres techniques d'optimisation pour former un outil hybride
- Il est moins sensible à la nature de la fonction objective, à savoir la convexité ou la continuité.
- Il a moins de paramètre à régler par rapport beaucoup d'autres techniques évolutives concurrentes.
- Il a la capacité d'échapper à des minima locaux.
- Il est facile à mettre en œuvre et le programme avec des opérations mathématiques et logiques de base.
- Il peut gérer des fonctions objectives de la nature stochastique.
- Il ne nécessite pas une bonne solution initiale pour commencer son processus d'itération.

Le travail principal de l'agent dans le PSO est appelé particule et un groupe de particules sont appelées population ou un essaim. Chaque particule se compose comme vecteur en tant que candidat de la solution dans le problème d'optimisation qui a sa propre position X et la vitesse V. chaque particule conserve également la trace de ses coordonnées dans l'espace du problème et met à jour sa position sur la base de sa propre meilleure exploration qui sont associés la meilleure solution (remise en forme) selon les équations suivantes:

$$V_j(k+1) = w(k)V_j(k) + c_1 r_1 \left(Pbest_j(k) - X_j(k)\right) + c_2 r_2 \left(Gbest(k) - X_j(k)\right) \quad (4.1)$$

$$X_j(k+1) = X_j(k) + V_j(k+1) \quad (4.2)$$

Où w (k) est le facteur de pondération pour la manipulation de l'impact de l'histoire de présidente vitesses sur la vitesse actuelle, r1 et r2 représentent des nombres aléatoires uniformes entre 0 et 1, Pbestj (k) représente la meilleure position de particule j à l'itération k et Gbest (k) représente la meilleure position globale dans l'essaim à l'itération k, c1 et c2 sont les paramètres de mise à l'échelle sociale et choisi de telle sorte que $c_1 = c_2 = 2{,}2$ [92,94]. Le mécanisme de PSO peut être expliqué selon les étapes suivantes:

Étape 1. Initialiser un essaim ou d'une population de particules avec des positions et des vitesses aléatoires dans le n dimensions espace de problème en utilisant une fonction uniforme de distribution de probabilité.

Étape 2. Évaluer la valeur de remise en forme de chaque particule en essaim ou de la population.

Etape 3. Comparer l'aptitude de chaque particule avec Pbest de la particule. Si la valeur actuelle est meilleure que Pbest, puis définissez la valeur Pbest égale à la valeur actuelle et l'emplacement Pbest égal à l'emplacement actuel en espace à n dimensions.

Étape 4. Comparer la remise en forme avec celui de la population globale mieux précédente. Si la valeur actuelle est meilleure que gbest, puis réinitialiser gbest à l'index et la valeur de la matrice de la particule actuelle.

Étape 5. Modifiez la vitesse et la position de la particule selon les équations (4.1) et (4.2), respectivement [92,93,94]. L'organigramme d'optimisation à l'aide PSO est représenté sur la figure. 4.5

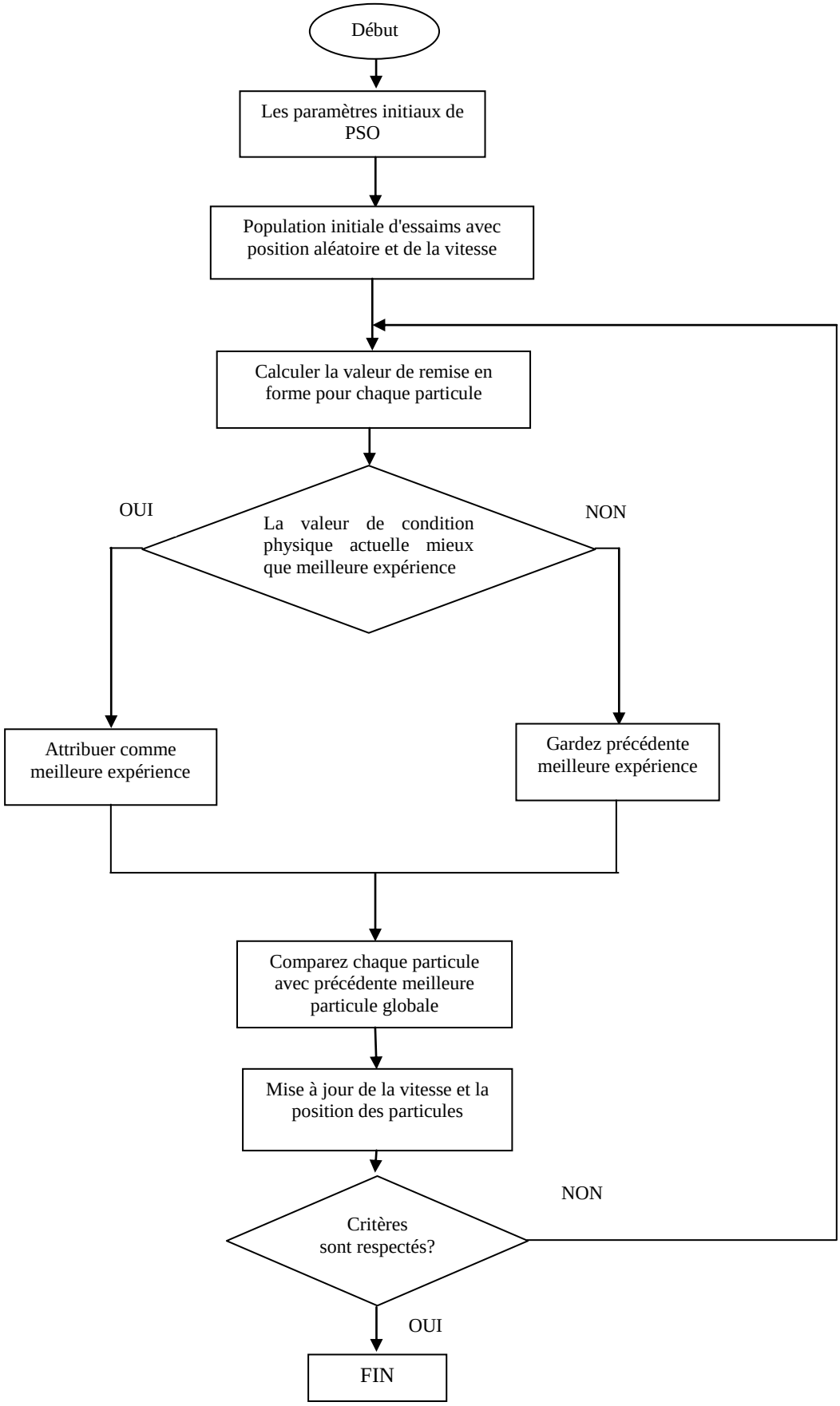


Figure 4.5 organigramme du l'algorithme PSO [109]

4.5.2 La méthode de contrainte

La méthode de contrainte est une technique qui peut être utilisée lorsque l'un des objectifs est choisi pour optimiser et les autresobjectifs sont considérés comme des contraintes liées par le niveau cible donné [96]. En faisant varier ces niveaux, les pas de solutions inférieures du problème introduit peuvent être obtenus, Considérez ce qui suit:

Min $\{f_1(x), f_2(x),\ldots.., f_k(x)\}$

Où, x est le vecteur de décision, fi (i = 1, 2, 3 ...., K) sont des fonctions objectives. Une solution x * est dite non inférieure s'il n'existe pas d'autre solution réalisable x tel que $fi(x) \leq fi(x^*)$ pour tout i = 1,2,3 ...., K au moins une inégalité est stricte. Dans la méthode de contrainte, si fj (x), $j \in \{1,2 \ldots..., k\}$ est la fonction objectif choisi d'être optimisé, et fi (x) est l'objectif considéré comme la contrainte, nous avons le problème suivant [95, 96]:

$Minf_j(x) \qquad j \in \{1,2\ldots.., k\}$

Tel que :

$j \leq \varepsilon_i \ \forall i \in \{1,2\ldots.., k\}, i \neq j, x \in S$

Où, S est l'espace de solution réalisable, k est le nombre de fonctions objectives, et suppose des valeurs de la fonction objective qui ne doit pas être dépassée. Dans l'approche de la contrainte proposée, le coût total est choisi comme fonction objectif à optimiser et l'émission totale de CO_2 et LLP intégrer les contraintes d'inégalité dans les formes: $CO_2 \leq \varepsilon_{CO_2}$ et $LLP \leq \varepsilon_{LLP}$

4.5.3 Probabilité de Perte de la charge et des émissions polluantes

La quantité de CO_2 est obtenue à partir de processus de combustion du moteur diesel en multipliant la fonction d'émission (E_f) de CO_2 par kWh. Pour chaque période de temps au cours d'une année, la pénurie d'énergie, probabilité de perte de charge (LLP) et les émissions de CO_2sont calculés en utilisant les équations (4.3) et (4.4)[97,98].

$$LLP = \frac{\sum_{t=1}^{8760} shortage(t)}{\sum_{t=1}^{8760} D(t)} \quad (4.3)$$

$$CO_2 = \sum_{t=1}^{8760} FUEL_{cons}(t) \times E_f \quad (4.4)$$

Tel que, D(t) est la demande d'électricité, et shortage(t) est la charge non satisfait pendant période t, $E_f$est le facteur d'émission pour le générateur diesel, qui dépend du type de fuel et de caractéristiques du moteur diesel. Ici est considéré entre 2.4 – 2.8 kg/litre [97].

4.6Fonction objectif et modèle économique

Dans ce travail, trois fonctions objectives sont considérées. Ces trois fonctions objectives minimisent le coût total du système, l'émission totale de CO_2 produite par les générateurs diesel, et LLP. Le calcul économique est basé sur le concept de coût annuel du système (ACS). Il est utilisé dans le but de trouver le meilleur indice de référence de l'analyse des coûts du système dans cette étude. Le coût annuel du système est composé du coût annuel du capital (ACC), le coût de remplacement annuel (ARC), le coût annuel en carburant des GE_s (AFC) et le coût d'entretien annuel d'opération (AOM), ACS peut être calculé à partir de l'équation suivante [99,100] :

$$ACS = ACC + ARC + AFC + AOM \quad (4.5)$$

Le coût en capital annuel de chaque unité n'a pas besoin de remplacement pendant la durée de vie de projet tel que GE, PV, convertisseur de puissance est calculé comme suit [100]:

$$ACC = C_{cap}.CRF(i, y) \quad (4.6)$$

Où, C_{cap} est le coût en capital de chaque composante en US$, y est la durée de vie du projet en an. CRF est le facteur de récupération du capital, un rapport pour calculer la valeur actualisée d'une série de flux de trésorerie annuels égaux, ce facteur est calculé comme suit [100]:

$$CRF = \frac{i(1+i)^y}{(1+i)^y - 1} \quad (4.7)$$

Où, i est le taux annuel d'intérêt réel. Par conséquent, le taux annuel d'intérêt réel est constitué d'intérêt nominal i et le taux d'inflation annuel f . Cetaux est calculé comme suit [100]:

$$i = \frac{(i' - f)}{(1+f)} \quad (4.8)$$

Où i' est l'intérêt du prêt en (%). les coûts de fonctionnement et d'entretien annuel (AOM) du système en fonction du coût en capital, la fiabilité des composants (λ) et de leur durée de vie peut être déterminée en utilisant l'équation suivante (99,100]:

$$AOM = C_{cap}.(1-\lambda)/y \quad (4.9)$$

Le coût de remplacement annuel (ARC) est un coût pour le remplacement des unités au cours de la durée de vie du projet. Dans cette étude, les unités qui doivent être remplacés sont des banques batterie. Sur le plan économique, l'ARC peut être calculée à partir de l'équation suivante [100]:

$$ARC = C_{rep}.SFF(i, y_{rep}) \quad (4.10)$$

Où, C_{rep} est le coût de remplacement des banques de batteries en US$, y_{rep} est la durée de vie des banques de la batterie en an. SFF est le facteur de fonds d'amortissement, un rapport pour calculer la valeur future d'une série de flux de trésorerie annuels égaux. Ce facteur est calculé comme suit [100]:

$$SFF = \frac{i}{(1+i)^{y-1}} \quad (4.11)$$

4.7Procédure d'optimisation

Les entrée requise pour l'optimisation du système sont les coûts en capital, les coûts de remplacement, les coûts d'exploitation et de maintenance de tous les composants, ainsi que l'efficacité, la durée de vie des composants et la durée de vie du projet, les spécifications des composants, de la demande de charge horaire en un an et les données météorologiques horaires en un an. Ensuite, la prochaine étape est l'initialisation de la première population de particules. La position initiale ainsi que la vitesse initiale de la particule se compose de trois vecteurs aléatoires x1, x2, x3, pour la position et v1, v2, v3 pour la vitesse. Toutes les procédures sont appliquées pour toutes les particules de la population. Ici, la valeur de x1, x2 et x3 sont représentés la taille des panneaux photovoltaïques, des banques de batteries et des générateurs diesel respectivement. Après l'initialisation de la première population est terminée, le processus de simulation est commencé comme montre sur la figure 4.5 et la figure4.6 pour déterminer la consommation annuelle de carburant de GE, les émissions de CO_2 et la non satisfaction de lacharge annuelle. Dans cette étude, nous présentons une nouvelle approche pour l'optimisation de la taille d'un système hybride d'énergie renouvelable. La méthode de contrainte a été appliquée pour réduire au minimum trois fonctions objectives: probabilité de perte de charge, les émissions de CO_2 et le coût total du système. L'approche proposée utilise une méthode basée sur PSO-simulation pour résoudre le problème d'optimisation multi-objective. Le modèle de simulation calcule la non satisfaction de la charge et des émissions de CO_2pendant toutel'année pour le système hybride d'énergie renouvelable. Dans l'étape suivante, la valeur de la perte de charge et les émissions de CO_2 sont envoyées à l'algorithme d'optimisation pour vérifier si la

particule rencontre le niveau souhaitable de la charge non satisfaits et les émissions de CO_2. Si la particule ne répondait pas aux contraintes, il est modifié et renvoyé à la simulation. Après l'initialisation des particules faisables, ils sont évalués dans les algorithmes de PSO en fonction de leur fitness. Le critère d'arrêt est vérifié, si elle n'est pas respecté, chaque particule est mise à jour pour la prochaine génération dans le cadre de l'algorithme de PSO. Après la mise à jour, les particules sont renvoyées au modèle de simulation pour examiner leur faisabilité à nouveau et le résultat de la simulation est envoyé à l'algorithme d'optimisation pour l'évaluation. Ce cycle est terminé si le critère d'arrêt est satisfait. Après terminer le cycle, la meilleure de toutes les solutions envisagées seront retournées.

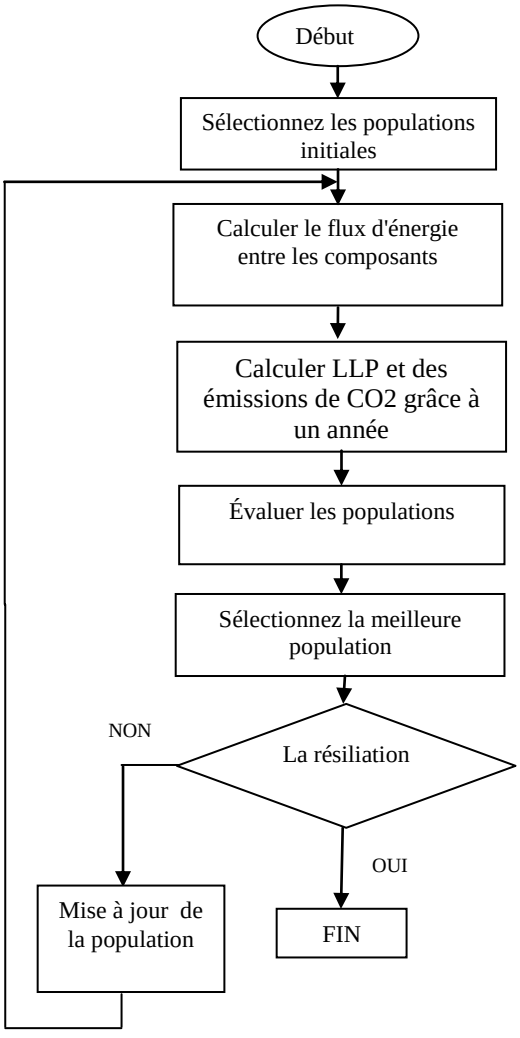


Figure. 4.6 Organigramme de la simulation-PSO

4.8 Application et résultats

Un programme PSO sous code Matlab a été développé pour déterminer la configuration optimale du système PV-Diesel-Batterie pour sud d'Algérie Tamanrasset (Ilamane). Les profils de charge quotidienne sont représentés par une séquence de puissances qui est constante sur une durée de l'étape d'une heure comme indiqué sur la figure 4.4 autres données utilisées pour le bilan énergétique annuel est présenté dans le tableau 4.2. Dans cette simulation, les paramètres PSO sont constitués de 10 particules et 150 itérations maximales. Chaque particule se compose de 3 vecteurs qui représentent la taille des panneaux photovoltaïques, des banques de batteries et des générateurs diesel. La valeur de w, C_1 et C_2 sont 0,5, 2,2 et 2,2 respectivement, où w est le facteur de pondération pour la manipulation de l'impact de l'histoire de présidente vitesses sur la vitesse actuelle, C_1 et C_2 sont les paramètres d'échelle sociale. Les courbes de convergence de l'algorithme PSO pour 5 essais indépendants sont représentées sur la figure4.7. On peut voir que les valeurs optimales sont obtenues au bout d'environ de 15 itérations. Par conséquent, 150 itérations peuvent être considérées comme un critère de terminaison équitable. Par ailleurs, on constate que la valeur optimale pour toutes les visualisations graphiques presque convergences sur la même valeur optimale (optimum global).Cinq essais indépendants de émission CO_2 et LLP sont présentés dans figure 4.8 et figure4.9. Ces chiffres démontrent le coût total minimum de système, l'émission de CO_2 et LLP. On peut voir sur ces figures que les émissions de CO_2 du système diminuent de manière significative ce qui provoque l'augmentation de la LLP à environ 0,01%. L'augmentation de la LLP du système de 0,01 à 0,012 diminuer les émissions de CO_2 modérément.

La taille optimale des composants obtenus à partir du processus d'optimisation consiste à (75 × 75W) des panneaux photovoltaïques, (90 × 2 kWh) des banques de batterie et (3 x 2.6kW) des générateurs diesel. La taille de l'onduleur est prise en fonction de la puissance maximale des banques de batteries, panneaux photovoltaïques ou GE. Son rôle également de contrôler le transfert d'énergie provenant du générateur photovoltaïque, la batterie et la charge en fonction de la disponibilité de la ressource et l'état de charge de la batterie et la priorité ou non de la charge.

Le bilan énergétique présenté dansle tableau 4.2 montre que 96,34% de l'énergie est une énergie renouvelable, cette fraction correspond une énergie de 9780,41 kWh/an, la consommation de carburant est 115.21 litres et a servi la charge primaire qui est de dire que nous avons une totale satisfaction. En utilisant l'algorithme de PSO le système actuel est réduit au minimum le coût de 17617$, soit environ 91% de ce coût est le coût de la banque de la batterie.

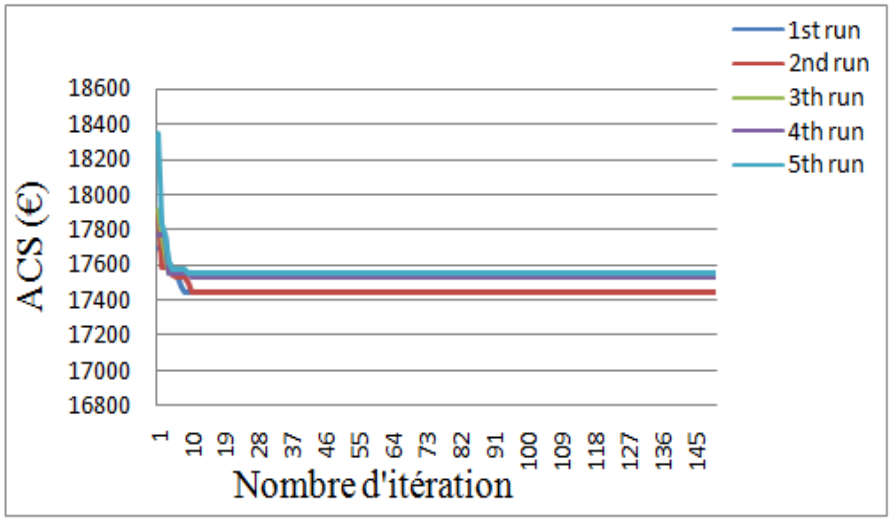


Figure 4.7 Convergence d'optimisation du coût annuel du system par PSO

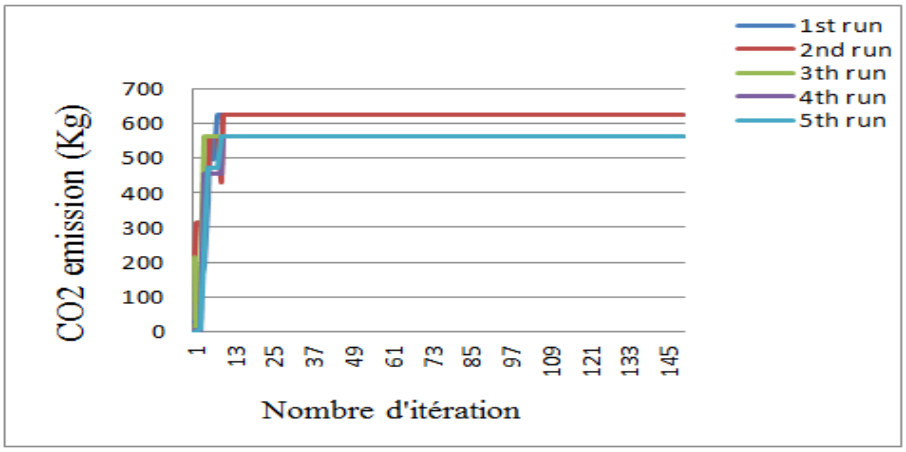


Figure 4.8 Convergence d'optimisation d'émission de CO_2 par PSO

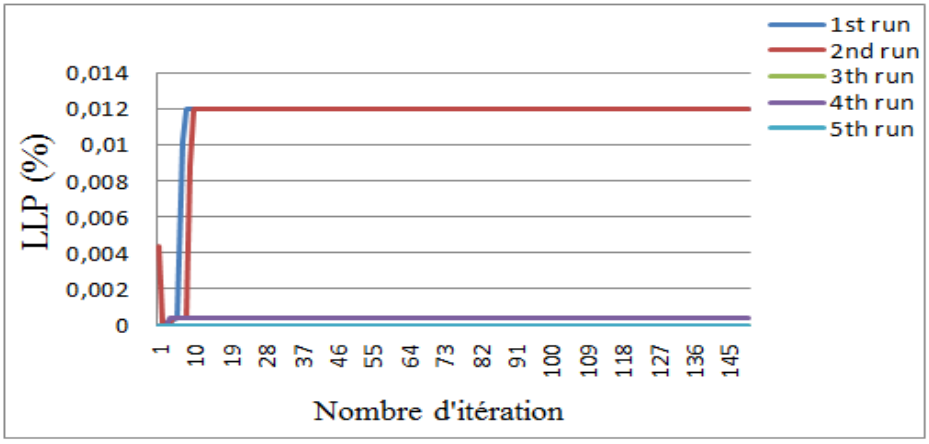


Figure 4.9 convergence d'optimisation de la perte d'énergie par PSO

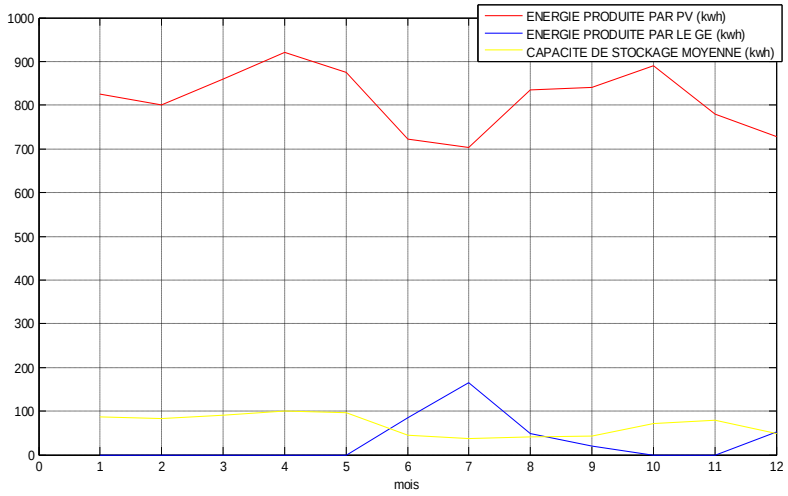


Figure 4.10 Energie mensuelle produite par PV, générateur diesel et capacité de stockage moyenne.

Notre programme Matlab donne des résultats horaires et journaliers, ce qui nous permet de faire des bilans mensuels et annuels. La figure 4.10 montre une variation mensuelle dans la production d'énergie photovoltaïque, on constate que les deux piques de production sont relatifs aux mois d'Avril et Octobre et la production est minimale dans le mois de Décembre, ces résultats influent sur la capacité de stockage dont la relation entre les deux paramètres est proportionnelle.

L'énergie produite par le groupe électrogène varient d'un mois à un autre, elle est maximaleaux mois de Juillet et elle est minimales aux mois de Janvier, Février, Mars, Avril, Mai, Octobre et Novembre. On remarque que les résultats obtenus son synchronisés par l'ensoleillement, la température et la charge.

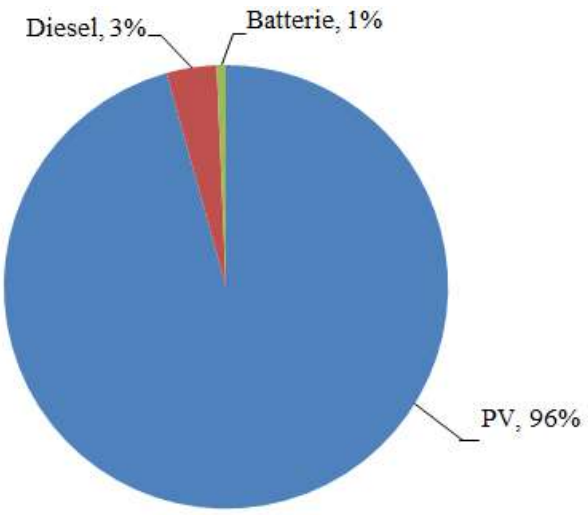


Figure 4.11 Energie annuelle produitepour chaque composant.

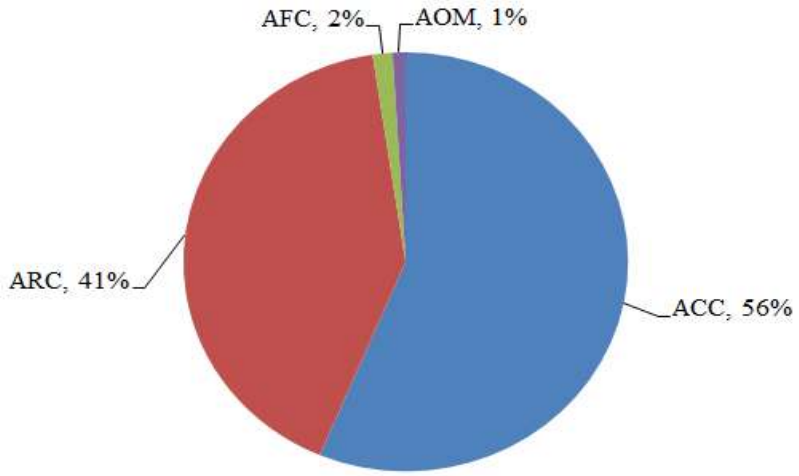


Figure 4.12Coût des différents éléments du système optimisé par PSO.

La production totale d'énergie pour chaque composant pendant une année est présentéedans la figure 4.11. PV produit l'énergie environ de 96%, 3% de GE, et 1% dela capacité de stockage moyenne des banques de batterie. Le système PV est resté l'unité importante pour fournir la demande de charge en zone rurale avec coûtsopérationnelle et maintenance acceptable. On peut voir à partir de figure 4.12 que l'élément de coût le plus cher dans le système de coût global est ACC. Le coût le plus dominant est le coût en capital des panneaux photovoltaïques comme indiqué dans table 4.3. Lecoûtde AFCobtenue à partir de PSO comme indicateurs de la partie puissance de GE est 10.46$. En outre,le Tableau 4.2 révèle également que le système proposé est en mesure d'assurer l'approvisionnement en énergie à la demande de charge avec seulement exploitationde 9780.41 kWh de PV. La valeur de ACS sous cette condition est 17617$.

Table 4.1Résultats de dimensionnement par PSO.

LP=3% ET FC<=250 Litres	
Nomre des modules PV	75
Nombre des batteries	90
Nombre des générateurs diesel	3

Table 4.2 Bilan énergétique annuel.

Nature	valeur
Energie photovoltaïque annuelle produite	9780.41 kWh
Capacité de stockage annuelle moyenne	68.43 kWh
Consommation annuelle du fuel	115.21 Litres
Energie annuelle produite par le groupe électrogène	371.64 kWh
Excès d'énergie annuel	1.56 %
Photovoltaïque	96,34 %
Groupe électrogène	3,66 %
Les heures de fonctionnement du groupe électrogène	175 heures/an
Energie annuelle totale produite	10152.05 KWh

Table4.3Bilan économique du système.

Composants	ACC ($)	O&M ($)	ARC($)	Fuel ($)	Total ($)
Générateur photovoltaïque	1122.9	12.937	0	/	1135.83
Groupe électrogène	65.093	3.75	0	10.46	79.30
batterie	9088	153.36	6808.9	/	16050.26
convertisseur	347.11	4	0	/	351.11
Système	10623.07	174.04	6808.94	10.46	17617

4.9 La simulation du comportement par Homer

4.9.1 Présentation du logiciel

Le logiciel HOMER (HybridOptimization Model for Electric Renewable) développé par NREL (National Renewable Energy Laboratory) aux états unis, prend en charge l'opération d'évaluation des conceptions des différentes systèmes de génération d'énergie électrique, que ce soit connecter à un réseau électrique classique ou bien éloigné de ce dernier pour une variété d'applications. Il permet d'analyser et de combiner divers sources d'énergie afin d'arriver à afficher une configuration optimale d'un système hybride capable de fournir de l'énergie au site spécifié d'une manière faisable selon certains critères techniques et économique [101].

Pour simuler un système hybride de génération d'énergie, il faut définir les éléments de ce dernier, en utilisant des composants définis dans la bibliothèque du logiciel comme les éoliennes, les panneaux photovoltaïques, les groupes électrogènes et les convertisseurs statiques etc. S'il est nécessaire d'ajouter un composant qui n'existe pas dans la liste des éléments définit par défaut, le logiciel nous permet de l'ajouter en introduisant toutes ces caractéristiques techniques ainsi que son coût. On peut aussi modifier les caractéristiques d'un composant déjà existant dans la bibliothèque.

Toujours HOMER, simule le fonctionnement d'un système en faisant des calculs de bilan d'énergie à chaque heure pour chacun des 8760 heures dans une année. Il trouve la combinaison la moins coûteuse qui répond aux charges électriques et thermiques spécifiques.

HOMER simule plusieurs configurations, il optimise le cout pour un cycle de vie donné et génère des résultats de sensibilité pour la plupart des situations [102].

HOMER est largement utilisé et accepté comme un outil de simulation distribué, tant au niveau national que international. De nombreuses analyses de systèmes énergétiques hybrides ont été effectuées à l'aide de cet outil et ont été publiées sous forme d'articles, en particulier sur la revue « RenewableEnergy » : voir par exemple les travaux de Iqbal [103] pour des applications dans les Newfoundland (au Canada), Shaahid et Elhadidy [104] pour les systèmes hybrides photovoltaïques-diesel-batteries, Beccali et al. [105] pour les systèmes SER à hydrogène.

4.9.2 Description du système :

Au début, il faut schématiser le système, par le choix des composants qui fournissent l'énergie à la charge (photovoltaïque, générateur diesel, pile à combustible…..etc.), plus les unités de stockage (batterie, réservoir d'hydrogène). Tous les composants sont connectés avec la charge à l'aide d'un convertisseur AC\DC, et avant de simuler le comportement du système, il faut connaitre les paramètres d'entrée et les paramètres de sortie du système.

- **Paramètres d'entrée :**
  - Dimension en KW de chaque composant.
  - Duré de vie par an ou par heure.
  - Les ressources (radiométriques, météorologiques)
  - Coût d'un KW en $.
  - Coût de remplacement.
  - Coût d'opération et de maintenance en $/an et en $/heure respectivement.

- Prix du carburant utilisé pour le générateur.

- **Paramètres de sortie :**
  - Fraction d'utilisation annuelle pour les deux sources d'énergies (fossile et renouvelable)
  - L'énergie annuelle fournie pour chaque composant.
  - L'excès d'énergie.
  - Coût d'énergie produite.
  - L'investissement initial.
  - Le coût actuel net NPC.
  - L'émission des gaz à effet de serre.

La figure 4.13 présente le schéma du système adopté pour la simulation. Dans ce schéma le convertisseur permet la circulation du courant dans les deux sens (AC/DC et DC/AC) ; le générateur photovoltaïque et les batteries produisent un courant continu connecté avec la charge à l'aide du convertisseur et d'autre part, le groupe électrogène permet la charge des batteries à travers le convertisseur.

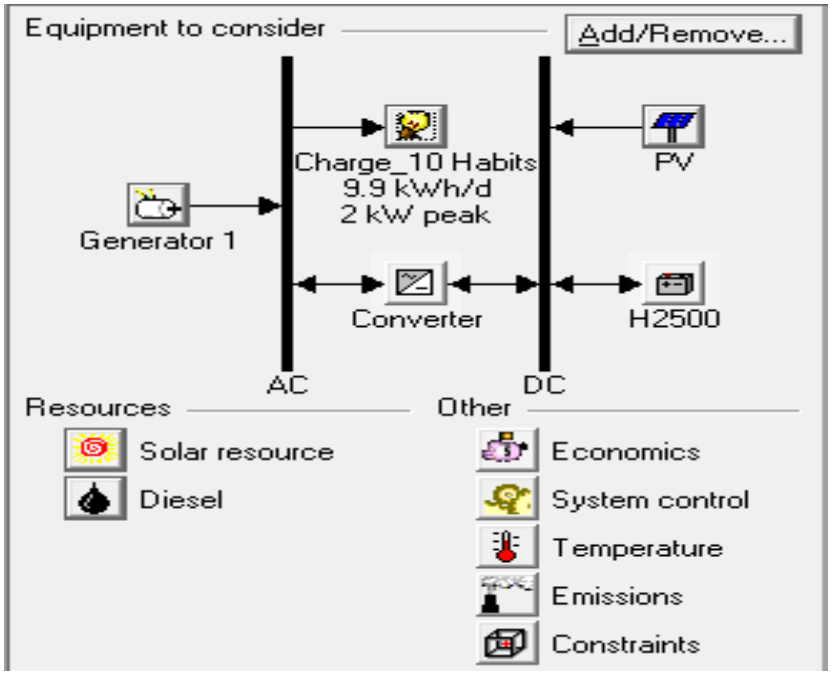


Figure 4.13 Schéma du système

4.9.3 Les caractéristiques de chaque composant du système

Le générateur photovoltaïque :

- Les puissances crêtes proposées du générateur photovoltaïque pour le calcul de la simulation sont :

  2kWc, 3kWc, 4kWc, 5kWc, 6kWc et 7kWc.

- La durée de vie des modules photovoltaïques est de 20 ans. Le système est fixe (pas de système de poursuite) et l'angle d'inclinaison égale à la latitude du lieu c'est-à-dire β=23.12°.
- L'effet de la température est considéré.

Les batteries :

- Le banc des batteries se compose de 20 batteries et les batteries utilisées sont des batteries à plaques tubulaires de marque *Hoppecke.*
- La durée de vie des batteries est 5 ans.
- La capacité nominal de chaque batterie est 2500 Ah et sa tension 2V.
- La tension globale du banc des batteries est 48V.

Le convertisseur :

- Les puissances du convertisseur à considérer sont : 1kW, 1.5kW et 2kW.
- Le rendement de l'onduleur est 95% et le rendement du chargeur des batteries est 90%.
- La durée de vie du convertisseur est 15 ans.

Le groupe électrogène :

- Les puissances des groupes électrogènes à considérer sont : 0.1kVA, 0.3kVA, 0.5kVA et 0.7kVA.
- Durée de vie est 15000 heures.
- Le carburant utilisé est le fuel.
- Le coût du groupe électrogène oscille entre 400 et 800 $/kVA [106].

4.9.4 Résultats et discussions

Après la simulation, HOMER affiche les solutions selon le coûtd'énergie minimal comme il est monté ci-dessous :

Sensitivity Results | Optimization Results

Double click on a system below for simulation results.

PV (kW)	Label (kW)	H2500	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)
2	0.5	5	1.0	$ 29,050	1,182	$ 44,161	1.024
2	0.7	5	1.0	$ 29,070	1,200	$ 44,414	0.989
2	1.1	5	1.0	$ 29,110	1,203	$ 44,493	0.967
2	0.9	5	1.0	$ 29,090	1,209	$ 44,551	0.974
2	0.5	5	1.5	$ 31,050	1,180	$ 46,134	1.024
2	1.1	5	1.5	$ 31,110	1,181	$ 46,213	1.005
2	0.7	5	1.5	$ 31,070	1,195	$ 46,343	1.008
2	0.9	5	1.5	$ 31,090	1,198	$ 46,403	1.009
2	0.5	5	2.0	$ 33,050	1,181	$ 48,149	1.075
2	1.1	5	2.0	$ 33,110	1,183	$ 48,236	1.050
2	0.7	5	2.0	$ 33,070	1,194	$ 48,333	1.054
2	0.9	5	2.0	$ 33,090	1,194	$ 48,360	1.054
2	0.5	5	3.0	$ 37,050	1,176	$ 52,083	1.176
2	1.1	5	3.0	$ 37,110	1,180	$ 52,200	1.137
2	0.7	5	3.0	$ 37,070	1,188	$ 52,260	1.145
2	0.9	5	3.0	$ 37,090	1,187	$ 52,265	1.142
2	0.5	5	3.5	$ 39,050	1,179	$ 54,115	1.222
2	1.1	5	3.5	$ 39,110	1,183	$ 54,232	1.181
2	0.7	5	3.5	$ 39,070	1,191	$ 54,292	1.190
2	0.9	5	3.5	$ 39,090	1,190	$ 54,297	1.186
3	0.5	5	1.0	$ 39,050	1,296	$ 55,617	1.283

Figure 4.14 Résultats de simulation

Il y'a plusieurs solutions de configuration pour notre système, mais on a choisi d'analyser les différents résultats techniques obtenus de la solution optimale :

Architecture du système :

- Générateur PV 2 KW
- Banc des batteries 5Hoppecke 20 OPzS 2500
- Convertisseur 1 KW
- Groupe électrogène 0.5 KW

4.10 Production d'énergie annuelle

La production annuelle d'énergie a donné une charge primaire servie. C'est-à-dire, nous avons obtenu une satisfaction totale (100%) avec un léger excès en énergie durant l'année. Le tableau 4.4 représente les résultats de la production énergétique annuelle des deux sources d'énergie le photovoltaïque et le groupe électrogène. Les résultats de calcul concernant le stockage électrochimique, les heures de fonctionnement et pertes énergétiques du convertisseur, et la

quantité des polluants émises durant une année de fonctionnement du système hybride sont donnés dans les Tableaux 4.5, 4.6 et 4.7.

Table 4.4 Résultats de la production annuelle d'énergie pour les deux sources.

Nature	Photovoltaïque	Groupe électrogène
Energie annuelle produite	2564 kWh/an (55%)	207,3kWh/an (45%)
Les heures de fonctionnement	2416 heures	451 heures
Consommation en fuel	\	73,3 L/an
Energie moyenne par jour	7.02 kWh/j	\

Table 4.5 résultats du bilan annuel des batteries.

Nature	Energie (kWh)
Capacité nominale	25
Energie entrée par an	2395
Energie sortie par an	2066
Les pertes d'énergie par an	325

Table 4.6 résultats du bilan annuel du convertisseur.

	Onduleur	Chargeur de batterie
Les heures de fonctionnement (h)	3241	2596
Energie entrée (KWh/an)	2815	1234
Energie sortie (KWh/an)	2534	1049
Les pertes d'énergie (KWh/an)	281	185

Table 4.7 Emissions des gaz polluants.

Polluants	Emissions (kg/an)
Dioxyde de carbone (CO_2)	193
Monoxyde de carbone (CO)	4.76
Oxyde d'azote (NOx)	3.88

Les dimensions des composants de la solution optimale obtenus par HOMER sont un peu différentes de celles obtenues par notre approche sous Matlab, car la simulation dans HOMER s'articule autour du coût d'énergie minimal ce qui influe sur les résultats techniques.

Le bilan énergétique montre que 55% de l'énergie produite est une énergie renouvelable, cette fraction correspond à une énergie de 2564 KWh/an.

Les résultats techniques obtenus par HOMER confirment, en général, les résultats obtenus par Matlab.

Notre programme sous Matlab effectue un bilan énergétique horaire et journalier le long d'une année, ce qui' il le fait un outil d'aide à la simulation des systèmes.

4.11 Résultats économiques

HOMER cherche la solution optimale selon le plus faible coût d'énergie et le coût actuel net. Pour chaque composant HOMER combine les coûts de remplacement, de maintenances et le coût de combustible, avec d'autres coûts pour évaluer le coût annualisé des composants puis évaluer le NPC (Net Present Cost : présent coût net) par l'équation suivante [107] :

$$C_{NPC} = \frac{C_{anntot}}{CRF\left(i.R_{proj}\right)} \tag{4.12}$$

C_{NPC} : le coût actuel net.

C_{anntot}: coût annualisé total.

R_{proj} : la durée de vie du projet.

CRF : le facteur de récupération capital.

Le CRF est donné est donné par l'équation suivante :

$$CRF(i,N)=\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1} \tag{4.13}$$

i : le taux d'intérêt.

N : le nombre d'années.

Pour le coût de l'énergie HOMER utilise le coût total annualisé dans l'équation suivante :

$$COE=\frac{C_{anntot}}{E_{prim}+E_{del}+E_{gridsales}} \tag{4.14}$$

E_{prim} : énergie primaire AC ou DC.

E_{def} : énergie électrique et énergie thermique.

E_{grid}: énergie provenant du réseau conventionnel.

Pour un capital initial de 29050$, un coût net de 44161$ et un coût d'énergie de 1.024 $/kWh, les résultats économiques obtenus pour notre système hybride sont représentés dans le Tableau 4.8.

Table 4.8 bilan économique annuel du système.

Composent	**Capital initial ($)**	**O&M ($)**	**ARC ($)**	**Fuel ($/L)**	**Salvage ($)**	**Total ($)**
Générateur photovoltaïque	20,000	3,324	62	0	-35	23,351
Groupe électrogène	50	0	10	1,874	0	1,934
Hoppecke 20 OPzS 2500	5,000	9,802	16	0	-8	14,811
Convertisseur	4,000		17	0	-3	4,065
Système	29,050	13,177	106	1,874	-46	44,161

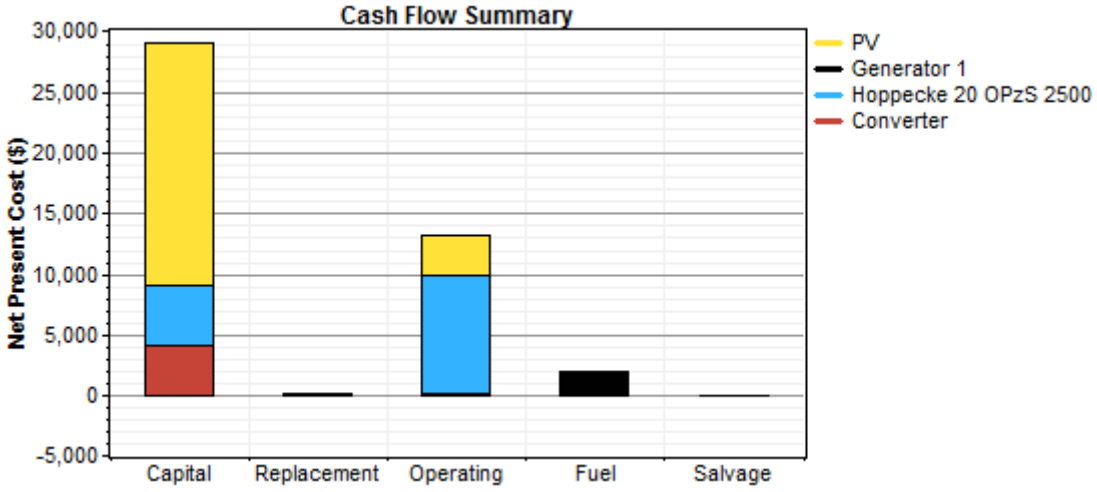


Figure 4.15 Evaluation économique des coûts

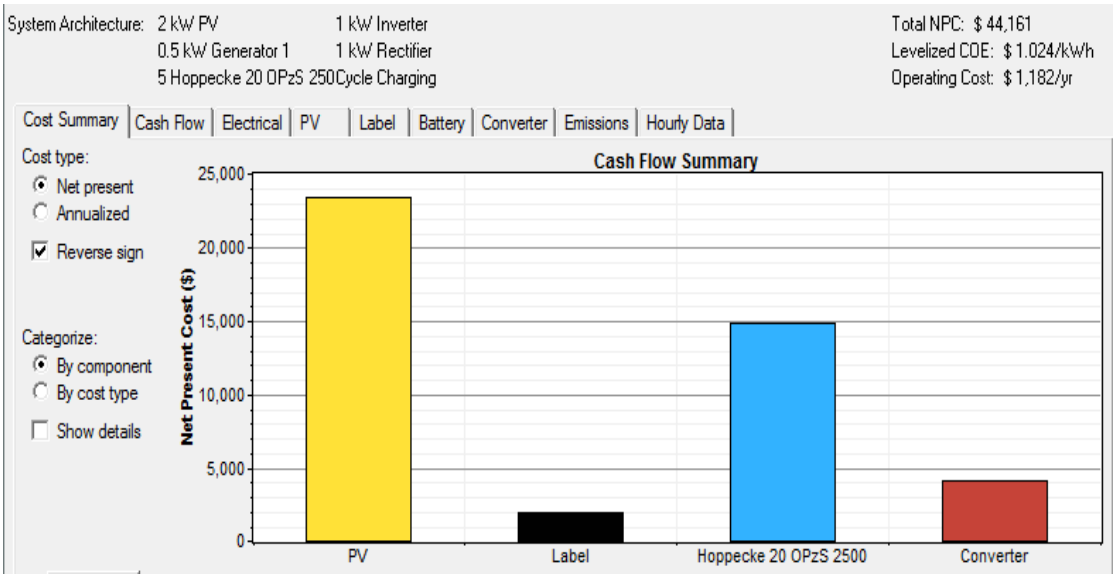


Figure 4.16 Evaluation économique des composants

D'après les résultats économiques obtenus, nous avons constaté que les coûts du générateur photovoltaïque plus les batteries représentent 88% du capital initial. Le capital initial du système est de 29050 $ et il est proche du coût actuel net (NPC) qui est de 44161 $ ce qui implique que nous n'allons pas perdre de l'argent pour l'évaluation à long terme.

4.12 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une nouvelle approche basée sur la méthode PSO pour l'optimisation des systèmes hybrides. Une méthode de contrainte a été appliquée pour minimiser simultanément le coût total du système, la perte d'énergie dans la charge ainsi que les émissions de gaz CO_2 dans le groupe diesel. Cette étude a porté sur la commande, l'analyse et

l'optimisation d'un système hybride (PV-Diesel-Batterie) à l'aide de deux logiciels Matlab et HOMER.La méthode PSO a la capacité de rejoindre l'optimum global avec l'exigence de calcul relativement simple. Le système proposé avec le dimensionnement optimal se compose de 75 × 75W des panneaux Photovoltaïques, 90 × 2 kWh des Banques de batterie et 3 x 2.6kW des Générateurs diesel. En utilisant les paramètres obtenus à partir de l'optimisation, l'ACS pourrait être d'environ de 17617$. Cependant, l'utilisation du système d'énergie hybride pourrait réduire le coût opérationnel de GE et les émissions de CO_2.En outre, malgré le coût de fonctionnement de PV est encore cher, le système PV est toujours la clé importante pour alimenter la demande de charge dans les zones éloignées et isolées en raison de leur conception compacte et rapport spécifique élevée. En plus, la méthode d'optimisation proposée pourrait être utilisée pour l'optimisation du système hybride PV-Diesel-Batterie dans toutes les régions avec différentes données météorologiques et conditions de charge.

Parfois le coté économique n'est pas primordiale lorsque nous parlons de l'autonomie de production dans les zones rurales où les quelques kWh produits par une installation solaire donne un grand espoir de l'amélioration de la qualité de vie dans une communauté isolée. Mais la structure des coûts d'investissement montre que la baisse des prix des modules photovoltaïques, le composant essentiel dans le système, dans le futur favorisera l'émergence et la rentabilité de cette application.

Chapitre 5: Optimisation Mono-Objective et Conception Optimale par Loup Gris du Système Hybride: Application au site de Djanet (Illizi)

5.1 Introduction:

Cechapitre présente l'application de l'un des derniers algorithmes d'intelligence d'essaim, à savoir l'optimiseur de loup gris (GWO) qui s'inspire des loups gris. L'algorithme GWO imite la hiérarchie de leadership et le mécanisme de chasse des loups gris dans la nature. Il existe quatre types de loups gris qui sont alpha, beta, delta et omega. Ces quatre types sont utilisés pour simuler la hiérarchie des dirigeants. Pour compléter le processus de GWO trois étapes principales de la chasse : la recherche de proie, encerclantde proie et attaquantla proie sont implémentées. La stratégie proposée est appliquée pour une conception optimale et minimise le coût total du système de production d'énergie renouvelable hybride dans un village rural isolé dans le sud d'Algérie appelé "Djanet". Un système d'alimentation composé des panneaux photovoltaïque, générateurs diesel, des batteries et de la charge est considéré pour tester l'approche proposée. Les résultats obtenus par cette nouvelle méthode sont comparés avec l'algorithme d'optimisation par essaim de particules (PSO); Il est démontré que la méthodologie proposée trouve le nombre optimal de panneaux photovoltaïques, de générateurs diesel et de batteries facilement avec une convergence rapide, un coût inférieur et les capacités supérieures de la méthode proposée sont démontrés.

5.2 Optimiseur de loup gris (GWO)

L'algorithme GWO a été proposé par Mirjalili et Lewis en 2014. Le leadership social et la technique de chasse des loups gris ont été l'inspiration principale de cet algorithme. Afin de modéliser mathématiquement la hiérarchie sociale des loups lors de la conception de GWO, la solution la plus adaptée est considérée comme le loup alpha (α). Par conséquent, le deuxième et la troisième meilleure solution sont nommés loups beta (β) et delta (δ), respectivement. Le reste des solutions candidates sont supposés être des loups omega(ω). Dans l'algorithme GWO, la chasse (optimisation) est guidée par α, β et δ. Les loups ω suivent ces trois loups dans la recherche de l'optimum global. De plus, au leadership social, les équations suivantes ont été proposées pour simuler le comportement encerclant des loups gris pendant la chasse [110]:

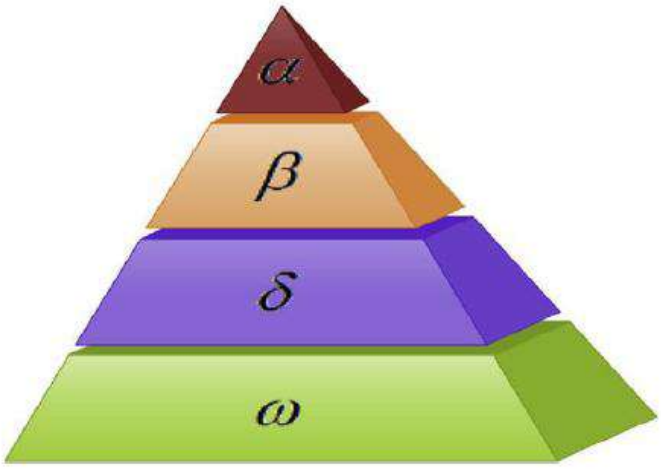


Figure 5.1 Hiérarchie des loups gris (la dominance diminue de haut en bas)

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\overrightarrow{X_p}(t) - \vec{X}(t)\right| \quad (5.1)$$

$$\overrightarrow{X(t+1)} = \overrightarrow{X_p}(t) - \vec{A}.\vec{D} \quad (5.2)$$

Où $\vec{X}$ est la position du loup gris, $\overrightarrow{X_p}$ indique la position de la proie, t est l'itération actuelle, et$\vec{A}$, $\vec{C}$sont les coefficients des vecteurs qui peuvent être obtenus par [110]:

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\overrightarrow{r_1} - \vec{a} \quad (5.3)$$
$$\vec{C} = 2\overrightarrow{r_2} \quad (5.4)$$

Où, r_1 et r_2 sont des vecteurs aléatoires entre 0 et 1, et $\vec{a}$ est supposé diminué linéairement de 2 à 0 pendant le processus d'itérations.

Les loups gris sont capables de reconnaître l'emplacement de la proie et de l'encercler guidé par l'alpha. Cependant, nous ne sait rien sur la position de l'optimum (proie) dans un espace de recherche. Par conséquent, a fin de simuler mathématiquement le comportement de chasse du loup gris, nous supposons que alpha, beta et delta ne savent plus des informations sur la position potentielle de la proie. Sur cette base, les trois premières meilleures solutions obtenues jusqu'à présent sont enregistrés et les autres agents de recherche tels que omegas sont obligés de mettre à jour leurs positions selon les trois premier meilleurs positions. Ce processus peut être simulé mathématiquement par les formules de mise à jour suivantes:

$$\vec{D}\alpha = \left|\overrightarrow{C_1}.\vec{X}\alpha - \vec{X}\right| \quad (5.5)$$
$$\vec{D}\beta = \left|\overrightarrow{C_2}.\vec{X}\beta - \vec{X}\right| \quad (5.6)$$
$$\vec{D}\delta = \left|\overrightarrow{C_3}.\vec{X}\delta - \vec{X}\right| \quad (5.7)$$
$$\vec{X}1 = \vec{X}\alpha - \vec{A}1.\vec{D}\alpha \quad (5.8)$$
$$\vec{X}2 = \vec{X}\beta - \vec{A}1.\vec{D}\beta \quad (5.9)$$
$$\vec{X}3 = \vec{X}\delta - \vec{A}1.\vec{D}\delta \quad (5.10)$$
$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}1+\vec{X}2+\vec{X}3}{3} \quad (5.11)$$

Les comportements de chasse sont terminés en attaquant la proie lorsqu'elle arrête de bouger. Ce processus peut être implémenté mathématiquement en diminuant la valeur de$\vec{a}$ de 2 à 0, ce qui provoque également une diminution de la valeur de$\vec{A}$. Lorsque les valeurs de $\vec{A}$ sont dans l'intervalle [-1, 1], les loups gris attaquent la proie. Le comportement d'attaque rend l'algorithme GWO d'excellentes performances en exploitation ou en recherche locale [111]. Une autre composante de GWO qui favorise l'exploration est$\vec{C}$. Le vecteur $\vec{C}$ génère des valeurs aléatoires dans [0, 2], dans lequel des poids aléatoires pour les proies sont fournis afin d'accentuer stochastiquement (C> 1) ou d'accentuation (C <1). Le paramètre C a été délibérément requis pour fournir des valeurs aléatoires en tout temps afin de souligner l'exploration non seulement lors des itérations initiales mais aussi des itérations finales. Ce composant est très utile en cas de stagnation optima locale, en particulier dans les itérations finales. La position suivante d'un agent de recherche peut être dans n'importe quelle position entre sa position actuelle et la position de la proie, ce qui aide les agents de recherche à

converger vers une position de proie estimée fournie par les solutions alpha, beta et delta. Le processus de recherche de l'algorithme GWO commence dans l'initialisation des solutions candidates en créant une population aléatoire de loups gris. Au cours des itérations, les alpha, beta et delta estiment les positions réalisables de la proie et de chaque solution candidate ici en mettant à jour sa position avec les équations (5.5) à (5.11). Pendant ce temps, l'exploration et l'exploitation sont soulignées en définissant le paramètre $\vec{a}$pour diminuer linéairement de 2 à 0 au cours des itérations. Les solutions de candidat divergeront de la proie quand $|\vec{A}| > 1$ et convergeront vers la proie lorsque $|\vec{A}| < 1$comme indiqué sur la Figure 5.2 et 5.3. Enfin, l'algorithme GWO se termine lorsqueles critères d'arrêt sont satisfaits. Le pseudo code de GWO est représenté sur la Figure 5.4.

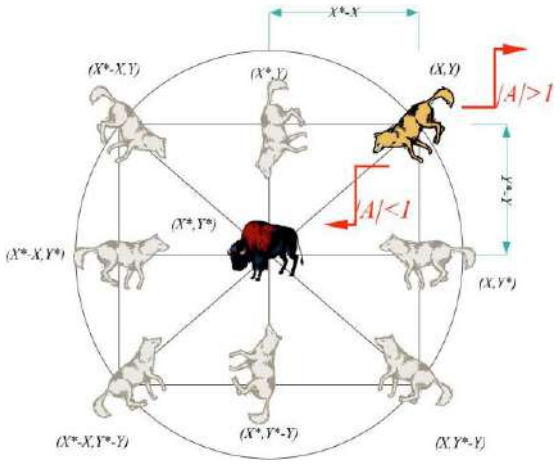
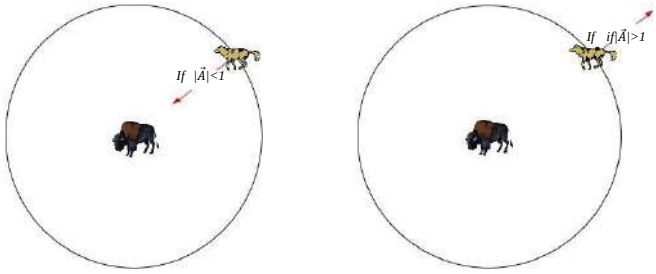


Figure 5.2 Positionner le mécanisme de mise à jour des agents de recherche et les effets de A sur celui-ci



(a) (b)

Figure 5.3 Attaquer la proie contre la recherche de proie

Début de l'algorithme
Initialiser la population de loup gris xi = 1,2, ..., n
Initialiser les paramètres A, a et C
Calcule l'aptitude de chaque agent de recherche
Xα= Le meilleur agent de recherche
Xβ=Le deuxième meilleur agent de recherche
Xδ = Le troisième meilleur agent de recherche
Tandis que t<Max_Generation
Pour l'espace de recherche
Mettre à jour la position de l'agent de rythme actuel en utilisant l'équation (5.11)
Fin
Mettre à jour les paramètres a, A et C
Calcule l'aptitude de l'agent de recherche
Mettre à jour Xα, Xβ et Xδ
t=t+1
Fin
Retourné Xα

Figure 5.4 Le processus et le pseudo code du GWO

5.3 Description du problème

La configuration optimale a été effectuée à l'aide du logiciel Matlabm-file. GWO est utilisé pour trouver la configuration optimale du système étudié. Les données météorologiques annuelles, le profil de charge, les spécifications des composants et les autres données sont utiliséspour le calcul économique et de fiabilité.

Pour implémenter GWO afinde résoudre le dimensionnement optimal du système hybride PV-Groupe Diesel-batterie, les étapes suivantes sont appliquées:

- Initialiser la population et les paramètres de GWO.
- Initialiser les agents de recherche et générer les variables au hasard, 3 vecteurs qui représentent la taille des panneaux photovoltaïques, des batteries et des générateurs diesel.
- Calculer la fonction objective selon l'équation (4.5) de chapitre précédent de chaque agent de recherche.
- Sélectionnez le meilleur agent de recherche correspondant à la valeur de fonction objectif la plus basse.
- Mettre à jour la position de l'agent de recherche par l'équation (5.11), tandis que t <nombre maximum d'itérations et déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques (N_{PV}), le nombre de batteries (N_{BAT}) et le nombre de générateurs diesel (N_{DG}).
- Calculer la fonction objective de nouveaux de chaque agent de recherche.
- Trouver le nouveau meilleur agent de recherche et remplacez-le par l'ancien agent de recherche le plus récent, autrement dit, le nouveau est meilleur que l'ancien meilleur agent de recherche
- Ce cycle est terminé si le critère d'arrêt est respecté.
- Après la fin du cycle, le meilleur de toutes les solutions envisagées sera retourné.

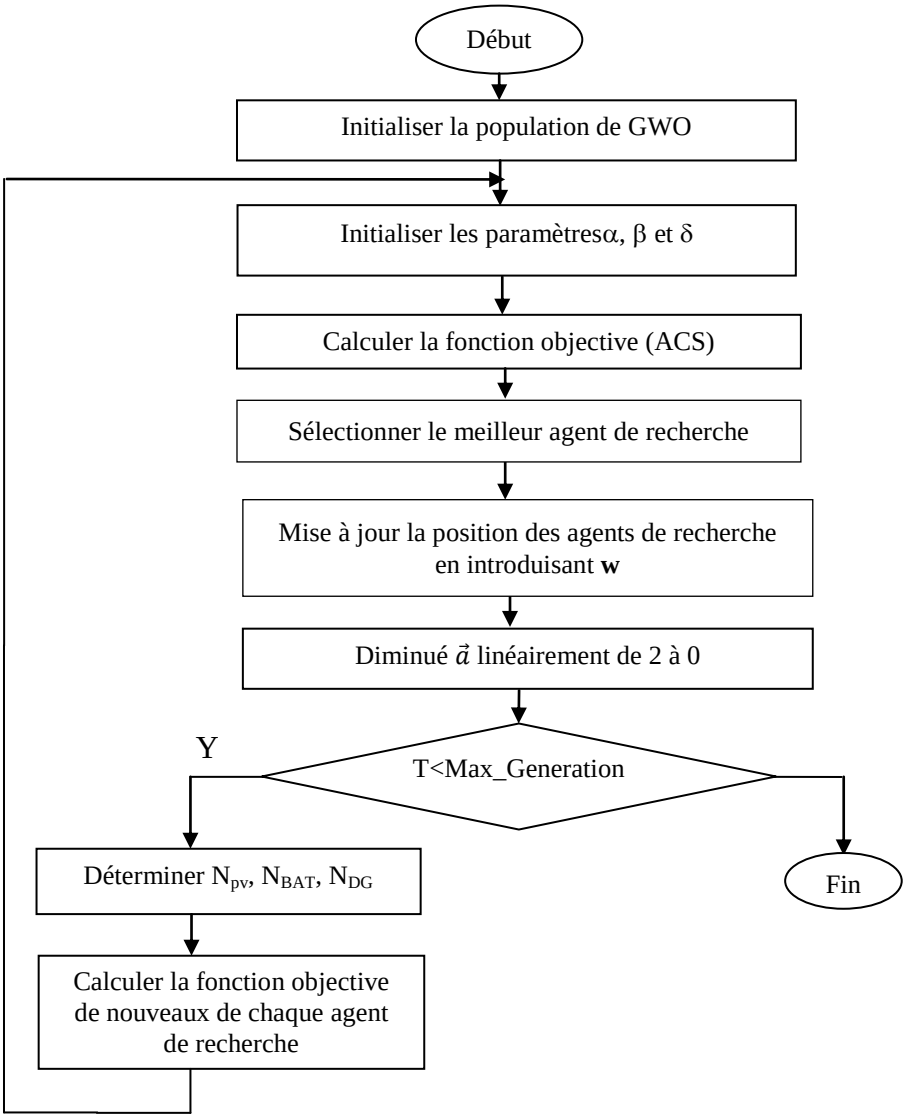


Figure 5.5 Organigramme d'optimisation par GWO

5.4 Application et résultat

Dans cettepartie, le dimensionnement optimal du système d'énergie renouvelable hybride à l'aide de l'optimiseur de loup gris (GWO) et de l'optimisation par essaim de particules (PSO) est présenté pour déterminer la configuration optimale des panneaux photovoltaïques, des générateurs diesel, des batteries et minimiser le coût total annuel du système hybride. En outre, GWObasé surle code Matlab est appliqué pour formuler le problème d'optimisation. Le système utilisé dans ce travail est basé sur le système hybride installé dans le sud d'Algérie (Illizi). La figure 3.2, 3.3 et la figure 3.4 de chapitre 3 montre les données météorologiques (température et ensoleillement) le profil de charge horaire respectivement. La puissance quotidienne générée par le panneau photovoltaïque est illustré dans la figure 5.8. Le GWO a été implémenté avec 30 agents de recherche et 100 itérations.

La figure 5.7 illustre la courbe de convergence de GWO, après 8 itérations, le GWO converge vers une solution optimale. Cependant, les résultats obtenus en utilisant PSO illustrent la figure 5.6 montrent que le système hybride après 17 itérations converge vers une

valeur fixe. Il est clair que la vitesse de convergence de GWO est supérieure que la méthode d'optimisation par PSO.

La performance de l'approche proposée (GWO) pour un dimensionnement optimal dans le système d'énergie renouvelable hybride est présentée dans le tableau 5.1. Le PSO est une méthode d'optimisation méta-heuristique avec un concept simple, une mise en œuvre facile et une quantité raisonnable de temps de calcul pour trouver une bonne solution. Cependant, sa convergence est souvent lente par rapport au nouvel algorithme proposé.

Les résultats montrent que la solution optimale en utilisant GWO entraîne un coût de 16825,64 $, alors que le coût de la mise en œuvre de la procédure PSO est de 16872,66 $. Par conséquent, la méthode proposée a le coût le plus bas par rapport à la méthode PSO. La taille optimale des composants obtenus à partir du processus d'optimisation avec la méthode GWO 33 panneaux solaires, 90 batteries et 2 générateurs diesel. Les résultats de simulation basés sur le code PSO sont présentés dans le tableau 5.1, la solution optimale est 38pour les panneaux solaires, 90 pour les batteries et 3 pour les générateurs diesel. En outre, ce tableau montre que la solution optimale par GWO est proche des résultats par rapport la méthode PSO.

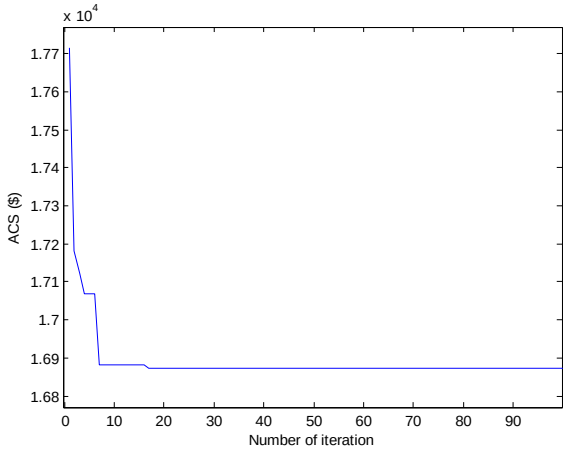


Figure5.6 Convergence de l'optimisation du système de coûts annuel en utilisant l'algorithme PSO

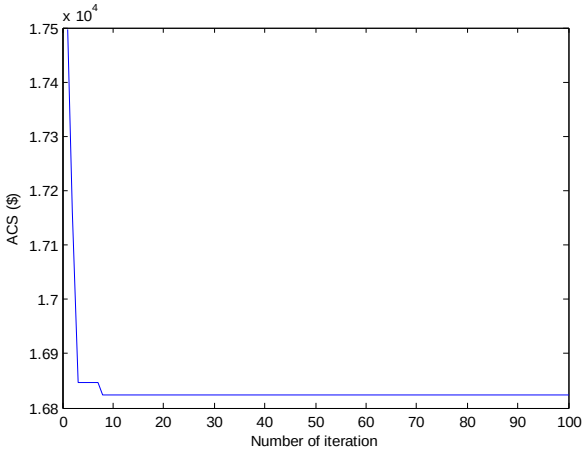


Figure5.7 Convergence de l'optimisation du système de coût annuel en utilisant l'algorithme GWO

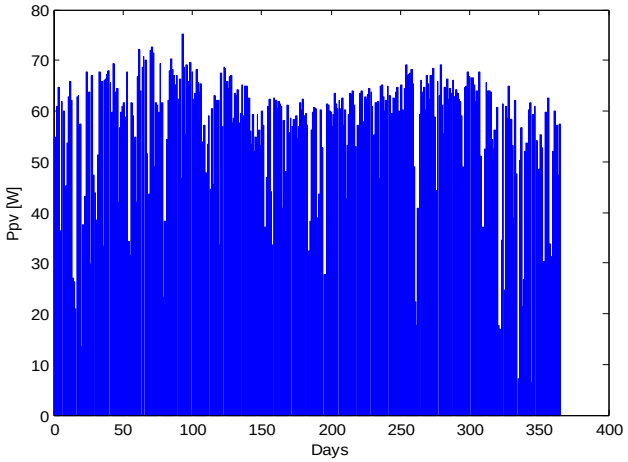


Figure 5.8Puissancejournalièreproduite par le panneau PV

Tableau 5.1 Résultats de l'algorithme GWO de dimensionnement optimal par rapport à l'algorithme PSO

Components	GWO	PSO
PV panels	33	38
Battery banks	90	90
Diesel generators	2	3
ACC ($)	10519,38	10214,95
AOM ($)	170,46	160.81
AFC ($)	497,3	447,9
ARC ($)	5638,5	6049
ACS ($)	16825,64	16872,66

Tableau 5.2 Coût capital annuel de chaque

PV ($)	Battery ($)	Diesel ($)	Inverter ($)
9522	887,8	43,78	65,8

La figure 5.9 illustre les coûts des différents éléments du système optimisés par GWO. À partir de ces chiffres, on constate que le composant coût le plus coûteux dans le système de coût global est l'ACC. Le coût le plus dominant est le coût en capital des panneaux photovoltaïques, comme indiqué dans le tableau 5.2. Le coût en capital annuel de générateur diesel et la valeur de la batterie obtenue auprès de GWO sont respectivement de 43,78 $ et 887,8 $. Le tableau 5.1 révèle également que le système proposé est capable de sécuriser l'approvisionnement en énergie de la demande de charge. Par conséquent, la configuration proposée peut réduire le coût environ de 16825,64 $.

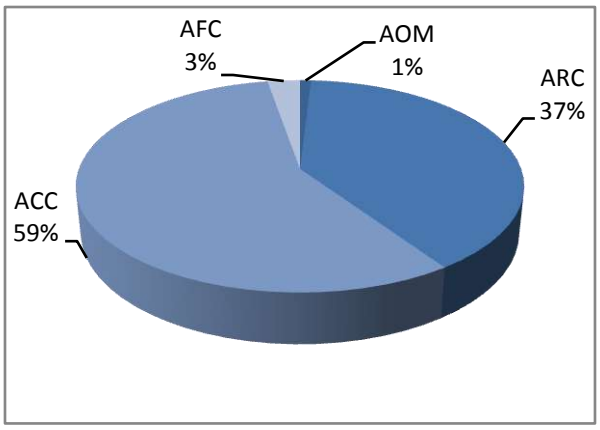


Figure 5.9 Coûts des différents éléments optimisés par GWO

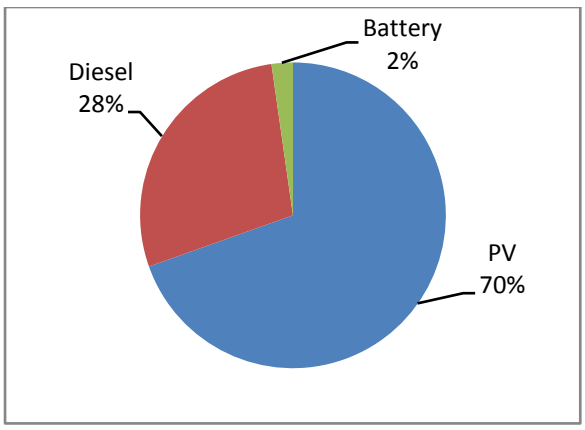


Figure 5.10Energie annuelle produite pour chaque composant

La performance de GWO comparé avec PSO est illustrée dans la figure 5.11. Dans cette figure on peut constater que la meilleure valeur est 16070,21$, la valeur moyenne est

16248,63$ et le mouvais valeur est 16288,26$ pour l'algorithme GWO. Les valeurs optimale obtenue par le processus d'optimisation par la méthode consiste la meilleure valeur est 16248,61$, la valeur moyenne est 17281,28$ et le mouvais valeur est 17353,75$.

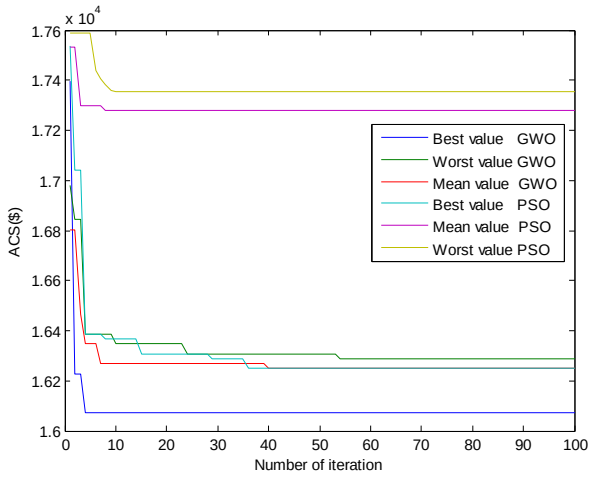


Figure 5.11 Performance de GWO compare avec PSO pour trouver la configuration optimale

La figure 5.12 présent la variation des PV_s, GE_s et les banques de batteries durant l'optimisation par GWO, on peut constater sur cette figure que l'augmentation des PV_s peut minimiser les opérations des groupes diesel, et cela diminué la consommation du fuel.

La diminution des PV_s et les batteries présent un impact significatif du ACS présenté dans le tableau 5.1. D'après ces résultats on peut dire que le ACC est le cout le plus chère dans le système du cout globale ce qu'il faut le minimisé.

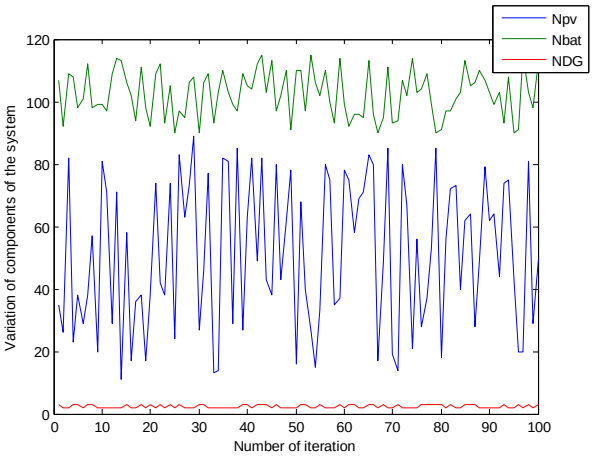


Figure 5.12 variation deN_{PV}, N_{GE} et N_{BAT}durant l'optimisation par GWO

La variation des paramètres d'optimisation obtenus par GWO tels que Xα, Xβ et Xδ qui représentent le meilleur agent de recherche, le deuxième meilleur agent de recherche et le troisième meilleur agent de recherche respectivement pour trois essai indépendantes est présentée à la figure 5.13 On peut constater sur cette figure que les paramètres obtenus à partir des processus d'optimisation ont donné lieu à la détermination de la meilleure configuration

du système et que ces paramètres ont un effet significatif dans la performance de cet algorithme.

La taille optimale des composants pour différentes valeurs du coût total obtenu à partir du processus d'optimisation par la méthode GWO est démontrée à la figure 5.14 Ces résultats montrent que le coût total augmente ou diminue approximativement avec les changements dans ces paramètres alors que les configurations des composants ayant un effet significatif sur le cout totale du système.

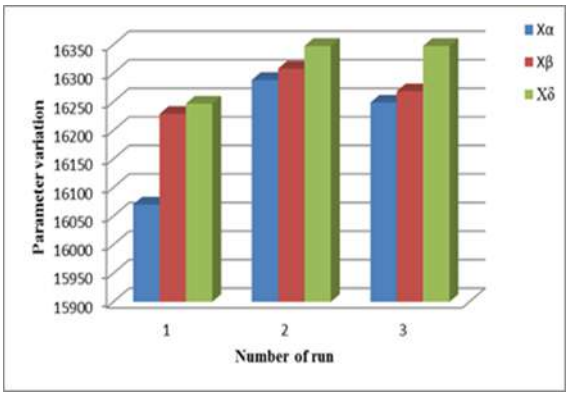


Fig. 5.13 Variation du des valeurs α, β et δobtenue par l'algorithm GWO pour trois essais indépendant

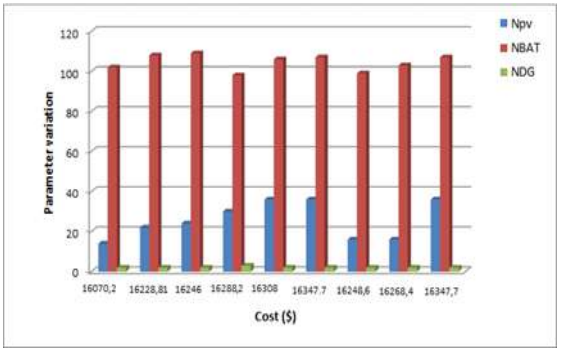


Figure 5.14 la variation deN_{PV}, N_{DG} et N_{BAT} obtenue par l'algorithme GWO pour différentes valeurs de ACS

5.5 Analyse de sensibilité

Dans cette section, pour évaluer les performances du système de génération d'énergie hybride, l'analyse de sensibilité est appliquée. Pour atteindre cet objectif, on étudie l'impact des variations de l'efficacité de l'onduleur et du niveau de charge sur l'optimisation du système.

5.5.1 Impact de l'efficacité de l'onduleur

Le rôle principal de l'onduleur est de convertir le courant continu (DC) en courant alternatif (AC). En effet, il est responsable du transfert de l'énergie des RER vers des charges. Par conséquent, la performance appropriée de l'onduleur joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du HPWGS. Les résultats d'optimisation pour trois valeurs différentes pour l'efficacité de l'onduleur sont présentés dans le tableau 5.3. Selon les résultats, il est clair qu'en

augmentant l'efficacité de l'onduleur, le système de génération d'énergie hybride réduit le nombre de panneaux solaires et les batteries ou le niveau de l'hybride génération de puissance du système de génération de puissance. Ainsi, le coût du système hybride est réduit. En outre, la sensibilité du système hybride est améliorée en augmentant l'efficacité de l'onduleur et vice versa.

Tableau 5.3
Le dimensionnement et le coût en tenant compte des variations d'efficacité de l'onduleur dans le système hybride

Rendement de l'onduleur	100%	95%	90%
N_{PV}	53	71	73
N_{BAT}	94	102	106
N_{DG}	2	2	2
ACS ($)	17361,31	17281,28	17194,33

5.5.2 Impact des variations de charge

Les résultats de la simulation sont effectués pour trois cas, comme le montre le tableau 5.4. Les résultats montrent que le système hybride peut couvrir les variations de la demande de charge. Le tableau 5.4 montre qu'en augmentant la demande, le nombre de panneaux solaires et de batteries augmente. Il est clair qu'en augmentant le nombre de panneaux solaires et de batteries, le coût du système hybride est maximisé.

Tableau 5.4
Le dimensionnement et le coût en tenant compte des variations de charge dans le système hybride

Load variation	10% Decrease	Nominal load	10% Increase
N_{PV}	13	24	38
N_{BAT}	107	109	115
N_{DG}	2	2	2
ACS ($)	16253,80	17281,32	18492,53

La figure 5.15 représente la variation quotidienne de la puissance de sortie des panneaux photovoltaïques, des générateurs diesel et de la capacité de stockage moyenne, nous voyons que la production de panneaux photovoltaïques est maximale pour les itérations 93 et 279 (mois d'avril et septembre) et la production est minimale dans l'itération 345 (mois de

décembre). Ces résultats affectent la capacité de stockage, la relation entre les deux paramètres est proportionnelle.

La production énergétique des GEvarie d'un temps à l'autre, elleestélevée dans les itérations 92 à 272 (les mois d'avril, mai et juin), et elle est minimale dans les itérations 1 à 91 et 273 à 365 (janvier, février, Mars, juillet, septembre, octobre, novembre et décembre). Notez que les résultats sont synchronisés par l'ensoleillement, la température et la charge.

La production énergétique par le système hybride PV-GE par rapport à la consommation est illustréedans la figure 5.16, on constate que la consommation est minimale dans les itérations 1 à 88 et 274 à 365 (les mois de janvier, février, mars, octobre, novembre et décembre), ce qui entraîne une diminution de l'énergie totale produite par les panneaux photovoltaïques et les GE, et elle augmente proportionnellement avec la consommation dansles restes itérations (mois d'avril, mai, juin, juillet, septembre).

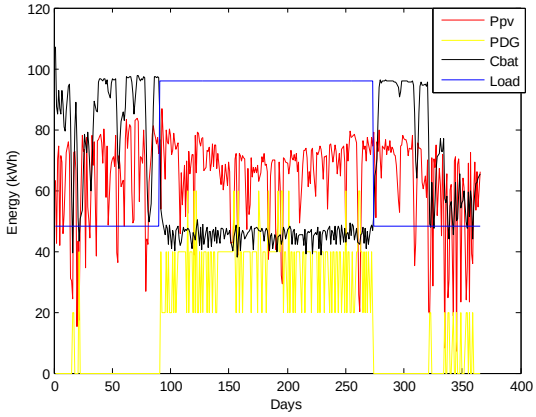


Figure5.15 La gestion de l'énergie du système hybride

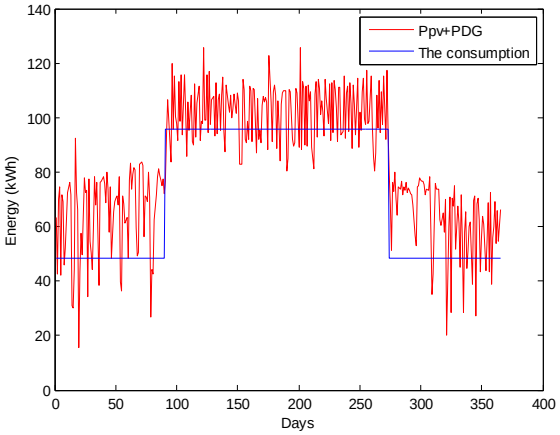


Figure 5.16 l'énergie quotidienne générée par les panneaux photovoltaïques et les GE par rapport à la consommation

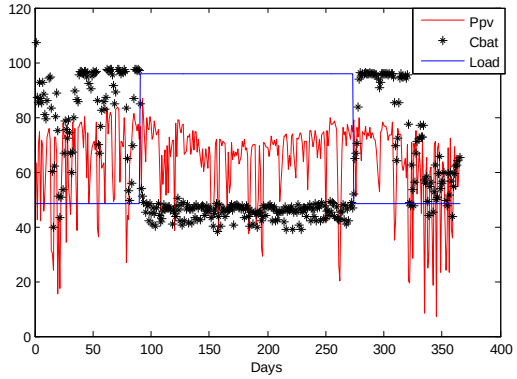


Figure 5.17Gestion d'énergie du système PV

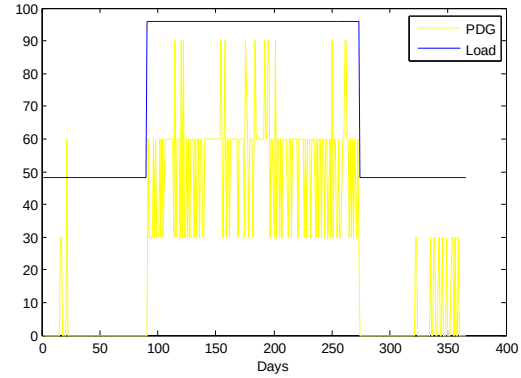


Figure 5.18Gestion d'énergie du système GE

Les résultats de simulation du système PV, système GE sont présentés dans les figures 5.17 et 5.18 respectivement. D'après ces résultats on peut conclure que le système est capable de satisfaire la demande de charge.

Le système hybride PV-GE autonome avec la banque de la batterie semble être une solution technico-économique de motivation pour répondre à la demande d'énergie du consommateur.

5.6 Conclusion

Une méthode pour le dimensionnement optimal du système hybride PV-GE-Batterie basée sur la méthode GWO et PSOa été présentée dans ce chapitre. L'objectif principal du problème d'optimisation est considéré comme minimisant le coût annuel total du système et la détermination du nombre optimal de panneaux photovoltaïques, de générateurs diesel et de batteries. La méthode GWO permet d'atteindre l'optimum global avec des exigences de calcul relativement simples. Le système proposé avec un dimensionnement optimal se compose de 33 panneaux PV, 90 batteries et 2 générateurs diesel. En utilisant les paramètres obtenus à partir de l'optimisation, l'ACS pourrait être minimisé à 16825,64 $. Les résultats obtenus montrent la supériorité de GWO par rapport la méthode PSO dans la réduction des coûts du système. Selon cette étude approfondie, on peut conclure que l'algorithme proposé à des mérites importants pour résoudre les problèmes de conception optimale des systèmes hybrides d'énergie renouvelable, nous l'offrons aux chercheurs dans les différents domaines.

Conclusion générale et perspectives

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelle de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergies, des recherches sont conduits à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande du monde j'usqu'à maintenant, est l'énergie solaire, qui est libre et abondante dans la plupart des régions du monde, et est avéré une source économique.

L'utilisation d'énergie solaire comme source alternative d'énergie, souffre du Coût élevé des cellules solaires, du faible rendement et de puissance intermittent selon la fluctuation des conditions atmosphériques. Par conséquent, n'importe quelle conception de système d'application d'énergie solaire, devrait prendre en compte ces inconvénient.

Des amélioration dans la conception et le fonctionnement des systèmes d'énergie renouvelables hybrides sont toujours nécessaires pour rendre plus compétitive l'intégration des sources d'énergies alternatives dans le bilan des systèmes globaux de production d'énergie. Dans ce contexte, le travail de recherche présenté dans cette thèse est une contribution à l'analyse du comportement, l'optimisation et le maitrise des performaces d'un système d'énergie renouvelable hybride constitué par des panneaux photovoltaiques, des générateurs diesels ainsi que des batteries pour le stockage d'énergie.

Dans cette thèse, notre démarche à été développé en cinque étapes pour atteindre nos objectifs :

- Une investigation sur le dimensionnement des systèmes d'énergies hybrides par la méthode LPSP.
- Une stratégie d'amélioration de la qualité de l'énergie électrique générée appliqué au deux site isolé en Algerie (Djanet et Ilamane).
- Optimisation multi objective et dimensionnement optimal par essaim de particule (PSO)qui a pour but de minimiser le coûttotal du système, les pertes d'énergie dans la charge ainsi que les émissions de gaz CO_2 dans le groupe électrogène.
- Une évaluation technico-économique a été étudiée par le logiciel Homer du site rural désigné. ce qui a permis une comparaison des résultats obtenus par notre nouvelle approche.

- Une optimisation mono objective par la méthode de loup gris (GWO) comparé par la méthode PSO a été présentée dans ce travail. La stratégie proposée est appliquée pour une conception optimale et minimise le coût total du système de production d'énergie renouvelable hybride dans le site de Djanet.

En résumé, on peut dire qu'avec une installation hybride on peut atteindre à alimenter les charges électriques:

- Sans interruption.
- Avec une bonne qualité de tension.
- Au moindre coût.
- Maximiser l'utilisation des énergies renouvelables.
- Minimiser la consommation en combustible fossile.

La mise en œuvre de l'intelligence artificielle a été faite avec succès pour l'optimisation de la production d'énergie hybride. Dans cette recherche une optimisation par essaim de particule (PSO) aété appliquée pour résoudre un problèmemulti-objectiveen fonction du système de production d'électricité hybride. Ce qui a permis de développer desAlgorithmes de simulation pour optimiser le système de production d'électricité hybride qui comprend 75 panneaux solairesde 75W, 3 générateurs diesel de 2.6KW, et90banques de la batterie de2KWh. Le concept de base de l'optimisation est basé sur l'équilibre énergétique dans le système en simulation sur une durée d'une année d'observation. Le processus d'optimisation a été lancé par injection de toutes les données requises pour l'optimisation telle que les données météorologiques horaire (température et irradiation) pour l'année 2012, les données de la charge constituée de 10 habitations, les caractéristiques technique des composants, la fonction de coût (ACS) ainsi que les fonctions de la probabilité de perte de charge (LLP) et les émissions de gaz CO_2 pour les générateurs diesel. L'optimisationde la fonction multi-objective ainsi définit a été obtenue suite à une modélisation des composants d'énergies renouvelables. La modélisation détaillée de chaque composante fondée sur la condition réelle et la collecte des données suffisantes sont des étapes importantes avant la simulation du système de production d'énergie hybride.

Ce travail de recherche présente aussi l'un des derniers algorithmes d'intelligence d'essaim appelé optimiseur par loup gris (GWO) pour un dimensionnement optimale et minimise le coût total du système de production d'énergie renouvelable hybride dans le site isolé "Djanet". Pour montré l'efficacité de la méthode proposé une comparaison par la méthode d'essaim de

particule a été présenté dans cette partie. La méthode GWO permet d'atteindre l'optimum global avec des exigences de calcul relativement simples. Le système proposé avec un dimensionnement optimal se compose de 33 panneaux PV, 90 batteries et 2 générateurs diesel. En utilisant les paramètres obtenus à partir de l'optimisation, l'ACS pourrait être minimisé à 16825,64 $.Les résultats de simulation basés sur le code PSO sont 38 pour les panneaux solaires, 90 pour les batteries et 3 pour les générateurs diesel.le coût de la mise en œuvre de la procédure PSO est de 16872,66 $. Les résultats obtenus ont montré la supériorité de GWO que la méthode PSO dans la réduction des coûts du système.

D'après les résultats de la simulation, on peut remarquer que les méthodes d'optimisation présentées dans ce travail sont faciles à mettre en œuvre pour l'optimisation du système de production d'électricité hybride. En outre, les méthodes développés peuvent être utilisésà n'importe qu'elle système de production d'électricité hybride dans toutes les régions avec différentes données météorologiques et conditions de charge.

Dans les perspectives, nous souhaiterons que nous puissions apporter plus d'affinité pour ce travail comme par exemple :

- L'amélioration du système de stockage par l'utilisation d'autres techniques de stockage, batteries de haut rendement et de grande durée de vie
- L'exploitation d'une autre source renouvelable tel que l'éolien pour assurer une grande part de l'énergie renouvelable dans le système hybride.
- Application de la méthode GWO pour optimisation multi-objective d'un système hybride.

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES PUBLICATIONS

Articles :

1. **Adel YAHIAOUI**, Khelifa BENMANSOUR, Mohamed TADJINE, "**Control, analysis and optimization of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated rural city in Algeria**"; Solar Energy, 137(2016) 1-10.

2. **Adel YAHIAOUI,** Khelifa BENMANSOUR, Mohamed TADJINE,"**Optimal Sizing and Control Strategy of renewable hybrid systems PV-Diesel Generator-Battery: Application to the case of Djanet city of Algeria** "; Advances in Engineering Systems Journal, Vol. 2, No. 3, 485-491(2017).

3. **Adel YAHIAOUI**, Fadila FODHIL, Khelifa BENMANSOUR, Mohamed TADJINE, Nawal CHEGGAGA, "**Grey Wolf Optimizer for optimal design of hybrid renewable energy system PV-Diesel Generator-Battery: application to the case of Djanet city of Algeria**", Solar Energy, 2017.

Communications :

1. **Adel YAHIAOUI**, Khelifa BENMANSOUR, Mohamed TADJINE,"**A new sizing algorithm of renewable hybrid systems PV-Diesel Generator-Battery: application to the case of Djanet city of Algeria**"; International Conference On Modeling, Identification and Control (ICMIC2016). Algiers, Algeria du 15 au 17 Novembre 2016.

Bibliographie

[1] M. Arrouf, “Optimisation de l’ensemble onduleur, moteur et pompe branche sur un générateur photovoltaïque”, thèse doctorat, université Mouloud Mammari de Tizi-Ouzou, 2007.

[2] M. Ashari, C.V. Nayar, W.W.L. Keerthipala, “Optimum operation strategy and economic analysis of a photovoltaic-diesel-batterymains hybrid uninterruptible power supply”, Renewable energy, vol. 22, 2001.

[3] Wies, R.W., Johnson, R.A., Agrawal, A.N., Chubb, T.J., “Economic analysis and environmental impacts of a PV with Diesel-battery system for remote villages”, IEEE General meeting of Power Engineering, Denver, Colorado, USA, June 2004.

[4] M. Ashari, C. V. Nayar, “An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system”, Solar energy, vol. 1, 1999.

[5] Ohsawa Y, Emurd S, Arai K, “Optimal operation of photovoltaic / diesel power generation system by neural network”, In : Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems. NNPS 93; 1993.

[6] Niknam T, Taheri SI, Aghaei J, Tabatabaei S, Nayerpour M.A “Modified honey bee mating optimization algorithm for multi-objective placement of renewable energy resources”, Applied Energy 2011;88:4817-30.

[7] Dufo-Lopez R, Bernal-Agustin JL, Yusta-Loyo JM, Dominguez-Navarro JA, Ramirez–Rosado IJ, Juan Lujano J, IslmaelAso I. “Multi-objective optimization minimizing cast and life cycle emissions of stand-alone PV- Wind-Diesel systems with batteries storage”, Applied Energy 2011;88:4033-41.

[8] Avril S, Arnaud G, Florentin A, Vinard M “Multi-objective optimization of batteries and hydrogen storage technologies for remote photovoltaic systems”, Energy 2010;35:5300-8.

[9] El-Hefnawi SH, “Photovoltaic diesel-generator hybrid power system sizing”, Renewable Energy, vol. 13, 1998.

[10] Eke R, Kara O,Ulgen K, “Optimization of a wind/PV hybrid power generation system”, Int J Green Energy 2005; 2(1):57-63.

[11] R. Dufo Lopez, J. L. Bernal-Agustin, "Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms", Solar energy, vol. 79, 2005.

[12] "Photovoltaic's systems; a buyer's guide. Natural resources Canada", Renewable and electrical energy Division, 580 Booth Street, 17th floor Ottawa, ont.KIA OE4.ISBNO-662-31120-5.

[13] Mann Mk, "Economics of renewable hydrogen it's about more than production", Renewable hydrogen energy forum, Washington.

[14] E. Iran Baring-Gould, L.Flowers, P.Lundsager, "Worldwide status of wind-diesel applications", Pre-Workshop Wind-Diesel 101, 2004, Anchorage, Alaska.

[15] Barlow, R and A.Derrick,"Solar pumping An Introduction and Update on the technology, performance Costs and Economics", World Bank Technical Paper Number 168. London: Intermediate technology Publication, 1993.

[16] M. Elhassan, M. Fauzi, K. Sopian and A. A. Abass, "Design and performance of photovoltaic power system as a renewable energy source for residential in Khartoum", International Journal of the physical Science Vol. 7(25), pp. 4036-4042, June 2012.

[17] A. Das and V. Balakrishnan, "Optimized Hybrid Renewable Energy System in Indian Context", World Academy of Science, Engineering and Technology 67, 2012.

[18] E. A. Al-Ammar, N. H. Malik and M. Usman, "Application of Using Hybrid Renewable Energy in Saudi Arabia", ETASR-Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 1, pp. 84-89, 2011.

[19] D. Rekioua, Z. Roumila and T. Rekioua, "Etude d'une central Hybride Photovoltaïque/Eolien/Diesel", Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°4, pp. 623-633, 2008.

[20] H. Yang, W.Zhou, L.Lu and Z.Fang, "Optimal Sizing Method for Stand Alone Hybrid Solar/Wind System with LPSP technology by using Genetic Algorithm", Solar Energy 82, pp. 354-367, 2008.

[21] R. Chedid and S. Rahman, "Unit Sizing and Control of Hybrid Wind/Solar Power Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No. 1, March 1997.

[22] W.D. Kellogg, M.H. Nehrir, G.Venkataramanan and V. Gerez, "Generation Unit Sizing and Cost Analysis for Stand-Alone Wind, Photovoltaic, and Hybrid Wind PV Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, March 1998.

[23] F. Baghdadi, "Modélisation et Simulation des Performances d'une Installation Hybride de conversion d'Energies Renouvelables", Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou, 2011.

[24] Observ'ER, Quinzième inventaire, Edition 2013 ; http://www.energies-renouvelables.org/accueil-observ-er.asp.

[25] Yaël Thiaux, "Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides Évaluation du potentiel de la technologie Li-ion", thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan. Soutenue le 08 Juillet 2010.

[26] Synergrid, "Prescriptions techniques spécifiques de raccordement d'installations de production décentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution". Fédération des Gestionnaires de Réseaux électrique et Gaz en Belgique.

[27] Annexe de l'arrêté du 30 décembre 19991 relatif aux conditions techniques de raccordement au réseau public de transport des installations de production d'énergie électrique de puissance installée inférieur ou égale à 120 MW, d'EDF en France.

[28] European Photovoltaic Industry Association and Greenpeace. Solar Generation V. Report EPIA, 2008.

[29] R. Kaiser, "Optimized battery-management system to improve storage lifetime in renewable energy systems",Journal of Power Sources, vol.168:58–65, 2007.

[30] P. Li, "Formalisme pour la Supervision des Systèmes Hybrides Multi-Sources de Générateurs d'Energie Répartie : Application à la Gestion d'un Micro Réseau",PhDThesis, École Centrale de Lille, 2009.

[31] C. Lerouge, et al, Recherche & Industrie photovoltaïque (PV) aux Etats-Unis 2006, Sciences physiques Etats-Unis.

[32] Muller, J.-C., Electricité photovoltaïque, in BE 8578. 2007, Techniques d'ingénieur.

[33] Alonso, C, "Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie". 2003, Université PAUL SABATIER- Toulouse III.

[34] ACTU-ENVIRONNEMENT. Dictionnaire Encyclopédique. 2010 [cited; Availablefrom: http://www.actu-environnement.com].

[35] A. ABDELLI, "optimisation multicritère d'une chaine éolienne passive", thèse de doctorat, L'institut national polytechnique de Toulouse, p9-13,15 octobre 2007.

[36] P. Lundsager, H. Bindner, N. Clausen, S. Frandsen, L. H. Hansen, J. C. Hansen, "Isolated Systems with Wind Power", Riso-R-1256(EN), 2001.

[37] "La première pile à combustible installée en France ", Isabelle Duffaure-Gallais, CSTB Magasine, 1999.

[38] I. Kamwa, B. Saulier, "modélisation, simulation et régulation d'un réseau éolien/diesel autonome", Rapport N°IREQ4340, Varennes, Canada, 1989.

[39] B. Tounsi, "Etude comparative de groupes électrogènes embarqués à large gamme de vitesse variable associant une machine à aimants permanents et conversion statique", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique Toulouse, 2007.

[40] M. J. Ryan and R. D. Lorenz, "A Power-Mapping, Variable-Speed Control Technique for a Constant-Frequency Conversion System powered by a IC Engine and PM Generator", Conference Record of the 2000 IEEE, pp. 2376-2382 vol.4, Rome October 2000.

[41] Béguin, F. and E. Raymundo-Pinero, "nouveaux développements dans le domaine des supercondensateurs", in RE 92. 2008, Techniques de l'ingénieur.

[42] Taberna, P-L. and D. Pech. "Micro-supercondensateurs carbone-carbone de haute densité d'énergie", in journées SEEDS 2010. France.

[43] Caillon, G. Accumulateurs portables, in TI-e2140, Techniques de l'ingénieur.

[44] Robert, J. and J. Alzieu, Accumulateur au plomb, in TI-d3352, Techniques de l'ingénieur.

[45] Saft. Nickel-Cadmium (N_i-Cd). [cited; Available from: http://www.saftbatteries.com/Technologies Nickel NiCd 293/Language/fr-FR/Defalt.aspx.

[46] Amr. Khelif, “Etude technico-économique de l’hybridation de la microcentrale d’Afra par la filière photovoltaïque”,Mémoire de magister, 2008, USTHB.

[47] N. Oleksity, “Simulation, Fabrication et Analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrières interdigités”, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005.

[48] B. Wickert, C.V. Nayar and W.B. Lawrance, “Photovoltaic-Diesel Hybrid Energy Systems for Off-Grid Rural Electrification”, International Journal of Renewable Energy Engineering, Vol. 1, N°1, pp. 7 - 17, 1999.

[49] I.Vechiu, “Modélisation et Analyse De L’intégration Des Energies Renouvelables Dans Un Réseau Autonome”, thèse doctorale à l’université du Havre, P 14-15-16-27, décembre 2005.

[50] A. Laugier and J.A. Roger, “Les photopiles solaires”, Edition Technique et documentation, 1981

[51] A.Hamidat, B.Benyoucef, “Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems”, Renewable Energy 33 (2008), pp: 933-942.

[52] M. Maamir, “Gestion d’énergie d’un système d’entrainement électrique hybride base sur un moteur synchrone à aimants permanents”, Mémoire de Magister, Université de Biskra, 2014.

[53] D.S.H. Chan, J.R Philips and J.C.H. Phang, “A comparative study of extraction methods for solar cell model parameters”, Solid State Electronic, vol 29(3), pp 329-337, 1986.

[54] K. Helali, “Modélisation d’une cellule photovoltaïque : étude comparative”, Mémoire de Majister, Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.

[55] M. Boukli-haceneomar, “Conception et Réalisation d’un Générateur photovoltaïque Mini d’un MPPT Pour Une Meilleure Gestion Energétique”, Mémoire de Magister, Université Abou BakrBelkaid-Tlemcen, Décembre 2011.

[56] Yann Riffonneau, “Gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecté au réseau-Application à l’habitat”, thèse de Doctorat de l’université de Joseph Fourier, Soutenue le 23 octobre 2009.

[57] Damien Paire, "Dimensionnement et Gestion d'énergie de systèmes d'entraînements électriques hybrides : application à un ascenseur avec récupération d'énergie", Thèse de Doctorat de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Soutenue le 6 décembre 2010

[58] Olivier Gergaud, "Modélisation énergétique et Optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur", Thèse de Doctorat de l'Ecole Normale Supérieur de Cachan, Soutenue le 9 décembre 2002.

[59] Mohamed A. OuldYahya L, A. Ould Mahmoud L et I. Youm, "Modélisation d'un système de stockage intégrer dans un système hybride (PV/Eolien/Diesel)", Revue des Energies Renouvelables, CDER, Vol. 10N°2,2007.

[60] Hoang Anh Dang L, Caroline Guyoné, Benoit Delinchantl, Patrick Begueryé, Frédéric Wurtzl, "Gestion de l'énergie électrique dans l'habitat, cas du stockage électrochimique", rapport de Schneider Electric, juin 2012.

[61] RedhaSadoun, "Intérêt d'une Source d'énergie électrique hybride pour véhicule électrique urbain-dimensionnement et tests de cyclage", Thèse de doctorat de l'école centrale de Lille, Soutenue publiquement le 03/06/2013.

[62] MaamirMadiha, "gestion d'énergie d'un système d'entrainement électrique hybride basé sur unmoteur synchrone à aimants permanents", Mémoire de Magister de l'Université de Mohamed KhidarBiskra, Soutenue le 2014.

[63] Massé René, "Financer le développement de l'électrification rurale", Coll. Études et Travaux, série en ligne n°2, Éditions du Gret, 2004, www.gret.org, p 108.

[64] M. Muselli, G. Notton, A. Louche, "Design of hybrid photovoltaic power generator

with optimization of energy management", Solar Energy Vol. 65, No 3, pp 143-157.

[65] M. A. Elhadidy, S. M. Shaahid, "Parametric study of hybrid (wind+solar+diesel) power generating systems", Renewable Energy, Vol. 66, No. pp. 129-139, Elsevier Science 2000.

[66] M.Muselli, G. Notton, A. Louche, "Design of hybrid-photovoltaic power generator, with optimization of energy management", Solar Energy, Vol. 65, No. 3, pp. 143-157, Elsevier Science 1999.

[67] W. Kellogg, M.H. Nehrir, G. Venkataramanan, V. Gerez, "Optimal unit sizing for a hybrid wind/photovoltaic generating system", Electric Power Systems Research, Vol. 39, No. pp. 35-38, 1996.

[68] L. H. Hansen, P. Lundsager, "Review of relevant studies of isolated systems", Riso-R-1109 (EN) 2000.

[69] D.Turcotte, M. Ross, F. Sheriff, "photovoltaic hybrid system sizing and simulation tools: status and needs", PV Horizon: Workshop on photovoltaic hybrid systems, Montreal, 2001.

[70] Abouzahr I., RamakumarR,"Loss of power supply probability of stand-alone wind electric conversion systems", a closed solution approach. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 5, n° 3, pp. 445-452, 1990.

[71] I. Abouzahr, R. Ramakumarn, "Loss of power supply probability of stand-alone photovoltaic systems", a closed solution approach. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1991, vol. 6, n° 1, pp. 1-11.

[72] F.M.A. Ghali , M.M Abd El Aziz, F.A. Syam,"Simulation and analysis of hybrid systems using probabilistic techniques", Proceedings of the IEEE Power Conversion Conference (PCC) Nagaoka, 1997, pp. 831-835.

[73] F. Giraud, Z.M. Saameh."Steady-state performance of a grid-connected rooftop hybrid wind-photovoltaic power system with battery storage", IEEE Transactions on energy conversion, ISBN 0885-8969, 2001, vol. 16, n° 1, pp. 1-7.

[74] Enrico FABRIZIO. "Modélisation des systèmes multi énergies dans les bâtiments", Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, juillet 2008.

[75] S. Diafa, D. Diafb, M. Belhamelb, M. Haddadic, A. Louchea, "A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/Wind system", Energy Policy (2007), doi: 10.1016/j.enpol.2007.06.020.

[76] E. O fry and A. Brauntein, "the loss of Power Supply Probability as a Technique for Designing stand-alone solar electrical (Photovoltaic) Systems", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-102, N°5, pp. 1171-1175, May 1983.

[77] A. Kaabeche, M. Belhamel, R. Ibtiouen, S. Moussa .M. R. Benhaddadi, "Optimisation d'un système hybride (éolien – photovoltaïque) totalement autonome", Revue des Energies renouvelables. Vol. 9, N°3 (2006) 199 – 209.

[78] A.Hamidat, B.Benyoucef. Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage. Energy Policy 37 (2009) 1489–1501.

[79] B. Colin, "Groupe Electrogène de Secours", Technique d'Ingénieur D5180, février 1998.

[80] H. Nordin, "System Reliability, Dimensioning and Environmental Impact of Diesel Engine Generator Sets used in Telecom Applications", Lindemark, Ericsson Components, Sweden.

[81] T.Senjyu, D.Hayashi, A.Yona, N.Urasaki and T.Funabashi, "Optimal configuration of power generating systems in isolated island with renewable energy", Renewable Energy, vol. 32, pp. 1917-1933, 2007.

[82] B. Nelson, M.H. Nehrir, C. Wang, "Unit sizing and cost analysis of stand –alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems", Renewable Energy, vol.31, pp. 1641-1656, (2006).

[83] El-Hefnawi SH, "photovoltaic diesel-generator hybrid power sizing", Renewable Energy, Vol. 13(1), pp.33-40, (1998).

[84] T.Senjyu, D.Hayashi, A.Yona, N.Urasaki and T.Funabashi, "optimal configuration of power generating systems in isolated island with renowable energy", Renewable Energy, vol.32, PP. 1917-1933, 2007.

[85] B.S. Borrowy and Z.M. Salameh, "Methodology for Optimally Sizing the Combination Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 12, N°1, pp. 73 - 78, March 1997.

[86] H. Suryoatmojo, A.A.Elbaset,T.Hiyama, "Economic and reliability evaluation of Wind-Diesel-Battery system for isolated island considering CO2 emission", IEEJ Trans. PE, vol. 129(8), 2009.

[87]http://www.claverton-energy.com/talk-by-gregor-czisch-at-the-5th-claverton-energy-conference-house-of-commons-june-19th-2009.html

[88] R. Dufo-Lopez, J. L. Bernal-Agustin, "Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms", Solar Energy, vol. 79, pp. 33-46, 2004.

[89] P.Arun, Rangan Banerjee, Santanubandyopadhyay, "Optimum sizing of battery integrated diesel generator for remote electrification through design-space approach", Energy, vol. 33, pp. 1155-1168, (2008).

[90] Solar Lighting Controller Model LS-2, http://www.solarconverters.com

[91] C.Alonso, B.Estibals, H. Valderrama-Blavi, "An overview of MPPT (Maximum Power Point Tracking) controls and their future developments", 10th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC2002), Dubrovnik (Croatie), 9-11 Septembre 2002.

[92] S.M. Hakimi, S.M. Moghaddas-Tafreshi, "Optimal sizing of a stand-alone hybrid power system via particle swarm optimization for kahnouj area in south-east of Iran", Renewable Energy, vol. 34, pp.1855-1862, 2009.

[93] A.Y. Abdelaziz., F.M. Mohammed, S.F. Mekhamer, M.A.L. Badr, "Distribution systems Reconfiguration using a modified particle swarm optimization algorithm", Elect. Power Syst. Research, 2009.

[94] A. KashefiKaviani, G.H. Riahy, SH.M. Kouhsari, "Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/PV generating system considering component outages", Renewable Energy, vol.34, pp.2380-2390, (2009).

[95] Kaveb HD, Amir-Reza, A Madjid, T A, "new multi-objective particle swarm optimization method for solving reliability redundancy allocation problems", ReliabEngSystSaf 2013, 111:58-75.

[96] Coello CC, Lamont GB, Van-Veldhuizen DA "Evolutionary algorithms for solving multi objective problems", 2nd ed. New York, springer, 2007.

[97] D.L. Rodolfo and L.B.A. Jose "Multi-objective design of PV-Wind-Diesel-hydrogen-Battery systems", Renew Energy 2008; 33 (12):2559-72.

[98] S. Abedi, A. Alimardani, Gharehpetian, G.B. Riahy GH, Hosseinian SH, "A comprehensive method for optimal power management and design of hybrid RES-based autonomous energy systems", Renew Sustain Energy Rev 2012: 16(3):1577-87.

[99] H. Suryoatmojo, A.A. Elbaset,T. Hiyama, "Economic and reliability evaluation of Wind-Diesel-Battery system for isolated island considering CO2 emission", IEEJ Trans. PE, vol. 129(8), 2009.

[100] H. Yang, Wei Zhou, L Lu, Z Fang, "Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar-wind system with LPSP technology by using genetic algorithm", Solar Energy, vol. 82, 2008.

[101] E. A. Al-Ammar, N. H. Malik and M. Usman, "Application of Using Hybrid Renewable Eneergy in Saudi Arabia", ETASR-Engineering, Technology &Applied Science Research, Vol. 1, pp. 84-89, 2011.

[102] National Renewable Energy Laboratory (NREL), " HOMER the micro power optimization model fact sheet", pp.1-2, 2005.

[103] M.T.Iqbal, "A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland".Renewable energy, ISSN, 0960-1481.vol. 29, n° 2, pp. 277-289, 2004.

[104] S.M. Shaahid, Elhadidy M.A, "Technical and economic assessment of grid-independent of hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for commercial loads in desert environments ». Renewable and sustainable energy reviews, ISSN 1364-0321, 2007, vol. 11, n° 8, pp. 1794-1810.

[105] M. Beccali, Brunone, S. Cellura, M. Franzitta.V,"Energy, economicand environmental analysis on RET-hydrogen system in residential buildings", Renewable energy, ISSN 0960-1481, vol. 33, n° 3, pp. 366-382, 2008.

[106] J.K. Kaldellis, M. Simotas, D. Zafirakis, and E. Kondili, "Optimum autonomous photovoltaic solution for the Greek islands on the basis of energy pay-back analysis", Journal of Cleaner Production, vol.17:1311–1323, 2009.

[107] Givler T., lilienthal P, "Using HOMER software, NREL's micro power optimization model, to explore the role of gen-sets in small solar power systems",Technical Report NREL/TP-710-36744, May 2005.

[108] Fadhila Fodhil, "Performances des systèmes hybrides solaires-diesel dans l'électrification rural", Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab, Blida, 2011.

[109] MasoudSharafi, Tarek Y,ELMekkawy, “Multi-objective optimal design of hybrid renewable energy systemsusing PSO-simulation based approach”, Renewable Energy, 6867-6879, 2014.

[110] Mirjalili S, MirjaliliS. M , Lewis A,“Grey wolf optimizer”, Advances in Engineering Software 2014;69:46–61 .

[111] El-Fergany, A.A., Hasanien, H.M., 2015,“Single and multi-objective optimal power flow using grey wolf optimizer and differential evolution algorithms”, Elect.PowerCompon.Syst. 43, 1548e1559.

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA
FACULTE DES TECHNOLOGIES
D'EPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE

THESE

Présentée pour l'obtention du diplôme Doctorat LMD

Spécialité : Conversion d'énergie et entraînement électrique

Par
YAHIAOUI ADEL

COMMANDE, ANALYSE ET OPTIMISATION D'UNE CHAINE PHOTOVOLTAIQUE A BASE D'UN CONVERTISSEUR DE PUISSANCE

Soutenue le …/…/…

Devant le jury :

Président :**A. Tlemçani**Professeur, Université de Médéa

Directeur de thèse :**K. Benmansour**Professeur, Université de Médéa

Examinateurs :**F. Bouchafa**Professeur, Université de l'USTHB

A. Ferdjouni Maître de conférences A, Université de Blida

D. Boudana Maître de conférences A, Université de Médéa

Invité :**M. Tadjine**Professeur, ENP

Dédicaces

A ma famille, mes parents

mes frères et sœurs et leurs

enfants et A tous mes amis

Remerciements

Les travaux de recherche présentés dans ce mémoire ont été conjointement au sein du Laboratoire de Recherche en Electrotechnique et Automatique (LREA) à l'université de yahia fares de Medea et du Laboratoire de commande des processus (LCP) à l'Ecole Nationale polytechnique de EL-Harrach algérie.

Je remercie chaleureusement Monsieur Khelifa BENMANSOUR, Professeur à l'Université de Medea, directeur de thèse, pour avoir assuré de manière agréable le suivi de mon travail et pour m'avoir fait profiter de son expérience. Ses compétences scientifiques, ses conseils, sa disponubilité et sa qualité humaine ont largement contribué à l'aboutissement de ce travail.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance au Professeur Mohamed TADJINE, Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique de El-Hrrach, pour son soutien scientifique et humain tout au long de ce travail de recherche.

C'est un grand honneur & plaisir que Monsieur Tlamçani, Professeur à l'université de Medea préside le jury de ce modeste travail.

Je veux remercier d'une manière toute particulière Monsieur Bouchafa, Professeur àl'université de USTHB pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail en acceptant de l'examiner.

Mes remerciements s’adressent aussi à Monsieur Ferdjouni, Maître deConférences classe A à l’université de Blida, d’avoir accepté d’examiner cette thèse.

C’est un grand honneur que Monsieur Boudana, Maître de Conférences classe Aà l’Université de Medea soit membre de jury de cette thèse.

A toutes les personnes appartenant ou non au LREA et au LCP, qui ont contribué de prés ou de loin, directement ou indirectement à l’aboutissement de ce travail en particulier Madame Fodhil, doctorante à l’université de Blida, et Madame Cheggaga, Maître de Conférences classe B à l’Université de Blida, trouvez ici le témoignage de ma profonde reconnaissance.

Résumé

Notre avenir énergétique doit être basé sur des énergies non polluantes ayant des ressources importantes. Les énergies renouvelables sont les meilleurs candidats mais avec une production intermittente.

L'objectif des travaux présentés dans cette thèse est d'évaluer les performances d'un système autonome de production d'énergie électrique, couplant un champ photovoltaïque, un générateur diesel et un système de stockage composé de batteries. Une nouvelle approche de dimensionnement optimale et la simulation des systèmes d'énergie renouvelable hybride est proposée pour électrifier un site rural isolé en Algérie. L'optimisation par essaim de particules (PSO) algorithme a été appliquée pour minimiser simultanément le coût total du système, la probabilité de perte de charge (LLP) et les émissions de CO2 du système.

Une optimisation par loup gris (GWO) a été appliqué pour une conception optimal et minimiser le Coût totale du système hybride.

L'emploi de système d'énergie renouvelable hybride peut conduire à optimiser l'exploitation de la source renouvelable. L'interconnexion de plusieurs sources d'énergie renouvelable dans un système d'énergie hybride peut avoir une incidence profitable sur la production d'énergie électrique, en termes de Coût et de disponibilité.

Mots clés : énergie renouvelable hybride, émission CO_2, LLP, Coût, GWO, PSO.

ملخص

.إنتاج مع ولكن المرشحين أفضل هي المتجددة كبيرة. الطاقة موارد مع النظيفة الطاقة في لدينا الطاقة مستقبل يقوم أن يجب متقطع

حقل الكهربائية،واقتران الطاقة لتوليد مستقل نظام أداء هوتقييم الأطروحة هذه في عرضت التي الأعمال من الهدف الطاقة نظم ومحاكاة الأمثل للتصميم جديد أسلوب ويقترح البطاريات مع لتخزين ا ونظام الديزل، الضوئية،مولدات تطبيق تم (PSO) و انبعاثات من اجل تحسين الثمن الكلي للمشروع LLP و الضياع في الحمولةCO2.المتجددة واحد، وقت و خوارزمية

مصادرالطاقة بين للمصدرمتجدد. الربط لاستخداماالأمثل تحقيقا إلى يؤدي أن يمكن المتجددة للطاقة الهجين النظام استخدام توافرها ومدى التكلفة حيث الكهرباء،من بإنتاج تأثيرمفيدعل لها يكون أن يمكن الهجين الطاقة نظام في متعددة المتجددة

البحث: كلمات التكلفة, LLP،CO_2, المتجددة الهجينة الطاقة

Abstract

Our energy future must be based on clean energy with significant resources. Renewables are the best candidates but with intermittent production.

The objective of the work presented in this thesis is to evaluate the performance of an autonomous system of electric power generation, coupling a photovoltaic field, a diesel generator and a storage system with batteries. A new optimal design approach and simulation of hybrid renewable energy systems is proposed to electrify an isolated rural site in Algeria. The particle swarm optimization (PSO) algorithm was applied to simultaneously minimize the total cost of the system, the load loss probability (LLP) and CO2 emissions of the system.

The grey wolf optimizer (GWO) was applied for optimal concept and minimizes the total cost of hybrid system.

The use of hybrid renewable energy system can lead to optimize the use of the renewable source. The interconnection of multiple renewable energy sources in a hybrid energy system can have a beneficial impact on the production of electricity, in terms of cost and availability.

Keywords: hybrid renewable energy, CO2 emissions, LLP, Cost, GWO, PSO.

SOMMAIRE

Introduction générale……..1

Chapitre 1 : Etat de L'art sur les Systèmes d'Energies Renouvelables Hybrides …….5

1.1 introduction ……5
1.2 définition des systèmes hybrides ……5
1.3 Les réserves d'énergie mondiale …….....5
1.4 Tendance d'énergie mondiale …….....6
1.5 Les systèmes d'énergies renouvelables hybrides ……...8
1.6 Les systèmes photovoltaïques ……9
1.6.1 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau ……9
1.6.2 Systèmes photovoltaïques non connectés au réseau…….....10
1.6.2.1 Systèmes photovoltaïques autonomes ……...……...11
1.6.2.2 Systèmes photovoltaïques autonomes hybrides ……..12
1.7 Principaux composants des systèmes hybrides ……..13
1.7.1 Générateurs photovoltaïques ……..……13
1.7.2 Eoliennes.……..…….17
1.7.3 Piles à combustibles……...…..18
1.7.4 Générateur Diesel ……18
1.7.4.1 Groupe diesel fonctionnant à vitesse fixe…….....20
1.7.4.2 Groupe diesel fonctionnant à vitesse variable……..……20
1.7.5 Système de stockage ……20
1.7.6 Convertisseurs ……...22
1.7.7 La charge ……...23
1.7.8 Système de supervision…….23
1.8 Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides (PV/groupe électrogène)……24
1.8.1 Configuration série ……24
1.8.2 Configuration commutée ……..25
1.8.3 Configuration parallèle ……..…..26
1.9 Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des systèmes d'énergie hybride ……..27
1.10 Conclusion…….29

CHAPITRE 2 : Modélisation et Dimensionnement des Composants du Système Hybride……30

2.1 Introduction ……30

2.2 Modélisation des composants ……..30

2.2.1 Modélisation du générateur photovoltaïque ……..30

2.2.2 Modélisation du système de stockage ……..34

2.2.2.1 Equation électrique de charge et décharge……...35

2.2.2.2 Equation de l'état de charge…….35

2.2.3 Modélisation de la consommation en fuel du groupe électrogène ……..36

2.3 Dimensionnement des systèmes d'énergie hybrides……..37

2.4 Dimensionnement du système ……..39

2.4.1 Description de la méthode LPSP……...39

2.4.2 Application de la LPSP à l'installation PV ……..41

2.4.3 Dimensionnement du groupe diesel……..41

2.5 Modèle de simulation ……...42

2.4.1 Système photovoltaïque ……..42

2.4.2 Batterie de stockage ……..43

2.4.3 Générateurs diesel ……..43

2.6 Méthodologie adoptée ……44

2.7 Conclusion ……45

Chapitre 3: Dimensionnement et Gestion d'énergie du Système Hybride : Application au Site de Djanet…….46

3.1 Introduction ……...46

3.2. Présentation du site et ressources météorologiques ……..46

3.2.1. L'emplacement du système hybride ……..46

3.2.2 Les données météorologiques ……..47

3.3 Le profil de charge ……...47

3.4 Les différents éléments du système ……..48

3.4.1. L'onduleur ……..48

3.4.2 Les batteries ……..48

3.4.3. Régulateur de charge ……49

3.4.4. Générateur photovoltaïque ……..49

3.5 Dimensionnement du système ……..50

3.5.1. Dimensionnement du banc des batteries ……50

3.5.2 Dimensionnement du générateur photovoltaïque ……..50

3.6 Développement de l'approche proposé ……52

3.7 Résultats de dimensionnement ……..54

3.8 Simulation du comportementdu système ……54

3.9 Conclusion……58

Chapitre 4: Optimisation Multi-Objective et Dimensionnement Optimal d'un Système Hybride pour le Site d'Ilamane…….59

4.1 Introduction ……59

4.2 Configuration du system ……59

4.3 Cas étudié ……...60

4.4 Profil de charge ……..61

4.5 Méthodologie ……62

4.5.1 Optimisation par essaim de particules (PSO) ……62

4.5.2 La méthode de contrainte ……65

4.5.3 Probabilité de Perte de la charge et des émissions polluantes ……..65

4.6 Fonction objectif et modèle économique ……...66

4.7 Procédure d'optimisation ……...67

4.8 Application et résultats ……..69

4.9 La simulation du comportement par Homer ……..73

4.9.1 Présentation du logiciel…… ……..73

4.9.2 Description du système ……..74

4.9.3 Les caractéristiques de chaque composant du système ……..76

4.9.4 Résultats et discussions ……76

4.10 Production d'énergie annuelle ……77

4.11 Résultats économiques ……....79

4.12 Conclusion ……...81

Chapitre 5: Optimisation Mono-Objective et Conception Optimale par Loup Gris du Système Hybride: Application au site de Djanet (Illizi)……...……..83

5.1 Introduction ……83

5.2 Optimiseur de loup gris (GWO) ……...…..83

5.3 Description du problème ……...86

5.4 Application et résultat ……87

5.5 Analyse de sensibilité ……..91

5.5.1 Impact de l'efficacité de l'onduleur ……..91

5.5.2 Impact des variations de charge ……92

5.6 Conclusion ……...94

Conclusion générale ……95

Bibliographie ……98

Annexes……109

Annexe 1……109

Annexe 2……113

Annexe 3…….117

Annexe 4…….121

Nomenclature

A : Facteur d'idéalité relative au module.

A_p : Surface de panneaux photovoltaïque en (m^2)

ACS : Coût annuel du système.

ACC :Coût annuel du capital.

ARC : Coût de remplacement annuel.

AFC : Coût annuel en carburant des groupes électrogènes.

AOM : Coût d'entretien annuel d'opération.

AUT : Autonomie du système (Jours).

α, β, δ, w : Hiérarchie des loups gris.

C : Capacité utile totale de la batterie

C_{Batmax}: La capacité maximale (Ah).

C_{anntot} :Coût annualisé total.

C_{Batmin}: Capacité minimale (Ah).

$C_B(t-1)$: L'énergie stockée dans la batterie à l'heure précédente.

c_1 et c_2 : Paramètres de mise à l'échelle sociale

C_{cap} : Coût en capital de chaque composante

CO2 :Emission de gaz

C_{NPC} : Le présent coût net.

CRF :le facteur de récupération capital.

DOD : Profondeur de décharge.

$\vec{D}$: La distance entre la proie et les loups gris

E_{Bmin} : Seuil minimal de l'énergie disponible dans la batterie.

E_{def} : Energie électrique et énergie thermique.

E_{grid} : Energie provenant du réseau conventionnel.

E_{prim} : Energie primaire AC ou DC.

f_d : Facteur de décharge de la batterie.

E_f : Facteur d'émission.

f : Taux d'inflation annuel

gbest (j) : Représente la meilleure position globale dans l'essaim à l'itération k.

GWO: Optimisation par Loup Gris

N : Nombre d'années.

n_b : Nombre des batteries.

n_p : Nombre des cellules en parallèle.

n1 : Facteur de non idéalité de la jonction de la diode 1.

n2 :Facteur de non idéalité de la jonction de la diode 2.

N_{PV} : Nombre de modules photovoltaïques.

n_s : Nombre des cellules en série.

PCI_v : Energie contenue dans un litre de combustible.

P_L (t) : L'énergie demandée par la charge à une heure t.

I : Courant fourni par la cellule.

V : Tension aux bornes de la cellule.

i : Taux d'intérêt.

i' : L'intérêt du prêt en (%)

I_0 : Courant de saturation (Ampères).

I_m : Courant max(Ampères).

Isc : Courant de court-circuit (Ampères).

I01 : Courant de saturation de la diode 1.

I01 : Courant de saturation de la diode 2.

K : Constante de Boltzmann.

LPS: Loss of Power Supply.

LPSP : Loss of Power Supply probability.

LLP: Probabilité de perte de charge

P_{GE}^{0} : Puissance nominale du groupe.

PCI_V : Énergie contenue dans un litre de combustible.

Pm : Puissance électrique maximum du module dans les conditions standards (Wc)

Pbestj (k) : Représente la meilleure position de particule j à l'itération k.

PSO : Optimisation par essaim de particule.

q : Charge de l'électron.

Q_V^0 : Consommation à cette puissance nominale.

Q : Représente les ampères-heures emmagasinés ou restitués pendant l'intervalle de temps considéré.

$\frac{Q_V^0}{P_{GE}^0}$: Consommation spécifique du groupe.

R_i : Résistance de la batterie (Ω).

R_{proj} :Durée de vie de projet.

R_s : Résistance série du module (Ω).

R_{Sh} : Résistance parallèle du module (Ω).

r_1 et r_2 : Représentent des nombres aléatoires uniformes entre 0 et 1,

SFF : Facteur de fonds d'amortissement

t : Temps (s)

T : Température (°C).

T_a : Températures ambiantes (°C).

T_j : Température de la jonction (°C).

T_{ref} : Température de jonction de référence (298°Kelvin).

TU : Temps universel (h).

V_{bat} : Tension nominale de la batterie (volts).

V_d : Tension directe de conduction de la diode (volts).

V_g : Tension de gassing (volts).

V_m : Tension max (volts).

V_{oc} : Tension du circuit ouvert (volts).

w (j) : Le facteur de pondération pour la manipulation de l'impact de l'histoire présidente de vitesses sur la vitesse courant.

$\vec{X}$: La position du loup gris.

$\overrightarrow{X_p}$: La position de la proie.

$\vec{A}$, $\vec{C}$: Les coefficients des vecteurs.

y : Durée de vie des composants.

y_{rep} : Durée de vie des banques de la batterie dans l'année.

η_{bat} : Rendement de la batterie.

η_{Bch} : Rendement de charge de la batterie.

η_{GE} : Rendement du groupe électrogène.

η_{ond}: Rendement de l'onduleur.

η: L'efficacité de la batterie.

λ : Fiabilité des composants

Liste des tables

Table 3.1 Les caractéristiques électriques du module PV…….50

Table 3.2 nombre des panneaux PV en fonction de LPSP……55

Table 3.3 Pourcentage de production journalière……...56

Table 3.4 Bilan énergétique mensuel…….....56

Table 3.5 Bilan énergétique annuel…….56

Table 4.1 Résultats de dimensionnement par PSO……..73

Table 4.2 Bilan énergétique annuel……..74

Table 4.3 Bilan économique du système…….74

Table 4.4 Résultats de la production annuelle d'énergie pour les deux sources…….79

Tableau 4.5 résultats du bilan annuel des batteries…….79

Table 4.6 résultats du bilan annuel du convertisseur……...79

Table 4.7 Emissions des gaz polluants……80

Table 4.8 bilan économique annuel du système……..81

Tableau 5.1 Résultats de l'algorithme GWO de dimensionnement optimal par rapport à l'algorithme PSO …….89

Tableau 5.2 Coût capital annuel de chaque composant ……89

Table des figures

Figure 1.1 Les réserves d'énergie mondiale par rapport à la demande annuelle……6

Figure 1.2 La tendance mondiale en énergie …….7

Figure 1.3 les prévisions mondiales de la demande en énergie photovoltaïque pour l'année 2020 ……7

Figure 1.4 Structeur de la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde en 2012 ……10

Figure 1.5 Système photovoltaïque autonome…….12

Figure 1.6 Architecture électrique d'un système photovoltaïque autonome hybride……..12

Figure 1.7 Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque……13

Figure 1.8 Présentation des composants photovoltaïques……...14

Figure 1.9 Ensemble de cellules composées d'une association de 3 branches en parallèle ayant chacun 2 cellules en série……..15

Figure 1.10 Caractéristiques I(V) d'une cellule et du groupement de cellules de la figure 1.9……..15

Figure 1.11 caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule……16

Figure 1.12 Configuration du générateur diesel……19

Figure 1.13 diagramme de Ragone des systèmes électrochimiques rechargeables……....21

Figure 1.14 tableau comparatif des caractéristiques principales pour les différentes technologies……..22

Figure 1.15 système de supervision……..24

Figure 1.16 Système hybride PV - Diesel série ……..25

Figure 1.17 Système hybride PV - Diesel commuté ……26

Figure 1.18 Système hybride PV - Diesel parallèle …….27

Figure 1.19 Courbe du rendement d'un moteur diesel ayant une puissance nominale de 75 KW ……...28

Figure 2.1 Schéma équivalent d'un module photovoltaïque…….31

Figure 2.2 Evolution de la caractéristique I(V) du module PV en fonction de l'ensoleillement …...……...31

Figure 2.3 Evolution de la caractéristique I(V) du module PV en fonction de la température ……...……32

Figure 2.4 Modèle électrique équivalent à deux diodes de la cellule photovoltaïque…….33

Figure 2.5 Cellule électrochimique de base……..34

Figure 2.6 modèle équivalent électrique d'une batterie……35

Figure 2.7 Tension, courant et l'état de charge de la batterie en fonction du temps……36

Figure 2.8 la puissance journalière produite par le générateur PV en kWh pour le site de Djanet……43

Figure 3.1 localisation géographique du site de Djanet en Algérie……..47

Figure 3.2 Données annuelle d'ensoleillement pour le site de Djanet……..48

Figure 3.3 Données annuelle de température pour le site de Djanet…….48

Figure 3.4 Courbes de profils de charge horaires……...49

Figure 3.5 Organigramme du calcul……52

Figure 3.6 Configuration du système……53

Figure 3.7 organigramme de simulation du système hybride……...54

Figure 3.8 Energie mensuelle produite par GE……57

Figure 3.9 consommation mensuelle du fuel……57

Figure 3.10 Energie mensuelle photovoltaïque produite…….57

Figure 3.11 Energie mensuelle excès……...57

Figure 3.12 Capacité de stockage moyenne mensuelle en KWh…….57

Figure 3.13 Consommation journalière du groupe électrogène en fuel……...58

Figure 3.14 Energie journalière produite comparée avec la consommation……58

Figure 3.15 Heures de fonctionnement du GE……..58

Figure 3.16 Capacité de stockage moyenne journalière en kW/h…….58

Figure 4.1 configuration du système…….61

Figure 4.2 Données annuelle d'ensoleillement pour le site d'Ilamane……61

Figure 4.3 Données annuelle de température pour le site d'Ilamane……61

Figure 4.4 Courbe de profile de charge horaire……...62

Figure 4.5 organigramme du l'algorithme PSO……65

Fig. 4.6 Organigramme de la simulation-PSO……..69

Figure 4.7 Convergence d'optimisation du coût annuel du system par PSO……...71

Figure 4.8 Convergence d'optimisation d'émission de CO2 par PSO…….71

Figure 4.9 convergence d'optimisation de la perte d'énergie par PSO……71

Figure 4.10 Energie mensuelle produite par PV, générateur diesel et capacité de stockage moyenne……72

Figure 4.11 Energie annuelle produite pour chaque composant…….72

Figure 4.12 Coût des différents éléments du système optimisé par PSO……...73

Figure 4.13 Schéma du système……...76

Figure 4.14 Résultats de simulation…….78

Figure 4.15 Evaluation économique des coûts…….82

Figure 4.16 Evaluation économique des composants……..82

Figure 5.1 Hiérarchie des loups gris (la dominance diminue de haut en bas)……84

Figure 5.2 Positionner le mécanisme de mise à jour des agents de recherche et les effets de A sur celui-ci ……86

Figure 5.3 Attaquer la proie contre la recherche de proie ……86

Figure 5.4 Le processus et le pseudo code du GWO ……87

Figure 5.5 Organigramme d'optimisation par GWO ……..88

Figure 5.6 Convergence de l'optimisation du système de coûts annuel en utilisant l'algorithme PSO ……89

Figure 5.7 Convergence de l'optimisation du système de coût annuel en utilisant l'algorithme GWO ……...…89

Figure 5.8 Puissance journalière produite par le panneau PV ……89

Figure 5.9 Coûts des différents éléments optimisés par GWO ……90

Figure 5.10 Energie annuelle produite pour chaque composant ……90

Figure 5.11 La gestion de l'énergie du système hybride ……91

Figure 5.12 l'énergie quotidienne générée par les panneaux photovoltaïques et les DG par rapport à la consommation ……91

Figure 5.13 Gestion d'énergie du système PV……91

Figure 5.14 Gestion d'énergie du système GE ……91

Introduction générale

Face à l'épuisement des ressources énergétiques fossile et aux problèmes environnementaux causés par l'émission des gaz à effet de serre, lors de l'exploitation de ces ressources, des ressources énergétiques alternatives ont été développées et doivent continuer à l'être.

Le développement et l'exploitation des ressources énergétiques renouvelables et des systèmes de production décentralisés d'électricité d'origine renouvelable ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici une vingtaine d'années, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Il est intéressant de les exploiter sur le lieu de consommation, en les transformant directement soit en chaleur, soit en électricité selon les besoins. Cette production par sources d'énergies renouvelables offre une plus grande garantie d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant le caractère aléatoire de ces sources nous impose d'établir des règles de dimensionnement et d'utilisation de ces systèmes pour les exploiter au mieux.

La production d'électricité au moyen d'un système hybride combinant plusieurs sources d'énergie renouvelables est d'un grand intérêt pour les pays en développement, comme les pays de Maghreb. Ces pays possèdent de nombreuses régions, isolées éloignées des réseaux de distribution classiques d'électricité. Ainsi l'extension de ces réseaux serait d'un coût financier exorbitant. Pour résoudre ce problème, l'exploitation du potentiel en énergies renouvelables dont dispose ces pays doit être une priorité.

L'énergie solaire en Algérie représente un potentiel significatif. En effet, le pays reçoit plus que 3000h de soleil par an avec un niveau d'ensoleillement élevé. La moyenne annuelle d'ensoleillement solaire quotidienne varie de 5 à 7 kWh/m^2 dans la mesure où des surfaces inclinées aux angles optima sont considérées [1].

La distribution des systèmes photovoltaïques est due aux programmes nationaux qui ont été entrepris et financiers par le gouvernement. Le premier programme qui a été lancé en 1985 s'appelle 'le grand programme du sud d'énergie solaire'. Son but était d'installer les unités photovoltaïques autonomes pour différentes applications. La réalisation de ce programme a permis ce qui suit [1]:

- ✓ L'électrification de petits villages isolés dans le désert du Sahara.
- ✓ L'installation des systèmes photovoltaïques de pompage de l'eau.
- ✓ L'alimentation des récepteurs de télécommunication par des modules photovoltaïques dans les emplacements lointains.

L'électrification rurale dans les pays du sud est basée dans la majorité des cas sur les systèmes maisons solaires avec une utilisation limitée. Ce qui donne l'impression que les systèmes photovoltaïques visent une population pauvre. Les générateurs diesels génèrent plus d'électricité mais souffrent des coûts d'entretien et de la fourniture du fuel.

La partie relative à l'énergie renouvelable et la promotion de l'efficacité énergétique est un objectif important dans la politique énergétique nationale. Ainsi, également le stockage et la consommation d'énergie, en particulier l'électricité. La combinaison hybride des systèmes PV-diesel-batterie est économiquement réalisable dans de nombreux cas pour l'alimentation en énergie électrique dans des zones isolées où les compagnies d'électricité ne sont pas disponibles. Le système PV-Diesel a une plus grande fiabilité pour la production d'électricité qu'un système PV seul ou système diesel seul. Cela signifie que les systèmes d'alimentation hybrides ont une plus grande flexibilité, une plus grande efficacité et des coûts moindres pour la même quantité de production d'énergie [2]. En outre, l'intégration de l'installation photovoltaïque avec le stockage de la batterie et l'unité diesel comme un système de secours permet une réduction des coûts d'exploitation et de polluants émis dans l'atmosphère [3]. Plusieurs méthodes peuvent être trouvées dans la littérature pour la conception optimale du système hybride PV-Diesel-batterie [4, 5]. Mais il y a quelques œuvres qui tiennent compte de plus d'un objectif dans le problème d'optimisation des systèmes d'énergies renouvelables hybrides (HRES) en utilisant les algorithmes évolutionnaires (EA) [6, 7, 8].El-Hefnawi [9]présenté une méthode d'optimisation pour la conception du système hybride PV-Diesel-batterie. La méthode d'optimisation commence par la modélisation du générateur diesel et l'optimisation des PV et la taille de la batterie en termes de nombre minimum de jours de stockage et la zone de gamme minimum de PV. EkeR et al[10],développés un modèle mathématique linéaire pour minimiser le coût total d'un système hybride d'énergie renouvelable. Ils ne considérés que des panneaux solaires et des éoliennes et ont utilisé une méthode graphique pour résoudre le problème d'optimisation. Dufo-Lopez et Bernal-Agustin [11] développés l'optimisation hybride par les algorithmes génétiques (GA) qui les utilisés

pour déterminer le dimensionnement et le contrôle de fonctionnement d'un système PV-Diesel.

Le travail qui a été défini pour cette recherche concerne l'étude des performances d'une installation photovoltaïque hybride de conversion d'énergie renouvelable et d'évaluer ces potentialités en utilisant des sources renouvelable, un groupe électrogène comme générateur de secours et leurs hybridation avec des batteries et autres composant du système. Ce travail présente aussi une modélisation et simulation d'un système d'énergie renouvelable hybride, appliqué pour deux sites isolés : Djanet et Ilamane en Algérie. Optimisation multi objective et dimensionnement optimal du système hybride par PSO et GWO est considéré pour minimisé le coût total du système, la totale émission du CO_2 produite par le groupe électrogène ainsi que la probabilité de perte de charge (LLP).

L'algorithme d'optimisation par la loup gris (GWO) a été appliqué pour un dimensionnement optimal et minimise le coût total du système de production d'énergie renouvelable hybride dans le site de "Djanet". Les résultats obtenus par cette nouvelle méthode sont comparés avec l'algorithme d'optimisation par essaim de particules (PSO).

Dans ce contexte, cette étude constitue une contribution pour une meilleure intégration des sources d'énergie renouvelable dans un système d'énergie renouvelable hybride.

Afin d'accomplir au mieux cette étude, le présent mémoire est structuré en cinque principaux chapitres en plus de l'introduction générale et de la conclusion générale.

Le premier chapitre aborde le concept théorique de l'énergie solaire et décrit les différents composants et configurations des systèmes hybrides avec leurs inconvénients et leurs avantages.

Le deuxième chapitre aborde les différents modèles des constituants d'un système hybride (PV-diesel-Batterie) et le choix du modèle pour accomplir notre travail ainsi que l'exposition de la méthode choisie pour le dimensionner du système.

Dans le troisième chapitre, nous présentons les résultats de dimensionnement et la simulation du système hybride choisi, ainsi que l'algorithme de gestion d'énergie à l'aide d'un programme de simulation réalisé sous Matlab.

Dans le quatrième chapitre, nous présentons une optimisation multi objective et dimensionnement optimal par la méthode d'essaim de particule (PSO). Une comparaison des

résultats de la simulation obtenus par la méthode PSO et le logiciel HOMER est présentée, ainsi qu'une évaluation technico-économique du site rural désigné.

Dans le cinquième chapitre, la méthode d'optimisation par la loup gris (GWO) est appliqué pour déterminer la configuration optimal, et minimise le coût total du système hybride dans le site de Djanet. Les résultats obtenus par GWO sont comparé par la méthode PSO.

Enfin, les principaux résultats de ce travail de recherche et les perspectives qui en résultent sont donnés ainsi qu'une conclusion générale.

ANNEXE 1 : LES RESULTATS JOURNALIERS OBTENUS PAR MATLAB POUR LE SITE D'ILAMANE

Tableau 1 : Résultats journaliers Obtenus par Matlabde l'installation hybride à "Ilamane" pour les mois de Janvier, Février et Mars.

Janvier			Février			Mars		
Energie produite par PV (KWh)	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**	**Energie produite par PV (KWh)**	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**	**Energie produite par PV (KWh)**	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**
24.04	107.03	0.00	31.55	77.75	0.00	23.77	92.69	0.00
24.01	99.64	0.00	31.11	81.64	0.00	27.74	91.75	0.00
29.43	99.10	0.00	30.13	84.80	0.00	28.03	92.46	0.00
30.23	100.81	0.00	27.18	86.64	0.00	19.42	90.39	0.00
29.91	101.23	0.00	30.31	88.04	0.00	10.86	79.57	0.00
30.09	101.30	0.00	21.61	87.54	0.00	27.71	72.80	0.00
29.97	101.29	0.00	26.60	85.11	0.00	22.49	71.41	0.00
30.39	101.35	0.00	29.01	85.74	0.00	32.26	71.73	0.00
30.04	101.35	0.00	22.46	85.62	0.00	30.75	75.84	0.00
29.66	101.32	0.00	10.85	76.65	0.00	31.61	79.58	0.00
18.46	97.16	0.00	25.86	68.87	0.00	32.43	84.17	0.00
30.95	95.12	0.00	21.53	66.42	0.00	31.70	88.74	0.00
31.43	98.83	0.00	26.12	63.31	0.00	31.30	92.76	0.00
22.64	99.04	0.00	28.51	63.63	0.00	31.68	96.78	0.00
17.19	93.48	0.00	28.63	65.42	0.00	30.63	100.34	0.00
29.25	89.71	0.00	30.80	67.43	0.00	31.65	102.08	0.00
30.33	92.25	0.00	31.01	70.91	0.00	31.74	102.12	0.00
30.61	95.31	0.00	31.07	74.55	0.00	28.01	101.74	0.00
27.53	97.15	0.00	29.66	77.68	0.00	28.60	101.39	0.00
29.96	98.78	0.00	31.30	80.83	0.00	14.94	95.91	0.00
18.25	96.87	0.00	30.76	84.51	0.00	30.94	92.13	0.00
5.24	83.59	0.00	29.68	87.46	0.00	31.94	96.35	0.00
16.02	69.46	0.00	31.27	90.72	0.00	16.87	93.79	0.00
8.32	56.63	0.00	28.28	93.51	0.00	32.85	92.59	0.00
30.87	49.60	0.00	32.33	96.24	0.00	20.78	92.88	0.00
32.15	53.56	0.00	31.81	100.28	0.00	17.92	86.31	0.00
32.79	58.49	0.00	17.20	98.10	0.00	28.20	82.86	0.00
31.38	62.97	0.00	30.80	95.10	0.00	34.31	87.10	0.00
31.74	66.79	0.00	23.20	95.43	0.00	33.07	93.13	0.00
32.11	71.13	0.00				33.22	98.70	0.00
29.75	74.90	0.00				32.95	102.30	0.00
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
824.77	**87.59**	**0.00**	**800.60**	**82.07**	**0.00**	**860.37**	**90.40**	**0.00**

ANNEXE 1 : LES RESULTATS JOURNALIERS OBTENUS PAR MATLAB POUR LE SITE D'ILAMANE

Tableau 2 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Ilamane"pour les moisd'Avril, Mai et Juin.

Avril			Mai			Juin		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
32.04	102.56	0.00	28.93	99.22	0.00	26.18	71.47	0.00
31.79	102.49	0.00	30.16	100.08	0.00	27.02	69.80	0.00
21.17	98.69	0.00	21.31	98.00	0.00	26.05	68.27	0.00
27.58	95.36	0.00	28.83	95.08	0.00	18.11	62.93	0.00
31.67	96.63	0.00	33.24	97.06	0.00	24.84	56.69	0.00
21.79	94.29	0.00	31.70	100.66	0.00	27.29	54.62	0.00
34.04	94.33	0.00	31.00	102.56	0.00	25.55	53.02	0.00
34.37	99.34	0.00	31.89	102.83	0.00	26.53	50.73	0.00
34.45	102.66	0.00	30.27	102.55	0.00	26.28	49.07	0.00
34.37	102.77	0.00	34.10	102.74	0.00	25.90	47.02	0.00
32.86	102.83	0.00	29.28	102.56	0.00	25.01	44.49	0.00
32.25	102.81	0.00	30.67	102.48	0.00	26.49	42.18	0.00
29.90	101.93	0.00	29.99	102.30	0.00	26.25	40.39	0.00
32.14	102.87	0.00	29.48	102.19	0.00	24.89	38.06	0.00
31.73	102.81	0.00	30.21	102.24	0.00	22.39	35.80	1.32
29.19	102.41	0.00	28.27	102.02	0.00	23.27	36.36	1.98
29.15	102.22	0.00	29.79	102.04	0.00	20.52	35.02	1.98
29.45	102.25	0.00	27.90	102.06	0.00	18.13	35.23	3.29
33.15	102.93	0.00	28.25	101.41	0.00	24.72	36.17	0.66
34.85	102.81	0.00	26.72	100.53	0.00	24.23	36.79	1.32
33.96	103.17	0.00	28.37	99.63	0.00	22.29	36.23	1.98
32.90	103.01	0.00	26.64	98.70	0.00	22.93	36.87	1.98
31.81	102.75	0.00	25.45	96.68	0.00	24.03	36.52	1.32
31.81	102.63	0.00	22.60	93.07	0.00	24.95	36.80	0.66
30.10	102.54	0.00	26.56	89.15	0.00	25.29	37.51	1.32
30.90	102.66	0.00	29.87	88.83	0.00	22.75	36.05	1.32
27.72	102.10	0.00	25.77	88.28	0.00	22.60	36.55	1.98
28.25	101.26	0.00	24.82	85.29	0.00	22.27	35.65	1.32
26.13	100.05	0.00	23.92	82.09	0.00	20.74	35.62	2.63
28.35	99.07	0.00	23.39	77.64	0.00	25.64	37.95	1.32
			25.56	74.30	0.00			
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
919.86	**101.14**	**0.00**	**874.93**	**96.59**	**0.00**	**723.12**	**44.33**	**26.34**

ANNEXE 1 : LES RESULTATS JOURNALIERS OBTENUS PAR MATLAB POUR LE SITE D'ILAMANE

Tableau 3 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Ilamane" pour les mois de Juillet, Aout et Septembre.

Juillet			Aout			Septembre		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
10.99	34.16	4.61	24.26	37.28	1.32	28.35	39.12	0.00
17.32	35.44	3.29	30.63	39.80	1.32	29.30	39.29	0.00
18.67	34.53	2.63	30.49	42.22	0.00	28.96	40.01	0.00
21.40	36.31	1.98	30.19	43.93	0.00	29.26	40.49	0.00
25.94	37.70	1.32	30.08	45.43	0.00	31.01	41.64	0.00
25.78	37.49	0.66	27.20	45.94	0.00	29.69	43.39	0.00
17.70	34.79	2.63	28.77	45.28	0.00	25.09	42.88	0.00
18.40	35.14	2.63	30.10	45.96	0.00	27.05	40.36	0.00
18.02	35.81	3.29	29.80	47.31	0.00	31.04	40.34	0.00
25.69	37.53	1.32	15.91	43.19	0.00	30.80	42.42	0.00
26.08	37.45	0.66	26.17	37.42	0.66	29.89	44.17	0.00
26.33	37.57	0.66	28.80	38.55	0.66	31.24	45.71	0.00
24.06	36.85	0.66	30.10	39.65	0.00	32.19	48.43	0.00
24.52	37.02	1.32	29.05	40.72	0.00	32.51	51.72	0.00
19.23	35.57	2.63	29.73	41.55	0.00	30.20	54.27	0.00
26.43	38.11	1.32	30.04	42.81	0.00	28.41	55.19	0.00
27.21	38.57	0.66	29.31	43.96	0.00	25.40	53.81	0.00
28.33	39.74	0.66	27.34	44.03	0.00	26.81	51.66	0.00
26.47	39.46	0.00	24.76	41.98	0.00	26.88	50.24	0.00
23.05	36.74	0.66	22.41	38.07	0.00	24.48	47.41	0.00
15.03	34.33	3.95	27.19	37.93	1.32	27.01	45.37	0.00
27.35	37.26	0.66	26.26	38.35	0.66	15.25	38.88	1.32
27.14	38.22	0.66	19.26	35.94	1.98	22.60	37.53	1.32
26.44	38.54	0.66	19.70	35.86	2.63	22.89	36.39	1.98
26.73	38.67	0.66	29.11	39.14	1.32	27.86	39.08	1.32
23.41	37.96	0.66	29.00	40.25	0.00	29.25	39.50	0.00
23.28	37.15	1.32	28.61	40.66	0.00	27.08	39.39	0.00
15.23	34.09	3.95	26.07	40.00	0.00	30.19	39.24	0.00
18.22	35.48	3.29	22.10	36.39	0.66	30.61	40.83	0.00
24.98	38.08	1.32	25.70	37.39	1.32	30.12	42.36	0.00
23.88	37.52	0.66	27.48	38.85	1.32			
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
703.32	**36.88**	**51.35**	**835.62**	**40.83**	**15.14**	**841.42**	**43.70**	**5.93**

ANNEXE 1 : LES RESULTATS JOURNALIERS OBTENUS PAR MATLAB POUR LE SITE D'ILAMANE

Tableau C4 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Ilamane" pour les mois d'Octobre, Novembre et Décembre.

Octobre			Novembre			Décembre		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
37.16	43.56	0.00	30.17	98.66	0.00	29.66	75.27	0.00
31.79	46.55	0.00	29.53	99.47	0.00	21.98	73.43	0.00
18.37	50.24	0.00	31.91	100.43	0.00	22.77	67.57	0.00
18.85	52.78	0.00	27.41	102.85	0.00	23.54	63.35	0.00
33.03	53.39	0.00	24.02	104.02	0.00	22.68	60.90	0.00
35.69	54.19	0.00	22.52	103.15	0.00	18.11	61.83	0.00
34.94	55.65	0.00	20.76	102.36	0.00	13.40	53.43	0.00
30.67	57.29	0.00	14.46	93.28	0.00	24.14	52.33	0.00
18.20	60.12	0.00	26.32	89.54	0.00	28.60	51.64	0.00
20.63	63.73	0.00	16.14	80.39	0.00	28.76	50.68	0.00
33.65	65.13	0.00	31.16	78.25	0.00	26.54	49.12	0.00
33.71	65.22	0.00	29.81	79.06	0.00	27.76	47.09	0.00
34.36	65.77	0.00	26.95	78.11	0.00	19.81	42.59	0.00
30.47	66.97	0.00	14.88	72.71	0.00	25.67	38.36	0.66
17.31	69.35	0.00	31.14	64.98	0.00	25.97	38.25	1.32
19.98	72.12	0.00	28.40	67.09	0.00	19.91	38.07	0.66
32.75	72.79	0.00	24.08	69.58	0.00	17.26	35.78	2.63
34.21	72.97	0.00	14.97	69.96	0.00	18.51	38.09	1.98
34.27	73.60	0.00	15.62	60.88	0.00	21.73	42.88	0.66
31.37	74.92	0.00	26.94	61.55	0.00	26.08	45.60	0.00
17.28	77.94	0.00	29.52	61.68	0.00	29.72	45.71	0.00
20.56	81.07	0.00	31.23	62.30	0.00	29.50	45.46	0.00
34.52	82.98	0.00	31.19	63.53	0.00	30.58	45.85	0.00
31.05	82.59	0.00	31.36	64.91	0.00	29.60	46.23	0.00
32.45	84.65	0.00	31.47	66.38	0.00	27.31	45.50	0.00
31.41	86.65	0.00	31.40	68.28	0.00	20.06	41.94	0.00
31.31	88.53	0.00	31.23	70.39	0.00	17.22	35.82	1.32
32.69	91.05	0.00	28.14	72.52	0.00	26.36	35.85	3.29
28.66	94.21	0.00	23.81	74.77	0.00	22.38	40.25	0.00
24.55	97.11	0.00	22.37	77.06	0.00	21.06	41.20	0.66
23.57	99.92	0.00				11.43	36.41	3.29
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
889.43	**71.07**	**0.00**	**778.88**	**78.60**	**0.00**	**728.10**	**47.95**	**16.46**

Chapitre 1 :

Etat de L’art sur les Systèmes d’Energies Renouvelables Hybrides

1.1 Introduction

Le terme « Système D'énergie Hybride » fait allusion aux systèmes de génération d'énergie électrique utilisant plusieurs types de sources. La combinaison des sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ou les petites centrales hydroélectriques peut constituer un complément ou une alternative aux groupes électrogènes diesels[12]. Les systèmes d'énergies hybrides sont généralement autonomes par rapport aux grand réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées mais la présence du générateur diesel dans ce type de système hybride autonome suscite certaines discussions quant aux notions de « propreté » et de durabilité [12,13]. L'objective de ce chapitre est de présenter les systèmes d'énergies renouvelables hybrides, les composants utilisés dans ces systèmes. Puis nous présentons les différentes configurations des systèmes hybrides ainsi que les avantages et les inconvénients chaque configuration.

1.2 Définition des systèmes hybrides

Un système d'énergie hybride est défini comme une installation qui utilise deux ou plus des technologies de la génération d'énergies : un ou plusieurs sources de production d'énergie classique (groupe diesel en général) et au moins une source de production d'énergies renouvelables. L'objective d'utiliser des technologies multiples est de réunir les avantages et les meilleurs caractéristiques opérationnelles de chaque système [14].

Les performances d'un système d'énergie hybride (rendement, durée de vie) sont influencées d'une part par sa conception, c'est-à-dire le dimensionnement des composants, le type de composants … etc., et d'une autre part par le choix de la stratégie de fonctionnement. Des paramètres permettant d'évaluer ces performances comme : l'économie de carburant, le coût du KW, le nombre et la durée des pannes, le nombre d'arrêts pour l'entretien…etc.

1.3 Les réserves d'énergie mondiale

Les réserves des ressources naturelles d'énergie mondiale telle que l'Uranium, le gaz, le pétrole et le charbon par rapport à la demande annuelle sont limités comme l'indique la figure 1.1[15]. Pour répondre au besoin mondial d'énergie, de nouveaux procédés de recherche sur l'énergie alternative sont accentués. L'un des énergies alternatives qui répond à cette demande, pour le moment, est l'énergie solaire. L'énergie solaire est disponible partout sur ma planète, à des degrés divers et entièrement renouvelable. Son apport est variable avec les jours et les saisons, mais elle est relativement prévisible.

L'énergie que reçoit la terre est énorme et durable à tel point que l'énergie totale consommée annuellement par le monde entier, est fournie dans un temps aussi court qu'une demi-heure.

Pour une journée ensoleillée, les radiations solaires sur terre atteignent 3000watts par mètre carré selon l'emplacement. Sur la figure1.1, en constatant l'énergie annuelle qu'on reçoit du soleil, il est très clair de dire qu'on doit utiliser cette énorme énergie.

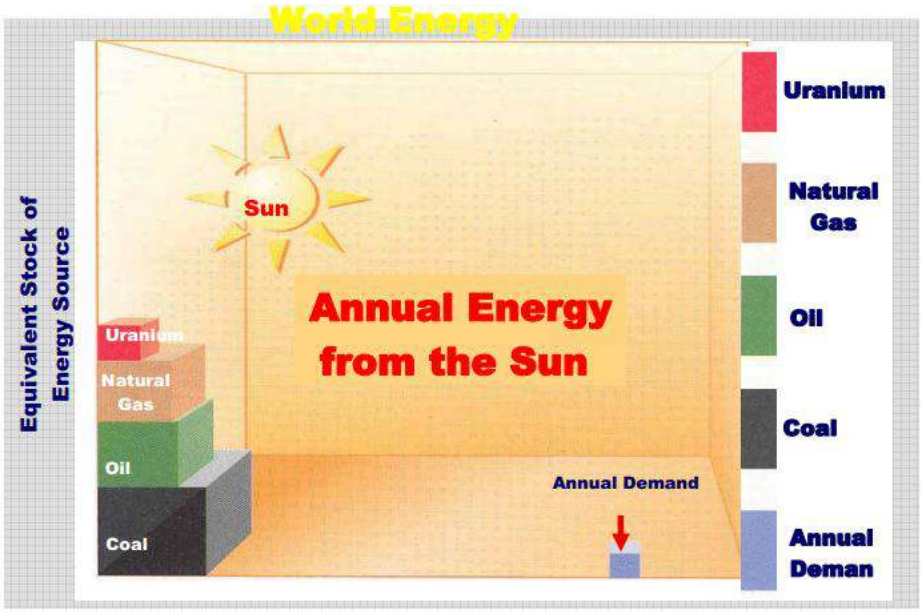


Figure 1.1Les réserves d'énergie mondiale par rapport à la demande annuelle [15].

1.4 Tendance d'énergie mondiale

Le monde est fortement convaincu par le fait que l'unique énergie alternative à l'énergie naturelle conventionnelle est l'énergie renouvelable, en particulier l'énergie solaire. Par conséquent, la plupart des pays du monde ont introduit l'énergie solaire dans leur politique énergétique. La figure 1.2 montre la tendance mondiale en matière d'énergie [15], on peut constater que pour l'année 2050, environ 50% de la production d'énergie, est de type renouvelable et 25% de cette énergie renouvelable sera de l'énergie solaire. Pour l'année 2100, environ 90% de la production d'énergie, sera renouvelable, 70% de ce pourcentage est de type solaire. On ce basant sur les deux pourcentages mentionnés précédemment, on peut dire que le marché de production d'énergie s'oriente dans la direction de l'énergie photovoltaïque.

La figure 1.3 montre les prévisions du besoin de la demande mondiale de l'énergie solaire jusqu'à l'année 2020. On peut constater sur la figure que l'Asie mène le monde avec 15,7 GW suivi par l'Europe avec 12,7 GW et les Etats-Unis avec 8,3 GW. La demande totale en énergie

photovoltaïque pour l'année 2020 est estimé à 49 GW comme mentionné sur le fond de la figure. En plus des pays mentionnés ci-dessus, cette estimation prend en considération le japon et le reste du monde.

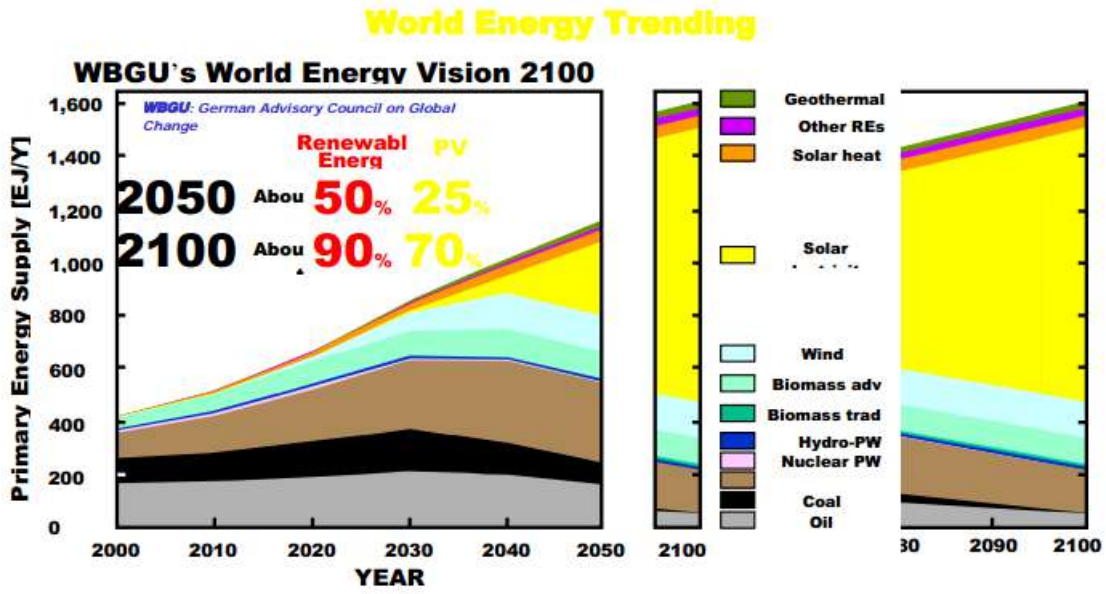


Figure 1.2 La tendance mondiale en énergie [15].

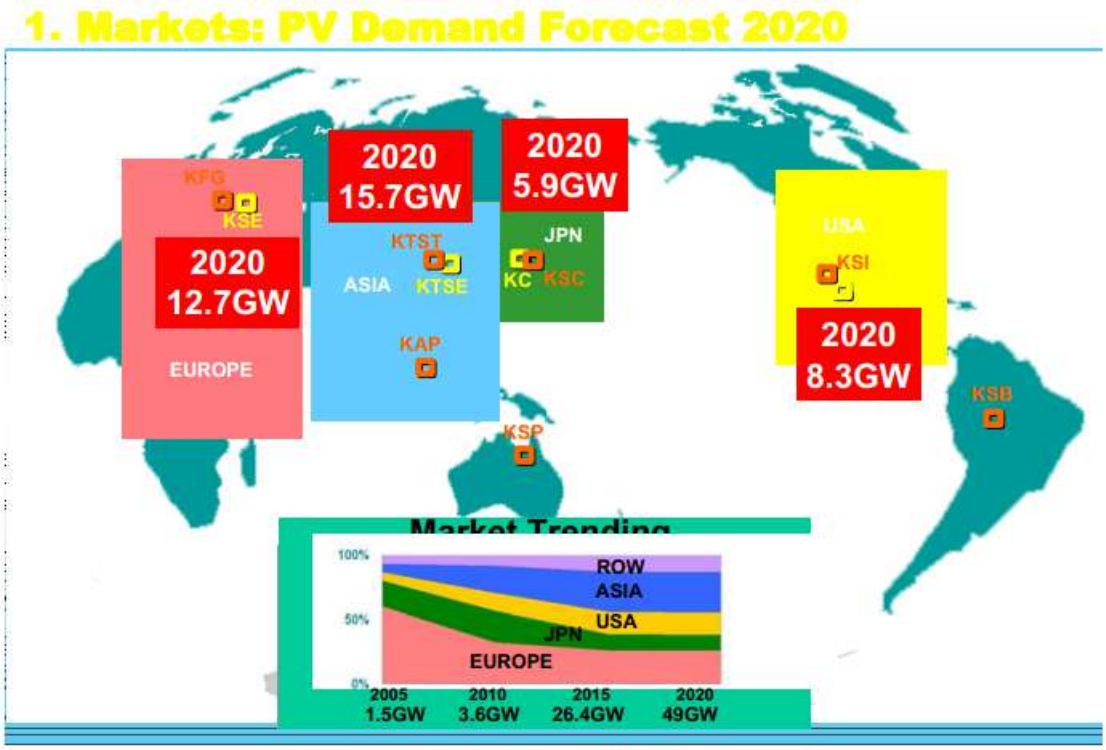


Figure 1.3 les prévisions mondiales de la demande en énergie photovoltaïque pour l'année 2020 [15].

1.5 Les systèmes d'énergies renouvelables hybrides

Pour les sites isolés et les zones éloignées du réseau électrique classique, la possibilité d'être connecter avec ce réseau reste un problème majeur au faite que le prix d'extension est prohibitif en parallèle avec l'augmentation de prix du combustible aussi. En évidence le prix des générateurs basés sur l'énergie renouvelable connaissent une baisse continue de prix au même temps une fiabilité croissante, ses avantages ont menés à une utilisation importante de génération de l'énergie électrique par les énergies renouvelables.

La relation qui mène ses énergies renouvelables au limite de l'utilisation à propos la variabilité des ressources et la fluctuation des charges selon les périodes annuelles et journalières liées aux conditions climatiques par exemple font l'objet d'une solution plus générale au niveau de la génération de l'énergie électrique, celle qui entraine une présence d'un système hybride de génération d'énergie rentre en application pour servir de l'énergie électrique aux relais de télécommunication, des postes frontières, l'habitat isolé, les dispensaires ...etc. plusieurs application et recherches peut y avoir connaitre dans des endroits déférents dans le monde entier. A Khartoum [16] pour une utilisation d'un système hybride afin d'alimenter des petits maisons, l'Inde [17] pour une intégration d'un système hybride dédie à fournir de l'énergie électrique pour des iles isolées et l'Arabie saoudite en [18] pour une étude présenté dans le cadre d'examiner la possibilité de l'utilisation d'un système hybride pour répondre au besoin de demande de l'énergie électrique à un petit village.

Dans [19] une étude complète d'un système hybride éolien/photovoltaïque/diesel autonome été présentés, les résultats ont été bien illustrées, préfèrent cette installation en comparaison avec d'autres installations basées sur une source renouvelable ou deux.

Plusieurs paramètres rentrent dans l'étude des systèmes hybrides, le dimensionnement de système est le premier a considéré, malgré que dans la littérature, il est difficile de trouver comment dimensionner les différents composants d'un système autonome. La plupart des ouvrages portent sur la théorie de base des technologies, mais rarement sur le dimensionnement précis des équipements de base (panneaux solaires, les éoliennes ou bien les génératrices). Les articles quant à eux ne fournissement pas ces informations, mais plutôt des informations très spécifiques sur l'étude réalisée et des comparaisons des résultats. Dans [20] on trouve une nécessité d'avoir une méthode d'optimisation pour garantir une efficacité de fonctionnement pour un système hybride autonome éolien/photovoltaïque. La méthode étudiée par les auteurs est basée sur l'algorithme génétique pour une optimisation parfaite du

système en comparaison avec les méthodes classiques utilisées. Un autre travail présenté par R. Chedid et al dans [21] donnons un outil qui aide a déterminé une bonne configuration d'un système hybride afin de bénéficier d'une construction optimale. Dans la même conception et dans [22], les auteurs ont fait apparaitre une méthode d'analyse pour l'optimisation du même système.L'architecteur, et même le choix de la stratégie de fonctionnement de système hybride peut aussi influencer sur l'image complète du système. D'autres paramètres permettent de faire évaluer les performances comme l'économie de carburant, le coût du KW, le nombre et la durée des pannes et le nombre d'arrêts pour l'entretien [23].

1.6 Les systèmes photovoltaïques

1.6.1 Systèmes photovoltaïques connectés au réseau

A l'heure actuelle, les consommateurs de l'énergie électrique sont surtout alimentés par des centrales électriques situées à de grandes distances. Ceci nécessite de longues lignes de transmission et réseaux de distribution. Ces réseaux d'alimentation fournissent au consommateur un courant alternatif présentant une fréquence et une tension pratiquement constantes (par exemple 230V pour 50Hz). Il est concevable de compléter ces infrastructures par des systèmes décentralisés de génération de chaleur et d'électricité. Cette alimentation en énergie décentralisée se caractérise par des unités d'alimentation relativement petites et situées à proximité immédiate du consommateur. Ceci permet de faire une exploitation plus intense de l'électricité permettant ainsi d'améliorer l'utilisation de sources d'énergie sur le terrain (en particulier les énergies renouvelables d'origine solaire, éolienne ou hydraulique ou encore celle issue de la biomasse). En résumé, on peut parler d'une augmentation de l'efficacité globale allant de pair avec une amélioration de la situation économique qui répond aux critères de durabilité. La figure 1.4 donne une idée de la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde.

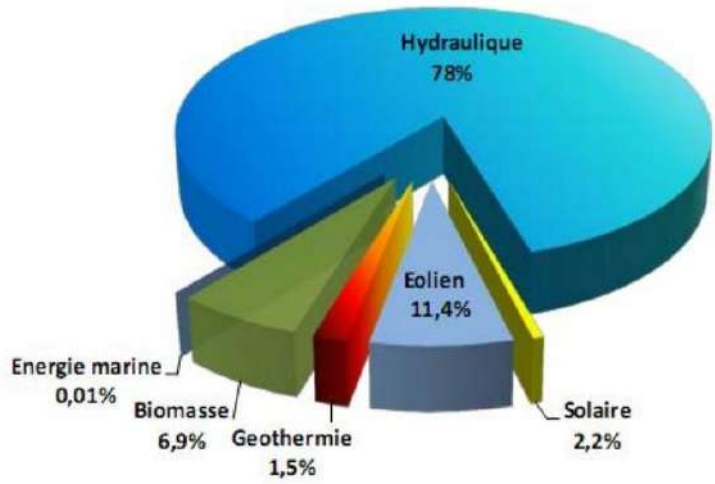


Figure 1.4 Structeur de la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde en 2012 [24].

Dans ce type d'application, la totalité de l'énergie produite est destinée à être revendue au distributeur d'électricité à un tarif de rachat préférentiel.

Les panneaux photovoltaïques débitent sur un bus de tension continue à travers un convertisseur dont le rôle est d'effectuer la conversion DC-AC et de faire en sorte que le générateur PV fonctionne toujours à son point de fonctionnement optimal (MPPT : Maximum Power Point Tracking). Les caractéristiques électriques des panneaux photovoltaïques étant liées aux conditions météorologiques, le convertisseur améliore la rentabilité du système global [25].

Les problèmes concernant l'interconnexion du système photovoltaïque au réseau sont [26, 27] :

- ✓ Le débrochage de système photovoltaïque si le réseau présente une défaillance.
- ✓ La protection contre la foudre.
- ✓ La qualité de puissance fournie au réseau.
- ✓ Les effets des systèmes multiples sur une partie du réseau, en particulier monophasé non équilibré.
- ✓ Le dosage fiable des flux de puissance.
- ✓ Risques techniques et financiers.

1.6.2 Systèmes photovoltaïques non connectés au réseau

Nous distinguons deux types de systèmes photovoltaïques non connectés au réseau. Le système Stand-Alone dans le cas où l'énergie photovoltaïque est l'unique source d'énergie du système. Le système photovoltaïque hybride dans le cas où d'autres dispositifs de production

sont utilisés en appui de la production photovoltaïque. Dans la majeure partie des cas, le mode de production d'appui est constitué d'un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Les systèmes photovoltaïques non connectés au réseau sont principalement utilisés dans les zones où le réseau électrique est très peu dense en raison du coût de raccordement prohibitif. L'énergie produite est destinée à être consommée sur place. L'électrification des sites isolés par systèmes photovoltaïques concerne l'habitat, mais aussi les applications stratégiques telles que les relais de télécommunication se trouvant éloignés des réseaux de distribution électrique [28].

1.6.2.1 Système photovoltaïque autonome

C'est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autre source d'énergie et qui alimentel'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique. Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries pour stocker l'énergie. Ils servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau. En règle générale, les systèmes PV autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique.

La seule production électrique de ce type de systèmes est d'origine photovoltaïque. Un schéma d'un système photovoltaïque autonome est représenté dans la figure 1.5. Du fait de la dé-corrélation entre production photovoltaïque et alimentation des charges du consommateur, un système de stockage est utilisé en tampon, celui-ci étant rechargé en cas de surplus de production et déchargé en cas de surconsommation.

En raison de sa maturité technologique et de son faible coût d'investissement, le moyen de stockage universellement répandu pour de telles applications est du type électrochimique Plomb-Acide [29]. Cependant, de nouvelles technologies sont actuellement envisagées comme celles au Lithium.

Les performances de ce type de système sont directement liées à son dimensionnement. Un sous-dimensionnement a notamment pour conséquences un vieillissement prématuré du système de stockage ainsi qu'un accroissement des délestages de consommation et de production alors qu'un surdimensionnement peut conduire à un surcoût économique.

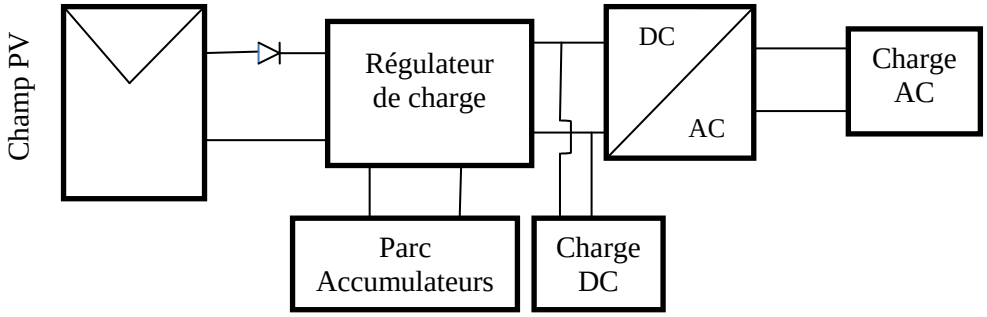


Figure 1.5 Système photovoltaïque autonome.

1.6.2.2 Système photovoltaïque autonome hybride

Dans ce type de système, un second producteur d'énergie (le plus souvent un Groupe Électrogène) est utilisé pour palier les insuffisances de la production photovoltaïque. L'idée étant de faire appel à l'énergie de ce producteur lorsque le système n'est plus en mesure de subvenir aux besoins du consommateur et/ou que l'état de charge de l'accumulateur est trop faible. La figure 1.6 représente une architecture possible d'un système photovoltaïque autonome hybride.

L'avantage de ce type de système est que, théoriquement, le consommateur ne se trouve jamais en situation d'être délesté, le groupe électrogène assurant la fourniture d'énergie lorsque la production PV est insuffisante (sauf dans le cas où le réservoir du groupe électrogène est vide). Les coûts d'investissement des panneaux photovoltaïques et du système de stockage peuvent être minimisés ; par contre, les coûts de fonctionnement principalement liés au prix du combustible du groupe électrogène sont plus importants que pour un système autonome non hybride [25].

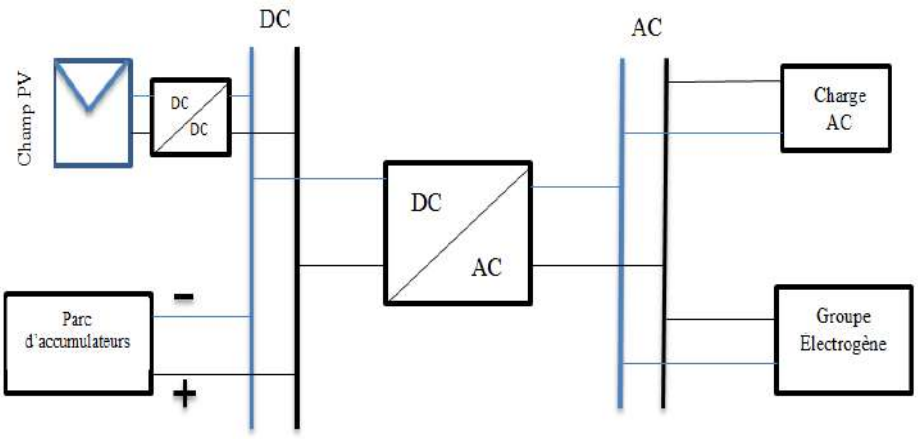


Figure 1.6Architecture électrique d'un système photovoltaïque autonome hybride.

1.7 Principaux composants des systèmes hybrides

Les systèmes d'énergie hybride sont généralement constitués de sources d'énergie classique (générateur diesel), de sources d'énergie renouvelable (éolienne, solaire). Ils peuvent aussi conclure d'autres sources d'énergie comme l'énergie hydroélectrique, marémotrice, géothermique etc., des convertisseurs statiques et dynamiques, des systèmes de stockage (batterie, volant d'inertie, le stockage hydrogène…), des charges principales et délestages et un système de surveillance.

1.7.1 Générateurs photovoltaïques

Une cellule élémentaire composée de matériaux semi-conducteurs est capable de convertir l'énergie de photons reçus à sa surface en une différence de potentiel, créée par une délocalisation d'électron dans le matériau. La circulation des électrons dans le circuit extérieur permet à la cellule PV de fonctionner comme un générateur.

Les cellules PV sont combinées ensemble pour former un module PV qui peut produire une certaine quantité d'énergie sous des conditions d'éclairement et de température variables. Par la suite les modules PV peuvent êtreregroupés à leur tour afin de former un générateur PV. Il est dimensionné selon la puissance nécessairepour une installation donnée [30].

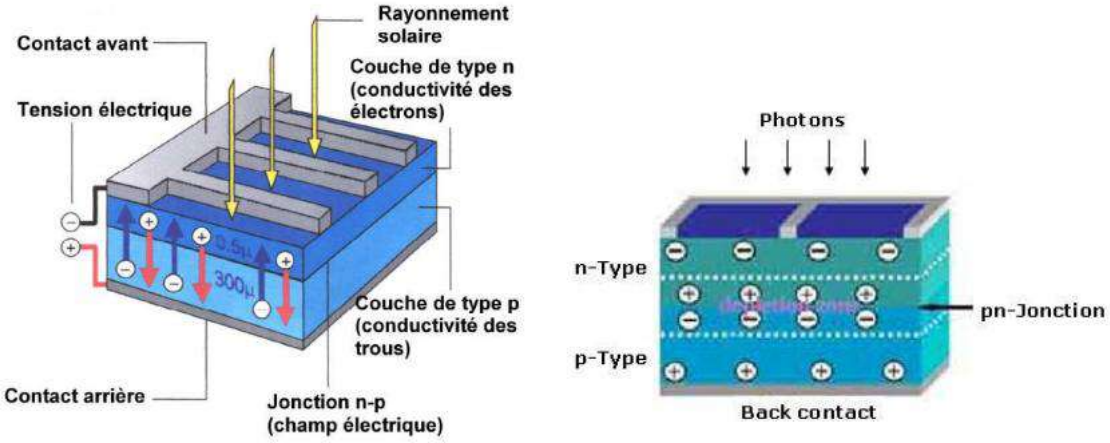


Figure 1.7 Jonction P-N dans une cellule photovoltaïque [31, 32].

Le rendement énergétique d'un module dépend de la nature des matériaux utilisés. Les valeurs communément rencontrés sont de l'ordre (13 à 16% pour les cellules composées de

silicium monocristallin, 11 à 13% avec du silicium polycristallin et 7 à 8 avec silicium amorphe).

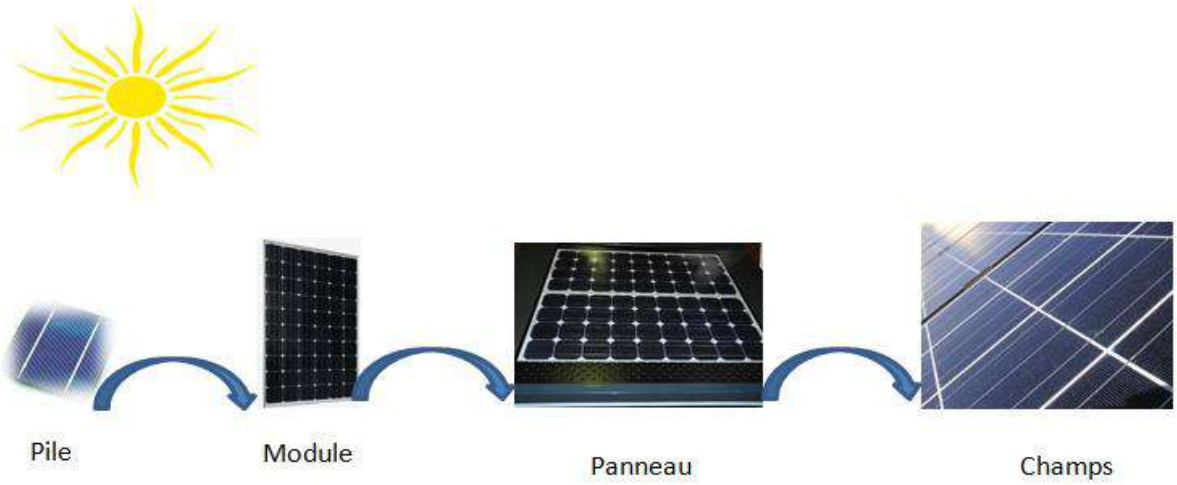


Figure 1.8 Présentation des composants photovoltaïques.

- **Caractéristique d'un module**

Voici la description des paramètres d'un module photovoltaïque:

➢ **La puissance crête P_c:** Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (température de 25°C et un éclairement de 1000 W/m²).

➢ **La caractéristique I (V) :** Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.

➢ **Tension à vide V_{oc}** : Tension aux bornes du module en absence de tout courant, pour un éclairement " plein soleil ".

➢ **Courant de court-circuit I_{sc} :** Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".

➢ **Point de fonctionnement optimum (V_m, I_m) :** Lorsque la puissance de crête est maximum en pleinsoleil, $P_m = V_m . I_m$

➢ **Rendement maximal :** Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.

➢ **Facteur de forme :** Rapport entre la puissance optimale Pm et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{oc} . I_{sc}$.

- **Propriété du générateur photovoltaïque**

Pour un éclairement homogène et une même température, en associant des cellules PV identiques en série on augmente la tension (la tension résultante est la somme des tensions de

chaque cellule). Si on les associe en parallèle, on augmente le courant résultant (l'intensité résultante est la somme des intensités de chaque ligne de cellules), on peut ainsi constituer un générateur PV adapté aux applications visées.

Comme pour la cellule simple, les caractéristiques électriques d'un panneau photovoltaïque dépendent de la température et de l'éclairement de façon générale, de son environnement (orientation et inclinaison, état de surface, ombres partielles).

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit (I_{CC}) et de tension à vide (V_{CO})sont plus ou moins importantes. A titre d'exemple, la figure 1.10 présente la caractéristique d'une cellule d'un ensemble de cellules composé d'une association de 3 branches en parallèle ayant chacune 2 cellules en série (Figure 1.9).

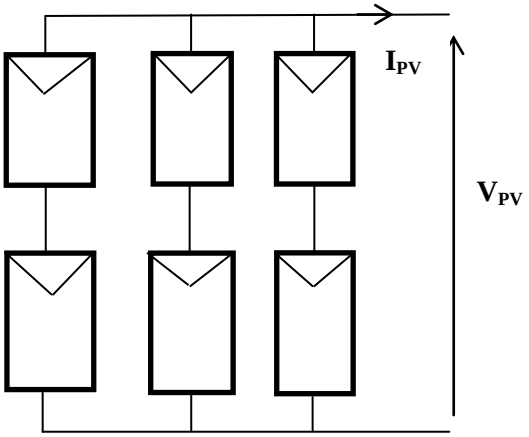


Figure 1.9 ensemble de cellules composées d'une association de 3 branches en parallèle ayant chacun 2 cellules en série.

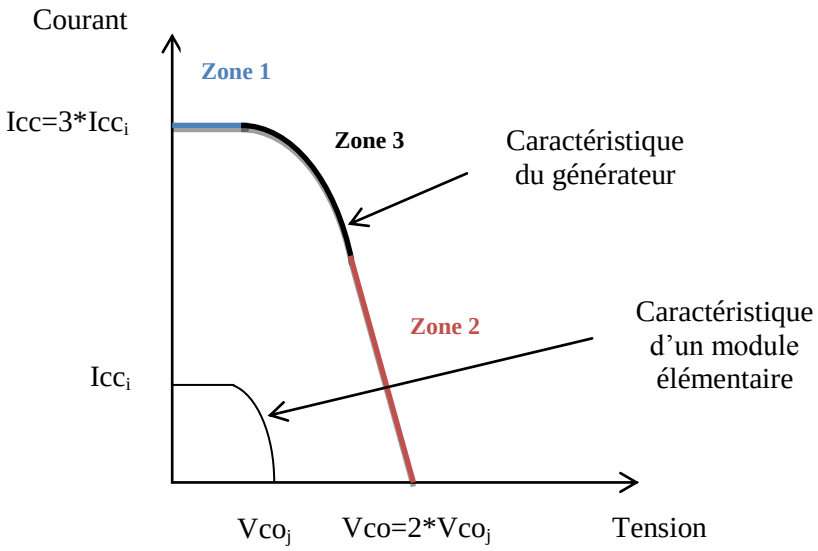


Figure 1.10 caractéristiques I(V) d'une cellule et du groupement de cellules de la figure 1.9 [33].

La caractéristique d'un générateur PV constitué de plusieurs cellules a une allure générale assimilable à celle d'une cellule élémentaire, sous réserve qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule et que l'irradiation et la température soient uniformes.

Nous pouvons décomposer la caractéristique I(V) d'un générateur photovoltaïque en 3 zones (figure 1.12) :

- ✓ Une zone assimilable à un générateur de courant I_{CC} proportionnel à l'irradiation, d'admittance interne pouvant être modélisée par $\frac{1}{R_{sh}}$ (Zone 1).
- ✓ Une zone assimilable à un générateur de tension V_{CO} d'impédance interne équivalente à R_s (Zone 2).
- ✓ Une zone où l'impédance du générateur varie fortement de R_s à R_{sh}(Zone 3).

C'est dans la Zone 3 qu'est situé le point de fonctionnement pour lequel la puissance fournie par le générateur est maximale. Ce point est appelé point de puissance maximale, caractérisé par le couple (I_{mp}, V_{mp}), et seule une charge dont la caractéristique passe par ce point, permet d'extraire la puissance maximale (P_{max}) disponible dans les conditions considérées (figure 1.10) [33].

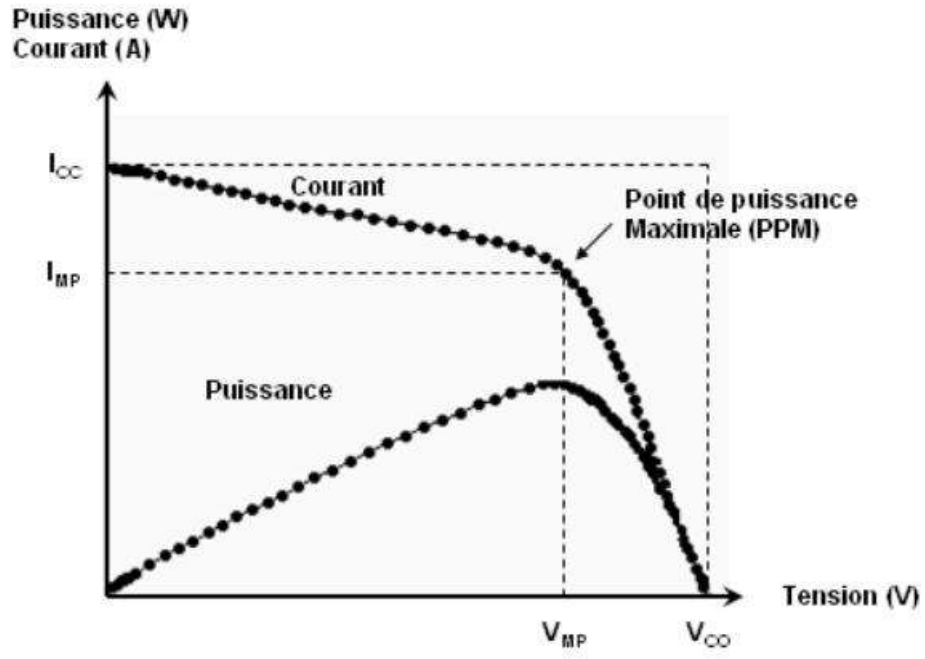


Figure 1.11 caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule.

Le Watt crête (W_C) caractérise la puissance d'un panneau photovoltaïque. La puissance crête représente la puissance délivrée par le panneau au point de puissance maximum [34].

Cette unité est utilisée généralement pour la comparaison du rendement et du prix des produits photovoltaïques. Elle est généralement donnée dans les documents constructeurs dans les conditions standard (1000w/m^2, 25°C).

1.7.2 Eoliennes

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est du indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Un aérogénérateur (éolienne) est une machine qui utilise l'énergie éolienne pour produire de l'énergie électrique. La technologie des aérogénérateurs a énormément évoluée ces 20 dernières années entrainant une spécialisation des différents types d'éolienne.

Le petit éolien désigne les éoliennes de petites et moyennes puissance, de 100 W à 20 kilowatts, montées sur des mats de 10 à 35 mètres, raccordés au réseau ou bien autonomes en site isolé. Le petit éolien est utilisé pour produire de l'électricité et alimenter des appareils électriques (pompe, éclairage, …) de manière économie et durable, principalement en milieu rural. Par exemple, une petite éolienne accompagnée d'un module solaire photovoltaïque et d'un parc de batteries peut garantir l'autonomie énergétique d'un voilier (éclairage, instruments de bord…).

L'élément essentiel pour qu'une petite éolienne soit économiquement rentable est le vent, qui doit être à la fois puissant et fréquent. Les petites éoliennes classiques sont généralement à axe horizontal. Elles comprennent le plus souvent deux à trois pale [35]. Les petites éoliennes peuvent avoir un système mécanique de modification de l'angle de calage des pales ou d'orientation face au vent, alors que les grandes éoliennes utilisent des systèmes de commande électroniques. Les différents types de protections utilisées par les petits systèmes éoliens sont :

- ✓ Basculement (relèvement) de l'axe, normalement horizontal [36].
- ✓ Pas variable par pression du vent. Les pales en fibre se déforment et provoquent undécrochage.
- ✓ Déviation par rapport à l'axe du vent. Le rotor se trouve légèrement décalé par rapport à l'axe de rotation et crée une force de déviation qui régule la puissance aérodynamique.

- ✓ La configuration électrique d'un aérogénérateur a une grande influence sur son fonctionnement. Cette configuration basée sur la caractéristique de la vitesse. Le fait qu'une éolienne fonctionne à vitesse fixe ou à vitesse variable dépend par exemple de cette configuration.

1.7.3 Piles à combustibles

Permis les technologies envisagées pour l'avenir en termes de production d'énergie électrique décentralisée, la pile à combustible est considéré comme une solution très prometteuse [37].

Ce convertisseur d'énergie, à la fois propre et efficace, permet de convertir l'énergie chimique de l'hydrogène, vecteur énergétique fortement pressenti pour le futur par de grands spécialistes mondiaux au vu de son énergie massique 3 fois plus important que l'essence, en une énergie électrique, utilisable directement et une énergie thermique qu'il est possible de valoriser. L'utilisation de cette cogénération permet d'atteindre des rendements très intéressants, jusqu'à 80% dans certains cas.

Les piles à combustible (PAC), générateurs statiques d'électricité et de chaleur. Deux technologies sont actuellement prometteuses et connaissent d'intenses efforts de R&D. d'une part les PAC à membrane polymère PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) fonctionnant à des températures basses comprises entre 50 et 90°C qui sont les plus développées. Le rendement en électricité, supérieur à 80% en théorie, et supérieur à 50% en pratique. D'autre part les PAC à oxydes solides SOFC (Solid Oxyde Fuel Cell) fonctionnant à des températures supérieures à 600°C ce qui implique un moins haut rendement mais permet de valoriser la chaleur produite en cogénération.

1.7.4 Générateur Diesel

Dans le cas des installations à sources d'énergie renouvelables autonomes. Il est nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un système d'énergie hybride, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone. La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse (régulateur de vitesse)sur le moteur diesel [38].

Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constante. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré.

- **Fonctionnement:**

Ils fonctionnent à partir de tous les carburants. Les plus fréquent sont l'essence, le gazole, le gaz naturel, le GPL, les biocarburants et pour les plus puissants le fuel lourd. Le groupe peut être mis en fonctionnement de différentes manières : manuellement, électriquement ou grâce à l'air comprimé selon leur puissance.

Le rendement des groupes électrogènes croît avec leur puissance, mais reste limité au maximum que permet le cycle de Carnot, duquel doivent êtres soustraites les pertes mécaniques et électriques dans l'alternateur et la transmission. En particulier, les groupes de puissance modérée se caractérisent par un médiocre rendement et une consommation élevée. Par exemple un produit commercial qui délivre 5500 W est mû par un moteur à essence de 9,55 kW qui consomme environ 2,5 litres de carburant à l'heure lorsqu'il est utilisé à 2/3 de sa puissance nominale, soit 3600 W. Compte tenu des pertes thermiques inévitables dans les moteurs à combustion interne, cela fait un rendement qui n'excède pas 16 % du pouvoir calorifique du carburant.

Un groupe électrogène moderne est équipé de deux régulations. La tension de sortie est stabilisée (par exemple : 230 V) par un dispositif électronique qui agit sur l'alternateur. La vitesse de rotation du moteur et donc de l'alternateur doit aussi rester constante afin de garantir la fréquence de la tension de sortie (50 Hz). Cette régulation se fait grâce à un dispositif centrifuge analogue au régulateur à boucles de James Watt qui commande directement le carburateur ou de la pompe d'injection. Un dispositif à induction basé sur les courants de Foucault tel que celui qui équipe les anciens indicateurs de vitesse des automobiles, ou un système électronique peuvent encore remplir cette fonction.

Les groupes électrogènes produisent du dioxyde de carbone, qui est un gaz asphyxiant, et du monoxyde de carbone.

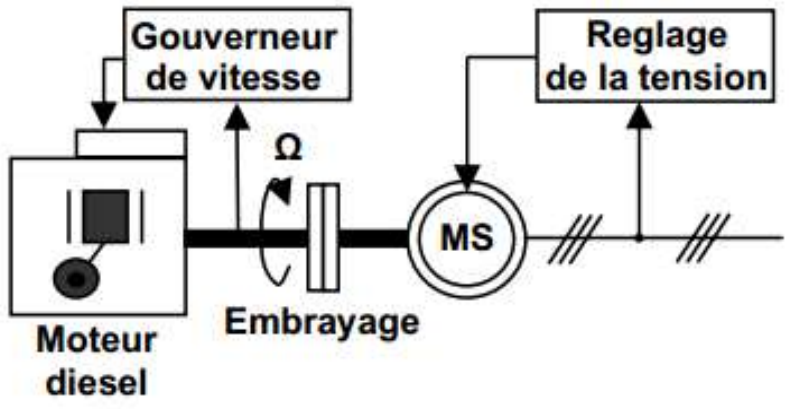


Figure 1.12 Configuration du générateur diesel.

1.7.4.1 Groupe diesel fonctionnant à vitesse fixe

Ce type de groupe électrogène est constitué d'un moteur diesel qui tourne à vitesse constante relié avec une machine synchrone. En parallèle avec sa simplicité, ce groupe diesel présente quelques points négatifs comme le volume sonore qui est plus grand et constant, un niveau d'émission polluante élevé même lorsque la demande d'énergie est faible, une mauvaise stabilité de fréquence et de tension dans le démarrage et une présence d'un second moteur diesel en plus du moteur principal pour des applications embarquées [39].
Pour ce type de moteur la vitesse doit être constante et stable ce qui traduise une nécessité d'avoir un système de commande puissant et fiable.

1.7.4.2 Groupe diesel fonctionnant à vitesse variable

Dans le cadre des recherches d'amélioration concernant le premier type celle à vitesse fixe, le générateur diesel à vitesse variable semble être une solution parfaite au niveau de rendement et de fiabilité [40]. Ce groupe électrogène est basé sur l'association d'une machine génératrice fonctionnant à vitesse et puissance variables entraînée par un moteur diesel et un convertisseur statique qui alimente une charge. L'association d'un convertisseur statique avec l'alternateur nous permet de bien maitriser une variation de fréquence et de puissance à l'état de sortie.

1.7.5 Système de stockage

Le stockage d'énergie est un facteur clé dans un système d'énergie hybride en site isolé. Dans la plupart des cas, les batteries représentes encore la technologie la plus rentable. Elles sont d'habitude du type Plomb-Acide, les batteries nickel-cadmium sont rarement utilisées. Les batteries Plomb-Acide bénéficie en effet d'avantages, tels son faible coût(par rapport à d'autres technologies) et une maturité étayée par un retour d'expérience conséquent. Cette technologie est par ailleurs largement disponible dans le commerce.

- **Les différents types de batteries**

Les différentes technologies rechargeables de stockage d'énergie existantes sont présentées sur la figure 1.13. Les technologies sont comparées en termes de densités d'énergie et de puissance. Cette figure est bien évidement évolutive en fonction des progrès de la recherche, et certains systèmes peuvent devenir concurrents.

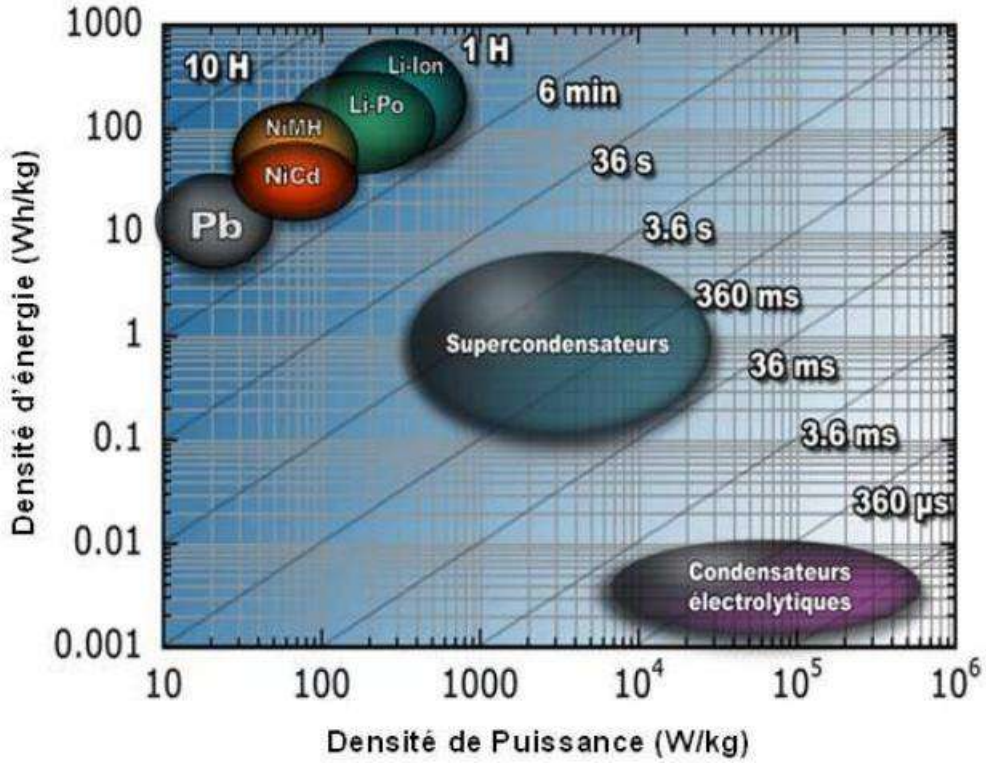


Figure 1.13 diagramme de Ragone des systèmes électrochimiques rechargeables [41, 42].

Dans le domaine électrique, un accumulateur désigne un système physicochimique capable de convertir de façon réversible l'énergie électrique en énergie chimique. L'énergie électrique est donc accumulée, puis restituée en majeure partie. L'accumulateur n'est généralement pas utilisé seul, mais plusieurs sont associés en batterie [43]. Comme indiqué sur la figure 1.13, il existe cinq technologies d'accumulateurs rechargeables d'usage courant : accumulateur au plomb (Pb), accumulateur Nickel cadmium (Ni-Cd), accumulateur Nickel-Metal Hybride (Ni-MH), accumulateur Lithium-ion (Li-ion) et accumulateur Lithium-ion polymètre (Li-Polymer). L'avantage des accumulateurs est qu'ils peuvent stocker une grande densité d'énergie. Ils sont très performants pour délivrer cette énergie à régime constant. Par contre lorsqu'il y a un besoin de charge ou recharge rapide, les accumulateurs ne convient pas. C'est là qu'intervient la technologie des condensateurs et supercondensateurs. Charge et décharge peuvent se faire à très grande vitesse. Malheureusement leur densité d'énergie reste faible par rapport à celle d'accumulateurs.

La comparaison des caractéristiques principales pour les différentes technologies est présentée dans le tableau ci-dessous. Il donne quelques données techniques approximatives sur les technologies existantes [43, 44, 45]. Les données précises se trouvent sur les fichiers techniques des constructeurs.

	Batteries					Super condensateur
	Plomb	NiCd	NiMH	Li-ion	Li-Po	
Densité énergétique (Wh/kg)	15-40	45-80	60-120	110-160	80-130	0,5-10
Nombre de cycle de charge/décharge [a]	200 à 300	500 à 1500	300 à 500	500 à 1000	200 à 300	$>10^5$
Profondeur de décharge	80%	80%	80%	80%	80%	100%
Courant [b]						
(en pic)	5C	20C	5C	Plus de 2C	Plus de 2C	Variable
(utilisation normale)	0,2C	1C	0,5C	1C ou moin	1C ou moin	Variable
Tolérance à la surcharge	Oui	Moyenne	Très faible	Nulle	Très faible	Résistance
Autodécharge par mois	5%	20%	30%	10%	10%	50%
Voltage nominal d'une cellule	2V	1.2V	1.2V	3.6V	3,7 V	0,7 à 2,7 V
Plage de températures de fonctionnement						
(en charge)	10 à 40 °C	0 à 45 °C	0 à 45 °C	0 à 45 °C	0 à 45 °C	
(en décharge)	-20 à 60°C	-40 à 60°C	-20 à 60 °C	-20 à 60°C	-20 à 60°C	-40 à 65°C
Commercialisé depuis	1970	1950	1990	1991	1999	2004

Figure 1.14 tableau comparatif des caractéristiques principales pour les différentes technologies.

Tel que (a) représente la profondeur de décharge. On considère que la batterie est mort lorsqu'elle n'est plus capable de stocker 80% de sa capacité initiale. (b) représente la puissance d'une batterie s'exprime généralement en coefficient multiplicateur « C » de la capacité nominale de stockage de la batterie.

Une batterie de 2A permettant 5C pourra débiter 5*2=10A.

1.7.6 Convertisseurs

Dans un système d'énergie hybride, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le courant continu (DC) en un courant alternatif (AC) et vice-versa. Trois types de convertisseur sont rencontrés dans les systèmes d'énergies hybrides : les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs.

- Les redresseurs réalisent la conversion AC/DC. Dans le système d'énergie hybride, ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à AC. Ce sont des appareils relativement simples, pas chères et bon rendement. Ils sont généralement monophasés ou triphasés.

- Les onduleurs convertissent le DC en AC. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à AC ou en parallèle avec des sources à AC. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge.
- Les hacheurs, le troisième type de convertisseurs, permettent de réaliser la conversion DC/DC pour adapter la tension entre deux sources.

1.7.7 La charge

La connaissance de la courbe de charge journalière est nécessaire pour un dimensionnement exact des installations hybrides. En effet, la puissance produite par le générateur photovoltaïque et la puissance appelée par la charge varient au court de la journée, d'un jour à un autre (le profil de charge peut différer durant les week-ends par rapport aux jours de la semaine) et selon les saisons. Ces variations de production et de consommation compliquent davantage la conception de l'installation hybride qui doit être dimensionnée pour répondre aux besoins en électricité dans les cas les plus défavorables.

Les équipements à alimenter par une installation hybride doivent être choisis avec précaution. Les charges résistives tel que les chauffes eau, les chauffages et les plaques chauffantes sont proscrites. En raison du coût de production d'électricité élevé dans les régions isolées, le recours aux équipements basse consommation qui permettent de faire des économies d'énergie s'avère une solution rentable

Si l'utilisation prudente de l'énergie électrique dans les régions isolées est évidente pour les concepteurs et installateurs de systèmes hybrides, il n'en est pas le cas pour les habitants de ces régions qui ignorent les concepts d'une installation hybride PV-Diesel. Une période d'adaptation avec ce type d'installation est alors nécessaire [46].

1.7.8 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.

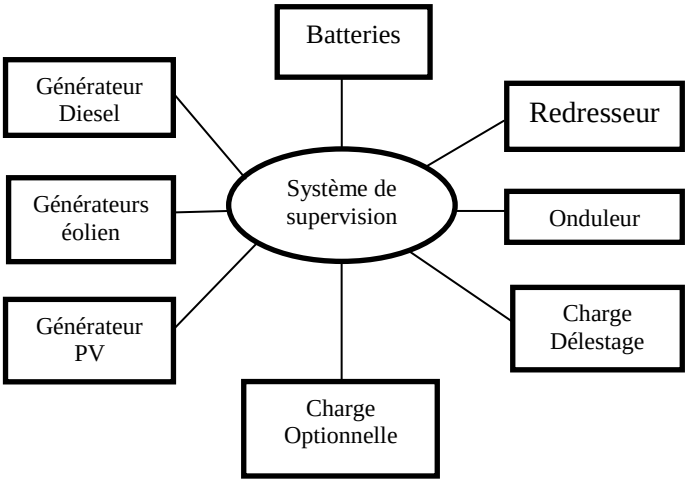


Figure 1.15 système de supervision.

Dans la même vision [47] 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 petri 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.

1.8 Les différentes configurations des systèmes photovoltaïques hybrides (PV/groupe électrogène)

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources. Le système qui nous intéresse regroupe deux moyens pour la production de l'énergie (panneau solaire et une génératrice) passant par un stockage électrochimique.

On distingue les configurations suivantes:

- Système hybride PV - Diesel série.
- Système hybride PV - Diesel commuté.
- Système hybride PV - Diesel parallèle.

1.8.1 Configuration série

Dans cette configuration, l'énergie produite par le générateur diesel est d'abord redressée et puis convertie de nouveau en alternatif pour être fournie à la charge, ce qui implique des

pertes de conversion significatives. Lorsque l'énergie produite par le champ photovoltaïque et l'énergie stockée sont suffisantes pour répondre à la demande de la charge, le diesel est débrayé. La puissance en courant continu fournie par le champ et la batterie est convertie en courant alternatif par un onduleur. De plus, il faut noter que dans la plupart des systèmes de ce type, le rendement du système est diminué à cause du transit d'une grande partie de l'énergie par la batterie, augmentant ainsi le nombre des cycles charge – décharge. Le régime de fonctionnement du générateur dépend d'une part de la demande d'énergie et d'autre part, de l'état de charge de la batterie et de la production du champ PV. La batterie se charge quand l'énergie produite par le champ est en excès. Au contraire, quand l'énergie produite n'est pas suffisante, alors la batterie se décharge. Le contrôleur solaire prévient la surcharge de la batterie et sa décharge trop profonde. On peut également faire appel à un convertisseur DC/DC (MPPT) qui permettra au champ PV de faire fonctionner le champ à son point maximum de puissance. Le système hybride peut travailler de manière automatique si on ajoute un système de mise en marche et arrêt du générateur diesel [48].

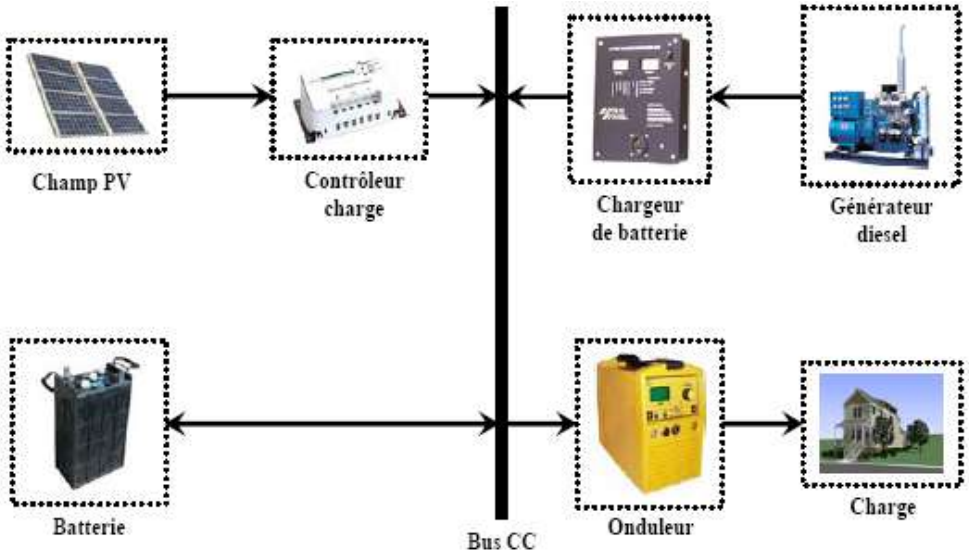


Figure 1.16 Système hybride PV - Diesel série [48].

1.8.2 Configuration commutée

Cette configuration est très fréquemment utilisée malgré ses limitations opérationnelles. La charge peut être alimentée soit par le générateur diesel, soit par l'onduleur alimenté par le photovoltaïque ou la batterie mais le fonctionnement en parallèle n'est pas encore possible. La batterie peut être chargée de nouveau par le champ PV et le diesel. L'avantage principal de cette configuration par rapport à la configuration série consiste dans l'élimination de la

conversion de l'énergie fournie par le générateur d'où l'élimination des pertes supplémentaires de conversion.

En principe, la puissance produite par le générateur est supérieure à la demande de la charge et l'excès est utilisé pour la charge de la batterie. Comme dans le cas précèdent, le diesel est arrêté, lorsque la demande est faible et peut être satisfaite par le champ photovoltaïque et la batterie. La complexité du système implique l'utilisation d'un contrôle automatique à la place de la commande manuelle [46].

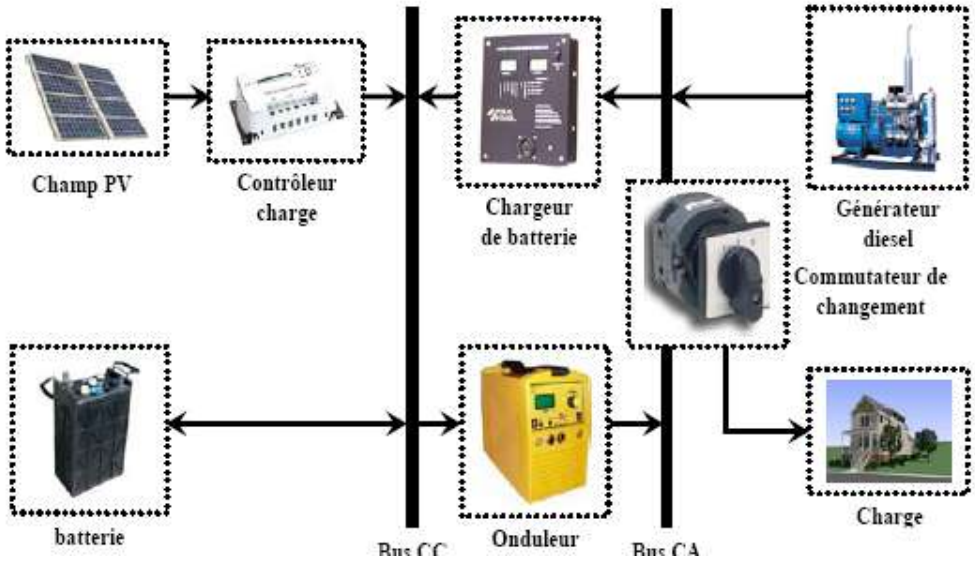


Figure 1.17 Système hybride PV - Diesel commuté [48].

1.8.3 Configuration parallèle

Dans la configuration parallèle, toutes les sources peuvent alimenter la charge séparément à faible et moyenne demande mais également suppléer les pointes en combinant les sources. L'onduleur bidirectionnel peut fonctionner, soit comme un redresseur lorsqu'il y a un excès d'énergie produite par le diesel pour charger la batterie, soit comme un onduleur, pour transférer l'énergie fournie par le champ photovoltaïque ou par la batterie vers la charge. Grâce à l'onduleur bidirectionnel, le système parallèle peut alimenter une charge supérieure à la puissance nominale du générateur. Ce système possède deux améliorations par rapport aux configurations série et commutée. L'association du générateur diesel et de l'onduleur permet l'alimentation d'une charge supérieure à la charge alimentée par chaque élément seul. En principe, la capacité du système est deux fois plus grande dans cette configuration. La possibilité de synchroniser l'onduleur avec le générateur diesel permet une meilleure flexibilité du système et de plus, la puissance nominale du générateur diesel peut être

diminuée, ce qui augmente la partie de l'énergie directement utilisée d'où on obtient une augmentation du rendement du système. En utilisant un seul convertisseur comme onduleur et redresseur, on diminue le nombre des éléments dans le système. De plus, les coûts du câblage et l'installation du système peuvent être diminués par l'intégration de toutes les composantes dans une seule unité, ce qui est avantageux, mais peut empêcher l'augmentation de la taille du système par l'ajout de nouveaux composants si la demande en électricité augmente [48].

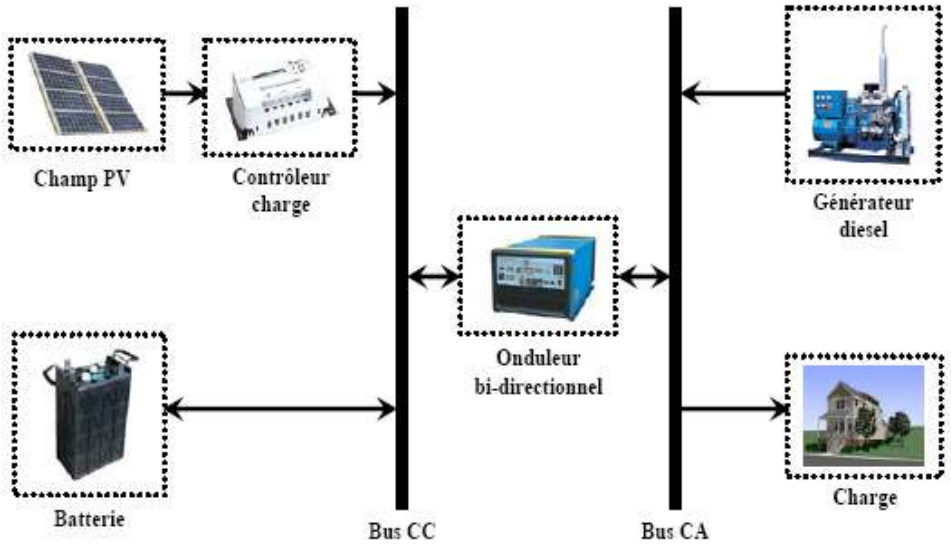


Figure 1.18 Système hybride PV - Diesel parallèle [48].

1.9Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des systèmes d'énergie hybride

Compte tenu de la nature stochastique des sources d'énergie renouvelable, la difficulté principale des systèmes d'énergie hybride comportant ce type de sources est de pouvoir produire à chaque instant l'énergie demandée par la charge. Le moyen le plus simple d'éviter une augmentation du risque de ne pas satisfaire complètement la charge est de faire fonctionner les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesels en parallèle, de façon continue. Dans ce type de fonctionnement, les sources d'énergie renouvelable agissent comme une charge négative, en réduisant la charge moyenne des générateurs diesels [49].

Ces derniers peuvent fonctionner à une puissance très basse (figure 1.18), mais l'économie de carburant est modeste à cause du rendement très faible. Ainsi, garder un moteur diesel au régime de ralenti pour une demande de puissance nulle suppose une consommation de carburant non négligeable.



Figure 1.19 Courbe du rendement d'un moteur diesel ayant une puissance nominale de 75 KW

Si l'énergie renouvelable est suffisante pour alimenter la plupart de la charge, la quantité de carburant économisé peut alors être augmentée en faisant fonctionner les générateurs diesels par intermittence. En fonctionnement intermittent, les générateurs diesels démarrent et s'arrêtent en fonction de la variation de l'énergie renouvelable et de la charge. Le nombre de cycles démarrage/arrêt des générateurs diesels peut, par conséquent, être très élevé. Le problème dans ce cas est l'usure prématurée des groupes diesels et de leurs démarreurs. Un autre problème devant être pris en compte quand le générateur diesel fonctionne par intermittence est le temps nécessaire pour le démarrage et l'arrêt. Le système peut, par exemple s'effondrer subitement pendant le démarrage du générateur diesel, si l'énergie renouvelable diminue plus vite que le temps nécessaire pour la phase de démarrage. Il arrive parfois que la production d'énergie renouvelable soit plus importante que la consommation de la charge. Si l'excès d'énergie dans le réseau ne peut pas être éliminé, la production d'énergie renouvelable doit alors être limité ou mêmearrêtée. En général, les systèmes sans utilisent une charge de délestage pour maintenir l'équilibre énergétique et la stabilité de la fréquence. D'autres applications nécessitent des systèmes de commande supplémentaires pour maintenir la qualité de la tension. Tous ces dispositifs, tels que les charges de délestage et les systèmes de commande, augmentent le coût d'investissement qui ne peut pas être justifié par les avantages du système hybride. Seule une stratégie de commande adéquate peut permettre d'intégrer de manière optimale différents composants et donc de rendre le système rentable.

Une surtension peut être causée par un court-circuit, l'arrêt d'une charge importante ou la connexion d'un banc de condensateurs.

Un inconvénient majeur dans un système hybride connecté en réseau triphasé isolé est le déséquilibre de tension entre les phases. Un récepteur électrique triphasé déséquilibré ou de récepteurs monophasés déséquilibrés alimentés par un réseau isolé triphasé peuvent conduire à des déséquilibres de tension. Ces déséquilibres provoquent des couples de freinage parasites et des échauffements supplémentaires dans les machines tournantes à CA.

Du point de vue continuité de la production et de la quantité d'énergie, les facteurs pouvant affecter le fonctionnement d'un système d'énergie hybride sont résumés ci-après :

- Les variations de la charge à long terme : les régions isolées avec les petits réseaux électriques peuvent subir des changements rapides dans leurs besoins en électricité (généralement la demande augmente).
- Les variations de la charge à court terme : en général, la demande en électricité varie beaucoup sur des intervalles de temps assez courts, de l'ordre de quelques minutes.
- Des valeurs minimales sont suivies par des pics.
- Les ressources d'énergie renouvelable : les ressources, comme le vent et le soleil sont stochastiques par leur nature, ont des caractéristiques locales et sont très difficiles à prédire.
- Les perturbations du réseau : les défauts, tel que les courts circuits, peuvent non seulement arrêter les systèmes, mais aussi, au pire des cas détruire certains composants.

1.10Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre une description générale des systèmes hybrides, tous les composants ont été introduits afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement des systèmes. Afin de faciliter la conception, nous avons aussi mis en valeur les avantages et les inconvénients de chaque configuration et décrit les composants utilisés dans ces installations.Nous avons ainsi établi pour la maitrise du profil de charge que le choix de la bonne configuration, ainsi que la connaissance des caractéristiques techniques des composants constituants le système hybride sont des étapes préliminaires et nécessaires pour le dimensionnement et la simulation de ce système.

Tableau 1 : Résultats journaliers Obtenus par Matlabde l'installation hybride à "Djanet" pour les mois de Janvier, Février et Mars.

Janvier			Février			Mars		
Energie produite par PV (KWh)	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**	**Energie produite par PV (KWh)**	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**	**Energie produite par PV (KWh)**	**Capacité de stockage moyenne (KWh)**	**Consommation en fuel (Litres)**
91,08	107,31	0,00	85,50	95,86	0,00	69,65	95,25	0.00
61,24	94,00	0,00	112,54	97,50	0,00	110,96	98,52	0.00
101,08	95,98	0,00	98,02	97,81	0,00	119,78	99,19	0.00
107,31	96,27	0,00	109,52	97,86	0,00	106,26	98,83	0.00
60,45	93,27	0,00	55,55	93,28	0,00	114,09	98,89	0.00
102,98	96,14	0,00	109,94	97,13	0,00	117,54	99,11	0.00
99,68	96,02	0,00	110,20	98,42	0,00	116,30	99,09	0.00
65,91	93,93	0,00	111,81	98,42	0,00	85,80	97,94	0.00
75,15	94,96	0,00	112,74	98,48	0,00	70,86	96,72	0.00
89,38	95,60	0,00	108,98	98,33	0,00	72,48	96,55	0.00
104,48	96,22	0,00	99,24	97,83	0,00	119,44	98,60	0.00
109,55	96,33	0,00	115,34	98,43	0,00	120,57	99,38	0.00
103,11	96,14	0,00	105,93	98,49	0,00	118,89	99,34	0.00
44,77	88,89	0,00	83,35	97,69	0,00	81,31	99,17	0.00
43,54	76,68	0,00	107,15	98,49	0,00	102,40	98,18	0.00
34,94	61,33	0,00	69,76	97,09	0,00	101,73	98,45	0.00
104,47	68,87	0,00	94,32	96,72	0,00	99,44	98,38	0.00
104,63	93,24	0,00	99,32	98,39	0,00	115,19	99,08	0.00
95,50	96,00	0,00	101,34	98,60	0,00	102,24	98,85	0.00
22,16	79,76	0,00	102,54	98,47	0,00	38,75	88,92	0.00
62,22	66,52	0,00	97,72	98,24	0,00	63,50	82,84	0.00
25,06	54,21	0,00	112,49	98,59	0,00	61,06	86,61	0.00
71,71	62,16	6,33	57,00	92,91	0,00	90,21	94,76	0.00
112,33	83,04	0,00	52,19	91,09	0,00	103,07	98,33	0.00
104,66	96,39	0,00	102,59	95,54	0,00	112,78	99,17	0.00
105,79	96,43	0,00	98,28	98,36	0,00	116,96	99,39	0.00
49,52	90,56	0,00	88,19	97,88	0,00	113,191	99,27	0.00
111,27	92,90	0,00	91,12	97,44	0,00	111,21	99,19	0.00
78,70	95,58	0,00	93,15	95,86	0,00	108,14	99,04	0.00
72,69	95,44	0,00				111,43	99,13	0.00
63,89	96,44	0,00				103,68	98,95	0.00
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
2479,4	**88.60**	**0.00**	**2762,5**	**97.17**	**0.00**	**3119,7**	**97.26**	**0.00**

Tableau 2 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Djanet"pour les moisd'Avril, Mai et Juin.

Avril			Mai			Juin		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
77,56	95,19	0,00	94,71	52,38	0,00	61,67	49,31	6,33
124,82	78,01	0,00	113,88	61,62	6,33	78,10	51,57	12,66
114,158	65,32	0,00	113,60	69,00	0,00	101,43	45,16	0,00
434,73	73,35	0,00	115, 30	69,34	0,00	100,02	46,72	6,33
91,93	67,66	0,00	109,22	67,93	0,00	103,64	41,62	6,33
114,70	59,70	0,00	107,22	64,95	0,00	73,17	58,30	12,66
109,28	61,03	0,00	111,01	65,41	0,00	55,82	57,59	6,33
108,49	59,47	0,00	111,51	59,35	0,00	103,88	49,75	0,00
115,61	60,64	0,00	95,97	48,28	6,33	103,06	56,17	0,00
112,34	63,58	0,00	97,35	57,46	0,00	100,44	54,35	6,33
103,40	61,27	0,00	105,41	52,49	0,00	102,62	47,22	0,00
105,33	55,69	0,00	104,89	48,01	0,00	101,95	48,80	6,33
113,29	54,26	0,00	106,63	54,51	6,33	101,35	54,37	6,33
109,02	54,94	0,00	95,92	48,06	0,00	67,79	41,27	6,33
105,97	52,18	0,00	99,08	59,48	6,33	96,64	49,35	12,66
108,76	49,37	6,33	108,27	53,52	0,00	75,16	50,97	6,33
89,74	42,46	6,33	97,98	46,34	0,00	79,82	53,71	0,00
65,77	43,13	6,33	107,72	58,96	6,33000	101,75	46,40	6,33
94,93	53,74	6,33	107,67	56,52	0,00	92,74	51,55	6,33
79,62	44,68	12,66	96,83	47,14	0,00	97,37	53,48	0,00
88,99	52,09	0,00	103,77	52,14	6,33	94,80	46,09	6,33
98,20	55,48	12,66	93,17	52,02	6,33	97,05	53,07	6,33
73,97	42,98	0,00	88,98	44,43	6,33	94,87	41,76	0,00
100,49	52,53	12,66	98,42	50,28	6,33	98,33	47,76	6,33
75,45	41,56	0,00	86,42	49,48	6,33	90,61	56,36	6,33
104,88	54,01	6,33	91,08	53,22	0,00	94,58	48,25	0,00
94,34	46,36	0,00	98,59	43,19	6,33	102,54	56,68	0,00
103,29	54,96	0,00	93,54	47,68	6,33	99,94	50,37	6,33
103,23	48,38	18,99	88,44	52,36	0,00	103,65	55,11	0,00
55,78	44,37	0,00	99,61	43,32	6,33	98,06	48,89	6,33
			94,99	44,55	12,66	98,95	49,31	/
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
2955,7	**55.06**	**63.3**	**3083,5**	**53.98**	**94.95**	**2771,9**	**50.28**	**145.59**

Tableau 3 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à"Djanet" pour les mois de Juillet, Aout et Septembre.

Juillet			Aout			Septembre		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
10.99	45,48	6,33	24.26	49,45	0,00	28.35	46,84	6,33
17.32	46,56	6,33	30.63	45,31	0,00	29.30	56,43	0,00
18.67	51,49	18,99	30.49	55,11	0,00	28.96	52,79	0,00
21.40	54,88	0	30.19	47,42	6,33	29.26	47,26	6,33
25.94	47,87	6,33	30.08	50,29	6,33	31.01	46,55	12,66
25.78	55,22	0,00	27.20	49,77	0,00	29.69	55,91	0,00
17.70	43,51	6,33	28.77	56,90	6,33	25.09	50,34	0,00
18.40	46,82	12,66	30.10	55,90	6,33	27.05	58,28	6,33
18.02	49,38	12,66	29.80	48,77	0,00	31.04	63,72	0,00
25.69	44,32	6,33	15.91	51,30	6,33	30.80	65,62	0,00
26.08	51,08	6,33	26.17	53,59	6,33	29.89	66,28	0,00
26.33	46,17	6,33	28.80	47,97	0,00	31.24	67,19	0,00
24.06	42,38	12,66	30.10	57,53	0,00	32.19	68,76	0,00
24.52	47,24	12,66	29.05	58,65	6,33	32.51	68,66	0,00
19.23	55,60	0,00	29.73	55,08	0,00	30.20	56,07	6,33
26.43	49,01	6,33	30.04	49,14	0,00	28.41	43,80	12,66
27.21	54,26	0,00	29.31	52,17	0,00	25.40	38,34	18,99
28.33	47,73	6,33	27.34	45,64	6,33	26.81	47,73	12,66
26.47	54,66	6,33	24.76	56,38	6,33	26.88	55,59	0,00
23.05	46,88	0,00	22.41	49,16	0,00	24.48	49,51	0,00
15.03	56,20	0,00	27.19	49,88	0,00	27.01	46,76	0,00
27.35	52,88	6,33	26.26	56,16	12,66	15.25	58,23	6,33
27.14	46,08	0,00	19.26	53,79	0,00	22.60	54,85	0,00
26.44	56,27	6,33	19.70	50,09	0,00	22.89	50,27	0,00
26.73	48,81	0,00	29.11	44,39	0,00	27.86	49,30	0,00
23.41	53,56	0,00	29.00	55,56	6,33	29.25	45,62	6,33
23.28	47,79	6,33	28.61	51,02	0,00	27.08	60,08	0,00
15.23	48,78	0,00	26.07	47,19	0,00	30.19	58,63	0,00
18.22	51,16	12,66	22.10	52,63	0,00	30.61	74,62	0,00
24.98	55,99	6,33	25.70	45,83	6,33	30.12	98,10	0,00
23.88	54,09	6,33	27.48	55,65	6,33			
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
2741,4	**49.90**	**177.24**	**3220,5**	**51.49**	**88.62**	**2945,2**	**55.32**	**94.95**

Tableau 4 : Résultats journaliers Obtenus par Matlab de l'installation hybride à "Djanet" pour les mois d'Octobre, Novembre et Décembre.

Octobre			Novembre			Décembre		
Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)	Energie produite par PV (KWh)	Capacité de stockage moyenne (KWh)	Consommation en fuel (Litres)
37.16	96,56	0.00	30.17	97,17	0.00	29.66	86,01	0.00
31.79	97,26	0.00	29.53	96,32	0.00	21.98	84,9821	0.00
18.37	98,17	0.00	31.91	91,75	0.00	22.77	69,12	0.00
18.85	98,39	0.00	27.41	89,74	0.00	23.54	76,43	0.00
33.03	97,93	0.00	24.02	94,48	0.00	22.68	92,39	0.00
35.69	96,96	0.00	22.52	97,09	0.00	18.11	81,52	0.00
34.94	97,39	0.00	20.76	96,99	0.00	13.40	82,41	0.00
30.67	97,35	0.00	14.46	97,01	0.00	24.14	96,64	0.00
18.20	97,47	0.00	26.32	96,97	0.00	28.60	74,12	0.00
20.63	97,21	0.00	16.14	96,23	0.00	28.76	69,12	0.00
33.65	97,34	0.00	31.16	96,30	0.00	26.54	91,90	0.00
33.71	97,23	0.00	29.81	96,54	0.00	27.76	95,82	0.00
34.36	97,36	0.00	26.95	96,21	0.00	19.81	84,18	0.00
30.47	97,14	0.00	14.88	96,92	0.00	25.67	82,41	0.00
17.31	97,20	0.00	31.14	81,51	0.00	25.97	94,46	0.00
19.98	97,15	0.00	28.40	57,68	0.00	19.91	95,71	0.00
32.75	97,10	0.00	24.08	45,97	0.00	17.26	84,20	0.00
34.21	97,03	0.00	14.97	62,07	0.00	18.51	71,14	0.00
34.27	96,85	0.00	15.62	70,36	0.00	21.73	81,16	0.00
31.37	96,37	0.00	26.94	80,58	0.00	26.08	84,05	0.00
17.28	95,70	0.00	29.52	96,64	0.00	29.72	85,40	0.00
20.56	97,17	0.00	31.23	96,92	0.00	29.50	90,78	0.00
34.52	97,13	0.00	31.19	95,84	0.00	30.58	89,39	0.00
31.05	97,21	0.00	31.36	96,63	0.00	29.60	91,26	0.00
32.45	97,19	0.00	31.47	96,23	0.00	27.31	96,03	0.00
31.41	97,12	0.00	31.40	94,80	0.00	20.06	95,26	0.00
31.31	97,09	0.00	31.23	96,69	0.00	17.22	95,84	0.00
32.69	97,08	0.00	28.14	95,91	0.00	26.36	94,89	0.00
28.66	96,90	0.00	23.81	74,85	0.00	22.38	95,91	0.00
24.55	96,97	0.00	22.37	66,05	0.00	21.06	86,01	0.00
23.57	96,99	0.00				11.43	84,98	0.00
Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)	Total (KWh)	Moyenne (KWh)	Total (Litres)
3208,4	**97.20**	**0.00**	**2446,0**	**89.32**	**0.00**	**2135,9**	**85.96**	**0.0**

Chapitre 2 :

Modélisation et Dimensionnement des Composants du Système Hybride

System architecture

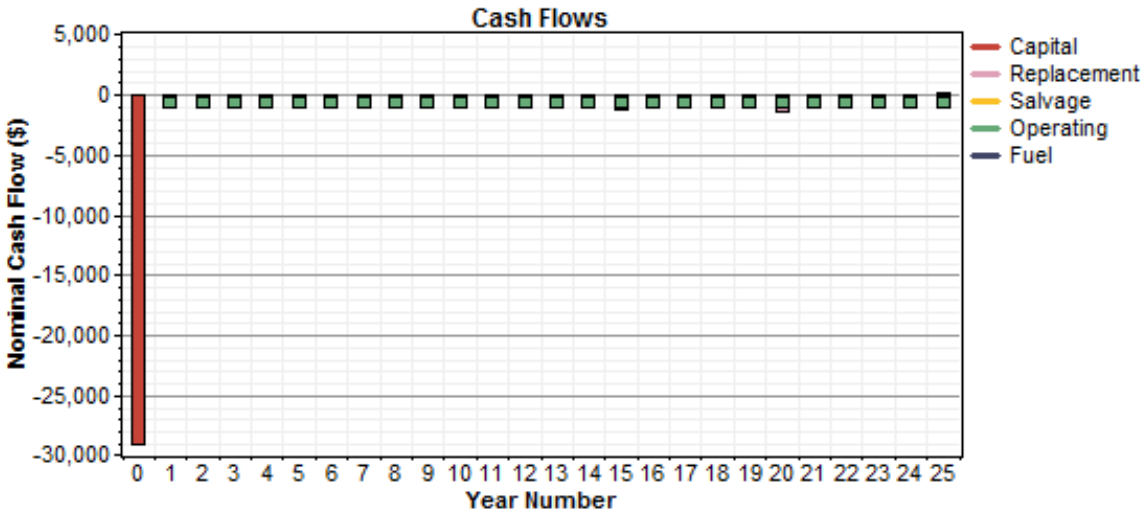
PV Array	2 kW
Generator 1	0.5 kW
Battery	5 Hoppecke 20 OPzS 2500
Inverter	1 kW
Rectifier	1 kW
Dispatchstrategy	Cycle Charging

Costsummary

Total net presentcost	$ 44,161
Levelizedcost of energy	$ 1.024/kWh
Operating cost	$ 1,182/yr

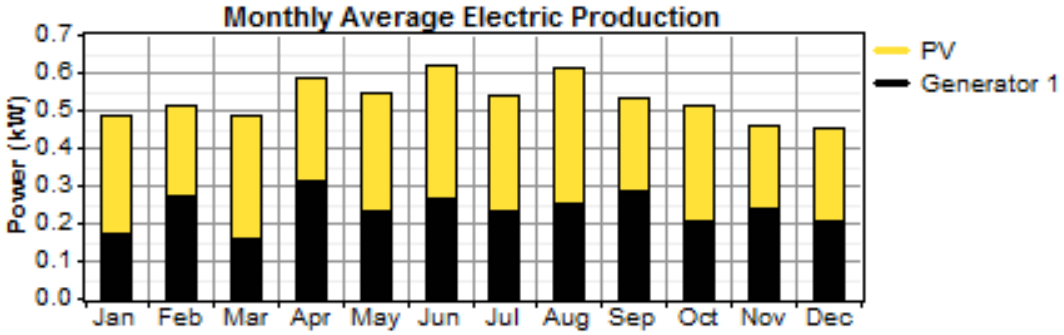
AnnualizedCosts

Component	Capital ($/yr)	Replacement ($/yr)	O&M ($/yr)	Fuel ($/yr)	Salvage ($/yr)	Total ($/yr)
PV	1,565	5	260	0	-3	1,827
Generator 1	4	1	0	147	0	151
Hoppecke 20 OPzS 2500	391	1	767	0	-1	1,159
Converter	313	1	4	0	0	318
System	2,272	8	1,031	147	-4	3,455



Electrical

Component	Production (kWh/yr)	Fraction
PV array	2,564	55%
Generator 1	2,073	45%
Total	4,637	100%



Load	Consumption (kWh/yr)	Fraction
AC primaryload	3,373	100%
Total	3,373	100%

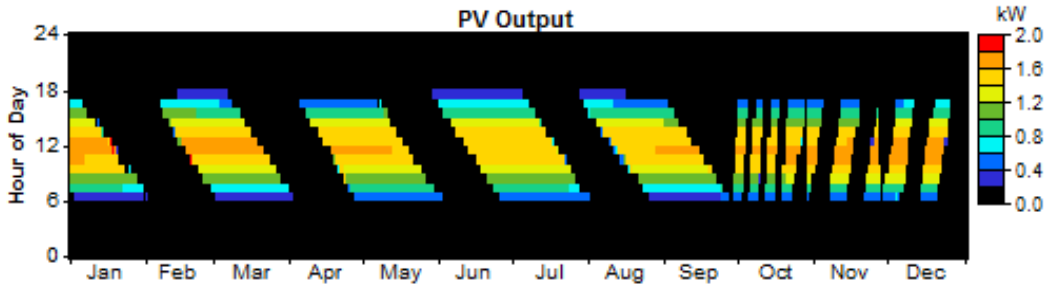
Quantity	Value	Units
Excesselectricity	468	kWh/yr
Unmetload	226	kWh/yr
Capacityshortage	350	kWh/yr
Renewable fraction	0.553	

PV

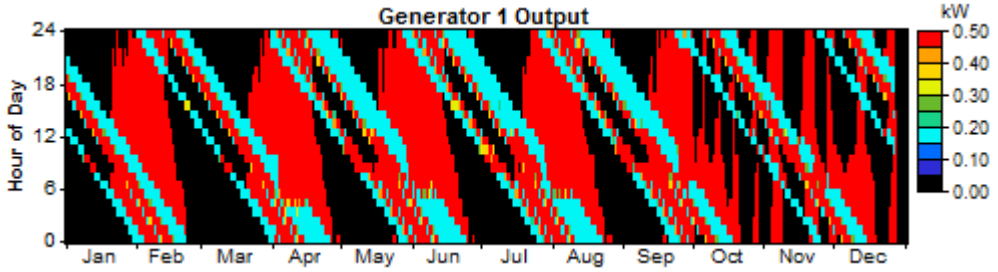
Quantity	Value	Units
Ratedcapacity	2.00	kW
Mean output	0.293	kW
Mean output	7.02	kWh/d
Capacity factor	14.6	%
Total production	2,564	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	1.97	kW
PV penetration	71.2	%

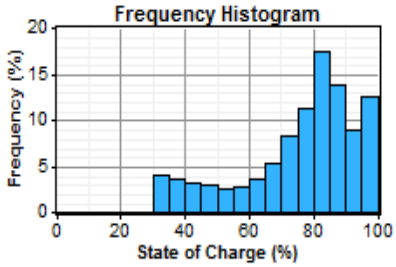
Hours of operation 2,416 hr/yr
Levelizedcost 0.712 $/kWh

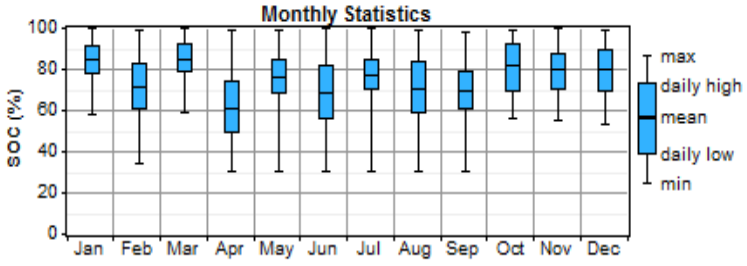


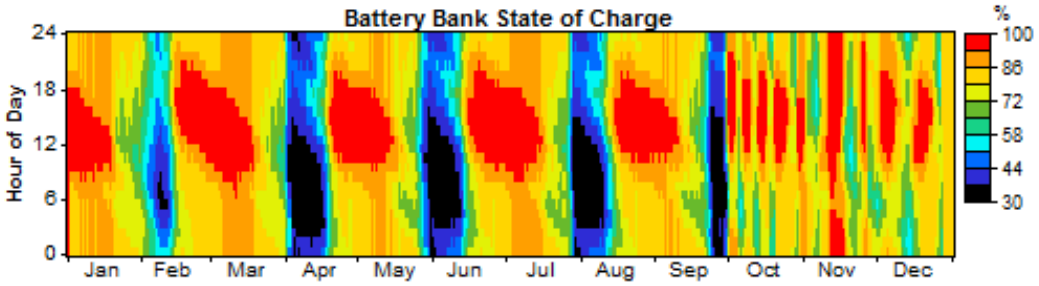
Generator 1



Battery



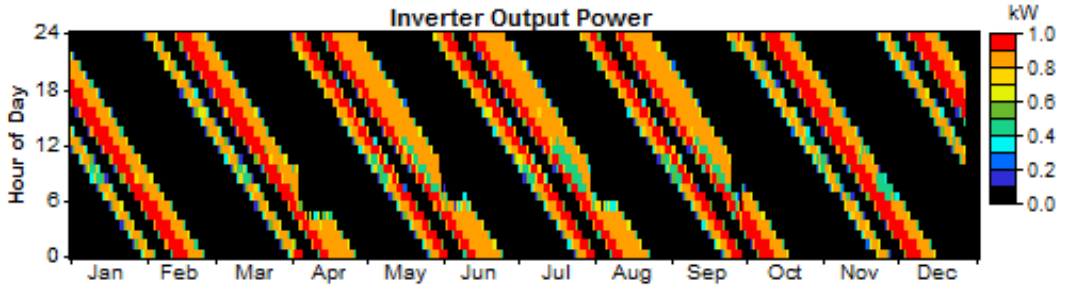


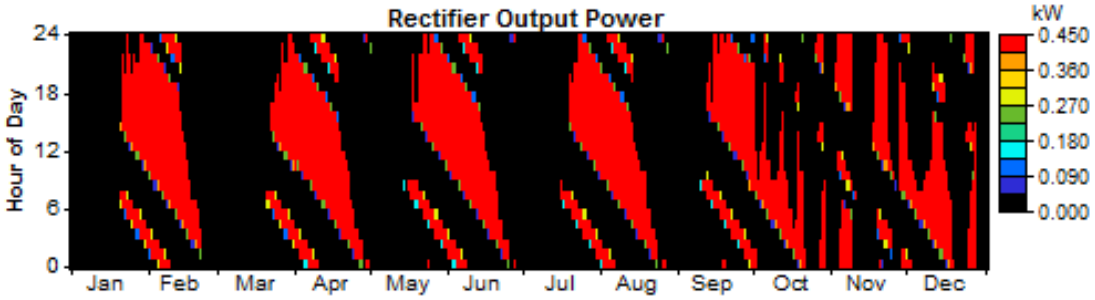


Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	1.00		1.00 kW
Mean output	0.29		0.12 kW
Minimum output	0.00		0.00 kW
Maximum output	1.00		0.43 kW
Capacity factor	28.9		12.0 %

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	3,241	2,596	hrs/yr
Energy in	2,815	1,234	kWh/yr
Energy out	2,534	1,049	kWh/yr
Losses	281	185	kWh/yr





Chapitre 3:

Dimensionnement et Gestion d’énergie:

Application au Site de Djanet

3.1 Introduction

Les chapitres précédents ont présenté une description théorique des différents constituants d'un système hybride PV- générateur diesel- batterie. Dans ce chapitre, nous allonsprésenter le dimensionnement et la simulation d'un système hybride pour l'électrification rurale d'un site dans le sud Algérien. Le programme de simulation est réalisé sous Matlab. Les résultats sont présentés et analysés. Les étapes de calcul sont les suivantes :

- Ressources météorologiques.
- Le profil de charge.
- Paramètres du système.
- Dimensionnement des composants.
- Simulation du système et exploitation des résultats et performances.

3.2. Présentation du site et ressources météorologiques

3.2.1. L'emplacement du système hybride

Le site choisi pour cette étude est un village rural saharien isolé nommé ***"Djanet***". Ce village est situé dans la wilaya d'Illizi. L'électrification du village par les filières classiques (diesel, réseau électrique), en plus des coûts de réalisation excessifs, auraient posé le problème de l'acheminement du combustible.

Le solaire photovoltaïque associé à un groupe électrogène comme appoint pourrait alors constituer une solution durable et plus appropriée pour une alimentation en énergie propre et non polluante.



Figure 3.1 localisation géographique du site de Djanet en Algérie.

3.2.2 Les données météorologiques

Les performances des modules photovoltaïques sont directement corrélées aux données climatiques qui sont en principe l'irradiation solaire en (W/m^2) et la température ambiante en ($^{\circ}C$). Ces données sont prises grâce au système d'acquisition mesurées à un pas de temps fin qui est de 10 minutes.

La taille de chaque vecteurs de grandeur (6 * 366 jours * 24 heures = 52704 données) est trop importante pour un calcul rapide ; il est donc nécessaire de le réduire. Pour cela, nous avons choisi de prendre un pas de temps d'une heure, alors la taille du vecteur devient (366 jours*24 heures = 8784). L'évaluation annuelle des caractéristiques climatiques du site est présentée dans les figures 3.2 et 3.3.

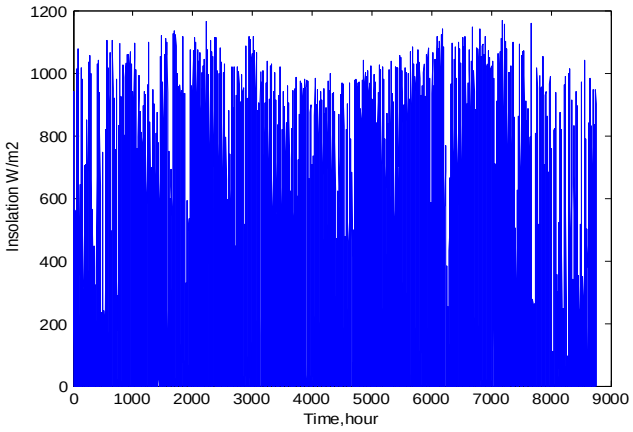


Figure 3.2 Données annuelle d'ensoleillement pour le site de Djanet.

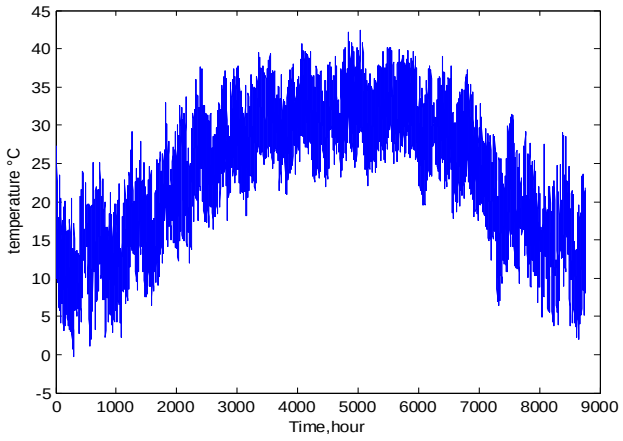


Figure 3.3 Données annuelle de température pour le site de Djanet.

3.3 Le profil de charge

Cette étude tient en compte l'aspect niveau de vie, traditions, comportement et habitudes. Ainsi, nous avons choisi un profil de consommation dont la demande consiste essentiellement à satisfaire les besoins énergétiques de base (éclairage, réfrigération, TV, radio, ventilation). Le nombre d'habitations à électrifier est 10 habitations. Par ailleurs, nous avons considérés les hypothèses suivantes :

- L'habitation sera occupée en permanence durant toute l'année.
- Les équipements électriques sont à basse consommation et fonctionnent sous une tension standard 220V-50 HZ (tension secteur), il ne faudra pas que l'utilisateur puisse remplacer les appareils à basse consommation par des appareils à consommation normale.

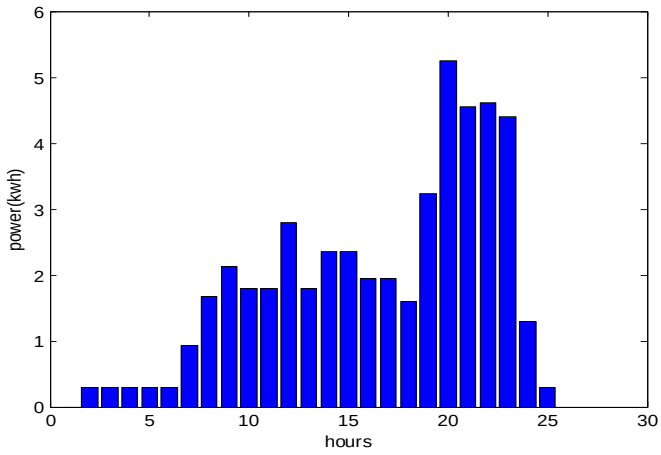


Figure 3.4 Courbes de profils de charge horaires.

La demande énergétique est faible dans l'intervalle de [1-6h] et 24h, ainsi elle est importante dans l'intervalle de [18-22h]. Nous remarquons que la demande est maximale à20hqui est due à l'utilisation de la ventilation durant les périodes chaudes de la journée.

3.4 Les différents éléments du système

Avant d'entamer le dimensionnement de notre système, nous présentons ses principaux éléments.

3.4.1. L'onduleur

Les caractéristiques principales d'un onduleur autonome sont les suivantes :

- La tension d'entrée (12V, 24V ou 48V).
- La tension de sortie 220 AC à 50Hz.
- Le rendement généralement >90% en fonctionnement nominal.
- La consommation en mode veille (2 ou 3% de la puissance nominale).
- Les protections (court-circuit charge, chute de tension coté batterie).
- Le prix très variable selon le type et la puissance des charges utilisées.

3.4.2 Les batteries

Les batteries choisies seront de préférence :

- Des batteries fermées (Valve Regulated Lead Acid) dans lesquelles l'électrolyte est stabilisé par un gel ou un matériau AGM (Absorbent Glass Mat).
- Des batteries à plaques tubulaires dites batteries « stationnaire ».

Pour les systèmes de petite puissance, une tension de 12V est préférée, les récepteurs alimentés en 12V étant plus fréquents, mais au-delà de 2.5 KWh stockés, on passera en 24V ou plus pour limiter les pertes ohmiques en gardant des sections de câble raisonnables. Les batteries sont commercialisées en cellules de 2V, de 200Ah à 3000 Ah ou en ensemble 12V jusqu'à 400Ah. On évitera si possible de mettre en parallèle des batteries.

3.4.3. Régulateur de charge

Le régulateur doit assurer des fonctions de protections :

- Pour éviter une décharge de la batterie dans le panneau.
- Pour éviter une surcharge ou une décharge profonde de la batterie.
- En cas de court-circuit coté charge.

Son rôle est aussi de contrôler le transfert d'énergie entre le générateur photovoltaïque, la batterie et la charge en fonction :

- De la disponibilité de la ressource et de l'état de charge de la batterie.
- Du caractère prioritaire ou non de la charge.

Des fonctions d'affichage sont aussi généralement disponibles [90].

3.4.4. Générateur photovoltaïque

Les caractéristiques électriques de notre panneau photovoltaïque sont données dans le tableau suivant :

Table 3.1 Les caractéristiques électriques du module PV

Module PV	**Caractéristiques électriques**
Puissance crête (W_p)	75 W
Tension de circuit ouvert (V_{oc})	21V
Tension max (V_{mp})	17V
Courant de court-circuit (I_{sc})	4.8A
Courant max (I_{mp})	4.4A

Pour utiliser au mieux le module photovoltaïque, nous chercherons son fonctionnement au maximum de puissance disponible. Ainsi, le régulateur doit inclure une fonction dite

« MPPT » (Maximum Power Point Tracking) qui jouera le rôle d'adaptateur d'impédance entre le module photovoltaïque et la charge [91].

3.5 Dimensionnement du système

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire des modules photovoltaïques constituants le générateur photovoltaïque ainsi que la capacité de charge des batteries .Ces deux éléments sont les plus importants en raison du coût élevé qu'ils totalisent, plus de 50% du prix de l'installation.

3.5.1. Dimensionnement du banc des batteries

La capacité des batteries pour une période de temps est donnée par l'équation suivante :

La capacité de la batterie (en Watt heure) : $$C_{bat}(Wh) = \frac{E_T \cdot AUT}{DOD}$$

La capacité en Ah est donnée par la relation suivante : $$C_{bat}(Ah) = \frac{C_{bat}(Wh)}{V_{bat}}$$

C_{bat} : Capacité nominale de la batterie (Wh ou Ah)

E_T : Energie totale consommée / jour(Wh/Jour)

AUT : Autonomie du système (Jours)

DOD : Profondeur de décharge de la batterie

V_{Bat} : Tension nominale de la batterie(V)

Pour notre système, nous avons :

V_{bat}= 48V, AUT = 3 jours, DOD =0.8 ; E_T = 48.3KWh/j donc :

C_{bat}= 181.125KWh ⟶ C_{bat} =3773.4375Ah

3.5.2 Dimensionnement du générateur photovoltaïque

Après avoir dimensionné le banc des batteries, on passera maintenant au dimensionnement du générateur photovoltaïque. Ce dimensionnement s'appuie sur la méthode LPSP, Ce qui nous permettra alors de présenter nos résultats de simulations que nous avons obtenus par le biais de programme que nous avons effectué.L'organigramme du calculest illustré dans la figure 3.5.

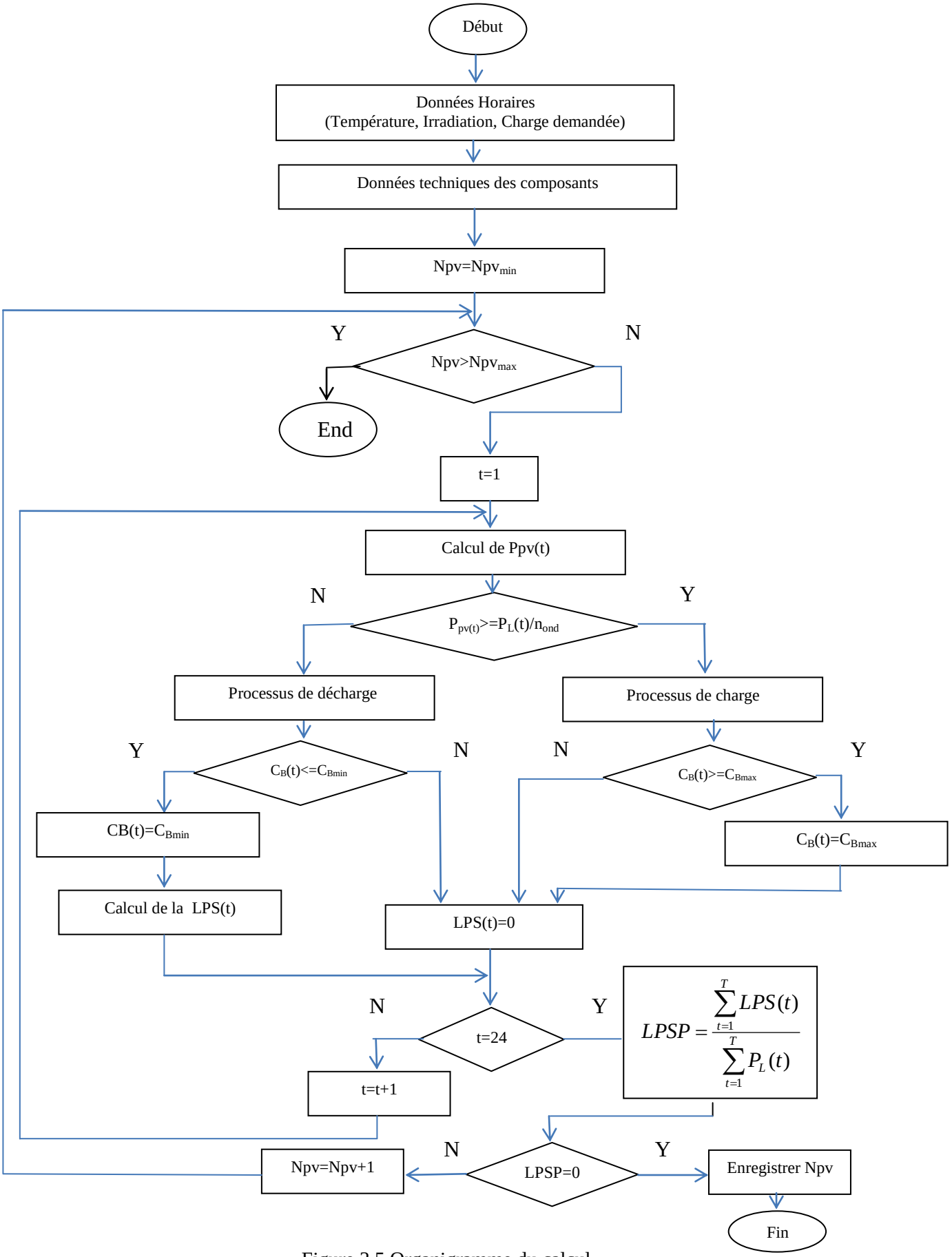


Figure 3.5 Organigramme du calcul

Pour le calcul du dimensionnement et de la simulation du système hybride choisi, nous avons réalisé un programme de simulation sous Matlab.

3.6 Développement de l'approche proposé

La configuration du système est présentée dans la figure 3.6, et l'organigramme de l'algorithme pour la simulation du système hybride est présenté dans la figure 3.7 et le concept de la stratégie opérationnelle pourrait être clairement expliqué comme suit:

- Si la demande de charge sur le rendement de l'onduleur($P_L(t)/n_{ond}$)est inférieure à la puissance totale produite à partir de panneaux photovoltaïques ($P_{PV}(t)$), et la batterie $C_B(t)$ est complètement charger, alors les banques de la batterie sont facturées comme montant que la capacité de l'onduleur et l'excès de puissance sont déversés.
- si la batterie $C_B(t)$ inférieur à C_{Bmax}la puissance excédentaire est utilisée pour charger les banques de la batterie.
- si la demande de charge ($P_L(t)/n_{ond}$est supérieure à $P_{PV}(t)$ et $C_B(t)$ des banques de la batterie est supérieure à C_{Bmin}, alors la puissance de l'insuffisance sera fourni par les banques de la batterie. Sinon, si $C_B(t)$ des banques de batteries est égale à C_{Bmin}, générateurs diesel sont commencés à répondre à la demande de charge et de charger les banques de la batterie.
- Toutefois, si la puissance de l'insuffisance est supérieure à la capacité de l'onduleur, les banques de batteries sont déchargées en quantité que la capacité de l'onduleur, puis les générateurs diesel sont commencé à répondre à la demande de charge.

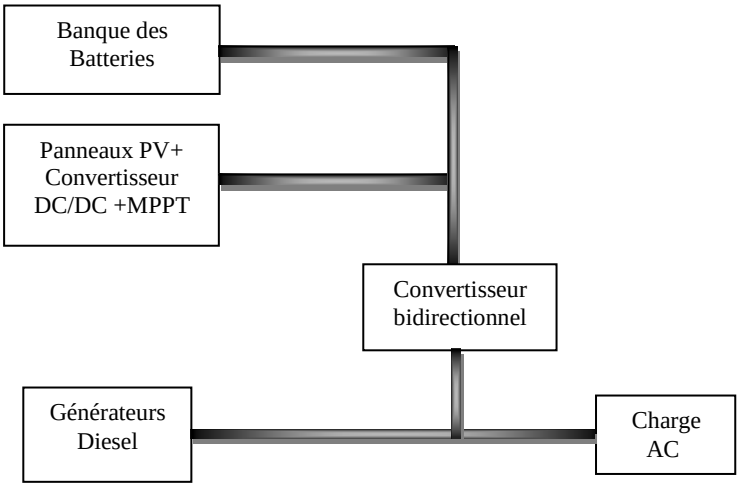


Figure 3.6 Configuration du système

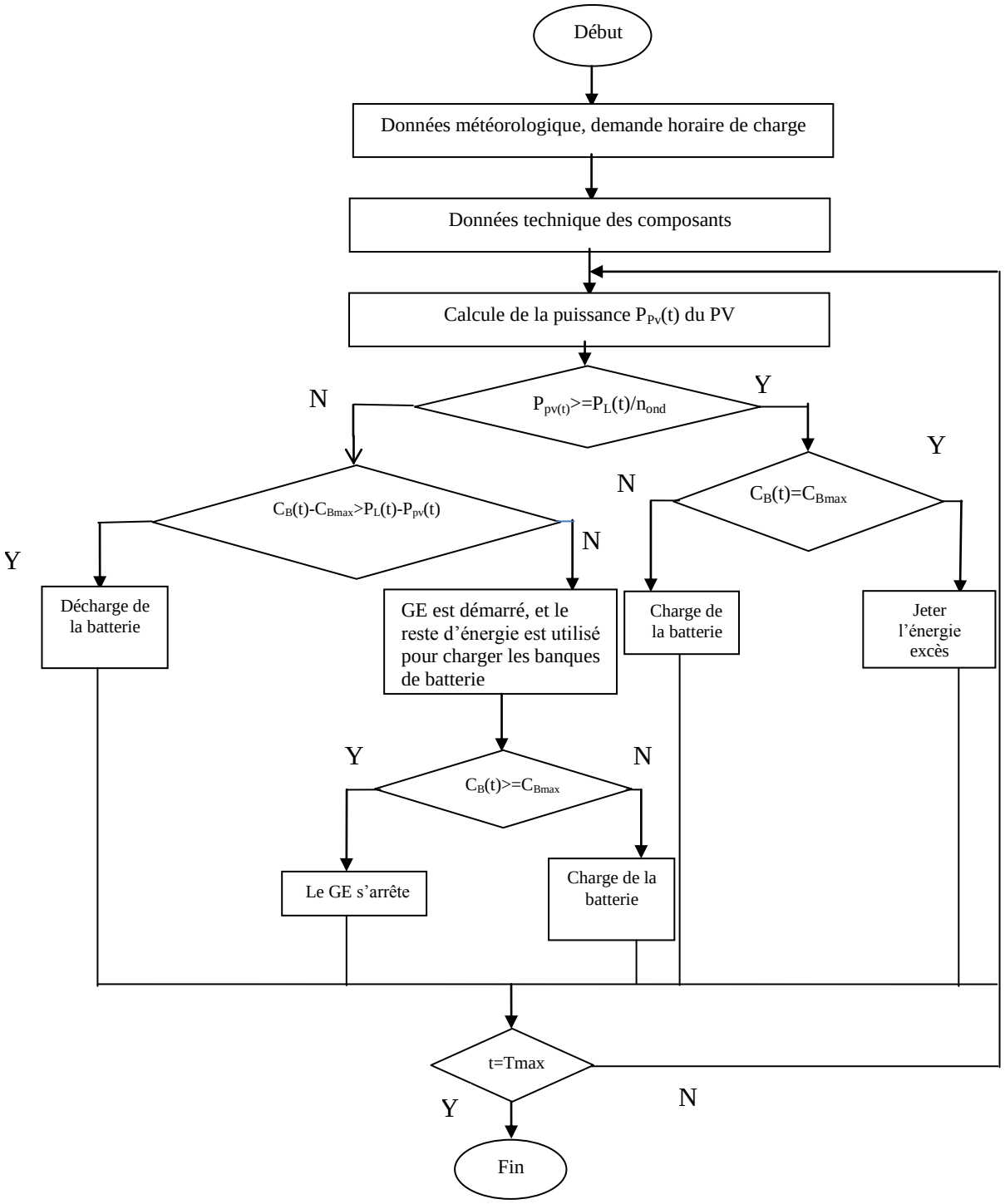


Figure 3.7 organigramme de simulation du système hybride

3.7 Résultats de dimensionnement

Pour un LPSP donnée, le nombre de modules photovoltaïques est donné dans le Tableau 3.2. Pour notre système, nous avons choisi LPSP =0.04qui donne un nombre de modules PV égale à 216.

Table 3.2 nombre des panneaux PV en fonction de LPSP.

LPSP	**0.02**	**0.03**	**0.04**
Nombre des Panneaux PV	221	219	216

3.8 Simulation du comportement du système

A l'aide de Matlab, nous avons programmé et simulé le fonctionnement du système hybride. Notre programme de simulation offre des résultats horaires du système hybride. La simulation a été basée sur les paramètres d'entrée du système suivants :

- **le module photovoltaïque :**

- La puissance maximale crête du module Pc=75W
- La tension de circuit ouvert V_{oc} = 21 V
- Le courant de court-circuitI_{sc} =4.8 A
- La tension crêt maximale V_m = 17 V
- Le courant maximal crêt I_m =4.4 A
- nombre des modules Npv=216

- **la batterie de plomb :**

- Capacité de stockage C_{bat}=181.125 KWh
- Rendement des batteries η_{bat} =85%
- Tension du banc des batteries =48 V

- **Convertisseur AC/DC :**

- Rendement : 98%
- Tension d'entrée : 48 Vdc

- **le groupe électrogène :**

Type de fuel : diesel

Puissance du groupe électrogène = 2.6 KW = 3.3 KVA.

Selon les conditions météorologiques (éclairement et température), nous avons simulé le système hybride et nous avons abouti aux résultats suivants :

Table 3.3 Pourcentage de production journalière

Nature	Pourcentage
Photovoltaïque	94.4627 %
Générateur Diesel	5.5373 %
Energie annuelle excès	1.5229 %

Table 3.4 Bilan énergétique mensuel.

	Energie produite par PV (en KWh)	**Capacité de stockage moyenne (en KWh)**	**Consommation en fuel (en Litres)**	**Energie excès (KW)**	**Heures de fonctionnement du GE (en h/an)**	**Energie produite par le GE (en KWh)**
JANVIER	1300	88.6046	6,33	717,00	1,00	20,00
FEVRIER	1420	87.8545	0,00	1071,90	0,00	0,00
MARS	1620	97.2668	0,00	1296,50	0,00	0,00
AVRIL	1550	54.4687	88,62	12,10	14,00	280,00
MAI	1650	54.4379	82,29	0,00	13,00	260,00
JUIN	1440	48.3240	151,92	0,00	24,00	480,00
JUILLET	1440	49.8778	177,24	0,00	28,00	560,00
AOÛT	1640	51.8210	88,62	0,00	14,00	280,00
SEPTEMBRE	1550	52.6139	101,28	0,00	16,00	320,00
OCTOBRE	1690	96.4810	0,00	1359,80	0,00	0,00
NOVEMBRE	1350	87.1510	0,00	815,90	0,00	0,00
DÉCEMBRE	1170	85.6003	0,00	412,60	0,00	0,00

Table 3.5 Bilan énergétique annuel.

Nature	**valeur**
Energie photovoltaïque annuelle produite	17820 kWh
Capacité de stockage annuelle moyenne	69,90 kWh
Consommation annuelle du groupe électrogène en fuel	696,30 Litres
Energie annuelle produite par le groupe électrogène	2200 kWh
Excès d'énergie annuel	5,685 kWh
Heures de fonctionnement du groupe électrogène	110heures/an

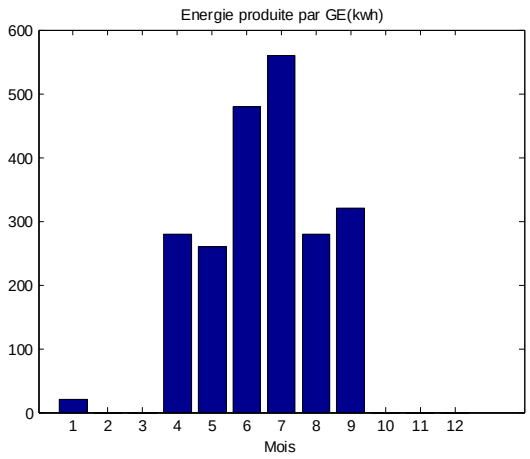


Figure 3.8 Energie mensuelle produite par GE

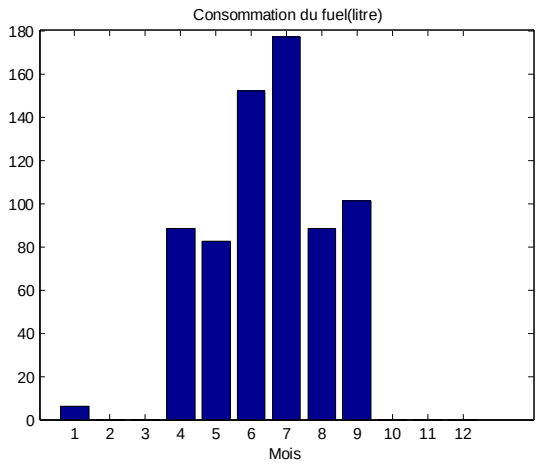


Figure 3.9 consommationmensuelle du fuel

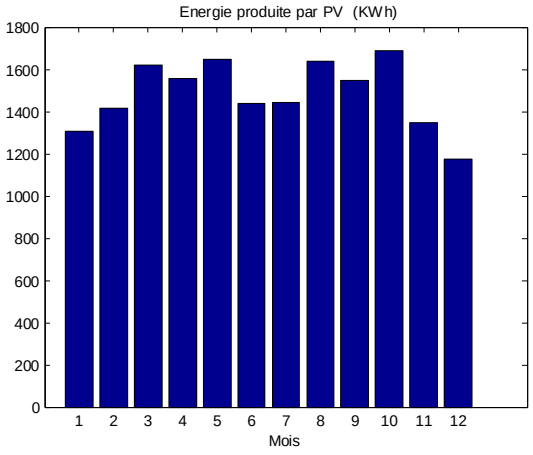


Figure 3.10 Energie mensuelle photovoltaïque produite

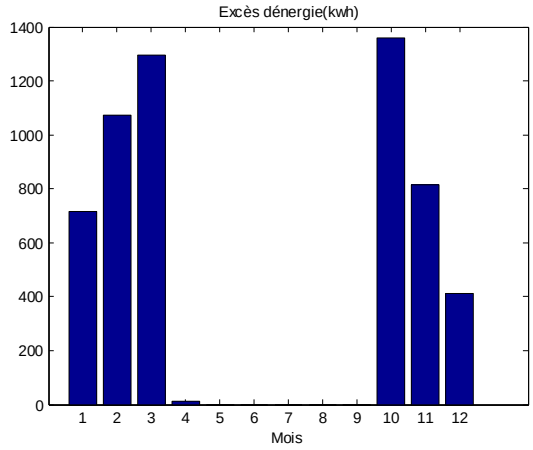


Figure 3.11 Energie mensuelle excès

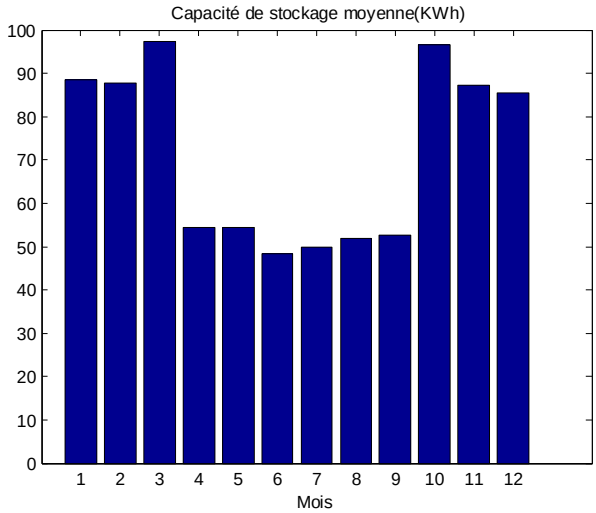


Figure 3.12 Capacité de stockage moyenne mensuelle en KWh.

Notre programme donne des résultats horaires et journaliers, ce qui nous permet de faire des bilans mensuels et annuels.

Les figures 3.8 et 3.9 montrent que la consommation en fuel et l'énergie produite par le groupe électrogène varient d'un mois à un autre, elles sont maximales aux mois de Juillet et elles sont minimales aux mois de Janvier, Avril, Mai, Juin, Août et Septembre.

La figure 3.10 montre une variation mensuelle dans la production d'énergie photovoltaïque,on constate que les piques de production sont relatifs aux mois de mars, mai, aoûtet octobre et la production est minimale dans le mois de Décembre,ces résultats influent sur la capacité de stockage présentée dans la figure 3.12 dont la relation entre les deux paramètres est proportionnelle.

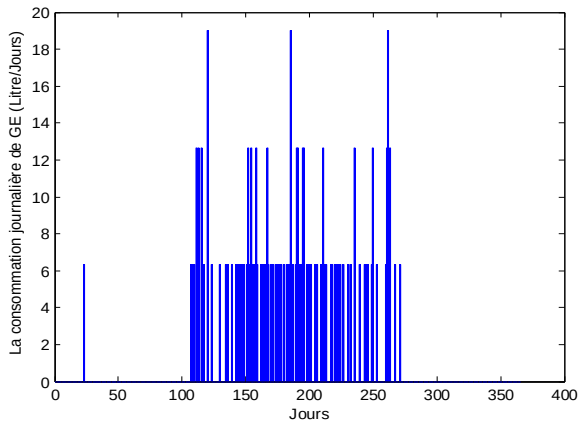


Figure 3.13 Consommation journalière du groupe électrogène en fuel.

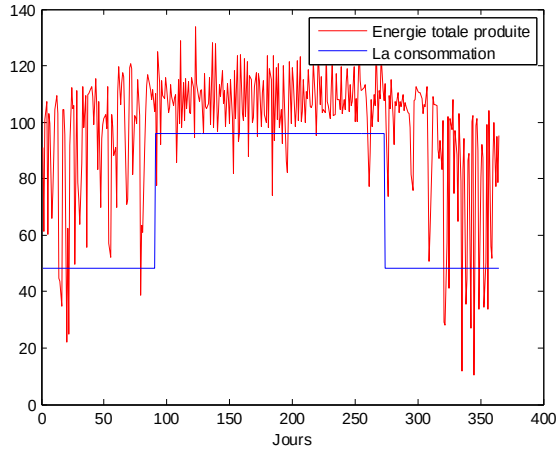


Figure 3.14 Energie journalière produite comparée avec la consommation

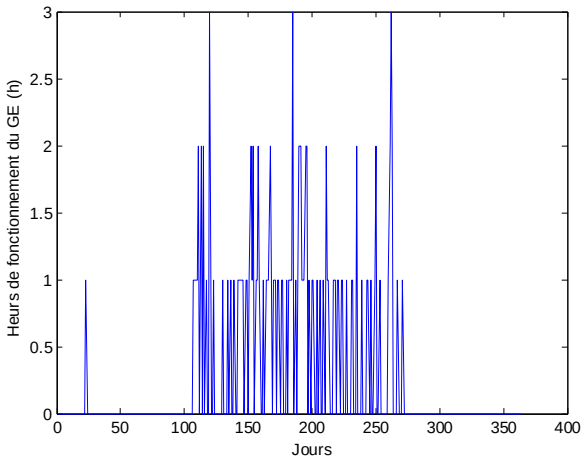


Figure 3.15 Heures de fonctionnement du GE

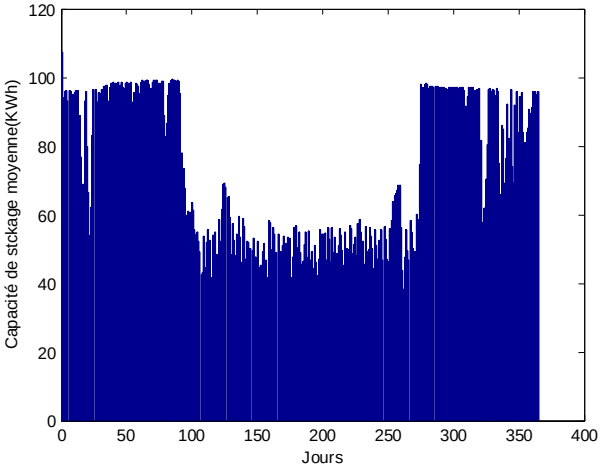


Figure 3.16 Capacité de stockage moyenne journalière en kw/h

L'énergie produite par le système pendant 12 mois compare par la consommation est présenté dans la figure 3.14 On peut constater que la consommation est minimale dans la période hivernale (Janvier, Février, Mars, Octobre, Novembre et Décembre), ce qui est provoqué une diminution de l'énergie totale produite, et elle augmente dans la période estival (Avril, Mai, Juin, Juillet, Aout et Septembre).

On remarque que les résultats obtenus son synchronisés par l'ensoleillement, la température et la charge, on constate aussi que :

- Le pourcentage de l'énergie photovoltaïque est important (94.4627 %) par apport à 5.5373 % de l'énergie produite par le groupe électrogène.
- L'excès d'énergie est faible de l'ordre de 1.5229 %.
- L'utilisation du groupe électrogène est limitée seulement à 110 heures / an).

La procédure de conception a donné lieu à la détermination de la meilleure configuration du système.

Le système hybride PV-DG autonome avec la banque de la batterie semble être une solution technico-économique de motivation pour répondre à la demande d'énergie du consommateur.

3.9 Conclusion

Notre travail dans cechapitrea porté sur le dimensionnement et la simulation d'un système hybride (PV-Diesel-Batterie) à l'aide de logicielMatlab. L'objectif de ce travail est d'examiner la possibilité et les performances d'électrifier une communauté rurale par la solution hybride, alors nous nous sommes aperçues que le fonctionnement du système dépend non seulement des variables d'entrée et de sortie qui sont l'ensoleillement, la température et la charge à alimenter, mais aussi de l'interdépendance entre les différents équipements. Un composant du système mal dimensionné peut compromettre alors, le bon fonctionnement de toute l'installation. Ainsi et à partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que la combinaison de plusieurs sources d'énergie (PV-Diesel-Batterie) est nécessaire pour permettre de couvrir les déficits énergétiques et de répondre à la demande énergétique grandissante des habitant ruraux. Cette demande grandissante est dueessentiellement à la demande de plus en plus grandissante du confort à la maison, plus d'équipements électriques.

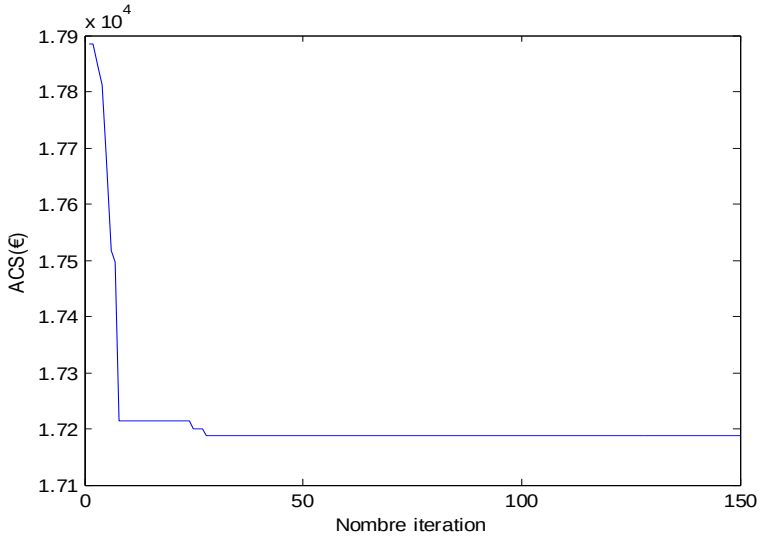


Figure 1. Convergence d'optimisation du coût annuel du system par PSO

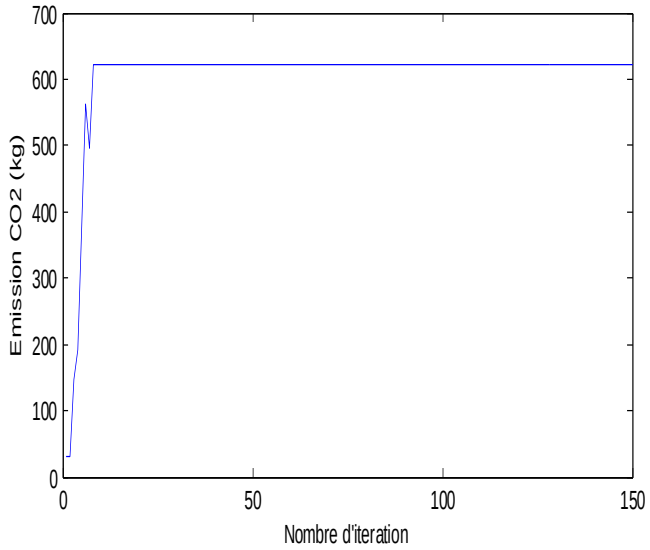


Figure 2. Convergence d'optimisation d'émission de CO_2 par PSO

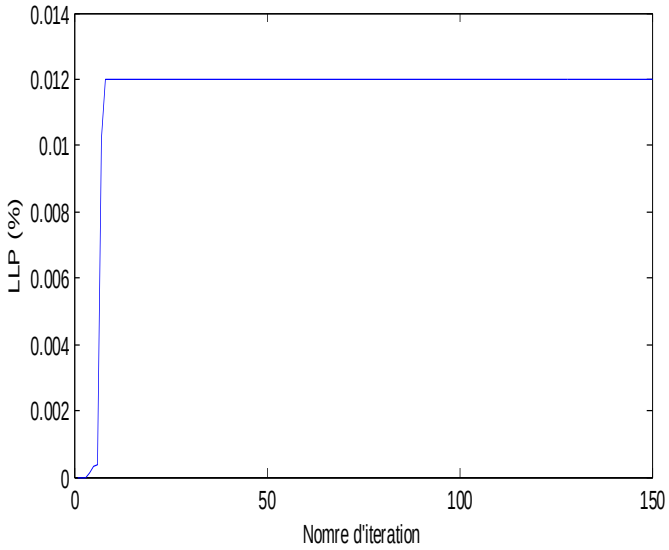


Figure 3. Convergence d'optimisation de la perte d'énergie par PSO

Chapitre 4:

Optimisation Multi-Objective et Dimensionnement Optimal : Application au site d'Ilamane (Tamanrasset)

4.1 Introduction

Un système d'alimentation composé de panneau photovoltaïque (PV), générateur diesel (GE), batterie et la charge est considéré dans ce chapitre. Une nouvelle approche est proposée pour la conception optimale des systèmes d'énergie renouvelable hybrides. L'optimisation par essaim de particules (PSO) a été appliqué pour minimiser simultanément le coût total du système, la probabilité de perte de charge (LLP) et les émissions de CO_2 du système de production d'électricité hybride pour un village rural isolé au sud de l'Algérie nommé "Ilamane". Ces données géographiques est les suivants: Latitude: 23.12 °N, Longitude: 5.27 °E et Altitude: 1928 m. Cette étude révèle également l'importance des PV et des systèmes de batteries. Sans leurs connexions, le coût annuel du générateur diesel devient très élevé. En outre, la méthode proposée est utilisé efficacement pour faire face à la réduction de coût d'un système hybride dans la non-existence ou l'état de charge non satisfait, enfin les résultats de notre algorithme sontcomparés avec le logiciel HOMER.

4.2 Configuration du system

Le système hybride est constitué de panneaux photovoltaïques, GE et les banques de la batterie pour le stockage d'énergie est présentés dans la figure 4.1. Afin de simplifier le modèle, la capacité totale de plusieurs GE est utilisé pour la simulation. Les GE_s sont connectés au système de bus CA et fournissant directement la demande de charge sans aucune unité de conversion. Lorsque l'électricité provenant de sources d'énergie renouvelables qui ne peuvent pas répondre à la demande de charge, une stratégie sera nécessaire pour trouver la solution la plus économique, démarrage de GE ou en utilisant la puissance des banques de la batterie. Ce système utilise également la charge de vidage qui a la fonction de jeter l'excès de puissance à chaque fois que la puissance de l'énergie renouvelable est plus que la demande de charge et les banques de batteries sont complètement chargées.

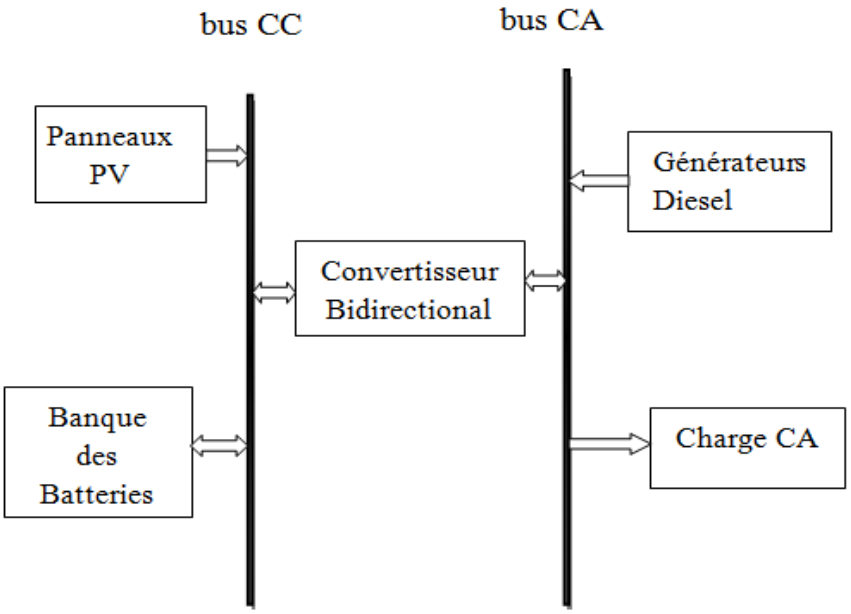


Figure 4.1 configuration du système

4.3 Cas étudié

Le cas étudié dans cechapitreest unvillage rural dans le sud Algérie nommé "Ilamane".Ce village situé dans la wilaya de Tamanrasset et il est constitué d'un nombre réduitde foyers.L'évaluation annuelle des caractéristiques climatiques du site est présentés dans les figures 4.2 et 4.3.

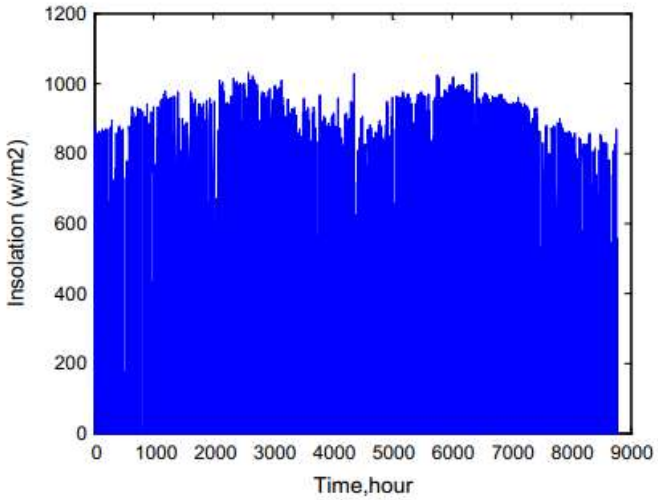


Figure 4.2 Données annuelle d'ensoleillement pour le site d'Ilamane.

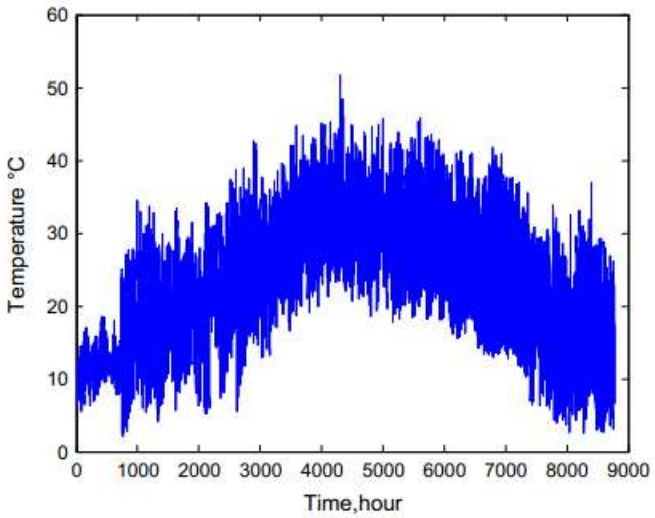


Figure 4.3 Données annuelle de température pour le site d'Ilamane.

4.4 Profil de charge

Cette étude tient en compte l'aspect niveau de vie, traditions, comportement et habitudes selon les deux saisons distinctes qui sont l'hiver et l'été. Ainsi, nous avons choisi un profil de consommation dont la demande consiste essentiellement à satisfaire les besoins énergétiques de base (éclairage, réfrigération, TV, radio, ventilation). Le nombre d'habitations à électrifier est 10 habitations.

Nous avons considéré deux profils de charge ; hivernal (S1: Octobre; Novembre; Décembre, Janvier, Février; Mars) et estival (S2 : Avril, Mai, Juin, Juillet, Aout, Septembre).

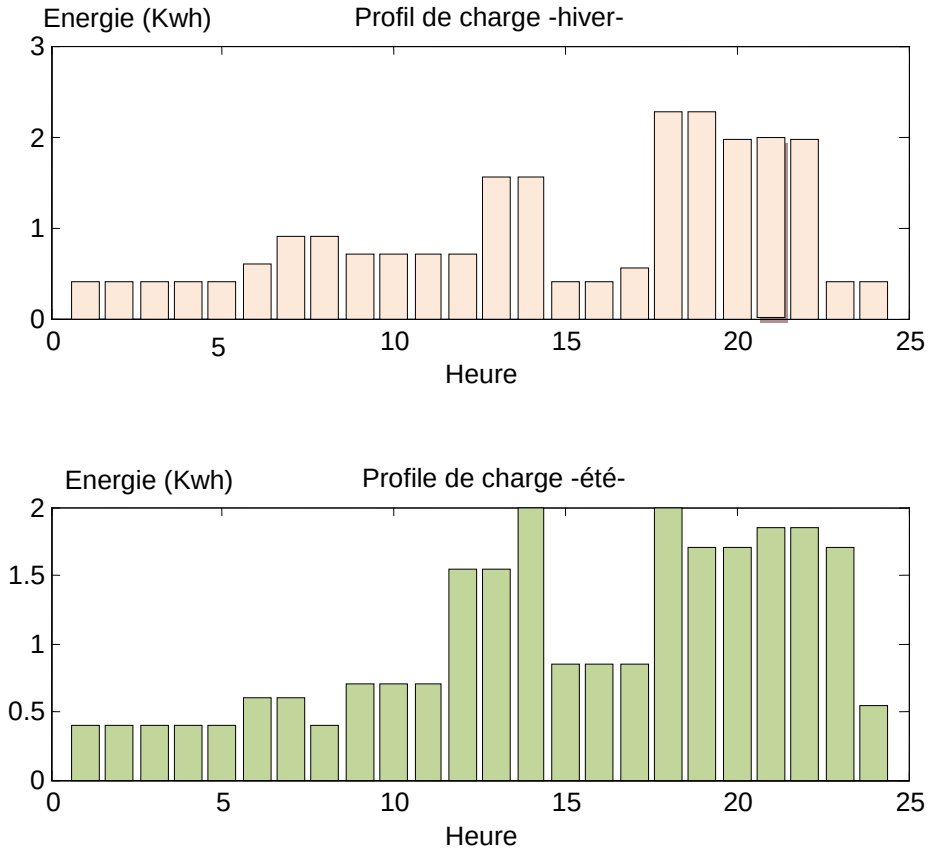


Figure 4.4 Courbes de profils de charge horaires [108].

La demande énergétique est faible dans l'intervalle de [1-5h] et [23-24h], ainsi elle est importante dans l'intervalle de [18-22h] pour l'hiver et dans l'intervalle [12-23h] pour l'été. Nous remarquons que la demande est maximale dans la saison d'hiver à l'intervalle [18-19h]. Mais la

demande journalière estivale est supérieure à la demande journalière hivernale qui est due à l'utilisation de la ventilation durant les périodes chaudes de la journée.

4.5 Méthodologie

4.5.1 Optimisation par essaim de particules (PSO)

Le concept de PSO caractérisée comme une simple heuristique de mécanisme bien équilibré avec la flexibilité d'améliorer et d'adapter les capacités globales et locales d'exploration. Ilsutilisent une technique de recherche stochastique à la réduction exigence de mémoire, de calcul efficace et plus facile à mettre en œuvre par rapport à d'autres métaheuristiques de calcul évolutionnaire et intelligence en essaim d'évolution. PSO est une population basé sur la technique d'optimisation stochastique développée par le Dr Eberhert et le Dr kennedy en 1995 [92]. Par ailleurs, PSO présente plusieurs avantages par rapport à d'autres méthodes d'optimisation de la manière suivante [93]:

- Il est un algorithme dérivé-exempt contrairement à de nombreuses techniques classiques.
- Il a la possibilité d'être intégré avec d'autres techniques d'optimisation pour former un outil hybride
- Il est moins sensible à la nature de la fonction objective, à savoir la convexité ou la continuité.
- Il a moins de paramètre à régler par rapport beaucoup d'autres techniques évolutives concurrentes.
- Il a la capacité d'échapper à des minima locaux.
- Il est facile à mettre en œuvre et le programme avec des opérations mathématiques et logiques de base.
- Il peut gérer des fonctions objectives de la nature stochastique.
- Il ne nécessite pas une bonne solution initiale pour commencer son processus d'itération.

Le travail principal de l'agent dans le PSO est appelé particule et un groupe de particules sont appelées population ou un essaim. Chaque particule se compose comme vecteur en tant que candidat de la solution dans le problème d'optimisation qui a sa propre position X et la vitesse V. chaque particule conserve également la trace de ses coordonnées dans l'espace du problème et met à jour sa position sur la base de sa propre meilleure exploration qui sont associés la meilleure solution (remise en forme) selon les équations suivantes:

$$V_j(k+1) = w(k)V_j(k) + c_1 r_1 \left(Pbest_j(k) - X_j(k)\right) + c_2 r_2 \left(Gbest(k) - X_j(k)\right) \quad (4.1)$$

$$X_j(k+1) = X_j(k) + V_j(k+1) \quad (4.2)$$

Où w (k) est le facteur de pondération pour la manipulation de l'impact de l'histoire de présidente vitesses sur la vitesse actuelle, r1 et r2 représentent des nombres aléatoires uniformes entre 0 et 1, Pbestj (k) représente la meilleure position de particule j à l'itération k et Gbest (k) représente la meilleure position globale dans l'essaim à l'itération k, c1 et c2 sont les paramètres de mise à l'échelle sociale et choisi de telle sorte que $c_1 = c_2 = 2{,}2$ [92,94]. Le mécanisme de PSO peut être expliqué selon les étapes suivantes:

Étape 1. Initialiser un essaim ou d'une population de particules avec des positions et des vitesses aléatoires dans le n dimensions espace de problème en utilisant une fonction uniforme de distribution de probabilité.

Étape 2. Évaluer la valeur de remise en forme de chaque particule en essaim ou de la population.

Etape 3. Comparer l'aptitude de chaque particule avec Pbest de la particule. Si la valeur actuelle est meilleure que Pbest, puis définissez la valeur Pbest égale à la valeur actuelle et l'emplacement Pbest égal à l'emplacement actuel en espace à n dimensions.

Étape 4. Comparer la remise en forme avec celui de la population globale mieux précédente. Si la valeur actuelle est meilleure que gbest, puis réinitialiser gbest à l'index et la valeur de la matrice de la particule actuelle.

Étape 5. Modifiez la vitesse et la position de la particule selon les équations (4.1) et (4.2), respectivement [92,93,94]. L'organigramme d'optimisation à l'aide PSO est représenté sur la figure. 4.5

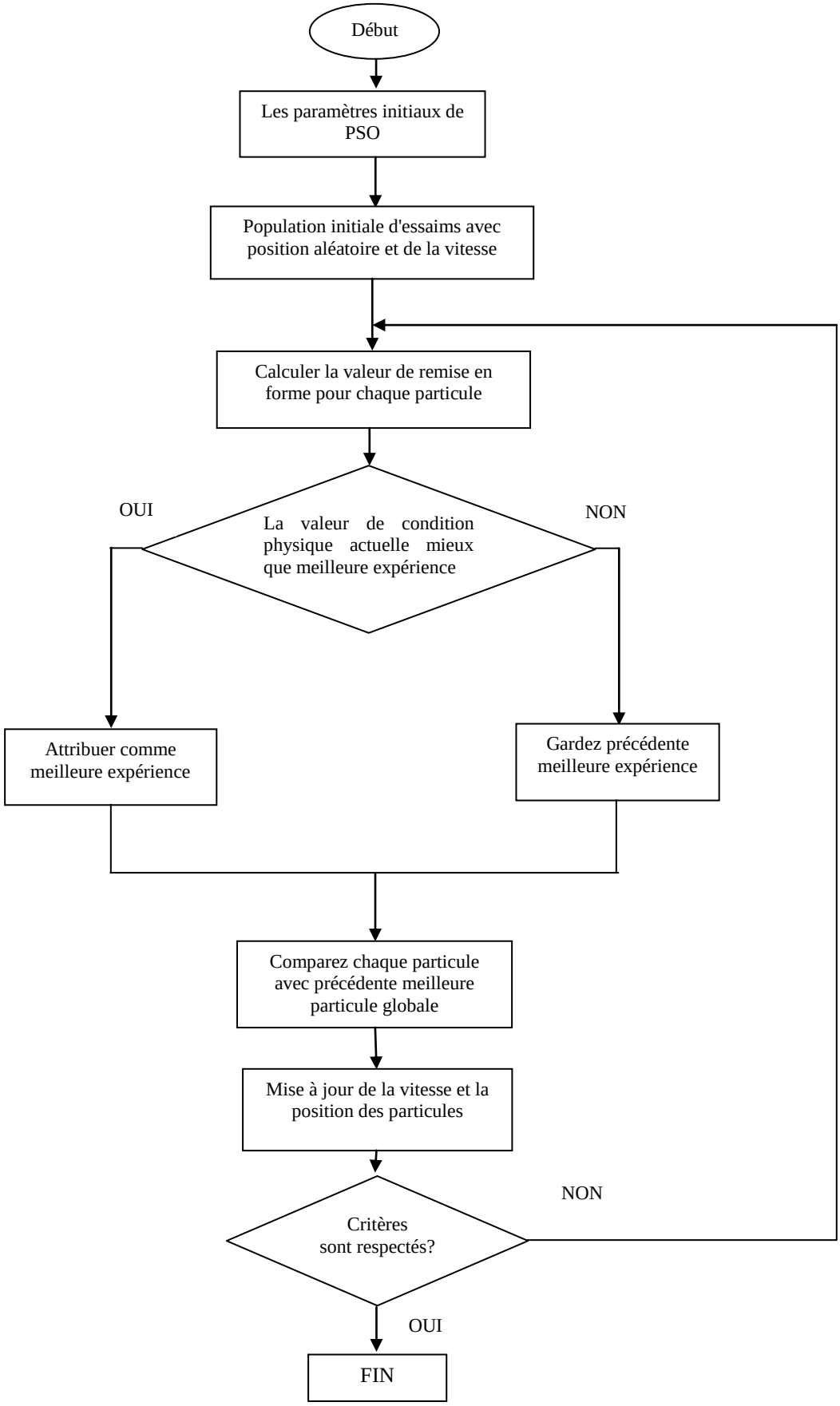


Figure 4.5 organigramme du l'algorithme PSO [109]

4.5.2 La méthode de contrainte

La méthode de contrainte est une technique qui peut être utilisée lorsque l'un des objectifs est choisi pour optimiser et les autresobjectifs sont considérés comme des contraintes liées par le niveau cible donné [96]. En faisant varier ces niveaux, les pas de solutions inférieures du problème introduit peuvent être obtenus, Considérez ce qui suit:

Min $\{f_1(x), f_2(x),\ldots.., f_k(x)\}$

Où, x est le vecteur de décision, fi (i = 1, 2, 3 ...., K) sont des fonctions objectives. Une solution x * est dite non inférieure s'il n'existe pas d'autre solution réalisable x tel que $fi(x) \leq fi(x^*)$ pour tout i = 1,2,3 ...., K au moins une inégalité est stricte. Dans la méthode de contrainte, si fj (x), $j \in \{1,2 \ldots..., k\}$ est la fonction objectif choisi d'être optimisé, et fi (x) est l'objectif considéré comme la contrainte, nous avons le problème suivant [95, 96]:

$Minf_j(x) \qquad j \in \{1,2\ldots.., k\}$

Tel que :

$j \leq \varepsilon_i \ \forall i \in \{1,2\ldots.., k\}, i \neq j, x \in S$

Où, S est l'espace de solution réalisable, k est le nombre de fonctions objectives, et suppose des valeurs de la fonction objective qui ne doit pas être dépassée. Dans l'approche de la contrainte proposée, le coût total est choisi comme fonction objectif à optimiser et l'émission totale de CO_2 et LLP intégrer les contraintes d'inégalité dans les formes: $CO_2 \leq \varepsilon_{CO_2}$ et $LLP \leq \varepsilon_{LLP}$

4.5.3 Probabilité de Perte de la charge et des émissions polluantes

La quantité de CO_2 est obtenue à partir de processus de combustion du moteur diesel en multipliant la fonction d'émission (E_f) de CO_2 par kWh. Pour chaque période de temps au cours d'une année, la pénurie d'énergie, probabilité de perte de charge (LLP) et les émissions de CO_2sont calculés en utilisant les équations (4.3) et (4.4)[97,98].

$$LLP = \frac{\sum_{t=1}^{8760} shortage(t)}{\sum_{t=1}^{8760} D(t)} \quad (4.3)$$

$$CO_2 = \sum_{t=1}^{8760} FUEL_{cons}(t) \times E_f \quad (4.4)$$

Tel que, D(t) est la demande d'électricité, et shortage(t) est la charge non satisfait pendant période t, $E_f$est le facteur d'émission pour le générateur diesel, qui dépend du type de fuel et de caractéristiques du moteur diesel. Ici est considéré entre 2.4 – 2.8 kg/litre [97].

4.6Fonction objectif et modèle économique

Dans ce travail, trois fonctions objectives sont considérées. Ces trois fonctions objectives minimisent le coût total du système, l'émission totale de CO_2 produite par les générateurs diesel, et LLP. Le calcul économique est basé sur le concept de coût annuel du système (ACS). Il est utilisé dans le but de trouver le meilleur indice de référence de l'analyse des coûts du système dans cette étude. Le coût annuel du système est composé du coût annuel du capital (ACC), le coût de remplacement annuel (ARC), le coût annuel en carburant des GE_s (AFC) et le coût d'entretien annuel d'opération (AOM), ACS peut être calculé à partir de l'équation suivante [99,100] :

$$ACS = ACC + ARC + AFC + AOM \quad (4.5)$$

Le coût en capital annuel de chaque unité n'a pas besoin de remplacement pendant la durée de vie de projet tel que GE, PV, convertisseur de puissance est calculé comme suit [100]:

$$ACC = C_{cap}.CRF(i, y) \quad (4.6)$$

Où, C_{cap} est le coût en capital de chaque composante en US$, y est la durée de vie du projet en an. CRF est le facteur de récupération du capital, un rapport pour calculer la valeur actualisée d'une série de flux de trésorerie annuels égaux, ce facteur est calculé comme suit [100]:

$$CRF = \frac{i(1+i)^y}{(1+i)^y - 1} \quad (4.7)$$

Où, i est le taux annuel d'intérêt réel. Par conséquent, le taux annuel d'intérêt réel est constitué d'intérêt nominal i et le taux d'inflation annuel f . Cetaux est calculé comme suit [100]:

$$i = \frac{(i' - f)}{(1+f)} \quad (4.8)$$

Où i' est l'intérêt du prêt en (%). les coûts de fonctionnement et d'entretien annuel (AOM) du système en fonction du coût en capital, la fiabilité des composants (λ) et de leur durée de vie peut être déterminée en utilisant l'équation suivante (99,100]:

$$AOM = C_{cap}.(1-\lambda)/y \quad (4.9)$$

Le coût de remplacement annuel (ARC) est un coût pour le remplacement des unités au cours de la durée de vie du projet. Dans cette étude, les unités qui doivent être remplacés sont des banques batterie. Sur le plan économique, l'ARC peut être calculée à partir de l'équation suivante [100]:

$$ARC = C_{rep}.SFF(i, y_{rep}) \quad (4.10)$$

Où, C_{rep} est le coût de remplacement des banques de batteries en US$, y_{rep} est la durée de vie des banques de la batterie en an. SFF est le facteur de fonds d'amortissement, un rapport pour calculer la valeur future d'une série de flux de trésorerie annuels égaux. Ce facteur est calculé comme suit [100]:

$$SFF = \frac{i}{(1+i)^{y-1}} \quad (4.11)$$

4.7Procédure d'optimisation

Les entrée requise pour l'optimisation du système sont les coûts en capital, les coûts de remplacement, les coûts d'exploitation et de maintenance de tous les composants, ainsi que l'efficacité, la durée de vie des composants et la durée de vie du projet, les spécifications des composants, de la demande de charge horaire en un an et les données météorologiques horaires en un an. Ensuite, la prochaine étape est l'initialisation de la première population de particules. La position initiale ainsi que la vitesse initiale de la particule se compose de trois vecteurs aléatoires x1, x2, x3, pour la position et v1, v2, v3 pour la vitesse. Toutes les procédures sont appliquées pour toutes les particules de la population. Ici, la valeur de x1, x2 et x3 sont représentés la taille des panneaux photovoltaïques, des banques de batteries et des générateurs diesel respectivement. Après l'initialisation de la première population est terminée, le processus de simulation est commencé comme montre sur la figure 4.5 et la figure4.6 pour déterminer la consommation annuelle de carburant de GE, les émissions de CO_2 et la non satisfaction de lacharge annuelle. Dans cette étude, nous présentons une nouvelle approche pour l'optimisation de la taille d'un système hybride d'énergie renouvelable. La méthode de contrainte a été appliquée pour réduire au minimum trois fonctions objectives: probabilité de perte de charge, les émissions de CO_2 et le coût total du système. L'approche proposée utilise une méthode basée sur PSO-simulation pour résoudre le problème d'optimisation multi-objective. Le modèle de simulation calcule la non satisfaction de la charge et des émissions de CO_2pendant toutel'année pour le système hybride d'énergie renouvelable. Dans l'étape suivante, la valeur de la perte de charge et les émissions de CO_2 sont envoyées à l'algorithme d'optimisation pour vérifier si la

particule rencontre le niveau souhaitable de la charge non satisfaits et les émissions de CO_2. Si la particule ne répondait pas aux contraintes, il est modifié et renvoyé à la simulation. Après l'initialisation des particules faisables, ils sont évalués dans les algorithmes de PSO en fonction de leur fitness. Le critère d'arrêt est vérifié, si elle n'est pas respecté, chaque particule est mise à jour pour la prochaine génération dans le cadre de l'algorithme de PSO. Après la mise à jour, les particules sont renvoyées au modèle de simulation pour examiner leur faisabilité à nouveau et le résultat de la simulation est envoyé à l'algorithme d'optimisation pour l'évaluation. Ce cycle est terminé si le critère d'arrêt est satisfait. Après terminer le cycle, la meilleure de toutes les solutions envisagées seront retournées.

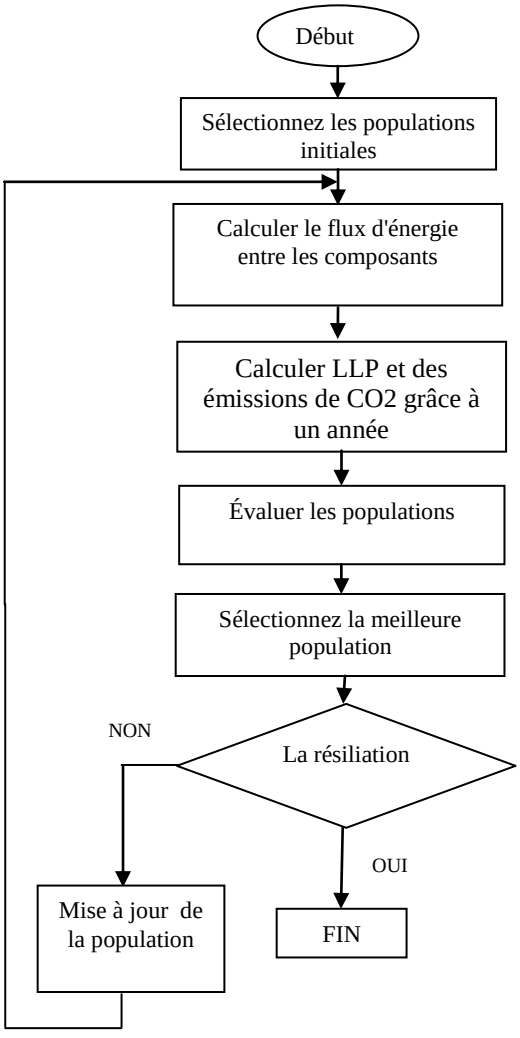


Figure. 4.6 Organigramme de la simulation-PSO

4.8 Application et résultats

Un programme PSO sous code Matlab a été développé pour déterminer la configuration optimale du système PV-Diesel-Batterie pour sud d'Algérie Tamanrasset (Ilamane). Les profils de charge quotidienne sont représentés par une séquence de puissances qui est constante sur une durée de l'étape d'une heure comme indiqué sur la figure 4.4 autres données utilisées pour le bilan énergétique annuel est présenté dans le tableau 4.2. Dans cette simulation, les paramètres PSO sont constitués de 10 particules et 150 itérations maximales. Chaque particule se compose de 3 vecteurs qui représentent la taille des panneaux photovoltaïques, des banques de batteries et des générateurs diesel. La valeur de w, C_1 et C_2 sont 0,5, 2,2 et 2,2 respectivement, où w est le facteur de pondération pour la manipulation de l'impact de l'histoire de présidente vitesses sur la vitesse actuelle, C_1 et C_2 sont les paramètres d'échelle sociale. Les courbes de convergence de l'algorithme PSO pour 5 essais indépendants sont représentées sur la figure4.7. On peut voir que les valeurs optimales sont obtenues au bout d'environ de 15 itérations. Par conséquent, 150 itérations peuvent être considérées comme un critère de terminaison équitable. Par ailleurs, on constate que la valeur optimale pour toutes les visualisations graphiques presque convergences sur la même valeur optimale (optimum global).Cinq essais indépendants de émission CO_2 et LLP sont présentés dans figure 4.8 et figure4.9. Ces chiffres démontrent le coût total minimum de système, l'émission de CO_2 et LLP. On peut voir sur ces figures que les émissions de CO_2 du système diminuent de manière significative ce qui provoque l'augmentation de la LLP à environ 0,01%. L'augmentation de la LLP du système de 0,01 à 0,012 diminuer les émissions de CO_2 modérément.

La taille optimale des composants obtenus à partir du processus d'optimisation consiste à (75 × 75W) des panneaux photovoltaïques, (90 × 2 kWh) des banques de batterie et (3 x 2.6kW) des générateurs diesel. La taille de l'onduleur est prise en fonction de la puissance maximale des banques de batteries, panneaux photovoltaïques ou GE. Son rôle également de contrôler le transfert d'énergie provenant du générateur photovoltaïque, la batterie et la charge en fonction de la disponibilité de la ressource et l'état de charge de la batterie et la priorité ou non de la charge.

Le bilan énergétique présenté dansle tableau 4.2 montre que 96,34% de l'énergie est une énergie renouvelable, cette fraction correspond une énergie de 9780,41 kWh/an, la consommation de carburant est 115.21 litres et a servi la charge primaire qui est de dire que nous avons une totale satisfaction. En utilisant l'algorithme de PSO le système actuel est réduit au minimum le coût de 17617$, soit environ 91% de ce coût est le coût de la banque de la batterie.

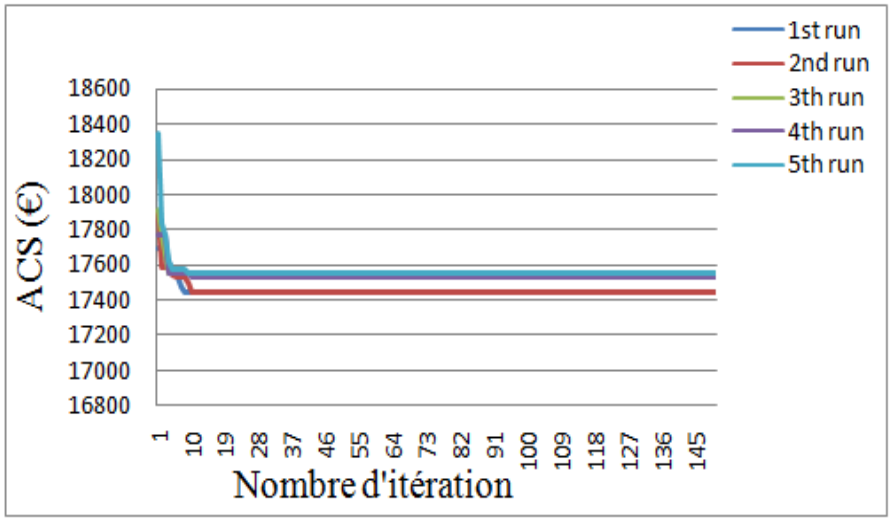


Figure 4.7 Convergence d'optimisation du coût annuel du system par PSO

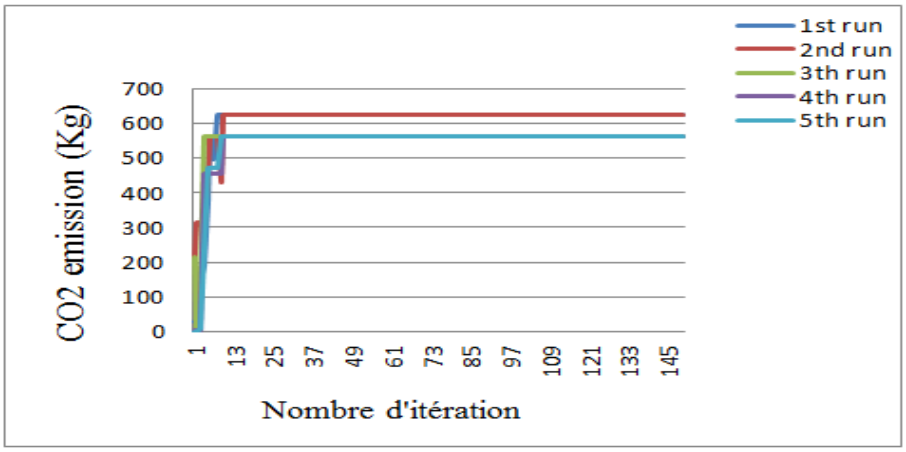


Figure 4.8 Convergence d'optimisation d'émission de CO_2 par PSO

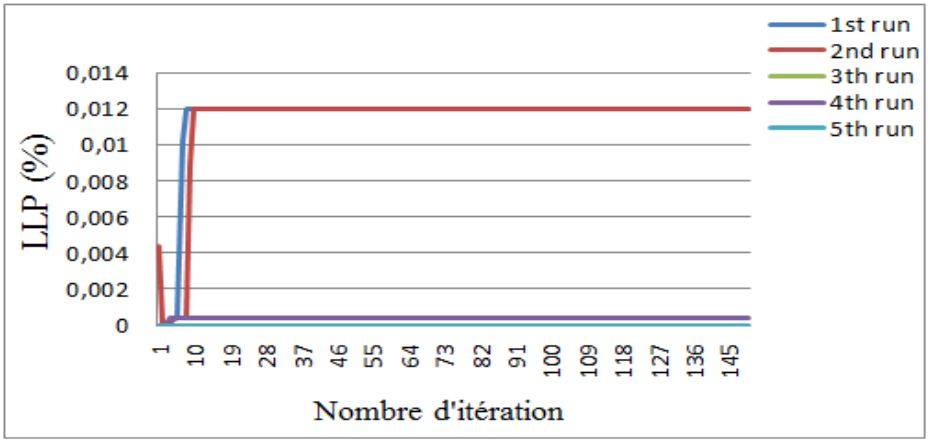


Figure 4.9 convergence d'optimisation de la perte d'énergie par PSO

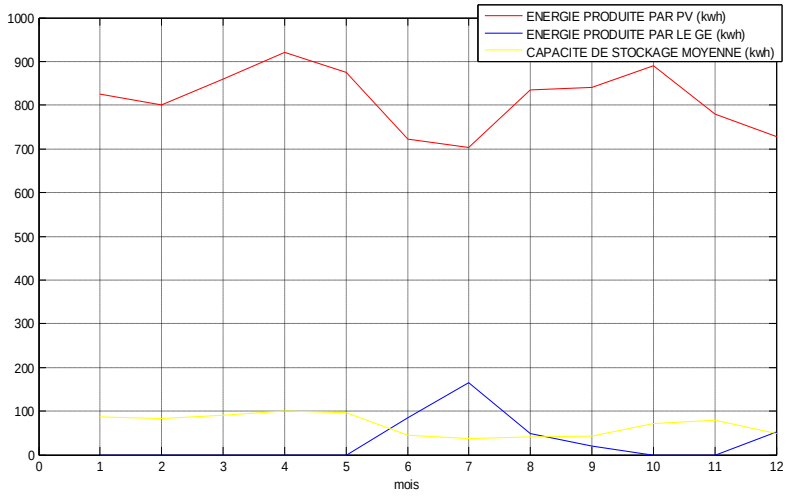


Figure 4.10 Energie mensuelle produite par PV, générateur diesel et capacité de stockage moyenne.

Notre programme Matlab donne des résultats horaires et journaliers, ce qui nous permet de faire des bilans mensuels et annuels. La figure 4.10 montre une variation mensuelle dans la production d'énergie photovoltaïque, on constate que les deux piques de production sont relatifs aux mois d'Avril et Octobre et la production est minimale dans le mois de Décembre, ces résultats influent sur la capacité de stockage dont la relation entre les deux paramètres est proportionnelle.

L'énergie produite par le groupe électrogène varient d'un mois à un autre, elle est maximaleaux mois de Juillet et elle est minimales aux mois de Janvier, Février, Mars, Avril, Mai, Octobre et Novembre. On remarque que les résultats obtenus son synchronisés par l'ensoleillement, la température et la charge.

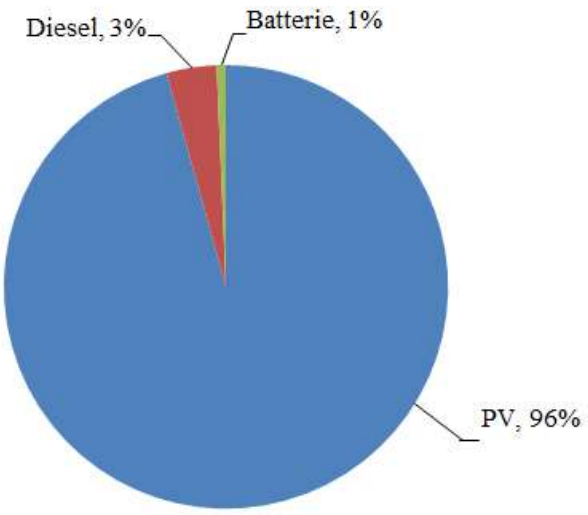


Figure 4.11 Energie annuelle produitepour chaque composant.

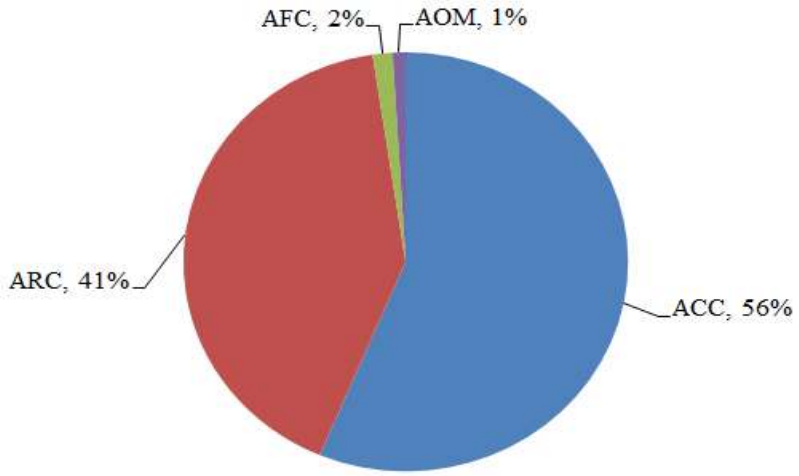


Figure 4.12Coût des différents éléments du système optimisé par PSO.

La production totale d'énergie pour chaque composant pendant une année est présentéedans la figure 4.11. PV produit l'énergie environ de 96%, 3% de GE, et 1% dela capacité de stockage moyenne des banques de batterie. Le système PV est resté l'unité importante pour fournir la demande de charge en zone rurale avec coûtsopérationnelle et maintenance acceptable. On peut voir à partir de figure 4.12 que l'élément de coût le plus cher dans le système de coût global est ACC. Le coût le plus dominant est le coût en capital des panneaux photovoltaïques comme indiqué dans table 4.3. Lecoûtde AFCobtenue à partir de PSO comme indicateurs de la partie puissance de GE est 10.46$. En outre,le Tableau 4.2 révèle également que le système proposé est en mesure d'assurer l'approvisionnement en énergie à la demande de charge avec seulement exploitationde 9780.41 kWh de PV. La valeur de ACS sous cette condition est 17617$.

Table 4.1Résultats de dimensionnement par PSO.

LP=3% ET FC<=250 Litres	
Nomre des modules PV	75
Nombre des batteries	90
Nombre des générateurs diesel	3

Table 4.2 Bilan énergétique annuel.

Nature	valeur
Energie photovoltaïque annuelle produite	9780.41 kWh
Capacité de stockage annuelle moyenne	68.43 kWh
Consommation annuelle du fuel	115.21 Litres
Energie annuelle produite par le groupe électrogène	371.64 kWh
Excès d'énergie annuel	1.56 %
Photovoltaïque	96,34 %
Groupe électrogène	3,66 %
Les heures de fonctionnement du groupe électrogène	175 heures/an
Energie annuelle totale produite	10152.05 KWh

Table4.3Bilan économique du système.

Composants	ACC ($)	O&M ($)	ARC($)	Fuel ($)	Total ($)
Générateur photovoltaïque	1122.9	12.937	0	/	1135.83
Groupe électrogène	65.093	3.75	0	10.46	79.30
batterie	9088	153.36	6808.9	/	16050.26
convertisseur	347.11	4	0	/	351.11
Système	10623.07	174.04	6808.94	10.46	17617

4.9 La simulation du comportement par Homer

4.9.1 Présentation du logiciel

Le logiciel HOMER (HybridOptimization Model for Electric Renewable) développé par NREL (National Renewable Energy Laboratory) aux états unis, prend en charge l'opération d'évaluation des conceptions des différentes systèmes de génération d'énergie électrique, que ce soit connecter à un réseau électrique classique ou bien éloigné de ce dernier pour une variété d'applications. Il permet d'analyser et de combiner divers sources d'énergie afin d'arriver à afficher une configuration optimale d'un système hybride capable de fournir de l'énergie au site spécifié d'une manière faisable selon certains critères techniques et économique [101].

Pour simuler un système hybride de génération d'énergie, il faut définir les éléments de ce dernier, en utilisant des composants définis dans la bibliothèque du logiciel comme les éoliennes, les panneaux photovoltaïques, les groupes électrogènes et les convertisseurs statiques etc. S'il est nécessaire d'ajouter un composant qui n'existe pas dans la liste des éléments définit par défaut, le logiciel nous permet de l'ajouter en introduisant toutes ces caractéristiques techniques ainsi que son coût. On peut aussi modifier les caractéristiques d'un composant déjà existant dans la bibliothèque.

Toujours HOMER, simule le fonctionnement d'un système en faisant des calculs de bilan d'énergie à chaque heure pour chacun des 8760 heures dans une année. Il trouve la combinaison la moins coûteuse qui répond aux charges électriques et thermiques spécifiques.

HOMER simule plusieurs configurations, il optimise le cout pour un cycle de vie donné et génère des résultats de sensibilité pour la plupart des situations [102].

HOMER est largement utilisé et accepté comme un outil de simulation distribué, tant au niveau national que international. De nombreuses analyses de systèmes énergétiques hybrides ont été effectuées à l'aide de cet outil et ont été publiées sous forme d'articles, en particulier sur la revue « RenewableEnergy » : voir par exemple les travaux de Iqbal [103] pour des applications dans les Newfoundland (au Canada), Shaahid et Elhadidy [104] pour les systèmes hybrides photovoltaïques-diesel-batteries, Beccali et al. [105] pour les systèmes SER à hydrogène.

4.9.2 Description du système :

Au début, il faut schématiser le système, par le choix des composants qui fournissent l'énergie à la charge (photovoltaïque, générateur diesel, pile à combustible…..etc.), plus les unités de stockage (batterie, réservoir d'hydrogène). Tous les composants sont connectés avec la charge à l'aide d'un convertisseur AC\DC, et avant de simuler le comportement du système, il faut connaitre les paramètres d'entrée et les paramètres de sortie du système.

- **Paramètres d'entrée :**
  - Dimension en KW de chaque composant.
  - Duré de vie par an ou par heure.
  - Les ressources (radiométriques, météorologiques)
  - Coût d'un KW en $.
  - Coût de remplacement.
  - Coût d'opération et de maintenance en $/an et en $/heure respectivement.

- Prix du carburant utilisé pour le générateur.

- **Paramètres de sortie :**
  - Fraction d'utilisation annuelle pour les deux sources d'énergies (fossile et renouvelable)
  - L'énergie annuelle fournie pour chaque composant.
  - L'excès d'énergie.
  - Coût d'énergie produite.
  - L'investissement initial.
  - Le coût actuel net NPC.
  - L'émission des gaz à effet de serre.

La figure 4.13 présente le schéma du système adopté pour la simulation. Dans ce schéma le convertisseur permet la circulation du courant dans les deux sens (AC/DC et DC/AC) ; le générateur photovoltaïque et les batteries produisent un courant continu connecté avec la charge à l'aide du convertisseur et d'autre part, le groupe électrogène permet la charge des batteries à travers le convertisseur.

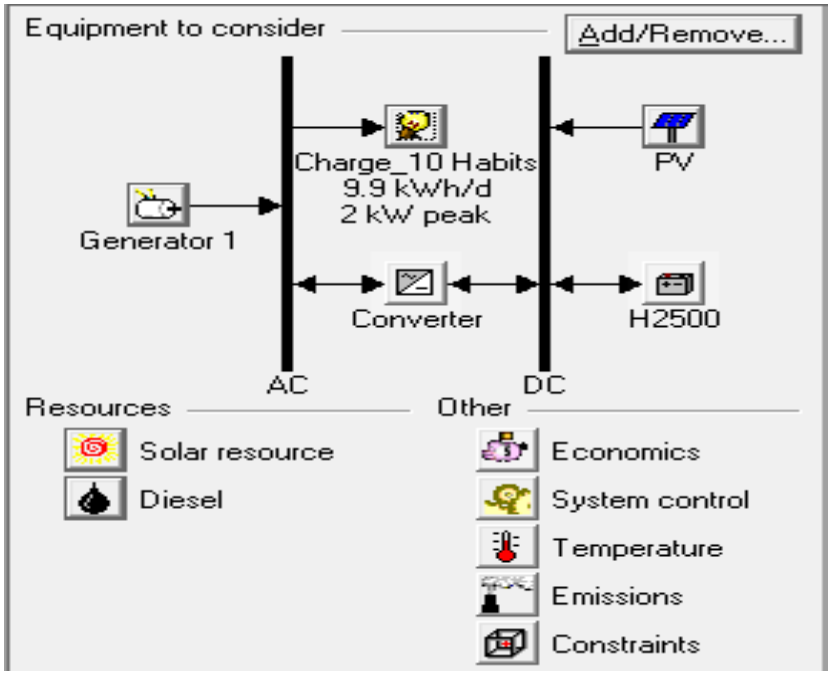


Figure 4.13 Schéma du système

4.9.3 Les caractéristiques de chaque composant du système

Le générateur photovoltaïque :

- Les puissances crêtes proposées du générateur photovoltaïque pour le calcul de la simulation sont :

  2kWc, 3kWc, 4kWc, 5kWc, 6kWc et 7kWc.

- La durée de vie des modules photovoltaïques est de 20 ans. Le système est fixe (pas de système de poursuite) et l'angle d'inclinaison égale à la latitude du lieu c'est-à-dire β=23.12°.
- L'effet de la température est considéré.

Les batteries :

- Le banc des batteries se compose de 20 batteries et les batteries utilisées sont des batteries à plaques tubulaires de marque *Hoppecke.*
- La durée de vie des batteries est 5 ans.
- La capacité nominal de chaque batterie est 2500 Ah et sa tension 2V.
- La tension globale du banc des batteries est 48V.

Le convertisseur :

- Les puissances du convertisseur à considérer sont : 1kW, 1.5kW et 2kW.
- Le rendement de l'onduleur est 95% et le rendement du chargeur des batteries est 90%.
- La durée de vie du convertisseur est 15 ans.

Le groupe électrogène :

- Les puissances des groupes électrogènes à considérer sont : 0.1kVA, 0.3kVA, 0.5kVA et 0.7kVA.
- Durée de vie est 15000 heures.
- Le carburant utilisé est le fuel.
- Le coût du groupe électrogène oscille entre 400 et 800 $/kVA [106].

4.9.4 Résultats et discussions

Après la simulation, HOMER affiche les solutions selon le coûtd'énergie minimal comme il est monté ci-dessous :

Sensitivity Results | Optimization Results

Double click on a system below for simulation results.

PV (kW)	Label (kW)	H2500	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost ($/yr)	Total NPC	COE ($/kWh)
2	0.5	5	1.0	$ 29,050	1,182	$ 44,161	1.024
2	0.7	5	1.0	$ 29,070	1,200	$ 44,414	0.989
2	1.1	5	1.0	$ 29,110	1,203	$ 44,493	0.967
2	0.9	5	1.0	$ 29,090	1,209	$ 44,551	0.974
2	0.5	5	1.5	$ 31,050	1,180	$ 46,134	1.024
2	1.1	5	1.5	$ 31,110	1,181	$ 46,213	1.005
2	0.7	5	1.5	$ 31,070	1,195	$ 46,343	1.008
2	0.9	5	1.5	$ 31,090	1,198	$ 46,403	1.009
2	0.5	5	2.0	$ 33,050	1,181	$ 48,149	1.075
2	1.1	5	2.0	$ 33,110	1,183	$ 48,236	1.050
2	0.7	5	2.0	$ 33,070	1,194	$ 48,333	1.054
2	0.9	5	2.0	$ 33,090	1,194	$ 48,360	1.054
2	0.5	5	3.0	$ 37,050	1,176	$ 52,083	1.176
2	1.1	5	3.0	$ 37,110	1,180	$ 52,200	1.137
2	0.7	5	3.0	$ 37,070	1,188	$ 52,260	1.145
2	0.9	5	3.0	$ 37,090	1,187	$ 52,265	1.142
2	0.5	5	3.5	$ 39,050	1,179	$ 54,115	1.222
2	1.1	5	3.5	$ 39,110	1,183	$ 54,232	1.181
2	0.7	5	3.5	$ 39,070	1,191	$ 54,292	1.190
2	0.9	5	3.5	$ 39,090	1,190	$ 54,297	1.186
3	0.5	5	1.0	$ 39,050	1,296	$ 55,617	1.283

Figure 4.14 Résultats de simulation

Il y'a plusieurs solutions de configuration pour notre système, mais on a choisi d'analyser les différents résultats techniques obtenus de la solution optimale :

Architecture du système :

- Générateur PV 2 KW
- Banc des batteries 5Hoppecke 20 OPzS 2500
- Convertisseur 1 KW
- Groupe électrogène 0.5 KW

4.10 Production d'énergie annuelle

La production annuelle d'énergie a donné une charge primaire servie. C'est-à-dire, nous avons obtenu une satisfaction totale (100%) avec un léger excès en énergie durant l'année. Le tableau 4.4 représente les résultats de la production énergétique annuelle des deux sources d'énergie le photovoltaïque et le groupe électrogène. Les résultats de calcul concernant le stockage électrochimique, les heures de fonctionnement et pertes énergétiques du convertisseur, et la

quantité des polluants émises durant une année de fonctionnement du système hybride sont donnés dans les Tableaux 4.5, 4.6 et 4.7.

Table 4.4 Résultats de la production annuelle d'énergie pour les deux sources.

Nature	Photovoltaïque	Groupe électrogène
Energie annuelle produite	2564 kWh/an (55%)	207,3kWh/an (45%)
Les heures de fonctionnement	2416 heures	451 heures
Consommation en fuel	\	73,3 L/an
Energie moyenne par jour	7.02 kWh/j	\

Table 4.5 résultats du bilan annuel des batteries.

Nature	Energie (kWh)
Capacité nominale	25
Energie entrée par an	2395
Energie sortie par an	2066
Les pertes d'énergie par an	325

Table 4.6 résultats du bilan annuel du convertisseur.

	Onduleur	Chargeur de batterie
Les heures de fonctionnement (h)	3241	2596
Energie entrée (KWh/an)	2815	1234
Energie sortie (KWh/an)	2534	1049
Les pertes d'énergie (KWh/an)	281	185

Table 4.7 Emissions des gaz polluants.

Polluants	Emissions (kg/an)
Dioxyde de carbone (CO_2)	193
Monoxyde de carbone (CO)	4.76
Oxyde d'azote (NOx)	3.88

Les dimensions des composants de la solution optimale obtenus par HOMER sont un peu différentes de celles obtenues par notre approche sous Matlab, car la simulation dans HOMER s'articule autour du coût d'énergie minimal ce qui influe sur les résultats techniques.

Le bilan énergétique montre que 55% de l'énergie produite est une énergie renouvelable, cette fraction correspond à une énergie de 2564 KWh/an.

Les résultats techniques obtenus par HOMER confirment, en général, les résultats obtenus par Matlab.

Notre programme sous Matlab effectue un bilan énergétique horaire et journalier le long d'une année, ce qui' il le fait un outil d'aide à la simulation des systèmes.

4.11 Résultats économiques

HOMER cherche la solution optimale selon le plus faible coût d'énergie et le coût actuel net. Pour chaque composant HOMER combine les coûts de remplacement, de maintenances et le coût de combustible, avec d'autres coûts pour évaluer le coût annualisé des composants puis évaluer le NPC (Net Present Cost : présent coût net) par l'équation suivante [107] :

$$C_{NPC} = \frac{C_{anntot}}{CRF\left(i.R_{proj}\right)} \tag{4.12}$$

C_{NPC} : le coût actuel net.

C_{anntot}: coût annualisé total.

R_{proj} : la durée de vie du projet.

CRF : le facteur de récupération capital.

Le CRF est donné est donné par l'équation suivante :

$$CRF(i,N)=\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N-1} \tag{4.13}$$

i : le taux d'intérêt.

N : le nombre d'années.

Pour le coût de l'énergie HOMER utilise le coût total annualisé dans l'équation suivante :

$$COE=\frac{C_{anntot}}{E_{prim}+E_{del}+E_{gridsales}} \tag{4.14}$$

E_{prim} : énergie primaire AC ou DC.

E_{def} : énergie électrique et énergie thermique.

E_{grid}: énergie provenant du réseau conventionnel.

Pour un capital initial de 29050$, un coût net de 44161$ et un coût d'énergie de 1.024 $/kWh, les résultats économiques obtenus pour notre système hybride sont représentés dans le Tableau 4.8.

Table 4.8 bilan économique annuel du système.

Composent	**Capital initial ($)**	**O&M ($)**	**ARC ($)**	**Fuel ($/L)**	**Salvage ($)**	**Total ($)**
Générateur photovoltaïque	20,000	3,324	62	0	-35	23,351
Groupe électrogène	50	0	10	1,874	0	1,934
Hoppecke 20 OPzS 2500	5,000	9,802	16	0	-8	14,811
Convertisseur	4,000		17	0	-3	4,065
Système	29,050	13,177	106	1,874	-46	44,161

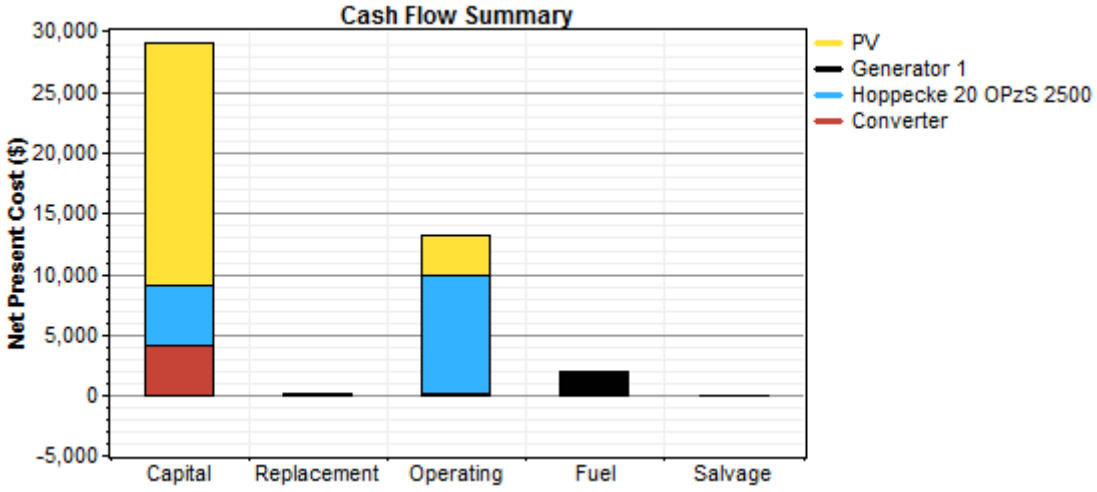


Figure 4.15 Evaluation économique des coûts

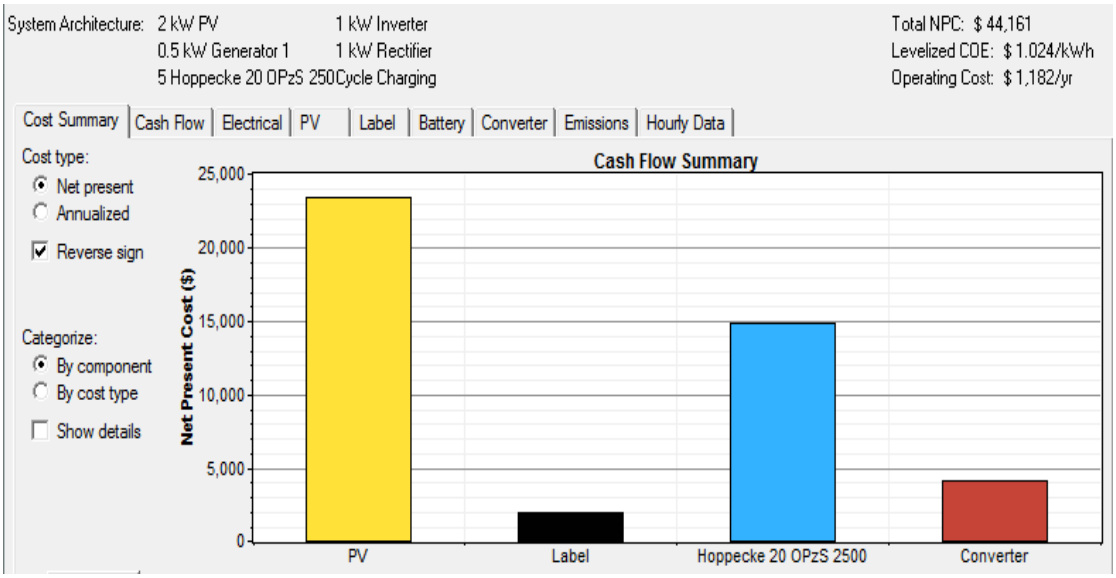


Figure 4.16 Evaluation économique des composants

D'après les résultats économiques obtenus, nous avons constaté que les coûts du générateur photovoltaïque plus les batteries représentent 88% du capital initial. Le capital initial du système est de 29050 $ et il est proche du coût actuel net (NPC) qui est de 44161 $ ce qui implique que nous n'allons pas perdre de l'argent pour l'évaluation à long terme.

4.12 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une nouvelle approche basée sur la méthode PSO pour l'optimisation des systèmes hybrides. Une méthode de contrainte a été appliquée pour minimiser simultanément le coût total du système, la perte d'énergie dans la charge ainsi que les émissions de gaz CO_2 dans le groupe diesel. Cette étude a porté sur la commande, l'analyse et

l'optimisation d'un système hybride (PV-Diesel-Batterie) à l'aide de deux logiciels Matlab et HOMER.La méthode PSO a la capacité de rejoindre l'optimum global avec l'exigence de calcul relativement simple. Le système proposé avec le dimensionnement optimal se compose de 75 × 75W des panneaux Photovoltaïques, 90 × 2 kWh des Banques de batterie et 3 x 2.6kW des Générateurs diesel. En utilisant les paramètres obtenus à partir de l'optimisation, l'ACS pourrait être d'environ de 17617$. Cependant, l'utilisation du système d'énergie hybride pourrait réduire le coût opérationnel de GE et les émissions de CO_2.En outre, malgré le coût de fonctionnement de PV est encore cher, le système PV est toujours la clé importante pour alimenter la demande de charge dans les zones éloignées et isolées en raison de leur conception compacte et rapport spécifique élevée. En plus, la méthode d'optimisation proposée pourrait être utilisée pour l'optimisation du système hybride PV-Diesel-Batterie dans toutes les régions avec différentes données météorologiques et conditions de charge.

Parfois le coté économique n'est pas primordiale lorsque nous parlons de l'autonomie de production dans les zones rurales où les quelques kWh produits par une installation solaire donne un grand espoir de l'amélioration de la qualité de vie dans une communauté isolée. Mais la structure des coûts d'investissement montre que la baisse des prix des modules photovoltaïques, le composant essentiel dans le système, dans le futur favorisera l'émergence et la rentabilité de cette application.

Chapitre 5: Optimisation Mono-Objective et Conception Optimale par Loup Gris du Système Hybride: Application au site de Djanet (Illizi)

5.1 Introduction:

Cechapitre présente l'application de l'un des derniers algorithmes d'intelligence d'essaim, à savoir l'optimiseur de loup gris (GWO) qui s'inspire des loups gris. L'algorithme GWO imite la hiérarchie de leadership et le mécanisme de chasse des loups gris dans la nature. Il existe quatre types de loups gris qui sont alpha, beta, delta et omega. Ces quatre types sont utilisés pour simuler la hiérarchie des dirigeants. Pour compléter le processus de GWO trois étapes principales de la chasse : la recherche de proie, encerclantde proie et attaquantla proie sont implémentées. La stratégie proposée est appliquée pour une conception optimale et minimise le coût total du système de production d'énergie renouvelable hybride dans un village rural isolé dans le sud d'Algérie appelé "Djanet". Un système d'alimentation composé des panneaux photovoltaïque, générateurs diesel, des batteries et de la charge est considéré pour tester l'approche proposée. Les résultats obtenus par cette nouvelle méthode sont comparés avec l'algorithme d'optimisation par essaim de particules (PSO); Il est démontré que la méthodologie proposée trouve le nombre optimal de panneaux photovoltaïques, de générateurs diesel et de batteries facilement avec une convergence rapide, un coût inférieur et les capacités supérieures de la méthode proposée sont démontrés.

5.2 Optimiseur de loup gris (GWO)

L'algorithme GWO a été proposé par Mirjalili et Lewis en 2014. Le leadership social et la technique de chasse des loups gris ont été l'inspiration principale de cet algorithme. Afin de modéliser mathématiquement la hiérarchie sociale des loups lors de la conception de GWO, la solution la plus adaptée est considérée comme le loup alpha (α). Par conséquent, le deuxième et la troisième meilleure solution sont nommés loups beta (β) et delta (δ), respectivement. Le reste des solutions candidates sont supposés être des loups omega(ω). Dans l'algorithme GWO, la chasse (optimisation) est guidée par α, β et δ. Les loups ω suivent ces trois loups dans la recherche de l'optimum global. De plus, au leadership social, les équations suivantes ont été proposées pour simuler le comportement encerclant des loups gris pendant la chasse [110]:

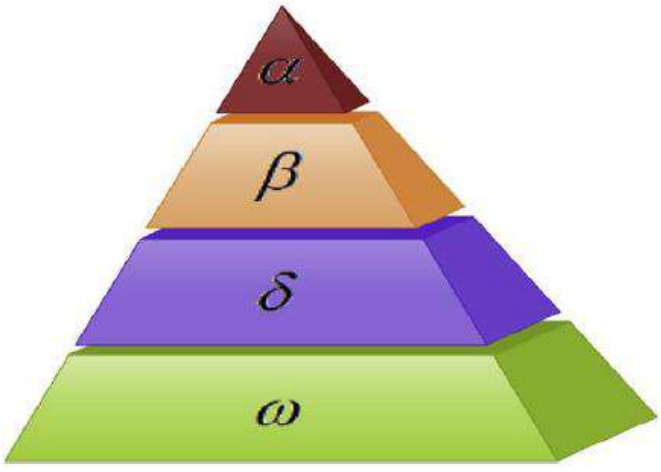


Figure 5.1 Hiérarchie des loups gris (la dominance diminue de haut en bas)

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\overrightarrow{X_p}(t) - \vec{X}(t)\right| \quad (5.1)$$

$$\overrightarrow{X(t+1)} = \overrightarrow{X_p}(t) - \vec{A}.\vec{D} \quad (5.2)$$

Où $\vec{X}$ est la position du loup gris, $\overrightarrow{X_p}$ indique la position de la proie, t est l'itération actuelle, et$\vec{A}$, $\vec{C}$sont les coefficients des vecteurs qui peuvent être obtenus par [110]:

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\overrightarrow{r_1} - \vec{a} \quad (5.3)$$
$$\vec{C} = 2\overrightarrow{r_2} \quad (5.4)$$

Où, r_1 et r_2 sont des vecteurs aléatoires entre 0 et 1, et $\vec{a}$ est supposé diminué linéairement de 2 à 0 pendant le processus d'itérations.

Les loups gris sont capables de reconnaître l'emplacement de la proie et de l'encercler guidé par l'alpha. Cependant, nous ne sait rien sur la position de l'optimum (proie) dans un espace de recherche. Par conséquent, a fin de simuler mathématiquement le comportement de chasse du loup gris, nous supposons que alpha, beta et delta ne savent plus des informations sur la position potentielle de la proie. Sur cette base, les trois premières meilleures solutions obtenues jusqu'à présent sont enregistrés et les autres agents de recherche tels que omegas sont obligés de mettre à jour leurs positions selon les trois premier meilleurs positions. Ce processus peut être simulé mathématiquement par les formules de mise à jour suivantes:

$$\vec{D}\alpha = \left|\overrightarrow{C_1}.\vec{X}\alpha - \vec{X}\right| \quad (5.5)$$
$$\vec{D}\beta = \left|\overrightarrow{C_2}.\vec{X}\beta - \vec{X}\right| \quad (5.6)$$
$$\vec{D}\delta = \left|\overrightarrow{C_3}.\vec{X}\delta - \vec{X}\right| \quad (5.7)$$
$$\vec{X}1 = \vec{X}\alpha - \vec{A}1.\vec{D}\alpha \quad (5.8)$$
$$\vec{X}2 = \vec{X}\beta - \vec{A}1.\vec{D}\beta \quad (5.9)$$
$$\vec{X}3 = \vec{X}\delta - \vec{A}1.\vec{D}\delta \quad (5.10)$$
$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}1+\vec{X}2+\vec{X}3}{3} \quad (5.11)$$

Les comportements de chasse sont terminés en attaquant la proie lorsqu'elle arrête de bouger. Ce processus peut être implémenté mathématiquement en diminuant la valeur de$\vec{a}$ de 2 à 0, ce qui provoque également une diminution de la valeur de$\vec{A}$. Lorsque les valeurs de $\vec{A}$ sont dans l'intervalle [-1, 1], les loups gris attaquent la proie. Le comportement d'attaque rend l'algorithme GWO d'excellentes performances en exploitation ou en recherche locale [111]. Une autre composante de GWO qui favorise l'exploration est$\vec{C}$. Le vecteur $\vec{C}$ génère des valeurs aléatoires dans [0, 2], dans lequel des poids aléatoires pour les proies sont fournis afin d'accentuer stochastiquement (C> 1) ou d'accentuation (C <1). Le paramètre C a été délibérément requis pour fournir des valeurs aléatoires en tout temps afin de souligner l'exploration non seulement lors des itérations initiales mais aussi des itérations finales. Ce composant est très utile en cas de stagnation optima locale, en particulier dans les itérations finales. La position suivante d'un agent de recherche peut être dans n'importe quelle position entre sa position actuelle et la position de la proie, ce qui aide les agents de recherche à

converger vers une position de proie estimée fournie par les solutions alpha, beta et delta. Le processus de recherche de l'algorithme GWO commence dans l'initialisation des solutions candidates en créant une population aléatoire de loups gris. Au cours des itérations, les alpha, beta et delta estiment les positions réalisables de la proie et de chaque solution candidate ici en mettant à jour sa position avec les équations (5.5) à (5.11). Pendant ce temps, l'exploration et l'exploitation sont soulignées en définissant le paramètre $\vec{a}$pour diminuer linéairement de 2 à 0 au cours des itérations. Les solutions de candidat divergeront de la proie quand $|\vec{A}| > 1$ et convergeront vers la proie lorsque $|\vec{A}| < 1$comme indiqué sur la Figure 5.2 et 5.3. Enfin, l'algorithme GWO se termine lorsqueles critères d'arrêt sont satisfaits. Le pseudo code de GWO est représenté sur la Figure 5.4.

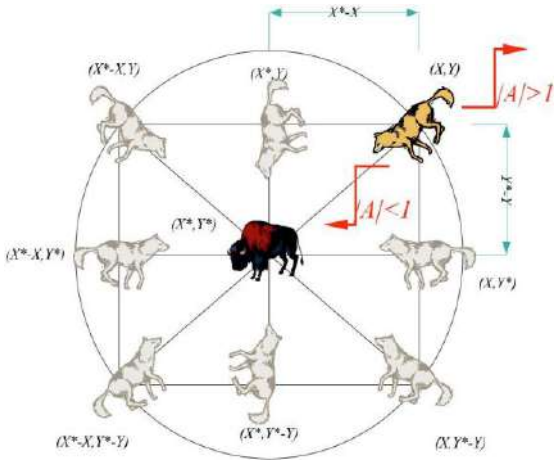
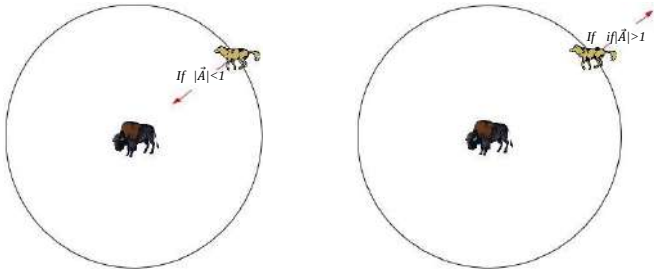


Figure 5.2 Positionner le mécanisme de mise à jour des agents de recherche et les effets de A sur celui-ci



(a) (b)

Figure 5.3 Attaquer la proie contre la recherche de proie

Début de l'algorithme
Initialiser la population de loup gris xi = 1,2, ..., n
Initialiser les paramètres A, a et C
Calcule l'aptitude de chaque agent de recherche
Xα= Le meilleur agent de recherche
Xβ=Le deuxième meilleur agent de recherche
Xδ = Le troisième meilleur agent de recherche
Tandis que t<Max_Generation
Pour l'espace de recherche
Mettre à jour la position de l'agent de rythme actuel en utilisant l'équation (5.11)
Fin
Mettre à jour les paramètres a, A et C
Calcule l'aptitude de l'agent de recherche
Mettre à jour Xα, Xβ et Xδ
t=t+1
Fin
Retourné Xα

Figure 5.4 Le processus et le pseudo code du GWO

5.3 Description du problème

La configuration optimale a été effectuée à l'aide du logiciel Matlabm-file. GWO est utilisé pour trouver la configuration optimale du système étudié. Les données météorologiques annuelles, le profil de charge, les spécifications des composants et les autres données sont utiliséspour le calcul économique et de fiabilité.

Pour implémenter GWO afinde résoudre le dimensionnement optimal du système hybride PV-Groupe Diesel-batterie, les étapes suivantes sont appliquées:

- Initialiser la population et les paramètres de GWO.
- Initialiser les agents de recherche et générer les variables au hasard, 3 vecteurs qui représentent la taille des panneaux photovoltaïques, des batteries et des générateurs diesel.
- Calculer la fonction objective selon l'équation (4.5) de chapitre précédent de chaque agent de recherche.
- Sélectionnez le meilleur agent de recherche correspondant à la valeur de fonction objectif la plus basse.
- Mettre à jour la position de l'agent de recherche par l'équation (5.11), tandis que t <nombre maximum d'itérations et déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques (N_{PV}), le nombre de batteries (N_{BAT}) et le nombre de générateurs diesel (N_{DG}).
- Calculer la fonction objective de nouveaux de chaque agent de recherche.
- Trouver le nouveau meilleur agent de recherche et remplacez-le par l'ancien agent de recherche le plus récent, autrement dit, le nouveau est meilleur que l'ancien meilleur agent de recherche
- Ce cycle est terminé si le critère d'arrêt est respecté.
- Après la fin du cycle, le meilleur de toutes les solutions envisagées sera retourné.

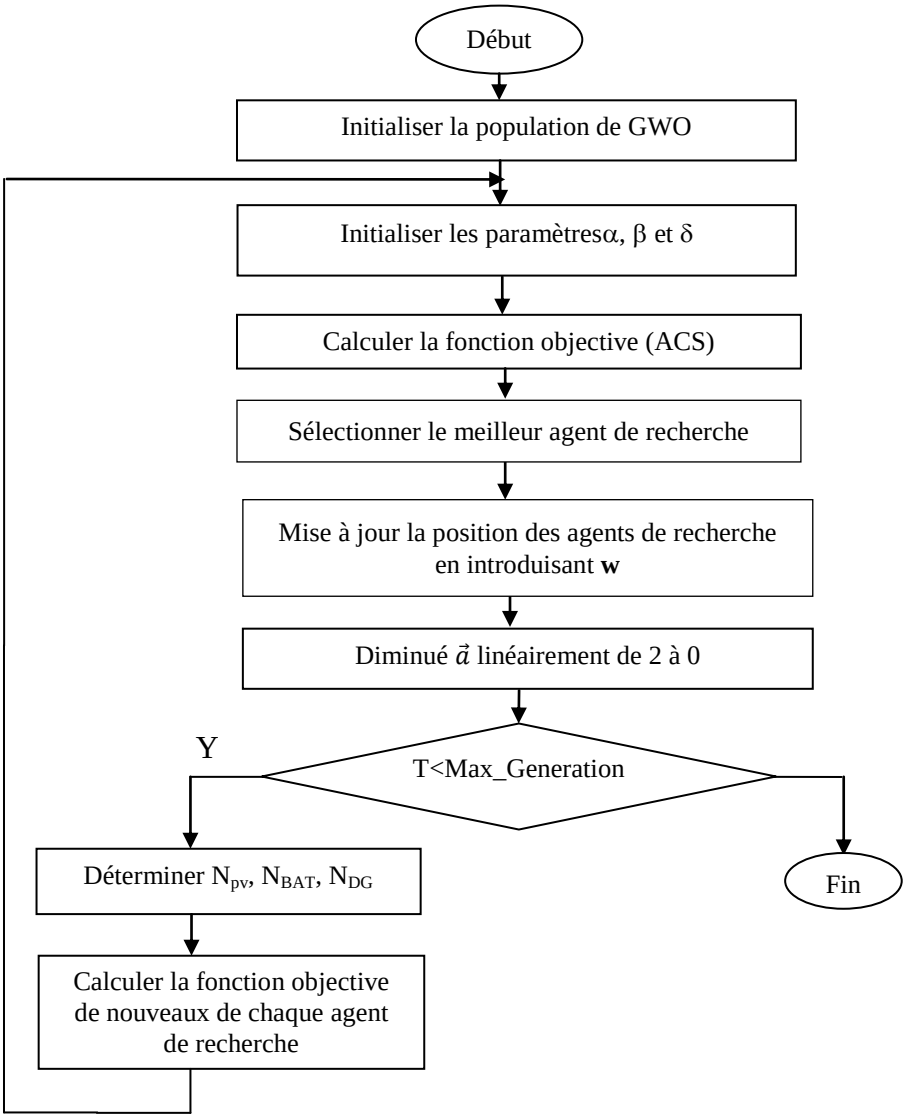


Figure 5.5 Organigramme d'optimisation par GWO

5.4 Application et résultat

Dans cettepartie, le dimensionnement optimal du système d'énergie renouvelable hybride à l'aide de l'optimiseur de loup gris (GWO) et de l'optimisation par essaim de particules (PSO) est présenté pour déterminer la configuration optimale des panneaux photovoltaïques, des générateurs diesel, des batteries et minimiser le coût total annuel du système hybride. En outre, GWObasé surle code Matlab est appliqué pour formuler le problème d'optimisation. Le système utilisé dans ce travail est basé sur le système hybride installé dans le sud d'Algérie (Illizi). La figure 3.2, 3.3 et la figure 3.4 de chapitre 3 montre les données météorologiques (température et ensoleillement) le profil de charge horaire respectivement. La puissance quotidienne générée par le panneau photovoltaïque est illustré dans la figure 5.8. Le GWO a été implémenté avec 30 agents de recherche et 100 itérations.

La figure 5.7 illustre la courbe de convergence de GWO, après 8 itérations, le GWO converge vers une solution optimale. Cependant, les résultats obtenus en utilisant PSO illustrent la figure 5.6 montrent que le système hybride après 17 itérations converge vers une

valeur fixe. Il est clair que la vitesse de convergence de GWO est supérieure que la méthode d'optimisation par PSO.

La performance de l'approche proposée (GWO) pour un dimensionnement optimal dans le système d'énergie renouvelable hybride est présentée dans le tableau 5.1. Le PSO est une méthode d'optimisation méta-heuristique avec un concept simple, une mise en œuvre facile et une quantité raisonnable de temps de calcul pour trouver une bonne solution. Cependant, sa convergence est souvent lente par rapport au nouvel algorithme proposé.

Les résultats montrent que la solution optimale en utilisant GWO entraîne un coût de 16825,64 $, alors que le coût de la mise en œuvre de la procédure PSO est de 16872,66 $. Par conséquent, la méthode proposée a le coût le plus bas par rapport à la méthode PSO. La taille optimale des composants obtenus à partir du processus d'optimisation avec la méthode GWO 33 panneaux solaires, 90 batteries et 2 générateurs diesel. Les résultats de simulation basés sur le code PSO sont présentés dans le tableau 5.1, la solution optimale est 38pour les panneaux solaires, 90 pour les batteries et 3 pour les générateurs diesel. En outre, ce tableau montre que la solution optimale par GWO est proche des résultats par rapport la méthode PSO.

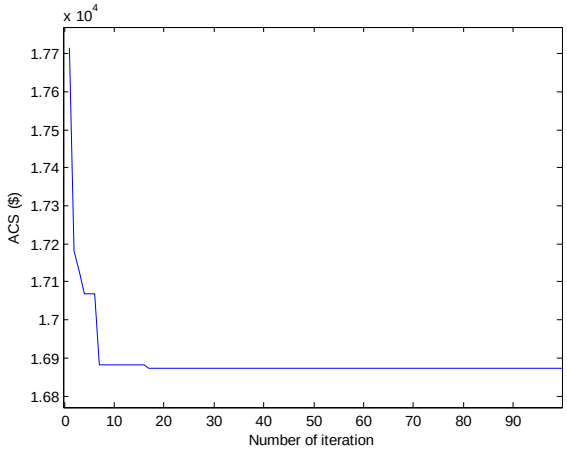


Figure5.6 Convergence de l'optimisation du système de coûts annuel en utilisant l'algorithme PSO

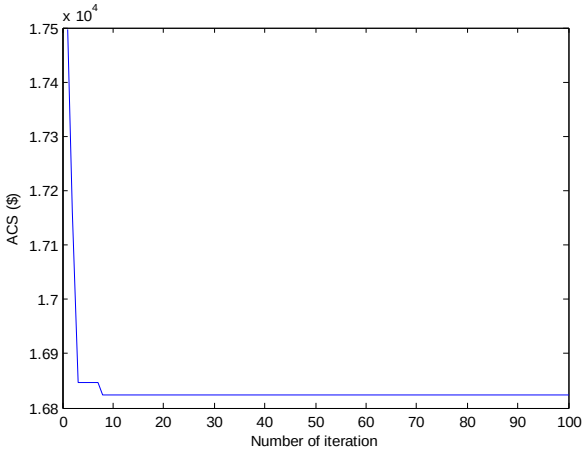


Figure5.7 Convergence de l'optimisation du système de coût annuel en utilisant l'algorithme GWO

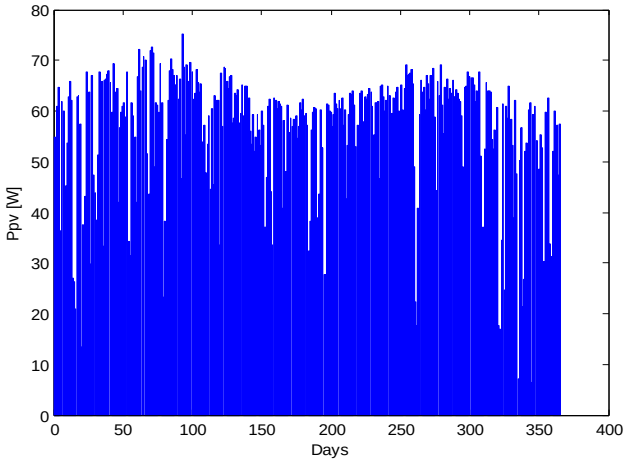


Figure 5.8Puissancejournalièreproduite par le panneau PV

Tableau 5.1 Résultats de l'algorithme GWO de dimensionnement optimal par rapport à l'algorithme PSO

Components	GWO	PSO
PV panels	33	38
Battery banks	90	90
Diesel generators	2	3
ACC ($)	10519,38	10214,95
AOM ($)	170,46	160.81
AFC ($)	497,3	447,9
ARC ($)	5638,5	6049
ACS ($)	16825,64	16872,66

Tableau 5.2 Coût capital annuel de chaque

PV ($)	Battery ($)	Diesel ($)	Inverter ($)
9522	887,8	43,78	65,8

La figure 5.9 illustre les coûts des différents éléments du système optimisés par GWO. À partir de ces chiffres, on constate que le composant coût le plus coûteux dans le système de coût global est l'ACC. Le coût le plus dominant est le coût en capital des panneaux photovoltaïques, comme indiqué dans le tableau 5.2. Le coût en capital annuel de générateur diesel et la valeur de la batterie obtenue auprès de GWO sont respectivement de 43,78 $ et 887,8 $. Le tableau 5.1 révèle également que le système proposé est capable de sécuriser l'approvisionnement en énergie de la demande de charge. Par conséquent, la configuration proposée peut réduire le coût environ de 16825,64 $.

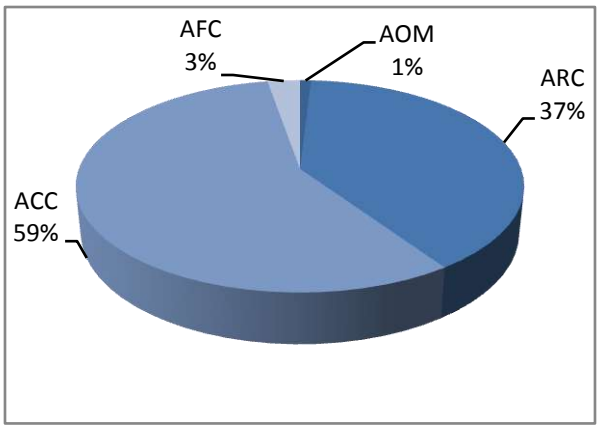


Figure 5.9 Coûts des différents éléments optimisés par GWO

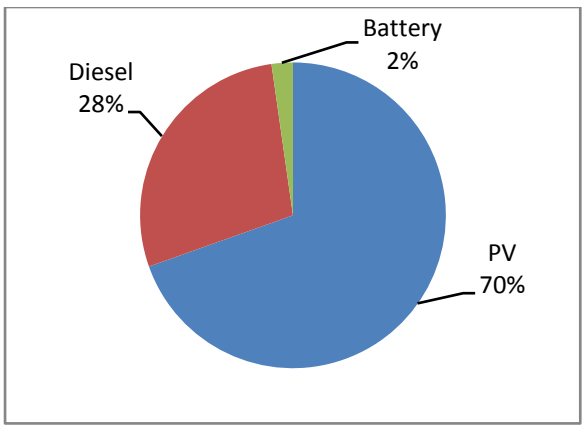


Figure 5.10Energie annuelle produite pour chaque composant

La performance de GWO comparé avec PSO est illustrée dans la figure 5.11. Dans cette figure on peut constater que la meilleure valeur est 16070,21$, la valeur moyenne est

16248,63$ et le mouvais valeur est 16288,26$ pour l'algorithme GWO. Les valeurs optimale obtenue par le processus d'optimisation par la méthode consiste la meilleure valeur est 16248,61$, la valeur moyenne est 17281,28$ et le mouvais valeur est 17353,75$.

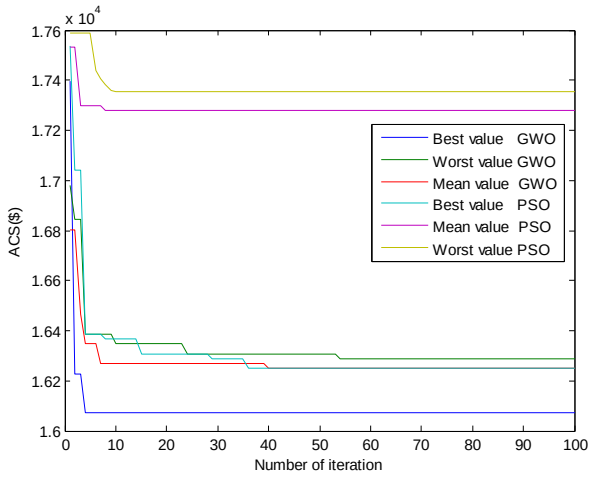


Figure 5.11 Performance de GWO compare avec PSO pour trouver la configuration optimale

La figure 5.12 présent la variation des PV_s, GE_s et les banques de batteries durant l'optimisation par GWO, on peut constater sur cette figure que l'augmentation des PV_s peut minimiser les opérations des groupes diesel, et cela diminué la consommation du fuel.

La diminution des PV_s et les batteries présent un impact significatif du ACS présenté dans le tableau 5.1. D'après ces résultats on peut dire que le ACC est le cout le plus chère dans le système du cout globale ce qu'il faut le minimisé.

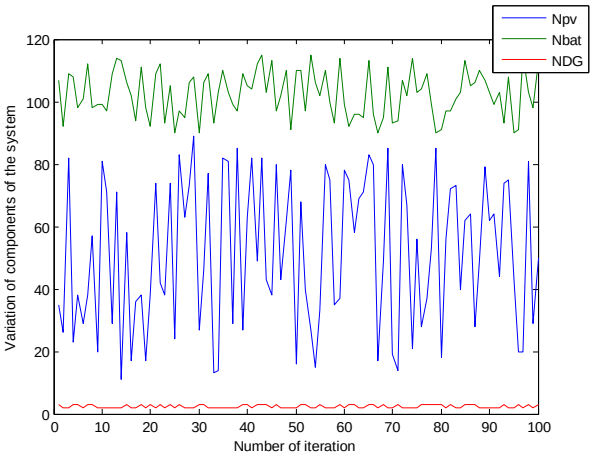


Figure 5.12 variation deN_{PV}, N_{GE} et N_{BAT}durant l'optimisation par GWO

La variation des paramètres d'optimisation obtenus par GWO tels que Xα, Xβ et Xδ qui représentent le meilleur agent de recherche, le deuxième meilleur agent de recherche et le troisième meilleur agent de recherche respectivement pour trois essai indépendantes est présentée à la figure 5.13 On peut constater sur cette figure que les paramètres obtenus à partir des processus d'optimisation ont donné lieu à la détermination de la meilleure configuration

du système et que ces paramètres ont un effet significatif dans la performance de cet algorithme.

La taille optimale des composants pour différentes valeurs du coût total obtenu à partir du processus d'optimisation par la méthode GWO est démontrée à la figure 5.14 Ces résultats montrent que le coût total augmente ou diminue approximativement avec les changements dans ces paramètres alors que les configurations des composants ayant un effet significatif sur le cout totale du système.

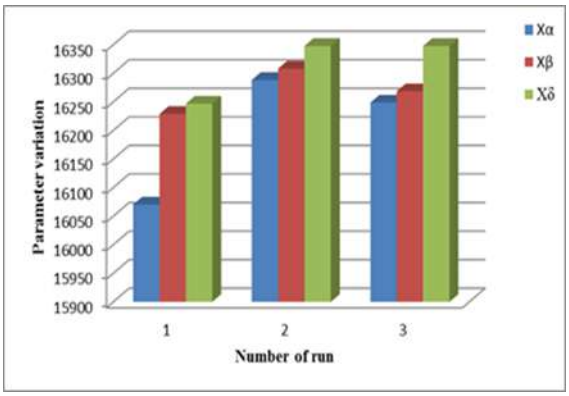


Fig. 5.13 Variation du des valeurs α, β et δobtenue par l'algorithm GWO pour trois essais indépendant

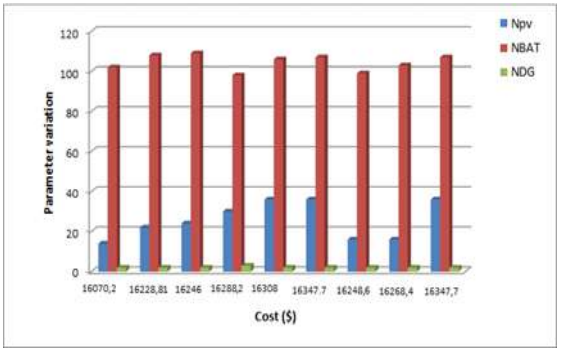


Figure 5.14 la variation deN_{PV}, N_{DG} et N_{BAT} obtenue par l'algorithme GWO pour différentes valeurs de ACS

5.5 Analyse de sensibilité

Dans cette section, pour évaluer les performances du système de génération d'énergie hybride, l'analyse de sensibilité est appliquée. Pour atteindre cet objectif, on étudie l'impact des variations de l'efficacité de l'onduleur et du niveau de charge sur l'optimisation du système.

5.5.1 Impact de l'efficacité de l'onduleur

Le rôle principal de l'onduleur est de convertir le courant continu (DC) en courant alternatif (AC). En effet, il est responsable du transfert de l'énergie des RER vers des charges. Par conséquent, la performance appropriée de l'onduleur joue un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du HPWGS. Les résultats d'optimisation pour trois valeurs différentes pour l'efficacité de l'onduleur sont présentés dans le tableau 5.3. Selon les résultats, il est clair qu'en

augmentant l'efficacité de l'onduleur, le système de génération d'énergie hybride réduit le nombre de panneaux solaires et les batteries ou le niveau de l'hybride génération de puissance du système de génération de puissance. Ainsi, le coût du système hybride est réduit. En outre, la sensibilité du système hybride est améliorée en augmentant l'efficacité de l'onduleur et vice versa.

Tableau 5.3
Le dimensionnement et le coût en tenant compte des variations d'efficacité de l'onduleur dans le système hybride

Rendement de l'onduleur	100%	95%	90%
N_{PV}	53	71	73
N_{BAT}	94	102	106
N_{DG}	2	2	2
ACS ($)	17361,31	17281,28	17194,33

5.5.2 Impact des variations de charge

Les résultats de la simulation sont effectués pour trois cas, comme le montre le tableau 5.4. Les résultats montrent que le système hybride peut couvrir les variations de la demande de charge. Le tableau 5.4 montre qu'en augmentant la demande, le nombre de panneaux solaires et de batteries augmente. Il est clair qu'en augmentant le nombre de panneaux solaires et de batteries, le coût du système hybride est maximisé.

Tableau 5.4
Le dimensionnement et le coût en tenant compte des variations de charge dans le système hybride

Load variation	10% Decrease	Nominal load	10% Increase
N_{PV}	13	24	38
N_{BAT}	107	109	115
N_{DG}	2	2	2
ACS ($)	16253,80	17281,32	18492,53

La figure 5.15 représente la variation quotidienne de la puissance de sortie des panneaux photovoltaïques, des générateurs diesel et de la capacité de stockage moyenne, nous voyons que la production de panneaux photovoltaïques est maximale pour les itérations 93 et 279 (mois d'avril et septembre) et la production est minimale dans l'itération 345 (mois de

décembre). Ces résultats affectent la capacité de stockage, la relation entre les deux paramètres est proportionnelle.

La production énergétique des GEvarie d'un temps à l'autre, elleestélevée dans les itérations 92 à 272 (les mois d'avril, mai et juin), et elle est minimale dans les itérations 1 à 91 et 273 à 365 (janvier, février, Mars, juillet, septembre, octobre, novembre et décembre). Notez que les résultats sont synchronisés par l'ensoleillement, la température et la charge.

La production énergétique par le système hybride PV-GE par rapport à la consommation est illustréedans la figure 5.16, on constate que la consommation est minimale dans les itérations 1 à 88 et 274 à 365 (les mois de janvier, février, mars, octobre, novembre et décembre), ce qui entraîne une diminution de l'énergie totale produite par les panneaux photovoltaïques et les GE, et elle augmente proportionnellement avec la consommation dansles restes itérations (mois d'avril, mai, juin, juillet, septembre).

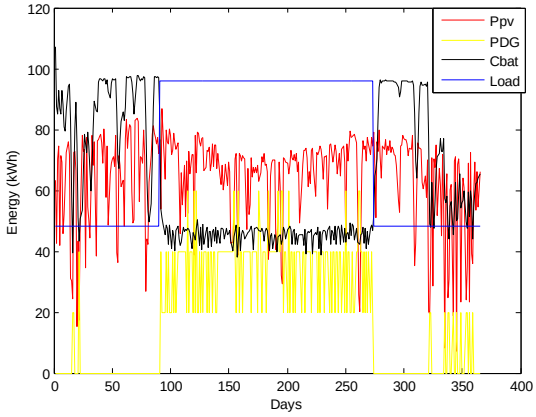


Figure5.15 La gestion de l'énergie du système hybride

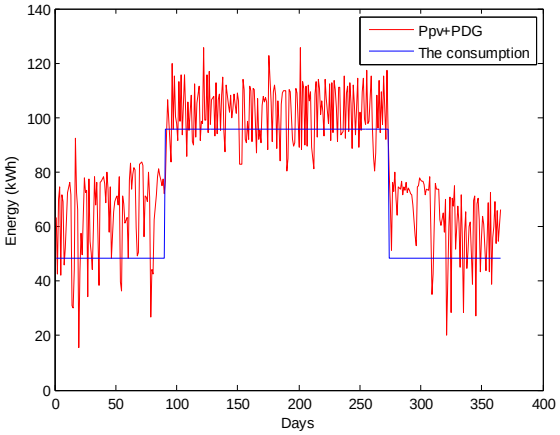


Figure 5.16 l'énergie quotidienne générée par les panneaux photovoltaïques et les GE par rapport à la consommation

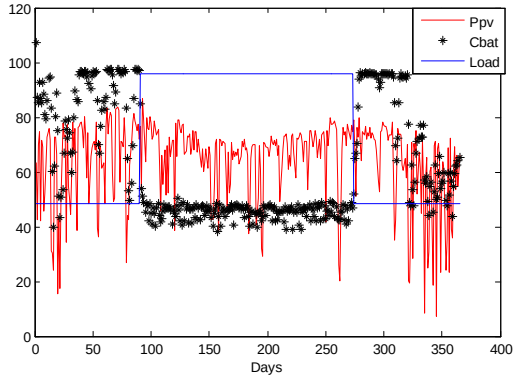


Figure 5.17Gestion d'énergie du système PV

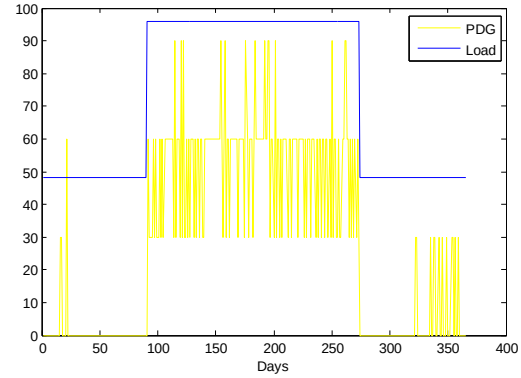


Figure 5.18Gestion d'énergie du système GE

Les résultats de simulation du système PV, système GE sont présentés dans les figures 5.17 et 5.18 respectivement. D'après ces résultats on peut conclure que le système est capable de satisfaire la demande de charge.

Le système hybride PV-GE autonome avec la banque de la batterie semble être une solution technico-économique de motivation pour répondre à la demande d'énergie du consommateur.

5.6 Conclusion

Une méthode pour le dimensionnement optimal du système hybride PV-GE-Batterie basée sur la méthode GWO et PSOa été présentée dans ce chapitre. L'objectif principal du problème d'optimisation est considéré comme minimisant le coût annuel total du système et la détermination du nombre optimal de panneaux photovoltaïques, de générateurs diesel et de batteries. La méthode GWO permet d'atteindre l'optimum global avec des exigences de calcul relativement simples. Le système proposé avec un dimensionnement optimal se compose de 33 panneaux PV, 90 batteries et 2 générateurs diesel. En utilisant les paramètres obtenus à partir de l'optimisation, l'ACS pourrait être minimisé à 16825,64 $. Les résultats obtenus montrent la supériorité de GWO par rapport la méthode PSO dans la réduction des coûts du système. Selon cette étude approfondie, on peut conclure que l'algorithme proposé à des mérites importants pour résoudre les problèmes de conception optimale des systèmes hybrides d'énergie renouvelable, nous l'offrons aux chercheurs dans les différents domaines.

Conclusion générale et perspectives

La demande mondiale en énergie évolue rapidement et les ressources naturelle de l'énergie telles que l'uranium, le gaz et le pétrole diminuent en raison d'une grande diffusion et développement de l'industrie ces dernières années. Pour couvrir les besoins en énergies, des recherches sont conduits à l'énergie renouvelable. Une des énergies renouvelables qui peut accomplir la demande du monde j'usqu'à maintenant, est l'énergie solaire, qui est libre et abondante dans la plupart des régions du monde, et est avéré une source économique.

L'utilisation d'énergie solaire comme source alternative d'énergie, souffre du Coût élevé des cellules solaires, du faible rendement et de puissance intermittent selon la fluctuation des conditions atmosphériques. Par conséquent, n'importe quelle conception de système d'application d'énergie solaire, devrait prendre en compte ces inconvénient.

Des amélioration dans la conception et le fonctionnement des systèmes d'énergie renouvelables hybrides sont toujours nécessaires pour rendre plus compétitive l'intégration des sources d'énergies alternatives dans le bilan des systèmes globaux de production d'énergie. Dans ce contexte, le travail de recherche présenté dans cette thèse est une contribution à l'analyse du comportement, l'optimisation et le maitrise des performaces d'un système d'énergie renouvelable hybride constitué par des panneaux photovoltaiques, des générateurs diesels ainsi que des batteries pour le stockage d'énergie.

Dans cette thèse, notre démarche à été développé en cinque étapes pour atteindre nos objectifs :

- Une investigation sur le dimensionnement des systèmes d'énergies hybrides par la méthode LPSP.
- Une stratégie d'amélioration de la qualité de l'énergie électrique générée appliqué au deux site isolé en Algerie (Djanet et Ilamane).
- Optimisation multi objective et dimensionnement optimal par essaim de particule (PSO)qui a pour but de minimiser le coûttotal du système, les pertes d'énergie dans la charge ainsi que les émissions de gaz CO_2 dans le groupe électrogène.
- Une évaluation technico-économique a été étudiée par le logiciel Homer du site rural désigné. ce qui a permis une comparaison des résultats obtenus par notre nouvelle approche.

- Une optimisation mono objective par la méthode de loup gris (GWO) comparé par la méthode PSO a été présentée dans ce travail. La stratégie proposée est appliquée pour une conception optimale et minimise le coût total du système de production d'énergie renouvelable hybride dans le site de Djanet.

En résumé, on peut dire qu'avec une installation hybride on peut atteindre à alimenter les charges électriques:

- Sans interruption.
- Avec une bonne qualité de tension.
- Au moindre coût.
- Maximiser l'utilisation des énergies renouvelables.
- Minimiser la consommation en combustible fossile.

La mise en œuvre de l'intelligence artificielle a été faite avec succès pour l'optimisation de la production d'énergie hybride. Dans cette recherche une optimisation par essaim de particule (PSO) aété appliquée pour résoudre un problèmemulti-objectiveen fonction du système de production d'électricité hybride. Ce qui a permis de développer desAlgorithmes de simulation pour optimiser le système de production d'électricité hybride qui comprend 75 panneaux solairesde 75W, 3 générateurs diesel de 2.6KW, et90banques de la batterie de2KWh. Le concept de base de l'optimisation est basé sur l'équilibre énergétique dans le système en simulation sur une durée d'une année d'observation. Le processus d'optimisation a été lancé par injection de toutes les données requises pour l'optimisation telle que les données météorologiques horaire (température et irradiation) pour l'année 2012, les données de la charge constituée de 10 habitations, les caractéristiques technique des composants, la fonction de coût (ACS) ainsi que les fonctions de la probabilité de perte de charge (LLP) et les émissions de gaz CO_2 pour les générateurs diesel. L'optimisationde la fonction multi-objective ainsi définit a été obtenue suite à une modélisation des composants d'énergies renouvelables. La modélisation détaillée de chaque composante fondée sur la condition réelle et la collecte des données suffisantes sont des étapes importantes avant la simulation du système de production d'énergie hybride.

Ce travail de recherche présente aussi l'un des derniers algorithmes d'intelligence d'essaim appelé optimiseur par loup gris (GWO) pour un dimensionnement optimale et minimise le coût total du système de production d'énergie renouvelable hybride dans le site isolé "Djanet". Pour montré l'efficacité de la méthode proposé une comparaison par la méthode d'essaim de

particule a été présenté dans cette partie. La méthode GWO permet d'atteindre l'optimum global avec des exigences de calcul relativement simples. Le système proposé avec un dimensionnement optimal se compose de 33 panneaux PV, 90 batteries et 2 générateurs diesel. En utilisant les paramètres obtenus à partir de l'optimisation, l'ACS pourrait être minimisé à 16825,64 $.Les résultats de simulation basés sur le code PSO sont 38 pour les panneaux solaires, 90 pour les batteries et 3 pour les générateurs diesel.le coût de la mise en œuvre de la procédure PSO est de 16872,66 $. Les résultats obtenus ont montré la supériorité de GWO que la méthode PSO dans la réduction des coûts du système.

D'après les résultats de la simulation, on peut remarquer que les méthodes d'optimisation présentées dans ce travail sont faciles à mettre en œuvre pour l'optimisation du système de production d'électricité hybride. En outre, les méthodes développés peuvent être utilisésà n'importe qu'elle système de production d'électricité hybride dans toutes les régions avec différentes données météorologiques et conditions de charge.

Dans les perspectives, nous souhaiterons que nous puissions apporter plus d'affinité pour ce travail comme par exemple :

- L'amélioration du système de stockage par l'utilisation d'autres techniques de stockage, batteries de haut rendement et de grande durée de vie
- L'exploitation d'une autre source renouvelable tel que l'éolien pour assurer une grande part de l'énergie renouvelable dans le système hybride.
- Application de la méthode GWO pour optimisation multi-objective d'un système hybride.

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES PUBLICATIONS

Articles :

1. **Adel YAHIAOUI**, Khelifa BENMANSOUR, Mohamed TADJINE, "**Control, analysis and optimization of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated rural city in Algeria**"; Solar Energy, 137(2016) 1-10.

2. **Adel YAHIAOUI,** Khelifa BENMANSOUR, Mohamed TADJINE,"**Optimal Sizing and Control Strategy of renewable hybrid systems PV-Diesel Generator-Battery: Application to the case of Djanet city of Algeria** "; Advances in Engineering Systems Journal, Vol. 2, No. 3, 485-491(2017).

3. **Adel YAHIAOUI**, Fadila FODHIL, Khelifa BENMANSOUR, Mohamed TADJINE, Nawal CHEGGAGA, "**Grey Wolf Optimizer for optimal design of hybrid renewable energy system PV-Diesel Generator-Battery: application to the case of Djanet city of Algeria**", Solar Energy, 2017.

Communications :

1. **Adel YAHIAOUI**, Khelifa BENMANSOUR, Mohamed TADJINE,"**A new sizing algorithm of renewable hybrid systems PV-Diesel Generator-Battery: application to the case of Djanet city of Algeria**"; International Conference On Modeling, Identification and Control (ICMIC2016). Algiers, Algeria du 15 au 17 Novembre 2016.

Bibliographie

[1] M. Arrouf, “Optimisation de l’ensemble onduleur, moteur et pompe branche sur un générateur photovoltaïque”, thèse doctorat, université Mouloud Mammari de Tizi-Ouzou, 2007.

[2] M. Ashari, C.V. Nayar, W.W.L. Keerthipala, “Optimum operation strategy and economic analysis of a photovoltaic-diesel-batterymains hybrid uninterruptible power supply”, Renewable energy, vol. 22, 2001.

[3] Wies, R.W., Johnson, R.A., Agrawal, A.N., Chubb, T.J., “Economic analysis and environmental impacts of a PV with Diesel-battery system for remote villages”, IEEE General meeting of Power Engineering, Denver, Colorado, USA, June 2004.

[4] M. Ashari, C. V. Nayar, “An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV)-diesel-battery hybrid power system”, Solar energy, vol. 1, 1999.

[5] Ohsawa Y, Emurd S, Arai K, “Optimal operation of photovoltaic / diesel power generation system by neural network”, In : Proceedings of the Second International Forum on Applications of Neural Networks to Power Systems. NNPS 93; 1993.

[6] Niknam T, Taheri SI, Aghaei J, Tabatabaei S, Nayerpour M.A “Modified honey bee mating optimization algorithm for multi-objective placement of renewable energy resources”, Applied Energy 2011;88:4817-30.

[7] Dufo-Lopez R, Bernal-Agustin JL, Yusta-Loyo JM, Dominguez-Navarro JA, Ramirez–Rosado IJ, Juan Lujano J, IslmaelAso I. “Multi-objective optimization minimizing cast and life cycle emissions of stand-alone PV- Wind-Diesel systems with batteries storage”, Applied Energy 2011;88:4033-41.

[8] Avril S, Arnaud G, Florentin A, Vinard M “Multi-objective optimization of batteries and hydrogen storage technologies for remote photovoltaic systems”, Energy 2010;35:5300-8.

[9] El-Hefnawi SH, “Photovoltaic diesel-generator hybrid power system sizing”, Renewable Energy, vol. 13, 1998.

[10] Eke R, Kara O,Ulgen K, “Optimization of a wind/PV hybrid power generation system”, Int J Green Energy 2005; 2(1):57-63.

[11] R. Dufo Lopez, J. L. Bernal-Agustin, "Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms", Solar energy, vol. 79, 2005.

[12] "Photovoltaic's systems; a buyer's guide. Natural resources Canada", Renewable and electrical energy Division, 580 Booth Street, 17th floor Ottawa, ont.KIA OE4.ISBNO-662-31120-5.

[13] Mann Mk, "Economics of renewable hydrogen it's about more than production", Renewable hydrogen energy forum, Washington.

[14] E. Iran Baring-Gould, L.Flowers, P.Lundsager, "Worldwide status of wind-diesel applications", Pre-Workshop Wind-Diesel 101, 2004, Anchorage, Alaska.

[15] Barlow, R and A.Derrick,"Solar pumping An Introduction and Update on the technology, performance Costs and Economics", World Bank Technical Paper Number 168. London: Intermediate technology Publication, 1993.

[16] M. Elhassan, M. Fauzi, K. Sopian and A. A. Abass, "Design and performance of photovoltaic power system as a renewable energy source for residential in Khartoum", International Journal of the physical Science Vol. 7(25), pp. 4036-4042, June 2012.

[17] A. Das and V. Balakrishnan, "Optimized Hybrid Renewable Energy System in Indian Context", World Academy of Science, Engineering and Technology 67, 2012.

[18] E. A. Al-Ammar, N. H. Malik and M. Usman, "Application of Using Hybrid Renewable Energy in Saudi Arabia", ETASR-Engineering, Technology & Applied Science Research, Vol. 1, pp. 84-89, 2011.

[19] D. Rekioua, Z. Roumila and T. Rekioua, "Etude d'une central Hybride Photovoltaïque/Eolien/Diesel", Revue des Energies Renouvelables, Vol. 11, N°4, pp. 623-633, 2008.

[20] H. Yang, W.Zhou, L.Lu and Z.Fang, "Optimal Sizing Method for Stand Alone Hybrid Solar/Wind System with LPSP technology by using Genetic Algorithm", Solar Energy 82, pp. 354-367, 2008.

[21] R. Chedid and S. Rahman, "Unit Sizing and Control of Hybrid Wind/Solar Power Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No. 1, March 1997.

[22] W.D. Kellogg, M.H. Nehrir, G.Venkataramanan and V. Gerez, "Generation Unit Sizing and Cost Analysis for Stand-Alone Wind, Photovoltaic, and Hybrid Wind PV Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, March 1998.

[23] F. Baghdadi, "Modélisation et Simulation des Performances d'une Installation Hybride de conversion d'Energies Renouvelables", Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou, 2011.

[24] Observ'ER, Quinzième inventaire, Edition 2013 ; http://www.energies-renouvelables.org/accueil-observ-er.asp.

[25] Yaël Thiaux, "Optimisation des profils de consommation pour minimiser les coûts économique et énergétique sur cycle de vie des systèmes photovoltaïques autonomes et hybrides Évaluation du potentiel de la technologie Li-ion", thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan. Soutenue le 08 Juillet 2010.

[26] Synergrid, "Prescriptions techniques spécifiques de raccordement d'installations de production décentralisée fonctionnant en parallèle sur le réseau de distribution". Fédération des Gestionnaires de Réseaux électrique et Gaz en Belgique.

[27] Annexe de l'arrêté du 30 décembre 19991 relatif aux conditions techniques de raccordement au réseau public de transport des installations de production d'énergie électrique de puissance installée inférieur ou égale à 120 MW, d'EDF en France.

[28] European Photovoltaic Industry Association and Greenpeace. Solar Generation V. Report EPIA, 2008.

[29] R. Kaiser, "Optimized battery-management system to improve storage lifetime in renewable energy systems",Journal of Power Sources, vol.168:58–65, 2007.

[30] P. Li, "Formalisme pour la Supervision des Systèmes Hybrides Multi-Sources de Générateurs d'Energie Répartie : Application à la Gestion d'un Micro Réseau",PhDThesis, École Centrale de Lille, 2009.

[31] C. Lerouge, et al, Recherche & Industrie photovoltaïque (PV) aux Etats-Unis 2006, Sciences physiques Etats-Unis.

[32] Muller, J.-C., Electricité photovoltaïque, in BE 8578. 2007, Techniques d'ingénieur.

[33] Alonso, C, "Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie". 2003, Université PAUL SABATIER- Toulouse III.

[34] ACTU-ENVIRONNEMENT. Dictionnaire Encyclopédique. 2010 [cited; Availablefrom: http://www.actu-environnement.com].

[35] A. ABDELLI, "optimisation multicritère d'une chaine éolienne passive", thèse de doctorat, L'institut national polytechnique de Toulouse, p9-13,15 octobre 2007.

[36] P. Lundsager, H. Bindner, N. Clausen, S. Frandsen, L. H. Hansen, J. C. Hansen, "Isolated Systems with Wind Power", Riso-R-1256(EN), 2001.

[37] "La première pile à combustible installée en France ", Isabelle Duffaure-Gallais, CSTB Magasine, 1999.

[38] I. Kamwa, B. Saulier, "modélisation, simulation et régulation d'un réseau éolien/diesel autonome", Rapport N°IREQ4340, Varennes, Canada, 1989.

[39] B. Tounsi, "Etude comparative de groupes électrogènes embarqués à large gamme de vitesse variable associant une machine à aimants permanents et conversion statique", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique Toulouse, 2007.

[40] M. J. Ryan and R. D. Lorenz, "A Power-Mapping, Variable-Speed Control Technique for a Constant-Frequency Conversion System powered by a IC Engine and PM Generator", Conference Record of the 2000 IEEE, pp. 2376-2382 vol.4, Rome October 2000.

[41] Béguin, F. and E. Raymundo-Pinero, "nouveaux développements dans le domaine des supercondensateurs", in RE 92. 2008, Techniques de l'ingénieur.

[42] Taberna, P-L. and D. Pech. "Micro-supercondensateurs carbone-carbone de haute densité d'énergie", in journées SEEDS 2010. France.

[43] Caillon, G. Accumulateurs portables, in TI-e2140, Techniques de l'ingénieur.

[44] Robert, J. and J. Alzieu, Accumulateur au plomb, in TI-d3352, Techniques de l'ingénieur.

[45] Saft. Nickel-Cadmium (N_i-Cd). [cited; Available from: http://www.saftbatteries.com/Technologies Nickel NiCd 293/Language/fr-FR/Defalt.aspx.

[46] Amr. Khelif, “Etude technico-économique de l’hybridation de la microcentrale d’Afra par la filière photovoltaïque”,Mémoire de magister, 2008, USTHB.

[47] N. Oleksity, “Simulation, Fabrication et Analyse de cellules photovoltaïques à contacts arrières interdigités”, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 2005.

[48] B. Wickert, C.V. Nayar and W.B. Lawrance, “Photovoltaic-Diesel Hybrid Energy Systems for Off-Grid Rural Electrification”, International Journal of Renewable Energy Engineering, Vol. 1, N°1, pp. 7 - 17, 1999.

[49] I.Vechiu, “Modélisation et Analyse De L’intégration Des Energies Renouvelables Dans Un Réseau Autonome”, thèse doctorale à l’université du Havre, P 14-15-16-27, décembre 2005.

[50] A. Laugier and J.A. Roger, “Les photopiles solaires”, Edition Technique et documentation, 1981

[51] A.Hamidat, B.Benyoucef, “Mathematic models of photovoltaic motor-pump systems”, Renewable Energy 33 (2008), pp: 933-942.

[52] M. Maamir, “Gestion d’énergie d’un système d’entrainement électrique hybride base sur un moteur synchrone à aimants permanents”, Mémoire de Magister, Université de Biskra, 2014.

[53] D.S.H. Chan, J.R Philips and J.C.H. Phang, “A comparative study of extraction methods for solar cell model parameters”, Solid State Electronic, vol 29(3), pp 329-337, 1986.

[54] K. Helali, “Modélisation d’une cellule photovoltaïque : étude comparative”, Mémoire de Majister, Université de Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012.

[55] M. Boukli-haceneomar, “Conception et Réalisation d’un Générateur photovoltaïque Mini d’un MPPT Pour Une Meilleure Gestion Energétique”, Mémoire de Magister, Université Abou BakrBelkaid-Tlemcen, Décembre 2011.

[56] Yann Riffonneau, “Gestion des flux énergétiques dans un système photovoltaïque avec stockage connecté au réseau-Application à l’habitat”, thèse de Doctorat de l’université de Joseph Fourier, Soutenue le 23 octobre 2009.

[57] Damien Paire, "Dimensionnement et Gestion d'énergie de systèmes d'entraînements électriques hybrides : application à un ascenseur avec récupération d'énergie", Thèse de Doctorat de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Soutenue le 6 décembre 2010

[58] Olivier Gergaud, "Modélisation énergétique et Optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur", Thèse de Doctorat de l'Ecole Normale Supérieur de Cachan, Soutenue le 9 décembre 2002.

[59] Mohamed A. OuldYahya L, A. Ould Mahmoud L et I. Youm, "Modélisation d'un système de stockage intégrer dans un système hybride (PV/Eolien/Diesel)", Revue des Energies Renouvelables, CDER, Vol. 10N°2,2007.

[60] Hoang Anh Dang L, Caroline Guyoné, Benoit Delinchantl, Patrick Begueryé, Frédéric Wurtzl, "Gestion de l'énergie électrique dans l'habitat, cas du stockage électrochimique", rapport de Schneider Electric, juin 2012.

[61] RedhaSadoun, "Intérêt d'une Source d'énergie électrique hybride pour véhicule électrique urbain-dimensionnement et tests de cyclage", Thèse de doctorat de l'école centrale de Lille, Soutenue publiquement le 03/06/2013.

[62] MaamirMadiha, "gestion d'énergie d'un système d'entrainement électrique hybride basé sur unmoteur synchrone à aimants permanents", Mémoire de Magister de l'Université de Mohamed KhidarBiskra, Soutenue le 2014.

[63] Massé René, "Financer le développement de l'électrification rurale", Coll. Études et Travaux, série en ligne n°2, Éditions du Gret, 2004, www.gret.org, p 108.

[64] M. Muselli, G. Notton, A. Louche, "Design of hybrid photovoltaic power generator

with optimization of energy management", Solar Energy Vol. 65, No 3, pp 143-157.

[65] M. A. Elhadidy, S. M. Shaahid, "Parametric study of hybrid (wind+solar+diesel) power generating systems", Renewable Energy, Vol. 66, No. pp. 129-139, Elsevier Science 2000.

[66] M.Muselli, G. Notton, A. Louche, "Design of hybrid-photovoltaic power generator, with optimization of energy management", Solar Energy, Vol. 65, No. 3, pp. 143-157, Elsevier Science 1999.

[67] W. Kellogg, M.H. Nehrir, G. Venkataramanan, V. Gerez, "Optimal unit sizing for a hybrid wind/photovoltaic generating system", Electric Power Systems Research, Vol. 39, No. pp. 35-38, 1996.

[68] L. H. Hansen, P. Lundsager, "Review of relevant studies of isolated systems", Riso-R-1109 (EN) 2000.

[69] D.Turcotte, M. Ross, F. Sheriff, "photovoltaic hybrid system sizing and simulation tools: status and needs", PV Horizon: Workshop on photovoltaic hybrid systems, Montreal, 2001.

[70] Abouzahr I., RamakumarR,"Loss of power supply probability of stand-alone wind electric conversion systems", a closed solution approach. IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 5, n° 3, pp. 445-452, 1990.

[71] I. Abouzahr, R. Ramakumarn, "Loss of power supply probability of stand-alone photovoltaic systems", a closed solution approach. IEEE Transactions on Energy Conversion, 1991, vol. 6, n° 1, pp. 1-11.

[72] F.M.A. Ghali , M.M Abd El Aziz, F.A. Syam,"Simulation and analysis of hybrid systems using probabilistic techniques", Proceedings of the IEEE Power Conversion Conference (PCC) Nagaoka, 1997, pp. 831-835.

[73] F. Giraud, Z.M. Saameh."Steady-state performance of a grid-connected rooftop hybrid wind-photovoltaic power system with battery storage", IEEE Transactions on energy conversion, ISBN 0885-8969, 2001, vol. 16, n° 1, pp. 1-7.

[74] Enrico FABRIZIO. "Modélisation des systèmes multi énergies dans les bâtiments", Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, juillet 2008.

[75] S. Diafa, D. Diafb, M. Belhamelb, M. Haddadic, A. Louchea, "A methodology for optimal sizing of autonomous hybrid PV/Wind system", Energy Policy (2007), doi: 10.1016/j.enpol.2007.06.020.

[76] E. O fry and A. Brauntein, "the loss of Power Supply Probability as a Technique for Designing stand-alone solar electrical (Photovoltaic) Systems", IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-102, N°5, pp. 1171-1175, May 1983.

[77] A. Kaabeche, M. Belhamel, R. Ibtiouen, S. Moussa .M. R. Benhaddadi, "Optimisation d'un système hybride (éolien – photovoltaïque) totalement autonome", Revue des Energies renouvelables. Vol. 9, N°3 (2006) 199 – 209.

[78] A.Hamidat, B.Benyoucef. Systematic procedures for sizing photovoltaic pumping system, using water tank storage. Energy Policy 37 (2009) 1489–1501.

[79] B. Colin, "Groupe Electrogène de Secours", Technique d'Ingénieur D5180, février 1998.

[80] H. Nordin, "System Reliability, Dimensioning and Environmental Impact of Diesel Engine Generator Sets used in Telecom Applications", Lindemark, Ericsson Components, Sweden.

[81] T.Senjyu, D.Hayashi, A.Yona, N.Urasaki and T.Funabashi, "Optimal configuration of power generating systems in isolated island with renewable energy", Renewable Energy, vol. 32, pp. 1917-1933, 2007.

[82] B. Nelson, M.H. Nehrir, C. Wang, "Unit sizing and cost analysis of stand –alone hybrid wind/PV/fuel cell power generation systems", Renewable Energy, vol.31, pp. 1641-1656, (2006).

[83] El-Hefnawi SH, "photovoltaic diesel-generator hybrid power sizing", Renewable Energy, Vol. 13(1), pp.33-40, (1998).

[84] T.Senjyu, D.Hayashi, A.Yona, N.Urasaki and T.Funabashi, "optimal configuration of power generating systems in isolated island with renowable energy", Renewable Energy, vol.32, PP. 1917-1933, 2007.

[85] B.S. Borrowy and Z.M. Salameh, "Methodology for Optimally Sizing the Combination Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 12, N°1, pp. 73 - 78, March 1997.

[86] H. Suryoatmojo, A.A.Elbaset,T.Hiyama, "Economic and reliability evaluation of Wind-Diesel-Battery system for isolated island considering CO2 emission", IEEJ Trans. PE, vol. 129(8), 2009.

[87]http://www.claverton-energy.com/talk-by-gregor-czisch-at-the-5th-claverton-energy-conference-house-of-commons-june-19th-2009.html

[88] R. Dufo-Lopez, J. L. Bernal-Agustin, "Design and control strategies of PV-Diesel systems using genetic algorithms", Solar Energy, vol. 79, pp. 33-46, 2004.

[89] P.Arun, Rangan Banerjee, Santanubandyopadhyay, "Optimum sizing of battery integrated diesel generator for remote electrification through design-space approach", Energy, vol. 33, pp. 1155-1168, (2008).

[90] Solar Lighting Controller Model LS-2, http://www.solarconverters.com

[91] C.Alonso, B.Estibals, H. Valderrama-Blavi, "An overview of MPPT (Maximum Power Point Tracking) controls and their future developments", 10th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC2002), Dubrovnik (Croatie), 9-11 Septembre 2002.

[92] S.M. Hakimi, S.M. Moghaddas-Tafreshi, "Optimal sizing of a stand-alone hybrid power system via particle swarm optimization for kahnouj area in south-east of Iran", Renewable Energy, vol. 34, pp.1855-1862, 2009.

[93] A.Y. Abdelaziz., F.M. Mohammed, S.F. Mekhamer, M.A.L. Badr, "Distribution systems Reconfiguration using a modified particle swarm optimization algorithm", Elect. Power Syst. Research, 2009.

[94] A. KashefiKaviani, G.H. Riahy, SH.M. Kouhsari, "Optimal design of a reliable hydrogen-based stand-alone wind/PV generating system considering component outages", Renewable Energy, vol.34, pp.2380-2390, (2009).

[95] Kaveb HD, Amir-Reza, A Madjid, T A, "new multi-objective particle swarm optimization method for solving reliability redundancy allocation problems", ReliabEngSystSaf 2013, 111:58-75.

[96] Coello CC, Lamont GB, Van-Veldhuizen DA "Evolutionary algorithms for solving multi objective problems", 2nd ed. New York, springer, 2007.

[97] D.L. Rodolfo and L.B.A. Jose "Multi-objective design of PV-Wind-Diesel-hydrogen-Battery systems", Renew Energy 2008; 33 (12):2559-72.

[98] S. Abedi, A. Alimardani, Gharehpetian, G.B. Riahy GH, Hosseinian SH, "A comprehensive method for optimal power management and design of hybrid RES-based autonomous energy systems", Renew Sustain Energy Rev 2012: 16(3):1577-87.

[99] H. Suryoatmojo, A.A. Elbaset,T. Hiyama, "Economic and reliability evaluation of Wind-Diesel-Battery system for isolated island considering CO2 emission", IEEJ Trans. PE, vol. 129(8), 2009.

[100] H. Yang, Wei Zhou, L Lu, Z Fang, "Optimal sizing method for stand-alone hybrid solar-wind system with LPSP technology by using genetic algorithm", Solar Energy, vol. 82, 2008.

[101] E. A. Al-Ammar, N. H. Malik and M. Usman, "Application of Using Hybrid Renewable Eneergy in Saudi Arabia", ETASR-Engineering, Technology &Applied Science Research, Vol. 1, pp. 84-89, 2011.

[102] National Renewable Energy Laboratory (NREL), " HOMER the micro power optimization model fact sheet", pp.1-2, 2005.

[103] M.T.Iqbal, "A feasibility study of a zero energy home in Newfoundland".Renewable energy, ISSN, 0960-1481.vol. 29, n° 2, pp. 277-289, 2004.

[104] S.M. Shaahid, Elhadidy M.A, "Technical and economic assessment of grid-independent of hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for commercial loads in desert environments ». Renewable and sustainable energy reviews, ISSN 1364-0321, 2007, vol. 11, n° 8, pp. 1794-1810.

[105] M. Beccali, Brunone, S. Cellura, M. Franzitta.V,"Energy, economicand environmental analysis on RET-hydrogen system in residential buildings", Renewable energy, ISSN 0960-1481, vol. 33, n° 3, pp. 366-382, 2008.

[106] J.K. Kaldellis, M. Simotas, D. Zafirakis, and E. Kondili, "Optimum autonomous photovoltaic solution for the Greek islands on the basis of energy pay-back analysis", Journal of Cleaner Production, vol.17:1311–1323, 2009.

[107] Givler T., lilienthal P, "Using HOMER software, NREL's micro power optimization model, to explore the role of gen-sets in small solar power systems",Technical Report NREL/TP-710-36744, May 2005.

[108] Fadhila Fodhil, "Performances des systèmes hybrides solaires-diesel dans l'électrification rural", Mémoire de Magister, Université Saad Dahlab, Blida, 2011.

[109] MasoudSharafi, Tarek Y,ELMekkawy, “Multi-objective optimal design of hybrid renewable energy systemsusing PSO-simulation based approach”, Renewable Energy, 6867-6879, 2014.

[110] Mirjalili S, MirjaliliS. M , Lewis A,“Grey wolf optimizer”, Advances in Engineering Software 2014;69:46–61 .

[111] El-Fergany, A.A., Hasanien, H.M., 2015,“Single and multi-objective optimal power flow using grey wolf optimizer and differential evolution algorithms”, Elect.PowerCompon.Syst. 43, 1548e1559.