

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



Université Dr. Tahar Moulay de Saïda
Faculté de la Technologie
Département d'Electrotechnique



Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme de

Master (LMD)

Spécialité : RESEAUX ELECTRIQUES

Filière : ELECTROTECHNIQUE

Intitulé :

**Étude d'un Système Electrique de production
Décentralisé**

Présenté par :

**Selmani Cheikh.
Yahiaoui Hadj Berrazoug**

Devant le jury composé de :

**Dr. Boumediene Larbi
Dr. Amara Mohamed.
Dr. Meziane Rachid**

**Président
Encadreur
Examineur**

Soutenu le /09/2021
Promotion 2020-2021

Résumé

L'objectif de ce sujet de mémoire de Master est l'étude et l'évaluation des performances d'un système autonome de production d'énergie, couplant des sources d'énergie (photovoltaïque-générateur diesel) avec un système de stockage d'énergie composé de batteries. Le système étudié est destiné à la production de l'énergie électrique pour l'alimentation d'un petit village insulaire. Dans ce travail des études de simulation seront réalisées à l'aide du logiciel de simulation et plusieurs paramètres sont analysés afin d'évaluer une performance (fiabilité, Disponibilité, Coût,). Avec une structure optimale d'un système décentralisé.

Mots clés : Système d'énergies hybrides, photovoltaïque, générateur diesel, coût sur cycle de vie,

ABSTRACT

The objective of This Master thesis subject is the study and evaluation of the performance of an autonomous Energy production system, coupling energy sources (photovoltaic-diesel generator) with a storage system of energy consisting of batteries. The system studied is intended for the production of electrical energy to supply a small village. In this work, simulation studies Will be carried out using simulation software and several parameters are analyzed in order to assess performance (reliability, availability, cost, etc.). With has an optimal structure of a decentralized system.

Keywords : Hybrid energy system, photovoltaic, diesel generator, life cycle cost,

Table de matière

REMERCIEMENTS.....	I
LISTE DES FIGURES	II
LISTE DES TABLEAUX	III
RESUME	IV
ABSTRACT	IIV
Introduction générale.....	01
Chapitre 01 : Généralité sue les sources d'énergie renouvelables.	
Introduction.....	03
1.1. Historique des énergies renouvelables.....	04
1.2. Définition des énergies renouvelables.....	04
1.3. Les avantage des énergies renouvelables.....	05
1.3.1 Sur le plan environnemental.....	05
1.3.2 Sur le plan social.....	06
1.3.3 Sur le plan économique.....	06
1.4 Les différents types d'énergies renouvelables.....	07
1.4.1 L'énergie hydraulique.....	07
1.4.2 Les types de l'énergie hydraulique.....	08
1.4.2.1 L'énergie des vagues.....	08
1.4.2.2 L'énergie marémotrice.....	08
1.4.2.3 L'énergie hydrolienne.....	09
1.4.2.4 L'énergie marrée thermique.....	09
1.4.2.5 L'énergie osmotique.....	09
1.4.3Le coût de l'énergie hydraulique.....	09
1.4.4 Les avantages et les inconvénients de l'énergie hydraulique.....	10
1.5 Energie solaire.....	10
1.5.1 Principe de fonctionnement des cellules solaire.....	11
1.6 Les types de l'énergie solaire.....	12
1.6.1 L'énergie solaire thermique.....	12
1.6.1.1 Éléments constituant la chaîne de conversion.....	13
1.6.1.1.1 Les capteurs.....	13
1.6.1.1.2 Le fluide caloporteur.....	13
1.6.2 L'électricité solaire thermodynamique.....	13
1.6.2.1. Les différents types de centrales thermodynamiques.....	14

Table de matière

1.6.2.2. Le stockage de l'énergie thermique.....	15
1.6.3. L'électricité solaire photovoltaïque.....	15
1.6.4. Cellules photovoltaïques.....	16
1.6.5. Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	17
1.6.6. Différents types des cellules photovoltaïques.....	18
1.6.6.1 Cellules monocristallines.....	18
1.6.6.2 Cellules polys cristallins.....	19
1.6.6.3 Cellules amorphes.....	20
1.6.7 Conversion de l'énergie solaire photovoltaïque.....	20
1.6.7.1 Chaîne de conversion électrique.....	20
1.6.8. Les types d'installations photovoltaïques et leurs applications.....	21
1.6.9. Synthèse des 3 filières.....	22
1.7. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire.....	23
1.8. L'énergie éolienne.....	23
1.8.1. Principe de fonctionnement d'une éolienne.....	23
1.8.2. Composition d'une éolienne.....	24
1.8.2.1 Ailes ou pales d'une éolienne.....	24
1.8.2.2 La tour ou le mât d'une éolienne.....	24
1.8.2.3 La partie électrique d'une éolienne.....	24
1.8.3. Caractéristiques des éoliennes.....	25
1.8.3.1 Les éoliennes à axe vertical.....	25
1.8.3.2 Les éoliennes à axe horizontal.....	25
1.8.4. Les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne.....	25
1.9. L'énergie géothermique.....	26
1.9.1. Les type de l'énergie géothermique.....	26
1.9.1.1 La géothermie très basse énergie.....	26
1.9.1.2 La géothermie basse énergie.....	26
1.9.1.3 La géothermie moyenne énergie.....	26
1.9.1.4 La géothermie haute température.....	26
1.9.1.5 La géothermie profonde assistée.....	26
1.9.2. Les avantages et inconvénients de l'énergie géothermique.....	27
1.10. La biomasse.....	27
1.10.1 Le biodiesel.....	28

Table de matière

1.10.2 Le bioéthanol.....	28
1.11. Les constituants de la biomasse.....	28
1.11.1 La biomasse lignocellulosique.....	28
1.11.2 La biomasse à glucide.....	28
1.11.3 La biomasse oléagineuse.....	29
1.12. Les avantages et les inconvénients de la biomasse.....	29
Conclusion.....	29

Chapitre 02 : *Système Hybride SEH.*

Introduction.....	30
2.1. Généralités.....	31
2.2. Définition d'un système hybride.....	32
2.3. Systèmes hybrides de production d'électricité.....	32
2.4. La structure du système hybride.....	34
2.4.1. Le premier critère.....	34
2.4.2. Un second critère.....	34
2.4.3. La dernière.....	34
2.5. Les différents types des configurations.....	35
2.5.1 Configuration PV/Diesel série.....	35
2.5.1.1 Fonctionnement du système.....	35
2.5.1.2 Avantages et inconvénients.....	36
2.5.2. Configuration PV/Diesel commuté.....	36
2.5.2.1 Fonctionnement du système.....	37
2.5.2.2. Avantages et inconvénients.....	37
2.5.3. Configuration PV/Diesel parallèle.....	38
2.5.3.1. Fonctionnement du système.....	38
2.5.3.2. Avantages et Inconvénients de la configuration.....	39
2.6. La configuration Flexy-Energy.....	39
2.7. Les principaux composants d'un système hybride.....	40
2.8. Le système de supervision.....	40
2.8.1. Les systèmes de stockage.....	42
2.8.2. Les batteries de stockage.....	42
2.8.3. Les convertisseurs.....	43

Table de matière

2.8.4. Les sources conventionnelles.....	43
2.8.5. Charge électrique.....	44
2.8.6. Onduleurs.....	44
2.8.7. Le générateur éolien.....	44
2.8.8. Le générateur photovoltaïque.....	45
2.8.9. Parafoudre.....	46
2.8.9.1. Le régime du fonctionnement.....	47
2.9. Critères d'optimisation et logiciel de dimensionnement.....	47
2.9.1. Critères d'optimisation du système hybride.....	47
2.9.2. La probabilité de perte de la charge.....	47
2.10. Le coût d'énergie produite.....	47
2.11. Logiciels pour l'étude des systèmes hybrides.....	48
2.11. Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des SEH.....	49
Conclusion.....	50

Chapitre 03 : *Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie.*

Introduction.....	51
3.1. Généralité.....	51
3.2. Etat de l'art.....	52
3.4. Classification des systèmes hybrides PV/Diesel.....	53
3.4.1. PV- diesel avec batterie.....	53
3.4.1.1. Différents types de batteries.....	54
3.4.1.1.1. Batteries au Nickel.....	55
3.4.1.1.2. Batteries Nickel-Cadmium (Ni-Cd).....	55
3.4.1.1.3. Batterie Nickel-Métal Hydrure (Ni-MH).....	55
3.4.1.1.4. Batteries Lithium-ion.....	55
3.4.1.1.5. Batteries Plomb-acide.....	56
3.4.2. PV- diesel sans batterie.....	56
3.5. Générateur diesel.....	57
3.5.1. Généralités.....	57
3.5.2. Avantages et inconvénients du groupe électrogène.....	58
3.6. Systèmes hybrides de production d'électricité.....	59
3.7. Configurations des systèmes hybrides PV/Diesel avec stockage d'énergie.....	59

Table de matière

3.7.1 Configuration série.....	60
3.7.2. Configuration parallèle.....	61
3.8. Dimensionnement des SEH.....	61
3.9.1. Présentation du logiciel HOMER.....	62

Chapitre 04 : *Analyse et simulation d'un système hybride PV/diesel*

Introduction.....	63
4.1 Potentiel solaire en Algérie.....	63
4.2. Description du système se NAAMA.....	63
4.3 Ressources en énergie solaire à NAAMA.....	64
4.4. Prix du carburant en Algérie.....	65
4.5 Système Hybride.....	65
4.6 Les Données.....	66
4.6.1 Charge électrique.....	66
4.6.2 Panneau photovoltaïque.....	67
4.6.3 Générateurs diesel.....	67
4.6.4 Convertisseur.....	67
4.7 Analyse du système et simulations.....	67
4.7.1 Système optimale (PV+ diesel en série).....	68
4.7.2 Système optimale (PV + diesel en parallèle).....	68
4.8 Evaluation technique du système.....	69
4.9. Evaluation économique.....	70
4.10. Quantité des émissions polluantes, en tonne, évitée chaque année.....	71

Liste des figures

Chapitre 01 : Généralité sue les sources d'énergie renouvelables.

Figure 1.1 : Coûts des énergies renouvelables.....	07
Figure 1.2 : schéma de différentes énergies renouvelable.....	07
Figure 1.3 : Schéma en coupe d'un barrage hydroélectrique.....	08
Figure 1.4 : énergies solaires.....	11
Figure 1.5 : Principe de fonctionnement des cellules solaires.....	12
Figure 1.6 : Principe général des technologies solaires thermodynamiques.....	13
Figure 1.7 : Les quatre principales technologies de centrale solaire thermodynamique.....	14
Figure 1.8 : Principe des technologies solaires photovoltaïques.....	15
Figure 1.9 : Système Photovoltaïque.....	16
Figure 1.10 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.....	17
Figure 1.11 : Cellule photovoltaïque monocristalline.....	19
Figure 1.12 : Cellule photovoltaïque poly cristalline.....	19
Figure 1.13 : Cellule photovoltaïque amorphe.....	20
Figure 1.14 : Installation photovoltaïque autonome.....	21
Figure 1.15 : Installation photovoltaïque couplée au réseau.....	21
Figure 1.16 : L'énergie éolienne.....	23
Figure 1.17 : Composition d'une éolienne.....	24
Figure 1.18 : Eolienne à axe vertical (a) et axe horizontal (b).....	25
Figure 1.19 : Énergie Biomasse.....	28

Chapitre 02 : Système Hybride SEH.

Figure 2.1 : Un Système Hybride (SEH).....	32
Figure 2.2 : Classification du système hybride.....	33
Figure 2.3 : Système hybrides PV/Diesel Série.....	35
Figure 2.4 : Système hybride PV/Diesel Commuté.....	36
Figure 2.5 : Systèmes hybride PV/Diesel parallèle.....	38
Figure 2.6 : Architecture générale des centrales Flexy-Energy.....	40
Figure 2.7 : Système de supervision.....	41
Figure 2.8 : Les batteries de stockage.....	42
Figure 2.9 : Générateur Diesel.....	44
Figure 2.10 : Convertisseurs utilisés en étage d'adaptation.....	45

Liste des figures

Figure 2.11 : Principe du fonctionnement d'un Générateur Photovoltaïque.....	46
Figure 2.12 : Position du parafoudre dans le système d'énergie hybride.....	46
Figure 2.13 : Classification des études.....	48

Chapitre 03 : *Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie.*

Figure 3.1 : Schéma du système PV/batterie avec un générateur dies.....	53
Figure 3.2 : Schéma de principe du système PV-DIESEL avec stockage.....	53
Figure 3.3 : Diagramme de Ragone des systèmes électrochimiques rechargeables.....	54
Figure 3.4 : Exemple de système PV/diesel.....	57
Figure 3.5 : Configuration du générateur diesel à base d'une MS.....	58
Figure 3.6 : Configuration PV/Diesel série.....	60
Figure 3.7 : Configuration PV/Diesel parallèle.....	61

Chapitre 04 : *Analyse et simulation d'un système hybride PV/diesel*

Figure 4.1 : village d'étude.....	64
Figure 4.2 : Configuration du système hybride PV / générateur.....	69
Figure 4.3 : Cout actuel net de différent système hybride.....	74
Figure 4.4 : Evolution de la courbe de consommation et émission d'in système à couplage AC...	75
Figure 4.5 : Evolution de la courbe de consommation et émission d'in système à couplage DC.....	76

Liste Des Tableaux

Chapitre 04 : *Analyse et simulation d'un système hybride PV/diesel*

Tableau 4.1 : Irradiation solaire à NAAMA.....	65
Tableau 4.2 : Prix du pétrole.....	66
Tableau 4.3 : La charge consommée par un maison.	67
Tableau 4.4 : Optimum solution PV+ diesel série à 20%	69
Tableau 4.5 : Optimum solution PV + diesel parallèle à 20%	69
Tableau 4.6 : Solution optimale système hybride d'énergie renouvelable.....	70
Tableau 4.7 : Evaluation technique du système AC/DC.....	71
Tableau 4.8 : Evaluation économique du système AC/DC.....	71
Tableau 4.9 : Quantité des émissions polluantes évitée chaque année.....	72
Tableau 4.10 : Evaluation financière du système à couplage DC.....	73
Tableau 4.11 : Evaluation financière du système à couplage AC.....	73
Tableau 4.12 : Quantité de combustible, en litre, économisée chaque année.....	74
Tableau 4.13 : Quantité de CO2, en tonne ; évitée chaque année.....	74

Chapitre I

Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

Introduction :

L'utilisation des énergies renouvelables n'est pas du tout nouvelle, depuis la préhistoire, l'être humain utilisait de nombreuses sources d'énergies pour couvrir ses besoins énergétiques, notamment de maîtrise du feu à celle de l'électricité. Avec les avancées technologiques, le besoin en énergie est devenu plus que nécessaire au développement d'humanité. Avec la forte demande énergétique, l'homme a fait apparaître des moyens de production d'énergie pour satisfaire ses besoins en termes de confort personnel.

Actuellement, à l'échelle mondiale la seule énergie que l'homme utilise quotidiennement est l'énergie fossile, d'origine organique (le pétrole, le charbon et le gaz naturel) provient de l'énergie de fusion nucléaire dans le soleil. Ce type de consommation n'est pas neutre sur l'impact environnemental, et leur utilisation provoque des problèmes majeurs. Tout d'abord avec la forte demande d'énergie, l'homme se retrouvera face à un grand manque d'énergie puisque ces dernières sont épuisables à l'échelle du temps humain.

Puis l'être humain sera confronté au réchauffement planétaire qui est dû au rejet massif du gaz effet de serre (les hydrocarbures et le charbon par exemple).

Donc, pour lutter contre tout ça, il est impératif de faire remplacer ces énergies fossiles d'autres énergies appelées « énergies propres et renouvelables », soit pour l'homme ça une énergie durable, soit pour l'environnement c-à-dire non polluante. Elle est produite à aide des ressources renouvelables, ces ressources sont nombreuses, la plupart d'elles peuvent être tirées directement ou indirectement du soleil. Parmi les sources d'énergies renouvelables, on compte le vent, la biomasse, la géothermie, les flux marins et océaniques, le solaire photovoltaïque (PV), etc. Ce dernier est une source très puissante.

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement le rayonnement lumineux en électricité, au moyen des modules photovoltaïques composés de cellules solaires où Photopiles qui réalisent cette transformation d'énergie. Les systèmes photovoltaïques ne contiennent aucune pièce mobile. Ils sont fiables, requièrent peu d'entretien, silencieux et ne produisent aucune émission de polluants. Avant chaque projet de réalisation photovoltaïque, dimensionnement du système est nécessaire.

Le système énergétique est l'ensemble des opérations effectuées sur l'énergie, toutes les énergies primaires qui le constituent peuvent produire de l'énergie électrique, c'est pourquoi cette dernière est définie par le carrefour des énergies, Parmi ces énergies primaires, on s'intéresse uniquement aux énergies renouvelables dont on trouve l'énergie solaire où l'énergie photovoltaïque est notre travail de recherche. Il fournit directement ou indirectement toute l'énergie nécessaire à la vie sur terre. [02]

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

1.1 : Historique des énergies renouvelables :

Si le terme « énergie renouvelable » est relativement récent « apparition en 1970 », la totalité des énergies qu'existe depuis quasiment l'origine de la terre et leur utilisation par l'homme remonte à plusieurs centaines voire à plusieurs milliers d'années. La biomasse fut utilisée notamment pour se chauffer, et développer l'industrie des métaux. L'énergie thermique solaire fut mobilisée pour sécher les aliments, les céréales ou le foin. Les sources géothermales furent à l'origine de nombreuses implantations humaines. L'énergie éolienne fut utilisée par les civilisations égyptienne et minoenne pour propulsion des navires ; L'énergie hydraulique fut utilisée en perse et dans l'empire romain il y a plus de deux millénaires.

L'Europe du moyen âge redécouvrit les techniques et les utilisa à grande échelle (moulins à vent, moulins à marée, moulins hydrauliques) pour moudre les céréales, pomper de l'eau, entraîner des martinets ou fabriquer du papier par exemple. Et avec le progrès des machines thermiques, les puissances croissantes demandées par les concentrations industrielles et les impératifs de productivités allaient rendre obsolètes ces générateurs mécaniques à faible puissance.

Les réflexions engagées dans les pays développés quelque année avant le premier choc pétrolier firent toutefois prendre conscience à l'opinion que l'accroissement exponentiel de la consommation d'énergie fossile risquait d'engendrer, dans l'échelle de temps d'une vie humaine, les pénuries d'approvisionnement et conduire à des situations environnementales irréversibles du fait de la saturation des mécanismes de restaurations des équilibres naturelles.

C'est dans tel contexte que l'étude et le développement de convertisseurs susceptibles de capter le potentiel des énergies provenant directement ou indirectement de l'énergie solaire et géothermique furent lancés ou réactivés. On leur donna pour l'occasion le nom énergies renouvelables et on les présenta comme étant une alternative à la domination hégémonique des sources fossiles dans le bilan énergétique mondial. [03]

1.2 : Définition des énergies renouvelables :

Une énergie renouvelable est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à l'échelle de temps humain. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

Soulignons que le caractère renouvelable d'une énergie dépend non seulement de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée. [03]

Le comportement des consommateurs d'énergie est donc un facteur à prendre en compte dans cette définition. Les énergies renouvelables sont également plus « propres » (moins d'émissions de CO₂, moins de pollution) que les énergies issues de sources fossiles. Les principales énergies renouvelables sont :

- L'énergie hydraulique
- L'énergie solaire
- L'énergie éolienne
- La géothermie
- L'énergie de biomasse

1.3 Les avantages les énergies renouvelables

1.3.1 Sur le plan environnemental :

Les énergies renouvelables :

- Contribuent à la réduction des émissions des gaz à effet de serre,
- Réduisent la pollution de l'air, de l'eau, du sol et de la biosphère (pas d'émission de gaz de Combustion, CO₂, SO₂, NO_x),
- Ne nécessitent pas d'extraction ni de transport de combustibles et limitent ainsi les risques d'accident (marées noires, explosions...),
- Ne génèrent pas de déchets dangereux,
- Préservent les stocks de ressources naturelles et énergétiques.

Cependant elles peuvent avoir des impacts environnementaux locaux spécifiques à chaque installation (occupation du sol, paysage, bruit, modification de l'écosystème). Dans la plupart des cas cependant, une évaluation des incidences environnementales locales permet de mettre en œuvre des solutions adaptées aux particularités locales.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

1.3.2 Sur le plan social :

Les installations utilisant les énergies renouvelables induisent généralement la création d'emplois durables et difficilement dés localisables. Leur caractère diffus et décentralisé permet par ailleurs aux populations locales de maîtriser la production d'énergie nécessaire à leurs besoins, tout en permettant une réorientation de l'activité économique. Ainsi par exemple, la production de biomasse-énergie constitue une possibilité de diversification assurant par là des revenus complémentaires pour les secteurs agricole et sylvicole. Dans le domaine du bois-énergie, par exemple, l'association Valbiom a montré que les filières bois peuvent générer de 10 à 28 fois plus d'emplois directs qu'une filière fuel, en fonction de leur degré de mécanisation.

Localement, l'implication de la population dans les énergies renouvelables est également une excellente entrée en matière d'éducation à une utilisation rationnelle de l'énergie. En outre, au niveau international, l'autonomie énergétique des régions réduit les tensions géopolitiques, limite ainsi les risques de conflit et permet la solidarité entre les peuples.[04]

1.3.3 Sur le plan économique :

Les énergies renouvelables permettent de mieux stabiliser les prix de l'énergie, en rendant le marché de l'énergie nettement moins sensible aux fluctuations des combustibles fossiles, et diminuent la dépendance énergétique. Par ailleurs, elles contribuent à l'activité économique locale via les entreprises actives dans le secteur (fabricants, installateurs, équipementiers, ou encore entreprises chargées de l'exploitation, l'entretien ou la maintenance des installations). Dans les conditions actuelles, le prix de revient des énergies renouvelables peut cependant être plus élevé que celui des énergies fossiles (figure 1.1).

Ainsi, les mécanismes de soutien financier aux énergies renouvelables sont un juste rééquilibrage économique dans un marché libéralisé qui n'intègre ni les externalités de la production énergétique classique, c'est-à-dire le coût des effets sur l'environnement et la santé (gaz à effet de serre, marées noires, déchets dangereux), ni les aides indirectes accordées au secteur de l'énergie (recherche et développement, infrastructures, remise en état de sites), ni les bénéfices pour la société liés au développement des énergies renouvelables (indépendance énergétique, renforcement économique local, emplois).

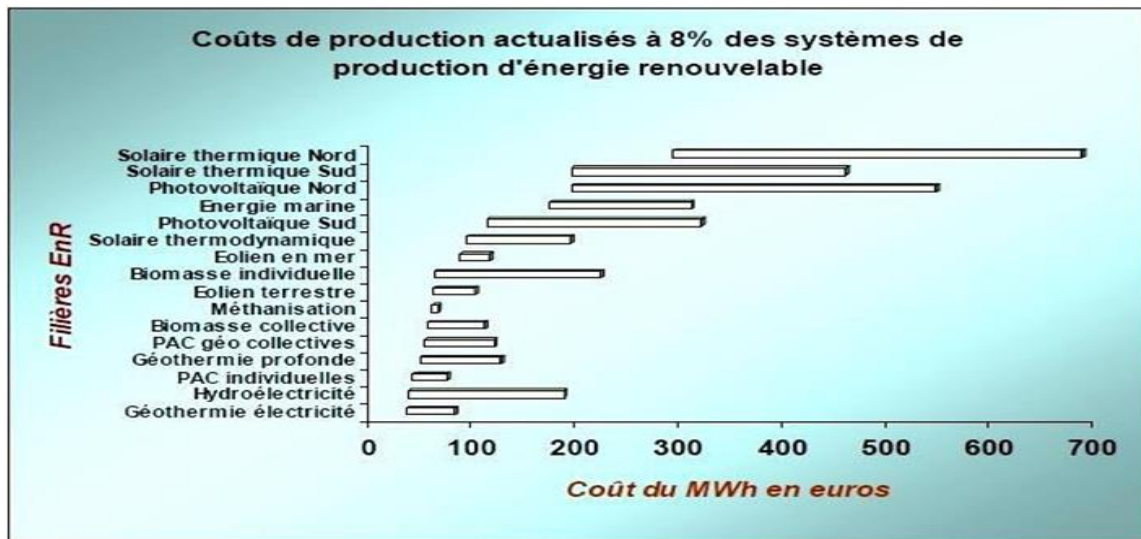


Figure (1.1) : Coûts des énergies renouvelables (Source : ADEME – 2012).

1.4 Les différents types d'énergies renouvelables



Figure (1.2) : schéma de différentes énergies renouvelables.

1.4.1 L'énergie hydraulique :

L'énergie électrique est produite par la transformation de l'énergie cinétique de l'eau en énergie électrique par l'intermédiaire d'un alternateur relié à un ensemble mécanique situé autour de la roue motrice (figure02). La quantité d'énergie extraite de l'eau retenue derrière un barrage dépend du volume d'eau et de la hauteur de chute. Cette source a l'avantage de n'être polluante. On peut maîtriser le stockage de l'énergie d'une manière assez simple afin de débarrasser les cours d'eau des déchets grâce aux différents filtres des barrages, la technologie nécessaire pour son utilisation est maîtrisée.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

Le bruit, l'impact sur la vie aquatique, des installations complexes, et des sites limités pour l'exploitation sont ses principaux inconvénients.[05]

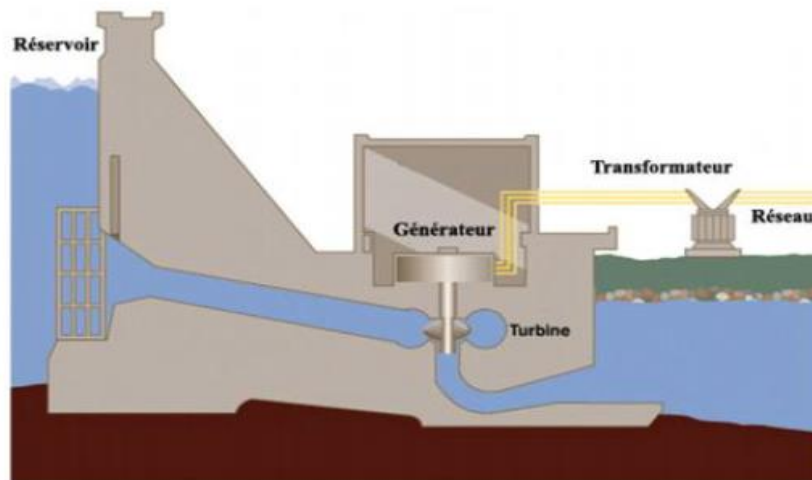


Figure (1.3) : Schéma en coupe d'un barrage hydroélectrique.

1.4.2 Les types de l'énergie hydraulique :

1.4.2.1. L'énergie des vagues :

En lançant un pavé dans une mare, non seulement l'eau reçoit l'énergie de ce choc à l'endroit de l'impact, mais aussi une onde va se créer, qui propage le choc et donc l'énergie du choc, à une certaine distance du point d'impact. De la même manière, le vent qui frappe la surface de la mer crée une onde une vague qui propage à longue distance la vague, donc l'énergie ainsi reçue. Comme beaucoup d'énergies renouvelables, l'énergie des vagues est variable dans le temps, et notamment selon les saisons (comme le vent qui la crée). On estime que, sur l'atlantique, l'énergie disponible est cinq fois plus forte en hiver qu'en été.

1.4.2.2. L'énergie marémotrice :

On cherche à capter l'énergie potentielle dû à la différence de hauteur entre un niveau haut et un niveau bas comme sur les fleuves, il faut donc installer un barrage pour créer cette différence de hauteur on barre l'estuaire ou la baie, créant ainsi un bassin dont le niveau est différent de celui de la mer le barrage est muni de « pertuis » lorsque la marée monte, les pertuis sont ouverts, l'eau envahit le bassin et le niveau de l'eau monte dans le bassin.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

Dès que la mer redescend, on ferme les pertuis et le niveau du bassin se trouve donc perché par rapport au niveau de la mer. Dès que la différence de hauteur entre le niveau du bassin et le niveau de la mer est suffisante, on peut « libérer » l'eau du bassin en la dirigeant vers des turbines qui, en tournant, générant de l'électricité.[05]

1.4.2.3. L'énergie hydrolenne :

Utilisent les courants sous-marins, les hydrolennes cherchent à capter l'énergie de mouvement « Cinétique » des courants de marée. Certes cette énergie est beaucoup plus faible que l'énergie potentielle, mais les hydrolennes ne font pas barrage et laissent donc passer pêcheurs, plaisancier et faune marine. Le principe consiste à faire entraîner au fond de la mer des hélices ou des turbines par les courants marins, les sites les plus intéressants, ou les courants sont les plus rapides, sont les embouchures de rivières, les zones côtières, ...

1.4.2.4. L'énergie marée thermique :

Utilise la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes dans les océans.

1.4.2.5. L'énergie osmotique :

La diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau salée de la mer.

1.4.3 Le coût de l'énergie hydraulique :

Le coût de l'énergie hydroélectrique est évidemment très variable, en fonction de la topographie (il y a de bons sites de barrages qui, à peu de frais, retiennent beaucoup d'eau), de l'hydroélectricité de la distance entre le site du barrage et les lieux de consommation (le site de barrage n'a aucune raison d'être proche des lieux de consommation).

De toute manière, l'énergie hydraulique (comme c'est le cas pour beaucoup d'énergies renouvelables) est coûteuse en investissement et assez peu en fonctionnement et en maintenance. Inversement, ce gros investissement hydraulique a souvent la chance de pouvoir être amorti sur une très longue durée de vie. Une fois l'investissement initial amorti sur une période de quinze à trente ans, le coût de l'électricité produite n'est plus que de 2 centimes d'euro/kWh, correspondant aux dépenses d'exploitation et d'entretien_ maintenance, qui reste réduites, même dans le cas d'une très longue utilisation. Le grand hydraulique est donc une énergie très rentable, dans beaucoup de sites. Le petit hydraulique peut aussi être rentable, puisque son coût total (amortissement compris) varie de 2 à 5 centimes d'euro/kWh.

1.4.4 Les avantages et les inconvénients de l'énergie hydraulique

a) Les avantages

Tant que le cours d'eau n'est pas à sec, l'énergie est disponible. C'est donc une source d'énergie assez disponible (sauf en cas de sécheresse persistante).

b) Les inconvénients

- Les plus gros barrages peuvent noyer des surfaces très importantes, pouvant comprendre des zones.
- Les barrages peuvent s'envaser car ils réduisent l'écoulement de l'eau mais aussi de tous les éléments charriés par les cours d'eau.
- Le lâché d'eau (et plus exceptionnellement la rupture d'un barrage) peut provoquer des dégâts considérables en aval du barrage

1.5. Energie solaire

Le soleil produit de l'énergie grâce aux radiations des fusions qui se traduisent : en premier lieu par la perte de masse du soleil, et en deuxième lieu par l'émission d'un rayonnement électromagnétique d'une puissance totale de $3,9 \cdot 10^{26}$ W, que la terre reçoit uniquement 20% du globe. En point de vue technologique, on distingue deux principales technologies de conversion de la lumière du soleil en électricité : les cellules photovoltaïques (énergie photovoltaïque) et les systèmes générateurs thermo-solaires (énergie solaire thermique).

L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée.



Figure (1.4) : énergies solaires.

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage" qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs.

Le silicium est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques disponibles à un niveau industriel. Le silicium est fabriqué à partir de sable quartzéux (dioxyde de silicium). Celui-ci est chauffé dans un four électrique à une température de 1700 °C. Divers traitements du sable permettent de purifier le silicium. Le produit obtenu est un silicium dit métallurgique, pur à 98% seulement.

1.5.1 Principe de fonctionnement des cellules solaire :

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p.

Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction PN a été formée.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière ; sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique.



Figure (1.5) : Principe de fonctionnement des cellules solaires.

1.6 Les types de l'énergie solaire

1.6.1 L'énergie solaire thermique :

Les photons excitent des atomes en leur transmettant une part de leur énergie. Face à ce gain d'énergie, les atomes s'agitent et s'échauffent. Cette chaleur va servir à augmenter la température d'un fluide caloporteur qui pourra être utilisé pour :

- Le chauffage d'un bâtiment,
- La production d'eau chaude.

Pour favoriser le recours au solaire thermique, les chercheurs développent les technologies selon 3 axes :[07]

- Augmentation des performances en développant des traitements de surface pour les capteurs
- Réduction des coûts à travers le développement des installations urbaines plutôt que seulement domestiques (mutualisation d'équipements)
- Intégration de nouvelles fonctions.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

1.6.1.1 Éléments constituant la chaîne de conversion :

a) Les capteurs

Plusieurs types de capteurs existent (plans, sans vitrage, à tubes sous vide). Leur utilisation dépendra de la quantité de chaleur qu'on souhaite produire, le type d'installation qu'ils doivent intégrer (centrales, maisons...), et la région dans laquelle on se trouve.

b) Le fluide caloporteur

Ce fluide va circuler dans les capteurs et récupérer l'énergie thermique collectée. Généralement, l'eau ou un fluide antigel sont utilisés. Dans certaines applications, l'air peut également être employé en tant que fluide caloporteur.

Le fluide circule ensuite dans un réseau, acheminant la chaleur pour pouvoir l'utiliser ou la stocker.

1.6.2 L'électricité solaire thermodynamique :

La chaleur produite va être convertie en énergie mécanique pour produire de l'électricité, la température beaucoup plus élevée que dans les systèmes thermiques - entre 100 et 1 500 °C, contre 20 à 100°C pour la thermique) :

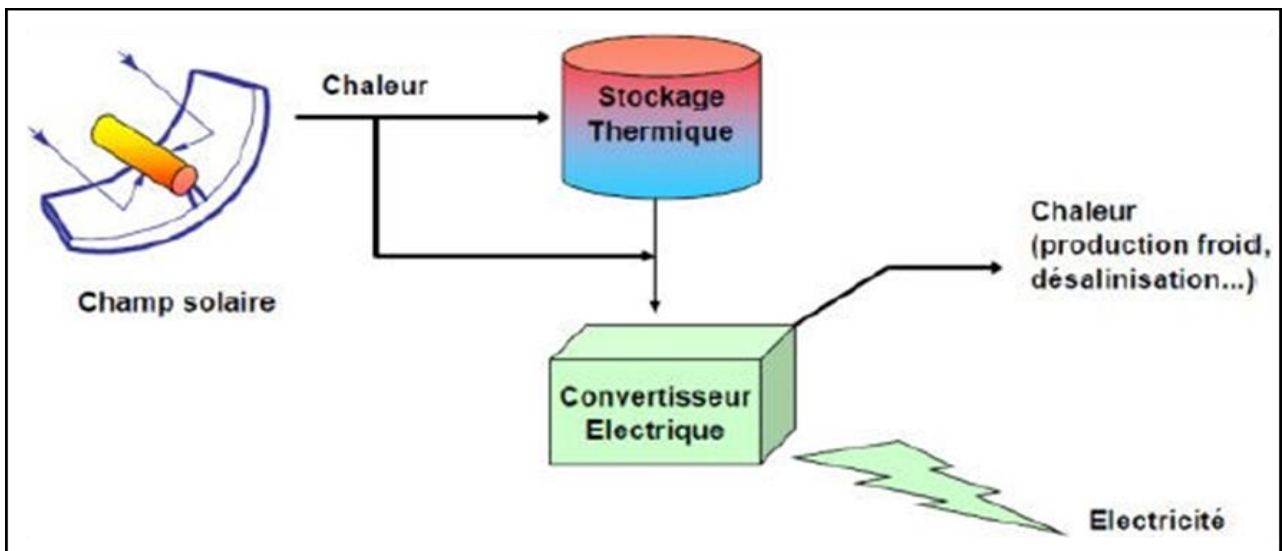


Figure (1.6) : Principe général des technologies solaires thermodynamiques.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

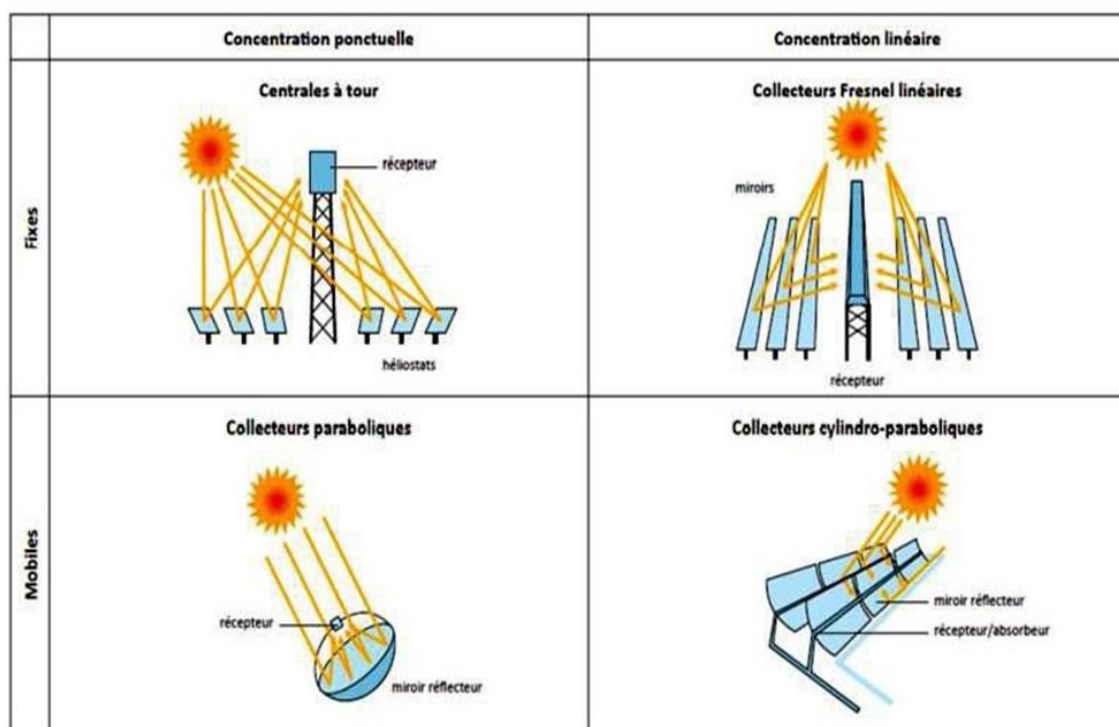
Selon la figure (1.7) la production d'électricité via la technologie solaire

Thermodynamique peut se découper en trois étapes :

- 1) concentration du rayonnement sur l'entrée du récepteur et absorption sur les parois du récepteur : transformation de l'énergie en chaleur
- 2) Transport et éventuellement stockage de cette chaleur
- 3) Transfert à un cycle thermodynamique associé à un alternateur : production d'électricité.

1.6.2.1. Les différents types de centrales thermodynamiques

La figure N06 présente les types de centrales thermodynamiques, combinant. Différentes technologies [07].



Source: International Energy Agency - IEA 2010

Figure (1.7) : Les quatre principales technologies de centrale solaire thermodynamique.

1.6.2.2. Le stockage de l'énergie thermique

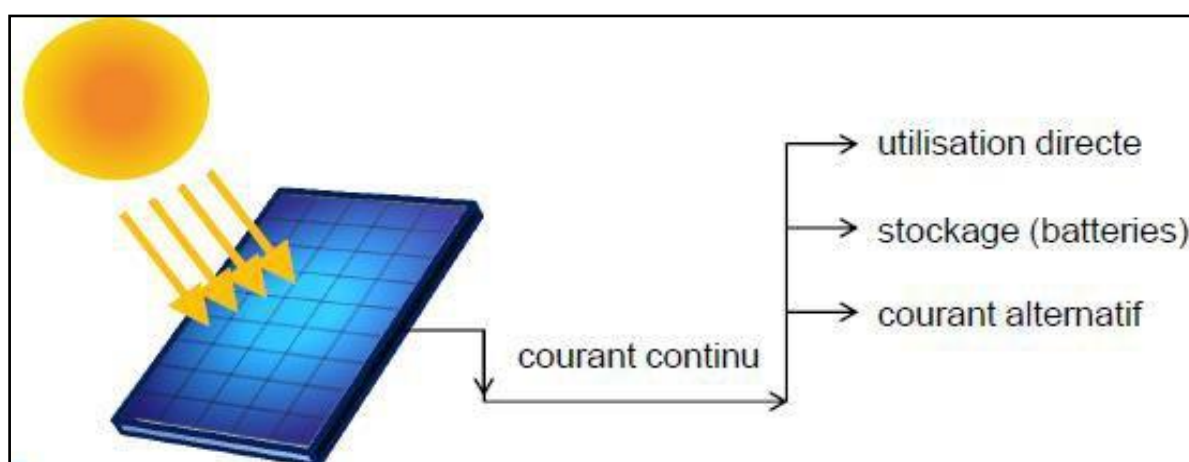
C'est ajuster la production à la consommation c'est-à-dire stocker l'excédent d'énergie thermique du milieu de journée pour produire de l'électricité en fin de journée. Le stockage de l'énergie thermique est efficace et peu coûteux.

1.6.3. L'électricité solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) provient de la conversion directe de l'énergie provenant de photons, compris dans le rayonnement lumineux (solaire ou autre) en énergie électrique. Elle utilise pour ce faire des modules photovoltaïques composés de cellules ou de photopiles fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible qui réalisent cette transformation d'énergie.

L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donne lieu

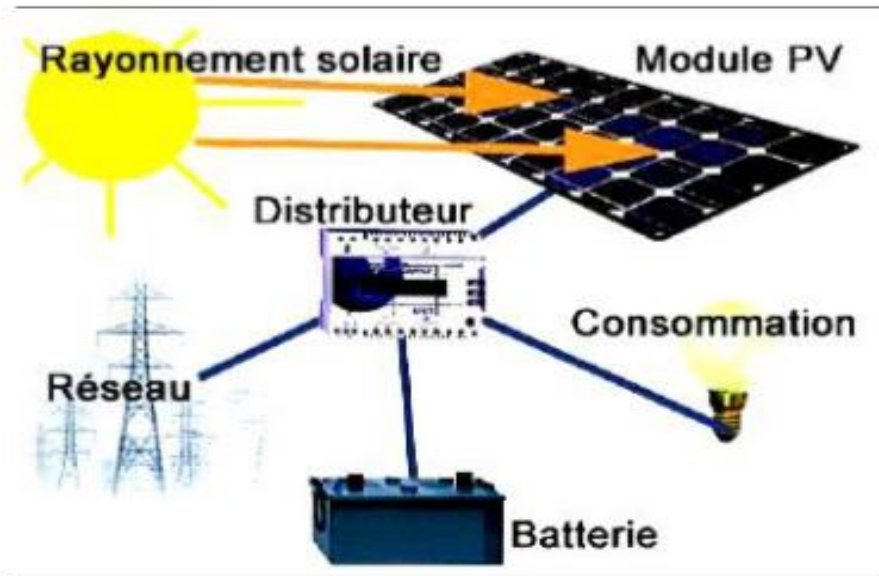
à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique statique courant-tension $I(V)$ non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble [08].



Source : le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)

Figure (1.8) : Principe des technologies solaires photovoltaïques

L'effet photovoltaïque a été découvert par le physicien français BECQUEREL dès 1839, l'effet photovoltaïque permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires (photon) en électricité (Volt), par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière.



Figure(1.9) : Système Photovoltaïque.

Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p.

Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p[08].

1.6.4. Cellules photovoltaïques :

La cellule photovoltaïque est un moyen de conversion de la lumière en énergie électrique par le processus « effet photovoltaïque ». Elle est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction P-N avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction P-N de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P).

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. A travers une charge continue, on peut en plus récolter des porteurs. La tension maximale de la cellule est d'environ 0,6V pour un courant nul. Cette tension est nommée tension de circuit ouvert,

Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées, il est appelé courant de court-circuit (I_{cc}) et dépend fortement du niveau d'éclairement.

1.6.5. Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. Le régime photovoltaïque est un régime où aucun potentiel n'est appliqué, mais où un courant circule à travers une charge.

Le système développe donc une puissance électrique. Le principe de fonctionnement de la cellule fait appel aux propriétés du rayonnement et celles des semi-conducteurs.

La conversion de photons en électrons dans un matériau pouvant produire un courant électrique nécessite :

Absorption des photons par le matériau (absorption optique) et là

- Génération des porteurs de charges.
- Collecte des porteurs excités avant qu'ils ne reprennent leur énergie initiale (relaxation).

Une cellule photovoltaïque produit une tension de 0,5V en circuit ouvert. L'intensité du Courant fourni par cette cellule dépend des conditions environnantes et en fonction de la charge[09].

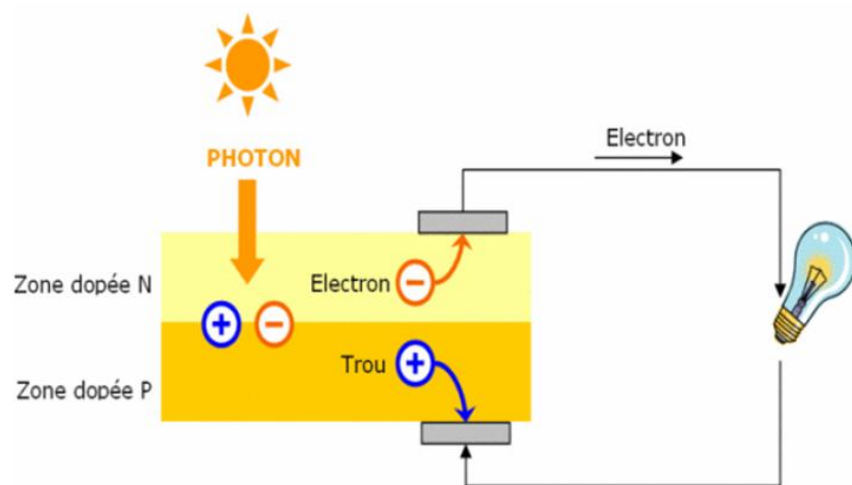


Figure (1.10) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque.

1.6.6. Différents types des cellules photovoltaïques

Il existe différents types de cellules solaires ou cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule est caractérisé par a un rendement et un coût qui lui sont propres. Cependant, quel que soit le type, le rendement reste assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent. Actuellement, il existe trois principaux types de cellules : [09].

a) Cellules monocristallines

Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération, elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal (Figure 1.11).

Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie ; plus onéreux, il est cependant plus efficace que le silicium poly cristallin. Du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau. Lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, on obtient un monocristal.

Un Wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N, dépôt de couche antireflet, pose des collecteurs), le Wafer devient cellule.

Les cellules sont rondes ou presque carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme.

Elles ont un rendement de 15 à 22 %, mais la méthode de production est laborieuse



Figure (1.11) : Cellule photovoltaïque monocristalline.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

b) Cellules poly cristallins :

Les cellules poly cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes), (Fig.11).

Elles ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées.

L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication.

Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure Polycristalline. Durée de vie estimée : 30 ans.



Figure (1.12) : Cellule photovoltaïque poly cristalline.

c) Cellules amorphes :

Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide.

Le rendement de ces panneaux est moins bon que celui des technologies Poly cristallines ou monocristallines.

Cependant, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grandes surfaces A bas coût en utilisant peu de matière première.



Figure (1.13) : Cellule photovoltaïque amorphe

1.6.7 Conversion de l'énergie solaire photovoltaïque

1.6.7.1 Chaîne de conversion électrique

Dans le cas d'installations autonomes, l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques est utilisée immédiatement (pompage, ventilation, etc....) ou stockée dans des batteries pour une utilisation différée (Figure 1.14). Le courant continu produit alimente directement des appareils prévus à cet effet ou est transformé en 230 Volts alternatif. [10]

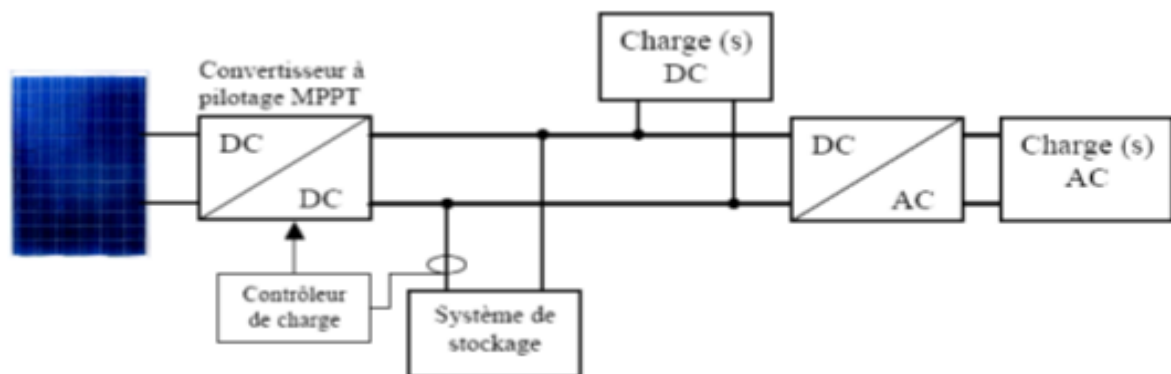


Figure (1.14): Installation photovoltaïque autonome.

Le système peut également être connecté au réseau. L'avantage du raccordement est de se dispenser du coûteux et problématique stockage de l'électricité. Dans ses versions les plus économiques l'onduleur ne peut fonctionner qu'en présence du réseau, une éventuelle panne de ce dernier rend inopérant le système de production d'origine renouvelable. Un onduleur réversible est nécessaire si on a une charge à courant continu (Figure 1.15).

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

Si la consommation locale est supérieure à la production de la centrale, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs voisins.

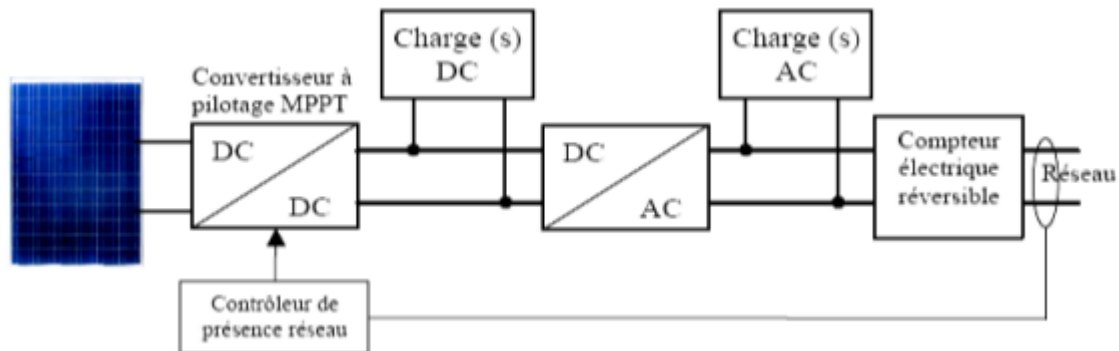


Figure (1.15) : Installation photovoltaïque couplée au réseau.

1.6.8. Les types d'installations photovoltaïques et leurs applications

Selon les besoins, peuvent se décliner sous plusieurs formes :

- Pour une production locale d'électricité telle que : les installations résidentielles, bâtiments industriels et commerciaux
- Pour une production centralisée telle que les centrales solaires

Enjeux :

- Diminution des coûts des matériaux, notamment du silicium purifié
- Simplification des procédés de fabrication : l'augmentation de la cadence (cristallisation), La réduction du taux de casse (sciage), du nombre d'étapes et diminution des pertes de matière au cours de la fabrication.
- Augmentation du rendement de conversion des cellules.

1.6.9. Synthèse des 3 filières

- Une énergie relativement universelle : disponible partout dans le monde, mais dans des quantités variables
- Pour chaque besoin : une ou plusieurs technologies spécifiques.
- Les différentes filières technologiques du solaire se complètent selon les usages.
- L'optimisation des systèmes passent par une approche globale de la production et de la consommation.
- Technologies modulaires : la surface de captation est proportionnelle aux besoins et les

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

prix de revient par Watt sont constants sur la gamme 1 kW-100MG.

- Le coût de cette énergie est essentiellement déterminé par l'investissement initial, et reste stable du fait de la permanence de la ressource et de la quasi-absence de consommables (carburants etc.).

1.7. Les avantages et les inconvénients de l'énergie solaire

a) Les avantages

- Énergie disponible partout à la surface de notre planète.
- Les panneaux photovoltaïques s'intègrent particulièrement bien aux toitures.
- Les capteurs solaires thermiques peuvent être intégrés aux toitures ou aux façades.

b) Les inconvénients

- Énergie renouvelable qui demande une technologie très avancée pour stockage.
- Panneaux photovoltaïques encore chers.
- Le niveau de production maximal dépend de la surface de capteur exposée au soleil.
- Énergie renouvelable toujours dépendante de la saison et du lieu où l'on se trouve.

1.8. L'énergie éolienne :

Par définition, l'énergie éolienne est l'énergie produite par le vent. Elle est le fruit de l'action d'aérogénérateurs, de machines électriques mues par le vent et dont la fonction est de produire de l'électricité. [11]

Une hélice entraînée en rotation par la force du vent permet la production d'énergie mécanique ou électrique en tout lieu suffisamment venté. L'énergie du vent captée sur les pales entraîne le rotor qui, couplé à une génératrice, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. La quantité d'énergie produite par une éolienne dépend principalement de la vitesse du vent mais aussi de la surface balayée par les pales et de la densité de l'air. [12]

Les éoliennes peuvent être utilisées soit pour pomper de l'eau soit pour produire de l'électricité, elle est devenue, en moins de 10 ans, la forme d'énergie renouvelable dont la marge de progression est la plus importante.



Figure (1.16): L'énergie éolienne

1.8.1. Principe de fonctionnement d'une éolienne :

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne est relativement simple : le vent fait tourner des pales qui font-elles même tourner le générateur de l'éolienne. A son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique de type éolienne.

L'électricité éolienne est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage d'électricité éolienne.[13].

1.8.2. Composition d'une éolienne :

a) Ailes ou pales d'une éolienne :

Les éoliennes modernes sont composées de 2 à 3 ailes, tournant autour d'un rotor à axe horizontal. Les pales de l'hélice d'une éolienne peuvent être en bois lamellé-collé, en plastique renforcé de fibre de verre, ou en métal... Le diamètre qu'elles balayaient varie de 40 m à 120 m.

b) La tour ou le mât d'une éolienne :

L'hélice de l'éolienne est située en haut d'une tour de 50 m à 110 m. le mât peut être des assemblages de croisillons métalliques, en béton ou en métal.

c) La partie électrique d'une éolienne :

Dans les éoliennes destinées à produire de l'électricité, l'hélice fait tourner un générateur électrique situé en haut de la tour, dans le prolongement de l'axe de l'hélice de l'éolienne.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

Entre l'hélice et le générateur électrique de l'éolienne se trouve en général un multiplicateur de vitesse, car l'hélice de l'éolienne tourne à des vitesses d'environ 100 à 650 tours min alors qu'un générateur électrique doit être entraîné à environ 1500 à 3000 tours min.[14].

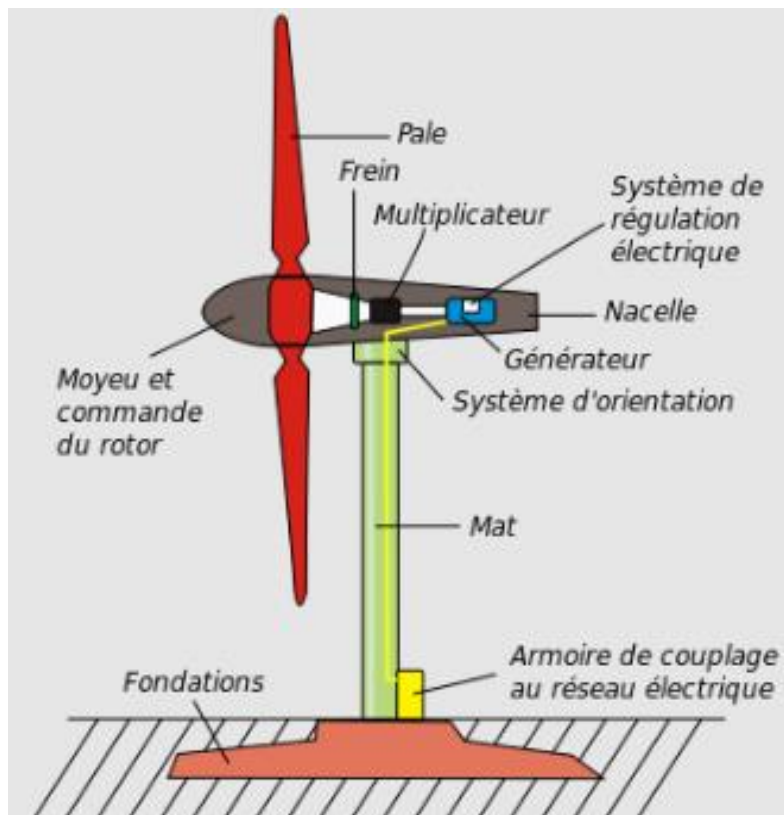


Figure (1.17):Composition d'une éolienne

1.8.3. Caractéristiques des éoliennes :

On classe les éoliennes suivant la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice. Il existe principalement deux types de turbines éoliennes :

- a) Eolienne à axe vertical.
- b) Eolienne à axe horizontal.

a) Les éoliennes à axe vertical.

Elles présentent certains avantages : machineries au sol, pas besoin d'orientation en fonction de la direction du vent, construction souvent simple. Elles tournent à faible vitesse et sont de ce fait peu bruyantes. Elles présentent par contre des difficultés pour leur guidage mécanique, le palier bas devant supporter le poids de l'ensemble de la turbine.

Il existe principalement trois technologies de ce type d'éoliennes (Figure 1.18) :

- Turbines Darrieus classiques,

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

- Turbines Darrieus à pales droites (type-H),
- Turbines Savonius.

b) Les éoliennes à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur la technologie ancestrale des moulins à vent (Fig.14). Elles sont constituées de plusieurs pales profilées aérodynamiquement à la manière des ailes d'avion. Dans ce cas, la portance n'est pas utilisée pour maintenir un avion en vol mais pour générer un couple moteur entraînant la rotation. Le nombre de pales utilisé pour la production d'électricité varie classiquement entre 1 et 3, le rotor tripale étant le plus utilisé car il constitue un compromis entre le coefficient de puissance, le coût et la vitesse de rotation du capteur éolien.

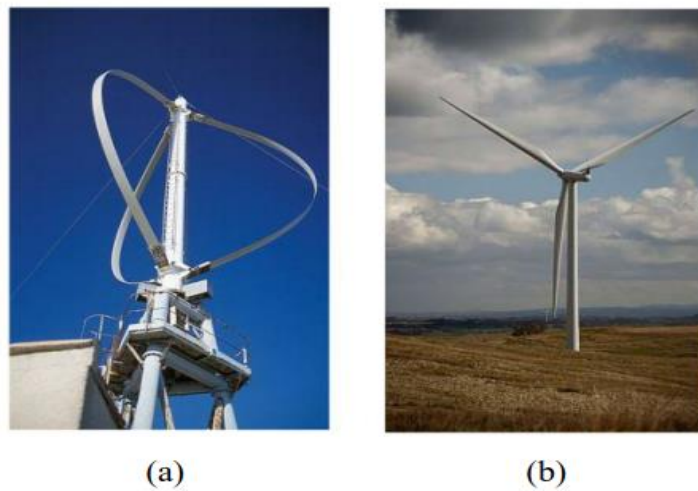


Figure (1.18) : Eolienne à axe vertical (a) et axe horizontal (b).

1.8.4. Les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne :

a) Les avantages

- Les frais de fonctionnement sont assez limités étant donné le haut niveau de fiabilité et la relative simplicité des technologies mises en œuvre.
- Le prix de revient d'une éolienne va probablement diminuer dans les années à venir suite aux économies d'échelle qui pourront être réalisées sur leur fabrication.
- Techniquement, les éoliennes sont rentables dans les régions bien ventées.
- La période de haute productivité, située souvent en hiver où les vents sont plus forts, correspond à la période de l'année où la demande d'énergie est la plus importante.

b) Les inconvénients

- Énergie renouvelable toujours dépendante du vent. En utilisation isolée, il faut donc prévoir un système de batterie de stockage de l'électricité pour les journées sans vent.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

- La très grande variabilité (direction, vitesse, jour/nuit, saison) de cette énergie
- Les éoliennes sont parfois critiquées pour leur impact sur l'environnement.

1.9. L'énergie géothermique

Est l'exploitation de la chaleur stockée dans le sous-sol. Soit pour la production d'électricité ou bien pour la production de chaleur.

1.9.1. Les type de l'énergie géothermique :

- a) **La géothermie très basse énergie** : Profondeur inférieure à 100 m de température moins de 30°C. elle assure le chauffage.
- b) **La géothermie basse énergie** : Entre 1 500 et 2 500 mètres de profondeur de température entre 30°C et 90°C : trop faible pour produire de l'électricité mais idéal pour produire de la chaleur.
- c) **La géothermie moyenne énergie** : Gisements d'eau chaude ou de vapeur humide compris entre 90 et 150°C utilisé pour la production d'électricité.
- d) **La géothermie haute température** : 1 500 à 3 000 mètres de profondeur, exploite des fluides atteignant des températures supérieures à 150°C, pour produire de l'électricité « zones de volcanisme ou de tectonique active ».
- e) **La géothermie profonde assistée** : la chaleur des roches chaudes fissurée entre 3 et 5 kilomètres elle est utilisée pour la production d'électricité.[15].

1.9.2. Les avantages et inconvénients de l'énergie géothermique

a) Les avantage :

- La géothermie n'est pas dépendante des conditions atmosphériques
- Le système tire gratuitement du sol près des deux tiers des besoins en chauffage d'une maison ce qui permet de réduire l'utilisation d'énergies fossiles.
- Le coût d'entretien des systèmes géothermiques est généralement moins élevé que les systèmes de chauffage classique.
- La durée de vie prévue de la thermopompe d'un système géothermique est d'environ 18 à 20 ans, à peu près la même que celle d'un appareil de chauffage classique. Et 50 à 75 pour la boucle souterraine. Même si la thermopompe doit être remplacée au bout de 20 ans, la boucle souterraine pourra servir beaucoup plus longtemps.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

- Tant que la quantité d'énergie captée n'est pas supérieure à la chaleur provenant du centre de la Terre, la ressource est inépuisable.
- Cette énergie ne produit aucun déchet.

b) Les inconvénients

- Les systèmes géothermiques utilisent une source d'énergie renouvelable, mais doivent faire appel à une source électrique pour fonctionner qui elle n'est pas toujours renouvelable
- L'achat d'un tel système demande un investissement initial assez important. Ils souvent le double d'une installation utilisant une énergie classique.

1.10. La biomasse

Réunit le bois, la paille, les rafles de maïs, le biogaz et les biocarburants. Le bois énergie représente 14 % de la consommation énergétique mondiale. Issu des déchets de la forêt ou des industries du bois, il est brûlé pour produire de la chaleur.

Le biogaz est issu de la fermentation des déchets organiques. Sa combustion produit de la chaleur, mais également de l'électricité par cogénération. Les biocarburants proviennent de plantes cultivées (tournesol, betterave, colza...)

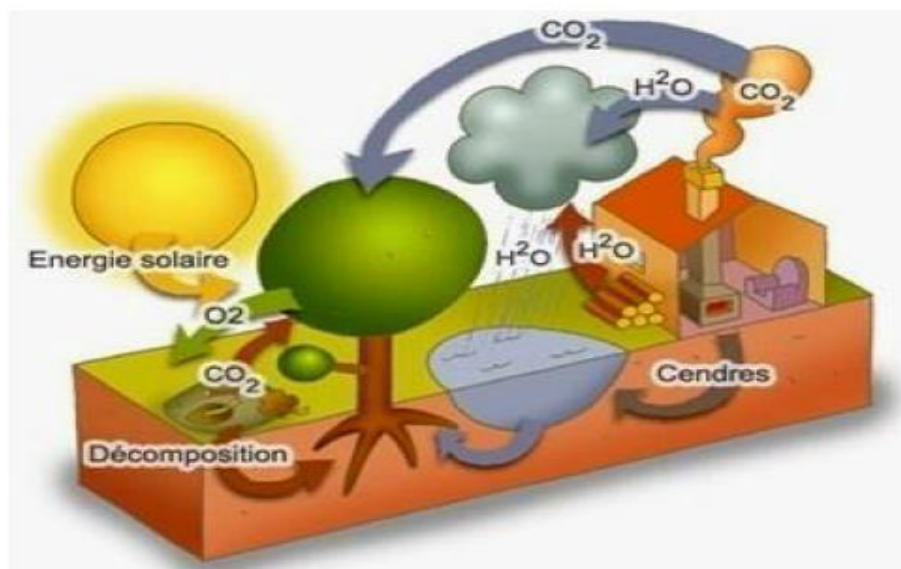


Figure (1.19) :Énergie Biomasse.

Chapitre I : Généralité sur les sources d'énergies renouvelables

a) Le biodiesel :

Provient de Biomasse oléagineuse, huiles végétales, huiles usagées d'origine végétale ou animale.

b) Le bioéthanol :

Provient de Betteraves, déchets de meunerie, petit-lait, plantes contenant de l'amidon ou de la cellulose.

1.10.1. Les constituants de la biomasse :

On distingue trois constituants principaux, auxquels correspondent des procédés de valorisation spécifiques :

- a) **La biomasse lignocellulosique** : Constituée par le bois, les résidus verts, la paille, la bagasse de canne à sucre et le fourrage. La valorisation se fait plutôt par des procédés par voie sèche, dits conversions thermochimiques.
- b) **La biomasse à glucide** : Riche en substance glucidique facilement hydrolysable : les céréales, les betteraves sucrières et les cannes à sucre. La valorisation se fait plutôt par fermentation ou par distillation dits conversions biologique.
- c) **La biomasse oléagineuse** : Riche en lipides : Colza, Palmier à huile, etc. Elle peut être utilisée comme carburant. Il y a deux familles de biocarburants : les esters d'huiles végétales (colza) et l'éthanol, produit à partir de blé et de betterave, incorporable dans le super sans plomb sous forme d'Ethyle Tertio Butyle Ether.[16].

1.10.2. Les avantages et les inconvénients de la biomasse :

a) Les avantages

- Large disponibilité de la ressource sur la terre, sauf dans les régions les plus arides où le bois est rare.
- Faibles émissions polluantes et pas de contribution à l'effet de serre.
- Le prix du bois de chauffage ne suit pas le cours du pétrole.

b) Les inconvénients

- C'est une source d'énergie peu dense. Pour se chauffer durant un hiver, il faudra un grand volume de bois, ce qui nécessitera beaucoup de transport, de manutention et un vaste espace de stockage.
- L'exploitation des bois et forêts doit s'accompagner d'une nouvelle plantation. Dans le cas contraire, on dégrade l'écosystème et on détériore la ressource.

Conclusion du chapitre

Le développement des énergies renouvelables ne répond pas seulement à un enjeu environnemental, mais correspond à un besoin de diversification de nos sources d'énergies. Cependant, si leurs atouts économiques et écologiques sont indéniables, leur puissance énergétique ne permettra pas de les substituer complètement aux énergies fossiles, compte-tenu de nos modes de consommations actuels. Même en exploitant toutes les sources d'énergie possibles, le passage aux énergies renouvelables implique des transformations majeures dans les modes de production, de transports ... Nous pensons que seul un mode d'organisation nouveau, fondé sur l'efficacité énergétique semble réaliste dès lors que les énergies fossiles s'épuiseront ou que. Les changements climatiques l'imposeront.

Chapitre II

Système hybride SEH

Chapitre II : Système hybride SEH

INTRODUCTION

Actuellement, la plus grande part des gisements énergétiques mondiaux est consacrée à la production d'électricité. L'abondance des réserves de charbon et leur faible coût d'exploitation expliquent que le charbon soit économiquement avantageux et arrive en tête dans les ressources exploitées pour la production d'électricité. En revanche, l'impact environnemental du charbon est remarquable même avec la présence des technologies plus récentes et moins polluantes. Ensuite vient le gaz naturel avec la turbine à gaz à cycle combiné qui est la principale technologie de la production d'électricité mise en service dans le monde. En troisième place nous trouvons le nucléaire. Certains pays produisent l'essentiel de leur électricité à partir des barrages et aux cours d'eau. Certainement le pétrole est peu utilisé pour la production d'électricité à l'échelle mondiale mais en parallèle nous le trouvons avec le gaz à la première place pour la production de l'électricité dans notre pays l'Algérie.

Dans le monde entier les chercheurs incitent à changer la vision ancienne pour la production d'électricité, ils appellent aux ressources d'énergies renouvelables, à savoir l'énergie solaire et l'énergie éolienne. Dans ce contexte, ces énergies sont appelées à remplacer les autres ressources fossiles et le nucléaire afin de répondre aux exigences actuelles. En effet, leur utilisation est une solution inépuisable, non polluante et bien adaptée à la production décentralisée.

Cependant les énergies solaire et éolienne présentent un inconvénient commun défini par leur caractère aléatoire et leur dépendance des conditions météorologiques et climatiques qui changent avec le temps. Afin de pallier à cet inconvénient, les chercheurs approuvent l'utilisation des systèmes hybrides dans le but de combiner plusieurs sources d'énergies renouvelables pour assurer une alimentation continue quel que soient les conditions climatiques et météorologiques. [17]

Le système hybride que nous proposerons dans cette thèse combinera deux sources d'énergie renouvelable, à savoir un générateur photovoltaïque pour convertir l'énergie du soleil et un générateur éolien pour convertir celle du vent. Ce système hybride éolien-photovoltaïque servira d'alimentation en énergie électrique des zones isolées dont le raccordement au réseau est très coûteux et non rentable. En cas d'absence de soleil et de vent, des batteries de stockage et un générateur diesel seront prévus pour l'alimentation de secours.

Chapitre II : Système hybride SEH

2.1. Généralités

Un Système d'Energie Hybride (SEH) est un système qui associe au moins deux technologies complémentaires : une ou plusieurs sources d'énergie classiques, généralement des générateurs diesel, et au moins une source d'énergie renouvelable. Les sources d'énergie renouvelable, comme le photovoltaïque, ne délivrent pas une puissance constante. Leur association avec des sources classiques permet d'obtenir une production électrique continue. Les SEH sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées. Le but d'un SEH est d'assurer l'énergie demandée par la charge et si possible de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergies renouvelables, tout en maintenant la qualité de l'énergie fournie. D'un point de vue technologique, la fiabilité n'est pas seulement une question de respect des normes pour l'alimentation en électricité, mais aussi de maintenance, compte tenu des conditions particulières des régions isolées.

Les performances d'un SEH, son rendement et sa durée de vie, sont influencés en partie par sa conception, c'est-à-dire l'architecture, le dimensionnement des composants, le type de composants [18]

Etc., et d'autre part par le choix de la stratégie de fonctionnement. Quelques paramètres permettant d'évaluer ces performances sont :

1. La consommation spécifique du groupe électrogène,
2. Le nombre et la durée des pannes,
3. Le nombre d'arrêt pour l'entretien,
4. Le coût du kWh
5. etc.

En plus d'un ou plusieurs générateurs diesel et d'au moins une source d'énergie renouvelable, un SEH peut aussi incorporer un système de distribution à courant alternatif (CA), un système de distribution à courant continu (CC), un système de stockage, des convertisseurs, des charges, et une option de gestion des charges ou un système de supervision. Toutes ces composantes peuvent être connectées en différentes architectures. Dans la plupart des cas, les systèmes hybrides classiques contiennent deux bus : un bus à CC pour les batteries, les sources et les charges à CC, et un bus à CA pour les générateurs à CA et le système de distribution. Les sources d'énergie renouvelable. [19]

Chapitre II : Système hybride SEH

2.2. Définition d'un système hybride

Un système hybride est un système qui fait intervenir au moins deux sources d'énergie renouvelable comme un panneau photovoltaïque, une éolienne, une pompe hydraulique, etc. Souvent, ces sources renouvelables sont associées à une source conventionnelle comme un générateur diesel, nécessaire pour délivrer une puissance en continue. En plus des sources d'énergies renouvelables, les systèmes hybrides associent des dispositifs de stockage comme les batteries, les super condensateurs, les piles à combustible, etc. Les systèmes hybrides dits "isolés" fonctionnent en autonomie par rapport aux réseaux de distribution électriques.

L'objectif principal d'un système hybride est de répondre à la demande de la charge en favorisant l'énergie produite par les sources renouvelables par rapport à celle fournie par les sources auxiliaires comme le groupe Diesel.

La performance d'un système hybride en termes de rendement et de durée de vie, est influencée d'une part par la conception, c'est-à-dire par le dimensionnement des différentes composantes qui le constitue, la technologie de ces composantes, l'architecture, etc. D'autre part, cette performance dépend aussi du choix de la stratégie de gestion considérée.[20]

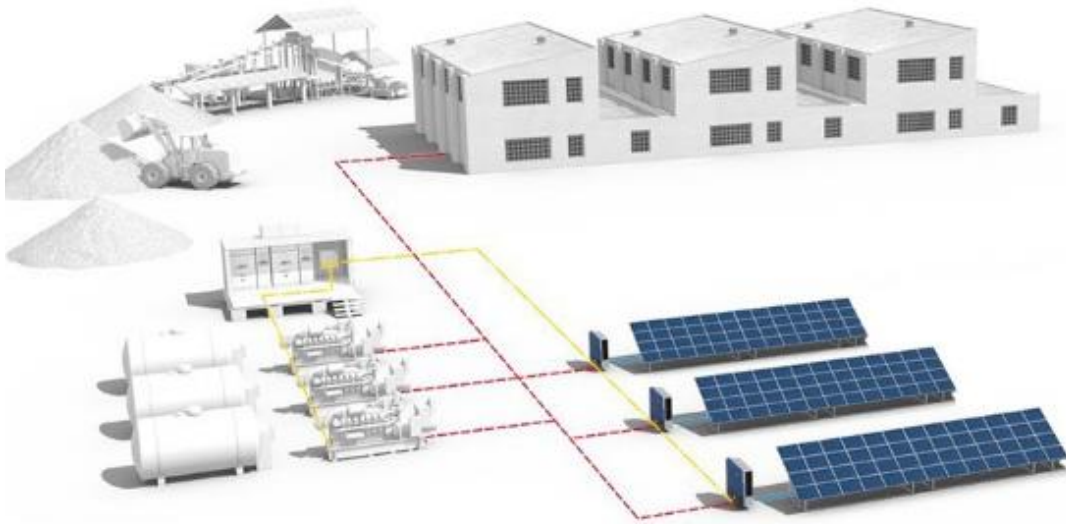


Figure (2.1) : Un Système Hybride (SEH).

Chapitre II : Système hybride SEH

2.3. Systèmes hybrides de production d'électricité :

Les systèmes les plus prometteurs pour l'utilisation des énergies renouvelables sont les Systèmes d'Energie Hybrides (SEH). Ces systèmes combinent et exploitent plusieurs sources disponibles interconnectées entre elles pour fournir l'alimentation électrique, En général une ou plusieurs sources conventionnelles (groupe électrogène) et au moins une source d'énergie renouvelable. Plusieurs classifications des systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi.[21]

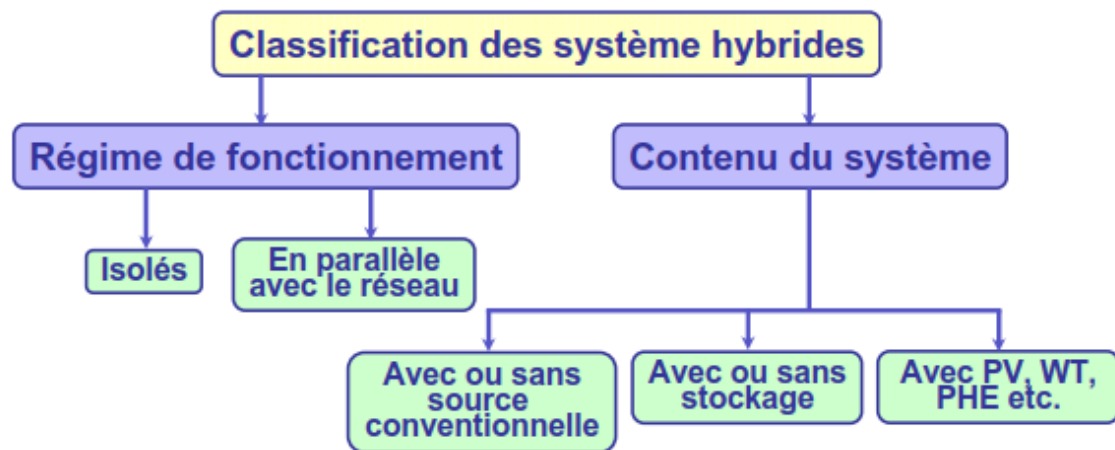


Figure (2.2) : classification du système hybride.

Le but d'un système d'énergie hybride est d'assurer la fourniture de l'énergie demandée par la charge et de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergie renouvelable. Les performances d'un SEH, le rendement et la durée de vie sont influencés en partie par sa conception (dimensionnement des composants, types de composants, architecture) et d'autre part, par le choix de la stratégie de fonctionnement.

La puissance délivrée par les SEH peut varier de quelques watts jusqu'à quelques mégawatts. Ainsi, pour les systèmes hybrides ayant une puissance en-dessous de 100 kW, la connexion mixte combinant bus à courant alternatif (CA) et bus à courant continu (CC) avec des batteries de stockage est très répandue. Le système de stockage utilise un nombre élevé de batteries de stockage pour être capable de couvrir la charge moyenne pendant plusieurs jours. Ce type de SEH utilise de petites sources d'énergie renouvelable connectées au bus à CC. Quand il existe une production en CA, elle vient des générateurs diesel. Une autre possibilité est de convertir la puissance continue en puissance alternative à l'aide des onduleurs. Les systèmes hybrides utilisés pour des applications de très faible puissance (< 5 kW) alimentent généralement des charges à CC.

Chapitre II : Système hybride SEH

Les systèmes plus grands (puissance > 100 kW) sont centrés sur le bus à CA, avec des sources d'énergie renouvelable conçues pour être connectées aux grands réseaux interconnectés.

Dans les SEH, les éoliennes, les panneaux photovoltaïques et les générateurs diesel sont souvent utilisés. Ceux-ci peuvent aussi inclure d'autres sources d'énergie comme l'énergie Hydraulique, géothermique, marémotrice ou l'énergie contenue dans l'hydrogène ; ces systèmes comportent aussi des convertisseurs, des charges et une forme de gestion de l'énergie. Les batteries sont utilisées pour le stockage d'énergie.

2.4 La structure du système hybride :

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système. [21]

2.4.1 Le premier critère :

Est la présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz, et dans le cas d'une étude du réseau électrique complet – une centrale tout entière.

2.4.2 Un second critère :

Possible est la présence ou non d'un dispositif de stockage. La présence d'un stockage permet d'assurer une meilleure satisfaction des charges électriques pendant les périodes d'absence d'une ressource primaire à convertir en électricité. Les dispositifs de stockage peuvent être des batteries rechargeables, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène, des volants d'inertie, etc. ...

2.4.3. La dernière :

Classification possible est celle relative au type de sources d'énergie renouvelables utilisées. La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique (centrales hydroélectrique ou utilisation des vagues) ou une combinaison de ces sources. Un critère important pour la sélection de la source utilisée est le potentiel énergétique disponible qui dépend de l'endroit d'installation du système hybride. Un autre facteur déterminant est le consommateur électrique alimenté. Son importance détermine le besoin d'une source supplémentaire, d'un dispositif de stockage et/ou d'une source conventionnelle etc.

Chapitre II : Système hybride SEH

2.5. Les différents types des configurations :

2.5.1 Configuration PV/Diesel série :

Schéma synoptique du système d'énergie PV/Diesel série

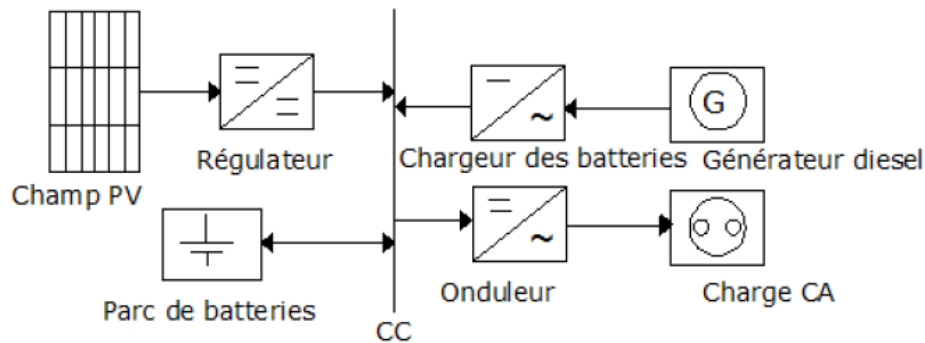


Figure (2.3) : Système hybrides PV/Diesel Série

2.5.1.1 Fonctionnement du système :

Dans ce type de configuration, le générateur diesel est connecté au bus à courant continu. La connexion peut se faire directement (dans le cas d'un générateur à courant continu) ou à travers un redresseur. Le générateur peut alimenter la charge à travers des convertisseurs électroniques ou charger la batterie. Lorsque l'énergie produite par le champ photovoltaïque et l'énergie stockée sont suffisantes pour répondre à la demande de la charge, le groupe diesel est débrayé. La puissance en courant continu fournie par le champ PV et la batterie est convertie en courant alternatif par un onduleur. Il faut noter que dans la plupart de ce type de configurations, le transit d'une grande partie de l'énergie par la batterie diminue le rendement du système.

Le régime de fonctionnement du générateur dépend de la demande en énergie, de l'état de charge de la batterie et de la production du champ PV. Quand l'énergie produite par le champ est en excès, cela sert à charger la batterie, et celle-ci se décharge quand l'énergie produite n'est pas suffisante.

Le contrôleur solaire prévient la surcharge et la décharge de la batterie. On peut également faire appel à un convertisseur CC/CC (MPPT) qui permettra de faire fonctionner le champ à son point maximum de puissance. On peut adjoindre un système automatique de mise en marche et arrêt du générateur diesel si nécessaire. [22]

Chapitre II : Système hybride SEH

2.5.1.2 Avantages et inconvénients :

a) Avantage :

- Un schéma électrique simplifié à cause d'une absence de commutation des sources d'énergie en courant alternatif ;
- La mise en marche du générateur diesel n'est pas liée avec une interruption de l'alimentation électrique ;
- Grâce à l'onduleur, le consommateur peut être alimenté avec une tension dont la forme, l'amplitude et la fréquence sont convenables.
- Un dimensionnement facile du générateur.

b) Inconvénients :

- L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec le générateur diesel. C'est pourquoi il doit être dimensionné de manière à ce qu'il puisse couvrir la
- Charge maximale possible ;
- La batterie doit avoir une grande capacité ;
- Un rendement relativement faible dans le cas d'un générateur diesel à courant alternatif, parce que la puissance fournie est convertie deux fois avant d'arriver au consommateur ;
- Une avarie éventuelle de l'onduleur provoque une coupure totale de l'alimentation électrique.

2.5.2. Configuration PV/Diesel commuté :

Schéma synoptique du système d'énergie PV/Diesel commuté

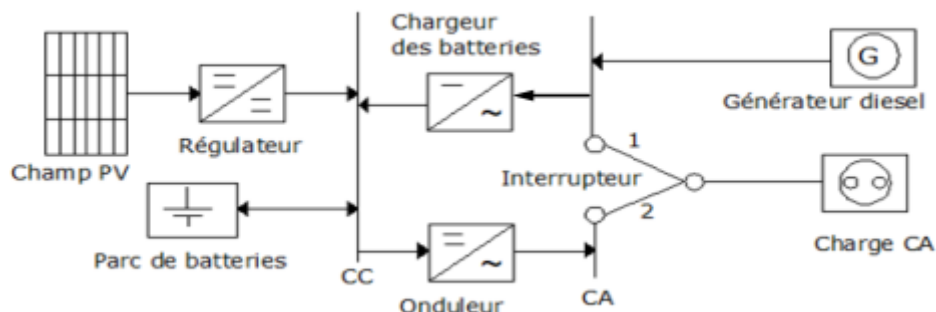


Figure (2.4) : Système hybride PV/Diesel Commuté

Chapitre II : Système hybride SEH

2.5.2.1 Fonctionnement du système :

Dans ce type de configuration, le consommateur peut être alimenté soit par la source conventionnelle, soit par l'installation photovoltaïque et la batterie via l'onduleur, mais le fonctionnement en parallèle est toujours impossible. La batterie peut être chargée par le champ

PV et le diesel par l'intermédiaire d'un redresseur.

Il n'y a pas des pertes de conversion significatives liées à la production du générateur diesel (en comparaison par rapport à la configuration série). En principe, la puissance produite par le générateur diesel est supérieure à la demande de la charge et l'excès est utilisé pour charger la batterie. Le diesel est arrêté lorsque la demande est faible et qu'elle 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.[22]

2.5.2.2. Avantages et inconvénients :

a) Avantage :

- Le générateur peut fournir l'énergie produite directement à la charge, ce qui augmente le rendement du système et diminue la consommation du carburant ;
- Une avarie de l'onduleur n'engendrera pas l'arrêt complet de l'alimentation électrique, parce que la charge peut être satisfaite par le générateur diesel ;
- L'onduleur peut fournir au consommateur la tension désirée en forme et en valeur.

b) Inconvénients :

- L'apparition d'une coupure instantanée lors de la commutation des sources ;
- Le générateur diesel et l'onduleur doivent être dimensionnés pour la consommation maximale du système.
- Une construction complexe.

Chapitre II : Système hybride SEH

2.5.3. Configuration PV/Diesel parallèle

Schéma synoptique du système PV/Diesel parallèle

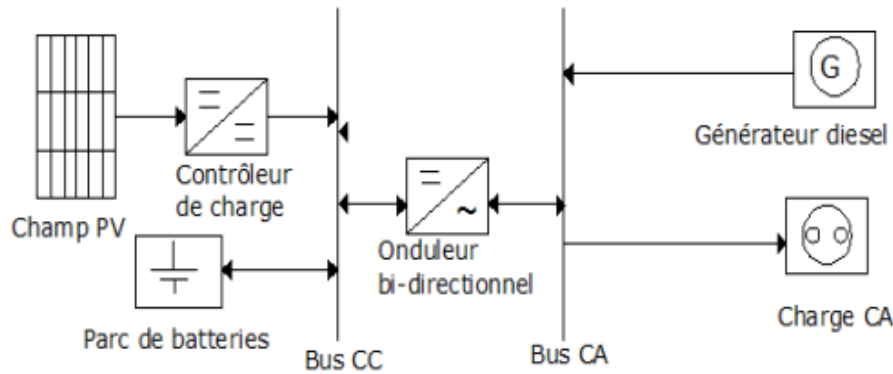


Figure (2.5) : Systèmes hybride PV/Diesel parallèle.

2.5.3.1. Fonctionnement du système :

Dans cette configuration, toutes les sources peuvent alimenter la charge séparément à faible et moyenne demande mais également suppléer les pointes en combinant les sources. Le générateur diesel est connecté au bus de courant alternatif. L'installation photovoltaïque et la batterie sont liées sur un autre bus de courant continu. Les deux bus sont connectés à l'aide d'un convertisseur électronique bidirectionnel. Il peut travailler soit comme redresseur, lorsque le générateur diesel couvre la consommation électrique et participe au chargement de la batterie, soit comme onduleur quand la charge est satisfaite par les panneaux photovoltaïques et/ou la batterie. La charge peut être alimentée par les deux bus simultanément. On diminue le nombre des éléments dans le système en utilisant un seul convertisseur. 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.[22]

L'association du générateur diesel et de l'onduleur permet l'alimentation d'une charge supérieure à la charge alimentée par chaque élément seul. La capacité du système est deux fois plus grande dans cette configuration. En outre, la possibilité de synchroniser l'onduleur avec le générateur diesel permet une meilleure flexibilité du système. Enfin, la puissance nominale du générateur diesel peut être diminuée, ce qui augmente la part de l'énergie directement utilisée et conduit donc à une augmentation du rendement du système.

Chapitre II : Système hybride SEH

2.5.3.2. Avantages et Inconvénients de la configuration :

a) Avantage :

- Les composants des systèmes n'ont pas besoin d'être dimensionnés pour la charge totale car le consommateur peut être alimenté par les deux sources en même temps ;
- Un meilleur rendement, parce que les sources fonctionnent avec une puissance plus proche de leur puissance nominale. De plus, il n'y a pas de conversion de l'énergie produite par le générateur ;
- Baisse du nombre des convertisseurs électroniques, ce diminue le câblage nécessaire et l'investissement initial pour la construction du système hybride ;
- Une avarie du convertisseur initial électronique ne provoque pas de coupure de l'alimentation de la charge.

b) Inconvénients :

- Le contrôle automatique est obligatoire pour le fonctionnement correct du système ;
- Le convertisseur électronique doit fournir une tension sinusoïdale, pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible ;
- Nécessité d'une personne qualifiée
- Le bus continu est plus difficile à contrôler

2.6. La configuration Flexy-Energy :

Le concept Flexy-Energy est une approche originale pour assurer la fiabilité, la qualité et la rentabilité de la fourniture d'électricité en milieu rurale et péri-urbain, tout en garantissant un coût stable, compatible avec les capacités des bénéficiaires. Le concept Flexy-Energy porte sur la configuration originale de centrale hybride solaire PV/groupe électrogène, sans stockage dans les batteries, et fonctionnant à la fois au diesel et/ou aux huiles végétales. Le concept Flexy-Energy se propose également de mettre en place une gestion intelligente de la production d'électricité à partir des diverses sources (PV, diesel.) et des charges des consommateurs.[23]

L'architecture générale des centrales Flexy-Energy se présente comme sur la figure ci-dessous :

Chapitre II : Système hybride SEH

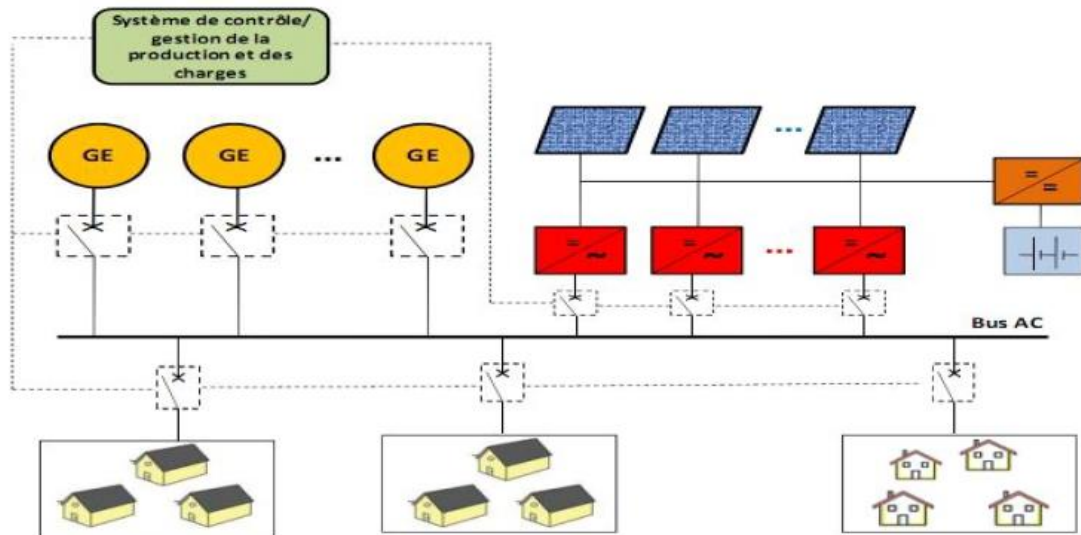


Figure (2.6) : Architecture générale des centrales Flexy-Energy

La configuration Flexy-Energy est une nouvelle architecture des systèmes hybrides PV/Diesel parallèle dans laquelle il y a une gestion optimisée de la production et des charges à travers une unité de contrôle-commande appelée le Flexy-Control.

2.7. Les principaux composants d'un système hybride :

L'énergie solaire photovoltaïque, l'énergie éolienne ainsi que l'énergie hydraulique sont des énergies renouvelables souvent utilisées dans les systèmes hybrides. Ces systèmes peuvent inclure d'autres composants comme les convertisseurs, les batteries pour le stockage de l'énergie, les charges principales et les charges de délestage. La majorité de ces éléments fonctionnent en parallèle pour avoir un système équilibré qui permet d'atteindre un but précis.

2.8. Le système de supervision :

La commande d'un système hybride nécessite l'application d'un système de supervision. Un système de supervision est une entité dotée d'une intelligence lui permettant de gérer d'une manière efficace les interactions entre les différents éléments d'un système hybride. Il représente le cerveau du système hybride, il décide de l'entité à activer (générateur photovoltaïque, éolien, charge ou décharge de batteries, générateur diesel) en fonction de la demande de la charge et en fonction de la disponibilité des énergies renouvelables. [24]

Chapitre II : Système hybride SEH

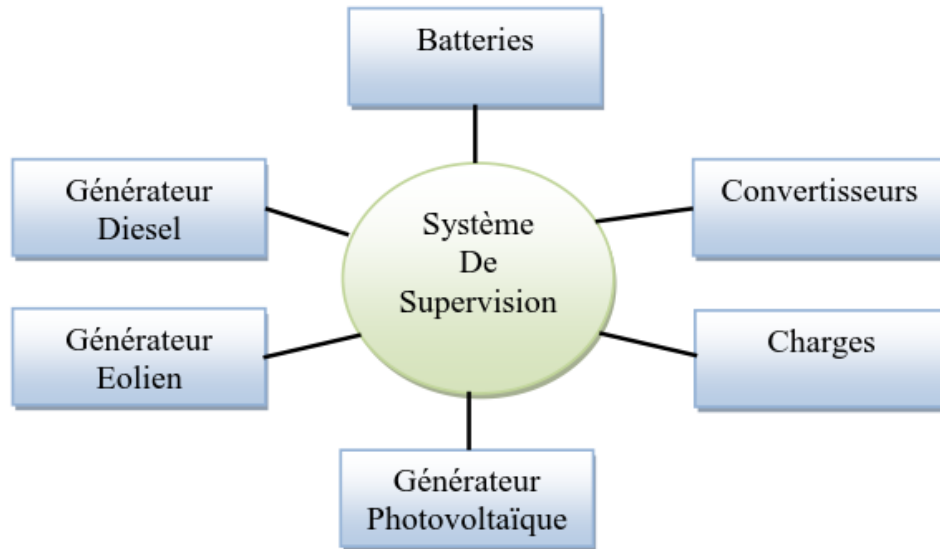


Figure (2.7) : Système de supervision.

Plusieurs stratégies de gestion et de supervision sont proposées dans la littérature pour traiter les différentes problématiques propres aux différents systèmes multi-sources. Dans, le système considéré est un système multi-sources composé de panneaux PV, un banc de batteries et d'une pile à combustible montés sur un bus continu à travers des convertisseurs adéquats. Le principe de fonctionnement de ce système consiste à charger les batteries lorsque la production des panneaux PV est supérieure à la consommation de la charge. À l'inverse, lorsque la consommation est plus élevée que la production, les batteries se déchargent pour compenser le manque d'énergie.

Dans, un autre algorithme de gestion et de supervision pour un système hybride éolienne/photovoltaïque a été présenté dans le cadre d'une application isolée. Les auteurs ont défini dans ce travail trois modes opératoires principaux qui permettent d'inclure tous les états et les scénarios auxquels le système hybride peut être amené à faire face. Le premier mode consiste à utiliser une seule source pour satisfaire la demande de la charge, en l'occurrence ici la source éolienne. Le deuxième mode consiste à utiliser la source photovoltaïque en complément du premier mode. Le dernier mode utilise les deux sources au maximum et sollicite la batterie si besoin. Par conséquent, les auteurs n'ont pas prévu de source de secours pour pallier une éventuelle panne des sources ou des conditions météorologiques très défavorables.

Chapitre II : Système hybride SEH

2.8.1. Les systèmes de stockage :

Il est possible d'assurer la fourniture de toute l'énergie nécessaire au site directement par les générateurs ; cependant, dans le but de minimiser le fonctionnement du générateur diesel et par suite les émissions des gaz, il est judicieux de rajouter un système de stockage d'énergie. Cela nous permet d'exploiter au maximum les ressources renouvelables disponibles en rechargeant les batteries par ces dernières (solaire et groupe diesel). Enfin dans le cas d'une brusque demande d'électricité, le stockage remplit la fonction de source (tampon), en attendant que le groupe démarre et prenne le relais de la fourniture d'énergie. Il existe plusieurs types de stockage de l'énergie parmi lesquels nous pouvons citer :[24]

- Les batteries
- Le pompage eau
- Le volant d'inertie
- L'hydrogène
- etc.

2.8.2. Les batteries de stockage :

Un dispositif de stockage est un élément essentiel dans un système multi-sources. Sans lui, la garantie de l'autonomie du site ne peut pas être assurée. Ce dispositif sert de réservoir d'énergie lorsque les sources produisent en excédent et la restitue lorsque les sources ne produisent pas assez. Mais au-delà de cet aspect de réservoir d'énergie, un dispositif de stockage est essentiel pour l'équilibre des puissances dans un réseau.

Il existe plusieurs technologies et types de stockage qui peuvent être utilisés dans un système hybride autonome, nous citons : les batteries électrochimiques, les super condensateurs, les piles à combustible.



Figure (2.8) : Les batteries de stockage.

Chapitre II : Système hybride SEH

2.8.3. Les convertisseurs :

Les convertisseurs servent en premier lieu à charger les batteries de stockages et faire la conversion électrique en deuxième lieu (CA/CC ou inversement). Dans la structure des systèmes hybrides, on trouve trois types de convertisseurs : les redresseurs, les hacheurs et les onduleurs.

1. Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA, ce sont des appareils relativement simples, pas chers et à bon rendement.
2. Les onduleurs sont des convertisseurs CC/CA. Ils sont souvent utilisés pour alimenter des charges à CA.
3. Les hacheurs sont des convertisseurs qui permettent de réaliser la conversion CC /CC pour adapter la tension entre deux sources.

2.8.4. Les sources conventionnelles :

Les énergies dites conventionnelles sont des formes d'énergie massivement employées pour répondre aux besoins de production et consommation humaines. Parmi ces énergies, les plus utilisées sont l'énergie nucléaire et l'énergie issue des combustibles fossiles (pétrole, charbon, gaz naturel).

Parmi les systèmes de production d'électricité, largement utilisés dans des systèmes hybride et qui est à base de ces énergies, on trouve le générateur Diesel.

Le générateur Diesel est un dispositif capable de produire de l'électricité en brûlant le gasoil. Ce dispositif utilise donc une source primaire supposée accessible partout et tout le temps.

L'utilisation de ce dispositif dans les systèmes hybrides a pour but de pallier à une éventuelle insuffisance de production ou une coupure d'alimentation électrique due à un quelconque problème technique. Effectivement, la présence d'un générateur Diesel dans certains cas de figure, notamment dans le cas des systèmes hybrides, s'avère très importante dans la mesure où une interruption de l'alimentation électrique peut entraîner des conséquences graves et/ou des pertes importantes.



Figure (2.9) : Générateur Diesel.

2.8.5. Charge électrique :

- La charge électrique est la quantité d'énergie que consomme l'ensemble des appareils présents dans la maison (ex : éclairage, électroménager, électronique, etc.). Il est conseillé choisir des appareils « éco énergie » et de changer sa façon de consommer l'électricité. Par exemple, éteindre les appareils que l'on n'utilise pas. Bien souvent les dysfonctionnements rencontrés sont dû à un choix inadéquat d'appareils électriques à consommation trop élevée.
- Les charges électriques rendent utile une puissance électrique. Il existe des charges à caractère résistif et des charges inductives. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eaux, etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistive et inductive. Ils sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Les charges à CC peuvent aussi avoir des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci sont des variations transitoires de tension et de courant pendant les changements de fonctionnement du système.

2.8.6. Onduleurs :

Les onduleurs convertissent le CC en CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. Ils sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge. L'onduleur non autonome (ou encore onduleur réseau) exige la présence d'une source à CA pour fonctionner. Il y a aussi des onduleurs qui peuvent assurer les deux régimes de fonctionnement : autonome ou en parallèle avec un autre générateur. Ceux-ci sont les plus flexibles, mais aussi plus chers.

2.8.7. Le générateur éolien :

L'éolienne occupe un rôle important parmi les différentes sources d'énergie renouvelable. Elle est l'une des plus prometteuses en termes de potentiel, d'écologie, de champs d'application, etc.

Chapitre II : Système hybride SEH

Différentes topologies de connexion d'éolienne aux systèmes hybrides isolés sont proposées dans la littérature. Le choix du convertisseur se fait selon l'architecture du système hybride et le bus sur lequel l'éolienne est connectée, mais aussi selon les objectifs que l'on souhaite réaliser. Néanmoins, deux configurations figurent parmi les plus utilisées dans les systèmes hybrides isolés. L'architecture de ces deux topologies est illustrée par la figure 2.10.

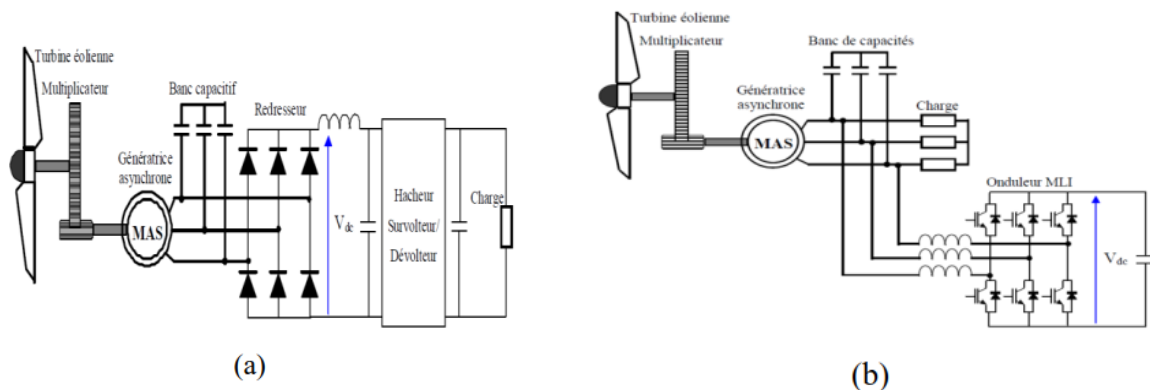


Figure (2.10) : Convertisseurs utilisés en étage d'adaptation : (a) Redresseur à diodes + hacheur, (b) Redresseur MLI.

Ces architectures permettent d'adapter la forme de l'onde produite par la génératrice éolienne au bus auquel elle est connectée. Ici en l'occurrence pour une connexion au bus CC deux solutions sont possibles : l'association d'un redresseur à diodes et un hacheur architecture (a)) permettant d'avoir une seule variable de commande à gérer, ou le redresseur MLI permettant d'utiliser un seul convertisseur.

2.8.8. Le générateur photovoltaïque :

L'énergie solaire est une énergie très abondante sur la surface de la terre. De ce fait, le photovoltaïque est considéré comme la plus importante source d'énergie renouvelable et la plus prometteuse avec un potentiel inépuisable. Un générateur photovoltaïque est constitué de plusieurs cellules assemblées en série et/ou en parallèle. Ces cellules convertissent la lumière (les photons) qu'elles captent du rayonnement solaire en électricité.

En effet, sous des conditions de tests standards (Eclairement = 1000W/m², température = 25°C), la puissance maximale délivrée par une cellule est d'environ 2.3W sous une tension de 0.5V. Cette puissance reste, en effet, faible et insuffisante pour la plupart des applications.

Chapitre II : Système hybride SEH

De ce fait, une association en série et/ou en parallèle de plusieurs cellules permet d'obtenir un générateur photovoltaïque avec une puissance adaptée aux besoins de l'utilisation.

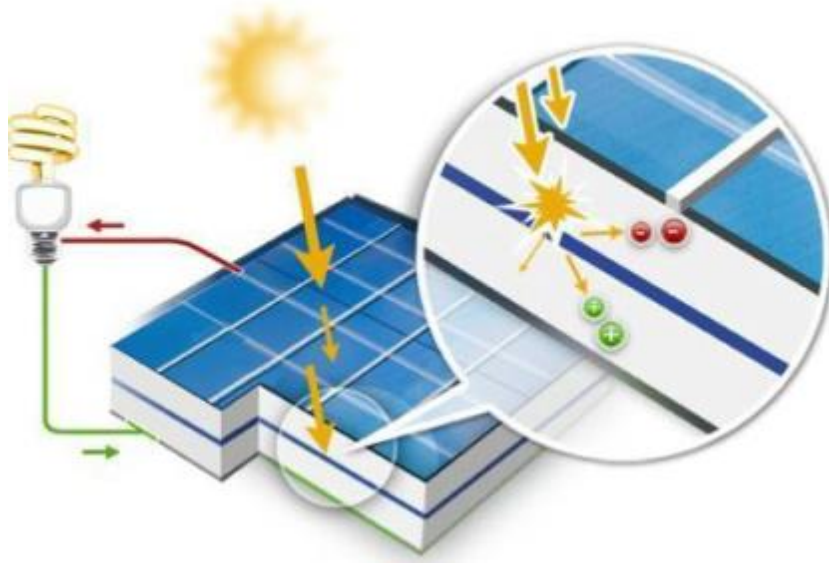


Figure (2.11) : Principe du fonctionnement d'un Générateur Photovoltaïque.

2.8.9. Parafoudre :

Le parafoudre ou « suppresseur de surtension » va protéger le système contre les surtensions d'origine atmosphérique comme la foudre, en dérivant le courant de surtension vers la mise à la terre. Il est habituellement placé après le panneau, dans la boîte de jonction, pour dissiper le surplus d'énergie et écrêter les hausses de tension.

Dans le cas hybride il sera aussi placé dans la boîte de jonction associée à l'éolienne(Fig 2.12).

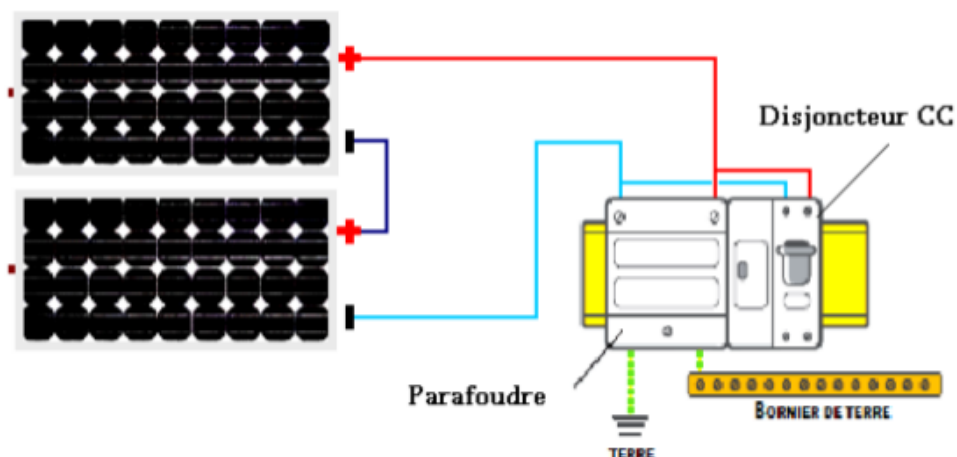


Figure (2.12) : Position du parafoudre dans le système d'énergie hybride.

2.8.9.1. Le régime du fonctionnement :

Chapitre II : Système hybride SEH

Les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes. Dans le premier groupe, on trouve les systèmes hybrides, travaillant en parallèle avec le réseau électrique, appelés aussi connectés réseau. Ces systèmes contribuent à satisfaire la charge du système électrique du pays. Les systèmes hybrides du deuxième groupe fonctionnent en régime isolé ou en mode autonome. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau électrique : refuges de montagne, îles, villages isolés, panneaux de signalisation routière etc.[24]

2.9. Critères d'optimisation et logiciel de dimensionnement :

2.9.1. Critères d'optimisation du système hybride :

Différents critères sont utilisés pour optimiser le système en fonction du site d'installation.

❖ **Les critères les plus fréquemment utilisés sont :**

2.9.2. La probabilité de perte de la charge

(lost of load probability) ou la probabilité de perte d'approvisionnement (loss of power supply probability) – ces deux critères sont univoques et rendent compte du rapport énergie non satisfaite et énergie totale consommée sur la période d'étude choisie. En général, le calcul de ce paramètre est réalisé en utilisant l'équation

$$LOLP = \frac{\sum_{i=1}^m (E_{load,i} - E_{prod,i})}{\sum_{i=1}^m E_{load,i}}$$

Où $E_{load,i}$ est l'énergie demandée par le consommateur pour la période i , $E_{prod,i}$ est l'énergie produite, et m est le nombre de périodes pour lesquelles la recherche est réalisée.

2.10. Le coût d'énergie produite

Diverses approches sont utilisées pour le calcul du coût : il dépend de l'énergie demandée par le consommateur, du coût d'investissement initial pour l'achat des composants du système, du coût de leur installation, du coût de maintenance et de remplacement (pour les éléments qui ont une vie d'exploitation plus courte que celle de l'élément qui définit la vie d'exploitation du système hybride) etc.

Chapitre II : Système hybride SEH

2.11. Logiciels pour l'étude des systèmes hybrides :[25]

Il existe plusieurs logiciels de dimensionnement parmi lesquels les plus connus sont :

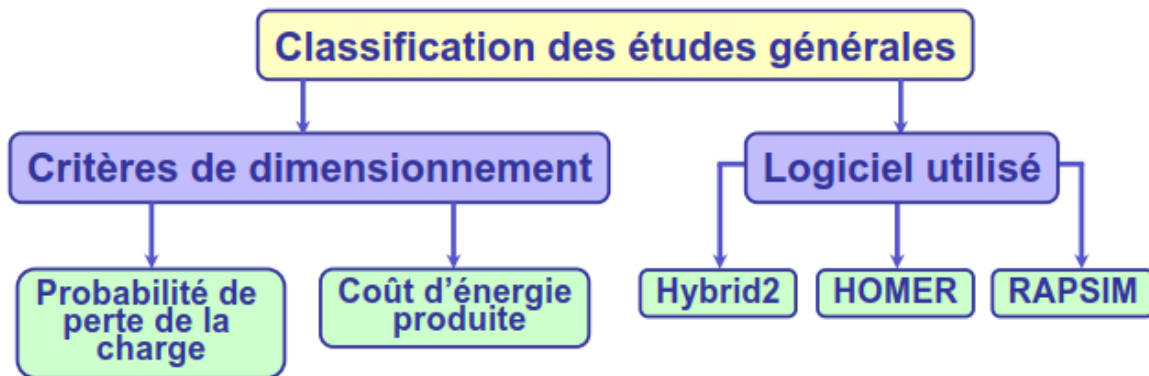
A)Hybrid2 : ce logiciel est destiné à l'étude de différents systèmes hybrides avec divers éléments. Il dispose d'outils pour effectuer une analyse économique. La présentation des résultats peut être réalisée de deux manières – des résultats synthétisés ou des résultats détaillés avec variation dans le temps ;

B) HOMER (HybridOptimization Model for Electric Renewables) : avec ce logiciel, il est possible de modéliser des systèmes hybrides qui travaillent en parallèle avec le réseau électrique ou en régime autonome. Il dispose de modèles de générateurs conventionnels et à sources d'énergie renouvelables. De plus, le logiciel contient des algorithmes d'optimisation à l'aide desquels il est possible de choisir le meilleur système hybride ;

C) RAPSIM (Remote Area Power Supply Simulator) : c'est un logiciel de simulation pour différents modes d'un approvisionnement en courant alternatif. Il peut être utilisé pour le dimensionnement d'installations photovoltaïques, de générateurs éoliens et diesel dans des systèmes hybrides isolés.

De plus, il faut signaler que l'utilisation de ces logiciels a des inconvénients puisqu'ils limitent les modifications de l'utilisateur et empêchent une analyse approfondie des systèmes hybrides à cause du code protégé.

La classification des études générales est systématisée sur la Figure 26



Figure(2.13) : Classification des études

Chapitre II : Système hybride SEH

2.11. Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des SEH :

Compte tenu de la nature aléatoire et intermittente des sources d'énergie renouvelable, la difficulté principale des SEH 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 diesel en parallèle, de façon continue (le générateur diesel fonctionne sans arrêt). Dans ce type de fonctionnement, les sources d'énergie renouvelable agissent comme une charge négative, en réduisant la charge moyenne des générateurs diesel.

Si l'apport en énergie renouvelable est suffisant pour alimenter la plupart de la charge, la quantité de carburant économisé peut alors être augmentée en faisant fonctionner les générateurs diesel par intermittence. En fonctionnement intermittent, les générateurs diesel 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 diesel peut par conséquent être très élevé. Le problème dans ce cas est l'usure prématurée des GD et de leurs démarreurs. Un autre problème devant être pris en compte quand le générateur diesel fonctionne par intermittence est 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 n'est pas éliminé, la production d'énergie renouvelable doit alors être limitée ou même arrêtée. En général, les systèmes sans stockage utilisent une charge de délestage 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 peut ne pas être justifié par les avantages du système hybride.

Un inconvénient majeur dans un SEH connecté en réseau triphasé isolé est le déséquilibre de tension entre les phases. Un récepteur électrique triphasé déséquilibré, ou des récepteurs monophasés déséquilibrés alimentés par un réseau isolés 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 de la continuité de la production et de la qualité de l'énergie, les facteurs pouvant affecter le fonctionnement d'un SEH sont résumés ci-après : [26]

Chapitre II : Système hybride SEH

- Les variations de la charge à long terme : les régions isolées avec des 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 en énergie renouvelable : ces ressources (le vent, le soleil) sont stochastiques par leur nature, ont des caractéristiques locales et sont très difficiles à prédire.
- Les perturbations du réseau : les défauts (courts circuits...) peuvent non seulement arrêter les systèmes, mais aussi au pire des cas détruire certains composants.

Conclusion

Dans cette partie, on a rappelé quelques notions de base sur l'énergie solaire, cellules photovoltaïques et les différentes technologies utilisées pour la conception de module photovoltaïque. De plus, les différents types de stockage d'énergie par batteries électrochimique ont été traités ainsi que l'intérêt d'un générateur diesel comme source d'appoint dans un système hybride photovoltaïque.

Notre travail porte sur un système hybride PV-Diesel avec stockage, dans l'objectif d'alimenter en énergie électrique une habitation isolée. Les besoins en énergie de l'habitation et la disponibilité de la ressource renouvelable doivent être pris en compte afin de dimensionner notre système, ce qui sera traité dans la partie suivante.

Chapitre III

*Modélisation et dimensionnement d'un Système
HybridPV/Diesel/Batterie*

Chapitre III : Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie

Introduction :

Le coût de production d'électricité solaire est évalué à environ dix fois plus important que celui de l'énergie traditionnelle. Outre le problème de stockage de l'électricité en général, l'énergie solaire est produite au gré de la variabilité du rayonnement solaire. Par conséquent, cette énergie ne peut subvenir seule aux besoins des pays. Il est donc pour l'instant nécessaire de coupler (hybrider) les installations solaires avec d'autres unités auxiliaires au gaz, au pétrole ou au biocarburant (en phase de recherche) pour assurer la continuité d'énergie pendant les périodes d'insuffisance de rayonnement. [27]

Dans ce chapitre on va définir chaque élément de notre installation donne le logiciel Homer, en se basant sur toutes les données du dimensionnement calcule ou paravent. En de l'installation, on définit le potentiel renouvelable disponible (solaire) et le groupe électrogène en utilisant à l'aval de l'installation, on a défini aussi la charge à satisfaire (électricité). D'autres données sont notamment nécessaires Les coordonnées du site (longitude, latitude, le temps, L'élévation, Les durées de vie des composants, ainsi que leurs coûts).

3.1. Généralité

Les systèmes d'énergie hybrides (SEH) associent au moins deux technologies complémentaires : une ou plusieurs sources d'énergies classiques, généralement des générateurs diesels, et au moins une source d'énergie renouvelable. Les sources d'énergies renouvelables, comme le photovoltaïque, ne délivrent pas une puissance constante.

Leur association avec des sources classiques permet d'obtenir une production électrique continue. Les SEH sont généralement autonomes par rapport aux grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans les régions isolées.

Le but d'un SEH est d'assurer l'énergie demandée par la charge et, si possible, de produire le maximum d'énergie à partir des sources d'énergies renouvelables, tout en maintenant la qualité de l'énergie fournie.

Du point de vue technologique, la fiabilité n'est pas seulement une question de respect des normes pour l'alimentation en électricité, mais aussi de maintenance, compte tenu des conditions particulières des régions isolées. Les régions isolées sont souvent caractérisées par une infrastructure (communication, services, etc.) pauvre, un accès difficile et un manque de personnel qualifié.

Chapitre III : Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie

Les performances d'un SEH, le rendement et la durée de vie, sont influencés en partie par sa conception, c'est-à-dire l'architecture, le dimensionnement des composants, le type décomposant etc., et d'autre part, par le choix de la stratégie de fonctionnement. Quelques paramètres permettant d'évaluer ces performances sont : la consommation spécifique du groupe électrogène, le nombre et la durée des pannes, le nombre d'arrêt pour l'entretien, le coût du kWh etc.[28]

3.2. Etat de l'art

En plus d'un ou plusieurs générateurs diesels et d'au moins une source d'énergie renouvelable, un SEH peut aussi incorporer un système de distribution à courant alternatif (CA), un système de distribution à courant continu (CC), un système de stockage, des convertisseurs, des charges et une option de gestion des charges ou un système de supervision. Toutes ces composantes peuvent être connectées en différentes architectures.

Celles-ci sont résumées sur la figure I-1 ci-dessous. Dans la plupart des cas, les systèmes hybrides classiques contiennent deux bus : un bus à CC pour les batteries, les sources et les charges à CC et un bus à CA pour les générateurs à CA et le système de distribution. Les sources d'énergies renouvelables peuvent être connectées au bus à CA ou à CC en fonction de la configuration du système. L'interconnexion entre les deux bus peut être réalisée par l'électronique de puissance : onduleurs/redresseurs ou convertisseurs bidirectionnels.

A part la charge principale, un système hybride peut contenir aussi des charges auxiliaires (charges différées, charge optionnelle, charges de délestage) pour réaliser l'équilibre énergétique. Si la charge principale est alimentée sans interruption, les charges auxiliaires sont alimentées en énergie par ordre de priorité, seulement quand il existe un surplus d'énergie. Ainsi, dans un SEH avec les batteries de stockage et charges auxiliaires, s'il existe un excès d'énergie (venant des sources d'énergie renouvelables et des diesels), celui-ci passera d'abord dans les batteries et ensuite, il sera utilisé pour alimenter les autres charges auxiliaires en fonction de leur priorité. Dans un tel système, les batteries de stockage jouent un double rôle : charge et source.[28]

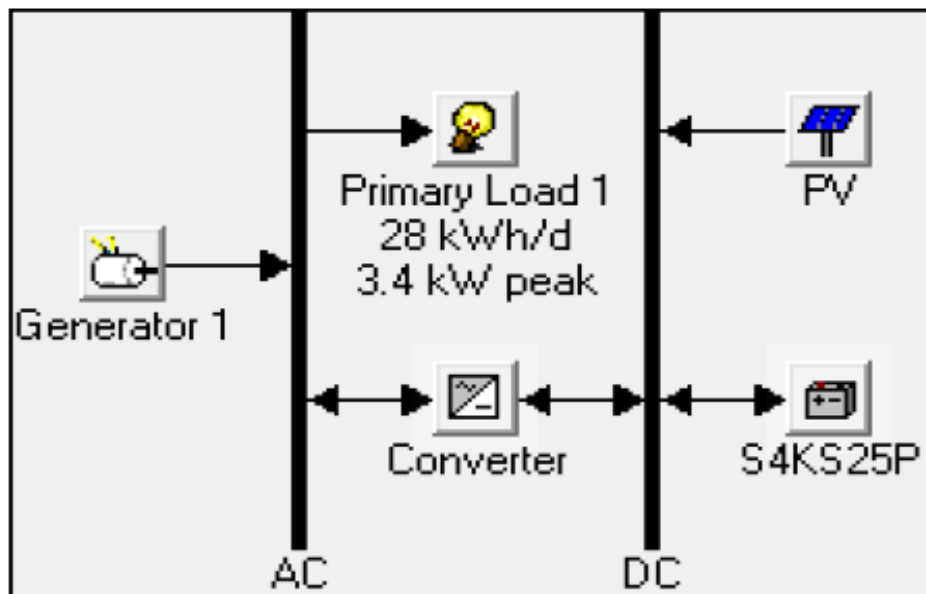


Figure (3.1) : Schéma du système PV/batterie avec un générateur diesel.

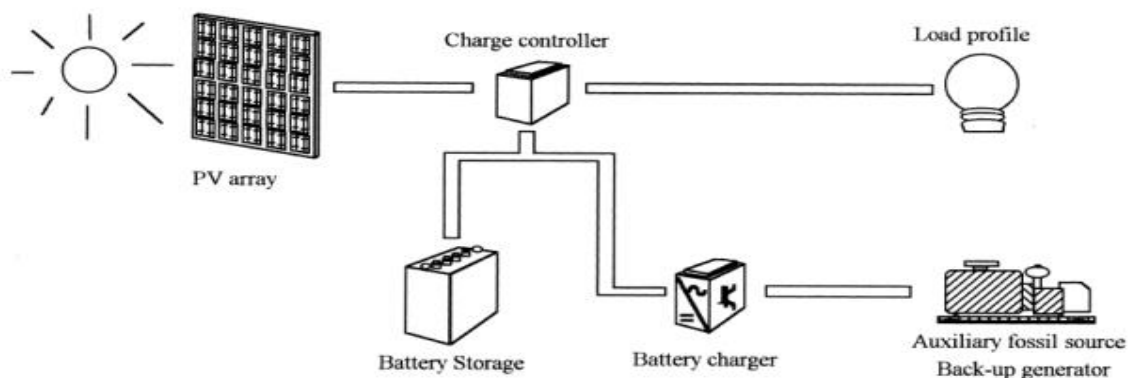
3.4. Classification des systèmes hybrides PV/Diesel

On appelle « centrale PV hybride », la combinaison d'un générateur solaire avec un ou plusieurs générateurs utilisant d'autres sources d'énergie primaire pour la production d'électricité décentralisée en vue de palier aux carences de l'énergie solaire et de réduire son coût d'installation. [29]

Il existe plusieurs types de systèmes PV hybrides pour la production d'électricité décentralisée. Dans cette étude, nous ne nous intéresserons seulement qu'au système hybride PV-diesel.

Il existe deux types de configurations possibles : système hybride PV/diesel avec ou sans batterie de stockage.

3.4.1. PV- diesel avec batterie :



Figure(3.2) : Schéma de principe du système PV-DIESEL avec stockage

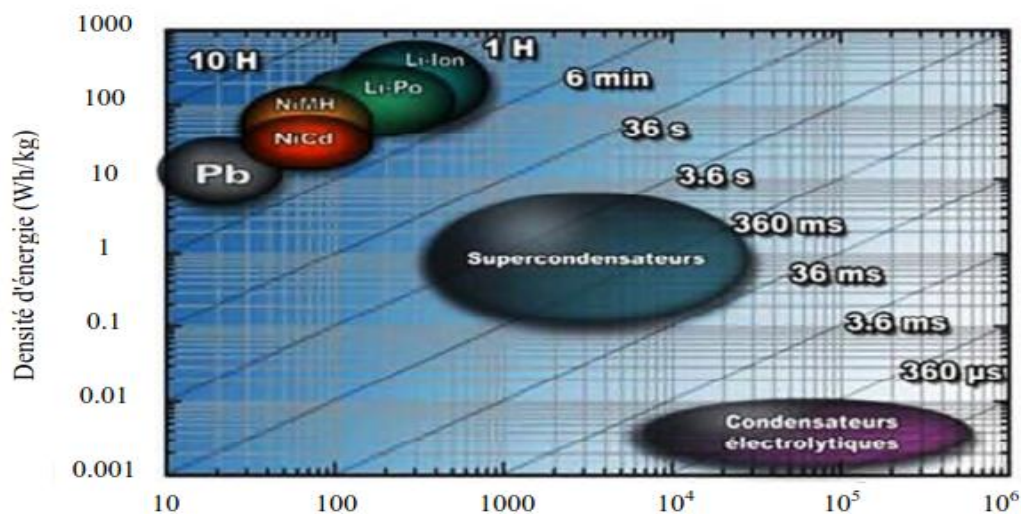
Chapitre III : Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie

Le groupe électrogène fonctionnant généralement en appoint, le générateur PV fournit la plupart de l'énergie demandée. Dans l'éventualité de mauvaises conditions météorologiques ou d'une demande excessive, le groupe électrogène est programmé pour se mettre en marche dès que la batterie d'accumulateurs est déchargée jusqu'à un certain pourcentage (50%) de sa charge nominale. De cette façon, les accumulateurs sont chargés avant qu'ils n'atteignent leur seuil d'épuisement qui risquerait de les endommager.

L'utilisation de la batterie et du groupe électrogène comme appoint réduit le coût d'installation et augmente la fiabilité du système. A titre d'exemple, à TarryallResort, Catherine Lake, près de Keewatin (Ontario), la mise en place du système hybride PV-DIESEL avec stockage qui substituait deux groupes (un en plein temps de 7,5kW et un appoint), leur a permis de faire des économies de combustible et d'entretien au cours de la première année d'utilisation d'environ 7 000 \$. Le coût initial du système hybride élevé à 36 000 \$ a été récupéré en six ans d'exploitation [29]. Catherine Lake, près de Keewatin (Ontario), la mise en place du système hybride PV-DIESEL avec stockage qui substituait deux groupes (un en plein temps de 7,5kW et un appoint), leur a permis de faire des économies de combustible et d'entretien au cours de la première année d'utilisation d'environ 7 000 \$. Le coût initial du système hybride élevé à 36 000 \$ a été récupéré en six ans d'exploitation [29].

3.4.1.1. Différents types de batteries

Les différentes technologies rechargeables de stockage d'énergie existantes sont présentées sur la figure 3.3. Les technologies sont distinguées en termes de densités d'énergie et de puissance.[30]



Figure(3.3) : Diagramme de Ragone des systèmes électrochimiques rechargeables

Chapitre III : Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie

a) Batteries au Nickel

Le Nickel est un métal plus léger que le Plomb et propose un potentiel électrochimique intéressant pour une application pour les batteries. On distingue quatre différents couples électrochimiques utilisés par des batteries au nickel : Nickel-Fer, Nickel-Cadmium et Nickel-Métal Hydrure [31].

b) Batteries Nickel-Cadmium (Ni-Cd)

Les accumulateurs Nickel-Cadmium ont été découverts en Suède par Waldemar Jungner, qui déposa un premier brevet en 1899, qu'il étendit aux États-Unis en 1901. Elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium. La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volt, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. [32]

c) Batterie Nickel-Métal Hydrure (Ni-MH)

Les batteries Ni-MH ont remplacé les batteries Nickel-Cadmium dans de nombreuses applications. Elles offrent de meilleures performances sans les problèmes de toxicité du Cadmium [18]. Les batteries Ni-MH sont constituées d'une électrode positive en nickel et d'une électrode négative en Hydrogène absorbé dans du métal. [33]

L'électrolyte est composé d'une solution d'Hydroxyde de Potassium. Ce type batterie est très sensible à l'intrusion d'air. L'Hydrogène réagirait immédiatement. Elles sont pourvues d'une soupape de sécurité pour pouvoir dégazer lors de surcharges. La tension à vide d'une cellule de Nickel-Métal Hydrure varie peu en fonction de son état de charge. Elle reste très proche de 1,2 Volt. [32]

d) Batteries Lithium-ion

Ces accumulateurs utilisent un électrolyte liquide organique et la réaction réversible mise en jeu fait intervenir l'insertion d'ions Lithium dans du bisulfure de Titane. Leur tension présente une grande amplitude de variation 2,5 Volt à 3,7 Volt. Grande énergie massique (150Wh/kg), faible masse volumique, bonne stabilité en température, étanchéité totale. D'un coût 10 fois plus élevé que les batteries au Plomb, elles ne sont encore utilisées que pour les applications de petites puissances.

Chapitre III : Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie

Autre inconvénient du Li-ion, l'échauffement. Pour contourner l'obstacle, il faut signaler un nouveau concept d'accumulateur au Li, le Li-Métal-Polymère, mis au point par Hydro-Québec, dans lequel, l'électrolyte qui est solide, se présente sous la forme de plusieurs feuilles minces de polymères. Cette technique, bien que moins performante, sera utilisée dans la voiture électrique « Blue car » de Bolloré. [33]

e) Batteries Plomb-acide

La batterie Plomb-acide est la plus utilisée dans les installations PV autonomes. Elle a été inventée en 1859 par Gaston Planté et fut utilisée dans le premier véhicule électrique (La Jamais contente) en France en 1881. Ces batteries sont peu chères et leur technologie est maîtrisée. Elles comptent un grand nombre d'applications et permettent de fournir des courants importants. Cependant, la densité énergétique du couple Plomb/Acide est assez faible. Ces performances sont très dépendantes de la température. En dessous de 10 °C, la puissance et la capacité sont alors fortement réduites. [31]

3.4.2. PV- diesel sans batterie :

Ce système d'alimentation des zones hors réseau est encore quasi inexistant. Dans ce type de système sans batterie, un groupe qui fonctionne en appoint aura un fonctionnement aléatoire dû à l'intermittence de la ressource solaire et du profil de charge qui peut être variable. Cela pourrait réduire sa durée de vie.

Aussi, en faisant fonctionner le générateur PV en appoint, bien qu'on réduise la taille du groupe électrogène et donc par conséquent la consommation en carburant et l'émission de CO₂, on augmente son temps de fonctionnement, ce qui réduit sa durée de vie. [34]

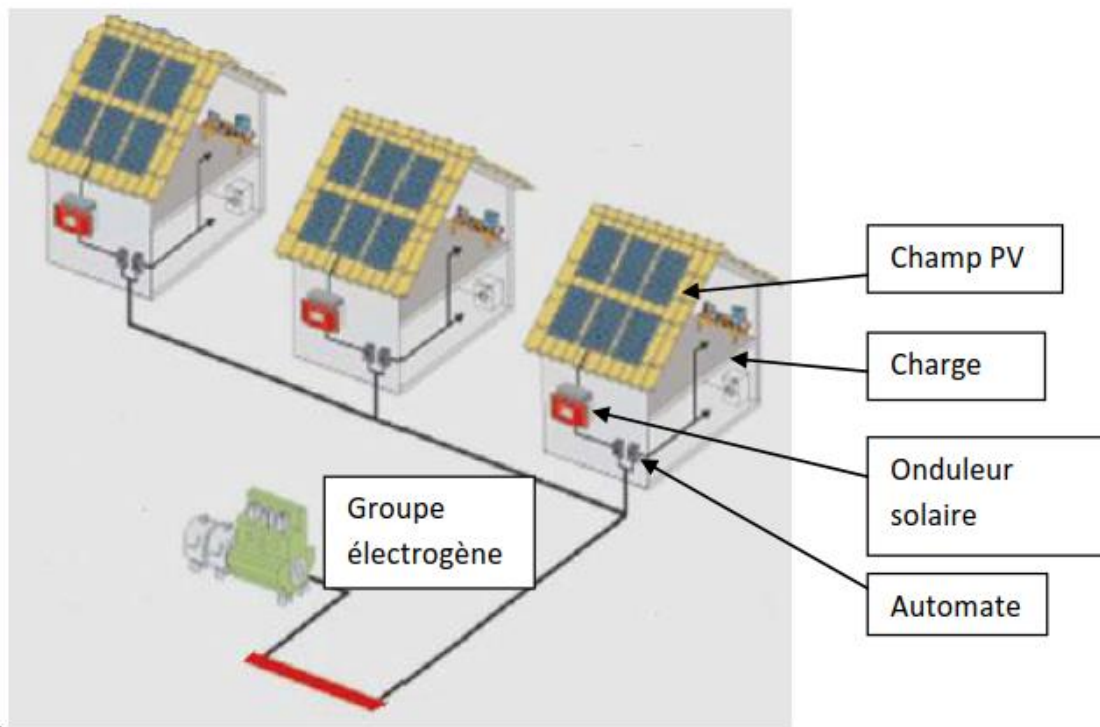


Figure (3.4) : Exemple de système PV/diesel sans batterie.

3.5. Générateur diesel

3.5.1. Généralités

Dans le cas d'un système d'énergie renouvelable, la production d'énergie électrique est réalisée en fonction des ressources (soleil, vent,...) et non de la demande. Dans le cas des installations autonomes, il est donc nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un système hybride PV/diesel, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone (voir figure 31ci-dessous). La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse sur le moteur diesel [12]. Le gouverneur fonctionne en ajustant le flux de carburant au diesel, pour garder les vitesses du moteur du générateur constantes. La fréquence du réseau est directement liée à la vitesse de rotation du générateur et elle est donc maintenue au niveau désiré.

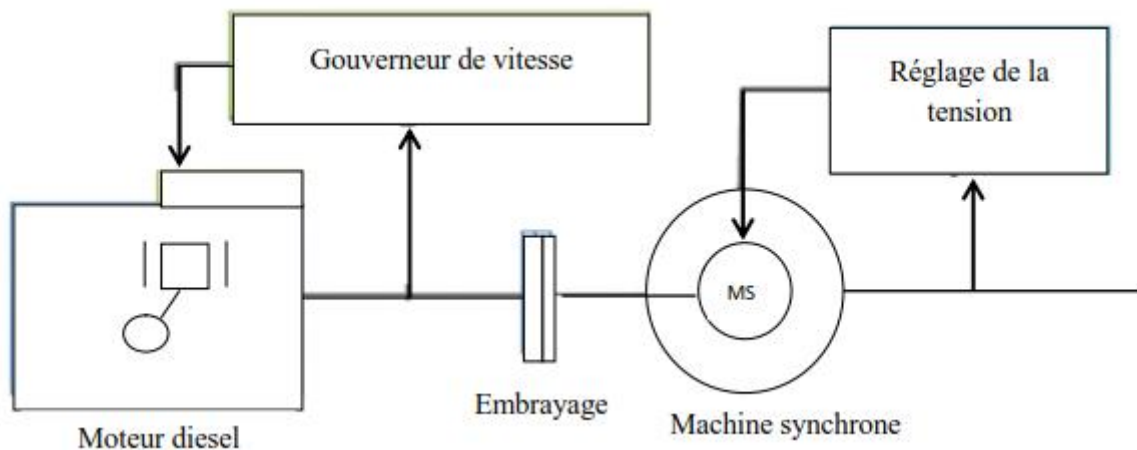


Figure (3.5) : Configuration du générateur diesel.

Le réseau de courant alternatif avec diesel, tout comme ceux interconnectés, fournissent pour leurs charges, deux formes d'énergie : active et réactive. Dans les processus industriels et domestiques utilisant l'énergie électrique, seule l'énergie active est transformée au sein de l'outil de production, en énergie mécanique, thermique, lumineux, etc., l'autre, l'énergie réactive, sert notamment à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques (moteur, autotransformateurs, etc.). En fait, elle n'est pas consommée, mais les courants associés à la puissance réactive augmentent les pertes dans le système. Notons que la puissance réactive dans un système de CA avec générateur diesel est produite par le générateur synchrone. Cela est fait conjointement avec le réglage de la tension, en ajustant le courant d'excitation du générateur synchrone. Par conséquent, dans un système d'énergie à CA avec plusieurs générateurs diesels, on doit avoir au moins un générateur diesel connecté au réseau isolé, pour fournir la puissance réactive. [35]

Le groupe électrogène est utilisé pour fournir de l'énergie dans les trois cas suivants :

- Fournir de l'énergie de base, dans la centrale électrique diesel ;
- Fournir de l'énergie de remplacement, lorsque l'énergie de base est coûteuse
- Fournir de l'énergie de secours, lorsque l'énergie de base vient à manquer.

3.5.2. Avantages et inconvénients du groupe électrogène

a) Avantages

- Le groupe électrogène est une source fiable et indépendante des conditions extérieures
- Simple à l'installation et l'utilisation.

b) Inconvénients

- Les principaux inconvénients relatifs à l'utilisation du générateur diesel sont les suivants :
- Un volume sonore constant quel que soit le niveau de puissance demandé au moteur diesel ;
- Un niveau d'émissions polluantes élevé même lorsque la demande d'énergie est faible ;
- Une mauvaise stabilité de fréquence et de tension, dans les phases transitoires ;
- La présence d'un second moteur diesel en plus du moteur principal sur les applications embarquées ;
- Le surdimensionnement du groupe en cas de charge non linéaires ou non symétriques (redresseur, charge monophasée, etc.) ;
- Nécessite un entretien permanent ;
- Nécessite un apport permanent du combustible.

3.6. Systèmes hybrides de production d'électricité

Les systèmes hybrides de production d'électricité se présentent aujourd'hui comme une alternative viable aux systèmes conventionnels utilisant uniquement des générateurs diesel. Cependant la plupart des études dans la littérature spécialisée ont été consacrées à des systèmes hybrides PV/Diesel avec stockage par les batteries d'accumulateurs.

Un système hybride de production d'énergie dans sa vision la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles interconnectées entre elles pour fournir l'alimentation électrique. Il existe plusieurs combinaisons de systèmes hybrides, à savoir : éolien-diesel, photovoltaïque-diesel, éolien-photovoltaïque-diesel, etc. Ces mêmes sources d'énergie peuvent être combinées avec d'autres sources de stockage d'énergie, tel que des batteries électrochimiques, le stockage utilisant l'hydrogène, des volants d'inertie, etc.

La combinaison de l'énergie renouvelable avec des éléments de stockage et des groupes électrogènes, permet d'optimiser les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vue technique qu'économique. [36]

3.7. Configurations des systèmes hybrides PV/Diesel avec stockage d'énergie

Le concept d'électricité décentralisée, a encouragé le développement de la moyenne reproduction d'origine renouvelable.

Chapitre III : Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie

La tendance actuelle montre que l'intégration de ce type de ressources dans les systèmes électriques isolés se fait en association avec l'utilisation d'une source conventionnelle, tels les générateurs diesel. De cette façon,

Le générateur photovoltaïque travaille soit en parallèle, soit en alternance avec le générateur diesel. il existe, en conséquence, plusieurs configurations de systèmes hybrides PV/Diesel :[37]

- Les systèmes hybrides PV/Diesel série.
- Les systèmes hybrides PV/Diesel parallèle.

3.7.1 Configuration série

Dans cette configuration, figure (N°32), 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.

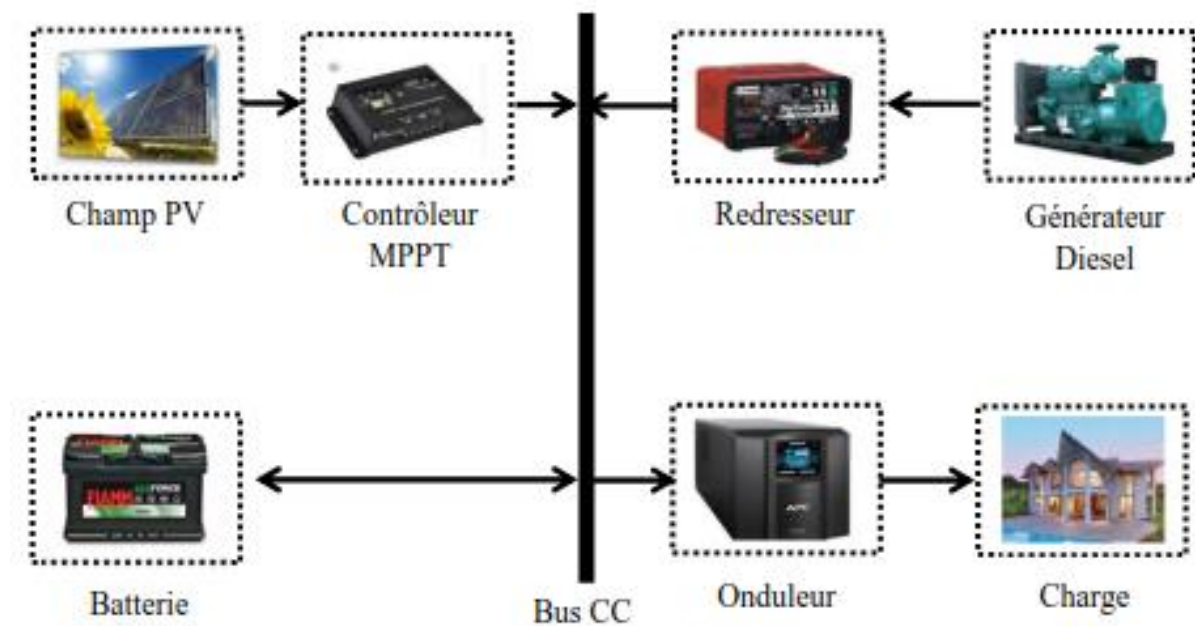


Figure (3.6) : Configuration PV/Diesel série

A) Avantages de cette configuration

- La puissance du générateur diesel peut être optimale lorsqu'il approvisionne la charge et lorsque de plus il charge la batterie ;
- Le système électrique est simplifié par l'absence de changement de la source d'électricité en courant alternatif ;

Chapitre III : Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie

- La mise en marche du générateur diesel ne provoque pas d'interruption de l'alimentation de la charge.

B) Inconvénients de cette configuration

- L'onduleur ne peut pas travailler en parallèle avec le générateur diesel, c'est pourquoi il doit être dimensionné pour satisfaire la puissance de pointe de la charge ;
- La durée de vie de la batterie est diminuée à cause de l'augmentation du nombre des cycles charge – décharge ;
- Le rendement total du système est faible à cause des pertes de conversion dues au fait que le générateur diesel ne peut pas fournir son énergie directement à la charge ;
- La détérioration de l'onduleur provoque l'arrêt complet de l'alimentation.
-

3.7.2. Configuration parallèle

La configuration parallèle est représentée sur la figure (33).

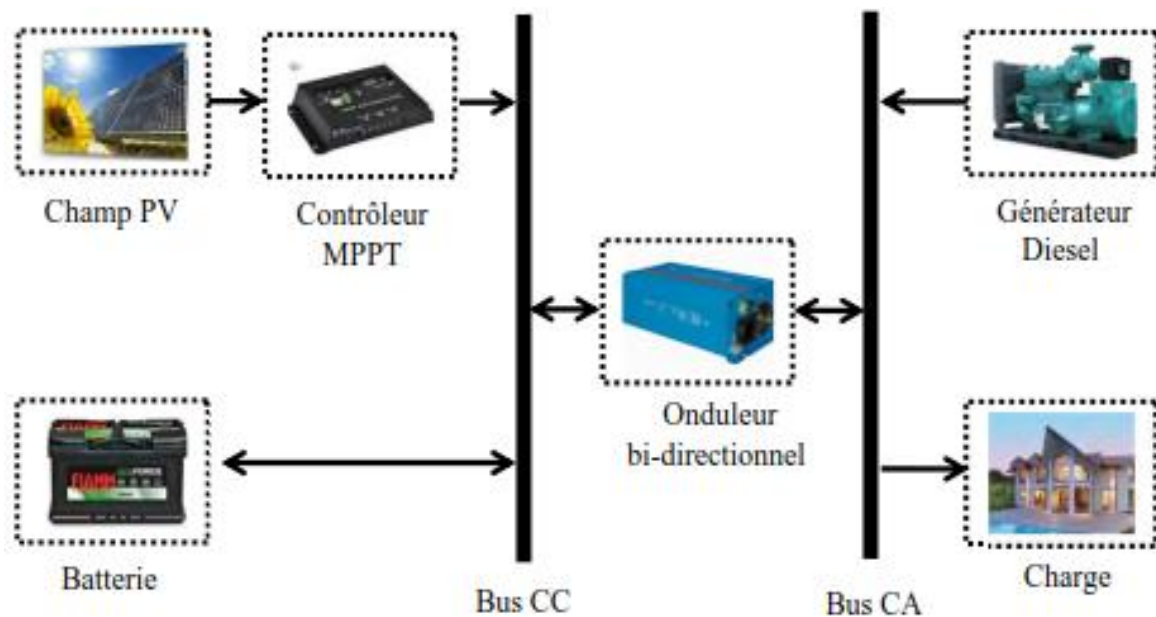


Figure (3.7) : Configuration PV/Diesel parallèle

A) Avantages de ce système

- Le rendement du générateur diesel peut être augmenté ;
- Les puissances nominales des différents éléments peuvent être diminuées par rapport aux puissances nominales dans les autres configurations en alimentant toujours la même charge ;

Chapitre III : Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie

➤ L'association du générateur diesel et de l'onduleur permet l'alimentation d'une charge Supérieure à la charge alimentée par chaque élément seul.

B) Inconvénients de cette configuration

- Un contrôle automatique est indispensable pour un bon fonctionnement du système ;
- Les creux de tension et les fortes variations de fréquence entraînent souvent la déconnexion de l'onduleur du système ;
- La gestion du système n'est pas aisée pour une personne non qualifiée.

3.8. Dimensionnement des SEH

La conception des SEH exige la sélection et le dimensionnement de la combinaison la plus appropriée des différents éléments constitutifs du système, ainsi que l'implémentation d'une stratégie de fonctionnement efficace. Les logiciels de dimensionnement sont des outils indispensables pour l'analyse et la comparaison des différentes combinaisons possibles des sources utilisées dans les SEH. Les principaux facteurs du dimensionnement sont :

- Les conditions environnementales du site (éclairage énergétique, température, humidité, vitesse du vent) ;
- Le profil de charge ;
- Les ressources financières ;
- La disponibilité de la technologie et le support technique.

Il existe plusieurs logiciels de simulation des SEH : **HOMER, SOMES, RAPSIM, SOLSIM...** Tous ces logiciels ont pour but d'optimiser les systèmes hybrides, mais les stratégies d'optimisations sont différentes.[38]

3.9.1. Présentation du logiciel HOMER :

C'est un outil, basé sur le modèle des séries chronologiques, développé par le « National Renewable EnergyLaboratory », capable d'optimiser un système hybride contenant différents composants : éolienne, PV, micro-hydrocentrale, diesel, réseau, pile à combustible et batteries. Il exécute des simulations pour toutes les configurations possibles du système dans le but de vérifier si elles sont réalisables. Il estime ensuite le coût d'installation et de fonctionnement du système et propose une liste des configurations, classées par rapport au coût de leurs cycles de vie. En ce qui concerne les composants à prendre en considération, ils doivent être préalablement prévus afin de réaliser l'optimisation. Le nombre de tailles

Chapitre III : Modélisation et Dimensionnement d'un Système Hybride PV/Diesel/Batterie

multiplié par le nombre de composants donne le nombre de configurations de systèmes simulés par le programme.

Chapitre III

*Optimisation et simulation d'un système
d'énergie hybride PV/diésel.*

Introduction

La sélection des ressources énergétiques est très importante pour la conception d'un système énergétique. Dans notre étude, l'énergie solaire suffit à la production d'électricité. Le diesel est utilisé comme carburant pour la production d'électricité à partir de combustibles fossiles.

4.1 Potentiel solaire en Algérie :

L'Algérie pourrait un jour être un exportateur d'énergie solaire vers l'Europe. L'énergie solaire pourrait fournir une quantité d'électricité suffisante pour alimenter près de trois fois la population actuelle de l'Algérie. La lumière du l'Algérie dépasse les 2.000 heures par an et atteint les 3.900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de 5 kWh sur une grande partie du pays, soit environ 1,700 kWh / m² par Ans dans le nord et 2,263 kWh / m² par Ans dans le sud du pays.

4.2 DESCRIPTION DU SYSTEME DE NAAMA :

Nous avons choisi un village isolé, non connecté aux réseaux de distribution d'énergie classiques et équipé de tous les dispositifs nécessaires. Le site que nous avons choisi appartient à la zone sud-ouest de l'Algérie (NAAMA) située à 891 m de latitude et dont les coordonnées géographiques sont : latitude : 33 ° 15' 44" N, longitude : et 0 ° 18 '52".

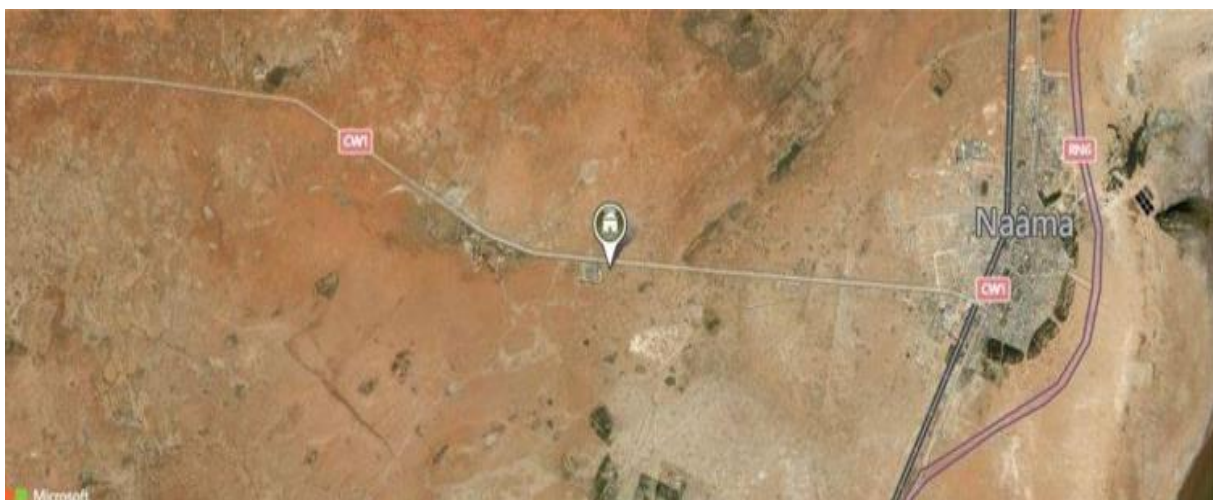


Figure (4.1): village d'étude

4.3 Ressources en énergie solaire à NAAMA :

Les cellules ou panneaux solaires convertissent directement la lumière solaire en électricité. Les données moyennes mensuelles sur le rayonnement mondial proviennent de la NASA (Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace). L'indice de clarté, qui est une mesure de la clarté de l'atmosphère, a une valeur moyenne de 0,843 pour NAAMA. Le tableau 1 fournit les données relatives à précipitation et au rayonnement quotidien pour NAAMA.

Tableau (4.1). Irradiation solaire à NAAMA

Mois	Indice de clarté	Rayonnement quotidien KW/m2/j
Janvier	0,515	2,79
Février	0,594	3,88
Mars	0,590	4,98
Avril	0,636	6,36
Mai	0,643	7,20
Juin	0,671	7,64
Juillet	0,685	7,72
Août	0,666	6,73
Septembre	0,610	5,52
Octobre	0,553	3,96
Novembre	0,517	2,89
Décembre	0,491	2,46
Moyenne annuelle	0,508	5,18

4.4 Prix du carburant en Algérie (L / \$) :

Les générateurs diesel sont initialement plus coûteux que les générateurs à Essence de la même capacité, mais ils sont généralement plus durables et moins coûteux à exploiter.

Leur inclusion dans un système hybride assure non seulement la continuité de la demande, mais peut être également utilisée pour éviter de surdimensionner les composants d'énergie renouvelables. Le tableau 2. Note les différents prix du carburant (L / \$) exprimés en diesel en Algérie 2021.

Tableau (4.2). Prix du pétrole L / \$ 09-Septembre -2021

Psys	Prix diesel \$/L
Algérie	0,214
États-Unis	0.871
France	1,707
Turquie	0.875
Allemagne	1.817

4.5 Système Hybride :

Le système hybride est un système intégré qui utilise des différentes sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire, des groupes électrogènes diesels (GD). La configuration du système hybride est illustrée à la Figure (4.1) Cette configuration est utilisée pour concevoir un système solaire hybride PV/Diesel Batterie autonome avec un convertisseur sur la base de la charge maximale. Le générateur photovoltaïque travaille en parallèle ou en alternance avec le générateur diesel. Deux configurations sont alors considérées pour les systèmes solaires hybrides PV/Diesel :

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

La configuration optimale du système est déterminée à l'aide des données de ressources annuelles. Dans cette ressource,

Chapitre III : Analyse et simulation d'un système hybride PV/diesel

La période de temps avec le rayonnement solaire avec un générateur de secours est incluse dans la configuration du système afin de s'adapter à ces situations réelles. Ce générateur de secours alimente la charge en cas d'urgence lorsque l'énergie renouvelable et l'énergie stockée dans la batterie sont insuffisantes pour faire face à la demande de charge.

4.6 Les données :

4.6.1 Charge électrique :

La charge est basée sur une zone rurale comptant 104 familles. La charge journalière de ce village est de 326 KWh par jour, la charge journalière d'un ménage est de 3.027 KWh par jour et, par conséquent, la charge de système construite par HOMER simule l'alimentation électrique pour une somme de maisons pouvant atteindre 104 familles. Le processus de simulation du système hybride choisi a été analysé pour déterminer si l'utilisation du système d'alimentation serait possible ou non. Il est important de noter que ces maisons présentées dans l'exemple d'étude sont isolées et non connectées au réseau. L'objectif supplémentaire était de voir les effets de l'utilisation du système hybride pour leur fournir de l'énergie électrique. Le tableau 3 présente le profil de charge d'une maison.

Table (4.3) La charge consommée par un maison.

	Power (W)	Time (H /d)	Consumption (Wh/d)
Chambre adulte	11	4	44
La chambre des enfants	22	5	110
Salon	22	6	132
Couloir	22	2	44
Salle de bain	22	2	44
Toilette	11	1	11
Cuisine	11	7	77
Réfrigérateur	120	12	1440
Télévision	75	7	525
Climatiseur	100	4	400
Divers	100	2	200
Total (Wh/j)			3027

4.6.2 Panneau photovoltaïque :

Les panneaux photovoltaïques utilisés ici coûtent 1500 \$ / kW. La plupart des panneaux photovoltaïques ont une durée de vie de 20 ans, bien qu'ils durent probablement plus longtemps. Pour le stockage de l'énergie, des batteries Hoppecke 100Pzs1000 d'une capacité nominale de 1000 heures ont été utilisées dans l'analyse.

4.6.3 Générateurs diesel :

Le générateur diesel utilisé dans cette l'étude en tant que serveur de charge de base. Charge de base. Dans ce travail, le générateur diesel utilisé est Lapel. Le capital initial est de 1200 \$, le coût de remplacement de 1050 \$ et le coût d'exploitation et d'entretien de 0,30 \$ / h. La durée de vie de la génératrice est d'environ 11 000 heures et le taux de charge minimal est de 30%. La taille du groupe électrogène diesel est considérée comme comprise entre 0 kW et 40 kW par intervalles de 5 kW.

4.6.4 Convertisseur

Pour générer suffisamment de puissance, des convertisseurs sont nécessaires. L'efficacité de conversion de l'inverseur et du redresseur est supposée être de 90% et la durée de vie du convertisseur de 15 ans. Le dimensionnement du convertisseur est considéré comme compris entre 0 kW et 70 kW à un intervalle de 5 kW, tandis que le rapport de conversion relatif du courant alternatif et du courant continu est de 100%.

4.7 Analyse du système et simulations :

La simulation est réalisée sur combinaisons économiquement et techniquement faisable. Le choix du système optimal sera fait sur la base du principal c'est-à-dire en minimisant le coût du système sur son cycle de vie et le coût actuel du système. En utilisant Deux configurations figure .3 :

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

Le processus de simulation a été modifié de différentes tailles de panneaux photovoltaïques, de convertisseurs de puissance et de batteries. Après plusieurs simulations on sélectionne le système le plus faible est économique.

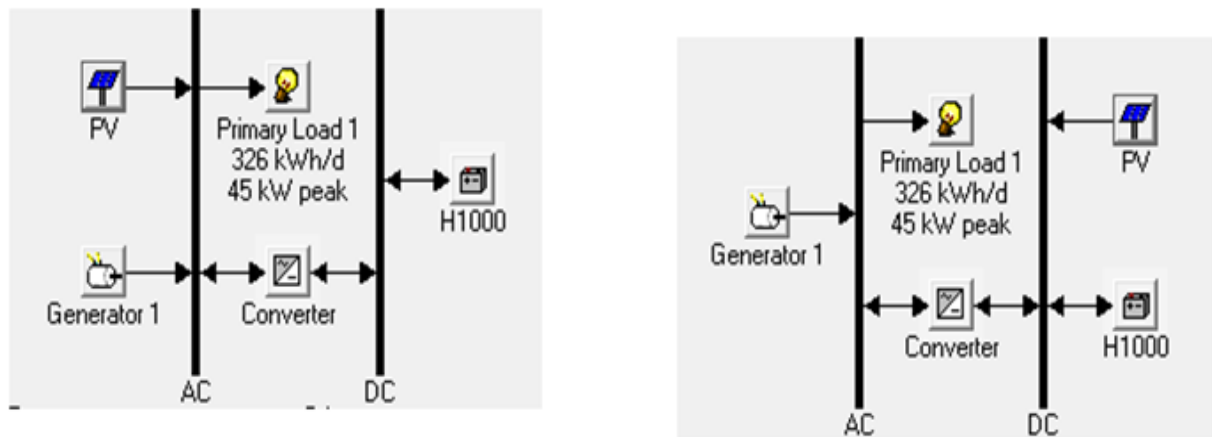


Figure (4.2) : Configuration du système hybride PV / générateur.

4.7.1 Système optimale (PV+ diesel en série) :

Tableau (4.4) : Optimum solution PV+ diesel série à 20%

Configuration	PV (KW)	GPL (KW)	Batterie H1000	Converti (KW)	Initial Capital \$	O&M (\$/Ans)	Total NPC \$	COE (\$/KWh)
Système 1	100	35	96	15	293.400	41.257	820.802	0.540
Système 2		20	192	20	216.800	47.985	830.207	0.546
Système 3		40			48.000	106.676	1.411.679	0.928
Système 4	30	40			93.000	107.363	1.465.457	0.964

4.7.2 Système optimale (PV + diesel en parallèle) :

Tableau (4.5) : Optimum solution PV + diesel parallèle à 20%

Configuration	PV (KW)	GPL (KW)	Batterie H1000	Converti (KW)	Initial Capital \$	O&M (\$/yr)	Total NPC \$	COE (\$/KWh)
Système 1	95	35	96	20	290.900	59.925	1.051.886	0.692
Système 2		35	96	15	143.400	74.798	1.099.566	0.723
Système 3		40			48.000	139.288	1.828.572	1.202
Système 4	30	40		15	108.000	140.162	1.899.738	1.249
Système 5	100		192	40	150.377	2.804.013	186.222.4	122

Chapitre III : Analyse et simulation d'un système hybride PV/diesel

- Configuration -1- : Nous avons trouvé le coût énergétique le plus bas (0,540 \$/kWh) avec le moins de composants non fonctionnels (820 802 \$) observé avec un système hybride diesel-solaire.
- Configuration-2- : coût énergétique le plus bas (0,692 \$/kWh) avec la valeur inutilisable la plus faible (1 051 886 \$) observée avec un système de générateur hybride diesel-solaire

Tableau (4.6) : Solution optimale système hybride d'énergie renouvelable

	PV KW	Label (KW)	batteries	Conv KW	Initial Capital\$	Total NPC \$	COE (\$kw/h)	Diesel (L)
Configuration1	100	35	96	15	293,400	820,802	0,540	22,352
Configuration2	95	35	96	20	290,900	1051,886	0,692	23,534

4.8 Evaluation technique du système :

L'analyse des données obtenues après la simulation des deux architectures montrent que le système à couplage AC/DC a des avantages par rapport au système à couplage AC/AC. Le système photovoltaïque à un groupe électrogène pour la production d'électricité permet de :

Réduire la consommation en combustible ;

Diminuer l'émission des gaz à effet de serre ;

Réduire le temps de fonctionnement du groupe électrogène.

La combustion de chaque litre de diesel produit 2,63 kg de CO₂.

Système hybride PV-Diesel série. La puissance à la sortie des panneaux solaires est directement convertie en courant alternatif et disponible immédiatement sur le bus AC. La disponibilité immédiate de la puissance des panneaux solaires sur le bus AC. Par contre avec un système hybride PV-Diesel parallèle, la puissance de sortie des panneaux solaires subit deux pertes de conversion avant de parvenir au bus AC. Une première perte dans le régulateur de charge et une seconde dans l'onduleur bidirectionnel.

Tableau (4.7) : Evaluation technique du système AC/DC.

Paramètres	Système hybride PV-Diesel couplage AC/DC		Système hybride PV-Diesel couplage AC/AC.	
Puissance PV	33.970		35.758	
Puissance du GD [kW]	101.932		96.297	
Energie totale produite [kWh/an]	135.902		132.055	
Consommation du groupe [L/an]	23.534		22.352	
Nombres d'heures de fonctionnement du groupe Diesel [h/an]	3.223		3.078	
Emission de CO ₂ [kg/an]	59.144		52.173	

4.9. Evaluation économique

Le but de l'optimisation est d'obtenir un système au moindre coût tout en assurant une alimentation sans interruption de la charge. Les tableaux 3.8 et 3.9 présentent le coût d'investissement, le coût sur le cycle de vie des systèmes et le coût actualisé du kilowattheure des différents systèmes considérés :

Tableau (4.8) : Evaluation économique du système AC/DC.

Paramètres	Investissement initial	Coût annuel actualisé de maintenance	Coût actuel net du système	Coût actualisé du kilowattheure
Système hybride PV-Diesel couplage AC/DC	851776	231550	1051887	0.692
Système hybride PV-Diesel couplage AC/AC	652399	209098	820803	0.540

4.10 Quantité des émissions polluantes, en tonne, évitée chaque année :

Le tableau (4.9).Résume les émissions totales de polluants dans les deux configurations examinées. À partir de ce tableau (4.9), il est possible de réduire considérablement les émissions de polluants en intégrant un générateur fonctionnant au gaz butane. Selon les résultats, les émissions de polluants peuvent être réduites d'environ 60% par rapport à l'utilisation d'un générateur diesel dans le système hybride, en particulier les émissions de CO₂ et de CO responsables des polluants atmosphériques et de l'environnement.

Tableau (4.9) : Quantité des émissions polluantes évitée chaque année.

Émission de polluants atmosphériques (kg/ans)	Configuration 1.	Configuration 2.
Carbon dioxide	59.144	56.173
Carbon monoxide	153	145
Unburned hydrocarbons	16.9	16.1
Particulate matter	11.5	11
Sulfur dioxide	124	118
Nitrogen oxides	1.365	1.296

Chapitre III : Analyse et simulation d'un système hybride PV/diesel

Tableau (4.10) : Evaluation financière du système à couplage DC.

Pourcentage	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Investissement initiale (FCFA/an)	216800	143400	290900	2834400	238400	427800	430300	385300	385300	3853300	377800
Cout annuel actualisé de maintenance (FCFA/an)	74798	74798	59529	54945	55341	36728	33580	34558	32498	30473	29886
Cout actuel net du système (FCFA)	1999566	1099566	701866	605783	750144	817303	899571	947061	980731	1174847	1449842
Cout actualisé du kilowattheure (FCFA/kWh)	0,723	0,623	0,592	0,548	0,422	0,510	0,565	0,594	0,627	0,5639	0,680

Tableau (4.11) : Evaluation financière du système à couplage AC.

Pourcentage	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Investissement initiale (FCFA/an)	216800	216800	293400	278400	296400	266400	266400	266400	266400	221400	221400
Cout annuel actualisé de maintenance (FCFA/an)	74798	47985	41257	37021	29432	28751	27444	26440	25707	26608	25913
Cout actuel net du système (FCFA)	1999566	930207	620802	551656	652636	743933	817227	894393	935016	1174847	1449842
Cout actualisé du kilowattheure (FCFA/kWh)	0,723	0,603	0,545	0,517	0,403	0,501	0,542	0,583	0,619	0,5639	0,680

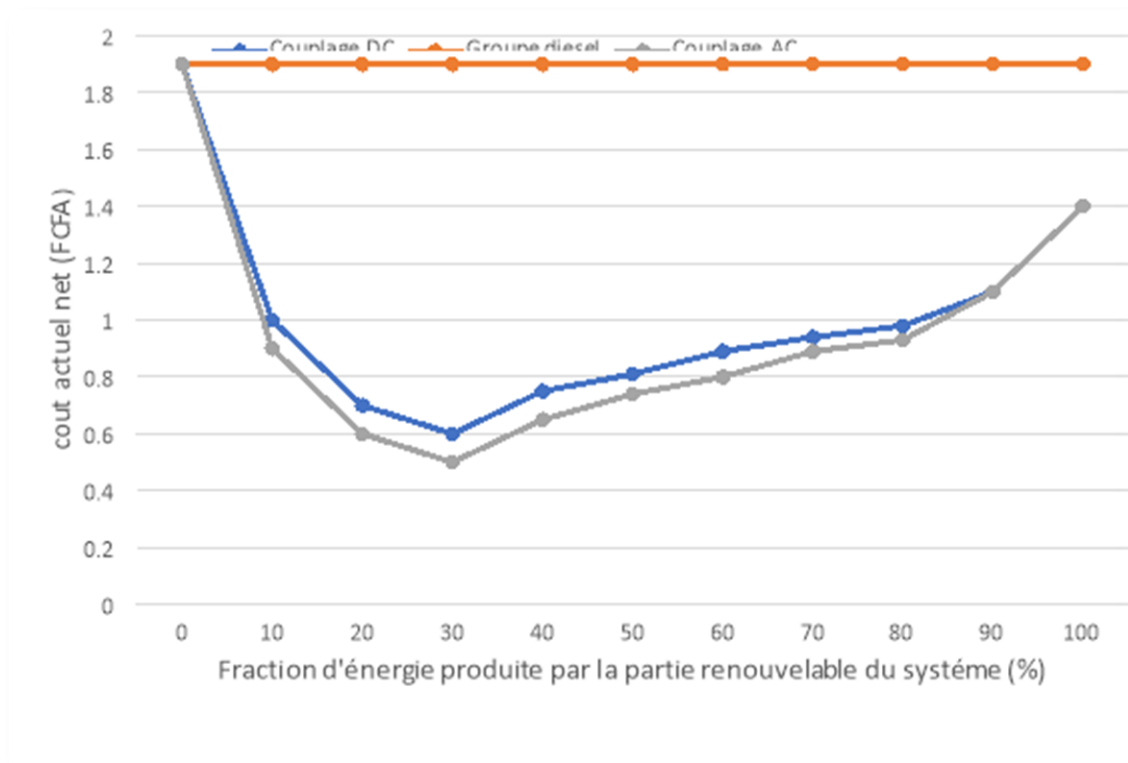


Figure (4.3) : Cout actuel net de différent système hybride

Tableau (4.12) : Quantité de combustible, en litre, économisée chaque année.

Pourcentage	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Système couplage AC	74693	74693	56352	51044	39613	38640	36686	35234	34826	36686	35598
Système couplage DC	83144	83144	59534	54488	56074	30706	22419	23517	22336	18208	17648

Tableau (4.13) : Quantité de CO₂, en tonne ; évitée chaque année.

Pourcentage	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
Système couplage AC	69623	69623	55173	51373	42238	42056	40159	39773	38748	40159	39184
Système couplage DC	72785	72587	54144	49003	50474	26420	18158	20166	18951	18395	17762

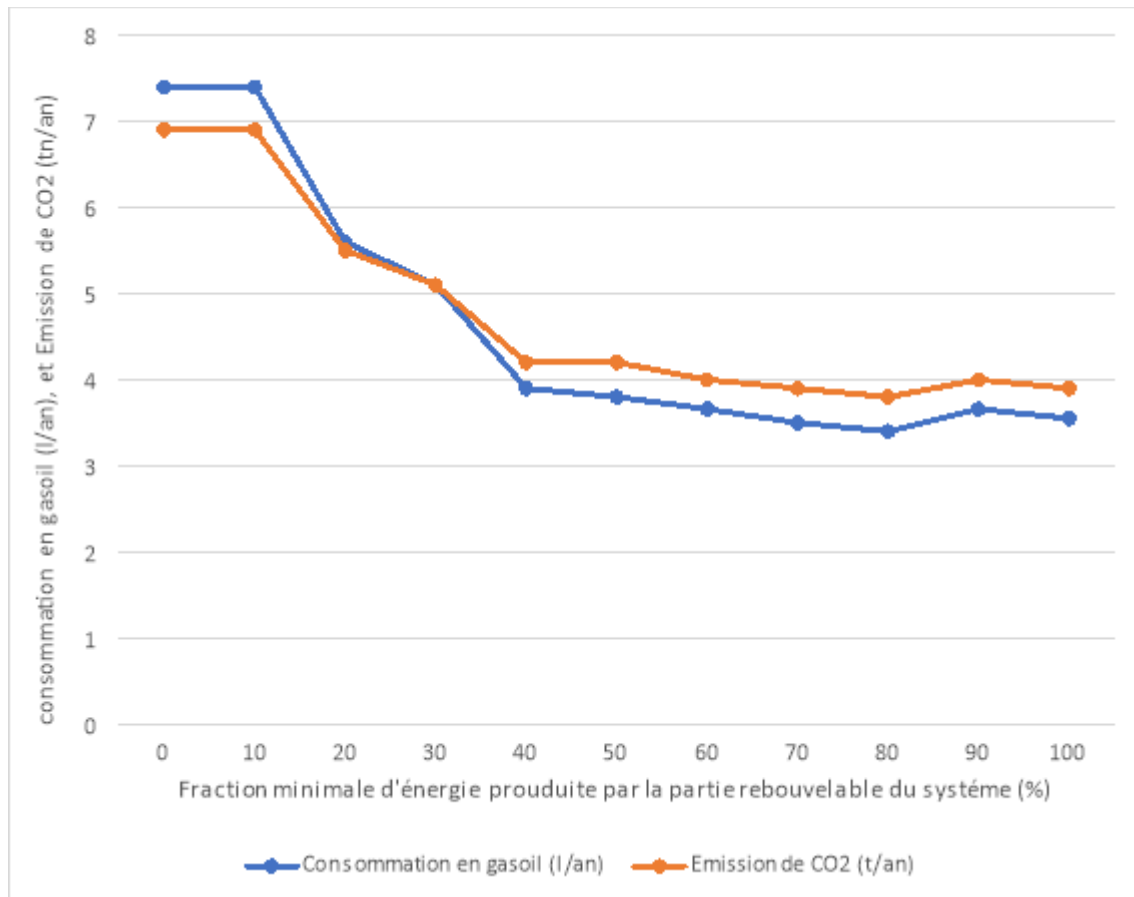


Figure (4.4) : Evolution de la courbe de consommation et émission d'un système à couplage AC.

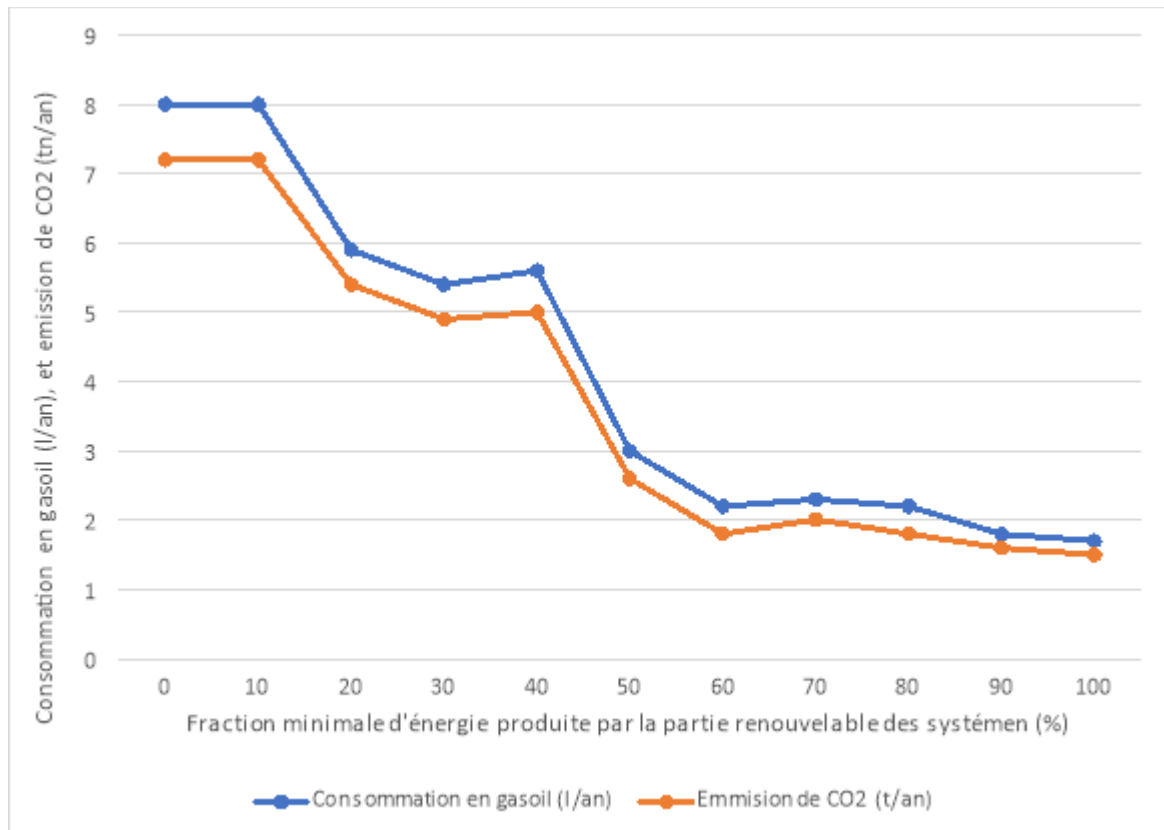


Figure (4.5) : Evolution de la courbe de consommation et émission d'un système à couplage DC.

Références Bibliographiques

- [01] : S. Mohamed Ait cheikh, « Etude, investigation et conception d’algorithmes de commande au système photovoltaïque », Thèse de doctorat, école nationale polytechnique Alger 2007.
- [02] : LeonFreris, David Infield, « Les énergies renouvelables pour la production d’électricité », Paris Dunod, 2009.
- [03] LAPONCHE Bernard : « l’avenir est ouvert », mars 2003
- [04] SCHENKEL Y. Temmerman M., MARCHAL D., SCHAAR C : « une analyse comparative de l’impact sur l’emploi d’une installation de chauffage au bois. Biotechnol. Argon ». Soc. Environ, 2005
- [05] Serge Baillargeon : « Energie hydraulique : Les avantages & inconvénients », Thèse de doctorat septembre 2015.
- [06] VERNIER jacques : « Que sais-je ? Les énergies renouvelables » ; édition PUF, Paris 2012
- [07] BOUHDJAR Amour ; « bulletin des énergies renouvelables », N : 22-2012
- [08] Commissariat à l’énergie atomique et à l’énergie alternative, « Question de physique autour de l’énergie solaire », paris 2012
- [09] Thèse de mémoire MASTER Spécialité Electrotechnique industriel ; Université de TIZI- OUAZOU ; 06 Juillet 2017.
- [10]: HELALI Kamilia, « Etude d’une cellule photovoltaïque : étude comparative », mémoire de master en électrotechnique, UMMTO, 2012.
- [11] : Ministère de l’énergie et des mines, « programme des énergies renouvelables et d’efficacité énergétique », Février 2011.
- [12] : Commissariat à l’énergie atomique et à l’énergie alternative, « Question de physique autour de l’énergie solaire », paris 2012.
- [13] : F. Poitiers, « Etude et commande de génératrices asynchrones pour l’utilisation de l’énergie éolienne : Machine asynchrone à cage autonome, Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau », Thèse de Doctorat de L’Université de Nantes, France 2003.
- [14] : A. Mirecki, « Etude comparative de chaînes de conversion d’énergie dédiées à une éolienne de petite puissance », Thèse de Doctorat de l’Institut National Polytechnique de Toulouse, France 2005.
- [15] : TOTAL SOLAR EXPERT ; « construire un avenir énergétique durable » ; juin 2003.

Références Bibliographiques

[16] : AUZIAS Dominique ; LABOURDETTE Jean-Paul : France Bio, « Edition Petit Fulé », Paris 2013.

[17] : Guide de l'acheteur, revue : « les systèmes photovoltaïques ».

[18] : GARENI INDUSTRIEL ET NET4UN, « Système de production d'énergie hybrides solaire PV/Diesel. Constructeur de groupe électrogène diesel, Intégrateur de systèmes solaires PV »

[19] : Yao Azoumah, « Cours M2 Energie, Chapitre 5 le mix énergétique et système intelligent » 2012-2013

[20] : Spécialité Electrotechnique, Thèse de DOCTORAT Université Mouloud Mammeri De TIZI-OUZOU.

[21] : Buzduga Stefania Roxana, « stage de recherche 2-30 Novembre 2012 GREAH, Université du Havre, Etude d'un système hybride photovoltaïque éolien – diesel – structure et dimensionnement, rapport de stage »

[22] : Ludmil Stoynanov Thèse préparé en cotutelle et soutenu pour l'obtention du grade de DOCTEUR EN ENERGETIQUE. Thème « Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables. Université de Corse pascalle PAOLI », Université technique de Sofia

[23] : Ai, B., Yang, H., Shen, H., Liao, X., (2003). « Computer-aided design of PV/Wind hybrid system. Renewable Energy », vol. 28, pp. 1491–1512, 2003.

[24] : Baghdad chi, J., Varmette, D.S., (2002). « Wind-Based Hybrid Power Systems » In Rural Western New York. WINDPOWER Conference Proceedings, Portland, Oregon June 2-5, 2002.

[25] : Ecole de technologie supérieur Université du QUEBEC, Mémoire présent à l'école de technologie supérieur, Comme exigence partielle à l'obtention de la maîtrise en Génie Electrique : Amélioration de la qualité d'énergie fournie au réseau autonome hybride Eolien-Diesel. Montréal, Le 3 Mai 2010.

[26] : Mémoire pour l'obtention du Master Spécialisé Génie Electrique Energétique et Energie Renouvelable (GEER) Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie (LESEE) Soutenu publiquement le 19 Septembre 2011. Bébé Magloire NAN NEUWOUH, Daniel YAMEGUEU. Thème : Analyse, Modélisation e simulation des systèmes hybrides PV/Diesel

Références Bibliographiques

- [27] : M. Hankins, « Installations solaires photovoltaïques autonomes », conception et Bb & Installation d'unités non raccordées au réseau, Edition dunod, 2012.
- [28] : H. Bennacer, « Modélisation d'un système photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université D. Liabes Sidi bel abbès, 2009.
- [29] : F. Baghdadi, « Modélisation et simulation des performances d'une installation hybride de conversion d'Energies renouvelables », Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2011.
- [30] : 19] : F. Béguin, and E. Raymundo-piñero, « Nouveaux développements dans ledomaine des super condensateurs », in RE 92. 2008, Techniques de l'Ingénieur.
- [31] : M. Belhadj, « Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome », Mémoire de Magister du Centre Universitaire de Bechar, 2008.
- [32] : D. Paire, « Dimensionnement et gestion d'énergie de systèmes d'entrainements électriques hybrides » : Application à un ascenseur avec récupération d'énergie, Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2010.
- [33] : I. Bendjamâa, « Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque », Mémoire de Magister de l'Université de Abou-Bakr Belkaid –Tlemcen, 2012.
- [34] : S. Mohamed Ait cheikh, « Etude, investigation et conception d'algorithmes de commande au système photovoltaïque », Thèse de doctorat, école nationale polytechnique Alger 2007.
- [35] : H. Ben Cheikh, « Simulation numérique de modèle collecteur hybride Photovoltaïque/photo thermique », Mémoire de Magister, Université de Constantine, 2009.
- [36] : A. Saadi, « Etude comparative entre les techniques d'optimisation des systèmesde pompage photovoltaïque », Mémoire de Magister, Université de Biskra, 2000.
- [37] : I. Bendjamâa, « Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque », Mémoire de Magister de l'Université de Abou-Bakr Belkaid –Tlemcen, 2012.
- [38] : F. Baghdadi, « Modélisation et simulation des performances d'une installation hybride de conversion d'Energies renouvelables », Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2011.

Références Bibliographiques
