

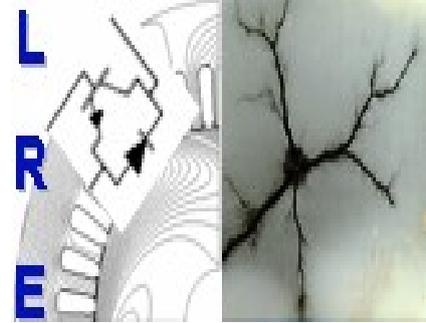
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'ELECTROTECHNIQUE
Laboratoire de Recherche en Electrotechnique

Mémoire de
Master en Electrotechnique

Intitulé

Dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque-diesel-batterie

Présenté par
Houssam MEHIBEL

Sous la direction de **Pr. L. NEZLI** et le doctorant **B. BOUSSIALA**
Soutenu publiquement le 18 Juin 2017

Membres du Jury

Président :	H. Sahraoui, Docteur à l'ENP
Rapporteur :	L.Nezli, Professeur à l'ENP
Examineur :	T. Zebadji, Docteur à l'ENP

ENP 2017

Laboratoire de Recherche en Electrotechnique (LRE) - Ecole Nationale Polytechnique (ENP)
10, Avenue des Frères Oudek, Hassen Badi, BP. 182, 16200 El Harrach, Alger, Algérie

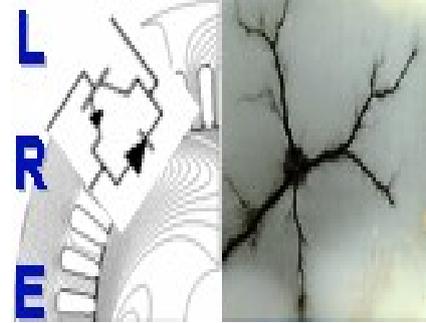
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique



Département d'ELECTROTECHNIQUE
Laboratoire de Recherche en Electrotechnique

Mémoire de
Master en Electrotechnique

Intitulé

Dimensionnement d'un système hybride photovoltaïque-diesel-batterie

Présenté par
Houssam MEHIBEL

Sous la direction de **Pr. L. NEZLI** et le doctorant **B. BOUSSIALA**
Soutenu publiquement le 18 Juin 2017

Membres du Jury

Président :	H. Sahraoui, Docteur à l'ENP
Rapporteur :	L.Nezli, Professeur à l'ENP
Examineur :	T. Zebadji, Docteur à l'ENP

ENP 2017

Laboratoire de Recherche en Electrotechnique (LRE) - Ecole Nationale Polytechnique (ENP)
10, Avenue des Frères Oudek, Hassen Badi, BP. 182, 16200 El Harrach, Alger, Algérie

ملخص:

يمكن لأنظمة الطاقة الهجينة المكونة من مولدات الطاقة الكهروضوئية، محركات الديزل والبطاريات ان تمثل حلا اقتصاديا مثاليا للمشاكل التي تواجهها المناطق المنعزلة في التغذية الكهربائية. مع ذلك، فان تحجيم النظام يبقى اساسيا لتحسين مردوده. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تحجيم نظام هجين كهروضوئي-ديزل-بطاريات لتوليد الطاقة الكهربائية. لهذا، قمنا بعرض مكونات ومشاكل النظام الهجين، ثم استعملنا البرنامج الخاص بالأنظمة الهجينة (HOMER) لتحجيم النظام. **كلمات مفتاحية:** نظام هجين، مولد الطاقة الكهروضوئي، محرك الديزل، منطقة منعزلة، شبكة منعزلة، بطاريات، تحجيم.

Abstract:

Photovoltaic-Diesel hybrid systems could be a technical-economic solution for rural electrification problems. However, correct sizing is always necessary to optimize the operation of the system. The main objective of this work is the sizing of a hybrid system PV-Diesel-Battery. For this purpose, we have presented the main components of a hybrid PV-Diesel-Battery system, the different types of configurations, and the problems encountered in the operation of these systems. Next, we have sized the hybrid system using sizing and optimizing software (HOMER).

Keywords: Hybrid system, photovoltaic generator, diesel group, HOMER, isolated sites, Battery, sizing.

Résumé :

Les systèmes hybrides Photovoltaïque-Diesel-Batterie pourraient constituer une solution technico-économique pour les problèmes de l'électrification rurale. Cependant, un dimensionnement correct est toujours nécessaire pour optimiser le fonctionnement du système. L'objectif principal de ce travail est le dimensionnement d'un système hybride PV-Diesel-Batterie. Pour cela, nous avons présenté les principaux composants d'un système hybride PV-Diesel-Batterie et les différents types des configurations, ainsi que les problèmes rencontrés dans le fonctionnement de ces systèmes. Ensuite Nous avons dimensionné le système hybride à l'aide d'un logiciel de dimensionnement et d'optimisation (HOMER).

Mots clés : système hybride, générateur photovoltaïque, groupe diesel, HOMER, sites isolées, réseau autonome, batteries, stockage, dimensionnement.

Remerciements

Je remercie Allah de m'aider dans mes études et ma vie en générale.

Je tiens à remercier Pr L. NEZLI et le doctorant B. BOUSSIALA, pour avoir proposé un sujet aussi intéressant, pour la confiance et l'intérêt qu'il m'a témoigné tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier l'ensemble des enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique spécialement ceux du département d'Electrotechnique, pour leur encadrement tout au long de notre formation.

Je tiens également à remercier tous ceux qui nous ont soutenus et ont contribué de loin ou de près à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

*A mes parents, qui m'ont soutenu tout au long de
mes études.*

A tous les membres de ma famille.

À mes amis.

*À tous les professeurs que ce soit du primaire, du
moyen, du secondaire ou de l'enseignement
supérieur.*

MEHIBEL Houssam

TABLE DES MATIERES

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale.....	8

Chapitre I : Généralités sur les systèmes hybrides

I.1. Introduction :.....	10
I.2. Présentation du système hybride :.....	10
I.2.1 Définition et missions des systèmes hybrides :.....	10
I.2.2. Avantages et désavantages des systèmes hybrides :	10
I.2.3 Les principaux composants d'un système hybride :.....	10
I.3. Classification des systèmes hybrides :.....	13
I.4. Les différents types des configurations :	14
I.5. Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des systèmes hybrides :.....	16
I.6. Conclusion :	17

Chapitre II : Dimensionnement d'un système hybride PV-diesel-batterie

II.1. Introduction :	19
II.2. Présentation du logiciel HOMER :.....	19
II.3. L'emplacement choisi :.....	19
II.4. Construction du système hybride de génération d'énergie :.....	20
II.5. Simulation et interprétation :	21
II.6. Etude Comparatif avec un système non hybride :	21
II.7. Conclusion :.....	25
Conclusion générale	26
BIBLIOGRAPHIE	27

Liste des figures :

Figure I.1: Composantes d'un champ de modules photovoltaïques	11
Figure I.2: Composantes d'une éolienne.....	12
Figure I.3: Classification des systèmes hybrides	13
Figure I.4: Configuration PV/diesel série	14
Figure I.5: Configuration PV/diesel commutée	15
Figure I.6: Configuration PV/diesel parallèle	16
Figure I.7 : Courbe du rendement d'un groupe diesel	17
Figure II.1 : Rayonnement solaire mensuel de la wilaya d'Adrar	20
Figure II.2: Profil de charge.....	20
Figure II.3: Configuration de l'installation à dimensionner	20
Figure II.4: Résultat de simulation de système hybride par HOMER	21
Figure II.5: Puissance moyenne produite par chaque source durant l'année.....	22
Figure II.6 : Dmap de production horaire par le GP	23
Figure II.7 : Dmap de production horaire par le GD pour un système PV-diesel	24
Figure II.8 : Résultat de simulation de système hybride et non hybride par HOMER.....	24
Figure II.9: (a) Consommation du carburant dans le système non hybride, (b) Consommation du carburant dans le système hybride	24
Figure II.10: (a) Emissions de gaz dans le système non hybride, (b) Emissions de gaz dans le système hybride.....	25

Liste des tableaux :

Tableau II.1 : Tailles du système hybride proposé à Homer	21
Tableau II.2 : Taille optimisés par Homer.....	22
Tableau II.3 : Energie annuelle produite par chaque générateur	22
Tableau II.4 : Information concernant la production de l'énergie PV	23
Tableau II.5 : Information concernant la production de l'énergie PV	23

Liste des abréviations :

Acronyme	Signification
GP	Générateur photovoltaïque
PV	Photovoltaïque
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
AC	Alternative Current.
DC	Direct Current
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NPC	Total Net Present Cost.
COE	Cost Of Energy
SEH	Systèmes d'Energie Hybrides
GD	Générateur diesel

Introduction générale

La diminution des réserves énergétiques traditionnelles (pétrole, charbon, gaz...) due à leur utilisation excessive, est la principale cause qui nous oblige à passer vers d'autres sources d'origine renouvelable qui peuvent être considérées comme inépuisables [2].

L'une des applications des sources d'énergies renouvelables la plus prometteuse est leur utilisation dans les sites isolés [7]. Dans ces secteurs l'approvisionnement électrique dépend seulement des systèmes de génération diesel autonomes, outre le coût de carburants ne cesse d'augmenter, en plus l'extension du réseau électrique rencontre des contraintes économiques importants [3], ce qui traduit l'application d'une solution parfaite comme une production d'énergie décentralisée, à savoir les Systèmes Hybrides de génération d'énergie.

L'utilisation des éléments de stockage assure la stabilité du système hybride, mais pose des problèmes économiques à cause de la faible durée de vie (3 à 5 ans), ceci engendre des remplacements répétés des batteries au cours de la durée de vie de l'installation et donc des dépenses additionnelles.

L'objet de ce mémoire est le dimensionnement d'un système hybride PV-diesel avec stockage alimentant un site isolé.

Le travail présenté dans ce mémoire comprend deux chapitres.

Dans le premier chapitre nous présentons les différentes composantes et les différentes structures des systèmes hybrides PV-diesel-batteries, ainsi que les problèmes rencontrés dans le fonctionnement de ces systèmes.

Le deuxième chapitre est consacré au dimensionnement du système hybride PV-diesel-batterie alimentant un site isolé utilisant le logiciel de dimensionnement et d'optimisation HOMER.

Nous terminons par une conclusion générale sur l'ensemble de cette étude

Chapitre I

« Généralités sur les systèmes
hybrides »

I.1. Introduction :

Les mini-réseaux hybrides suscitent une attention croissante parmi les institutions chargées de l'électrification rurale.

L'objectif étant de compenser la hausse du prix des carburants, de réduire les coûts d'exploitation et d'offrir un service de meilleure qualité que celui des systèmes classiques basés sur une source unique, ainsi que réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Nous présentons dans ce chapitre, les différentes configurations des systèmes hybrides et les problèmes rencontrés dans le fonctionnement de ces systèmes.

I.2. Présentation de système hybride :

I.2.1 Définition et missions des systèmes hybrides :

Un Système Energétique Hybride, est tout système énergétique exploitant simultanément plusieurs sources d'énergies présentant des propriétés différentes.

Généralement des sources d'énergies renouvelables qui doivent être avantageusement associées à des groupes électrogènes afin d'atteindre, un objectif d'électrification des sites autonomes dans un contexte de « développement durable et de réchauffement climatique » [1][3].

I.2.2. Avantages et désavantages des systèmes hybrides :

La réalisation d'un système hybride représente différents avantages :

- Lissage de la production.
- Augmentation de la fiabilité.
- Diminution du stockage.
- Réduction des couts de production.

Par contre on est confronté aux désavantages suivants

- Augmentation de la complexité du système.
- Difficultés d'optimisation des divers organes du système.

I.2.3 Les principaux composants d'un système hybride :

- **Le générateur photovoltaïque :**

La cellule photovoltaïque est un composant électronique, produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Ces cellules telles quelles ne permettent pas d'utiliser l'énergie photovoltaïque de manière efficace. En effet, les cellules ne développent qu'une puissance relativement faible (3W) et sont extrêmement fragiles et sensibles aux éléments extérieurs.

Pour utiliser l'énergie PV à grande échelle, les cellules sont connectées entre elles en série pour augmenter la tension et en parallèle pour augmenter le courant.

L'association de plusieurs cellules photovoltaïques en série/parallèle donne lieu à un module photovoltaïque.

Le générateur photovoltaïque est réalisé par une association en série et en parallèle de modules photovoltaïques (Figure 1.1).

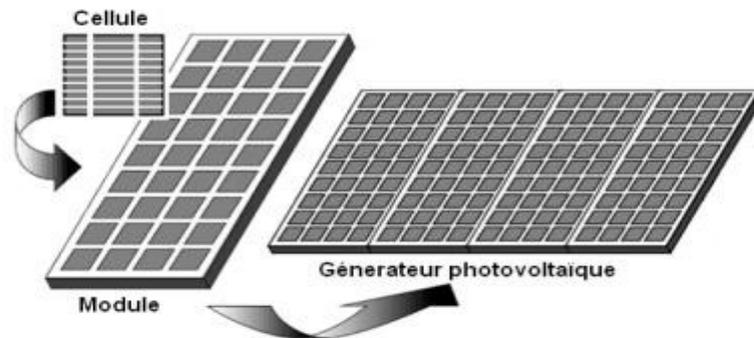


Figure I.1: Composantes d'un champ de modules photovoltaïques [5].

- **Le générateur éolien :**

Il s'agit d'un ensemble de dispositifs qui transforment l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, laquelle est ensuite transformée en énergie électrique.

Une éolienne se compose des éléments suivants :

- Un mât

Permet de placer le rotor à une hauteur suffisante pour permettre son mouvement.

- Une nacelle

Montée au sommet du mât, abritant les composants mécaniques, pneumatiques, certains composants électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de la machine.

- Un rotor

Composé du nez de l'éolienne recevant les pales (en général trois), fixé sur un arbre tournant dans des paliers installés dans la nacelle.

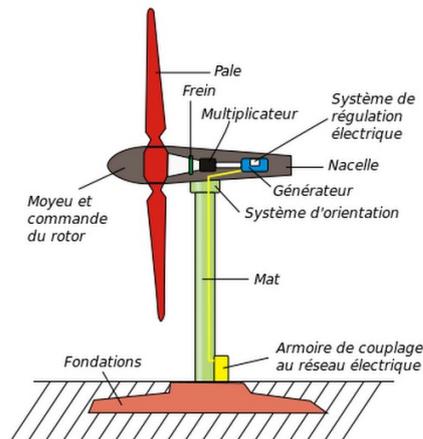


Figure I.2: Composantes d'une éolienne.

- **Générateur diesel**

Un groupe diesel est une machine de production d'électricité autonome. La plupart des groupes sont constitués d'un moteur thermique qui entraîne une génératrice électrique. Ils fournissent à la charge, deux formes d'énergie : active et réactive.

Le moteur Diesel est un moteur à combustion interne, il utilise l'énergie chimique d'un combustible, en la transformant en travail mécanique en passant par l'énergie thermique de la combustion.

La puissance mécanique fournie par le moteur diesel est convertie en puissance électrique grâce à une machine synchrone.

- **Batteries de stockage**

Une batterie est un générateur réversible constitué de cellules électrochimiques capables de stocker l'énergie électrique sous forme chimique, puis de la restituer par la suite sous forme électrique, grâce aux réactions d'Oxydations et de Réductions au niveau des électrodes.

- **Système de supervision**

Pour bien maîtriser la commande d'un système hybride on doit appliquer avec lui un système de supervision, cet outil nous permet de bien pouvoir englober tous les informations des composants du système.

- **Les convertisseurs**

L'utilisation des convertisseurs d'électronique de puissance dans les systèmes hybrides est incontournable, un convertisseur DC/DC (hacheur Boost) est nécessaire pour l'adaptation de la tension du générateur photovoltaïque à la tension du bus continu par régulation, qui va prendre le double rôle d'augmentation de la tension, aussi pour tirer le maximum de puissance du générateur.

Pour connecter le bus continu avec le bus alternatif on utilise un convertisseur bidirectionnel DC/AC AC/DC (onduleur redresseur).

- **Les charges**

Il existe deux types de charges : Actif et réactif. Les charges actives incluent les ampoules à incandescence, les chauffe-eau etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges actives et réactives.

I. 3. Classification des systèmes hybrides :

Plusieurs classifications des systèmes hybrides sont réalisées selon le critère choisi [2] [3] :

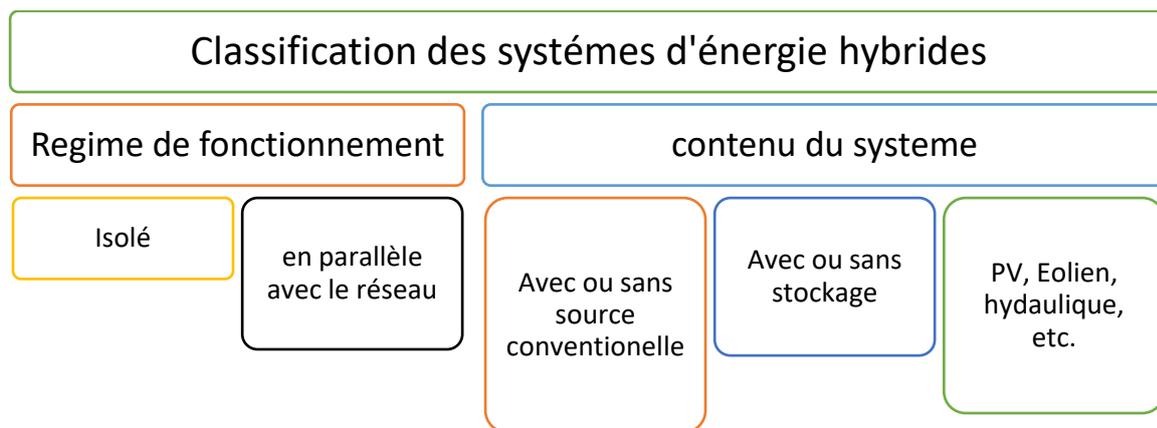


Figure I.3: Classification des systèmes hybrides.

1. Régime du fonctionnement

En fonction de régime du fonctionnement, les systèmes hybrides peuvent être divisés en deux groupes :

➤ **Connectés au réseau**

Travaillant en parallèle avec le réseau électrique, ces systèmes contribuent à satisfaire la charge du système électrique du pays.

➤ **Autonome**

Appeler aussi en régime isolé. Ils doivent répondre aux besoins des consommateurs situés dans des sites éloignés du réseau.

2. La structure du système

Trois critères peuvent être pris en compte dans le classement en fonction de la structure du système :

- La présence ou non d'une source d'énergie classique. Cette source conventionnelle peut être un générateur diesel, une micro turbine à gaz.
- 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, des électrolyseurs avec réservoirs d'hydrogène.

- La structure du système peut contenir un système photovoltaïque, une éolienne, un convertisseur d'énergie hydraulique ou une combinaison de ces sources.

I.4. Les différents types des configurations :

Il existe trois principales configurations [1][3][4] :

➤ La configuration PV/Diesel série

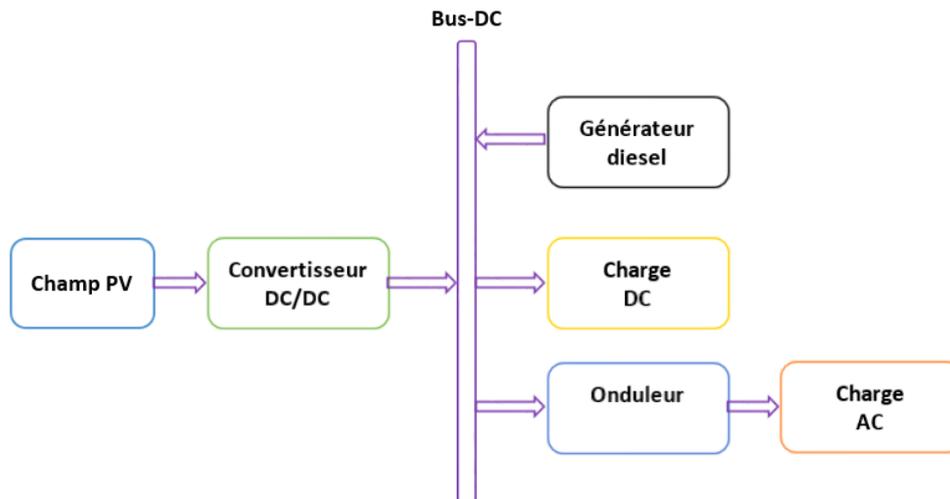


Figure I.4: Configuration PV/diesel série.

Dans ce cas, le générateur diesel est connecté sur le bus courant continu. La connexion peut être directe dans le cas d'un générateur à courant continu ou indirecte à travers un redresseur.

L'installation photovoltaïque et les batteries sont aussi liées à ce bus, la charge est alimentée par un onduleur.

Lorsque l'énergie produite par le champ photovoltaïque et l'énergie stockée sont suffisantes pour alimenter la charge, le groupe diesel est déconnecté du réseau.

Avantages

- Un simple dimensionnement du générateur.
- Une alimentation convenable de la charge par l'onduleur.
- Simplicité de la commande.

Inconvénients

- Un rendement relativement faible dans le cas d'un générateur diesel à courant alternatif.

- La détérioration de l'onduleur provoque l'arrêt complet de l'alimentation.

➤ **La configuration PV/diesel commutée**

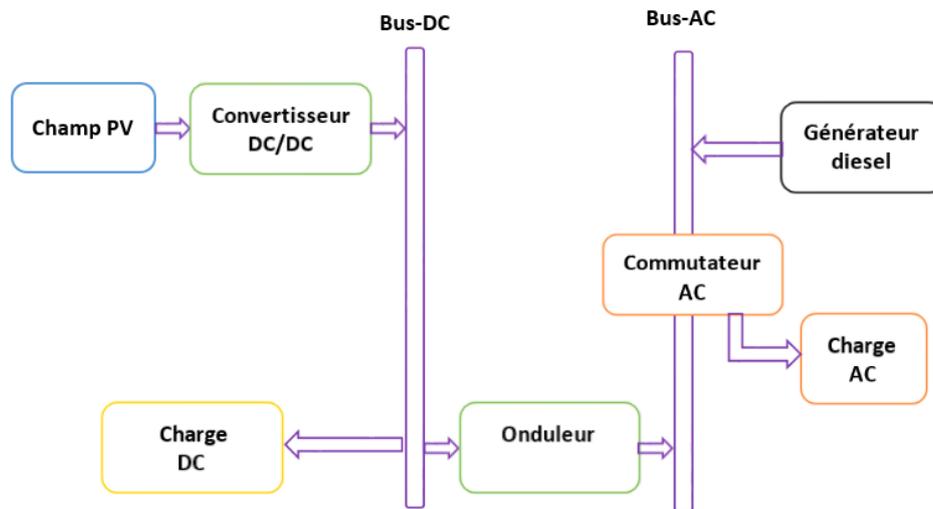


Figure I.5: Configuration PV/diesel commutée.

Dans ce cas, l'énergie produite par le champ photovoltaïque est injectée dans un bus à courant continu à travers un hacheur ainsi que la batterie est reliée à ce bus, le générateur diesel est connecté avec le bus à courant alternatif, les deux bus sont connectés par un onduleur unidirectionnel, bidirectionnel dans le cas où l'on veut alimenter la batterie par le groupe diesel.

Dans ce type de configuration, la charge peut être alimenté soit par la source conventionnelle soit par l'onduleur, la commutation se fait par un commutateur de changement, elle ne peut pas être alimenter par les deux au même temps.

Avantages

- Rendement élevé du générateur diesel.
- Un problème dans l'onduleur n'engendrera pas l'arrêt complet de l'alimentation électrique car le générateur peut satisfaire la charge.

Inconvénients

- Une coupure instantanée lors de la commutation des sources.
- Un dimensionnement plus grand de générateur diesel et de l'onduleur.

➤ La configuration PV/Diesel parallèle

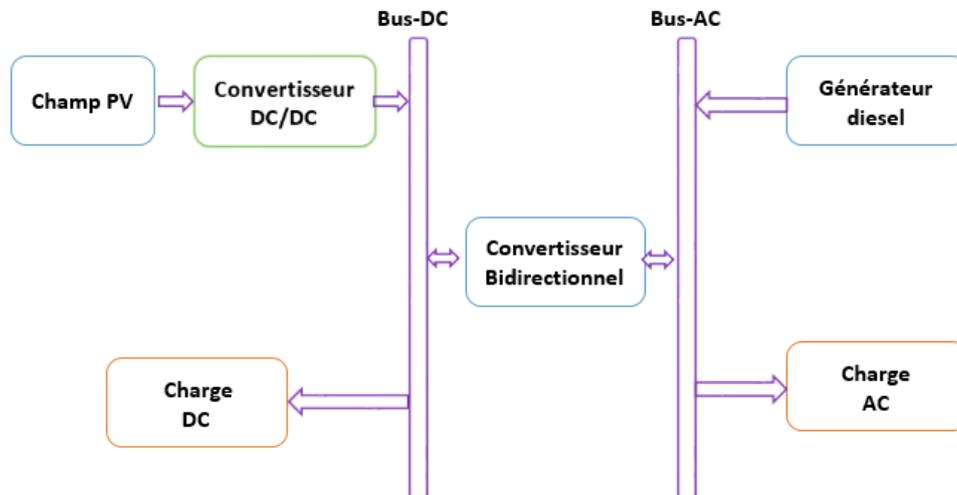


Figure I.6: Configuration PV/diesel parallèle.

Le générateur diesel est connecté au bus du courant alternatif. L'installation photovoltaïque et les batteries sont liées sur un autre bus de courant continu. Les deux bus sont connectés à l'aide d'un convertisseur électronique bidirectionnel.

Cette architecture est similaire à celle de connexion à commutation sauf dans celle si les deux sources peuvent alimenter la charge simultanément et ceci par la synchronisation de l'onduleur avec le générateur diesel.

Avantages

- Le fonctionnement en parallèle diminue la possibilité de coupure de l'alimentation de la charge.
- Le générateur diesel est directement lié à la charge ce qui augmente le rendement.
- Dimensionnement des composants minimale.

Inconvénient

- Une commande complexe, difficulté de contrôle du bus continu.
- L'onduleur doit fournir une tension sinusoïdale, pour que la synchronisation avec le générateur diesel soit possible.
- Nécessité des personnes qualifiées.

I.5.Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des systèmes hybrides :

L'association de plusieurs sources d'énergie offre une certaine fiabilité au système global mais pose aussi plusieurs problèmes [4] :

- Nécessité de rechercher la configuration optimale du système.
- Choisir correctement la taille de chaque composant du système.
- Optimiser la gestion de l'énergie au sein de ce système.

L'intégration de l'énergie PV a pour but de diminuer la consommation du carburant, mais ceci peut affecter le rendement du groupe diesel.

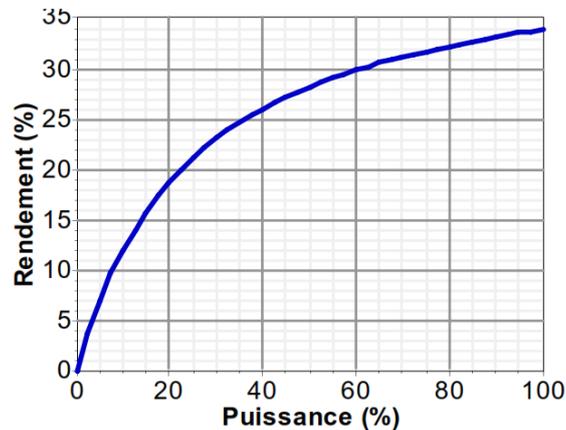


Figure I.7 : Courbe du rendement d'un groupe diesel.

La Figure I.7 montre que le rendement du groupe diesel diminue avec la diminution de la puissance demandée.

Dans le cas des charges élevées par exemple. L'intégration de l'énergie PV écrête la puissance demandée au groupe électrogène, et ne l'éloignant que très peu de sa plage de fonctionnement optimale, ce qui lui assure une bonne efficacité.

Mais dans le cas des faibles charges, la contribution du générateur PV diminue la puissance demandée au groupe électrogène, ce dernier est confronté à une charge encore plus faible ce qui traduit un mauvais rendement.

I.6. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté la définition et les différentes configurations des systèmes hybrides (série, commutée, parallèle). Nous avons exposé aussi la classification des systèmes hybrides PV-diesel, qui dépend du régime de fonctionnement (connectés au réseau ou isolé), et du contenu de système (avec ou sans stockage).

Enfin, nous avons présenté aussi les problèmes rencontrés dans le fonctionnement des systèmes hybrides PV-diesel-batterie :

- Nécessité de rechercher la configuration optimale du système.
- Choisir correctement la taille de chaque composant du système.
- Optimiser la gestion de l'énergie au sein de ce système.

Chapitre II

« Dimensionnement d'un
système hybride PV-diesel-
batterie »

II.1. Introduction :

Les SEH utilisent différentes sources d'énergie comme l'éolien, le photovoltaïque et le générateur diesel. Ce type de systèmes peut représenter une solution pour les régions éloignées.

Ce chapitre présente l'architecture du SEH, obtenue après une étude de dimensionnement. Cette architecture inclut des panneaux PV, un générateur diesel, un système de stockage et des convertisseurs pour interconnecter les sources. Le dimensionnement d'un tel système implique la détermination des caractéristiques nominales des sources et du système de stockage, pour des ressources énergétiques et des contraintes d'utilisation données. On utilise le logiciel HOMER pour le dimensionnement du système.

II.2. Présentation du logiciel HOMER :

Le logiciel de dimensionnement Homer (hybrid optimization model for electric renewables) est un outil connu pour sa fiabilité dans la conception et l'analyse des systèmes d'énergies hybrides, qui contiennent un regroupement de générateurs conventionnels, des éoliennes, des générateurs photovoltaïques, etc...

Le logiciel HOMER développé par NREL (national renewable energy laboratory) aux étas unis, prend en charge l'opération d'évaluation des conceptions des différents systèmes de génération d'énergie électrique, que ce soit connecter à un réseau électrique classique ou bien éloigné de ce dernier pour une variété d'applications.

Ainsi, pour une ou plusieurs installations connectées au réseau ou autonomes, Homer permet d'obtenir la configuration optimale après une étude technico-économique.

HOMER simule plusieurs configurations, il optimise le coût pour un cycle de vie donnée et génère des résultats de sensibilité pour la plupart des situations [6].

II.3. L'emplacement choisi :

Pour l'exemple de simulation, nous fournissons l'électricité à une région de la wilaya d'Adrar en Algérie, non connectée au réseau, grâce à l'utilisation d'un système hybride PV-diesel-batterie.

Afin de construire ce système d'énergie, on doit disposer les informations (profil de charge, rayonnement solaire) pour l'emplacement sélectionné, en s'appuyant sur des données réelles pour rayonnement solaire de la région (Figure II.1), tout au long de l'année et qui ont été récupérées par NREL (National Renewable Energy Laboratory).



Figure II.1 : Rayonnement solaire mensuel de la wilaya d'Adrar.

Le système hybride destiné pour alimenter une charge à usage domestique, avec une puissance du point de 45 kW (Figure II.2).

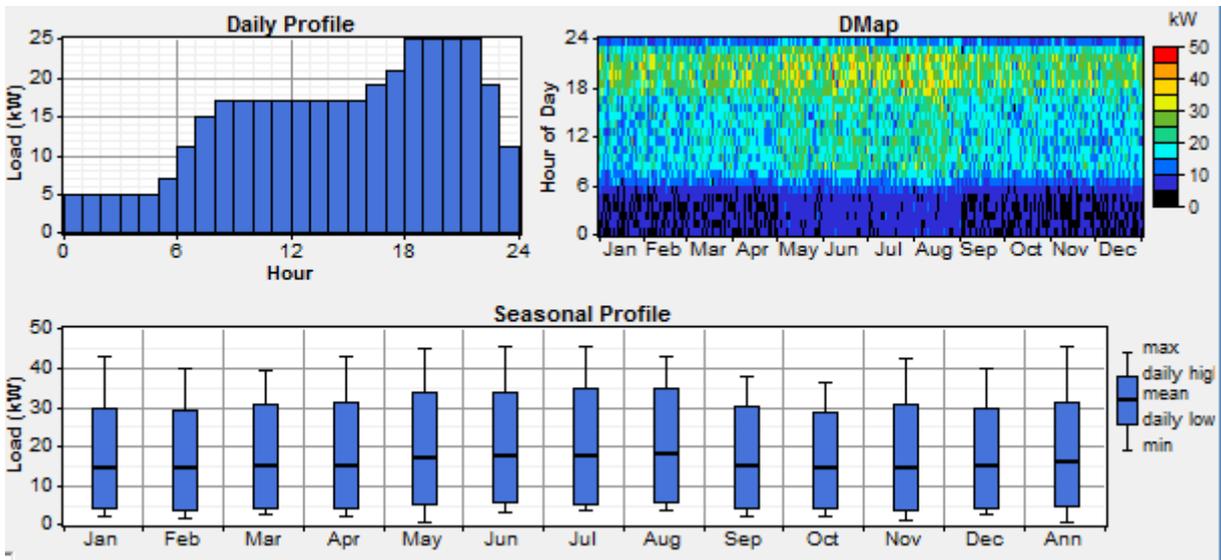


Figure II.2: Profil de charge.

II.4. Construction de système hybride de génération d'énergie :

L'architecture de système hybride à dimensionner sous HOMER est présentée dans la Figure II.3.

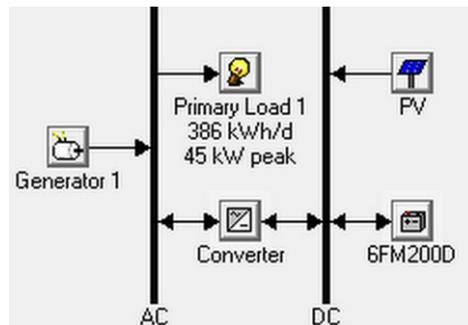


Figure II.3: Configuration de l'installation à dimensionner.

Pour le choix de la puissance des différentes composantes du système hybride, on propose à Homer différentes tailles prédéterminées, selon lesquelles il optimise les meilleures solutions par ordre décroissant (Tableau II.1).

Composant	Puissance (kW)
Générateur PV	20,30,40,50,60
GD diesel	10,20,30,40,45,50
Nombre de batteries	10,50,150

Tableau II.1 : Tailles du système hybride proposé à Homer.

On utilise des batteries de 12 V, 200 Ah, 2 kWh.

II.5. Simulation et interprétation :

Les résultats de simulation sont fournis sous la forme de liste suivant les tailles des composantes de tout le système avec les différentes contraintes, et Homer propose plusieurs configurations classées par le coût net actuel.

				PV (kW)	Label (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
				50	20	50	30	\$ 194,000	40,598	\$ 712,985	0.396	0.38	26,529	5,982
				50	20	50	40	\$ 197,000	40,552	\$ 715,390	0.397	0.38	26,446	5,946
				40	30	50	30	\$ 169,000	43,042	\$ 719,227	0.399	0.36	28,519	5,078
				50	20	50	50	\$ 200,000	40,632	\$ 719,408	0.400	0.38	26,446	5,946
				50	30	50	30	\$ 199,000	40,803	\$ 720,598	0.400	0.40	27,009	4,784
				40	30	50	40	\$ 172,000	42,972	\$ 721,325	0.401	0.37	28,405	5,042
				50	30	50	40	\$ 202,000	40,678	\$ 722,007	0.401	0.40	26,855	4,736
				40	30	50	50	\$ 175,000	43,052	\$ 725,344	0.403	0.37	28,405	5,042
				60	20	50	30	\$ 224,000	39,241	\$ 725,629	0.403	0.41	25,547	5,755
				50	30	50	50	\$ 205,000	40,758	\$ 726,026	0.403	0.40	26,855	4,736
				60	20	50	40	\$ 227,000	39,141	\$ 727,352	0.404	0.41	25,423	5,700
				60	20	50	50	\$ 230,000	39,221	\$ 731,371	0.406	0.41	25,423	5,700
				60	30	50	30	\$ 229,000	39,374	\$ 732,336	0.407	0.42	26,067	4,622
				60	30	50	40	\$ 232,000	39,169	\$ 732,708	0.407	0.42	25,859	4,556
				30	30	50	30	\$ 139,000	46,718	\$ 736,219	0.409	0.31	30,951	5,545
				60	30	50	50	\$ 235,000	39,248	\$ 736,727	0.409	0.42	25,859	4,556
				30	30	50	40	\$ 142,000	46,777	\$ 739,968	0.411	0.31	30,922	5,535
				30	30	50	50	\$ 145,000	46,857	\$ 743,986	0.413	0.31	30,922	5,535
				40	20	150	30	\$ 214,000	42,175	\$ 753,132	0.418	0.35	27,968	6,310
				40	20	150	40	\$ 217,000	42,150	\$ 755,824	0.420	0.35	27,903	6,280
				40	20	150	50	\$ 220,000	42,230	\$ 759,842	0.422	0.35	27,903	6,280
				30	20	150	30	\$ 184,000	45,052	\$ 759,913	0.422	0.30	30,253	6,849
				50	20	150	30	\$ 244,000	40,393	\$ 760,355	0.422	0.38	26,532	5,965
				50	20	150	40	\$ 247,000	40,344	\$ 762,735	0.423	0.38	26,449	5,929
				30	20	150	40	\$ 187,000	45,125	\$ 763,851	0.424	0.30	30,249	6,847
				50	20	150	50	\$ 250,000	40,424	\$ 766,754	0.426	0.38	26,449	5,929
				30	30	50	20	\$ 136,000	49,426	\$ 767,828	0.426	0.27	33,286	6,333
				30	20	150	50	\$ 190,000	45,205	\$ 767,870	0.426	0.30	30,249	6,847

Figure II.4: Résultats de simulation du système hybride par HOMER.

HOMER simule toutes les configurations faisables des systèmes et présente la taille optimale des composantes de système hybride (Tableau II.2) :

Composant	Puissance (kW)
Générateur PV	50
GD diesel	20
Nombre de batteries	50

Tableau II.2 : Taille optimisés par Homer.

L'énergie produite du système optimal est montrée dans la Figure II.5 ci-dessous.

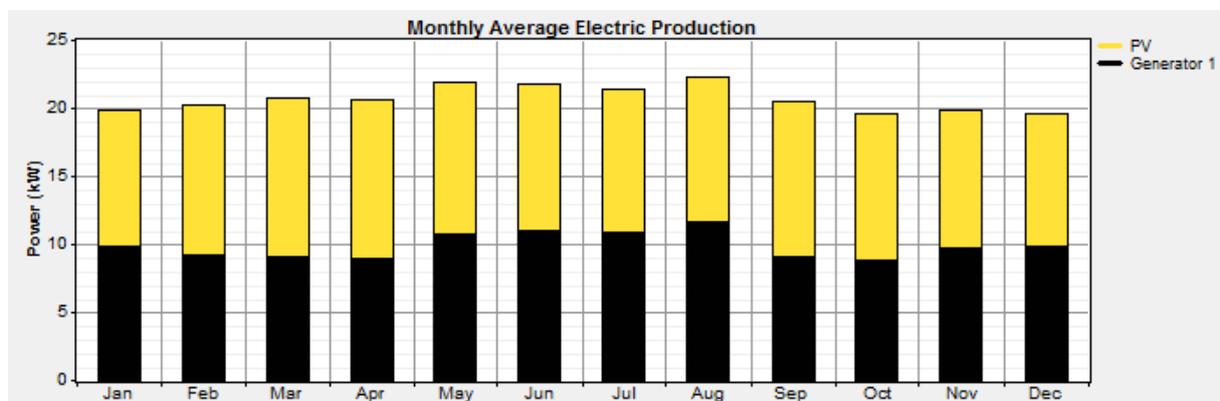


Figure II.5: Puissance moyenne produite par chaque source durant l'année.

Dans le tableau suivant, on présente des résultats approfondis pour le même système. Le tableau présente le taux de production d'énergie électrique pour chaque générateur tout au long de l'année.

Production	kWh/ année	%
PV	94 549	52
G. Diesel	86 970	48
Total	181 518	100

Tableau II.3 : Energie annuelle produite par chaque générateur.

De la Figure II.5 et le Tableau II.3, on constate que la production de l'énergie par le système hybride optimal durant une année complète de fonctionnement présente une continuité de production d'énergie. On remarque que plus de 50% de l'énergie est produite par les générateurs PV, une chose qui participe à la diminution de l'effet de serre pour notre planète.

Les paramètres de fonctionnement de panneau photovoltaïque sont montrés dans le tableau suivant :

Variable	Valeur
Heure de fonctionnement	4 384 h/an
Puissance maximale produite	50 kW
Pénétration de PV	67 %
Total de production d'énergie	94 549 kWh/an

Tableau II.4 : Information concernant la production de l'énergie PV.

La Figure II.6 présente une présentation DMAP de production d'énergie par le PV. Cette présentation permet de voir plus clairement les informations utiles pendant tout l'année pour une interprétation facile.

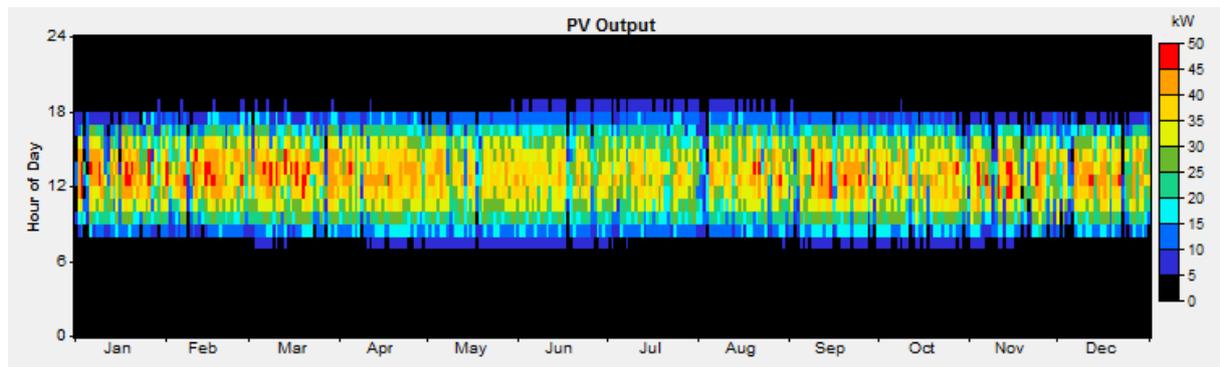


Figure II.6 : Dmap de production horaire par le GP.

On peut remarquer que la période de fonctionnement de GP est bornée entre 7h du matin au 18h. La production des GPs est nulle dans l'heure de pointe(20h) selon le profil de la charge, ce qui introduit en parallèle le fonctionnement de générateur diesel ou bien le recours d'énergie stockée dans les batteries pour répondre à la demande de la charge

Les paramètres de fonctionnement de GD sont montrés dans le tableau suivant :

Variable	Valeur
Heure de fonctionnement	5 982 h/an
Puissance maximale produite	20 kW
Carburant utilisé annuellement	26 529 L/an
Total de production d'énergie	86 970 kWh/an

Tableau II.5 : Information concernant la production de l'énergie PV.

La Figure II.7 présente une présentation DMAP de production d'énergie par le GD.

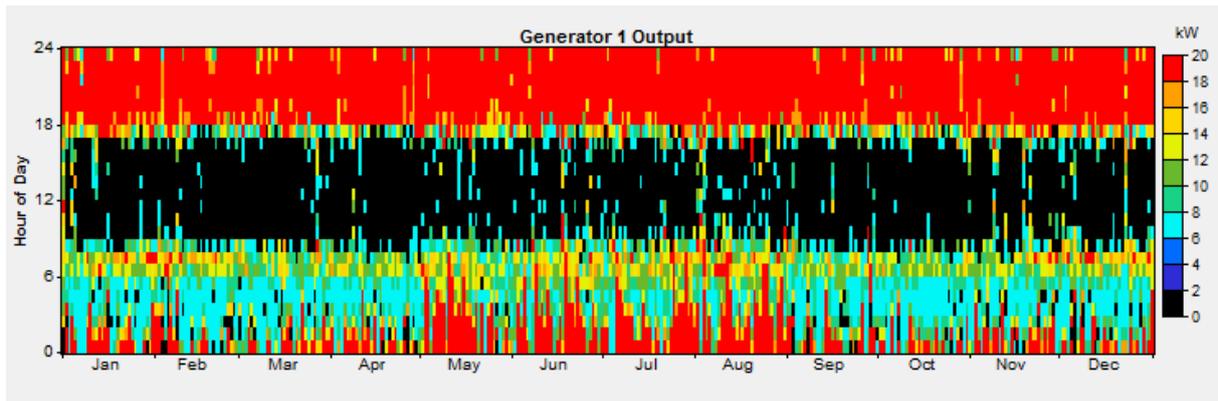


Figure II.7 : Dmap de production horaire par le GD pour un système PV-diesel.

De la Figure II.7, on remarque qu'entre 7h du matin et 18h, le groupe diesel s'arrête. Il fonctionne pendant la nuit et les heures de pointe.

II.6. Etude Comparatif avec un système non hybride :

Pour montrer l'effet de l'intégration de l'énergie PV, on fait une étude comparative avec un système qui contient juste un groupe diesel. Les résultats sont représentés ci-dessous :

	PV (kW)	Label (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	50	20	50	30	\$ 194,000	40,598	\$ 712,985	0.396	0.38	26,529	5,982
		45			\$ 22,500	80,048	\$ 1,045,785	0.581	0.00	55,761	8,760

Figure II.8 : Résultat de simulation de système hybride et non hybride par HOMER.

D'après la Figure II.8, nous remarquons que malgré que le cout initial du système hybride soit beaucoup plus grand que le système qui contient juste un groupe diesel, le système hybride présente un coût net actuel plus faible que le système non hybride, car le système hybride présente un cout de kilowattheure plus faible à cause de l'économisation du carburant.

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Fuel consumption	55,761	L/yr	Fuel consumption	26,529	L/yr
Specific fuel consumption	0.349	L/kWh	Specific fuel consumption	0.305	L/kWh
Fuel energy input	548,687	kWh/yr	Fuel energy input	261,042	kWh/yr
Mean electrical efficiency	29.2	%	Mean electrical efficiency	33.3	%

(a)

(b)

Figure II.9: (a) Consommation du carburant dans le système non hybride, (b) Consommation du carburant dans le système hybride.

D'après la Figure II.9, nous remarquons que la consommation du carburant est plus faible dans le système hybride. Avec le système hybride on peut économiser 30000 L/an.

Pollutant	Emissions (kg/yr)	Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	146,837	Carbon dioxide	69,859
Carbon monoxide	362	Carbon monoxide	172
Unburned hydrocarbons	40.1	Unburned hydrocarbons	19.1
Particulate matter	27.3	Particulate matter	13
Sulfur dioxide	295	Sulfur dioxide	140
Nitrogen oxides	3,234	Nitrogen oxides	1,539

(a)

(b)

Figure II.10: (a) Emissions de gaz dans le système non hybride, (b) Emissions de gaz dans le système hybride.

D'après la Figure II.10, nous remarquons que les émissions de gaz dans le système hybride sont plus faibles que le système non hybride, surtout le dioxyde de carbone (CO₂). Ceci à cause de la diminution de la consommation du carburant.

II.7. Conclusion :

Dans ce chapitre Nous avons présenté l'outil de dimensionnement et d'optimisation HOMER afin de simulé notre système hybride.

D'après les résultats obtenus, nous avons remarqué que la combinaison des sources d'énergies renouvelables (PV) dans la présence d'une source classique d'origine fossile à un avantage remarquable dans la diminution de l'utilisation de cette dernière, qui peuvent à priori permettre de diminuer considérablement les coûts d'opération du système et donc le coût de production du kWh et diminuer aussi l'émission de gaz à effet de serre.

Conclusion générale

Le but de cette thèse était l'étude d'un système hybride PV-diesel de génération d'énergie électrique avec stockage pour l'alimentation des sites isolés, avec comme objectif de réduire les émissions des gaz à effets serre, et préserver les énergies d'origine fossile pour les générations futures.

Nous avons présenté les composantes des systèmes hybrides, et les différentes configurations. Nous avons aussi utilisé le logiciel HOMER afin de dimensionner un système hybride PV-diesel-batterie alimentant un site isolé.

Dans le premier chapitre, nous avons exposé la classification des systèmes hybrides PV-diesel, qui dépend du régime de fonctionnement (connectés au réseau ou isolé), et du contenu de système (avec ou sans stockage), ainsi que les différentes configurations (série, commutée, parallèle). Nous avons présenté aussi les problèmes rencontrés dans le fonctionnement des systèmes hybrides PV-diesel.

Dans le deuxième chapitre nous avons présenté une étude de simulation pour un système hybride PV-diesel avec la présence des batteries, pour l'alimentation d'une charge donnée dans un concept autonome. La simulation est faite par le logiciel HOMER, qui nous permet de traiter des résultats réels basés sur des contraintes de coût et de variations d'entrées météorologiques d'un site situé dans la wilaya d'Adrar.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Ludmil Stoyanov, " Etude de différentes structures de systèmes hybrides à sources d'énergie renouvelables ". Doctorat, Université Technique de Sofia, 2011.
- [2] MECIKAR Faïçal, LOUKKAS Nassim, " Étude et Commande d'un Système Hybride Éolien-Photovoltaïque Connecté au Réseau". Projet de Fin d'Étude, École Nationale Polytechnique, Alger, 2013.
- [3] Brahim Abdallah BRAHIM, "ETUDE DES DIFFERENTES CONFIGURATIONS DES SYSTEMES D'ENERGIE HYBRIDES PV/DIESEL ET DE LEUR IMPACT SUR LE COUT DE PRODUCTION D'ELECTRICITE". Mémoire de Master, CENTRE COMMUN DE RECHERCHE Energie et Habitat Durable, 2012.
- [4] Daniel YAMEGUEU NGUEWO, "EXPERIMENTATION ET OPTIMISATION D'UN PROTOTYPE DE CENTRALE HYBRIDE SOLAIRE PV/DIESEL SANS BATTERIES DE STOCKAGE : VALIDATION DU CONCEPT « FLEXY ENERGY »". UNIVERSITE DE PERPIGNAN en Sciences pour l'Ingénieur, 2012.
- [5] BISKER Asma, CHIRI Meriem. Commande d'un Système Photovoltaïque en mode Isolé et en mode Connecté au Réseau. ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE. Projet de fin d'études. Juin 2012
- [6] Bébé Magloire, NANA NEUWOUH. ANALYSE, MODELISATION ET SIMULATION DES SYSTEMES HYBRIDES PV/DIESEL. Thèse MASTER. 26 Septembre 2011.
- [7] Hussein IBRAHIM, Adrian ILINCA, Jean PERRON. INVESTIGATIONS DES DIFFÉRENTES ALTERNATIVES RENOUEVELABLES ET HYBRIDES POUR L'ÉLECTRIFICATION DES SITES ISOLÉS. Rapport interne. Université du Québec. Septembre 2008.