

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE FERHAT ABBAS –SETIF1

Faculté de Technologie

Département

d'Electrotechnique



جامعة فرحات عباس سطيف1

كلية التكنولوجيا

قسم الالكتروتقنية

Mémoire de Master

No. Réf. :/...../2014

Présenté au Département d'Electrotechnique

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Automatique

Spécialité : Commande des Processus Industriels

Réalisé par :

M. KARA Abdelfattah

Thème

Dimensionnement et analyse du coût d'un système hybride de production d'énergie renouvelable pour des sites isolés en Algérie

Soutenu le 24/06/2014 devant la commission d'examen composée de :

M. BELKHIAT Saad	Professeur à l'Université de Sétif1	Président
M. KHEMLICHE Mabrouk	Professeur à l'Université de Sétif1	Directeur du Mémoire
Mme. SLIMANI Linda	MCA à l'Université de Sétif1	Examinatrice
Melle. LOUAREM Sabah	MAA à l'Université de Sétif1	Examinatrice

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à toute ma famille, à mon père, à ma mère et à mes sœurs.

Je le dédie aussi à mes grands-parents : ZITOUNI, RAHOUADJA et KAMIR, à mes oncles, tantes, cousins et cousines.

Je ne saurai terminer sans citer mes amis : MESSAI Hamza, REFOUFI Hichem, CHOUCHE Abdellatif, KHARFIA Fouzi, CHOUCHE Abdeldjabar, HAMOUDI Zohir, TEBANI Djalel, BENDJEDIA Mohamed, ROUAZGUI Abdeldjebar .

Enfin je le dédie à tous mes amis que je n'ai pas cités et à tous ceux qui me connaissent.

Remerciements

Je tiens à remercier, en tout premier lieu, Pr. KHEMLICHE Mabrouk Directeur de ce mémoire. Pour sa présence et son pragmatisme exemplaire qui a donné un véritable sens à notre travail.

Je remercie également tous les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail :

- Pr : BELKHIAT Saad
- Dr : SLIMANI Linda
- Melle : LOUAREM Sabah

Je remercie très chaleureusement Mr. CHERMAT Fayçal Doctorant à l'université Ferhat Abbas - Sétif1 pour son amitié, son aide précieuse qu'il m'a apporté tout au long de ce travail.

Nos remerciements s'étendent également à tous nos enseignants durant les années des études. Je n'oublie pas mes parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience.

A ma famille et mes amis qui par leurs prières et leurs encouragements, m'ont permis de surmonter tous les obstacles.

Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui n'ont pas été citées et qui ont participé de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Sétif, le 17/06/2014

Kara Abdelfattah

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	2
<i>Chapitre 01</i>	6
LES SYSTEMES DE PRODUCTION DE L'ENERGIE RENOUVELABLE	6
1.1. Introduction.....	6
1.2. Description d'un système PV.....	6
1.2.1. Principe de fonctionnement du photovoltaïque	7
1.2.2. Technologie des cellules solaires.....	8
1.2.3. Modélisation des cellules photovoltaïques (PV)	9
1.2.4. Panneau Photovoltaïque.....	10
1.2.5. Avantages et inconvénients d'une installation PV	11
1.3. Description d'un système éolienne.....	12
1.3.1. Définition de l'énergie éolienne.....	13
1.3.2. Constitution d'un aérogénérateur	13
1.3.3. Différents types de machines électriques utilisées	15
1.3.4. Gisement éolien en Algérie.....	16
1.3.5. Avantages et inconvénients de l'éolien.....	18
1.4. Description d'un Générateur Diesel.....	18
1.4.1. Reserve tournante	18
1.4.2. Temps de fonctionnement minimal.....	19
1.4.3. Hystérésis.....	19
1.5. Description d'un système d'énergie Hybride.....	19
1.5.1. Présentation du système hybride.....	20
1.5.2. Différentes configurations des systèmes hybrides.....	20
1.5.3. Systèmes hybrides PV/diesel/éolien.....	22
1.5.4. Instruments du système	23
1.6. Analyse des gros systèmes.....	23
1.7. Analyse Economique.....	24
1.8. Analyse de l'aspect social	25
1.9. Conclusion.....	25
<i>Chapitre 02</i>	26
PRESENTATION DU LOGICIEL « HOMER ».....	26
2.1. Introduction.....	26
2.2. Présentation du logiciel HOMER.....	26

2.3. Principales caractéristiques.....	27
2.4. Interfaces.....	29
2.5. Données d'entrée.....	33
2.6. Résultats pouvant être obtenus.....	34
2.7. Méthodologies spécifiques aux simulations.....	36
2.8. Résultats à analyser.....	37
2.9. Analyse de la demande énergétique globale d'une maison.....	37
2.10. Conclusion.....	40

<i>Chapitre 03</i>	<i>41</i>
--------------------------	-----------

DIMENSIONNEMENT ET ANALYSE DES RESULTATS DE SIMULATION.....	41
--	----

3.1. Introduction.....	41
3.2. Interprétation des résultats de simulation (Sétif).....	42
3.3. Analyse de l'énergie électrique produite à Sétif.....	48
3.3.1. Panneaux solaires (PV).....	49
3.3.2. Eolienne.....	49
3.3.3. Générateur diesel (GD).....	50
3.3.4. Batteries de stockage.....	50
3.4. Interprétation des résultats de simulation (Tamanrasset).....	51
3.5. Analyse de l'énergie électrique produite à Tamanrasset.....	52
3.6. Interprétation des résultats de simulation (Mostaganem).....	53
3.7. Analyse de l'énergie électrique produite à Mostaganem.....	55
3.8. Analyse de l'émission.....	56
3.9. Conclusion.....	57

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES.....	58
--	----

Liste des figures

Figure 1.1. Carte préliminaire des irradiations solaires de l'Algérie.....	7
Figure 1.2. Fonctionnement d'une cellule solaire.....	7
Figure 1.3. Effet photovoltaïque.....	8
Figure 1.4. Modèle à cinq paramètres.....	10
Figure 1.5. Cellule, module et panneau photovoltaïque [12].....	10
Figure 1.6. Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	13
Figure 1.7. Différents types de turbines.....	14
Figure 1.8. Composantes de l'aérogénérateur.....	14
Figure 1.9. Atlas saisonniers de la vitesse moyenne annuelle à 10 m du sol.....	17
Figure 1.10. Configuration de générateur diesel.....	18
Figure 1.11. Configuration du SEH abus CC.....	21
Figure 1.12. Configuration du SEH à deux bus à CC et à CA.....	21
Figure 1.13. Modèle général d'un système hybride PV/éolien/diesel.....	22
Figure 1.14. Synoptique d'une installation expérimentale-système de production hybride PV/éolien associé au stockage de l'énergie.....	22
Figure 2.1. Modèle conceptuel du logiciel HOMER.....	27
Figure 2.2. Interface HOMER – Fichier vierge.....	29
Figure 2.3. Interface HOMER – Équipements à ajouter.....	30
Figure 2.4. Interface HOMER – Équipements sélectionnés.....	31
Figure 2.5. Interface HOMER – Ressources.....	31
Figure 2.6. Interface HOMER – Fichier complété.....	32
Figure 2.7. Interface HOMER – Résultats des calculs.....	33
Figure 2.8. Données à fournir.....	34
Figure 2.9. Résultats obtenus après simulation.....	34
Figure 2.10. Résumé des résultats.....	35
Figure 2.11. Fenêtre des résultats détaillés.....	36
Figure 3.1. Montage électrique du système hybride.....	42
Figure 3.2. Tableau de tous les résultats de calcul pour le système hybride (Sétif).....	42
Figure 3.3. Résultat optimal pour le système hybride (Sétif).....	43
Figure 3.4. Résumé des flux de trésorerie pour le système hybride.....	44
Figure 3.5. Résumé des opérations et des remplacements pendant toute la durée de fonctionnement du système.....	44
Figure 3.6. Rayonnement solaire mensuel (Sétif).....	45
Figure 3.7. Vitesse du vent mensuelle (Sétif).....	46

Figure 3.8. Montage électrique du système autonome (GD) (Sétif)	46
Figure 3.9. .Tableau de tous les résultats de calcul pour le système autonome (GD) (Sétif)	47
Figure 3.10. Résultat optimal pour le système autonome (GD) (Sétif)	47
Figure 3.11. Quantité d'énergie totale mensuelle produite par le système hybride pendant une année (Sétif)	48
Figure 3.12. Quantité d'énergie totale mensuelle produite par le système autonome (GD) pendant une année	48
Figure 3.13. Quantité d'énergie totale quotidienne produite par le PV pendant une année	49
Figure 3.14. Quantité d'énergie totale quotidienne produite par l'éolienne pendant une année	49
Figure 3.15. Quantité d'énergie totale quotidienne produite par le générateur diesel pendant une année	50
Figure 3.16. Utilisation de la charge des batteries à travers une année	50
Figure 3.17. Statistiques mensuelles pour le chargement des batteries	51
Figure 3.18. Montage électrique du système hybride (Tamanrasset)	51
Figure 3.19. Résultat optimal pour le système hybride (Tamanrasset)	52
Figure 3.20. Rayonnement solaire mensuel(Tamanrasset).....	52
Figure 3.21. Vitesse du vent mensuelle (Tamanrasset).....	53
Figure 3.22. Quantité de l'énergie totale mensuelle produite par le système hybride pendant une année (Tamanrasset)	53
Figure 3.23. Résultat optimal pour le système hybride (Mostaganem)	54
Figure 3.24. Rayonnement solaire mensuel (Mostaganem)	54
Figure 3.25. Vitesse du vent mensuelle (Mostaganem)	54
Figure 3.26. Quantité d'énergie totale mensuelle produite par le système hybride pendant une année (Mostaganem).....	55

Liste des tableaux

Tableau 1. Puissance installée d'origine éolienne dans les principaux pays [15]	13
Tableau 2.1. Paramètres pour le choix de logiciel – HOMER.....	27
Tableau 2.2. Le nombre d'heures de consommation d'énergie par les appareils électriques pendant l'ensemble des jours de la semaine.	38
Tableau 2.3. La quantité totale de la puissance électrique nécessaire pour la maison dans les jours de semaine.	39
Tableau 2.4. La quantité totale de la puissance électrique nécessaire pour la maison dans les week-ends.	40
Tableau 3.1. Analyse des résultats du système hybride à (Sétif).....	45
Tableau 3.2. Comparaison entre les résultats du système hybride et du système autonome (GD).	48
Tableau 3.3. Comparaison des résultats du projet dans les 3 sites.	55
Tableau 3.4. Quantité du gaz polluant émis par le (GD) à Sétif.....	56
Tableau 3.5. Quantité du gaz polluant émis par le système hybride.	56
Tableau 3.6. Quantité du gaz polluant émis par le système hybride à Mostaganem.	57

Listes des Acronymes et Symboles

Acronymes

Homer : Hybride modèle d'Optimisation pour l'Energie Renouvelable

(Logiciel produit par le Laboratoire National de l'énergie Renouvelable).

EDH : Energie hybride décentralisée

NREL: National Renewable Energy Laboratory

NPC : Net Present Cost (coût à valeur actuelle)

APN : Le coût net actualisé

COE : Le coût d'énergie

SEH : Système énergie hybride

GD : Générateur Diesel

ISE : Institut de recherche Fraunhofer le fabricant d'onduleurs KACO.

GES : Gaz à effet de serre

KW: Kilo Watt

MW: Mega Watt

Tep : Tonne équivalent pétrole

CC : Courant continu

CA : Courant alternatif

Symbole

V : Tension de sortie du générateur.

V_{oc} : Tension à vide du panneau solaire.

$V_{oc,ref}$: Tension à vide de référence du panneau solaire.

I: Courant de sortie du générateur.

I01, I02: Respectivement les courants de saturation de la diode 1 et de la diode 2.

γ : Facteur de qualité de la diode.

$\gamma1, \gamma2$: Respectivement le facteur de qualité de la diode 1 et de la diode 2.

Vopt : Tension optimal.

Iopt : Courant optimal.

R opt : L'impédance statique optimale de charge.

N_{cs} : Nombre des cellules.

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie est un pays en développement où un bon nombre d'habitations se situent en territoires isolés ou à une distance significative du réseau électrique. Les coûts de raccordement au réseau sont importants et parfois, le raccordement est tout simplement impossible. C'est pourquoi les systèmes autonomes sont intéressants pour répondre aux besoins énergétiques des habitants de ces régions.

L'utilisation de génératrices carburant aux énergies fossiles représente la situation générale actuelle malgré quelques avancées qui ont été faites en utilisant des systèmes hybrides avec une génératrice diesel et des éoliennes, il ne reste pas moins que, les systèmes utilisent beaucoup du carburant fossile.

L'Algérie est située entre 36°42'N de latitude et 03°13' E de longitude, qui est un endroit idéal pour l'utilisation de l'énergie solaire. Le rayonnement solaire quotidien varie entre 3,8 et 6,5 kWh/m². La ressource éolienne est également adaptée pour la production d'électricité en Algérie. La vitesse moyenne annuelle du vent est d'environ 4,17 m / s.

Les systèmes seuls, éoliens ou photovoltaïques, nécessitent beaucoup d'accumulateurs pour pallier l'intermittence des gisements. Les systèmes hybrides autonomes avec des panneaux solaires photovoltaïques et des éoliennes s'annoncent donc comme une solution limitant l'intermittence des ressources. Un générateur diesel est ajouté pour assurer une alimentation continue.

****Est-ce que dans une région isolée en Algérie, les systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques sont économiquement et techniquement viables ?**

****Quel logiciel est reconnu et facilement accessible (coût, facilité d'utilisation, champ d'application) pour réaliser de telles études ?**

L'objectif principal de cette étude est d'estimer la dimension appropriée stand-alone (autonome) hybride photovoltaïque / éolien / diesel avec batterie de stockage pour garantir l'autonomie énergétique de la consommation typique à distance avec le plus bas coût d'énergie. La production d'électricité décentralisée par sources d'énergies renouvelables, offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant, le caractère aléatoire de ces sources nous impose d'établir des règles de dimensionnement et d'utilisation de ces systèmes pour les exploiter au mieux. Parmi les systèmes les plus prometteurs pour l'utilisation des énergies renouvelables, il ya les systèmes d'énergie hybride, souvent utilisés

dans les régions isolées ou éloignées. Plusieurs travaux ont été faits dans ce domaine pour étudier ces systèmes. Parmi ces études :

[Algérie 2008] : le travail de [D. Saheb-Koussa a,*, M. Haddadi b, M. Belhamel]. Ils ont traité la conception du système d'énergie hybride composée de vent et photovoltaïque avec la batterie de stockage pour six sites en Algérie. Un générateur diesel est ajouté pour assurer une alimentation continue, avec un modèle de calibrage complet est développé sous Matlab / Simulink V.6.5, capable de prédire la simulation optimale de configuration.

L'objectif principal de cette étude est pour estimer la dimension appropriée de stand-alone hybride photovoltaïque / éolien / diesel avec stockage de la batterie que garantir l'autonomie énergétique de la consommation typique à distance avec le plus bas coût d'énergie et objectif secondaire est étudier l'impact des énergies renouvelables sur le potentiel qualitatif de la taille du système.

Ils ont fait son étude à travers des calculs par l'utilisation du même algorithme. Borowy et Salameh, (ont développé un algorithme pour optimiser une installation photovoltaïque - gamme avec la banque de la batterie pour un hybride PV / Fanfare système) et la technique de construction d'optimiser la taille de l'énergie PV / éolienne système a été établi et présenté par Markvart ainsi qu'une approche statistique pour les panneaux photovoltaïques. La taille et le nombre de batteries d'un PV / éolienne hybride autonome système a été présenté par Bagul.

Les résultats de ces systèmes indiquent que le système hybride est la meilleure option pour tous les sites considérés dans cette étude. Ainsi, il fournit des performances au système photovoltaïque ou éolien seul. Le principal avantage du photovoltaïque / éolien / diesel hybride avec le stockage de la batterie sont utilisés ensemble, la fiabilité du système est améliorée. Il a constaté que : l'optimisation du paramètre n'est pas le coût de production, mais il le service offert. [1]

[Allemagne 2010] : [L'institut de recherche Fraunhofer ISE et le fabricant d'onduleurs KACO New Energie] exploitent et étudient actuellement un système hybride PV-diesel en Allemagne. Le système est constitué d'un champ photovoltaïque fournissant une puissance maximale de 51 kW, un onduleur (120 kW) établit la tension et la fréquence du mini-réseau, de contrôleurs de charge à haute efficacité, d'un double système de batteries qui combine le caractère économique des batteries acide-plomb (288 kWh) avec les performances et la durabilité des batteries lithium-ion (96 kWh), ainsi que des compteurs intelligents qui offrent de nouvelles fonctionnalités pour la gestion des consommations. Ce mini-réseau est aussi conçu pour un éventuel raccordement futur au réseau national d'électricité. Un système de gestion est connecté aux différentes sources d'énergie ainsi qu'aux charges, afin d'assurer un fonctionnement aussi performant que possible du point de vue

technique et économique, et une utilisation optimale des ressources. Cet équipement permet de contrôler et d'ajuster la consommation au moyen d'un prix de vente de l'électricité variable. Par exemple, le système n'activera les pompes à eau qu'aux moments où l'énergie est largement disponible et à faible coût. [2]

[Australie 2011] : L'analyse de la faisabilité du système EDH (énergie hybride décentralisée) avec PV solaire, éolienne et de la biomasse en Australie par [Gang Liu, M. G. Rasul, M. T. O. Amanullah, M. M. K. Khan] avec un système de charge de 200 kWh – jour. A travers les aspects environnementaux et économiques. Avec une étude qui calcule le coût net actualisé (APN, \$), le coût de l'énergie (COE, \$/KWh) et les émissions en kg de gaz à effet de serre (GES) du système EDH fonctionnant sous la ressource spécifique d'énergie renouvelable. On a utilisé le logiciel HOMER (logiciel produit par : le Laboratoire National de l'énergie Renouvelable) comme un outil simulant leur coût et les émissions sont comparés les uns avec les autres entre les systèmes. Il est constaté que ce type de système d'énergie hors réseau est un moyen efficace de réduction des émissions à cause des impacts du vent, et les modules solaires dans le système. L'augmentation du prix de la biomasse a des impacts négatifs sur la faisabilité des systèmes. L'étude de la faisabilité des conditions solaires, le vent, la biomasse, l'autonome. Il est possible de résoudre la rurale par électricité fournie dans ce pays. Dans les différentes conditions climatiques des sept bureaux sélectionnés en Australie (Queensland, Territoire du Nord, du Sud Australie, Tasmanie, Victoria, Australie-Occidentale et en Nouvelle- Sud Pays de Galles). [3]

[Bangladesh 2012] : L'étude de [Rajib Baran Roy] porte sur la conception et l'analyse des coûts d'un système de propulsion hybride (l'étude consiste à déterminer la taille optimale et le coût d'installation d'un système d'alimentation hybride) de 1 MW avec l'utilisation de ressources locales et renouvelables puisque le gouvernement du Bangladesh fixe un objectif de fournir de l'électricité pour tous en l'an 2020 mais la demande d'électricité augmente chaque année de 8% malgré la majorité de la population vit dans les zones rurales ce qui représente environ 80% de la population totale. Une importante population dans les régions rurales et éloignées est privée de l'aide de l'électricité à partir du réseau électrique conventionnel. Seulement 31,2% de la population totale est connecté au réseau électrique (80% des urbains et 23% des ménages ruraux), ainsi que La production d'électricité du Bangladesh repose grandement sur les sources de carburants classiques.

Bangladesh est situé entre 20.30 et 26.38 ° de latitude nord et 88.04 et 92.44 ° de longitude, qui est un endroit idéal pour l'utilisation de l'énergie solaire, l'éolien et le biogaz qui peuvent être utilisés comme un autre moyen de production d'électricité à grande échelle pour cela, elle dispose de ressources suffisantes de biogaz qui peuvent être utilisés pour la production d'électricité, donc un

système de production d'électricité hybride est conçu, il comprend des sources d'énergie renouvelables telles que l'énergie solaire photovoltaïque, l'éolien, le biogaz et le four de sauvegarde à base d'huile. Elle néglige le générateur diesel en raison du coût élevé du diesel que le diesel à base production d'électricité n'est pas économiquement réalisable. En raison de la nature intermittente des énergies renouvelables, le coût initial de la technologie de l'énergie renouvelable est trop élevé.

L'emplacement du système hybride est choisi d'après les données météorologiques suivantes : le rayonnement solaire moyen annuel varie de 4,55 à 6,0 kWh/m²/jour alors que la vitesse annuelle moyenne du vent varie de 4,17 à 6 m / s.

Les résultats de simulation indiquent que le système hybride décentralisé de 1MW peut être constitué de la production d'électricité de 100 kW photovoltaïque, 250 kW de turbine de vent, 150 kW de générateur de biogaz et 500 kW de générateur de secours (four à base d'huile) et que la production d'électricité à grande échelle avec seulement l'énergie solaire photovoltaïque ou éolienne n'est pas économiquement réalisable. Le système hybride propose de réduire la consommation du carburant, les heures de fonctionnement du générateur à base d'huile et les émissions de CO₂ de 38%. [4]

[Indonésie 2013] : [Ayong Hiendro*, Rudi Kurnianto, Managam Rajagukguk, Yohannes M. Simanjuntak, Junaidi] ils ont analysés l'utilisation de l'éolienne et du photovoltaïque pour un système hybride PV / éolien avec le logiciel HOMER (Modèle Hybride D'optimisation de l'Energie Renouvelable) est utilisé en tant qu'outil qui facilite la conception optimale des systèmes hybrides PV /éoliens et pour effectuer la faisabilité technico-économique du système hybride PV / éolien.

Dans ce travail, l'étude de faisabilité technico-économique des systèmes hybrides PV / éolien est faite pour un petit village dans Temajuk situé dans une zone éloignée à terre et à potentiel éolien important et ayant un bon niveau d'irradiation solaire. Les analyses technico-économiques sont effectuées pour une batterie de stockage. La simulation a démontré qu'une éolienne de 1 kW a la capacité de produire de l'électricité de 496 kWh / an, tandis qu'un panneau PV de même taille, génère de l'électricité de 2079 kWh / an.

Les résultats montrent également que l'éolienne et les batteries sont les éléments les plus importants du système hybride PV / éolien. Ces deux composants donnent les plus grandes contributions à des coûts acceptables. Il est nécessaire de choisir leurs meilleures tailles afin de minimiser les coûts, mais en tenant compte qu'aucune charge n'est satisfaite. Les systèmes d'énergies renouvelables hybrides sont d'excellentes solutions pour l'électrification des zones reculées où l'extension du réseau est difficile et non économique. [5]

Chapitre 01

LES SYSTEMES DE PRODUCTION DE L'ENERGIE RENOUVELABLE

1.1. Introduction

La production d'électricité décentralisée par sources d'énergies renouvelables, offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant, le caractère aléatoire de ces sources nous impose d'établir des règles de dimensionnement et d'utilisation de ces systèmes pour les exploiter au mieux. Après un bref bilan des ressources énergétiques exploitables, nous nous intéresserons dans ce chapitre aux systèmes de production existants, en particulier relatifs aux sources solaires et éoliennes.

Considérant leurs caractéristiques saisonnières respectives, ces deux énergies (solaire et éolienne) ne se concurrencent pas mais au contraire peuvent se valoriser mutuellement. C'est pourquoi on propose ici un système hybride composé de ces deux sources d'énergie, qui consiste en l'exploitation optimale de la complémentarité entre elles. Certes, du point de vue économique les résultats apparaissent assez convaincants quant à la rentabilité du système hybride ci-dessus désigné, mais cela n'exclut pas le fait que la combinaison des deux sources constitue un système assez complexe du point de vue technologique.

1.2. Description d'un système PV

- Le mot « photovoltaïque » vient de grec « photos » et signifiant *lumière* et de « volta » du *nom du physicien italien* qui en 1800 découvrit la pile électrique. Mais c'est en 1839 que le français Antoine Becquerel fut le premier à mettre en évidence cette conversion particulière d'énergie.

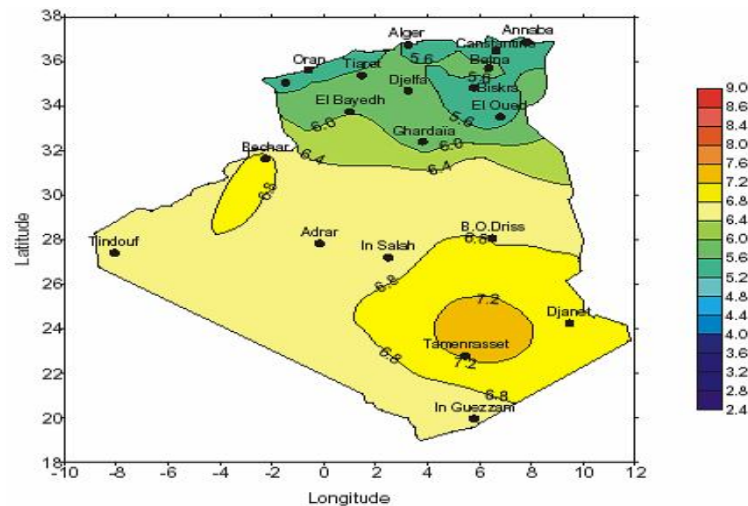


Figure 1.1. Carte préliminaire des irradiations solaires de l'Algérie

1.2.1. Principe de fonctionnement du photovoltaïque

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. [8]

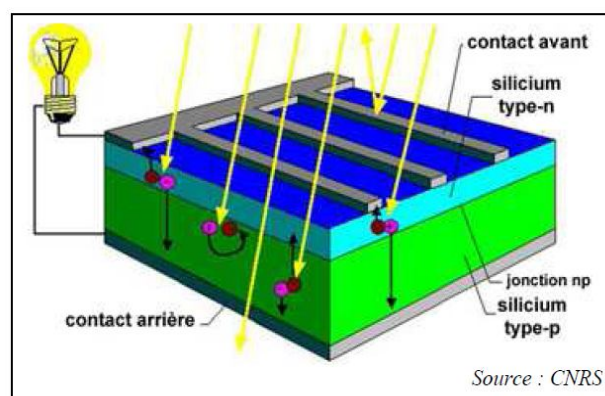


Figure 1.2. Fonctionnement d'une cellule solaire

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. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque. [9]

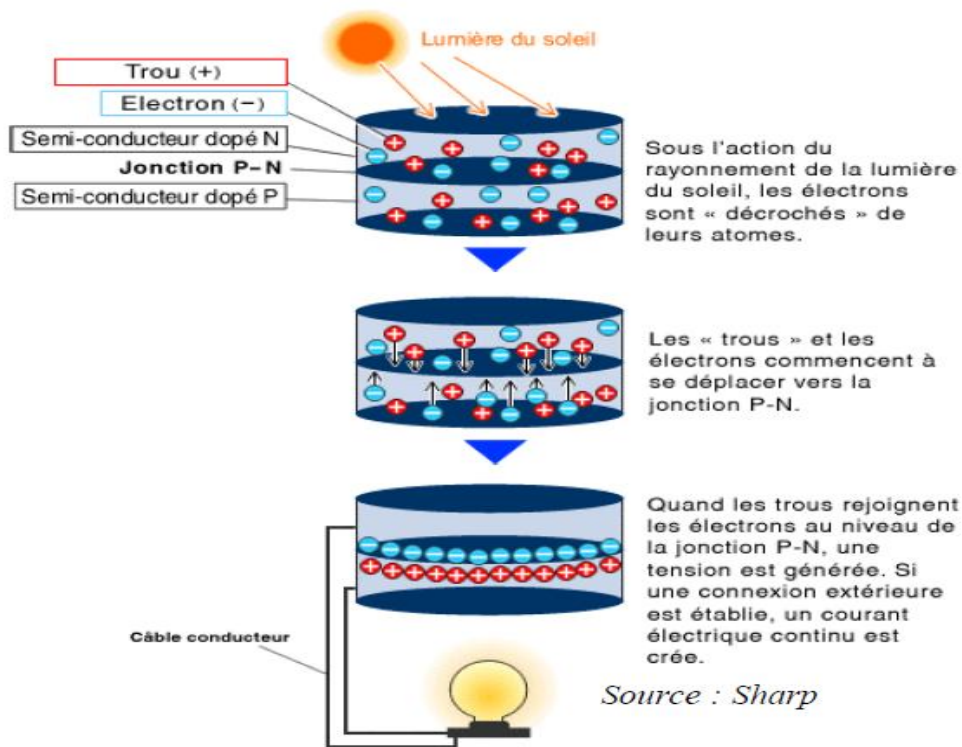


Figure 1.3. Effet photovoltaïque

1.2.2. Technologie des cellules solaires

Les technologies des cellules solaires se divisent en deux grandes familles :

A) - La cellule amorphe :

Les coûts de fabrication sont sensiblement meilleurs que ceux du silicium cristallin. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une alternative économique est recherchée, ou, quand très peu d'électricité est nécessaire (par exemple, alimentation des montres, calculatrices, luminaires de secours). Elles sont également souvent utilisées là où un fort échauffement des modules est à prévoir. Cependant, le rendement est de plus de 2 fois inférieur à celui du silicium cristallin.

Les cellules en silicium amorphe sont actuellement de moins en moins utilisées : 9,5 % de la

production mondiale en 2000, alors qu'elles représentaient 12 % en 1999.

D'autres techniques semblent gagner du terrain aujourd'hui, ce sont les technologies en ruban et les couches minces. [10]

B) - La cellule cristalline (qu'il soit mono ou poly) :

Est une technologie éprouvée et robuste (espérance de vie : 30 ans), dont le rendement est de l'ordre de 13 %. Ces cellules sont adaptées à des puissances de quelques centaines de watts à quelques dizaines de kilowatts. Elles représentent près de 80 % de la production mondiale en 2000.

- **B).1- La cellule monocristalline :**

Sont des cellules qui s'approche-le plus du modèle théorique, elle est effectivement composée d'un seul cristal divisé en deux couches. Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie, plus onéreux, il est cependant plus efficace que la cellule poly-cristalline

- **B).2- La cellule poly-cristalline :**

Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées : elles représentent 49 % de l'ensemble de la production mondiale en 2000. 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, leurs rendements est de 13% jusqu'à 20% en labo.



Cellule monocristalline



Cellule poly-cristalline



cellule amorphe

1.2.3. Modélisation des cellules photovoltaïques (PV)

Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément. Selon cette philosophie, plusieurs modèles électriques ont été proposés pour représenter la cellule photovoltaïque. Nous avons les deux diodes pour représenter les phénomènes de polarisation de la jonction PN. Ces diodes symbolisent la recombinaison de porteurs minoritaires, d'une part en surface de matériaux et d'autre part dans le volume de matériau. Le schéma de la

cellule photovoltaïque devient dans ce cas celui de la figure 1.3. Les cinq paramètres de ce modèle sont: [12]

I_L : courant photonique

I_{01} , I_{02} : respectivement les courants de saturation de la diode 1 et de la diode 2.

γ_1 , γ_2 : respectivement le facteur de qualité de la diode 1 et de la diode 2.

L'équation générale de ce modèle est :

$$I = [I_L - I_{01}(\exp(\frac{qV}{\gamma_1 K T \epsilon}) - 1) - I_{02}(\exp(\frac{qV}{\gamma_2 K T \epsilon}) - 1)]$$

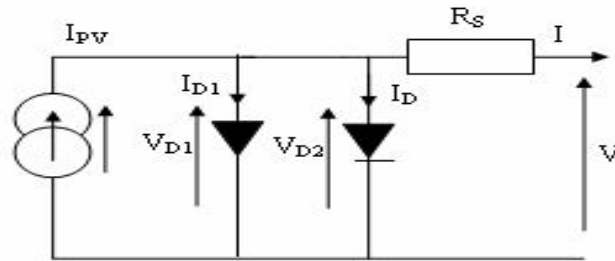


Figure 1.4. Modèle à cinq paramètres

1.2.4. Panneau Photovoltaïque

Afin d'obtenir des puissances de quelques KW à quelques MW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en série (augmenter la tension) et en parallèle (augmenter le courant) pour former un panneau (ou champ PV). La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants du panneau PV dépend : [11]

- Des besoins en électricité
- De la taille du panneau
- De l'ensoleillement du lieu d'utilisateur
- De la saison d'utilisateur

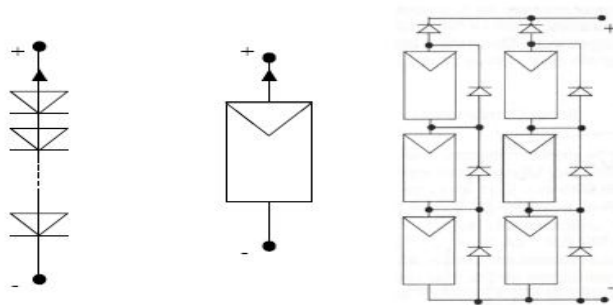
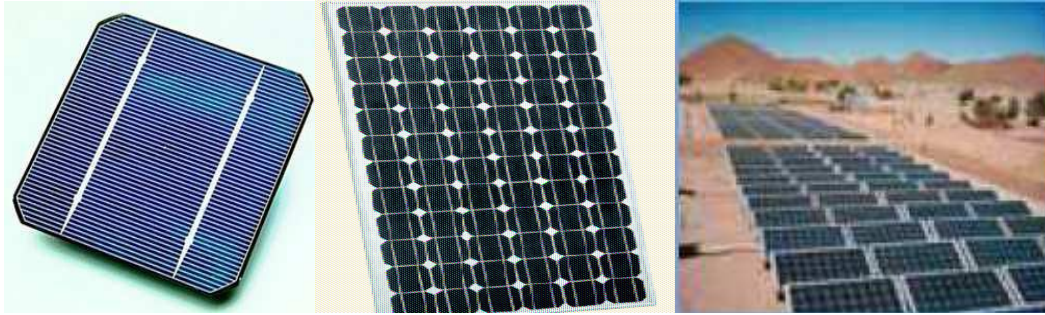


Figure 1.5. Cellule, module et panneau photovoltaïque [12]



Cellule photovoltaïque
(Monocristalline)]

Panneau photovoltaïque

Champ photovoltaïque

1.2.5. Avantages et inconvénients d'une installation PV

➤ Avantages

Les systèmes solaires électriques offrent de nombreux avantages, dont les suivants :

- Ils sont de fonctionnement sûr, non polluants et silencieux ;

L'utilisation de l'énergie solaire permet d'éviter l'utilisation d'énergies fossiles ou nucléaires pour fabriquer la même quantité d'électricité et donc de diminuer d'autant les émissions de gaz à effet de serre ou la production de déchets nucléaires. De manière générale, 100 [m²] de capteurs évitent la consommation d'1 [Tep] d'énergies fossiles (Tonne équivalent pétrole). Une production d'1[MWh] permet de substituer 0,086 [TEP] d'énergie et d'éviter l'émission de 120 [kg] de CO₂. Il n'y a pas de pièce en mouvement, ni de bruit et pas de production de polluants. Sur la base de 108 [g] de CO₂ émis par kWh électrique produit, la quantité de CO₂ évitée est de près de 4 [tonnes /an].

- Ils sont très fiables;

L'énergie solaire photovoltaïque fournit de l'électricité aux zones rurales les plus isolées.

- Ils n'exigent presque aucun entretien;

Ils fonctionnent de façon rentable dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales;

- Ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre aux besoins en matière d'électricité;
- Ils donnent une autonomie accrue – fonctionnement indépendant du réseau ou système de secours pendant les pannes d'électricité ;
- Production d'électricité décentralisée.

➤ Inconvénients

- Ils ne conviennent pas aux utilisations à forte consommation d'énergie comme le chauffage. S'il est souhaité d'utiliser l'énergie solaire à cette fin, il sera préférable de considérer d'autres solutions de recharge comme un chauffe-eau solaire, qui produit de la chaleur beaucoup plus efficacement.
- Les systèmes raccordés au réseau sont rarement de la technologie PV. Étant donné que ces systèmes peuvent être coûteux, le choix d'un système photovoltaïque dépend souvent d'une décision personnelle axée sur le style de vie ; tout comme le type de maison ou de voiture que vous pourriez avoir.
- Beaucoup d'appareils vendus dans le marché fonctionnent au 220 à 230 V alternatif. Or, l'énergie issue du générateur PV est unidirectionnelle et de faible voltage (<30V), elle doit donc être transformée par l'intermédiaire d'un onduleur.

1.3. Description d'un système éolienne

L'énergie éolienne est une ressource d'origine solaire, provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et la masse d'air est en perpétuel déplacement. Environ 0,25% du rayonnement solaire total est converti en énergie éolienne. [14] l'énergie éolienne est actuellement la moins chère de toutes les énergies renouvelables existantes. Une étude faite en 2003 sur l'état de l'art de l'éolien montre que le coût à cette époque du kilowattheure (kWh) d'origine éolienne était de 3.79 cent € [14]

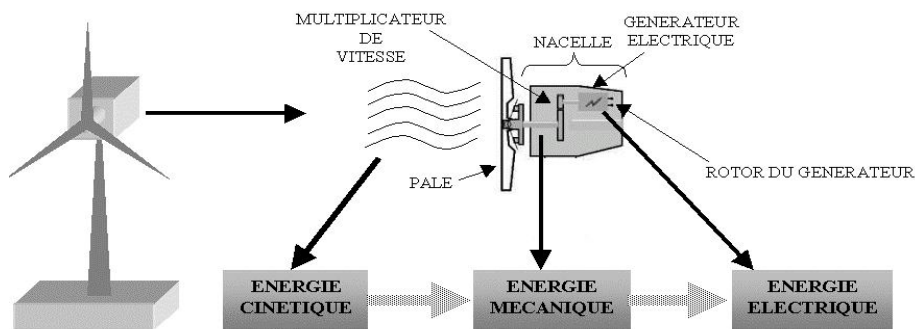
Le Tableau1 présente l'évolution durant les dernières années de la puissance éolienne installée dans les principaux pays.

Tableau 1. Puissance installée d'origine éolienne dans les principaux pays [15]

Payé	2000(MW)	2002(MW)	2004(MW)
Allemagne	5430	12001	16629
USA	2550	4708	6740
Espagne	2250	4144	8263
Danemark	2140	2889	3117
Inde	1167	1702	3000
Italie	350	785	1125
Pays-Bas	449	677	1078
Grande -Bretagne	391	562	888
Chine	302	399	764
France	69	153	416

1.3.1. Définition de l'énergie éolienne

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, elles sont généralement utilisés pour produire de l'électricité et entre dans la catégorie des énergies renouvelables. [16]

**Figure 1.6.** Conversion de l'énergie cinétique du vent

1.3.2. Constitution d'un aérogénérateur

Bien qu'il existe des turbines à axe vertical (Darius, Savonius,...), les machines à axes horizontal dominant très largement le marché des petites puissances (quelque dizaines de Watts, jusqu'à quelques MW). Les turbines sont toujours bipales ou, le plus souvent, tripales.

Dans les chaînes de conversions électromécaniques conventionnelles, on intercale entre la turbine et la génératrice un multiplicateur mécanique à engrenages ; la génératrice est alors très souvent une

machine asynchrone à cage, voire à rotor bobiné, et à double alimentation pour un fonctionnement à vitesse variable. Mais les multiplicateurs mécaniques ont leurs inconvénients, ils nécessitent une maintenance accrue et nuisent à la fiabilité surtout dans les grandes puissances. C'est la raison pour laquelle la tendance est à l'entraînement direct. La génératrice est alors une machine synchrone (rotor bobiné ou aimants) à très grand nombre de pôles et donc à fort couple depuis les années 80. Les puissances moyennes unitaires des aérogénérateurs sont passées de 50 kW, à 200 kW (1990), 500 kW (1998) à plus de 1 MW en 2002 (1,4 MW en Allemagne). L'accroissement des puissances permet des réductions de coût au kW ; les aérogénérateurs les plus puissants en 2003 frôlent les 5 MW avec des diamètres de turbine proches de 120 m ; la puissance actuelle (2009) est de l'ordre de 22,3 MW. [12]



Tripales	Bipales	Tripales
Excel: 7m -10 kW	Ge220: 220 kW	E 66: 65m-1.8 MW

Figure 1.7. Différents types de turbines

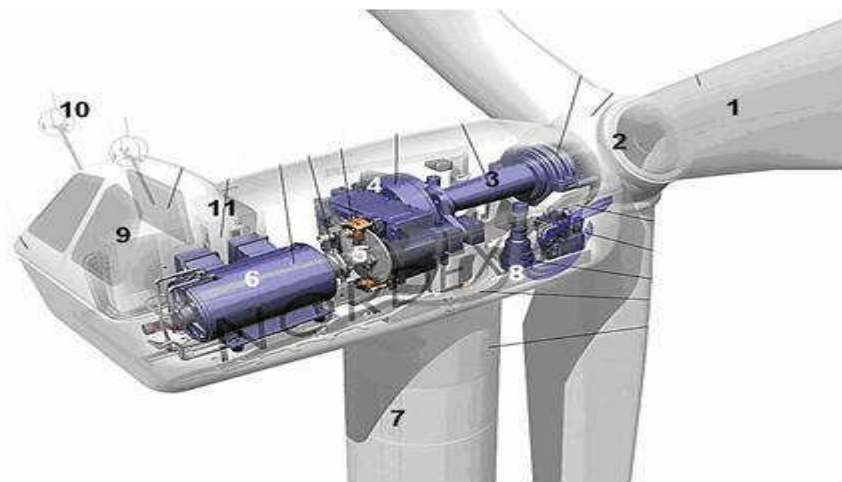


Figure 1.8. Composantes de l'aérogénérateur

1. Les pales : sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor
2. Le moyeu : il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.

3. L'arbre primaire (ou arbre lent) : relie les pales au multiplicateur.
4. Le multiplicateur : il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire.
5. L'arbre secondaire : il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.
6. Le générateur électrique : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut-être une dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.
7. Le mât : c'est un tube en acier, pilier de toute l'infrastructure. Sa hauteur est importante : plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mât a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.
8. Le système d'orientation de la nacelle : c'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein.
9. Le système de refroidissement : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.
10. Les outils de mesure du vent : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.
11. Le système de contrôle électronique : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.
12. Au pied du mât se trouve un transformateur.

1.3.3. Différents types de machines électriques utilisées

La configuration électrique d'un aérogénérateur à une grande influence sur son fonctionnement. Le fait qu'une éolienne fonctionne à vitesse fixe ou à vitesse variable dépend par exemple de cette configuration. Les avantages principaux des deux types de fonctionnement sont les suivants. [17]

A- Fonctionnement à vitesse fixée

- Système électrique plus simple.
- Pas besoin d'un système électronique de commande (cher) et plus grande fiabilité.
- Peu de probabilité d'excitation à la fréquence de résonance des éléments de l'éolienne.

B- Fonctionnement à vitesse variable

- Augmentation du rendement énergétique.
- Réduction des oscillations du couple dans le train de puissance.
- Réduction des efforts subis par le train de puissance.

- Génération d'une puissance électrique d'une meilleure qualité. [17] [18]

Les deux types de machines électriques les plus utilisés dans l'industrie éolienne sont les machines synchrones et asynchrones sous leurs diverses variantes.

1.3.3.1. Générateurs synchrones

C'est ce type de machine qui est utilisé dans la plupart des procédés traditionnels de production d'électricité, notamment dans ceux de très grande puissance (centrales thermiques, hydrauliques ou nucléaires). La gamme de puissance de ces générateurs synchrones utilisés dans le domaine éolien varie de 500 kW à 2 MW.

1.3.3.2. Générateurs asynchrones

C'est ce type de machine qui est utilisé dans la plupart des procédés traditionnels de production d'électricité, notamment dans ceux de très faible et moyenne puissance. La gamme de puissance de ces générateurs asynchrones utilisés dans le domaine éolien varie de moins de 20kW

1.3.3.3. Machines à courant continu

Présentent une excellente marge de variation de la vitesse de rotation, une bonne réponse dynamique et une excellente capacité de surcharge, mais elles sont chères et ont un grand poids.

1.3.3.4. Générateurs à réluctances variables

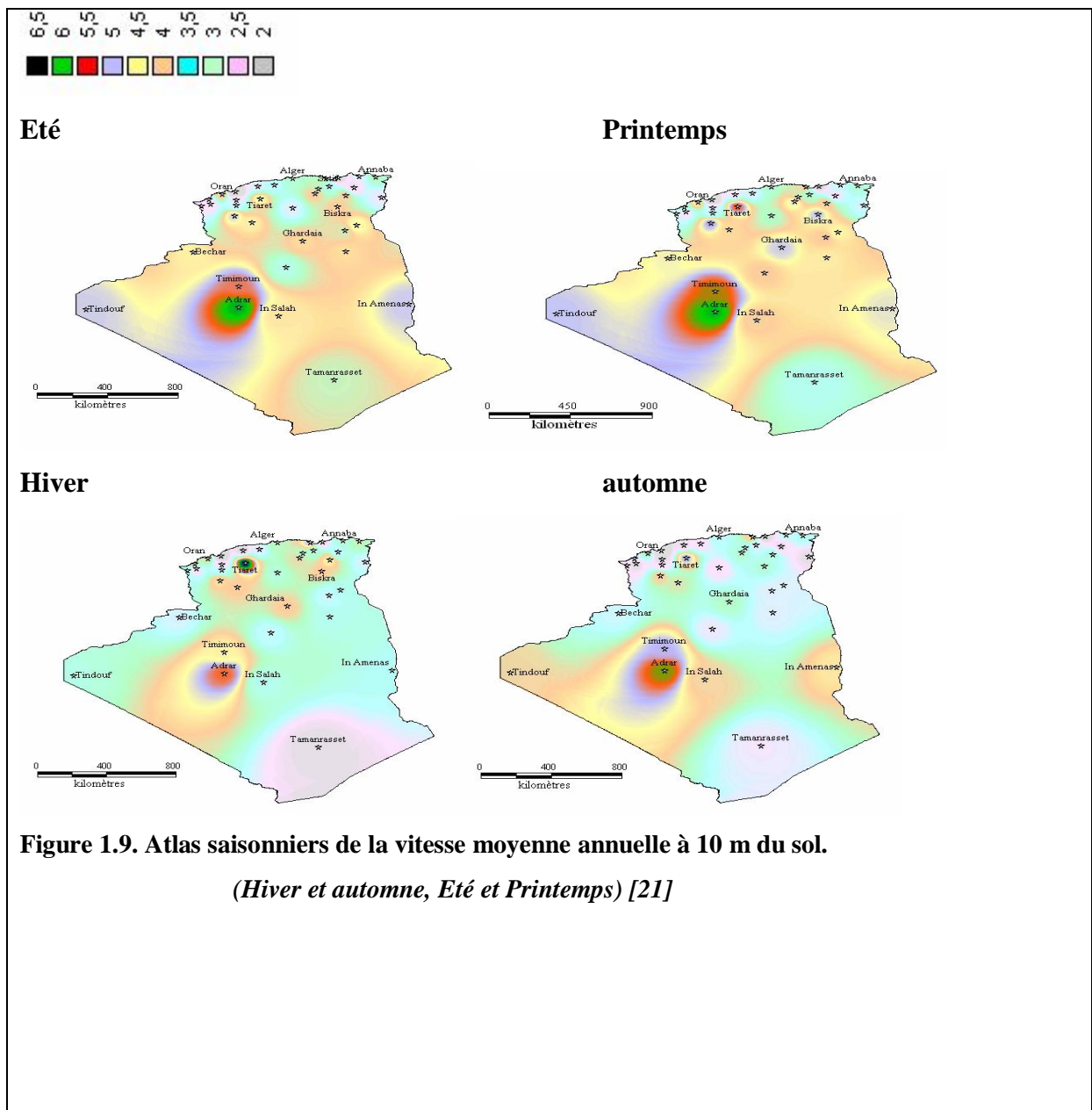
Sont des machines mécaniquement robustes ; ils ont de plus un bon rendement à toutes les vitesses, une large marge de variation de la vitesse de rotation et leur commande est simple. [19]

1.3.4. Gisement éolien en Algérie

En ce qui concerne l'Algérie, la ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et climat très diversifié. En effet, notre vaste pays se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200km et un relief montagneux, représenté par deux chaînes de l'atlas tellien et l'atlas saharien, entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien. Le sud algérien est caractérisé par des vitesses plus élevées que le nord, plus particulièrement le sud-ouest avec des vitesses supérieures à 4m/s et qui dépassent la valeur de 6m/s dans la région d'Adrar. Concernant le nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites

côtiers d'Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et El Kheiter ainsi que dans la région délimitée par Bejaia au nord et Biskra au sud.

Toutefois, la vitesse du vent subit des variations en fonction des saisons qu'on ne doit pas négliger, en particulier, lorsqu'il s'agit d'installer des systèmes de conversion de l'énergie éolienne. En utilisant la même gamme de couleurs, les atlas vents saisonniers de l'Algérie sont représentés en figures 1-10 (Eté et Printemps, Hiver et Automne). On remarque qu'en général, les périodes estivales et printanières sont plus ventées que le reste de l'année. [20]



1.3.5. Avantages et inconvénients de l'éolien

➤ Avantages

L'énergie éolienne constitue un enjeu important pour le territoire.

- Contribution à l'aménagement du territoire et l'amélioration du cadre de vie
- Création d'emplois
- Soutien pour le monde agricole
- Investissement local et société d'économie Mixte
- Vitrine pour la commune

➤ Inconvénients

- Eoliennes et acoustique
- Respect de la faune et de la flore
- Perturbations hertziennes et radars[23]

1.4. Description d'un Générateur Diesel

Dans le cas des installations autonomes, il est nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un SEH (système énergie hybride), le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone (figure 1.12). 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 du carburant au diesel, pour garder la vitesse du moteur et la vitesse du générateur constant.

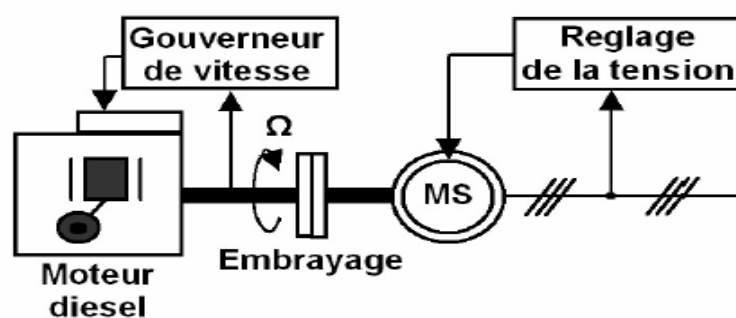


Figure 1.10. Configuration de générateur diesel

1.4.1. Réserve tournante

La réserve tournante est définie en [24] comme étant l'exigence du système de commande définie par la capacité du générateur classique de couvrir les changements immédiats causés par l'arrêt des générateurs d'énergie renouvelable et par l'augmentation soudaine de la charge. En effet,

la réserve tournante détermine la capacité instantanée de réserve minimale du GD en fonction des prévisions de la production d'énergie renouvelable et de l'évolution de la charge. Une réserve d'énergie doit être toujours disponible pour éviter l'effondrement du système lors d'une réduction soudaine de la production d'énergie renouvelable.

1.4.2. Temps de fonctionnement minimal

Cette stratégie consiste à maintenir le GD en fonctionnement pour une durée minimale prédéfinie en fonction de la variabilité de la charge ou de la variabilité de l'énergie renouvelable [25]. Celle-ci est utilisée pour réduire le nombre de démarrages /arrêts quand la puissance nette (la différence entre la puissance consommée par la charge et la puissance renouvelable) varie beaucoup. La minimisation du nombre de démarrages/arrêts du GD peut permettre d'éviter l'usure des moteurs diesels et leur démarreurs et en même temps réduire la consommation de carburant.

1.4.3. Hystérésis

Cette stratégie est souvent utilisée pour commander la déconnexion du générateur diesel [26]. Le GD est arrêté seulement si la puissance renouvelable est supérieure à la demande de la charge. Ce surplus minimale d'énergie (ou hystérésis) peut être mesuré à partir de la variation de fréquence du réseau quand cette fréquence est fixée par la GD utilisant un régulateur type proportionnel (p) et à partir de son niveau de charge quand il utilise un régulateur type proportionnel-Intégral (pi).

1.5. Description d'un système d'énergie Hybride

L'épuisement des ressources fossiles à plus ou moins long terme, la flambée des cours du brut et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie. Un fait qui interpelle fort que jamais le développement des énergies renouvelables. Et afin d'atténuer le caractère aléatoire d'un gisement d'énergie renouvelable donné, on peut multiplier les sources de natures différentes. On obtient alors un système dit multi-sources. Il présente en somme le double avantage de minimiser les perturbations de l'environnement grâce à une consommation sur le lieu de production de ressources naturelles renouvelables et d'une sécurité d'approvisionnement maximale. Raison pour lesquelles il se trouve utilisé dans de très nombreuses applications d'intérêt très sensible et stratégique comme les relais de télécommunication, les postes frontières, les dispensaires ,etc.... hors réseau d'électricité conventionnelle. la disponibilité permanente de la source primaire d'énergie est vitale et conditionne dans une très large mesure la fiabilité des installations et leur fonctionnement permanent.[23]

1.5.1. Présentation du système hybride

Le système hybride de production de l'énergie. Dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Le système qui nous intéresse regroupe l'éolienne, le photovoltaïque, et comme appoint un groupe électrogène.

Ces trois sources de production de l'énergie passent par un stockage électrochimique. L'ajout du groupe électrogène à un système de production d'énergie renouvelable peut d'une part augmenter la fiabilité du système et alimenter des charges plus énergétiques d'autre part. Diminuer de manière importante le cout de l'électricité produite par une diminution importante de la taille du générateur solaire et éolien. Nous allons envisager dans notre étude d'alimenter un site isolé. Situé dans trois zones climatiques algériennes. Ou de manière plus exacte d'apporter un certain service énergétique .en fait, ce n'est pas l'énergie en soi que réclame une population mais un service énergétique, a nous de lui apporter au moindre cout et avec une efficacité énergétique. [23]

1.5.2. Différentes configurations des systèmes hybrides

Deux configurations s'imposent [27] [28].

1.5.2.1. Architecture à bus à CC, ayant les avantages et inconvénients suivants

➤ Avantages

La connexion de toutes les sources sur un bus à CC simplifie le système de commande :

- Le générateur diesel peut être dimensionné de façon optimale, c'est-à-dire de sorte à fonctionner à puissance nominale pendant le processus de chargement des batteries jusqu'à un état de charge de 75 à 85 %.

➤ Inconvénients

- Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs.

- Les générateurs diesels ne peuvent pas alimenter directement la charge, l'onduleur doit donc être dimensionné pour assurer le pic de charge. [23]

1.5.2.2. Architecture mixte à bus à CC/CA

Dont les atouts et les inconvénients sont énumérés comme suit : [23]

➤ Avantages

- Le GD et l'onduleur peuvent fonctionner en autonome ou en parallèle. Quand le niveau de la charge est bas, l'un ou l'autre peut générer le nécessaire d'énergie. Cependant, les deux sources peuvent

fonctionner en parallèle pendant les pics de charge.

- La possibilité de réduire la puissance nominale du GD et de l'onduleur sans affecter la capacité du système à alimenter les pics de charge.

➤ **Inconvénients**

- La réalisation de ce système est relativement compliquée à cause du fonctionnement parallèle de l'onduleur qui doit être capable de fonctionner en modes autonome et non-autonome en synchronisant les tensions en entrée avec les tensions en sortie du GD.

Les **figures- (1.13) et (1.14)** montrent la configuration de chacun de ces deux systèmes :

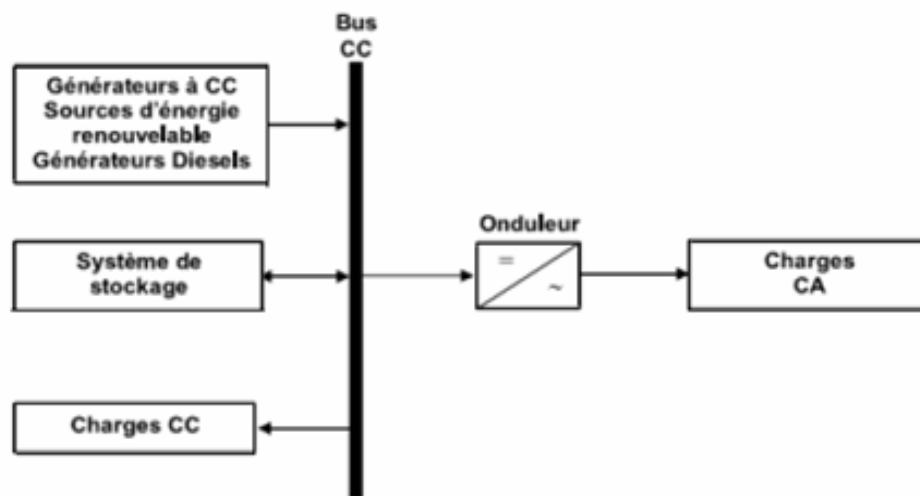


Figure 1.11. Configuration du SEH abus CC

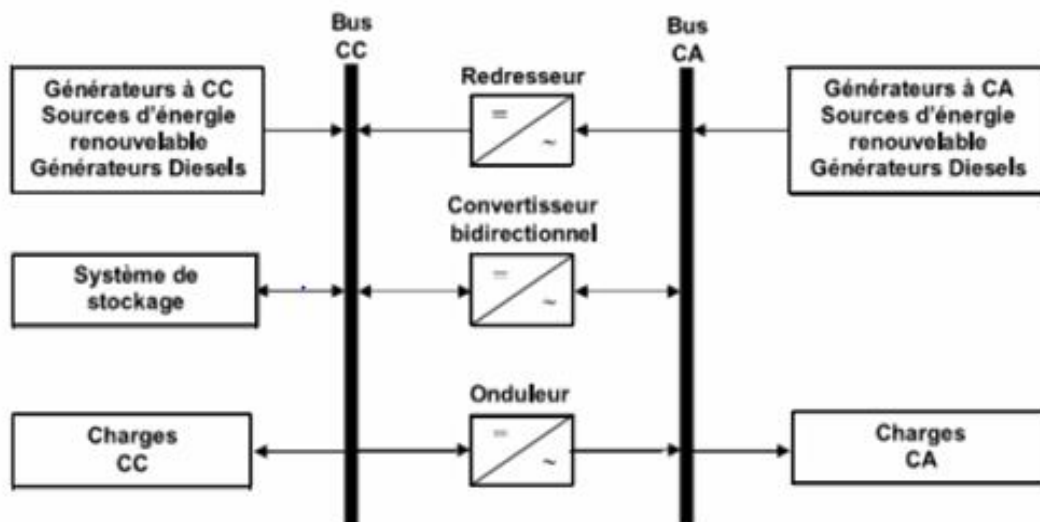


Figure 1.12. Configuration du SEH à deux bus à CC et à CA

1.5.3. Systèmes hybrides PV/diesel/éolien

Les systèmes hybrides PV/Diesel peuvent également être couplés avec d'autres sources d'énergie, telles les turbines éoliennes et les microcentrales hydrauliques. Lorsqu'il y a complémentarité des productions électriques. Dans les régions ensoleillées l'été et avec des vents forts pendant l'hiver. Les systèmes PV/éolien/diesel seront couverts par un groupe diesel.

La configuration d'un tel système est donnée par la figure (1.13). [23]

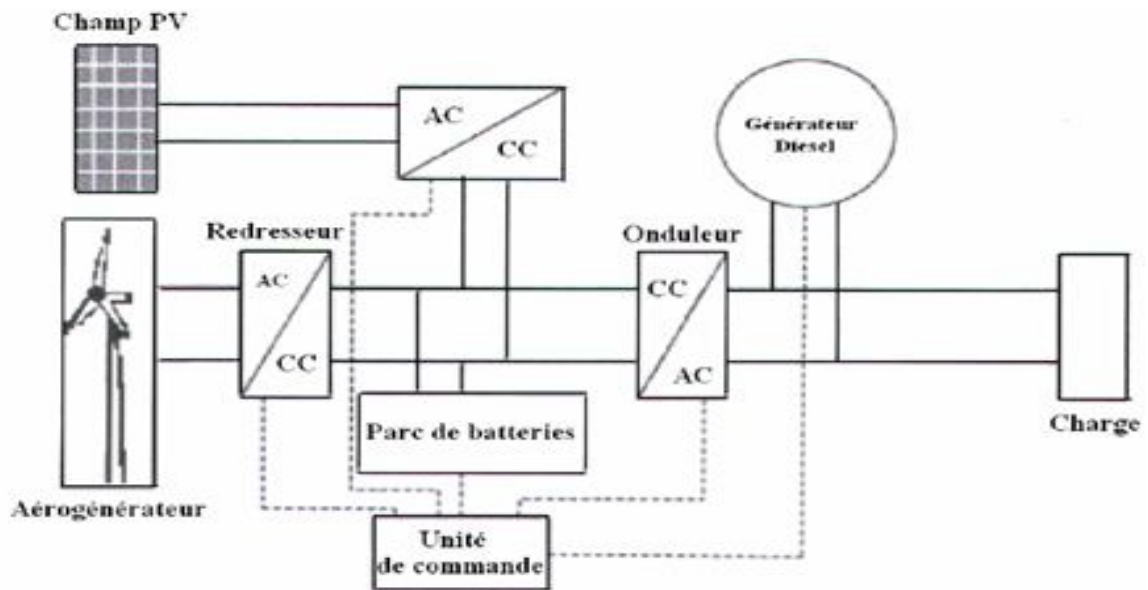


Figure 1.13. Modèle général d'un système hybride PV/éolien/diesel



Figure 1.14. Synoptique d'une installation expérimentale-système de production hybride PV/éolien associé au stockage de l'énergie

1.5.4. Instruments du système

Le système est largement instrumenté : [23]

1.5.4.1. Capteurs permettant d'obtenir les conditions météo

- Vitesse du vent.
- Direction du vent.
- Ensoleillement dans le plan horizontal.
- Température ambiante.
- Ensoleillement dans le plan des panneaux.
- Température des panneaux.

1.5.4.2. Capteurs permettant la mesure des courants, tensions et puissances

- Chaines de production éolienne.
- Chaîne de production photovoltaïque.
- Batterie.
- Bus continu.
- Réseau de connexion.

Ces données seront ensuite envoyées vers un système de gestion et pilotage qui permet de commander le niveau de tension de la batterie. Avec une telle structure. Nous pouvons contrer les transferts d'énergie en intervenant sur le niveau de la tension batterie.

Des systèmes de sécurité (contacteur) permettent de court-circuiter les éoliennes et les panneaux photovoltaïques si le niveau de tension de la batterie devient trop important. Toutes les données des capteurs sont stockées pour permettre l'affichage et l'analyse des grandeurs caractéristiques du dispositif. Les éléments de ce schéma seront détaillés au fur et à mesure de l'avancement de l'étude.

1.6. Analyse des gros systèmes

En plus, qu'il existe une différence entre la situation hors réseau et la situation connectée au réseau, il existe aussi une différence entre les petits systèmes et les gros systèmes. Plusieurs petits systèmes de quelques dizaines de kilowatts peuvent être équivalents en apport d'énergie à un gros système de centaines de mégawatts, mais au niveau environnemental, les nombreux petits systèmes risquent d'être plus dommageables. Ces petits systèmes nécessitent leur propre réseau donc contrôleur, convertisseur et banque de batteries. Le gros système utilise plus efficacement tous ses éléments alors que les petits systèmes n'utilisent pas ses éléments à leur pleines capacités. Il est

parfois impossible de faire un réseau important en milieu isolé vu les distances à couvrir pour relier les gens ou les divers besoins. Une étude faite en 2006 compare différentes technologies pour de très gros systèmes (Ito, Kato, Komoto, Kichimi, & Kurokawa). Les conclusions sont intéressantes et très bien formulées cependant elles étudient seulement le coût, l'énergie utilisée et les émissions de CO₂ émises sur tout le cycle de vie comme paramètres de comparaison. Il est cependant difficile à dire si l'étude portait sur la situation hors réseau ou connectée au réseau et quels éléments avaient été modélisés. Cette étude semble simplement tenir compte des modules nécessaires pour répondre aux besoins sans tenir compte du système complet. De plus, les conclusions pour un gros système ne peuvent pas s'appliquer pour un petit système puisqu'ils n'utilisent pas exactement les mêmes technologies pour leurs composantes puisque les capacités diffèrent.

1.7. Analyse Economique

L'analyse économique passe bien sûr par le calcul des coûts du projet et sa rentabilité. Divers indices comme l'TEP peuvent être utilisés. Cet indicateur est le moment auquel la source d'énergie devient rentable au niveau énergétique, c'est-à-dire que l'énergie fournie par la source couvre les dépenses énergétiques pour l'implantation de cette source. Les options utilisant des énergies renouvelables peuvent être comparées à d'autres options comme l'option existante (les génératrices) ou l'option commune de la région, province ou du pays (se connecter au réseau). Dans le cas présent, s'il y a possibilité de raccordement au réseau, il faudrait estimer les coûts associés versus les coûts des options des technologies renouvelables. S'il n'y a pas possibilité de raccordement au réseau, diverses possibilités sont disponibles : utiliser un système avec génératrice ou un système d'énergies renouvelables pour chaque maison ou besoin précis (environ 5 kW – 10 kW) ou faire un réseau alimenté par des énergies renouvelables pour un groupement des maisons ou de besoins, mais qui serait de plus grande capacité (environ 50 kW).

Ensuite, une analyse plus globale peut être faite pour les technologies afin de savoir si elles sont de bons stimulants économiques. Si le domaine est en essor et permet de créer des emplois, les technologies deviennent intéressantes. De plus, si la région présente des avantages face à d'autres pour l'implantation cette technologie, les gouvernements veulent attirer cette industrie. Plusieurs gouvernements offrent des incitatifs pour l'utilisation des technologies renouvelables ou pour des mesures d'efficacité énergétique.

1.8. Analyse de l'aspect social

L'aspect social est de façon générale l'amélioration de la condition humaine par la satisfaction de besoins essentiels et l'amélioration de la qualité de vie. Ceci intègre les principes généraux d'accès à l'emploi, à l'éducation, aux soins médicaux, aux services sociaux et à un logement de qualité. Dans de nombreux pays en voie de développement ou sous-développés, les systèmes hybrides ou photovoltaïques sont utilisés pour la désalinisation de l'eau de mer pour offrir de l'eau potable ou encore pour réfrigérer les médicaments ou alimenter les équipements médicaux dans les cliniques des régions isolées. L'utilisation de l'énergie solaire pour ce genre de besoins est essentielle à l'amélioration de la qualité de vie des gens de ces régions. De plus, l'ajout de systèmes éoliens aux systèmes photovoltaïques permet d'offrir une sécurité pour un apport en énergie continue. Pour les cliniques, par exemple, souvent le système photovoltaïque ou hybride est couplé à une génératrice puisqu'on ne peut pas permettre une défaillance du système et se retrouver sans apport d'énergie.

De plus, plusieurs villages reculés du monde installent ou font des projets d'installations d'énergies renouvelables. Ces installations peuvent simplement être utilisées pour pomper ou chauffer de l'eau ou encore apporter un besoin minimal en énergie par exemple dans les écoles ou centres communautaires. L'aspect social peut aussi se traduire par la responsabilité sociétale de l'entreprise. Ceci se traduit par les bonnes conditions de leurs employés, le respect des communautés environnantes et du territoire. L'employeur doit offrir de bonnes conditions de travail (santé et sécurité, hygiène et propreté des lieux) et aussi leur donner de la formation nécessaire.

1.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons suscité à tous les systèmes compétents dans la production d'énergie renouvelable (l'énergie solaire et éolienne). Nous avons atteint que l'énergie solaire qui a besoin de panneaux solaires pour la convertir en énergie électrique sont de tailles très diversifiées et que la nature de la région et aussi la même chose à l'égard de l'éolienne qui dispose de plusieurs types de turbines (bipales, tripales). Mais le troisième système est un objectif global « système hybride » qui contient PV/éolien/GD, parce que c'est le système le plus efficace, mais le coût élevé d'investissement a réduit utilisation dans tous les pays du Tiers-Monde. Par contre les pays développés utilisent beaucoup les types fabriqués et donc le coût est moindre.

Chapitre 02

PRESENTATION DU LOGICIEL « HOMER »

2.1. Introduction

Étant donné les différents efforts des dernières années à travers le monde pour diminuer la dépendance au pétrole, beaucoup de ressources ont été mises de l'avant pour développer les énergies renouvelables et principalement, l'énergie éolienne et l'énergie solaire photovoltaïque. Ces énergies sont en forte croissance partout à travers le monde. Les outils comme les logiciels font partie des grandes réalisations concernant ces énergies à promouvoir. De nombreux logiciels existent maintenant pour modéliser, optimiser ou dimensionner les différents systèmes conçus à partir de l'énergie renouvelable. Beaucoup de ces logiciels sont spécialisés pour un type d'énergie particulier. Il en existe un bon nombre pour le solaire photovoltaïque ainsi que pour l'énergie éolienne.

2.2. Présentation du logiciel HOMER

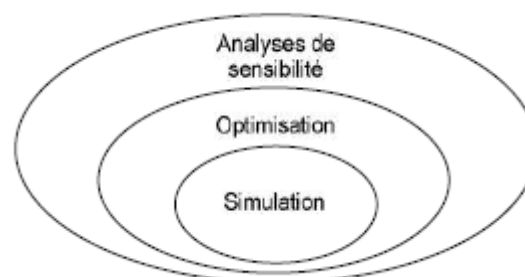
HOMER est un logiciel développé pour des systèmes de production d'énergie de petites puissances. Il permet de faire des simulations de systèmes avec des énergies renouvelables et avec des énergies fossiles. Un de ses grands atouts est la possibilité de pouvoir simuler des systèmes hybrides combinant différentes sources d'énergie qu'elle soit renouvelable ou fossile. La première version a été développée en 1992 pour NREL (US National Renewable Energy Laboratory), il a ensuite subi de nombreuses améliorations dans plus de 40 nouvelles versions. La version utilisée pour le présent projet est HOMER 2.68 beta version juillet 2009. Depuis, il y a eu 2 nouvelles versions disponibles pour 2.75 et 2.76 qui sont maintenant vendues pour un faible coût 99 \$US pour les nouveaux utilisateurs et pour 49 \$US pour les anciens utilisateurs. La 28ème version 2.68 beta est toujours disponible gratuitement. Ce logiciel est largement utilisé dans plus de 190 pays et par plus de 40 000 utilisateurs. Voici une brève discussion sur le logiciel concernant les énergies renouvelables (HOMER)

Tableau 2.1. Paramètres pour le choix de logiciel – HOMER.

Paramètre	Oui / Non / En partie	Explication
Langue	OUI	En anglais
Accessibilité à tous	OUI	Gratuit, téléchargement disponible en ligne, aide et tutoriel, fichiers d'exemple disponibles en ligne.
Plusieurs technologies disponibles	OUI	Éolien, diesel et photovoltaïque
Systèmes hors réseau	OUI	---
Simulation de systèmes dans plusieurs pays	OUI	Partout à travers le monde selon des lieux prédéterminés.
Évaluation des coûts	OUI	---
Optimisation des systèmes	OUI	---

2.3. Principales caractéristiques

Tout d'abord, ce logiciel permet de faire des simulations pour ensuite optimiser les systèmes et pour finalement terminer avec des analyses de sensibilité sur ces systèmes optimisés. La solution obtenue par HOMER est la solution la moins coûteuse parmi différentes combinaisons de systèmes d'énergies renouvelables, d'énergies fossiles ou de systèmes hybrides comprenant deux sources d'énergie ou plus. La Figure 2.1 représente le modèle conceptuel du logiciel HOMER.

**Figure 2.1.** Modèle conceptuel du logiciel HOMER

Le logiciel permet de faire la simulation d'un système selon des données de gisement (solaire, éolien, diesel, etc.) en fonction d'une demande énergétique (besoins en énergie). Par la suite, il est possible d'analyser plusieurs configurations différentes pour ce même système afin d'en obtenir un système optimisé au niveau du coût. Le logiciel simule toutes les configurations demandées et donne la meilleure solution, la solution la moins chère, parmi celles-ci. Ensuite, il est finalement possible de faire des analyses de sensibilité afin de savoir si la solution trouvée reste la meilleure même s'il y a certains changements dans les différents paramètres entrés (variation du coût de la technologie, variation dans les données de gisement, etc.). Il est donc possible de faire bon nombre d'analyses avec de nombreuses configurations différentes en moins de quelques minutes de simulation.

- ★ Le logiciel permet de faire des simulations avec différents systèmes de production d'énergie :
 - panneaux solaires photovoltaïques,
 - ★ éoliennes,
 - ★ barrage hydroélectrique au fil de l'eau,
 - ★ biomasse,
 - ★ génératrices (diesel, essence, biogaz, combustibles alternatifs et combustibles personnalisés, co alimentées),
 - ★ réseau électrique,
 - ★ micro turbines,
 - ★ Piles à combustible.

HOMER offre aussi une vaste gamme de dispositifs d'accumulation ou de récupération d'énergie :

- ★ banque de batteries,
- ★ volants d'inertie,
- ★ flow batteries,
- ★ hydrogène,

On peut aussi entrer divers types de besoins énergétiques :

- ★ profils de consommation journaliers avec des variations selon les saisons,
- ★ charge différée pour le pompage d'eau ou pour la réfrigération,
- ★ charge thermique,
- ★ mesures d'efficacité énergétique.

HOMER peut donc simuler un large éventail de systèmes différents en plus de toutes les combinaisons possibles de systèmes hybrides.

2.4. Interfaces

Le logiciel HOMER est facile à utiliser et son interface est similaire aux logiciels usuels, il est donc muni d'un menu dans le haut ainsi que des icônes que l'on peut utiliser sans aller dans les menus. On peut considérer que l'interface d'HOMER a trois zones importantes comme indiqué sur la Figure 2.2 : la zone de définition du système, celle des ressources et celle des résultats.

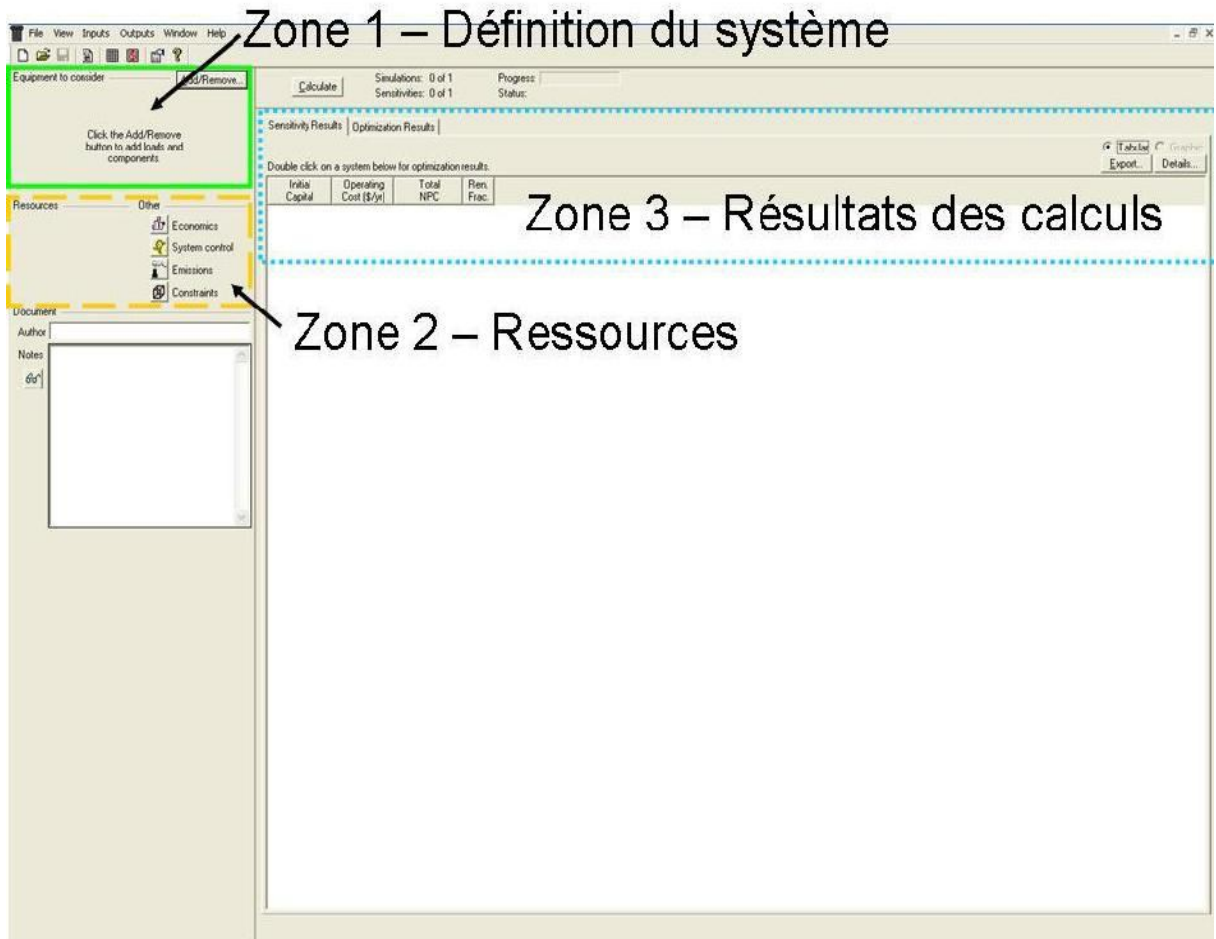


Figure 2.2. Interface HOMER – Fichier vierge

La zone de définition du système permet de choisir les équipements qui seront inclus dans le système à modéliser. Il suffit de cocher les éléments à utiliser selon les choix illustrés à la Figure 2.3. De plus, dans cette même fenêtre, il est possible de choisir : de modéliser le réseau électrique, d'en faire la comparaison avec un système hors réseau ou simplement de ne pas modéliser le réseau.

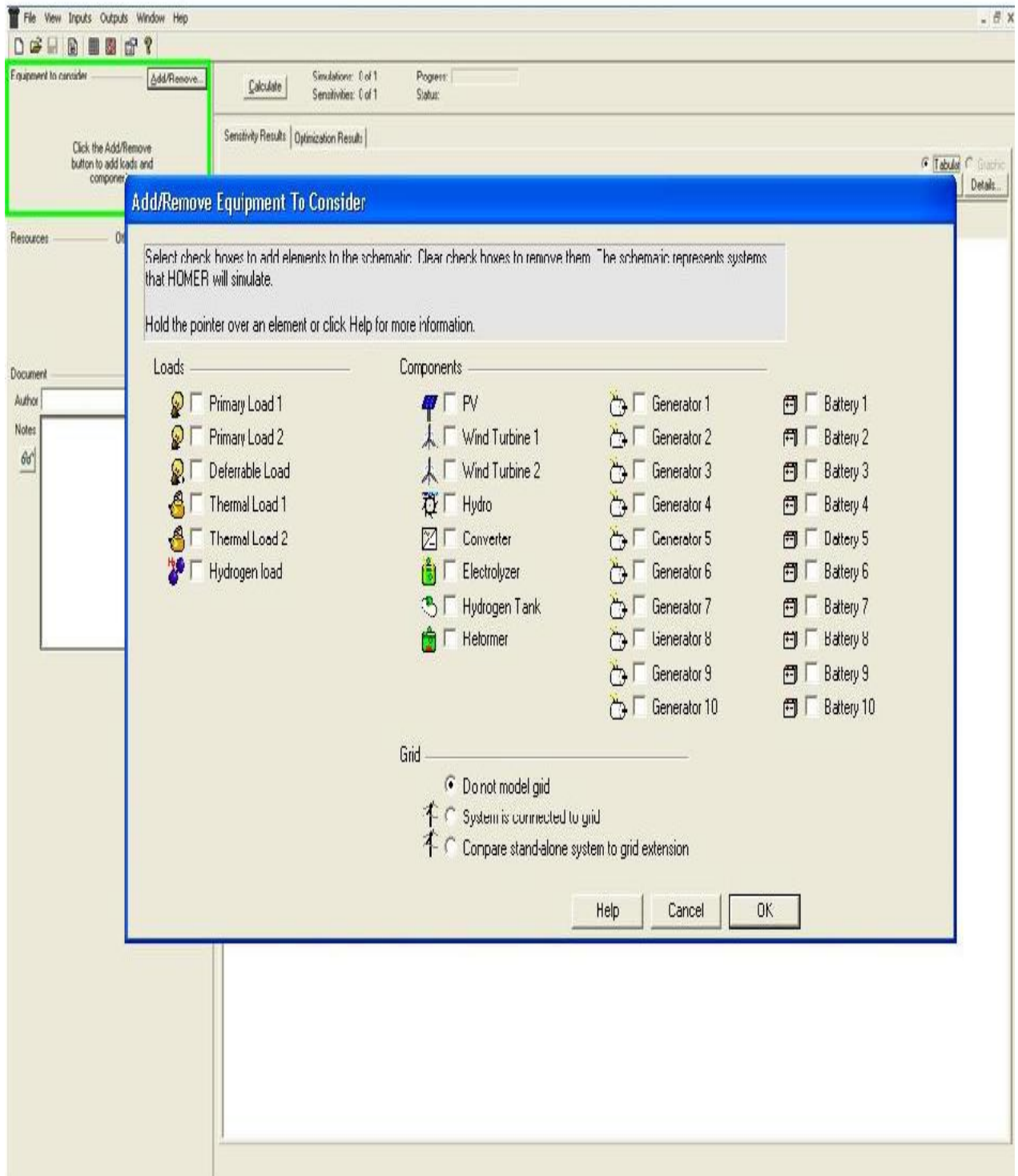


Figure 2.3. Interface HOMER – Équipements à ajouter

Une fois sélectionnés, les divers équipements apparaissent dans la zone 1 de définition du système comme à la Figure 2.4 et les ressources nécessaires aux équipements sélectionnés apparaissent, elles, dans la zone 2 de définition des ressources comme à la Figure 2.5.

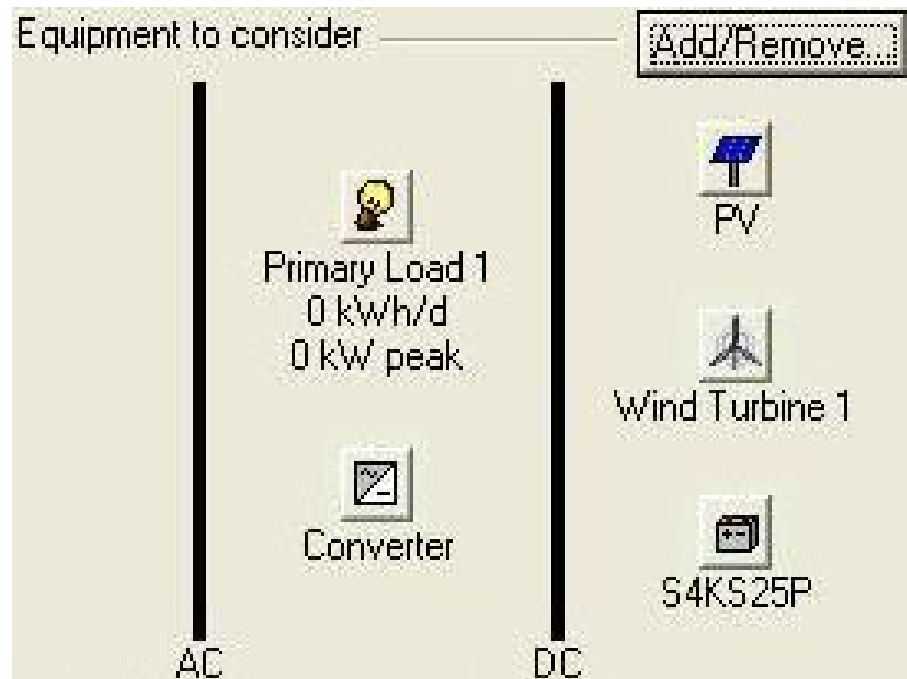


Figure 2.4. Interface HOMER – Équipements sélectionnés



Figure 2.5. Interface HOMER – Ressources

Dans ces deux zones, pour chaque icône, il y a une fenêtre à remplir ; ce sont les données à fournir pour faire une simulation. Les données d'entrée pour le présent projet seront définies dans la zone 4. Une fois ces données sont entrées, on peut faire calculer HOMER, en cliquant sur l'icône comme il est illustré dans la Figure 2.6.

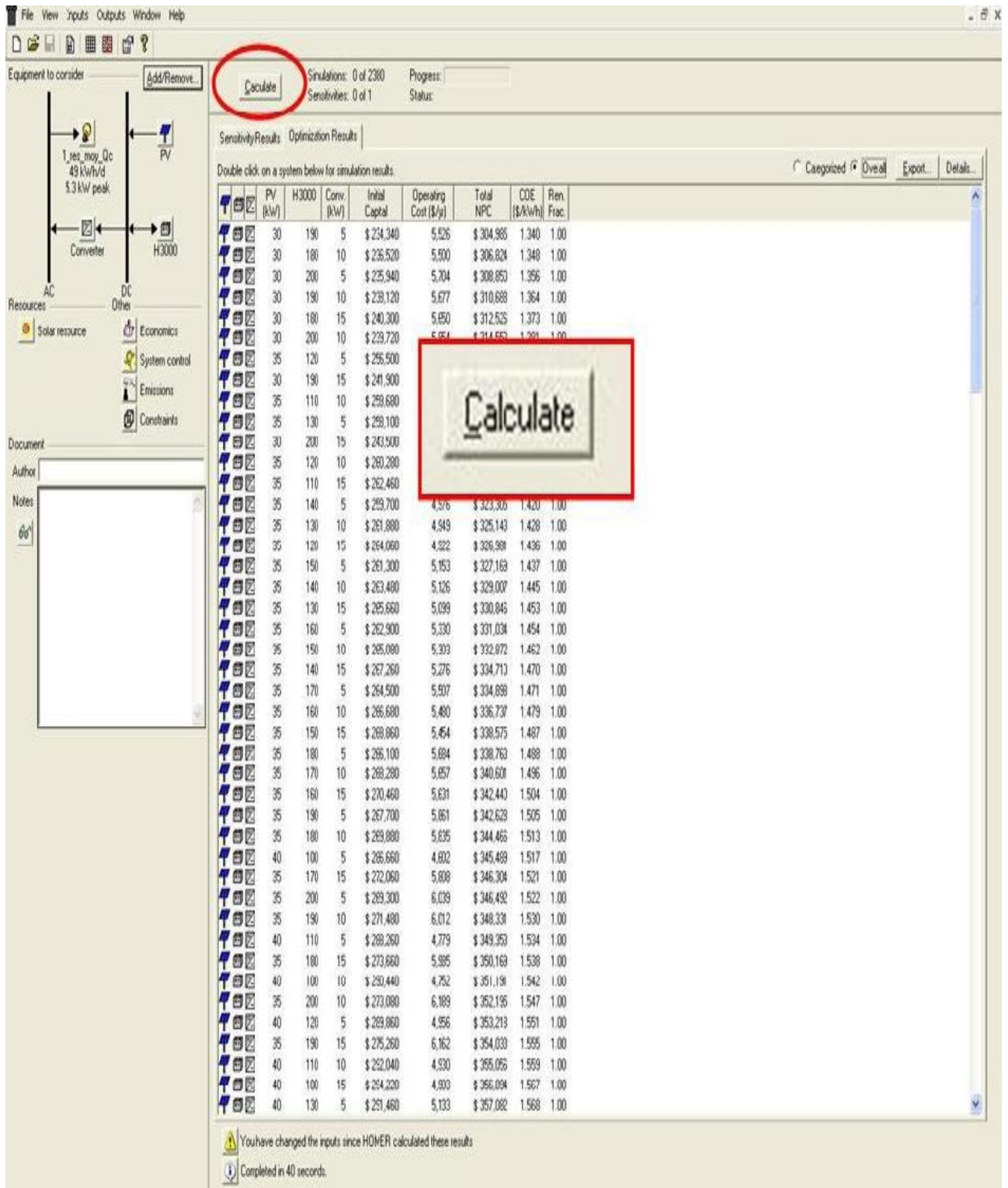


Figure 2.6. Interface HOMER – Fichier complété

Lorsque le calcul est complété, les résultats apparaissent et la solution la plus économique est la première comme illustré à la Figure 2.7. Un résumé du système et des coûts reliés sont affichés dans la zone des résultats.

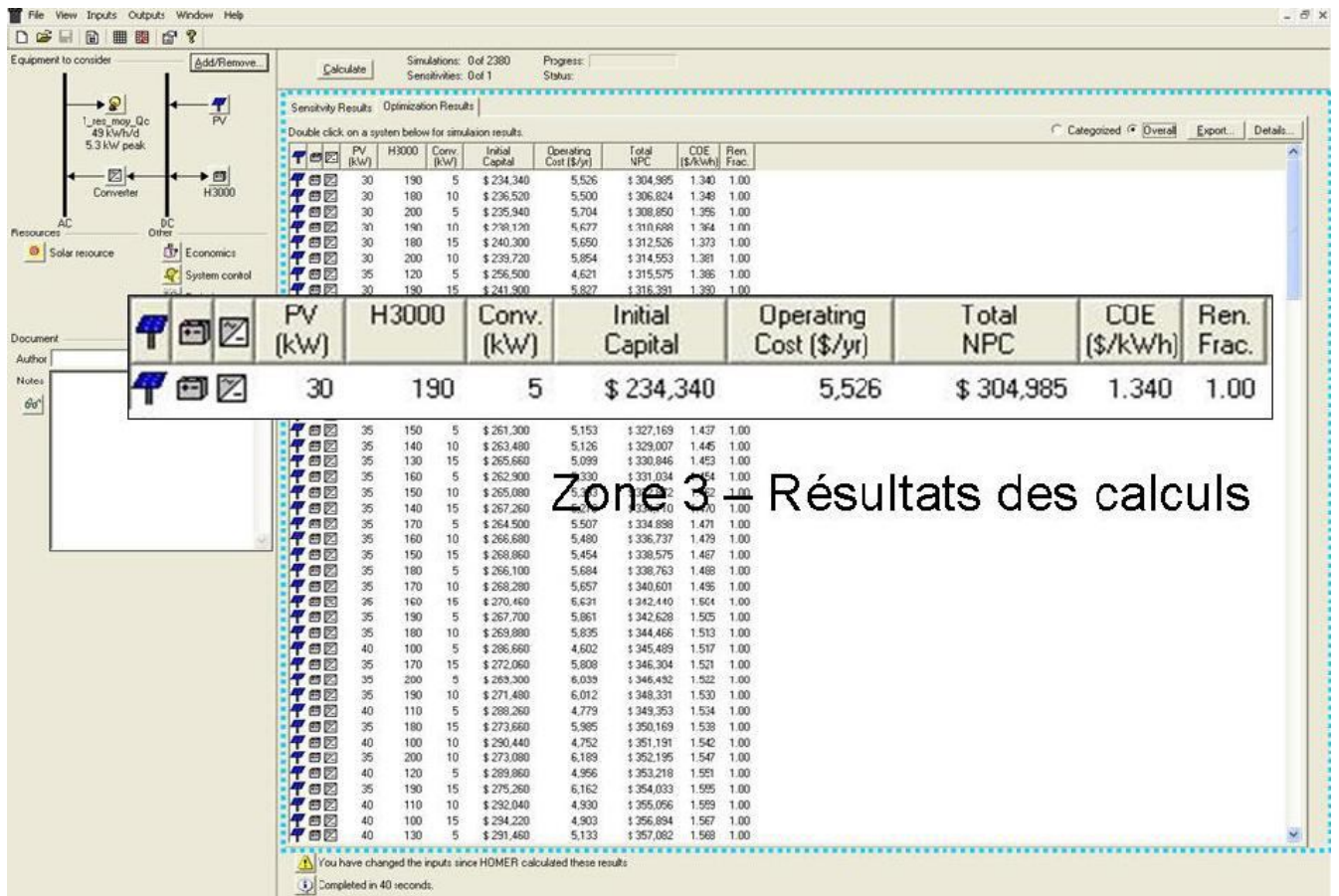


Figure 2.7. Interface HOMER – Résultats des calculs

2.5. Données d'entrée

Les données à faire entrer sont celles reliées à la zone 1 et 2 du logiciel HOMER. Il s'agit de données reliées à la consommation énergétique, aux équipements (panneaux solaires photovoltaïques, éoliennes, génératrices, onduleurs, batteries ou autres équipements) et aux ressources nécessaires comme les données de gisement solaire ou éolien, aussi bien que les données reliées au combustible utilisé par la génératrice. Dans la zone 2 des ressources, il y a aussi certains paramètres économiques que l'on peut modifier. D'autres paramètres permettent différents contrôles du système (surtout au niveau de la simulation des banques de batteries et des génératrices). Dans la zone des ressources, on peut aussi mettre des pénalités monétaires pour les émissions émises ou bien un seuil limite d'émissions à ne pas dépasser lorsque la simulation sera effectuée. Finalement, certaines contraintes peuvent être exigées comme une fraction minimale d'énergie renouvelable à avoir dans le système ou encore accepter un certain pourcentage de déficits en énergie. Une fois toutes les sections remplies, Figure 2.8, on peut lancer la simulation en cliquant sur l'icône « calculer ».

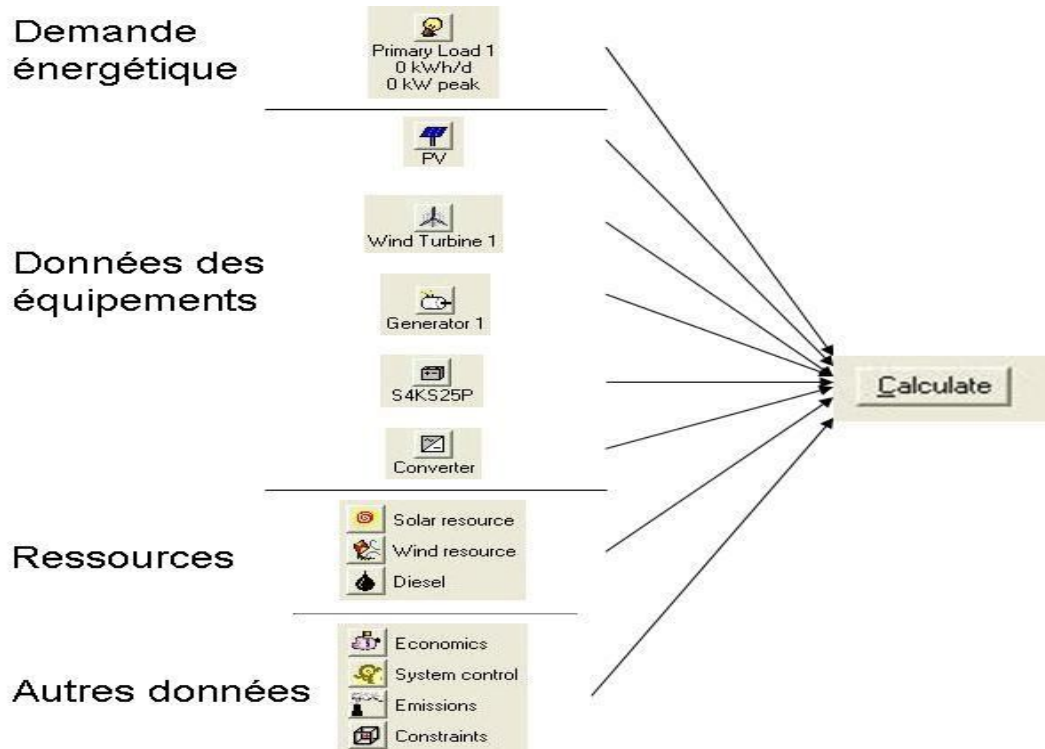


Figure 2.8. Données à fournir

Plus de détails seront définis dans l'annexe 1 pour mieux décrire les informations à fournir pour chacun des icônes illustrés dans la Figure 2.8.

2.6. Résultats pouvant être obtenus

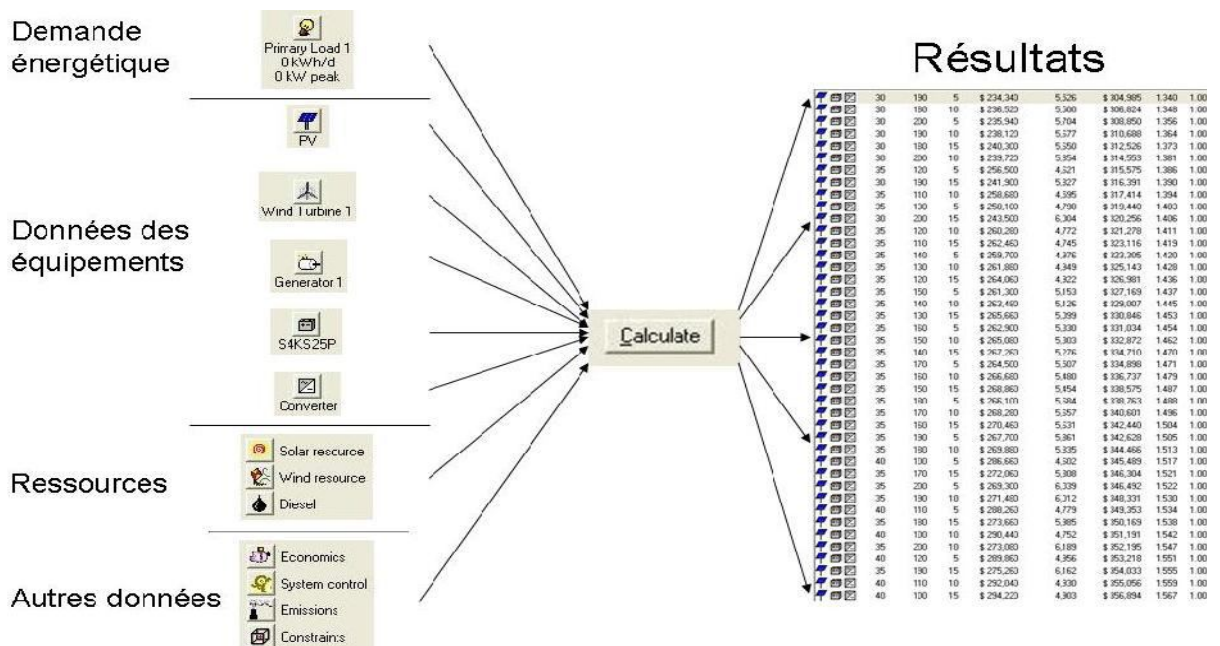


Figure 2.9. Résultats obtenus après simulation

Une fois toutes les données ont été entrées et la simulation lancée, on obtient de nombreux résultats comme illustré à la Figure 2.9. Etant donné qu'il est possible de faire entrer de nombreuses configurations différentes pour un même type de système, il est possible de visualiser la liste des résultats de deux façons : « *categorized* » et « *overall* ». Si on choisit l'option « *categorized* », la liste présente l'option la plus économique pour chaque catégorie de système et donc par type de système. Par exemple, HOMER affichera seulement la meilleure option pour un système de type photovoltaïque avec batteries même si la simulation a été faite selon plusieurs configurations différentes (différents nombres de panneaux, différents nombres de batteries). Pour l'option « *overall* », HOMER affiche tous les systèmes sur la même liste. Le premier résultat affiché est le plus économique parmi tous les types de systèmes simulés. Il est donc important d'optimiser chaque type de système afin d'éliminer les systèmes qui ne sont pas viables. Pour ce faire, on effectue plusieurs simulations dans le but de converger vers un système optimal pour chaque type de système.

Il est très important de se rappeler que le premier résultat donné par HOMER dans la liste des résultats est toujours le système le plus économique trouvé selon « *Net Present Cost* » (coût à valeur actuelle) parmi tous les systèmes et toutes les configurations simulés. Comme mentionné précédemment, les résumés des systèmes et des coûts liés sont affichés dans la zone des résultats.

Un exemple de résumé est montré à la Figure 2.10. On y retrouve les informations suivantes : icônes des équipements du système (partie 1) et leur capacité ou le nombre de batteries (partie 2), l'investissement initial devant être fait (partie 3), les coûts d'opération par an (partie 4), le coût total du système à la valeur actuelle (partie 5), le coût de l'énergie en \$/kWh (partie 6) et finalement, la proportion d'énergie renouvelable utilisée dans le système (partie 7).

1	2	3	4	5	6	7		
	PV (kW)	H3000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	30	190	5	\$ 234,340	5,526	\$ 304,985	1.340	1.00

Figure 2.10. Résumé des résultats

Pour plus de détails sur les différents résultats obtenus dans HOMER, il faut cliquer sur le résultat désiré et une fenêtre, Figure 2.11, s'ouvre avec plus d'informations.

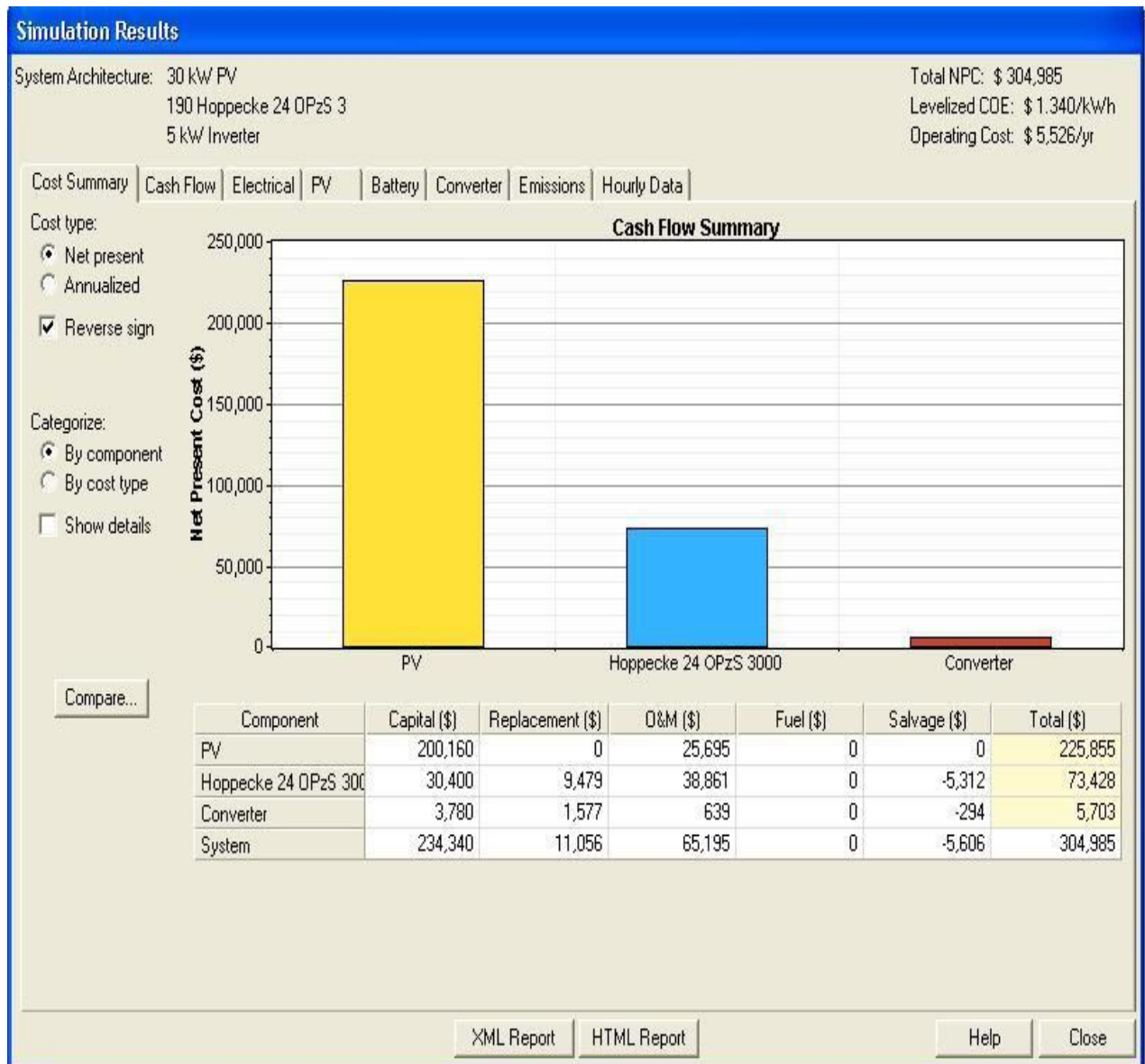


Figure2.11. Fenêtre des résultats détaillés

Dans cette fenêtre, on retrouve des onglets comme le résumé des coûts, le flux monétaire, des informations sur l'électricité (production, consommation, excès d'énergie, etc.), des détails sur l'énergie et la puissance offertes des équipements (panneaux, batteries, convertisseur), le détail des émissions et finalement, on peut visualiser les données simulées d'heure en heure.

2.7. Méthodologies spécifiques aux simulations

Une démarche pour le dimensionnement est définie conjointement avec une démarche pour les simulations sur HOMER pour les systèmes.

La démarche générale pour le dimensionnement et les simulations est résumée en quelques étapes :

1. Évaluation de la demande énergétique (consommation d'énergie);

2. Pré-dimensionnement à la main des équipements;
3. Identifier les équipements nécessaires au système (panneaux solaires, convertisseur, batteries) dans le logiciel HOMER;
4. Entrer les données nécessaires dans le logiciel :
 - a. de consommation énergétique;
 - b. de gisement solaire pour le lieu désiré;
 - c. pour les équipements (prix des équipements et coût d'opération et d'entretien);
5. Lancer le calcul dans HOMER;
6. Optimiser les résultats du logiciel HOMER de façon itérative pour arriver à la solution optimale pour ce système;
7. Faire des analyses de sensibilité, si nécessaire;
8. Valider le système.

2.8. Résultats à analyser

Les résultats qui seront analysés sont les données de dimensionnement pour les panneaux solaires, les éoliennes, la génératrice diesel pour le système. Ensuite, les coûts d'opération (les annuités), le coût total à sa valeur actuelle du système ainsi que le coût de l'énergie en \$/kWh et le pourcentage d'excès d'énergie seront analysés.

2.9. Analyse de la demande énergétique globale d'une maison

Nous calculons la quantité nécessaire de l'électricité pour couvrir les besoins électrique de la maison, avec une étude de votre approfondie de tous les instruments électrique utilisés, qui est représentée par la quantité de l'électricité consommée, et les heures de fonctionnement à travers 24 heures (jour par jour et heure par heure).

Nous avons acquis les résultats enregistrés dans le tableau suivant :

Tableau 2.3. La quantité totale de la puissance électrique nécessaire pour la maison dans les jours de semaine.

SEMAINE		
<u>Horaires</u>	<u>Charge (W)</u>	<u>HOMER (kW)</u>
0h-1h	2455	2,455
1h-2h	3655	3,655
2h-6h	55	0,055
6h-7h	1442	1,442
7h-8h	164	0,164
8h-10h	2055	2,055
10h-11h	3255	3,255
11h-12h	2055	2,055
12h-13h	4130	4,130
13h-14h	1719	1,719
14h-17h	80	0,080
17h-18h	3488	3,488
18h-19h	2558	2,558
19h-20h	4941	4,941
20h-21h	3649	3,649
21h-22h	553	0,553
22h-23h	9040	9,040
23-0h	7355	7,355
TOTAL	52629	52,65

Tableau 2.4. La quantité totale de la puissance électrique nécessaire pour la maison dans les week-ends.

WEEK-END		
<u>Horaires</u>	<u>Charge (W)</u>	<u>HOMER (kW)</u>
0h-1h	7355	7,355
1h-2h	3655	3,655
2h-6h	55	0,055
6h-9h	55	0,055
9h-10h	3429	3,429
10h-11h	3315	3,315
11h-12h	3487	3,487
12h-13h	4594	4,594
13h-14h	3524	3,524
14h-15h	99	0,099
15h-16h	269	0,269
16h-17h	1450	1,450
17h-18h	2106	2,106
18h-19h	3439	3,439
19h-20h	2496	2,496
20h-21h	5794	5,794
21h-22h	507	0,507
22h-23h	4107	4,107
23h-0h	7701	7,701
TOTAL	57712	57,44

2.10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué le logiciel HOMER permettant une compréhension idéale du fonctionnement du programme ainsi que les objectifs à atteindre. Il offre une approche orientée sur la réalisation de projets plutôt qu'une approche d'optimisation de systèmes. Après l'introduction de tous les rapports de prix, les types d'appareils utilisés et les données météorologiques nécessaires le long de l'année. Ce logiciel est très populaire et est actuellement utilisé dans plus de 200 pays et par plus de 40 000 utilisateurs. Pour le présent projet, la version utilisée est HOMER 2.68 beta qui est disponible gratuitement, et est développé par NREL (National Renewable Energy Laboratory) des Etats-Unis. Il permet un calcul simplifié des possibilités pour un projet éolien ou photovoltaïque selon son domicile.

Chapitre 03

DIMENSIONNEMENT ET ANALYSE DES RESULTATS DE SIMULATION

3.1. Introduction

Dans ce projet, nous fournissons l'électricité à une maison non connectée (hors réseau électrique), grâce à l'utilisation d'un système hybride pour la production d'énergie dans trois différentes régions en Algérie :

- Sétif est une ville intérieure située entre 36 et 10 ° de latitude N et 05 et 19 ° de longitude E, avec une altitude de 1007 m.
- Mostaganem est une ville côtière située entre 35 et 53 ° de latitude N et 00 et 07 ° de longitude E, avec une altitude de 137 m.
- Tamanrasset est une ville du désert située entre 22 et 48 ° de latitude N et 05 et 26 ° de longitude E, avec une altitude de 1362 m.

En s'appuyant sur des données réelles (la vitesse du vent et le rayonnement solaire), tout au long de l'année et qui ont été récupérées par ONM (Office National de la Météorologie), et la même quantité d'énergie consommée dans les trois régions et que nous la calculons avec précision. En tenant en compte la consommation totale d'une maison, avec l'utilisation des différents systèmes hybrides en situation hors réseau comprenant le panneau solaire (PV), l'éolienne et le générateur diesel (GD) ainsi que les batteries et le convertisseur.

3.2. Interprétation des résultats de simulation (Sétif)

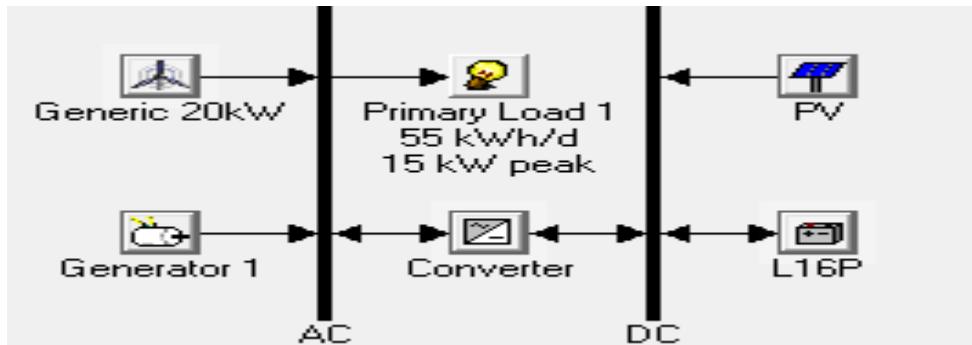


Figure 3.1. Montage électrique du système hybride

Après la simulation, nous avons obtenu les résultats globaux suivants :

	PV (kW)	G20	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	6.48	1	30	4	6	\$ 34,400	3,998	\$ 85,508	0.331	0.38	14,955	3,199
	3.24	1	30	4	3	\$ 29,000	4,431	\$ 85,647	0.331	0.28	17,908	3,834
	4.32	1	30	4	3	\$ 30,400	4,329	\$ 85,735	0.332	0.30	17,485	3,743
	7.56	1	30	4	6	\$ 35,800	3,912	\$ 85,805	0.332	0.41	14,551	3,112
	5.40	1	30	4	6	\$ 33,000	4,137	\$ 85,887	0.332	0.35	15,490	3,314
	5.40	1	30	4	3	\$ 31,800	4,264	\$ 86,306	0.334	0.33	17,141	3,669
	8.64	1	30	4	6	\$ 37,200	3,850	\$ 86,421	0.334	0.44	14,235	3,044
	2.16	1	30	4	3	\$ 27,600	4,617	\$ 86,619	0.335	0.24	18,708	4,006
	4.32	1	30	4	6	\$ 31,600	4,308	\$ 86,674	0.335	0.32	16,383	3,506
	6.48	1	30	4	3	\$ 33,200	4,222	\$ 87,171	0.337	0.35	16,973	3,633
	9.72	1	30	4	6	\$ 38,600	3,803	\$ 87,220	0.337	0.46	14,021	2,998
	1.08	1	30	4	3	\$ 26,200	4,790	\$ 87,434	0.338	0.21	19,889	4,260
	3.24	1	30	4	6	\$ 30,200	4,493	\$ 87,636	0.339	0.28	17,392	3,723
		1	30	4	3	\$ 24,800	4,935	\$ 87,881	0.340	0.17	20,834	4,463
	7.56	1	30	4	3	\$ 34,600	4,199	\$ 88,282	0.342	0.38	16,783	3,592
	10.80	1	30	4	6	\$ 40,000	3,784	\$ 88,367	0.342	0.48	13,848	2,961
	2.16	1	30	4	6	\$ 28,800	4,715	\$ 89,071	0.345	0.24	18,536	3,969
	11.88	1	30	4	6	\$ 41,400	3,757	\$ 89,422	0.346	0.50	13,630	2,914
	8.64	1	30	4	3	\$ 36,000	4,184	\$ 89,485	0.346	0.40	16,625	3,558
	1.08	1	30	4	6	\$ 27,400	4,899	\$ 90,025	0.348	0.21	19,838	4,249
		1	30	4	6	\$ 26,000	5,045	\$ 90,498	0.350	0.17	20,810	4,458
	12.96	1	30	4	6	\$ 42,800	3,741	\$ 90,624	0.351	0.51	13,472	2,880
	5.40	1	30	8	6	\$ 36,600	4,230	\$ 90,675	0.351	0.35	15,421	3,299
	9.72	1	30	4	3	\$ 37,400	4,181	\$ 90,847	0.351	0.42	16,532	3,538
	6.48	1	30	8	6	\$ 38,000	4,144	\$ 90,972	0.352	0.38	14,904	3,188
	3.24	1	30	8	3	\$ 32,600	4,573	\$ 91,057	0.352	0.28	17,904	3,833

Figure 3.2. Tableau de tous les résultats de calcul pour le système hybride (Sétif)

On remarque que le meilleur système utilisé est le système hybride, qui contient (PV, éolienne, GD, batteries) dans la 1^{ère} ligne.

Cet agencement a été lié à la valeur du NPC (Net Present Cost), de la plus petite à la plus grande valeur parce que la plus petite valeur de IC (initial capital) dans la 14^{ème} ligne avec une valeur de (24800\$), qui appartient au système intégrant seulement (éolienne, GD, batteries), car il

ne s'agit pas d'utiliser (PV) et il a laissé un effet significatif sur la valeur de RF (Renewable Fraction) qui a été estimé à 0,17, cette dernière représente une faible valeur par rapport à sa valeur de la ligne 22, qui représente la plus grande valeur de (Renewable Fraction) estimé à 0,51.

Le prix de 1kWh de ce système était également élevé (0.351\$), ce qui l'a placé dans les dernières positions de ce classement l.

Mais si nous parlons du 2^{ème} meilleur système hybride nous le trouvons dans la 2^{ème} ligne, malgré que la grande consommation du diesel à travers ce système soit (17903L).

La petite valeur de (initial capital) soit (29000\$) et (NPC) soit (85647\$) menée au faible coût de 1kWh soit (0.331\$), ce qui en fait justifie cette position au classement.

Nous avons obtenu le résultat optimal à l'aide du logiciel (HOMER) :

	PV (kW)	G20	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	6.48	1	30	4	6	\$ 34,400	3,998	\$ 85,508	0.331	0.38	14,955	3,199

Figure 3.3. Résultat optimal pour le système hybride (Sétif)

A partir de ce résultat, nous constatons que le système hybride idéal utilisé est celui qui contient :

6.48 kW PV	1Generic 20kW	30 kW Generator 1
4 Trajan L16P	6 kW Inverter	6 kW Rectifier

Le coût total estimé sur une année de travaux à tous les coûts du projet (capital, remplacement, O et M, fuel, salvage) est (85508\$) avec (0.331 \$/KWh). Les résultats ont été répartis comme suit :

Nous trouvons que le coût le plus élevé dans le système utilisé qui est représenté par le prix de la base (capital) de (34400\$) suivi par (fuel) de(26192\$), après (remplacement) de (21347\$) et (salvage) de (-5379\$).

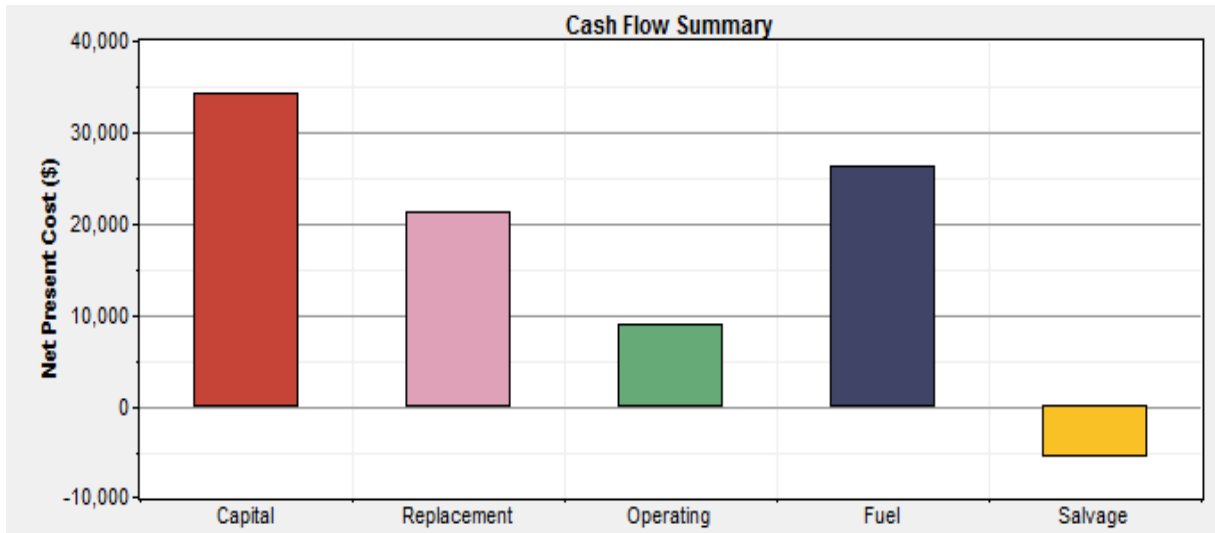


Figure 3.4. Résumé des flux de trésorerie pour le système hybride

Nous avons utilisé l'équipement revient a plus que 20 ans, on trouve que le projet n'a pas changé complètement tous les dispositifs comme ca était prévu il y a 20 ans. Sauf en ce qui concerne quelques petites pièces après environ tous les 4 ans surles batteries qui ne durent pas plus de 5 ans et certains petits équipements tels que filetage livraison.....etc.

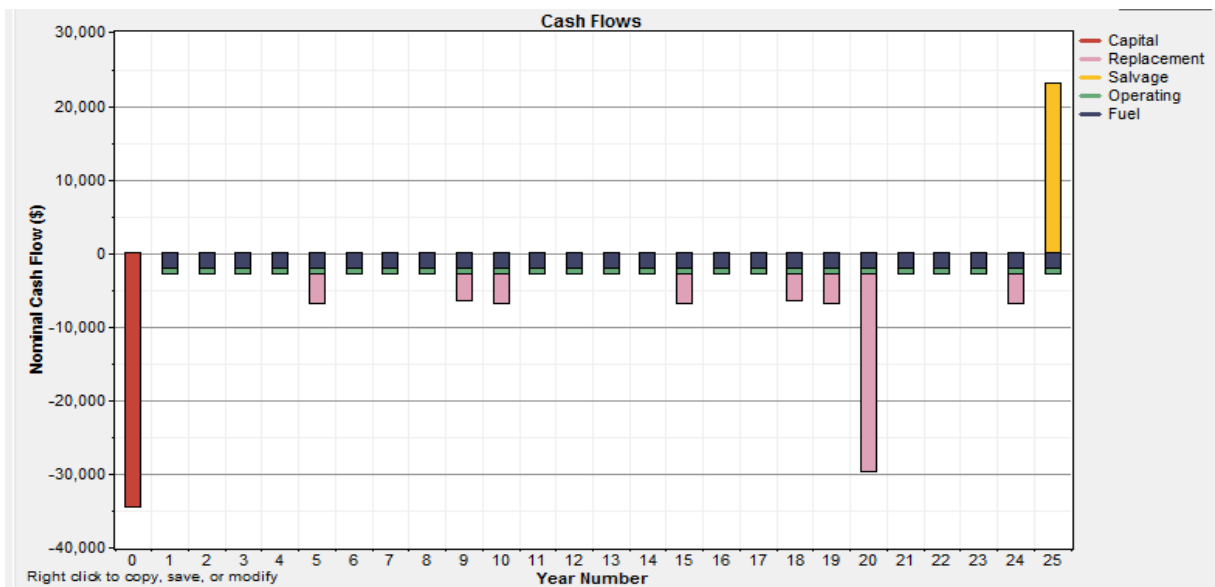


Figure 3.5. Résumé des opérations et des remplacements pendant toute la durée de fonctionnement du système

Par contre, quand on parle de résultats électriques obtenus. Nous constatons que le taux de production de l'énergie électrique obtenue à travers chacune des (PV) et (éolienne) est très proche de 21% soit (9700 kWh/an), et 18% soit (8410 kWh/an) respectivement. Ainsi que la durée de fonctionnement prévue de (4372 h/an) et de (5264 h/an) respectivement. Cela est du a la situation sur les hauts plateaux de l'Est Algérien entouré de montagnes, la composition de ces facteurs fait que la

wilaya de Sétif a un climat continental semi-aride se caractérisant par des étés chauds et secs et des hivers pluvieux avec une quantité et une vitesse du vent acceptable.

Tel que les rayonnements solaires arrivés à leur plus haut niveau au mois de Juillet (0.623) et chacun des mois (Mai, Juin, Aout) qui étaient proches étant de la même saison. Le niveau de rayonnement le plus bas parait durant le mois de Décembre, ce qui représente le milieu de l'hiver.

Tableau 3.1. Analyse des résultats du système hybride à (Sétif).

Instruments	Taux de production	Quantité d'énergie	Durée de fonctionnement
PV	21%	9700 KWh/an	4372 h/an
éolienne	18%	8410 KWh/an	5264 h/an
GD	62%	29109 KWh/an	3199 h/an

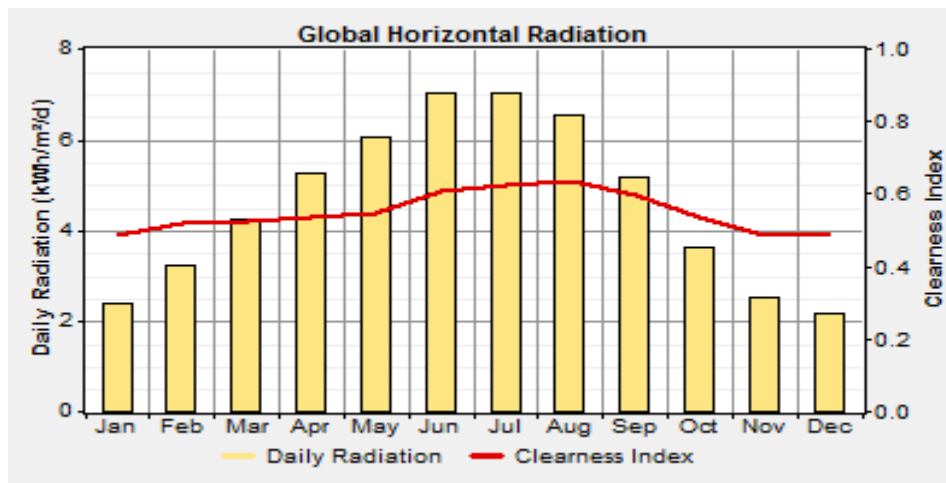


Figure 3.6. Rayonnement solaire mensuel (Sétif)

On trouve la plus grande quantité d'énergie renouvelable produite par l'éolienne dans les mois d'Avril, Juillet et Août. En raison de la vitesse du vent influencé de la manière suivante (Avril 3,9 m/s, Juillet 3,8 m/s et Aout 3,9 m/s).

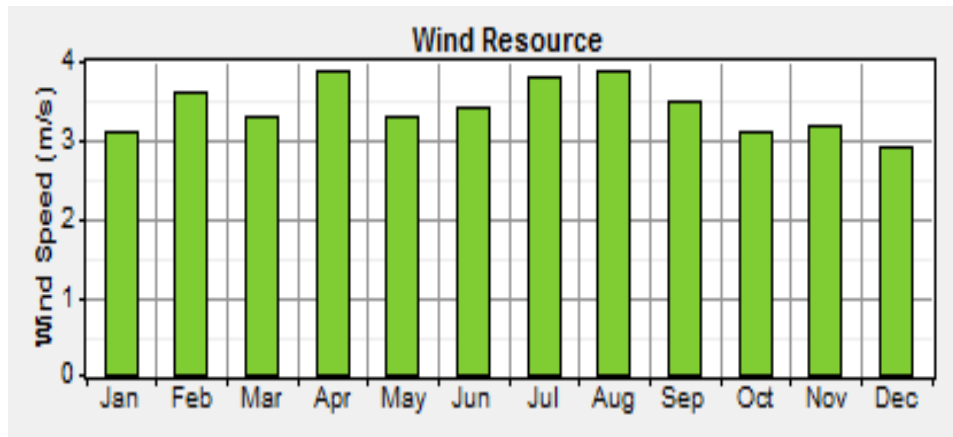


Figure 3.7. Vitesse du vent mensuelle (Sétif)

Mais compte tenu de la quantité d'énergie produite par le (GD) on l'a trouve assez grande par rapport à l'énergie renouvelable ou presque 62% de (29109 kWh/an), avec une durée de fonctionnement de (3199 h/an).

Si on fait une comparaison entre le système hybride et le système autonome (GD) , on trouve que ces résultats étaient correctes, car on a consommé (14 955L) du carburant diesel, environ la moitié de la quantité utilisée dans le système autonome (GD) qui était (24370L) du carburant diesel, pour un fonctionnement de près de (5220h/an), ainsi que le prix de 1kWh est diminué à environ(0.07\$/kWh) soit de (0.404\$/kWh à 0.331\$/kWh) avec un taux de 30%.

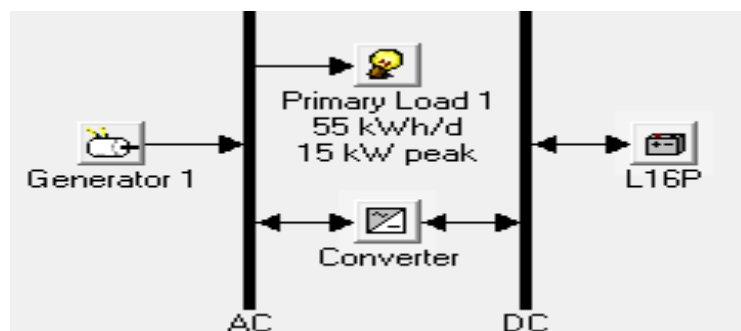


Figure 3.8. Montage électrique du système autonome (GD) (Sétif)

Double click on a system below for simulation results.

			Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
			30	4	3	\$ 9,200	7,453	\$ 104,469	0.404	0.00	24,370	5,218
			30	4	6	\$ 10,400	7,565	\$ 107,112	0.414	0.00	24,370	5,218
			30	8	3	\$ 13,200	7,422	\$ 108,083	0.418	0.00	24,329	5,209
			30	8	6	\$ 14,400	7,535	\$ 110,726	0.428	0.00	24,329	5,209
			30	12	3	\$ 17,200	7,658	\$ 115,098	0.445	0.00	24,329	5,209
			30	12	6	\$ 18,400	7,771	\$ 117,741	0.455	0.00	24,329	5,209
			30	16	3	\$ 21,200	7,894	\$ 122,113	0.472	0.00	24,329	5,209
			30	16	6	\$ 22,400	8,007	\$ 124,756	0.483	0.00	24,329	5,209
			30	20	3	\$ 25,200	8,130	\$ 129,128	0.500	0.00	24,329	5,209
			30	20	6	\$ 26,400	8,243	\$ 131,770	0.510	0.00	24,329	5,209
			30	24	3	\$ 29,200	8,366	\$ 136,142	0.527	0.00	24,329	5,209
			30	24	6	\$ 30,400	8,479	\$ 138,785	0.537	0.00	24,329	5,209
			30	28	3	\$ 33,200	8,602	\$ 143,157	0.554	0.00	24,329	5,209
			30	28	6	\$ 34,400	8,714	\$ 145,800	0.564	0.00	24,329	5,209
			30	32	3	\$ 37,200	8,837	\$ 150,172	0.581	0.00	24,329	5,209
			30	32	6	\$ 38,400	8,950	\$ 152,815	0.591	0.00	24,329	5,209
			30		3	\$ 5,200	11,714	\$ 154,950	0.599	0.00	40,811	8,759
			30		6	\$ 6,400	11,827	\$ 157,592	0.610	0.00	40,811	8,759
			60	20	3	\$ 29,200	12,707	\$ 191,635	0.741	0.00	34,393	3,698
			60	16	3	\$ 25,200	13,043	\$ 191,938	0.743	0.00	35,425	3,809
			60	24	3	\$ 33,200	12,448	\$ 192,326	0.744	0.00	34,030	3,659
			60	28	3	\$ 37,200	12,269	\$ 194,037	0.751	0.00	33,863	3,641
			60	20	6	\$ 30,400	12,820	\$ 194,277	0.752	0.00	34,393	3,698
			60	16	6	\$ 26,400	13,156	\$ 194,581	0.753	0.00	35,425	3,809
			60	12	3	\$ 21,200	13,569	\$ 194,660	0.753	0.00	37,676	4,051
			60	24	6	\$ 34,400	12,561	\$ 194,968	0.754	0.00	34,030	3,659
			60	32	3	\$ 41,200	12,067	\$ 195,454	0.756	0.00	33,825	3,637

Figure 3.9. Tableau de tous les résultats de calcul pour le système autonome (GD) (Sétif)

Double click on a system below for optimization results.

			Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
			30	4	3	\$ 9,200	7,453	\$ 104,469	0.404	0.00	24,370	5,218

Figure 3.10. Résultat optimal pour le système autonome (GD) (Sétif)

Ainsi que l'amélioration de RF (renouvelable fraction) de (0 à 0.384), cela a contribué à la production d'énergie supplémentaire de 56.2% soit (26519 kWh/an). Ceci reflète l'efficacité de ce système.

Tableau 3.2. Comparaison entre les résultats du système hybride et du système autonome (GD).

Systèmes	Durée de fonctionnement du (GD)	Quantité du diesel consommé	fraction Renouvelable	Energie supplémentaire	Prix de 1kWh
Système hybride	3199 h/an	14955 L	0.384	56.2%	0.331\$/kWh
Système autonome (GD)	5220 h/an	24370 L	0.000	56.7%	0.404\$/KWh

3.3. Analyse de l'énergie électrique produite à Sétif

Si on regarde à la quantité d'énergie électrique produite à partir du système pendant une seule journée, nous la trouvons comme suit :

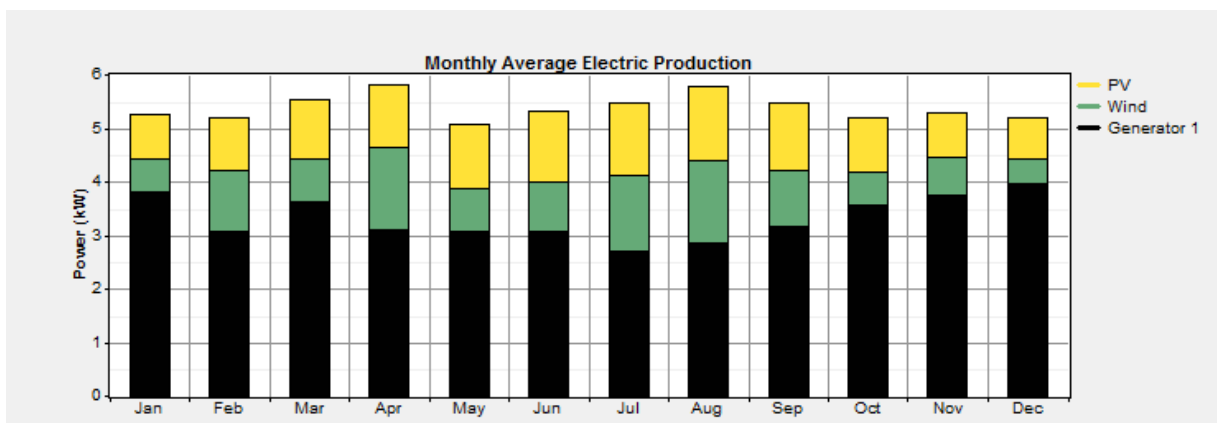


Figure 3.11. Quantité d'énergie totale mensuelle produite par le système hybride pendant une année (Sétif)

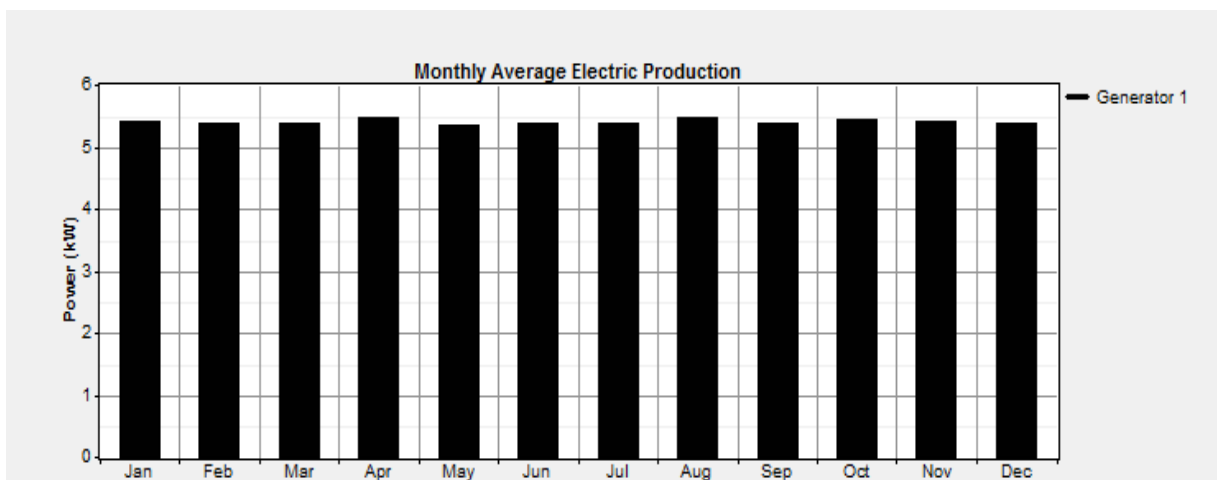


Figure 3.12. Quantité d'énergie totale mensuelle produite par le système autonome (GD) pendant une année

3.3.1 Panneaux solaires (PV)

La production de l'énergie électrique commence après le lever du soleil à tout moment, entre (7 h et 9 h), en automne et en hiver, et entre (5h et 7h) en printemps et à l'été d'une très faible quantité d'environ (0,7 à 2.1kW) presque nul. Mais après le temps, depuis (10h et 11h) elle augmente entre (3,5 et 4,2 kW), mais à midi atteint son sommet de (6.72 kW).

Diminuant progressivement voire inexistante au coucher du soleil soit entre (16h à 17:30h) dans chacun des deux saisons : l'hiver et l'automne et entre (17h à 19h) en été et au printemps. Pour une durée totale de fonctionnement de 4372 h/an à un prix de 0,077 \$/kWh.

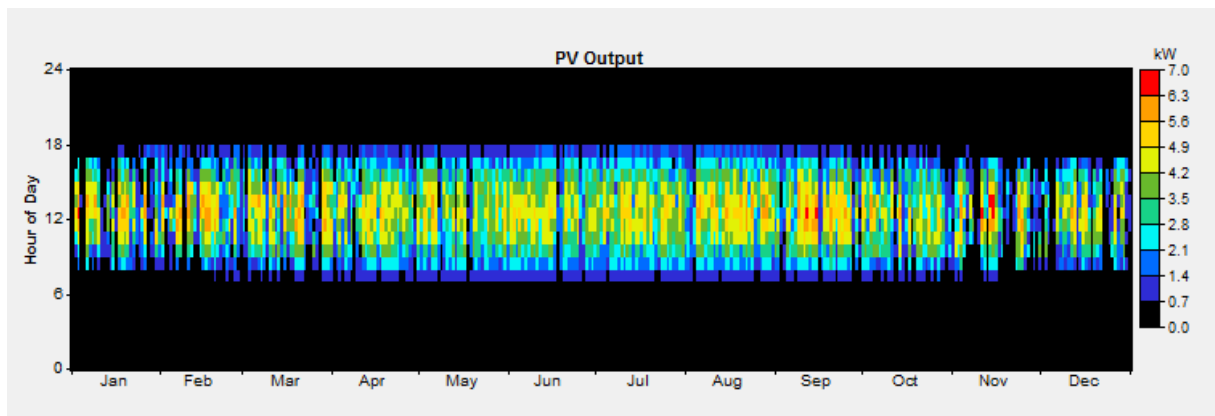


Figure 3.13. Quantité d'énergie totale quotidienne produite par le PV pendant une année

3.3.2 Eolienne

La production de l'énergie électrique à partir de l'éolienne est faible en hiver du fait que le vent est limité entre (10h et 18h), par rapport aux autres mois de l'année durant lesquels la production change de 0 à 20 kW et elle atteint la valeur la plus grande aux mois d'Avril et Aout (environ 19.8 kW). Pour une durée totale de fonctionnement d'environ 5264 h/an à un prix de 0,229 \$/kWh.

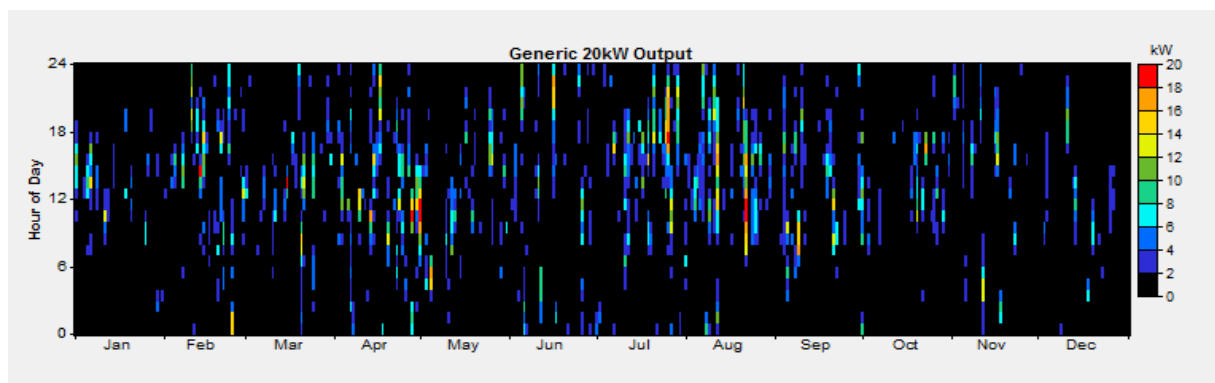


Figure 3.14. Quantité d'énergie totale quotidienne produite par l'éolienne pendant une année

3.3.3 Générateur diesel (GD)

L'analyse de la durée de production de l'énergie électrique au (GD) on la trouve pareille durant toute l'année. Le générateur fonctionne en parallèle avec les batteries de stockage. Il commence à la fin de la journée (au coucher de soleil) et continuer jusqu'au lever du soleil en raison de l'absence de l'énergie renouvelable (le soleil et le vent). A l'exception de la plage horaire quotidienne entre (6h et 12h). Elles représentent les périodes instables de toute l'année. Ce retard dû au lever du soleil, pour produire entre (11,2 à 16 kW) dans la période entre (21h et 00h) et de (6.4 à 9.6 kW) dans le reste de la journée pour atteindre (3199 h/an) contre (0.514 L/kWh).

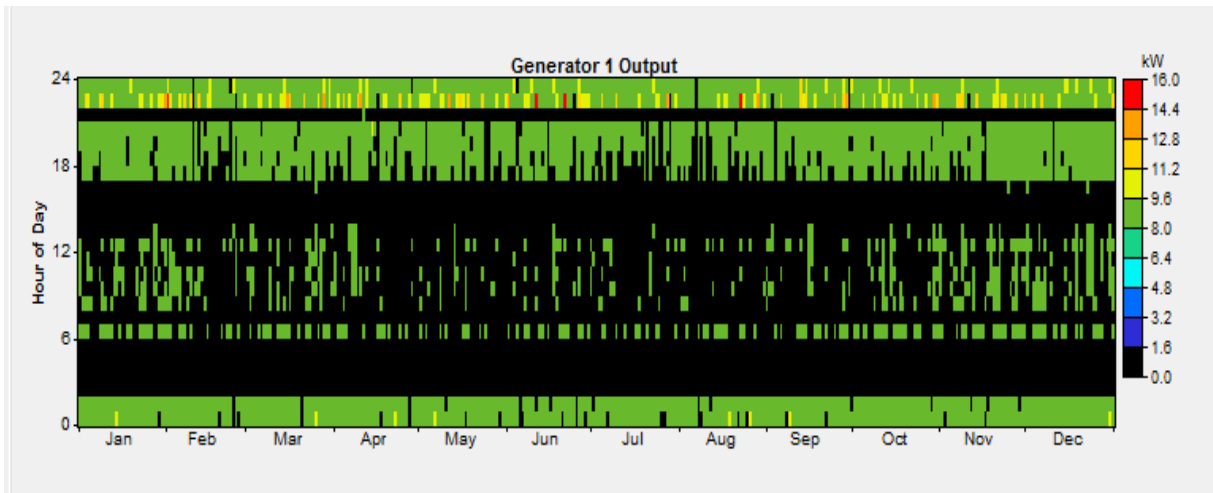


Figure 3.15. Quantité d'énergie totale quotidienne produite par le générateur diesel pendant une année

3.3.4 Batteries de stockage

La batterie est une partie importante et fondamentale dans ce système économique d'énergie électrique et est utilisée d'une façon permanente durant toute la journée, où son niveau de charge est compris entre (72 et 100%) durant les jours d'année soit (462 et 543 kWh/an).

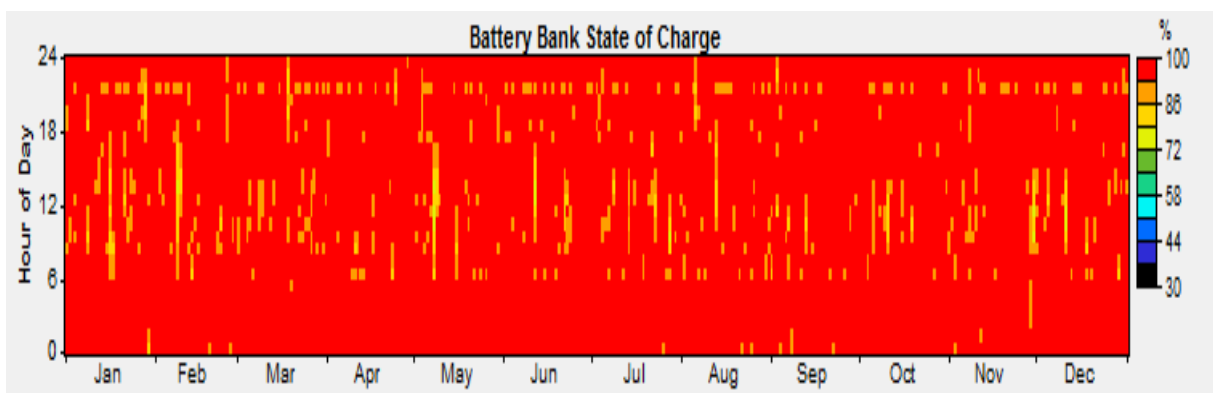


Figure 3.16. Utilisation de la charge des batteries à travers une année

Elle est utilisée comme l'élément essentiel et fondamental pour la génération d'énergie et ceci à cause du manque d'énergie renouvelable (conditions météorologiques) d'une part et le manque de diesel d'une autre part pour des raisons diverses, parmi ces raison : la difficulté de livraison et la liaison avec cette région éloignée des zones productrices de diesel combustible. Et par conséquent, c'est le facteur le plus important et le seul dans la poursuite des travaux et l'avancement du projet.

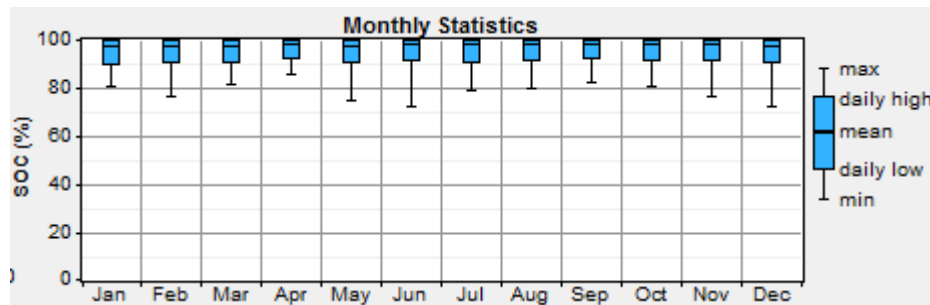


Figure 3.17. Statistiques mensuelles pour le chargement des batteries

3.4 Interprétation des résultats de simulation (Tamanrasset)

On applique le même système dans un site du désert (Wilaya de Tamanrasset), le climat de ce site est différent de Sétif.

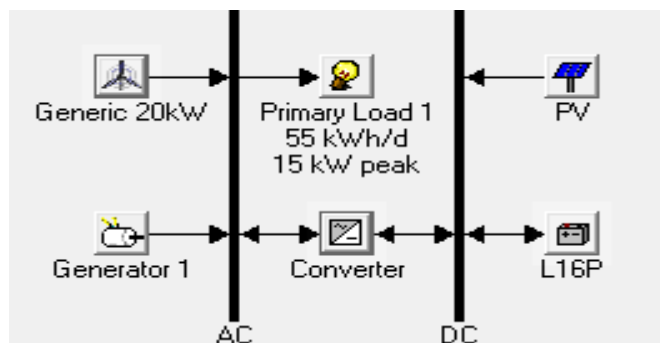


Figure 3.18. Montage électrique du système hybride (Tamanrasset)

En comparant les résultats précédents avec ceux obtenus dans cette zone, on trouve que le système typique utilisé est celui qui contient :

3.24 kW PV	1Genséric 20 kW	30 kW Generator 1
4 Trojan L16P	3 kW Inverter	3 kW Rectifier

D'un coût total durant une année de fonctionnement d'une valeur de (74124 \$) soit moins que (11000\$) donc le coût total du projet qui était (0.331\$/kWh) a diminué a (0.287 \$/kWh) soit environ de (0.05\$/kWh).

Nous avons obtenu le résultat optimal :

	PV (kW)	G20	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)	Batt. Lf. (yr)
	3.24	1	30	4	3	\$ 29,400	3,499	\$ 74,124	0.287	0.44	15,513	3,322	10.0

Figure 3.19. Résultat optimal pour le système hybride (Tamanrasset)

3.5 Analyse de l'énergie électrique produite à Tamanrasset

Concernant la quantité d'énergie produite on remarque que la quantité produite à partir de l'éolienne est proche de l'énergie produite par (GD). Mais en regardant l'énergie produite par l'ensemble (PV/éolienne), on la trouve plus grande que celle produite par (GD) de 54%. Cela est dû à une part à la diminution du prix du diesel dans la région productrice et du faible frais du transport, et d'autre part de la disposition de la région de Tamanrasset. Elle est située dans le sud de l'Algérie et son climat est semi-aride et désertique permettant de faire monter la température à plus de 45°C durant la journée et descendre jusqu'à -5°C la nuit ainsi que la quantité et la vitesse du vent durant toute l'année.

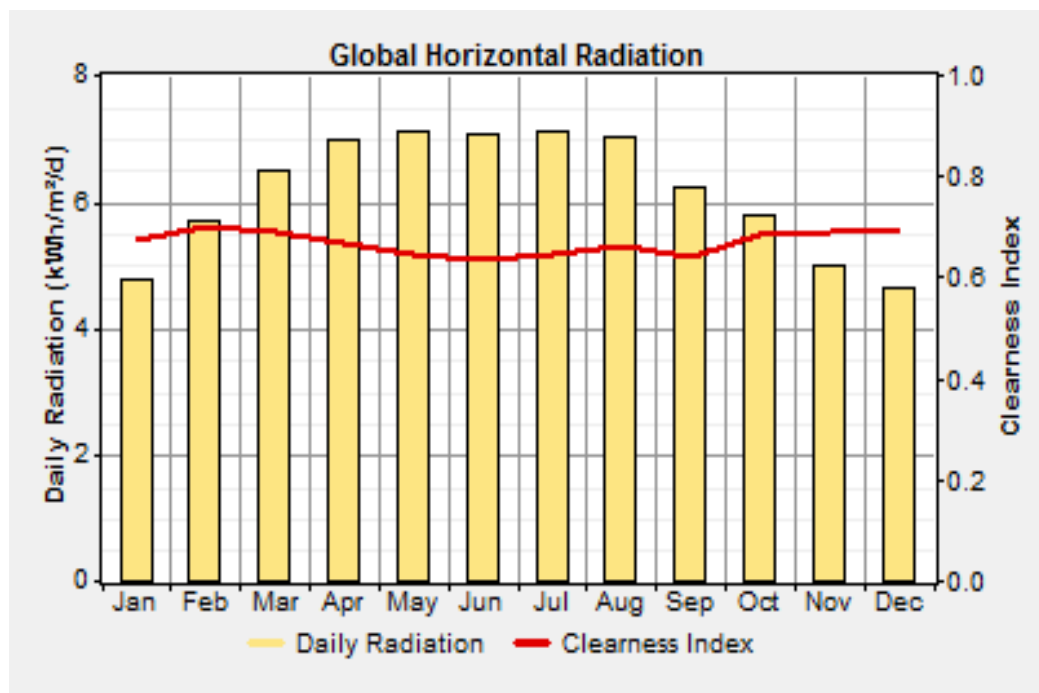


Figure 3.20. Rayonnement solaire mensuel(Tamanrasset)

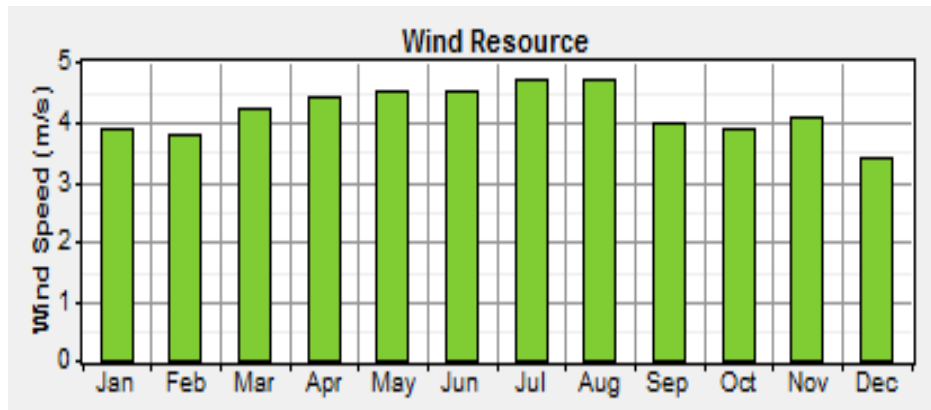


Figure 3.21. Vitesse du vent mensuelle (Tamanrasset)

Cela est due à l'influence de l'augmentation de la valeur du RF (renouvelable fraction) pour un (0.443), qui a contribué aussi à augmenter le taux de production supplémentaire de 62,3% soit (33734kWh/an).

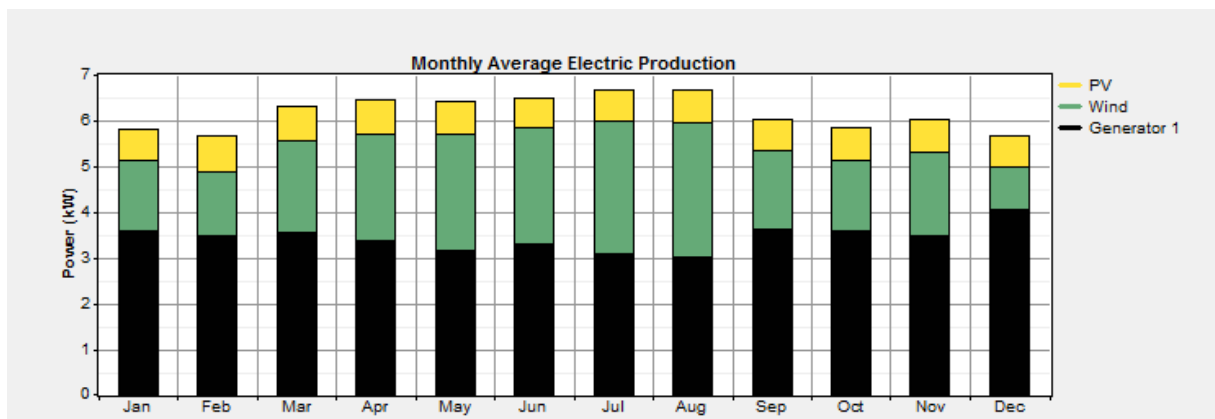


Figure 3.22. Quantité de l'énergie totale mensuelle produite par le système hybride pendant une année (Tamanrasset)

3.6 Interprétation des résultats de simulation (Mostaganem)

On a choisi un nouvel site pour lancer le même projet, mais cette fois-ci on a choisi une région côtière (Wilaya de Mostaganem). On trouve le système idéal utilisé celui qui contient :

7.56 kW PV	1Generic 20kW	30kW Generator 1
4 Trojan L16P	6kW Inverter	6kW Rectifier

Le coût total du projet durant une année de fonctionnement est de (93255 \$), plus grand que (8000 \$ et 19000 \$) du coût total du projet par rapport à Sétif et Tamanrasset successivement. Le prix de 1kWh a augmenté à 0.361\$/kWh.

	PV (kW)	G20	Label (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Label (hrs)
	7.56	1	30	4	6	\$ 36,200	4,463	\$ 93,255	0.361	0.28	17,036	3,642

Figure 3.23. Résultat optimal pour le système hybride (Mostaganem)

Cela est dû à la quantité du diesel combustible utilisé pendant une année de fonctionnement, où l'on estime à 17036 L qui est beaucoup plus élevé par rapport aux consommations de Sétif et Tamanrasset, d'une part, et la quantité et la vitesse du vent, qui sont presque inexistantes avec seulement un taux annuel de (2 m/s) d'une autre part.

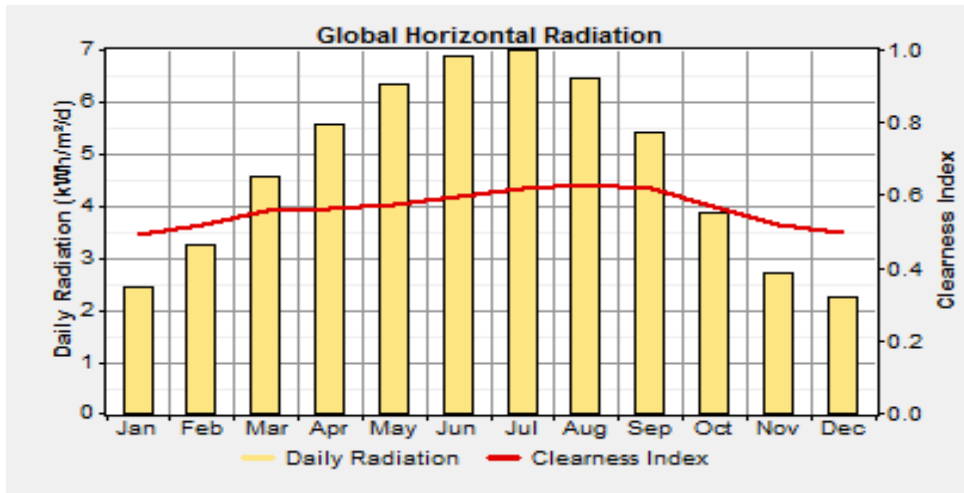


Figure 3.24. Rayonnement solaire mensuel (Mostaganem)

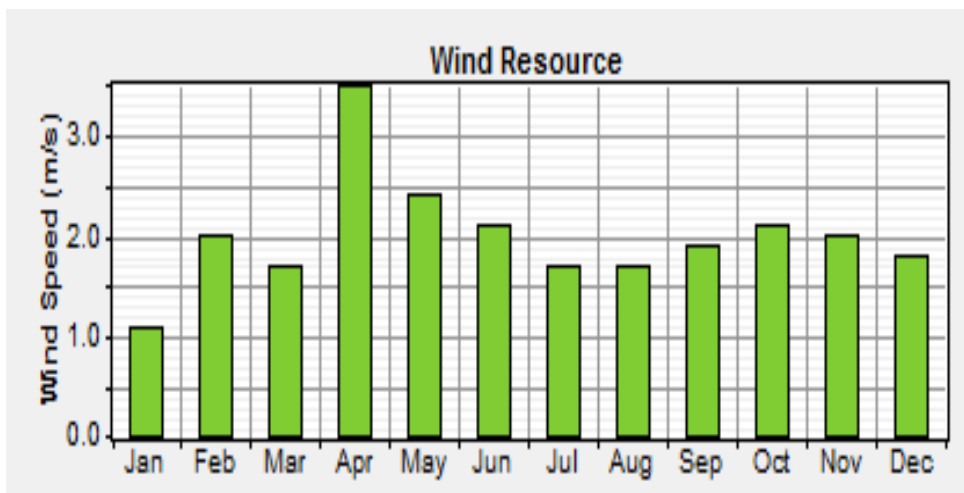


Figure 3.25. Vitesse du vent mensuelle (Mostaganem)

3.7 Analyse de l'énergie électrique produite à Mostaganem

La quantité de l'énergie électrique produite par l'éolienne est très peu, environ 2% de la quantité totale, soit 879 kWh/an. L'énergie produite par PV est considérable, elle a été estimée à 26% de la quantité totale produite soit 11721 kWh/an.

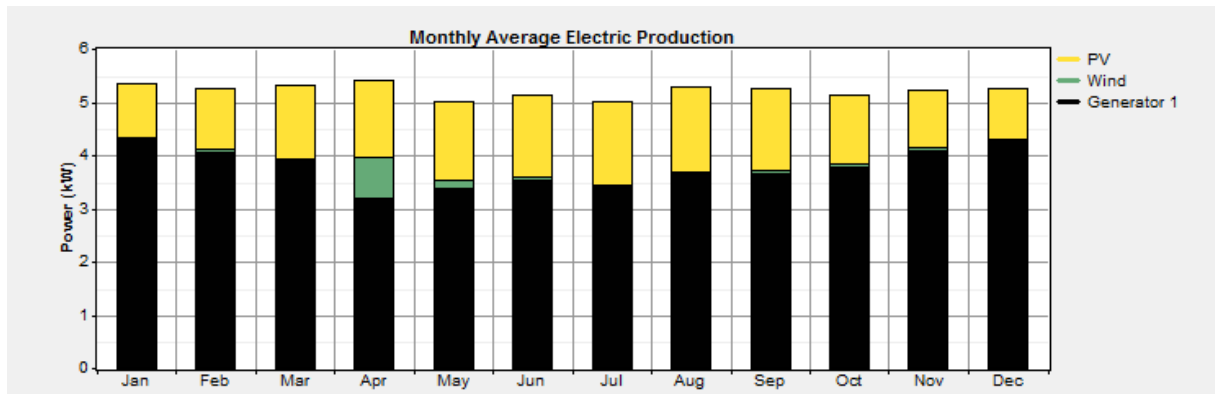


Figure 3.26. Quantité d'énergie totale mensuelle produite par le système hybride pendant une année (Mostaganem)

Par conséquent, cette région n'est pas valable pour l'utilisation de l'éolienne, car elle ne produit pas d'énergie électrique ou produit une très faible quantité à cause d'une faible vitesse du vent.

Le logiciel nous a permis de choisir le système optimal pour une utilisation au niveau des différentes régions climatiques.

Tableau 3.3. Comparaison des résultats du projet dans les 3 sites.

Sites	Totale NPC	Taux de l'énergie renouvelable	Prix de 1kWh
Sétif	85508 \$	39%	0.331 \$
Tamanrasset	74124 \$	45%	0.287 \$
Mostaganem	93255\$	28%	0.361 \$

3.8 Analyse de l'émission

Beaucoup de villages éloignés n'ont pas de l'électricité, et donc sont dans l'obligation de recourir au générateur diesel (GD). Lorsque nous avons utilisé le (GD) tout seul à Sétif, nous avons remarqué que la quantité de gaz émis est comme suit :

Tableau 3.4. Quantité du gaz polluant émis par le (GD) à Sétif.

Polluant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	64,175
Carbon monoxide	158
Unburned hydrocarbons	17.5
Particulate matter	11.9
Sulfur dioxide	129
Nitrogen oxides	1,413

C'est une très grande quantité de gaz polluant, à peu près le double de ceux que nous avons acquis lors de l'utilisation du système hybride à Sétif et Tamanrasset.

Tableau 3.5. Quantité du gaz polluant émis par le système hybride.

Sétif		Tamanrasset	
Polluant	Emissions (kg/yr)	Polluant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	39,382	Carbon dioxide	40,850
Carbon monoxide	97.2	Carbon monoxide	101
Unburned hydrocarbons	10.8	Unburned hydrocarbons	11.2
Particulate matter	7.33	Particulate matter	7.6
Sulfur dioxide	79.1	Sulfur dioxide	82
Nitrogen oxides	867	Nitrogen oxides	900

Cela est dû à l'utilisation des panneaux solaires et des éoliennes qui sont des facteurs clés dans la réduction de ces quantités.

Mais lorsque ces pourcentages ont légèrement augmenté dans le site de Mostaganem en raison de

l'absence de l'éolienne nous avons obtenu ce qui suit :

Tableau 3.6. Quantité du gaz polluant émis par le système hybride à Mostaganem.

Polluant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	44,861
Carbon monoxide	111
Unburned hydrocarbons	12.3
Particulate matter	8.35
Sulfur dioxide	90.1
Nitrogen oxides	988

3.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait le dimensionnement et la simulation ainsi que l'analyse de ces résultats. Nous avons constaté que le système hybride idéal utilisé dans les trois régions n'est pas nécessairement le triple (PV/éolien/GD), mais peut être un bilatéral (PV/GD ou bien éolien/GD) comme il était à Mostaganem selon la quantité du vent et le rayonnement solaire présents au cours de l'année dans chaque région.

Le prix du kWh varie également d'une région à l'autre, en fonction de la quantité d'énergie renouvelable, il est prouvé aussi que le coût de l'énergie dépend largement de la qualité potentielle de l'énergie renouvelable.

CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

Beaucoup de régions éloignées et rurales en Algérie ne sont pas connectés au réseau national en raison du coût élevé. Le but de cette étude est de réaliser une solution économique d'un système hybride de production de l'énergie renouvelable afin de réduire la consommation du diesel et de pollution de l'environnement. En utilisant le modèle de simulation du logiciel HOMER, qui a un langage interactif, Permettant la prédiction des tâches système d'une manière rapide et précise.

Il a été constaté que le système hybride idéal est le système qui est constitué de (PV/éolien/diesel) avec une vitesse du vent de [3 m/s] ou plus. Il est constaté que ce type de système d'énergie est possible de résoudre le problème de l'électricité rurale dans notre pays. Dans les différentes conditions climatiques dans les deux sites sélectionnés «Sétif et Tamanrasset».

Mais dans les régions à faible potentiel de vitesse du vent inférieure à [3m/s], la contribution de l'énergie éolienne représente 2% de la production totale d'énergie comme dans le cas du site de Mostaganem. Le meilleur système hybride utilisé dans ce site est le système (PV/générateur diesel).

Le principal avantage d'un système hybride PV/ éolien / diesel est que lorsque les énergies solaire, éolienne et diesel sont utilisées en même temps, pour améliorer la fiabilité du système.

En ce qui concerne les résultats économiques, on peut remarquer que le système photovoltaïque représente une solution plus compétitive qu'un système hybride dans le cas de l'ensemble des sites. D'autre part, la solution photovoltaïque présente un déficit pendant la période d'hiver pour la majorité des sites choisis. Ainsi, l'utilisation d'un système hybride permet de surmonter les difficultés d'optimisation des paramètres et des coûts de production. Dans tous les cas, le modèle présenté peut être amélioré. Il souffre d'approximation et d'imprécision, à savoir l'utilisation de l'étape de données mensuelles, cependant l'utilisation de l'étape horaire qui traite la nature fluctuante de ces ressources permettra certainement d'améliorer ces résultats.

Les GES (gaz à effet de serre) polluent l'environnement (air, eau et sol), et affecte les êtres humains. C'est un coût indirect ou masqué, ce qui n'est pas pris en considération lors de l'utilisation de combustibles fossiles, il est payé par l'être humain. Le système autonome (GD) utilisé dans le site de Sétif ajoute un total de 65904.4 kg de polluants dans l'atmosphère locale de ce site chaque année. Le système hybride (PV/éolien/diesel) peut faire baisser la quantité des polluants à 40443.43 kg par an. Cela représente une réduction de 25460.97 kg (environ 30%) de tous les polluants [CO₂,

CO, azote,.... etc.].

Enfin, ce travail nous a permis de déterminer l'architecture optimale d'un système hybride (PV/éolien/diesel) en donnant à l'utilisateur les éléments nécessaires pour décider de l'approche qui conduit au meilleur compromis entre coûts et besoins.

Références Bibliographiques

[1] D. Saheb-Koussa a,*, M. Haddadi b, M. Belhamel, "Economic and technical study of a hybrid system (Wind- Photovoltaïque -diesel) for rural electrification in Algeria", *journal home page: Elsevier, Applied Energy* 86 (2009) 1024-1030, December 2008.

[2] Grégoire Léna (IED), « Mini-réseaux hybrides PV-diesel pour l'électrification rurale », *rapport AEI-PVPS T9-13:2013 CLUB-ER*, no, pp12-13 , Juillet 2013.

[3] Gang Liu, M. G. Rasul, M. T. O. Amanullah, M. M. K. Khan, "Feasibility study of stand-alone PV-wind-biomass hybrid energy system in Australia", *Power Engineering Research Group, University Rock Hampton, Australia*, 2011, QLD 4-7.

[4] Rajib Baran Roy, "Design and cost analysis of hybrid power system for Off-Grid rural areas of Bangladesh", *Electrical and Electronics Engineering, Canadian Journal*, Vol. 3, No. 7, September 2012.

[5] Ayong Hiendro*, Rudi Kurnianto, Managam Rajagukguk, Yohannes M. Simanjuntak, Junaidi, "Techno-economic analysis of photovoltaic/wind hybrid system for Onshore/remote area in Indonesia", *journal homepage: Elsevier, Energy* 59 (2013) 652-657, August 2013.

[6] A. Labouret, P. Cumunel, J-P. Braun, "Cellules Solaires Les bases de l'énergie Photovoltaïque", *Dunod*, Paris 2001.

[7] B. Azoui et al, "Sizing and Optimization models for photovoltaic pumping system Using BLDCM Motor", *AMSE*, pp 55-69, 2003.

[8] E. Matagne, R. El Bachtiri, "A method for in situ Determination of the Junction Temperature of Solar Modules and its Potential Applications, " *Proceeding of the International Conference Metrology & Measurement Systems - METSIM'2003*, Bucharest, October 2003, ISBN973-8067-86-3, 2003, 1-8.

[9] http://www.windsun.com/PV_Stuff/Solar_Panel_PDF.htm

[10] Les Dossiers Environnement de GAZACA «Les énergies renouvelables (partie II – L'énergie Solaire)» : Mai 2006 www.GAZACA.com.

[11] <http://membres.lycos.fr/tpepaillardbaroux/notions.htm>.

[12] Zarour Laid, « Etude technique d'un système d'énergie hybride Photovoltaïque-éolien hors réseau », Magistère en Electrotechnique, Université Mentouri De Constantine, Département D'électrotechnique, Algérie, 07/2010.

[13] M. Serge Poignant « Rapport d'informatique» déposé en application de l'article 145 du règlement par la commission des affaires économique sur l'énergie photovoltaïque, assemblée nationale constitution de 4 octobre 1958.

[14] www.energies-renouvelables.org

[15] Nicolas LAVERDURE « Sur l'intégration des générateurs éoliens dans les réseaux faibles ou Insulaires ». Thèse de doctorat de L'INPG Spécialité Génie Electrique Institut national Polytechnique de décembre 2005.

[16] Hassini Née Belghitri Houda « Modélisation, Simulation et optimisation d'un système hybride éolien-Photovoltaïque », thèse de magister, université mentouri, Constantine soutenu en 2010.

[17] B. Milton, " Le Génie électrique dans le vent, état de l'art et recherches dans le domaine de la génération éolienne" *JCGE* , vol 15.pp03 Saint Nazaire, 2003.

[18] H. De Battista, R. J. Mantz, and C. F. Christiansen, "Dynamic sliding mode power control of wind driven induction generators," *IEEE Trans.Energy Convers.*, vol. 15, No. 4, pp. 451–457, Déc 2000.

[19] F. Massai, " Contribution à l'Etude d'une Génératrice à Réductance Variable." .Thèse de Magister Institut d'électrotechnique Université mentouri Constantine 2009.

[20] L, AICHE-HAMAE.A.KHELLAF. « Evolution mensuelle de la ressource éolienne à travers l'Algérie » congrée sur le photovoltaïque et l'énergie éolienne (IPCWE) Tlemcen, Algérie (Novembre2003).

[21] N. KASBADJI MERZOUK « Evaluation du Gisement énergétique éolien contribution a La détermination du profile vertical de la vitesse de vent en Algérie». These de doctorat de l'Université de Tlemcen, 2006.

[22] C. Nichita, D. Luca, "Large band simulation of the wind Speed for real time wind turbine simulator", *IEEE Trans Energy*.vol.17, n°4, pp.523 - 529, December 2002.

[23] BRIHMAT Fouzia, « Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale Hybride PV/Eolien », thèse déc. magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Electrotechnique 2011.

[24]J.F.Manwell, A.Rogers, G.Hayman, C.T.Avelard, J.G.McGowman,"Hybride2-A hybrid system simulation model. Theory Manual", NREL Subcontract XL-11126-1-1, 1998

[25] M.Pipattanasomporn, "A study of remote area internet access with embedded power generation", Etd-12272004-1413 18, Virginia Polytechnic Institute, 2004.

[26] I. Vechiu ;(Modélisation et analyse de l'intégration des énergies renouvelables dans un réseau autonome) , Thèse de doctorat d'état, Université du Havre-décembre 2005.

[27] B. Wichert, "PV-diesel hybrid energy systems for remote area generation – Areview of current practice and future development", *Elsevier science*, 1997, vol.1, no. 3, pp. 209—228, 1997.

[28] M.Ashari, C. V. Nayar, "An optimum dispatch strategy using set points for a photovoltaic (PV) diesel-battery hybrid power system", *Elsevier Science, Renewable Energy* ,vol.66, No. 1,pp.1—9. 1999.

ملخص:

تعرض هذه المذكرة دراسة التصميم وتكلفة النظام الهجين لإنتاج الطاقة المتجددة، في مختلف أماكن معزولة في الجزائر (سطين) ومستغانم وتمنراست)، ويتألف من توربين الرياح والألواح الشمسية مع بطاريات التخزين و مولد الديزل.

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تحديد الحجم الأمثل وحساب التكلفة الصافية الحالية (\$)، وتكلفة الطاقة (كيلوات ساعي/ \$)، وانبعاث الغازات الدفينة (كلغ) من النظام الهجين، مع قدرة كهربائية حوالي 52.65 كيلوات في أيام الأسبوع و 57044 كيلوات في عطلة نهاية الأسبوع والتي سوف تلبى الطلب من الكهرباء وتعمل تحت موارد الطاقة المتجددة المذكورة أعلاه. هومر (النموذج الهجين المثالي للكهرباء المتجددة) وهو الأداة المثلى لأنظمة الطاقة المتجددة على أساس نظام الطاقة المستقلة، ويستخدم كأداة محاكاة وتتم مقارنة التكاليف و الانبعاث مع بعضها البعض بين جميع الأنظمة. وتبين كذلك أن النظام الهجين (الألواح الشمسية/توربين الرياح/مولد الديزل) هو وسيلة فعالة للحد من الانبعاث، وثبت أيضا أن تكلفة الطاقة يعتمد إلى حد كبير على إمكانات نوعية الطاقة المتجددة.

كلمات مفتاحيه : الطاقة المتجددة، الطاقة الشمسية، التوربين (الرياح)، النظام الهجين، الموقع الغير متصل.

Résumé :

Ce mémoire présente une étude de dimensionnement et analyse du cout d'un système hybride de production de l'énergie renouvelable dans différents sites isolés en Algérie (Sétif, Tamanrasset et Mostaganem), composés de éolienne et photovoltaïque avec la batterie le stockage et un générateur diesel.

L'objectif principal de cette étude est de déterminer la taille optimale et calculer le coût actualisée nette (APN, \$), le coût d'énergie (COE, \$ • kWh⁻¹), et les émissions de gaz à effet de serre (GES) en (kg) d'un système hybride, avec une capacité électrique de 52.65 KW dans les jours de semaine et 57.44 KW dans les week-end qui saura répondre à la demande d'énergie électrique, fonctionnant avec les ressources spécifiques d'énergie renouvelable mentionné ci-dessus.

Le Homer (modèle hybride d'optimisation pour l'électricité renouvelable), qui est l'outil d'optimisation des systèmes d'énergie renouvelable sur la base du système électrique autonome est utilisé comme un outil simulant. Le coût et les émissions sont comparés les uns avec les autres entre les systèmes.

Il est constaté qu'un système hybride PV- éolien – GD, EDH hors réseau est un moyen efficace de réduction des émissions, il est prouvé aussi que le coût de l'énergie dépend largement de la qualité potentielle de l'énergie renouvelable.

Mots Clés: Energie renouvelable, Panneaux solaires, Eolienne, Système hybride, Site non connecté.

Abstract :

This paper presents a study of design and cost analysis of a hybrid system for producing renewable energy in isolated sites in Algeria (Sétif and Mostaganem, Tamanrasset), composed of wind and solar with battery storage and a generator diesel.

The main objective of this study is to determine the optimal size and calculate the net present cost (NPC \$), the cost of energy (COE, \$ • kWh⁻¹), and greenhouse gas emissions (GHG) emissions (kg) of a hybrid system with an electric capacity of KW 52.65 on weekdays and 57.44 KW in the weekend that will meet the demand for electrical energy, working with specific resources to renewable energy mentioned above.

Homer (hybrid optimization model for renewable electricity), which is the optimization of renewable energy systems in the autonomous power system based tool is used as a simulating tool. The cost and emissions are compared with each other between systems.

It is found that PV- wind hybrid system - GD EDH off-grid is an effective way to reduce emissions, it is also proved that the energy cost depends largely on the quality potential of renewable energy.

Key Words: Renewable Energy, Solar, Wind, Hybrid System, Site not connected.

