



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel
Spécialité : Génie Industriel

Thème

**Dimensionnement d'un système à énergie renouvelable :
étude de cas**

Présenté et soutenu publiquement par :

Frakis Ghada

&

Smail Benaouda El Bachir

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr.BELABBES Abdellah	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Président
Mr. BENFEKIR Abderrahim	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Encadreur
Mr. HASSINI Abdelatif	prof	Univ. Oran-2, IMSI	Examineur
Mme.Ghazli Fatima Zohra	doctorante	Univ. Oran-2, IMSI	Co.Encadrante

Juillet 2023

Abstract:

The exploitation of renewable resources is booming in industrialized countries and even in some underdeveloped countries.

The study was carried out with the aim of analyzing the performance and sizing an autonomous hybrid electricity production system combining wind and photovoltaic energy. This solution is ideal for solving this type of problem.

We present in this thesis, a method of optimal dimensioning of the photovoltaic/wind generator and the battery bank in a totally autonomous hybrid system (wind - photovoltaic) to supply our industrial maintenance and safety institute. For a load and a probability of energy loss given under the criterion of a minimum cost of the system, an optimal number of batteries and photovoltaic modules was calculated.

Keywords: *Photovoltaic system – Wind power system – Photovoltaic-wind hybrid system – Storage system – Dimensioning-Optimization.*

Résumé :

L'exploitation des ressources renouvelables connaît un grand essor dans les pays industrialisés et même dans quelques pays sous-développés.

L'étude a été réalisée dans le but d'analyser les performances et de dimensionner un système hybride autonome de production d'électricité combinant énergie éolienne et photovoltaïque. Cette solution d'avère idéale pour résoudre ce type de problème.

Nous présentons dans ce mémoire, une méthode de dimensionnement optimal du générateur photovoltaïque/éolienne et du banc de batteries dans un système hybride (éolien - photovoltaïque) totalement autonome pour alimenter notre institut de maintenance et sécurité industrielle. Pour une charge et une probabilité de perte d'énergie données sous le critère d'un coût minimum du système, un nombre optimal de batteries et de modules photovoltaïques a été calculé.

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

: الملخص

يزدهر استغلال الموارد المتجددة في البلدان الصناعية وحتى في بعض البلدان المتخلفة. أجريت الدراسة بهدف تحليل الأداء وتحديد حجم نظام إنتاج الكهرباء الهجين المستقل الذي يجمع بين طاقة الرياح والطاقة الكهروضوئية، وهذا الحل مثالي لحل هذا النوع من المشاكل. نقدم في هذه الأطروحة، طريقة لأبعاد مثالية لمولد الطاقة الكهروضوئية / الرياح وبنك البطارية في نظام هجين مستقل تمامًا (الرياح - الكهروضوئية) لتزويد معهدنا للصيانة الصناعية والسلامة. تم حساب العدد الأمثل للبطاريات والوحدات الكهروضوئية للحمل واحتمالية فقد الطاقة وفقًا لمعيار الحد الأدنى لتكلفة النظام.

الكلمات المفتاحية: النظام الكهروضوئي - نظام طاقة الرياح - النظام الهجين الكهروضوئي والرياح - نظام التخزين - الأبعاد - التحسين

Remerciement

Tout d'abord, je remercie le Dieu Tout Puissant de m'avoir donné la force et la patience, et m'a guidé sur le droit chemin et m'a donné le courage et la force de continuer ce travail.

*Je tiens également à remercier à mon Encadreur de thèse **Mr. Benfekir Abd Rahim** Professeur l'Université d'Oran, qui m'a fait l'honneur de veiller à diriger ce travail. Ses efforts et ses conseils avisés m'ont permis de mener à bien conduire cette tâche, merci de m'avoir fait confiance.*

*J'exprime ma profonde gratitude ma Co-encadreur de thèse pour doctorat et mémoire pour le master **Mme Ghazli Fatima Zohra**, qui n'a pas lésiné sur moi avec ses conseils, qu'Allah la récompense*

*Je souhaite également remercier tous les membres du jury **Dr. Belabas** et **Professeur Hassini** qui m'ont fait l'honneur d'examiner le présent travail, j'espère qu'ils trouvent mes vifs remerciements.
Sans oublier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation.*

Enfin, un grand merci à mes amis. Et à toutes les personnes qui m'ont aidé, de près ou de loin, un jour ou l'autre. Merci également à tout le personnel technique,

Dédicace

Avant tous, je remercie dieu le tout puissant de m' avoir donnée le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A ma grande mère et mes parents. Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.

Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A vous mes sœurs qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études..

A la famille.

A tous mes professeurs.

A tous mes amis et mes collègues:(Djamaa Oussama,Ferras Faiza,Bettahar Nadia) .

Sans oublier mon binôme Smail Benaouda El Bachir pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

Merci !

Dédicace

Avant tout, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées. Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A mes parents Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération sentiments envers eux Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A vous mes frères et sœurs qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A la famille.

A tous mes professeurs. A tous mes amis et mes collègues :

A tous les étudiants de master 2

Sans oublier mon binôme Frakis Ghada pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet

Merci !

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre 1: Généralités sur le système hybride photovoltaïque-eolienne	3
1.1 Introduction	3
1.2 Evaluation Des Energies Renouvelables En Algerie :.....	3
1.3 Energie Solaire	4
1.3.1 Définition.....	4
1.3.2 Position du soleil	6
A. Coordonnées géographiques terrestres	6
B. Définition des coordonnées terrestres d'un lieu donné.....	7
1.3.3 Evaluation des ressources solaires.....	10
A. Composant de rayonnement solaire :	10
B. La durée d'insolation (DG)	12
C. Les données de la température :	13
1.4 Avantages Et Inconvénients D'une Installation Pv :.....	14
1.4.1 Avantages :	14
1.4.2 Inconvénients.....	14
1.5 Energie Eolienne.....	15
1.5.1 Définition de l'énergie eolienne.....	15
1.5.2 Les caractéristiques du vent.....	15
1.5.3 Fonctionnement d'une eolienne	16
A. Composants d'un système éolien	16
B. Caractéristiques des éoliennes	17
1.6 Avantages Et Inconvénients De L'éolienne	20
1.6.1 Avantages	20
1.6.2 Inconvénients.....	20
1.7 Systeme d'énergie hybride (S.E.H).....	20
1.7.1 Définition.....	20
1.7.2 Présentation du système hybride photovoltaïque-éolien	23
1.7.3 Système de conversion d'énergie hybride.....	24
1.7.4 Principaux composants du Système d'énergie hybride photovoltaïque – éolien.....	25
A. Générateurs photovoltaïques	26
B. Générateur eolienne:.....	29
1.8 Groupe Electrogene Diesel.....	32
1.8.1 Différentes classes d'un système éolien	33
1.9 Systèmes de stockage	34
1.9.1 Les types des batteries	34
1.9.2 Les convertisseurs de puissance :	35

1.9.3	La charge	35
1.10	Alimentation en energie des regions eloignees de tout reseau	36
1.10.1	Les systèmes autonomes et isolés.....	36
1.10.2	Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des SEH	36
1.10.3	Stratégie de fonctionnement	37
1.11	Conclusion.....	37
chapitre 2 :Methode De Dimensionnement D'un Systeme Hybride A L'aide Du Logiciel Retsceen.....		38
2.1	Introduction	38
2.2	Logiciel RETsceen	38
2.3	Définition Du Dimensionnement.....	39
2.4	Méthodes De Dimensionnements	40
2.4.1	Paramètres à déterminer lors de la conception	40
2.4.2	Analyse du potentiel énergétique solaire et éolien disponible	40
A.	Gisement solaire en Algérie	40
B.	Potentiel éolien	41
2.5	Caracteristiques climatiques de la region choisi	42
2.5.1	Caractéristiques de la région d'Oran.....	42
2.5.2	Choix du site (Institut de Maintenance et de Sécurité industrielle).....	42
A.	Coordonnées et l'emplacement du site.....	43
B.	Données géographique du lieu	43
2.6	Dimensionnement du systeme hybride a energie renouvelable etudie en utilisant la methode iterative	44
2.6.1	Méthode itérative.....	44
2.6.2	Dimensionnement d'une installation PV	44
A.	Déterminer les besoins électrique.....	44
B.	Evaluation de la puissance à produire 'Ep' pour satisfaire la demande	44
C.	Calcul de la puissance crête nécessaire Pc du générateur photovoltaïque:.....	45
D.	Détermination du nombre de panneaux photovoltaïques Nécessaire chaque mois :.....	46
E.	La tension de fonctionnement.....	47
2.6.3	Choix de l'éolienne.....	47
2.6.4	Détermination de la capacité de stockage des batteries en cas d'insuffisance des sources renouvelables :	47
2.6.5	Dimensionnement du régulateur.....	49
2.6.6	Dimensionnement de l'onduleur :	50
2.6.7	Coûts d'installation.....	50
A.	Le cout des composants principales d'un système hybride photovoltaïque –éolienne: 51	
2.7	Conclusion.....	51
Chapitre 3: Simulation d'un système hybride par logiciel homer pro (étude de cas).....		52
3.1	Introduction	52

3.2	Presentation Du Logiciel Homer Pro	52
3.2.1	Définition HOMER pro	53
3.2.2	Méthodologies spécifiques aux simulations :	53
3.2.3	Les sorties	54
3.2.4	Le fonctionnement:	54
3.3	Position de l'Université Es Senia (institut de maintenance et de securite industrielle) :	61
3.3.1	Configuration du Système	62
3.3.2	Schéma de conception du système	62
3.4	Simulation des composants de systeme	62
3.4.1	Choix du générateur	62
3.4.2	Choix des PV	63
3.4.3	Choix des éoliennes	65
3.4.4	Choix des batteries	66
3.4.5	Choix des convertisseurs	67
3.4.6	La charge	67
3.5	Resultats et discussion de la simulation	68
3.5.1	Production et consommation d'énergie électrique	69
3.5.2	Résultats du champ PV	70
3.5.3	Résultats de l'éolienne	71
3.5.4	Les batteries	72
3.5.5	Le convertisseur	73
3.5.6	Répartition des coûts de l'installation	74
3.5.7	La comparaison entre les résultats des trois dimensionnements	75
3.6	Conclusion	75
	Conclusion Générale	76

Liste des Figures

CHAPITRE 1

Figure 1.1 Système photovoltaïque	4
Figure 1.2 Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil notion de la convention AM	5
Figure 1.3 Spectres solaires relevés dans plusieurs conditions selon la convention AM. (Source NREL Solar Spectrum	5
Figure 1.4 Définition des coordonnées terrestres d'un lieu donné	6
Figure 1.5 Les différents composants du rayonnement solaire	11
Figure 1.6 Appareil de mesure des rayons (Pyranomètre, Pyréliomètre, albédo-mètre)	12
Figure 1.7 Représentation de l'irradiation globale et diffus mensuelle horizontal	12
Figure 1.8 La durée d'insolation	13
Figure 1.9 La température mensuelle	13
Figure 1.10 La température journalière	13
Figure 1.11 Profile de vitesse de vent.....	16
Figure 1.12 Composantes de l'aérogénérateur	16
Figure 1.13 Eoliennes à axes horizontal.....	18
Figure 1.14 Eolienne à axe horizontal	18
Figure 1.15 Eoliennes à axes vertical	19
Figure 1.16 Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.	19
Figure 1.17 Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien.....	21
Figure 1.18 Position du parafoudre dans le système d'énergie hybride.....	22
Figure 1.19 Schéma synoptique du système hybride étudié.....	24
Figure 1.20 Schéma de principe du système hybride photovoltaïque- éolien.....	25
Figure 1.21 Classification de différents types de cellules photovoltaïques au silicium []	26
Figure 1.22 Circuit équivalent de la cellule solaire.....	27
Figure 1.23 Caractéristiques $I=f(v)$ sous obscurité et sous éclairement d'une cellule photovoltaïque.....	28
Figure 1.24 Schémas équivalent électrique d'une génératrice à courant continu à excitation séparée.....	32
Figure 1.25 Configuration du générateur diesel	33

CHAPITRE 2

Figure 2.1 Moyenne annuelle de l'irradiation globale sur une surface horizontale....	41
Figure 2.2 Carte de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 50 m du sol.	41
Figure 2.3 Emplacement de la station météo Essenia dans la région d'Oran	42
Figure 2.4 Coordonnées du site Es Senia à Oran	43

CHAPITRE 3

Figure 3.1 Mise en place notre site géographique Es-Senia.....	61
Figure 3.2 Montage électrique du système hybride (Université Es senia).	62
Figure 3.3 Le choix du générateur.....	63
Figure 3.4 Courbe de consommation de carburant du GD	63
Figure 3.5 Déterminer le panneau solaire approprié et ses caractéristiques.....	63
Figure 3.6: la variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière	64
Figure 3.7 l'évolution des températures mensuelles moyennes de l'IMSI Oran Es senia	65
Figure 3.8 Les données du coût d'éolien	65
Figure 3.9 Caractéristique de puissance de l'éolienne choisie en fonction de la vitesse du vent.	66
Figure 3.10 Connexion des batteries au système.....	66
Figure 3.11 Propriétés du l'onduleur	67
Figure 3.12 Données montrant le volume de consommation tout au long de l'année	67
Figure 3.13. Montage électrique du système hybride.....	68
Figure 3.14 Résultats proposés par Homer.....	68
Figure 3.15. Analyse des résultats du système hybride.....	69
Figure 3.16 Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source (IMSI Es senia).	69
Figure 3.17 Paramètres de Fonctionnement du Pv	70
Figure 3.18 Puissances journalières moyennes délivrées par le générateur photovoltaïque.	70
Figure 3.19. Puissances mensuelle moyennes délivrées par le générateur photovoltaïque.	70
Figure 3.20 Paramètres de Fonctionnement de l'éolienne	71
Figure 3.21 Puissances journalières moyennes délivrées par l'éolienne.....	71
Figure 3.22 Puissances mensuelle moyennes délivrées par l'éolienne	72
Figure 3.23 Paramètres de Fonctionnement de la batterie.....	72
Figure 3.24. Etat de charge moyenne journalière et mensuelle des batteries.....	72

Figure 3.25 Paramètres de Fonctionnement d'onduleur.....	73
Figure 3.26 Distribution de la puissance moyenne mensuelle délivrée par l'onduleur.	73
Figure 3.27 Quantité du gaz polluant émis par le (GD) à Es senia Oran	74
Figure 3.28 Coûts de l'installation	74
Figure 3.29 .les flux de trésorerie	74

Liste des tableaux

CHPITRE 1

CHAPITRE 2

Tableau 2-1 Inclinaison en fonction de la latitude	43
Tableau 2-2 Localisation géographique d’Oran	43
Tableau 2-3 présente le calcul de la puissance à produire Ep (journalière, annuelle)	45
Tableau 2-4 présente le calcul de la puissance crête de champ PV dans les 12mois .	46
Tableau 2-5 Les tensions correspondantes à chaque Intervalle de puissance crête....	47

CHAPITRE 3

Tableau 3-1 Paramètres pour le choix de logiciel HOMER Pro	52
Tableau 3-2 Étapes d'utilisation du logiciel HOMER pro	55
Tableau 3-3 Comparaison des résultats principaux.....	75

Liste des Abreviations

CA : courant alternatif

CC : courant continu

DG : La durée d'insolation

Ep : énergie produite par jour

ET : Equation du temps

F.E.M : forces électromotrices induites

GSAP : générateur à aimants permanents

H : Angle horaire du soleil

h : Constante de Planck

IC : initial capital

Icc : Courant de court-circuit

IMSI : Institut de Maintenance et de Sécurité industrielle

MPPT : Maximal Power Point Tracking

η : Rendement de la batterie

NPC : Net Present Cost

NREL : US National Renewable Energy Laboratory

Pc : La puissance crête

Pdd : Profondeur de décharge

Preg : La puissance du régulateur

PV : générateur photovoltaïque

RF : Renewable Fraction

ρ_{pc} : facteur de dégradation

S.E.H : Systeme d'énergie hybride

Tsun : Temps équivalent avec pleine irradiation

Vco : Tension à vide

VD : Vitesse de démarrage

VM : Vitesse maximale du vent

WT : turbine éolienne

Pn : puissance nominale

Rs : résistance série

V_n : vitesse nominale

λ : Longueur d'onde

δ : Déclinaison

λ : Longitude

ϕ : Latitude

Introduction générale

Depuis quelques années, le monde est confronté à des enjeux énergétiques et climatiques sans précédent pour lesquels de fortes alternatives sont attendues. Relever ces défis devra passer par une période de transition où le recours aux énergies renouvelables, l'amélioration de l'efficacité énergétique, et la modération de la consommation dans les comportements seront les principaux vecteurs du changement. Les efforts à entreprendre dans le domaine des énergies renouvelables sont considérables car leur part dans l'énergie finale n'est pas suffisant. Différents facteurs climatiques, énergétiques ou économiques telles que le réchauffement climatique, la raréfaction des énergies fossiles, la libéralisation du marché de l'énergie soutiennent une prise de conscience accrue dans le domaine des énergies renouvelables de la part des usagers ou des décideurs politiques.

D'un point de vue économique, les installations à base d'énergies renouvelables ne sont pas encore compétitives mais il est raisonnable de penser qu'elles le deviendront à court terme, en particulier avec le renchérissement du prix des énergies fossiles. De plus, une grande partie du monde ne sera sans doute jamais raccordée aux réseaux électriques dont l'extension s'avère trop coûteuse pour les territoires isolés, peu peuplés ou difficiles d'accès, la tendance est donc de consommer au niveau local l'énergie produite. Dans un tel contexte, il convient de lever les difficultés liées à l'emploi des énergies propres. L'une de ces difficultés en est l'optimisation de la combinaison de plusieurs énergies (comme par exemple le soleil, le vent, ...) et l'utilisation des dispositifs de stockage pour pallier au caractère intermittent de ces énergies.

La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. Cependant, le caractère aléatoire des sources impose des règles particulières de dimensionnement et d'exploitation des systèmes de récupération d'énergie. Le jumelage des sources d'énergie renouvelable comme l'éolienne, le photovoltaïque ... peut constituer un complément ou une alternative aux générateurs diesels utilisés généralement pour la génération d'électricité dans les régions isolées.

L'utilisation de l'énergie hybride (solaire-éolien) est de plus en plus utilisée dans diverses applications en sites isolés telles l'éclairage, les télécommunications, la réfrigération ou le pompage.

En ce qui concerne notre pays, l'enjeu du développement des énergies renouvelables est encore plus important. En effet, ces énergies permettront de plus en plus de couvrir la croissance nécessaire et légitime des services énergétiques de base dans les domaines du développement rural, de l'habitat, de la santé, de l'éducation puis à long terme, de l'industrie.[1]

Ainsi de part sa situation géographique, l'Algérie favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation des énergies solaire et éolienne .En effet vu l'importance de l'intensité du rayonnement solaire reçu (169.440 TWh/an), le plus important de tout le bassin méditerranéen , qui représente 5.000 fois la consommation Algérienne en électricité , notre pays couvre certains de ses besoin en énergie solaire ,Tandis que l'énergie éolienne qui représente un potentiel important dans certaines régions , donne une autre extension pour notre pays pour diversifier sa production d'électricité d'origine renouvelables dans les décennie à venir. [2]

L'objet de ce travail est d'étudier la possibilité de couvrir les besoins énergitique d'une Université (IMSI) à partir d'un aérogénérateur et de panneaux photovoltaïques . A partir des données horaires de vitesse du vent , de rayonnement solaire et de la consommation horaire journalière nous allons simulé à l'aide de l'outil HOMER PRO la production énergétique du système hybride.

Ce travail sera organisé de la façon suivante :

Dans **Le premier chapitre** nous présenterons de façon générale les systèmes hybrides de production d'énergie, avec une attention particulière sur le système(éolien-photovoltaïque).Nous définirons et détaillerons ces différents composants .

Le deuxième chapitre présente en détail le système étudié,incluant la description de notre université,son architecture,son orientation ainsi que le profil de consommation énergétique.Ensuite ,nous aborderons les différentes méthodes de dimmensionnement 'en mettant l'accent sur l'approche itérative qui nous permet d'évaluer le potentiel énergétique de l'institut et de calculer le nombre de panneaux photovoltaïques et de batteries nécessaire.

le troisième chapitre 3 sera consacré à la simulation, nous expliquerons le fonctionnement du logiciel HOMER pro ainsi que toutes les étapes nécessaires pour mener à bien la simulation .

Chapitre 1: Généralités sur le système hybride photovoltaïque-éolienne

1.1 Introduction

On appelle énergie renouvelable un ensemble de sources d'énergie qui sont inépuisables à l'échelle humaine, largement disponibles, essentiellement gratuites et sont compatibles avec un certain respect environnemental. Elles peuvent être converties, selon les besoins, en électricité ou en chaleur. La cogénération d'électricité et de chaleur est possible dans le cas de la géothermie, de la biomasse et de l'énergie solaire.

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

Les solutions technologiques nouvelles proposées par les générateurs hybrides, même si elles sont très complexes comparativement aux solutions courantes mono source, présentent par contre un intérêt évident considérable par leur flexibilité incomparable, leur souplesse de fonctionnement et leur prix de revient vraiment attractif.

Cependant, ces solutions exigent au préalable un dimensionnement laborieux basé sur une connaissance approfondie du gisement en énergies renouvelables du site d'implantation à l'amont, une gestion rigoureuse de l'énergie électrique produite à l'aval et un savoir faire que seule l'expérience dans l'ingénierie des systèmes énergétiques pourra assurer. Cette gestion rigoureuse de l'énergie s'appuie sur l'intelligence des dispositifs de régulation et de contrôle rendu possible grâce à des logiciels très performants. Ces installations hybrides vont connaître, à moyen terme un intérêt certain grâce à leur flexibilité vis-à-vis des sources d'énergie primaire.

Nous allons présenter dans ce chapitre les différentes caractéristiques du système hybride photovoltaïque-éolien, en ce basant sur les différentes définitions des constituants de ce système.

1.2 Evaluation Des Energies Renouvelables En Algérie :

Le potentiel des énergies renouvelables en Algérie est le plus important d'Afrique du Nord. Le marché des énergies renouvelables est prometteur et leur promotion constitue l'un des axes de la politique énergétique et environnementale du pays. Parmi les objectifs affichés par les pouvoirs publics, le marché local doit atteindre 600Mw en 2015, amenant la part de l'électricité produite par les énergies renouvelables à 6% de l'électricité totale produite.

1.3 Energie Solaire

1.3.1 Définition

L'énergie solaire est la ressource énergétique la plus abondante sur terre. Elle est à l'origine de la majorité des énergies renouvelables, mais elle est très atténuée Energie solaire

Le rayonnement solaire peut être utilisé pour produire soit directement de l'électricité à l'aide de semi-conducteur photovoltaïque, soit de la chaleur solaire thermique pour le chauffage ou la production électrique (Fig.1.1)

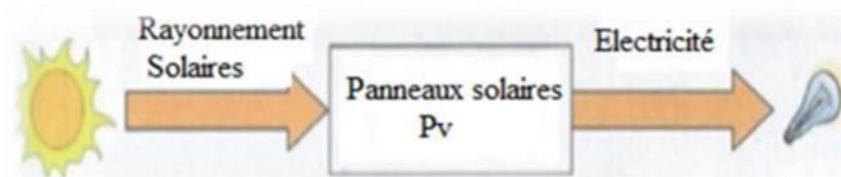


Figure1.1 Système photovoltaïque

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ($2,5 \mu\text{m}$) à l'infrarouge lointain ($3 \mu\text{m}$), et transportant chacun une énergie E_{ph} , qui répond elle même à la relation suivante :

$$E_{ph} = h \frac{c}{\lambda_0} \quad (1)$$

Dans laquelle :

- λ_0 : Longueur d'onde (m)
- h : Constante de Planck
- c : Vitesse de la lumière (m/s).

D'après l'équation (1), l'énergie transportée par un photon est inversement proportionnelle à sa longueur d'onde, c'est-à-dire plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande.

On utilise la notion AM pour Air Mass afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise. L'énergie totale transportée par le rayonnement solaire sur une distance soleil-terre est de l'ordre de $1350\text{W}/\text{m}^2$ (AM0) dans l'espace hors atmosphère terrestre (Fig.3).

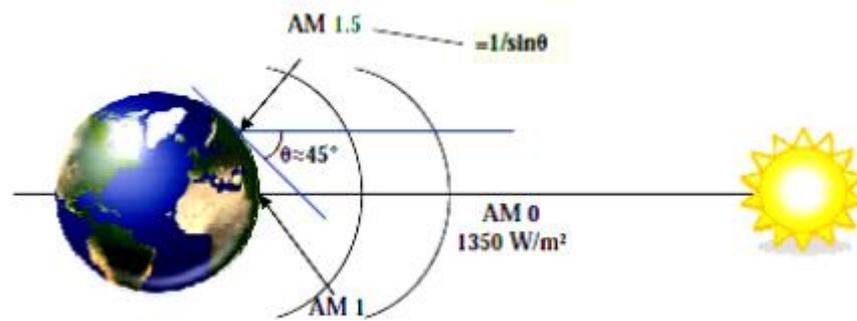


Figure 1.2 Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil notion de la convention AM

Lorsque le rayonnement solaire traverse l'atmosphère, il subit une atténuation et une modification de son spectre, à la suite de phénomènes d'absorption et de diffusion dans les gaz, l'eau et les poussières. Ainsi, la couche d'ozone absorbe une partie du spectre lumineux provenant du soleil, et en particulier

une partie des ultraviolets dangereux pour la santé. Le rayonnement solaire direct reçu au niveau du sol (à 90° d'inclinaison) atteint 1000 W/m² du fait de l'absorption dans l'atmosphère (AM1). Cette valeur change en fonction de l'inclinaison des rayons lumineux par rapport au sol. Plus l'angle de pénétration θ est faible, plus l'épaisseur atmosphérique que les rayons auront à traverser sera grande, d'où une perte d'énergie conséquente. Par exemple, l'énergie directe transportée par le rayonnement solaire atteignant le sol avec un angle de 48° avoisine les 833 W/m² (AM1.5).

Pour connaître le rayonnement global reçu au sol, il faut ajouter à ce dernier le rayonnement diffus. Le rayonnement diffus concerne tout le rayonnement dont la trajectoire entre le soleil et le point d'observation n'est pas géométriquement rectiligne et qui est dispersé ou réfléchi par l'atmosphère ou bien le sol. En considérant ceci, on obtient une référence du spectre global notée AM1.5 avec une puissance de 1000W/m², la Figure 1.2 correspondant à nos latitudes.

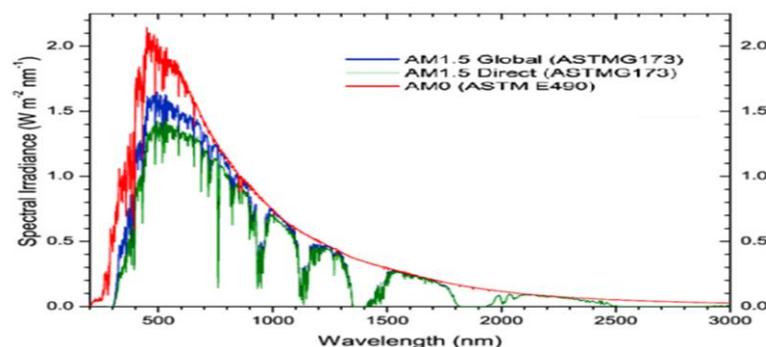


Figure 1.3 Spectres solaires relevés dans plusieurs conditions selon la convention AM. (Source NREL Solar Spectrum)

1.3.2 Position du soleil

Les ondes électromagnétiques provenant du soleil portent l'énergie, la projection de cette énergie dépend de l'orientation de la surface réceptrice. Pour récupérer le maximum d'énergie en provenance du soleil, il est nécessaire d'orienter au mieux le récepteur par rapport aux rayons lumineux. La connaissance de la position du soleil en fonction du temps est primordiale.

A. Coordonnées géographiques terrestres

Ce sont les coordonnées angulaires qui permettent de repérer un point sur la terre.

➤ **Latitude ϕ :**

Une des coordonnées terrestres d'un point de notre planète. C'est l'angle que fait le plan de l'équateur avec la direction reliant le centre de la terre au point considéré. Sa valeur est positive dans l'hémisphère nord, et est négative dans l'hémisphère sud.

➤ **Longitude λ :**

Une des coordonnées terrestres d'un point de notre planète. C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich. Sa valeur est positive à l'ouest et est négative à l'est de la méridienne origine.

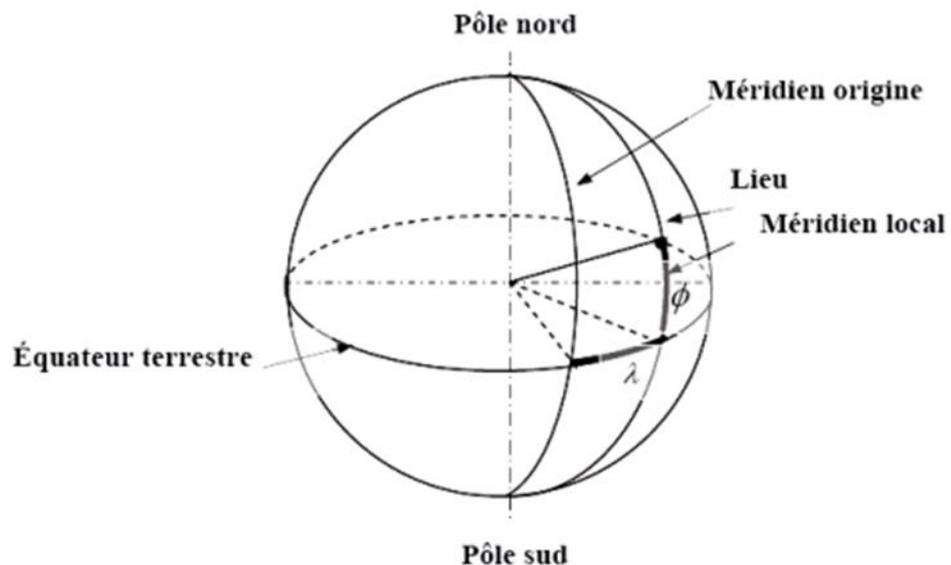


Figure 1.4 Définition des coordonnées terrestres d'un lieu donné

B. Définition des coordonnées terrestres d'un lieu donné.

B.1 Déclinaison δ

C'est l'angle formé par le vecteur Soleil Terre avec le plan équatorial. Elle est due à l'inclinaison de l'axe des pôles terrestre par rapport au plan écliptique, ce qui est traduit par les différentes saisons. Elle varie au cours de l'année entre $-23,45^\circ$ et $+23,45^\circ$. Elle est nulle aux équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (23 septembre), et maximale aux solstices d'été (22 juin) et d'hiver (22 décembre).

La variation journalière de la déclinaison est d'environ de $0,5^\circ$. Elle est calculée par une équation simple approximative :

$$\left[\delta = 23.45 \sin \left(\frac{360}{365} \right) (284 + n) \right] \quad (2)$$

Ou par une série de Fourier :

$$\left(\begin{array}{l} \delta = 0.06918 - 0.399912 \cos \beta + 0.070257 \sin \beta - 0.00678 \cos 2\beta + \frac{180^\circ}{\lambda} \\ 0.000907 \sin 2\beta - 0.002697 \cos 3\beta + 0.00148 \sin 3\beta \end{array} \right) \quad (3)$$

B.2 Angle horaire du soleil (H) :

C'est l'angle que font les projections de la direction du soleil avec la direction de méridien du lieu , l'angle horaire du soleil varie à chaque instant de la journée selon la relation :

$$H = 15 \cdot (TSV - 12) \quad (4)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} TSV = TL - DE + \left(\frac{E_t + 4\lambda}{60} \right) \\ E = 9.87 \cdot \sin 2N' - 7.35 \cos N' - 1.5 \sin N' \\ N' = \frac{360}{365} \cdot (N - 81) \\ DE = +1 \end{array} \right.$$

DE : Décalage horaire par rapport au méridien de Greenwich

TSV : Temps solaire vrai = temps repéré de façon que le soleil se trouve au zénith à midi

TL : Temps légal = temps donné par une montre

Et : Correction de l'équation du temps

λ : Longitude du lieu.

L'angle horaire H varie de -180° à $+180^\circ$.

On prend :

$$\left\{ \begin{array}{l} H > 0 \text{ apres midi} \\ H < 0 \text{ le matin} \\ H = 0 \text{ midi TSV} \end{array} \right.$$

B.3 Equation du temps ET

C'est l'écart entre le temps solaire moyen TSM et le temps solaire vrai TSV selon le jour de L'année considérée.

$$ET = TSV - TSM \quad (5)$$

Avec :

TSV : Temps Solaire Vrai c'est le temps repéré de façon que le soleil se trouve au zénith à midi

TSM : Temps Solaire Moyen c'est le temps qui " s'écoule " à vitesse constante de la Terre sur son orbite au cours de l'année (celui mesuré par les horloges).

La variation de ET durant l'année est donnée par la formule suivante :

$$ET = 0.258\cos x - 7.416\sin x - 3.648\cos 2x - 9.228\sin 2x \quad (6)$$

Avec :

$$x = \frac{360(N-1)}{365.25} \quad (7)$$

Où l'angle x est défini en fonction du numéro du jour . Le décompte commence à partir du 1^{er} janvier où $N=1$.

B.4 Durée du jour

Le jour est le temps qui sépare le lever et le coucher du soleil. Deux instants particuliers de la journée qui donne une hauteur h du soleil nulle sont appelés: le lever et le coucher du soleil .La relation donnant la hauteur du soleil peut s'écrire :

$$\sinh = \cos \delta \cos H \cos \phi + \sin \delta \sin \phi \quad (8)$$

Avec :

δ : Déclinaison du soleil

H : l'angle horaire du soleil

Φ : l'attitude de lieu Le coucher correspond à la valeur positive HC et le lever à la valeur négative HL .

Le coucher correspond à la valeur positive HC et le lever à la valeur négative HL .

$$\left\{ \begin{array}{l} H_c = \arccos(-tg\delta \cdot tg\phi) \\ H_L = -H_c \\ D_J = \frac{H_c - H_L}{15} = \frac{2}{15} \cdot Arc \cos T \end{array} \right. \quad (9)$$

Avec :

$$T = -tg\delta \cdot tg\phi$$

B.5 Durée d'insolation DI s d'un capteur (α, γ)

La durée d'insolation (DI s) est la durée effective d'insolation d'un capteur mesurée par héliographe et définie à partir d'un seuil minimum ($\approx 250w/m^2$).

Pour un plan (α, γ), un lieu ϕ et un jour donné, i est uniquement fonction de l'angle horaire H , on exprimera donc $\cos i$ en faisant bien apparaître la variable H .

$$\cos(i) = A \cdot \sin(H) + B \cdot \cos(H) + C \quad (10)$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} A = A' \cos(\delta) \\ A' = \sin(\alpha) \cos(\gamma) \\ B = B' \cos(\delta) \\ B' = \cos(\alpha) \cos(\gamma) \sin(\phi) + \sin(\gamma) \cos(\phi) \\ C = C' \sin(\delta) \\ C' = -\cos(\alpha) \cos(\gamma) \cos(\phi) + \sin(\gamma) \cos(\phi) \end{array} \right.$$

Le lever HL , et le coucher HC , du soleil sur un capteur sont définis pour:

$$i = \pm 90^\circ \Rightarrow \cos(i) = 0$$

La résolution de cette équation nous donne deux solutions une pour le lever et l'autre pour le coucher :

$$\begin{cases} H_L = \rho(\alpha) \arccos\left(\frac{B'}{D'}\right) - \arccos\left(\frac{-C'}{D'}\right) \operatorname{tg}(\delta) \\ H_C = \rho(\alpha) \arccos\left(\frac{B'}{D'}\right) + \arccos\left(\frac{-C'}{D'}\right) \operatorname{tg}(\delta) \end{cases}$$

Avec

$$D' = \sqrt{A' + B'}$$

$$\rho(\alpha) = \operatorname{Singe de } \alpha$$

La durée d'ensoleillement d'un capteur est donnée par:

$$D_{IS} = \frac{H_2 - H_1}{15} \quad (11)$$

Avec :

$$\begin{cases} H_1 = H_{L'} \\ H_1 = H_L \\ H_2 = H_C \end{cases} \quad \text{Si} \quad \begin{cases} \{H_{L'} \leq H_L \\ \{H_{L'} \geq H_L \\ \{H_{C'} \leq H_C \end{cases}$$

1.3.3 Evaluation des ressources solaires

A. Composant de rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire appelé également rayonnement électromagnétique émis par le soleil est grandement perturbé par l'atmosphère. Ce qui ne permet que la réception au sol des composants les plus importants et les plus actifs du rayonnement solaire total qui sont le rayonnement direct et le rayonnement diffus ; une fois arrivée au sol, une partie du rayonnement est réfléchié comme représenté dans la figure suivante [3] :

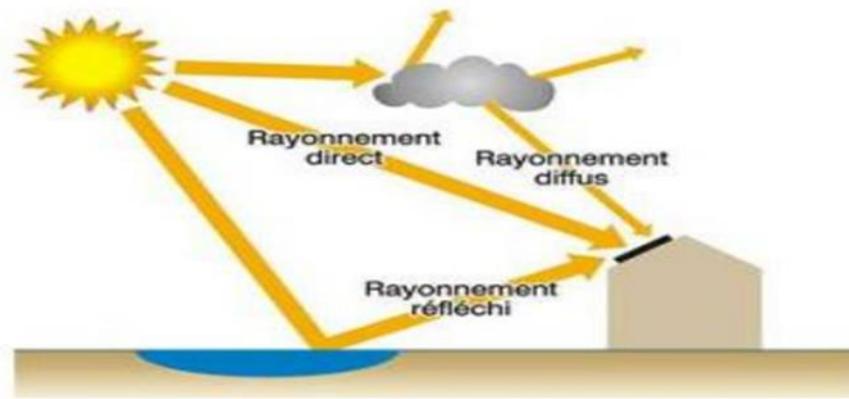


Figure 1.5 Les différents composants du rayonnement solaire

- ❖ **Rayonnement direct (D) :** qui est le rayonnement reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres pouvant être concentrés par les miroirs. Il peut être mesuré par un Pyrhéliomètre [3].
- ❖ **Rayonnement diffus (I) :** est le rayonnement reçu sur une surface horizontale parvenant de toute la voute céleste à l'exception du disque solaire. Il s'agit du rayonnement diffusé par les aérosols, les gouttelettes d'eau, la vapeur d'eau vers le sol. Il peut être mesuré par un Pyromètre avec un pare-soleil (bande métallique circulaire) qui protège le Pyranomètre du rayonnement solaire direct [3].
- ❖ **Rayonnement réfléchi (R) :** c'est le rapport de l'énergie solaire réfléchié par une surface à l'énergie solaire incidente Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont : les nuages, les surfaces de neige et de glace. Il peut être mesuré par un Albédo-mètre [3].
- ❖ **Rayonnement global (G) :** On mesure la puissance du rayonnement solaire globale sur une surface horizontale grâce à un Pyranomètre qui comprend une double coupelle de verre, un thermophile (série de thermocouples) et un système d'enregistrement de la force électromotrice produite par ce thermophile sous l'action d'un rayonnement. Quand l'instrument est exposé à la radiation solaire, une différence de température est créée entre les secteurs noirs et les secteurs blancs. Cette différence de température est détectée par la thermophile qui convertie l'énergie thermique en énergie électrique. Ce courant peut être mesuré et amplifié et le signal de millivolt est converti par un facteur de calibrage en un flux en watt par mètre carré [3].



Figure 1.6 Appareil de mesure des rayons (Pyranomètre, Pyrhéliomètre, albédo-mètre)

La figure 1.6 détermine les appareils de mesure des rayons Pyranomètre, Pyrhéliomètre, albédo-mètre.

On donne par la figure 1.7 , le rayonnement mensuel global et diffuse, sur un plan horizontal

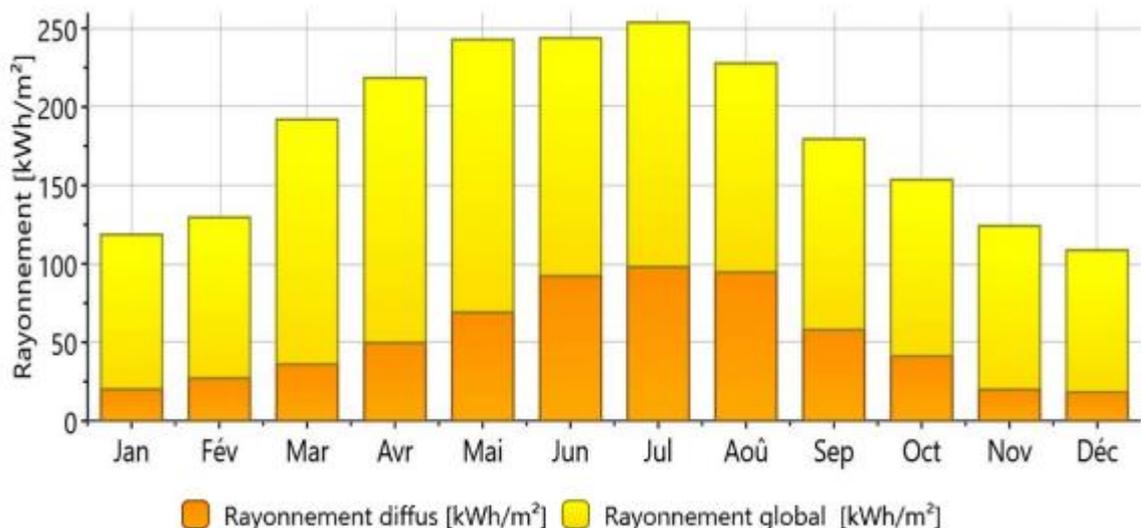


Figure 1.7 Représentation de l'irradiation globale et diffus mensuelle horizontale

La figure 1.7 représente l'irradiation globale et diffus mensuelle qui montre le plein potentiel que nous donne l'approbation de terminer un projet photovoltaïque

B. La durée d'insolation (DG)

La durée d'insolation ou d'ensoleillement exprime la longueur cumulée des périodes d'exposition directe au soleil entre le lever et le coucher du soleil pour un endroit donné du globe terrestre. Elle est mesurée à l'aide de l'héliographe [3].

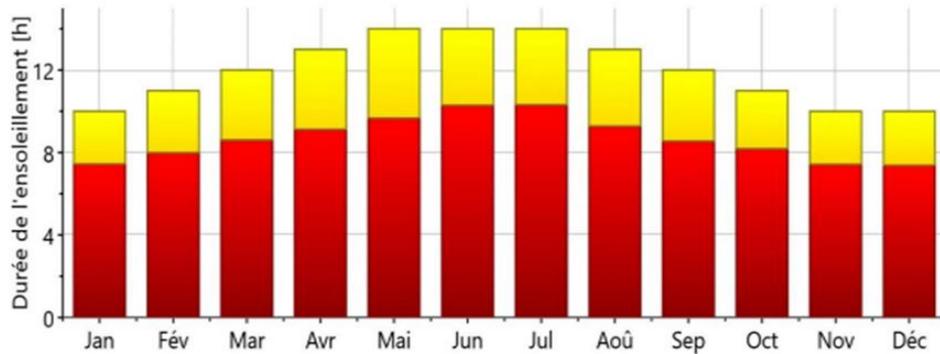


Figure 1.8 La durée d'insolation

La figure 1.8 présente La durée d'insolation qui montre une moyenne de 10h d'insolation, bien sur cette valeur augmente en été et diminue en hiver.

C. Les données de la température :



Figure 1.9 La température mensuelle



Figure 1.10 La température journalière

Les figures 1.9 et 1.10 présentent La température qui montre une moyenne de 25°C, bien sur cette valeur augmente en été et diminue en hiver par conséquent, le panneau solaire a été sélectionné pour s'adapter à la chaleur afin que leur augmentation n'affecte pas les propriétés et les performances du champ photovoltaïque.

1.4 Avantages Et Inconvénients D'une Installation Pv :

1.4.1Avantages :

- 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 faibles; 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.

1.4.2Inconvénients

- 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 rechange 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.

1.5 Energie Eolienne

1.5.1 Définition de l'énergie éolienne

L'énergie en provenance du vent traverse la turbine éolienne qui est un élément d'interface entre le domaine de la mécanique des fluides et de la mécanique traditionnelle. L'intérêt d'une éolienne se justifie par la possibilité qu'elle apporte de récupérer l'énergie cinétique présentée dans le vent et la transformée en énergie mécanique de rotation, Cette énergie mécanique peut être exploitée principalement de deux manières :

- **Soit conservation de l'énergie mécanique** : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char à voile), pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de pompage pour abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin.
- **Soit Transformation en énergie électrique** : l'éolienne est accouplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif, le générateur est relié à un réseau électrique ou bien il fonctionne de manière autonome avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie.

1.5.2 Les caractéristiques du vent

Pour caractériser le vent, il s'agit de connaître [4] :

- **Son profil directionnel** : c'est-à-dire les tendances probabilistes de la direction du vent.
- **Son profil de vitesse** : c'est-à-dire les tendances probabilistes de vitesse, ainsi que sa répartition, la vitesse la plus fréquente, les vitesses extrêmes et les vitesses de rafale etc.
- **Ses variations annuelles** : mensuelles et journalières (voire horaires).

- **Son profil énergétique** : qui dépend de tous les points décrits ci-dessus, de la hauteur par rapport au sol, du relief environnant et des autres données climatiques (température, pression atmosphérique, hygrométrie).

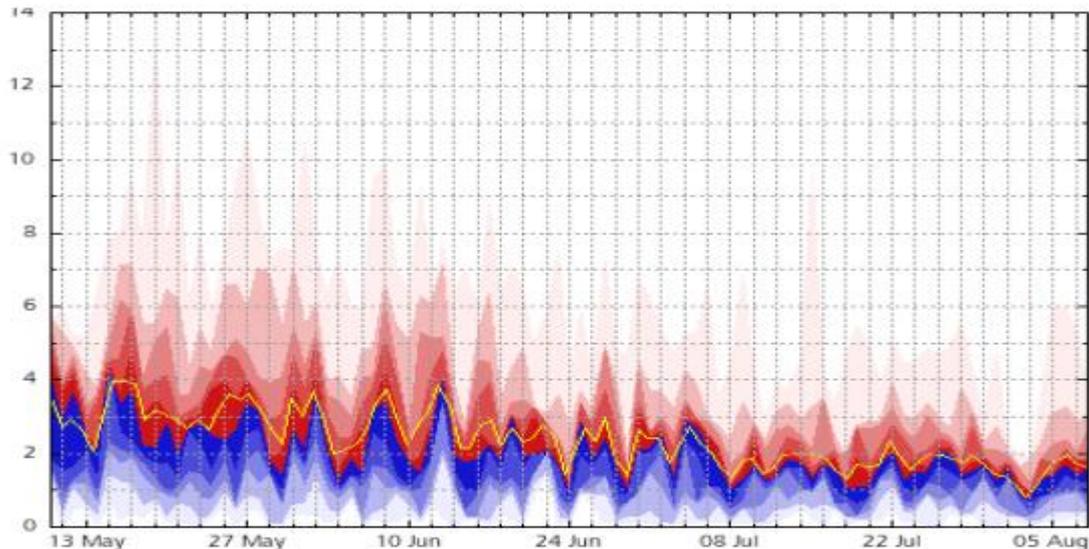


Figure 1.11 *Profile de vitesse de vent*

La figure 1.11 présente La vitesse du vent pendant l'été qui montre une vitesse moyenne de 3.8 m/s, cette valeur montre le plein potentiel du vent qui nous donne l'approbation de terminer notre projet avec l'identification d'une éolienne.

1.5.3 Fonctionnement d'une éolienne

A. Composants d'un système éolien

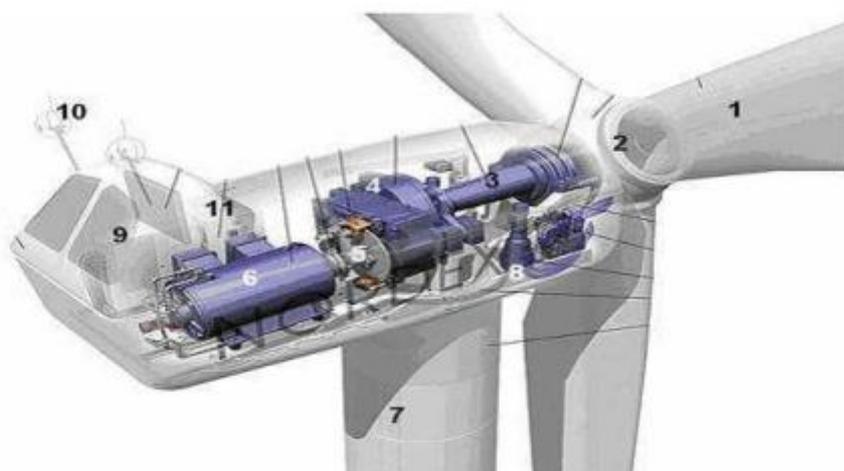


Figure 1.12 *Composantes de l'aérogénérateur*

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 mat 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.

B. Caractéristiques des éoliennes

On classe les éoliennes suivant la disposition géométrique de l'arbre sur lequel est montée l'hélice.

Il existe principalement deux types de turbines éoliennes :

- Eolienne à axe horizontal.
- Eolienne à axe vertical.

❖ Eolienne à axe horizontal :

Ce sont les machines les plus répandues actuellement du fait de. [5]

- Leur rendement est supérieur à celui de toutes les autres machines. Elles sont appelées éoliennes à axe horizontal car l'axe de rotation du rotor est horizontal, parallèle à la direction de vent. Elles comportent généralement d'hélices à deux ou trois pales, ou des hélices multiples pour le pompage de l'eau.
- Elles ont un rendement élevé.



Figure 1.13 Eoliennes à axes horizontal.

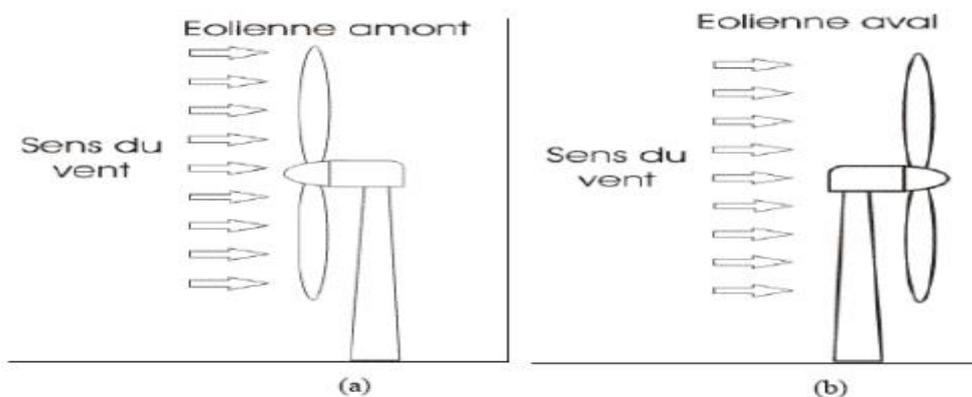


Figure 1.14 Eolienne à axe horizontal [6]

❖ Eolienne à axe vertical :

Ce type d'éolienne a fait l'objet de nombreuses recherches. Il présente l'avantage de ne pas nécessiter de système d'orientation des pales et de posséder une partie mécanique (multiplicateur et génératrice) au niveau du sol, facilitant ainsi les interventions de maintenance. En revanche, certaines de ces éoliennes doivent être entraînées au démarrage et le mat, souvent très lourd, subit de fortes contraintes mécaniques poussant ainsi les constructeurs à pratiquement abandonner ces aérogénérateurs (sauf pour les très faibles puissances) au profit d'éoliennes à axe horizontal.[7]



Figure 1.15 Eoliennes à axes vertical

- **Régulation mécanique de la puissance d'une éolienne**

La régulation d'une source éolienne de secours est un facteur primordial pour son bon fonctionnement. Ce système permet d'assurer la sécurité de l'éolienne en cas de trop forte vitesse de l'avion au déploiement, mais aussi, de limiter sa puissance pour éviter une détérioration des composants mis en jeu. Cette source éolienne est dimensionnée pour développer sur son arbre une puissance nécessaire, dénommée puissance nominale P_n . Cette puissance P_n est obtenue à partir de la vitesse V_n (vitesse nominale) du vent relatif. Lorsque la vitesse du vent est supérieure à V_n la turbine éolienne doit modifier ses paramètres afin d'éviter sa destruction mécanique, en faisant de sorte que sa vitesse de rotation reste pratiquement constante. A côté de la vitesse nominale V_n du vent relatif, on spécifie aussi :

- Vitesse de démarrage V_D à partir de laquelle l'éolienne commence à fournir de l'énergie.
- Vitesse maximale du vent relatif V_M pour laquelle la turbine ne convertit plus l'énergie éolienne, pour des raisons de sûreté de fonctionnement. Les vitesses V_N , V_D et V_M définissent quatre zones sur le diagramme de la puissance utile en fonction de la vitesse du vent (Fig 1.16).

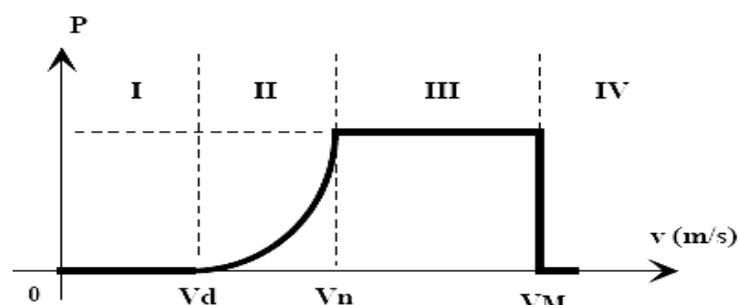


Figure 1.16 Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.

- Zone I, où $P = 0$ (la turbine ne fonctionne pas).
- Zone II, dans laquelle la puissance fournie sur l'arbre dépend de la vitesse du vent V .
- Zone III, où la vitesse de rotation est maintenue constante et où la puissance P fournie reste égale à P .
- Zone IV, dans laquelle le système de sûreté de fonctionnement arrête le transfert de l'énergie

1.6 Avantages Et Inconvénients De L'éolienne

1.6.1 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

1.6.2 Inconvénients

- Eoliennes et acoustique
- Respect de la faune et de la flore
- Perturbations hertziennes et radars [8]

1.7 Systeme d'énergie hybride (S.E.H)

1.7.1 Définition

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. Il consiste en l'association de deux ou plusieurs technologies complémentaires de manière à accroître la fourniture d'énergie par une meilleure disponibilité. Les sources d'énergie comme le soleil et le vent ne délivrent pas une puissance constante, et leur combinaison peut permettre de parvenir à une production électrique plus continue. Dans bien de régions, les journées ensoleillées sont en général caractérisées par une

activité éolienne faible alors que les vents forts sont observés plutôt lors de journées nuageuses ou la nuit (Fig.1.17).



Figure 1.17 *Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien*

A : Panneau Photovoltaïque

a : Parafoudre

B : Éolienne

m : Moniteur de batterie

R : Chargeur de batterie

S : Sectionneur

1 : Disjoncteur de protection

2 : Régulateur charge/décharge ;

3 : Disjoncteur CC

4 : Batterie ;

5 : Onduleur ;

6 : Coffret de branchement électrique

7 : Charge électrique.

a : Parafoudre :

- Le parafoudre ou « suppresseur de surtension » va protéger le système contre les surtensions d'origine atmosphérique comme la foudre, en dérivant le courant de surtension vers la mise à la terre. Il est habituellement placé après le panneau, dans la boîte de jonction, pour dissiper le surplus d'énergie et écrêter les hausses de tension. Dans le cas hybride il sera aussi placé dans la boîte de jonction associée à l'éolienne (Fig.19)

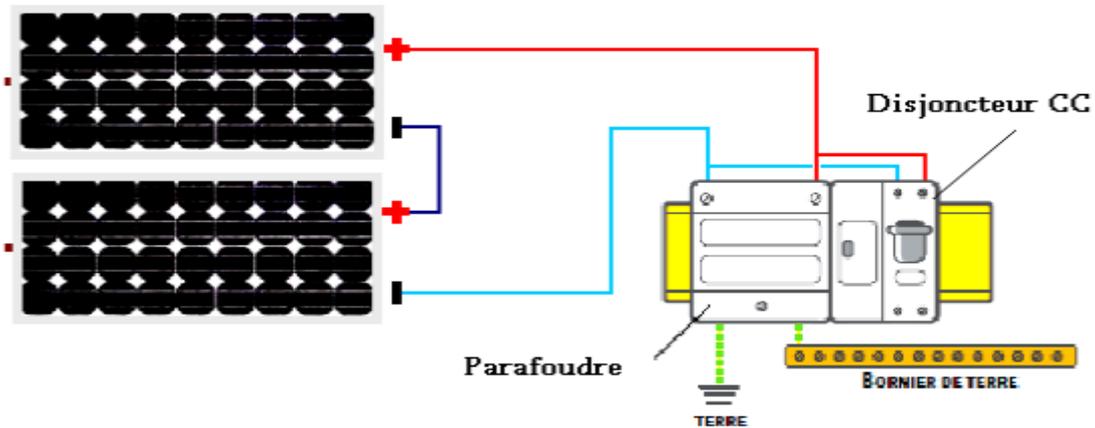


Figure 1.18 Position du parafoudre dans le système d'énergie hybride.

m : Moniteur de batterie :

- Il affiche les valeurs de tension, de courant, et de capacité en ampère-heure de la batterie afin de vérifier et de contrôler son état.

R : Chargeur de batterie :

- Le rôle de cet appareil est de contrôler et réguler la charge de la batterie.

S : Sectionneur :

- C'est un interrupteur d'arrêt qui est placé après l'éolienne. Il a pour rôle d'isoler tout le système de l'éolienne, de façon à permettre l'entretien ou la réparation des équipements électriques. Il va assurer aussi la protection contre les surintensités dues à des défauts électriques.

1 : Disjoncteur de protection :

- C'est un disjoncteur à courant continu qui est installé entre le panneau photovoltaïque et le régulateur pour isoler et protéger le système lors de la maintenance du panneau ou quand survient un défaut électrique. Il doit pouvoir supporter le courant de court-circuit et la tension ouverte du panneau ou du champ PV.

2 : Régulateur charge/décharge :

- Il est installé entre la batterie et le panneau Photovoltaïque ; Il sert à contrôler le courant qui rentre ou qui sort de la batterie afin d'éviter qu'elle ne soit endommagée par un excès de charge ou de décharge.

3 : Disjoncteur CC :

- C'est un disjoncteur à courant continu qui est installé entre la batterie et l'onduleur pour isoler et protéger le circuit batterie onduleur contre des défauts électriques. Il est indispensable lorsque l'onduleur n'est pas lui-même équipé d'une protection à basse tension. On peut cependant utiliser à la place du disjoncteur, un fusible branché sur le conducteur non mis à la terre. Tous ces dispositifs doivent être conformes aux normes et aux codes en vigueur pour les installations CC et CA.

5 : Onduleur :

- L'onduleur convertit le courant continu sortant de la batterie en courant alternatif nécessaire au fonctionnement de la majorité des appareils électriques domestiques. Faire attention dans le choix de l'onduleur car la forme d'onde qu'il reproduit peut ne pas convenir à certains appareils ; aussi l'onduleur doit pouvoir absorber le pic de puissance lors de leur allumage. Privilégier un onduleur à rendement élevé et installer le aussi près que possible de la batterie pour diminuer les pertes électriques dans les fils conducteurs.

6 : Coffret de branchement électrique :

- Il contient le disjoncteur principal, les fusibles ou les disjoncteurs secondaires indispensables à la protection des appareils électriques de la maison. Les différents circuits électriques de la maison y sont rattachés pour être protégés (ex : le circuit de l'éclairage, celui des petits électroménagers et celui des gros électroménagers).

7 : Charge électrique :

- La charge électrique est la quantité d'énergie que consomme l'ensemble des appareils présents dans la maison (ex : éclairage, électroménager, électronique, etc.). Il est conseillé choisir des appareils « éco énergie » et de changer sa façon de consommer l'électricité. Par exemple, éteindre les appareils que l'on n'utilise pas. Bien souvent les dysfonctionnements rencontrés sont dû à un choix inadapté d'appareils électriques à consommation trop élevée

1.7.2Présentation du système hybride photovoltaïque-éolien

Dans notre cas précis, on s'intéresse aux systèmes de petites puissances qui regroupent deux parties à savoir l'éolienne et les panneaux solaires. Ces deux sources de production de l'énergie passent par un stockage électrochimique (Fig.1.19), et produisent du courant continu facilement convertible en courant alternatif, grâce à l'intégration d'un onduleur autonome dans le circuit. En

couplant ces systèmes et en les associant à un dispositif de stockage de l'énergie, nous aurons alors les avantages suivants :

- Exploitation du système sans interruption;
- Possibilité de préserver le surplus d'énergie produite par ce système;
- Sécurité d'approvisionnement quelles que soient les conditions météorologiques.

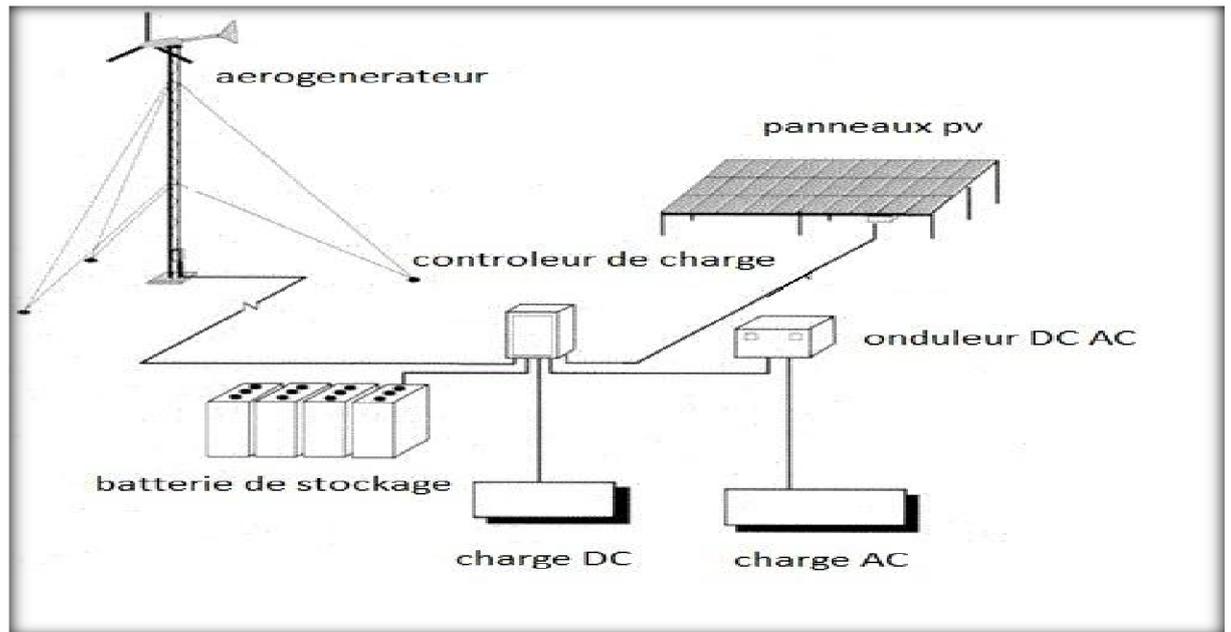


Figure 1.19 Schéma synoptique du système hybride étudié

1.7.3 Système de conversion d'énergie hybride

Ce système est caractérisé par deux sources énergétiques (photovoltaïque et éolienne) : le générateur photovoltaïque (PV) est connecté à la charge par un convertisseur DC/DC commandé en MPPT (Maximal Power Point Tracking), et la turbine éolienne (WT) entraîne un générateur à aimants permanents (GSAP) qui lui-même est connecté à la charge par un convertisseur AC/DC commandé. Le couplage des deux systèmes est fait par l'intermédiaire d'un bus continu, comme l'indique la figure 1.20.

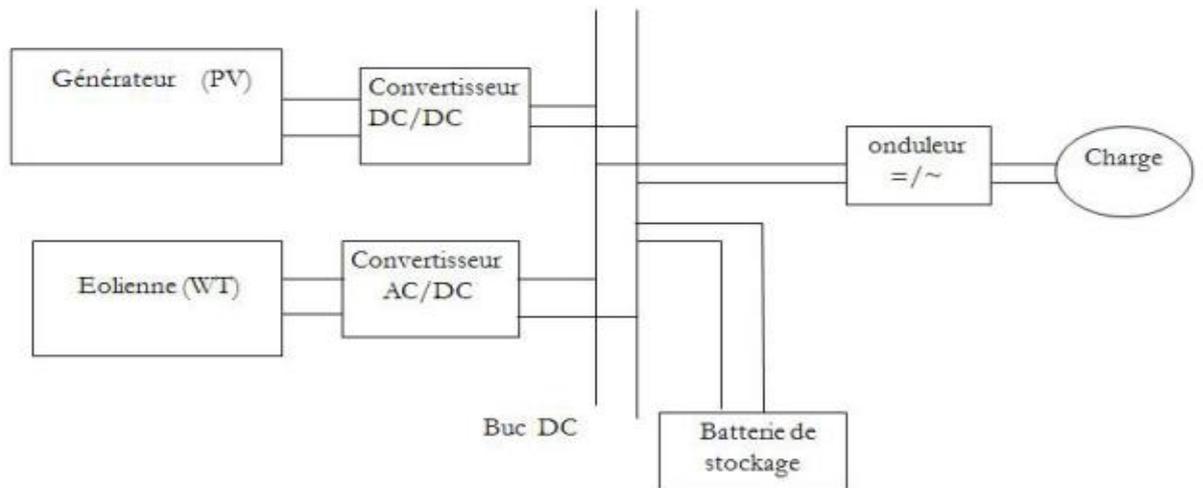


Figure 1.20 Schéma de principe du système hybride photovoltaïque- éolien.

1.7.4 Principaux composants du Système d'énergie hybride photovoltaïque – éolien

Les systèmes hybrides photovoltaïque-éolien comprennent généralement :

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

Le système générateur est composé par les modules photovoltaïques et les aérogénérateurs.

Il est indispensable que les deux fonctionnent à la même tension nominale 12 ou 24 V et en courant continu. La régulation doit tenir compte du fait qu'il s'agit de deux courants de nature différents :

- Le photovoltaïque assez constant et d'un seuil bas.
- L'éolien, très variable. Le système de régulation se chargera donc de faire fonctionner le système générateur en un point optimal pour la charge des batteries.

Les systèmes d'énergie hybride sont en général constitués de sources d'énergie classique (groupe électrogène), de sources d'énergie renouvelable (éolienne, PV...), des convertisseurs statiques et dynamiques, des systèmes de stockage (batterie, volant d'inertie, le stockage hydrogène...), des charges principales et de délestages et un système de surveillance [9].

A. Générateurs photovoltaïques

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3V à 0.7V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température de la cellule et du vieillissement de la cellule. Les cellules PV sont combinées ensemble pour former un module PV qui peut produire une certaine quantité d'énergie sous des conditions d'éclairement et de température variables. Par la suite, les modules PV peuvent être regroupés à leur tour afin de former un générateur PV. Il est dimensionné selon la puissance nécessaire pour une installation donnée [10].

Le rendement énergétique d'un module dépend de la nature des matériaux utilisés. Les valeurs communément rencontrées sont de l'ordre (13 à 16 % pour les cellules composées de silicium monocristallin, 11 à 13 % avec du silicium poly cristallin et 7 à 8 % avec du silicium amorphe)

Les modules PV sont protégés par des diodes by-pass (diode by-pass, diode anti-retour) afin d'éviter le fonctionnement inverse des cellules occultées, pouvant entraîner une surchauffe voire une destruction de celles-ci.

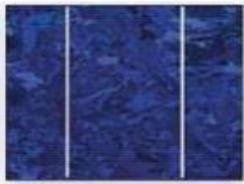
	silicium monocristallin	silicium poly cristallin	silicium amorphe
Types			
Rendement	De 15 % à 19 %	De 15 % à 19 %	7 % à 10 %
Durée de vie	35 ans	35 ans	< 10 ans
Avantage	Meilleure performance que poly cristallin	<ul style="list-style-type: none"> Bonne performance Moins cher que le monocristallin 	<ul style="list-style-type: none"> Fonctionne avec un faible éclairage Bon marché par rapport aux autres types de cellules Moins sensible aux températures élevées
Désavantages	<ul style="list-style-type: none"> Un éclairage inférieur à faible performance Plus cher que le poly cristallin 	Faibles performances sous faible éclairage	Mauvais rendement en plein soleil

Figure 1.21 Classification de différents types de cellules photovoltaïques au silicium [11]

A.1 Modèle d'une cellule solaire photovoltaïque

Dans la littérature, une cellule photovoltaïque est souvent présentée comme un générateur de courant électrique dont le comportement est équivalent à une source de courant shuntée par une diode. Pour tenir compte des phénomènes physiques au niveau de la cellule, le modèle est complété par deux résistances série R_s et R_{sh} .(Fig.1.22) .

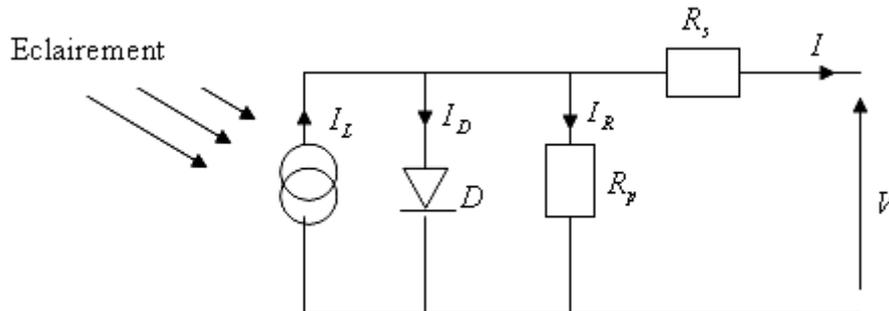


Figure 1.22 Circuit équivalent de la cellule solaire.

La cellule comporte une résistance série R_s et une résistance en dérivation ou Shunt R_p .

Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique I-V de la photopile:

- ✓ La résistance série est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles ;
- ✓ La résistance shunt est une conséquence de l'état de surface le long de la périphérie de la cellule ; elle est réduite à la suite de pénétration des impuretés métalliques dans la jonction (surtout si elle est profonde), lors du dépôt de la grille métallique ou des prises de contacts sur la face diffusée de la cellule.

A.2 Caractéristique électrique d'une cellule photovoltaïque

Le courant délivré sur une charge par une cellule PV éclairée s'écrit :

$$I(V) = I_{PH}(V) - I_{OBS}(V) \quad (12)$$

Avec :

I_{ph} : Densité de courant photogénéré.

I_{obs} : Densité de courant d'obscurité.

Dans une cellule photovoltaïque, deux courants s'opposent : le courant photogénéré et un courant de diode appelé courant d'obscurité qui résulte de la polarisation du composant. La caractéristique d'une cellule sous obscurité est identique à la cellule d'une cellule sous éclaircissement (Fig.1.23).

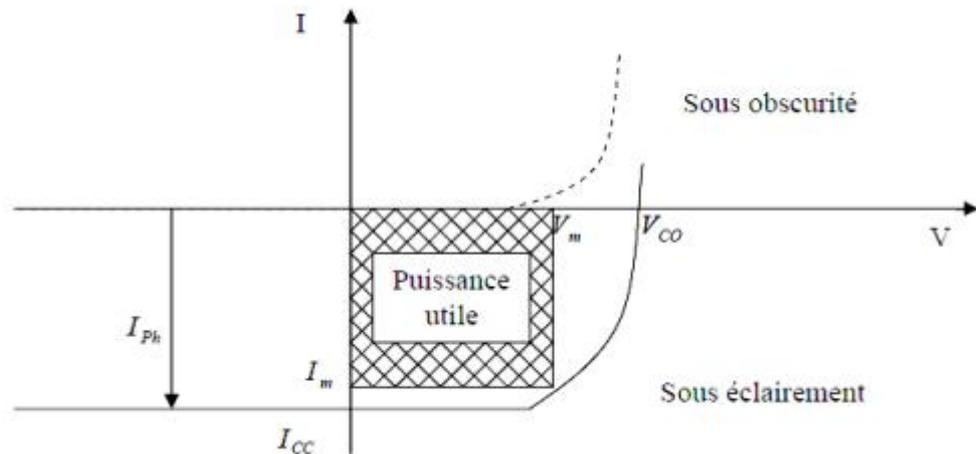


Figure 1.23 Caractéristiques $I=f(v)$ sous obscurité et sous éclaircissement d'une cellule photovoltaïque.

A.3 Paramètres externes d'une cellule photovoltaïque

a. Caractéristiques d'un module :

Voici la description des paramètres d'un module [12] :

- ❖ **La puissance crête P_c** : la puissance maximale produite par un module photovoltaïque dans les conditions standards : ensoleillement de 1000 W/m^2 à l'horizontale, température ambiante de 25°C , masse d'air optique (AM) égale à 1,5.
- ❖ **La caractéristique $I(V)$** : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
- ❖ **Tension à vide V_{co}** : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclaircissement " plein soleil ".
- ❖ **Courant de court-circuit I_{cc}** : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclaircissement " plein soleil ".
- ❖ **Point de fonctionnement optimum (U_m, I_m)** : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m \cdot I_m$

- ❖ **Rendement maximal** : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente.
- ❖ **Facteur de forme** : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{co} \cdot I_{cc}$.

B. Générateur éolienne:

B.1 définition

L'énergie éolienne est l'énergie du vent, dont la force motrice (énergie cinétique) est utilisée dans le déplacement de voiliers et autres véhicules ou transformée au moyen d'un dispositif aérogénérateur, comme une éolienne ou un moulin à vent, en une énergie diversement utilisable. L'énergie éolienne est une énergie renouvelable. En production d'énergie électrique : l'éolienne est couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif. Le générateur est relié à un réseau électrique ou fonctionne au sein d'un système plus autonome grâce à un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage de l'énergie Une éolienne est constituée d'une partie tournante, le rotor, qui transforme l'énergie cinétique en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite. La puissance mécanique est ensuite transformée soit en puissance hydraulique par une pompe, soit en puissance électrique par une génératrice [13].

B.2 Principaux composants d'une éolienne

Une éolienne est généralement constituée de trois éléments principaux : la tour ou le mat, la nacelle et l'ensemble rotor-pales.

Le mât : Généralement un tube d'acier ou éventuellement un treillis métallique, doit être le plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol. Toutefois, la quantité de matière mise en œuvre représente un coût non négligeable et le poids doit être limité. Un compromis consiste généralement à prendre un mât de taille très légèrement supérieure au diamètre du rotor de l'aérogénérateur.

La nacelle : Regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique arbre lent et rapide, roulements, multiplicateur. Le frein à disque, différent du frein aérodynamique, qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge. Le générateur qui est généralement une machine synchrone ou asynchrone et les systèmes hydrauliques ou

électriques d'orientation des pales (frein aérodynamique) et de la nacelle (nécessaire pour garder la surface balayée par l'aérogénérateur perpendiculaire à la direction du vent). A cela viennent s'ajouter le système de refroidissement par air ou par eau, un anémomètre et le système électronique de gestion de l'éolienne.

Le rotor : Formé par les pales assemblées dans leur moyeu. Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité, le nombre de pales varie classiquement de 1 à 3, le rotor tripale (concept danois) étant de loin le plus répandu car il représente un bon compromis entre le coût, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit .

B.3 Types d'aérogénérateur dans les systèmes éoliens

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

- **Générateur asynchrone :** C'est une machine à induction asynchrone qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique. Pour réaliser la génération de l'énergie électrique la machine doit être entraînée au-delà de la vitesse de synchronisme (variable suivant la charge) le cas d'une génératrice à cage d'écureuil. Son rotor peut être à cage d'écureuil ou bobinée. La puissance nécessaire à sa magnétisation est fournie par le réseau lorsqu'elle est couplée en parallèle ou par une batterie de condensateurs dans le cas d'une utilisation isolée. Pour les petites puissances, le rotor est à cage d'écureuil, pour des puissances plus importantes, le rotor est bobiné, relié à l'extérieur via un collecteur simplifié à trois bagues, et court-circuité en fonctionnement normal. Mais on peut aussi modifier les propriétés électromécaniques du générateur en agissant sur le rotor par ces connexions « Machine Asynchrone Double Alimentée MADA ». Cependant, pour les machines asynchrones à cages, il faut néanmoins fournir la puissance de magnétisation "puissance réactive" correspondant à une composante du courant réactif. Ce courant peut être emprunté au réseau mais peut aussi bien être obtenu de façon statique en branchant en parallèle à la machine une batterie de condensateurs. En outre, en ajustant ces condensateurs de façon précise, il est possible, dans certaines conditions, d'utiliser une génératrice asynchrone en dehors d'un réseau, en fonctionnement autonome, pour alimenter une charge isolée. Son emploi est réservé aux générateurs de puissance moyenne dont l'arbre d'entraînement tourne à des vitesses fortement variables : mini centrale hydraulique, éolienne, turbine ou moteur à gaz de récupération, certains groupes

électrogènes,...etc. Les machines asynchrones à rotor bobiné permettent, par un réglage dynamique du glissement, de s'adapter aux variations de puissances fournies par la turbine. La partie mécanique peut généralement subir les variations brutales du régime de vent, ce type de contraintes devient inacceptable pour les fortes puissances. La variation de vitesse devient donc de plus en plus justifiée à mesure qu'on augmente la puissance de l'éolienne.

- **Générateur synchrone :**La génératrice synchrone (ou alternateur) n'a pas besoin de magnétisation extérieure pour créer son champ magnétique. Celui-ci est créé par des bobines ou par des aimants permanents, placés sur le rotor tournant induisant un courant dans le stator bobiné. Cette génératrice étant indépendante du réseau, elle fournit une fréquence variable en fonction de la vitesse de rotation, donc de la vitesse du vent. Le raccordement au réseau, qui lui exige une fréquence fixe, s'effectue par un convertisseur qui comporte un étage redresseur, un bus continu et un onduleur : on reconstruit donc une onde sinusoïdale parfaite, ce qui permet aussi de gérer plus facilement la qualité de l'énergie produite. La régulation de puissance s'effectue en partie au niveau de ce convertisseur. Elle permet un fonctionnement à vitesse variable, donc à rapport d'avance constant et rendement optimal. Elle permet aussi de limiter les efforts dynamiques en autorisant le rotor à accélérer en cas de forte rafale (stockage d'une partie de l'énergie cinétique du vent dans l'inertie du rotor). Plus complexe à construire et plus chère (aimants permanents, convertisseur), la génératrice synchrone est relativement peu utilisée.
- **Génératrice électrique à courant continu :** La génératrice à courant continu (à excitation séparée) est une machine tournante qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique apparaissant sous forme de tension et courant continu. Elle comporte deux circuits bobinés (Fig.1.24) :

1. l'un est un circuit inducteur, porté par le stator, et il crée un champ de direction fixe sous les pôles de la machine ; il est pour cela appelé « circuit de champ » ou encore « Circuit d'excitation»
2. et l'autre est un circuit induit ou circuit d'armature, porté par l'armature du rotor ; il crée des forces électromotrices induites 'F.E.M'.

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

$$E = \frac{P}{a} \cdot N \cdot n \cdot \phi \quad (13)$$

Avec :

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

P: Nombre de paires de pôles.

N: Nombre de paires de voies en parallèles.

a: Vitesse (tr/s). :

n :Nombre total de conducteurs actifs.

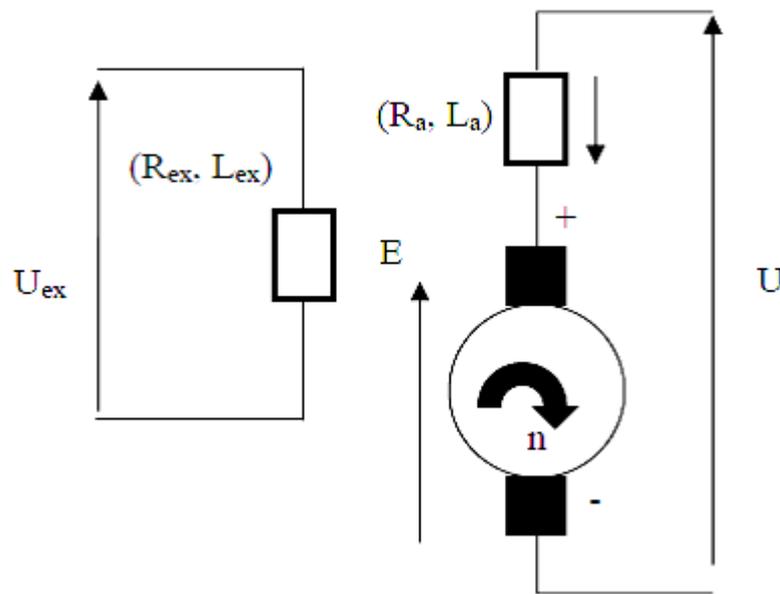


Figure 1.24 Schémas équivalent électrique d'une génératrice à courant continu à excitation séparée

➤ **Générateur à structures spéciales :**

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

1.8 Groupe Electrogene Diesel

Dans le cas des installations à sources d'énergie renouvelables autonomes, il est nécessaire de recourir au stockage ou d'ajouter un ou plusieurs groupes électrogènes diesels. Dans un SEH, le générateur classique est généralement le moteur diesel directement couplé au générateur synchrone (figure 26). La fréquence du courant alternatif à la sortie est maintenue par un gouverneur de vitesse (régulateur de vitesse) sur le moteur diesel [14]. Le gouverneur fonctionne

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

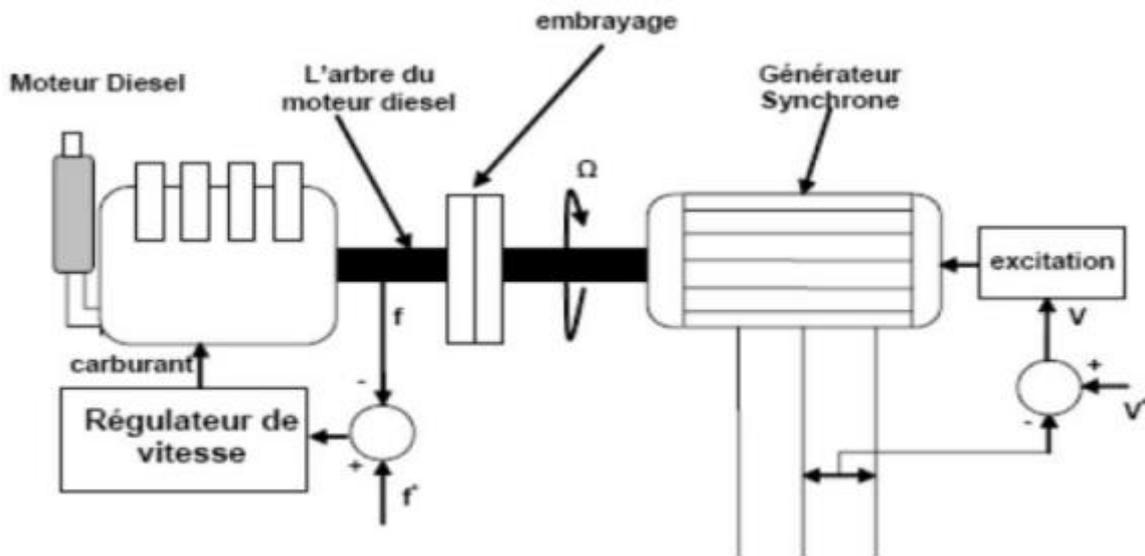


Figure 1.25 Configuration du générateur diesel

1.8.1 Différentes classes d'un système éolien

On peut classer les systèmes éoliens à axe horizontal en deux différentes classes :

- **Système éolien à vitesse fixe** : ce sont des systèmes qui fonctionnent pour des vitesses fixes et bien déterminées afin de produire de l'électricité selon les normes. Cette vitesse est définie selon le générateur électrique utilisé. Ce genre de système est destiné à travailler pour des vitesses égales à la vitesse nominale et cela si on admet que la vitesse nominale est celle qui donne au générateur électrique la possibilité de générer une puissance électrique à 50Hz.
- **Système éolien à vitesse variable** : ce sont des systèmes aptes à travailler pour des vitesses égales ou différentes des vitesses nominales. Pour cela plusieurs technologies sont mises en service afin d'assurer ce fonctionnement :
- **Technique mécanique** : c'est une technique qui utilise les paramètres aérodynamiques de la turbine comme outil de variation de la vitesse, et dans ce sens là on distingue deux modes : le « stall control » (basé sur l'accrochage et le décrochage de la génératrice à la turbine), robuste car c'est la forme des pales qui conduit à une perte de portance au-delà d'une certaine vitesse de vent, mais la courbe de puissance chute plus vite : il s'agit donc d'une solution passive, et le « pitch control » (basé sur l'abaissement et l'augmentation de l'angle

de calage des pales, qui permet d'ajuster la portance des pales à la vitesse du vent pour maintenir une puissance sensiblement constante). Il faut noter que cette technique n'est fonctionnelle que pour des vitesses égales ou supérieures à la vitesse nominale.

- **Technique électrique** : C'est une technique qui utilise les convertisseurs statiques comme outil de variation de la vitesse.
- **Technique hybride** : C'est une technique qui utilise les deux techniques précédentes à la fois afin d'améliorer le rendement de production et de sécurité du système.

1.9 Systèmes de stockage

Il existe de nombreux moyens pour stocker l'électricité, qui passent quasiment tous par sa conversion en une autre forme d'énergie plus aisée à confiner, telle l'énergie chimique par exemple. Seuls le stockage électromagnétique et le stockage électrostatique stockent l'électricité sous forme de charges électriques. Le stockage d'énergie est souvent utilisé dans les petits systèmes hybrides afin de pouvoir alimenter la charge pour une durée relativement longue (des heures ou même des jours). Il est parfois aussi utilisé avec les SEH connectés à de grands réseaux de courant alternatif isolés. Dans ce cas, il est utilisé pour éliminer les fluctuations de puissance à court terme [15].

Dans ce mémoire les batteries solaires sont utilisées comme un système de stockage pour assurer la continuité du service durant la nuit ou pendant les journées caractérisées par une faible production d'énergies renouvelables.

1.9.1 Les types des batteries

Les principaux types d'accumulateurs utilisés actuellement dans les systèmes multi sources sont:

Batteries au Plomb Acide : Constituent l'investissement le plus économique pour un système multi-sources et présentent l'avantage d'être recyclables à plus de 90%. Cependant, ces batteries sont sensibles aux mauvais usages et leurs durées de vie est souvent bien inférieure à celle du dispositif générateur d'électricité. En effet, les batteries au plomb dans leurs technologies actuelles acceptent assez mal les décharges profondes. La profondeur de décharge est en effet responsable de la dégradation de ces batteries, conduisant à une réduction notable de leurs durées de vie lorsqu'elles sont utilisées dans des conditions extrêmes.

Batteries alcalines (Ni/Cd et Ni/MH) : Sont beaucoup plus robustes mais aussi plus coûteuses. Elles sont mieux adaptées aux basses températures. Par contre, leur recyclage est compliqué à cause du cadmium qui est un métal lourd et polluant.

Batteries au lithium : Présentent « techniquement » les meilleures performances. L'autodécharge des accumulateurs Li-ion est en effet faible alors que leur énergie massique stockée est relativement bien supérieure. Ceux-ci permettent par ailleurs un recyclage à grande profondeur de décharge avec un impact moindre sur les performances comparativement à l'accumulateur au plomb surtout, mais aussi au nickel-cadmium. Les récentes améliorations de la technologie Li-ion ont confirmé son potentiel pour les applications stationnaires compte tenu de ses caractéristiques spécifiques : fort rendement énergétique, durée de vie élevée, absence de maintenance, fiabilité et prédictibilité du comportement.

1.9.2 Les convertisseurs de puissance :

Dans un SEH, des convertisseurs sont utilisés pour charger des batteries de stockage et pour transformer le courant continu (CC) en un courant alternatif (CA) et vice-versa. Trois types de convertisseurs sont souvent rencontrés dans les SEH :

- ❖ les redresseurs, les onduleurs et les hacheurs. Les redresseurs réalisent la conversion CA/CC. Dans le SEH, ils sont souvent utilisés pour charger des batteries à partir d'une source à CA. Ce sont des appareils relativement simples, pas chers et à bon rendement ; ils sont généralement monophasés ou triphasés.
- ❖ Les onduleurs convertissent le CC en CA. Ils peuvent fonctionner en autonome pour alimenter des charges à CA ou en parallèle avec des sources à CA. Les onduleurs sont autonomes lorsqu'ils imposent leur propre fréquence à la charge.
- ❖ Les hacheurs, le troisième type de convertisseurs, permettent de réaliser la conversion CC/CC pour adapter la tension entre deux sources.

1.9.3 La charge

Les charges électriques rendent utile la puissance électrique. Il existe des charges à caractère résistif et inductif. Les charges résistives incluent les ampoules à incandescence, les chauffeaux etc. Les appareils utilisant des machines électriques sont des charges résistives et inductives. Elles sont les principaux consommateurs de puissance réactive. Les charges à CC peuvent avoir aussi des composants inductifs, mais les seuls effets introduits par ceux-ci sont les variations transitoires de tension et courant pendant les changements dans le fonctionnement du système

1.10 Alimentation en énergie des régions éloignées de tout réseau

1.10.1 Les systèmes autonomes et isolés

On peut potentiellement envisager l'utilisation d'un système d'énergie hybride via des alternatives énergétiques possédant les mêmes propriétés que les hydrocarbures tel que : Les énergies renouvelable pour tout système nécessitant de l'énergie. Néanmoins, aujourd'hui, la mise en application de ce type de systèmes reste encore limitée aux sites isolés. Il reste à fournir d'importants efforts de recherche et de développement afin de démontrer leur viabilité et d'identifier des applications bien adaptées à leur utilisation. Des recherches sont en cours pour améliorer le coût et le rendement des composants du système (rendement des panneaux solaires, des aérogénérateurs, convertisseurs, etc.).

On recense à l'heure actuelle de nombreux projets de réalisation de systèmes électriques, intégrant entre autres, des sources renouvelables et un stockage d'énergie via batteries de stockage et hydrogène, installation isolée.

1.10.2 Problèmes rencontrés dans le fonctionnement des SEH

Compte tenu de la nature stochastique des sources d'énergie renouvelable, la difficulté principale des SEH comportant ce type de sources est de pouvoir produire à chaque instant l'énergie demandée par la charge. Le moyen le plus simple d'éviter une augmentation du risque de ne pas satisfaire complètement la charge est de faire fonctionner les sources d'énergie renouvelable et les générateurs diesel en parallèle.

Du point de vue de la continuité de la production et de la qualité de l'énergie, les facteurs pouvant affecté le fonctionnement d'un SEH sont :

- ❖ Les variations de la charge à long terme : les régions isolées avec des petits réseaux électriques peuvent subir des changements rapides dans leur besoin en électricité (généralement, la demande augmente).
- ❖ Les variations de la charge à court terme : en général, la demande en électricité varie beaucoup sur des intervalles de temps assez courts, de l'ordre de quelques minutes.
- ❖ Des valeurs minimales sont suivies par des pics.
- ❖ Les ressources d'énergie renouvelable : les ressources, comme le vent et le soleil, sont stochastiques par leur nature, ont des caractéristiques locales et sont très difficiles à prédire.

- ❖ Les perturbations du réseau : les défauts, tels que les courts circuits peuvent, non seulement arrêter les systèmes, mais aussi, au pire des cas, détruire certains composants [16].

1.10.3 Stratégie de fonctionnement

La stratégie de fonctionnement est un algorithme qui permet au système de supervision d'un SEH de décider combien et quels générateurs il faut mettre en marche, quelles charges sont connectées et comment utiliser le stockage, si disponible [17].

Le fonctionnement d'un SEH dépend des paramètres suivants :

- ❖ Le profil de charge : les variations diurnes, les variations saisonnières, les pics et les creux, etc.
- ❖ Les caractéristiques des ressources renouvelables : les valeurs moyennes, l'écart type, la fréquence des événements, les valeurs extrêmes, les variations diurnes et saisonnières, etc.
- ❖ Les caractéristiques des générateurs classiques : le type de carburant, les limites de fonctionnement, etc.
- ❖ La configuration du système : le nombre et les types de composants (les sources d'énergie renouvelable, les sources classiques, les charges contrôlables, les types de stockage, les convertisseurs de puissance, etc.)
- ❖ Les normes de qualité de l'énergie : les exigences en ce qui concerne les variations de la fréquence et de la tension.

1.11 Conclusion

Une brève description du système hybride à énergie renouvelable a été réalisée dans ce chapitre où tous les composants ont été introduits afin de permettre une bonne compréhension du fonctionnement du système. Le dimensionnement et le fonctionnement des composants du système hybride doivent tenir compte les variations : de la charge, des ressources renouvelables disponibles et du niveau des batteries de stockage pour maximiser leur utilisation..

Dans cette projection, les sources du système hybride à énergie renouvelables étudié seront dimensionnées empiriquement dans le chapitre suivant.

chapitre 2 :Methode De Dimensionnement D'un Systeme Hybride A L'aide Du Logiciel Retsceen

2.1 Introduction

Le dimensionnement d'un système énergétique d'origine renouvelable dépendent fortement des conditions météorologiques (Ensoleillement, vitesse du vent) du site d'installation du système à énergie hybride. Dans ce chapitre, on définit les différents besoins de notre installation qui est une Université, dans le but de faire le dimensionnement et l'optimisation du système hybride (photovoltaïque –éolien) par différentes méthodes tel que le système photovoltaïque ou système éolien consiste à déterminer les valeurs numériques de chaque constituant, depuis la source jusqu'aux charges à alimenter en passant par les éventuels interfaces. Donc pour une charge donnée, il faut trouver la puissance que le générateur renouvelable peut fournir pour satisfaire une charge donnée. Par exemple pour le solaire PV on doit déterminer la puissance crête des modules, la capacité de stockage, la puissance pour le convertisseur, etc. Pour effectuer ce dimensionnement, il faut considérer la demande énergétique d'une part (la consommation) et l'apport énergétique disponible dans le site étudié. Par exemple le gisement éolien pour les systèmes éoliens et le gisement solaire pour les systèmes PV sans oublier la gestion intermédiaire de cette énergie, on utilisant un logiciel de simulation très puissant et connaît aux niveaux mondial RETScreen, qui permet d'avoir la consommation et la production énergétique avec une estimation économique du système.

2.2 Logiciel RETScreen

RETScreen est un Logiciel de gestion d'énergies propres pour l'analyse de faisabilité de projets d'efficacité énergétique, d'énergies renouvelables et de cogénération ainsi que pour l'analyse de la performance énergétique en continu. « RETScreen Expert », une version avancée du logiciel, est disponible gratuitement en **Mode visionnement**.

RETScreen permet aux professionnels et aux décideurs d'identifier, d'évaluer et d'optimiser de façon rapide la viabilité technique et financière de projets potentiels en matière d'énergies propres. Cette plate-forme logicielle d'intelligence décisionnelle permet aussi aux gestionnaires de mesurer et de vérifier facilement les performances réelles de leurs installations, ainsi que de trouver des possibilités supplémentaires d'économies et de production d'énergie.

2.3 Définition Du Dimensionnement

Le dimensionnement d'un système énergétique d'origine renouvelable tel que le système photovoltaïque ou système éolien consiste à déterminer les valeurs numériques de chaque constituant, depuis la source jusqu'aux charges à alimenter en passant par les éventuels interfaces. Donc pour une charge donnée, il faut trouver la puissance que le générateur renouvelable peut fournir pour satisfaire une charge donnée. Par exemple pour le solaire PV on doit déterminer la puissance crête des modules, la capacité de stockage, la puissance pour le convertisseur, etc. Pour effectuer ce dimensionnement, il faut considérer la demande énergétique d'une part (la consommation) et l'apport énergétique disponible dans le site étudié. Par exemple le gisement éolien pour les systèmes éoliens et le gisement solaire pour les systèmes PV sans oublier la gestion intermédiaire de cette énergie.

Dans une installation hybride, le concepteur du système doit associer les sources d'énergie et les moyens de stockage de manière à satisfaire deux objectifs :

- assurer une production suffisante pour couvrir l'ensemble de la consommation électrique des utilisateurs.
- garantir le coût minimum de l'énergie consommée par les utilisateurs. Cette phase de conception s'appelle le dimensionnement. Il s'agit notamment de déterminer quelle sera la puissance et la capacité des différents éléments.

Cependant, à cause de la nature intermittente des sources renouvelables, le dimensionnement de l'installation s'avère difficile et doit, en toute rigueur, dépendre à la fois des caractéristiques météorologiques du lieu D'installation tout en intégrant le profil de consommation. En effet, comment dimensionner chacun des éléments en termes de puissance et de capacité afin d'assurer une alimentation permanente de la charge, tout en obtenant une énergie au moindre coût ? Par exemple, sur un simple système équipé de batteries et de panneaux Photovoltaïques, que faut-il privilégier : une grande surface de panneaux photovoltaïques tout en minimisant la capacité des batteries ou l'inverse, au risque de faire subir des décharges très profondes qui endommageraient les batteries ? Répondre à ce problème d'optimisation, plusieurs solutions ont été proposées. Il s'agit de fournir au concepteur une solution permettant de dimensionner de manière optimale un système autonome de production d'électricité.

2.4 Méthodes De Dimensionnements

Jusqu'à présent, plusieurs méthodes ont été proposées dans la littérature pour le dimensionnement de système hybride photovoltaïques éolienne autonomes, ces méthodes reposent sur les données moyennes mensuelles de l'éclairement solaire et utilisent des calculs simplifiés [18]

2.4.1 Paramètres à déterminer lors de la conception

D'après la description du système et l'analyse de son fonctionnement, il apparaît que le Concepteur doit déterminer les quatre paramètres suivants :

- 1- Puissance du panneau photovoltaïque. Exprimée en Watt crête (W_c), c'est la puissance que fournit le panneau lorsqu'il reçoit un ensoleillement de 1000 W/m^2 .
- 2- capacité de batteries: c'est la taille du réservoir dans lequel on peut stocker l'énergie. Ce Paramètre est exprimé en Ampère heure(Ah).
- 3- Puissance nominale de l'aérogénérateur : c'est la puissance que fournit l'aérogénérateur lorsque le vent entrain la génératrice a ca vitesse nominale.

2.4.2 Analyse du potentiel énergétique solaire et éolien disponible

Il existe une multitude de sites favorable pour la production d'énergie décentralisée sur le territoire national de l'Algérie. Notre point d'intérêt étant focalisé sur la production hybride PV-éolien, le choix du site a été basé sur la disponibilité des données météorologiques.

A. Gisement solaire en Algérie

L'étude de gisement solaire est le point de départ de toute investigation dans le domaine de l'énergie solaire. Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un lieu donné et au cours d'une période donnée. Son évolution peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation moyenne nationale dépasse les 2000 heures annuellement. Cette valeur peut atteindre les 3900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. Ainsi, l'énergie moyenne reçue quotidiennement sur une surface inclinée à la latitude est d'environ $7 \text{ KWh/m}^2/\text{jour}$. Elle est répartie comme suit (Fig.2.1) : Au Nord : $5,6 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$
Au sud : $7,2 \text{ kWh/m}^2/\text{jour}$

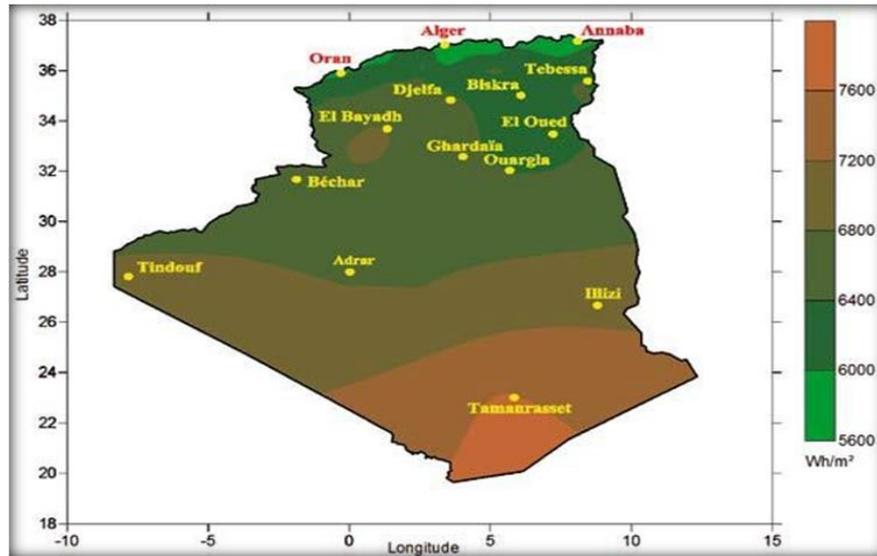


Figure 2.26 Moyenne annuelle de l'irradiation globale sur une surface horizontale

B. Potentiel éolien

Le potentiel éolien diverge selon la situation géographique. Ainsi au nord du pays, le potentiel éolien se caractérise par une vitesse moyenne des vents modérée (1 à 4 m/s) avec des microclimats (local) autour d'Oran, Annaba, sur les hauts plateaux et à Biskra.

Ce potentiel énergétique convient parfaitement pour le pompage de l'eau et l'électrification rural particulièrement sur les Hauts Plateaux. Au Sud, la vitesse moyenne des vents dépasse les 4m/s, plus particulièrement au sud-ouest.

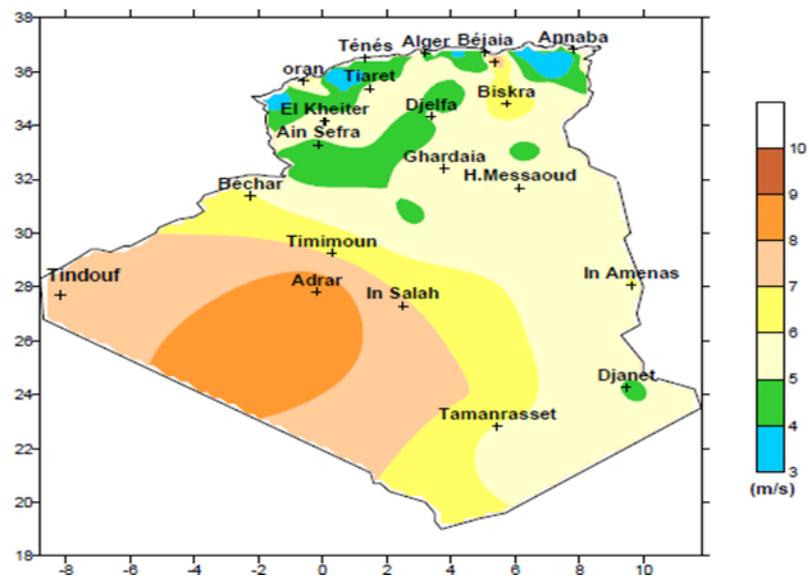


Figure 2.27 Carte de la vitesse moyenne du vent de l'Algérie estimée à 50 m du sol

2.5 Caractéristiques climatiques de la region choisi

2.5.1 Caractéristiques de la région d'Oran

La ville d'Oran est la deuxième plus grande ville d'Algérie et une des plus importantes villes du Maghreb , c'est le chef-lieu de la wilaya du même nom , elle se trouve au bord de la rive sud du bassin méditerranéen . Située au nord-ouest de l'Algérie, à 432 km de la capitale Alger Ces coordonnées sont 35° 42' 10" Nord et 0° 38' 57" Ouest son altitude varie entre 0 m et 429,3 m et sa population est de 1 million d'habitants .

Oran bénéficie d'un climat méditerranéen classique marqué par une sécheresse estivale, des hivers doux, un ciel lumineux et dégagé pendant les mois d'été. Les précipitations deviennent rares voire inexistantes, et le ciel est lumineux et dégagé. Les faibles précipitations (420 mm de pluie) et leur fréquence (72,9 jours par an) sont aussi caractéristiques de ce climat. [19]



Figure 2.28 Emplacement de la station météo Essenia dans la région d'Oran

2.5.2 Choix du site (Institut de Maintenance et de Sécurité industrielle)

IMSI Es-Senia est situé dans la région d'Oran qui se situe dans le sud ouest de l'Algérie, avec une latitude de 35.6°N, d'une longitude de 0.6°W. Elle est parmi les sites les plus intéressants pour les applications solaires avec un gisement qui dépasse le 7 kWh /m² et surface de 427 368 km²

A. Coordonnées et l'emplacement du site

Pour cette étude, une localisation géographique est considérée : Oran - Es Senia, située au nord d'Algérie. Coordonnées du site (figure 2.4) avec logiciel « RETScreen Expert » :

	Unité	Lieu des données climatiques	Lieu des installations	Source
Latitude		35,6	35,6	Sol+NASA
Longitude		-0,6	-0,6	
Zone climatique		3A - Tiède - Humide		Sol - Carte
Élévation	m	91	87	
Température extérieure de calcul de chauffage	°C	3,6		Sol
Température extérieure de calcul de climatisation	°C	32,0		Sol
Amplitude des températures du sol	°C	19,1		NASA

Figure 2.29 Coordonnées du site IMSI Es-Senia Oran

B. Données géographique du lieu

Ce Tableau 2-1 résume les coordonnées géographiques du lieu d'implantation (Algérie) :

L'endroit où le site sera construit est Institut de maintenace et de Sécurité Industrielle Oran – Es-senia

Tableau 2-1 Inclinaison en fonction de la latitude

Latitude φ (°)	Inclinaison β (°)
$\varphi < 10^\circ$	10°
$10^\circ < \varphi < 30^\circ$	Φ
$30^\circ < \varphi < 40^\circ$	$\varphi + 10^\circ$
$\varphi > 40^\circ$	$\varphi + 15^\circ$

Tableau 2-2 Localisation géographique d'Oran

Site	Latitude	Longitude
Oran Es-senia	35.6 N	0.6W

D'après le tableau (1) et le tableau (2), l'inclinaison des panneaux est de **45.6°**

$$\alpha = \varphi + 10^\circ \quad (14)$$

Donc : $\alpha = 45.6^\circ$

2.6 Dimensionnement du système hybride a énergie renouvelable étudié en utilisant la méthode itérative

2.6.1 Méthode itérative

Connue aussi sous le nom de méthode 'Ampère-heure', cette méthode consiste à déterminer le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaire pour satisfaire la demande, puis peu à peu à réduire ce nombre, tout en calculant le pourcentage des besoins énergétiques annuels fournis par le générateur PV et ainsi à compléter le reste par l'énergie fournie par un générateur complémentaire. En règle générale, ce dernier est un générateur diesel mais nous avons pu adapter la méthode pour une génératrice éolienne qui présente un impact écologique réduit. La démarche proposée est la suivante [20] :

2.6.2 Dimensionnement d'une installation PV

A. Déterminer les besoins électriques

L'évaluation des besoins électriques est une étape primordiale. Elle permet de dimensionner au plus juste la puissance du champ photovoltaïque et la capacité du parc de batteries.

L'objectif de cette étape est de connaître la consommation électrique journalière du site, exprimée en kWh/jour.

Donc on a la Consommation journalière : **279.36 kWh/jour**.(voir annexe)

B. Evaluation de la puissance à produire 'Ep' pour satisfaire la demande

On calcule l'énergie quotidienne nécessaire à produire en moyenne (Ep) afin de déduire les besoins pour chaque mois. Cette énergie peut être exprimée en Wh ou en « Ah sous 48 V ».

Elle est égale à l'énergie consommée par la charge (Ec) corrigée par un coefficient k pour bien assurer les besoins de l'Université :

$$E_p = \frac{E_c}{K} \quad (15)$$

Ep : l'énergie à produire par le champ photovoltaïque en (Wh / jr).

Ec : L'énergie totale consommée en (Wh / jr).

K : Le coefficient correcteur Pratique la moyenne utilisée pour le système avec batterie est de:
K = 0.65.

Tableau 2-3 présente le calcul de la puissance à produire E_p (journalière, annuelle)

Ec annuelle (KW)	Ec jour (KW)	K	Ep=Ec/K (KW/anne)	Ep=Ec/K (KW/J)
101966.72	279.36	0.65	156871.87692308	429.78

C. Calcul de la puissance crête nécessaire P_c du générateur photovoltaïque:

Il se fait de la manière suivante :

$$P_c = \frac{E_p}{\eta_{pc} * T_{sun}} \quad (16)$$

Ep : énergie produite par jour (Wh/J),

Tsun : Temps équivalent avec pleine irradiation (heure par jour), Neq le Nombre d'heures équivalentes d'ensoleillement. C'est le nombre d'heures pour un éclairage de 1000W/m2 donnant la même énergie produite par le rayonnement de la journée considérée.

ηpc : facteur de dégradation (en général égal à 0,9).

- Pour alimenter le site qui fonctionne toute l'année :

$$P_c = \frac{429.78}{(0.9 * 5.1)}$$

$$P_c = 93.63 \text{ KWc}$$

$$P_c = \mathbf{93634 \text{ Wc}}$$

- Pour alimenter le site qui fonctionne toute les mois :

Tableau 2-4 présente le calcul de la puissance crête de champ PV dans les 12mois

$E_p = E_c / K$ (KW/J)	ρ facteur de dégradation	Mois	Tsun	Pc (KW)	Pc (W)
		1	2,8	170,547619	170547,619
		2	3,7	129,063063	129063,063
		3	4,9	97,4557823	97455,7823
		4	6,2	77,0215054	77021,5054
		5	6,9	69,2077295	69207,7295
429,78	0,9	6	7,4	64,5315315	64531,5315
		7	7,5	63,67111111	63671,1111
		8	6,8	70,2254902	70225,4902
		9	5,6	85,2738095	85273,8095
		10	4	119,3833333	119383,333
		11	2,9	164,666667	164666,667
		12	2,4	198,972222	198972,222

D. Détermination du nombre de panneaux photovoltaïques Nécessaire chaque mois :

Ce nombre se calcule de la manière suivante :

$$N = \frac{P_c}{P_{cu}} \quad (17)$$

N=Nombre de panneaux

P_{cu} : puissance crête unitaire panneau

- Pour alimenter le site qui fonctionne toute l'année :

$$N = 93634 / 290$$

$$N = 322.87$$

En prendre Nm : **323 modules**

E. La tension de fonctionnement

La tension du champ photovoltaïque dépend du type d'application, de la puissance photovoltaïque du système, de la disponibilité des matériels (modules et récepteur), de l'extension géographique du système [21].

Tableau 2-5 Les tensions correspondantes à chaque Intervalle de puissance crête

Puissances crête(Wc)	0-500Wc	500 Wc- 2K Wc	2-10 K Wc
Tension système	12V	24V	48V

Pour alimenter le site qui fonctionne toute l'année nous choisissons une tension de 48Volt (VDC).

2.6.3 Choix de l'éolienne

L'éolienne **AWS HC 5.1KW** est particulièrement recommandée pour les vents faibles et modérés (3 mètres/seconde et au delà). Cette éolienne alimentera des batteries AGM ou GEL dans des sites

L'éolienne **AWS 5.1KW** est parmi les éoliennes les plus silencieuses au monde. Cette éolienne a les caractéristiques suivantes:

- Puissance nominale : 5100 Watt à 11.6 m/s (42 Km / h).
- Tension : 12, 24,36 ou 48Vdc configurable.
- Vitesse de démarrage : 14 m/s (63 Km/h).
- Vitesse de vent maximale : 525 Km/h (70 m/s)

2.6.4 Détermination de la capacité de stockage des batteries en cas d'insuffisance des sources renouvelables :

Le dimensionnement des batteries requiert donc une attention particulière afin d'augmenter la durée de vie de ces dernières et par la même occasion diminuer le cout global du système. La capacité nominale des batteries est donnée par la relation suivante :

$$Cb.total = \frac{Ec \times Nj}{Vb \times \eta \times Pdd} \quad (18)$$

Avec :

Cb.total : Capacité total des batteries [Ah]

Ec : Besoin journalières [Ah /j] on a **Ec = 279.36 KWh**

Nj : Nombre de jour d'autonomie Il est de 7 jours en moyenne en France dans le cas d'un système photovoltaïque seul, pour pallier les jours mal ou non ensoleillés. Cependant, dans le cas d'une installation hybride, 3 jours de stockage sont suffisants en cas d'absence de vent et/ou de soleil. De plus, cette période est suffisante en cas de maintenance sur les composants du système hybride PV-éolien [22].

η : Rendement de la batterie (0.85)

Pdd: Profondeur de décharge (0.8)

Vb : Tension de la batterie.

Ec	279.36
Nj	2
η	0.85
Pdd	0.8
Vb	48
Cb total	17117.64

A. Le nombre des batteries en parallèles est :

$$Nb.p = \frac{Cb.total}{Cb.u} \quad (19)$$

$$Nb.p = 17117.64 / 2100$$

$$\mathbf{Nb.p = 8.15}$$

Cb.total : Capacité total des batteries [Ah]

Cb.u : Capacité de batteries unitaire

➤ Nombre des batteries en parallèle que nous prendre : 8 batterie de LFP-2100

B. Le nombre des batteries en séries est :

$$Nb.s = \frac{Vpv}{Vb} \quad (20)$$

$$\text{Nb.s} = 48 / 48$$

$$\text{Nb.s} = 1$$

Vb = Tension de batterie unitaire

- Nombre des batteries en série que nous prendre : 1 batterie de LFP-2100

2.6.5 Dimensionnement du régulateur

Le dimensionnement du régulateur consiste à déterminer la puissance, la tension et l'intensité admissible. Le choix de ses trois (3) paramètres se fait de la façon suivante [23].:

- ❖ La puissance du régulateur (P_{reg}) doit être supérieure à la puissance crête (P_c) installée ($P_{reg} > P_c$) :

$$\text{Pc unitaire} * \text{Nombre du module} = 290 * 323 = 93634 \text{ W}$$

- ❖ La tension du régulateur doit être identique à la tension du générateur PV ou du champ photovoltaïque U_{ch} ($U_{reg} = U_{ch}$).

$$U_{ch} = 32.2 * 323 = 10400.6 \text{ V.}$$

- ❖ Le régulateur doit supporter une intensité supérieure au courant maximal du champ PV ou du générateur. Il doit aussi supporter le courant maximum appelé par les récepteurs. ($I_{reg} > I_{max-ch}$ et $I_{reg} > I_{max-recept}$).

- ❖ Intensité du régulateur :

$$I_{reg} = P_c \text{ installée} / U_{ch} \quad (21)$$

Donc :

$$I_{reg} = 93634 / 10400.6 = 9 \text{ A}$$

Le régulateur de charge que nous choisissons c'est le type MPPT avec supporter un courant de 20A dans système photovoltaïque qui fonctionnée tout l'année.

2.6.6 Dimensionnement de l'onduleur :

Dans les installations solaires photovoltaïques connectées au réseau électrique, l'onduleur doit non seulement transformer le courant continu du générateur photovoltaïque en courant continu du générateur photovoltaïque en courant alternatif, mais aussi réaliser des autres fonctions. Ses fonctions principales : inversion de modulation de l'onde alternative ; régulation de la valeur efficace de la tension de sortie.

Puissance de l'onduleur est supérieure ou égale à la Puissance des charges, K onduleur varie entre 0.9% et 0.95%

On a la puissance total 279.36KWh et la puissance réactive est donc égale à

$$Q = 0.75 P = 0,75 \times 279360 \quad (22)$$
$$Q = 209520 \text{ VAR}$$

On calcule par la suite la puissance apparente S.

on trouve :

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (23)$$
$$S = (279360)^2 + (209520)^2 = 349.2 \text{ KVA}$$

Pour notre système, on aura un onduleur remplaçant les conditions suivantes :

- ✓ Tension d'entrée : 48V
- ✓ Tension de sortie 230V
- ✓ Fréquence 60Hz
- ✓ Rendement 97.67%
- ✓ Puissance 400KVA

2.6.7 Coûts d'installation

Les principaux coûts financiers en investissement qui sont liés à la réalisation et à l'installation du système hybride peuvent être décomposés selon certaines rubriques, à savoir :

- ✓ Coût relatif aux études de conception.
- ✓ Coût relatif aux équipements et matériels solaires (modules photovoltaïques, régulateur de charge et de décharge, onduleur, éléments de batterie, diverses fournitures...)

- ✓ Coût de l'installation du système sur site.
- ✓ Coût des travaux de génie civil
- ✓ Installation et mise en fonctionnement du système.

A. Le cout des composants principales d'un système hybride photovoltaïque – éolienne :

- Panneaux solaire (module Piemar SG290MFB) : 67000DA
- Eolienne (AWS-HC 5.1 KW) : 436 470,20 DA
- Batterie (Edison LFP 2100) : 6,375,000 DA
- Régulateur : Régulateur DMSC-240V80A = 93450 DA
- Onduleur (CE2010525) : 759300 DA

2.7 Conclusion

À terme de ce chapitre et à partir des données météorologiques d'Oran et le profil de charge de l'Université on a fait un calcul manuel avec la méthode itérative qui dimensionne notre système et qui nous a aidés à identifier les principaux composants du système en plus de leurs caractéristiques et comment les relier. Les résultats de ce dimensionnement nous ont poussés à vérifier son exactitude avec la possibilité de réaliser le projet sur terrain grâce aux logiciels de simulation 'Homer pro' qu'ont été choisi pour les employer dans le chapitre suivant

Chapitre 3 :Simulation d'un système hybride par logiciel homer pro (étude de cas)

3.1 Introduction

HOMER pro est un logiciel open source et libre développé par le Laboratoire National des Énergies Renouvelables dans les États Unis. Cette application logicielle est utilisée pour concevoir et évaluer techniquement et financièrement les options pour les systèmes d'alimentation hors réseau et sur réseau pour génération à distance, autonome et distribuée applications. Il permet d'envisager un grand nombre d'options technologiques pour tenir compte des ressources énergétiques disponibilité et d'autres variables. [24]

3.2 Présentation Du Logiciel Homer Pro

HOMER pro 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) par Dr. Peter Lilienthal le développeur original du logiciel HOMER Pro , il a ensuite subi de nombreuses améliorations dans plus de 40 nouvelles versions.[25]

Les paramètres pour le choix de logiciel HOMER Pro.

Tableau 3-1 Paramètres pour le choix de logiciel HOMER Pro

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	----

3.2.1 Définition HOMER pro

est un modèle d'optimisation des systèmes hybrides fonctionnant avec les énergies renouvelables (Hybrid Optimisation Model For Electric Renewables en anglais) ce logiciel est un outil puissant pour la conception et analyse des système de production d'électricité hybrides, compose de groupes électrogènes, de système de cogénération, d'éolienne, de système photovoltaïque, de système hydraulique, de batteries, de piles à combustible, de la Biomasse et bien d'autre. Que l'installation soit reliée au réseau ou non, HOMER pro permet de déterminer comment les sources d'énergies intermittentes comme l'éolien et solaire peuvent être intégrée de manière optimale au sein des systèmes hybrides. [26]

3.2.2 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 pro ;
- 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.

3.2.3 Les sorties

A partir de la simulation, Homer permet de visualiser le comportement heure par heure de chaque équipement de l'installation pour toutes les configurations simulées. A partir de ces résultats, Homer présente une analyse financière sur la durée du projet. Ainsi, pour chaque architecture et configuration il est possible d'observer les sorties suivantes :

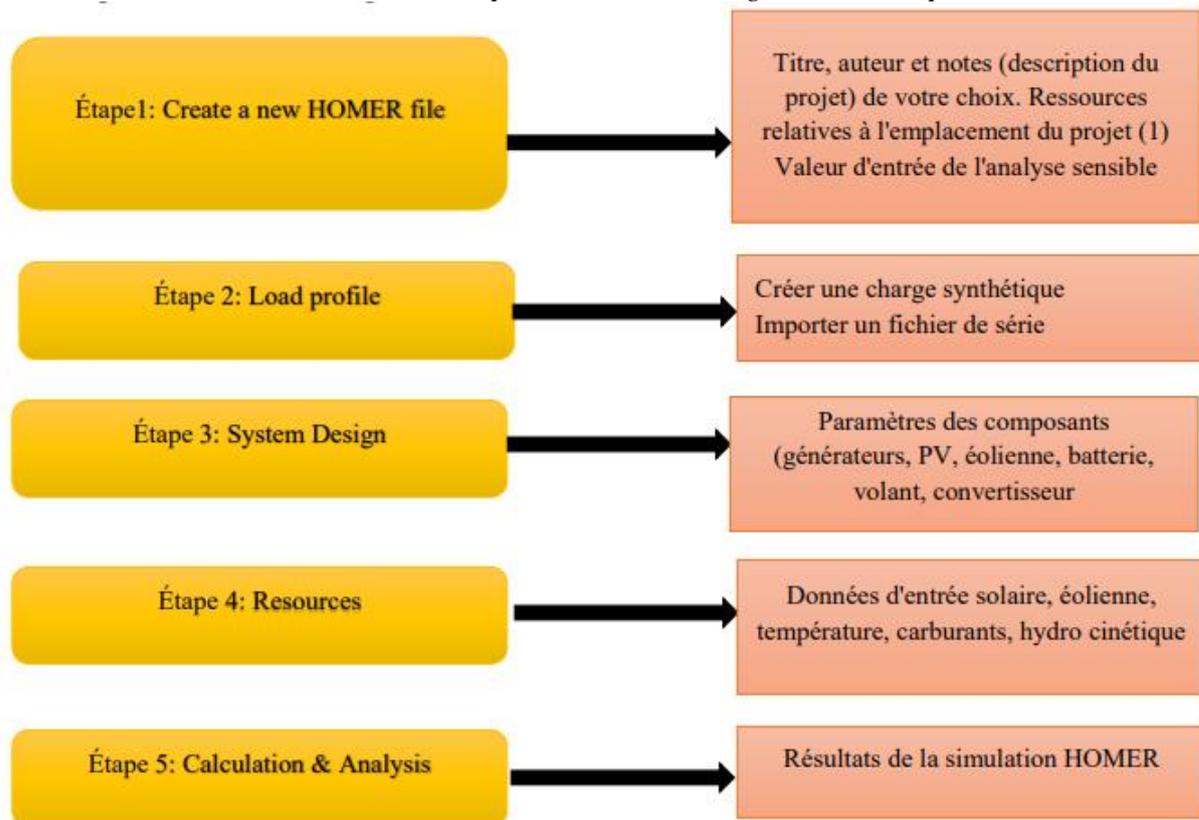
- Coût global du kWh actualisé ;
- Répartition des postes de dépenses (investissement, entretien/maintenance, combustible)
- Le détail correspondant à chaque source : flux d'énergies, nombre de remplacements, coût fixe et cout marginal, proportion de la production électrique ;
- Des graphiques journaliers sur toute la durée de vie du système présentant heure par heure les consommations, les puissances délivrées par chaque source, la quantité d'énergie stockée
- Des graphiques d'analyse de sensibilité. Il permet d'observer la variation de certaines sorties par rapport à paramètres de sensibilité choisis ;
- Une analyse économique par rapport à une installation de référence ;
- Une analyse de sensibilité présentée sous forme graphique. [27]

3.2.4 Le fonctionnement:

Pour chaque configuration, c'est-à-dire pour un choix de valeurs parmi toutes celles disponibles pour chaque paramètre, Homer effectue une analyse temporelle de l'installation. A chaque pas de temps le logiciel observe la consommation et la compare à la production éolienne qu'il a calculée en fonction du gisement pris en compte. L'énergie éolienne est prioritaire car il n'est pas possible de reporter son utilisation. Dans le cas d'un manque de cette énergie HOMER pro doit choisir entre l'usage du GE ou des idéalisée par rapport aux systèmes de contrôle commande réels. La simulation agit de façon à optimiser le coût total de fonctionnement de la centrale hybride, ce qui n'est pas forcément le cas de ces derniers. Les différences seront explicitées dans la partie « Les résultats » Pour comparer les coûts du kWh produit par les différentes sources, le logiciel utilise des règles et des modèles qui peuvent être influencés par les paramètres choisis par l'utilisateur. Ainsi Homer considère que les sources auxiliaires ont un coût fixe et un coût marginal. [28]

- **Simulation des capacités de base, optimisation, analyse de sensibilité**
 - **Simulation:** HOMER pro est essentiellement un modèle de simulation. Il tentera de simuler un système viable pour toutes les combinaisons possibles de l'équipement que vous souhaitez considérer. Selon la façon dont vous configurez votre problème, HOMER pro peut simuler des centaines voire des milliers de systèmes.
 - **Optimisation:** L'étape d'optimisation suit toutes les simulations. Les systèmes simulés sont triés et filtrés selon des critères que vous définissez, de sorte que vous pouvez voir les meilleurs ajustements possibles. Bien que HOMER pro soit fondamentalement un modèle d'optimisation, vous pouvez également choisir de minimiser la consommation de carburant.
 - **Analyse de sensibilité :** il s'agit d'une étape facultative qui vous permet de modéliser l'impact de variables indépendantes de votre volonté, telles que la vitesse du vent, les coûts de carburant, etc., et voyez comment le système optimal change avec ces variations. [29]

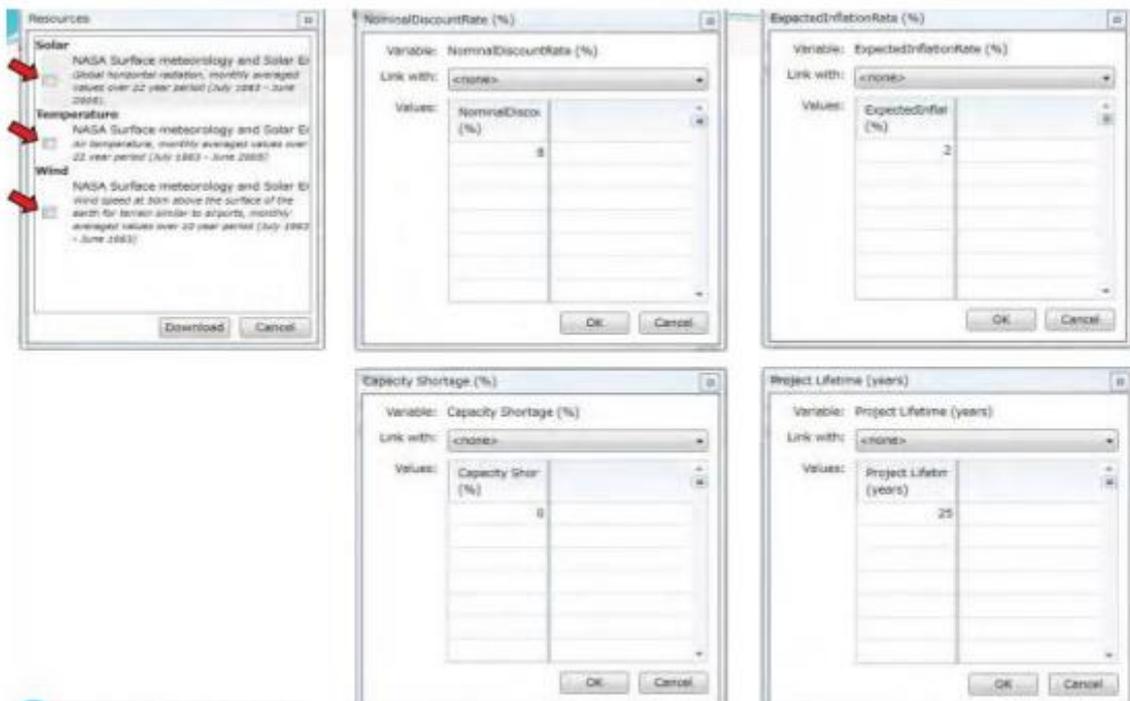
Tableau 3-2 Étapes d'utilisation du logiciel HOMER pro



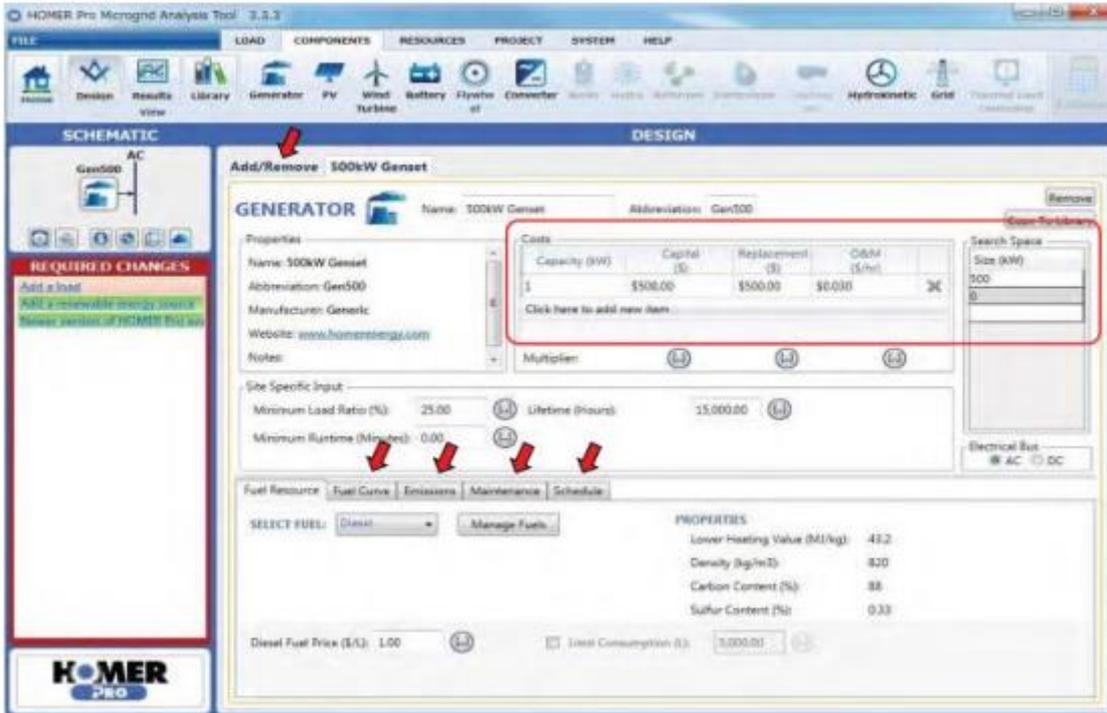
➤ **Etape 1:**

Créer un nouveau fichier HOMER pro: Un fichier HOMER pro contient toutes les informations sur les options technologiques, les coûts des composants et la disponibilité des ressources

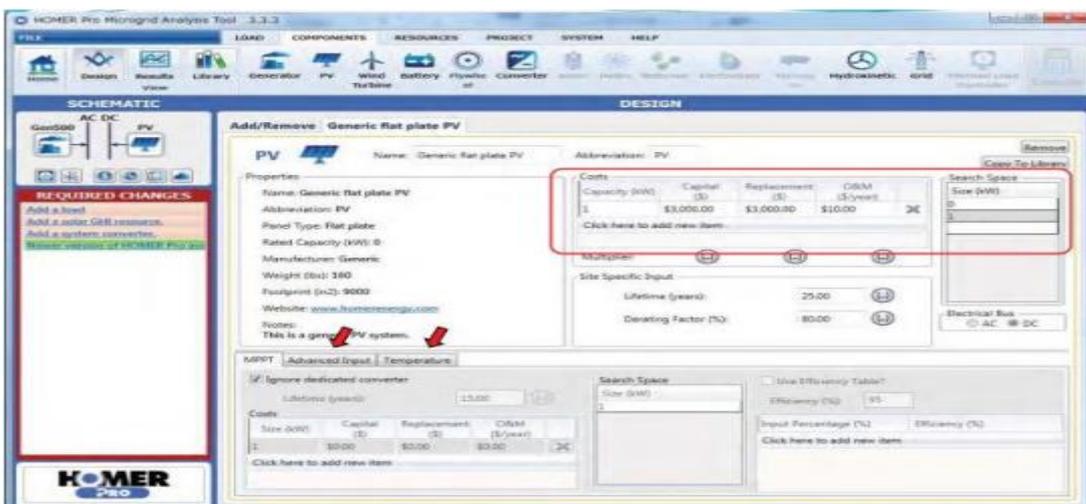
nécessaires pour analyser le système électrique dessins. Le fichier HOMER contient également les résultats de tous les calculs HOMER fait dans le cadre des processus d'optimisation et d'analyse de sensibilité. HOMER les noms de fichiers se terminent par .Hmr, par exemple : [29]



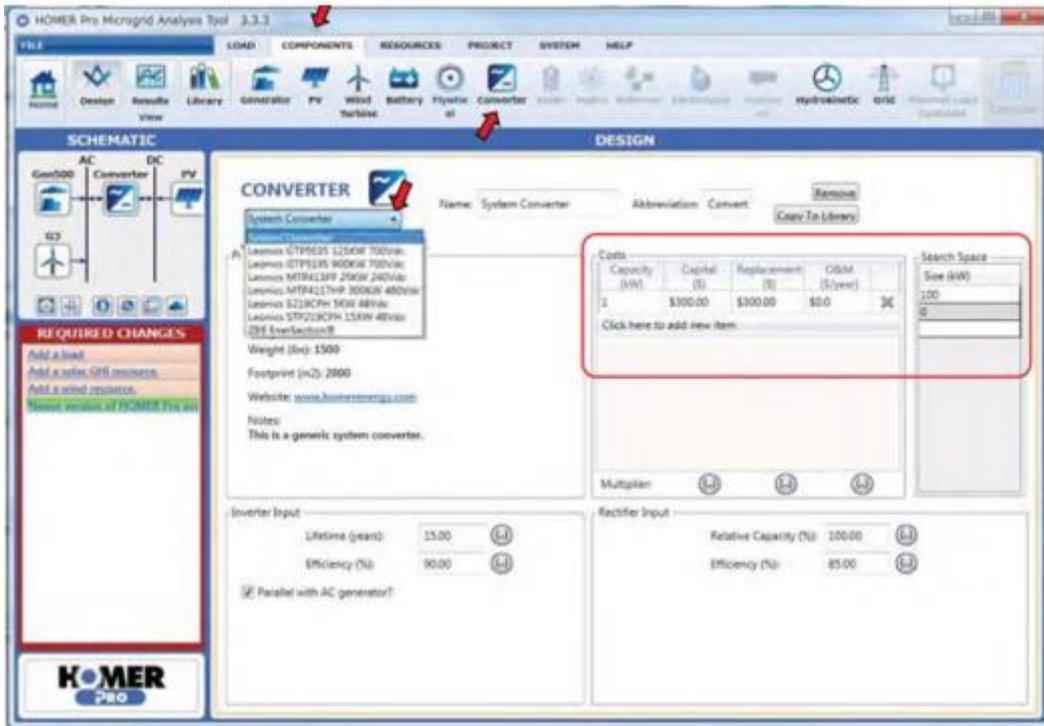
B/ Dans le tableau Coûts, saisissez les valeurs suivantes : Taille 1, Capital, Remplacement , F&E
 Notez que O&M signifie exploitation et maintenance. Les coûts d'exploitation et d'entretien du générateur ne doivent pas inclure les frais de carburant, car HOMER calcule les frais de carburant séparément.



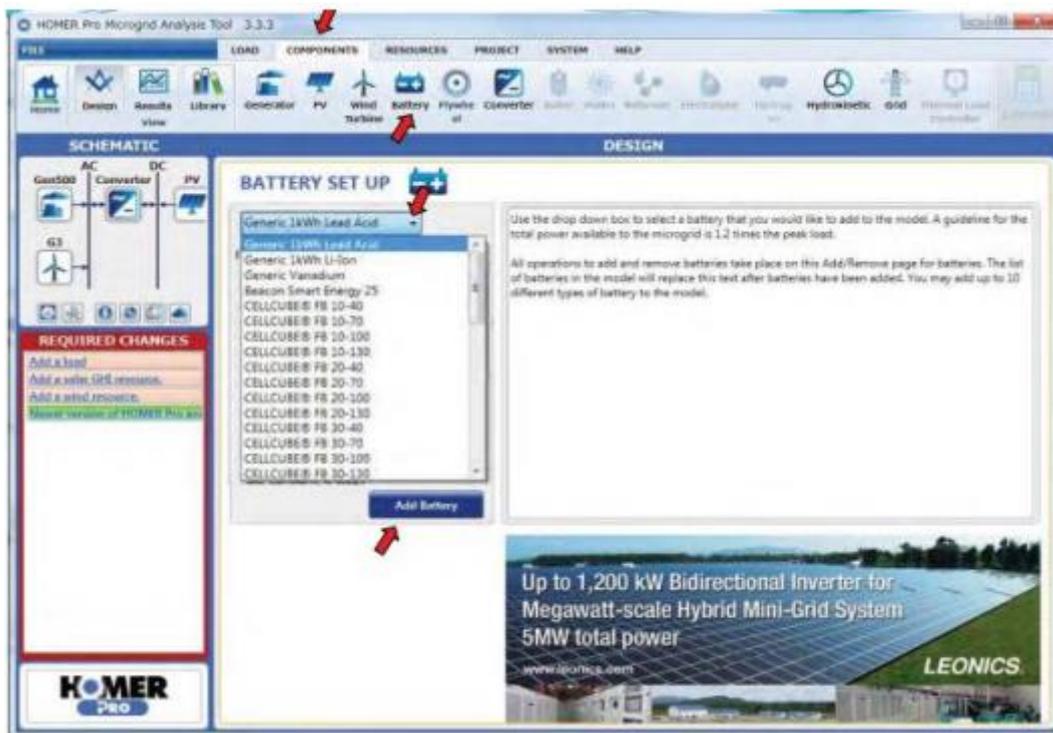
C/ Cliquez sur PV sur le schéma pour ouvrir PV Inputs.



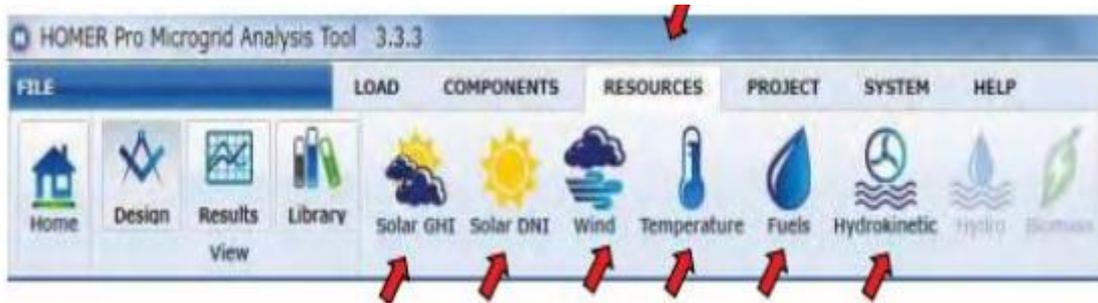
D/ Cliquez sur convertiseur sur le schéma pour ouvrir converteur Inputs, puis choisissez le converteur qui vous convient.



E/ Cliquez sur batterie sur le schéma pour ouvrir batterie Inputs, puis choisissez batterie qui vous convient



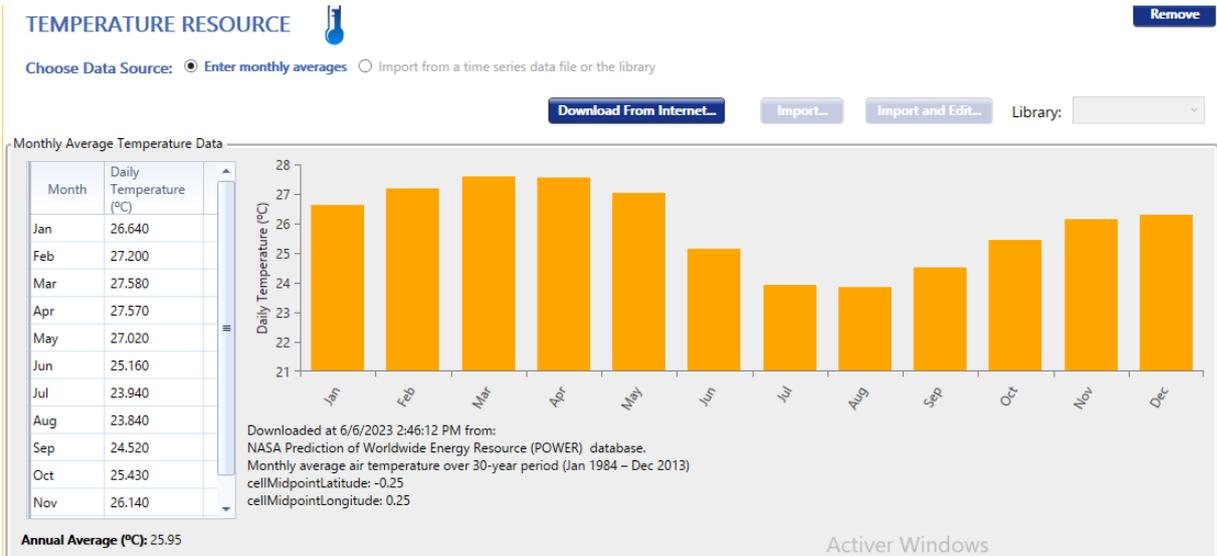
- **Étape 4:** Ressources Les intrants des ressources décrivent la disponibilité du rayonnement solaire, de l'énergie éolienne, de l'hydroélectricité et du carburant pour chaque heure de l'année. Pour les ressources solaires, éoliennes et hydroélectriques, vous pouvez soit importer des données à partir d'un fichier correctement formaté, soit utiliser HOMER pro pour synthétiser des données horaires à partir de valeurs mensuelles moyennes.



A/ Cliquez sur la liste des ressources, puis choisissez la ressource solaire, puis cliquez sur la case "Charger les ressources" pour les télécharger par lieu et par mois.



B/ Cliquez sur la liste des ressources, puis choisissez la ressource de température, puis cliquez sur la case "Charger les ressources" pour les télécharger par mois.



Étape 5: Calcul et analyse.

3.3 Position de l'Université Es Senia (institut de maintenance et de securite industrielle) :

Nous définissons la même localisation géographique que nous avons définie pour notre système et que nous avons utilisée dans le logiciel RETScreen, Nous présentons sur l'interface du logiciel comme illustre la figure « 3.1», qui nous permet de positionner le site de travail sur la carte géographique pour vérifier les coordonnées relatives au site de l'IMSI es senia, et choisir les composants de l'installation et leurs caractéristiques techniques. On définit le système à partir de nom du projet, l'auteur et la localisation du système.

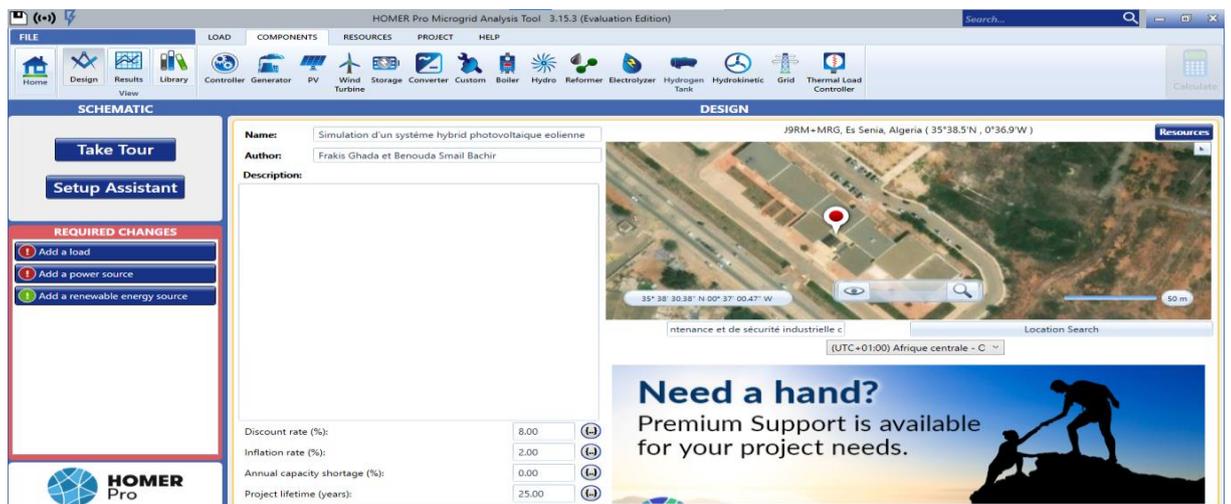


Figure 3.1 Mise en place notre site géographique Es-Senia

3.3.1 Configuration du Système

Le modèle HOMER Pro utilise des simulations horaires pour optimiser la conception de systèmes d'alimentation de plusieurs systèmes notamment éolien, photovoltaïque, groupe diesel et batterie d'accumulateurs, La configuration du système photovoltaïque couplé aux réseaux dépend de la ressource énergétique de solaires.

3.3.2 Schéma de conception du système

La figure ci- dessous montre le système global qui sera étudié en utilisant le logiciel HOMER PRO qui comprend les panneaux solaires, les turbines éoliennes, le groupe diesel, les convertisseurs et les batteries.

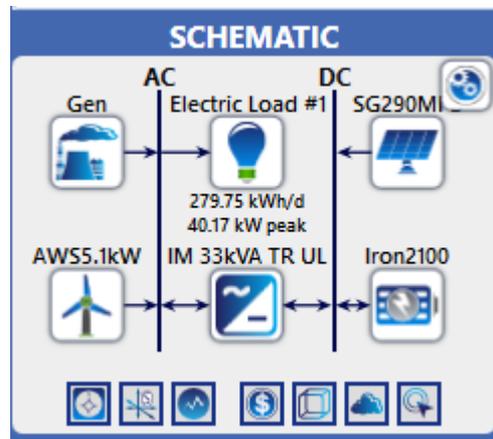


Figure 3.2 Montage électrique du système hybride (Université Es senia).

3.4 Simulation des composants de systeme

3.4.1 Choix du générateur

Le générateur que nous considérons dans cette étude est un générateur diesel qui s'autodimensionne de façon à ce qu'il réponde à toute la charge. Il ne présente pas, donc, une capacité de stockage excédentaire. De plus, il ajuste sa courbe de carburant à sa taille. La figure «3.3», représente les spécifications techniques du générateur que nous considérons dans notre étude.

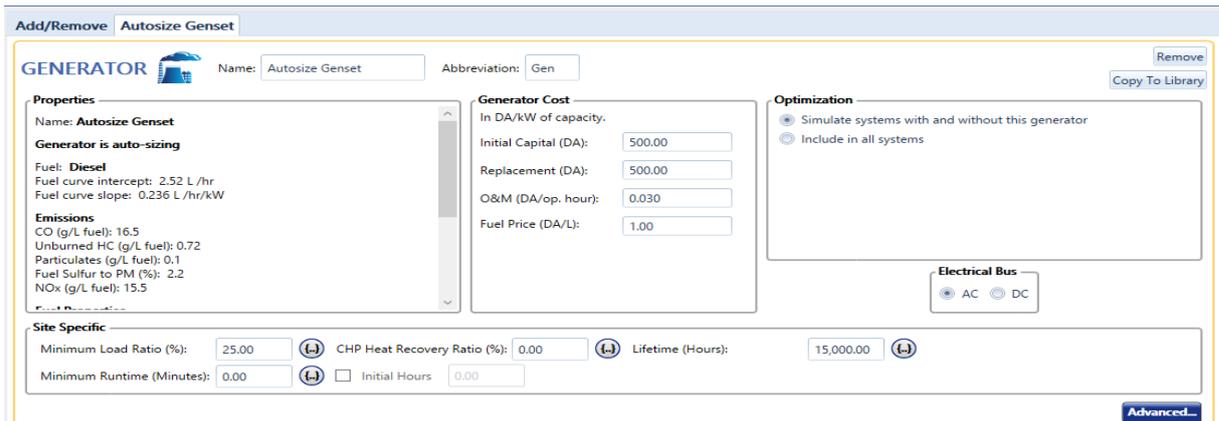


Figure 3.3 Le choix du générateur

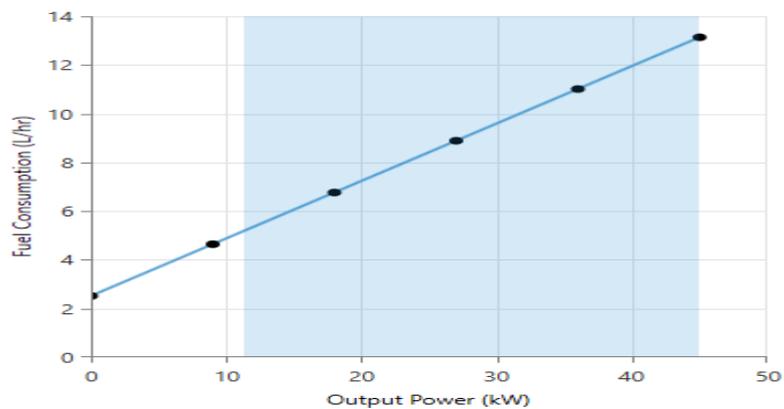


Figure 3.4 Courbe de consommation de carburant du GD

3.4.2 Choix des PV

Les photovoltaïques sont des composants électroniques qui transforment les rayons lumineux du soleil en électricité par les cellules. Le coût du PV varie linéairement avec sa taille. Pour accélérer le travail, nous avons choisi un panneau photovoltaïque polycristallin de 290W fabriqué par PEIMAR qui a les mêmes caractéristiques du choix précédent

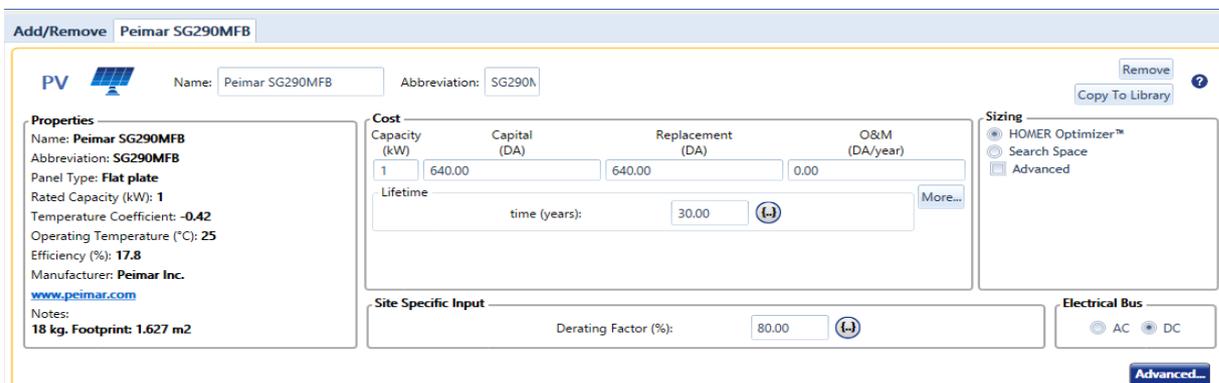


Figure 3.5 Déterminer le panneau solaire approprié et ses caractéristiques

- **L'irradiation solaire :**

L'étape essentielle dans la conception d'un système photovoltaïque est la détermination de sa taille optimale qui dépend principalement des données climatiques du site. Le graphe dans la figure « 3.6 ». Et le Tableau 1 sont les données du profil de la variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière à télécharger sur HOMER PRO.



Figure 3.6: la variation de l'irradiation solaire moyenne et journalière

Cependant ces données on confirme une excellente compatibilité avec le changement des saisons de la région et nous constatons : Le d'irradiation pendant l'été et le pendant l'hiver.

- ♣ Le mois juin est le mois le maximum ensoleillé avec une irradiation journalière moyenne de 7.080 [kWh/m2 /jours].
- ♣ Le mois de décembre est le minimum ensoleillé avec 2.400[kWh/m2 /jours].

- **La température :**

Le fonctionnement des cellules est affecté considérablement par la température donc il est nécessaire. De vérifier la variation de cette dernière pour maîtriser son impact sur le rendement des panneaux photovoltaïques.

Le graphe de la figure « 3.7 » indique clairement que la température maximum pendant les mois d'été ne dépassera jamais la température influente sur le rendement des cellules.



Figure 3.7 l'évolution des températures mensuelles moyennes de l'IMSI Oran Es senia

3.4.3 Choix des éoliennes

La turbine éolienne ayant une caractéristique qui lui est propre et qui dépend des paramètres de construction qui définissent son potentiel à prélever l'énergie de la masse d'air en mouvement. La turbine choisie est **AWS HC 5 KW**.

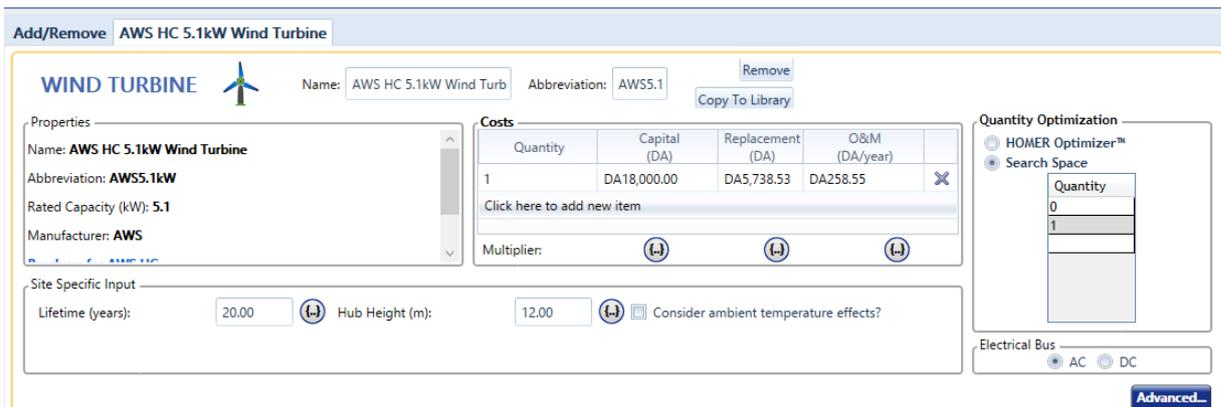


Figure 3.8 Les données du coût d'éolien

La caractéristique de puissance de l'éolienne AWS HC 5 [KW] DC, en fonction de la vitesse du vent est donnée par la figure « 3.9 » ci-dessous

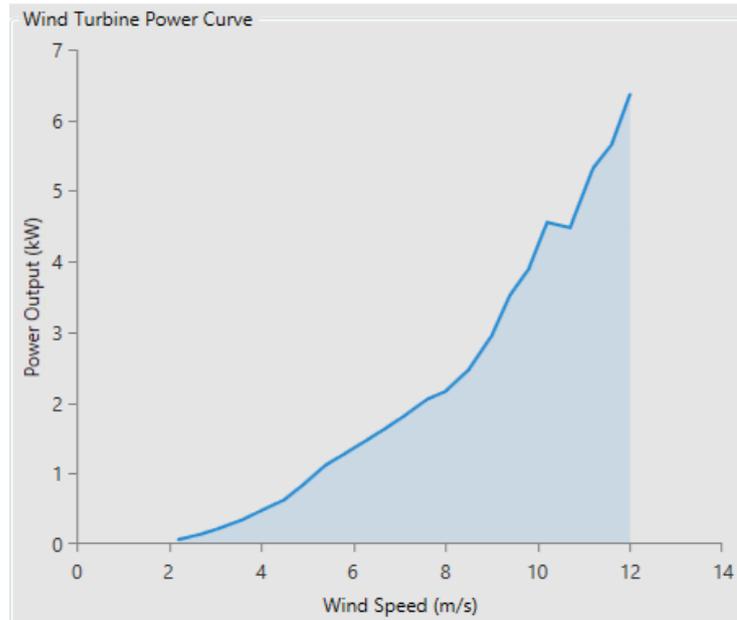


Figure 3.9 Caractéristique de puissance de l'éolienne choisie en fonction de la vitesse du vent.

3.4.4 Choix des batteries

L'installation peut fonctionner sans système de stockage, cependant, le rôle des batteries est essentiellement pour mieux optimiser les paramètres de fonctionnement, dans le sens de minimiser la part de l'énergie produite par le générateur classique. L'excès de production par les générateurs renouvelables est donc stocké dans les batteries, on peut ainsi minimiser la consommation du combustible et les émissions des gaz.

STORAGE | Iron Edison LFP 2100Ah

Name: Iron Edison LFP 2100Ah | Abbreviation: Iron210

Properties
Idealized Battery Model
 Nominal Voltage (V): 48
 Nominal Capacity (kWh): 101
 Nominal Capacity (Ah): 2.1E+03
 Roundtrip efficiency (%): 95
 Maximum Charge Current (A): 600
 Maximum Discharge Current (A): 600

Cost

Quantity	Capital (DA)	Replacement (DA)	O&M (DA/year)
1	71,700.00	71,700.00	0.00

Lifetime throughput (kWh): 343,224.00

Sizing
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 Advanced

Site Specific Input

String Size: 1 | Voltage: 48 V

Initial State of Charge (%): 100.00

Minimum State of Charge (%): 20.00

Use minimum storage life (yrs): 5.00

Active Windows: Accédez aux paramètres pour Maintenance Schedule...

Figure 3.10 Connexion des batteries au système

3.4.5 Choix des convertisseurs

Le fonctionnement de convertisseur est lié à la demande sur l'énergie stockée, l'étude de son fonctionnement nous permet de prévoir les périodes de décharge des batteries. Le fonctionnement du redresseur est lié à l'état de charge des batteries, l'analyse de son fonctionnement est très importante, car elle nous permet de prévoir les périodes de recharge des batteries et ainsi les générateurs utilisés pour cette opération (PV, WT, DG).

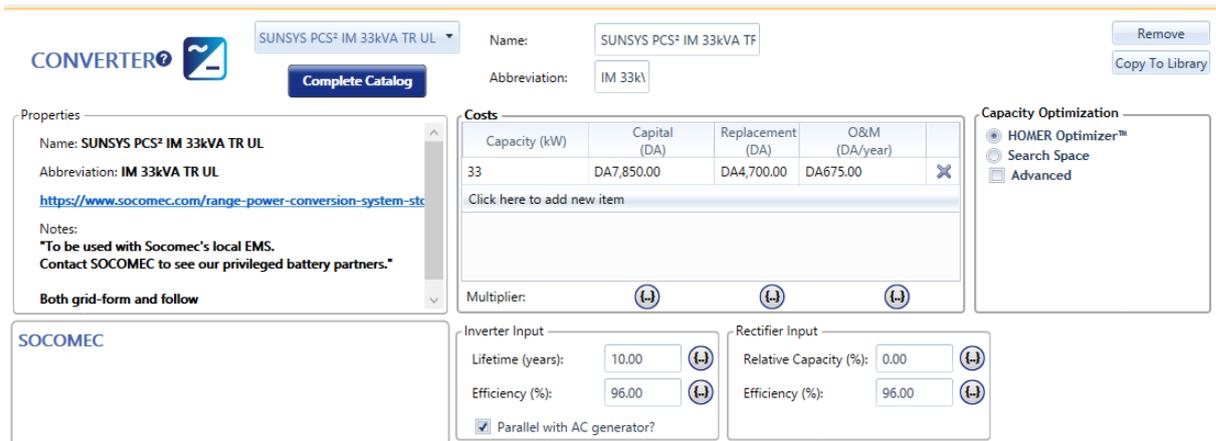


Figure 3.11 Propriétés du l'onduleur

3.4.6 La charge

Après une évaluation heure par heure et jour par jour de la consommation quotidienne prélevée à partir de l'index du compteur de l'IMSI étudiée, nous avons introduire ces données traitées dans le logiciel Homer pro pour calculer la consommation journalière, mensuelle et annuelle.



Figure 3.12 Données montrant le volume de consommation tout au long de l'année

3.5 Resultats et discussion de la simulation

Le logiciel HOMER PRO produit des résultats que nous pouvons afficher sous forme de liste de configurations possible triés par coût du cycle de vie. IL affiche également des résultats de simulation dans des tableaux et des graphiques. Les résultats des simulations concernent les différentes parties du système de génération .

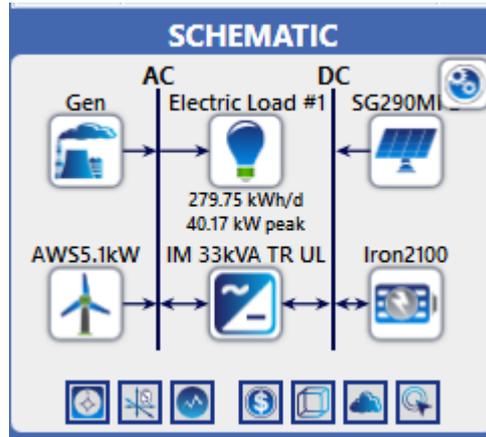


Figure 3.13. Montage électrique du système hybride

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

Export...		Export Details...		Optimization Results														
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.															Categorized		Overall	
Architecture				Cost				System							Gen			
				Gen (kW)	Iron2100 (#)	IM 33kVA TR UL (kW)	Dispatch	NPC (DA)	LCOE (DA/kWh)	Operating cost (DA/yr)	CAPEX (DA)	Ren Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours	Production (kWh)			
				45.0	1	38.0	LF	DA303,702	DA0,230	DA6,605	DA218,321	92.6	3,389	643	7,510			
				45.0	2	38.8	LF	DA309,613	DA0,235	DA3,421	DA265,383	95.0	2,306	438	5,105			
					4	40.3	CC	DA411,494	DA0,312	-DA2,175	DA439,608	100	0					
					5	40.6	CC	DA444,605	DA0,337	-DA3,367	DA488,128	100	0					
				45.0		38.0	CC	DA932,619	DA0,707	DA54,550	DA227,429	24.0	35,430	6,803	77,632			
				45.0		35.7	CC	DA944,578	DA0,716	DA54,312	DA242,459	24.8	35,089	6,749	76,762			

Figure 3.14 Résultats proposés par Homer.

On remarque que le meilleur système utilisé est le système hybride, qui contient (PV, éolienne, GD, batteries) dans la 1ere 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 6ème ligne avec une valeur de (242.459 DA), qui appartient au système intégrant seulement (PV,eolienne,generateur,convertisseur), car il ne s'agit pas d'utiliser (batterie) et il a laissé un effet significatif sur la valeur de RF (Renewable Fraction) qui a été estimé à 24.8 ,cette dernière

représente une faible valeur par rapport à sa valeur de la 1ère ligne, qui représente la plus grande valeur de (Renewable Fraction) estimé à 92.6.

3.5.1 Production et consommation d'énergie électrique

Production	kWh/yr	%	Consumption	kWh/yr	%
Peimar SG290MFB	245,207	93.6	AC Primary Load	102,109	100
Autosize Genset	7,510	2.87	DC Primary Load	0	0
AWS HC 5.1kW Wind Turbine	9,142	3.49	Deferrable Load	0	0
Total	261,859	100	Total	102,109	100

Figure 3.15. Analyse des résultats du système hybride

La quantité d'énergie électrique produite par les éoliennes est en moyenne d'environ 3.49 % de la quantité totale, soit 9142 kWh/an. L'énergie produite par les cellules photovoltaïques est importante, estimée à 93.6 % de la quantité totale produite, soit 245,207 kWh/an, tandis que la quantité d'énergie produite par un groupe électrogène diesel est moyen environ 2.87%, sur la quantité totale, soit 7510 kWh/an.

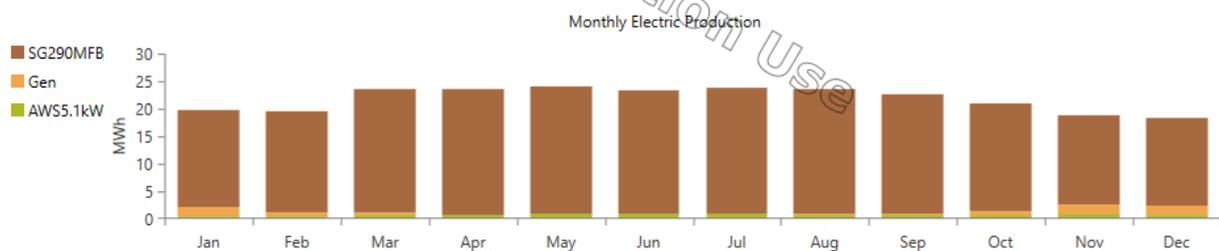


Figure 3.16 Puissance moyenne mensuelle produite par chaque source (IMSI Es senia).

Nous remarquons qu'il y a une légère différence dans la production de l'énergie électrique entre certains mois de l'année, et que la puissance éolienne mensuelle moyenne produite est importante dans toute l'année surtout. Aussi la puissance photovoltaïque mensuelle moyenne produite est importante dans les mois (mars, avril, mai).

3.5.2 Résultats du champ PV

Les paramètres de fonctionnement de générateur photovoltaïque sont

Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Rated Capacity	152	kW	Minimum Output	0	kW
Mean Output	28.0	kW	Maximum Output	158	kW
Mean Output	672	kWh/d	PV Penetration	240	%
Capacity Factor	18.5	%	Hours of Operation	4,386	hrs/yr
Total Production	245,207	kWh/yr	Levelized Cost	0.0294	DA/kWh
			Clipped production	0	kWh

Figure 3.17 Paramètres de Fonctionnement du Pv

La puissance journalière et mensuelle moyenne est représentée dans les figures 3.18, Figure 3.19

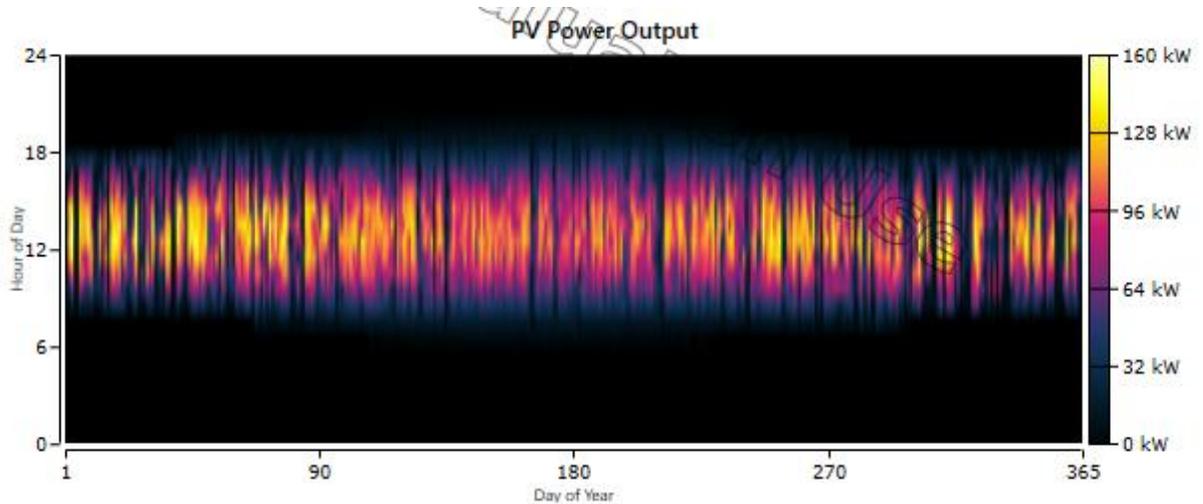


Figure 3.18 Puissances journalières moyennes délivrées par le générateur photovoltaïque.

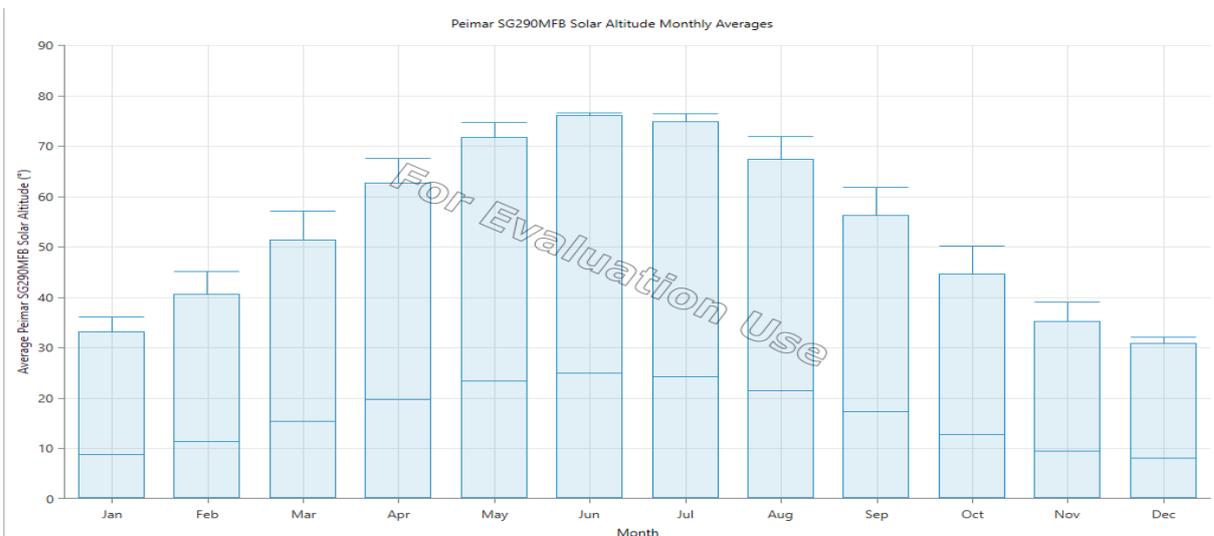


Figure 3.19. Puissances mensuelle moyennes délivrées par le générateur photovoltaïque.

Après l'analyse des résultats obtenus pour les puissances moyennes journalières du PV, on remarque que la période de fonctionnement du PV est plus étroite durant les mois d'hiver, c'est environ entre 8h et 18h, soit 10 heures par jours et inversement pour la période d'été. La production par PV est très faible, aux périodes du pic de consommation électrique (entre 20 h et 22 h), ce qui nécessite soit le recours au l'autre générateur, soit à l'énergie stockée

3.5.3 Résultats de l'éolienne

L'éolienne développe la plus grande puissance, ses paramètres de fonctionnement sont résumés dans les figures ci-dessous.

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	5.10	kW
Mean Output	1.04	kW
Capacity Factor	20.5	%
Total Production	9,142	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	6.36	kW
Wind Penetration	8.95	%
Hours of Operation	7,377	hrs/yr
Levelized Cost	0.187	DA/kWh

Figure 3.20 Paramètres de Fonctionnement de l'éolienne

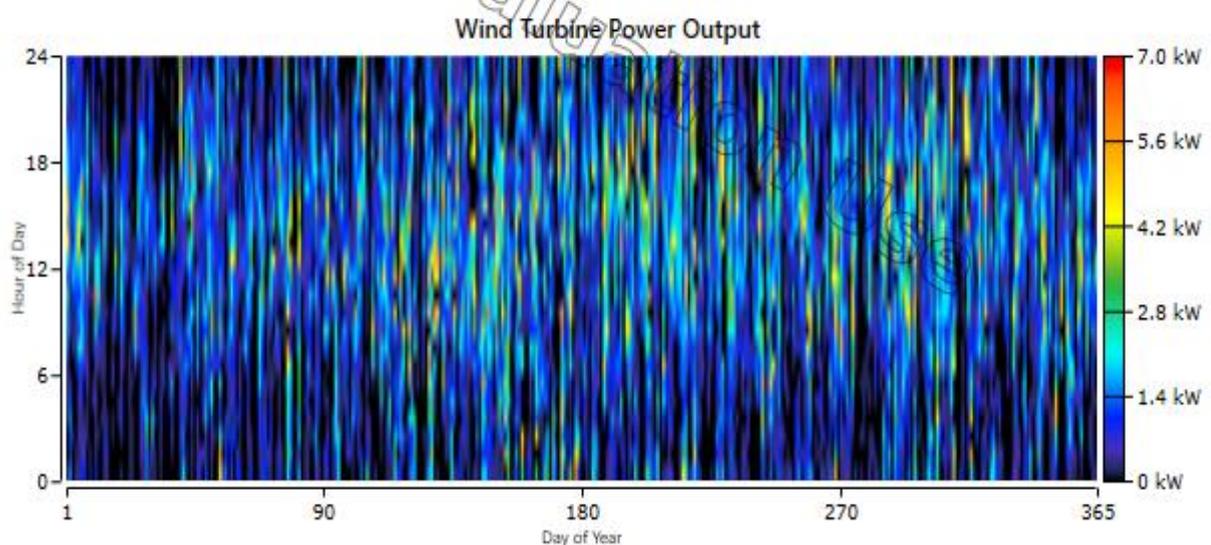


Figure 3.21 Puissances journalières moyennes délivrées par l'éolienne.

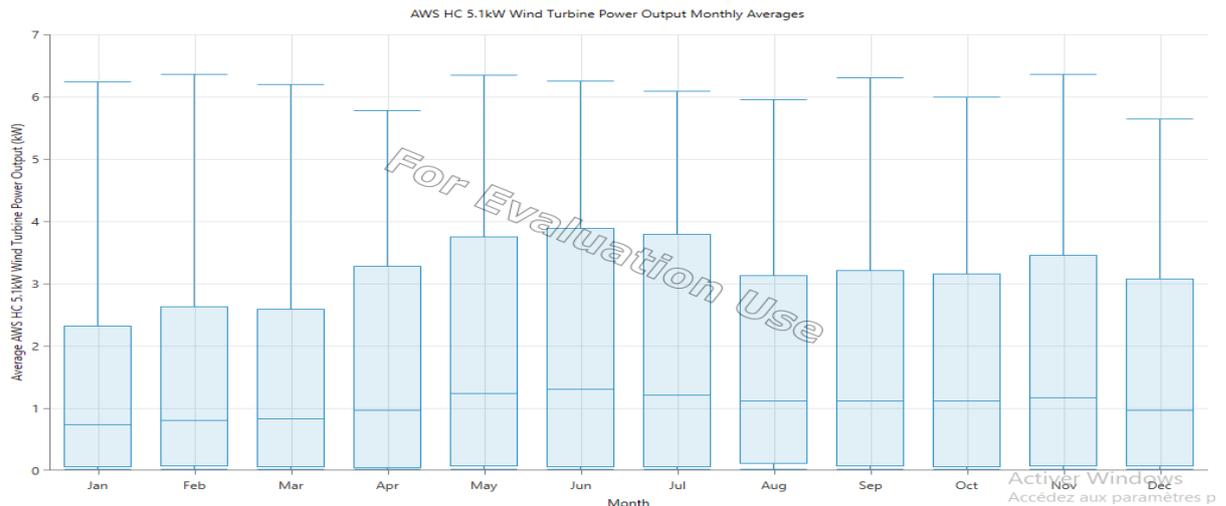


Figure 3.22 Puissances mensuelle moyennes délivrées par l'éolienne

On remarque que cette courbe est très semblable avec celles qui représentent la distribution des vitesses moyennes journalières du vent données. Les mois les plus ventés (Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars, Avril) sont caractérisés par une production importante et inversement.

3.5.4 Les batteries

Les paramètres de fonctionnement des batteries sont :

Quantity	Value	Units
Batteries	1.00	qty.
String Size	1.00	batteries
Strings in Parallel	1.00	strings
Bus Voltage	48.0	V

Quantity	Value	Units
Autonomy	6.92	hr
Storage Wear Cost	0.214	DA/kWh
Nominal Capacity	101	kWh
Usable Nominal Capacity	80.6	kWh
Lifetime Throughput	343,224	kWh
Expected Life	18.1	yr

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	DA/kWh
Energy In	19,429	kWh/yr
Energy Out	18,507	kWh/yr
Storage Depletion	50.0	kWh/yr
Losses	973	kWh/yr
Annual Throughput	18,987	kWh/yr

Figure 3.23 Paramètres de Fonctionnement de la batterie

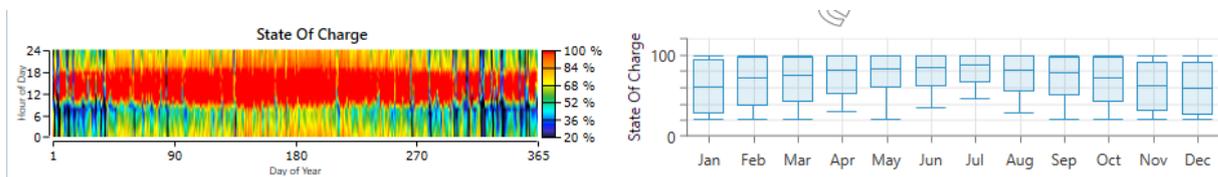


Figure 3.24. Etat de charge moyenne journalière et mensuelle des batteries.

Le profil de la distribution journalière moyenne de l'état de charge est relativement semblable pour tous les mois, mais pas avec les mêmes valeurs. L'énergie produite par les batteries serait très importante comme notre système est composé de deux sources renouvelables. On notera, La

variation de l'ensoleillement moyen et de la vitesse du vent en fonction de la période de l'année résulte en un recyclage saisonnier.

3.5.5 Le convertisseur

Les paramètres de fonctionnement d'onduleur sont :

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	38.0	0	kW
Mean Output	9.98	0	kW
Minimum Output	0	0	kW
Maximum Output	34.2	0	kW
Capacity Factor	26.2	0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of Operation	8,362	0	hrs/yr
Energy Out	87,409	0	kWh/yr
Energy In	91,051	0	kWh/yr
Losses	3,642	0	kWh/yr

Figure 3.25 Paramètres de Fonctionnement d'onduleur

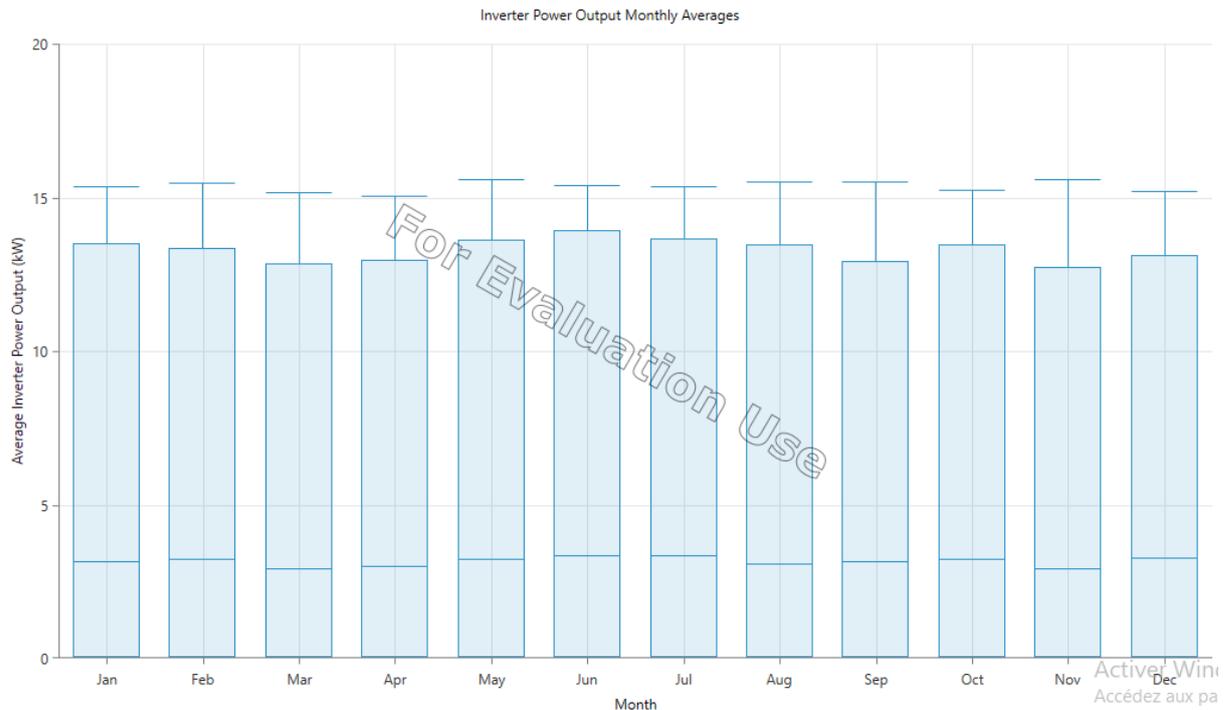


Figure 3.26 Distribution de la puissance moyenne mensuelle délivrée par l'onduleur.

Les performances moyennes journalières simulées pour l'onduleur montrent que ces courbes de distribution de la puissance sont différentes pour chaque mois.

3.5.6 Évaluation environnementale :

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	8,872	kg/yr
Carbon Monoxide	55.9	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	2.44	kg/yr
Particulate Matter	0.339	kg/yr
Sulfur Dioxide	21.7	kg/yr
Nitrogen Oxides	52.5	kg/yr

Figure 3.27 Quantité du gaz polluant émis par le (GD) à Es senia Oran

D'après la figure 3.27 On remarque que la quantité de gaz polluant est réduite qui est due à l'utilisation des panneaux solaires et l'éoliennes qui sont des facteurs clés dans la réduction de ces quantités.

3.5.6 Répartition des coûts de l'installation

Component	Capital (DA)	Replacement (DA)	G3M (DA)	Fuel (DA)	Salvage (DA)	Total (DA)
▷ Autosize Genset	DA22,500.00	DA5,930.54	DA11,221.73	DA43,816.86	-DA5,003.76	DA78,465.37
▷ AWS HC 5.1kW Wind Turbine	DA18,000.00	DA1,829.49	DA3,342.41	DA0.00	-DA1,031.03	DA22,140.86
▷ Iron Edison LFP 2100Ah	DA71,700.00	DA25,515.24	DA33.04	DA0.00	-DA10,597.31	DA86,650.97
▷ Peimar SG290MFB	DA97,069.52	DA0.00	DA0.00	DA0.00	-DA3,875.63	DA93,193.89
▷ SUNSYS PCS ² IM 33kVA TR UL	DA9,051.15	DA4,787.49	DA10,061.23	DA0.00	-DA649.10	DA23,250.77
System	DA218,320.67	DA38,062.75	DA24,658.41	DA43,816.86	-DA21,156.83	DA303,701.86

Figure 3.28 Coûts de l'installation

Coût net actuel : **303,701.86 DA**

Le coût total du projet est de **303,701.86 DA**. Les composants du système ne seront pas remplacés. Les batteries présentent le coût le plus élevé (de trois fois celui du PV).



Figure 3.29 .les flux de trésorerie

L'interprétation de la figure 3.29 révèle l'investissement sans profit à long terme chose qui n'interviendra qu'après 25 ans.

3.5.7 La comparaison entre les résultats des trois dimensionnements

Donc après la simulation et l'obtention des résultats du logiciel Homer pro on peut faire une comparaison générale entre tous les résultats de dimensionnement de notre système hybride

Tableau 3-3 Comparaison des résultats principaux.

	Les résultats de la méthode itérative	Les résultats de Homer pro
Consommation journalière	279.36 KW	279.75 KW
Puissance nominale du champ PV	152 KW	158 KW
Quantité de batterie	1	1
Puissance de l'onduleur	38 KW	34.2 KW
L'énergie produite annuellement	101966.72 KW	102.109
Coût Total de l'investissement		303,701.86 DA

La comparaison des résultats trouvés par les deux méthodes (itérative et Homer) montre que ces résultats sont presque égaux et ils sont convergents avec une légère différence dans les puissances trouvées pour le système PV (152KW) (158KW) et pour l'éolienne et le groupe électrogène.

3.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué le logiciel HOMER pro qui permet 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 système. 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 pro qui est disponible gratuitement est développé par NREL (National Renewable Energy Laboratory) des Etats-Unis.

Conclusion Générale

Les énergies renouvelables représentent une grande partie de notre avenir énergétique. Elles permettent le développement futur et sont une solution de nos problèmes énergétiques et environnementaux. Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables mais qui sont peu utilisées par l'Homme. Leur création est due aux changements climatiques et à la pollution et aux gaz échappés des industries et parmi ces énergies on trouve le système hybride.

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 pro, qui a un langage interactif, Permettant la prédiction des tâches système d'une manière rapide et précise. Le principal avantage d'un système hybride PV/ éolien est que les énergies solaire, éolienne sont utilisées en même temps, pour améliorer la fiabilité du système. Afin d'atteindre cet objectif, nous avons fixé des objectifs auxiliaires qui ont été accomplis avec succès.

En effet, nous avons commencé ce mémoire par une introduction générale, où nous avons identifié les problématiques trouvés dans le système hybride à base des énergies renouvelables. Ensuite, on a présenté les caractéristiques de chaque composante du système hybride éolien-photovoltaïque avec soin.

En second lieu, nous avons effectué dans le deuxième chapitre un dimensionnement par la méthode itérative en se basant sur les données météorologiques d'Oran Université Es senia et le logiciel utilisé était le « RetScreen Expert » pour déterminer l'inclinaison et l'irradiation, l'énergie radiante de la zone, le volume de température et la consommation mensuelle. Cela afin d'avoir une idée approximative sur la taille, le nombre, et le cout des principaux composants qui constituent notre système.

Dans le troisième chapitre, une vérification des résultats trouvés par la méthode itérative a été faite par le logiciel Homer pro. Les résultats trouvés sont très proches avec quelques différences qui reviennent au choix empirique des différentes pertes ainsi qu'aux choix des valeurs des données météorologiques des mois prises en compte pour le calcul des nombres des modules PV. Les résultats de simulation et de perfectionnement que nous avons obtenus montrent l'efficacité du système de contrôle et de gestion d'énergie proposé, ce dernier permet un fonctionnement

Conclusion generale

meilleur et optimal de notre système hybride . Comme perspective (notre travail reste, comme toute œuvre humaine, perfectible) nous recommandons :

- Une amélioration de l'architecture du système hybride à énergie renouvelable.
- Tester les performances du système hybride autonome (PV, Eolienne, generateur, convertisseur, Batteries) proposé dans le cas où le réseau électrique est disponible.
- Alimenter les charges électriques sans interruption.
- Maximiser l'utilisation des énergies renouvelables.
- Minimiser la consommation en combustible fossile.
- Protéger les composants du système donc prolonger leurs durées de vie.
- Réduire les émissions de tous les gaz.

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

Annexes

Annexe A

Carctéristique generateur diesel

Nom : Autosize Genset	
Capacité	10 kw
Carburant	Diesel
Interception de la courbe de carburant	0.257L/h
Pente de la courbe de carburant	0.236L/h/ kw
Émissions	CO (g / L de carburant) : 16.5
	HC non brûlé (g / L) : 0.72
	Particules (g / L de carburant) : 0.1
	Carburant soufre à PM (%) : 2.2
	NOx (g / L de carburant) : 15.5
Propriétés du carburant	Valeur calorifique inférieure : (MJ / kg) : 43.2
	Densité (Kg / m3) : 820
	Teneur en carbone (%) : 88
	Teneur en soufre (%) : 0.4

Annexe B

Caractéristique d'éolienne AWS 5.1KW

MODEL	AWS—HC 5.1kW
RATED OUTPUT	5100W
RATED WIND SPEED m/s / mph	11 / 25
PEAK OUTPUT	5700W
CUT IN m/s / mph	2.7 / 6
YAW SYSTEM	Passive by tail Vane
YAW / TOWER CABLE	N x 360° Freedom
GENERATOR	PM 3 phase alternator (variable speed)
INSULATION CLASS & EFFICIENCY	Class "H" > 87%
STATOR SKEW	1 slot pitch
MAX STATOR CORE TEMPERATURE	180°C
POLES	16
RPM—50hz/60hz	375 / 450
OVER SPEED LIMIT RPM / Hz	525 / 70
MONTHLY KWH 10mph / 4.5 m/s PLF %	500 kWh (18%)

Annexe C**Caractéristique du batterie choisi :**

Ce modèle « Iron Edison LFP 2100 » a toutes les conditions nécessaires car il est en lithium. Une batterie de nouvelle génération avec une longue durée de vie et contre les dommages rapides. Avec une tension de 48V, ce qui nous aide à nous connecter en parallèle sans nous connecter en série (le nombre maximum de batteries doit être installé en parallèle et le moins de batteries possible en série pour la sécurité des batteries et leur charge soit uniformément). Ce modèle a d'excellentes performances 90% et un Charge de cycle très élevé (entre 2500 et 5000 cycles). Nous avons choisi un type de batterie 75ah en raison de notre système qui ne nécessite pas de très grande capacité et également pour éviter les batteries coûteuses. Les batteries au lithium de grande capacité coûtent beaucoup d'argent.

Annexe D**Caractéristique technique des panneaux PV :**

Caratteristiche Elettriche (STC) ⁽¹⁾	SG290P
Potenza di picco (Pmax) ⁽²⁾	290 W
Tolleranza di classificazione	0/+5 W
Tensione a Pmax (Vmp)	32.2 V
Corrente a Pmax (Imp)	9.01 A
Tensione di circuito aperto (Voc) ⁽³⁾	39.28 V
Corrente di corto circuito (Isc) ⁽⁴⁾	9.64 A
Tensione massima di sistema	1500 V
Massimo valore nominale del fusibile	15 A
Efficienza modulo	17.83%
Classe di protezione da scossa elettrica	Classe II

Annexe E

Consommation mensuelle et annuelle de notre Université (Institut de maintenance et de sécurité industrielle)

IMSI
Consommation -ELECTRICITE DE HAUTE TENSION TYPE A-
Exercice :2022

N°	Mois	Energie consommée	Quantité
1	Janvier	H,Pointe	9 911,57
		Pointe	1 223,91
2	Février	H,Pointe	8 903,83
		Pointe	1 042,86
3	Mars	H,Pointe	10 376,44
		Pointe	1 104,14
4	Avril	H,Pointe	6 742,11
		Pointe	881,73
5	Mai	H,Pointe	7 914,05
		Pointe	844,30
6	Juin	H,Pointe	8 148,91
		Pointe	809,66
7	Juillet	H,Pointe	6 369,22
		Pointe	748,89
8	Aout	H,Pointe	4 004,27
		Pointe	634,19
9	Septembre	H,Pointe	9 638,93
		Pointe	1 189,27
10	Octobre	H,Pointe	11 019,95
		Pointe	1 277,70
11	Novembre	H,Pointe	10 355,52
		Pointe	1 174,05
12	Décembre	H,Pointe	8 581,92
		Pointe	1 108,20
Total /12 mois		H,POINTE	101 966,72
		Pointe	12 038,90

Bibliographie

- [1] Dakher Abbas, Contribution au dimensionnement et à l'optimisation des systèmes hybrides éoliens-photovoltaïques avec batteries pour l'habitat résidentiel autonome , mémoire pour l'obtention d'une thèse de doctorat a l'université de Poitiers (2012).
- [2] ZOHRA BENHACHANI ,élaboration d'un modelé de dimensionnement d'un système hybride eolien-photovoltaïque pour alimenter une ferme dans la région des Aurès , mémoire pour l'obtention d'un magister de l'université de Batna (2011) .
- [3]TOUMI Nabil « ETUDE D'UNE POMPE A EAU SOLAIRE POUR ALIMENTER » mémoire de magister en génie pétrolier université KASDI Merbah, Ouergla 2013.
- [4]. BENCASYALI « LE GISEMENT SOLAIRE A GHARDAÏA », l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables « U R A E R ».
- [5] Bogdan, SB, Salameh, ZM, « Methodology for optimally the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system ». IEEE transaction on Energies conversion 11(2), 367-375, 1996.
- [6]D. Tran, "Conception Optimale Intégrée d'une chaîne éolienne « passive » : Analyse de robustesse, validation expérimentale", Thèse de Doctorat de l'institut National Polytechnique de Toulouse le 27 septembre 2010.
- [7]j. Martin, "Energies éoliennes" Techniques de l'ingénieur, traité de Génie énergétique, pp. B 8 585 1-B 585 21.
- [8] BRIHMAT Fouzia, « Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale Hybride PV/Eolien », thèse déc. magister, Université Mouloud Mammeri de TiziOuzou, Electrotechnique 2011

- [9] S. Roussin, “LE JOURNAL SEMESTRIEL DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES HYBRIDES AU CANADA”, Centre De La Technologie De L'énergie De Canmet—Varenes Programme Photovoltaïque Et Systèmes Hybrides, P 4, Numero 7, Ete 2004.
- [10] J .Labbé, “L'HYDROGENE ELECTROLYTIQUE COMME MOYEN DE STOCKAGE D'ELECTRICITE POUR SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUES ISOLEES”, Thèse de Doctorat, l'Ecole des Mines de Paris, pp. 5-17-18-21-50-68-69 , 21 décembre 2006
- [11] http://www.photovoltaique.guidenr.fr/II_1_constitution-module-photovoltaique.php
[26/05/2021](http://www.photovoltaique.guidenr.fr/II_1_constitution-module-photovoltaique.php)
- (12)F. BENYAROU “ CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR DES SYSTEMES PHOTOVOLTAÏQUESMODELISATION, DIMENSIONNEMENT ET SIMULATION ”, Thèse de Doctorat d'état. Université de Tlemcen Juillet 2004.
- [13] A. ABDELLI, “ Optimisation multicritère d'une chaîne éolienne passive”, Thèse de Doctorat, L'institut National Polytechnique De Toulouse, p 9-13,15 octobre 2007.
- [14] M. Boudellal, La pile à combustible. 2e éd. L'hydrogène et ses applications, DUNOD, 2012.
- [15] I. Cruz, F. Arias, F. Avia, L. M. Arribas, R. P. Fiffe, “ASSESSMENT OF DIFFERENT ENERGY STORAGE SYSTEMS FOR WIND ENERGY INTEGRATION”, European Wind Energy Conference 2001
- [16] M.Ashari, C. V. Nayar, “AN OPTIMUM DISPATCH STRATEGY USING SET POINTS FOR A PHOTOVOLTAIC (PV)-DIESEL-BATTERY HYBRID POWER SYSTEM”, Renewable Energy, vol. 66, No. 1, pp. 1–9, Elsevier Science 1999.
- [17] C. D. Barley and C. B. Winn, “OPTIMAL DISPATCH STRATEGY IN REMOTE HYBRID POWER SYSTEMS”, Solar Energy Vol. 58, No. 4-6, pp. 165-179, 1996.
- [18] I. massol, «histoire de l'éclairage,». Article de journal.joomlaArt, 16 february 2007.
- [19] www.wikipedia.com

- [20] L. Van Der Auwera, F. De Meyer, L. M. Malet, "THE USE OF THE WEIBULL THREE PARAMETER MODEL FOR ESTIMATING MEAN WIND POWER DENSITIES," Journal of Applied Meteorology, vol. 19, n° 7, pp. 819 - 825, 1980.
- [21] A. Labouret, M. Viloz, « Energie solaire photovoltaïque », 3eme édition, Edition Dunod2005.
- [22] L. Van Der Auwera, F. De Meyer, L. M. Malet, "THE USE OF THE WEIBULL THREE PARAMETER MODEL FOR ESTIMATING MEAN WIND POWER DENSITIES," Journal of Applied Meteorology, vol. 19, n° 7, pp. 819 - 825, 1980.
- [23] Erick ACHI « DIMENSIONNEMENT PHOTOVOLTAÏQUE » Mémoire Master 2 Génie Electrique Energétique, université Burkina Faso, 2016.
- [24] Areef Kassam–Field Implementation Manager, HOMER Software Training Guide for Renewable Energy Base Station Design, MAY 2010, london,
- [25] AMMARI Chouaib : Modélisation, simulation et optimisation d'un system hybride autonome en trois sources, Thèse de Doctorat en physique énergétique, Université Ahmed Draia Adrar, Faculté des Sciences et de la technologie, Département d'hydrocarbures et énergies renouvelables.
- [26] MEBROUKI Abdallah et DJAAFRI Abdelkrim : Etude d'un système Hybride cas des Centrales KABERTENE, Mémoire de MASTER en Physique énergétique, Université d'Adrar, Faculté des sciences de la matière, Département sciences de la matière.
- [27] Tammam Basbous," Etude de faisabilité d'un jumelage éolien — diesel avec stockage d'énergie sous forme d'air comprimé", Mémoire de Recherche, Université Du Québec à Rimouski, Février 2009.
- [28] Loumi Maya, Hamitouche Salma," Étude et simulation d'un jumelage éolien-diesel sous HOMER", Mémoire de Master, Université Akli Mohand Oulhadj de Bouira, 2018.

Lien des logiciels :

- ❖ Logiciel RETScreen Expert : <https://www.nrcan.gc.ca/cartes-outils-publications/outils/logiciels-danalyse-de-donneesou/retscreen/7466>
- ❖ Logiciel Homer Pro : <https://www.homerenergy.com/products/pro/index.htm>.