

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

N° d'ordre :

N° de série :

Faculté des Sciences et Technologies
Département des Sciences et Technologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Energies renouvelables

Spécialité : Energies renouvelables en Électrotechnique

**Par : - SALHI Mohammed
- MOSBAH Mohammed**

Thème

**ETUDE DE FAISABILITE D'INTEGRATION DES
SYSTEMES HYBRIDES DANS DIFFERENTS REGIONS
DE L'ALGERIE**

Soutenu publiquement le : 11/06/2018

Devant le jury :

BOUARAOUR KAMEL	Maitre de conférences B	Univ. Ghardaïa	Président
TOUAFFK KHALED	Directeur de recherche	URAER- Ghardaïa	Encadreur
REZZAK DAOUD	Maitre de recherche B	URAER- Ghardaïa	Examineur
KHELIFI RESKI	Maitre de recherche B	URAER- Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2017/2018



REMERCIEMENT

Avant tout, Nous remercions tout d'abord ALLAH tout puissant qui nous a donné la force et le courage pour terminer ce travail ;

Nous remercions infiniment notre promoteur Mr TOUAFEK, K

d'avoir proposé le thème et pour ses précieuses aides, son appui et ses conseils. Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Mr BOUAROUR, d'avoir accepté de présider ce jury.

Vive gratitude à Mr REZZAK et Mr KHELIFI qui nous ont fait l'honneur d'examiner ce travail et le juger, nous les remercions également.

Nous tenons à remercier tous les enseignants qui ont participé dans notre formation, ainsi qu'à tous nos collègues et nos amis.





Dédicaces

*Nous remercions tout d'abord ALLAH tout puissant qui nous a donné la force
et le courage pour terminer ce travail ;*

Nous dédions les fruits de notre travail aux

Parents qui ont nous donné tous le soutien

L'encouragement, pour arriver à réaliser ce

Travail.

Nos amies, et tous ceux qui ont nous aidé

De près ou de loin.

SALHI MOHAMMED

MOSBAH MOHAMMED

Résumé

Les systèmes hybrides sont les meilleures solutions, pour satisfaire le besoin énergétique ; dans ce cadre nous sommes faits une étude de cogénération de façon d'avoir la faisabilité de cette intégration basant sur le gisement de lieu à étudier en tenant compte la possibilité d'hybrider avec les sources conventionnelles tel que l'utilisation de réseau électrique ou bien les groupe électrogène.

Les mots clés : système hybride, énergie renouvelable, éolien, éclairage et homer pro.

Abstract

The hybrid systems are the best solutions, to satisfy the energy need; in this framework we are made a study of cogeneration in order to have the feasibility of this integration based on the field of place to study taking into account the possibility of hybridizing with the conventional sources such as the use of electric network or the generator set.

The key words: hybrid system, renewable energy, wind, solar lighting and homer pro.

ملخص

الأنظمة المختلطة هي أفضل الحلول لتلبية احتياجات الطاقة ؛ في هذا السياق ، نقوم بإجراء دراسة للتوليد المشترك من أجل تحقيق جدوى هذا التكامل على أساس إيداع مكان للدراسة مع الأخذ في الاعتبار إمكانية التهجين مع المصادر التقليدية مثل استخدام شبكة الكهرباء أو المولد.

الكلمات المفتاحية: نظام هجين ، الطاقة المتجددة ، طاقة الرياح ، الإضاءة الشمسية.

Sommaire

REMERCIEMENT

Dédicaces

Résumé

Sommaire

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des abreviations

INTRODUCTION GENERALE _____ **a**

Chapitre I Le rayonnement solaire _____ **1**

I.1. Introduction _____ **2**

I.2. L'éclairement hors atmosphère _____ **2**

I.2.1.luminance spectrale énergétique _____ **2**

I.2.2. Différentes couches du Soleil _____ **3**

I.2.3. Les longueurs d'onde du Soleil _____ **5**

I.3. La géométrie solaire _____ **7**

I.3.1. Les coordonnées géographiques (Longitude et latitude) _____ **8**

I.3.2. Les coordonnées équatoriales du soleil _____ **10**

I.3.3. Les coordonnées horizontales _____ **10**

I.4. Les couches de l'atmosphère _____ **11**

I.4.1. Troposphère _____ **11**

I.4.2. Couche d'ozone _____ **11**

I.4.3. Stratosphère _____ **11**

I.4.4. Mésosphère _____ **12**

I.4.5. Thermosphère _____ **12**

I.4.6. Ionosphère _____ **12**

I.4.7. Exosphère _____ **12**

I.5. L'éclairement terrestre _____ **12**

I.6 Conclusion

Chapitre II : Les sources d'énergie renouvelable _____ **14**

II.1. Introduction _____ **15**

II.2. Les différentes énergies renouvelables _____ **15**

II.2.1. la biomasse _____	15
II.2.2. Énergie de la Géothermie _____	16
II.2.3. L'énergie hydraulique _____	17
II.2.4. L'énergie de l'hydrogène _____	18
II.2.5.Énergie du vent _____	21
II.2.6. Énergie solaire _____	22
II.3. Avantage des énergies renouvelables _____	26
II.4. Contraintes et limites _____	26
II.4.1 Pollutions et nuisances _____	26
II.4.2 Le réchauffement climatique _____	27
II.4.3 Conditions géographiques _____	27
II.4.4 Intégration dans le paysage _____	27
II.4.5 Risques pour la faune _____	27
II.4.6 Stockage et distribution _____	28
II.5 Conclusion	
<i>Chapitre III Les systèmes hybrides</i> _____	29
III.1. introduction _____	30
III.2. Réseau-PV _____	30
III.2.1. Généralités _____	30
III.2.2. Les composants d'un système photovoltaïques _____	31
III.2.3. Type des installations photovoltaïques connectées au réseau _____	31
III.3. Réseau-Eolien _____	32
III.3.1. Généralités _____	32
III.3.2. Les éléments constitutifs d'une éolienne. _____	33
III.3.3. Éoliennes terrestres ou offshore _____	34
III.3.4. L'insertion des éoliennes dans les réseaux électriques _____	34
III.3.5. En outre, des problèmes d'intégration demeurent _____	35
III.3.6. Puissance produite _____	35
III.3.7. Contraintes géographiques _____	36
III.3.8. Exploitation _____	36
III.4. le système hybride Eolien-Groupe électrogène _____	36
III.5. le système hybride PV-Groupe électrogène _____	37
III.5.1. Générateur électrique hybride PV-GE _____	37
III.5.2. L'onduleur-chargeur est l'élément principal de ce système hybride. _____	37
III.6. le système hybride photovoltaïque-éolien _____	38
III.6.1. Définition du système d'énergie hybride _____	38
III.6.2. Principaux composants du Système d'énergie hybride photovoltaïque -éolien _____	39
III.6.3. Descriptions des composants du système hybride photovoltaïque-éolien _____	40
III.6.4. Modèle d'une cellule solaire photovoltaïque Dans la littérature, une cellule _____	40
III.6.5. Architecture d'un système hybride _____	41
III.7 Conclusion	
<i>Chapitre IV Etude d'intégration des systèmes hybrides par région de l'Algérie</i> _____	43
IV.1. Introduction : _____	44

IV.2. Réseau Electrique Algérien	45
IV.3. Gisement solaire	49
IV.4. Gisement Eolien	50
IV.5. les gisements des points choisis	51
IV.5.1. Point 01- Oran - Bir el Djir-	51
IV.5.2. Point02- Alger - Bouzareah -	52
IV.5.3. Point03- Annaba - El Karma -	53
IV.5.4. Point04-Ghardaïa-Chaabet Sid Cheikh-	52
IV.5.5. Point05- BISKRA-Chaiba-:	54
IV.5.6. Point06- ADRAR-Kabertène-	55
IV.5.7. Point 07 Adrar- Timiaouine	56
IV.5.8. Point 08 Adrar- Ain belbel :	55
IV.6 Conclusion	
<i>CAPITR V Exemple d'application d'alimentation d'un village par un système hybride .</i>	59
V.1. Introduction	60
V.2. Le logiciel d'optimisation	60
V.2.1. Utilisation de HOMER	61
V.2.2. Comment fonctionne HOMER	61
V.3. Etude de Cas	62
V.3.1. Timiaouine : système hybride Photovoltaïque- dieselavecstockage	62
V.3.1.1 Présentation de lieu- Timiaouine	62
V.3.1.2. Données météorologique de Timiaouine	63
V.3.1.3. Profil de charge de Timiaouine	64
V.3.1.4. Caractéristiques technique des composants utilisés	65
V.3.1.5. Configuration	66
V.3.1.6. Résultat obtenu par Homer Pro (Timiaouine)	67
V.3.2. Ain Belbel : système hybride Photovoltaïque-Eolien avec stockage	67
V.3.2.1. Présentation de lieu-Ain Belbel	67
Tableau-2 : L es coordonnées de point ADRAR- Ain Belbel en DMS	67
V.3.2.2. Données météorologique	68
V.3.2.3. Profil de charge de AIN BELBEL	71
V.3.2.4. Caractéristiques technique de composants utilisés	72
V.3.2.5. Configuration de système proposé à Ain BELBEL	75
V.3.2.6. Résultat obtenu par Homer Pro (AIN BELBEL)	75
V.4 Conclusion	
<i>Conclusion générale</i>	77
<i>Bibliographie</i>	79
<i>Annexes</i>	82

Liste des Figures

Figure I.1	Coupe schématique du soleil.....	03
Figure I.2:	Structure du soleil.....	04
Figure I.3:	Déplacement de la terre.....	07
Figure I.4:	Longitude et latitude.....	08
Figure I.5:	l'angle de la hauteur et l'angle d'azimut.....	10
Figure II.1:	Schéma de fonctionnement d'une STEP.....	18
Figure II.2:	Pile à combustible.....	21
Figure III.1:	le Champ de Photovoltaïque.....	31
Figure III.2:	le fonctionnement d'une éolienne.....	33
Figure III.3:	Élément constitutif d'une éolienne.....	34
Figure III.4:	système hybride Eolien +GE	37
Figure III.5:	système hybride PV+GE.....	38
Figure III.6:	Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien.....	39
Figure III.7:	Circuit équivalent de la cellule solaire.....	40
Figure III.8:	Architecture d'un système d'énergie hybride.....	42
Figure IV.1:	Irradiation directe journalière reçue sur plan normal au mois de juillet	50
Figure IV.2:	Carte annuelle des vents (m/s) à 10m du sol estimée par Dr.....	50
Figure V.1:	l'insertion de Timiaouine au Logiciel Homer Pro.....	60
Figure V.2:	Température mensuelle moyenne- Timiaouine.....	60
Figure V.3:	L'éclairement global mensuel moyenne- Timiaouine.....	61
Figure V.4:	Profil de charge saisonnière.....	61
Figure V.5:	Profil de charge de mois de janvier.....	62
Figure V.6:	Configuration suggéré pour Timiaouine.....	63
Figure V.7:	localisation d'Ain Belbel au Logiciel Homer Pro.....	65
Figure V.8:	Température mensuelle moyenne- Ain Belbel.....	66
Figure V.9:	L'éclairement global mensuel moyenne- Ai Belbel.....	66

Figure V.10:	Vitesse de vent –Ain Belbel.....	67
Figure V.11:	Profil de vitesse de vent –Ain Belbel.....	67
Figure V.12:	Profil de charge saisonnière d’Ain Belbel.....	68
Figure V.13:	Profil de charge de mois de janvier d’Ain Belbel.....	69
Figure V.14:	puissance en fonction de vitesse de vent - Enercon E-82 E4 [3MW]-..	70
Figure V.15:	courbe puissance-vent Enercon E-126 [7.5MW].....	71
Figure V.16:	configuration suggéré pour Ain Belbel.....	72

Liste des Tableaux

Tableau IV- 1	les coordonnées en DMS selon(https://www.latlong.net/lat-long-dms.html)	44
Tableau IV.2	Evolution de la puissance (MW) installée 1980-2015 par producteur	46
TableauIV.3	Evolutiondel'énergieélectriqueproduite1980-2015	46
TableauIV.4	Evolutiondel'énergieélectriqueproduitesurleRIN1980-2015	47
TableauIV.5	Evolutiondel'énergieélectriqueproduitesurlePIAT2008-2015	47
TableauIV.6	Evolutiondel'énergieélectriqueproduitesurleRIS2011-2015	47
Tableau IV-7	L'enseillement reçu annuellement en Algérie par région climatique	48
Tableau IV-8	L es coordonnés de point Oran - Bir el Djir-	49
Tableau IV-9	insolation mensuelle sur une surface horizontale (KWh / m ² / jour)	49
TableauIV-10	Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m ² / jour)	50
TableauIV-11	Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres	50
TableauIV-12	L es coordonnés de pointAlger -Bouzareah	50
TableauIV-13	Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale:	50
TableauIV-14	Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m ² / jour)	51
TableauIV-15	Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres	51
TableauIV-16	L es coordonnés de point Annaba - El Karma	51
TableauIV-17	Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale	51
TableauIV-18	Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m ² / jour)	52
TableauIV-19	Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres	52
TableauIV-20	L es coordonnés de point Ghardaïa- Chaabet Sid Cheikh	52
TableauIV-21	Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale	52
TableauIV-22	Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m ² / jour)	52
TableauIV-23	Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres	53
TableauIV-24	L es coordonnés de point BISKRA-Chaiba	53
TableauIV-25	Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale	53
TableauIV-26	Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m ² / jour)	53

TableauIV-27	Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres	53
TableauIV-28	Les coordonnées de point ADRAR- Kabertène	54
TableauIV-29	Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale :	54
TableauIV-30	Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m ² / jour)	54
TableauIV-31	Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres	54
TableauIV-32	Les coordonnées de point ADRAR- Timiaouine	54
TableauIV-33	Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale	55
TableauIV-34	Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m ² / jour)	55
TableauIV-35	Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres	55
TableauIV-36	Les coordonnées de point ADRAR- Ain belbel	55
TableauIV-37	Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale	55
TableauIV-38	Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m ² / jour)	56
TableauIV-39	Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres	56
TableauV-1	Les coordonnées de point ADRAR- Timiaouine en DMS	59
TableauV-2	Les coordonnées de point ADRAR- Ain Belbel en DMS	64
TableauV-3	Variation de puissance en fonction de vitesse de vent [Enercon E-82 E4]	70
TableauV-4	Variation de puissance en fonction de vitesse de vent [Enercon E-126]	71

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La prédilection d'utiliser les énergies renouvelables due à l'épuisement prévisionnelle des énergies fossiles, toutes les études et les recherches sont basées sur les ressources renouvelables et les méthodes optimales afin de profiter le maximum de puissance de celle-ci ; Comme il est connu que le soleil est l'un de trois sources principales (Soleil, Le sous-sol et La gravitation) ; cette source est utilisée de forme directe ou indirecte via le rayonnement solaire ou bien l'éclairage. Il est également connu sous le nom de rayonnement à ondes courtes. L'éclairage solaire prend de nombreuses formes, telles que la lumière visible, les ondes radio, la chaleur (infrarouge), les rayons X et les rayons ultraviolets. Les mesures de l'éclairage solaire sont plus élevées par temps clair et ensoleillé et généralement faible par temps nuageux. Lorsque le soleil se couche ou que de gros nuages bloquent le soleil, l'éclairage solaire est mesuré à zéro.

L'évolution de la science révèle le voile sur les techniques qui donnent à l'être humain la possibilité d'utiliser l'énergie solaire soit directement par la technologie de photovoltaïque pour produire l'électricité ou les capteurs thermiques pour l'obtention de l'eau chaude, soit indirectement comme l'exploitation de l'énergie du vent produit par les différences thermiques dans l'atmosphère, énergie hydroélectrique provenant de l'évaporation (cycle de l'eau), énergie de la biomasse qui dépend de la photosynthèse, sans oublier d'indiquer que l'énergie des hydrocarbures qui provient elle-même d'une biomasse fossile ;

Considérant la tendance de l'épuisement de l'énergie fossile, beaucoup des études sont faites ; mais pas mieux que la cogénération des énergies, cette dernière qui est notre objet d'étude ,en focalisant sur la faisabilité de système hybride dans différent région de notre pays l'Algérie qui comporte trois type de réseau électrique tels que :

1. Le Réseau Interconnecté National (RIN) ;
2. Le pôle In Salah– Adrar– Timimoune(PIAT) ;
3. Les Réseaux Isolés du Sud (RIS).

Les régions de sud ont un gisement solaire important ; sans oublier les régions côtières qui ont aussi un gisement éolien important, pour cela on a fait une étude comme elle stipulé dans ce présente mémoire intitulé « étude de faisabilité d'intégration des systèmes hybrides dans différents régions de l'Algérie » ;

Commençant par le chapitre *I: le rayonnement solaire, où le lecteur peut avoir un rappelle sur l'éclairage en générale ; suit par le deuxième chapitre II qui donne une idée sur les différents sources d'énergies renouvelable, qui implique logiquement une illustration des*

quelques systèmes d'hybridation connus sous le titre chapitre III les systèmes hybrides ; le lecture sera amusé par les deux dernières chapitres IV qui contient des exemples de quelque régions et ses gisements solaire et éolien, finalisant par le chapitre V qui donne un exemple d'étude deux régions tel que Timiaouine et Ain Belbel le choix de ces deux lieux sont obtenus aux données réels existe au niveau de SKTM.

Chapitre I

Le rayonnement solaire

I.1. Introduction

L'ensoleillement solaire tient de nombreuses aspects, telles que la lumière visible, les ondes radio, la chaleur (infrarouge), les rayons X et les rayons ultraviolets. Les mesures de l'éclairement solaire sont plus élevées par temps clair et ensoleillé et généralement faible par temps nuageux. Lorsque le soleil se couche ou que de gros nuages bloquent le soleil, l'éclairement solaire est mesuré à zéro.

Ce chapitre montre quelque notion sur le rayonnement solaire à partir de l'éclairement hors atmosphère jusqu' aux les couches atmosphériques qui atténuent l'intensité du rayonnement.

I.2. L'éclairement hors atmosphère

Le soleil est considéré chez les savants des radiations comme un corps noir (un corps noir désigne un objet idéal dont le spectre électromagnétique ne dépend que de sa température) à une température gigantesque de 5800 Kelvins (5526,85 Degré Celsius), Les corps noirs sont décrit par la loi de PLANK qui développe La luminance énergétique (est la puissance par unité de surface du rayonnement passant ou étant émis en un point d'une surface, et dans une direction donnée par unité d'angle solide.).

Le physicien Monsieur MAX PLANK a formalisé la luminance énergétique spectrale par unité de surface. [1]

I.2.1.luminance spectrale énergétique

On définit la luminance spectrale énergétique I d'un champ de rayonnement, dans une direction donnée, à partir de l'énergie dE transportée dans cette direction par le rayonnement de longueur d'onde compris entre λ et $\lambda + d\lambda$, dans l'intervalle de temps dt , à travers un élément de surface dS perpendiculaire à la direction et dans un angle solide $d\Omega$, en écrivant [2]:

$$dE = I(\lambda) dS dt d\Omega d\lambda$$

Donc La luminance spectrale I est dépend de la température T et de la longueur d'onde selon la loi établie par Planck et qui porte son nom :

$$I(\lambda) = (2hc^2/\lambda^5)/[e^{hc/\lambda kT} - 1]$$

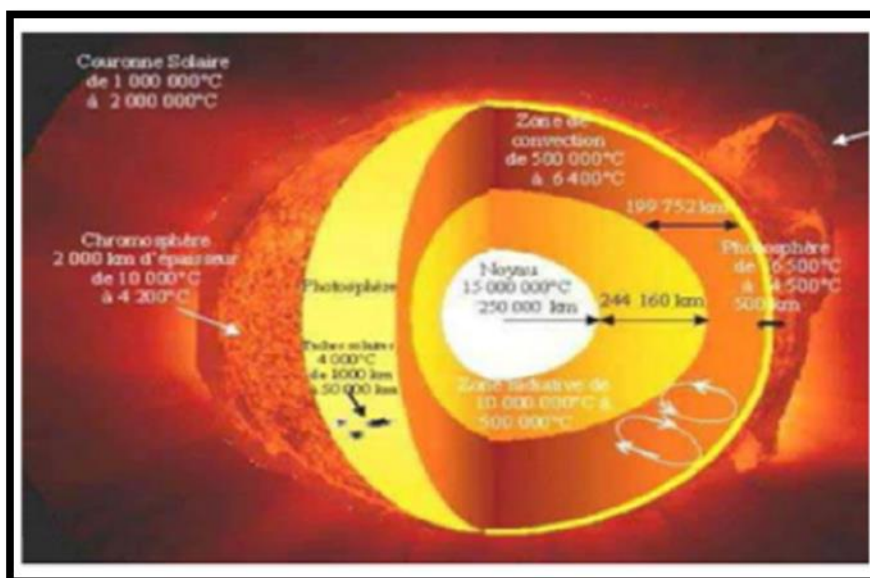
Où

- **h** est la constante de Plank $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J s}$.
- **k** est la constante de Boltzmann $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$
- **c** = c_0/n avec $c_0 = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$ est la vitesse de la lumière dans le vide n l'indice de réfraction du milieu.
- **v** est la fréquence du rayonnement du corps noir, en s^{-1} ;
- $\lambda = \lambda_0/n$, avec λ_0 la longueur d'onde du rayonnement du corps noir dans le vide et n l'indice de réfraction du milieu, est la longueur d'onde du rayonnement du corps noir dans le milieu, en **m** ;
- **T** est la température de la surface du corps noir, en **K**.

I.2.2. Différentes couches du Soleil

Le Soleil est une source inépuisable d'énergie qui est reçue par la surface de la terre un rayonnement environ 15000fois la consommation énergétique de l'humanité par an. Qui correspond d'une puissance instantanée estimée par un(01)kilowatt crête par mètre carré (1kWc/m^2) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge[1].

Sachant que la puissance du rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère terrestre est appelée la constante solaire S . Sa valeur (pratiquement constante) est égale à 1350 W/m^2 . elle est composée de plusieurs couches voir figure ;(FigI-1) et la figure (figI.2) qui représente la structure du soleil.



FigI-1 Coupe schématisique du soleil [1]

I.2.2.1. le noyau du Soleil

Est le lieu des réactions nucléaires énormes comme l'ont été imaginé par les astrophysiciens, qu'ont été classées à deux cycles [2] :

- A. Le cycle Proton –Proton cette réaction donne le 90% de l'énergie solaire.
- B. Le cycle Carbone fournit 10% de l'énergie solaire.

Au centre du Soleil la température atteint environ 15 millions de degrés et la pression 22 100 milliards de pascals (Pa).

Par comparaison la pression de l'atmosphère terrestre varie autour de 100 000 Pa.

I.2.2.2. La zone radiative

Est une région ionisée de gaz denses, bombardée par les rayons gamma issus de la fusion des protons du noyau. Ces rayons rebondissent sur les gaz, sont absorbés puis réémis sous forme de rayons X et de rayonnement U.V.

I.2.2.3. La zone convective

La zone convective transporte l'énergie du cœur vers la surface par convection. Les gaz amènent l'énergie à la surface du Soleil et retournent vers le fond après avoir perdu leur énergie.

I.2.2.4. La photosphère

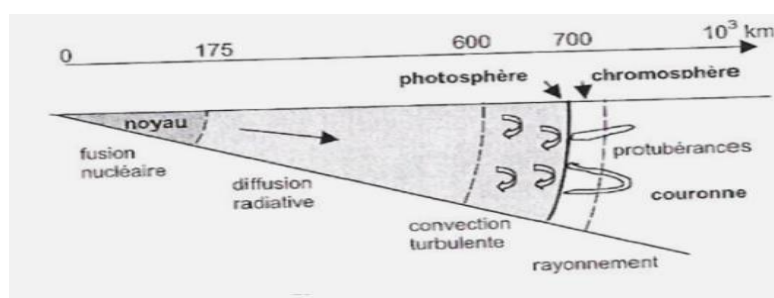
La photosphère de 160 km d'épaisseur seulement est responsable de l'émission d'énergie qui baigne les planètes, elle est tachetée de granules.

I.2.2.5. La chromosphère

C'est une couche semi-transparente visible lors d'éclipses. C'est là que se forment les protubérances. Les spicules sont ces longs jets de matière projetée.

I.2.2.6. La couronne

C'est l'atmosphère externe du soleil. Elle ondule et change de forme lors des émissions de jets de gaz. C'est la partie visible extérieure du Soleil.



FigI-2 : Structure du soleil [5]

I.2.3. Les longueurs d'onde du Soleil

Les télescopes peuvent collecter la lumière dans des plages de fréquences inaccessibles à nos yeux.

En basant sur les données de “ Solar Dynamics Observatory” de la **NASA**, montre la large gamme de longueurs d'onde visible par les instruments du télescope. **SDO**”Solar Dynamics Observatory” convertit les longueurs d'onde dans une image interprétable par l'œil humain. Chaque longueur d'onde de la lumière (chaque couleur) représente la matière solaire à des températures spécifiques. Ainsi en examinant le Soleil dans une variété de longueurs d'onde, les images générées par **SDO** (Solar Dynamics Observatory) mais aussi par les spectrographes d'imagerie de la **NASA**, le Solar Observatory terrestre de la **NASA** et l'observatoire solaire et l'héliosphère de l'Agence spatiale européenne, les scientifiques peuvent suivre et analyser les déplacements des particules ainsi que la température de l'atmosphère du Soleil.

➤ Longueurs d'onde

Longueurs d'onde du domaine visible entre 400 et 800 nm, mais quand il s'agit de plus courtes ou de plus longues longueurs d'onde, il nous faut utiliser des appareils spécialisés. Les instruments spécialisés, sont généralement des télescopes terrestres ou spatiaux équipés, qui observent la lumière dans différentes longueurs d'ondes.

Le Soleil nous envoie toutes les couleurs de la lumière car il est rempli de tous les d'atomes présents sur Terre, chacun en fonction de la température, génère de la lumière dans une certaine longueur d'onde. En plus des nombreux atomes différents (hélium, hydrogène, carbone, oxygène, fer...), le Soleil contient aussi différents types d'ions de chaque atome, de charges électriques différentes. Chaque ion peut aussi émettre de la lumière à des longueurs d'onde spécifiques quand il atteint une température particulière.

Chaque longueur d'onde observée, révèle donc des informations sur les différents éléments (atomes ou ions) de la surface et de l'atmosphère du Soleil.

En examinant les images du Soleil dans une variété choisie de longueurs d'onde, les scientifiques peuvent suivre l'évolution des particules et des températures présent dans l'atmosphère du Soleil.

Cette image du Soleil a été construite sur la base de données du télescope **SDO** (Solar Dynamics Observatory), de la **NASA**. Elle montre une composition des différents aspects de la surface ou de l'atmosphère du Soleil, dans 10 longueurs d'onde différentes choisies par les scientifiques et invisibles à l'œil nu. Ces lumières sont convertis en couleurs visibles afin que

les humains puissent les voir. L'objet observé, ici le Soleil, apparaît donc dans un superbe « patchwork » de couleurs. Depuis les années 1900, les scientifiques répertorient les longueurs d'onde absorbées ou émises par les atomes et les ions, et les associations entre éléments, longueurs d'onde, températures et couleurs, sont bien documentées.

Les télescopes font usage de cette précieuse information de longueur d'onde en embarquant des instruments comme les spectromètres qui observent plusieurs longueurs d'onde simultanément et mesurent la quantité d'éléments présents à chaque longueur d'onde.

Les scientifiques de **SDO** ont choisi 10 longueurs d'onde particulières pour observer l'atmosphère et les mouvements des atomes dans les couches solaires. 000

➤ **Les Dix(10) longueurs d'onde (en angström) :**

Un angström (symbole Å) = 0,1 nanomètre, soit 10⁻¹⁰ mètre ou encore 1 dixième de milliardième de mètre.

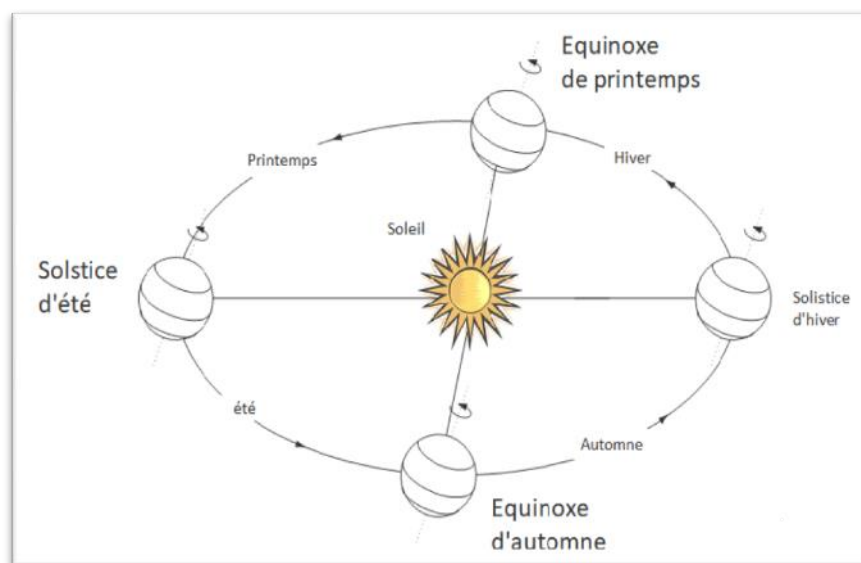
- L'onde de longueur 1700 Å en C7 et D4 (rose marron), la lumière à 4 500 Kelvin, émise par la surface du Soleil, la photosphère et la chromosphère.
- L'onde de longueur 4500 Å en A4, D7 et E4 (jaune), la lumière à 6 000 Kelvin, émise par la photosphère.
- L'onde de longueur 1600 Å en E3 et C6 (jaune vert), la lumière émise par le carbone 4 à 10 000 Kelvin, dans une zone entre la photosphère supérieure et la région de transition, une région située entre la chromosphère et la couronne.
- L'onde de longueur 304 Å en D3, B6, E7 et F4 (rouge), la lumière émise par l'hélium 2 à 50 000 Kelvin, dans la région de transition et la chromosphère.
- L'onde de longueur 171 Å en D2, C4, A5 et F6 (jaune marron), la lumière émise par le fer 9 à 600 000 Kelvin, dans l'atmosphère ou couronne solaire quand elle est calme.
- L'onde de longueur 193 Å en B2, B7, F5 (marron brillant), la lumière émise par le fer 12 à 1 million Kelvin et le fer 24 à 20 millions Kelvin, dans les régions légèrement plus chaudes de la couronne et la matière beaucoup plus chaude des éruptions solaires.
- L'onde de longueur 211 Å en A6, B3 et F2 (violet), la lumière émise par le fer 14 à 2 millions Kelvin, dans les régions plus chaudes et magnétiquement actives de la couronne.
- L'onde de longueur: 335 Å en C1, B5, C8, F3, F7 (bleu), la lumière émise par le fer 16 à 2.5 million Kelvin, dans les régions encore plus chaudes, magnétiquement actives de la couronne.
- L'onde de longueur 94 Å en C3 et D5 (vert foncé), la lumière émise par le fer 18 à 6 millions Kelvin, dans les régions très chaudes de la couronne lors d'une éruption solaire.

- L'onde de longueur 131 Å en E6 (vert bleu), la lumière émise par mole fer 20 et le fer 23 à plus de 10 millions Kelvin, par les éléments les plus chauds des éjections solaire

I.3. La géométrie solaire

La géométrie solaire due à la position apparente de soleil, aussi bien que position angulaire entre le Soleil et la Terre. Les savants de cette époque ont estimé le diamètre de la terre par 127 000 Km et la distance entre terre-soleil par une valeur oscille entre 152 millions km (le premier juillet) et 147 million km (le premier janvier) ; d'après eux elle a deux rotations l'une autour son axe en 24 heures et la seconde autour le soleil en 365 jour, ces deux types de rotations sont responsables des phénomènes climatiques :

- 1) rayonnement solaire;
- 2) longueur du jour;
- 3) hauteur maximum du soleil sur l'horizon.



FigI-3 Déplacement de la terre [2]

I.3.1. Les coordonnées géographiques (Longitude et latitude)

Chaque point de la terre déterminera par sa longitude et latitude qui sont respectivement :

* Longitude

Ces les lignes virtuelles qui s'étend du pôle de nord vers le pôle de sud, ils ont conventionné que la longitude zéro(0) appelé **Greenwich** pour des raisons que cette longitude passe par l'ancien Observatoire astronomique royal Greenwich du royaume d'Angleterre, ces lignes appels aussi **méridiens**

Qu'il inspiré du latin, **meri**, issu lui-même de "**medius**" (le "**milieu**"), et de **diem**, signifiant "**jour.**"

Dans une journée, les périodes :

- avant midi sont dénommées (AM) "Anté Méridiennes",
- après midi sont dites(PM) "Post Méridiennes".

On dit que le soleil "passe au méridien" à midi ; tous les points d'une même ligne de longitude sont à midi en même temps (et d'ailleurs pour n'importe quelle autre heure) et sont sur la même "ligne méridienne", en raccourci devenue "méridien".



FigI.4 Latitude –Longitude [6]

Les passages consécutifs du soleil au méridien circonscrivent le Jour Solaire Vrai (**TVS**) avec une correction de 15 à 16 minutes dues au mouvement uniforme de la terre que l'appelé le temps solaire moyen "**TSM**" et on écrit :

TSV = TSM + correction du temps

Le méridien de Greenwich a été choisi comme méridien d'origine donc est considéré le référence de lui à l'est de chaque 15° de longitude, soit 4' par degré de longitude +1heure, et de lui à l'ouest de chaque 15° de longitude, soit 4' par degré de longitude -1heurs donc le temps

Le Temps Universel (TU) correspond au Temps Solaire Moyen (TSM) au méridien de Greenwich avec une correction de longitude (± 1 heure par) négative pour les lieux de longitudes Ouest, positive pour les longitudes Est,

$$\text{TU} = \text{TSM} + \text{correction de longitude}$$

Enfin, le Temps Légal TL dérive du temps universel suivant le système des fuseaux horaires. Généralement, chaque pays adopte l'heure du fuseau horaire correspondant à la longitude de sa capitale. Mais, les exceptions sont nombreuses. On précise en fait le décalage du méridien retenu par rapport à Greenwich en heures (Time Zone)

$$\text{TL} = \text{TU} + \text{Time Zone}$$

Pour passer de l'heure solaire à l'heure légale, on applique alors :

$$\text{TL} = \text{TSV} + \text{correction du Temps} + \text{correction de Longitude} + \text{Time Zone}$$

L'opération inverse permet de passer du temps légal au Temps Solaire Vrai :

$$\text{TSV} = \text{TL} - \text{correction du Temps} + \text{correction de Longitude} + \text{Décalage}$$

*** Latitude**

La latitude d'un point sur la Terre concorde à l'espacement angulaire, usuellement extériorisée en degré. Les latitudes s'estiment de -90° à $+90^\circ$ et la latitude de l'équateur est 0° .

L'endroit d'un lieu sur la terre est intrépide par sa latitude, angle entre la droite joignant le point considéré sur la terre et le centre de la terre avec le plan de l'équateur terrestre.

L'ensemble des points terrestres de même latitude constitue un parallèle terrestre (perpendiculaire à l'axe des pôles et parallèle au plan de l'équateur). Du fait, de la rotation diurne de la terre autour de son axe des pôles, chacun des points d'un même parallèle se trouve ainsi, à un décalage horaire près, dans une situation d'**éclairage** identique.

Selon le lieu, donc selon la latitude, les conditions d'**éclairage** sont différentes au cours de l'année. On peut, en chaque latitude, déterminer précisément ces conditions et obtenir les coordonnées terrestres du soleil correspondantes.

I.3.2. Les coordonnées équatoriales du soleil

Les coordonnées équatoriales du soleil sont la déclinaison et l'angle horaire.

* La déclinaison

La déclinaison est l'angle entre le rayon solaire et le plan équatorial spécifique d'une date, permet de déterminer sur la sphère céleste une position du soleil

* l'angle horaire solaire :

Traduit le mouvement journalier du soleil sur sa trajectoire. Les trois dates significatives de l'année peuvent ainsi être aisément tracées. Les cercles horaires constituent des grands cercles verticaux, espacés de 15° en 15° , passant par les pôles de cette sphère fictive circulaire (0° correspond à midi, 90° à 18H solaires).

I.3.3. Les coordonnées horizontales

Permettent de déterminer la direction des rayons solaires à chaque instant : la hauteur et l'azimut.

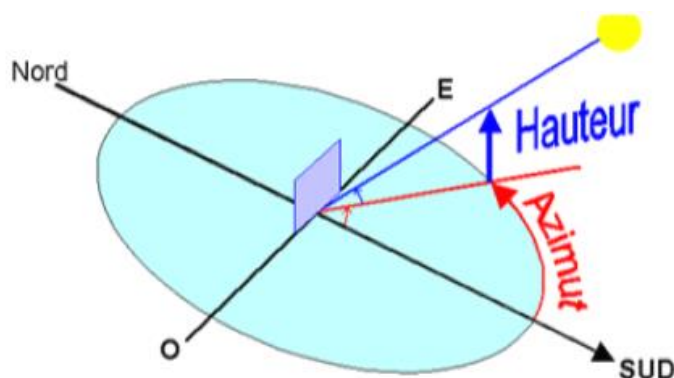


Fig. I.5 l'angle de la hauteur et l'angle d'azimut [9]

* la hauteur

La hauteur est l'angle compris entre 0° et 90° entre le rayon solaire et le plan horizontal

- La hauteur(h) est positive (comprise entre 0° et 90°) si la latitude φ est comprise entre 0° et 90° donc dans l'hémisphère nord,
- la hauteur h de l'équateur sur l'horizon est égale à $h=90^\circ - \varphi$ (colatitude du lieu) et la direction de l'intersection de l'équateur avec le méridien est orientée au sud ($a = 0^\circ$).

*** l'azimut**

L'azimut est l'angle entre le plan vertical contenant le rayon solaire et le plan de référence, le plan vertical Sud. Il varie entre -180° et 180° , négatif à l'Est, positif à l'Ouest, par convention et vaut 0° au Sud.

I.4. Les couches de l'atmosphère

L'atmosphère se compose de sept couches qui sont :

I.4.1. Troposphère

le nom de la troposphère est devenu de la langue grec ancien qui se compose à deux mots "τρός" tropos qui signifie : tour et sphaira c'est à dire sphère , le premier qui a été utilisé ce terme c'est bien le météorologiste français **Léon Teisserenc de Bort** en 1913, l'épaisseur de cette couche est entre 8 à 15 kilomètres d'altitude, elle représente 80% de la masse totale de l'atmosphère.

*** Tropopause**

Elle est définie comme une couche de passage de la troposphère à la couche stratosphère ; elle est considérée comme un mur ou une bande de cassure de la variation du tourbillon potentiel en fonction de l'altitude; cette couche est caractérisée par une pression ne dépasse pas 200hPa et une température varie entre -50°C à -60°C aux régions polaires et tempérées et -80°C à la région équatoriale, elle connue comme la zone la plus froide à basse altitude qu'aux hautes altitudes.

I.4.2. Couche d'ozone

ils ont appelé aussi l'ozonosphère, elle fait partie de la stratosphère, caractérisée par le fait d'absorption de la plus grande partie du rayonnement solaire Ultra-violet, elle est utile quand elle absorbe l'ultraviolet mais des fois nocive s'elle présente dans la couche basse de l'atmosphère, notons bien que sa diminution périodique dans la région polaire (L'Antarctique) fait ce qu'on appelle le trou d'ozone comme il l'est dévoilé par les savants à la fin de 1970.

I.4.3. Stratosphère

Est une couche d'épaisseur varie de 10Km à 60Km au-dessus de la tropopause, la température dans cette couche varie selon l'altitude à 10Km d'altitude est -56°C et presque isotherme juste au-dessus de la tropopause puis croissante.

*** Stratopause**

Est une couche de transition de la couche stratosphère à la couche mésosphère, elle désigne par la stabilité de la température quelle presque 0°C légèrement négative, leur épaisseur est environ de 5Km.

I.4.4. Mésosphère

Elle s'étend entre 50Km à 80Km d'altitude, la température à cette zone est -100°C.

*** Mésopause**

Elle est la couche qui limite la mésosphère est délimité par la thermosphère.

I.4.5. Thermosphère

Est la couche dans laquelle la pression est très faible, elle commence de l'altitude de 95 Km.

*** Thermopause**

Elle limité par la couche thermosphère, au-delà de cette couche la température sera indépendante de l'altitude

I.4.6. Ionosphère

Est la couche d'ionisation partielle de molécule de gaz atmosphérique.

I.4.7. Exosphère

Est la zone de collision entre les particules sont rare, elle est la lisière entre espace et l'atmosphère.

I.5. L'éclairement terrestre

De façon générale, l'éclairement terrestre dépend étroitement des effets qui existent entre le rayonnement de Soleil et l'ensemble de l'atmosphère.

Le rayonnement solaire qui arrive au sol se décomposer en deux parties : L'une provient directement du soleil (direct), l'autre a été diffusée par l'atmosphère (diffus). L'atmosphère et la terre possèdent également un rayonnement propre. La connaissance de ces divers rayonnements permet d'établir un bilan radiatif du système terre- atmosphère.

Le rayonnement solaire au sol Global (I_G) est l'énergie rayonnante totale du soleil, qui atteint une surface horizontale à la surface de la Terre au cours d'une unité de temps précise ; l'éclairement global a trois composantes:

$$I_G = I_d + I_{diffus} + I$$

1 une composante **directe** I_d : Le rayonnement direct est le rayonnement solaire atteignant directement la surface terrestre depuis le soleil. Il dépend de l'épaisseur de l'atmosphère que la radiation solaire doit traverser et de l'inclination (la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon) des rayons par rapport au sol. Il est mesuré par l'instrument de mesure Le pyréliomètre. Le pyréliomètre doit être muni d'un dispositif (tracker) chargé de l'orienter en permanence vers le soleil.

2 une composante **diffuse** I_{diffus} : Le rayonnement diffus se manifeste lorsque le rayonnement solaire direct se disperse dans les nuages et les particules atmosphériques ; il résulte de la diffraction de la lumière par les nuages et les molécules diverses en suspension dans l'atmosphère, et de sa réfraction par le sol. Il s'agit donc d'un rayonnement qui ne suit pas une direction définie par le soleil en direction du point d'observation à la surface de la Terre.

3 une composante **réfléchie** I_r : dépend lui aussi de l'inclination du rayonnement.

Le rayonnement réfléchi peut-être réfléchi par :

A. Réfléchi par l'air

C'est la réflexion de l'onde par les molécules atmosphérique et les particules les plus fines. La partie de l'énergie solaire réfléchi par l'air est constante sauf si l'atmosphère se charge en particules fines.

B. Réfléchi par les nuages

C'est la réflexion de l'énergie solaire par les gouttelettes d'eau contenues dans les nuages. La valeur de ce flux varie donc avec la teneur en eau du nuage. Par exemple, les cumulonimbus chargés d'eau réfléchissent beaucoup la lumière, plus que d'autres nuages. Ils contribuent donc fortement à l'albédo planétaire (voir définition de l'albédo plus loin).

L'albédo est par définition le pourcentage d'énergie solaire réfléchi vers l'espace par la Terre et l'atmosphère par rapport à la quantité d'énergie solaire reçue par la Terre.

Réfléchi par la surface, le sol et l'eau à la surface du globe

I.5. Conclusion

Dans ce chapitre on a montré quelque **notion** sur l'éclairement et les couches atmosphériques pour que le lecteur puisse suivre aisément notre travail dans les chapitres suivants.

Chapitre II

Les sources d'énergie renouvelable

II.1. Introduction

La source renouvelable est une source naturelle qu'elle est pu régénérer par des processus naturelle à une cadence plus rapide que son taux d'utilisation humaine sous forme d'énergie ; provenant du soleil, la chaleur de la terre, le vent, les marées et les végétaux sont des ressources perpétuelles qui n'exposent jamais l'indisponibilité à vie et qui n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes.

L'utilisation de ces ressources sous forme d'énergie renouvelable contribue à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO₂ dans l'atmosphère. Photovoltaïque, ou thermique, l'hydroélectricité, l'éolien, la biomasse, la géothermie sont des énergies à flux inépuisable par rapport aux combustibles fossiles.

Les ressources renouvelables peuvent également signifier des produits tels que le bois, le papier et le cuir, si leur récolte est effectuée d'une manière viable. Ces différentes énergies résultent, par transformations successives, de trois sources principales :

- Le Soleil : cette source d'énergie est utilisée directement soit en photovoltaïque soit solaire thermique ou indirectement comme énergie du vent produit par les différences thermiques dans l'atmosphère, énergie hydroélectrique provenant de l'évaporation (cycle de l'eau), énergie de la biomasse qui dépend de la photosynthèse, énergie des hydrocarbures qui proviennent eux-mêmes d'une biomasse fossile ;
- Le sous-sol : énergie nucléaire (uranium) et géothermie profonde ;
- La gravitation : celle de la Terre et celle de la Lune (énergie marémotrice).

II.2. Les différentes énergies renouvelables

II.2.1. la biomasse

le terme de biomasse (regroupe l'ensemble les plantes et les matières organiques) pouvant devenir des sources d'énergies que se former d'après la photosynthèse due à l'absorption du l'éclairement après leur stockage en matière organique.

Nonobstant le rendement de cette production est très bas,

Gaz carbonique+eau+soleil \longrightarrow matière organique+oxygène

Il y a trois sources biomasse distinguées :

- la première est le bois, qui utilise sous plusieurs formes telle qu'elle est comme la chaleur pour couvrir totalement ou partiellement les besoins en eau chaude ou en chauffage des ménages ou même les besoins énergétiques des industries de transformation du bois.
- la deuxième source de bioénergie est les déchets qui regroupent les déchets ménagers, urbains et industriels, ainsi que les déjections animales.
- La troisième filière en terme de quantité d'énergie produite concerne les carburants liquides, à partir de cultures dédiées (substrats : amidon, huile, sucre de betteraves), différentes types de la biomasse sont source d'énergie.

On peut utiliser la biomasse de trois façons différentes :

- ✓ par combustion,
- ✓ par dégradation,
- ✓ par transformation chimique pour produire de la chaleur, de l'électricité et les combustibles liquides pour le transport.

La biomasse est une source renouvelable si on admet que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites, on cite le bois et les biocarburants.

II.2.2. Énergie de la Géothermie

La géothermie est la chaleur interne de la terre convertie en énergie qu'elle varie selon les profondeurs qui cachent le gradient de chaleur naturelle, dont l'origine réside totalement dans la désintégration d'éléments radioactifs, où les températures atteignent à 4000°C dans le noyau et arrivent jusqu'à 3000°C environ dans le manteau (Autour du noyau). A partir de la surface du sol de la terre, la température progresse d'environ 1°C chaque trente mètres, à certains endroits, elle augmente encore plus rapidement.

Cette énergie souterraine a diverses utilisations suite au degré de la température (très basse, basse, moyenne ou haute) qui détermine le mode d'utilisation ; soit pour la très basse on trouve la pompe à chaleur et les capteurs thermiques, la basse on l'utilise pour le chauffage mais la moyenne et l'haute pour la production de l'électricité.

Donc le principe de l'utilisation de cette énergie est basé sur l'énergie contenue dans le sous-sol pour l'utiliser sous forme de chaleur ou d'électricité.

On distingue quatre types de géothermie selon la température du gisement:

1. La géothermie haute température (supérieur à 150°C) qu'ils ont l'appelé l'énergie de l'haute enthalpie : est exploité pour la production de l'électricité.
2. La géothermie moyenne Température (compris entre 90 °C à 150°C) : cette énergie est utilisée pour produire de la chaleur qui est utilisée dans des processus industriels et éventuellement de l'électricité.
3. La géothermie basse température (appartient de l'intervalle 30°C - 90°C) : exploite la chaleur de gisements d'eau situés à des profondeurs de quelques centaines de mètres jusqu'à environ 2 000 m. les applications vont du chauffage urbain, en passant par le chauffage des serres et le séchage des produits agricoles.
4. La géothermie très basse température ou la géothermie superficielle (inférieur à 30°C) : la chaleur extraite de la croute (le sol) ou l'eau de sous-sol à des profondeurs généralement comprises entre 0 et 150 mètres ;est utilisée pour assurer le chauffage et le rafraichissement des locaux par des capteurs thermiques soit horizontaux soit verticaux après élévation de la température au moyen d'une pompe à chaleur.

II.2.3. L'énergie hydraulique

En descendant du haut des collines et des montagnes, l'eau porte en elle une énergie formidable, gratuite et inépuisable. Au passé, l'homme a utilisé cette énergie pour faire tourner des moulins. Actuellement, l'électricité est produite grâce à des centrales hydroélectriques. La puissance disponible des centrales hydroélectriques dépend de deux facteurs: la hauteur de la chute d'eau et le débit de l'eau. Une centrale hydraulique (voir la figure ci-dessous) est composée de 3 parties :

- Un barrage, pour créer un réservoir de stockage de l'eau, ce qui permet à la centrale de fonctionner même si il n'y a plus d'eau à arriver dans la cuve.
- Un canal de dérivation, qui prélève l'eau nécessaire au fonctionnement de la centrale.
- La centrale elle-même, c'est là que les chutes d'eau font tourner la turbine, qui entraîne le générateur.

C'est la forme la plus répandue des énergies renouvelables. L'hydroélectricité est après la biomasse la deuxième énergie renouvelable : selon l'Agence internationale de l'énergie, elle fournit 2,3 % de l'énergie primaire produite dans le monde en 2011, sur un total de 13,3 % d'énergies renouvelables.

Installation pour la transformation d'énergie hydraulique en énergie électrique. [4]

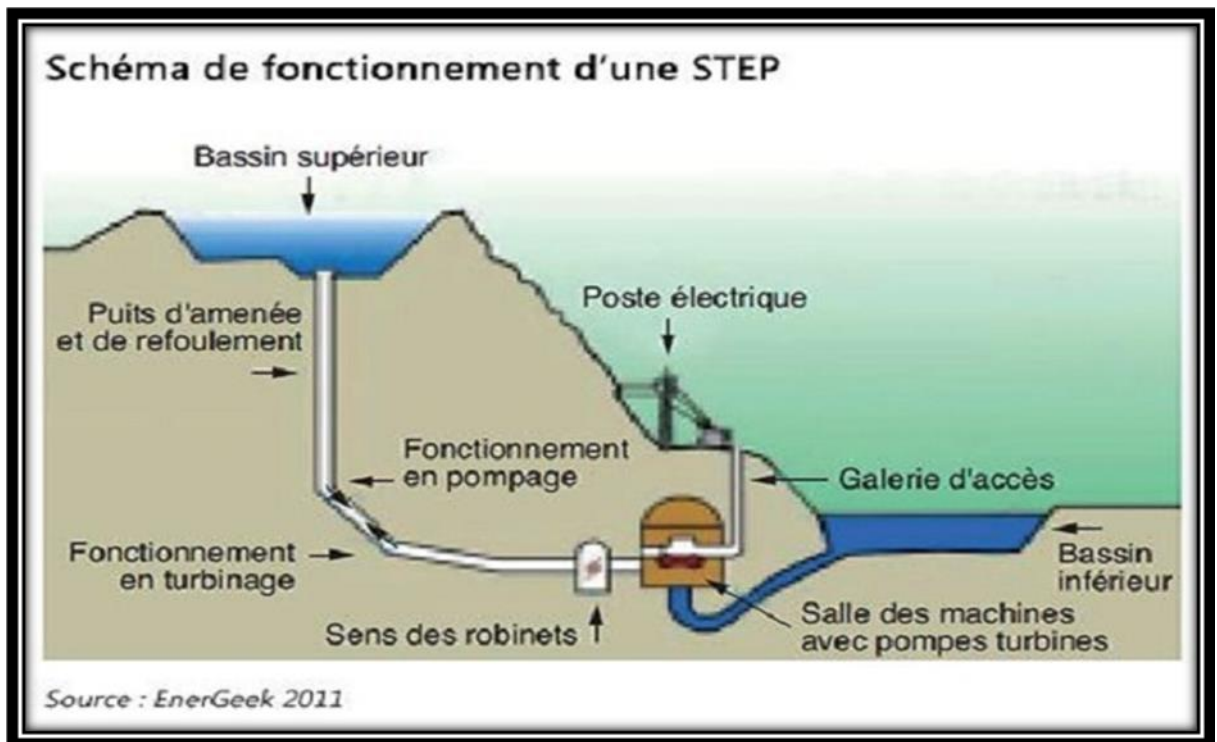


Fig.II.1 : Schéma de fonctionnement d'une STEP [10]

II.2.4. L'énergie de l'hydrogène

L'hydrogène est une molécule qui est très disponible dans notre planète que ce soit dans la molécule d'eau ou dans l'air ou naturellement sous forme d'hydrogène comme il a été confirmé par le docteur Mr **ALAIN PRINZHOFER** la découverte des deux chercheurs russes en 2010 qu'ils ont découverts (hydrogène naturel) le dihydrogène sort de la terre dans un site russe par la quantité de 40 000 m³ par jour de dihydrogène, cette découverte est réalisée par le malien Mr **ALIOUDIALO BOUBACAR** qui a foré 200 mètres de profondeur permet de produire du dihydrogène pur à 98 % depuis 2011 et en États-Unis exactement au Kansas, un producteur a également réalisé un forage dans un gisement de dihydrogène. Dans le domaine de la recherche, une autre énergie. Très abondante, plus énergétique que le pétrole ou le gaz naturel, ni polluante, ni toxique, elle pourrait, du moins en théorie, répondre à tous nos besoins l'hydrogène tout ça à cause de ses avantages :

- L'hydrogène peut être produit à partir de sources d'énergie propre.

- l'hydrogène peut être stocké et distribué dans une variété de formes ; L'un de ces formes est les pastilles d'hydrures de magnésium (MgH_2) de diamètre de 30cm contenant chacune 600litre d'hydrogène.
- l'hydrogène peut remplacer les combustibles fossiles pour fournir de l'électricité de manière différente. Il peut être utilisé comme carburant pour alimenter le moteur à combustion pour la production d'électricité en faisant tourner la machine. Il peut également être directement utilisé par un électro-réacteur chimique dans les piles à combustible pour produire de l'électricité. Pour les puissances élevées la conversion la plus efficace de l'hydrogène à l'électricité peut être atteinte en production combinée en chaleur.

L'un de l'application de l'hydrogène, c'est la pile à combustible qui se compose de :

1) L'électrolyte

C'est l'élément principal de la pile à combustible. Il permet que les espèces ioniques (et pas les électrons) transitent de l'anode vers la cathode. Ces électrolytes déterminent la température de fonctionnement de la pile.

Les caractéristiques de chaque type de pile sont :

- leur conductivité ionique,
- leur étanchéité aux gaz,
- leur stabilité face aux réactifs chimiques
- et leurs propriétés mécaniques.

A cela s'ajoutent d'autres contraintes selon le type de pile, le niveau de la température, les composants des gaz, les espèces ioniques passant à travers l'électrolyte ainsi que les conditions de pression.

2) Les électrodes

Ils sont le siège des réactions d'oxydoréduction, en plus ils ont une triple fonction:

- a. Supporter le catalyseur finement divisé et permettre son contact avec les gaz.
- b. Permettre aux espèces protoniques de se déplacer depuis les sites catalytiques d'oxydation de l'hydrogène vers les sites où l'oxygène est réduit grâce à la présence de polymère ionique.

- c. Evacuer les électrons des sites catalytiques anodiques et redistribuer ces électrons sur les sites catalytiques cathodiques.

3) Catalyseur

Le catalyseur est un métal utilisé pour catalyser (accélérer) la réaction électrochimique au niveau des électrodes, de plus, pour résister durablement la corrosion (dissolution) dans cet environnement chimique très acide. C'est pour cela, le métal le plus utilisé est du platine (métal noble) pur ou allié à un élément de transition (Cr, Mn, Ni, Co, Fe).

4) Les plaques bipolaires

Ces plaques sont accolées aux supports d'anode et de cathode, sont considéré comme le cœur de la pile à combustible dont menu par des canaux permettant le passage de réactifs. Elles ont les rôles suivants:

- a. Canaliser les gaz venant de l'extérieur,
- b. Collecter les électrons (le courant),
- c. Gérer les flux d'eau.

5) Le reformeur

Est l'auxiliaire où se forme l'hydrogène il y a le reformeur interne (dans la pile elle-même) et reformeur externe, suite le catalyseur de reformeur qui dominé par trois techniques :

- a. le **vaporeformage**: le carburant réagit avec l'eau,
- b. l'**oxydation partielle**: le carburant réagit avec l'air,
- c. le **reformage autotherme**: le carburant réagit avec l'eau et l'air

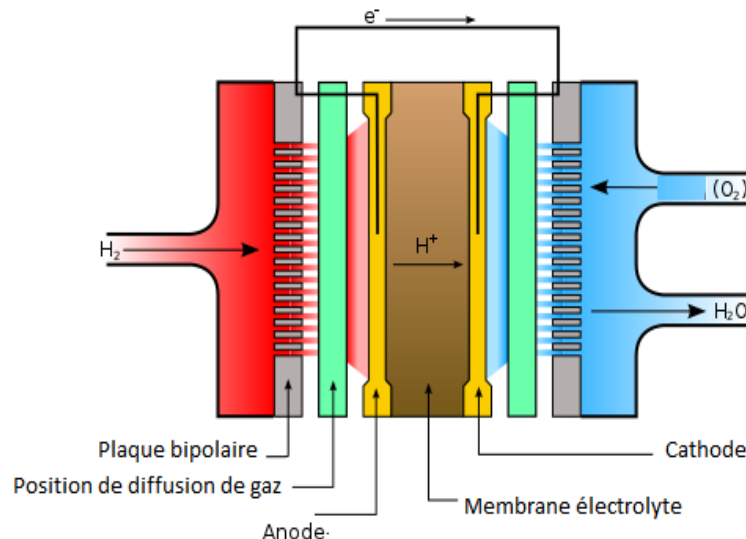


Fig II.2: pile à combustible [12]

II.2.5 Énergie du vent

Définition de l'éolienne

Est une machine par laquelle on exploite la vitesse du vent d'attaquer la surface des aubes mise face au vent. Suite la disposition géométrique de l'arbre sur lequel supporte l'hélice on distingue deux grandes catégories d'éoliennes :

- ❖ les éoliennes à axe horizontal ;
- ❖ les éoliennes à axe vertical.

L'énergie utile extraite du vent par la moyen susvisé qu'on l'appelé l'énergie éolienne est 'utilisé pour la production de l'électricité, sans oublier la forme d'énergie mécanique pour le moulins à vent et la forme de l'énergie hydraulique pour les pompes éoliennes pour le pompage de l'eau ou de drainage, ou les voiles pour propulser les navires.

L'énergie éolienne est dispersée, incontrôlable et aléatoire, une fois captée, elle est propre, inépuisable et gratuite. A partir du vent, on peut produire de l'électricité, ce qui permet de mettre en œuvre des sources autonomes de courant. La technologie des machines mues par le vent a été développée dans trois axes :

- a. Les grands aérogénérateurs de 100 à 1000 KW, susceptibles d'être couplés au réseau d'électricité.

- b. Les éoliennes de pompage.
- c. Les petits aérogénérateurs à deux ou trois paliers, dont la puissance fournie varie de 25 à 4000 W.

II.2.6. Énergie solaire

Le soleil émet des rayonnements électromagnétiques sont reçus sous forme d'éclairement par la terre. Cette source inépuisable est l'origine de la plupart des sources d'énergie soit directe ou indirecte.

Indirectement par la température élevée qui fait la dépression comme il est clair l'air se déplace de la zone à haute pression à la zone de basse pression ce phénomène connu sous le nom du cycle du vent et l'énergie hydraulique qui due à l'évaporation d'eau que ce soit de l'océan, la mer ou les rivières, on compte aussi la photosynthèse dont nous disposons sans son énergie, aucune vie sur terre ne serait possible.

Techniques employant l'énergie solaire directe convertissent le rayonnement solaire entrant directement en énergie utile, par exemple l'électricité ou la chaleur ou la lumière (l'éclairage).

Ici, les processus normaux convertissent énergie solaire dans d'autres types d'énergie. L'énergie solaire est produite et utilisée selon plusieurs procédés ; Soit le solaire thermique (passif ou actif), le solaire thermodynamique, le solaire photovoltaïque et l'éclairage naturel.

a. Le solaire thermique

L'énergie solaire thermique consiste à récupérer et utiliser la chaleur des rayons du soleil. Les chauffe-eaux, le chauffage solaire et la climatisation solaire sont des applications de l'énergie solaire thermique. Elle peut même être utilisée dans les cuisinières et les sècheurs solaires; ses applications ont été observées dans le séchage des produits agricoles comme le cacao, le café, ... etc. Il y a deux types d'énergie solaire thermique.

b. Le solaire thermique passif

Cette technique est basée sur les données climatologique pour faire orienter les bâtisse sans être à utiliser aucune forme d'énergie que ce soit mécanique ou électrique tout se base sur les apports énergétiques qui se sont des forme naturelle en fonction de l'orientation et le positionnement par rapport au rayonnement de soleil.

c. Le solaire thermique actif

Le principe consiste à capter le rayonnement solaire par différentes technologies qui visent à profiter de l'énergie thermique du rayonnement solaire pour la transmettre à un fluide caloporteur (air ou eau). Le captage des rayonnements est assuré par des capteurs et des équipements mécanisés pour collecter et distribuer l'énergie.

La chaleur produite peut être utilisée directement pour le chauffage des bâtiments ou pour générer de l'eau chaude sanitaire.

d. La solaire thermodynamique

Le procédé utilisé dans les centrales thermodynamiques consiste à la concentration des rayonnements solaires pour le chauffage d'un fluide dit caloporteur à une température très élevée. La chaleur du fluide est utilisée pour la génération de vapeur suffisante pour alimenter les turbines à vapeurs qui actionnent un générateur pour produire de l'électricité.

e. Le solaire photovoltaïque

Des semi-conducteurs, comme le silicium, ont une capacité de transformer la lumière (photons) en électricité (électrons). Cela est nommé l'effet photovoltaïque. Le principe de cet effet est que la collision entre un photon et un semi-conducteur (silicium) produit des charges positives et négatives qui engendrent un courant. Le silicium est utilisé pour la fabrication des cellules photovoltaïques qui produisent un courant continu. Pour être injecté dans le réseau, il doit être transformé en courant alternatif à travers un onduleur.

f. Éclairage naturel solaire

Le soleil peut combler une grande partie des besoins en lumière, La majorité des gens préfèrent un éclairage naturel à un éclairage artificiel, de plus l'éclairage naturel est utilisé et il est apprécié dans presque chaque maison. Puisque les fenêtres à haut rendement thermique peuvent produire un éclairage naturel à l'intérieur d'une maison,

avec une faible, ou aucune augmentation des coûts annuels de chauffage, la possibilité d'accroître la lumière naturelle dans la conception des maisons et des bâtiments est nettement plus importante qu'avant. Cet éclairage naturel comporte plusieurs avantages tant au niveau du confort que de la qualité de l'environnement intérieur. De plus, les économies d'énergie par exemple, en Europe, 50% de l'énergie consommée est destinée à l'éclairage artificiel des constructions à usage non- domestique .Il y a été aussi démontré qu'une réduction de l'ordre de 30 à 70% de cette consommation est possible grâce à la combinaison de l'éclairage naturel et artificiel. La technologie qui nous permet l'exploitation de l'énergie solaire utilise des systèmes appelés capteurs solaires (sans ou avec concentration).

g. Les capteurs solaires

Le fonctionnement de ces systèmes repose sur l'effet de serre, qui réside dans le fait qu'un matériau peut être transparent pour le rayonnement solaire et opaque au rayonnement infrarouge. On distingue deux types de capteurs solaires :

- Capteurs solaires thermiques, sans concentration.
- Capteurs solaires à concentration.
- Les capteurs solaires thermiques

Ce sont des dispositifs conçus pour recueillir l'énergie provenant du soleil et la transmettre à un fluide caloporteur. Il existe différents types de capteurs solaires thermiques selon la géométrie, la nature du fluide caloporteur utilisé et le niveau de température qu'ils permettent d'atteindre. On peut citer:

- Capteurs solaires thermiques plans
- Les capteurs tubulaires (capteurs sous vide)
- Les capteurs à concentration

C'est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteurs) destiné à concentrer sur l'absorbeur (circuit échangeur) le rayonnement solaire. Ce type de capteur focalise le rayonnement solaire reçu sur l'absorbeur de manière à accroître l'intensité des rayons solaires et d'obtenir des températures élevées, entre 400 °C et 1000 °C. La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente généralement une turbine. Trois technologies sont utilisées dans les centrales solaires à concentration :

h. Concentrateurs paraboliques

Un concentrateur parabolique concentre les rayons solaires en un seul point (le foyer d'une parabole). Les radiations concentrées sont utilisées pour chauffer un fluide ou gaz (l'air) à une température de 750 °C. Ce fluide ou gaz est ensuite utilisé pour générer de l'électricité dans un petit piston ou micro-turbine attaché au récepteur du concentrateur.

➤ Centrales à tour

Des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour. Cette filière permet de déployer des surfaces de miroirs très importantes. Des centaines ou milliers d'héliostats (miroirs plans de plusieurs dizaines de mètres carrés chacun), suivent le soleil et concentrent le rayonnement sur un récepteur central placé en haut d'une tour. Le soleil est concentré plus de 500 fois et la température obtenue dépasse les 600 °C. Différents fluides caloporteurs peuvent être utilisés (vapeur, sels fondus, air).

➤ Concentrateurs cylindro-paraboliques

Des miroirs de forme parabolique concentrent les rayons du soleil vers une ligne focale. Le récepteur est un tube placé sur ce foyer linéaire dans lequel circule un fluide caloporteur. L'avantage de ces miroirs paraboliques c'est que le suivi du soleil est simplifié. En effet, il s'effectue sur un seul axe au lieu de deux pour les héliostats. Ces concentrateurs sont généralement orientés dans la direction Nord-Sud et pivotent d'Est en Ouest pour suivre la course du soleil. La concentration est modeste, de 20 à 80 fois le rayonnement et les températures obtenues sont de l'ordre de 400 °C.

On distingue deux usages principaux de cette technologie :

- La production de chaleur (thermique).
- La production d'électricité (thermodynamique).

Les systèmes solaires à concentration collectent uniquement le rayonnement solaire direct.

II.3. Avantage des énergies renouvelables

Les énergies renouvelables associent des avantages sur le plan environnemental, social, économique, ainsi que géopolitique.

- Dans le cas où les énergies renouvelables sont substituées aux énergies fossiles, elles favorisent l'indépendance énergétique. Il est donc possible qu'elles participent à la réduction des conflits liés aux intérêts énergétiques.
- L'énergie renouvelable est inépuisable (sauf pour la biomasse, comme le bois).
- La production de gaz à effet de serre est très inférieure à celle des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz).
- Les déchets produits par un système de production d'énergie renouvelable sont essentiellement des déchets de démantèlement des installations de production en fin de vie, à l'inverse des centrales thermiques à hydrocarbures.
- Les énergies renouvelables émettent toutefois des gaz à effet de serre, particulièrement lors de la production des dispositifs d'exploitation énergétiques (panneaux solaires, éoliennes, etc). Ces émissions sont très inférieures à celles des énergies fossiles.
- Le respect de l'environnement, lors de la fabrication, pendant le fonctionnement et en fin de vie (démantèlement).
- Les déchets sont peu dangereux.
- La sûreté et la sécurité (faible risque d'accident, faible conséquence d'un éventuel accident,...).
- Par ailleurs, dans tous les cas, les énergies renouvelables réduisent la production de CO₂ par rapport aux énergies non renouvelables qu'elles remplacent .

II.4. Contraintes et limites

II.4.1 Pollutions et nuisances

La notion d'énergie renouvelable est souvent confondue avec celle d'énergie propre. Une énergie est dite propre si elle produit peu ou aucun polluant, ou bien elle génère des polluants qui sont sans conséquences pour l'environnement du fait de leur grande vitesse de disparition. Le terme énergie renouvelable ne signifie pas nécessairement une énergie propre (toutes les énergies renouvelables ne sont pas nécessairement propres); car l'exploitation et la manipulation des énergies renouvelables génère souvent des nuisances et des polluants comme le cas de la collecte et la combustion

de la biomasse (production des NO_x, CO₂, réduction de la biodiversité...etc). Ainsi que certains fluides frigorigènes utilisés dans les circuits des pompes à chaleur géothermiques sont des gaz qui contribuent à l'effet de serre et détruisent aussi la couche d'ozone. On peut dire alors qu'il n'y a pas de source d'énergie propre, seulement des sources d'énergie plus ou moins nuisibles ou polluantes.

II.4.2 Le réchauffement climatique

Les énergies renouvelables présentent une solution adéquate pour le problème du réchauffement climatique. Pour cette raison un développement suffisant de ces sources, permettant ainsi la diminution de la consommation des énergies fossiles, devient une nécessité. Cependant, les énergies renouvelables rencontrent beaucoup de contraintes telles que : leur rendement, leur stockage, la superficie ou les infrastructures nécessaires...etc. Autrement dit, le développement des énergies renouvelables est nécessaire mais, il n'est pas suffisant. le développement des énergies renouvelables ne suffira pas à éviter une importante diminution des consommations d'énergie : « malgré les renouvelables, des changements de nos modes de vie semblent nécessaires ».

II.4.3 Conditions géographiques

La difficulté liée aux énergies renouvelables réside dans leur dépendance des phénomènes naturels. Cela requiert certaines conditions géographiques comme la présence des vents puissants et de longues durées d'ensoleillement...etc. Ce qui n'est pas favorable dans tous les pays et les régions.

II.4.4 Intégration dans le paysage

L'impact sur le paysage doit présenter l'une des préoccupations majeures des constructeurs des installations d'exploitation des énergies renouvelables. On cite souvent en première position les éoliennes et en seconde les toitures solaires.

II.4.5 Risques pour la faune

La construction des installations d'exploitation des énergies renouvelables a parfois des conséquences sur la faune. Prenons l'exemple d'un barrage hydroélectrique qui peut causer des inondations des vallées entières et une modification profonde de l'écosystème local. De plus, les barrages hydroélectriques font obstacles à la migration des

poissons. Autre exemple : les éoliennes qui représentent un danger pour les oiseaux et les chauves-souris ainsi que les espèces protégées.

II.4.6 Stockage et distribution

L'une des contraintes liées à l'énergie en général est le transport dans le temps ou l'espace. C'est particulièrement vrai avec les énergies renouvelables qui dépendent des changements du climat et qui varient dans le temps. Les systèmes de stockage d'énergie sont nécessaires dans toute installation énergétique. Le problème réside dans la variété des énergies renouvelables et des installations d'exploitation de ces dernières, ce qui nécessite un stockage adéquat pour chaque type d'énergie renouvelable.

II.5. Conclusion

On a parlé sur les sources d'énergies renouvelables qui sont susvisés pour donne une idée sur elles.

Chapitre III

Les systèmes hybrides

III.1. introduction

Les systèmes hybrides sont conçus pour résoudre le problème d'insuffisance ou de l'épuisement de l'énergie fossile ; pour cela les savants ont inventés un système basé au couplage au moins de deux sources différentes d'énergies renouvelables.

La combinaison de deux sources nécessite une technique approfondie, visant de fiabiliser l'extraction maximum de puissance de ressource naturelle afin d'augmenter la production électrique.

Ce chapitre décrit les différents systèmes hybrides, commençant par ordre :

- Réseau-PV ;
- Réseau-Eolien ;
- Eolien-Groupe électrogène ;
- PV-Groupe électrogène ;
- PV-Eolien ;

III.2. Réseau-PV

III.2.1. Généralités

Les systèmes connectés au réseau sont aujourd'hui prisent sérieusement pour compléter la génération conventionnelle d'énergie dans plusieurs pays industrialisés. Il y a certainement plusieurs projets de démonstrations connectés aux réseaux qui étudient cette possibilité. Bien qu'ils sont devenus viables dans le développement économique, la participation des Photovoltaïques dans la génération d'énergie de grande échelle est augmentée à cause des effets environnementaux défavorables des sources conventionnelles d'énergie.

Les installations photovoltaïques peuvent être raccordées au réseau, ce qui représente une économie importante en investissement et en fonctionnement. Elles utilisent le réseau comme un stock, et transforment la totalité de l'électricité produite en courant alternatif de 220 V ou 380V, ainsi que le photovoltaïque est la seule filière qui peut être installée n'importe où.

On distinct deux types d'installations connectées au réseau (Voir Figure III.1) :

- Installation centralisée : génération de la puissance Photovoltaïque à grand - échelle
- Installation décentralisée : forme alternative de génération de puissance distribuée dans Les unités situées directement dans le lieu du consommateur.

De jour, les installations photovoltaïques couplées au réseau injectent de l'énergie dans le réseau à travers le convertisseur.

Au contraire, pendant la nuit le propriétaire de l'installation peut "récupérer" cette énergie, dans le cas des installations décentralisées, et travaillent en cas de charges de pic avec le réseau, dans le cas des installations centralisées. Comme la consommation électrique est importante de jour, cette manière de procéder est très raisonnable.



Fig III.1 le Champ de Photovoltaïque [13]

III.2.2. Les composants d'un système photovoltaïques

Les composants d'un système photovoltaïque dépendent du type d'application, En système photovoltaïque connecté au réseau les principaux composants sont :

- Panneaux photovoltaïques (structure de support) ;
- Coffret de coupure et de protection courant continu DC ;
- Onduleurs ;
- Coffret de coupure et de protection courant alternatif AC.

III.2.3. Type des installations photovoltaïques connectées au réseau

1. Centrale de production d'énergie photovoltaïque ;
2. Générateurs photovoltaïques dans Les Constructions (installations décentralisées).

Un " toit solaire photovoltaïque raccordé au réseau " (que nous appellerons " toit solaire)"est un générateur photovoltaïque installé chez l'utilisateur, et qui est raccordé au réseau de distribution de la compagnie électrique par l'intermédiaire de l'installation électrique intérieure.

Il est composé d'un ou plusieurs champs de panneaux produisant du courant continu.

Ce courant est ensuite transformé par un ou plusieurs onduleurs en courant alternatif compatible avec les exigences de qualité, de fiabilité et de sécurité du réseau.

- **Le courant produit peut être soit**

- consommé directement par le foyer : seul le surplus est vendu en cas d'excédent et le courant nécessaire lorsque la consommation dépasse la

Production (nuit, ciel couvert, brouillard) est fourni par le réseau ;

- injecté directement dans le réseau : la totalité du courant produit est vendu et la totalité du courant consommé est fournie par le réseau.

Compte tenu des lois de la physique, l'électricité sera dans tous les cas utilisée au plus près de son lieu de production.

Pour soutenir le développement de la filière, le tarif d'achat du kWh produit par une installation photovoltaïque est supérieur au prix pratiqué par les compagnies électriques pour la vente d'électricité à leurs clients. Il est donc nécessaire de compter séparément les kWh injectés et ceux prélevés sur le réseau, ce qui oblige à installer deux compteurs unidirectionnels (électroniques).

En cas d'arrêt de la distribution d'électricité venant du réseau (panne, travaux de la compagnie d'électricité), l'onduleur ne débite aucun courant sur le circuit intérieur ni sur le réseau.

III.3. Réseau-Eolien

III.3.1. Généralités

Les éoliennes utilisent l'énergie cinétique du vent (énergie éolienne) pour la transformer en énergie électrique. Elles produisent une énergie renouvelable (et même inépuisable) et propre (ni déchets ni gaz à effet de serre).

Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées des aérogénérateurs. Le vent entraîne les pales, cette énergie mécanique fait tourner un alternateur, qui transforme ce mouvement en électricité.

Le principe de fonctionnement d'une éolienne offshore (= au large) est le même que sur terre. Cependant, les conditions exigeantes et rigoureuses du milieu marin impliquent des contraintes spécifiques : les éoliennes doivent être étudiées pour résister à la force des vagues et du courant, ainsi qu'à la corrosion. (Voir figure III.2)



Fig III.2 le fonctionnement d'une éolienne [14]

III.3.2. Les éléments constitutifs d'une éolienne.

Une grande éolienne moderne est constituée de plusieurs éléments :

Une tour cylindrique en acier d'une hauteur pouvant aller jusqu'à 100 mètres dans laquelle se trouve l'échelle d'accès et les câbles de raccordement. À son pied est implanté le transformateur d'adaptation au réseau électrique.

Une nacelle située en haut de la tour, qui contient les installations de production d'électricité (multiplicateur et générateur) et de pilotage (orientation et freinage)

Le rotor qui comporte en général trois pales. L'avènement des matériaux composites a permis d'importants progrès notamment sur la forme, la dimension et les caractéristiques mécaniques des pales.

Dans les éoliennes modernes de production d'électricité, le rotor tourne lentement (30 à 40 tours par minute), alors que les générateurs classiques de série tournent à 1500 tours/min environ. L'utilisation de ces alternateurs classiques, intéressants au plan économique car produits en grande série, nécessite l'interposition d'un multiplicateur de vitesse, pièce lourde et coûteuse. Pour les grandes éoliennes la tendance est au développement de génératrices spéciales à basse vitesse dites « à attaque directe », entraînées directement par le rotor. Deux fabricants (Jeumont et Enercon) ont développé ce type de matériel

Les dispositifs de pilotage et de freinage sont des éléments essentiels de la survie des éoliennes : la plupart des accidents sont venus d'un défaut de freinage des machines qui doivent être impérativement arrêtées dès que la vitesse du vent atteint 90 km/h. Divers systèmes de freinage existent, on en installe généralement au moins deux pour assurer une meilleure sécurité. (Voir figure III.3)

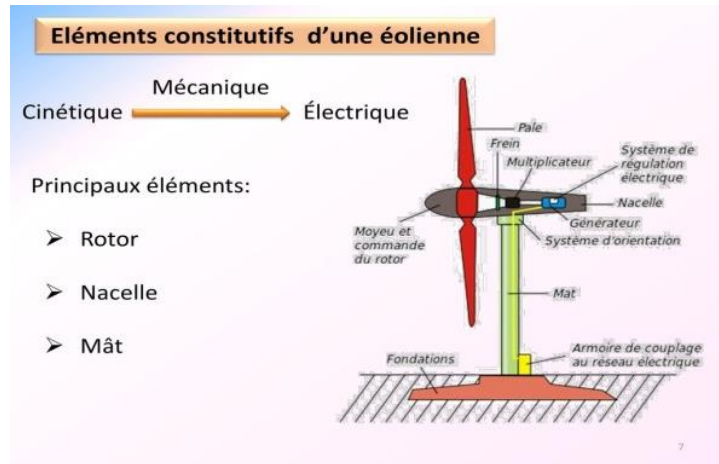


Fig III.3 Élément constitutif d'une éolienne [15]

III.3.3. Éoliennes terrestres ou offshore

Le développement de l'éolien s'accompagne d'une course à la puissance : le standard est passé de 750 kW par machine au milieu des années 90 à 2,5 MW actuellement.

Les limitations de l'éolien terrestre sont bien connues (impact sur le paysage, limitation du nombre de sites, perception de nuisances par la population).

Les ressources en mer sont plus importantes, le vent y est plus fort et surtout plus régulier. L'offshore (implantation en mer) apparaît donc intéressant, mais de nombreux défis et restent à relever :

Compenser le coût des projets (nécessairement plus élevé) par une augmentation de taille des machines (3 à 5 mégawatts) ce qui nécessite des développements importants notamment sur la technologie des pales

Concevoir des machines à faible entretien, résistant aux conditions marines et à durée de vie longue

III.3.4. L'insertion des éoliennes dans les réseaux électriques

Comme on l'a vu, une des caractéristiques de l'éolien est d'être intermittent. Il conviendra donc de disposer d'un réseau comprenant une puissance installée de réserve, prête à démarrer dès que les éoliennes s'arrêtent. On dispose actuellement de quelques éléments pour chiffrer cette puissance de réserve nécessaire : Elle est estimée à 90% de la puissance éolienne en

Allemagne, mais ce chiffre élevé est dû au faible nombre d'heures de fonctionnement (1500 h/an en moyenne). En France, où l'on table sur une production moyenne de 2500 h/an, on peut espérer que la puissance thermique en réserve n'excédera pas les 2/3 de la puissance éolienne installée, compte tenu du foisonnement des aléas sur un grand réseau. L'obligation d'une reprise très rapide en cas d'arrêt brutal des éoliennes impose des centrales thermiques à flamme maintenues à basse puissance ou de l'hydraulique de barrage : les batteries, malgré d'importants progrès, sont très loin d'offrir la puissance nécessaire.

L'installation d'un parc éolien important dans une même région peut poser un grave problème de réseau en cas d'arrêt forcé de l'ensemble des machines. La question se pose de façon cruciale pour les quelque 15 000 MW que les Allemands projettent d'installer en Mer du Nord : en cas de tempête avec des vents nécessitant l'arrêt des 15 000 MW, comment assurer l'alimentation du réseau ?

III.3.5. En outre, des problèmes d'intégration demeurent

Dans les régions isolées alimentées par des centrales diesel (les îles par exemple) le recours à l'éolien paraît particulièrement intéressant. Il semble cependant que la technologie pour réguler le couplage éolien - diesel soit actuellement chère et insuffisamment fiable. On peut cependant espérer des développements significatifs.

Sur les grands réseaux, l'insertion de l'éolien pose des problèmes d'adéquation des fréquences dès lors que la proportion d'éolien devient significative.

III.3.6. Puissance produite

Les parcs éoliens (ou fermes éoliennes) regroupent plusieurs éoliennes sur un site où le vent est suffisamment fort et régulier. Les grands aérogénérateurs récents développent une puissance de 2 MW, voire 3 MW dans certains sites bien ventés.

La puissance installée est une des caractéristiques importantes de l'éolienne. Une puissance de 2 MW signifie que, en conditions de vent optimales, elle est capable de fournir une puissance électrique maximale de 2 MW.

Or, pour atteindre cette puissance, il faut que le vent souffle à une vitesse minimum d'environ 55 km/h. au-dessous, l'éolienne produira moins, au-dessus, la production ne sera pas plus

importante. Si le vent est trop fort (90 à 126 km/h), l'éolienne risque d'être endommagée, elle est alors bridée ou arrêtée. La production est donc variable au cours du temps.

De ce fait, la puissance disponible de l'éolienne est inférieure à son maximum théorique. Elle produit de façon variable, pendant plus de 95% du temps, ce qui correspond à 20-25 % du temps à équivalent pleine puissance.

III.3.7. Contraintes géographiques

La production des éoliennes dépend beaucoup de leur emplacement, on les implante dans des zones où le vent est régulier et fréquent. Entre les cols, au sommet des collines, près de la mer, les éoliennes sont particulièrement efficaces. A haute altitude, la densité de l'air est plus faible, mais les vents sont plus forts, des technologies spécifiques d'éolien de haute altitude sont alors utilisées.

III.3.8. Exploitation

Les éoliennes ne produisent pas l'électricité en continu, mais de façon intermittente, en fonction du vent. La production est donc variable, en quantité et dans le temps, sans s'ajuster forcément à la demande. L'électricité d'origine éolienne fait partie des productions dites « fatales », c'est-à-dire une électricité qui serait « perdue » si elle n'était pas utilisée à l'instant où elle est produite. Les parcs éoliens sont utilisés en base, car faisant partie des productions prioritaires : pour favoriser le développement des énergies renouvelables, elles bénéficient d'une obligation de rachat de l'électricité produite à un tarif avantageux.

III.4. le système hybride Eolien-Groupe électrogène

Les sites isolés sont obligés d'avoir des systèmes hybrides (voir figure III.4), afin d'obtenir énergie électrique issue de la catégorie climatique de leurs régions, cependant la source est liée à la nature en l'occurrence le soleil ou le vent, qui se représentent en ordre par l'éclairement (l'ensoleillement) la capacité d'air relatif au gisement de vent, ce qui entraîne la problématique de la disponibilité ; pour cela les sites isolés nécessitent un approvisionnement en carburant diesel comme source d'énergie d'appoint .

- ❖ Les avantages et les inconvénients de jumelage d'Eolien avec groupe électrogène :
- Les inconvénients :
 - l'intermittence dû vent ;
 - Le rendement de l'ensemble du système est faible, parce qu'une certaine quantité d'énergie est perdue à cause des batteries et des pertes dans les convertisseurs ;

- Les générateurs diesels ne peuvent pas alimenter directement la charge, l'onduleur doit donc être dimensionné pour assurer le pic de charge ;
- Les avantages
- La connexion de toutes les sources sur un bus à CC simplifie le système de commande ;
 - Le générateur diesel peut être dimensionné de façon optimale, c'est-à-dire de sorte à fonctionner à puissance nominale pendant le processus de chargement des batteries jusqu'à un état de charge de 75-85 %.

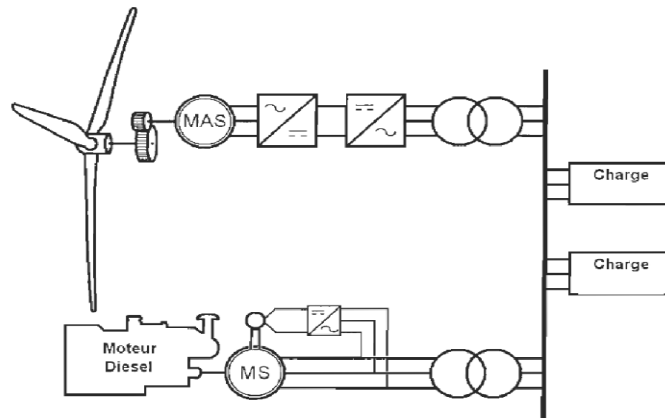


Figure III.4 système hybride Eolien +GE [15]

III.5. le système hybride PV-Groupe électrogène

L'hybridation qui tenant en compte la combinaison de l'énergie solaire avec un groupe électrogène est une technique pour objet d'exploiter la source solaire au diurne à savoir le groupe électrogène comme énergie d'appoint utiliser encas de ciel nuageux et la nuit.

III.5.1. Générateur électrique hybride PV-GE

Le générateur électrique hybride PV / groupe électrogène est composé en l'occurrence d'un ensemble de modules photovoltaïques (champ solaire), d'un groupe électrogène comme source secondaire et d'onduleur-chargeur.

III.5.2. L'onduleur-chargeur est l'élément principal de ce système hybride.

Il gère tout le transfert de l'énergie électrique en assurant :

- La charge des batteries à partir des modules ou du 230 v AC généré par le groupe Electrogène ;
- La conversion de la tension continue des panneaux ou de la batterie en 230 v AC

destiné aux récepteurs ;

- La surveillance de l'état de charge des batteries et éventuellement le démarrage du groupe électrogène ;

Pendant la journée, les modules photovoltaïques fournissent l'énergie nécessaire pour l'alimentation de l'installation (voir figure III.5)

Lorsque le rayonnement solaire disponible est insuffisant pour supporter la charge (les nuits ou bien ciel nuageux) et que la demande est toujours forte, l'ordre sera donné pour le démarrage du groupe électrogène pour prendre le relais.

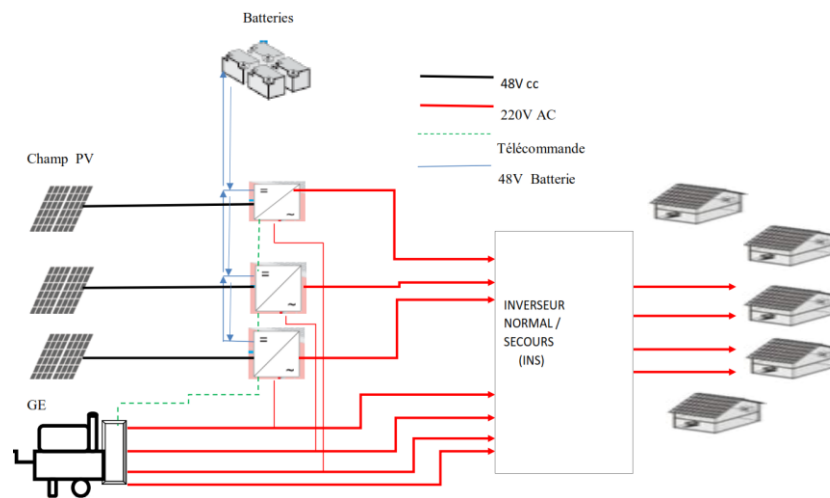


Fig III.5 système hybride PV+GE [15]

III.6. le système hybride photovoltaïque-éolien

III.6.1. Définition du système d'énergie hybride

Le système hybride de production de l'énergie dans sa vue la plus générale, est celui qui combine et exploite plusieurs sources disponibles facilement mobilisables. Il consiste 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 combinés ; on 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. (Voir figure III.6)



Fig III.6 Système d'énergie hybride photovoltaïque-éolien [16]

III.6.2. Principaux composantes 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.

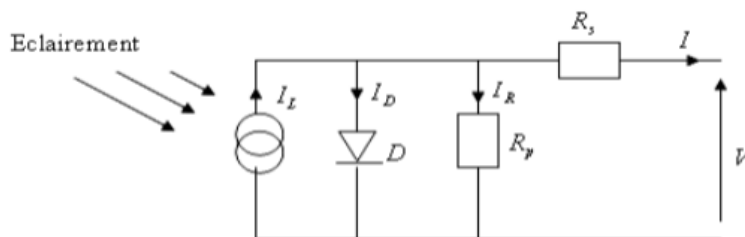
Le système de régulation se chargera donc de faire fonctionner le système générateur en un point optimal pour la charge des batteries.

III.6.3. Descriptions des composantes du système hybride photovoltaïque-éolien

Un générateur photovoltaïque est constitué à la base par des cellules photovoltaïques. Elles produisent de l'électricité du moment où elles sont exposées au rayonnement solaire. Elles ne polluent pas, n'ont aucune pièce mobile, ne nécessitent pratiquement aucun entretien et ne produisent aucun bruit. La cellule photovoltaïque est donc un moyen sûr et écologique de produire de l'énergie.

III.6.4. 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. (Voir figure III.7)



FigIII.7 Circuit équivalent de la cellule solaire [17]

La cellule comporte une résistance série et une résistance en dérivation ou Shunt R_p . Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique 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.

III.6.5. Architecture d'un système hybride

Dans la plupart des cas, les systèmes hybrides classiques contiennent deux bus : un bus à CC pour les sources, les charges à CC et les batteries et un bus à CA pour les générateurs à CA et le système de distribution. Les sources d'énergie renouvelable peuvent être connectées au bus à CA ou à CC en fonction de la dimension et la configuration du système. L'interconnexion entre les deux bus peut être réalisée par l'intermédiaire de l'électronique de puissance : onduleurs/redresseurs ou convertisseurs bidirectionnels. A part la charge principale, un système hybride peut contenir aussi des charges auxiliaires (charge différée, charge optionnelle, charge de délestage) pour réaliser l'équilibre énergétique. Si la charge principale est alimentée sans interruption, les charges auxiliaires sont alimentées en énergie par ordre de priorité, seulement quand il existe un surplus d'énergie. Ainsi, dans un système S.E.H avec des batteries de stockage et charges auxiliaires, s'il existe un excès d'énergie (venant des sources d'énergie renouvelable), celui-ci passera d'abord dans les batteries et ensuite, il sera utilisé pour alimenter les autres charges auxiliaires en fonction de leur priorité. Dans un tel système, les batteries de stockage jouent un double rôle : charge et source.

Ces systèmes sont largement instrumentés, avec des capteurs qui permettent d'obtenir les conditions météo : (voir figure III.8)

- Vitesse du vent ;
- Direction du vent ;
- Ensoleillement dans le plan horizontal ;
- Températures ambiantes ;
- Ensoleillement dans le plan des panneaux ;
- Températures des panneaux

Des capteurs nous permettent de mesurer les courants, tensions et puissances de :

- Chaîne de production photovoltaïque.
- Chaîne de production éolienne.
- Batterie.
- Bus continu.

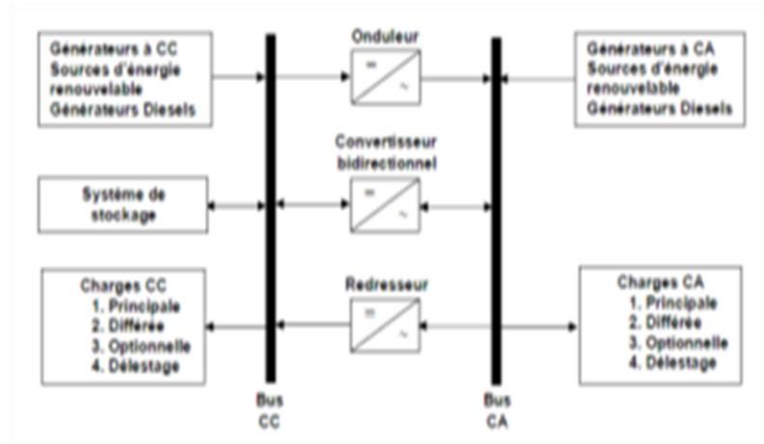


Fig III.8 Architecture d'un système d'énergie hybride [18]

III.7. Conclusion

Après les deux chapitres précédents et avec ce chapitre, le lecteur peut conclure une idée sur les différents systèmes hybrides.

Chapitre IV

Etude d'intégration des systèmes hybrides par région de l'Algérie

IV.1. Introduction :

Dans ce chapitre on se basant sur les points choisis, qui seront au minimum six (06) dans le cadre de présenté différents régions de l'Algérie ; afin de voir la meilleure possibilité d'hybridation selon la capacité métrologique de chaque point qui se caractérisé par le gisement en l'occurrence solaire ou vent sans oublier la proximité ou l'éloignement de réseau électrique.

➤ les points choisis:

Nous avons choisis arbitrairement les points approximativement selon la variété de météo pour le nord: est-milieu-ouest et pour le sud idem;

Alors; on a pris la latitude et longitude des points choisis au-dessous de site voir référence [21]:

- Pour le nord: Oran-Alger-Annaba

Chaque point de ce qui suscite nous allons pris un point plus précis pour bien déterminé la latitude et la longitude

- ✓ **Oran:** on a choisi **Bir el Djir :**

- Latitude: 35.7200 ;
- Longitude : -0.5450.

- ✓ **Alger:** on a choisi **Bouzareah :**

- Latitude: 36,779696 ;
- Longitude : 3,012113.

- ✓ **Annaba:** on a choisi **El Karma :**

- Latitude: 36.759150 ;
- Longitude : 7.676493.

- Pour le sud: Ghardaïa-Biskra- Adrar

Chaque point de ce qui suscite nous allons pris un point plus précis pour bien déterminé la latitude et la longitude

- ✓ **Ghardaïa:** on a choisi **Chaabet Sid Cheikh :**

- Latitude: 32.2697 ;
- Longitude : 3.630.

- ✓ **Biskra:** on a choisi **Chaiba :**

- Latitude: 34,680326 ;
- Longitude : 4,808411.

- ✓ **Adrar:** on a choisi **Kabertène :**

- Latitude: 28.45242 ;
- Longitude : -0.085144.

Selon les informations fournies par la partie responsable aux données des charges électriques, qui nous a donné les charges de deux zones isolés après les avoir reçus une demande faite et accordé par le département de science et technologie de l'université de **GHARDAÏA**; afin d'introduire dans le logiciel (Homer pro) la charge électrique qui a été pris chaque demi-heure pour que le programme puisse faire l'optimisation que sera stipulé au chapitre V.

SKTM nous a donné les deux points en l'occurrence:

- Timiaouine :
 - Latitude:20.900226 ;
 - Longitude 1.663805.
- Ain Belbel :
 - Latitude:27.900303 ;
 - Longitude 1.166581.

Le tableau au-dessous représente les coordonnées des points susvisés convertis en DMS :

Tableau IV- 1:les coordonnées en DMS selon(<https://www.latlong.net/lat-long-dms.html>)

Les points	Coordonnées en décimal degrés		Coordonnées en DMS	
	Latitude	Longitude	Latitude	Longitude
Oran- Bir el Djir	35.7200	-0.5450	35°43' 12" N	0° 32' 42" W
Alger- Bouzareah	36,779696	3,012113	36° 46' 46.9056" N	3° 0' 43.6068" E
Annaba- El Karma -El Hadjar-	36.759150	7.676493	36° 45' 32.94" N	7° 40' 35.3748" E
Ghardaïa- Chaabet Sid Cheikh	32.2697	3.630	32° 16' 10.92" N	3° 37' 48" E
Biskra- Chaïba	34,680326	4,808411	34° 40' 49.1736" N	4° 48' 30.2796" E
Adrar- Kabertène	28.452426	-0.085144	28° 27' 8.7336" N	0° 5' 6.5184" W
Adrar- Timiaouine	20.900226	1.663805	20°54'0.8136"N	1°39'49.698"E
Adrar- Ain Belbel	27.900303	1.166581	27°54'1.0908"N	1°9'59.6916"E

IV.2. Réseau Electrique Algérien

Les impératifs de préservation de l'environnement imposent l'utilisation du gaz naturel comme énergie primaire pour la production d'électricité, par rapport aux autres énergies fossiles jugées polluantes, sachant que la ressource du gaz est largement disponible en Algérie.

Mais la préoccupation environnementale exige aussi de développer d'autres énergies dites propres et renouvelables comme l'énergie solaire et éolienne, dont les gisements sont disponibles et abondants au sud du pays [22].

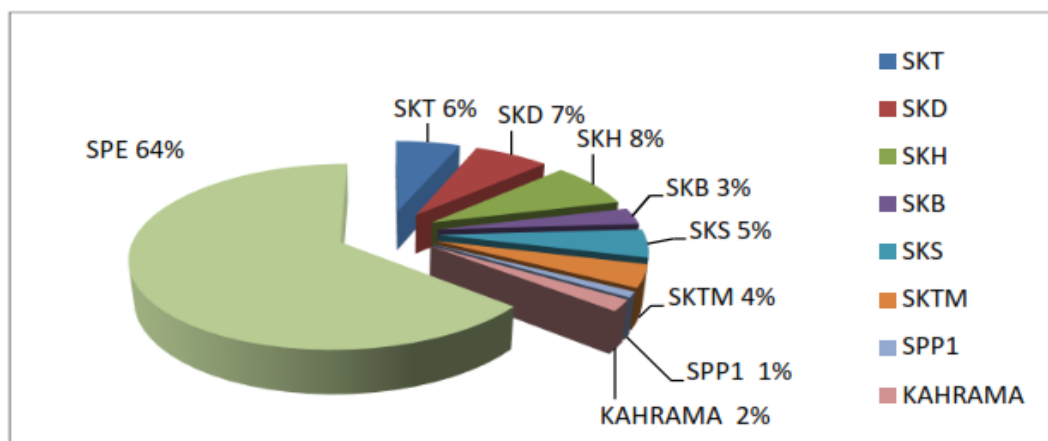
Sachant que le parc de production national est constitué des centrales électriques de la Société Algérienne de Production de l'Électricité (SPE) et de Shariket Kahraba wa Taket

Moutadjadida (SKTM), ainsi que des sociétés en partenariat, à savoir [22]:Kahrama Arzew mise en service en 2005;

- Shariket Kahraba Skikda«SKS» mise en service en2006;
- Shariket Kahraba Berrouaghia«SKB»(Médéa) mise en serviceen2007;
- Shariket Kahraba Hadjret Ennouss«SKH»mise en service en2009 ;
- SPP1mise en service en 2010;
- Shariket Kahraba Terga«SKT»mise en service en2012;
- Shariket Kahraba de Koudiet Edraouch«SKD»miseenserviceen2013.

Les deux graphes suivants présentent le pourcentage de production de chaque société susvisé suivi par deux tableaux révèlent la puissance et l'énergie installé de l'année 1980 jusqu'à 2015 selon le recensement de Sonalgaz [23]:

Graphe 1 : Puissance installée par producteur



Graphe 2 : Puissance installée par type d'équipement

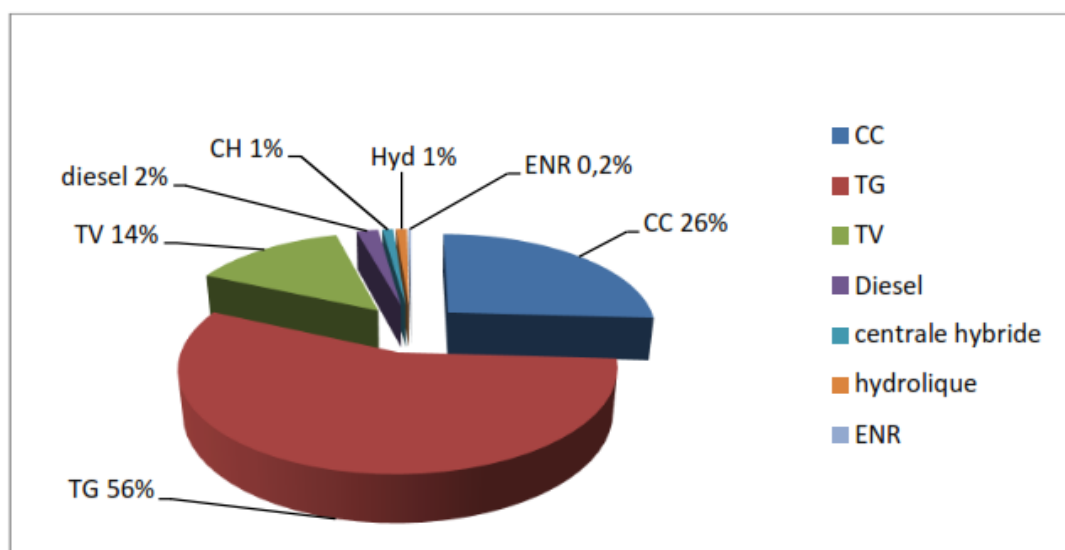


Tableau IV.2: Evolution de la puissance (MW) installée 1980-2015 par producteur

	1980	1990	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
SP	1852	456	6762	6736	6752	6844	8439	8446	8506	8845	9351	10 131	11 258,7
SKTM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	448	528	681,8
Kahrama	-	-	230	345	345	345	345	345	345	345	345	345	345
SKS	-	-	500	825	825	825	825	825	825	825	825	825	825
SKB	-	-	-	-	489	489	489	489	489	489	489	489	489
SKH	-	-	-	-	-	-	1227	1227	1227	1227	1227	1227	1227
SPP1	-	-	-	-	-	-	-	150	150	150	150	150	150
SKT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1122	1122	1122	1122,1
SKD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1140	1140	1140
Total	1852	4567	7492	7906	8411	8503	11 325	11 482	11 542	13 003	15 097	15 957	17 238,6

Tableau IV.3: Evolution de l'énergie électrique produite 1980-2015

Typed'équipement	1980	1990	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Thermiquevapeur	3 621	8 397	16 624	14 558	14 142	13 384	11 857	9 692	9 654	9 422	9 582	10 221	10 227
Thermiquegaz	2 223	6 704	15 679	16 463	17 011	20 339	19 940	19 564	22 055	24 075	17 400	20 211	26 970
Cyclecombiné	-	-	386	3 419	5 321	5 704	10 318	15 341	15 701	18 623	27 685	28 444	26 122
Hydraulique	251	135	555	218	226	277	342	173	378	389	98	193	145
Diesel	125	216	281	264	250	283	313	403	464	416	227	248	276
Hybride	-	-	-	-	-	-	-	1	619	1 159	1 155	1 181	889
Eolien	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	19
Photovoltaïque	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	14
Total	6 220	15 452	33 525	34 922	36 950	39 987	42 770	45 174	48 871	54 084	56 147	60 500	64 662

IV.2.1. Réseau Electrique National

La structure du réseau électrique nationale se décompose en trois systèmes.

A. Le Réseau Interconnecté National (RIN):

Le RIN s'étale sur le nord du pays et couvre les régions de Béchar, Hassi-Messaoud, Hassi R'Mel et Ghardaïa, est alimenté par une quarantaine de centrales de réduction d'électricité, reliées entre elles à travers un réseau de transport en 220 kV et 400kV, permettant le transfert d'énergie des sites de production vers les centres de consommation.

Durant les dix dernières années, la puissance maximale appelée du réseau interconnecté du nord est passée de 5921MW en 2005 à 12380MW en 2015, soit une évolution moyenne annuelle de 7.2%.

Tableau IV.4: Evolution de l'énergie électrique produite sur le RIN1980-2015

	1980	1990	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
PMA enregistrée (MW)	1088	2742	5921	6057	6411	6925	7280	7718	8606	10 363	10 464	10 927	12 380
Taux d'évolution annuel (%)	-	-	6.9	2.3	5.8	8.0	5.1	6.0	11.5	16.9	1	4.2	11.7

B. Le pôle In Salah–Adrar–Timimoune(PIAT):

Ce pôle est alimenté par les centrales Turbines à Gaz d'Adrar et d'In Salah, interconnectées à travers un réseau 220kV s'étalant d'In Salah à Timimoun via Aoulef et Adrar.

Tableau IV.5: Evolution de l'énergie électrique produite sur le PIAT 2008-2015

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
PMA enregistrée (MW)	106	121	149	172	199	232	261	279
Taux d'évolution annuel(%)		14%	23%	16%	15%	17 %	12,5%	6,5%

C. Les Réseaux Isolés du Sud (RIS):

Il s'agit de 26 sites du grand sud, alimentées par des réseaux locaux à travers des groupes diesels ou des TG compte tenu des distances mises en jeu et des niveaux de consommation relativement faibles.

Tableau IV.6: Evolution de l'énergie électrique produite sur le RIS 2011-2015

	2011	2012	2013	2014	2015
PMA enregistrée	139.7	175,7	208.4	214	226
Taux d'évolution annuel(%)	9%	26%*	19%	2,6%	5,6%

*Un pic de a été enregistré en 2012 suite aux températures caniculaires.

Pour faire face à l'évolution importante de la demande électrique des localités isolées du sud, plusieurs centrales turbines à gaz et groupes diesel ont été installés entre 2012 et 2015.

Ces capacités de production ont été implantées au niveau des différents sites isolés du sud et contribuent fortement à la sécurisation de l'alimentation de l'énergie électrique des régions isolées du sud, au développement local et l'amélioration des conditions de vie de ces régions désenclavées.

IV.3. Gisement solaire

L'Algérie a une zone géographique par un gisement solaire très important surtout dans sa partie saharienne voir le figure IV-1, La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien montre que le Sahara occupe une grande superficie du territoire et que l'ensoleillement annuel reçu est très important et atteint 2600 kWh/m²/an, ce qui le classe parmi les plus grands gisements solaires au monde selon la source -Projet Maghreb – Europe- se résume en tableau IV- 1 au-dessous:

Tableau IV- 7: L'ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région climatique (Source : Projet Maghreb – Europe : Production d'Hydrogène Solaire)

Ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région climatique	Superficie (%)	Ensoleillement (h/an)	Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)
Région Littoral	4	2650	1700
Hauts Plateaux	10	3000	1900
Sahara	86	3500	2650

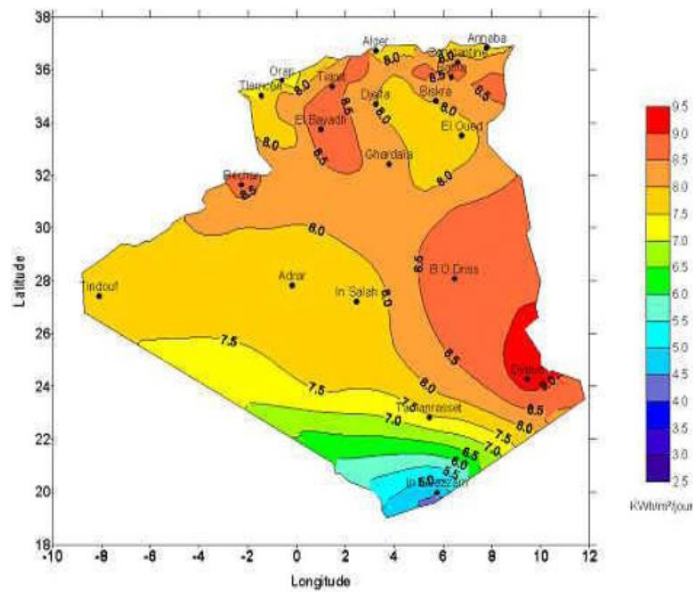


Fig IV-1: Irradiation directe journalière reçue sur plan normal au mois de juillet [23]

IV.4. Gisement Eolien

Le gisement éolien est un outil principal, qu'il fallait le connaître avant d'entamer l'étude, cette merveilleuse clé révolutionnaire afin d'ouvrir l'éventail d'autre énergie renouvelable qui s'appelle l'énergie éolien, la figure au-dessous révèle d'une étude plus récente, a été réalisée en 2013 par Dr. Sidi Mohammed Boudia qui a réactualisé la carte des vents à 10m [25], de Centre de Développement des Energies Renouvelables de

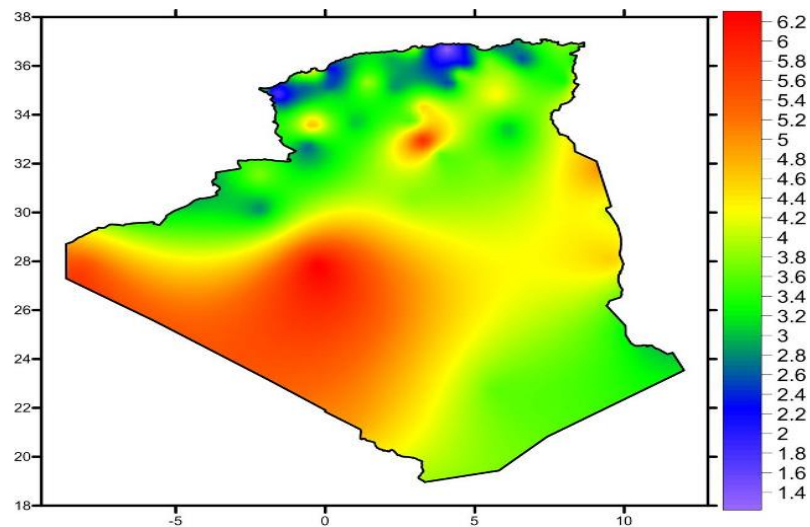


Fig IV-2: Carte annuelle des vents (m/s) à 10m du sol estimée par Dr. Boudia [25]

IV.5. les gisements des points choisis

Les données stipulées dans les tableaux au-dessous sont extraites de site NSA [26]

IV.5.1. Point 01- Oran - Bir el Djir-

Tableau IV- 8: Les coordonnées de point Oran - Bir el Djir-

Oran - Bir el Djir-Point01		
latitude	Longitude	L'altitude
35.7200	-0.5450	440 mètres

❖ Gisement solaire

✓ Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Tableau IV- 9: insolation mensuelle sur une surface horizontale (KWh / m² / jour)

Point 01	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	2.72	3.64	4.74	5.94	6.55	7.08	6.92	6.26	5.25	3.94	2.80	2.40

✓ Paramètres pour le dimensionnement et le pointage des panneaux solaires :

Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Tableau IV- 10: Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Point 01	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	2.72	3.64	4.74	5.94	6.55	7.08	6.92	6.26	5.25	3.94	2.80	2.40	4.85

❖ Gisement Eolien

✓ Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Tableau IV- 11: Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10

Point 01	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
Rough bar esoil	3.47	3.83	3.86	4.02	3.18	3.19	3.04	3.01	2.84	3.46	3.38	3.49	3.39
Open water	4.21	4.64	4.68	4.87	3.86	3.87	3.69	3.66	3.44	4.20	4.11	4.23	4.12

La vitesse de vent

- Pour les terrains nus est inférieure de 4m/s alors l'éolien est improductive;
- Pour les surfaces à l'eau libre la vitesse est bonne l'éolien est productive.

IV.5.2. Point02- Alger - Bouzareah -

Tableau IV- 12: Les coordonnées de point **Alger -Bouzareah-**

Alger -Bouzareah-Point02		
Latitude	Longitude	L'altitude
36,779696	3,012113	423 mètres

❖ Gisement solaire

- ✓ Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Tableau IV- 13: Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Point02	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	2.48	3.38	4.59	5.69	6.49	7.20	7.13	6.44	5.28	3.82	2.63	2.15

- ✓ Paramètres pour le dimensionnement et le pointage des panneaux solaires :

Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour

Tableau IV 14: Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Point02	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	2.48	3.38	4.59	5.69	6.49	7.20	7.13	6.44	5.28	3.82	2.63	2.15	4.78

❖ Gisement Eolien

- ✓ Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Tableau IV-:15 Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Point02	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
Rough baresoil	3.51	3.61	3.57	3.60	3.08	3.09	3.24	3.08	2.95	3.07	3.46	3.60	3.32
Open water	4.26	4.38	4.34	4.36	3.74	3.75	3.93	3.73	3.58	3.72	4.20	4.37	4.03

La vitesse de vent

- Pour les terrains nus est inférieure de 4m/s alors l'éolien est improductive;
- Pour les surfaces à l'eau libre la vitesse est bonne l'éolien est productive.

IV.5.3. Point03- Annaba - El Karma -

Tableau IV- 16: Les coordonnées de point Annaba - El Karma -

Annaba -El Karma- Point03		
Latitude	Longitude	L'altitude
	7.4897	437 mètres

❖ Gisement solaire

- ✓ Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Tableau IV- 17: Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Point03	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	2.28	3.15	4.25	5.21	6.25	6.98	7.14	6.08	5.00	3.57	2.45	2.02

- ✓ Paramètres pour le dimensionnement et le pointage des panneaux solaires :
Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Tableau IV- 18: Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Point 03	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	2.28	3.15	4.25	5.21	6.25	6.98	7.14	6.08	5.00	3.57	2.45	2.02	4.53

❖ Gisement Eolien

Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Tableau IV- 19: Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Point03	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
Rough bare soil	3.85	3.91	3.97	3.86	3.29	3.01	3.02	3.06	2.98	3.22	3.75	3.90	3.48
Open water	4.67	4.75	4.81	4.69	3.99	3.66	3.66	3.72	3.62	3.91	4.55	4.74	4.23

La vitesse de vent

- Pour les terrains nus est inférieure de 4m/s alors l'éolien est improductive;
- Pour les surfaces à l'eau libre la vitesse est bonne l'éolien est productive.

IV.5.4. Point04-Ghardaïa-Chaabet Sid Cheikh-

Tableau IV- 20: Les coordonnées de point Ghardaïa- Chaabet Sid Cheikh

Ghardaïa- Chaabet Sid Cheikh Point04		
Latitude	Longitude	L'altitude
32.2667	3.633	547 mètres

❖ Gisement solaire

Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Tableau IV-21 : Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Point04	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	2.88	4.13	5.31	6.81	7.42	7.64	7.85	7.07	5.65	4.01	3.00	2.56

Paramètres pour le dimensionnement et le pointage des panneaux solaires :

Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Tableau IV- 22: Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Point 04	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	4.33	5.94	6.64	8.13	8.30	8.40	9.06	8.26	6.73	4.97	4.22	3.92	6.58

❖ Gisement Eolien

✓ Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Tableau IV- 23: Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Point04	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
sol rugueux nu	3.56	3.61	3.72	3.96	3.95	3.88	3.70	3.29	3.36	3.31	3.40	3.43	3.60

La vitesse de vent est inférieure de 4m/s alors l'éolien est improductive

IV.5.5. Point05- BISKRA-Chaiba-:

Tableau IV- 24: Les coordonnées de point BISKRA-Chaiba

BISKRA-Chaiba-Point 05		
Latitude	Longitude	L'altitude
34.6040	6.2485	418 mètres

❖ **Gisement solaire**

- ✓ Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Tableau IV- 25: Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Point 05	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	0.40	0.52	0.66	0.79	0.84	0.88	0.89	0.84	0.72	0.55	0.39	0.36

- ✓ Paramètres pour le dimensionnement et le pointage des panneaux solaires :

Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Tableau IV- 26: Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Point 05	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	2.61	3.62	4.73	5.88	6.69	7.27	7.21	6.42	5.01	3.72	2.65	2.34	4.85

❖ **Gisement Eolien**

Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Tableau IV- 27: Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Point05	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
sol rugueux nu	3.35	3.43	3.46	3.64	3.56	3.57	3.45	3.25	3.15	3.17	3.28	3.31	3.38

La vitesse de vent est inférieure de 4m/s alors l'éolien est improductive.

IV.5.6. Point06- ADRAR-Kabertène–

Tableau IV- 28: Les coordonnées de point ADRAR- Kabertène

ADRAR-Kabertène-Point 06		
Latitude	Longitude	L'altitude
28.452426	-0.085144	369 mètres

❖ **Gisement solaire**

- ✓ Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Tableau IV- 29: Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Point 06	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	3.68	4.74	5.90	6.84	7.32	7.70	7.45	6.96	5.86	4.59	3.83	3.32

- ✓ Paramètres pour le dimensionnement et le pointage des panneaux solaires :

Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Tableau IV- 30:Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Point 06	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	3.68	4.74	5.90	6.84	7.32	7.70	7.45	6.96	5.86	4.59	3.83	3.32	5.68

❖ Gisement Eolien

- ✓ Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Tableau IV-31:Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Point 06	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
Rough baresoil	4.05	3.99	4.33	4.23	4.18	3.97	4.36	4.35	4.17	3.77	3.88	3.96	4.11

La vitesse de vent est bonne alors l'éolien est productive.

IV.5.7. Point 07 Adrar- Timiaouine

Tableau IV- 32: Les coordonnées de point ADRAR- Timiaouine

ADRAR-Timiaouine-Point 07		
Latitude	Longitude	L'altitude
20.900226	1.663805	512 mètres

❖ Gisement solaire :

- ✓ Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Tableau IV- 33:Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m² / jour):

Point0 7	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	4.54	5.72	6.70	7.50	7.48	7.52	7.45	7.18	6.73	6.01	5.04	4.34

- ✓ Paramètres pour le dimensionnement et le pointage des panneaux solaires :

Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Tableau IV- 34: Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m² / jour)

Point 07	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	4.54	5.72	6.70	7.50	7.48	7.52	7.45	7.18	6.73	6.01	5.04	4.34	6.35

Gisement Eolien :

- ✓ Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Tableau IV- 35:Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Point 07	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
Rough baresoil	4.30	4.19	4.06	4.07	3.83	3.67	3.73	3.66	3.52	3.71	3.76	4.08	3.88

La vitesse annuel de vent n'est pas bonne alors l'éolien est improductive.

IV.5.8. Point 08 Adrar- Ain Belbel :

Tableau IV- 36:Les coordonnés de point ADRAR- Ain Belbel

ADRAR-Ain belbel-Point 08		
Latitude	Longitude	L'altitude
27.900303	1.166581	370 mètres

❖ Gisement solaire :

- ✓ Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m2 / jour):

Tableau IV- 37:Incident moyen d'insolation mensuelle sur une surface horizontale (kWh / m2 / jour):

Point0 8	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
22-year Average	3.91	4.95	5.97	6.52	7.12	7.25	7.39	6.73	5.74	4.87	3.94	3.58

- ✓ Paramètres pour le dimensionnement et le pointage des panneaux solaires :

Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m2 / jour)

Tableau IV- 38:Rayonnement normal moyen mensuel direct (kWh / m2 / jour)

Point 08	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	3.91	4.95	5.97	6.52	7.12	7.25	7.39	6.73	5.74	4.87	3.94	3.58	5.66

❖ Gisement Eolien :

- ✓ Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Tableau IV- 39: Vitesse moyenne mensuelle du vent pour (m / s) Hauteur 10 mètres

Point 08	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
Rough bare soil	4.00	3.97	4.31	4.16	4.06	3.86	4.35	4.47	4.19	3.78	3.88	3.99	4.09

La vitesse annuelle de vent est bonne alors l'éolien est productive.

IV.6. Conclusion

Les points mentionnés sont choisis pour couvrir plusieurs régions de telle sorte voir la capacité climatique de chaque point, sans oublier leur gisement soit solaire ou éolien.

Chapitre V

Exemple d'application d'alimentation
d'un village par un système hybride.

V.1. Introduction

Les données qui sont stipulés dans le chapitre précédant, et les points choisis pour mieux avoir les résultats issues de la cogénération des énergies, selon le gisement solaire ou éolien de lieu choisi.

Considérant la contrainte du manque des données réels de la charge électrique de chaque lieu mentionné dans le chapitre précédant ; nous allons généraliser une de deux des charges réels donné par SKTM.

Ce qu'on a abouti comme donnée réel est seulement les charges électriques de deux lieux Timiaouine et Ain Bebel ;

Ces deux dernières régions qui sont éloignées au réseau interconnecté et basant sur les données de chapitre précédant, on va par ordre de l'hybride comme suit :

- Timiaouine : système hybride Photovoltaïque– diesel avec stockage;
- Ain Belbel : système hybride Eolien-Photovoltaïque avec stockage.

V.2. Le logiciel d'optimisation

Le logiciel de micro-réseau HOMER Pro développé par ‘‘HOMER Energy’’ est le standard mondial pour l'optimisation de la conception de micro-réseaux dans tous les secteurs, depuis les réseaux électriques des villages et des îles jusqu'aux campus connectés au réseau et aux bases militaires. Homer Pro, ou HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Electric Renewables), simplifie la tâche d'évaluation des conceptions pour les réseaux électriques hors réseau et raccordés au réseau. Lorsque vous concevez un système électrique, vous devez prendre de nombreuses décisions concernant la configuration du système, par exemple :

- Quels sont les meilleurs composants pour ce système ?
- Combien et quelle taille de chaque composant sont les plus efficaces ?

Le grand nombre d'options technologiques, la variation des coûts et la disponibilité des ressources énergétiques rendent ces décisions difficiles à prendre. Les algorithmes d'optimisation et d'analyse de sensibilité de HOMER facilitent l'évaluation des nombreuses configurations possibles du système.

V.2.1. Utilisation de HOMER

Pour utiliser HOMER, vous sélectionnez et entrez les informations sous le bouton Design pour fournir au modèle les entrées, y compris les composants (par exemple, générateur, éolien et solaire), les coûts des composants et la disponibilité des ressources. Vous pouvez également ajouter de nouveaux composants, ressources et charges sous le bouton Bibliothèque.

Lorsque vous cliquez sur le bouton Calculer, HOMER utilise ces entrées pour simuler différentes configurations du système, ou combinaisons de composants, et génère des résultats que vous pouvez visualiser sous forme d'une liste de configurations réalisables triées par coût actuel net sous le bouton Résultats. HOMER affiche également les résultats de simulation dans une grande variété de tableaux et de graphiques qui vous aident à comparer les configurations et à les évaluer en fonction de leurs mérites économiques et techniques. Vous pouvez exporter les tableaux et les graphiques pour les utiliser dans des rapports et des présentations.

Vous pouvez également utiliser le modèle pour effectuer des analyses de sensibilité afin d'explorer les effets que les changements de facteurs, tels que la disponibilité des ressources et les conditions économiques, pourraient avoir sur la rentabilité des différentes configurations de systèmes. Pour effectuer une analyse de sensibilité, vous fournissez à HOMER des valeurs de sensibilité qui décrivent une gamme de ressources disponibles et les coûts des composants. HOMER simule chaque configuration du système en utilisant la plage de valeurs. Vous pouvez utiliser les résultats d'une analyse de sensibilité pour identifier les facteurs qui ont le plus grand impact sur la conception et l'exploitation d'un réseau électrique. Vous pouvez également utiliser les résultats de l'analyse de sensibilité HOMER pour répondre à des questions générales sur les options technologiques afin d'éclairer les décisions en matière de planification et de politiques.

V.2.2. Comment fonctionne HOMER

HOMER simule les systèmes énergétiques, montre les configurations de systèmes optimisées en fonction des coûts et fournit des analyses de sensibilité.

A- Simulation

HOMER simule le fonctionnement d'un système en effectuant des calculs de bilan énergétique à chaque pas de temps (intervalle) de l'année. Pour chaque pas de temps,

HOMER compare la demande électrique et thermique dans ce pas de temps à l'énergie que le système peut fournir dans ce pas de temps, et calcule le flux d'énergie à destination et en provenance de chaque composant du système. Pour les systèmes qui comprennent des batteries ou des générateurs alimentés au carburant, HOMER décide également à chaque étape du temps comment faire fonctionner les générateurs et si les batteries doivent être chargées ou déchargées.

HOMER effectue ces calculs de bilan énergétique pour chaque configuration de système que vous souhaitez prendre en compte. Il détermine ensuite si une configuration est faisable (c.-à-d. si elle peut répondre à la demande d'électricité dans les conditions que vous spécifiez) et estime le coût d'installation et d'exploitation du système pendant toute la durée de vie du projet. Les calculs des coûts du système tiennent compte des coûts tels que les immobilisations, le remplacement, l'exploitation et l'entretien, le carburant et les intérêts.

B- Optimisation

HOMER Pro dispose de deux algorithmes d'optimisation. L'algorithme de recherche de grille original simule toutes les configurations de système réalisables définies par l'espace de recherche. Le nouveau HOMER Optimizer utilise un algorithme breveté sans dérivés pour rechercher le système le moins coûteux. HOMER affiche ensuite une liste de configurations, triées par coût net actuel (parfois appelé coût du cycle de vie), que vous pouvez utiliser pour comparer les options de conception du système.

C- Analyse de sensibilité

Lorsque vous définissez des variables de sensibilité comme entrées, HOMER répète le processus d'optimisation pour chaque variable de sensibilité que vous spécifiez. Par exemple, si vous définissez la vitesse du vent comme variable de sensibilité, HOMER simule les configurations du système pour la plage de vitesses du vent que vous spécifiez.

V.3. Etude de Cas

Les résultats qui seront obtenus par la simulation de chaque cas séparément, vont indiquer la meilleure cogénération.

V.3.1. Timiaouine : système hybride Photovoltaïque– diesel avec stockage

V.3.1.1 Présentation de lieu- Timiaouine

TableauV-1 : Les coordonnées de point ADRAR- Timiaouine en DMS

ADRAR-Timiaouine		
Latitude	Longitude	L'altitude

20°54'0.8136"N	1°39'49.698"E	512 mètres
----------------	---------------	-------------------

Timiaouine est une commune de la wilaya d'Adrar, située à l'extrême sud de l'Algérie dans le Sahara algérien, à l'est du désert du Tanezrouft et à proximité de la frontière malienne. Timimoune a une superficie de 12 553 km² habité par 4 493 habitants selon le recensement de 2008.

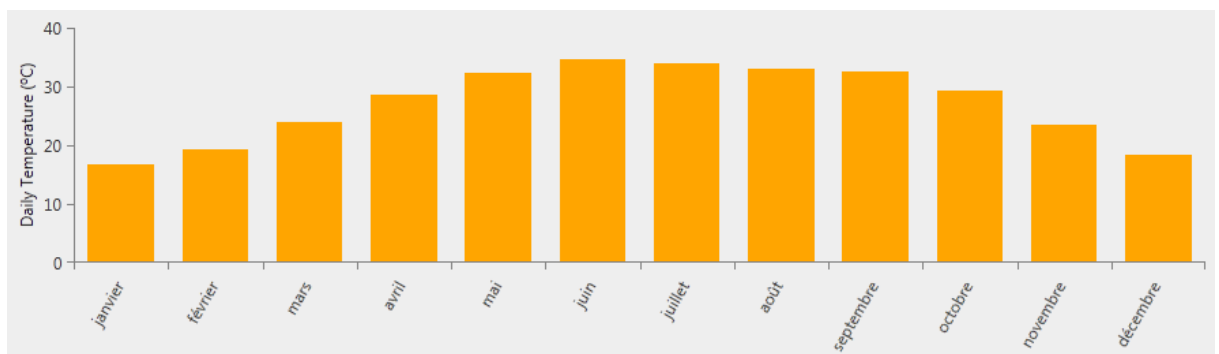
Au premier pas on doit l'introduire le lieu à étudier comme la figure V.1 présente



Fig V.1 l'insertion de Timiaouine au Logiciel Homer Pro

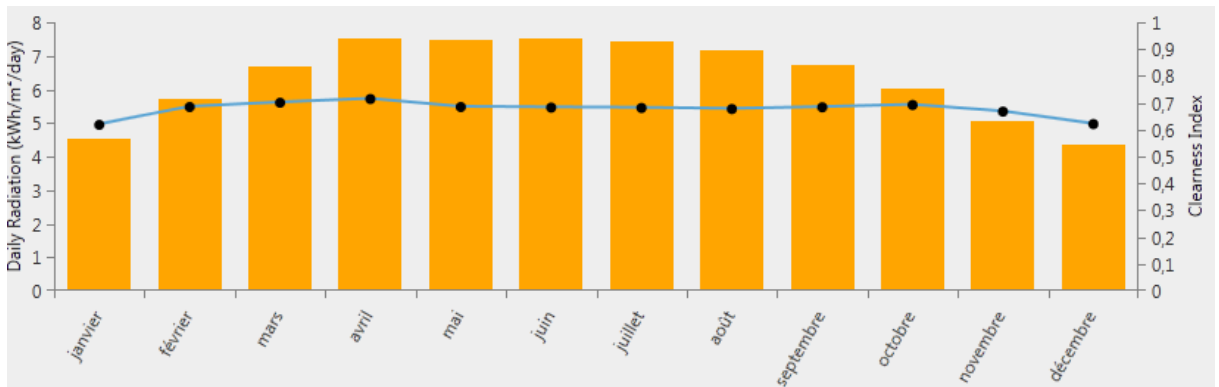
V.3.1.2. Données météorologique de Timiaouine

Après l'insertion des coordonnées de lieu au Homer Pro, qui nous a donné la possibilité à télécharger les données climatiques telles que L'éclairement et la température qui sont présentés au-dessous FigV.2 et figV.3



FigV.2 Température mensuelle moyenne- Timiaouine.

Cette figure montre le moyen de la température de cette région(Timiaouine) selon la base de données de NASA de 22 années (1983-2005)

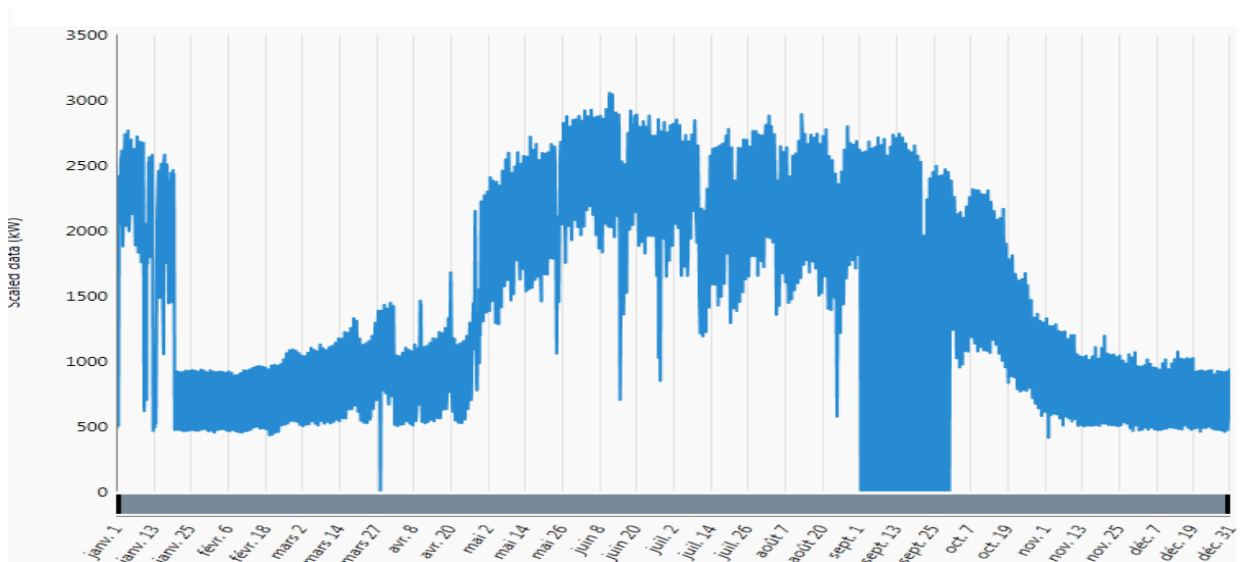


FigV.3L'éclairciment globale mensuelle moyenne- Timiaouine

D'après cette figure on constate que l'irradiation globale est minimum au mois de janvier par une valeur de 4.540 KW/m²/jour ; pour le mois de décembre 4.350KW/m²/jour avec un pic de 7.50KW/m²/jour et un moyen annuel 6.35 4.350KW/m²/jour.

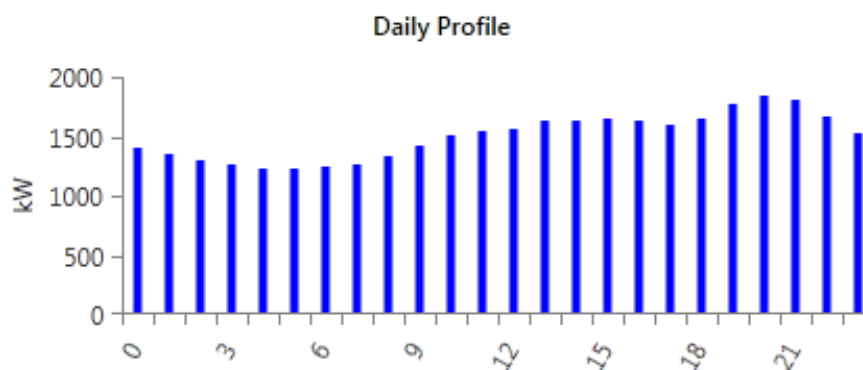
V.3.1.3. Profil de charge de Timiaouine

Les profils ci-après sont successivement profil saisonnière (voir figV.4) et le profil de mois du janvier pour avoir une idée sur le mois qui normalement la charge comme il est connu soit raisonnable voir FigV.5



FigV.4 Profil de charge saisonnière

Le profil de charge présente de la variation dû à la consommation non régulière suite au besoin de la population de la région par exemple on voit une crête au premier janvier puis a la tendance de se baisser progressivement, aussi on constate un pic au mois de juin faite au climat chaude qui oblige les habitants d'utiliser des climatiseurs, mais on remarque une consommation très basse au mois de septembre d'une période de 01 septembre jusqu'au 26 septembre.



FigV.5 Profil de charge de mois de janvier

Ce profil révèle que la charge oscille entre 1398.26KW au 1836.24 Kw

V.3.1.4. Caractéristiques technique des composants utilisés

A- Module solaire

Dans notre étude on utilise les modules photovoltaïques fabriqués par la société Huawei sun 2000 30KW.

La position des modules photovoltaïques par rapport au soleil influe directement sur leur production énergétique. Il est très important de bien les placer pour les utiliser au maximum de leurs possibilités. Deux paramètres définissent la position des modules photovoltaïques :

- l'orientation (azimut): le point cardinal vers lequel est tourné la face active du module (Sud, Nord, Sud-Ouest...);

- l'inclinaison : l'angle que fait le module avec le plan horizontal.

B- Onduleur

On a choisi l'onduleur centrale ABB gamme PVS800-500kW. Les caractéristiques de ces onduleurs.

C- Groupe électrogène

Les groupes électrogènes utilisés dans notre travail sont des groupes diesel ; trois sont Cat-C32 d'une puissance de 910 KW et un 500KwGen de puissance 500 KW.

D- Système de stockage

Les batteries proposer dans la configuration qui figuré dans la figure FigV.7 est de marque Generic 1MWH Li-Ion

V.3.1.5. Configuration

Pour satisfaire la charge annuelle moyenne qui vaut 34351.25 KWH/jour nous suggérons la configuration stipulée dans la figV.6

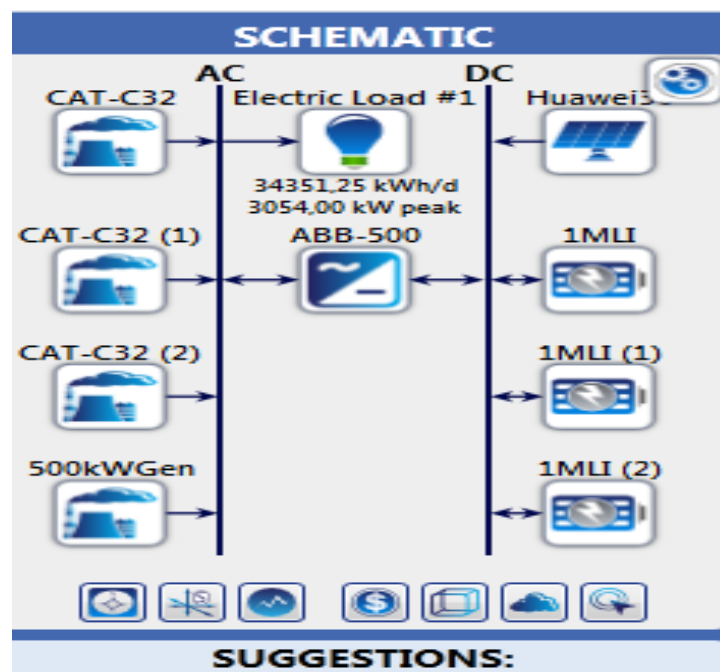


Fig V.6 configuration suggéré pour Timiaouine

V.3.1.6. Résultat obtenu par Homer Pro (Timiaouine)

Après la configuration supposée sur l'icône design de logiciel comme l'indique au-dessus,

Le software nous a donné :

A. 1640 solutions simulé qui sont classé comme suit :

- 370 solutions faisables ;
- 1270 solutions non faisables.

B. 716 solutions ont été omises :

- 210 faute de convertisseurs ;
- 234 due de convertisseur inutile ;
- 24 aucune source de production d'électricité.

C. Solution optimum :

Avec une seul solution optimum suggérée par le logiciel tel que :

- Trois groupes électrogènes CAT-C32 de 910KW ;
- Un groupe électrogène 500KwGen de 500KW ;
- Système photovoltaïque de type Huawei 30KW ;
- Convertisseur ABB-500 de 500Kw.

Pour mieux détail voir l'annexe A.

V.3.2. Ain Belbel : système hybride Photovoltaïque-Eolien avec stockage

V.3.2.1. Présentation de lieu-Ain Belbel

Tableau-2 : Les coordonnées de point ADRAR- Ain Belbel en DMS

ADRAR-Ain Belebl		
Latitude	Longitude	L'altitude
27°54'1.0908"N	1°9'59.6916"E	370 mètres

Le village d'Aïn Belbel est situé à 395 km à l'Est d'Adrar sur le plateau de Tademaït dont 120 km de piste. Il est caractérisé par deux parties suivant le type de construction.

- Caractéristiques techniques du village
 - Infrastructures
 - Une école de 04 classes
 - Une cantine

- Un dispensaire médical
- 130 logements (dont 95% en toube)
- Une mosquée avec ventilation
- Ressources hydrauliques et agricoles

Vu que le système d'irrigation traditionnelle (fougara) ne fournit pas suffisamment l'eau, la principale ressource hydraulique provient d'un forage ayant une profondeur de 120 m. Les habitants du village pratique une culture de subsistance dans la palmeraie pour assurer un semblant d'autosuffisance alimentaire.

La figure V.8 présente la localité de la région Ain Belbel la carte au Homer

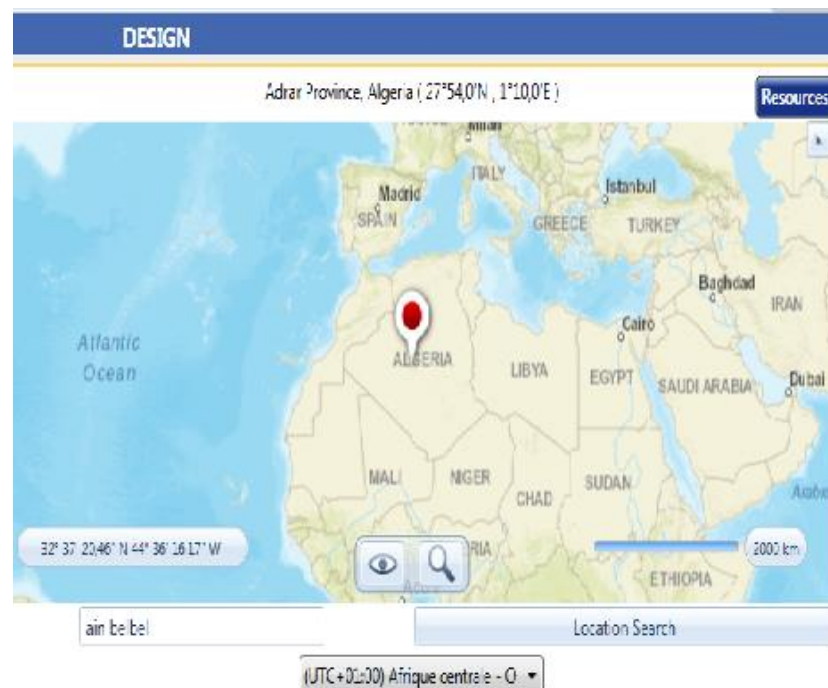


Fig V.7 localisation d'Ain Belbel au Logiciel Homer Pro

V.3.2.2. Données météorologique

Après l'insertion des coordonnées de lieu au Homer Pro, qui nous a donné la possibilité à télécharger les données climatiques telles que L'éclairement

Et la température qui sont présentés au-dessous FigV.8 et figV.9

1) Température

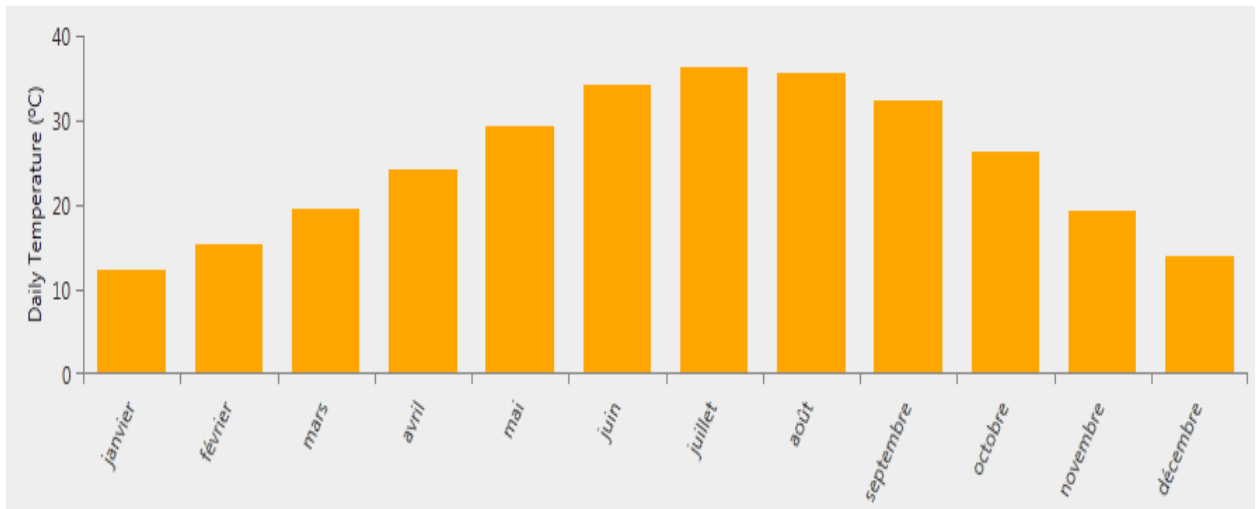
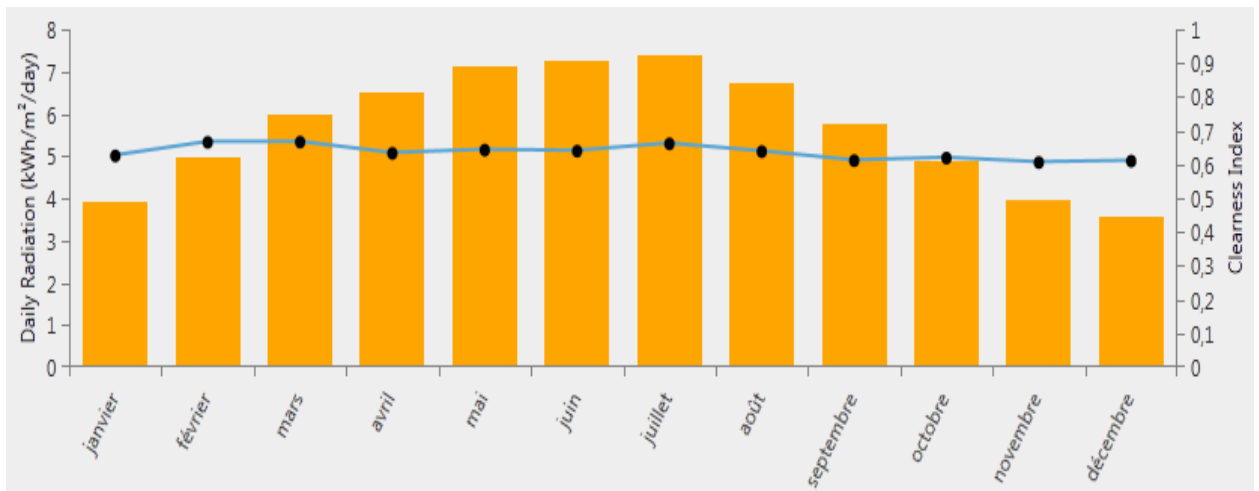


Fig V.8 Température mensuelle moyenne- Ain belbel

Cette figure montre le moyen de la température de cette région (Ain Belbel) selon la base de données de NASA de 22 années (1983-2005).

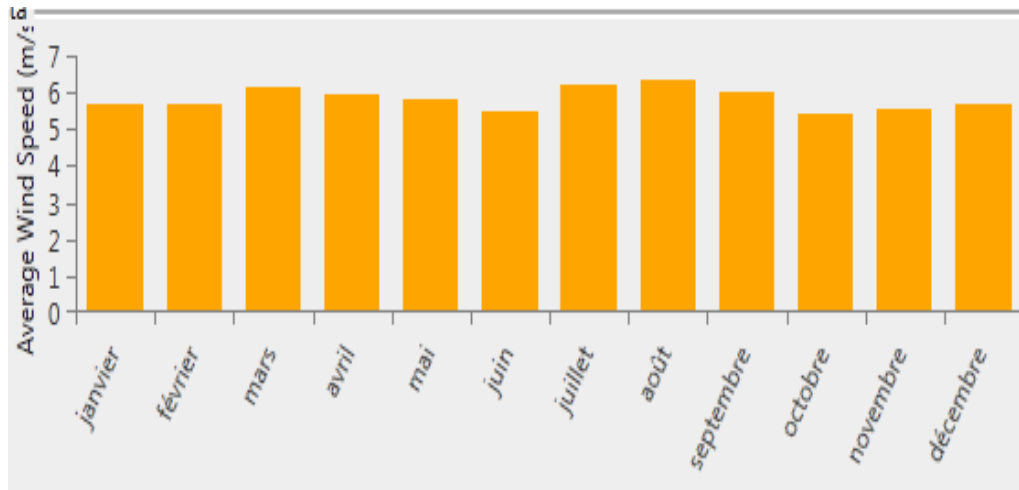
2) Eclairage mensuelle:



FigV.9 L'éclairage globale mensuelle moyenne- Ain Belbel

D'après cette figure on constate que l'irradiation globale est minimum au mois de janvier par une valeur de 3.91 KW/m²/jour ; pour le mois de décembre 3.58KW/m²/jour avec un pic de 7.39KW/m²/jour au mois de juillet et un moyen annuel 5.66KW/m²/jour.

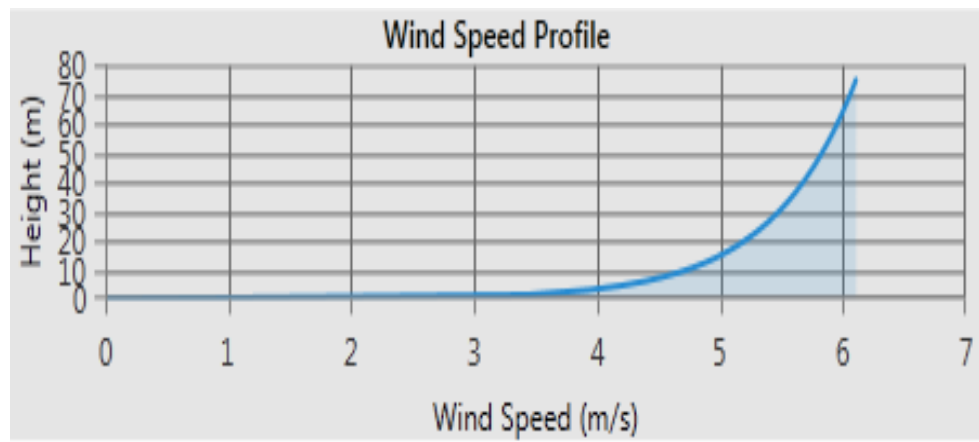
3) Vitesse de vent



FigV.10 Vitesse de vent –Ain Belbel

On ne constate que la vitesse de vent oscillé entre 5.4 m/s au mois d'octobre et 6.37 m/s au mois d'août ce que donne une bonne signification autour l'idée d'utiliser l'éolien avec une bonne productivité.

4) Profil de vitesse de vent

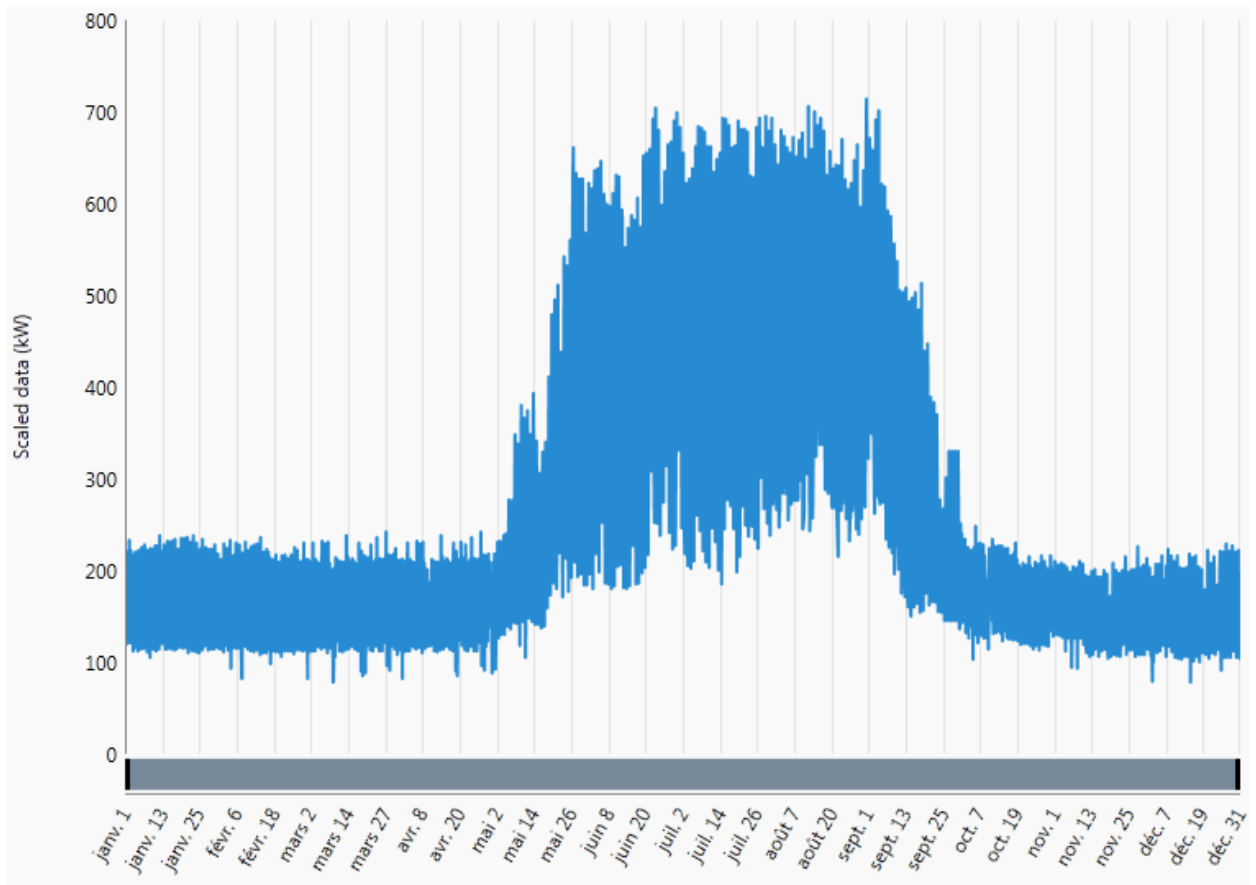


FigV.11 Profil de vitesse de vent –Ain Belbel

Ce profil comme il est illustré dans la figure Fig V.11 ; présent la variation de vitesse de vent selon l'altitude ce qui donne une idée que la vitesse est en fonction de la hauteur ; alors on remarque que la vitesse reste stable qu'après le changement de la hauteur.

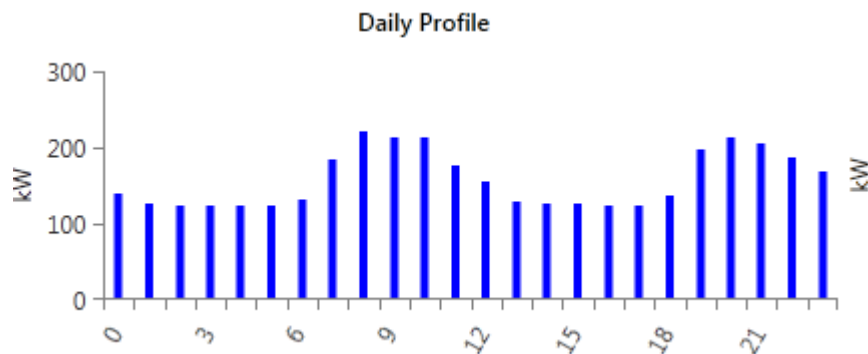
V.3.2.3. Profil de charge d'Ain Bebel

Les profils ci-après sont successivement profil saisonnière (voir figV.12) et le profil de mois du janvier ce qui est ressemblé le pic de la charge voir FigV.14



FigV.12 Profil de charge saisonnière d'Ain Bebel

Ce profil de charge représente la consommation réelle de la ville d'Ain Bebel qui a été tenue chaque demi-heure pendant l'année 2017. Après l'insertion de données de mois janvier jusqu'à le mois de décembre, mois par mois au logiciel nous avons obtenu le graphe de la figV.12 ce dernier montre l'oscillation de la charge dans une bande de 100KW-230 KW jusqu'à le 14 mai, puis on voit un pic de 714 kw au mois de juin.



FigV.13 Profil de charge de mois de janvier d'Ain Belbel

Ce profil révèle que la charge de mois janvier oscillé entre 123.2 KW au 220.5 Kw

V.3.2.4. Caractéristiques technique de composants utilisés

Les composants qui sont utilisés pour objet de couvrir la charge ; mais cette fois-ci on utilise seulement l'énergie renouvelable, le nombre des composants mentionnés au-dessous est sous la peine d'aboutir à la charge dans le respect de nombre permis auprès du logiciel.

A- Module solaire

Dans notre étude on utilise les modules photovoltaïques comme suit :

- Quatre générateurs PV de puissance de 33KW de marque ABB pro 33 with generic PV ;
- Un générateur PV de puissance 30 KW de marque Huawei sun 2000 ;
- Deux générateurs de puissance 315 KW de marque ABB PV800-315 with generic ;
- Un générateur de puissance 615KW de marque Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV.

Les puissances susvisées seront obtenues dans les conditions de 1000 Wc d'irradiation et 25°C.

B - Aérogénérateur

Les aérogénérateurs qui sont proposés de notre cas sont deux de différente capacité dans le terme d'avoir la puissance désiré ; les deux sont comme suit :

- a) Aérogénérateur de puissance de 1MW de marque Enercon E-82 E4 [3MW] la figure FigV.14 présente la variation de la puissance de cet aérogénérateur par rapport à la vitesse de vent suivi par le tableau V.3

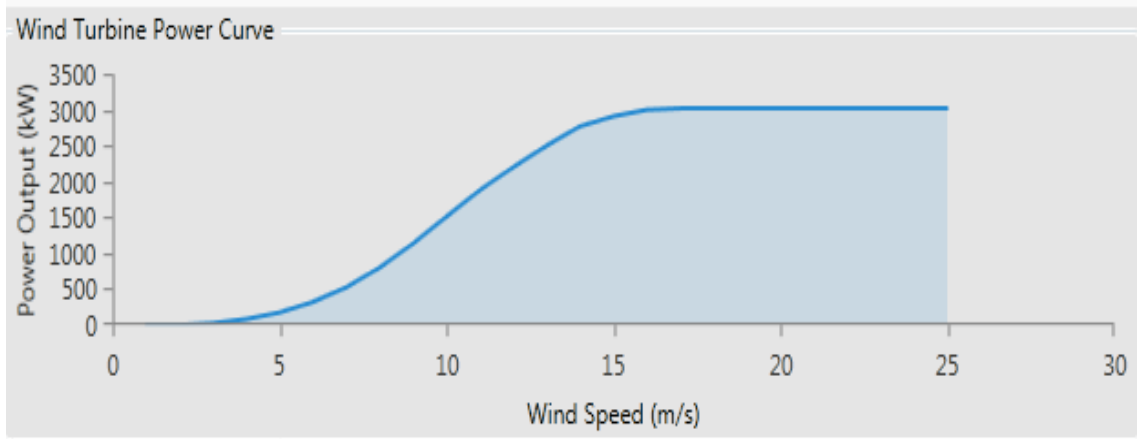


Fig V.14 puissance en fonction de vitesse de vent - Enercon E-82 E4 [3MW]-

La courbe montre que la puissance est en fonction de vitesse de vent, on trouve qu'à partir de vitesse de 9 m/s qu'on peut aboutir la puissance nominale de l'aérogénérateur le tableau ci-après bien expliquer cette variation ;

Tableau V.3 variation de puissance en fonction de vitesse de vent [Enercon E-82 E4 [3MW]]

Aérogénérateur Enercon E-82 E4 [3MW]	
Vitesse de vent en m/s	La puissance en KW
1	0
2	0
3	25
4	84
5	174
6	321
7	525
8	800
9	1135

b) Aérogénérateur de puissance de 7.5MW de marque Enercon E-126 [7.5MW] ; la figure Fig V.15 donne une idée sur la capacité en fonction de la vitesse de vent.

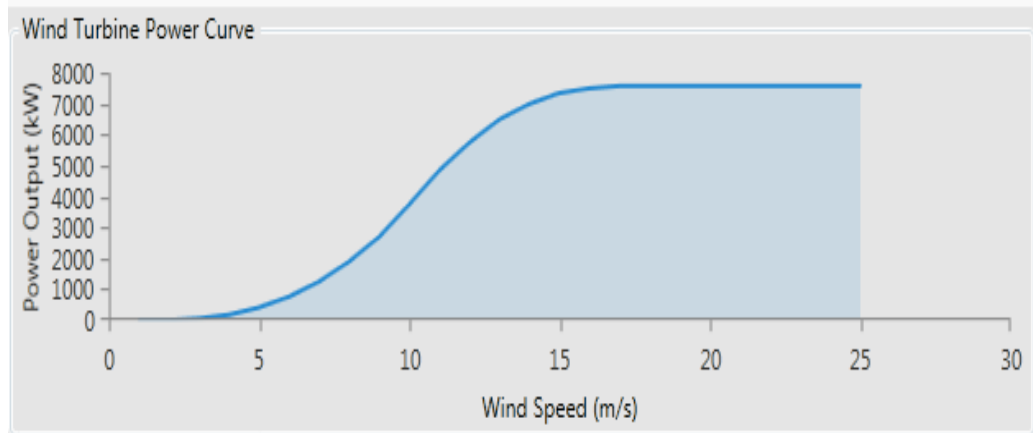


Fig V.15 courbe puissance-vent Enercon E-126 [7.5MW]

Le graphe montre qu'après la vitesse de 6 m/s qu'on a obtenu la puissance de 760KW comme l'indique le tableau suivant

Tableau V.4 variation de puissance en fonction de vitesse de vent [Enercon E-126 [7.5MW]]

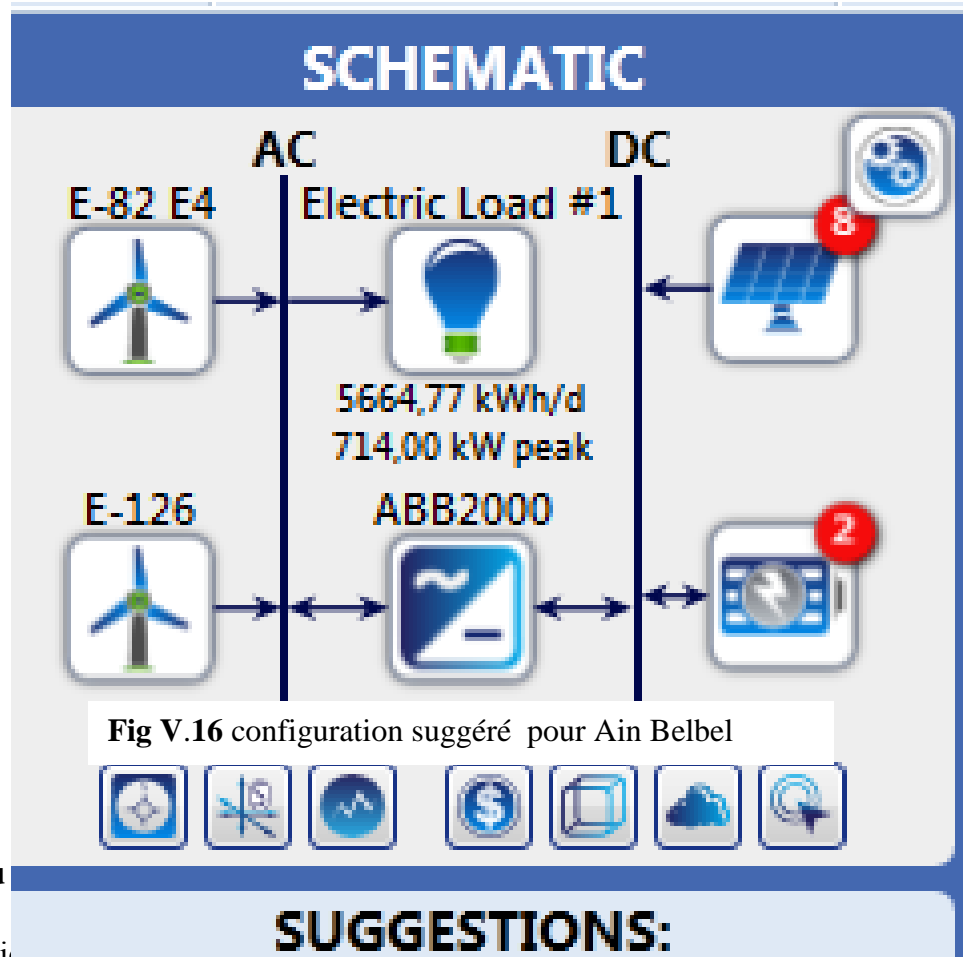
Aérogénérateur Enercon E-126 [7.5MW]	
Vitesse de vent en m/s	La puissance en KW
1	0
2	0
3	55
4	175
5	410
6	760
7	1250
8	1900
9	2700

C - Système de stockage

Les batteries proposer dans la configuration sont deux batteries sont figurés dans la figure FigV.18 est de marque Generic 1MWH Li-Ion.

V.3.2.5. Configuration de système proposé à Ain BELBEL

Pour satisfaire la charge annuelle moyenne qui vaut 5664.77 KWH/jour ; nous suggérons la configuration stipulée dans la figV.16



V.3.2.6. Résultat obtenu

Après la configuration

Le software nous a donné :

- a) 56780 solutions simulé qui sont classé comme suit :
 - 24216 solutions faisables ;
 - 32564 solutions non faisables.
- b) 12312 solutions ont été omises :
 - 4602 faute de convertisseurs ;
 - 30 due de convertisseur inutile ;
 - 1542 aucune source de production d'électricité.
- c) Solution optimum :

Avec une seule solution optimum suggérée par le logiciel tel que :

- Aérogénérateurs en l'occurrence Enercon E-82 E4 [3MW] et Enercon E-126 [7.5MW];
- Cinq générateurs photovoltaïques sont :
 - ✓ Trois générateurs PV de puissance de 33KW de marque ABB pro 33 with generic PV ;
 - ✓ un générateur de puissance 315 KW de marque ABB PV800-315 with generic ;
 - ✓ Un générateur de puissance 615KW de marque Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV.
- Convertisseur ABB-500 de 500Kw.

Pour mieux détail voir l'annexe B.

V.5. Conclusion

On remarque que le logiciel a donné la meilleure solution de chaque configuration proposée, selon la charge et les gisements.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'étude faite de façon d'avoir la possibilité d'hybrider de différentes énergies basant toujours quelque soit la cogénération sur l'existence de l'énergie renouvelable,

Nous voulons de dire qu'on a trouvé des contraintes pour avoir les données réelles de la charge électrique qui est la clé principale dans les études de faisabilité, donc cette contrainte nous limite par l'étude de deux régions en l'occurrence Timiaouine et Ain Belbel .

Après le choix de configuration appropriée de chaque lieu, comme il est présenté dans le chapitre V on remarque que si la charge est très grande il est préférable de fonctionner avec une source conventionnelle, par ce que lors d'insertion des données sur le logiciel Homer on a constaté qu'il limite la possibilité d'introduire les générateurs photovoltaïques ainsi que les batteries et le nombre d'aérogénérateur.

Donc la solution optimale selon le lieu est comme suit :

- Timiaouine : d'après le logiciel homer pro qui a fait 2356 opérations pour une seule solution optimale ; le suivant :
 - Trois groupes électrogènes CAT-C32 de 910KW ;
 - Un groupe électrogène 500KwGen de 500KW ;
 - Système photovoltaïque de type Huawei 30KW ;
 - Convertisseur ABB-500 de 500Kw.
- Ain Belbel : selon homer pro qui a fait 69092 opérations pour une seule solution optimale ; le suivant :
 - Aérogénérateurs en l'occurrence Enercon E-82 E4 [3MW] et Enercon E-126 [7.5MW];
 - Cinq générateurs photovoltaïques sont :
 - ✓ Trois générateurs PV de puissance de 33KW de marque ABB pro 33 with generic PV ;
 - ✓ un générateur de puissance 315 KW de marque ABB PV800-315 with generic ;
 - ✓ Un générateur de puissance 615KW de marque Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV.
 - Convertisseur ABB-500 de 500Kw.

Bibliographie

- [1] L. Leclercq, "Apport du stockage inertiel associé à des éoliennes dans un réseau électrique en vue d'assurer des services systèmes", thèse de doctorat, École centrale de Lille.
- [2] L'abe des technologies de l'énergie renouvelable, septembre 2003, www.pollutionprobe.org
- [3] [Commande d'électro-mécanismes et systèmes couplés (CEMASYC) «Représentation Énergétique Macroscopique (R.E.M.)>>, Laboratoire d'Électrotechnique et d'Électronique de Puissance de Lille.
- [4] R. Bernard & al, 1980 : Le rayonnement solaire conversion thermique et applications ; Technique et documentation La voisier , 2ème édition 1980.
- [5] X. Guillard, "Formalismes Graphiques de Modélisation et de Commande de Systèmes électromécaniques" École d'été, "Commande d'un système Éolien", mai 2004.
- [6] R. W. Wies and A. N. Agrawal, "Modeling and Optimization of Hybrid Electric Power Systems for Remote Locations in Extreme Climates" Proceedings of the 2003 IASTED International Conference on Power and Energy Systems, paper 379- 190, Page(s) : 241-246, 2003.
- [7] L. Lecercq, B. Robyns, et IM. Grave, "Control based on fuzzy logic of a flywheel energy storage system associated with wind and diesel generators" , IMACS. Published by Elsevier B.V, 2003.
- [8] A Betka « optimisation d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil » thèse de magister université de Biskra ,1997.
- [9] A Rachedi « optimisations d'une Installations photovoltaïque par la conception .assistées par ordinateur CAO » thèse de magister université de Tlemcen ,2001.
- [10] F Benyarou « conception assistée par ordinateur des système photovoltaïque modélisation, dimensionnement et simulation » thèse de doctorat Université de Tlemcen 2004.
- [11] Ibrahim A & al., 2009 : Hybrid photovoltaic thermal (PV/T) air and water based solar collectors suitable for building integrated applications. American Journal of Environmental Sciences;5:618–24.
- [12] R. Maouedj1, S. Bousalem2 et B. Benyoucef2 : Optimisation d'un système de pompage éolien Application aux sites sahariens Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°2 (2008) 239 – 250 239 Juin 2008).
- [13] Gérard MOINE , “ L'électrification solaire photovoltaïque”, ouvrage, 2016
- [14] K Tahri « exploitation informatisée de l'énergie d'un générateur photovoltaïque appliquée aux sites de Tlemcen et Bouzaréah » thèse de magister université de Tlemcen ,2006.
- [15] S .Bouazza, H .Bouchnafa , « Estimation des énergies incidentes et fournie par module photovoltaïque »Mémoire de DES ,université de Tlemcen ,2001.

Bibliographie

- [16] Ould Mohamed Yahya, A. Ould Mahmoudet I. Youm «Modélisation d'un système de stockage intégré dans un système hybride (PV / Eolien / Diesel) Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2 (2007) 205 – 214.
- [17] M. Wolf, 1976: Performance analyses of combined heating and photovoltaic power systems for residences, Energy Conversion, vol. 16, no 1-2, pp. 79-90.
- [18] A.D. Hansen. P. Sorensen, L. H. Hansen, H. Bindner; «Models for Stand-Alone PV System»,Riso-R- 121 9(EN)/SEC-R- 12, 2000.
- [19] A.K. BHARGAVA & al, 1991 : Study of a hybrid solar system-solar air heater combined with solar cells, Energy Convers. Mgmt 31, 471-479.
- [20] P.Raghuraman, 1981 : Analytical predictions of liquid and air photovoltaic/thermal, flatplat collector performance. Journal Solar Energy Engineering, vol.103, no 2, pp. 291-298.
- [21] <https://abbassa.wordpress.com/lat-long/>
- [22] Source:chiffresclésdeSonelgazpour l'année2015
- [23] Unifrance et les Missions Economiques, « Les énergies renouvelables en Algérie », fiche de synthèse, actualisation du 14 juillet 2010.
- [24] <https://www.cder.dz/spip.php?article1442>
- [25] <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>
- [26] <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>

Annexes



System Simulation Report

Annexe A

www.homerenergy.com

File: T homer.homer

Author:

Location: Unnamed Road, Timiaouine, Algeria (20°53,7'N,

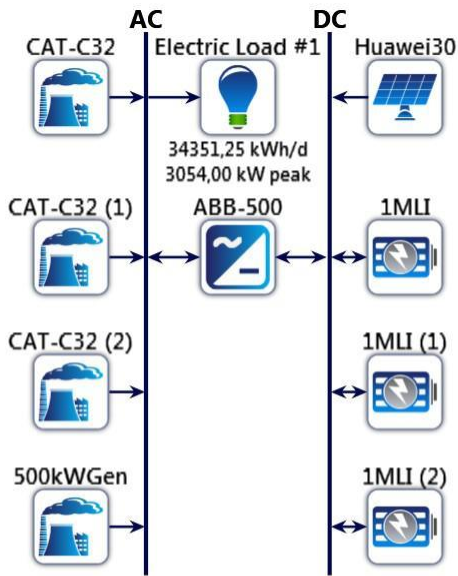
1°40,6'E) **Total Net Present Cost:** 39 952 940,00 € **Levelized**

Cost of Energy (€/kWh): 0,246 € **Notes:**

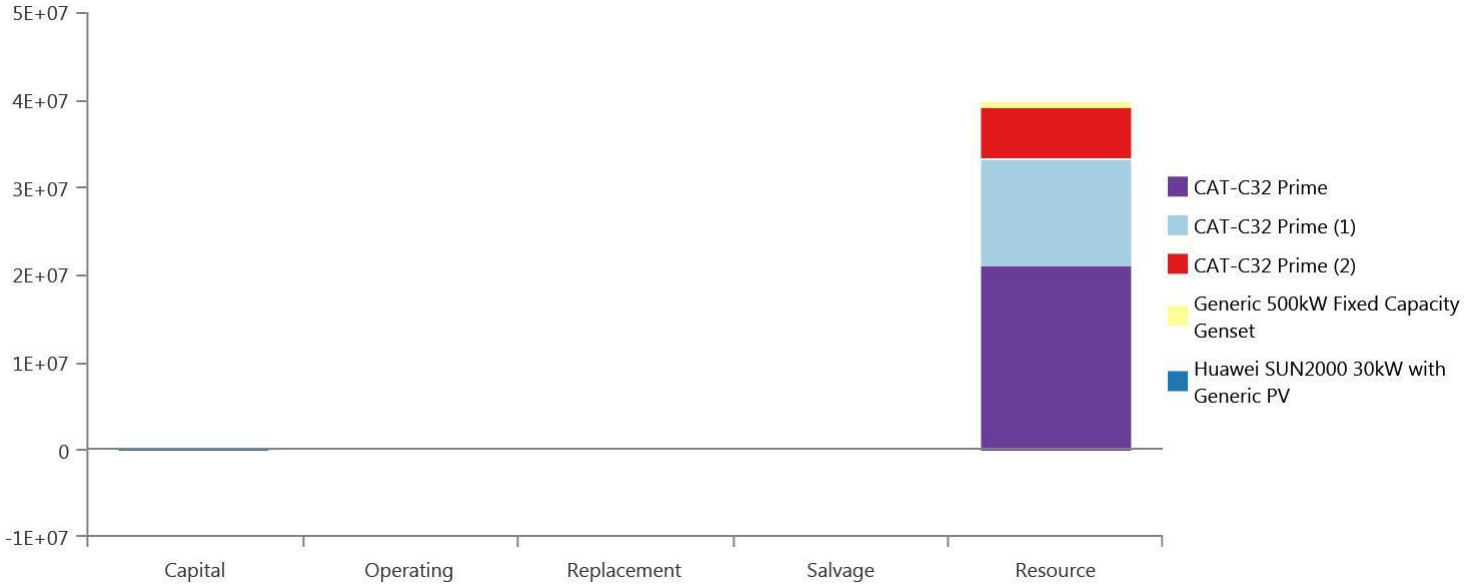
System Architecture

Component	Name	Size	Unit
Generator #1	CAT-C32 Prime	910	kW
Generator #2	CAT-C32 Prime (1)	910	kW
Generator #3	CAT-C32 Prime (2)	910	kW
Generator #4	Generic 500kW Fixed Capacity Genset	500	kW
PV	Huawei SUN2000 30kW with Generic PV	30,0	kW
System converter	ABB PVS800-500kW	500	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

Schematic



Cost Summary



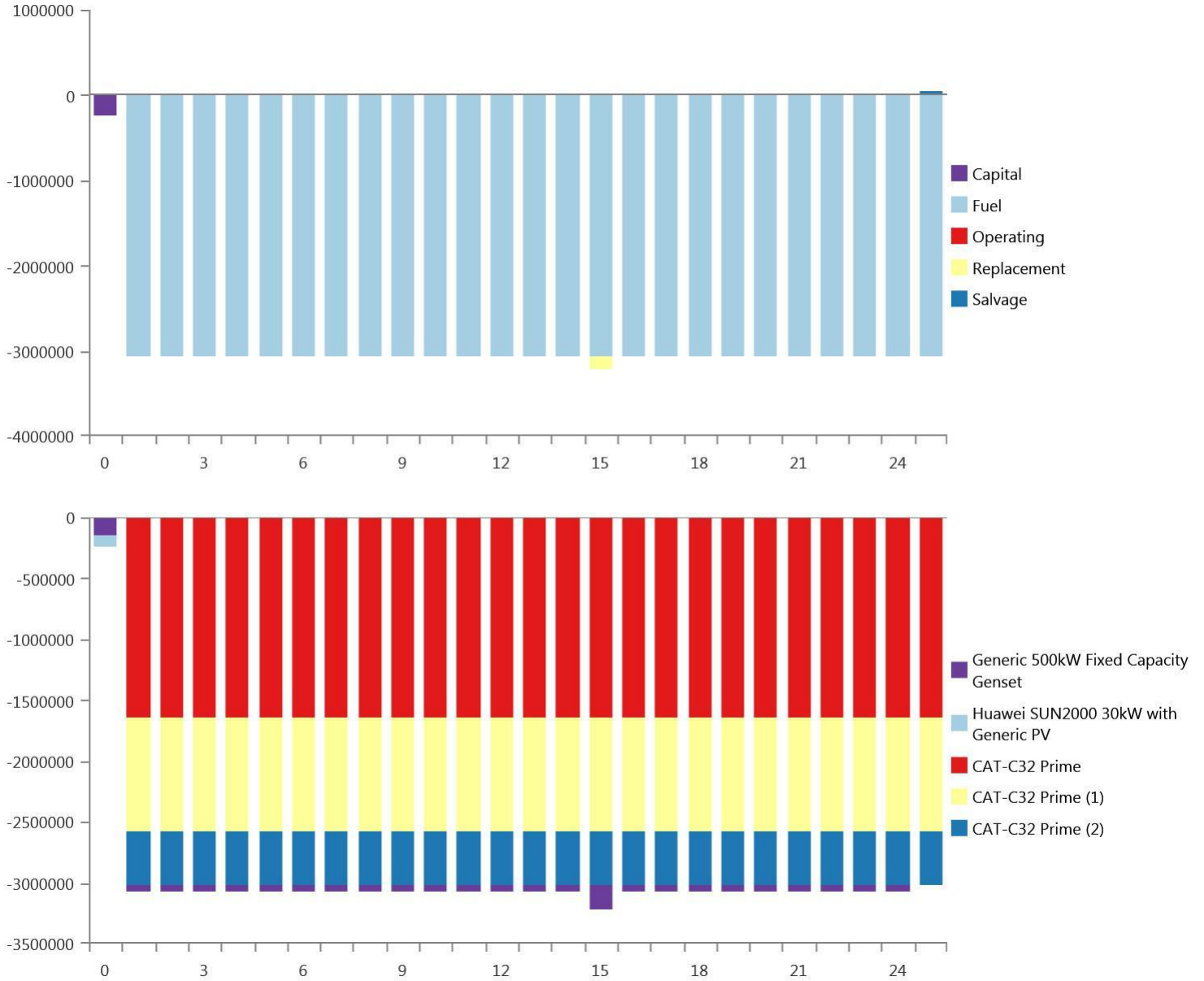
Net Present Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
CAT-C32 Prime	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	21,2 €M	21,2 €M
CAT-C32 Prime (1)	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	12,2 €M	12,2 €M
CAT-C32 Prime (2)	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	5,72 €M	5,72 €M
Generic 500kW Fixed Capacity Genset	150 000 €	66 706 €	65 356 €	-10 061 €	504 594 €	776 594 €
Huawei SUN2000 30kW with Generic PV	89 925 €	3 875 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	93 800 €
System	239 925 €	70 581 €	65 356 €	-10 061 €	39,6 €M	40,0 €M

Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
CAT-C32 Prime	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	1,64 €M	1,64 €M
CAT-C32 Prime (1)	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	942 958 €	942 958 €
CAT-C32 Prime (2)	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	442 801 €	442 801 €
Generic 500kW Fixed Capacity Genset	11 603 €	5 160 €	5 056 €	-778,30 €	39 033 €	60 073 €
Huawei SUN2000 30kW with Generic PV System	6 956 €	299,75 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	7 256 €
System	18 559 €	5 460 €	5 056 €	-778,30 €	3,06 €M	3,09 €M

Cash Flow



Electrical Summary

Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	0	kWh/yr
Unmet Electric Load	0	kWh/yr
Capacity Shortage	460	kWh/yr

Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
Huawei SUN2000 30kW with Generic PV	62 675	0,500
CAT-C32 Prime	6 786 463	54,1
CAT-C32 Prime (1)	3 853 133	30,7
CAT-C32 Prime (2)	1 706 701	13,6
Generic 500kW Fixed Capacity Genset	130 363	1,04
Total	12 539 334	100

Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	12 538 206	100
DC Primary Load	0	0
Total	12 538 206	100

Generator: CAT-C32 Prime (Diesel)

CAT-C32 Prime Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Electrical Production	6 786 463	kWh/yr
Mean Electrical Output	775	kW
Minimum Electrical Output	394	kW
Maximum Electrical Output	910	kW

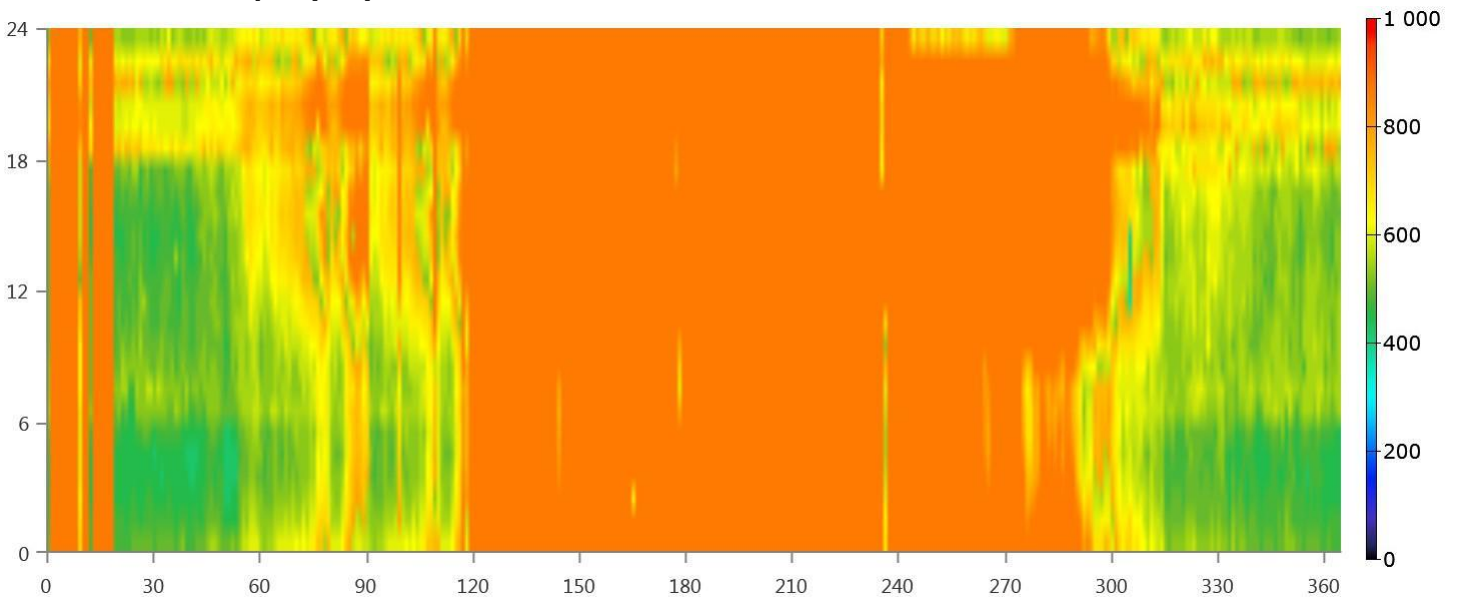
CAT-C32 Prime Fuel Summary

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	1 637 447	L
Specific Fuel Consumption	0,241	L/kWh
Fuel Energy Input	16 112 476	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	42,1	%

CAT-C32 Prime Statistics

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	8 760	hrs/yr
Number of Starts	1,00	starts/yr
Operational Life	10,3	yr
Capacity Factor	85,1	%
Fixed Generation Cost	21,1	€/hr
Marginal Generation Cost	0,214	€/kWh

CAT-C32 Prime Output (kW)



Generator: CAT-C32 Prime (1) (Diesel)

CAT-C32 Prime (1) Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Electrical Production	3 853 133	kWh/yr
Mean Electrical Output	688	kW
Minimum Electrical Output	273	kW
Maximum Electrical Output	910	kW

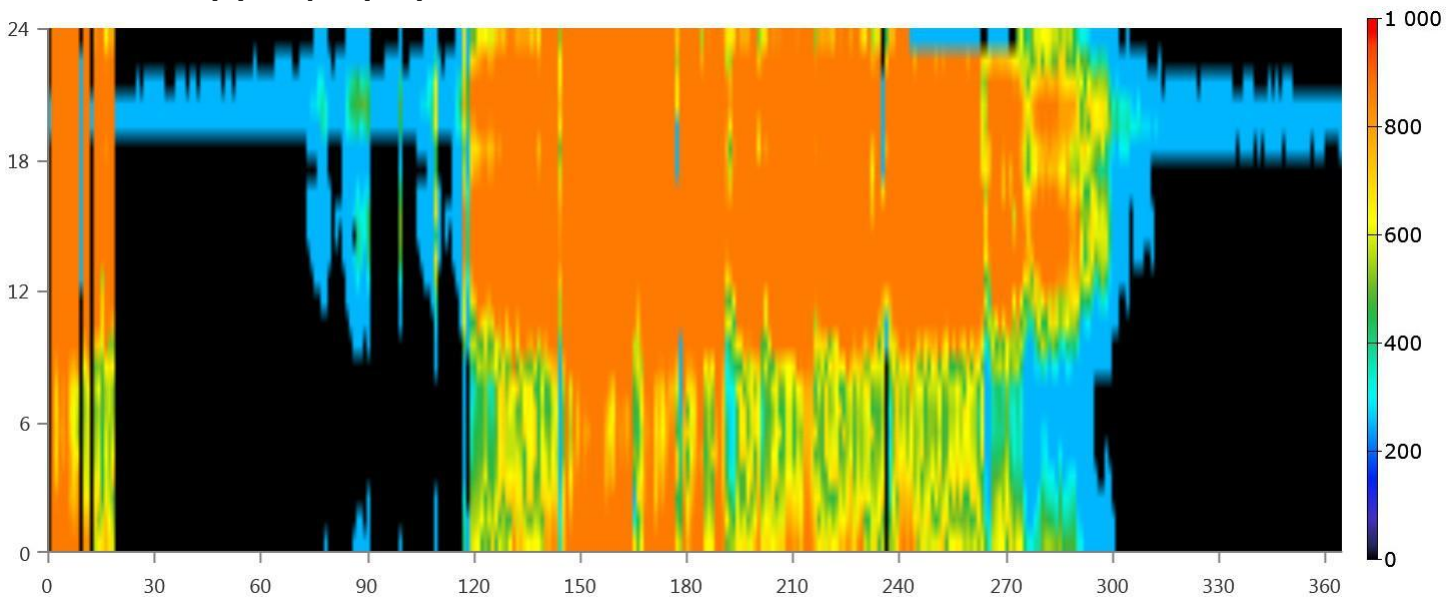
CAT-C32 Prime (1) Fuel Summary

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	942 958	L
Specific Fuel Consumption	0,245	L/kWh
Fuel Energy Input	9 278 707	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	41,5	%

CAT-C32 Prime (1) Statistics

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	5 604	hrs/yr
Number of Starts	195	starts/yr
Operational Life	16,1	yr
Capacity Factor	48,3	%
Fixed Generation Cost	21,1	€/hr
Marginal Generation Cost	0,214	€/kWh

CAT-C32 Prime (1) Output (kW)



Generator: CAT-C32 Prime (2) (Diesel)

CAT-C32 Prime (2) Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Electrical Production	1 706 701	kWh/yr
Mean Electrical Output	464	kW
Minimum Electrical Output	273	kW
Maximum Electrical Output	910	kW

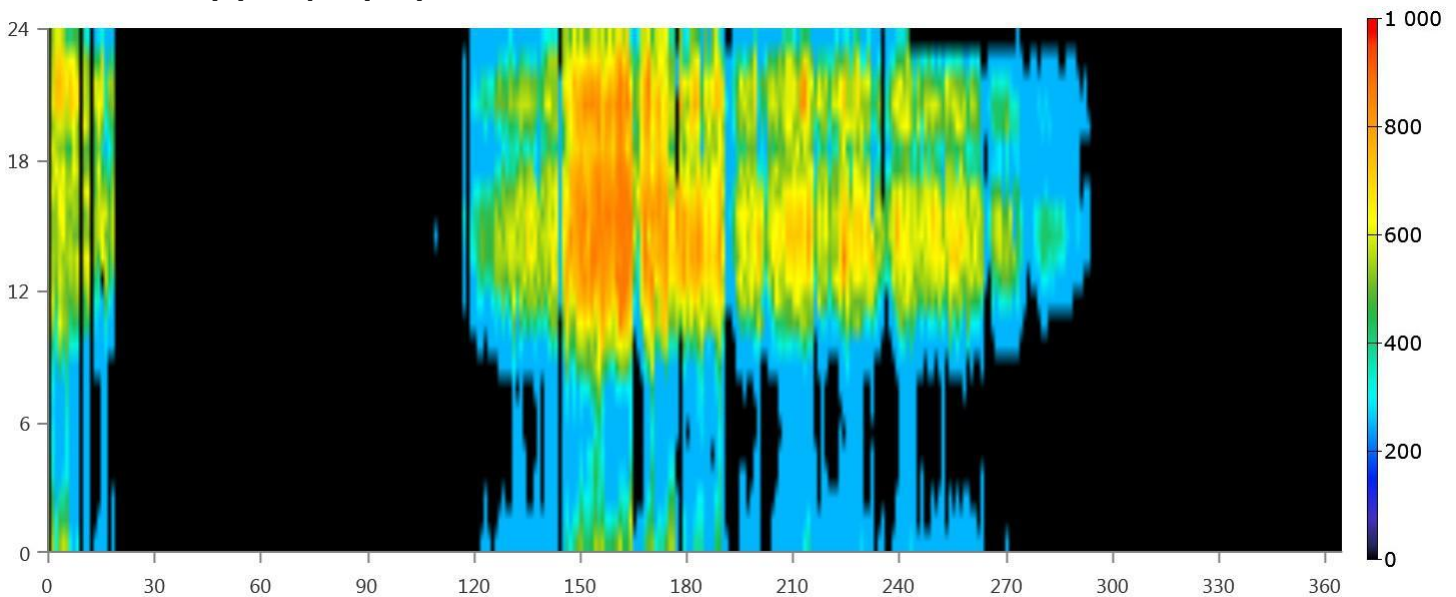
CAT-C32 Prime (2) Fuel Summary

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	442 801	L
Specific Fuel Consumption	0,259	L/kWh
Fuel Energy Input	4 357 165	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	39,2	%

CAT-C32 Prime (2) Statistics

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	3 676	hrs/yr
Number of Starts	144	starts/yr
Operational Life	24,5	yr
Capacity Factor	21,4	%
Fixed Generation Cost	21,1	€/hr
Marginal Generation Cost	0,214	€/kWh

CAT-C32 Prime (2) Output (kW)



Generator: Generic 500kW Fixed Capacity Genset (Diesel)

Generic 500kW Fixed Capacity Genset Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Electrical Production	130 363	kWh/yr
Mean Electrical Output	126	kW
Minimum Electrical Output	125	kW
Maximum Electrical Output	288	kW

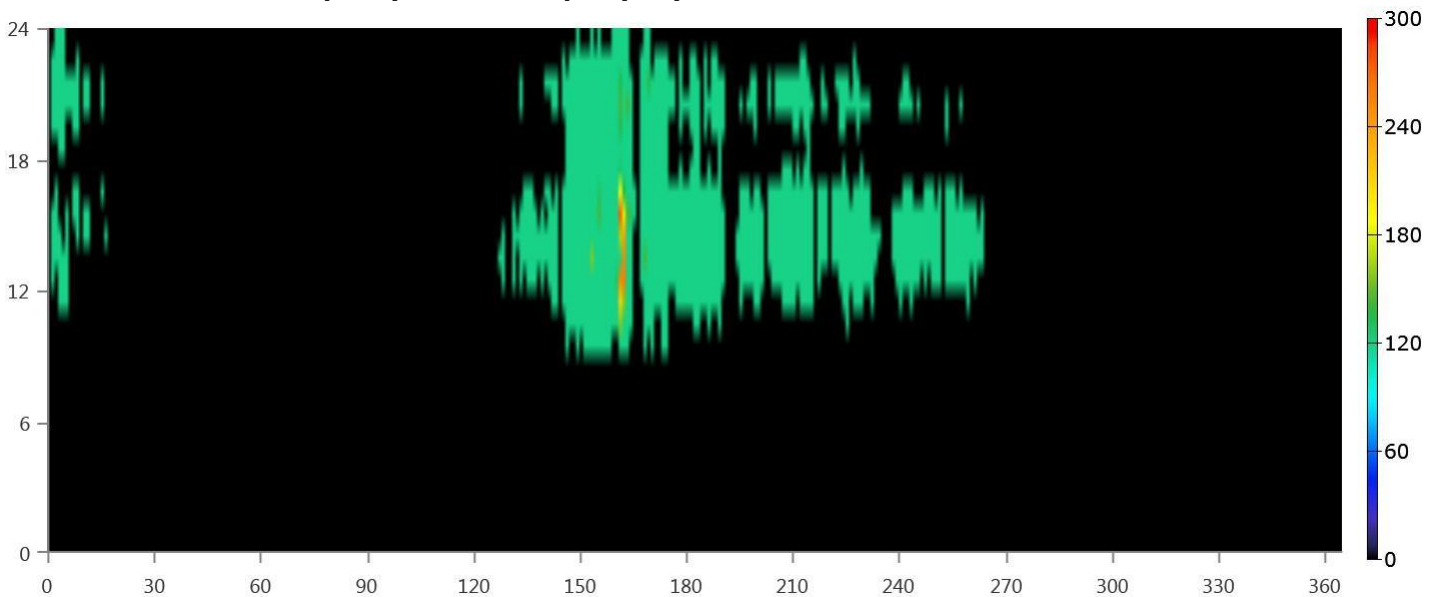
Generic 500kW Fixed Capacity Genset Fuel Summary

Quantity	Value	Units
Fuel Consumption	39 033	L
Specific Fuel Consumption	0,299	L/kWh
Fuel Energy Input	384 080	kWh/yr
Mean Electrical Efficiency	33,9	%

Generic 500kW Fixed Capacity Genset Statistics

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	1 032	hrs/yr
Number of Starts	197	starts/yr
Operational Life	14,5	yr
Capacity Factor	2,98	%
Fixed Generation Cost	22,0	€/hr
Marginal Generation Cost	0,244	€/kWh

Generic 500kW Fixed Capacity Genset Output (kW)



PV: Huawei SUN2000 30kW with Generic PV

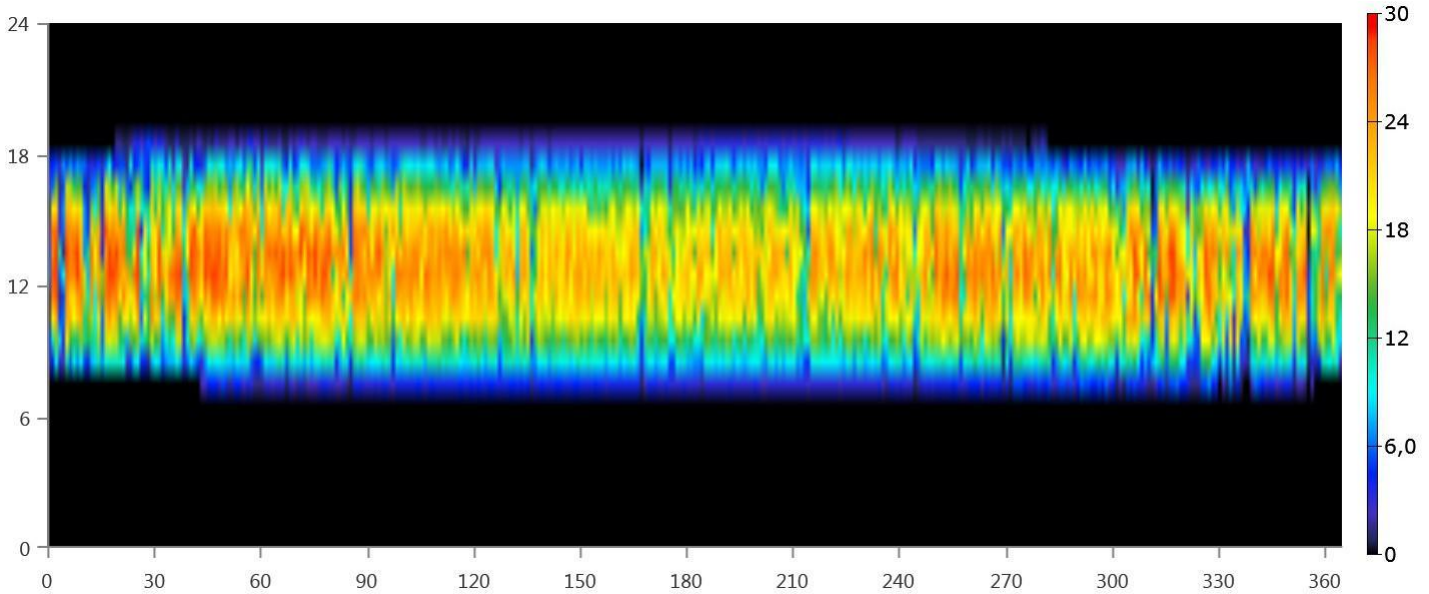
Huawei SUN2000 30kW with Generic PV Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	30,0	kW
PV Penetration	0,500	%
Hours of Operation	4 366	hrs/yr
Levelized Cost	0,116	€/kWh

Huawei SUN2000 30kW with Generic PV Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	30,0	kW
Mean Output	7,15	kW
Mean Output	172	kWh/d
Capacity Factor	23,9	%
Total Production	62 675	kWh/yr

Huawei SUN2000 30kW with Generic PV Output (kW)



Converter: ABB PVS800-500kW

ABB PVS800-500kW Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	4 366	hrs/yr
Energy Out	61 547	kWh/yr
Energy In	62 675	kWh/yr
Losses	1 128	kWh/yr

ABB PVS800-500kW Statistics

Quantity	Value	Units
Capacity	500	kW
Mean Output	7,03	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	29,4	kW
Capacity Factor	1,41	%

ABB PVS800-500kW Inverter Output (kW)

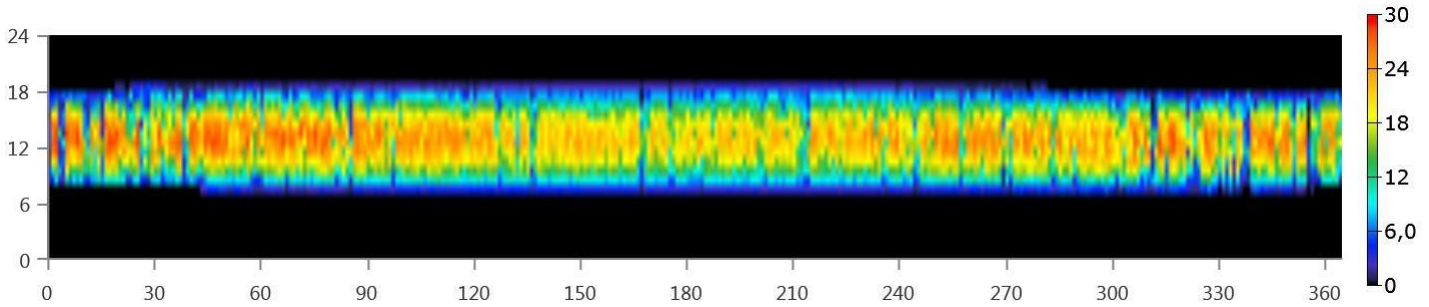
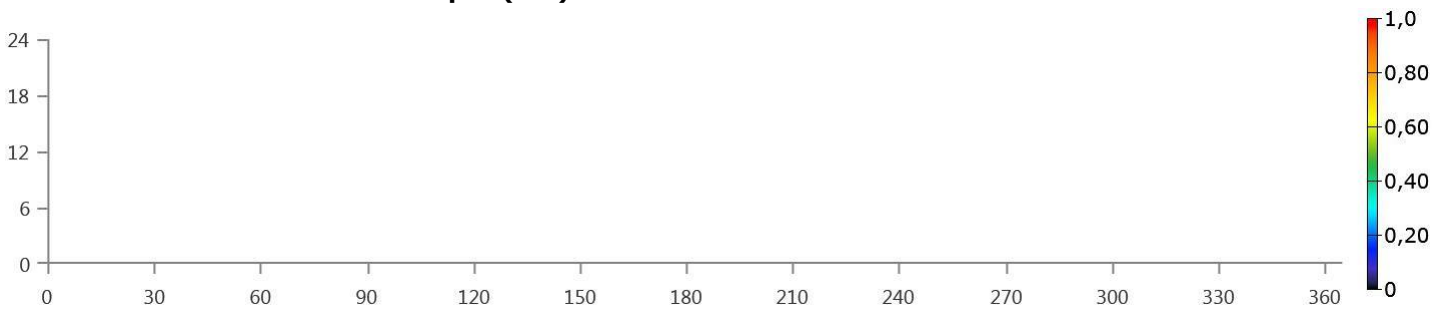


ABB PVS800-500kW Rectifier Output (kW)

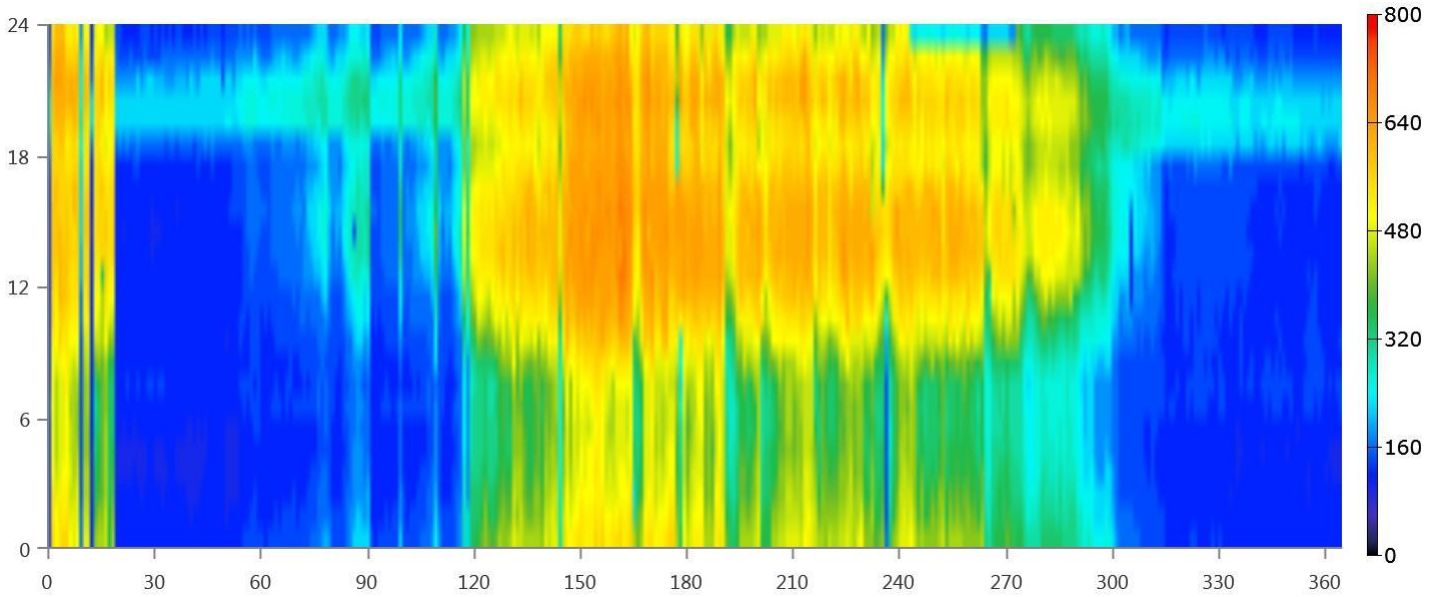


Fuel Summary

Diesel Consumption Statistics

Quantity	Value	Units
Total fuel consumed	3 062 239	L
Avg fuel per day	8 391	L/day
Avg fuel per hour	350	L/hour

Diesel Consumption (L/hr)



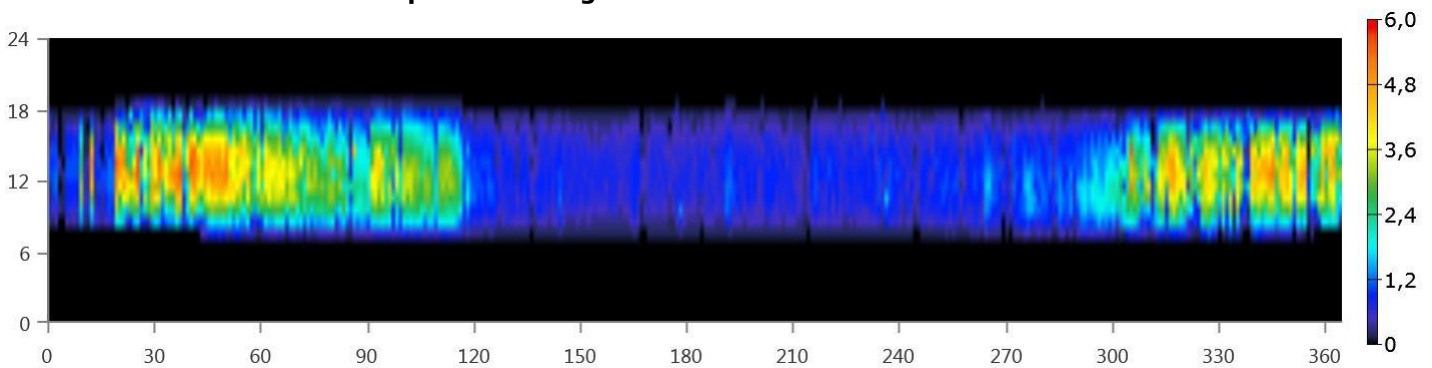
Emissions

Pollutant	Quantity	Unit
Carbon Dioxide	8 093 240	kg/yr
Carbon Monoxide	5 406	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	167	kg/yr
Particulate Matter	464	kg/yr
Sulfur Dioxide	19 645	kg/yr
Nitrogen Oxides	77 563	kg/yr

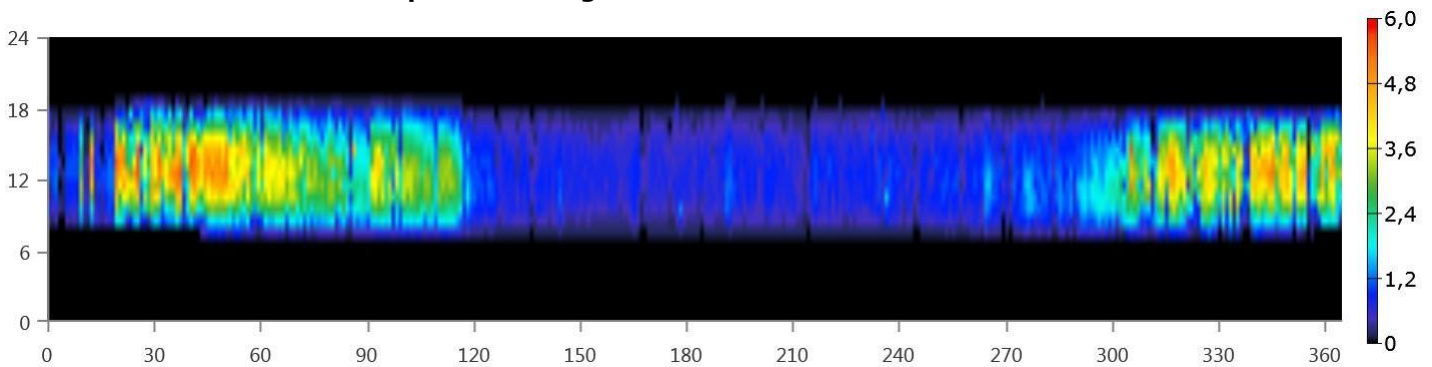
Renewable Summary

Capacity-based metrics	Value	Unit
Nominal renewable capacity divided by total nominal capacity	0,919	%
Usable renewable capacity divided by total capacity	0,883	%
Energy-based metrics	Value	Unit
Total renewable production divided by load	0,500	%
Total renewable production divided by generation	0,500	%
One minus total nonrenewable production divided by load	0,491	%
Peak values	Value	Unit
Renewable output divided by load (HOMER standard)	5,84	%
Renewable output divided by total generation	5,84	%
One minus nonrenewable output divided by total load	5,74	%

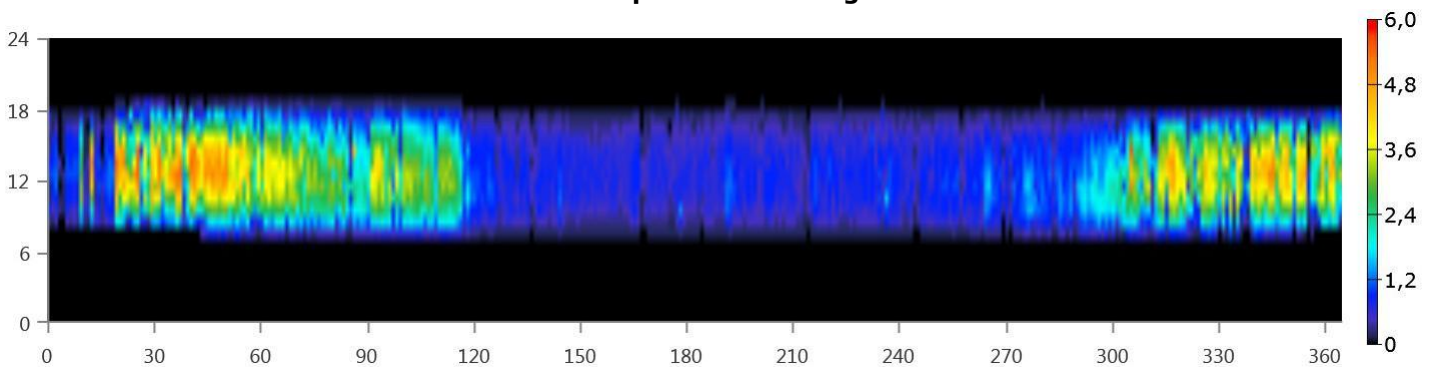
Instantaneous Renewable Output Percentage of Total Generation



Instantaneous Renewable Output Percentage of Total Load



100% Minus Instantaneous Nonrenewable Output as Percentage of Total Load





Annexe B

System Simulation Report

www.homerenergy.com

File: ain belbel 31-05-18.homer

Author:

Location: Adrar Province, Algeria (27°54,0'N,

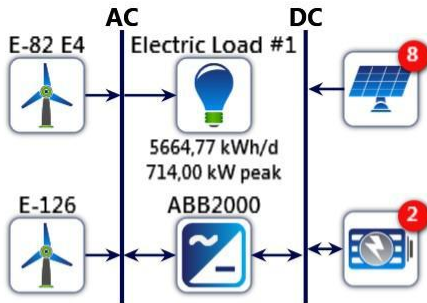
1°10,0'E) **Total Net Present Cost:** 9 266 150,00 €

Levelized Cost of Energy (€/kWh): 0,347 € **Notes:**

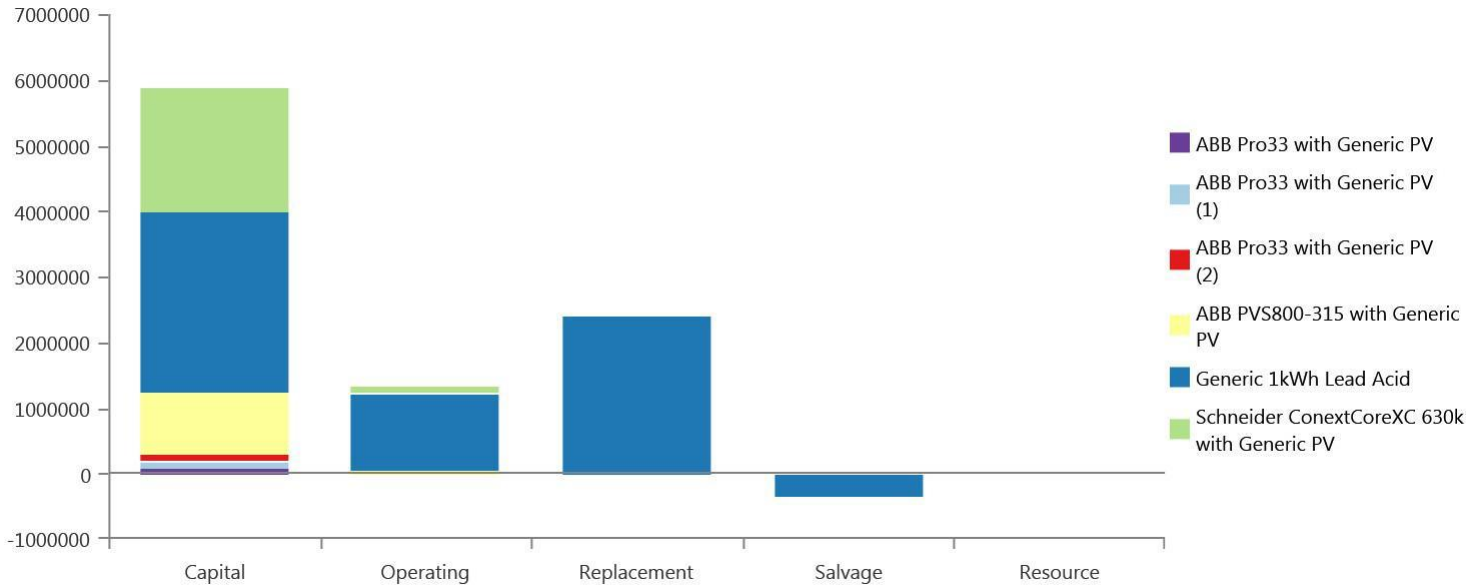
System Architecture

Component	Name	Size	Unit
PV #1	ABB PVS800-315 with Generic PV	315	kW
PV #2	ABB Pro33 with Generic PV	33,0	kW
PV #3	ABB Pro33 with Generic PV (1)	33,0	kW
PV #4	ABB Pro33 with Generic PV (2)	33,0	kW
PV #5	Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV	630	kW
Storage	Generic 1kWh Lead Acid	9 112	strings
Wind turbine #1	Enercon E-82 E4 [3MW]	1	ea.
Wind turbine #2	Enercon E-126 [7.5MW]	1	ea.
System converter	ABB PVS980-2000kW	2 000	kW
Dispatch strategy	HOMER Cycle Charging		

Schematic



Cost Summary



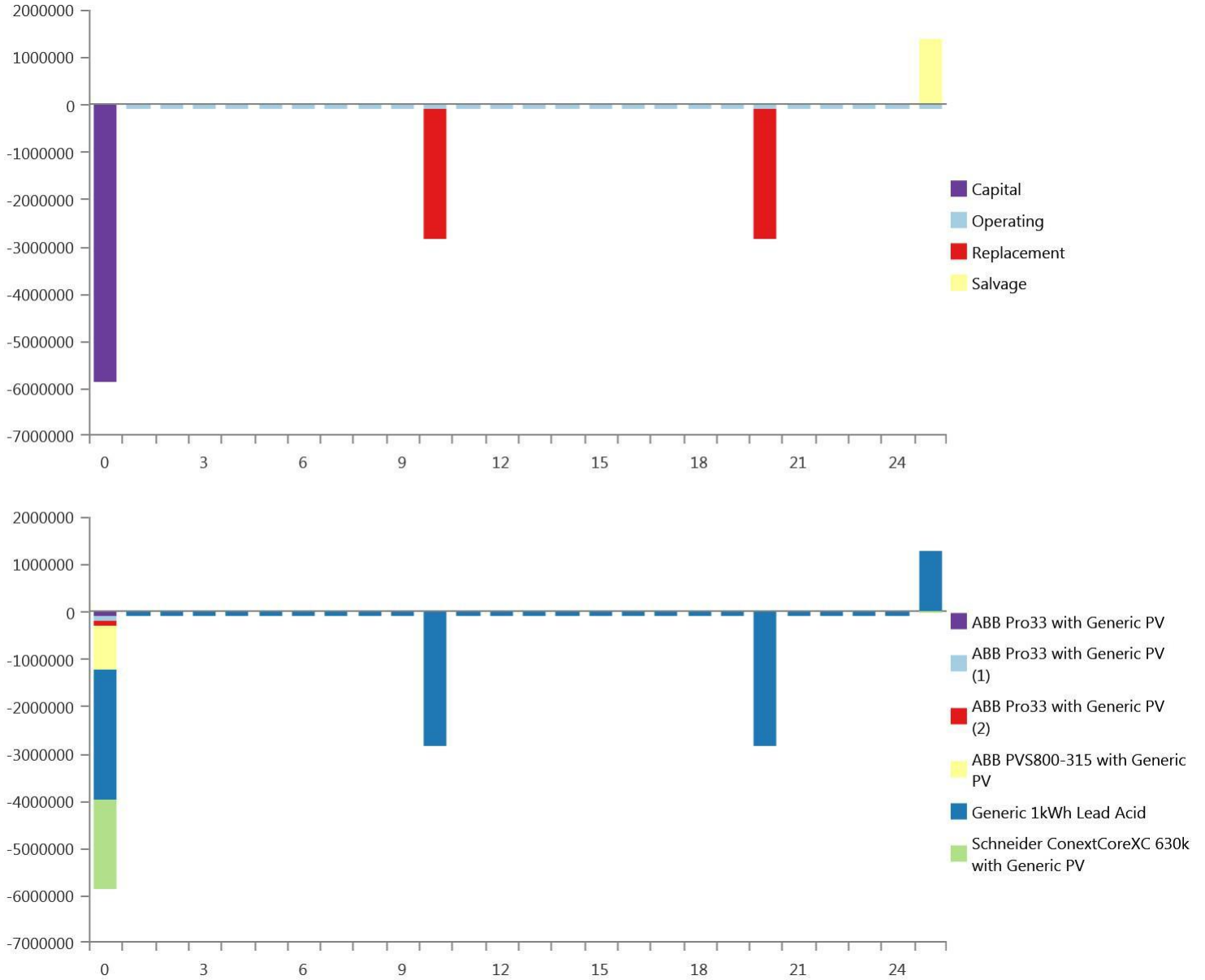
Net Present Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
ABB Pro33 with Generic PV	99 000 €	4 266 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	103 266 €
ABB Pro33 with Generic PV (1)	99 000 €	4 266 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	103 266 €
ABB Pro33 with Generic PV (2)	99 000 €	4 266 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	103 266 €
ABB PVS800-315 with Generic PV	945 000 €	40 722 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	985 722 €
Generic 1kWh Lead Acid	2,73 €M	1,18 €M	2,41 €M	-327 428 €	0,00 €	6,00 €M
Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV	1,89 €M	81 447 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	1,97 €M
System	5,87 €M	1,31 €M	2,41 €M	-327 428 €	0,00 €	9,27 €M

Annualized Costs

Name	Capital	Operating	Replacement	Salvage	Resource	Total
ABB Pro33 with Generic PV	7 658 €	330,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	7 988 €
ABB Pro33 with Generic PV (1)	7 658 €	330,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	7 988 €
ABB Pro33 with Generic PV (2)	7 658 €	330,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	7 988 €
ABB PVS800-315 with Generic PV	73 100 €	3 150 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	76 250 €
Generic 1kWh Lead Acid	211 456 €	91 120 €	186 808 €	-25 328 €	0,00 €	464 056 €
Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV	146 207 €	6 300 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	152 507 €
System	453 737 €	101 560 €	186 808 €	-25 328 €	0,00 €	716 777 €

Cash Flow



Electrical Summary

Excess and Unmet

Quantity	Value	Units
Excess Electricity	19 974 949	kWh/yr
Unmet Electric Load	1 045	kWh/yr
Capacity Shortage	2 065	kWh/yr

Production Summary

Component	Production (kWh/yr)	Percent
ABB PVS800-315 with Generic PV	706 692	3,20
ABB Pro33 with Generic PV	73 814	0,334
ABB Pro33 with Generic PV (1)	73 814	0,334
ABB Pro33 with Generic PV (2)	73 814	0,334
Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV	1 430 008	6,47
Enercon E-82 E4 [3MW]	5 219 956	23,6
Enercon E-126 [7.5MW]	14 525 366	65,7
Total	22 103 463	100

Consumption Summary

Component	Consumption (kWh/yr)	Percent
AC Primary Load	2 066 594	100
DC Primary Load	0	0
Total	2 066 594	100

PV: ABB PVS800-315 with Generic PV

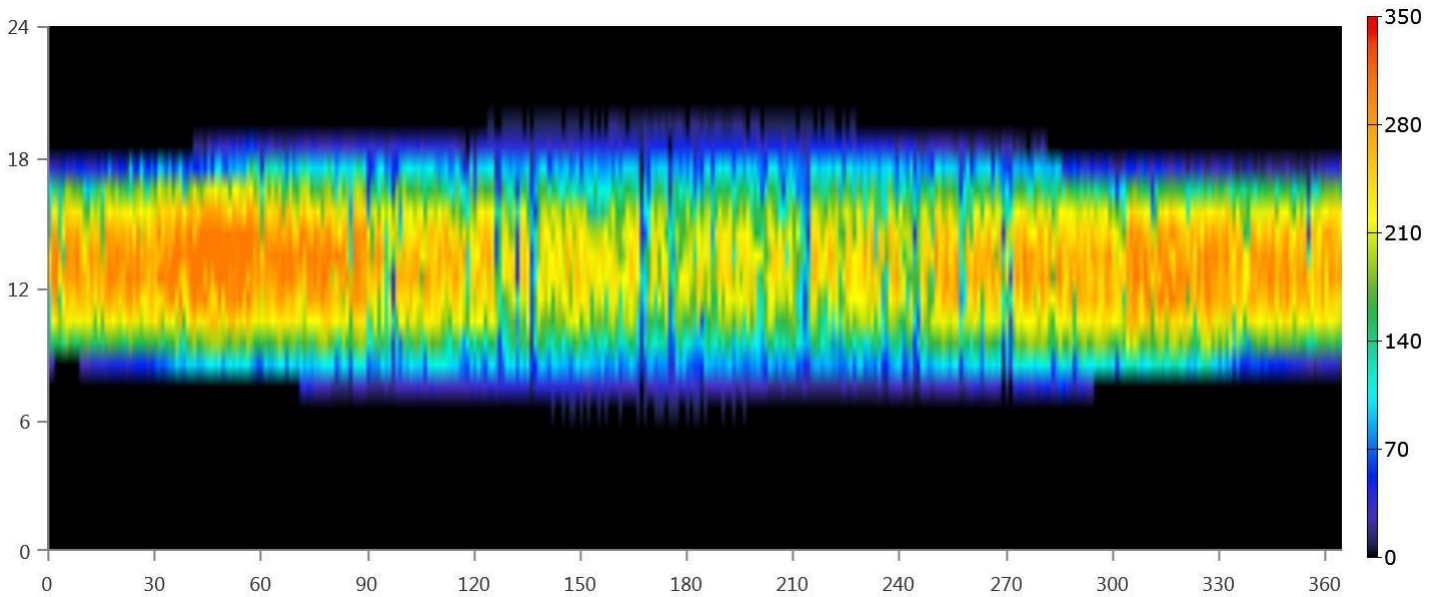
ABB PVS800-315 with Generic PV Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	315	kW
PV Penetration	34,2	%
Hours of Operation	4 396	hrs/yr
Levelized Cost	0,108	€/kWh

ABB PVS800-315 with Generic PV Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	315	kW
Mean Output	80,7	kW
Mean Output	1 936	kWh/d
Capacity Factor	25,6	%
Total Production	706 692	kWh/yr

ABB PVS800-315 with Generic PV Output (kW)



PV: ABB Pro33 with Generic PV

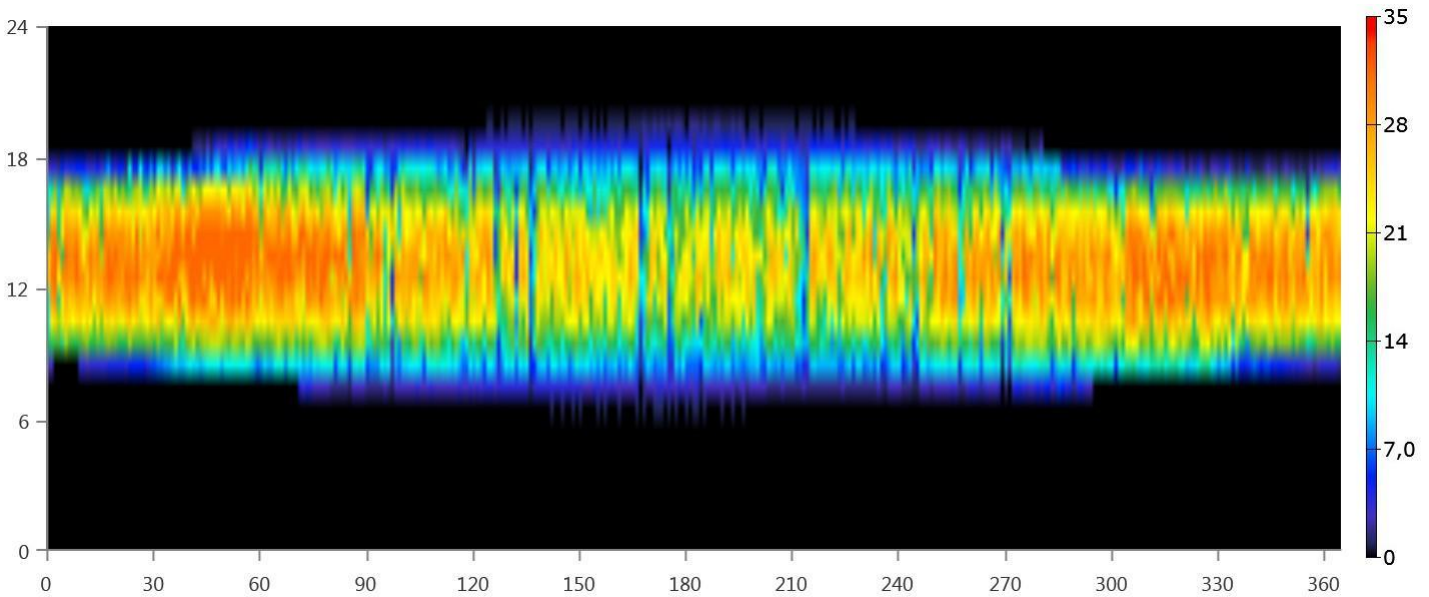
ABB Pro33 with Generic PV Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	33,0	kW
PV Penetration	3,57	%
Hours of Operation	4 396	hrs/yr
Levelized Cost	0,108	€/kWh

ABB Pro33 with Generic PV Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	33,0	kW
Mean Output	8,43	kW
Mean Output	202	kWh/d
Capacity Factor	25,5	%
Total Production	73 814	kWh/yr

ABB Pro33 with Generic PV Output (kW)



PV: ABB Pro33 with Generic PV (1)

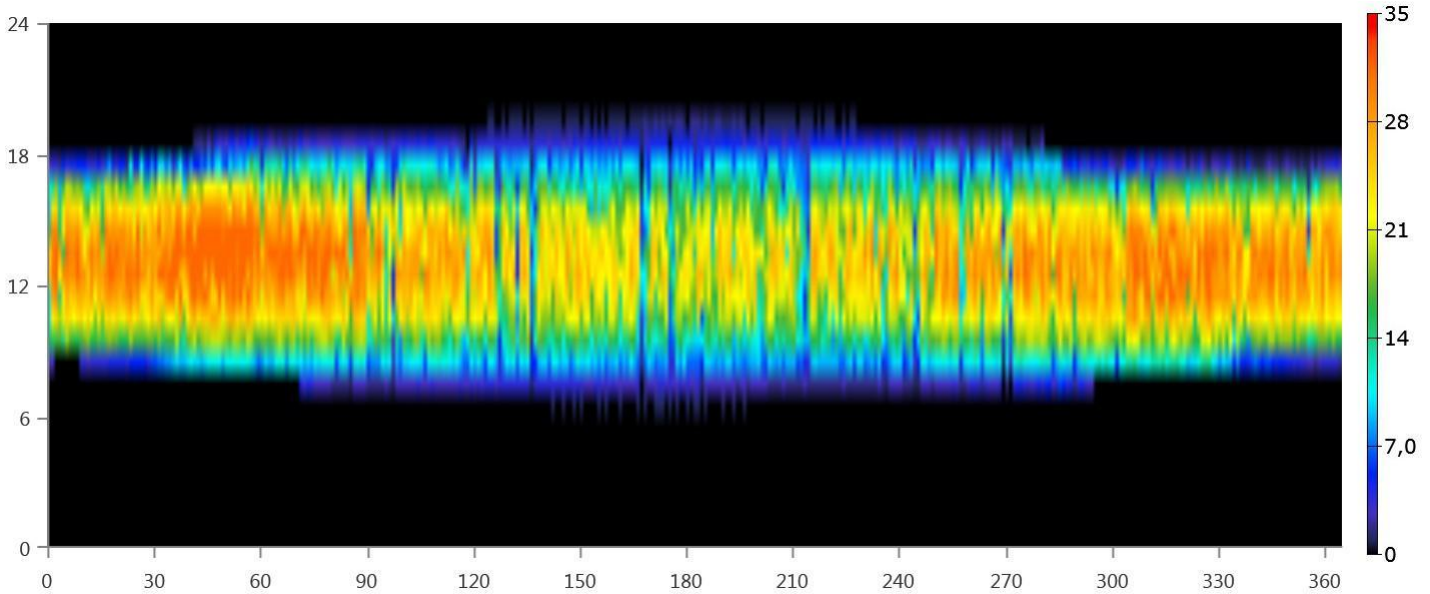
ABB Pro33 with Generic PV (1) Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	33,0	kW
PV Penetration	3,57	%
Hours of Operation	4 396	hrs/yr
Levelized Cost	0,108	€/kWh

ABB Pro33 with Generic PV (1) Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	33,0	kW
Mean Output	8,43	kW
Mean Output	202	kWh/d
Capacity Factor	25,5	%
Total Production	73 814	kWh/yr

ABB Pro33 with Generic PV (1) Output (kW)



PV: ABB Pro33 with Generic PV (2)

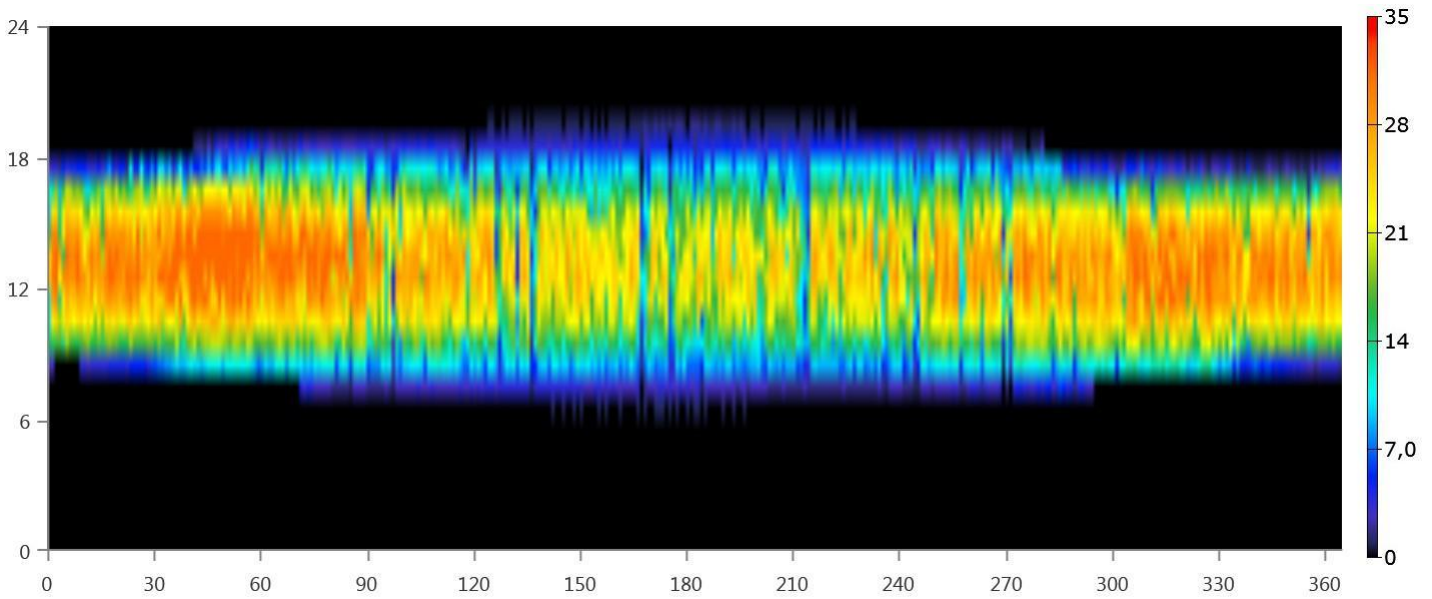
ABB Pro33 with Generic PV (2) Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	33,0	kW
PV Penetration	3,57	%
Hours of Operation	4 396	hrs/yr
Levelized Cost	0,108	€/kWh

ABB Pro33 with Generic PV (2) Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	33,0	kW
Mean Output	8,43	kW
Mean Output	202	kWh/d
Capacity Factor	25,5	%
Total Production	73 814	kWh/yr

ABB Pro33 with Generic PV (2) Output (kW)



PV: Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV

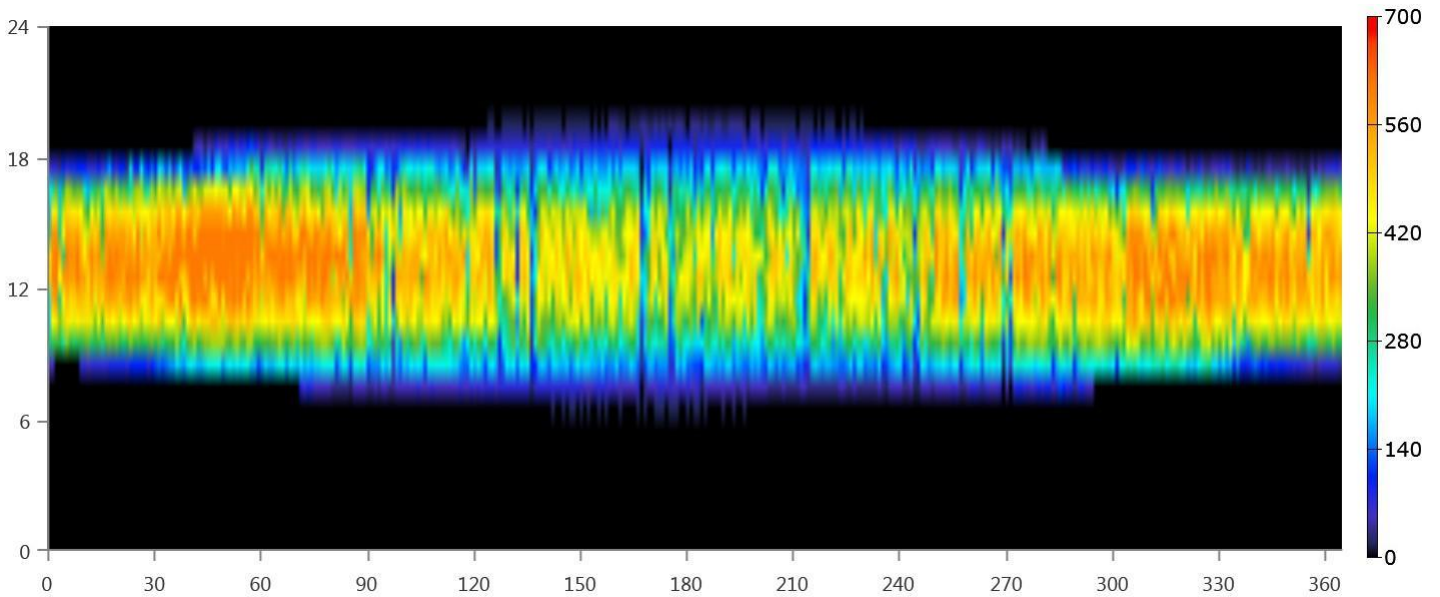
Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	630	kW
PV Penetration	69,2	%
Hours of Operation	4 396	hrs/yr
Levelized Cost	0,107	€/kWh

Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV Statistics

Quantity	Value	Units
Rated Capacity	630	kW
Mean Output	163	kW
Mean Output	3 918	kWh/d
Capacity Factor	25,9	%
Total Production	1 430 008	kWh/yr

Schneider ConextCoreXC 630kW with Generic PV Output (kW)



Wind Turbine: Enercon E-82 E4 [3MW]

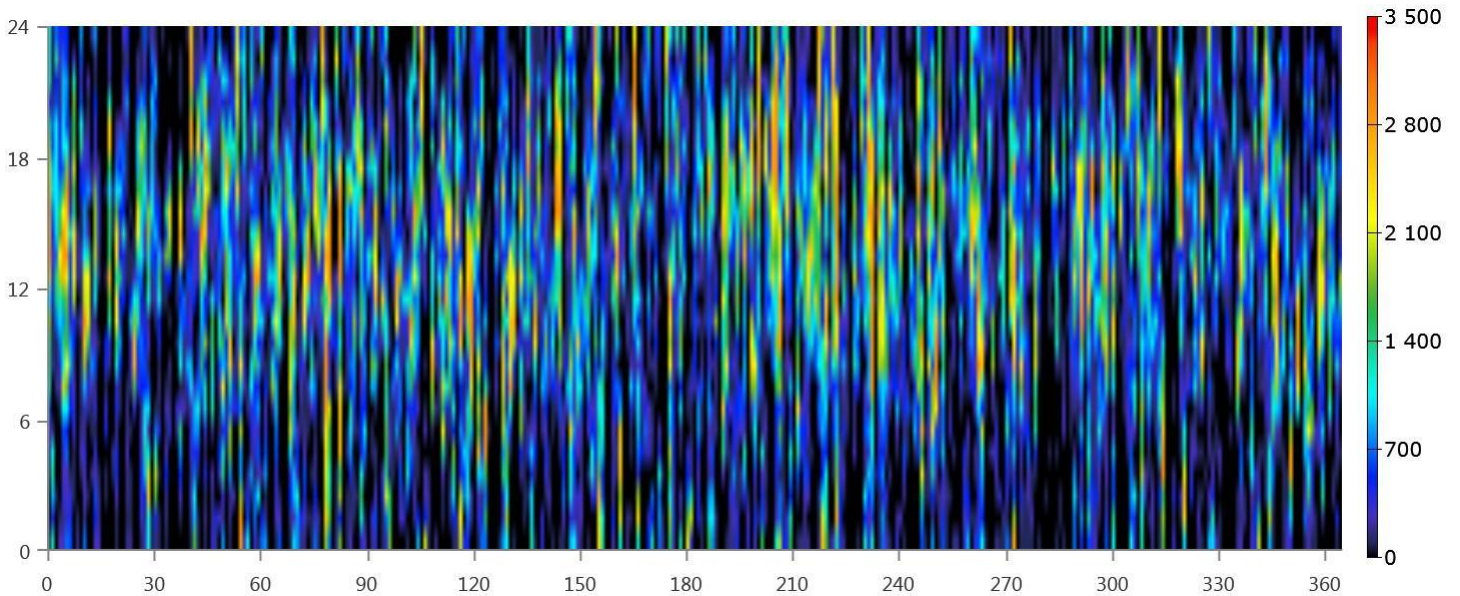
Enercon E-82 E4 [3MW] Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	3 020	kW
Wind Penetration	252	%
Hours of Operation	8 061	hrs/yr
Levelized Cost	0	€/kWh

Enercon E-82 E4 [3MW] Statistics

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	3 000	kW
Mean Output	596	kW
Capacity Factor	19,9	%
Total Production	5 219 956	kWh/yr

Enercon E-82 E4 [3MW] Output (kW)



Wind Turbine: Enercon E-126 [7.5MW]

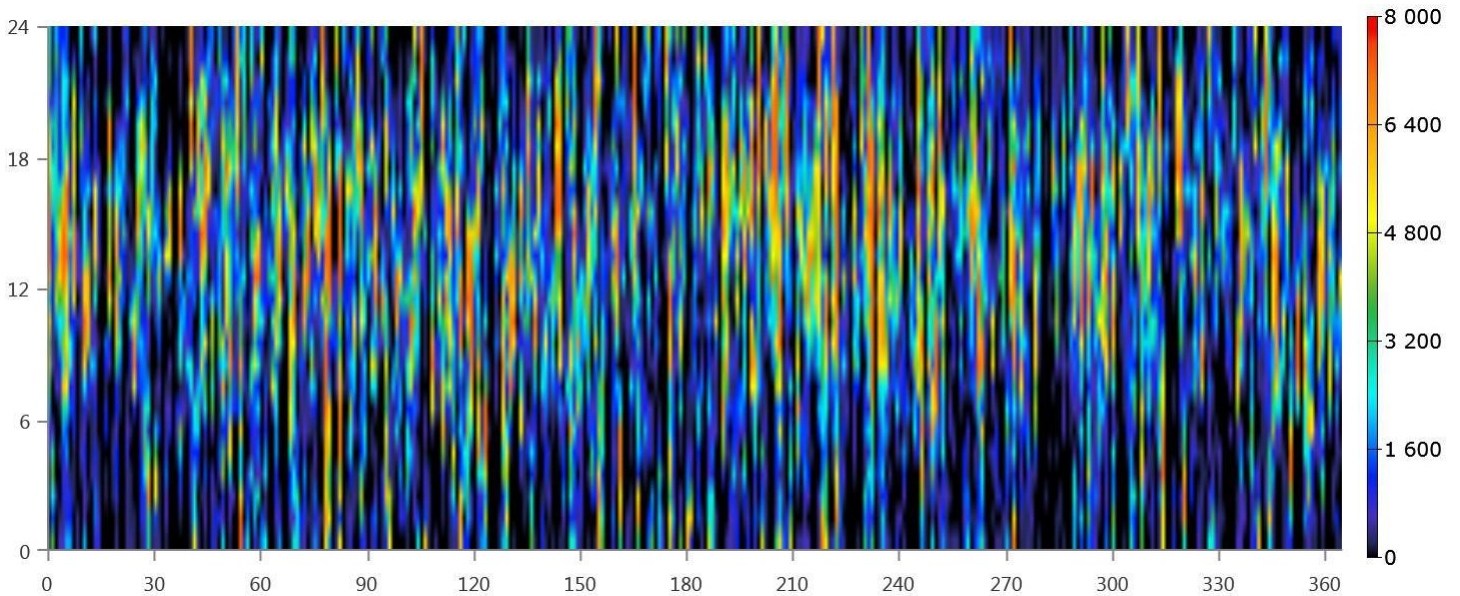
Enercon E-126 [7.5MW] Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	7 580	kW
Wind Penetration	703	%
Hours of Operation	8 130	hrs/yr
Levelized Cost	0	€/kWh

Enercon E-126 [7.5MW] Statistics

Quantity	Value	Units
Total Rated Capacity	7 580	kW
Mean Output	1 658	kW
Capacity Factor	21,9	%
Total Production	14 525 366	kWh/yr

Enercon E-126 [7.5MW] Output (kW)



Storage: Generic 1kWh Lead Acid

Generic 1kWh Lead Acid Properties

Quantity	Value	Units
Batteries	9 112	qty.
String Size	1,00	batteries
Strings in Parallel	9 112	strings
Bus Voltage	12,0	V

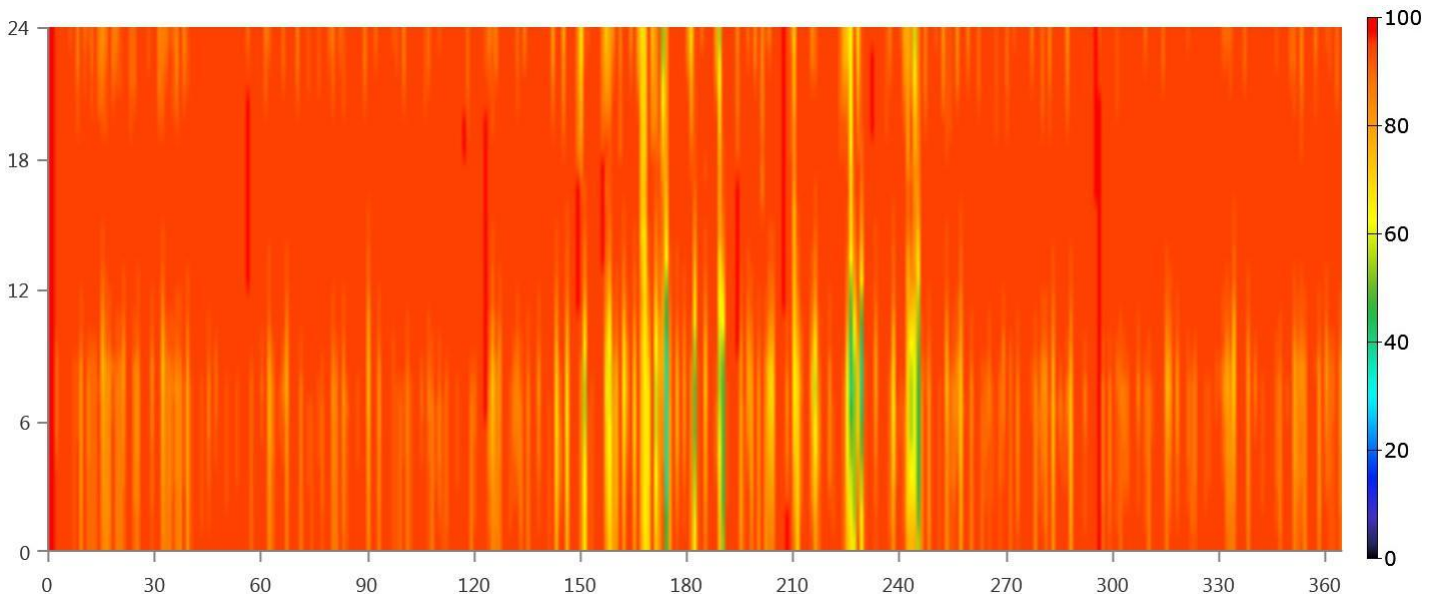
Generic 1kWh Lead Acid Result Data

Quantity	Value	Units
Average Energy Cost	0	€/kWh
Energy In	285 050	kWh/yr
Energy Out	228 073	kWh/yr
Storage Depletion	37,3	kWh/yr
Losses	57 014	kWh/yr
Annual Throughput	254 993	kWh/yr

Generic 1kWh Lead Acid Statistics

Quantity	Value	Units
Autonomy	23,2	hr
Storage Wear Cost	0,419	€/kWh
Nominal Capacity	9 119	kWh
Usable Nominal Capacity	5 472	kWh
Lifetime Throughput	2 549 934	kWh
Expected Life	10,0	yr

Generic 1kWh Lead Acid State of Charge (%)



Converter: ABB PVS980-2000kW

ABB PVS980-2000kW Electrical Summary

Quantity	Value	Units
Hours of Operation	2 068	hrs/yr
Energy Out	348 118	kWh/yr
Energy In	353 060	kWh/yr
Losses	4 943	kWh/yr

ABB PVS980-2000kW Statistics

Quantity	Value	Units
Capacity	2 000	kW
Mean Output	39,7	kW
Minimum Output	0	kW
Maximum Output	693	kW
Capacity Factor	1,99	%

ABB PVS980-2000kW Inverter Output (kW)

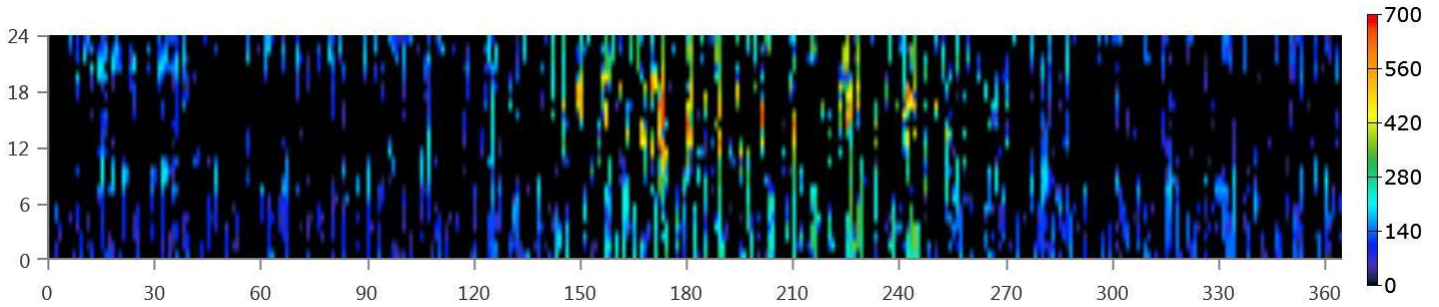
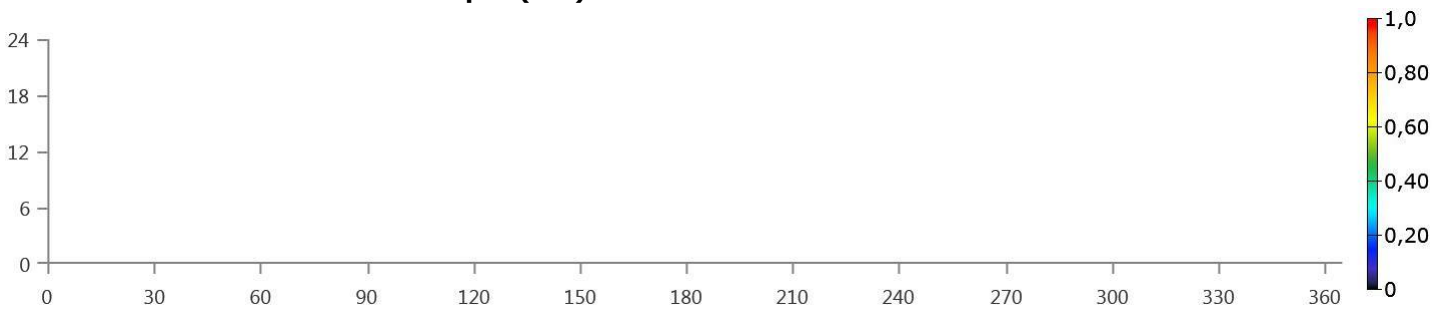


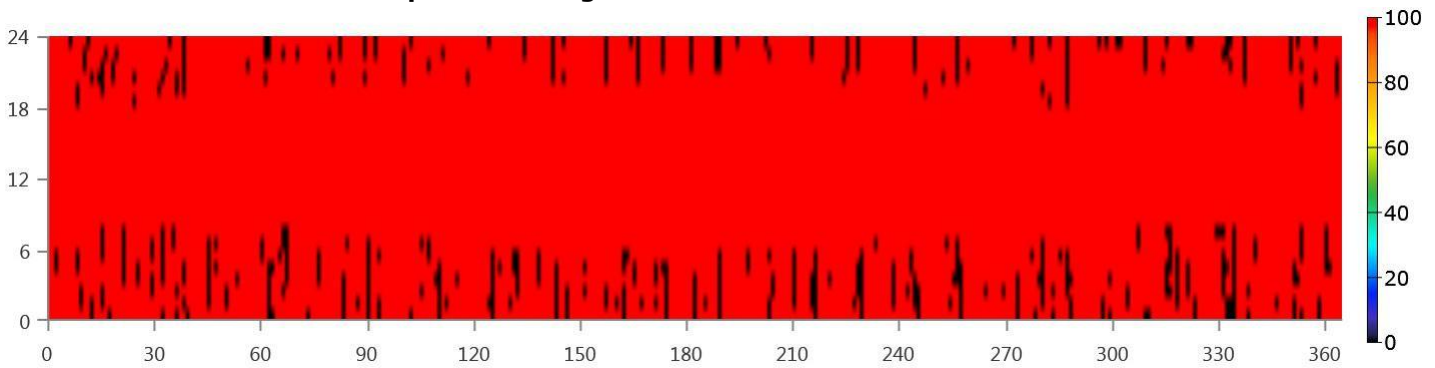
ABB PVS980-2000kW Rectifier Output (kW)



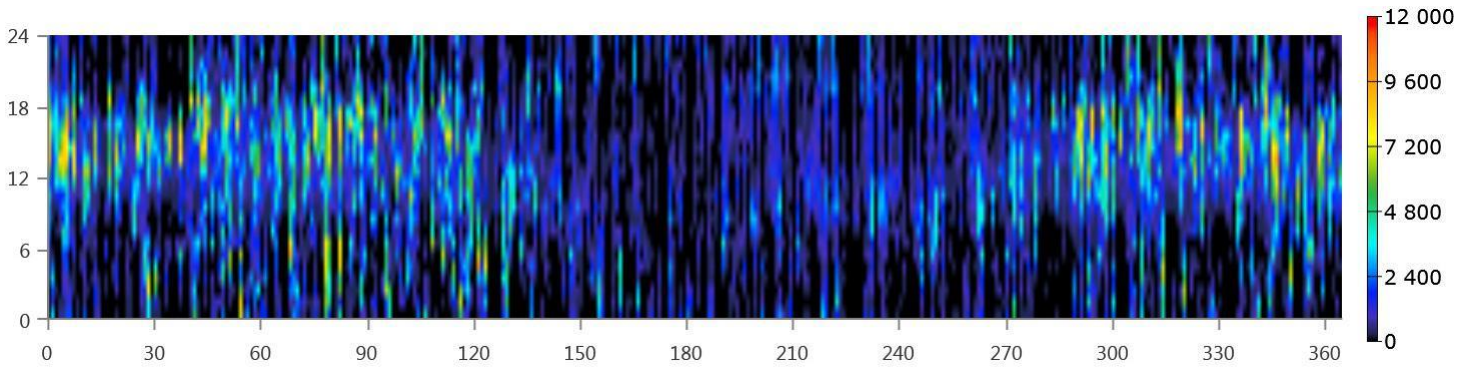
Renewable Summary

Capacity-based metrics	Value	Unit
Nominal renewable capacity divided by total nominal capacity	100	%
Usable renewable capacity divided by total capacity	100	%
Energy-based metrics	Value	Unit
Total renewable production divided by load	1070	%
Total renewable production divided by generation	100	%
One minus total nonrenewable production divided by load	100	%
Peak values	Value	Unit
Renewable output divided by load (HOMER standard)	10450	%
Renewable output divided by total generation	100	%
One minus nonrenewable output divided by total load	100	%

Instantaneous Renewable Output Percentage of Total Generation



Instantaneous Renewable Output Percentage of Total Load



100% Minus Instantaneous Nonrenewable Output as Percentage of Total Load

