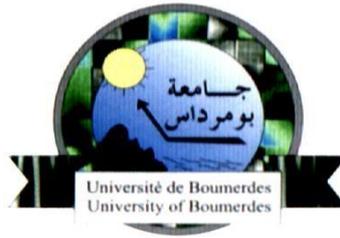


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES



Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

Filière : GENIE MECANIQUE
Spécialité : Energétique

THEME

**Etude de Faisabilité De L'intégration Des Energies
Renouvelables (Photovoltaïque) au Sein De La Société
Soficlef Pour L'alimentation Electrique**

Présenté par :

Baki Malak

Djaknoune Nesrine.

Promoteur :

Mme Doumane Radhia



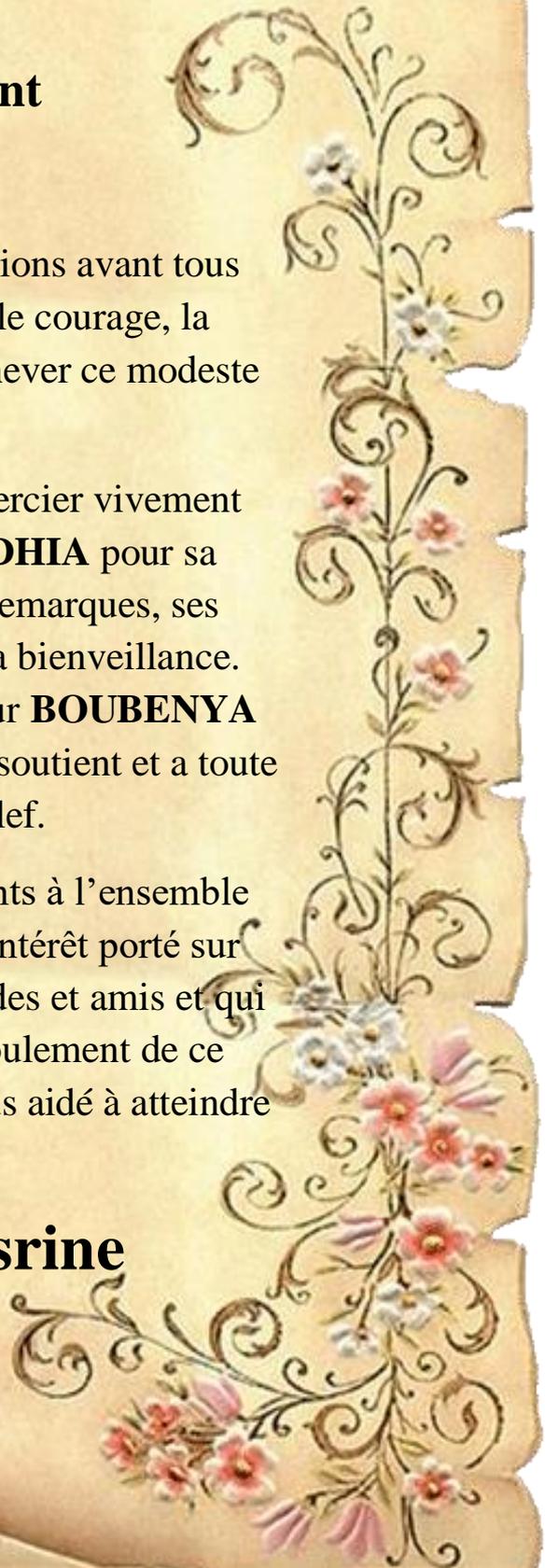
Remerciement

En premier lieu, nous remercions avant tous Allah de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour achever ce modeste travail.

A la suite Nous tenons à remercier vivement Madame **DOUMANE RADHIA** pour sa patience, sa confiance, ses remarques, ses conseils, sa disponibilité et sa bienveillance. Aussi Mon encadreur monsieur **BOUBENYA AHMED** pour son aide et leur soutien et a toute l'équipe de soficlef.

Nos respectueux remerciements à l'ensemble des membres du jury pour l'intérêt porté sur Mon travail. Tous nos camarades et amis et qui nous a aidé pour le bon déroulement de ce travail et tout personne qui nous aidé à atteindre ce point-là.

Malak et Nesrine





Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents, qui étaient toujours là
pour moi dès mon enfance, garce à eux
que J'ai pu atteindre ce succès Que
Dieu les protège.

A mes sœurs et a toute ma famille.

MALAK

A decorative border surrounds the text, featuring a string of pearls and scattered pink rose petals. On the left side, there is a cluster of pink roses with green leaves and water droplets.

Dédicace

Je dédie ce projet de fin d'étude :
A mes chers parents qui ont tout fait
pour ma réussite.

Et a toute ma famille Pour leurs
encouragements. A mes meilleurs amis
et à tous ceux qui me sont chers.

Nesrine

Résumé

Résumé

L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable. C'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires ; dans ce mémoire on a étudié les performances des panneaux PV pour supporter les coupures d'électricité des machines dans un atelier de fabrication mécanique.

Nous avons donc cherché dans un premier temps d'estimer les besoins énergétiques de l'utilisateur, Nous avons aussi évalué deux installations (autonome et raccordée au réseau) à l'aide d'un logiciel PV Sys pour déterminer le nombre de panneaux et le nombre de batteries avec leurs caractéristiques qui sont les éléments essentiels dans une installation PV ainsi que le régulateur, à la fin on a étudié l'évaluation économique de deux systèmes.

Les résultats obtenus de cette étude ont permis de confirmer la faisabilité de l'intégration des énergies renouvelables PV pour l'alimentation en électricité des machines à commandes numériques au sein de l'entreprise. D'après les résultats obtenus par simulation et d'optimisation ont montré que l'installation PV raccordée au réseau permet d'obtenir un résultat plus rentable par rapport à l'autre système pour le budget de notre projet dans l'entreprise Soficlef.

Résumé

ملخص :

الطاقة الكهروضوئية هي إمكانية تنمية فعالة ومستدامة. هذا هو السبب في أن البحث العلمي يتطور في اتجاه التعميم وتحسين وتحسين استخدام الأنظمة الشمسية ؛ في هذه الرسالة درسنا أداء الألواح الكهروضوئية لتحمل انقطاع التيار الكهربائي عن الآلات في ورشة التصنيع الميكانيكية.

لذلك سعينا مبدئيًا إلى تقدير احتياجات الطاقة للمستخدم ، كما قمنا بتقييم تركيبتي (مستقلتين ومتصلين بالشبكة) باستخدام برنامج PV Sys لتحديد عدد اللوحة وعدد البطاريات بخصائصها التي تعتبر ضرورية عناصر في تركيب الكهروضوئية وكذلك المنظم ، في النهاية درسنا التقييم الاقتصادي لنظامين.

سمحت النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة بتأكيد جدوى تكامل الطاقات المتجددة الكهروضوئية لتزويد الطاقة لآلات التحكم العددي في شركته. من النتائج التي تم الحصول عليها عن طريق المحاكاة والتحسين أظهر أن التركيب الكهروضوئي المتصل بالشبكة يسمح بالحصول على نتيجة أكثر ربحية مقارنة بالنظام الآخر لميزانية مشروعنا في شركة Soficlef.

Résumé

Abstract

Photovoltaic energy is an efficient and sustainable development possibility. This is why scientific research is developing in the direction of generalizing, improving and optimizing the use of solar systems, In this thesis we studied the performance of PV panels to withstand power cuts from machines in a mechanical manufacturing workshop.

We therefore sought initially to estimate the energy needs of the user, We also evaluated two installations (autonomous and connected to the network) using a PV Sys software to determine the number of the panel and the number of batteries with their characteristics which are the essential elements in a PV installation as well as the regulator, at the end we studied the economic evaluation of two systems.

The results obtained from this study allowed to confirm the feasibility of the integration of renewable PV energies for the power supply of the numerically controlled machines in his company. From the results obtained by simulation and optimization showed that the PV installation connected to the grid allows to obtain a more profitable result compared to the other system for the budget of our project in the company Soficlef.

Sommaire

Sommaire

Remercîment	
Dédicace	
Résumé	
Sommaire	
Liste des figures et tableaux	
Liste des abréviations et symboles	
Introduction générale	
Chapitre I : Les énergies renouvelables.....	1
I .1. Introduction	2
I.2.Energie fossiles	2
I.3.Historique d'énergie renouvelable	3
I.4. Energies Renouvelables	4
I.5. Les différents types d'énergies renouvelables	5
I.5.1. L'énergie solaire	6
I. 5.2. L'énergie éolienne.....	6
I.5.2.1. L'éolienne a axe horizontal	7
I.5.2.2. L'éolienne a axe verticale	8
I.5.3.Énergie hydraulique	8
I.5.4. La biomasse	9
I.5.4.1. Bois énergie	10
I.5.4.2. Le biocarburant.....	10
I.5.4.3. Le biogaz	10
I. 5 .5. La géothermie	11
I.6. Les avantages des énergies renouvelables	12
I.7. Les inconvénients des sources d'énergies renouvelables	12
I.8 . Situation actuelle (ensemble des énergies renouvelables).....	13
I.9. Impact sur le réchauffement climatique	15
I.10. Le Coût.....	16
Conclusion.....	17
Chapitre II : L'énergie solaire photovoltaïque	18
II.1. Introduction	19
II.2. Le Rayonnement solaire	19
II.2.1. Différents types de rayonnement	19
II.3. L'énergie solaire	20
II.3.1. Historique	20
II.3.2. Les différents types d'utilisation d'énergie solaire.....	22

Sommaire

II.3.3. Avantages et Inconvénients d'une l'énergie solaire	25
II.4. L'énergie solaire photovoltaïque	26
II.4. 1. Historique de l'énergie photovoltaïque	26
II.4.2. La cellule photovoltaïque	27
II.4.3. Conversion photovoltaïque.....	28
II.4.3.1. Semi-conducteur	28
II. 4.3.2 . Le dopage de semi-conducteur	29
II.4.3.3. La Jonction PN	30
II.5. Effet photovoltaïque	31
II.6 .Principe de fonctionnement	32
II.7.Les types des cellules photovoltaïques	33
II.8.Les modules photovoltaïques	38
II.8.1. Définition	38
II.8.2. Fabrication de panneau photovoltaïque	38
II.8.3 Les types de panneaux	40
II.9.Paramètres électriques d'un module photovoltaïque.....	41
II.10. L'association de panneaux solaires.....	42
II.10.1. Mise en série	42
II.10.2.Mise en parallèle	43
II.11. Les différentes installations photovoltaïques	44
II.12.Les différents composants d'un système solaire photovoltaïque.....	48
II.12.1 Batteries	48
II.12.1.1 Types des accumulateurs	48
II.12.1.2 Composition d'une batterie solaire plomb-acide.....	49
II.12.1.3 La durée de vie d'une batterie solaire	50
II.12.1.4 les critères de choix d'une batterie solaire	50
II.12.2 Les régulateurs de charge solaire	51
II.12.2.1 Les fonctions du régulateur de charge	51
II.12.2.2 Les différents types de régulateur de charge	51
II.12.2.3 Le choix de régulateur charge	52
II.12.3 Les convertisseurs	53
II.12.4 Câblages	53
II.13. Elément de sécurité	53
II.13.1Disjoncteur différentiel.....	53

Sommaire

II.13.2 Interrupteur différentiel	54
II.13.3 Fusible	54
II.12.4 Parafoudre.....	55
II.14. Avantages et inconvénients d'une l'énergie photovoltaïque	55
II.14.1. Les avantages	55
II.14.2. Les Inconvénients	56
Conclusion	57
Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec.....	58
III.1 Introduction.....	59
III.2 Présentation de l'entreprise Soficlef	59
III.3 Description de l'atelier FAB Mec Soficlef.....	61
III. 3.1. la fabrication Mécanique.....	61
III.3.2.Les Fraiseuses a commande Numérique de l'atelier Fab Mec	61
III.4. Problèmes & Risques de coupure d'électricité au sein de l'atelier	65
III.4.1. Les problèmes de coupure d'électricité	65
III.4.2. Les risques	65
III.4.3. Estimation des couts d'arrêt et des risques	65
III.5. Faisabilité d'l'intégration de l'énergie PV au niveau l'atelier	66
III.5.1. Description et caractéristique de site	66
III.5.2. Bilan énergétique de l'atelier	67
III.5.3. Calcule de la consommation énergétique	67
III.6. Dimensionnement du système photovoltaïque (installation autonome)	68
III.6.1. Dimensionnement des panneaux photovoltaïque	79
III.6.2. Dimensionnement du stockage et du convertisseur	74
III.6.3. Dimensionnement du régulateur	79
III.7. Simulation du System étudié	81
III.7.1 Présentation du logiciel PVSYS	81
III.7.2. Principaux paramètres	82
III.7.3. simulation du system OFF Grid	85
III.7.4. Simulation du system On Grid	91
III.8. Comparaison des deux systèmes.....	97
Conclusion	98

Sommaire

Chapitre IV: Etude de l'évaluation économique.....	99
IV.1. Introduction	100
IV.2 . Description d'une étude économique	100
IV.3. Etude économique du système isolé (off Grid)	100
IV.4. Etude économique de système connecté au réseau (on Grid)	102
IV.5 Analyse financière (Off Grid ,On Grid).....	103
IV.5. Comparaison des deux system	104
IV.7. Impacte risque & sécurité	105
IV.7.1 impacte environnementale.....	105
IV.7.2 Taxe sur émission Co2	106
Conclusion	107

Conclusion générale
Bibliographie

Liste des figures et tableaux

Listes des Figures et Tableaux

Listes des Figures

N° Figure	Titre	Pages
Figure I.1	Les énergies renouvelables	3
Figure I.2	Les cinq familles d'énergies renouvelables	5
Figure I.3	L'énergie solaire	6
Figure I.4	L'énergie éolienne	7
Figure I.5	Schéma d'une éolienne a axe verticale et horizontale.	8
Figure I.6	L'énergie hydraulique	9
Figure I.7	La biomasse	11
Figure I.8	La géothermie	12
Figure II.1	Le chauffage de la maison par énergie solaire passive	22
Figure II.2	Principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique à base température.	23
Figure II.3	Centrale thermodynamique parabolique.	24
Figure II.4	Centrale thermodynamique à tour.	24
Figure II.5	Centrale thermodynamique cylindro-parabolique	25
Figure II.6	Structure basique d'une cellule solaire.	28
Figure II.7	Le semi-conducteur (silicium).	29
Figure II.8	Dopage de semi-conducteur de type N	29
Figure II.9	Dopage de semi-conducteur de type P.	30
Figure II.10	La jonction P-N	31
Figure II.11	L'effet photovoltaïque	32
Figure II.12	Le principe de fonctionnement d'une cellule PV	33
Figure II.13	Panneau constitué de cellules monocristallines	33
Figure II.14	Panneau constitué de cellules poly cristallines.	34
Figure II.15	Cellule photovoltaïque amorphe.	34
Figure II.16	Cellule en polymère	35
Figure II.17	Module à arséniure de gallium fixé sur un satellite	35
Figure II.18	Cellule photovoltaïque de Grätzel	36
Figure II.19	Concentrateur solaire	37
Figure II.20	Panneau photovoltaïque en tellurure de cadmium.	37
Figure II.21	Etapas de fabrication d'un panneau solaire	39
Figure II.22	Différentes composants de panneau photovoltaïque.	39

Listes des Figures et Tableaux

Figure II.23	Courbe caractéristique $I = f(V)$ d'un panneau PV	41
Figure II.24	Branchement de panneaux solaire en série.	42
Figure II.25	Les caractéristiques électriques (U et I) des modules branchés en série.	43
Figure II.26	Branchement de panneaux solaire en parallèle.	43
Figure II.27	Les caractéristiques électriques (U et I) des modules branchés en parallèle	44
Figure II.28	Schéma d'une installation solaire autonome.	45
Figure II.29	Systèmes PV connectés au réseau	47
Figure II.30	Système PV hybride	48
Figure II.31	Disjoncteur différentiel.	54
Figure II.32	Cartouche fusible	55
Figure II.33	Parafoudre.	55
Figure III.1	L'entreprise Soficlef	60
Figure III.2	La machine CNC dmg mori	62
Figure III.3	La machine CNC Haas super mini Mill	65
Figure III.4	Localisation du site étudié	67
Figure III.5	Schéma d'un installation autonome	69
Figure III.6	Panneaux jinkosolar monocristalline	72
Figure III.7	Caractéristiques électriques du module choisi.	73
Figure III.8	Batterie concorde (PVX-2580L)	76
Figure III.9	Caractéristique électrique de la batterie choisie	77
Figure III.10	Convertisseur must power	79
Figure III.11	Régulateur du type 200a/96v.	81
Figure III.12	Caractéristiques climatiques du site étudié	83
Figure III. 13	Trajectoire du soleil de site étudié	84
Figure III.14	Orientation et inclinaison du système PV	84
Figure III.15	Schéma simplifié d'une installation PV autonome	85
Figure III.16	Dimensionnement des batteries	86
Figure III.17	Dimensionnement de module	87
Figure III.18	Paramètres de simulation de off grid	88
Figure III.19	Graphe représente variation de l'énergie normalisé par moi.	89
Figure III.20	Graphe représente indice de performance en fonction de mois	90

Listes des Figures et Tableaux

Figure II.21	Graphes représente variation d'énergie effective fournie par les captures en fonction de l'éclairement	90
Figure III.22	Diagramme des pertes sur l'année entière	91
Figure III.23	Schéma simplifié d'une installation PV connectée au réseau	92
Figure III.24	Dimensionnement des modules PV et onduleurs	93
Figure III.25	Paramètres de simulation de On grid	94
Figure III.26	Énergie utile produite par la centrale PV (à la sortie de l'onduleur)	95
Figure III.27	Indice de performance de la centrale PV	96
Figure III.28	Graphes représente variation d'énergie injectée dans le réseau en fonction de global incident	96
Figure III.29	Diagramme des pertes sur l'année entière	97
Figure IV.1	Flux trésorerie cumulé (kDZD)	104
Figure IV.2	Emissions de CO ₂ évitées dans l'installation	106
Figure IV.3	Les 10 pays plus polluants (en million de tonne de co2)	107

Listes des Tableaux

N° Tableaux	Titre	Pages
Tableau III .1	Caractéristique technique de la machine Dmg mori	63
Tableau III.2	Bilan Energétique	68
Tableau III.3	La consommation énergétique	69
Tableau III.4	La puissance crête	71
Tableau III.5	Les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête.	72
Tableau III.6	Le nombre des panneaux utilisés	74
Tableau III.7	Fiche technique de convertisseur	79
Tableau III.8	Fiche technique du régulateur choisi.	81
Tableau III.9	Résultats obtenu par calculs théorique et par simulation de pv sys	98
Tableau IV.1	Etude économique du système PV off grid .	102
Tableau IV.2	Etude économique du système PV on grid.	103
Tableau IV.3	Analyse financière de projet	104
Tableau IV.4	L'évaluation du cout de deux systèmes	105

Abréviation

Abréviations

PV : photovoltaïque.

ENR : énergie renouvelable.

SER : source d'énergie renouvelable .

GPV : générateur photovoltaïque .

FAB.Mec : fabrication mécanique .

CNC : machine a commande numérique .

Np: Le nombre de panneau

Nm.s: le nombre de module en série

Nm.p: Le nombre de module en parallèle

Nb.s:le nombre de batterie connecté en série

Nb.p: le nombre de batterie connecté en parallèle

Nb: le nombre total de batterie

C : Capacité

MPPT : Maximum Power Point Tracker.

PWM : Pulse With Modulation.

Introduction générale

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir. La totalité de production mondiale d'énergie provient de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. En plus la consommation excessive de stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

La consommation mondiale d'électricité observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie, du transport et des moyens de communications. De nos jours, une grande partie de la production électrique est produite à partir de ressources non renouvelables comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine. Ce qui entrainera à plus ou moins courte échéance un risque non nul d'épuisement de ces ressources. D'autant plus que la demande ne cesse de croître et dès à présent à être supérieure à l'offre, se traduisant par exemple par une forte fluctuation du prix mondial du pétrole.

Par ailleurs aujourd'hui nous distinguons plusieurs sources d'énergies renouvelables : l'énergie Hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie de la biomasse, l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque (qui sera étudiée dans ce mémoire). Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, rivalisant avec des énergies fossiles du point de vue coût et performance de production.

L'énergie solaire photovoltaïque constitue une alternative que beaucoup de pays envisagent à l'horizon 2030. C'est une énergie électrique produite au moyen de panneaux solaires qui permettent de convertir une partie du rayonnement solaire.

L'objectif de ce travail et de faire une étude de faisabilité des systèmes PV a supporté la charge électrique de l'entreprise en limitant les Degas causée par les coupures électrique.

Pour ce faire, ce mémoire est établi en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente des généralités sur les énergies renouvelables, Dans le deuxième chapitre on va présenter une étude générale sur le système d'énergie solaire photovoltaïque a on présentant les différents éléments qui entrent dans la constitution d'un système PV tels que la cellule, module et champ PV et leurs différents branchement, les différents types de systèmes PV comme le système autonome, raccordés au réseau et hybride. Finalement nous avons cité les avantages et les inconvénients des systèmes PV en général.

Le troisième chapitre est consacré à une étude à la simulation numérique : nous présentons le logiciel que nous avons utilisé comme PV SYSYT qui nous permet de déterminer le nombre de panneaux et nombres des Batteries Ensuite, nous représentons les résultats obtenus de l'installation PV

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude de la rentabilité économique de l'installation photovoltaïque et Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion.

Chapitre I : Les énergies renouvelables

I .1. Introduction

Les réserves de la planète en minerais et en combustibles d'origine fossile sont limitées, ainsi, l'exploitation du charbon, du pétrole, du gaz et de l'uranium ne sont pas viables à long terme.

Heureusement, les énergies renouvelables provenant des flux de régénération de la nature sont inépuisables et n'ont pas à long terme d'effet négatif sur l'environnement. Aussi, ces sources naturelles pourraient devenir dans le futur la base de l'alimentation en énergie, et probablement le seul moyen de produire de l'électricité. Les prochaines années s'annoncent prometteuses pour les énergies propres. La lutte contre le changement climatique, le développement de la production d'électricité décentralisée et le progrès technique devraient donner un formidable coup de fouet à ces filières.

Energie fossiles

Les **énergies fossiles** sont issues de la décomposition très lente d'éléments vivants (principalement des végétaux) durant des millions d'années : de cette décomposition se crée naturellement du charbon, du pétrole ou encore du gaz naturel. A l'inverse des énergies renouvelables, les énergies fossiles ont une quantité limitée et leur extraction implique leur épuisement.

On sait également que leur utilisation est en grande partie responsable du réchauffement climatique, car leur combustion engendre une grosse quantité d'émission de gaz à effets de serre.

Les trois principales énergies fossiles utilisées aujourd'hui dans le monde sont :

- le pétrole,
- le charbon,
- le gaz

Historique d'énergie renouvelable



Figure I.1 : les énergies renouvelables

Pendant la plus grande partie de son histoire, l'humanité n'a disposé que d'énergies renouvelables pour couvrir ses besoins énergétiques. Au Paléolithique, les seules énergies disponibles étaient la force musculaire humaine et l'énergie de la biomasse utilisable grâce au feu ; mais de nombreux progrès ont permis d'utiliser ces énergies avec une efficacité grandissante (inventions d'outils de plus en plus performants).

Le progrès le plus significatif a été l'invention de la traction animale, qui est survenue plus tard que la domestication des animaux. On estime que l'homme a commencé à atteler des bovins à des araires ou des véhiculés à roues durant l'IV^e millénaire av. J.-C. Ces techniques inventées dans l'ancien croissant fertile ou en Ukraine, ont par la suite connu un développement mondial [2]. L'invention de la marine à voile a été un progrès très important.

Celle des moulins à eau et moulins à vent a également apporté une énergie supplémentaire considérable. Braudel qualifie de « première révolution mécanique » l'introduction progressive, du XI^e siècle au XIII^e siècle, des moulins à eau et à vent : « ces « moteurs primaires » sont sans doute de modique puissance, de 2 à 5 HPn 1 pour une roue à eau, parfois 5, au plus 10 pour les ailes d'un moulin à vent. Mais, dans une économie mal fournie en énergie, ils représentent un surcroît de puissance considérable. Plus ancien, le moulin à eau a une importance bien supérieure à celle de l'éolienne. Il ne dépend pas des irrégularités du vent, mais de l'eau, en gros moins capricieuse. Il est plus largement diffusé, en raison de son ancienneté, de la multiplicité des fleuves et rivières, ... » [3]

À la fin du XVIII^e siècle, à la veille de la révolution industrielle, la quasi-totalité des besoins d'énergie de l'humanité était encore assurée par des énergies renouvelables. Dans un essai d'évaluation de la répartition des consommations par source d'énergie, Fernand Braudel

estime à plus de 50 % la part de la traction animale, environ 25 % celle du bois, 10 à 15 % celle des moulins à eau, 5 % celle de la force humaine et un peu plus de 1 % celle du vent pour la marine marchande ; il renonce à chiffrer la part des moulins à vent, faute de données, tout en précisant : « les éoliennes, moins nombreuses que les roues hydrauliques, ne peuvent représenter que le quart ou le tiers de la puissance des eaux disciplinées » [3]. On peut donc, évaluer la part totale de l'énergie éolienne (voile + moulins à vent) entre 3 et 5 %. Il mentionne pour mémoire la batellerie fluviale, la marine de guerre, le charbon de bois et le charbon de terre.

L'apparition de la machine à vapeur, puis du moteur Diesel, ont entraîné le déclin des moulins à eau et de l'énergie éolienne au XIXe siècle ; les moulins à eau et à vent ont disparu, remplacés par les minoteries industrielles. Au milieu du XXe siècle, l'énergie éolienne n'était plus utilisée que pour la navigation de plaisance et pour le pompage (agriculture, polders). Par contre, l'énergie hydraulique a connu un nouvel âge d'or avec l'hydroélectricité, apparue en Suisse, Italie, France et États-Unis à la fin du XIXe siècle.

Au XIXe siècle également, François de Larderello met au point en Italie les techniques d'utilisation de la géothermie ; en 1911, la première centrale géothermique était construite à Larderello.

Dans les années 1910, les premiers chauffe-eau solaires individuels apparaissent en Californie.

Puis, les éoliennes sont réapparues, bénéficiant de techniques plus performantes issues de l'aviation ; leur développement a pris de l'ampleur à partir des années 1990. Le solaire thermique et le solaire photovoltaïque décollent au début des années 2000.

Energies Renouvelables

Au vue de la loi Algérienne, les énergies renouvelables [4] qualifiées en tant que tel sont :

Les formes d'énergies électriques, mécaniques, thermiques ou gazeuses sont obtenues à partir de la transformation du rayonnement solaire, de l'énergie du vent, de la géothermie, des déchets organiques, de l'énergie hydraulique et des techniques d'utilisation de la biomasse. Toutefois, de nombreux experts estiment que la part des énergies renouvelables, même si elle augmente dans les années qui viennent, restera globalement faible. D'une part, parce que les ressources d'énergies fossiles sont encore considérables : 40ans de réserves prouvées de

pétrole, 62 ans pour le gaz, 400 ans pour le charbon. D'autre part, parce que les énergies renouvelables resteront probablement toujours plus chères que les énergies classiques. [5]

Cette source solaire fournit des rayonnements en moyenne, interceptés par la surface de la terre, équivalent à 8000 fois plus grand que la consommation d'énergie primaire. Avec la population mondiale actuelle, ce taux monte à une moyenne incroyable de 20 MW par personne (20 millions de W). Donc, le flux d'énergie peut être obtenu directement en utilisant une technologie thermique ou photovoltaïque, ou indirectement, grâce au vent, aux vagues, aux barrages sur rivière et aux biocarburants. La plupart des énergies renouvelables sont facilement convertibles en électricité. Mais les énergies solaire, géothermique ou provenant de la biomasse peuvent aussi servir à fournir de la chaleur. Elles peuvent assurer tous les services prévus par les sources conventionnelles : le chauffage, la réfrigération, l'électricité, et quoiqu'avec difficulté et surcoût pour le transport. Pour une source naturelle, c'est un avantage supplémentaire de pouvoir aussi fournir de l'énergie à des zones éloignées sans avoir besoin d'un réseau de transport coûteux. Il est important de noter qu'il n'est pas toujours nécessaire de convertir une énergie renouvelable en électricité. L'eau chaude solaire ou l'éolienne actionnant une pompe à eau sont des exemples de systèmes pouvant fonctionner sans aucun circuit électrique.

Cependant, pour satisfaire de plus en plus les besoins des consommateurs, les énergies renouvelables seront surtout utilisées sous forme électrique.

Les différents types d'énergies renouvelables

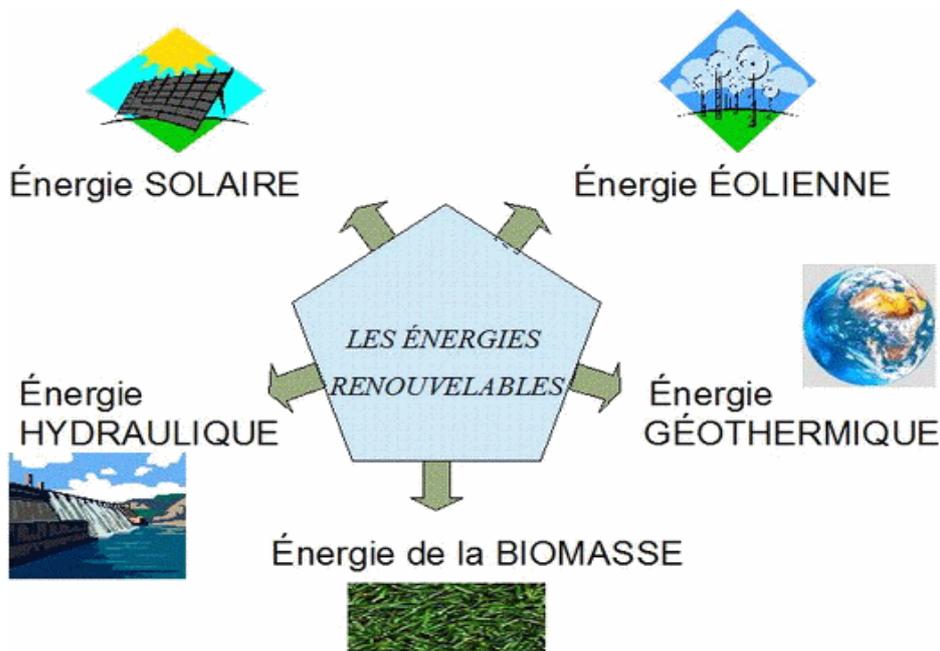


Figure I.2 : les cinq familles d'énergies renouvelables

Il y a cinq familles principales d'énergies renouvelables. Dans l'ordre d'importance de leur exploitation actuelle, ce sont :

- l'énergie solaire ;
- l'énergie éolienne ;
- l'énergie hydraulique (hydroélectricité) ;
- la biomasse (avec le bois de chauffage, ainsi que biogaz...) ;
- la géothermie.

I.5.1. L'énergie solaire

Le soleil est la première et la principale source d'énergie renouvelable. Ces rayons sont retenus par des capteurs thermiques et sont transformés pour produire de l'énergie électrique ou pour réchauffer de l'eau destinée à un usage sanitaire. Pour pouvoir exploiter l'énergie solaire, on peut se servir soit de panneaux solaires photovoltaïques, soit de panneaux solaires thermiques. [6]



Figure I.3: l'énergie solaire

I. 5 .2. L'énergie éolienne

Le vent est une source intermittente d'énergie puisqu'il ne souffle pas toujours à la vitesse requise pour produire de l'électricité.

C'est un principe vieux comme les moulins à vent, le vent fait tourner les pales qui sont elles-mêmes couplées à un rotor et à une génératrice, elle fonctionne comme Suit :

- ✓ Le vent traverse les pales de rotor, les faisant tourner.

- ✓ L'arbre du rotor peut être fixé à un multiplicateur, qui peut accroître la vitesse, ou encore il peut être fixé directement dans la génératrice et produire de l'électricité.
- ✓ Plus le vent souffle fort, plus on peut capter de l'énergie et plus on peut produire de l'électricité. Si le vent est trop fort, l'éolienne s'arrêtera en se détournant du vent et en appliquant un mécanisme de frein qui empêche les pales de tourner trop rapidement et de s'endommager.
- ✓ Il existe deux modèles de base d'éoliennes : le modèle à axe horizontal et le modèle à axe vertical [7].



Figure I.4 : l'énergie éolienne

L'éolienne a axe horizontal

L'éolienne à axe horizontal ressemble davantage à un moulin à vent avec ses deux ou, plus souvent, trois pales de rotor fixées comme une hélice sur le devant et au sommet de la tour. Sur certaines éoliennes de ce type, les pales de rotor peuvent être posées à plat et basculer vers l'avant et vers l'arrière (ou « s'incliner ») pour capter le vent. On les appelle éoliennes à pas variable.

Le multiplicateur, le frein et la génératrice sont logés dans un coffre, ou une Nacelle, derrière les pales de rotor, au sommet de la tour [8].

L'éolienne a axe verticale

Les pales de rotor de ce type d'éolienne sont fixées au sommet et près du bas de la tour, et sont bombées au centre. Le multiplicateur et la génératrice sont logés dans une structure de protection, à la base de la tour.

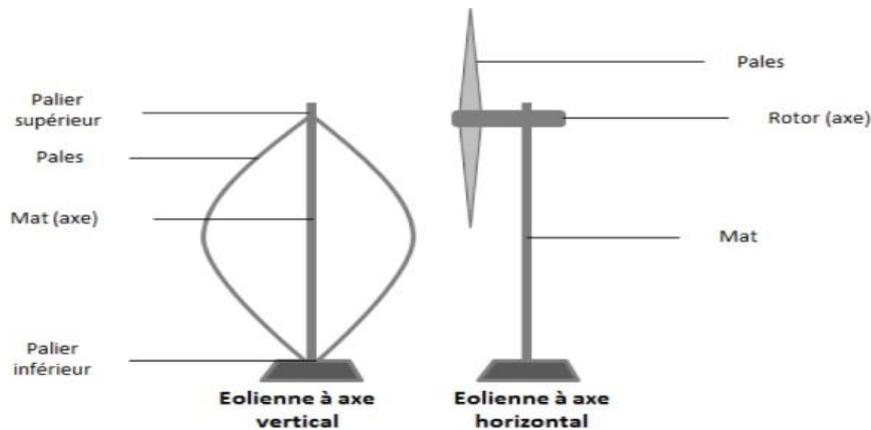


Figure I.5 : schéma d'une éolienne a axe verticale et horizontale.

Énergie hydraulique

A l'instar de l'énergie éolienne, les énergies hydrauliques (à l'exception de l'énergie marémotrice) ont leur origine principale dans les phénomènes météorologiques et donc l'énergie solaire.

Le soleil provoque l'évaporation de l'eau, principalement dans les océans et en libère une partie sur les continents à des altitudes variables. On parle du cycle de l'eau pour décrire ces mouvements. L'eau possède, en altitude, une énergie potentielle de pesanteur ; cette énergie peut être captée et transformée dans des barrages hydroélectriques, lors du retour de l'eau vers les océans. Avant l'avènement de l'électricité, les moulins à eau permettaient de capter cette énergie mécanique pour entraîner des machines ou des outils (machines à tisser, moulins à moudre le blé, etc.).

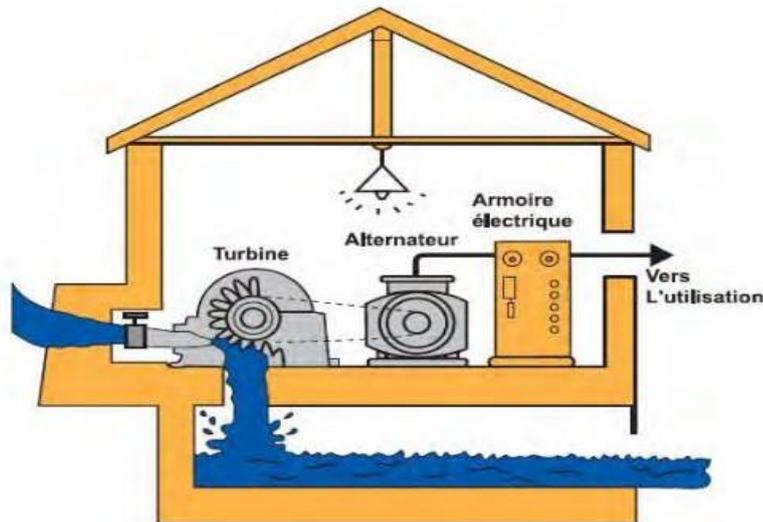


Figure I.6 : l'énergie hydraulique

Depuis l'invention de l'électricité cette énergie mécanique est transformée en énergie électrique ; l'hydroélectricité est après la biomasse, la deuxième énergie renouvelable : selon l'Agence internationale de l'énergie, elle fournit 2,4 % de l'énergie primaire produite dans le monde en 2014 (contre 1,8 % en 1973), sur un total de 14,1 % d'énergies renouvelables (12,4 % en 1973) [9].

La biomasse

Grâce à la photosynthèse, les plantes utilisent l'énergie solaire pour capturer le gaz carbonique et le stocker sous forme d'hydrates de carbone, tout en assurant leur croissance.

Les premiers hommes ignoraient ce processus physico-chimique, mais ils ont vite compris l'intérêt de la « biomasse » pour se chauffer. Employé pour désigner toute la matière vivante, ce terme de biomasse s'applique depuis peu à l'ensemble des végétaux employés comme sources d'énergie.

Le bois de feu est la plus ancienne de ces sources. Aujourd'hui on peut ajouter la biomasse dite « humide »; déchets organiques agricoles, déchets verts, boues des stations d'épuration, ordures ménagères qui constituent, à une moindre échelle, autant de sources d'énergie, mais pas forcément très écologiques.

Bois énergie

Le bois est sans doute la source d'énergie la plus intéressante dans la problématique des énergies renouvelables. Le bois constitue donc une source d'énergie renouvelable et relativement propre. Dans un pays qui pratique la sylviculture et replante au minimum autant d'arbres qu'il en coupe, le bilan écologique est donc neutre.

Le biocarburant

L'autre atout de la biomasse est la possibilité de fabriquer des biocarburants. Il en existe deux types :

Les éthanol et les biodiesels.

- Les éthanol, destinés aux moteurs à essence, sont issus de différentes plantes comme le blé, le maïs, la betterave et la canne à sucre. Le procédé consiste à extraire le sucre de la plante pour obtenir de l'éthanol après fermentation,
- Quant aux biodiesels, ils sont extraits des oléagineux (colza, tournesol, soja etc.) Les esters d'huile obtenus peuvent alors être mélangés au gazole. En règle générale, ces biocarburants sont mélangés aux carburants classiques, essence et gazole. Ils entraînent alors une petite diminution des rejets de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone, gaz responsable de l'effet de serre. Mais ces biocarburants ont un énorme inconvénient ; ils occupent des surfaces agricoles au détriment des cultures vivrières.

Le biogaz

Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (CH₄) et de gaz carbonique (CO₂). Suivant sa provenance [10], il contient aussi des quantités variables d'eau, d'azote, d'hydrogène sulfuré (H₂S), d'oxygène, d'aromatiques, de composés organo-halogénés (chlore et fluor) et des métaux lourds, ces trois dernières familles chimiques étant présentes à l'état de traces. Le biogaz est produit par un processus de fermentation anaérobie des matières organiques animales ou végétales, qui se déroule en trois étapes (hydrolyse, acidogènes et méthanogènes) sous l'action de certaines bactéries. Il se déroule spontanément dans les entres d'enfouissement des déchets municipaux, mais on peut le provoquer artificiellement dans des enceintes appelées "digesteurs" où l'on introduit à la fois les déchets organiques solides ou liquides et les cultures bactériennes. Cette technique de méthanisation volontaire peut s'appliquer :

- aux ordures ménagères brutes ou à leur fraction fermentescible ;
- aux boues de stations d'épuration des eaux usées urbaines ou industrielles ;

- aux déchets organiques industriels, (cuirs et peaux, chimie, parachimie,...) ;
- ainsi qu'aux déchets de l'agriculture et de l'élevage (fientes, lisier, fumier,...).

Les voies de valorisation du Biogaz sont : chaleur seule, électricité seule, cogénération, carburant automobile, injection dans le réseau de gaz naturel.



Figure I.7 : la biomasse

I. 5 .5. La géothermie

La chaleur naturellement présente dans le sous-sol de notre planète représente une formidable source d'énergie. La géothermie utilise cette chaleur pour le chauffage et la production d'électricité [11]. Selon la température des différentes couches du sol, on qualifie la géothermie de « haute énergie » (150 °C), « moyenne énergie » (entre 90 et 150 °C), « basse énergie » (entre 30 et 90 °C) et de « très basse énergie » (moins de 30 °C). Ainsi, plus on s'enfonce dans la terre, plus la température y est élevée.

- L'énergie géothermique est une puissance développée par l'exploitation de la chaleur sous la surface de la terre.
- Des puits sont utilisés pour transporter la vapeur et l'eau chaude dans les profondeurs de la terre, jusqu' à la surface. L'eau chaude utilisée fait tourner les turbines afin de produire l'énergie électrique ou chauffer des locaux .



Figure I.8 : la géothermie

Les avantages des énergies renouvelables

On attribue souvent aux énergies renouvelables des caractéristiques favorables, telles que :

- la sûreté (faible risque d'accident, faibles conséquences d'un éventuel accident, etc.) ;
- la propreté (peu, voire pas du tout de déchets, peu dangereux et facile à gérer ;
- la décentralisation (développement local des territoires, réserve d'emplois locaux non délocalisables, etc.; fin 2012, pour l'UE-27, le marché total des énergies renouvelables représentait près de 1,2 million d'emplois, pour un chiffre d'affaires cumulé (toutes énergies confondues) évalué à plus de 137 milliards d'euros ; [12]
- le respect de l'environnement, lors de la fabrication, pendant le fonctionnement, et en fin de vie.

Les inconvénients des sources d'énergies renouvelables

Comme pour chaque chose, les énergies ont également leurs petits défauts. On notera en priorité un coût relativement important à l'achat des installations dont la rentabilité peut se faire attendre des années, des journées sans vent ou sans grande luminosité peuvent contrarier fortement la production de l'éolien et du solaire.

Cependant, certaines populations refusent leur implantation à cause des nuisances sonores et visuelles qu'elles entraîneraient. L'énergie biomasse, à l'instar de l'énergie géothermique, a pour défaut de ne pas pouvoir être exploitée de manière intensive au risque d'épuiser trop rapidement les ressources naturelles. Enfin, l'énergie solaire ne possède pas un rendement suffisant pour subvenir à la totalité des besoins énergétiques d'un foyer. Se pose également le problème du recyclage des cellules photovoltaïques et thermiques.

I.8 . Situation actuelle (ensemble des énergies renouvelables)**▪ Dans le monde**

Le nombre de pays s'étant fixé des objectifs en termes d'énergie renouvelable a quadruplé en 10 ans, passant de 43 en 2005 à 164 en 2015, selon un rapport publié par l'Agence internationale de l'énergie renouvelable.

Les pays émergents comblent leur retard : 131 d'entre eux se sont donné des objectifs. 151 pays ont fixé des objectifs pour les énergies renouvelables électriques, mais seulement 47 dans le domaine du chauffage et du froid et 59 pour les transports [13].

Selon le bilan annuel 2015 commandé par le Programme des Nations unies pour l'environnement.

Les investissements mondiaux dans les énergies renouvelables ont progressé de 5 % en 2015, à 286 Mds \$ (milliards de dollars) (hors grands projets hydroélectriques, estimés à 43 Mds \$), dépassant leur précédent record de 278,5 Mds \$ atteint en 2011 ; ce record a été obtenu malgré la chute des prix des combustibles fossiles. Les investissements dans les installations de production d'énergies renouvelables ont représenté plus du double de ceux dans les énergies fossiles (charbon et gaz), estimés à 130 Mds \$. La part des énergies renouvelables dans la production d'électricité n'est cependant encore que légèrement supérieure à 10 %.

Pour la première fois, les investissements des pays en développement et émergents ont dépassé ceux des pays développés : 156 Mds \$ (+19 %) contre 130 Mds \$ (-8 %) ; la Chine à elle seule a investi 102,9 Mds \$ (+17 %), soit 36 % du total mondial, suivie par l'Europe : 48,8 Mds \$ (-21 %), les États-Unis : 44,1 Mds \$ (+19 %) et l'Inde : 10,2 Mds \$ (+22 %)

Le solaire arrive en tête avec 161 Mds \$ (+12 %), suivi par l'éolien : 109,6 Mds \$ (+4 %) ; les autres énergies renouvelables totalisent 15,2 Mds \$ et ont toutes connu un fort recul en 2015 ; ainsi, les investissements dans les biocarburants sont tombés à 3,1 Mds \$ alors qu'à leur apogée en 2007 ils atteignaient 28,3 Mds \$; les investissements en biomasse-déchets sont tombés à 6,0 Mds \$ contre 18 Mds \$ en 2011. En 2012, les énergies renouvelables représentaient 19 % de la consommation finale mondiale d'énergie, dont 9 % pour la biomasse et 10 % pour les énergies renouvelables « modernes » : 4,2 % de chaleur produite par les énergies renouvelables thermiques, 3,8 % d'hydroélectricité, 1,2 % pour les autres renouvelables électriques (éolien, solaire, géothermie, biomasse, biogaz) et 0,8 % pour les biocarburants. Les taux de croissance moyens annuels les plus élevés sur cinq ans (2008-

2013) ont été ceux du solaire photovoltaïque (+55 % l'an), du solaire thermodynamique (+48 %), de l'éolien (+21 %), du solaire thermique (+14 %) et du biodiesel (+11 %).

La part des énergies renouvelables dans la consommation mondiale d'énergie primaire était de 14,1 % en 2014, dont 10,3 % issus de la biomasse et des déchets, 2,4 % de l'hydroélectricité et 1,4 % des autres EnR (éolien, solaire, etc.) et 22,7 % de la production mondiale d'électricité (hydro : 16,4 %, autres : 6,3 %).

La différence entre ces deux statistiques provient des conventions adoptées pour les bilans énergétiques, qui minorent la part des énergies renouvelables électriques dans l'énergie primaire.

La consommation totale d'énergie primaire issue de la biomasse atteignait 57 ex joules (= 15 800 TWh) en 2013, dont 60 % de biomasse traditionnelle (bois pour l'essentiel) ; l'usage principal de la biomasse est le chauffage.

La puissance des systèmes de chauffage à biomasse « modernes » a progressé en 2013 de 1 % à 296 GWth. Les biocarburants ont représenté 2,3 % de la consommation de carburants du transport mondial ; leur production a progressé de 7,7 milliards de litres pour atteindre 116,6 milliards de litres ; la production d'éthanol s'est redressée de 6 % après deux ans de déclin, le biodiesel a progressé de 11 % et celle d'huile végétale carburant de 16 %, à 3 millions de litres; de nouvelles usines de biocarburants avancés produits à partir de biomasse non alimentaire ont été mises en service en Europe et en Amérique du Nord ; cependant, le total des investissements en nouvelles usines de biocarburant a continué à décliner depuis le pic de 2007.

L'usage direct de la chaleur géothermique (bains thermaux, chauffage de piscines, chauffage de locaux, procédés agricoles et industriels) est estimé à plus de 300 pétajoules par an, mais progresse peu.

La puissance thermique des capteurs de chaleur solaire, à eau ou à air, est passée de 283 GWth fin 2012 à 330 GWth fin 2013 ; la Chine reste le principal marché, avec plus de 80 % du marché mondial ; la demande continue à ralentir en Europe, mais de nouveaux marchés se développent dans des pays comme le Brésil, où le prix du chauffage solaire de l'eau est compétitif ; la tendance au développement de systèmes collectifs se confirme, ainsi que l'utilisation du solaire thermique pour le chauffage urbain, la production de froid et les applications industrielles.

▪ En l'Algérie

L'Algérie a lancé, le 3 février 2011 [14], son Programme national de développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique [15]. Ce programme, qui s'étale sur la période allant de 2011 à 2013, ambitionnait de produire 22 000 MW d'électricité à partir du solaire et de l'éolien dont 10 000 MW destinés à l'exportation [15].

Le gouvernement algérien a adopté fin février 2015 son programme de développement des énergies renouvelables 2015-2030. Une première phase du programme, démarrée en 2011, avait permis la réalisation de projets pilotes et d'études sur le potentiel national. Le nouveau programme précise les objectifs d'installations d'ici à 2030 :

- 13 575 MWc de solaire photovoltaïque,
- 5 010 MW d'éolien,
- 2 000 MW de solaire thermodynamique (CSP),
- 1 000 MW de biomasse (valorisation des déchets),
- 400 MW de cogénération,
- 15 MW de géothermie.

Le total s'élève ainsi à 22 GW, dont plus de 4,5 GW doivent être réalisés fin 2020 [16].

Impact sur le réchauffement climatique

Lorsqu'on ne tient pas compte du potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre des modes actuels de production et d'utilisation de l'énergie, les énergies propres et renouvelables sont parfois présentées comme une solution au problème du réchauffement climatique. En réalité, il faut considérer deux aspects complémentaires des politiques de la maîtrise de l'énergie: les économies d'énergie d'une part et les énergies renouvelables d'autre part; ceci de façon à diminuer la consommation d'énergies fossiles.

Selon le scénario énergétique sur les potentiels respectifs, en économies d'énergie et en énergies renouvelables, des experts de Greenpeace pour 2030, l'éolien et le solaire représenteraient à eux deux environ 3% de la production d'énergie mondiale [16]

Des sources académiques sur le sujet ont montré qu'un scénario énergétique entièrement renouvelable permettant de garantir la qualité de vie des pays développés à l'ensemble de la population mondiale était techniquement faisable avec les meilleures techniques disponibles actuellement en matière d'efficacité énergétique [17]. Toutefois ces études ne se sont intéressées qu'aux aspects environnementaux, industriels et techniques et n'abordent pas les questions de financement, d'acceptabilité sociale et de risques géopolitiques liées à un tel changement .

Le Coût

Les coûts de production d'électricité (coûts moyens actualisés) à partir d'énergie renouvelable ont peu varié entre 2009 et 2015, sauf ceux du solaire photovoltaïque:

- ✓ Ceux de l'éolien à terre ont baissé de 14% (83\$/MWh contre 96\$/MWh), mais après deux années de baisse ils remontent légèrement.
- ✓ Ceux de l'éolien en mer ont fortement augmenté jusqu'à plus de 220\$/MWh en 2012 avant de redescendre à 174\$/MWh en 2015.
- ✓ Le solaire thermodynamique avec stockage est resté stable à environ 275\$/MWh.
- ✓ Le solaire photovoltaïque (silicium cristallin) a chuté de 61% entre 315\$/MWh au 3^e trimestre 2009 et 122\$/MWh fin 2015, et certains projets de centrales dans des zones très ensoleillées ont atteint des prix très bas: 58,5\$/MWh à Dubaï, 64\$/MWh au Rajasthan et 68\$/MWh dans l'Andhra Pradesh.

Conclusion

La Feuille de route pour l'énergie à l'horizon 2050 indique que « La part des sources d'énergie renouvelables (SER) augmente considérablement dans tous les scénarios, pour atteindre 55 % de la consommation énergétique finale brute en 2050. La part des SER dans la consommation d'électricité atteint 64 % dans le Scénario "haute efficacité énergétique" et 97 % dans le scénario "part élevée de SER", qui prévoit un important stockage d'électricité pour absorber les variations dans l'approvisionnement en provenance des SER même lorsque la demande est faible. » Le principal problème reste le stockage de l'électricité, un point délicat. Étant donné que l'énergie des différentes sources renouvelables n'est pas constante et qu'on ne peut pas la contrôler, nous devons pouvoir stocker l'énergie électrique produite quand les SER sont disponibles pour l'utiliser quand elles ne le sont pas. Est-ce la solution pour atteindre 100 % d'utilisation de SER ? Cela reste à voir.

Chapitre II : L'énergie solaire photovoltaïque

Introduction

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables comme la plupart des énergies vertes, elle donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie de ses besoins.

Aujourd'hui l'énergie électrique est très demandée dans notre quotidien et nos besoins. Pour les sites isolés l'électrification par énergie renouvelable est devenue un sujet crucial (région saharienne, région montagneuse), l'énergie solaire photovoltaïque constitue la solution la plus avantageuse pour ces zones.

Dans ce chapitre nous allons définir quelques notions préliminaires sur le rayonnement solaire nécessaires à la compréhension du principe de la photovoltaïque ainsi qu'une étude descriptive générale de ces systèmes.

Le Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il est composé de toute la gamme des rayonnements, de l'ultraviolet lointain comme les rayons gamma aux ondes radio en passant par la lumière visible. Le rayonnement solaire contient aussi des rayons cosmiques et il est approximativement décomposé comme suit [18]:

- ✓ 9% dans la bande des ultraviolets ($<0,4 \mu\text{m}$) ;
- ✓ 47% dans la bande visible ($0,4 \text{ à } 0,8 \mu\text{m}$) ;
- ✓ 44% dans la bande des infrarouges ($>0,8 \mu\text{m}$).

II.2.1. Différents types de rayonnement

Il existe plusieurs types de rayonnement : [19]

◆ Le rayonnement direct

Est un rayonnement qui est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ces rayons sont parallèles entre eux et peuvent être mesurés par un pyromètre.

◆ Le rayonnement diffus

Est constitué d'une lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). Sa diffusion engendre un phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet « éclatement » des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions météorologiques.

◆ Le rayonnement réfléchi

Ou « l'albédo » du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Ce rayonnement réfléchi peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

◆ Le rayonnement global

Est la somme de tous les rayonnements reçus, y compris rayonnement réfléchi par le sol et les objets qui se trouvent à sa surface. Il est mesuré par un pyromètre ou un « Solari mètre » sans écran Ainsi :

$$\begin{array}{r} \text{Rayonnement direct} \\ + \\ \text{Rayonnement Globale} = \text{Rayonnement diffus} \\ + \\ \text{Rayonnement réfléchi} \end{array}$$

L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'énergie rayonnée par le soleil. Cette énergie est à l'origine de nombreux phénomènes Physiques tels que la photosynthèse, le vent ou le cycle De l'eau. Elle vient de la fusion nucléaire se produisant au cœur du Soleil. Elle circule dans l'espace sous forme d'un Rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est Composé de photons, petites particules d'énergie Élémentaires.

Historique

L'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et des saisons, elle est donc indirectement à l'origine de richesses énergétiques tels que le charbon, le pétrole ou encore le gaz. L'énergie solaire est utilisée depuis de nombreux siècles par exemple pour se chauffer.

Le fonctionnement des panneaux solaires thermiques est basé sur le phénomène par lequel les objets touchés par les rayons du soleil se réchauffent ; la chaleur ainsi produite peut être recueillie et conservée pour une utilisation ultérieure. Les corps clairs reflètent la lumière alors que les corps sombres l'absorbent en se réchauffant. De l'exploitation de l'énergie solaire avant d'arriver à la technologie actuelle [20]

Plus de 17 siècles plus tard, en 1561, Adam Lonitzer évoque un procédé utilisé par les alchimistes utilisant l'énergie du soleil concentrée dans le but d'élaborer des parfums. En 1615, Salomon de Gaus construisit une pompe solaire, utilisant de l'air chauffé avec le rayonnement solaire.

Dans les années 1780, il invente un instrument de mesure lui permettant d'étudier les effets calorifiques des rayons du Soleil, qu'il nomme « hélio thermomètre », il utilise l'effet de serre obtenu par un vitrage placé au-dessus d'un absorbeur dans un caisson isolé ; il crée ainsi les premiers capteurs solaires thermiques à basse température.

1839 : le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.

1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

Mais jusqu'à la seconde guerre mondiale, le phénomène reste encore une découverte anecdotique. Au cours des années 1980, la technique PV terrestre a progressé régulièrement par la mise en place de plusieurs centrales de quelques mégawatts [21].

1958 : une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point, les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

La science qui traite la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique, est apparue en 1930 avec les cellules à oxyde cuivreux puis au sélénium. Mais ce n'est qu'en 1954 avec la réalisation des premières cellules PV au sélénium dans les laboratoires de la compagnie Bell Téléphone Laboratoires, que l'on entrevoit la possibilité de fournir de l'énergie, les premiers générateurs ont été utilisés en 1958 pour les satellites Vanguard. En 1905, Albert Einstein émet l'hypothèse que la lumière pouvait entrer à l'intérieur des atomes, et que la collision entre les photons et les atomes pouvait faire sortir des électrons de leurs orbites et permettre ainsi la création d'un courant électrique [22]

1983 : la première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000Km en Australie.

Les différents types d'utilisation d'énergie solaire

Sur Terre, il existe différents types d'énergies solaires

- L'énergie passive
- L'énergie thermique
- L'énergie photovoltaïque

a) L'énergie passive

L'énergie solaire passive est une énergie abondante et non polluante qui suppose la conception de bâtiments et la mise en place des composants de construction appropriés.

Le chauffage solaire passif fonctionne comme suit : l'énergie lumineuse du Soleil qui pénètre à l'intérieur des pièces par les fenêtres est absorbée par les murs, les planchers et les meubles, puis libérée sous forme de chaleur.

Des baies vitrées ainsi que la thermo-circulation permettent de faire diminuer la consommation en d'autres énergies. [23]

Donc l'énergie solaire passive peut être utilisée avec profit tout en améliorant significativement le confort des occupants.

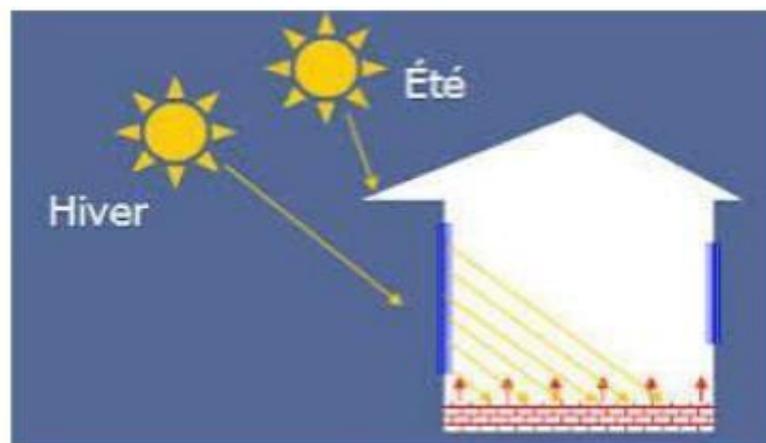


Figure II.1 : le chauffage de la maison par énergie solaire passive

b) L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique désigne l'énergie récupérée à partir de la lumière du soleil par des capteurs solaires thermiques vitrés pour assurer le chauffage. Il existe deux types d'énergie solaire thermique:

- **L'énergie solaire thermique à basse température**

Les rayons du soleil, piégés par des capteurs thermiques vitrés, transmettent leur énergie à des absorbeurs métalliques -lesquels réchauffent un réseau de tuyaux de cuivre où circule un fluide caloporteur. Cet échangeur chauffe à son tour l'eau stockée dans un cumulus.

Un chauffe-eau solaire produit de l'eau chaude sanitaire ou du chauffage généralement diffusé par un "plancher solaire direct".

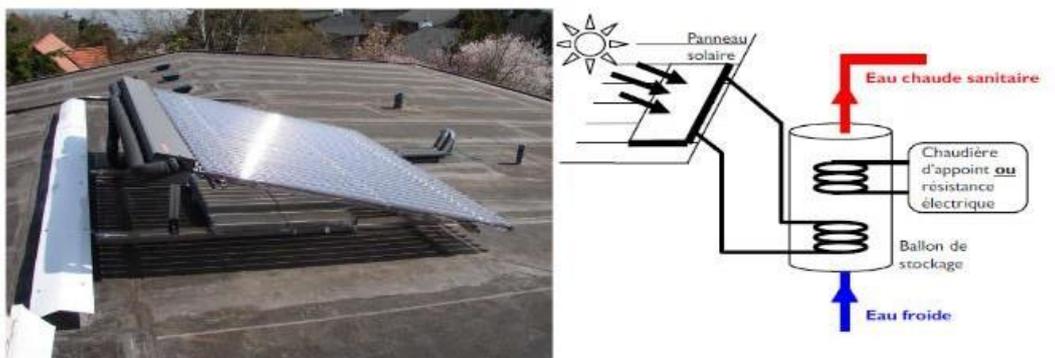


Figure II.2 : principe de fonctionnement de l'énergie solaire thermique à base température.

- **L'énergie solaire thermique à haute température**

La concentration du rayonnement solaire sur une surface de captage permet d'obtenir de très hautes températures généralement comprises entre 400 °C et 1 000 °C.

La chaleur solaire produit de la vapeur qui alimente une turbine qui alimente elle-même un générateur qui produit de l'électricité, c'est l'hélio-thermodynamique. Trois technologies distinctes sont utilisées dans les centrales solaires à concentration :

Dans les concentrateurs paraboliques, les rayons du soleil convergent vers un seul point, le foyer d'une parabole.



Figure II.3 : centrale thermodynamique parabolique.

Dans les centrales à tour, des centaines voire des milliers de miroirs (héliostats) suivent la course du soleil et concentrent son rayonnement sur un récepteur central placé au sommet d'une tour.[24]



Figure II.4: centrale thermodynamique à tour.

Troisième technologie : des capteurs cylindro-paraboliques concentrent les rayons du soleil vers un tube caloporteur situé au foyer du capteur solaire.



Figure II.5 : centrale thermodynamique cylindro-parabolique

c) L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable, elle permet de produire de l'électricité par transformation directe d'une partie de rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque est la manière la plus élégante de produire de l'électricité. Elle se produit sans bruit, sans parties mécaniques, et sans pollution.

Avantages et Inconvénients d'une l'énergie solaire

a) Les avantages :

- L'énergie solaire est inépuisable et non polluante ;
- L'énergie est propre et ne dégage pas de gaz à effet de serre ;
- L'énergie solaire thermique permet d'assurer une partie des besoins en eau chaude sanitaire et en chauffage ;
- L'installation des panneaux solaires thermiques permet de réaliser des économies conséquentes ;
- Les frais de maintenance et de fonctionnement d'une installation thermique sont relativement faibles ;
- Il s'agit d'une source d'énergie électrique totalement silencieuse ce qui n'est pas le cas, par exemple des installations éoliennes ;

•Le rendement énergétique est positif : il faut en moyenne entre 3 et 4 ans pour que le panneau produise l'énergie nécessaire à sa fabrication et un panneau solaire produit en moyenne entre 9 à 14 fois l'énergie qu'il a consommé pour sa fabrication.

b) Inconvénients

- Le coût d'investissement d'une installation solaire thermique est relativement élevé ;
- L'énergie solaire est une énergie intermittente. Il faut donc un système de chauffage d'appoint ;
- La production d'énergie solaire n'est possible que lorsqu'il y a du soleil ;
- Il faut pouvoir stocker la chaleur dans des ballons ou des dalles chauffantes ;
- Un cycle de vie en question : la durée de vie d'une installation photovoltaïque n'est pas éternelle mais de l'ordre de 20 à 30 ans. Le rendement des cellules photovoltaïques diminue avec le temps qui passe. On parle en général pour les panneaux photovoltaïques, d'une perte de rendement de 1 % par an. De plus, les panneaux solaires contiennent des déchets toxiques : cuivre, chrome, silicium, cadmium et tellure ;
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles et de l'ordre de 20 % (pour les meilleurs). L'énergie photovoltaïque convient donc mieux pour des projets à faible besoins, comme une maison unifamiliale, par exemple. [25]

L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie de rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par utilisation d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basé sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque.

1. Historique de l'énergie photovoltaïque

Nous présentons quelques dates importantes dans l'histoire de l'énergie photovoltaïque:

- En 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque ;

- En 1873 : L'ingénieur américain "Willoughby Smith" découvre les propriétés photosensibles du sélénium ;
- En 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs ;
- En 1883: "Charles Frits" construit la première cellule en sélénium et or. Elle atteint un rendement d'environ 1% ;
- En 1905 : Einstein découvre que l'énergie est proportionnelle à la fréquence de l'onde électromagnétique ;
- En 1954 : Trois chercheurs américains Chaplin, Pearson et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque de rendement 6% au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites ;
- En 1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace ;
- En 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware ;
- En 1985 : Les cellules à base de Si donnent une pile de rendement de 20% sous le rayonnement solaire ;
- En 1994 : une pile de rendements de 30 % avec des cellules à concentration multi-jonctions [26].

La cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque ou encore photopile est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque. Elle est composée de matériaux semi-conducteurs et transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique. Les cellules photovoltaïques sont constituées:

- D'une fine couche semi-conductrice (matériau possédant une bande interdite, qui joue le rôle de barrière d'énergie que les électrons ne peuvent pas franchir sans excitation extérieure, et dont il est possible de faire varier les propriétés électriques) tel que le silicium, qui est un matériau présentant une conductivité relativement bonne;
- D'une couche antireflet permettant une pénétration maximale des rayons solaires;

- D'une grille conductrice sur le dessus ou cathode et d'un métal conducteur sur le dessous ou anode. Les plus récentes possèdent même une nouvelle combinaison de multi couches réfléchissantes juste en dessous de semi-conducteur, permettant à la lumière de rebondir plus longtemps dans celui-ci pour améliorer le rendement.

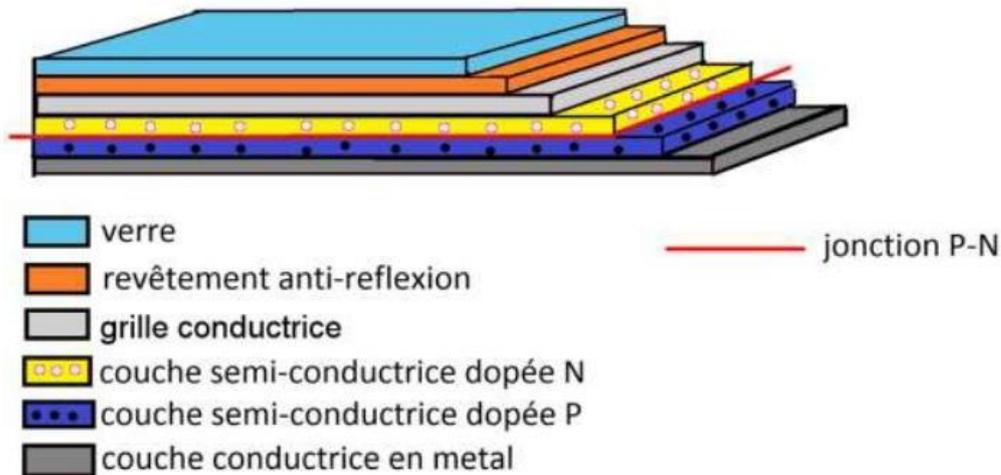


Figure II.6: structure basique d'une cellule solaire.

Conversion photovoltaïque

Semi-conducteur

Les matériaux semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité électrique est intermédiaire entre celle des conducteurs et celle des isolants. Les quatre électrons de valence du silicium permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin. Dans ce cas, tous les électrons sont utilisés et aucun n'est disponible pour créer un courant électrique.

[27]

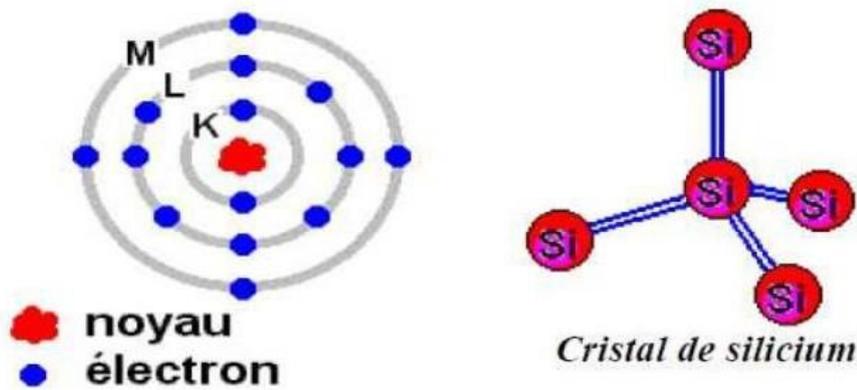


Figure II.7 : le semi-conducteur (silicium).

II. 4.3.2 . Le dopage de semi-conducteur

Pour augmenter la conductivité des semi-conducteurs on y introduit des impuretés. Ce procédé est appelé dopage.

a) Dopage de type N

On remplace un atome de silicium par un atome pentavalent (phosphore p). Quatre d'entre eux assurent les liaisons avec les atomes voisins de silicium et le cinquième reste disponible, il sera excité vers la bande de conduction très facilement par l'agitation thermique. D'où le nombre d'électron libre qui va fortement augmenter : dans ce cas le nombre de trou est très inférieur au nombre d'électron libre. On obtient ainsi un cristal dopé N (négatif). [27]

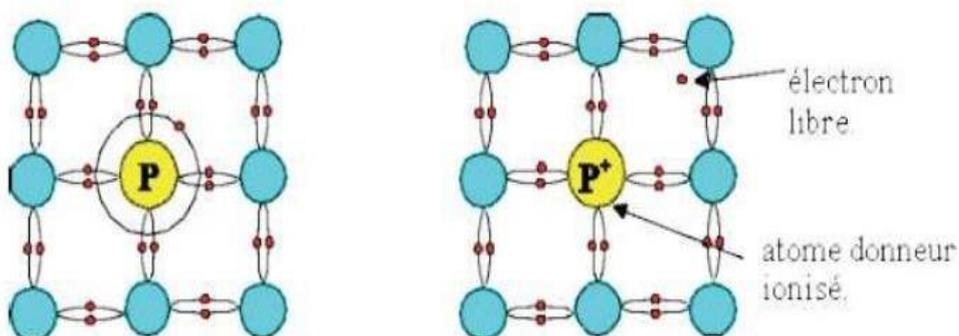


Figure II.8: dopage de semi-conducteur de type N

b) Dopage de type P

De la même façon on introduit des atomes trivalents, ses trois électrons vont assurer les liaisons covalentes avec trois atomes voisins mais laisser un trou au quatrième. Ce trou se déplace de proche en proche dans le cristal pour créer un courant. Ici le nombre de trous est très supérieur au nombre d'électrons libres du cristal intrinsèque, on obtient donc un cristal dopé P (positif), les impuretés utilisées sont souvent du Bore B.

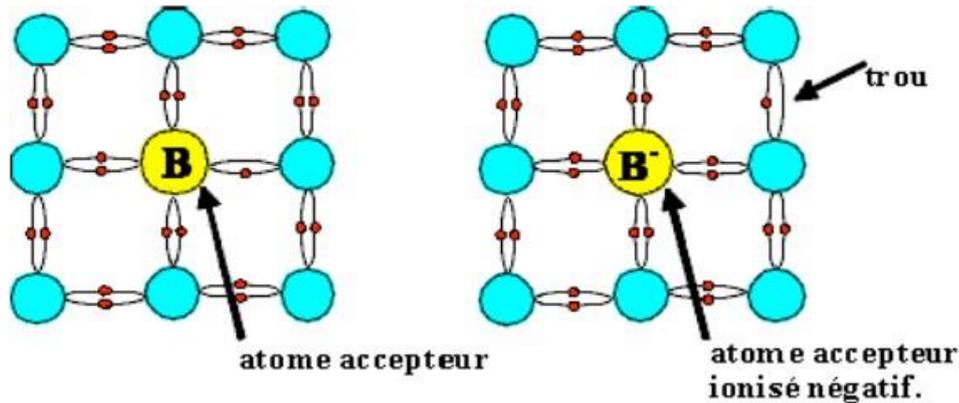


Figure II.9: dopage de semi-conducteur de type P.

La Jonction PN

Une jonction PN est l'accolement d'une région dopée P et d'une région dopée N. Lors de cet assemblage les porteurs de charges libres s'attirent et se recombinent dans la zone de jonction où les porteurs libres disparaissent : c'est la zone de transition. Il ne reste donc plus que les ions dans cette zone qui vont créer un champ électrique interne au niveau de la jonction et qui empêche les charges libres restantes dans chaque zone de traverser la jonction pour se recombiner. [27]

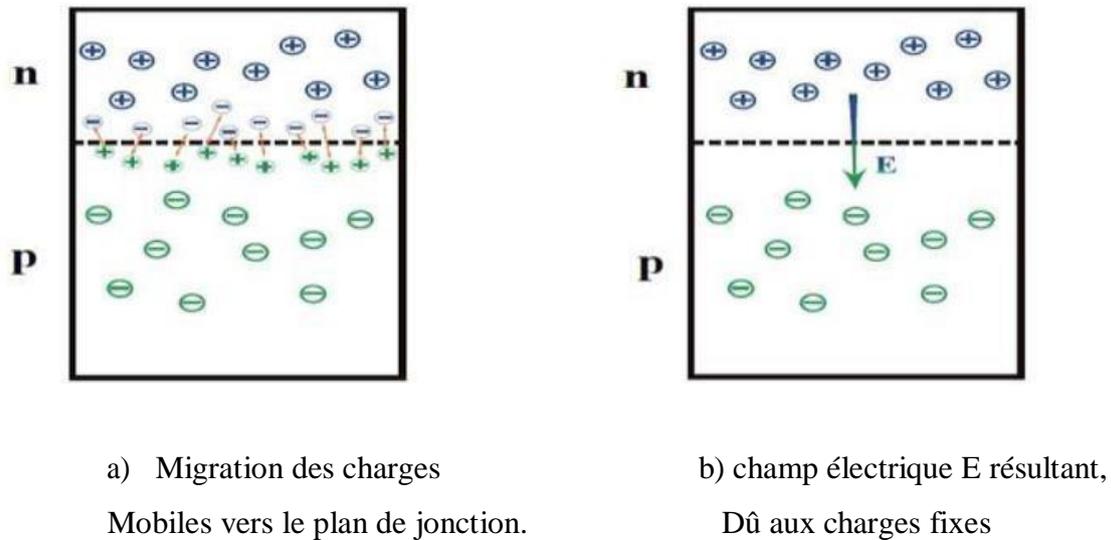


Figure II.10 : la jonction P-N

Effet photovoltaïque

La conversion de l'énergie solaire en énergie électrique repose sur l'effet photovoltaïque, c'est-à-dire sur la capacité des photons à créer des porteurs de charges (électrons et trous) dans un matériau. Lorsqu'un semi-conducteur est illuminé avec un rayonnement de longueur d'onde appropriée (l'énergie des photons doit être au moins égale à celle du gap énergétique du matériau), l'énergie des photons absorbée permet des transitions électroniques depuis la bande de valence vers la bande de conduction du semi-conducteur, générant ainsi des paires électrons-trous, qui peuvent contribuer au transport du courant (photoconductivité) par le matériau lorsqu'on le polarise.

Si on illumine maintenant une jonction PN représenté sur la figure (II.11), les paires électrons-trous qui sont créés dans la zone de charge d'espace de la jonction sont immédiatement séparées par le champ électrique qui règne dans cette région, et entraînées dans les zones neutres de chaque côté de la jonction. Si le dispositif est isolé, il apparaît une différence de potentiel aux bornes de la jonction (photo tension), s'il est connecté à une charge électrique extérieure, on observe le passage d'un courant alors qu'on n'applique aucune tension au dispositif. C'est le principe de base d'une cellule photovoltaïque. [28]

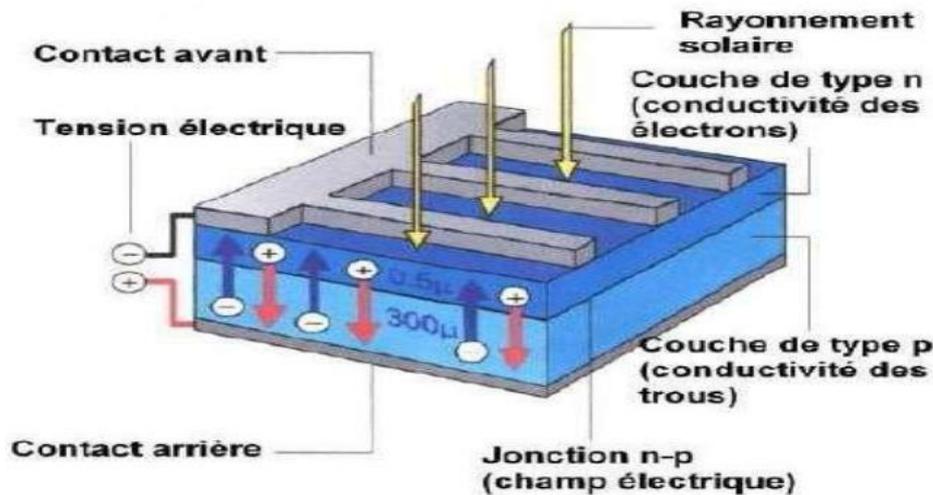


Figure II.11 : l'effet photovoltaïque

II.6 .Principe de fonctionnement

Pour créer un courant électrique dans un semi-conducteur, il faut lui fournir une énergie qui permet d'extraire des électrons de la bande de valence pour les transférer dans la bande de conduction, soit une énergie supérieure au gap de la bande interdite. La lumière dont les photons transportent une énergie: $E = h \nu$ permet d'atteindre cet effet : c'est l'effet photovoltaïque. La lumière pénétrant dans un semi-conducteur permet donc, si son énergie est supérieure au gap de faire passer le semi-conducteur de l'état isolant à l'état conducteur, ce phénomène augmente lorsque la température du semi-conducteur s'élève. Lorsqu'un électron est extrait de la bande de valence pour passer dans la bande de conduction, il laisse derrière lui une vacance ou un trou à sa place, alors un autre électron proche de la bande de valence peut combler ce trou et laisser derrière lui à son tour un trou, on aura ainsi établi un courant de trous. Les deux types de courant ne seront pas différenciés, on parlera simplement de courant, qu'il s'agisse d'électrons ou de trous .

De même on dit que l'absorption de l'énergie des photons par le semi-conducteur crée des paires de porteurs électron-trou. L'effet photoélectrique modifie simplement la conductivité électrique de certains semi-conducteurs, ceci est utilisé pour fabriquer des résistances dépendant de la lumière, composants largement utilisés dans les appareils photographiques et partout où la lumière doit être mesurée. Pour transformer le semi-conducteur photosensible de composant passif en composant actif, il faut pouvoir générer un courant de porteurs, donc apporter une force qui obligera les électrons et les trous à s'écouler

dans deux directions opposées. Cette force sera réalisée par un champ électrique interne provenant du dopage du semi-conducteur. [29]

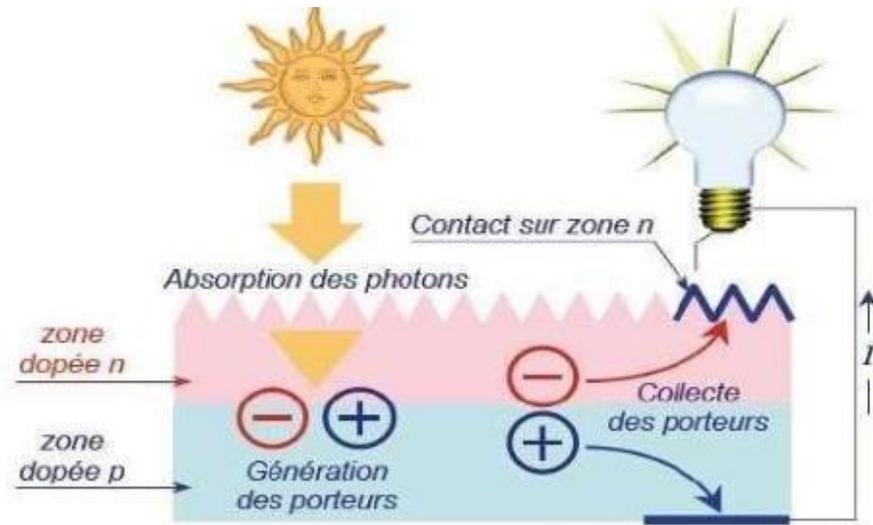


Figure II.12 : le principe de fonctionnement d'une cellule PV

Les types des cellules photovoltaïques

Les différentes tous les types utilisées de nos jours, est :

a) Les cellules monocristallines

Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération. Leur méthode de fabrication tient à partir du silicium monocristallin. Vu de près, les cellules ont une couleur assez sombre et uniforme, une forme ronde ou carrée selon les modèles (figure II.13) leur rendement en théorie de 20 % mais dans la pratique aux alentours de 17 %.

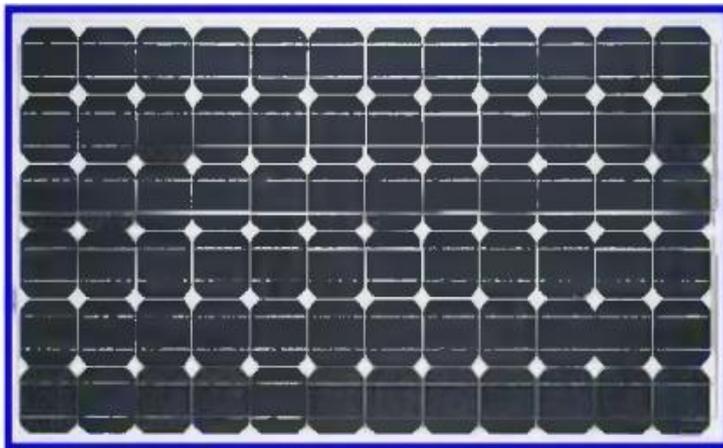


Figure II.13 : Panneau constitué de cellules monocristallines

b) Les cellules poly cristallines

Les cellules poly cristallines sont formées à partir du silicium poly cristallin élaboré par la technique de solidification unidirectionnelle [30]. Le bloc de silicium cristallisé forme des petits cristaux multiples de différentes formes et orientations cristallographiques. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté mais pas uniforme car on peut distinguer différentes orientations de cristaux et des tonalités de couleur diverses .

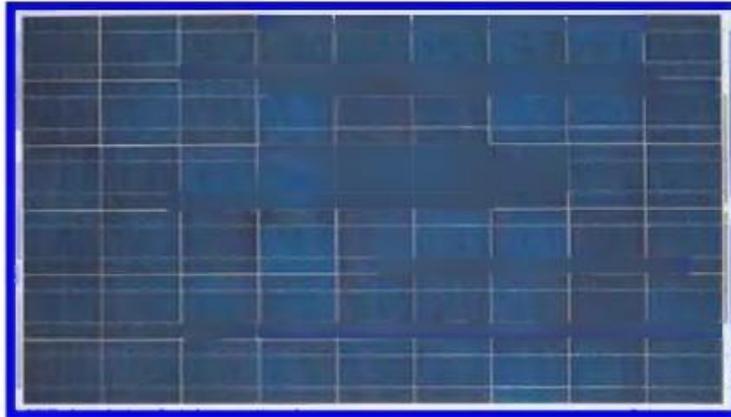


Figure II.14 : Panneau constitué de cellules poly cristallines.

c) Les cellules amorphes

Les cellules amorphes sont composées d'un support en verre ou en matière synthétique. Elles sont élaborées à partir du silicium amorphe dans lequel l'organisation des atomes n'est plus régulière comme dans le silicium cristallin. La cellule est d'aspect uniforme et gris/marron très foncée (figure II.15).



Figure II.15 : Cellule photovoltaïque amorphe.

d) Les cellules en polymère

Encore largement au stade expérimental, les cellules polymères (figure II.16) offrent néanmoins d'intéressantes perspectives. Au-delà de l'amélioration des performances en termes de rendement et de fiabilité des structures photovoltaïques, le véritable enjeu est de réduire le coût du kilowattheure produit. Les cellules en polymère offrent l'avantage d'être constituées de matériaux organiques plastiques ou polymères, faciles à mettre en œuvre, moins rares que le silicium et donc beaucoup moins chers.



Figure II.16 : cellule en polymère

e) Les cellules en arséniure de gallium (GaAs)

Les modules GaAs sont les photos générateurs de l'espace (figure II.17). Ils sont constitués de cellules solaires à base de l'arséniure de gallium. Ces panneaux ne sont pas très écologiques car la substance chimique reste encore plus dure à trouver que le silicium et encore plus minutieuse à installer. Ils ressemblent visuellement à un panneau de type monocristallin avec une couleur bleu uni.



Figure II.17 : Module à arséniure de gallium fixé sur un satellite

f) Les cellules solaires à colorant de Grätzel

L'évolution et la recherche constante dans le domaine de l'énergie photovoltaïque a donné naissance à un nouveau type de cellules : les cellules reprenant le système de la photosynthèse végétale. Les cellules fonctionnant à l'aide de dioxyde de titane sont plus couramment appelées cellules de Grätzel (nom de l'inventeur de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, en Suisse). Ce sont des cellules solaires nanocristallines à colorant (figure II.18), ce dernier fournit un pigment qui est excité par le rayonnement solaire (analogue à la chlorophylle). Il y a de l'autre côté de la cellule, une solution électrolytique qui donne les électrons (analogue à l'eau dans la photosynthèse).[31]

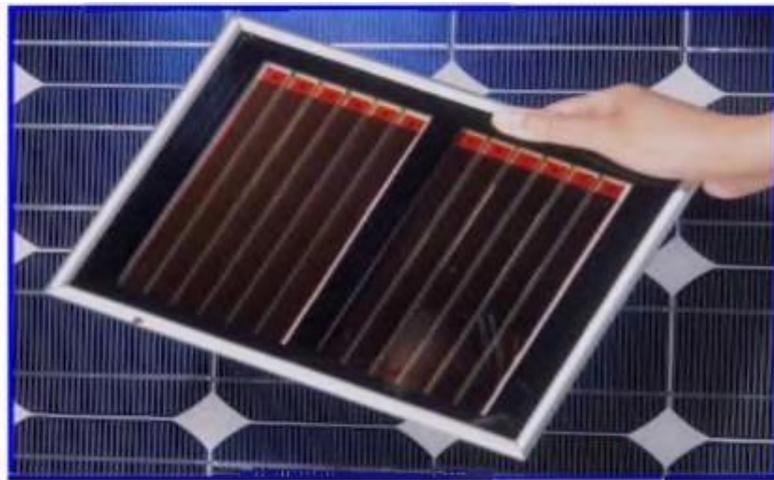


Figure II.18 : Cellule photovoltaïque de Grätzel

g) Les cellules solaires à concentration

Une cellule photovoltaïque comme toutes celles vues précédemment peuvent acquérir un rendement beaucoup plus élevé grâce à un concentrateur. Cet appareil peut être utilisé avec tous les différents types de cellules aussi bien à grande échelle qu'avec un module plus petit. Le rôle du concentrateur est de capter les rayons et les renvoyer d'une manière concentrée sur les cellules photovoltaïques, le rendement est donc bien meilleur (figure II.19). Grâce à ce type de cellules, on atteint des records de rendement avec 40.7 % en laboratoire.



Figure II.19 : concentrateur solaire

h) Les cellules au tellure de cadmium (CdTe)

Les cellules photovoltaïques en couche mince de CdTe ne sont pas fabriquées à partir du silicium mais de tellure de cadmium (CdTe). Une couche d'absorption en tellure de cadmium est placée sur un support de verre puis couverte par une autre plaque de verre qui vient sceller hermétiquement le panneau (figure II.20). Elles sont légères, robustes, et même flexibles.



Figure II.20 : Panneau photovoltaïque en tellure de cadmium.

Les modules photovoltaïques

Définition

Un panneau solaire est un dispositif énergétique généralement plat et rigide. Les panneaux photovoltaïques standards mesurent 1,7 mètre de long et 1,0 mètre de large. L'épaisseur de leur cadre en aluminium est de 3 à 4 cm. Un panneau classique pèse environ 19 kg, soit 11 kg par m². [32]

Fabrication de panneau photovoltaïque

- La première étape de fabrication d'un panneau solaire photovoltaïque à base de silicium consiste à produire des lingots de silicium, c'est-à-dire de grands blocs de silicium ultra-pur (à 99,999999 %). Pour ce faire, on ajoute à des centaines de kilogrammes de fragments de silicium, une petite quantité de bore, élément semi-métallique dur, ensuite cuits dans un four à plus de 1500 degrés. Le silicium est sorti du four sous forme de barres appelées « lingot ». Les lingots sont découpés en fines plaques appelées « wafers » à l'aide de scies à fil. L'épaisseur des wafers est inférieure à 200 microns d'épaisseur, soit l'équivalent d'une feuille de papier. [32]
- L'étape suivante consiste à traiter chimiquement le wafer pour lui permettre de moins réfléchir la lumière. À l'issue de ce traitement, la surface des wafers, lisse au départ, est constituée de minuscules pyramides. Cette texture en relief permet d'augmenter la conversion de la lumière en électricité.

Pour que le wafer devienne une cellule photovoltaïque, du phosphore, corps simple non métallique et luminescent dans l'obscurité, est déposée à très haute température sur sa face avant. Cet apport de phosphore permet de donner une polarité négative à cette face avant. Le wafer est maintenant une cellule photovoltaïque, disposant d'une face arrière de polarité négative et d'une face avant de polarité positive.

Il reste à déposer des contacts métalliques sur les faces avant et arrière de la cellule pour collecter les électrons libérés dans le silicium.

Les panneaux les plus courants sont composés de 60 cellules. Les cellules sont disposées entre deux pellicules de résine transparente. Un film en polyester est ensuite placé sur la face arrière. Cet empilement est placé dans un tunnel dans lequel il est chauffé. Les deux pellicules de résine encapsulent les cellules de façon totalement étanche pour les protéger de toutes les agressions extérieures.



Figure II.21: étapes de fabrication d'un panneau solaire

- L'étape suivante consiste à placer un verre trempé, dont l'épaisseur est de 3 à 4 mm, en face avant. Le panneau est ensuite équipé de son cadre en aluminium dont la composition et le profil ont été étudiés pour offrir les meilleures qualités de résistance mécanique.

Enfin, une boîte de jonction est fixée à l'arrière du panneau solaire : il s'agit de la borne de sortie de l'électricité solaire. Chaque borne présente un câble « plus » et un câble « moins » équipé d'une connectique spéciale pour assurer la meilleure connexion électrique et une étanchéité parfaite.

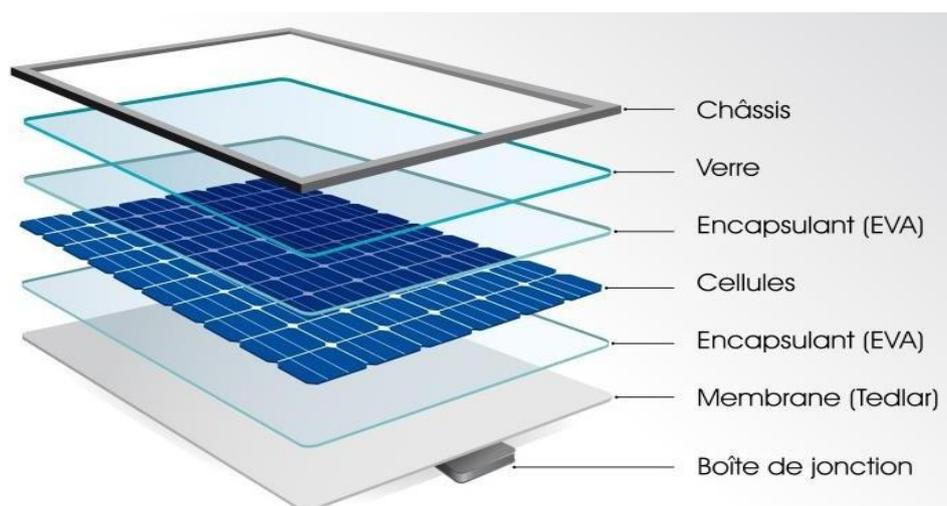


Figure II.22: Différents composants de panneau photovoltaïque.

Les types de panneaux**a) Panneaux photovoltaïques orientables**

Avec des panneaux orientables, on peut modifier l'inclinaison tous les mois, mais par facilité, on peut également choisir une inclinaison pour l'été, une autre pour l'hiver. On utilise généralement ce genre de structure pour des applications au sol ou sur des toits plats. Pour ces systèmes à inclinaison variable, il existe un angle d'inclinaison des panneaux par rapport à l'horizontale, qui permet de maximiser la production d'électricité mensuelle.

b) Panneaux photovoltaïques fixes

Les panneaux fixes sont installés dans une position fixe tout au long de l'année (azimut et inclinaison). Le rendement optimum est obtenu pour une orientation sud avec une inclinaison de 35° . Si on s'écarte de cette position, le rendement diminue. Cette diminution du rendement peut être calculée en multipliant le rendement obtenu en position optimale par le facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison choisie (ce qu'on appelle le Facteur de transposition qui tient compte de l'orientation et de l'inclinaison FT).

c) Panneaux photovoltaïques mobiles ou suiveur solaire

L'objectif du système de panneaux mobiles est de pouvoir suivre le soleil tout au long de la journée. Pour cela, la structure possède deux degrés de liberté : une rotation horizontale pour régler l'azimut et une rotation verticale pour l'inclinaison. Ce système permet aux panneaux photovoltaïques de suivre continuellement la position du soleil pour assurer une production électrique maximum. Ce type de structure permet d'augmenter la production d'électricité par rapport aux panneaux fixes, d'environ 25% [33]

Paramètres électriques d'un module photovoltaïque

(caractéristique I-V)

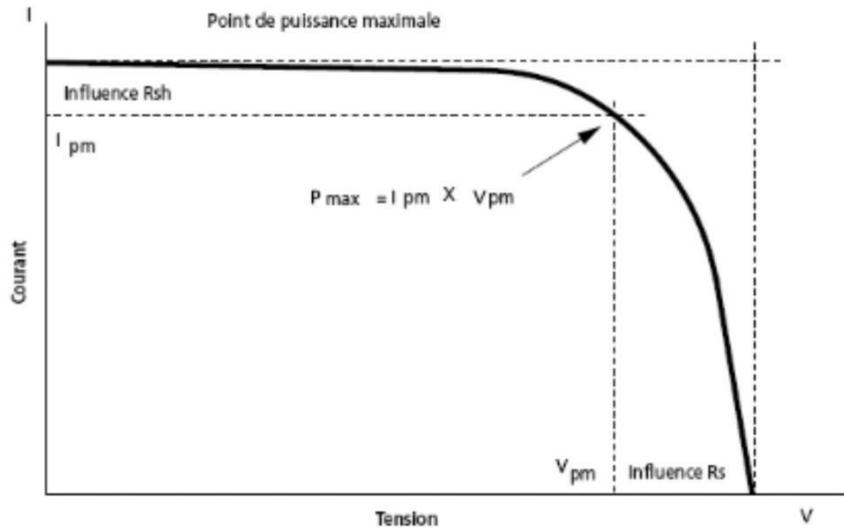


Figure II.23 : Courbe caractéristique $I = f(V)$ d'un panneau PV

Caractéristique I-V avec les différents points :

- **Courant de court-circuit (I_{cc})**

C'est l'intensité de courant maximale fournie par le panneau. Il s'agit du courant qui se produit lors de la connexion directe des deux pôles.

- **Tension de circuit ouvert (U_{co})**

C'est la tension maximale fournie par le panneau. Elle se produit quand les pôles se trouvent « en plein air ». U_{co} est généralement inférieur à 22 V dans les modules qui fonctionnent avec 12 V.

- **La puissance de crête**

Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).

- **Facteur de forme FF**

Rapport entre la puissance crête et la puissance nominale que peut avoir la cellule :

$$FF = \frac{P_{crête}}{I_{cc} \times U_{co}} \quad (II.1)$$

▪ **Efficacité ou rendement η**

C'est le rapport entre la puissance électrique nominale que le panneau peut transmettre à la charge et la puissance du rayonnement solaire (E) frappant le panneau(s)

$$\eta = \frac{P_m}{E.S} \quad (II.2)$$

L'association de panneaux solaires

Mise en série

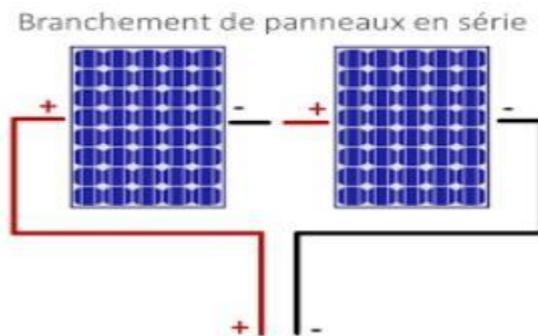


Figure II.24: branchement de panneaux solaire en série.

Une association de N_s Module en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque (GPV). Les modules sont alors traversés par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque Module.

$$V_{sg} = N_s \cdot V_{mod} \quad \text{ou} \quad (I=0)$$

$$V_{sg} = \sum_1^n V_n = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad \text{ou} \quad (0 < I) \quad (II.3)$$

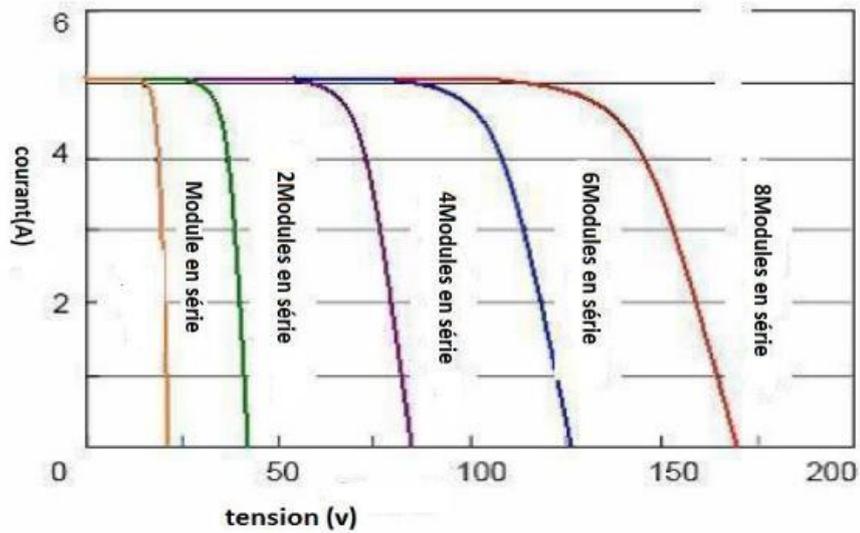


Figure II.25: les caractéristiques électriques (U et I) des modules branchés en série.

Mise en parallèle

Branchement de panneaux en parallèle

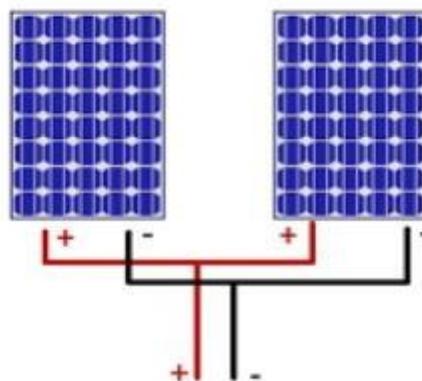


Figure II.26: branchement de panneaux solaire en parallèle.

Une association de N_p Module en parallèle permet d'augmenter le courant du générateur photovoltaïque (GPV). et à la même tension.

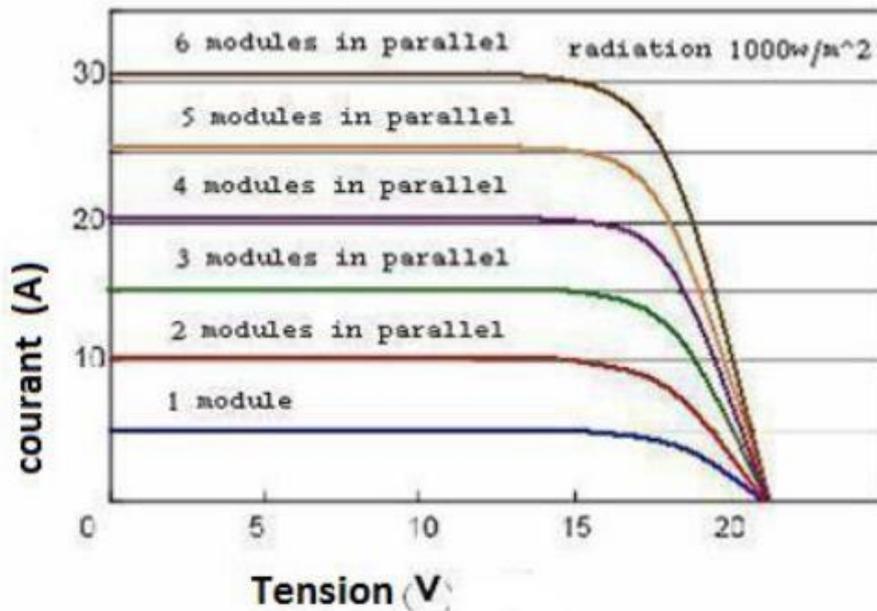


Figure II.27: les caractéristiques électriques (U et I) des modules branchés en parallèle

$$V_{pg} = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n$$

$$I_{pg} = \sum^n I_n = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (\text{II.4})$$

Les différentes installations photovoltaïques

On rencontre généralement trois types de systèmes photovoltaïques, les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau.

a) Installations photovoltaïques autonomes

Une installation photovoltaïque autonome est une installation qui produit de l'électricité grâce au soleil, mais qui fonctionne indépendamment du réseau électrique. Dans la majorité des cas, ce système est utilisé dans les sites isolés où il serait beaucoup trop coûteux de raccorder l'habitation ou le local que l'on souhaite alimenter en électricité. La différence majeure avec une installation photovoltaïque standard (raccordée au réseau), c'est la présence de batteries. Une installation photovoltaïque autonome doit être capable de fournir de l'énergie, y compris lorsqu'il n'y a plus de soleil (la nuit ou en cas de mauvais temps). Il faut donc qu'une partie de la production journalière des modules photovoltaïques soit stockée.

Une installation photovoltaïque autonome se compose d'un ou plusieurs modules photovoltaïques, d'un régulateur de charge, d'une ou plusieurs batteries, et éventuellement d'un onduleur.

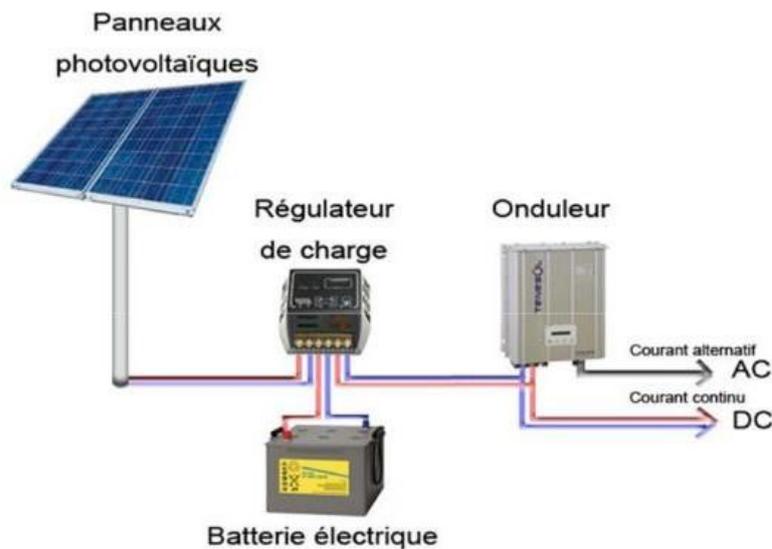


Figure II.28 : Schéma d'une installation solaire autonome.

Les modules photovoltaïques sont la source d'énergie. Ils transforment la lumière du soleil en courant électrique continu (DC). Dans certaines applications (pompage, recharge d'appareils portables, ...), ce courant peut être utilisé directement. Cependant, dans la plupart des cas, les modules sont reliés à un régulateur de charge, puis à des batteries qui vont stocker l'énergie. Le rôle principal du régulateur est de protéger les batteries des surcharges car ce sont les éléments les plus sensibles de l'installation.

Parmi les principaux avantages qu'une installation photovoltaïque autonome peut offrir, il y a la possibilité de la mettre en place soi-même. Vendue sous forme de kit prêt à assembler, c'est une installation relativement facile à mettre en place, et qui permet de grosses économies de main d'œuvre en ne faisant pas appel au service d'un professionnel. Il suffit de quelques heures pour que l'installation fonctionne en disposant d'une électricité renouvelable non polluante.

Il est possible d'agrandir son installation au fur et à mesure que les besoins augmentent. Contrairement à une installation reliée au réseau électrique, on peut commencer par une petite unité de production, et ajouter d'année en année de nouveaux modules photovoltaïques ou des batteries pour augmenter la puissance de notre installation autonome.[31]

b) Installation raccordées au réseau

Un tel système s'installe sur un site raccordé au réseau (Sonelgaz en Algérie). Généralement sur des habitations ou des entreprises qui souhaitent recourir à une forme d'énergie renouvelable et qui bénéficient d'un bon ensoleillement.

L'énorme avantage de cette solution est l'absence de batterie. On ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local ou national. Et ceci sans limite quantitative, donc toute l'énergie est récupérée. Il ya un compteur qui tourne dans un sens pour la consommation, et un autre dans l'autre sens pour la production. Mais il faut tout de même convertir le courant continu des panneaux en alternatif au travers d'un onduleur et celui-ci doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant. Car il doit respecter des normes sur sa qualité « fréquence sinusoïdale». Ces systèmes ne sont pas des alimentations de secours en cas de coupure du réseau, car ils ne comportent aucune réserve d'énergie. Dans certains cas, on ajoute au système une batterie de secours pour les coupures de courte durée intéressant pour notre cas .

- Avantages :

Par rapport à un système autonome, on gagne sur les points suivants:

- Exploitation de la totalité de l'énergie photovoltaïque issue des panneaux (le stockage est «infini») ;
- Economie de l'ordre de 40 % sur les investissements (les batteries en moins) ;
- Maintenance quasi inexistante (ce sont les batteries qui demandent le plus d'attention) ;
- Meilleure durée de vie du système. Cette solution est plus rentable que l'alimentation photovoltaïque purement indépendante, mais malheureusement encore très onéreuse en comparaison d'une alimentation électrique à 100% sur réseau. L'énergie produite par les modules est directement consommée sur place par les charges. L'éventuel surplus de production par rapport à la consommation est injecté sur le réseau

-Inconvénients :

Les installations photovoltaïques couplées au réseau ont cependant deux inconvénients majeurs:

- L'intermittence de la production d'énergie solaire ne permet pas le contrôle des périodes d'injections
- Le déphasage entre la consommation et la production réduit la notion d'autonomie énergétique personnelle.

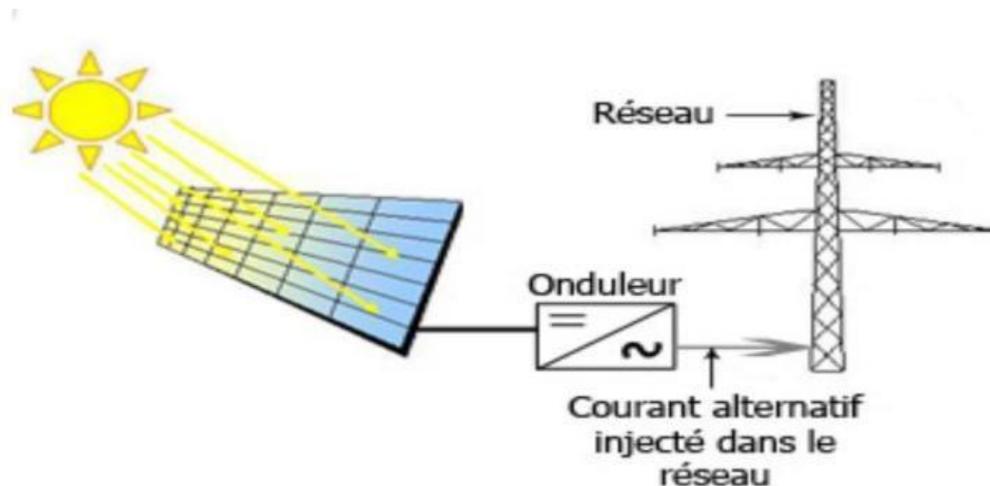


Figure II.29: Systèmes PV connectés au réseau

c) Système PV hybride

Les systèmes photovoltaïques hybrides intègrent un générateur photovoltaïque et un autre générateur : éolienne, groupe électrogène... et même parfois le réseau public d'électricité. En général, un système de batteries stocke l'énergie et permet ainsi de ne pas perdre l'énergie des sources aléatoires telles que le solaire ou l'éolien. La difficulté de ce type de système est d'équilibrer les différentes sources d'énergie de façon à toutes les optimiser, étant entendu que les sources thermiques (gasoil, gaz...) et le réseau public, sont toujours les appoints de dernier recours.[35]

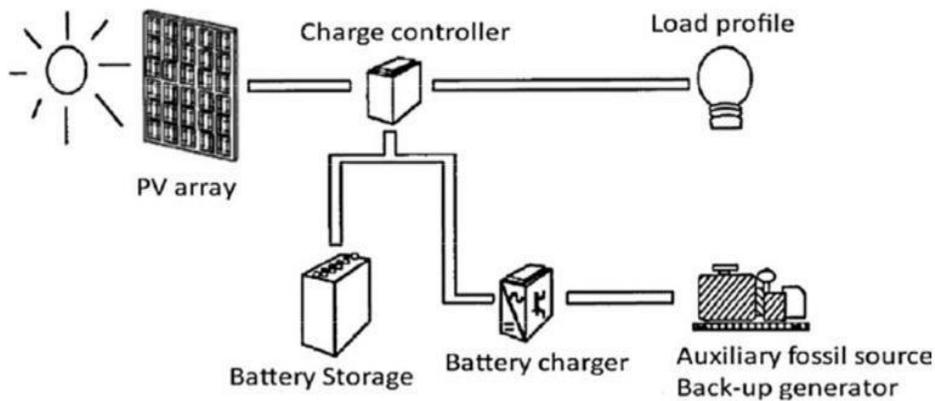


Figure II.30 : Système PV hybride

Les différents composants d'un système solaire photovoltaïque :

Batteries

Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques s'effectue exclusivement à l'aide des batteries d'accumulateurs. Dans un système photovoltaïque, la batterie remplit trois fonctions importantes:

a) Autonomie

Une batterie permet de répondre aux besoins de la charge en tout temps, même la nuit ou par temps nuageux.

b) Courant de surcharge

Une batterie permet de fournir un courant de surcharge pendant quelques instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut fournir le champ PV. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres appareils requérant un courant de démarrage de 3 à 5 fois supérieur au courant d'utilisation.

C) Stabilisation de la tension

Une batterie permet de fournir une tension constante, en éliminant les écarts de tension du champ PV et en permettant aux appareils un fonctionnement à une tension optimisée.

Types des accumulateurs

Plusieurs types d'accumulateurs sont en vente sur le marché. Le plus connu et le plus utilisé dans le photovoltaïque c'est l'accumulateur au plomb.

- **Les Accumulateurs au plomb acide**

Il s'agit de la technologie la plus utilisée dans les systèmes solaires autonomes. Elle offre actuellement la meilleure réponse en termes de prix et la durée de vie. De plus, elle présente les caractéristiques les plus recherchées d'une batterie solaire, à savoir un rendement élevé, une durée de vie longue avec un grand nombre de cycles et une autodécharge faible. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale.[36]

- **Les Accumulateurs au Nickel –cadmium**

Les batteries de nickel -Cadmium ont une structure physique semblable à celle du plomb-Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium. La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif. Ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

- ✓ Très bonne résistance mécanique ;
- ✓ Possibilité de supporter des décharges profondes ;
- ✓ Pas d'émanations toxiques à partir de l'électrolyte ;
- ✓ Ne craint pas de gel.[37]

- **Les Accumulateurs Ni MH (Nickel-Métal-Hydrure)**

Ces batteries remplacent les Ni CD car elles sont moins toxiques. Elles sont cependant assez chères et sont utilisées dans les installations haute gamme. Leur durée de vie est beaucoup plus grande que celle des batteries au plomb (50% de plus) mais leur capacité est extrêmement faible (quelques Ah au maximum).

- **Les Accumulateurs Li-ion (Lithium-ion)**

- ✓ Son énergie massique est très importante ce qui fait de la batterie Li-ion une des moins lourdes et des moins volumineuses ;
- ✓ Son rendement est excellent et son autodécharge relativement faible. Le gaspillage est donc réduit. Un système de sécurité supplémentaire y est intégré car cette batterie présente des risques d'explosion lorsqu'elle est surchargée, trop déchargée ou court-circuitée. Sa durée de vie est d'environ 3ans.

Composition d'une batterie solaire plomb-acide

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte. Le matériel de la grille est un alliage de plomb parce que le plomb pur est un matériel physiquement faible, et pourrait se casser pendant le transport et le service de la batterie.[36]

La durée de vie d'une batterie solaire

La durée de vie d'une batterie solaire s'évalue selon le nombre de cycles de charge/décharge qu'elle est capable de supporter. Car il s'agit d'une donnée basée sur un niveau de décharge et sur des conditions atmosphériques données.

La durée de vie d'une batterie solaire dépend d'abord de la technologie utilisée : plomb ouvert, AGM, GEL. Ensuite les batteries solaires vieillissent en raison des charges et décharges, le nombre de cycles dépend principalement de la profondeur habituelle de décharge. Pour donner un ordre d'idée, pour des décharges de l'ordre de 40%, on peut estimer les durées de vie suivantes pour les différents types de batteries à décharge lente:[38]

- ✓ Batterie solaire au plomb ouverte: 400 à 500 cycles ;
- ✓ Batterie solaire AGM (Absorbed Glass Mat): 600 à 700 cycles ;
- ✓ Batterie solaire GEL : 800 à 900 cycles ;
- ✓ Batterie solaire GEL Long Life:600 à2400 cycles

les critères de choix d'une batterie solaire**a) critères techniques**

- ✓ Les batteries solaires subissent un grand nombre de cycles charge / décharge et leur état de charge évolue au fil de la journée et encore plus au cours des saisons : c'est souvent à la fin de l'hiver que les batteries sont le plus déchargées ;
- ✓ Les batteries solaires doivent supporter un grand nombre de cycles et doivent supporter la décharge profonde ;
- ✓ On installe généralement des batteries pouvant supporter plus de 300 cycles à 80 % de décharge ;

- ✓ Une batterie solaire doit résister à une profondeur de décharge pouvant dépasser les 80 % et atteindre 100 % de décharge (mauvais ensoleillement, forte consommation électrique occasionnelle, tension de coupure des convertisseurs trop faible (10,5 V) ;

L'obtention du courant électrique à partir de panneaux solaires reste chère et la batterie solaire optimale devrait stocker l'énergie électrique avec le moins de perte possible (bon rendement de charge).

Une batterie déchargée doit accepter toute l'énergie en provenance des panneaux solaires afin de ne pas gaspiller l'énergie chèrement produite. L'acceptation de la charge d'une batterie solaire doit être bonne pour que les batteries se rechargent rapidement. Une fois stockée sous forme chimique, cette énergie électrique ne doit pas être perdue : l'autodécharge de la batterie doit être la plus faible possible.

Une bonne acceptation de la charge et une faible auto décharge favorisent un état de charge élevé, ce qui a une influence directe sur la durée de vie des batteries. La durée de vie d'une batterie dépend de beaucoup des paramètres de charge (tensions...) qui eux-mêmes varient avec la température des batteries : une batterie "idéale" sera peu sensible à de mauvais paramètres de charge (régulateur solaire pas adapté, mal réglé, pas de compensation en température...).[39]

b) critères économiques

Le coût d'achat des batteries est évidemment un critère important...Au prix initial s'ajoute les coûts liés au transport, les frais liés à l'entretien des batteries.

c) critères liés à la sécurité

L'absence de projections d'acide et de dégagement d'hydrogène est un critère important.[39]

Les régulateurs de charge solaire

Le régulateur de charge solaire est un composant essentiel d'un système solaire photovoltaïque. Il est mis en place dans le système solaire entre les panneaux solaires et batterie son rôle est de délivrer une tension normalisée (12,24ou48v) à la batterie de stockage.

Les fonctions du régulateur de charge

Un régulateur de charge solaire remplit 2 fonctions :

Il protège la batterie contre la surcharge en coupant le courant électrique allant du panneau solaire vers la batterie quand la batterie est pleinement chargée. Il est donc limiteur de charge. Sa deuxième fonction est qu'il protège la batterie contre la décharge profonde, quand

les utilisations sont branchées sur la sortie du régulateur de charge, il déconnecte les utilisations quand la batterie descend en dessous d'un seuil critique d'état de charge de la batterie, Il est donc limiteur de décharge.[40]

Les différents types de régulateur de charge

Les régulateurs de charge de systèmes PV peuvent se caractériser en trois groupes principaux:

- a) **les régulateurs de charge shunt:** Ce sont des régulateurs solaire basique, en fonction de la tension de la batterie le régulateur met ou non le panneau solaire en contact avec celle-ci.
- b) **les régulateurs de charge série :** qui intègrent un interrupteur entre le panneau solaire et la batterie pour l'arrêt de la charge. La majorité des régulateurs de charge à impulsions de largeurs variables (PWM, Pulse With Modulation) utilise cette technique.[40]
- c) **les régulateurs à recherche de point de puissance maximum :**(MPPT, Maximum Power Point Tracker): qui utilisent un circuit électronique spécial permettant de toujours capter la puissance maximale produite par les panneaux solaires.

Le choix de régulateur charge

- ✓ Selon le type de la batterie (système 12, 24 ou 48 V)
- ✓ Selon la technologie
 - PWM : rendement plus faible
Moins cher à l'achat
 - MPPT : Meilleur rendement
Plus cher
Pour les grosses installations
- ✓ Selon les modes de fonctionnement
 - Charge-décharge les plus répandus
 - Décharge
 - Charge
- ✓ Selon l'ajustement en fonction de la température
- ✓ Selon le système à gérer
 - Maison

- Petite installation
- Selon la puissance de panneau.

Les convertisseurs

Les convertisseurs sont des dispositifs utilisés pour transformer la tension continue obtenue par les panneaux ou les batteries afin de l'adapter aux récepteurs fonctionnant soit à une tension continue différente, soit à une tension alternative.

Les convertisseurs sont disposés généralement soit entre le PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, convertisseur continu-continu), soit entre la batterie et la charge (dans ce cas il sera appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif).[41]

- **Le convertisseur DC–DC**

Est un dispositif utilisé pour fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe

- **Le convertisseur DC–AC**

Pour alimenter des appareils qui fonctionnent en courant alternatif, le convertisseur doit être interposé entre la batterie et ces appareils. Les convertisseurs les plus utilisés transforment le courant continu issu de la batterie en courant alternatif 220V/50 Hz ou 380 V/50 Hz .[42]

Câblages

Le choix du câble est primordial pour le bon fonctionnement du système. Une section de câble insuffisante va provoquer une grande perte d'énergie. Le dimensionnement du câble est défini par le courant et la tension qui le traverse ainsi que par sa longueur.

Élément de sécurité

Disjoncteur différentiel

Un disjoncteur différentiel est un dispositif de sécurité permet d'interrompre le courant électrique lorsqu'il ya un risque d'incident sur le circuit électrique. Son rôle est d'assurer la protection des circuits contre les surintensités en cas de surcharge ou de court-circuit et la protection des personnes.

Quand il détecte une différence d'intensité entre les deux conducteurs du circuit (une perte de courant signalant un défaut d'isolement) le disjoncteur coupe le courant automatiquement. Donc ce dispositif permet de limiter les risques d'électrocution en détectant les fuites de courant à la terre dans votre installation électrique.[43]



Figure II.31 : Disjoncteur différentiel.

Interrupteur différentiel

Ce dispositif fonctionne sur le même principe que le disjoncteur différentiel qui assure la protection contre le court-circuit et l'échauffement excessif des conducteurs en cas de surcharge. Son rôle est de protéger contre les défauts d'isolement. [43]

Fusible

Coupe-circuit à fusible ou le fusible est un dispositif de protection son rôle est de couper le courant électrique lors d'une surcharge ou d'un court-circuit. Le composant principal de cet appareil est un petit isolant enveloppant un fil conducteur qui fond lorsqu'il est traversé par un courant d'intensité supérieure au calibre supporté .Les fusibles ont le désavantage de ne servir qu'une fois. Ainsi, si le fusible saute, il doit être remplacé par un neuf. [44]



Figure II.32: cartouche fusible

II.12.4 Parafoudre

Le parafoudre (ou parasurtenseur) est un dispositif de sécurité qui protège l'installation électrique contre les surtensions d'origine atmosphérique. La foudre peut provoquer des surtensions parfois plusieurs milliers de volts dans les installations ce qui provoque le risque d'endommager les appareils tels que la télévision, climatiseur, pc portable etc..., Le rôle du parafoudre d'écouler vers la terre le maximum de ces surtensions.[45]



Figure II.33: parafoudre.

Avantages et inconvénients d'une l'énergie photovoltaïque

Les avantages [46,47]

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages à savoir :

- L'énergie solaire photovoltaïque ne génère ni bruit, ni émissions nocives, ni gaz polluants ;

- Les modules photovoltaïques sont recyclables et les matériaux utilisés pour leur production (silicium, verre, aluminium, etc.) peuvent réutilisés ;
- L'énergie solaire photovoltaïque nécessite peu de maintenance ;
- L'énergie solaire photovoltaïque fournit de l'électricité aux zones rurales arides et isolées ;
- Les modules solaires peuvent couvrir les toits et les façades et contribuer ainsi à l'autonomie énergétique des bâtiments. Ils sont silencieux et peuvent être intégrés de manière très esthétique ;
- Il s'agit d'une source d'énergie inépuisable ;
- Ensuite le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt ;
- La technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions.

Les Inconvénients

Malgré les avantages qu'elle présente, l'énergie photovoltaïque présente certains inconvénients qui peuvent être résumés comme suit:

- Les fabrications du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé ;
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible (la limite théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%) ;
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée ;
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes [22] ;
- Lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût générateur photovoltaïque est accru la fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pour autant que la batterie et les composants de régulation associés soient judicieusement choisis ;
- Tributaire des conditions météorologiques.

Conclusion

Une première partie de ce chapitre est consacré pour présenté l'énergie solaire et différentes filières en générale.

En deuxième partie la conversion photovoltaïque est mise en évidence en citant son principe de fonctionnement ; les composants des panneaux: les différentes technologies ainsi que les types d'installation avec leurs composants.

**Chapitre III : Etude de faisabilité
de l'intégration de l'énergie solaire
au sein de l'atelier FAB Mec**

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Introduction

Afin d'alimenter une installation solaire photovoltaïque il est important de faire un certain nombre de calculs et de suivre des étapes pour déterminer le matériel le mieux adapté permettant de satisfaire les besoins énergétiques avec un cout minimal.

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire et suffisant de panneaux solaires constituant le champ photovoltaïque pour couvrir les besoins énergétiques de l'atelier à tout instant ainsi que la capacité de charge de la batterie.

Dans ce chapitre, nous décrivons le site (l'atelier FAB Mec) lieu de notre projet de stage et nous présentons ses différents constituants ainsi que les besoins énergétiques nécessaires pour l'alimentation de ce site et nous présentons les résultats de dimensionnement des systèmes PV pour différentes installations (autonome et raccordé au réseau) en utilisant le logiciel PVSYST.

Présentation de l'entreprise soficlef

SOFICLEF est une entreprise à caractère industriel et commercial, leur atout majeur est la maîtrise totale des opérations de la grande distribution.

- 1- Production et Fabrication : Poignées de portes, crémones de fenêtres, plaques d'immatriculation ;
- 2- Montage des serrures ;
- 3- Commercialisation : Outillages à main, outillages électroportatifs, accessoires, portes de maison, ainsi que tous types d'ébauches de clés.

Tout a commencé un certain 21 Juin 1994, dans un local de 7 m² situé au 39 Rue Ahmed Boumaazouza El Madania « Ex Salembier » Alger. Où la première activité était la confection des ébauches de clés.

➤ Quelques Dates marquantes dans l'histoire de Soficlef

- **1995** : Vu le manque des distributeurs à cette époque, Il a été décidé de faire la distribution des clés sur le Grand Alger ; ainsi que la confection au public de la plaque d'immatriculation « emboutissage de la plaque » ;
- **1996** : Distributions des ébauches de clés sur le territoire Algérien ;
- **1997** : Changement de siège, toujours à la même adresse « 39 Rue Ahmed Boumaazouza El Madania Alger », d'une superficie de 40 m². 1ère importation des

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

ébauches de clés chez le fournisseur Espagnole JMA. C'est devenu la plus grande société de distribution en Algérie sous le nom de SARL Sofiane ;

- **2000** : Promotion de la plaque d'immatriculation (300.000 plaques par an). - Elargissement du réseau de distribution des clés et plaques. - Répondre aux exigences des clients, réclamations, satisfactions ;
- **2007** : Acquisition d'une ligne de production de la poignée et de la plaque d'immatriculation. - Le nombre d'employé est passé à 60 employés ;
- **2009-2010** : Déplacement vers le nouveau site à Si Mustapha Boumerdes, d'une superficie de 35 000 m² doté de dépôt avec un système de stockage moderne. - Autorisation pour l'exploitation d'un entrepôt sous douane au niveau du site ;
- **2011** : Augmentation de la capacité de production de la poignée de la crémone et début de fabrication de la barre de crémone ;
- **2014** : Restructuration de l'entreprise où le nombre d'employé a atteint 290 collaborateurs. - Réaménagement du site, avec des normes internationales. - Statut d'opérateur économique agréé en douane ;
- **2016** : homologation de la plaque d'immatriculations aux normes françaises. 1ere exportation de plaque d'immatriculation vers la France ;
- **2017** : Certification de système management ISO 9001 : 2015.



Figure III.1 : l'entreprise soficlef

Description de l'atelier FAB Mec Soficlef

III. 3.1. la fabrication Mécanique

Un procédé de fabrication est un ensemble de techniques visant l'obtention d'une pièce ou d'un objet par transformation de matière brute. Obtenir la pièce désirée nécessite parfois l'utilisation successive de différents procédés de fabrication suivant les besoins. Les procédés de fabrication font partie de la construction mécanique. [48]

La fabrication mécanique tournage est un procédé d'usinage permettant l'obtention des surfaces de révolution intérieures et extérieures, des surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par filetage...

La fabrication mécanique fraisage est un procédé d'usinage réalisable sur des machines-outils appelées fraiseuses. Il permet la réalisation des pièces prismatiques ou de révolution, de profils spéciaux tel qu'hélices, cames, engrenages...

Les Fraiseuses a commande Numérique de l'atelier Fab Mec

1. LaFraiseuseCNC Dmg Mori

- **Serie de cmx v :**

DMG MORI est un modèle très sophistiqué de machine à commande numérique elle a développé la série CMX V avec l'ambition de fournir des machines robustes pouvant servir durant de nombreuses années. Grâce à leur grande polyvalence, les modèles CMX V peuvent traiter une large gamme de pièces dans toutes sortes de domaines d'application. [49] Le modèle **CMX 1100V que possède l'atelier de Soficlef** est une machine robuste performante et d'un niveau technique exigeant qui requiert une manipulation soignée. La machine doit exclusivement être conduite par du personnel formé. Elle est équipée d'une broche de haute performance avec une vitesse maximum de 12.000tr/min, dont la conception a été optimisée par une analyse structurelle afin de couvrir une large gamme d'usinages. Cette machine ne doit être utilisée que pour les techniques de travail suivant :

- Fraisage .
- Perçage .
- Tournage .



Figure III.2 :la machine CNC dmg mori

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

- **Caractéristiques techniques de la machine**

La machine		CMX1100V
Course		
Course de l'axe x	mm	1.100
Course de l'axe y	mm	560
Course de l'axe z	mm	510
Ecrat entre la surface de la table et le nez de broche	mm	120-630
Table		
Surface de travail	mm	1.400×560
Capacité de charge de la table	kg	1.000
Avance		
Avance rapide en x/y/z	m/min	30/30/30
Changeur d'outils-ATC		
Interface outil		Sk40/BT40°/CAT40°
Capacité d'outil		30(60°)
Avec outils	mm	80
Diamètre max des outils		
Sans outils	mm	130
Longueur d'outil	mm	300
Poids d'outil	kg	8
Temps de changement d'outils		
Outil a outil	S	2,4
Temps copeau a copeau	S	6,70
Dimensionnement de la machine		
Poids de la machine (net)	kg	5850
Encombrement	m ³	8,6

Tableau III .1 : caractéristique technique de la machine Dmg mori

2. La fraiseuse CNC HAAS Super mini mille

Haas Automation est le plus grand constructeur de machines-outils aux États-Unis et l'un des plus grands constructeurs de machines CNC au monde. Il fabrique une gamme complète de

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

centres d'usinage à broche verticale CNC, de centres d'usinage à broche horizontale, de centres de tournage, de centres d'usinage 5 axes et de produits diviseurs, ainsi qu'une large sélection de solutions d'automatisation entièrement intégrées, notamment des chargeurs automatiques de pièces, des systèmes de magasin de palettes, et des systèmes robotiques à 6 axes.

Les Haas Mini Mills représentent la référence de l'industrie en matière de centres d'usinage compacts. Elles offrent une solution économique pour l'usinage de petites pièces dans un format compact, équipé de fonctions pleine capacité.



Figure III.3 : La machine CNC Haas super mini Mill

Elle constitue un complément précieux pour les ateliers nécessitant une machine « d'opérations secondaires » ou une broche supplémentaire lorsque l'espace disponible s'avère restreint. [50]

- Vitesses supérieures ;
- Format compact avec courses étendues ;
- Solution économique pour les petites pièces ;
- Machine optimale pour la production à volume élevé ;
- Fabriqué aux États-Unis.

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Cette machine extrêmement populaire, à faible encombrement au sol, s'est avéré un succès autant dans les petits ateliers que les grands.

Problèmes & Risques de coupure d'électricité au sein de l'atelier

Ces machines CNC sont considérées parmi les technologies les plus avancées au monde mais malgré l'avancement de la technologie de ces machines CNC, les problèmes liés aux coupures d'électricité sont majeurs.

Les problèmes de coupure d'électricité

Parmi les problèmes rencontrés nous citons ce qui suit :

- Réfraction de l'outil ;
- Broche bloquée et choquée (remplacement de magasin) ;
- Risque de collision entre l'outil et la pièce après redémarrage ;
- Endommagement de l'outil due à un faux mouvement ;
- Blocage de la machine nécessitant un redémarrage ce qui entraîne une perte de temps ;
- Blocage de l'écran causant le redémarrage du programme du point zéro.

Ces problèmes engendrent une perte de temps ce qui affecte la productivité et qui influence le coût de revient des produits fabriqués

Les risques

- Détruire la matière de la pièce ;
- Un arc électrique se produit dans l'armoire ;
- Broche endommagée.

Estimation des coûts d'arrêt et des risques

Nous avons estimé les coûts des risques pouvant survenir pour les machines comme suit :

- L'outil (5000da-12000da) ;
- La broche (remplacement de magasin) Approximative HAAS (3 400 000 DA)/DMG (4 900 000DA) ;
- La pièce (6000 Da) ;
- Blocage de l'écran (retard 30min : 3000 DA) ;

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

- L'arc dans l'armoire (785 000 da) .

Faisabilité d'intégration de l'énergie PV au niveau l'atelier

1. Description et caractéristique de site

a) Présentation

Le site que nous allons étudier, est l'atelier de fabrication mécanique de l'entreprise Soficlef qui se situe dans la région de si Mustapha – Boumerdes.

b) Situation géographique

La zone d'étude fait partie de la Wilaya de Boumerdès qui se situe dans la partie Nord de l'Algérie. Elle est limitée au Nord par la mer méditerranée, à l'Est par la wilaya de Tizi-Ouzou, au Sud par celle de Bouira, et à l'Ouest par celle d'Alger et Blida. Si Mustapha est une commune de la wilaya de Boumerdes compte environ 12 087 habitant.

Les coordonnées géographiques cette région se présentent comme suit: 36.7233° degrés de latitude, longitude 3.6224° .

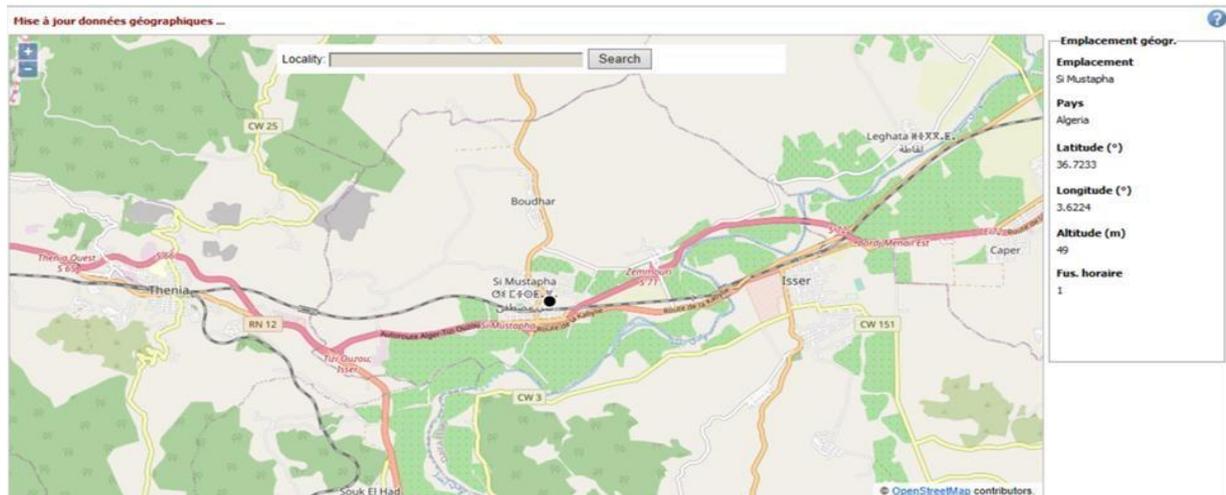


Figure III.4 : Localisation du site étudié

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Bilan énergétique de l'atelier

Consommateur	La puissance utile KW	Coef utilisation	La puissance installée KW
Machine DMG	22.4	0.70	32.00
Machine HAAS	9.8	0.70	14.00
Tour ALMO	2.8	0.40	7.00
3M Ganbin à 03	3.2	0.40	8.00
Scie électrique alternative	0.3	0.20	1.50
Meule à bonde abrasif	0.96	0.20	4.80
Meule petite fixe	0.04	0.20	0.20
Perceuse manuelle	0.21	0.20	1.05
Meule manuelle	0.88	0.20	4.40
Ventilateur d'aération nbre 04	1.48	1.00	1.48
Lampe Nbre 03 a 400w	1.2	1.00	1.20
Tour de refroidissement nbre 03 à 2KW	4.8	0.80	6.00

Tableau III.2: Bilan Energétique

Calcul de la consommation énergétique

On considère comme donnés :

- le Nombre d'heures d'utilisation par jour =7h

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

La consommation énergétique (KWh) = la puissance (KW) × le nombre d'heures (h)

Le calcul de la consommation énergétique est illustré sur le tableau suivant :

Le consommateur	La puissance (kw)	Intensité (A)	La fréquence (Hz)	La tension (V)	La consommation(KWh)
Machine1 :Dmg mori	22.4	63	50	400	156.8
Machine2 :Haas	9.8	35	50	400	68.6
L'atelier FM	48.07	160	50	400	336.49

Tableau III.3 : La consommation énergétique

Dimensionnement du système photovoltaïque (installation autonome)

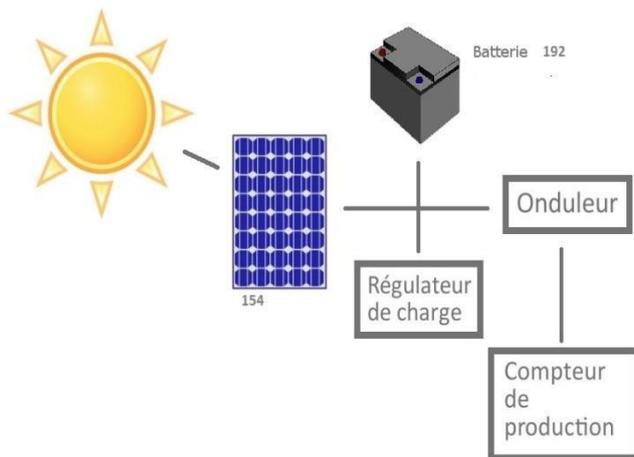


Figure III.5 : Schéma d'un installation autonome

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Dimensionnement des panneaux photovoltaïque

➤ Estimation du champ photovoltaïque

a) Calcul de la puissance crête

La puissance crête des panneaux à installer dépend de l'irradiation du lieu d'installation. La puissance crête est donnée par la formule suivante :

$$P_{ch} = \frac{E_c}{k * I_r} \quad (III.1)$$

P_{ch} : Puissance crête du champ photovoltaïque en Watt crête (WC)

E_c : Energie consommée par jour (Wh/jour)

I_r : Temps moyen d'ensoleillement journalier (h/jour)

On prend la moyenne de 6 h/Jour

k: Coefficient correcteur, ce coefficient tient compte :

- De l'incertitude météorologique ;
- De l'inclinaison non corrigée des modules suivant la saison ;
- Du point de fonctionnement des modules ;
- Du rendement moyen charge/décharge de la batterie (90%) ;
- Du rendement du régulateur (95%) ;
- Des pertes dans les câbles et connexions pour les systèmes avec batterie. K est en générale compris entre 0,55 et 0,75. La valeur souvent utilisée dans les calculs du système avec batterie est k=0,75.

✓ **Pour la machine DMG Mori :**

$$P_{ch} = \frac{E_c}{k * I_r}$$

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

$$P_{ch} = \frac{156.8 * 10^3}{0.75 * 6} = 34844.44 \text{ w}$$

$$P_{ch}=34.84444 \text{ Kw}$$

✓ **Pour la machine Haas :**

$$P_{ch} = \frac{E_c}{k * I_r}$$

$$P_{ch} = \frac{68.6 * 10^3}{0.75 * 6} = 15244.44 \text{ w}$$

$$P_{ch}=15.244 \text{ Kw}$$

✓ **Pour l'atelier de FM :**

$$P_{ch} = \frac{E_c}{k * I_r}$$

$$P_{ch} = \frac{336.49 * 10^3}{0.75 * 6} = 74108.88 \text{ w}$$

$$P_{ch}=74.108 \text{ Kw}$$

Consommateur	Puissance utile (kw)	Puissance crête (kw)
Machine DMG	22,4	34.844
Machine Haas	9,8	15.244
L'atelier FM	48,07	74.108

Tableau III.4 : La puissance crête

b) La tension nominale du fonctionnement

Le choix de la tension nominale d'un système dépend des matériels (récepteur et modules) et aussi au niveau de puissance et d'énergie nécessaire de chaque type d'installation comme il est indiqué dans le tableau suivant:

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Puissance crête (W)	<500	500-2500	>2500
Tension du système (V)	12	24	48

Tableau III.5: les tensions du système correspondantes à chaque intervalle de puissance crête

D'après les calculs ; La puissance crête de notre installation estimée à 50088W Donc la tension nominale correspondante à cette puissance est 48v.

c) Nombre de panneaux à installer dans l'atelier de fabrication mécanique

Le constructeur des panneaux solaire propose des modules PV Jinkosolar(JKM 320M-60H-TV) monocristalline de puissance 320Wc 28v.



Figure III.6 : Panneaux jinkosolar monocristalline

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

The screenshot shows the 'Définition d'un module PV' software interface. The 'Données de base' tab is active, displaying the following information:

- Modèle:** JKM320M-60H-TV
- Fabricant:** Jinkosolar
- Nom fichier:** Jinko_JKM_320M_60H_TV_Bifacial.PAN
- Source données:** Datasheets 2020
- Base de données PVsyst originale:** Prod. depuis 2020

Key parameters and results are shown in the following sections:

- Puissance nom. (aux STC):** 320.0 Wc, Tol. +/- 0.0 / 3.0 %
- Technologie:** Si-mono
- Spécifications fabricant ou autres mesures:**
 - Cond. de référence: GRef 1000 W/m², TRef 25 °C
 - Courant de court-circuit: Isc 10.070 A, Circuit ouvert Vco 40.10 V
 - Point de Puissance max.: Imp 9.730 A, Vmpp 32.90 V
 - Coefficient de tempér.: muIsc 5.0 mA/°C, muSc 0.050 %/°C
 - Nbre cellules:** 60 x 2
- Résultats du modèle interne:**
 - Cond. de fonctionnement: GOper 1000 W/m², TOper 25 °C
 - Point de Puissance max.: Pmpp 321.3 W, Coeff. de température -0.35 %/°C
 - Courant: Imp 9.59 A, Tension Vmpp 33.5 V
 - Courant de court-circuit: Isc 10.07 A, Circuit ouvert Vco 40.1 V
 - Efficacité: / Surf. cellules 21.59 %, / Surf. module 18.70 %
- Résumé du modèle - Paramètres principaux:**
 - R parall.: 700 Ω
 - Rparall(G=0): 3000 Ω
 - R série model: 0.21 Ω
 - R série max.: 0.21 Ω
 - R série apparent: 0.35 Ω
- Paramètres modèle:**
 - Gamma: 0.955
 - IoRef: 0.01 nA
 - muVco: -122 mV/°C
 - muPMax fixé: -0.36 /°C

Buttons at the bottom include: Voir optimisation, Export vers table, Imprimer, Annuler, and OK.

Figure III.7: caractéristiques électriques du module choisi.

Pour déterminer le nombre de panneaux N_p on utilise la formule suivante:

$$N_p = \frac{P_c}{P_p} \quad (III.2)$$

Avec :

P_p : La puissance d'un panneau.

Le panneau utilisé est de puissance égale à 320Wc. Donc le nombre des panneaux est fixée par :

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Consommateur	La puissance crête(w)	Nombre des panneaux
Machine DMG Mori	34844.44	109
Machine HAAS	15244.4	48
L'atelier	74108.88	232

Tableau III.6: Le nombre des panneaux utilisés

D'après ce calcul, le nombre de panneaux utilisé est très grand pour alimenter tout l'atelier. Donc, nous suggérons de travailler seulement sur les deux machines à commande numérique et qui sont plus affectés par les coupures d'électricité. Dans ce cas le nombre de panneaux est réduit à 157 panneaux.

Dans ce qui suit, nous déterminant le nombre de modules connectés en série et en parallèle :

- ✓ Le nombre de modules connectés en série sera :

$$N_{m.s} = \frac{V_{n.s}}{V_{m.p}} = \frac{96}{29.1} = 3$$

Donc 3 modules connectés en série

- ✓ Le nombre de module connecté en parallèle :

On a: $N_p = N_{m,s} \times N_{m,p}$

$$N_{m.p} = \frac{N_p}{N_{m.s}} = \frac{157}{3} = 52$$

Donc 52 modules connectés en parallèle.

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Dimensionnement du stockage et du convertisseur

➤ Dimensionnement du stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite d'envisager des stockages suivant les conditions météorologiques et qui vont répondre à deux fonctions principales:

- Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou pour le mauvais temps par exemple)
- Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

a) Calcul de la capacité de stockage

Pour connaître la capacité de la batterie, on utilise la formule suivante:

$$C(\text{Ah}) = \frac{E_{\text{tot}} \cdot N_j}{Pr \cdot V_{\text{sys}}} \quad (\text{III.3})$$

E_{tot} : la consommation énergétique (KWh)

N_j : Nombre de jour d'autonomie(j)

V_{sys} : Tension du système

Pr : Profondeur de la décharge

Il peut y avoir des périodes de manque d'ensoleillement, pour cela il faut prendre en considération le nombre de jour d'autonomie N_j qu'on fixera à 2 jours pour notre étude.

Il doit tenir compte la profondeur de décharge des batteries. Pour notre cas, on adopte une valeur de $Pr = 80\%$. La capacité de la batterie est égale à :

✓ Pour la machine DMG Mori :

$$C(\text{Ah}) = \frac{(2) * (156.8 * 10^3)}{(96 * 0.8)}$$

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

$$C(Ah) = 4083.33 Ah$$

✓ Pour la machine HAAS :

$$C(Ah) = \frac{(2) * (68.6 * 10^3)}{(96 * 0.80)}$$

$$C(Ah) = 1786.45 Ah$$

La capacité de stockage est proportionnelle à la consommation électrique : plus la consommation augmente, plus la capacité de stockage augmente.

b) Le nombre des batteries à installer

La batterie choisie est de marque concord (PVX-2580L) de 12v/239Ah voir Les caractéristiques techniques de batterie (figure III.9) :



Figure III.8 : batterie concord (PVX-2580L)

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Figure III.9: caractéristique électrique de la batterie choisie

c) Le nombre de batteries connectées en série sera

Afin d'obtenir un système équilibré en terme de tension nous avons préposé une distribution de batterie de sorte d'avoir une tension nominale du système de 96V.

Pour connaître le nombre de batterie en série on utilise la formule suivante :

$$\text{Nb. s} = \frac{v_{\text{sys}}}{v_{\text{bat}}} = \frac{96}{12} \quad (\text{III.4})$$

Nb. s = 8 Batteries connectés en série

d) Le nombre de batteries connectées en parallèle sera

On a :

$$\text{Nb. p} = \frac{C}{C_b} = \frac{5869.78}{239}$$

Nb. p = 24 Batteries connectés en parallèle

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

e) Le nombre total des batteries qu'en doit installer

On a:

$$Nb = Nb.s \times Nb.p$$

$$Nb = 24 \times 8$$

$$Nb = 192$$

On aura besoin donc de 192 batteries de 12V/239 Ah .

➤ Dimensionnement du convertisseur

La tension produite par les modules photovoltaïques est continue et celle fournie par les batteries pour l'alimentation des charges est aussi de nature continue. Dans ces conditions, il faudra intégrer obligatoirement un onduleur au système PV destiné à alimenter des charges alternatives. L'onduleur est un convertisseur DC/AC, c'est-à-dire il peut convertir la sortie continue (DC) du champ de module ou des batteries en électricité alternative(AC).

Le choix de l'onduleur est effectué en fonction des critères suivants :

- **Tension d'entrée:** elle doit être la même que celle des batteries ou du régulateur (12, 24 ou 48 V DC). Dans notre cas, on prend une tension de 96V.
- **Tension de sortie :** On utilise 4 onduleur triphasé 380 v AC, et la fréquence sera 50Hz.
- **Puissance nominale :** C'est la puissance nécessaire pour le fonctionnement normale des appareils constituant la charge. Il faut toujours choisir un convertisseur dont la puissance est supérieure à celle des appareils
- **Rendement :** une partie de l'électricité transformée est consommée par le convertisseur (entre 80 et 95% de l'énergie est restituée). Il est important de contrôler ce rendement. Supposant un rendement égale 80%.
- **Forme du signal :** La sinusoïde produite par le convertisseur peut avoir plusieurs formes (de la plus coûteuse à la moins chère : pur sinus, pseudo sinus ou carré).



Figure III.10 : convertisseur must power

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Nom de modèle	PH 50- 15000T
Garantie	5 Année
Entrée DC	
Puissance DC maximum	18KW
Tension DC maximum	1000V
Tension DC minimum	160V
Courant DC maximum	20A
Plage de tension MPP(T)	200-1000V
Nombre de branche MPPT	2
Connecteurs	MC4
Sortie AC	
Puissance AC maximum	15KW
Puissance AC nominale	15KW
Plage de tension AC sortie	184-300V
Tension AC nominale	230-400V
Plage de fréquence	45-65Hz
Fréquence	50 , 60Hz
Cos ϕ (directive de tension moyenne)	1
Taux de distorsion harmonique(THD)	<3%
Efficacité maximum	98,4%
Efficacité minimum	98%
Données Générales	
Dimension (H/L/P)	428×500×200mm
Poids	24kg
Consommation propre durant la nuit	<1W
Niveau de bruit	<35DBA

Tableau III.7: fiche technique de convertisseur

Dimensionnement du régulateur

Le régulateur électronique dans un système photovoltaïque gère la charge et la décharge de la batterie. Il limite la tension de la batterie afin d'éviter une surcharge, en déconnectant la

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

batterie trop chargée des modules PV. Quand la batterie est trop déchargée, il la déconnecte de l'utilisation, par un disjoncteur automatique pour la protéger contre la décharge profonde.

Dans un système PV, en absence d'un régulateur, la durée de vie des accumulateurs sera diminuée. Le dimensionnement du régulateur s'effectue selon les trois critères suivants:

- Tension nominale: C'est la tension nominale du champ photovoltaïque 48V ;
- La puissance crête du champ photovoltaïque doit être inférieure à la puissance nominale du régulateur ;
- Le courant de sortie du champ photovoltaïque ne doit pas dépasser le courant maximal admissible par le régulateur ;



Figure III.11: Régulateur du type 200a/96v.

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Modèle	200ah /96v
Tension nominale du système (cc)	96v
Courant de charge nominale	200ah
La tension maximale admissible (cc)	128v
Tension maximale d'entrée (cc)	200v
Tension minimale d'entrée(cc)	120v
Puissance maximale d'entrée	19200w
Terminale de charge	Facultatif
Interface de communication	RS232

Tableau III.8: fiche technique du régulateur choisi.

Simulation du System étudié

D'après les résultats obtenus dans le processus précédent (faisabilité du système Off Grid) nous avons suggéré à l'entreprise un autre système On Grid (connecté au réseau) qui pourrait être optimale par rapport le système Off Grid (autonome).

Afin de pouvoir étudier la faisabilité des deux systèmes nous avons choisis un logiciel de simulation dont nous allons présenter ci-après.

III.7.1 Présentation du logiciel PVSYS

Le programme PVSYST est un logiciel de simulation des systèmes photovoltaïques, développé initialement par le Groupe de Physique Appliquée (GAP) de l'Université de Genève. Ce logiciel est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche économique avec guide dans le développement d'un projet.

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Principaux paramètres

- **Données météorologiques du site**

Après avoir localisé le site, pv système nous fournit les données météorologiques sous formes données mensuelles qui représentent l'irradiation, la température moyenne et la vitesse du vent :

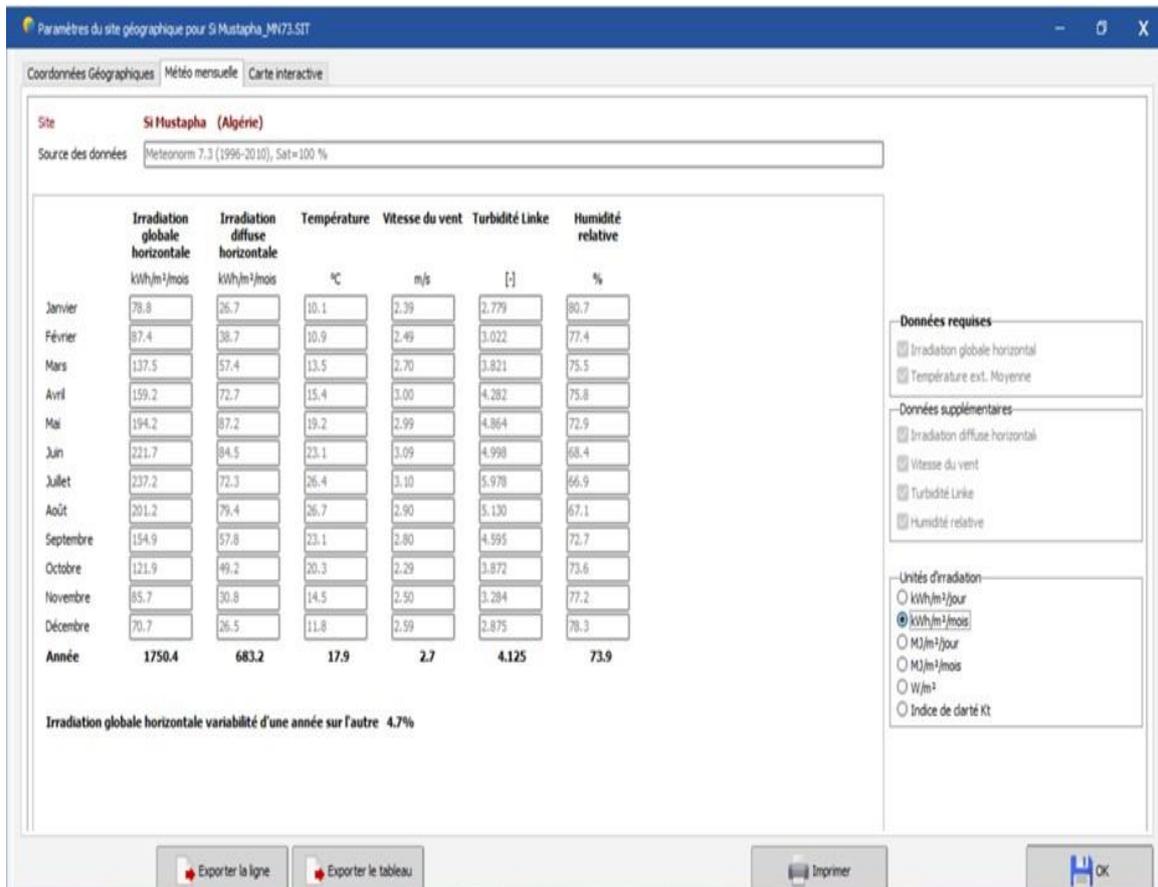


Figure III.12 : Caractéristiques climatiques du site étudié

a) Trajectoire du soleil

La connaissance du mouvement apparent du soleil pour un point donné de la surface terrestre est nécessaire pour toute application solaire

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

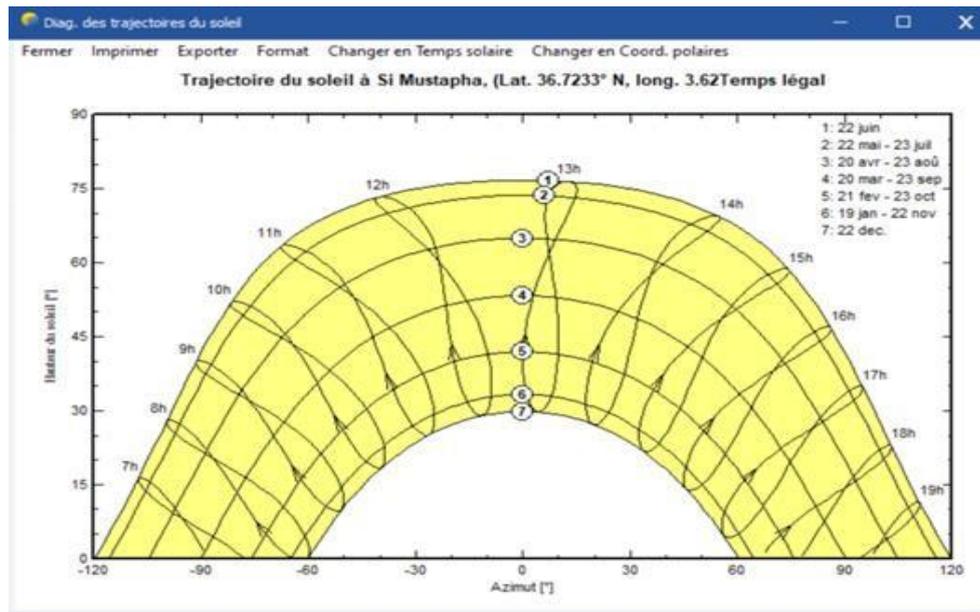


Figure III. 13 : Trajectoire du soleil de site étudié

b) Orientation du module photovoltaïque

Vu le prix élevé des modules PV, il est nécessaire de choisir des orientations et inclinaisons favorables à la production d'énergie.

Nous avons choisi un plan Incliné de 25° fixe par rapport à l'horizontale a la base de l'inclinaison de l'atelier comme illustre la figure (III.14)cette l'inclinaison est optimale d'après le logiciel PVSYST.

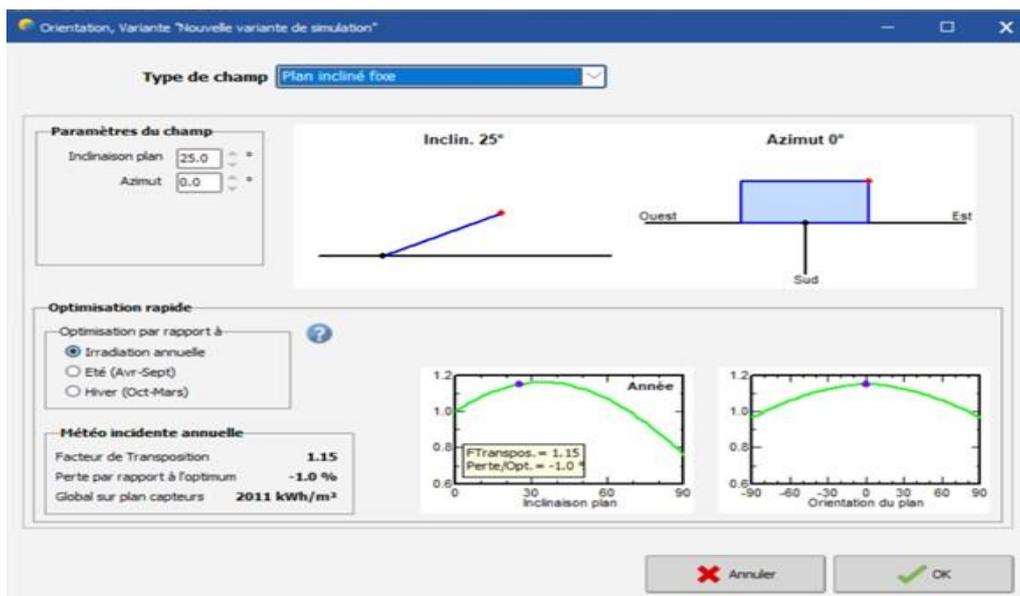


Figure III.14: Orientation et inclinaison du système PV

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

simulation du system OFF Grid

a) Configuration du system

La figure (III.15) représente le schéma de l'installation PV autonome prise en compte dans la simulation.

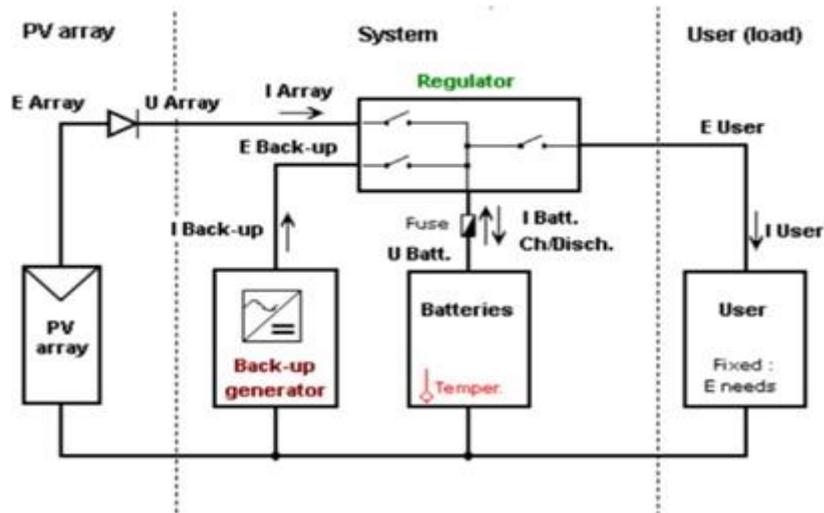


Figure III.15: Schéma simplifié d'une installation PV autonome

b) Choix des batteries

On a utilisé 192 batteries concorde de référence PVX -2580L et de type Pb-acide 12V/239Ah pour une température fixe 20°C.

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Définition d'un système isolé avec batteries, Variante: "Off grid simulation", Variant: "Off grid simulation"

Besoins jour, moyens: 161 kWh/jour
Déf. la PLOL acceptable: 5.0 %
Déf. l'autonomie requise: 2.0 jour(s)
Tension batterie (et utilis.): 96 V
Capacité conseillée: 5525 Ah
Puissance PV conseillée: 50342 Wc (nom.)

Pré-dimens. détaillé

Stockage | Champ PV | Appoint | Schéma simplifié

Procédure

1. Pré-dimensionnement: Définissez les conditions de pré-dimensionnement (PLOL, autonomie, tension batterie)
2. Stockage: Définissez le pack de batteries (les cases défaut approchent les suggestions du pré-dimensionnement)
3. Conception champ PV: Définissez le champ PV (Module PV et mode de contrôle). Conseil : commencez avec un régulateur universel !
4. Appoint: Définissez une éventuelle génératrice d'appoint.

Définissez le pack de batteries

Trier les batteries selon: tension capacité fabricant

Concorde: 12 V 239 Ah Pb Sealed AGM PVI-2580L

Pb-acide

8 batteries en série
24 batteries en parallèle

Nombre de batteries: 192
Nombre d'éléments: 1152

Tension du pack batteries: 96 V
Capacité globale: 5736 Ah
Energie stockée (80 % DOD): 441 kWh
Poids total: 14400 kg
Nbre de cycles à 80 % DOD: 800
Energie totale stockée durant la vie de la batterie: 371 MWh

Etat d'usure initial (nb. de cycles): 100.0 %
Etat d'usure initial (statique): 100.0 %

Température batterie en opération

Mode tempér.: Fixée (local tempéré)
Température fixée: 20 °C

La température est importante pour la durée de vie de la batterie. Une augmentation de 10 °C diminue la durée de vie "statique" d'un facteur 2.

Besoins utilis.	Utilis. domestique	Puissance moy.
Fraction nuit	50.0 %	6.72 kW
Energie jour		161 kWh

Pack de batteries	24 en parallèle, 96 V	Capacité
Autonomie	2.7 j	5736 Ah
Energie stockée		441 kWh

Champ PV	38 chaînes de 4 modules	Puissance nom.
PV/PLoad	7.2	48.6 kWc
Energie moy. jour		185 kWh

Régulateur	Universel, couplage direct	Puissance nom.
PV/PConv	1.15	42.3 kW
		Seuls selon SOC

Annuler OK

Figure III.16 : dimensionnement des batteries

c) Choix du régulateur et du champs PV

Comme illustré sur la figure III.18 Dans les deux machines, le champ PV sera constitué de 152 modules PV de 320Wc (technologie mono cristallin) répartis sur une surface de 254m², comme suit :

- ✓ 04 modules en série.
- ✓ 38 modules en parallèle

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

The screenshot shows a software interface for PV system dimensioning. The window title is "Définition d'un système isolé avec batteries, Variante: "Off grid simulation", Variant: "Off grid simulation".

Inputs and Settings:

- Needs: 161 kWh/jour, Def. autonomy requested: 2.0 jours, Def. acceptable PLOL: 5.0 %.
- Battery voltage: 96 V, Recommended capacity: 5525 Ah, Recommended PV power: 50342 Wc (nom.).
- Orientation: Plan incliné fixe, Incline: 25°, Azimuth: 0°.
- PV Module Selection: Jinkosolar, 320 Wp 28V, Si-mono, 3M320M-60-V, Depuis 2020, Datasheets 2020.
- Regulation Mode: Régulateur universel, Couplage direct Champ PV to Battery.
- Regulator: Universal direct controller, 96 V, 558 A, 335 A.
- Conception champ PV: 4 modules in series, 38 chains, 152 modules, 254 m² surface.

Cond. de fonctionnement (Operating Conditions):

V _{mpp} (60°C)	116 V
V _{mpp} (20°C)	136 V
V _{co} (-10°C)	181 V
Irradiance plan	1000 W/m ²
I _{mp} (STC)	364 A
I _{sc} (STC)	391 A
I _{sc} (aux STC)	386 A

Summary Table (Besoins utilis.):

Utilis. domestique	Puissance moy.	6.72 kW
Fraction nuit 50.0 %	Énergie jour	161 kWh
Pack de batteries: 24 en parallèle, 96 V	Capacité	5736 Ah
Autonomie 2.7 j	Énergie stockée	441 kWh
Champ PV: 38 chaînes de 4 modules	Puissance nom.	48.6 kWc
PV/PLoad 7.2	Énergie moy. jour	185 kWh
Régulateur: Universel, couplage direct	Puissance nom.	1000 W
PV/PCnv 48.64	Seuils selon SOC	

Figure III.17 : Dimensionnement de module

Aussi nous avons utilisée 04 régulateurs de 200Ah 96V .

➤ Les résultats

Nous présentons, ci-après, le rapport de simulation du le système Off Grid (isolé) par PV système :

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec



PVsyst V7.1.4
 VC2, Simulé le :
 07/06/21 15:07
 avec v7.1.4

Projet: Soficlef Off Grid

Variante: Off grid simulation

Paramètres généraux		
Système isolé	Système isolé avec batteries	
Orientation plan capteurs		Besoins de l'utilisateur
Orientation	Modèles utilisés	Consomm. domestique
Plan fixe	Transposition Perez	Constants sur l'année
Inclinaison/Azimut 25 / 0 °	Diffus Perez, Météonorm	Moyenne 161 kWh/Jour
	Circumsolaire séparément	

Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV		Batterie	
Fabricant	Jinkosolar	Fabricant	Concorde
Modèle	JKM320M-60-V	Modèle	PVX-2580L
(Base de données PVsyst originale)		Technologie	Pb-acide, scellée, AGM
Puissance unitaire	320 Wc	Nombre d'unités	24 en parallèle x 8 en série
Nombre de modules PV	152 unités	Décharge : min. SOC	20.0 %
Nominale (STC)	48.6 kWc	Energie stockée	440.5 kWh
Modules	38 Chaînes x 4 En série	Caractéristiques du banc de batteries	
Aux cond. de fonct. (50°C)		Tension	96 V
Pmpp	44.2 kWc	Capacité nominale	5736 Ah (C10)
U mpp	121 V	Température	Fixée 20 °C
I mpp	365 A		
Régulateur		Seuils de régulation batterie	
Régulateur universel		Seuils de commande selon	Calcul SOC
Technologie	Série	Charge	SOC = 0.90 / 0.75
Coeff. de temp.	-5.0 mW/°C/Élém	environ	106.9 / 100.3 V
Convertisseur		Décharge	SOC = 0.20 / 0.45
Efficacité maxi et EURO	97.0 / 95.0 %	environ	93.8 / 97.7 V
Puissance PV totale			
Nominale (STC)	49 kWc		
Total	152 modules		
Surface modules	254 m²		
Surface cellule	227 m²		

Pertes champ								
Fact. de pertes thermiques		Pertes câblage DC		Perte diode série				
Température modules selon l'irradiance		Rés. globale champ	5.5 mΩ	Chute de tension	0.7 V			
Uc (const)	20.0 W/m²K	Frac. pertes	1.5 % aux STC	Frac. pertes	0.5 % aux STC			
Uv (vent)	0.0 W/m²K/m/s							
Perte de qualité module		Pertes de mismatch modules		Perte de "mismatch" strings				
Frac. pertes	-0.8 %	Frac. pertes (Tension fixe)	2.5 %	Frac. pertes	0.1 %			
Facteur de perte IAM								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, n(verre)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Figure III.18: Paramètres de simulation de off grid

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

- **Productions normalisées (par kWp installé)**

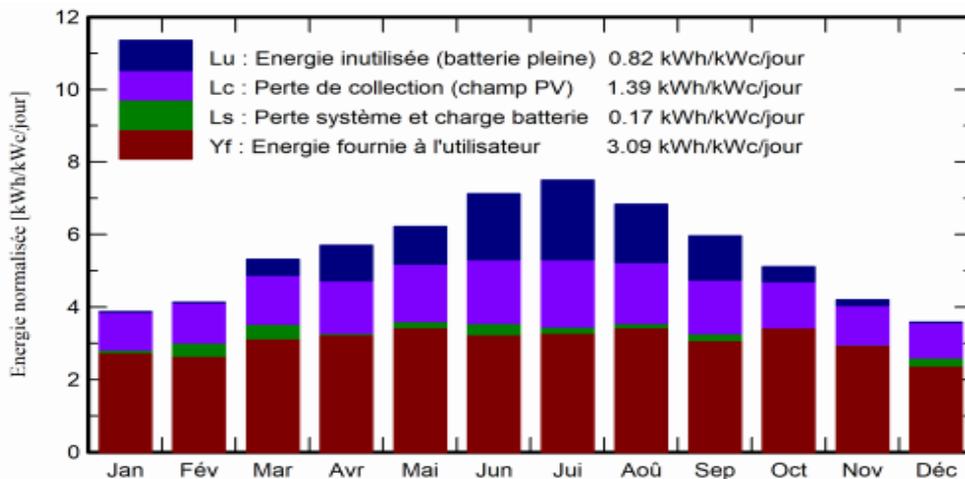


Figure III.19 : Graphe représente variation de l'énergie normalisée par mois.

La figure (III.19) représente la variation de l'énergie normalisée en fonction du temps (mois de l'année) on remarque que :

- l'énergie fournie à l'utilisateur est presque stable (2.5KWh /KWh/jour) durant toute l'année
- Les pertes du system du au chargement des batteries est presque inexistant pour les mois : Nov ,oct,avr,jan .
- Les pertes de collection (champ PV) est généralement stable (4.2 KWh /KWh/jour)
- On voit que l'énergie inutilisé (batterie pleine) est importante en été (jun,jui,aou)

Car dans ces mois d'été l'éclairage est maximal et la production des panneaux est suffisant pour alimenter notre atelier (sans utiliser les batteries).

- **Indice de performance (PR)**

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

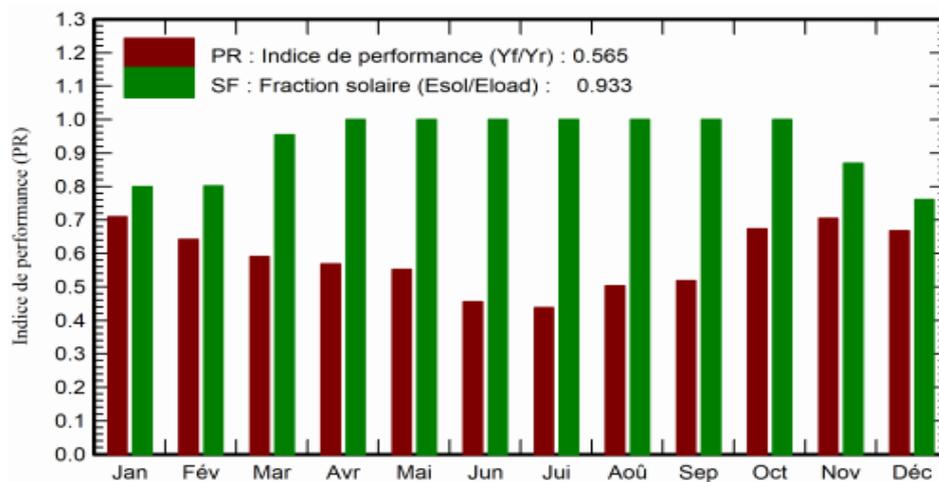


Figure III.20 : Graphe représente indice de performance en fonction de mois

L'indice de performance représente le rapport de l'énergie produit par le système (Y_f) sur l'énergie incident (Y_r). D'après les résultats fournis par le logiciel ; l'indice de performance est donné par une moyenne de (56%). Sa valeur est maximale d'été (0.98) (juin) et minimale d'hiver (0.76) (décembre).

- **Diagramme de l'énergie effective fournie à la sortie**

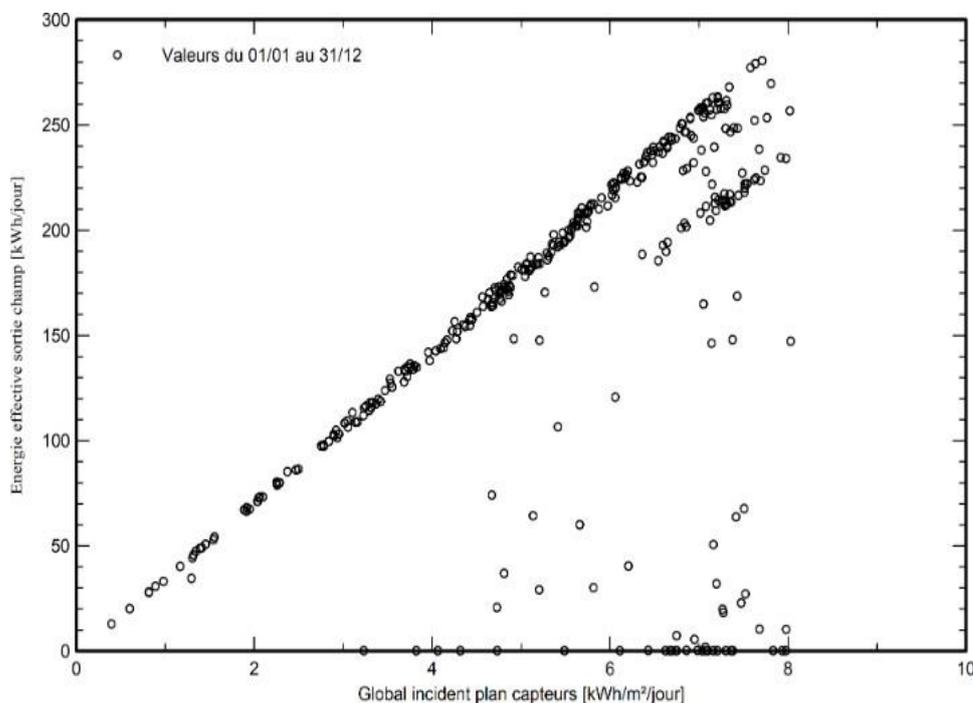


Figure II.21 : Graphe représente variation de énergie effective fournie par les captures en fonction de l'éclairement

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

La figure(III.21) représente la variation de l'énergie effective sortie de champ (KWh/jour) en fonction de global incident plan capture (KWh/m²/jour) de moi de janvier au moi décembre, on remarque que qu'il existe une relation direct entre les deux, ainsi plus le rapport de l'énergie effective sortie de champ élevé plus le rapport global incident plan capture élevé.

- **Les pertes après la production**

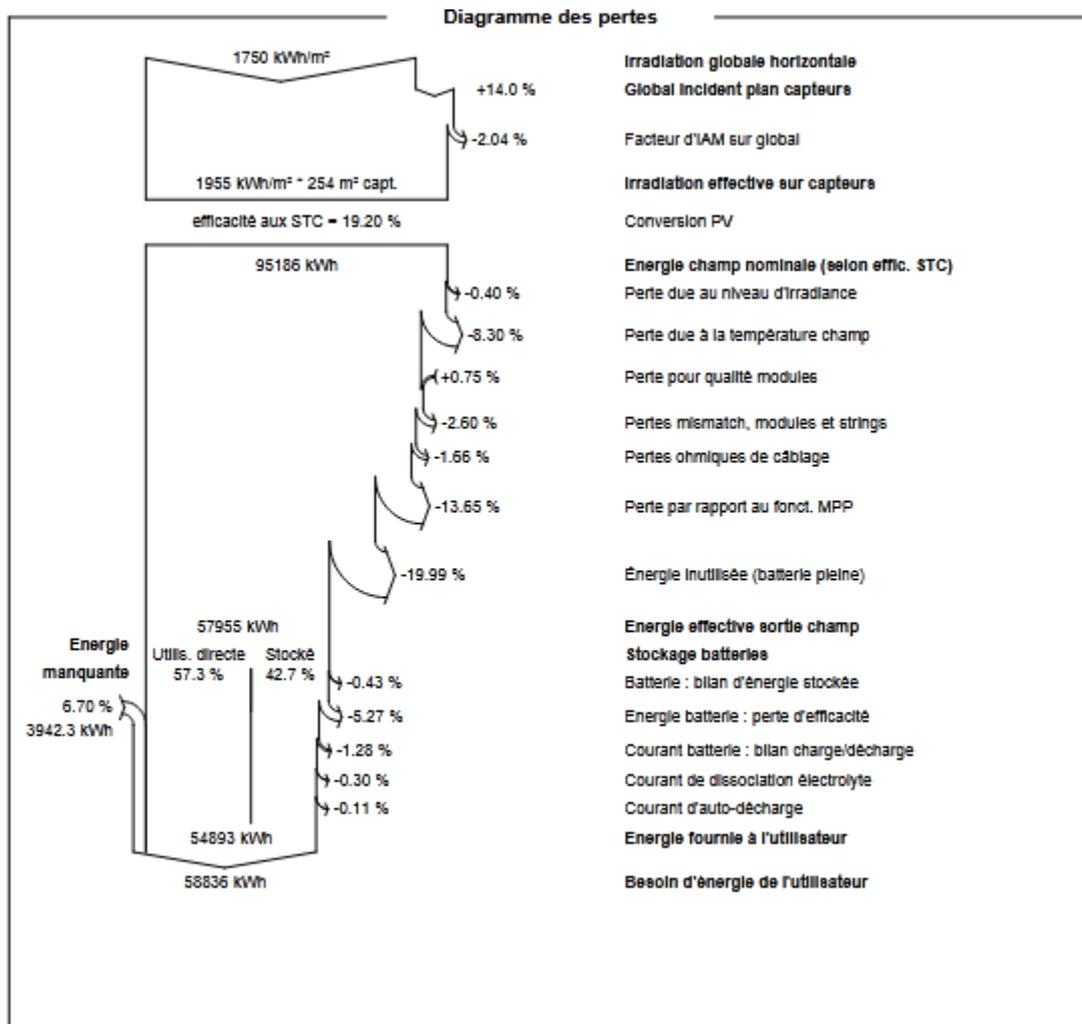


Figure III.22: Diagramme des pertes sur l'année entière

Le logiciel pv système nous apporte une idée sur le diagramme des pertes de la production à savoir : les pertes ohmiques du câblage, effet d'incidence, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité des modules,...etc.

En effet, l'énergie produite par le champ PV (énergie sortie du champ) est estimée à 95186 KWh.

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

D'après ces résultats, nous constatons que les pertes causées par les batteries pleines représentent presque 20% et les pertes des régulateurs sont estimées à 13.65%.

Simulation du system On Grid

Cette méthode est proposé pour essayer de trouver la meilleur configuration convenable au Budget de l'entreprise.

a) Configuration du system

La figures (III.23) Représente le schéma de l'installation PV connectée au réseau en compte dans la simulation.

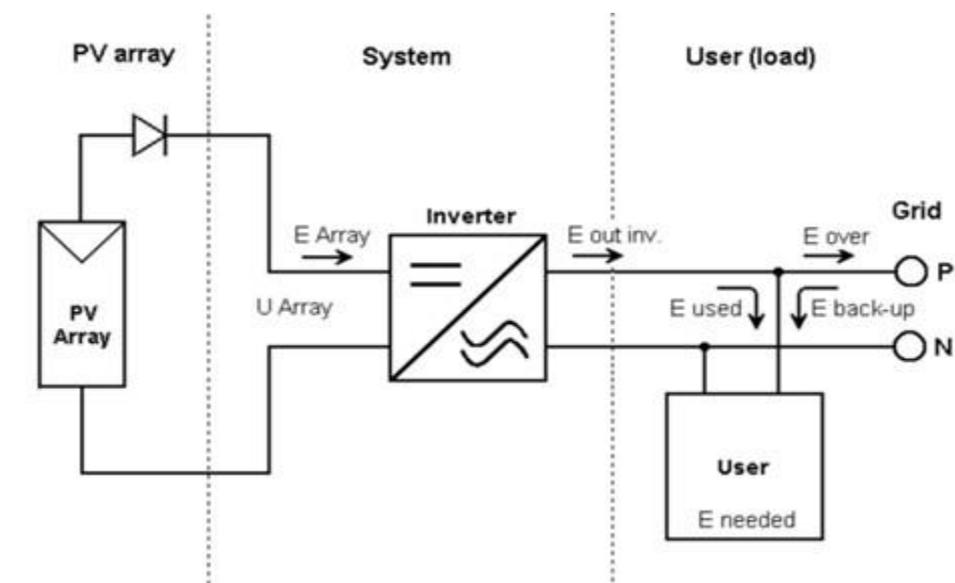


Figure III.23 : Schéma simplifié d'une installation PV connectée au réseau

Cette configuration comporte : des modules pv et des onduleurs

b) Choix de l'onduleur et du champ PV

Nous avons choisi six 06 onduleurs de la marque ABB de Modèle PVI-10.0-TL-OUTD (10kWacmax) on garde la même marque précédente de panneaux avec une augmentation dans le nombre 156 avec une surface de 268m² (figure III.24).

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

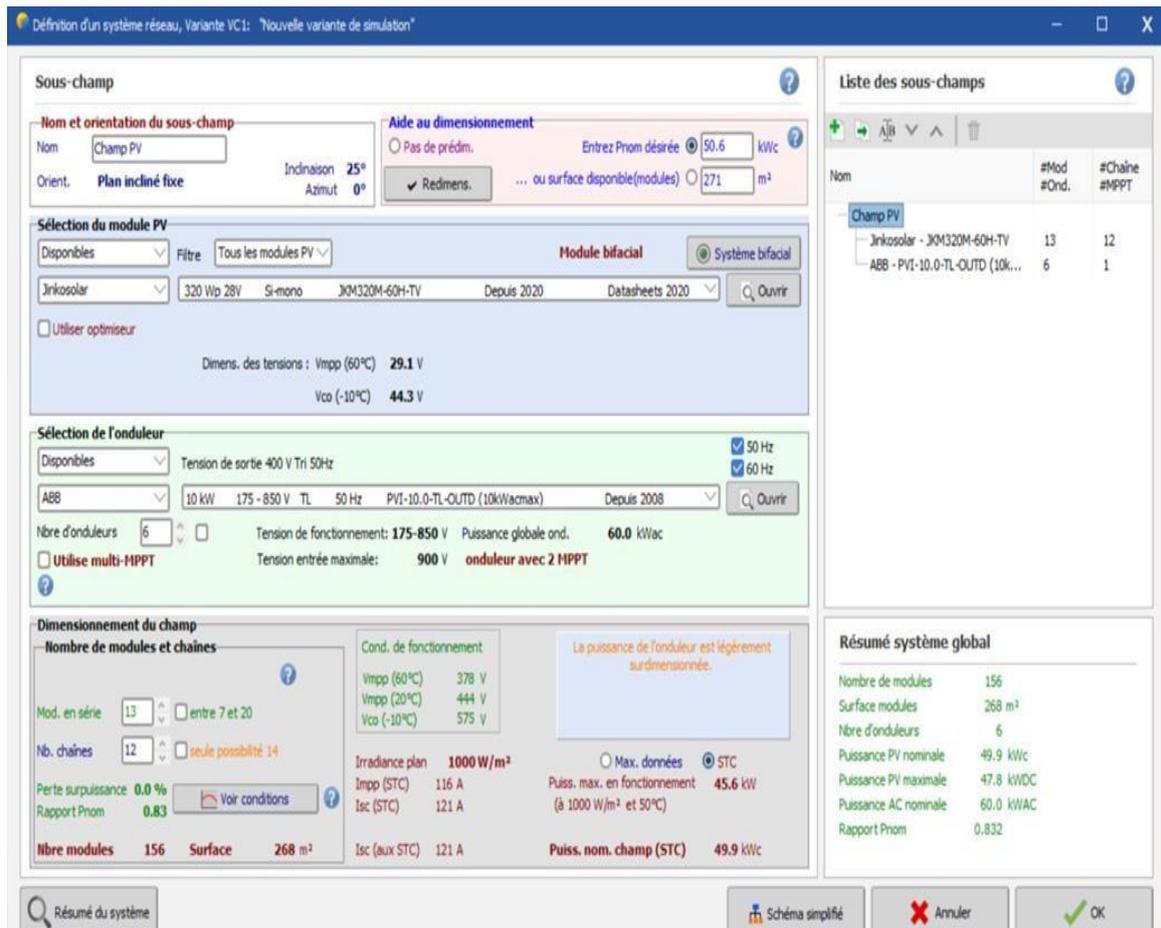


Figure III.24 : Dimensionnement des modules PV et onduleurs

➤ Les résultats

Nous présentons, ci-après, le rapport dissimulation du système On Grid (connecté au réseau) par PV système :

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec



PVsyst V7.1.4
 VC1, Simulé le :
 07/06/21 15:53
 avec v7.1.4

Projet: Soficlef Ongrid

Variante: Nouvelle variante de simulation

Paramètres généraux		
Système couplé au réseau	Pas de scène 3D, pas d'ombrages	
Orientation plan capteurs	Horizon	
Orientation	Modèles utilisés	Pas d'horizon
Plan fixe	Transposition Perez	
Inclinaison/Azimut 25 / 0 °	Diffus Perez, Meteororm	
	Circumsolaire séparation	
Ombrages proches	Besoins de l'utilisateur	
Sans ombrages	Charge illimitée (réseau)	

Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV		Onduleur	
Fabricant	Jinkosolar	Fabricant	ABB
Modèle	JKM320M-60H-TV	Modèle	PVI-10.0-TL-OUTD (10kWacmax)
(Base de données PVsyst originale)		(Base de données PVsyst originale)	
Puissance unitaire	320 Wc	Puissance unitaire	10.00 kWac
Nombre de modules PV	156 unités	Nombre d'onduleurs	6 unités
Nominale (STC)	49.9 kWc	Puissance totale	60.0 kWac
Modules	12 Chaînes x 13 En série	Tension de fonctionnement	175-850 V
Aux cond. de fonct. (50°C)		Rapport Pnom (DC:AC)	0.83
Pmpp	45.6 kWc		
U mpp	394 V		
I mpp	116 A		
Puissance PV totale		Puissance totale onduleur	
Nominale (STC)	50 kWc	Puissance totale	60 kWac
Total	156 modules	Nbre d'onduleurs	6 unités
Surface modules	268 m²	Rapport Pnom	0.83
Surface cellule	232 m²		

Pertes champ								
Fact. de pertes thermiques	Pertes câblage DC	Perte de qualité module						
Température modules selon l'irradiance	Rés. globale champ	Frac. pertes	-0.8 %					
Uc (const) 20.0 W/m²K	Frac. pertes		1.5 % aux STC					
Uv (vent) 0.0 W/m²K/m/s								
Pertes de mismatch modules	Perte de "mismatch" strings							
Frac. pertes 2.0 % au MPP	Frac. pertes 0.1 %							
Facteur de perte IAM								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, n(verre)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Figure III.25 : Paramètres de simulation de On grid

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

- **Productions normalisées (par kWp installé)**

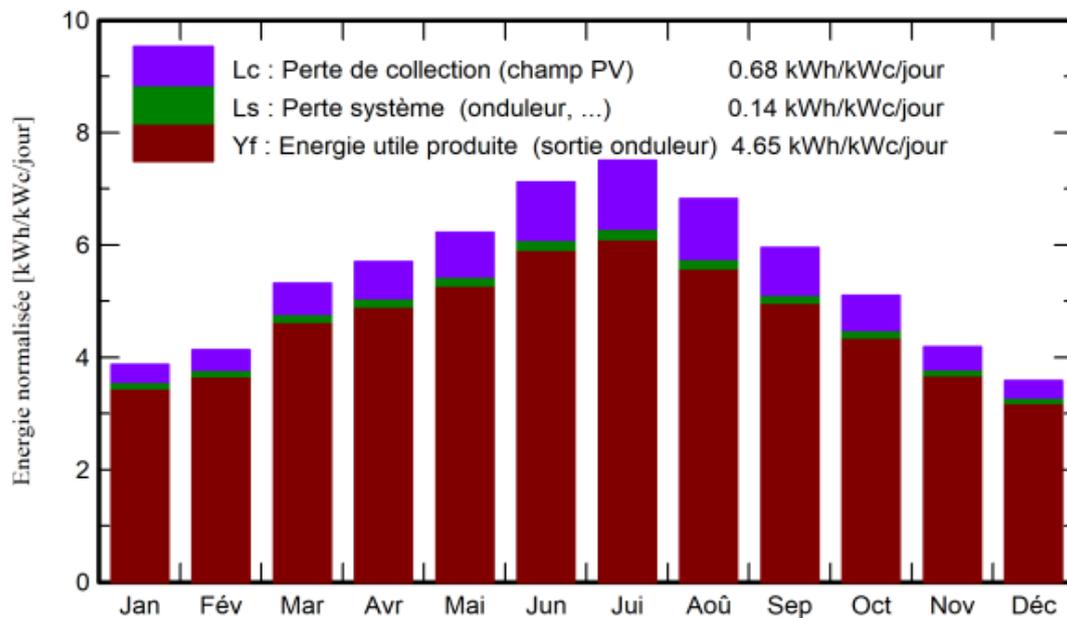


Figure III.26: Énergie utile produite par la centrale PV (à la sortie de l'onduleur)

La figure (III.26) représente la variation de l'énergie utile produite par la centrale PV (à la sortie de l'onduleur) d'après ces résultats en remarque qu'une variation de la puissance utile produit en fonction des mois considère ; cette énergie est importante les mois d'été et moins importante d'hiver, Les pertes Lc et Ls sont les pertes correspondantes au champ PV et à l'onduleur, respectivement.

- **Indice de performance (PR)**

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

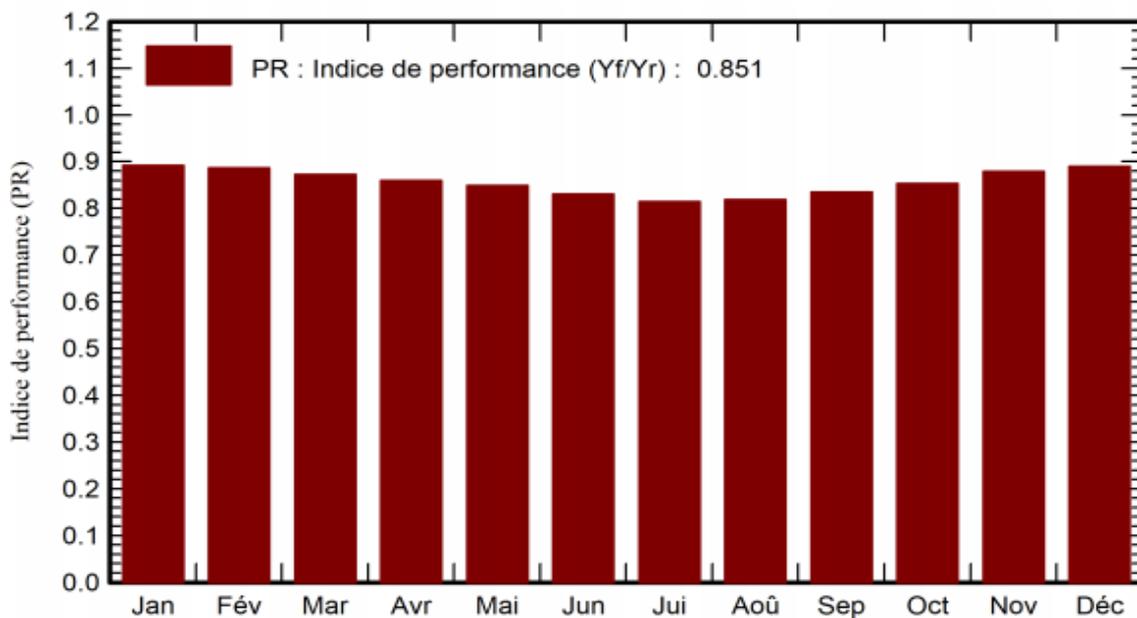


Figure III.27: indice de performance de la centrale PV

Les résultats obtenus de la variation du coefficient de performance en fonction des mois de l'année donnés par le logiciel pv système pour la configuration (On Grid) montrent que ce coefficient est presque stable pendant toute cette période (88%) avec une petite variation l'été (86%).

• Diagramme d'entrée/sortie journalier

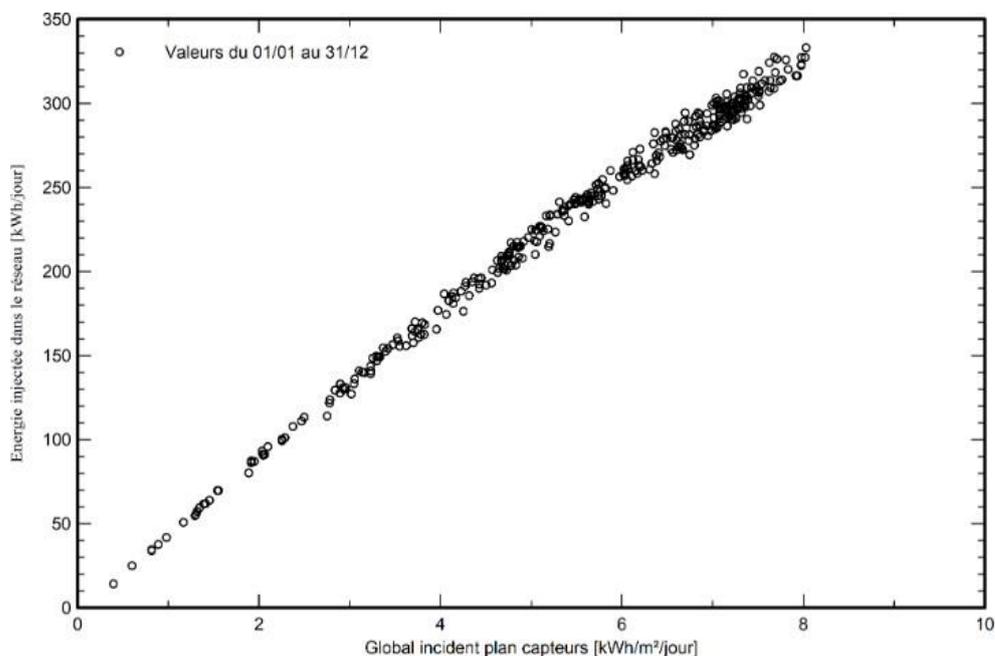


Figure III.28 : graphe représente variation d'énergie injectée dans le réseau en fonction de global incident

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Le graphe dans la figure (III.28) Représente la variation de l'énergie injectée dans le réseau (KWh/jour) en fonction l'éclairement global (kWh/m²/jour) durant la période de janvier au décembre, on voit que la quantité d'énergie injectée dans le réseau est proportionnelle à l'éclairement global incident sur les panneaux pv .

- **Les pertes après la production**

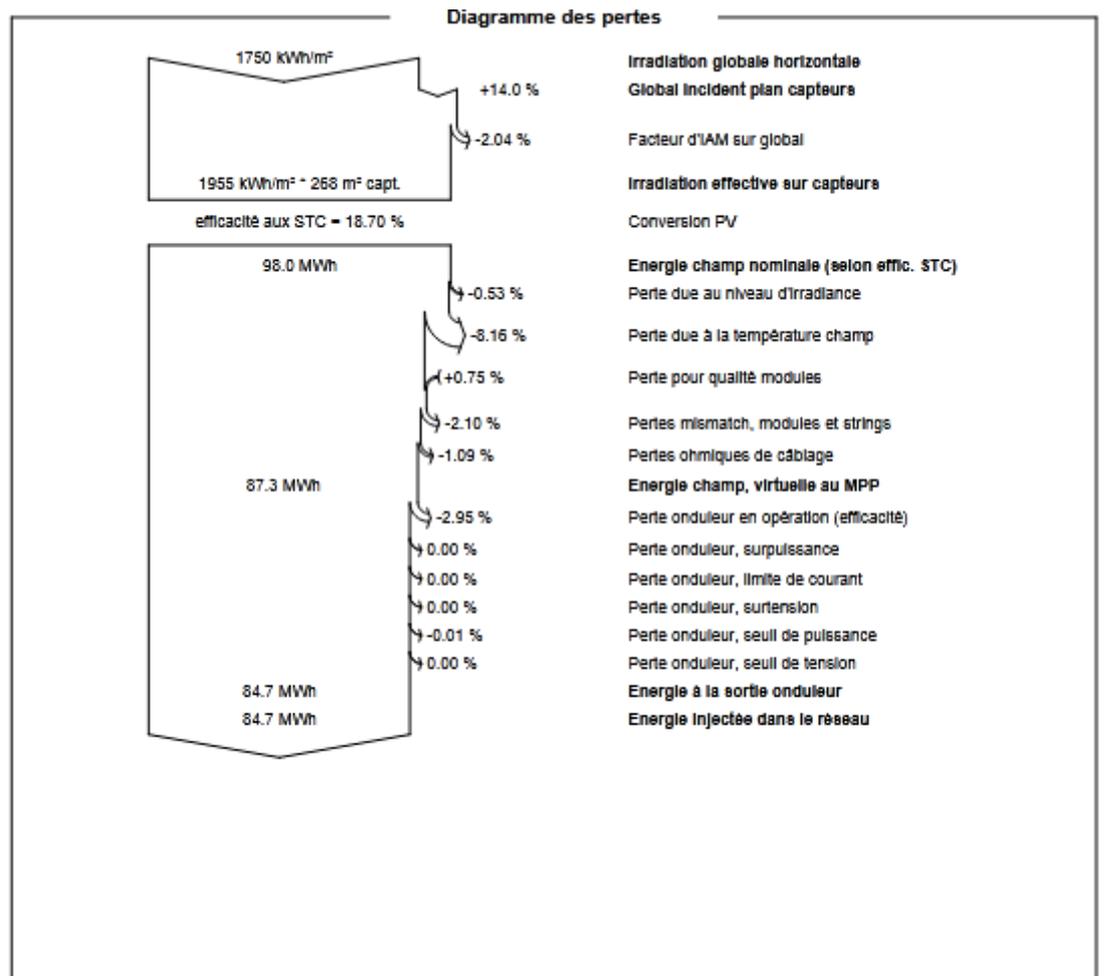


Figure III.29 : Diagramme des pertes sur l'année entière

Le diagramme résume les pertes de la production de système PV à savoir : les pertes ohmiques du câblage, effet d'incidence, pertes dues à la température du champ, pertes dues à la qualité des modules, pertes onduleur,...etc.

- Nous constatons un pourcentage (8.6%) des pertes due à la température du champ, et de (2.95%) comme perte de l'onduleur.

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

En effet, l'énergie produite par le champ PV (énergie sortie du champ) estimée à 98MWh et réduite à 84.7MWh à la sortie pour l'utilisateur.

Comparaison des deux systèmes

Suite aux résultats obtenu par calculs et la simulation numérique de logiciel pv système nous résumons dans le tableau ci-dessous :

	Système 1(Off Grid)		Système 2 (On Grid)	
	N panneaux	N batterie	N panneaux	N batterie
Calcul	157	192	157	/
Simulation	152	192	156	/

Tableau III.9 : Résultats obtenu par calculs théorique et par simulation de pv sys

D'après la comparaison effectuée dans le tableau ci-dessous, nous remarquons que les résultats sont conformes.

Nous enregistrons une petite différence entre les résultats théoriques et ceux obtenus par simulation des deux systèmes via logiciel pv système dans le nombre de panneaux à installer. cette différence marquée dans les résultats des simulation est causée par le fait que le logiciel ne prend pas en considération la consommation en veille dans le calcul.

Chapitre III : Etude de faisabilité de l'intégration de l'énergie solaire au sein de l'atelier FAB Mec

Conclusion

Dans ce chapitre, une première partie a été dédiée au dimensionnement analytique des besoins de l'entreprise.

En second temps, cette méthode de dimensionnement est comparée aux résultats obtenus par simulation pour les deux systèmes photovoltaïque autonome et connectés aux réseaux via logiciel PVSYST.

Le dimensionnement à l'aide du logiciel PVSYST montre la présence d'une petite différence dans le nombre de panneaux à installer entre les deux systèmes pour subvenir aux besoins de la société.

Chapitre IV : Etude de l'évaluation économique

IV.1. Introduction

Suite à notre étude du système d'installation d'une chaîne photovoltaïque, il est important d'évaluer le coût annuel total de notre système. Alors dans ce chapitre nous procédons à la détermination économique et énergétique du coût global actualisé du KWh fourni.

IV.2 . Description d'une étude économique

L'étude de faisabilité dans la gestion de projets est une étude qui s'attache à vérifier que le projet soit techniquement faisable et économiquement viable. Plus largement, on peut distinguer les volets suivants dans une étude de faisabilité : étude technique, commerciale, économique, juridique et d'organisation.

Cette étude se base sur une consultation des maîtres d'œuvre potentiels, la comparaison des propositions techniques et des scénarios financiers possibles, ainsi que sur l'analyse des environnements d'affaire et l'historique des projets similaires. En définitive, l'étude de faisabilité doit justifier le projet en termes d'objectifs chiffrés, réalistes, mesurables, atteignables et temporellement définis (méthode S.M.A.R.T.), dans un contexte donné tout en présentant les moyens pour les réaliser.

L'étude de faisabilité est utilisée lors de la rédaction du plan d'affaires de l'entreprise en démarrage ou l'analyse d'affaires du projet qui, avec le calcul du retour sur investissement (R.O.I.), sont présentés aux commanditaires et/ou investisseurs du projet en vue d'obtenir son approbation et/ou son financement. Elle doit aussi permettre de réduire le risque par l'amélioration —et non pas par l'accroissement de l'information dont dispose le décideur. Il y a alors la possibilité de décider de réaliser le projet ou de rejeter celui-ci. Mais, il est aussi possible de procéder à d'autres démarches de recherches d'informations additionnelles ou de proposer des modifications au projet.

Etude économique du système isolé (off grid)

Les prix des l'équipements utilisés pour l'étude économique sont donnés sur le tableau (IV.1) :

Coût du système			
Coûts d'installation			
Élément	Quantité unités	Coût DZD	Total DZD
Modules PV			
JKM320M-60-V	152	18'900.00	2'872'800.00
Supports des modules	152	1'000.00	152'000.00
Batteries	192	30'000.00	5'760'000.00
Régulateurs			700'000.00
Autres composants			
Câblage	1	350'000.00	350'000.00
Système de surveillance, écran	1	100'000.00	100'000.00
Installation			
Coût d'installation globale par module	152	1'500.00	228'000.00
Réglages	1	80'000.00	80'000.00
Total			10'242'800.00
Dont amortissable			9'484'800.00
Coûts d'exploitation			
Élément			Total DZD/an
Entretien			
Salaires			50'000.00
Réparations			8'000.00
Nettoyage			10'000.00
Provision remplacement batteries			1'152'000.00
Total (OPEX)			1'220'000.00
Résumé du système			
Coût total d'installation		10'242'800.00 DZD	
Coûts d'exploitation		1'220'000.00 DZD/an	
Energie en excès (batterie pleine)		14.5 MWh/an	
Energie solaire utilisée		54.9 MWh/an	
Coût de l'énergie utilisée		29.339 DZD/kWh	

Tableau IV.1 : Etude économique du système PV off grid .

Ce tableau nous informe aussi sur le coût total d'installation estimé à : 10242800.00Dzd, le coût d'exploitation à 1220000.00DZD, ainsi que le coût de l'énergie utilisée 29.339DZD/KWh.

Les modules et les batteries sont considérés à ce jour les éléments les plus importants en raison de leur coût élevé qui totalisent à eux deux à peu près plus de 70% du prix de l'installation, et aussi au nombre important de batterie dans l'installation.

Etude économique de système connecté au réseau (on grid)

Coût du système			
Coûts d'installation			
Élément	Quantité unités	Coût DZD	Total DZD
Modules PV			
JKM320M-60H-TV	156	18'900.00	2'948'400.00
Supports des modules	156	1'000.00	156'000.00
Onduleurs			
PVI-10.0-TL-OUTD (10kWacmax)	6	300'000.00	1'800'000.00
Autres composants			
Câblage	1	350'000.00	350'000.00
Système de surveillance, écran	1	100'000.00	100'000.00
Installation			
Coût d'installation globale par module	156	1'500.00	234'000.00
Réglages	1	80'000.00	80'000.00
Total			5'668'400.00
Dont amortissable			4'904'400.00
Coûts d'exploitation			
Élément			Total DZD/an
Entretien			
Salaires			50'000.00
Réparations			8'000.00
Nettoyage			10'000.00
Total (OPEX)			68'000.00
Résumé du système			
Coût total d'installation		5'668'400.00 DZD	
Coûts d'exploitation		68'000.00 DZD/an	
Energie produite		84.7 MWh/an	
Coût de l'énergie produite (LCOE)		3.478 DZD/kWh	

Tableau IV.2: Etude économique du système PV on grid.

Le tableau, ci-dessus montre que le coût total du système photovoltaïque connecté au réseau est estimé à : 5668400.00DZD. Ainsi que le coût d'exploitation à 68000.00DZD/an, donc le coût de l'énergie produit revient à 3.478DZD/an.

Le prix des modules et des onduleurs présente 70% du prix de l'installation.

IV.5 Analyse financière (Off Grid ,On Grid)

Résultats économiques détaillés (DZD)

	Revenu brut	Coût exploit.	Dotati. amorti.	Bénéf. imposab.	Taxes	Bénéfice après impôt	Bénéf. cumul.	% amorti
2022	399'121	68'000	0	331'121	0	331'121	-5'337'279	5.8 %
2023	403'911	68'000	0	335'911	0	335'911	-5'001'368	11.8 %
2024	408'700	68'000	0	340'700	0	340'700	-4'660'667	17.8 %
2025	413'490	68'000	0	345'490	0	345'490	-4'315'178	23.9 %
2026	418'279	68'000	0	350'279	0	350'279	-3'964'898	30.1 %
2027	423'069	68'000	0	355'069	0	355'069	-3'609'830	36.3 %
2028	427'858	68'000	0	359'858	0	359'858	-3'249'971	42.7 %
2029	432'648	68'000	0	364'648	0	364'648	-2'885'324	49.1 %
2030	437'437	68'000	0	369'437	0	369'437	-2'515'887	55.6 %
2031	442'227	68'000	0	374'227	0	374'227	-2'141'660	62.2 %
2032	447'016	68'000	0	379'016	0	379'016	-1'762'644	68.9 %
2033	451'805	68'000	0	383'805	0	383'805	-1'378'839	75.7 %
2034	456'595	68'000	0	388'595	0	388'595	-990'244	82.5 %
2035	461'384	68'000	0	393'384	0	393'384	-596'859	89.5 %
2036	466'174	68'000	0	398'174	0	398'174	-198'686	96.5 %
2037	470'963	68'000	0	402'963	0	402'963	204'278	103.6 %
2038	475'753	68'000	0	407'753	0	407'753	612'030	110.8 %
2039	480'542	68'000	0	412'542	0	412'542	1'024'573	118.1 %
2040	485'332	68'000	0	417'332	0	417'332	1'441'904	125.4 %
2041	490'121	68'000	0	422'121	0	422'121	1'864'025	132.9 %
2042	199'561	68'000	0	131'561	0	131'561	1'995'586	135.2 %
2043	199'561	68'000	0	131'561	0	131'561	2'127'147	137.5 %
2044	199'561	68'000	0	131'561	0	131'561	2'258'708	139.8 %
2045	199'561	68'000	0	131'561	0	131'561	2'390'268	142.2 %
2046	199'561	68'000	0	131'561	0	131'561	2'521'829	144.5 %
Total	9'890'229	1'700'000	0	8'190'229	0	8'190'229	2'521'829	144.5 %

Tableau IV.3 : Analyse financière de projet .

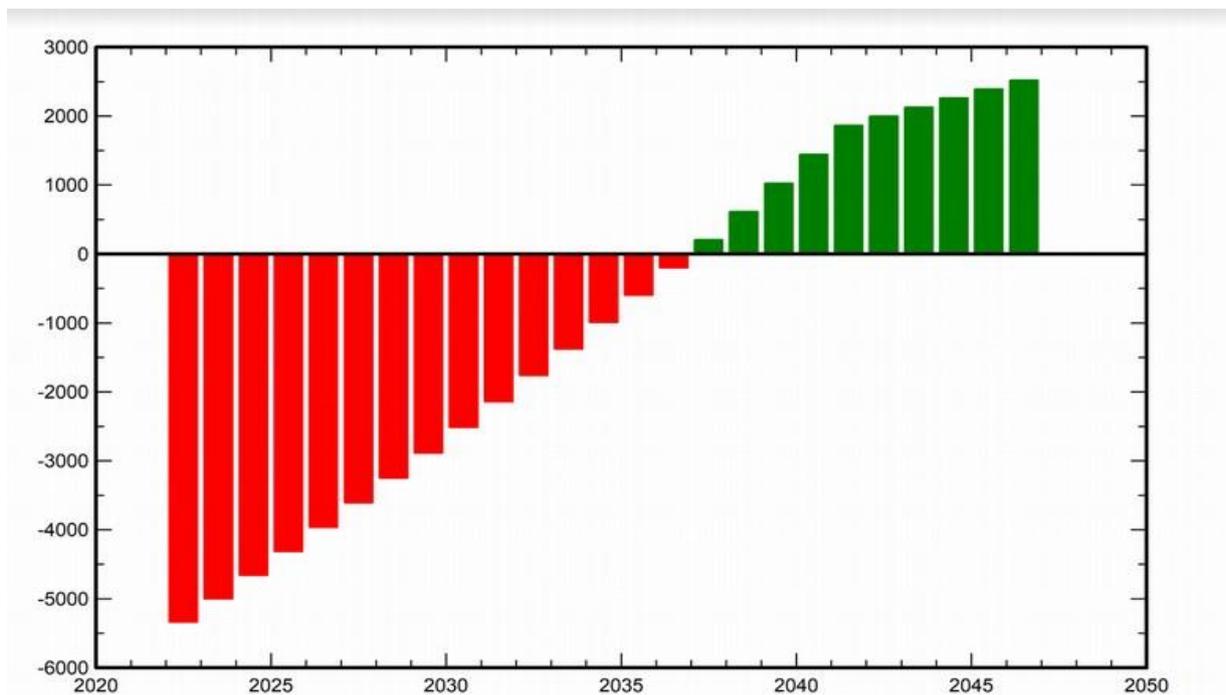


Figure IV.1 : Flux trésorerie cumulé (kDZD)

La figure (IV.1) représente le flux trésorerie cumulé par l'entreprise pour un système raccordé au réseau. L'étude économique du projet a été effectuée pour une durée de 25ans [2022-2046] certifié par le fournisseur des équipements utilisée. D'après Ces résultat on remarque que les cout d'exploitation de ce système est élevé les premiers années, mais après 15ans au 2036 tout les frais de l'investissement sont récupérés et toutes les années de fonctionnement qui restent ne représentent d'croiseur et se bénéfices (pendant 10ans) .Le tableau nous donne une idée sur les résultats économique détaillés pour la période de fonctionnement .on remarque que le taux de frais amorti atteint une valeur 96.5% avec un bénéfice cumulé minimum de 198686Da en 2036. Après cette année le bénéfice cumulé augmente pour atteindre une valeur maximale de 2521829 Da en 2046 avec un taux d'amortissement de 144.5%.

Comparaison des deux system

	Système 1(off grid)	Systeme2 (on grid)
Cout total d'installation	10242800.00DZD	5668400.00DZD
Cout total d'exploitation	1220000.00DZD/an	68000.00DZD/an
Cout de l'énergie	29.339 DZD/KWh	3.478DZD/KWh

Tableau IV.4 : L'évaluation du cout de deux systèmes

D'après le tableau (IV.4), d'un point de vue économique on remarque que le système le plus avantageux est plus rentable et celui connecté au réseau avec un cout d'exploitation de 68000.00DZD/an. Alors que le cout total d'installation du système (2) et réduit à 50% par rapport au système (1), donc le système (2) est mieux adapté à la consommation de l'entreprise Sofficlef. C'est le système confirmé et adapté par l'entreprise.

Impacte risque & sécurité

impacte environnementale

De nombreux pays ont mis en place des systèmes d'incitation financière (sous forme de détaxation de subvention ou de tarifs avant ageux pour l'achat de l'énergie produite) afin d'encourager l'innovation et les premières installations.

Principale cause des changements climatiques de la planète, le gaz carbonique (CO₂) n'a jamais été aussi abondant dans l'air depuis 800'000 ans, accentuant la capacité de l'atmosphère de conserver la chaleur du soleil par effet de serre. Les origines de cet excès sont connues: la déforestation et, surtout, une consommation effrénée de combustibles fossiles: mazout, essence, gaz, charbon. Notre civilisation dégage aussi dans l'atmosphère d'autres gaz à effet de serre, tel le méthane, le protoxyde d'azote et les gaz fluorés.

IV.6.2 Taxe sur émission Co2

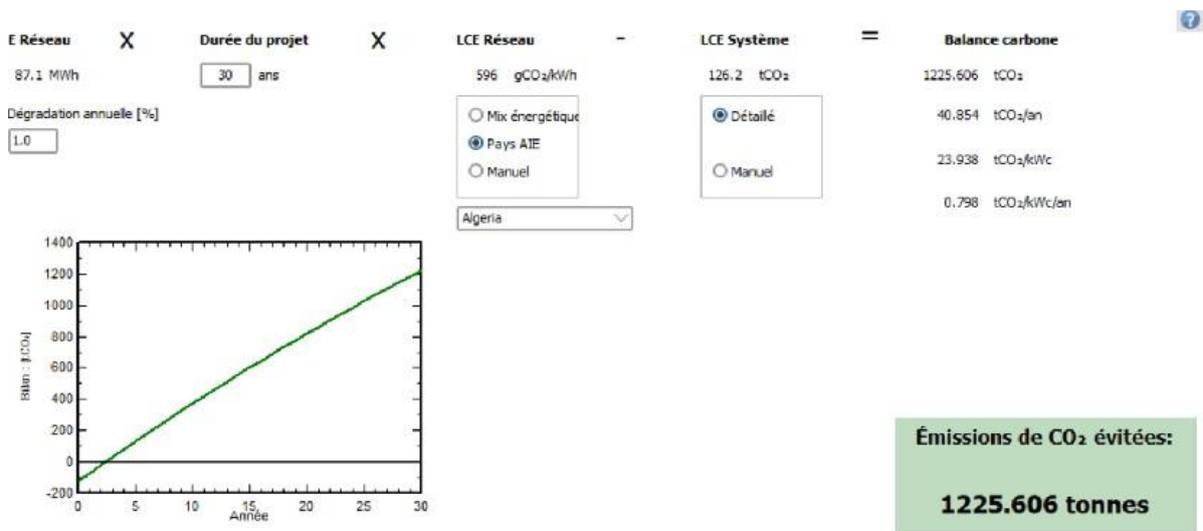


Figure IV.2 : émissions de CO₂ évitées dans l'installation

La figure (IV.2) représente les émissions de CO₂ évitées estimées à 1225.606 tonnes pendant la durée de projet (30 ans) de la société soficlef on remarque il y a une augmentation des émissions évitées a cause de l'énergie qui on avons utilisée est une énergie renouvelables propre ne dégage des gaz CO₂.

Taxe sur émission Co2

En 2019, les émissions mondiales de CO2 ont atteint les **34,1 millions de tonnes de CO2** dans l'atmosphère, un record qui risque d'être rapidement dépassé puisque les trajectoires prévues ne prévoient aucune baisse. [51]

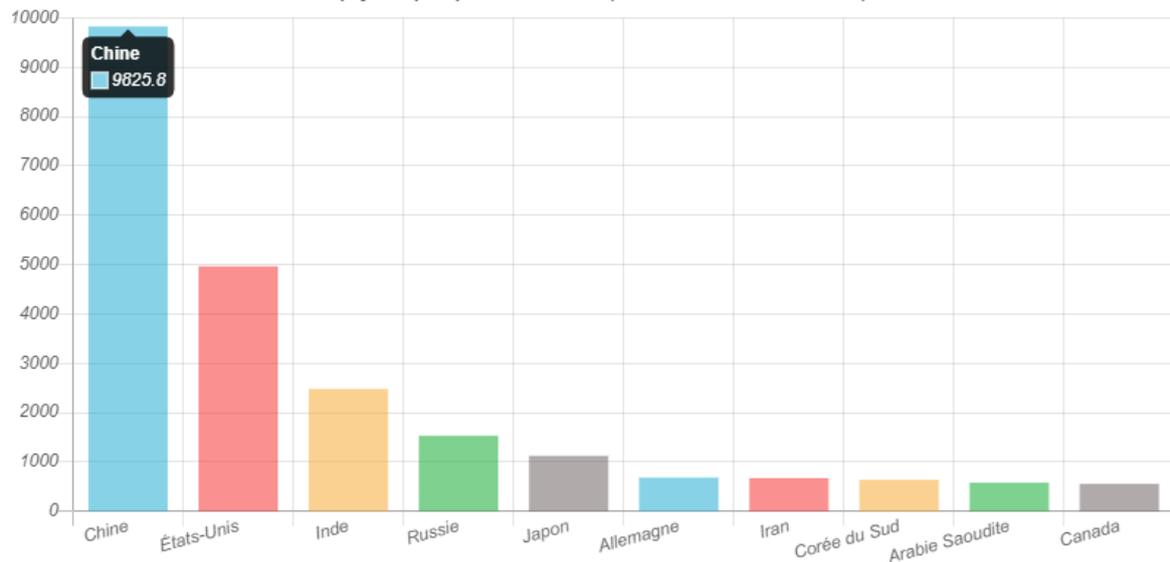


Figure IV.3 : les 10 pays plus polluants (en million de tonne de co2)

Ce sont ainsi les pays les plus peuplés et industrialisés qui apparaissent en haut du classement des pays les plus pollueurs au monde. Les trois pays les plus gros émetteurs de CO2 sont donc

- La Chine avec 9,8 millions de tonnes de CO2 émises en grande partie dues à l'exportation de biens de consommation et à sa forte dépendance au charbon ;
- Les États-Unis avec 4,9 millions de tonnes de CO2 émises ;
- L'Inde avec 2,4 millions de tonnes de CO2 émises.

Conclusion

Dans ce chapitre une étude économique est présentée pour les deux l'installation système photovoltaïque ainsi que l'estimation du montant d'investissement global prévu pour la réalisation de notre projet.

Une autre partie a été destinée pour présenter l'impact environnemental es causé par les émissions des gaz particulièrement le CO2 sur l'environnement ainsi que le les bénéfices financiers en évitant les taxes posées par l'état.

Conclusion générale

Conclusion général

Ce travail concerne l'intégration des énergies renouvelables dans l'atelier de fabrication mécanique. Notre choix c'est porté sur l'utilisation des panneaux PV pour alimenter en électricité des machines de la société Soficlef située au niveau de la région de si Mustapha – boumerdes .

Le but de notre étude est d'établir une étude technico-économique de la faisabilité de l'intégration du solaire photovoltaïque pour l'alimentation en l'électricité l'entreprise et proposé une solution optimale par rapport du cout de l'installation et ou défaillants touchant les machines causées par les coupures d'électricité pour présentés notre étude, notre travail a été mené de la façon suivante :

Dans le premier chapitre nous avons présenté des généralités sur les énergies renouvelables avec les différentes filières.

Dans le deuxième chapitre nous avons détailler l'une des plus : importance de l'énergie renouvelable « l'énergie solaire », on se basant a la conversion directe en électricité de cette énergie « la conversion PV ».

Une étude de dimensionnement d'une installation PV est consacrer au troisième chapitre en fonction des besoins énergétique de l'entreprise. Pour atteindre nous objectif ; nous avons déterminer la puissance crête de machine.

Ensuite, une étude de simulation sous le logiciel PV système a été effectué pour deux installations PV (autonome et raccordée au réseau), les résultats de la simulation sont conformes aux résultats analytiques effectué et aux choix des composants.

Enfin, nous avons faire une étude économique pour les deux systèmes. D'après les résultats obtenus nous avons conclu que l'installation la plus adapté et approuvé par l'entreprise et celle connecté au réseau pour les bénéfices qui revient a l'entreprise de (50%) par rapport au système autonome (10242800.00DZD).

L'impact environnementale et aussi présenté par montré le rôle qui apporté le passage vers la production d'électricité par voir propre en évitant l'émission des gaz dans l'atmosphère (CO₂) (1225.606 tonnes), aussi que les bénéfices financiers en évitant le taxe posé par l'état.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] : L .Freris et al « les énergies renouvelables pour la production de l'électricité »2009.
- [2] : Énergies renouvelables et de récupération (ENR&R) [archive] Driee Ile-de-France, consulté en mars
- [3] : Pierre Pétrequin , Rose-Marie Arbogast, Anne-Marie Pétrequin , Samuel Van Willigen, Maxence Bailly, Premiers chariots, premiers araires : La diffusion de la traction animale en Europe pendant les IVe et IIIe millénaires avant notre ère, CNRS, coll. « Recherches Archéologiques », 16 novembre 2006, 397 p.(ISBN 2-271- 064260)
- [4] : La loi nationale n°04/09 du 14 Aout 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- [5] : Ministère Algérien de l'énergie et des mines, « guide des énergies renouvelables », 2007
- [6] : Energie-Renouvelable.tv.htm
- [7] : Khelifa Abdelkrim « étude numérique et modélisation d'un capteur solaire hybride PV/T »
- [8] :Bensellama Elhadi « modélisation d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique de fin d'étude » , université de Blida 2006-2007
- [9] : a, b, c et d (en) [PDF] Agence internationale de l'énergie (AIE – en anglais International Energy Agency - IEA) Key World Energy Statistics 2016 [archive], 16 octobre 2016.
- [10] : www.renewables-made-in-germany.com. Consulté en septembre 2009.
- [11] : www.explorateurs-energie.ch
- [12] : Batiactu, 1,2 million de salariés dans les énergies renouvelables en Europe [archive]
- [13] : Énergies renouvelables - Multiplication des objectifs dans le monde [archive], La lettre des énergies renouvelables du 25/06/2015.
- [14] : Adoption du programme des énergies renouvelables et de la politique d'économie d'énergie » [archive] (consulté le 23 juillet 2011)
- [15] : « Programme algérien de développement des énergies nouvelles et renouvelables et de l'efficacité énergétique » [archive] (consulté le 23 juillet 2011)
- [16] : Algérie – Renouvelables au programme [archive], La lettre des énergies renouvelables, 17/03/2015.
- [17] : Miroir ardent de Louis XIV [archive] Science.chateauxversailles.fr, consulté le 1er septembre 2013.

Bibliographie

- [18] : C. Serir, « Optimisation des systèmes de pompage photovoltaïque »
Mémoire de Magister », Université de Bejaia, 2012.
- [19] : B. Ramdane, b. Dabouz, contribution à l'étude et la commande d'un moteur asynchrone alimenté par un système solaire. Application au pompage photovoltaïque. Enp 203
- [20] : Talamali Donia, Mougari Nour el islam; " Simulation des performances d'un chauffe-eau Solaire". Mémoire de Master, Université M'Hamed Bougara. Boumerdes, 2015/2016
- [21] : Khenfer Riad; "Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques ". Thèse de Doctorat, 05 Mars 2015
- [22] : Kaddi Abdelhamid, Foudou Abderrahmane; " Traitement de l'image thermique pour la détection des zones défectueuses des panneaux solaire photovoltaïques". Mémoire de Master, université d'Adrar, 2013/2014, page 03.
- [23] : énergie solaire passive-wikipédia.
- [24] : <http://www.energies-renouvelables.org/accueil-systemes-solaires.asp>
- [25] : Khadraoui Zakaria ; « Etude d'une centrale solaire thermique » ; mémoire de master université Badji Mokhtar Annaba Année 2017.
- [26] : HAIDER Meriem ELGAROUAZ Mohammed ; « Dimensionnement d'une installation photovoltaïque Autonome pour l'alimentation d'une ferme » . Rapport de Stage de Fin d'Etudes , Université Sultan Moulay Slimane Faculté Poly-disciplinaire Béni Mellal.
- [27] : C. Lerouge « Recherche & Industrie Photovoltaïque (PV) Etats-Unis » Sciences physique États-Unis, 2006.
- [28] : Helali Kamelia « Modélisation d'une cellule photovoltaïque : Etude comparative » , Mémoire de magister, département d'électrotechnique, faculté du génie électrique, UMMTO 2012.
- [29] : Charly Cornu « Centrales photovoltaïques (Guide pour le dimensionnement et la réalisation de projets A l'usage des bureaux d'ingénieurs) », office fédéral des questions conjoncturelles, 1996.
- [30] : <https://sites.google.com/site/tpeepv>.
- [31] : Sarah BELAIDI « Etude et optimisation d'une installation photovoltaïque autonome », Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE , Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [32] : <http://tpe-panneauxphotovoltaïques.e-monsite.com/pages/panneaux-photovoltaïques>

Bibliographie

[33] : ALI SLIMANE Mohand TIGRINE Bachir «étude théorique et simulation de la centrale photovoltaïque de Ghardaïa» .,mémoire de master Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[34] : <http://www.solarmania.es/Regulador-carga-Steca-PR1515-12/24V-15A>

[35]: Salim ARAB et Dalila TOUDERT « Etude d'un Système Photovoltaïque » ; Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE ; Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[36] : Sylvain Brigand « Installations Solaires Photovoltaïque (dimensionnement de l'installation et mise en œuvre maintenance) », Edition le moniteur (paris), février 2011

[37]: Belaiche Hacene, Nanouche Yacine « Etude d'une installation en énergie photovoltaïque intégrée au bâtiment : cas d'un laboratoire au CDER ». Mémoire de mastère II, département de génie mécanique, faculté du génie de la construction, UMMTO2014.

[38]: <https://www.quelleenergie.fr/questions/capacite-duree-vie-batteries-solaires>

[39] : <https://www.google.dz/search?q=+quels+ont+les+critères+de+choix+d'une+batterie+solaire>

[40] : Mayfield, R., Photovoltaic design & installation for dummies. 2019:For Dummies.

[41] : Belarbi, M., "Modélisation et Simulation d'un Système de pompage photovoltaïque". 2006, Mémoire de magister en électronique Université des sciences et de la technologie d'oran.

[42] : B. Mamri, M.Z., "contribution de système photovoltaïque avec pompage". 2006, Mémoire d'ingénieur en électronique, Université de Constantine,

[43] : <https://www.gralon.net/articles/maison-et-jardin/bricolage/article-le-disjoncteur-differentiel---comment-ca-marche--3635.htm>.

[44] : https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/maison-fusible-10701/?fbclid=IwAR0_qmM7JiS7shpYV15C-nSIiKa_8BSpMbMz7W-K9V9wczXLKEfPV22AZEs

[45] : <https://installation-electrique.ooreka.fr/comprendre/parafoudre>.

[46] : SlamaFateh;"Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique". Mémoire de Magister, Université Ferhat Abbas.Setif.01/04/2011

Bibliographie

[47] : BenmoussaFouad;" Optimisation des paramètres d'un modèle électrique d'une cellule photovoltaïque".Mémoire de Magister, Université Amira-Bejaia, 16/12/2015