



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

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

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de maintenance en instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : génie industriel

Spécialité : Ingénierie de la maintenance en instrumentation (IMI)

Thème

Dimensionnement d'une installation photovoltaïque pour alimenter un site isolé

Présenté et soutenu publiquement par :

Mr. Bendahmane Mustapha El Bachir et Mr. Djebbouri Abdelkader

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr. Adjeloua Abdelaziz	MCB	Univ Oran 2 IMSI	Président
Mr. Benarbia Taha.	MCB	Univ Oran 2 IMSI	Encadreur
Mr. Benfekir Abderrahim	MCB	Univ Oran 2 IMSI	Examineur

Année 2022/2023

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce mémoire.

Nous voudrions dans un premier temps remercier, notre encadreur de mémoire Mr. Taha Benarbia Enseignant chercheur en sciences de technologies à l'institut de maintenance et de sécurité industrielle – de l'université d'oran2 pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de l'institut de maintenance et de sécurité industrielle et les intervenants professionnels responsables de notre formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Nous tenons à témoigner toute notre reconnaissance aux personnes suivantes, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire :

Madame Benosmane Nabila qui nous a beaucoup appris sur les défis à relever dans le monde des énergies renouvelables. Elle a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu, tout en nous accordions sa confiance et une large indépendance dans l'exécution de missions valorisantes.

Monsieur Sadek Ben moumen, pour nous avoir accordé des entretiens et avoir répondu à nos questions sur les installations photovoltaïque, ainsi que son expérience personnelle. Il a été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire.

Nos parents, pour leur soutien constant et leurs encouragements.

Liste d'abréviations

H : est la constante de Planck.

C : est la vitesse de la lumière.

λ : longueur d'onde.

AM : masse d'air.

Θ : représente l'angle entre la position du soleil et l'horizon.

G : Générateur.

D : Diode interne.

Rsh : Résistance shunt interne.

Rs : Résistance série interne.

V : Tension aux bornes de la photo génératrice

U : Tension aux bornes de l'utilisation.

I : Courant traversant l'utilisation.

FF : facteur de forme

Pin : puissance lumineuse incidente (W).

P max : puissance maximale délivrée (W).

Icc : courant de court-circuit.

Vco : tension de circuit-ouvert.

E : l'éclairement (W /m²)

T : température

ETot : Energie totale consommée par jour (Wh /j)

EDC : Energie consommée en continu par jour (Wh /j)

EAC : Energie consommée en alternatif par jour (Wh /j)

T : temps journalier d'utilisation (h)

PDC : Puissance consommé par les appareils qui fonctionnent en continue (W)

PAC : Puissance consommé par les appareils qui fonctionnent en alternatif

(W) η_{ond} : Rendement de l'onduler

η_M : Rendement du module

G : Irradiation globale sur un plan incliné (Wh/J/m²)

SM : Surface du module (m²)

1000 : Irradiation durant les tests (Wh/m²).

PCM : Puissance crête du module photovoltaïque utilisé.

V_{bat} : Tension de la batterie (V).

V_{max} : Tension au point de puissance max (V).

NMP : Nombre de module en parallèle.

NTot : Nombre totale de module.

NMS : Nombre de module en sérié.

SM : Surface du module (m²)

NMS : Nombre des modules en sérié

NMP : Nombre des modules en parallèle

AUT : autonomie en jours

PDD : profondeur de décharge

η_{bat} : rendement de la batterie

Cacc : capacité de la batterie de stockage (Ah) ou (Wh)

Cbat : capacité de la batterie (Ah)

Vbat : tension de la batterie (V)

Vinsta : tension d'installation (V)

NB : nombre total de la batterie

NBS : nombre de batterie en série

Is : courant de sortie du régulateur (A)

P : puissance totale de la charge lorsque tous les appareils fonctionnent au maximum de leur puissance de fonctionnement (W)

CTDV : coût total estimé pour une durée de vie de l'installation prévue.

C_{RB} : coût de remplacement (batterie)

C_{ons} : consommation annuelle de système

C_{OM} : coût d'opération et maintenance **C_{OND}** : coût de l'onduleur si besoin

C_B : coût du parc de stockage

C_O : coût indirect (coût de la structure du câblageect) **C_{GPV}** : coût du g générateur photovoltaïque.

C_{reg} : coût du régulateur à installer **C_T** : coût total initial du système : la durée de vie de l'installation.

Liste des figures

Figure 1 - station d'énergie solaire.	11
Figure 2 - Différente mode d'exploitation d'énergie solaire [3].	12
Figure 3 - Conversation de l'entreprise solaire en électricité [35].	13
Figure 4 - Énergie éolienne [6].	16
Figure 5 - Courbe caractéristique des aérogénérateurs [8].	17
Figure 6 - Diffèrent type d'axe vertical vawt [8].	18
Figure 7 - Composition d'une éolienne à axe horizontal (HAWT) [9].	19
Figure 8 - Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur [11].	20
Figure 9 - Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur [11].	22
Figure 10 - Fonctionnement d'un échangeur thermique [17].	23
Figure 11 - Le schéma de process d'une centrale de moyenne chut.	26
Figure 12 - centrale hydraulique.	27
Figure 13 - Amplitude des marées dans le monde (en mètres).	32
Figure 14 - sources de la biomasse [27]	36
Figure 15 - les principales vois de la biomasse.	37
Figure 16 - génération de l'électricité par une source d'énergie géométrique [32].	39
Figure 17 - schéma de principe d'un pv autonome avec stockage [45]	46
Figure 18 - Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome.	47
Figure 19 - Système pv autonome [46].	48
Figure 20 - Schéma synoptique du système hybride étudié	49
Figure 21 - Structure d'un système photovoltaïque connecté au réseau [55].	50
Figure 22 - installation photovoltaïque raccordée au réseau.	52
Figure 23 : Les constituants d'un système Pv.	53
Figure 24 - Localisation du village près d'El-Ançor (wilaya d'Oran).	60
Figure 27 - Plan de masse de notre village	61
Figure 28 - L'enseillement reçu à l'angle optimal le mois le moins favorable de l'année [61].	64
Figure 29 - Dimensions du panneau pour le modèle N6P305W-320W.	69
Figure 30 - Plan de masse de notre village	71

Liste des tableaux

Tableau 1 - Défauts intrinsèques intrinsèques du générateur PV	56
Tableau 2 - Défauts extrinsèques du générateur PV	57
Tableau 3 - impact des différents défauts sur les paramètres de la cellule	58
Tableau 4 - Consommation énergétique journalière, cas d'une maison.	62
Tableau 5 - Consommation énergétique journalière, cas de l'alimentation.	63
Tableau 6 - Consommation énergétique journalière, cas d'une cafétéria.	63
Tableau 7 - Les Valeurs du Ratio de Performance PR d'une installation photovoltaïque autonome en fonction de la ventilation des modules. [1].	65
Tableau 8 - Tension recommandée pour les systèmes photovoltaïques.[1].	65
Tableau 9 - Devis par King énergie Algérie.	70
Tableau 13 - Devis par King énergie Algérie.	76
Tableau 14 - différence de coût entre les deux systèmes.	76

Table des matières

.....	10
Chapitre I : étude générale sur les énergies renouvelables	10
Introduction	11
1. L'énergie solaire :	11
1.1. Types d'énergie solaire	12
1.2. La conversion de la lumière en électricité	13
1.3. Avantage de l'énergie solaire.....	14
1.4. Inconvénients de l'énergie solaire	15
2. L'énergie Éolienne	16
2.1. Différents types d'aérogénérateurs.....	17
2.2. Principaux composants d'une éolienne	19
2.3. Avantages et inconvénients de l'éolien	20
3. L'énergie thermique	21
3.1. Transfert de l'énergie thermique.....	22
3.2. Les sources de production de l'énergie thermique.....	23
3.3. Avantages de la thermique	24
3.4. Inconvénients de la thermique.....	24
4. L'énergie hydraulique	25
4.1. Fonctionnement d'une centrale hydraulique	26
4.2. Les différents types d'ouvrages hydrauliques.....	27
4.3. Les différents types d'aménagements hydrauliques	28
4.4. Les différents types de turbines.....	29
4.5. Avantages et inconvénients	30
5. L'énergie houlomotrice	32
5.1. Principes de base	33
6. L'énergie biomasses	35
6.1. Les types de la biomasse	36

6.2. Procédés de conversion de la biomasse en énergie	37
7. Énergie géométrique.....	38
7.1. Type de l'énergie géométrique	39
7.2. Les inconvénients de la géothermie	40
7.3. les avantages de la géothermie	40
Conclusion.....	41
Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque	42
Introduction	43
1. Les composantes d'un système PV	43
1.1. L'onduleur	43
1.2. Le convertisseur	43
1.3. La batterie solaire	43
1.4. Le régulateur ou contrôleur de charge.....	44
2. Dimensionnement des installations photovoltaïques.....	44
2.1. Les principales utilisations de générateur photovoltaïque	44
3. Les étapes de dimensionnement d'un système photovoltaïque	45
4. Type des systèmes photovoltaïque	45
4.1. Système autonome.....	46
4.2. Système hybride	49
4.3. Les systèmes raccordés au réseau	50
5. Système photovoltaïque et ses défauts	54
5.1. Classification des défauts pour la modélisation	54
Conclusion.....	58
Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village.....	59
1. Dimensionnement pour le cas de village isolé complètement sans réseaux d'électricité .	60
1.1. Identification du site à alimenter	60
.....	61
1.2. Evaluation du besoin énergétique du site	61
1.3. Calcul de la puissance crête du site	64
1.4. Calcul du nombre de panneaux	65
1.5. Dimensionnement du système de stockage	66
1.6. Dimensionnement du régulateur	67

1.7. Dimensionnement de l'onduleur	67
1.8. Choix des câbles	68
1.9. Superficie du champ photovoltaïque	69
1.10. Devis total de l'installation par une entreprise algérienne	69
2. Dimensionnement pour le cas de village connecté au réseau (système hybride).....	70
2.1. Introduction	70
2.2. Localisation de village.....	70
.....	71
2.3. Evaluation du besoin énergétique du site	71
2.4. Calcul de la puissance crête du site	72
2.5. Calcul du nombre de panneaux	72
2.6. Dimensionnement du régulateur	73
2.7. Dimensionnement de l'onduleur	73
2.8. Devis total de l'installation par une entreprise algérienne	75
3. Comparaison entre les deux systèmes (autonome – hybride)	76
Discussion de résultat	77
Conclusion	79
Conclusion générale	80

Introduction générale

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, en effet l'énergie est un facteur essentiel au développement économique, dans tous les pays du monde. Son importance relative s'accroît avec les progrès techniques, l'industrialisation et le besoin de confort moderne. L'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse.

De nos jours, une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles, la consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures, et aussi face aux multiples crises économiques et pétrolières la science s'est intéressée aux ressources dites renouvelables qui constituent un secteur stratégique et occupent une place privilégiée dans les domaines de recherche et développement [4],[5].

Notons que l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La moyenne annuelle d'insolation dépasse les 3000 heures. C'est aussi le plus important de tout le bassin méditerranéen avec 169440TWh/an. L'énergie solaire moyenne reçue est de 1700 kWh/m²/an au niveau des régions côtières ; 1900 kWh/m²/an dans les Hauts-Plateaux et 2650kWh/m²/an au Sahara. Notre pays peut donc couvrir certains de ses besoins en énergie par les systèmes photovoltaïques [5]

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). L'avantage principal de ces énergies renouvelables est que leurs utilisations ne polluent pas l'atmosphère et elles ne produisent pas de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone et les oxydes d'azote qui sont responsables du réchauffement de la terre. Notre étude est réservée à l'installation d'un système solaire qui alimente un bâtiment d'équipement électrique

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. L'optimisation des systèmes solaires est basée sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement [3].

Introduction générale

Le présent travail comporte trois chapitres sont détaillés comme suit:

- I. Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les différentes sources d'énergie renouvelable. Nous présentons tout d'abord, un descriptif général sur les énergies renouvelables qui existe à travers le monde tel que l'énergie solaire, éolienne, et thermique...etc.
- II. Dans le deuxième chapitre nous avons focalisé en particulier sur la présentation des systèmes photovoltaïques et leurs dimensionnements, déploiement et installation ainsi que leurs défauts.
- III. Dans le troisième chapitre, nous avons présenté une étude de cas et un dimensionnement et de conception d'installation photovoltaïque pour alimenter un petit village à Oran à savoir les différents éléments constituant l'installation photovoltaïque autonome et hybride avec estimation de coût.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I : étude générale sur les énergies renouvelables

Introduction

Ces dernières années, le développement et l'utilisation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance. Dans 20 à 30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle de l'énergie traditionnelle et sur une utilisation accrue des énergies renouvelables. Dispersez-vous naturellement et réalisez-les en réalisant l'aménagement des lieux de consommation en les convertissant directement en chaleur ou en électricité selon les besoins. La production décentralisée d'électricité à partir d'énergies renouvelables offre aux consommateurs une plus grande sécurité tout en respectant l'environnement. Cependant, le caractère aléatoire de l'énergie impose des règles particulières sur l'échelle et le fonctionnement du système de récupération d'énergie.

Les énergies renouvelables sont des sources d'énergie dont le renouvellement naturel est assez rapide pour qu'elles puissent être considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain.

1. L'énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie que dégage le soleil sous forme de rayonnement, direct ou diffus. Sur terre l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent, le règne végétal dont dépend le règne animal, l'utilise également en la transformant en énergie chimique par la photosynthèse. Grâce aux diverses exécutions, elle peut être transformée en une autre forme d'énergie utile pour l'activité humaine, notamment en chaleur, en électricité ou en biomasse. Par extension, l'expression « énergie solaire » est souvent employée pour désigner l'électricité ou l'énergie thermique obtenue à partir du rayonnement solaire [1].



Figure 1 - station d'énergie solaire.

1.1. Types d'énergie solaire

Il y a trois types d'énergie solaire selon la manière de l'exploiter :

Énergie photovoltaïque : Ce type utilise des panneaux photovoltaïques qui captent la lumière du soleil, qui libère les électrons contenus dans les matériaux semi-conducteurs des panneaux, générant ainsi de l'énergie électrique. L'énergie produite sera proportionnelle à la quantité de rayons solaires captés par les panneaux. Ses applications sont multiples et diverses, comme l'administration d'énergie à des dispositifs électriques des foyers.

Solaire thermique à concentration : Ce type de générateur est basé sur l'utilisation des miroirs ou des lentilles de différents types qui concentrent la lumière du soleil et utilisent sa chaleur (énergie solaire thermique) pour produire de la vapeur, laquelle actionne des turbines qui produisent de l'électricité. Les centrales solaires thermiques à concentration sont également capables de stocker la chaleur pendant la journée et de la restituer le soir afin de fournir de l'électricité la nuit.

Chauffage et refroidissement solaire : est collectée l'énergie calorifique solaire par le biais de panneaux solaires thermiques et on l'utilise dans le chauffage d'eau et de certains espaces ou dans le refroidissement de bâtiments. [2]

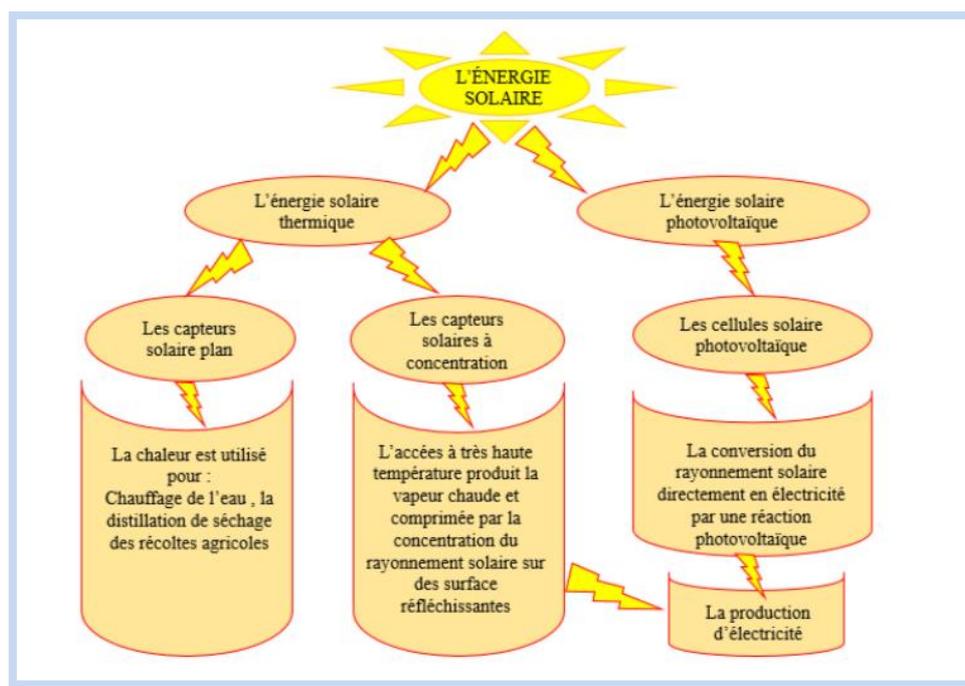


Figure 2 - Différente mode d'exploitation d'énergie solaire [3].

1.2. La conversion de la lumière en électricité

Le terme « photovoltaïque » souvent abrégé par le sigle « PV », a été formé à partir des mots « photo » un mot grec signifiant lumière et « Volta » le nom du physicien italien Alessandro Volta qui a inventé la pile électrochimique en 1800. L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité

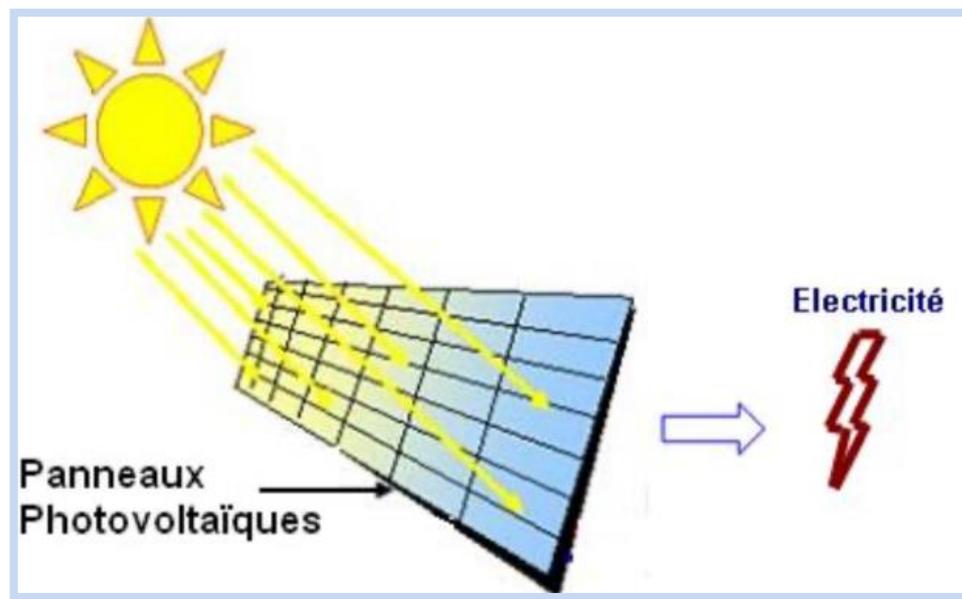


Figure 3 - Conversion de l'énergie solaire en électricité [35].

L'énergie photovoltaïque est obtenue directement à partir du rayonnement du soleil. Les modules photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. La conversion photovoltaïque se produit dans des matériaux semi-conducteurs. L'énergie sous forme de courant continu est ainsi directement utilisable.

- Dans un isolant électrique : les électrons de la matière sont liés aux atomes et ne peuvent pas se déplacer.
- Dans un conducteur électrique (un fil de cuivre par exemple) les électrons sont totalement libres de circuler et permettent le passage d'un courant.
- Dans un semi-conducteur : la situation est intermédiaire, les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leurs atomes. Quand la lumière pénètre dans un semi-conducteur, ces photons apportent une énergie permettant aux électrons de se déplacer, il ya donc courant électrique sous l'exposition à la

lumière [35].

1.3. Avantage de l'énergie solaire

Entre les nombreux avantages de l'énergie solaire, il est possible de parler que cette énergie [2] :

- C'est une forme d'énergie propre dont l'utilisation réduit l'empreinte de carbone de manière significative car, à la différence des énergies fossiles, elle ne génère pas de gaz à effet de serre et elle pollue uniquement lors du processus de fabrication du panneau solaire.
- C'est une source d'énergie renouvelable, inépuisable et durable.
- Elle est versatile dans son usage car, en plus de générer de l'électricité, l'énergie solaire permet de chauffer, à la différence des autres sources d'énergie renouvelable, comme les aérogénérateurs.
- L'énergie solaire est gratuite, car elle ne requiert pas une extraction constante de matériaux bruts qui auraient été raffinés et transportés. L'espérance de vie des panneaux solaires peut atteindre les 40 ans et ils comptent généralement sur une garantie de 25 à 30 ans. En outre, son faible coût de maintenance garantit l'amortissement de l'investissement initial.
- L'utilisation de l'énergie solaire ne génère pas de pollution acoustique, car les panneaux solaires ne font pas du tout de bruit durant son fonctionnement.
- La lumière solaire est abondante et largement disponible. C'est pourquoi l'emploi de panneaux solaires est une option viable à n'importe quel endroit du monde, y compris dans les localités éloignées où on ne peut pas forcément tirer de câble électrique.
- L'utilisation d'énergie solaire promeut l'indépendance et la sécurité énergétiques, en réduisant la dépendance vis-à-vis des approvisionnements extérieurs. La sécurité énergétique est la manière qu'a l'État de garantir un approvisionnement en énergie durable et économiquement rentable par le biais de l'approvisionnement externe et de la production à partir de sources indigènes. L'indépendance énergétique réduit la vulnérabilité énergétique d'un pays à des facteurs tels que la guerre ou les sanctions.
- Le développement technologique dans le domaine de l'énergie solaire a mené une augmentation de sa demande, générant ainsi une industrie globale et croissante de fabricants et d'installateurs, permettant ainsi de créer des emplois dans le monde entier. Selon les données de l'Agence internationale pour les énergies renouvelables, en 2018, le secteur du solaire photovoltaïque employait plus de 3,6 millions de personnes dans le monde.

- L'utilisation d'énergie solaire diminue la dépendance aux énergies fossiles (sources d'énergie non renouvelable) et elle permet de préserver les ressources naturelles de la planète.

1.4. Inconvénients de l'énergie solaire

Bien que cette énergie verte ait de nombreux avantages, il est vrai que, comme avec tout, elle a aussi des inconvénients ; sur lesquels les professionnels travaillent tous les jours afin de les réduire au maximum . [2]

- L'efficacité des panneaux solaires (capacité qu'ils ont de convertir les rayons solaires en énergie électrique) est relativement basse et elle n'avoisine que les 22%. Toutefois, grâce au développement technologique, on observe une tendance croissante de cette dite efficience.
- L'utilisation de l'énergie solaire implique un coût initial élevé qui dérive de l'installation des panneaux solaires, ce qui n'est pas accessible à toute la population.
- A cause de la basse efficacité énergétique des panneaux photovoltaïques, pour le moment, il faut une grande installation afin de produire une quantité d'énergie électrique adéquate qui couvrirait les besoins énergétiques. Cet inconvénient peut être contré grâce à l'installation de panneaux solaires sur les toits.
- L'énergie solaire n'est pas constante, sinon qu'elle fluctue au cours de la journée, comme durant la nuit, moment où elle est indisponible. Pour pallier à cet inconvénient, il faut faire appel à l'emmagasinement de l'énergie durant ces moments. En plus des fluctuations quotidiennes, la production d'énergie solaire diminue durant les mois d'hiver, quand il y a moins d'heures de soleil et que la radiation solaire est moins intense qu'en été.
- La technologie actuelle de stockage d'énergie solaire électrique n'est pas perfectionnée, étant donné que les batteries existantes sont coûteuses et volumineuses, et, en plus, elles peuvent ne pas être suffisantes pour couvrir les besoins énergétiques.
- Les performances des panneaux solaires peuvent être réduites dans certaines conditions atmosphériques, telles que de longues périodes de chaleur et d'humidité (qui peuvent même briser les feuilles constitutives des panneaux) ou avec des nuages et du brouillard. La pollution peut également réduire les performances des panneaux, de sorte que leur utilisation n'est pas recommandée dans les villes où la pollution atmosphérique est élevée.
- Bien que l'utilisation de panneaux solaires ne soit pas polluante, des déchets toxiques et de grandes quantités de gaz à effet de serre sont produits lors de leur fabrication (notamment lors du processus d'extraction du silicium. Cependant, par rapport à un scénario de combustible

fossile, en provenant d'une source d'énergie propre, l'utilisation de l'énergie solaire compensera l'empreinte carbone générée pendant le processus de fabrication des panneaux.

- L'installation de panneaux solaires peut avoir un impact visuel polluant qui affecte négativement le paysage.

2. L'énergie Éolienne

L'énergie d'origine éolienne fait partie des énergies renouvelables. L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : celle-ci est alors convertie en énergie mécanique elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique accouplée à la turbine éolienne. Ce couplage mécanique peut être soit direct si turbine et génératrice ont des vitesses du même ordre de grandeur, soit réalisé par l'intermédiaire d'un multiplicateur dans le cas contraire Enfin il existe plusieurs types d'utilisation de l'énergie électrique produite : soit elle est stockée dans des accumulateurs, soit elle est distribuée par le biais d'un réseau électrique ou soit elle alimente des charges isolées. Le système de conversion éolien est également siège de pertes : à titre indicatif, le rendement est de 59 % au rotor de l'éolienne, de 96% au multiplicateur ; il faut de plus prendre en compte les pertes de la génératrice et des éventuels systèmes de conversion . [5]



Figure 4 - Énergie éolienne [6].

2.1. Différents types d'aérogénérateurs

Les solutions techniques permettant de recueillir l'énergie du vent sont très variées. Deux familles de voilures existent : les aérogénérateurs à axe vertical (VAWT) et à axe horizontal (HAWT). Le graphique de la figure donne une vue sur les coefficients de puissance C_p habituels en fonction de la vitesse spécifique, λ pour différents types d'éoliennes . [7]

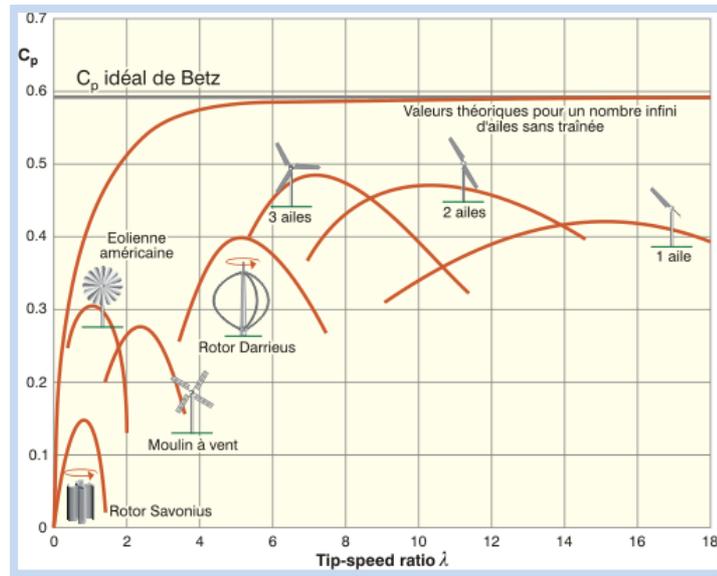


Figure 5 - Courbe caractéristique des aérogénérateurs [8].

2.1.1 Axe vertical (VAWT)

Les éoliennes à axe vertical :

Ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles

Avantages : machinerie au sol, pas besoin d'orientation en fonction de la direction du vent, fort couple de démarrage, construction simple (Savonius), tourne à faible vitesse (donc peu bruyante).

Inconvénients : guidages mécaniques, notamment le palier bas qui doit supporter le poids de l'ensemble de la turbine.

Il existe principalement trois technologies Vawt (Vertical Axis Wind turbine) : les turbines Darrieus classique ou à pales droites (H-type) et la turbine de type Savonius. [7]

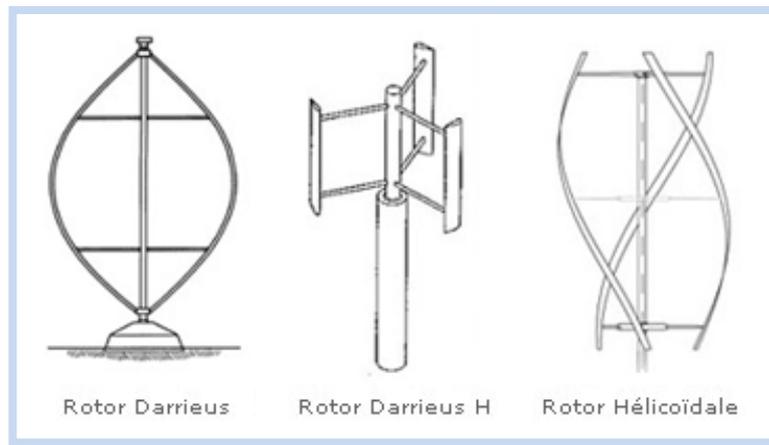


Figure 6 - Différent type d'axe vertical vawt [8].

2.1.2Axe horizontal (HAWT)

La technologie largement dominante aujourd'hui [est à axe horizontal à turbine tripale, parfois bipale et à rotor face au vent.

Les avantages de tels dispositifs sont une réduction du diamètre de la turbine ainsi que du bruit acoustique. Des grandes puissances sont envisagées, de l'ordre de 600 kW à plusieurs MW (notamment avec le constructeur Vortec mais également avec société française CITA), mais n'ont pas encore vu le jour.

La turbine peut se trouver à l'avant de la nacelle ou à l'arrière : au vent (amont ou up Wind) ou sous le vent (aval ou down Wind) . L'avantage des dispositifs sous le vent est qu'ils se positionnent automatiquement face au vent ce qui permet, notamment pour les fortes puissances d'éviter le système mécanique d'orientation, complexe, lourd et coûteux.

L'inconvénient : majeur réside dans une fatigue accrue due aux fréquentes oscillations liées aux changements de direction du vent Le procédé « sous le vent » reste peu utilisé comparativement à celui « au vent »

La réduction du nombre de pales permet théoriquement de réduire le coût mais aux dépend de la régularité du couple. Le coefficient C_p est également sensiblement plus faible, environ 5%

entre une tripale et une bipale. Des machines monopales ont même été construites mais il semble qu'aucune ne soit actuellement commercialisée. [7]

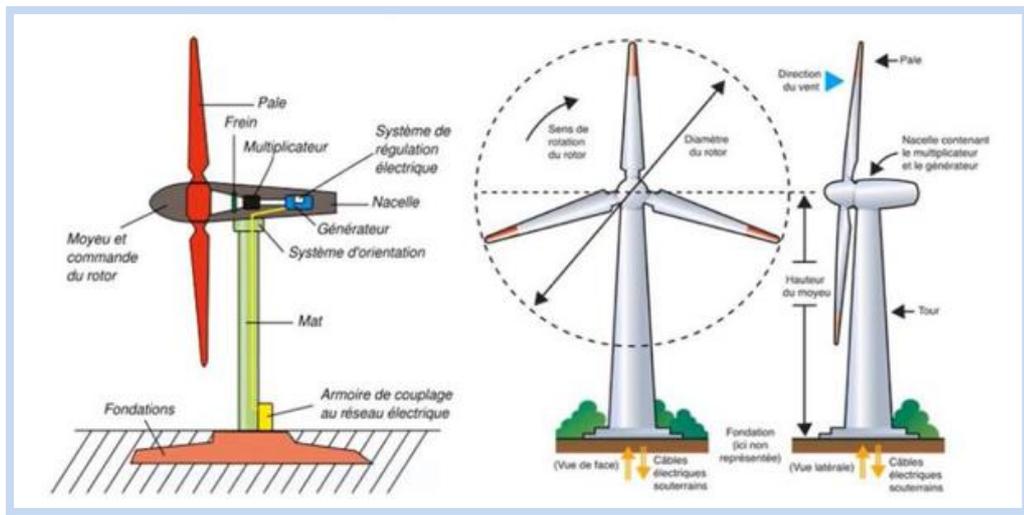


Figure 7 - Composition d'une éolienne à axe horizontal (HAWT) [9].

2.2. Principaux composants d'une éolienne

Il existe plusieurs configurations possibles d'aérogénérateurs qui peuvent avoir des différences importantes. Néanmoins, une éolienne "classique" est généralement constituée de trois éléments principaux :

Le mât, généralement un tube d'acier ou éventuellement un treillis métallique, doit être le plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol. Toutefois, la quantité de matière mise en œuvre représente un coût non négligeable et le poids doit être limité. Un compromis consiste généralement à prendre un mât de taille très légèrement supérieure au diamètre du rotor de l'aérogénérateur (exemple : éolienne NORDEX N90 2,3 MW : diamètre de 90m, mât de 80 m de hauteur).

La nacelle regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique : arbres lent et rapide, roulements, multiplicateur. Le frein à disque, différent du frein aérodynamique, qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge. Le générateur qui est généralement une machine synchrone ou asynchrone et les systèmes hydrauliques ou électriques d'orientation des pales (frein aérodynamique) et de la nacelle (nécessaire pour garder la surface balayée par l'aérogénérateur perpendiculaire à la direction du vent). A cela viennent s'ajouter le système de refroidissement par air ou par eau, un anémomètre et le système électronique de gestion de l'éolienne.

Chapitre I : étude générale sur les énergies renouvelables

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

Les rotors à vitesse fixe sont souvent munis d'un système d'orientation de la pale permettant à la génératrice (généralement une machine asynchrone à cage d'écureuil) de fonctionner au voisinage du synchronisme et d'être connectée directement au réseau sans dispositif d'électronique de puissance. Ce système allie ainsi simplicité et faible coût.

Les rotors à vitesse variable sont souvent moins coûteux car le dispositif d'orientation des pales est simplifié voire supprimé (La société Jeumont Industrie utilise un rotor à pas fixe). Toutefois, une interface d'électronique de puissance entre le générateur et le réseau ou la charge est nécessaire. Les pales se caractérisent principalement par leur géométrie dont dépendront les performances aérodynamiques et les matériaux dont elles sont constituées (actuellement, les matériaux composites telle la fibre de verre et plus récemment la fibre de carbone sont très utilisés car ils allient légèreté et bonne résistance mécanique). [10]

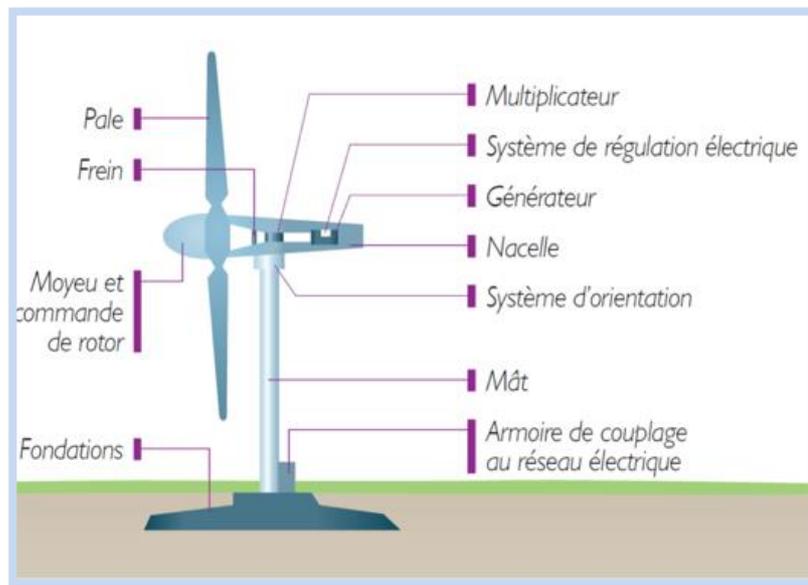


Figure 8 - Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur [11].

2.3. Avantages et inconvénients de l'éolien

Avantages

L'énergie éolienne constitue un enjeu important pour le territoire . [12]

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

Inconvénients

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

3. L'énergie thermique

L'énergie thermique (également l'énergie thermique ou l'énergie thermique) est la manifestation de l'énergie sous forme de chaleur. Dans tous les matériaux, les atomes qui composent leurs molécules sont en mouvement continu, en mouvement ou en vibration.

Ce mouvement des particules implique que les atomes ont une certaine énergie cinétique que nous appelons chaleur, énergie thermique ou énergie thermique. L'énergie thermique est l'énergie interne d'un corps.

L'énergie interne d'un système thermodynamique peut être modifiée de deux manières: en effectuant des travaux sur le système et en échangeant de la chaleur avec l'environnement.

L'énergie est mesurée en Joules (J) selon le système international.

Souvent on parle de la capacité thermique. La capacité thermique est la grandeur qui mesure la quantité de chaleur qu'il faut transférer pour augmenter la température d'un corps d'un degré Celsius .

Tout corps à une température supérieure au zéro absolu émet un rayonnement électromagnétique appelé rayonnement thermique [13].



Figure 9 - Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur [11].

3.1. Transfert de l'énergie thermique

Cette forme d'énergie peut être transmise d'un corps à un autre selon les lois de la thermodynamique de trois manières différentes :

- Transmission de chaleur par rayonnement.
 - Transmission d'énergie thermique par conduction.
 - Transmission d'énergie thermique par convection.
- L'énergie thermique par rayonnement est transmise par les ondes électromagnétiques. C'est la façon dont l'énergie thermique du Soleil nous parvient.
 - La transmission d'énergie thermique par conduction se produit lorsqu'un corps chaud est en contact physique avec un corps plus froid. Si les deux corps sont à la même température, il n'y a pas de transfert d'énergie.
 - La transmission d'énergie thermique par convection se produit lorsque des molécules chaudes sont déplacées d'un côté à l'autre. Ce serait le cas du vent, capable de déplacer des molécules d'une certaine énergie thermique d'un côté à l'autre [13].

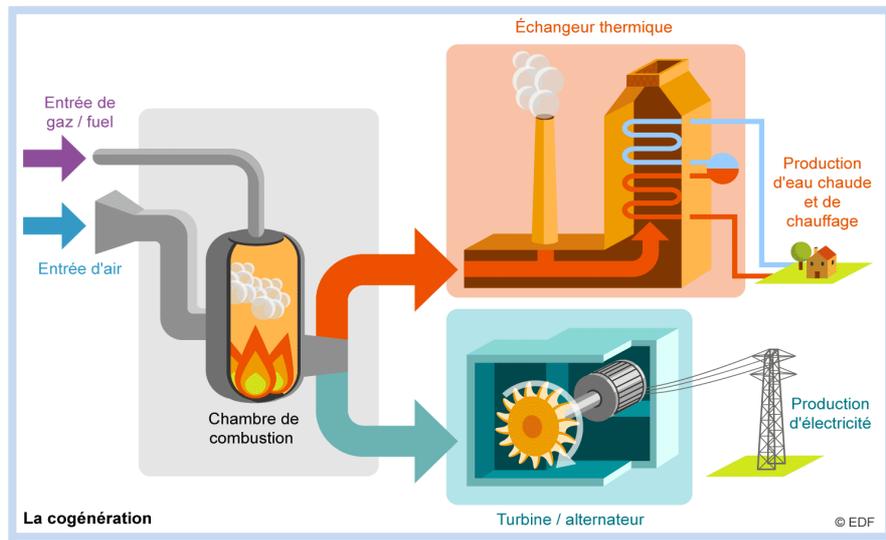


Figure 10 - Fonctionnement d'un échangeur thermique [17]

3.2. Les sources de production de l'énergie thermique

L'énergie thermique est considérée dans la majorité des cas comme une énergie secondaire issue d'un processus de transformation à partir d'une énergie primaire (charbon, gaz naturel, pétrole, sources d'énergies renouvelables telles que la biomasse, l'éolien, l'hydraulique et le solaire, etc.). Exception faite de l'énergie thermique produite par la Terre, une énergie renouvelable connue sous le nom de géothermie.

A noter que la grande majorité des énergies que nous consommons au quotidien est donc une énergie transformée, rarement issue directement d'une énergie primaire. C'est le cas de l'électricité distribuée par Enedis, ou du fioul issu du pétrole brut. Ceci étant dit, le gaz naturel est bien une énergie primaire.

La production d'énergie thermique provient essentiellement de différentes sources d'énergie :

- L'énergie nucléaire, qui utilise la fission de l'atome d'uranium pour produire une réaction nucléaire, source de dégagement de chaleur ;
- L'énergie mécanique ou cinétique qui se définit par le mouvement ou le frottement de deux corps en contact. Au niveau macroscopique, l'usage le plus connu du grand public est la plaque à induction. Cette plaque de cuisson fonctionne par déplacement du courant électrique via le mouvement d'un aimant. La réaction entraîne un échauffement thermique faisant monter en

température la plaque de cuisson ;

- L'énergie radiative qui utilise la chaleur transportée par les ondes électromagnétiques de la lumière. L'exemple le plus concret étant le four à micro-ondes ;
- L'énergie chimique qui utilise la combustion d'une énergie primaire (bois, gaz, pétrole) pour obtenir de l'énergie thermique. On retrouve cette conversion d'énergie dans des applications du quotidien telles que les cheminées à gaz ou à bois traditionnelles, les chaudières à gaz ou à bois, les pompes à chaleur, les moteurs à combustion interne de nos voitures ;
- L'énergie électrique qui consiste à utiliser l'effet Joule, une propriété du courant électrique, pour produire de la chaleur via son passage dans un matériau conducteur (résistance). L'exemple le plus parlant étant l'ancienne ampoule à incandescence, retirée du marché pour son faible rendement énergétique au profit d'ampoules LED ou ampoules basse consommation [15].

3.3. Avantages de la thermique

- Les centrales sont rapides à construire.
- Cette technologie offre une grande flexibilité d'utilisation qui permet de répondre rapidement et précisément à la demande.
- Le thermique permet de construire des centrales de grande puissance.
- La production ne dépend pas de conditions extérieures autres que l'approvisionnement en combustible (l'énergie éolienne, par exemple, ne fonctionne pas sans vent).
- Les centrales thermiques dites à cogénération permettent de produire de la chaleur en plus de l'électricité, avec un meilleur rendement énergétique global. Ces centrales peuvent aussi être de taille modeste et alimenter des réseaux de chauffage à distance (CAD) et éviter le recours à des chaudières à mazout.

3.4. Inconvénients de la thermique

- Cette technologie engendre des émissions de produits polluants et de gaz à effet de serre. A noter que, contrairement à ce que pourrait laisser penser le terme "naturel", la thermique au gaz naturel n'est pas sans impact sur l'environnement.
- Le thermique utilise souvent des sources fossiles (charbon, fioul, gaz) dont les réserves sont physiquement limitées par la géologie terrestre et non-renouvelables à court et moyen terme.

Mentionnons toutefois que les centrales peuvent - au moins partiellement - fonctionner avec des sources renouvelables, notamment celles à gaz grâce au biogaz et celles qui incinèrent des déchets.

- Cette production d'énergie entraîne une dépendance par rapport au pays producteurs de gaz, de charbon ou de fioul. [16]

4. L'énergie hydraulique

Est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chute, cours d'eau, courant marin, marée, vagues. Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique. L'énergie hydraulique est en fait une énergie cinétique liée au déplacement de l'eau comme dans les courants marins, les cours d'eau, les marées, les vagues ou l'utilisation d'une énergie potentielle comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages. L'énergie hydraulique est une manifestation indirecte de l'énergie du soleil, comme beaucoup de sources d'énergies renouvelables sur terre (énergie éolienne, énergie des vagues, la biomasse, etc.). Sous l'action du soleil, l'eau s'évapore des océans et forme les nuages qui se déplacent au gré des vents. Des abaissements de température au-dessus des continents provoquent la condensation de la vapeur d'eau. La pluie et la neige (les précipitations) alimentent ainsi les glaciers et l'eau des rivières qui s'écoulent petit à petit dans les océans, c'est le cycle de l'eau. L'énergie hydraulique peut aussi être convertie en une autre énergie (fréquemment l'électricité) [18] :

- Une centrale hydroélectrique utilise l'énergie de la hauteur de chute et du débit d'un cours d'eau ;
- Une centrale marémotrice utilise l'énergie des marées ;
- Une hydrolienne utilise celle des courants marins ;
- L'énergie des vagues peut aussi être exploitée.

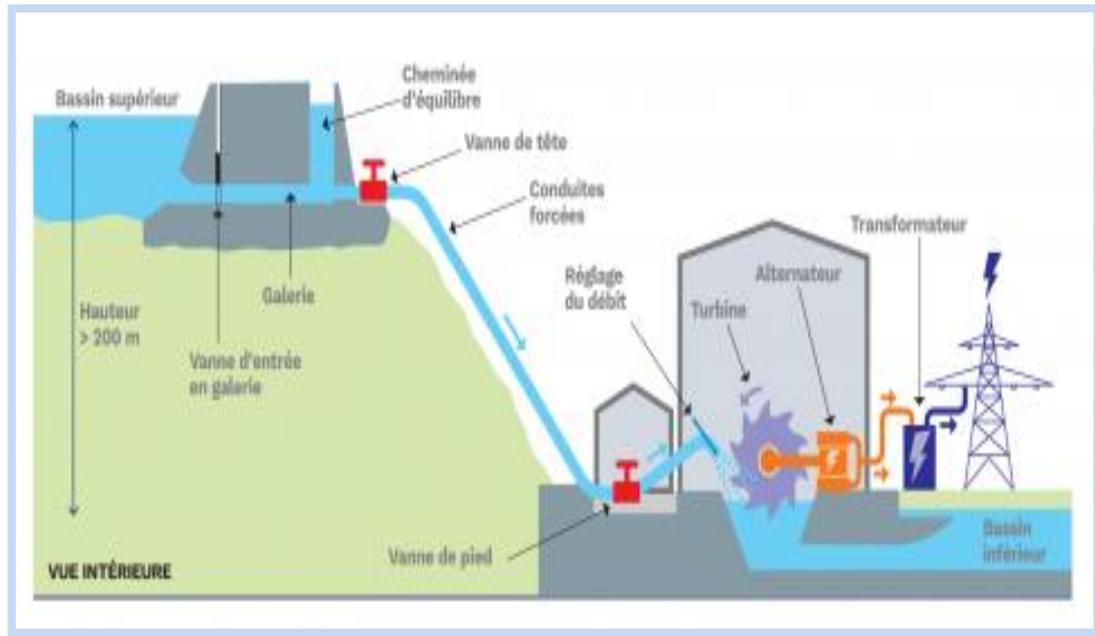


Figure 11 - Le schéma de process d'une centrale de moyenne chute.

4.1. Fonctionnement d'une centrale hydraulique

Le fonctionnement d'une centrale hydraulique ou barrage consiste à utiliser l'énergie donnée par une quantité d'eau en mouvement pour pouvoir produire de l'énergie électrique. Un barrage est donc utilisé pour retenir une grande quantité d'eau sous la forme d'un lac de retenue. Quand on veut produire de l'électricité, on ouvre les vannes du barrage, l'eau rentre par ces vannes et passe par une conduite dans le barrage qui va lui permettre d'augmenter sa vitesse. Après cette conduite, l'eau, grâce à cette vitesse va faire tourner une turbine qui est reliée à un alternateur qui va produire de l'électricité. L'eau est ensuite libérée au pied du barrage et reprend son cours normal [19].

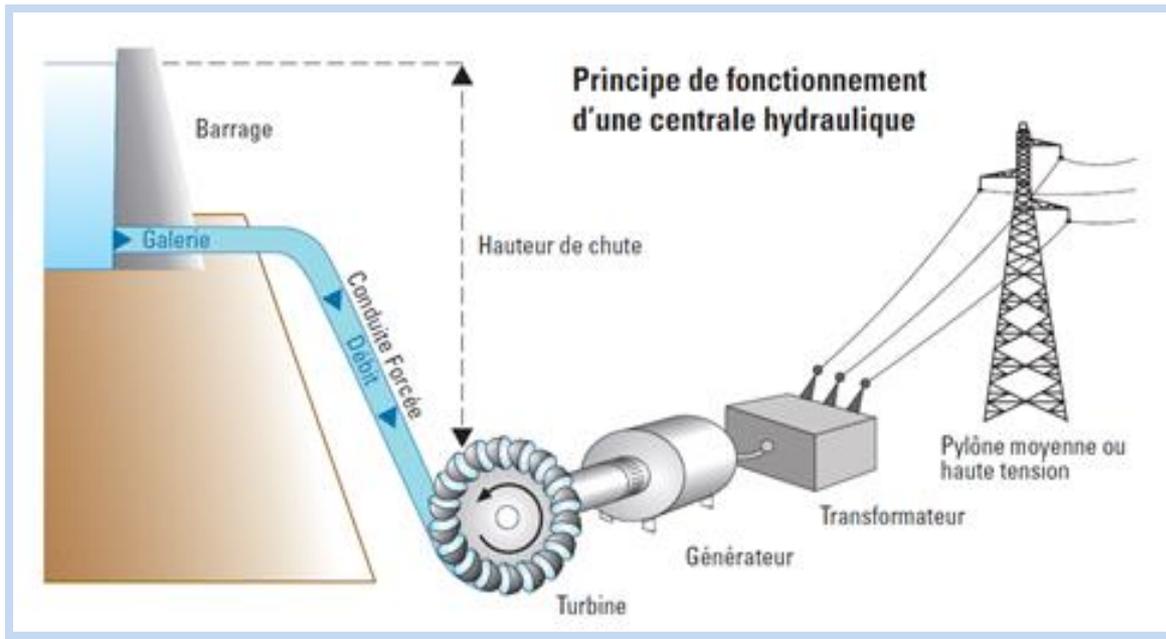


Figure 12 - centrale hydraulique.

4.2. Les différents types d'ouvrages hydrauliques

- Les bassins versants et le stockage naturel de l'eau :

L'énergie hydraulique est une énergie d'origine solaire. L'eau évaporée par la chaleur solaire, pour la plus grande partie sur les grandes étendues d'eau (océans, mers, grands lacs) mais également sur les terres, par évapotranspiration, se condense sous forme de précipitations, et ceci de préférence sur les montagnes. Grâce à ce mécanisme, l'eau gagne une énergie potentielle directement proportionnelle à l'altitude de son point de chute.

Une partie de cette eau s'infiltré dans le sol, alimente des nappes phréatiques et réapparaît plus ou moins bas. Une autre partie est stockée sous forme de neige ou de glace, et est susceptible d'être déstockée au moment de la fonte des neiges. Le reste s'écoule vers les rivières. Le bassin versant d'une rivière désigne l'ensemble des zones dont l'eau de pluie s'écoule vers la rivière. Plus il est grand, et plus il reçoit de précipitation, stockée ou pas sous forme de glace, plus le "potentiel hydraulique" de la rivière sera important. [20]

4.3. Les différents types d'aménagements hydrauliques

Chaque site possède ses propres caractéristiques, hydrologiques, géologiques, topographiques, et sera aménagé en fonction de ses caractéristiques et des objectifs poursuivis : fourniture quasi permanente d'électricité, fourniture en période de pointe uniquement, stockage temporaire, etc.. Bien que chaque aménagement hydraulique soit très spécifique du site choisi, les différents aménagements peuvent être classés en quelques grandes familles [20].

- **Les aménagements avec retenue**

De nombreuses rivières ont un débit très variable au cours de l'année, notamment du fait de la variation saisonnière des précipitations et du stockage naturel de la neige en hiver, et ceci d'autant plus que leur bassin versant est limité. C'est le cas de la plupart des rivières en altitude, mais également de certaines autres, comme la Durance en France. Lorsque l'on veut exploiter leur potentiel hydraulique, on est amené à construire des barrages qui vont eux-mêmes stocker l'eau lorsqu'elle arrive en abondance, et permettre de la restituer et de la turbiner lorsqu'on en a besoin. Ces barrages ont des hauteurs variables entre quelques dizaines de mètres et largement plus de 100 mètres en fonction de la topographie des lieux et des quantités d'eau à stocker. Ces quantités sont elles-mêmes très variables, de quelques centaines de millions (Tignes) à quelques milliards de m³ (Serre-Ponçon) voire beaucoup plus (barrage Nasser sur le Nil en Egypte ou Kariba sur le Zambèze).

- **Les aménagements "au fil de l'eau"**

Lorsque le débit d'une rivière ne varie pas trop au cours de l'année, on choisit généralement de l'équiper "au fil de l'eau", sans créer de retenue. C'est le cas de la plupart des fleuves une fois qu'ils sont arrivés en plaine, avec un débit important mais une faible pente. En France, c'est le cas du Rhône, en aval du Lac Lemman, et du Rhin. L'eau que l'on veut turbiner est en général dérivée dans un canal latéral, sur une distance suffisante pour obtenir une hauteur de chute suffisante (de l'ordre de 10 m.) Sur le Rhin, par exemple, chaque usine, en turbinant environ 1000 m³ /s sur une hauteur de 10 à 15 m, a une capacité de 80 à 120 MW ; la pente générale du fleuve permet d'installer une usine de ce type tous les 30 km environ.

- **Les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP)**

L'électricité ne peut pas être stockée, aussi cherche-t-on les moyens de stocker de l'énergie sous diverses formes. Une des plus efficaces est de la stocker sous forme d'énergie potentielle de l'eau. En heures creuses, alors que l'on dispose d'une production d'électricité excédentaire, on

pompe de l'eau entre un bassin bas et un bassin haut ; en période de pointe, cette eau est turbinée pour fournir de l'électricité. Les hauteurs de chute sont en général très élevées (800 à 1000 m), les capacités des réservoirs (généralement artificiels) étant adaptées aux objectifs poursuivis. En France, la STEP de Revin est capable de fournir une puissance de pointe de 1000 MW environ et celle de Grand'Maison, 1800 MW.

4.4. Les différents types de turbines

La turbine va permettre de transformer l'eau qui s'échappe de la conduite en énergie de rotation. La forme et les caractéristiques des turbines dépendent des catégories d'installations hydroélectriques dans lesquelles elles sont employées :

- La turbine Pelton, généralement réservée aux usines de haute chute (de 300 à 1800 mètres), a été mis au point par Pelton au XIXe siècle. Cette turbine est constituée d'une roue, sur la périphérie de laquelle sont fixés des séries de cuillères doubles métalliques appelées augets. L'eau sort de la conduite forcée à grande vitesse et vient percuter avec force les augets de la roue par l'intermédiaire des injecteurs. La puissance maximale unitaire atteinte est de 400 MW.
- La turbine Francis est utilisée pour les moyennes chutes (entre 30 et 750 mètres). Elle ressemble à un cylindre évasé, divisé sur sa longueur par une série de cloisons longitudinales incurvées. Le pourtour élargi de la turbine est cerclé par une couronne percée d'une vingtaine d'ouvertures par lesquelles pénètre l'eau sous pression venant de la conduite forcée. Cette eau glisse sur les pales de la turbine et se dirige vers son cœur, d'où elle est évacuée. Lorsque l'eau s'écoule par les canaux de la turbine, elle abandonne sa pression aux pales de la turbine. C'est cette différence de pression qui est à l'origine de rotation de la turbine. La puissance maximale atteinte est de 800 MW par unité.
- La turbine Kaplan sert dans les usines de basse chute (10 à 80 m) . L'eau est canalisée par des puits ou des conduites en acier ou en béton de cinq à dix mètres de diamètres vers une chambre dont le tracé en colimaçon permet à l'eau d'arriver sur la turbine avec la meilleure efficacité. Les turbines Kaplan ont une forme d'hélices de navire. Leurs pales sont généralement orientables et permettent, par simple variation de leur inclinaison, d'ajuster la vitesse de rotation des turbines aux conditions de niveau. La puissance maximale atteinte est de 200 MW. Une variante des turbines Kaplan est celle des « groupes bulbes », pour les très basses chutes (5 à 20 m) dont la technique a été développée en France pour l'usine marémotrice de la Rance.

L'alternateur est accolé à la turbine. Grâce à un système de protection étanche, ces groupes peuvent être complètement immergés dans l'eau. La puissance maximale atteinte est de 60 MW.

- Pour les STEP, on emploie soit des groupes ternaires (dont la ligne d'arbre comporte la turbine, l'alternateur et la pompe) soit des groupes avec pompes-turbines réversibles capables d'assurer turbinage et pompage (de type Francis). [20]

4.5. Avantages et inconvénients

Comme la plupart des activités humaines et industrielles, l'exploitation de l'énergie hydraulique présente des avantages et des inconvénients, tant pour l'environnement, que pour la santé et pour les aspects sociaux [20].

a) L'environnement :

Les grands aménagements hydrauliques modifient par définition les écosystèmes. Beaucoup de rivières françaises ont été aménagées, souvent dès le Moyen âge par des digues et des moulins, ou par des ouvrages d'art destinés à favoriser la navigation. Peut-on parler d'atteinte à l'environnement ? Probablement pas quand les précautions nécessaires sont prises, par exemple en sauvegardant les zones de frayage, en permettant aux poissons de remonter la rivière jusqu'à eux, et en laissant une quantité suffisante d'eau emprunter le cours normal de la rivière. Il est également essentiel que l'eau qui est turbinée poursuive sa route vers son exutoire normal : les modifications de l'environnement proviennent plutôt de prélèvements importants effectués pour d'autres usages que la production d'électricité, notamment l'irrigation ; l'exemple le plus connu est celui des fleuves qui débouchent dans la mer d'Aral et y arrivent pratiquement exsangues, ce qui a eu pour effet de provoquer un assèchement de cette mer intérieure. Ceci est d'autant plus absurde que le mauvais drainage des terres agricoles a conduit à gâcher l'eau d'irrigation sans bénéfice agricole. Un des principaux avantages de l'énergie hydraulique, énergie renouvelable, est que, dans la plupart des cas, elle ne rejette pas de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Si les 20 % d'électricité d'origine hydraulique étaient produits dans des centrales à charbon, les rejets de CO₂ dans l'atmosphère seraient majorés de 500 à 600 mégatonnes de carbone contenu (600 MtC), alors qu'ils sont déjà beaucoup trop élevés. Dans certains cas, cet avantage risque d'être compensé, au moins de façon transitoire, par des rejets de méthane, gaz à effet de serre plus "efficace" que le CO₂, mais à durée de vie plus courte. Lorsque la retenue de l'aménagement hydraulique couvre une importante zone à forte végétation la décomposition des matières végétales produit du méthane rejeté dans l'atmosphère et, consomme l'oxygène

Chapitre I : étude générale sur les énergies renouvelables

contenu dans l'eau qui peut devenir impropre à la vie aquatique. Ce genre de situation est susceptible de se rencontrer dans les zones tropicales avec des retenues de faible profondeur et nécessite des mesures particulières de protection de l'environnement. Ces problèmes ont en général un caractère transitoire. Un large débat est ouvert aux Etats-Unis à propos de la Columbia River et de son affluent la Yellowstone River, très largement aménagés, car les frayères auraient presque entièrement disparu. Au point que certains mouvements écologistes demandent le démantèlement de certains barrages. Une déforestation, souvent difficile, ne suffit pas. Les troncs d'arbre noyés sous une épaisseur d'eau notable sont inertes. En revanche, les rejets verts et les sols à forte composante végétale évoluent rapidement, comme on le constate dans les marais et les zones humides, fortes émettrices de CH₄ (les feux follets). Ceci a été le cas pour l'aménagement de Petit-Saut, en Guyane française, où il a fallu aérer l'eau en aval du barrage pour y restaurer une vie aquatique normale.

b) Santé :

L'énergie hydraulique a été dans de nombreux pays, et notamment en Europe, le premier moyen de produire des quantités importantes d'électricité. En France, dès 1960, l'électricité hydraulique, avec 40 TWh, représentait près de 60 % de la production. C'est dire que l'énergie hydraulique a très fortement contribué au redressement économique du pays et, par là même, à l'amélioration de la santé. Dans les pays à climat tempéré, on ne connaît pas d'effet nocif pour la santé de l'énergie hydraulique. Dans les pays tropicaux, certains aménagements hydrauliques mal conçus conduisent à la diffusion de maladies hydriques, et notamment du paludisme et de la bilharziose (ou schistosomiase). Les problèmes rencontrés sont cependant au moins autant imputables aux réseaux d'irrigation qu'aux retenues des barrages et les traitements préventifs et curatifs existent même s'ils ne sont pas souvent mis à la disposition des populations concernées.

c) Sociaux :

Un des principaux griefs fait à l'énergie hydraulique est qu'il nécessite souvent des déplacements de population. De tout temps, en effet, les rivières et les fleuves ont été des lieux privilégiés d'habitat. Dans les zones de montagne, il s'agit le plus souvent de hameaux ou de terres à usages agropastoraux. Bien que traumatisant pour les quelques familles affectées, le changement peut être accompagné et il est possible de proposer à ces familles un cadre de vie peu différent que celui qu'elles connaissaient avant, confort en plus ou de les accompagner dans un changement qu'elles peuvent souhaiter ou accepter. En plaine, les conséquences peuvent être beaucoup plus importantes, et l'impact social plus difficile à maîtriser. La mise en eau du

barrage des Trois-Gorges, en Chine, s'accompagne du déplacement de près de 2 millions de personnes. Il s'agit là d'un bouleversement. Mais d'un autre côté, ce barrage permet de maîtriser les crues dévastatrices du Fleuve Jaune, qui bon an mal an, font des milliers de victimes, sans parler des dégâts matériels. Les autorités chinoises ont jugé que le bilan était globalement positif ; mais une des difficultés évidentes est que ceux qui subissent les inconvénients de ce projet ne sont pas les mêmes que ceux qui en bénéficient comme cela arrive souvent pour les grands projets d'infrastructures (aéroports, TGV..).

5. L'énergie houlomotrice

Les vagues sont des ondes qui naissent à la surface de la mer sous l'effet du vent. Lorsqu'elles parcourent de longues distances, elles forment la houle. On peut donc parler indifféremment d'énergie des vagues ou d'énergie houlomotrice. L'énergie houlomotrice représente un potentiel énorme dans le mix énergétique mondial. En effet, 71 % de la surface de la planète est recouverte par la mer ou l'océan ! Le Conseil mondial de l'énergie estime que 10 % de la demande annuelle mondiale d'électricité pourraient être couverts grâce à l'énergie houlomotrice. Pour autant, tous les pays n'ont pas le même potentiel : certaines régions, comme l'Atlantique Nord, sont particulièrement propices à la récupération de l'énergie des vagues. En France métropolitaine, le potentiel est estimé à 40 TWh/an, principalement sur la façade atlantique (10 à 15 GW) [21].

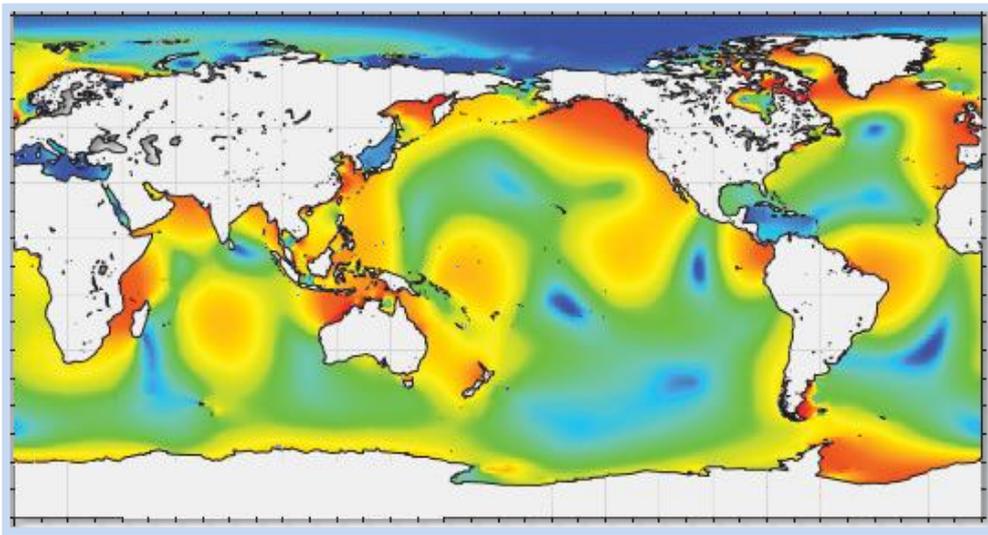


Figure 13 - Amplitude des marées dans le monde (en mètres).

5.1. Principes de base

- **Les ressources en énergie houlomotrice :**

Les vagues et la houle sont principalement provoquées par le vent qui, soufflant sur la mer, crée une onde qui se propage. En sus des propriétés propres au vent (direction, vitesse, régularité, etc.), les marées, la bathymétrie (profil des fonds sous-marins) ou les courants océaniques peuvent influencer sur les caractéristiques des vagues. Les vagues voyagent sur de très longues distances sans perte d'énergie tant que la profondeur des océans est suffisante. Les crêtes des vagues sont alors espacées de plusieurs centaines de mètres. On parle de houle. Lorsque la profondeur de la mer diminue, la vitesse des vagues diminue (leur énergie cinétique diminue), mais leur hauteur augmente (leur énergie potentielle augmente), jusqu'à ce que les vagues s'écrasent. La puissance d'une vague est approximée par la formule suivante, applicable lorsque la profondeur est supérieure à la moitié de la distance entre deux vagues (dans le cas contraire, une formule plus complexe s'applique): $P \approx H^2 \times T$ avec P, puissance d'une vague, en kW par mètre linéaire ; H, hauteur de la vague, en mètres; T, période de la vague, en secondes, c'est-à-dire le temps qui sépare le passage de deux crêtes successives. Une puissance minimale de 20 kW/m est requise pour envisager l'installation de systèmes à énergie houlomotrice. Les meilleurs sites offrent toutefois une puissance de 60 à 70 kW/m La puissance théorique mondiale de production d'électricité à partir de l'énergie houlomotrice est incertaine, mais élevée. Elle est estimée à 500 GWe, pour environ 146 TWh/an, en supposant une production sur seulement 2 % des côtes qui disposent d'un potentiel supérieur à 30 kW/m. De manière générale, l'énergie des vagues est la plus forte à des latitudes supérieures à 40° nord ou sud. Par ailleurs, les côtes orientées à l'ouest sont celles qui bénéficient habituellement des ressources en énergie houlomotrice les plus élevées. L'Australie, le Chili, l'Irlande, la Nouvelle-Zélande, l'Afrique du Sud, le Royaume-Uni et les États-Unis sont des exemples de pays à fort potentiel. Des unités de production sont installées au Portugal, qui a accueilli la première ferme à vagues du monde en 2008, aux États-Unis, au Royaume-Uni et en Espagne, entre autres [22].

- **Les ressources en énergie des courants marins (hydro cinétique) :**

Les marées sont provoquées par les variations des forces de gravitation du soleil et de la lune. Leurs caractéristiques (amplitude, périodicité, propagation des ondes engendrées) ne sont pas homogènes sur le globe. Elles varient en fonction de la bathymétrie, du littoral, des forces de Coriolis, etc. Les mouvements de hausse et de baisse du niveau de la mer s'accompagnent d'un flux et d'un reflux d'eau dans des espaces plus ou moins ouverts (anses, estuaires, baies,

Chapitre I : étude générale sur les énergies renouvelables

détroits, etc.), que l'on appelle courant marin. La puissance contenue dans un flux de courant marin est calculée par la formule suivante : $P = \frac{1}{2} \times \rho \times S \times v(t)^3$ avec P, puissance du flux marin, en W; ρ , la densité de l'eau (1025 kg/m³); S, la surface du flux, en m², pris perpendiculairement à celui-ci; v(t), la vitesse du flux, en m/s. Les meilleurs potentiels d'énergie des courants marins se situent là où l'amplitude de marée est la plus importante. De plus, une vitesse de courant de plus de 2 à 2,5 m/s et des profondeurs de 25 à 50 m sont généralement requises pour envisager la viabilité économique d'un projet. Ainsi, 90 % des sites potentiels d'énergie des courants marins se trouvent à des profondeurs excédant 40 m. De nouvelles technologies compétitives apparaissent et exploitent des courants de vitesse bien plus faible et à des profondeurs plus élevées, telles que la technologie Deep Green de l'entreprise Minesto, capable de valoriser l'énergie des courants marins pour des vitesses de 1,2 m/s jusqu'à 120 m de profondeur. Bien que cette ressource n'ait pas encore été précisément estimée au niveau mondial, les pays de l'ouest de l'Europe donnant sur la façade atlantique offrent de bonnes perspectives, ainsi que plusieurs pays d'Afrique (Madagascar, Comores, Kenya, Tanzanie, Mozambique, Afrique du Sud), l'Inde et l'Australie. Le projet Meygen, en Écosse, est le plus ambitieux; il est opérationnel depuis 2016 et comporte à ce jour 4 turbines sous-marines d'une capacité totale de 6 MW, avec l'objectif d'atteindre une capacité finale de 398 MW [22].

- **Les ressources en énergie thermique des mers (ETM)**

Une centrale d'énergie thermique des mers (Ocean Thermal Energy Conversion, OTEC) exploite l'énergie thermique des océans pour produire de la chaleur, du froid ou de l'électricité. Les rayons solaires ont un effet direct sur le réchauffement des couches superficielles des océans, mais, à partir d'une profondeur de 800 à 1000 m, la température est constante (environ 4 °C à 1000 m de profondeur). La technologie ETM nécessite un différentiel de température d'au moins 20 °C entre la température du fond des océans et celle de surface. Elle est envisageable dans les zones subtropicales ou approximativement entre les 20^e parallèles nord et sud, excluant les côtes ouest d'Amérique du Sud et d'Afrique du Sud, où l'eau demeure relativement froide en toutes saisons. Le potentiel théorique de production mondiale est estimé entre 30 000 TWh et 90 000 TWh par année, ce qui conférerait à cette énergie le plus grand potentiel des énergies marines. Cependant, le potentiel techniquement et économiquement exploitable est incertain. Près d'une centaine de pays ont été reconnus comme pouvant accueillir des centrales thermiques des mers. De nombreuses îles des Caraïbes et de l'océan

Pacifique sont concernées. Les Comores, la Réunion et l'île Maurice sont notamment de bons candidats [22].

6. L'énergie biomasses

La biomasse est la source énergie la plus ancienne utilisée par l'humanité. Il s'agit de toute matière organique, végétale ou issue des êtres vivants. Le terme de biomasse recouvre un champ très large de matières : bois, déchets des industries de transformation du bois, déchets agricoles (pailles, lisiers, etc.) et tous autres sortes de déchets organiques. La biomasse est la 2ème énergie renouvelable dans le monde. Elle permet de produire de l'électricité, de la chaleur via la combustion de déchets et de résidus de matières organiques végétales ou animales. Elle est très utilisée, notamment 10% de l'énergie primaire mondiale et souvent dans les circuits non commerciaux. Pour environ 2.6 milliards d'habitants, elle représente quasiment la seule source d'énergie.

Dans le domaine de l'énergie, le terme de biomasse regroupe l'ensemble des énergies provenant de la dégradation de la matière organique.

En écologie, la biomasse est la masse totale (quantité de matière) de toutes les espèces vivantes présentes en un milieu naturel donné.

Par biomasse on entend les produits non alimentaires destinés à diverses utilisations. La biomasse est joué un rôle important en tant que source de matières premières pour la production d'énergie renouvelable, La biomasse inclut une large gamme de produits, de sous-produits et de flux de déchets de la sylviculture et de l'agriculture ainsi que des flux de déchets municipaux et industriels. Elle inclut donc les arbres, les cultures arables, les algues et autres plantes, les résidus agricoles et forestiers, les effluents, les boues d'épuration, le fumier, les sous-produits industriels et la partie organique des déchets solides municipaux. Après un processus de transformation, la biomasse peut être utilisée pour fournir de la chaleur, de l'électricité ou du carburant pour les transports, en fonction de la technologie de transformation retenue et du type de biomasse primaire [26].



Figure 14 - sources de la biomasse [27]

6.1. Les types de la biomasse

La biomasse est un combustible difficilement exploitable dans son état brut. Sa transformation permet d'obtenir des combustibles plus intéressants sous forme :

- Solide comme les pellets, les plaquettes, les semi-cokes, cokes, charbon de bois, etc ...
- Liquide comme l'éthanol, le biodiesel, les huiles pyrolytiques
- Gazeuse comme les gaz de décharge, le biogaz, le gaz de bois ou d'autres résidus utilisables dans des moteurs, chaudières ou turbines.

Cette transformation peut se faire par voie thermochimique (sèche), biochimique ou mécanique (humide). Le choix dépendra du type et de la quantité de biomasse disponible, du type d'énergie finale souhaitée, des conditions économiques, environnementales et d'autres facteurs. La plupart des filières de conversion peuvent se classer en deux groupes :

- Filière de conversion thermochimique ou voie sèche (combustion, gazéification, pyrolyse) ;
- Filière de conversion biochimique ou voie humide (digestion, fermentation) [28]

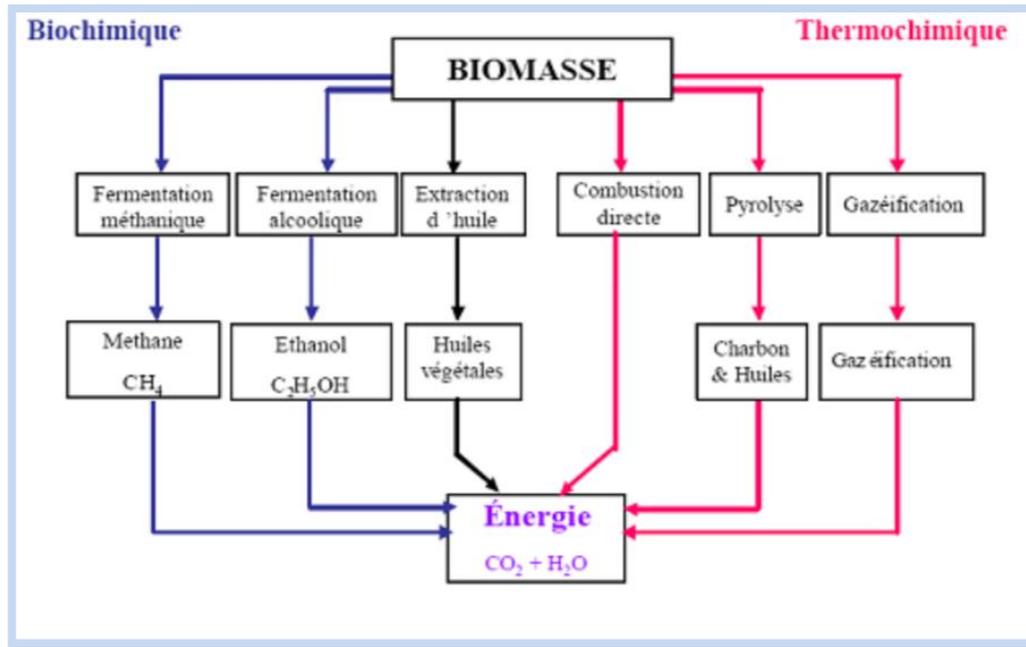


Figure 15 - les principales voies de la biomasse.

6.2. Procédés de conversion de la biomasse en énergie

La voie utilisée pour la production de l'énergie est la voie sèche utilisant de la biomasse solide. Elle est principalement constituée par la filière thermochimique, qui regroupe les technologies de la combustion, de la gazéification et de la pyrolyse [29] [30].

- **La combustion :**

C'est l'oxydation complète du combustible, en général en présence d'un excès d'air, et produit de la chaleur. Les techniques de combustion de la biomasse solide, et principalement du bois, sont nombreuses.

Dans le cas des chaudières, la chaleur est transférée à un medium caloporteur, souvent l'eau. L'eau chaude ou la vapeur ainsi obtenues sont utilisées dans les procédés industriels ou dans les réseaux de chauffage urbain.

La vapeur peut également être envoyée dans une turbine ou un moteur à vapeur pour la production d'énergie mécanique ou, surtout, d'électricité.

- **La gazéification :**

De la biomasse solide est également une décomposition thermique de la matière, mais en atmosphère réductrice (les quantités d'air sont réduites). Cette gazéification est réalisée dans un réacteur spécifique, le gazogène.

Le résultat est la transformation complète de la matière solide, hormis les cendres, en un gaz combustible. Ce gaz, après épuration et filtration, est alors brûlé dans un moteur à combustion interne pour la production d'énergie mécanique ou d'électricité.

- **La pyrolyse :**

C'est la décomposition thermique de la matière carbonée sous vide ou sous atmosphère inerte (absence d'air ou air fortement réduit). Elle conduit à la production d'un solide, le charbon de bois ou le charbon végétal, d'un liquide, l'huile pyrolytique, et d'un gaz combustible. La conduite de la pyrolyse peut être orientée vers la maximisation de la production de charbon ou d'huile pyrolytique.

Certaines techniques de la filière thermochimique (combustion, pyrolyse) peuvent également traiter des biomasses humides. Mais ceci se réalise aux dépens de l'efficacité énergétique. Il peut être plus intéressant avec ces biomasses humides - déchets organiques verts très humides, déchets ménagers, effluents d'élevage, d'agro-industrie - de les traiter par voie humide.

La principale filière de cette voie est la bio méthanisation qui produit un gaz riche en méthane et à haute valeur calorifique. Ce biogaz est brûlé en chaudière pour la production de chaleur ou dans un moteur à combustion interne pour la production d'électricité ; il est également possible de combiner chaleur et électricité (cogénération) à partir d'une installation de bio méthanisation.

7. Énergie géométrique

Il existe dans la croûte terrestre un gradient de température qui est en moyenne de 3 °C par 100 mètres. La géothermie vise à étudier et exploiter ce phénomène d'augmentation de la température en fonction de la profondeur. L'exploitation de cette ressource consiste à extraire l'énergie géothermique contenue dans le sol pour la transformer en électricité à l'aide des turbines [31].

Chapitre I : étude générale sur les énergies renouvelables

Pour capter l'énergie géothermique, un fluide est mis en circulation dans les profondeurs de la terre. Ce fluide peut être celui d'une nappe captive naturelle, de l'eau injectée dans une roche chaude imperméable ou dans des puits spéciaux. Dans tous les cas, le fluide se réchauffe et remonte avec une température supérieure. Le principe d'utilisation de la géothermie pour gérer l'électricité est présenté dans la figure ci-dessus :

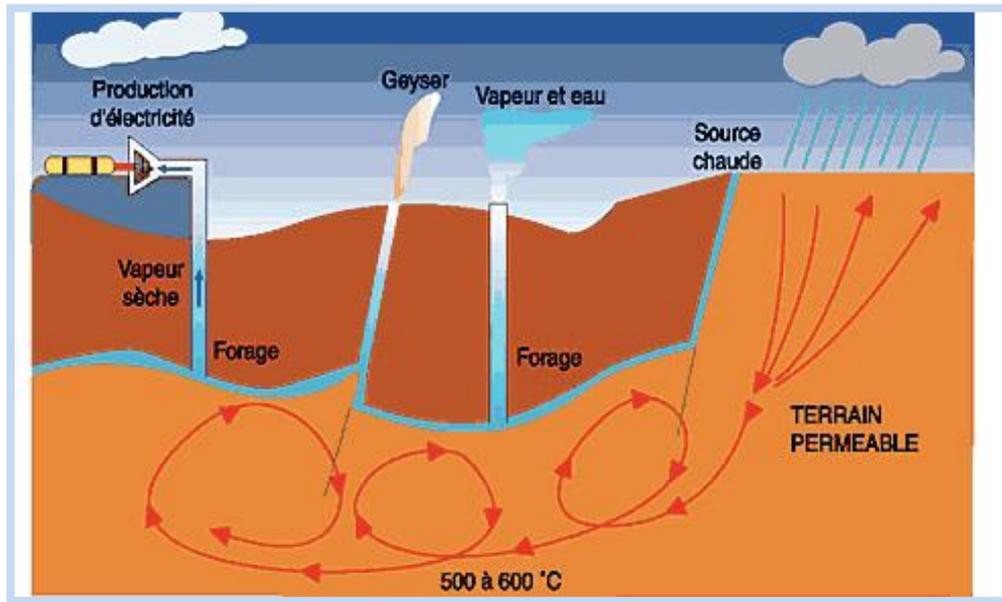


Figure 16 - génération de l'électricité par une source d'énergie géométrique [32].

7.1. Type de l'énergie géométrique

Dans le domaine de la géothermie, il est important de distinguer 3 types d'énergie.

La géothermie à haute énergie :

La chaleur captée dans le sol dépasse 150 °C et peut atteindre 350 °C. Pour cela, la profondeur des forages doit être supérieure à 1500 mètres. La géothermie à haute température est utilisée pour produire de l'énergie. Les centrales sont souvent installées sur une zone volcanique.

Chapitre I : étude générale sur les énergies renouvelables

La géothermie à basse énergie :

Elle utilise les calories de l'eau souterraine. Pour trouver une nappe phréatique avec une température comprise entre 30 et 150 °C, il est nécessaire de forer le sol sur une profondeur de 1500 mètres. La géothermie à basse température est utilisée plutôt pour le chauffage urbain.

- **La géothermie à très basse énergie :**

Ici, la profondeur des forages est inférieure à 100 mètres et la chaleur captée ne dépasse pas 30 °C. La géothermie à très basse température est réservée au chauffage des maisons individuelles. Elle est exploitée à l'aide d'une pompe à chaleur. [33]

7.2. Les inconvénients de la géothermie

Bien évidemment, la géothermie comporte certains inconvénients et non pas uniquement des avantages, comme toutes les autres sources d'énergie renouvelables. Ci-dessous, nous vous proposons donc de faire rapidement le tour des inconvénients que peut comporter la géothermie :

L'installation géothermique peut être faite partout, sur tous les terrains certes, mais cette énergie est tout de même optimisée sur certains terrains bien spécifiques.

Il est également nécessaire d'intervenir régulièrement pour que l'eau utilisée pour produire cette énergie dans le sol soit réintroduite à une distance bien précise. En effet, cela ne fonctionne pas n'importe comment, et une petite aide extérieure est parfois nécessaire [34].

7.3. les avantages de la géothermie

Heureusement, tout n'est pas noir dans le monde de la géothermie... Bien au contraire ! Tout laisse penser que cette énergie n'est pas encore arrivée à maturité, qu'elle va se perfectionner, et sans aucun doute, prendre de plus en plus d'ampleur dans les années qui viennent...

La géothermie permet de produire de l'électricité

La chaleur terrestre est **une source d'énergie renouvelable** – le noyau de notre planète devrait rester chaud encore quelques milliards d'années.

De même, cette énergie est complètement propre et naturelle ; les centrales géothermiques n'émettent pas CO₂ pour produire de l'électricité. Par ailleurs, contrairement aux centrales

Chapitre I : étude générale sur les énergies renouvelables

nucléaires, elles ne laissent aucun déchet après utilisation, et n'exigent pas d'importer ni de stocker des combustibles rares ou dangereux.

De plus, un système géothermique permet de s'autonomiser. Pas besoin de se faire livrer du bois ou du fioul, et le chauffage fonctionne même en cas de coupure de courant ! . [36]

Conclusion

Ce chapitre met en évidence la diversité des énergies renouvelables disponibles et leur potentiel à contribuer à un avenir énergétique durable. Chaque source d'énergie renouvelable présente des avantages et des limitations spécifiques, et il est important de les considérer dans le contexte des besoins énergétiques locaux et des considérations environnementales.

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

Introduction

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque revient à déterminer le nombre nécessaire des panneaux solaire constituant le champ photovoltaïque pour adopter un système PV suffisant pour couvrir les besoins de la charge à tout instant ainsi que la capacité de charge de la batterie. Ces deux éléments 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 50% de pris de l'installation. Une fois que l'emplacement, la puissance approximative de l'installation, l'orientation et l'inclinaison des panneaux, sont déterminés, nous procéderons au dimensionnement du système.

1. Les composantes d'un système PV

Le module comprend plusieurs cellules photovoltaïques assemblées les unes aux autres grâce à un circuit électrique, le module photovoltaïque est l'élément central d'un système photovoltaïque. Pour éviter les endommagements causés par le retour du courant dans le module, une diode by-pass est installée sur chaque diode. La dimension des modules photovoltaïques varie d'un constructeur à un autre. [59]

1.1. L'onduleur

L'onduleur a pour fonction de transformer le courant continu venant des panneaux en courant alternatif. L'utilisation d'un onduleur n'est pas indispensable pour les sites isolés.

1.2. Le convertisseur

Les convertisseurs permettent d'adapter la puissance engendrée afin de la rendre utile. On en a deux types de convertisseurs pour un panneau solaire : les DC/DC et les DC/AC. Les premiers procurent une tension DC différente de celle entrante et les autres permettent d'obtenir une tension alternative.

1.3. La batterie solaire

La batterie a pour rôle de stocker l'énergie destinée à être utilisée lorsque les panneaux ne créent pas d'énergie comme la nuit. Les batteries solaires sont indispensables sur un site isolé. Les batteries sont chargées durant les périodes de jour afin de pouvoir alimenter le site la nuit ou les jours de très mauvais temps.

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

1.4. Le régulateur ou contrôleur de charge

Le régulateur permet de réguler l'énergie provenant des panneaux jusqu'à la batterie arrête le chargement de la batterie lorsqu'elle est totalement chargée afin d'éviter une surcharge de la batterie et une décharge, en contrôlant l'énergie sortant. Le régulateur évite que la batterie vieillisse prématurément et optimise la charge et la décharge.

La plupart des appareils électriques de grande consommation fonctionnent en courant alternatif. Ces appareils nécessiteront un onduleur qui transformera le courant continu, produit par les panneaux, en courant alternatif. [59]

2. Dimensionnement des installations photovoltaïques

Le dimensionnement des générateurs photovoltaïques vise à déterminer la puissance crête des modules solaires et la capacité des batteries associées en fonction des données d'ensoleillement du site et de la puissance appelée de certains utilisateurs d'autre part. Cette détermination des différents éléments doit pouvoir garantir la fourniture d'énergie électrique tout au long de l'année ou éventuellement pour une période définie. Les données radiométriques pour une zone donnée sont généralement disponibles mois par mois et correspondent à l'éclairement énergétique journalier moyen sur un plan horizontal [60].

Les données donnent généralement des valeurs d'insolation à la latitude du site considéré, qui dépend également de ses conditions climatiques.

Pour déterminer l'énergie moyenne incidente quotidienne sur le plan du module, des calculs sont effectués à partir des données d'ensoleillement sur le plan horizontal et de l'inclinaison du module.

L'inclinaison optimale est déterminée en considérant directement les dimensions de la capacité correspondante de la batterie.

2.1. Les principales utilisations de générateur photovoltaïque

On n'utilise le générateur photovoltaïque que pour des applications spécifiques de production d'électricité telles que : l'éclairage, les télétransmissions, le pompage...etc.

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

- Rejeter les applications thermiques de l'électricité (chauffage et cuisson).
- Choisir des récepteurs à haut rendement.
- Choisir les chaînes de puissances les plus courtes (éviter si possible les onduleurs)

3. Les étapes de dimensionnement d'un système photovoltaïque

La réalisation des installations photovoltaïques exige une méthode de calcul et de dimensionnement de haute précision, l'installation sous dimensionnée reste une installation qui manque de fiabilité.

La maîtrise du dimensionnement global est basée sur les différentes caractéristiques techniques de sous-systèmes constituant l'installation photovoltaïque. Le dimensionnement se fait en passant par les étapes suivantes [60]:

- ❖ Une identification précise des besoins en électricité de l'utilisateur.
- ❖ Une connaissance des ressources solaires locales (énergie solaire disponible du site par unité de surface).
- ❖ Un calcul du nombre et la surface des modules photovoltaïques en fonction des ressources solaires répondant aux besoins de l'utilisateur.
- ❖ Une recherche des caractéristiques des autres composants de l'installation solaire (capacité des batteries, section des câbles, puissance de l'onduleur,..).
- ❖ Une consultation des fournisseurs pour une estimation de l'investissement à considérer.
- ❖ Définition de la capacité des batteries et choix de la technologie.
- ❖ Dimensionnement et choix du régulateur.
- ❖ Dimensionnement de l'onduleur.
- ❖ Un bon choix de matériel, associé à un dimensionnement approprié garantissant le bon fonctionnement de l'installation, sa durée de vie et la rentabilité de l'investissement.
- ❖ Dimensionnement et choix du régulateur.
- ❖ Dimensionnement de l'onduleur.

4. Type des systèmes photovoltaïque

Il existe généralement trois types de systèmes photovoltaïques, les systèmes autonomes, les systèmes hybrides et les systèmes connectés à un réseau. Les deux premiers sont indépendants du système de distribution électrique et sont courants dans les régions éloignées.

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

4.1. Système autonome

Le système PV autonome est un système photovoltaïque complètement indépendant d'autres sources d'énergie et qui alimente l'utilisateur en électricité sans être connecté au réseau électrique (comme le montre la figure xxx). Dans la majorité des cas, un système autonome exigera des batteries ou autres moyens de stockage pour une utilisation durant les périodes de la non disponibilité de l'énergie solaire (par exemple les périodes nocturnes, les périodes non ensoleillées). Les systèmes PV autonomes servent habituellement à alimenter les maisons en site isolé, en îles, en montagne ainsi qu'à des applications comme la surveillance à distance et le pompage de l'eau (dans certains cas).

En règle générale, les systèmes photovoltaïques autonomes sont installés là où ils constituent la source d'énergie électrique la plus économique. Actuellement, l'énergie photovoltaïque est la plus compétitive dans les zones éloignées du réseau et avec une demande énergétique relativement faible (généralement inférieure à 10 kWc). [44]

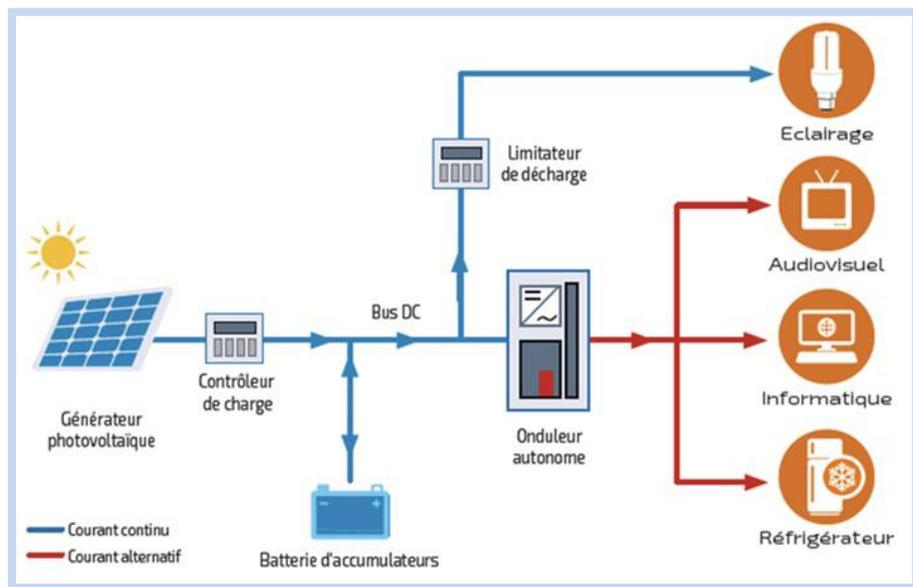


Figure 17 - schéma de principe d'un pv autonome avec stockage [45]

Typiquement, une installation photovoltaïque autonome se compose d'un générateur photovoltaïque, d'un stockage, d'une charge, d'un régulateur et éventuellement d'une interface de conversion DC-AC .

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

La conversion directe de l'énergie lumineuse en électricité se produit grâce à des composants électroniques à l'état solide appelés cellules photovoltaïques (PV), où l'absorption des photons libère des électrons chargés négativement et des trous chargés positivement. Cette conversion

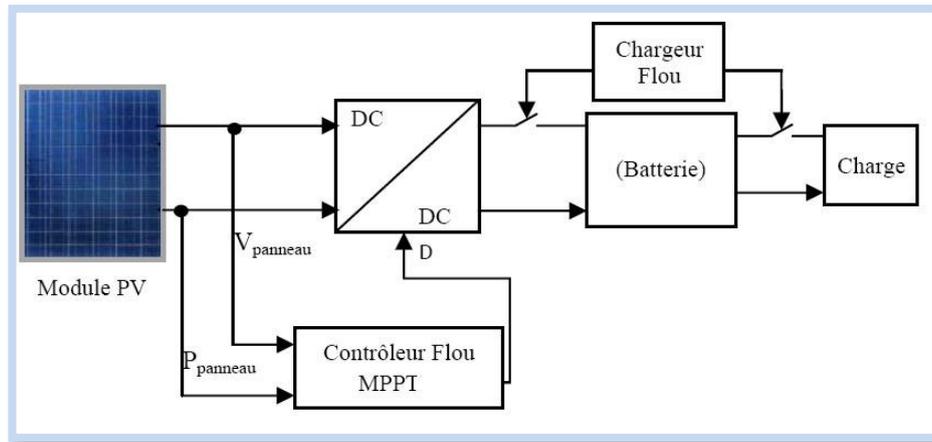


Figure 18 - Schéma synoptique d'un système photovoltaïque autonome

est obtenue selon un procédé appelé « effet photovoltaïque », qui se produit uniquement lorsqu'il y a une barrière de potentiel dans le semi-conducteur, avant qu'il ne soit illuminé (utilisation de deux dopants pour créer deux régions dans le semi-conducteur les impuretés N et P sont différentes) . Lorsque le matériau est exposé à la lumière, les charges se déplacent sous l'énergie des photons et du potentiel de jonction, ce qui a pour effet de séparer les charges positives des charges négatives.

Les caractéristiques courant-tension (IV) d'une batterie varient avec l'intensité de la lumière du soleil et la température. [46]

Il y'a deux type dans ce cas :

- Les systèmes au fil de soleil
- Les systèmes avec stockage

A-Système au fil de soleil

Au-dessus du système solaire se trouve un système sans stockage. Ils utilisent directement l'énergie solaire sans aucune alimentation de secours. Selon la nature de la charge à alimenter, ces systèmes sont divisés en deux catégories : les systèmes à courant continu et les systèmes à courant alternatif.

L'application la plus connue est le pompage photovoltaïque, qui est de deux types : les systèmes de pompage photovoltaïques à courant continu et les systèmes à courant alternatif. Pour le

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

second cas, un onduleur doit être ajouté. Comme le montre l'image, 2.2.b montre un exemple d'un système de pompe PV où le conditionneur de puissance peut être un convertisseur DC/DC, un convertisseur DC/AC ou les deux (les conditionneurs de puissance sont discutés ci-dessous), selon la fonction requise dans les sections suivantes). Ces systèmes sont simples, mais ils ont l'inconvénient de perdre de la puissance lorsque le soleil est éteint. Ces systèmes utilisent souvent une autre forme de stockage, comme un réservoir d'eau pour le pompage photovoltaïque. [44]

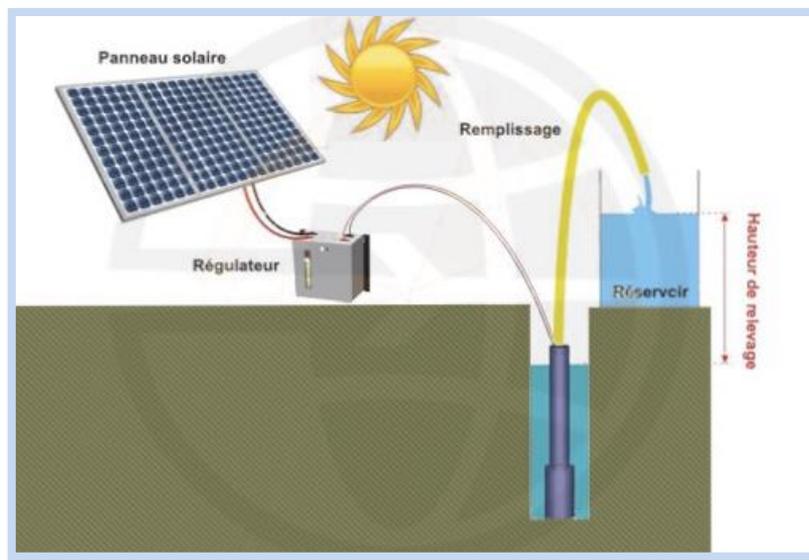


Figure 19 - Système pv autonome [46].

B- Système avec stockage

Le stockage d'énergie dans les installations photovoltaïques autonomes d'objectif de fournir d'énergie à tout moment, quelles que soient les séquences d'ensoleillement. Le stockage est assuré par des batteries (accumulateurs).

La batterie :

Les batteries sont des ensembles des cellules électrochimiques (accumulateur) connectées en série, qui convertissent l'énergie chimique en énergie électrique. Les cellules de la batterie se composent de deux électrodes (positive et négative).

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

- A la charge, l'énergie électrique fournie par le générateur est stockée dans les cellules sous forme d'énergie chimique.
- A la décharge, l'énergie qu'il stocke dans la batterie et convertie en énergie électrique lorsque la batterie est reliée à un circuit comportant une charge.
- Les batteries les plus utilisées pour les générateurs autonomes sont en générale de type au plomb-acide et nickel-cadmium. [48]

4.2. Système hybride

Un système énergétique hybride combine au moins deux sources d'énergie renouvelables avec une ou plusieurs sources d'énergie conventionnelles. Les sources d'énergie renouvelables comme le photovoltaïque et les éoliennes ne peuvent fournir de l'électricité en permanence, mais compte tenu de leur complémentarité, leur combinaison permet d'obtenir une production d'électricité en continu. Les systèmes énergétiques hybrides sont souvent autonome et indépendants des grands réseaux interconnectés et sont souvent utilisés dans des endroits éloignés.

Différentes alimentations dans un système hybride peuvent être connectées dans deux configurations, architecture de bus CC et architecture de bus CA. [49]

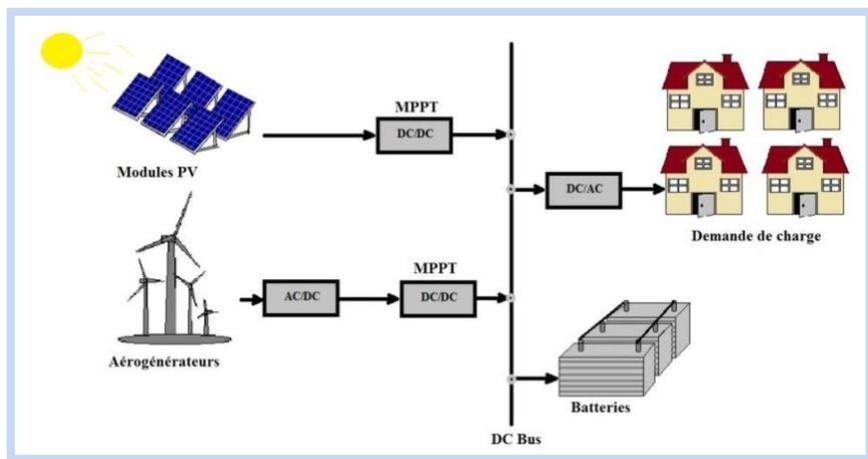


Figure 20 - Schéma synoptique du système hybride étudié

Un système hybride se compose des composants suivants :

- Un système générateur,
- Un système de régulation ,
- Un système de stockage ,

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

- Des équipements de puissance,
- Une charge,

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

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

- Le photovoltaïque assez constant et d'un seuil bas .
- L'éolien, très variable.

Le système de régulation se chargera donc de faire fonctionner le système générateur en un point optimal pour la charge des batteries. [51]

4.3. Les systèmes raccordés au réseau

Un système photovoltaïque connecté au réseau, est un système raccordé directement au réseau électrique à l'aide de convertisseurs. Ce type de système offre beaucoup de facilités pour le (producteur/consommateur) puisque c'est le réseau qui se charge du maintien de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité

Dans notre travail nous nous sommes intéressées aux systèmes raccordés au réseau électrique pour les avantages suivants : C'est le réseau qui s'occupe du maintien de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité.

1. Absence de batteries, on ne stocke plus l'énergie on l'injecte directement dans le réseau local ou national.

2. Toute l'énergie est récupérée. [54]

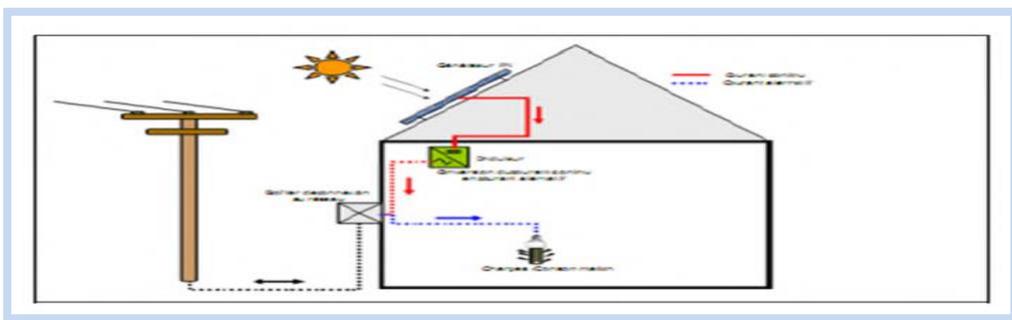


Figure 21 - Structure d'un système photovoltaïque connecté au réseau [55].

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

- **Installations photovoltaïques 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.

Un générateur photovoltaïque connecté au réseau n'a pas besoin de stockage d'énergie et élimine donc le maillon le plus problématique (et le plus cher).

C'est en fait le réseau dans son ensemble qui sert de réservoir d'énergie.

Il y'a deux formes d'injection du courant photovoltaïque :

- Soit injecter la totalité de la production photovoltaïque au réseau.
- Soit injecter le surplus de la production photovoltaïque au réseau

Deux compteurs d'énergie sont nécessaires :

Un compteur comptabilise l'énergie achetée au fournisseur d'énergie (consommation) et un autre compteur mesure l'énergie renvoyée sur le réseau électrique lorsque la production dépasse la consommation.

Un troisième compteur est ajouté dans le cas où l'énergie produite est injectée en intégralité dans le réseau (compteur de non-consommation).

Un onduleur pour la conversion du courant continu des panneaux en alternatif, et ce dernier doit être homologué par la compagnie d'électricité qui va recevoir ce courant. Afin de s'assurer sur sa qualité « sinusoïdale » [55].

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

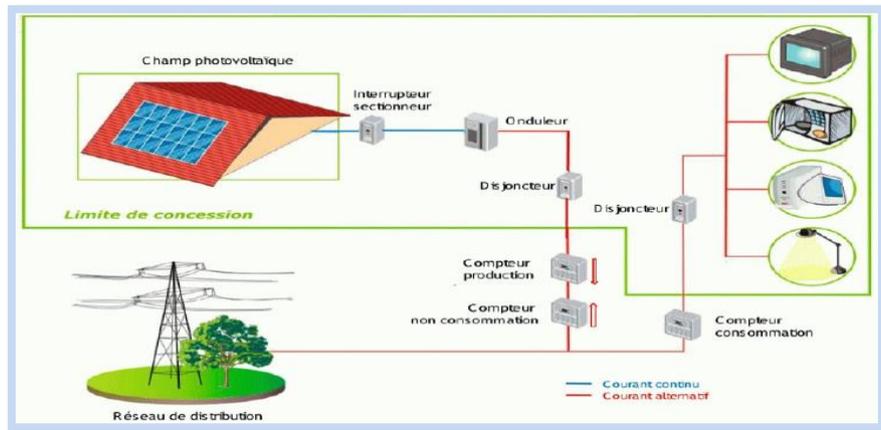


Figure 22 - installation photovoltaïque raccordée au réseau.

- **Classification des systèmes photovoltaïques connectés au réseau :**

Une première classification des (CPCR) en fonction de leur taille peut être faite de la manière suivante [56]:

- a. Système de petite taille ($P_w=1$ à 10 KW) : Pour des applications sur les toits de maisons individuelles ou d'institutions publiques telles que les écoles, parkings, ... Elles se connectent au réseau basse tension
- b. Système de taille moyenne ($P_w=10$ à 100 KW) : Ce type de système peut se trouver installé et intégré sur un édifice, sur un toit ou une façade. Il peut être connecté à la basse ou à la moyenne tension du réseau de distribution électrique selon sa taille
- c. Système de grande taille ($P_w > 500$ KW) : Ce sont des systèmes centralisés et sont des propriétés de compagnies d'électricité. On peut également classer ces systèmes selon qu'ils soient munis de batteries de stockage ou non.

- **Composition d'un système photovoltaïque raccordé réseau :**

Un système PV est un ensemble complet d'équipements PV pour transformer la lumière du soleil en électricité, généralement il se compose de cinq éléments principaux : le générateur PV, la batterie, le régulateur, le convertisseur et la charge.

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

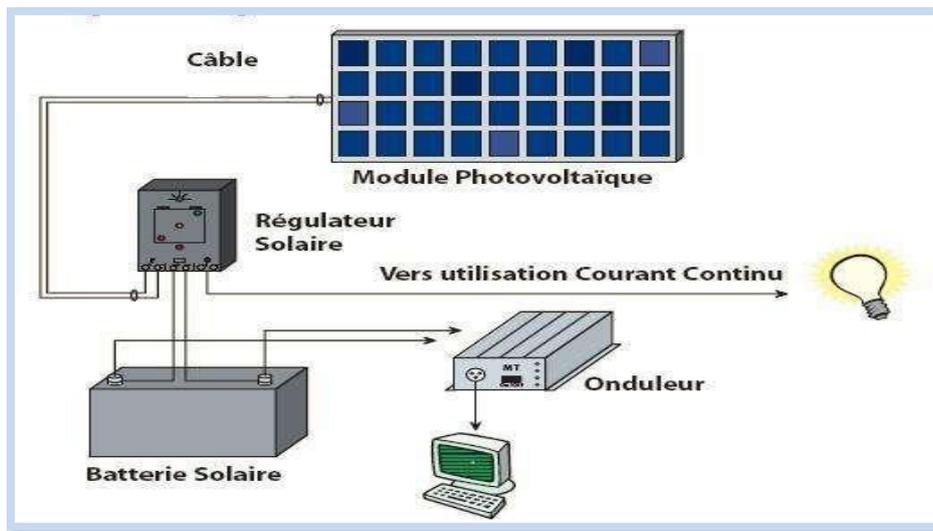


Figure 23 : Les constituants d'un système Pv.

1. Le panneau PV :

L'ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles constitue le module ou le panneau PV, ce dernier est chargé de capter les rayons solaires et les convertir en électricité

2. La batterie solaire :

Elle est chargée de stocker le courant produit par le panneau pour assurer l'autonomie du système, sa durée de vie est définie par nombre de cycle (charge-décharge), elle se caractérise par :

- Ampérage en Ampère heure (Ah).
- Voltage en Volt.

3. Le régulateur (contrôleur de charge) :

Les régulateurs sont mis en place dans le souci d'assurer une longévité de système de stockage, donc de minimiser le coût d'installation.

En effet, un régulateur est chargé de :

- Contrôler la surcharge et la décharge de la batterie.
- Assurer l'optimisation du système du point de vue énergétique où il constitue un nœud de transfert d'énergie entre le module, le stockage et l'utilisation.

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

Pour fonctionner, un régulateur a besoin d'un indicateur qui l'informe sur l'état de charge des batteries. Il doit maintenir l'état de charge des batteries entre deux seuils : un seuil haut et un autre bas. Le choix des seuils dépend des caractéristiques des batteries et des conditions d'utilisation. Un régulateur est défini par : Ampérage en Ampère et Voltage en Volt.

4. Le convertisseur d'énergie (onduleur) :

Il est chargé de convertir le courant continue développé par le solaire, vers un courant alternatif, et de voltage de branchement (12 V, 24 V...48V) vers 220 V, il est défini par : le voltage de branchement en volt et la puissance nominale à développer en watt.

5. La charge :

Elle représente l'ensemble des fonctions assurées par divers appareils reliés au système photovoltaïque. Vu les contraintes sur le rendement énergétique des systèmes photovoltaïque, il est importé de définir les critères sur lesquels s'appuiera un choix des charges à utiliser : charge continue ou alternative. [57]

5. Système photovoltaïque et ses défauts

Pour alimenter les gares et les villes, des centaines voire des milliers de panneaux solaires sont installés pour répondre à leurs besoins électriques. Ces appareils ne sont pas à l'abri de pannes qui pourraient altérer leur fonctionnement normal. Lorsqu'une batterie ou un groupe de batteries tombe en panne, cela endommage gravement le panneau de batterie d'une part et affecte l'efficacité de la production d'autre part. Par conséquent, pour éviter tout dommage lié à ces défauts, il est nécessaire d'identifier tout type de défaut et de le corriger.

Dans ce titre, nous examinons certains des défauts bien connus dans la littérature qui affectent GPV. Nous nous intéresserons également à leur effet sur les propriétés électriques.

5.1. Classification des défauts pour la modélisation

Les défauts présentés dans le Tableau suivant ont été classés selon leurs origines, intrinsèques ou extrinsèques au système PV. Deux groupes de défauts ont été formés [52] :

- Défauts intrinsèques

- Défauts extrinsèques

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

Suivant l'emplacement de leur apparition dans une installation PV (panneaux, connexion, câblage, système de protection). Par contre, selon la démarche de modélisation retenue, on cherche à classer les défauts selon l'étape à laquelle ils interviennent. En tenant compte de cette hiérarchie. Montre la succession des composants considérés dans la démarche. La première colonne donne la nature des différents défauts intervenant dans les étapes. Et la deuxième colonne donne la dénomination de chaque catégorie de défauts pour la modélisation, puis le reste son degré d'impact sur la production du système ou criticité (1 : faible, 2 : moyen, 3 : fort), Son occurrence (1 : faible, 2 : moyenne, 3 : forte), Ainsi que sa phase d'origine (C : Conception ; I : Installation ; E : Exploitation) .

- **Défauts intrinsèques :**

Nature des défauts	Dénomination de défauts	CRI	OCC	ORI
Inversion des liaisons de sortie	Module arraché ou cassé	3	3	I,c
Module male ou pas ventilé	Echauffement des cellules	2	2	I,c
Bouchons de presse-étoupe manquant sur la boîte de connexion	Corrosion des liaisons , pénétration d'eau	1	3	I,c
Dégradation de interconnexions	Détérioration des joints, diminution des performances, augmentation de la résistance série, de la chaleur	2	1	E
Modules de performances différentes	Diminution des performances du champ	1	3	I,E
Fissure	Perte d'étanchéité, détérioration des cellules, diminution du shunt,	3	1	E

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

	diminution des performances			
Pénétration de l'humidité	Hot-Spot, augmentation du courant de fuite, corrosion, perte d'adhérence et d'isolation, diminution de la résistance de CC à la terre	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>E</i>
Panneaux inaccessibles	Nettoyage impossible	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>C,I</i>
Sortie par le bas des boîtes de connexions impossible	Mauvais câblage	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>C,I</i>
Couple galvanique dû au mélange de matériau de la jonction module /support	Corrosion	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>C</i>
Inclinaison des modules trop faible	Stagnation d'eau, dépôt de terre, prolifération de champignons, problème d'étanchéité	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>C,I</i>

Tableau 1 - Défauts intrinsèques intrinsèques du générateur PV

- **Défauts extrinsèques :**

Nature des défauts	Dénomination des défauts	<i>CRI</i>	<i>OCC</i>	<i>ORI</i>
Air marin	Corrosion	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>I</i>
Corrosion du cadre des modules	Détérioration des cellules	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>E</i>
Foudre	Détérioration des modules	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>E</i>

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

Délaminage	Diminution des performances, échauffement	3	1	E
Pylônes, cheminée, sable, neige etc.	Perte de puissance	2	1	E
Ombre partiel (feuilles d'arbre, déjection)	Détérioration de cellules , hot Spot	2	1	E
Faiblesse des structures au vent	Module arraché ou cassé	3	1	C,I
Déformation du cadre	Infiltration d'eau	3	1	E

Tableau 2 - Défauts extrinsèques du générateur PV

- **Défaut de mismatch et d'ombrage :**

Le défaut Mismatch est le défaut causé par l'association des cellules photovoltaïques qui ne sont pas homogènes ou mal assorties (ces cellules photovoltaïques possèdent une caractéristique non identique), ce déséquilibre dégrade le point de puissance maximum, et conduit à une baisse de production du module PV. On doit donc veiller à ce que les paramètres de l'équation soient identiques pour l'ensemble des cellules, car le changement dans l'un des paramètres de l'équation conduira à la dissemblance de caractéristique des cellules [53].

Le défaut d'ombrage est un cas particulier du défaut Mismatch car sa présence conduit à une diminution de l'ensoleillement reçu par les cellules PV. Le défaut Mismatch peut être dû à une légère variance des caractéristiques des cellules PV à la fabrication mais aussi aux différentes conditions de fonctionnement causées par les différents défauts. Le tableau suivant représente l'impact des différents défauts sur les paramètres de la cellule [53].

<i>NATURE DES DÉFAUTS</i>	<i>PARAMÈTRES AFFECTÉS</i>
Module arraché ou cassé Ombre : Feuille d'arbre, déjections, Sable, pollution, neige etc.	Variation de photo courant (I_{ph})
Echauffement des cellules	Variation de la température (T)

Chapitre II : étude générale sur le dimensionnement d'un système énergétique photovoltaïque

Dégradation des interconnexions Fissure Corrosion des liaisons entre cellules	Variation de la résistance série (R_s)
Modules de performances différentes Détérioration des cellules Pénétration de l'humidité	Variation de tous les paramètres des cellules

Tableau 3 - impact des différents défauts sur les paramètres de la cellule

Conclusion

Ce chapitre a permis d'explorer en détail les différents types d'installations photovoltaïques, les éléments essentiels qui composent un système photovoltaïque et les défauts courants que ces systèmes peuvent rencontrer. Nous avons examiné les différentes configurations d'installations photovoltaïques. Chaque type d'installation présente des caractéristiques spécifiques en termes d'efficacité, de coût et d'intégration architecturale. Il est crucial de choisir la configuration appropriée en fonction des contraintes spécifiques du site et des objectifs du projet. Ensuite, nous avons analysé les éléments constitutifs d'un système photovoltaïque, tels que les panneaux solaires, les onduleurs, les dispositifs de stockage d'énergie et les dispositifs de surveillance. Chaque élément joue un rôle clé dans la conversion de l'énergie solaire en électricité utilisable et dans l'optimisation de la performance du système.

**Chapitre III : étude de cas concernant
dimensionnement de générateur PV pour
alimenter un petit village**

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

1. Dimensionnement pour le cas de village isolé complètement sans réseaux d'électricité

1.1. Identification du site à alimenter

Nous avons proposé d'alimenter un petit village situé au sud est d'Oran par un système photovoltaïque; dont le nombre des habitats est trop limité uniquement huit maisons), et contiens aussi une cafétéria et un petit magasin alimentaire. Le plan de masse de ce village est donné par la figure 1, vu la situation du site, à savoir près de la commune D'EL-Ançor sur la route d'Oran, l'installation photovoltaïque doit être placée à côté du village.

Superficie d'une maison : $15 \times 6 = 90m^2$.

Superficie du magasin alimentaire : $9 \times 8 = 72 m^2$.

Superficie de la cafétéria : $15 \times 8 = 120m^2$

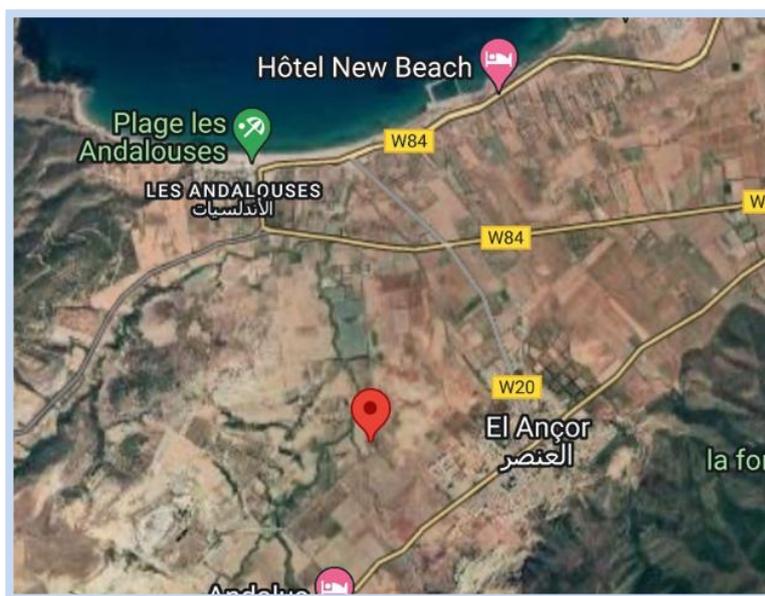


Figure 24 - Localisation du village près d'El-Ançor (wilaya d'Oran).

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

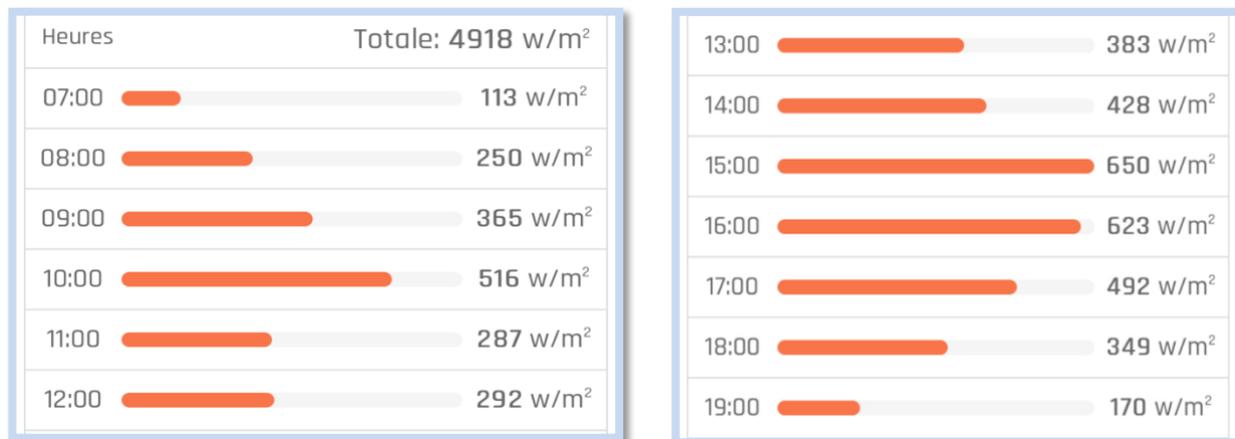


Figure 25- La moyenne de Rayonnement solaire pour notre site
de 7h :00 à 19h :00

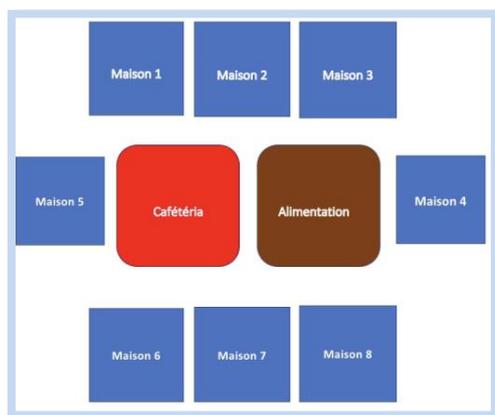


Figure 25- Plan de masse
de notre village

1.2. Evaluation du besoin énergétique du site

La charge totale du site sera obtenue en faisant la somme des charges des maisons, la charge du magasin alimentaire et la charge de la cafétéria; comme le montre les tableaux ci-dessous.

Situation des maisons :

Equipement	Nombre	Puissance unitaire (W)	Durée d'utilisation (h)	Puissance (W)	Energie moyenne journalière (Wh/j)

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

Lampe Led	5	60	6	300	1800
Lampe extérieure fluo	1	20	1	20	20
Téléviseur	2	100	5	200	1000
Ordinateur	1	250	3	250	70
Réfrigérateur	1	150	4	150	3600
Routeur wifi	1	10	24	10	240
Recepteur satellite	1	20	5	20	100
Machine a laver	1	2000	0.5	2000	1000
Clim	1	1000	1	1000	1000
				3950 W	9510 wh/j

Tableau 4 - Consommation énergétique journalière, cas d'une maison.

- La puissance totale d'une maison est : 3950w
- La puissance totale des maisons : 31600w
- La consommation énergétique journalière d'une maison 9510 wh/j
- La consommation énergétique journalière des maisons : 76080 wh/j

Situation du magasin alimentaire:-

Equipement	Nombre	Puissance Unitaire (W)	Durée D'utilisation (H)	Puissance (W)	Energie Moyenne Journalière (Wh/j)
Lampe fluo	5	20	6	100	600
Ordinateur	2	250	8	500	4000
Clim	1	1000	4	1000	4000
Réfrigérateur	3	9	10	270	2700
Congélateur	2	100	8	200	1600
				2070 W	12900 Wh/j

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

Tableau 5 - Consommation énergétique journalière, cas de l'alimentation.

La puissance totale des équipements du magasin -est de 2070 W.

La consommation énergétique journalière du magasin est de 12900 Wh/j.

Situation de la cafétéria :

Equipement	Nombre	Puissance Unitaire (W)	Durée D'utilisation (h)	Puissance (W)	Energie moyenne journalière (Wh/j)
Lampe (spots)	8	20	12	160	1920
téléviseur	1	100	9	100	900
réfrigérateur	1	90	24	90	2160
Machine a café	1	1000	10	1000	10000
Clim	1	1000	3	1000	3000
Serveur satellite	1	20	9	20	180
				2370 w	18160 wh/j

Tableau 6 - Consommation énergétique journalière, cas d'une cafétéria.

- **La puissance totale des équipements est de la cafétéria : 2370 w**
- **La consommation énergétique journalière de la cafétéria : 18160 wh/j**

D'après les tableaux 4, 5 et 6 la puissance totale du site est :

Puissance totale du site :

$$316\ 00 + 2\ 070 + 2\ 370 = 360\ 40\ W$$

La consommation énergétique moyenne journalière du site est :

$$760\ 80 + 129\ 00 + 181\ 00 = 107\ 140\ Wh/j$$

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

1.3. Calcul de la puissance crête du site

$$P_c = \frac{E_{\text{elect max}} \times p_i}{E_{i \text{ min}} \times p_r}$$

P_c : puissance crête des champs photovoltaïques (Kwc)

$E_{e \text{ max}}$: énergie journalière consommé maximale (Kwh/j)

PR : ratio de performance (sans unité)

$E_{i \text{ min}}$: énergie solaire journalière la plus faible de l'année (Kwh/m /j)

P_i : puissance d'éclairage (1 Kwh/m)

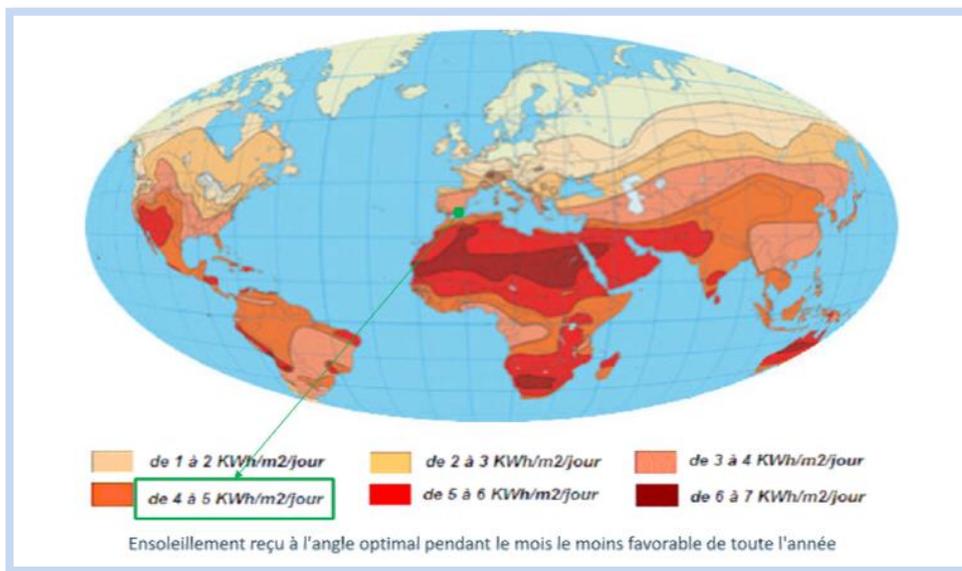


Figure 26 - L'ensoleillement reçu à l'angle optimal le mois le moins favorable de l'année [61].

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

L'énergie solaire journalière par unité de surface pour notre site qui se trouve dans la région d'Oran qui est de 4 à 5 kwh/m²/jour.

	Modules très peu ventilés	Modules peu ventilés	Modules ventilés	Modules bien ventilés
Ratio de performance PR	0.55	0.60	0.65	0.70

Tableau 7 - Les Valeurs du Ratio de Performance PR d'une installation photovoltaïque autonome en fonction de la ventilation des modules. [61]

Nous considérons que le champ photovoltaïque sera normalement ventilé PR=0.65

Puissance du champ photovoltaïque	0 – 500 W _c	500 W _c – 2 kW _c	2 kW _c – 10 kW _c	> 10 kW _c
Tension recommandée	12 VDC	24 VDC	48 VDC	> 48 VDC

Tableau 8 - Tension recommandée pour les systèmes photovoltaïques.[61].

$$Pc = (107,140 \times 1) / (5 \times 0,65) = 32,96 \text{ kW}_c$$

1.4. Calcul du nombre de panneaux

Caractéristiques électriques du panneau solaire utilisé :

Type: **N6P305W-320W poly crystalline**

Puissance maximale : P_{max}=320 W

Tension maximal U_{max}=36,7 V

Courant maximal I_{max}= 8,72 A

Courant de court-circuit I_{cc}=9,32 A

a) Calcule de nombre de panneaux N_m :

Pour déterminer le nombre des modules N_m, on se référera à la puissance crête du champ et aux caractéristiques du module.

Le nombre des modules se détermine en faisant le rapport de la puissance crête du champ et celle d'un module

$N_m = P_c / \text{puissance crête unitaire de module.}$

$$N = 32960 / 320 = 104 \text{ panneaux}$$

$$N = 104 \text{ panneaux}$$

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

b) Nombre des panneaux en séries :

Tension de fonctionnement :

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels (modules et récepteurs), aussi, il dépend des niveaux de puissance et d'énergie nécessaire selon le type d'application.

Puissance du champ dépasse 10 KW, la tension recommandée est $U=79$ V

La centrale sera constituée d'un seul champ de 104 panneaux montés de la façon suivante :

$$N_s = U / u_n = / = \text{panneaux en série}$$

$$N_s = 79 / 36,7 = 2,15$$

$$N_s = 3 \text{ panneaux en série}$$

c) Nombre des branches parallèles :

$$N_{bp} = N / N_s = 104 / 3 = 34,6$$

$$N_{bp} = 35 \text{ branches en parallèles}$$

1.5. Dimensionnement du système de stockage

a) Choix des batteries et leurs capacités :

Le choix des batteries au plomb peut être attribué aux avantages suivants :

Bonne maîtrise de la technologie.

- Le rapport qualité / prix.
- Bonne résistance aux températures extérieures.
- Rendement supérieur à 90%.

Dans le but de prolonger leur durées de vie, il faut éviter les décharges profondes et de les maintenir les batteries chargées quand on les stoïques.

Pour une utilisation normale en Algérie, on peut admettre une autonomie de 3 à 4 jours [1].

b) Calcul de la capacité batterie

La capacité nominale de la batterie, notée C, quantifie l'autonomie de la batterie vis-à-vis de la consommation électrique des équipements.

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

Profondeur de décharge : Une batterie ne doit pas être déchargée en dessous d'un certain seuil. Sinon, on risque de l'endommager. La proportion de la capacité de décharge s'écrit : $Pd = 1 - Ech$

Pd : profondeur de décharge (sans unité)

Ech nombre compris entre 0 et 1, exprime l'état de charge de la batterie.

$$PD = 1 - ECH = 0.8 \text{ cas d'une batterie solaire}$$

c) **La capacité nominale d'une batterie est donnée par l'expression :**

$$Cu = Cj \times Nj / U \times Pd$$

$Cj/\text{champ} = Cj / \text{nombre de champ}$

Cj/champ : *Energie moyenne journalière requise par champ*

Nj : nombre de jour d'autonomie

Pd : profondeur de décharge

$$C = EC.N/PD.U = 107140 \times 3 / (0,8 \times 79) = 5085,05 Ah$$

d) **Nombre de batteries à utiliser :**

Les batteries choisies sont au plomb de 12V et 200 Ah de capacité chacune ce qui implique que le nombre total des batteries sera de :

$$NBat = 5084,05 / 200 = 26 \text{ batteries}$$

Ça nous donne 26 batteries, 7 batteries en série et 4 branches parallèles.

1.6. Dimensionnement du régulateur

$$I_{max} = Pc / U = 32960 / 79 = 413,79 A$$
$$I_{max} = 413,79 A$$

1.7. Dimensionnement de l'onduleur

Les caractéristiques de l'onduleur à utiliser doivent être compatibles avec une installation ayant une tension de 79 V, une demande de puissance de 36,040 KW.

On prendra un $\cos \theta = 0,8$ et $\sin \theta = 0,6$ pour le dimensionnement.

La puissance réactive est donc égale à

$$Q = P \times (0,6/0,8) = (36,040) \times (0,6/0,8) = 27,08 \text{ kvar}$$

Puissance apparente de site est de :

$$S = (P^2 + Q^2)^{(1/2)} = [(36,040)^2 + (27,047^2)]^{1/2} = 45,05 \text{ kva}$$

$$S = 45,05 \text{ kva}$$

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

1.8. Choix des câbles

Pour assurer le transfert d'énergie du module au contrôleur de charge, vous ne pouvez pas utiliser n'importe quel câble. Les câbles solaires sont conçus pour résister aux conditions particulières liées à leur utilisation. Ce sont les seuls produits qui garantissent une longue durée de vie tout en minimisant les pertes d'énergie.

a) Calcul du courant de sortie d'un panneau à sa puissance nominale

$$I = P/U = 320 / 36,7 = 8,71 A$$

Détermination des sections des conducteurs entre les panneaux et le boîtier de raccordement :

$$\begin{aligned} \Delta U &= 79 \times 0,02 = 1,58V \text{ donc } R_{\text{max de la ligne}} R = \Delta U / I = 1,58 / 8,71 \\ &= 0,18 \Omega \end{aligned}$$

$S = p(L/R) = (1,6 * 10^4 - 8 * 20) / 0,18 = 1,77 \text{ mm}^2$ ce qui correspond à une section normalisée de

$$S = 2,5 \text{ mm}^2$$

b) Calcul du courant circulant entre les batteries et l'onduleur

Puissance crête du champ photovoltaïque :

$$I = P_c / U = 32960 / 79 = 417,21 A$$

-Détermination de la section des conducteurs entre le boîtier de raccordement et l'onduleur :

$$\begin{aligned} \Delta U &= 79 \times 0,02 = 1,58V \text{ donc } R_{\text{max de la ligne}} R = \Delta U / I = 1,58 / 417,21 \\ &= 0,003 \Omega \end{aligned}$$

$S = p(R/L) = (1,6 * 10^4 - 8 * 20) / 0,003 = 106 \text{ mm}^2$ ce qui correspond à une section normalisée de $S = 115 \text{ mm}^2$

c) Calcul du courant circulant entre les batteries et l'onduleur lorsque celui-ci débite sa puissance nominale :

$$I_{\text{max batteries}} = P_{\text{max onduleur}} / U_{\text{batterie}} = 2300 / 79 = 29,1 A$$

Détermination de la section des conducteurs entre le parc batterie et l'onduleur

$$\Delta U = 79 \times 0,02 = 1,58V \text{ donc } R_{\text{max de la ligne}} R = \Delta U / I = 1,58 / 29,1 = 0,054 \Omega$$

$$S = p(R/L) = (1,6 * 10^4 - 8 * 8) / 0,054 = 2,37 \text{ mm}^2$$

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

1.9. Superficie du champ photovoltaïque

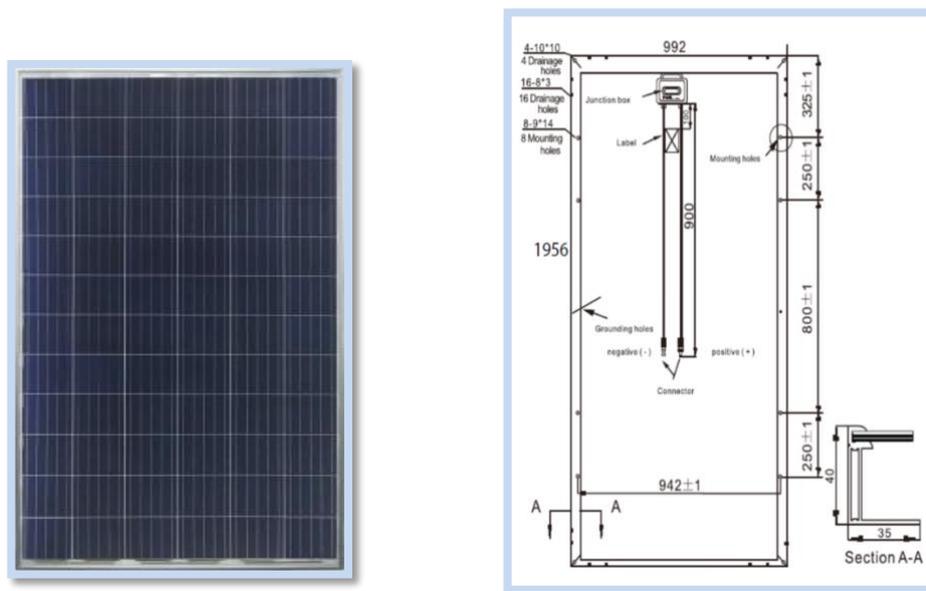


Figure 27 - Dimensions du panneau pour le modèle N6P305W-320W.

D'après la Figure, la longueur du panneau solaire utilisé est de 1,956 m et sa largeur est de 0,992m d'où une section de 1,94 m², d'où la surface totale occupée par tous les panneaux solaires est de :

$$S = N \times S_m = 1,94 \times 104 = 201,176 \text{ m}^2$$

1.10. Devis total de l'installation par une entreprise algérienne

N	Désignation	Prix	Quantité	Prix total
1	Panneaux photovoltaïques de type N6P305W-320W	32000,00 Da	104	3640000,00 Da
2	Batterie au plomb 12v 200 ah	50000,00 Da	26	1300000,00 Da
3	Onduleur 79 v 36,040 kw	140000,00 Da	1	140000,00 Da
4	Frais supplémentaires (armoire , structure , câblage)	700000,00 Da	1	700000,00 Da

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

			Sans tva	5780000,00 Da
			TVA (19%)	1098200,00 Da
			Total	6878200,00 Da

Tableau 9 - Devis par King énergie Algérie.

2. Dimensionnement pour le cas de village connecté au réseau (système hybride)

2.1. Introduction

Pour réduire la pression sur les stations de distribution conventionnelles, auxquelles nous sommes habitués. Nous connecterons notre système photovoltaïque au réseau public, qui a été étudié dans tous les aspects de la sécurité, de la maintenance, de la consommation, de l'installation et du raccordement. Le système sera utilisé par lui-même. Quant à la transition vers le réseau public traditionnel, ce n'est que pendant la période de pointe de la consommation d'électricité que l'on a besoin de plus d'électricité. Comme mentionné dans le titre précédent m, l'énergie excédentaire générée par le système photovoltaïque est vendue au poste de distribution de SONELGAZ. Dans ce titre, nous allons connecter notre système photovoltaïque à un petit village virtuel pour fonctionner à El-Ançor.

Quant à l'installation et au dimensionnement de notre système, nous nous appuyerons sur le surplus d'énergie généré par notre propre consommation et vente directe, c'est à dire un système sans stockage (pas de batteries). Ceci afin d'éviter le coût élevé des batteries et d'obtenir des conditions de système PV économiques raisonnables.

2.2. Localisation de village

Il a également été étudié au premier titre. Le système à installer dans un village «Al-ançor » à Oran avec les coordonnées suivantes :

Site : Oran- El Ançor

Latitude : 35° 40' 59.99" N

Longitude : 0° 51' 59.99" E

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

L'inclinaison : $45,56^\circ$

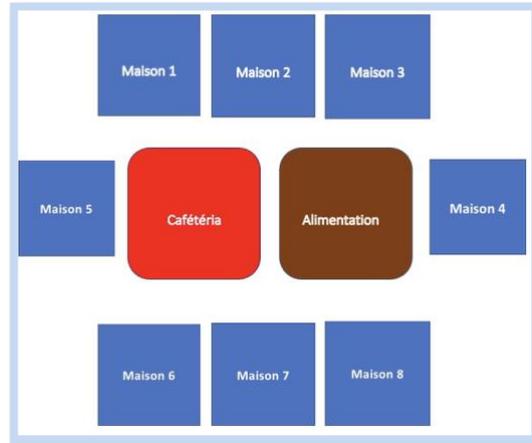


Figure 28- Plan de masse
de notre village

2.3. Evaluation du besoin énergétique du site

La charge totale du site sera obtenue en faisant la somme des charges des maisons, la charge de la l'alimentation générale et la charge de la cafétéria présentée dans les tableaux suivants.

Situation des maisons :

- La puissance totale d'une maison est : 3950w
- La puissance totale des maisons : 31600w
- La consommation énergétique journalière d'une maison 9510 wh/j
- La consommation énergétique journalière des maisons : 76080 wh/j

Situation de l'alimentation :

- La puissance totale des équipements est de la superette est de 2070 W
- La consommation énergétique journalière de la superette est de 12900 Wh/j

Situation de la cafétéria :

- La puissance totale des équipements est des cafétérias : 2370 w
- La consommation énergétique journalière de la cafétéria : 18160 wh/j

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

D'après les tableaux 4, 5 et 6 la puissance totale du site est :

Puissance totale du site : $316\ 00 + 2\ 070 + 2\ 370 = 360\ 40\ W$

La consommation énergétique moyenne journalière du site est : $760\ 80 + 129\ 00 + 181\ 00 = 107\ 140\ Wh/j$

2.4. Calcul de la puissance crête du site

$$P_c = \frac{E_{\text{elect max}} \times p_i}{E_{i \text{ min}} \times p_r}$$

P_c : puissance crête des champs photovoltaïques (Kwc)

$E_{e \text{ max}}$: énergie journalière consommé maxima (Kwh/j)

P_R : ratio de performance (sans unité)

$E_{i \text{ min}}$: énergie solaire journalière la plus faible de l'année (Kwh/m /j)

P_i : puissance d'éclairement (1 Kwh/m)

$P_c = (107,140 \times 1) / (5 \times 0,65) = 32,96\ KWc$

2.5. Calcul du nombre de panneaux

Caractéristiques électriques du panneau solaire utilisé :

Type: **N6P305W-320W poly crystalline**

Puissance maximale : $P_{\text{max}}=320\ W$

Tension maximal $U_{\text{max}}=36,7\ V$

Courant maximal $I_{\text{max}}= 8,72\ A$

Courant de court-circuit $I_{\text{cc}}=9,32\ A$

Calcul de nombre de panneaux N_m :

Pour déterminer le nombre des modules N_m , on se référera à la puissance crête du champ et aux caractéristiques d'un module.

Le nombre des modules se détermine en faisant le rapport de la puissance crête du champ et celle d'un module

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

$N_m = P_c / \text{puissance crête unitaire de module}$. [61]

$$N = 32960 / 320 = 104 \text{ panneaux}$$

$$N = 104 \text{ panneaux}$$

Nombre des panneaux en séries :

Tension de fonctionnement :

Le choix de la tension nominale d'un système dépend de la disponibilité de matériels (modules et récepteurs), aussi, il dépend des niveaux de puissance et d'énergie nécessaire selon le type d'application.

Puissance du champ dépasse 10 KW, la tension recommandée est $U = 79 \text{ V}$

La centrale sera constituée d'un seul champ de 104 panneaux montés comme ça :

Nombre des panneaux en séries :

$N_s = U / u_n = \text{panneaux en série}$

$$N_s = 79 / 36,7 = 2,15$$

$$N_s = 3 \text{ en série}$$

Nombre des branches parallèles :

$$N_{bp} = N / N_s = 104 / 3 = 34,6$$

$$N_{bp} = 35 \text{ branches en parallèles}$$

2.6. Dimensionnement du régulateur

$$I_{max} = P_c / U = 32960 / 79 = 413,79 \text{ A}$$

$$I_{max} = 413,79 \text{ A}$$

2.7. Dimensionnement de l'onduleur

Les caractéristiques de l'onduleur à utiliser doivent être compatibles avec une installation ayant une tension de 79 V, une demande de puissance de 36,040 KW.

On prendra un $\cos \theta = 0,8$ et $\sin \theta = 0,6$ pour le dimensionnement.

La puissance réactive est donc égale à

$$Q = P \times (0,6/0,8) = (36,040) \times (0,6/0,8) = 27,08 = \text{kvar}$$

Puissance apparente de site est de :

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

$$S = (P^2 + Q^2)^{1/2} = [(36,040)^2 + (27,047^2)]^{1/2} = 45,05 \text{ kva}$$
$$S = 45,05 \text{ kva}$$

Les éléments de protection électrique

Fusible pour les branches

La tension de fonctionnement d'un fusible est $1,15 \times V_{co} \times \text{modules}$ raccordés en série

$$1,15 \times 36,7 \times 3 = 126,61 \text{ V}$$

Le calibre des fusibles $1,5 \times I_{cc} \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times I_{cc}$ $1,5 \times 9,32 \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times 9,32$.

$13,98 \text{ A} \leq \text{calibre fusible} \leq 18,64 \text{ A}$

Nous choisirons un fusible de type gG de calibre 17 A de taille et de tension maximale 150 VCC.

Sectionneur DC :

Sectionneur (3 panneaux en série et 35 branche en parallèle)

Tension assignée du fusible $\geq 1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$ Tension assignée du fusible $\geq 1,15 \times 36,7 \times 3 = 124,5 \text{ V}$

Intensité nominale $\geq 1,5 \times I_{cc} \times N_{BP}$ Intensité nominale $\geq 1,5 \times 9,32 \times 35 = 489,3 \text{ A}$

Nous choisirons un interrupteur sectionneur de type N3-4-500-S1-DC constitué de 2 pôles ; d'intensité nominale 500 A ; et de tension maximale 1000Vcc.

Parafoudre DC

Le parafoudre DC choisi est de type SPD-DCMZ-TYPV3 de :

Courant maximal : 40 kA

Tension maximale : 1000 V dc

Le parafoudre AC :

Choisi est de type SPD-ACMZ-TY4V de :

Courant maximal : 40 kA $U_{CPV} = 320 \text{ V}$

Disjoncteur différentiel AC 6000/220V :

Nombre de pôles : 1P+NCalibre 32A

Tension : 220VAC

Conforme à la norme IEC61009

Compteur (Smart meeter)

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

Un compteur bidirectionnel Permet de contrôler la quantité d'énergie prélevée sur le réseau et celle qui est réinjectée dans le réseau grâce au système d'énergie solaire.

Remarque : On n'a pas utilisés des batteries car notre installation est déjà connectée au réseau public, donc, s'il y a un mauvais fonctionnement du système photovoltaïque (éclairage ou température) notre charge consomme l'énergie de ce réseau et donc on calcule la différence pour la facture. Pour cela on a utilisé un compteur de « production » et de « consommation ».

2.8. Devis total de l'installation par une entreprise algérienne

N	Désignation	Prix	Quantité	Prix total
1	Panneaux photovoltaïques de type N6P305W-320W	32000,00 Da	104	3640000,00 Da
2	Onduleur connecté au réseau 79 v 36,040 kw	140000,00 Da	1	140000,00 Da
3	boîte de jonction IP65 le coffret doit être muni : 2 fusibles et porte fusible	8000,00 Da	1	8000,00 Da
4	coffret DC le coffret doit être muni 1 Fusible et porte fusible 1 Parafoudre 1 Interrupteur sectionneur	190000,00 Da	1	190000,00 Da
5	coffret AC le coffret doit être muni 1 Disjoncteur différentiel 1 Parafoudre	8 700 Da	1	8 700 Da

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

6	piquet de mise à la terre et toutes sujétions de bonne exécution	5 000 Da	1	5 000 Da
7	Tube à LED avec réglette T8 18W	870 Da	147	127890 Da
8	Frais supplémentaires (armoire , structure , câblage)	700000,00 Da	1	700000,00 Da
			Sans tva	4648300,00 Da
			TVA (19%)	883177,00 Da
			Total	5531477,00 Da

Tableau 10 - Devis par King énergie Algérie.

3. Comparaison entre les deux systèmes (autonome – hybride)

Type de système	Prix total de l'installation	Différence de coût
Autonome (non connecté)	6878200,00 Da	
Hybride (connecté au réseau)	5531477,00 Da	1433430,00 Da

Tableau 11 - différence de coût entre les deux systèmes.

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

Discussion de résultat

Après avoir effectué le dimensionnement, on a calculé le coût final des deux systèmes (autonome – hybride), nous pouvons noter la différence perçue dans le coût final du système hybride.

Et de ce résultat, nous pouvons être certains que le système hybride reste la meilleure solution pour alimenter les villages isolés en énergie électrique.

Les barrières au développement des énergies renouvelables (énergie photovoltaïque) en Algérie :

Dans la plupart des pays, le déploiement des ER fait face à plusieurs contraintes ou barrières qui entravent leur diffusion et développement. Une large littérature s'est focalisée sur cette question afin de déterminer et d'analyser les principales barrières et les mesures à prendre pour les surmonter. Dans cette littérature plusieurs types de barrières sont dressés, en l'occurrence, nous avons choisi de mettre en lumière que les barrières adaptées au contexte de l'Algérie. Celles-ci peuvent être regroupées en quatre grandes catégories : barrières économiques ; techniques ; institutionnelles et socioculturelles [64].

Les barrières économiques :

Les barrières économiques représentent de véritables freins pour la promotion des ER en Algérie. Les barrières économiques concernent essentiellement [64]:

- La structure du marché de l'électricité qui se caractérise par le monopole de l'Etat sur la production et la distribution, en plus du prix bas de l'électricité qui est subventionné en Algérie;
- Les coûts importants des technologies des ER rendent le prix de l'énergie issue de celles-ci très élevé, ce qui constitue une barrière à l'entrée du marché de l'électricité;
- Le manque de financement, de la part du secteur public ou privé, pour l'investissement dans les ER. Malgré les efforts consentis en Algérie en terme de financement des ER, les montants alloués sont insuffisants par rapport à d'autres pays comme l'Inde ou le Maroc.
- La défaillance du marché pour internaliser le coût des externalités négatives dans le prix de l'électricité (issues de l'utilisation des méthodes conventionnelles de production de l'électricité, i.e. pollution, gaz à effet de serre...).

Les barrières techniques :

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

Les barrières techniques ou technologiques sont liées aux activités de recherche et développement dans les ER. Dans le cas de l'Algérie ce type de barrière concerne les points suivants [64] :

- Le manque de subventions aux instituts de recherche pour développer technologies des ER;
- Les risques et l'incertitude sur le design, l'installation et la performance de certaines technologies;
- La production des nouvelles technologies est souvent très coûteuse, ce qui limite leur utilisation et propagation;
- Le manque de compétences nécessaires pour le développement, la fabrication et la maintenance des technologies ;
- La disponibilité des ressources naturelles (le vent, le soleil...), par exemple en Algérie, contrairement à l'énergie solaire, l'éolien ne peut pas être développé à grande échelle, faute de la faible exposition de la plupart des régions au vent.

Les barrières institutionnelles :

Les barrières institutionnelles sont d'ordre stratégique, réglementaire ou politique pour le développement et la promotion des ER. Les pouvoirs publics en Algérie ont dû revoir la politique des ER à cause des motifs suivants [64] :

- Ambiguïté des stratégies et des politiques publiques;
- Manque ou absence des réglementations pour gérer le secteur des ER;
- La bureaucratie des administrations en charge de ces questions;
- Procédures administratives inadéquates;
- Non implication des parties prenantes dans la promotion des ER

Les barrières socioculturelles :

Les barrières socioculturelles peuvent à leur tour constituer de véritables obstacles à la diffusion des ER. Elles sont présentes dans beaucoup de recherches et concernent notamment [64] :

- Le manque d'information des ménages sur les impacts environnementaux négatifs et les coûts/avantages induits par l'utilisation de chaque type de technologie;
- L'absence d'incitations envers les consommateurs pour l'utilisation des ER;
- Le manque de sensibilisation de la société sur les questions de pollution et d'environnement, génère un comportement d'insouciance vis-à-vis de ces questions;

Chapitre III : étude de cas concernant dimensionnement de générateur PV pour alimenter un petit village

- Le pouvoir d'achat très bas des ménages influence le choix des priorités des dépenses.

Conclusion

Dans ce dernier chapitre nous avons proposé une installation photovoltaïque connectée aux réseaux pour alimentation un petit village dans le site géographique « El Ançor – Oran ». Nous avons dimensionné les différents composants de l'installation Photovoltaïque à savoir les panneaux photovoltaïques, les batteries, et les câbles. C'est fait en utilisant la méthode préconisée qui est la méthode du mois le plus défavorable, la plus utilisée dans des sites de ce genre. Cette installation garantit une meilleure alimentation des villages, ce qui devrait d'éviter les déclenchements. D'ailleurs, nous avons fait une étude économique de cette installation du système PV autonome et celui hybride; dans le but d'estimer le cout budgétaire du projet et sa faisabilité de déploiement sur le plan financière. De plus on a discuté les différentes barrières de développement de l'énergie renouvelable et spécialement l'énergie photovoltaïque en Algérie.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le recours au photovoltaïque se pose en termes de choix par rapport à une autre source d'électricité telle que la source éolienne, le groupe électrogène, etc.

Le photovoltaïque présente au jour d'aujourd'hui d'énormes avantages par l'effet que l'installation principalement celle des modules est simple et adaptée à des besoins énergétiques divers et les coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits.

Cette technologie présente les qualités sur le plan écologique car le système photovoltaïque est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu si ce n'est que l'occupation de l'espace pour l'installation de grande dimension.

Décider de faire appel aux énergies renouvelables, c'est aussi procéder à un investissement. Une telle démarche demande dans tous les cas, une estimation la plus précise et la plus rigoureuse possible de la rentabilité économique de la décision et rappelons qu'un bon dimensionnement photovoltaïque est une nécessité pour assurer une alimentation efficace du logement, du site, etc.

Ainsi pour ce qui concerne notre site pour lequel, l'alimentation devra être permanente, nous avons étudié trois configurations à savoir :

Cas A : Dimensionnement pour le cas de village non connecté au réseau (système autonome).

Cas B : Dimensionnement pour le cas de village connecté au réseau (système hybride).

Après avoir exposé la méthodologie utilisée pour le dimensionnement et procéder au dimensionnement proprement dit du site étudié au chapitre 3, et d'après les résultats obtenus nous avons conclu que la configuration B est la plus appropriée.

Nous avons identifié et examiné les défauts courants des systèmes photovoltaïques. Parmi ces défauts, on retrouve les problèmes liés aux panneaux solaires tels que les défauts de fabrication, les pertes de rendement, les ombres, ainsi que les problèmes associés aux onduleurs et aux dispositifs de stockage. Une compréhension approfondie de ces défauts est essentielle pour garantir le bon fonctionnement et la durabilité à long terme des installations photovoltaïques. La mise en œuvre réussie d'un système photovoltaïque nécessite une conception soignée, une sélection appropriée des composants et une installation professionnelle. De plus, une maintenance régulière et une surveillance continue sont essentielles pour identifier et résoudre rapidement les défauts potentiels afin d'optimiser la performance et la durée de vie du système.

En conclusion, ce chapitre souligne l'importance des différents types d'installations photovoltaïques, des éléments constitutifs d'un système photovoltaïque et de la gestion des défauts pour assurer le bon fonctionnement et la rentabilité des installations solaires. Une

Conclusion générale

approche approfondie et technique est nécessaire pour tirer pleinement parti du potentiel de l'énergie solaire et contribuer à la transition vers une énergie propre et durable.

Pour les travaux futurs nous préconisons le développement d'un programme informatique qui permettra un dimensionnement automatique d'un champ photovoltaïque en introduisant les différentes données. En plus, il faut inclure l'aspect économique dans cette étude pour viabiliser l'utilisation de cette énergie propre et inépuisable dans le but de réaliser un développement durable.

Bibliographie

- [1] These Si chaib Amel « étude numérique d'une énergétique solaire avec capteur plan à air et stockage thermique pour une maison solaire » mémoire de magister en énergie mécanique, université de tlemcen 2012-2013
- [2] <https://www.projetecolo.com/avantages-et-inconvenients-de-l-energie-solaire-117.html>
- [3] Othmane zaza - Mémoire de fin d'étude master 2 - 2019-2020
- [4] <https://www.algerie-eco.com/wp-content/uploads/2019/10/desertec-energie-solaire-du-desert-sahara.jpg>
- [5] Khaled ferokhous 2009 - Historique des éoliennes <http://www.lei.ucl.ac.be/multimedia/eLEE/FR/realisations/EnergiesRenouvelables/index.htm>
- [6] <https://pixabay.com/fr/photos/moulins-à-vent-arc-en-ciel-5643293/>
- [7] Dr benamara nabil – université Sidi Bel abbés - énergie éolienne page 3-4 année 2021-
- [8] <https://energieplus-lesite.be/theories/eolien8/rendement-des-eoliennes/>
- [9] https://www.researchgate.net/figure/Composition-dune-eolienne-a-axe-horizontal-HAWT_fig2_345486932
- [10] Thèse de doctorat de l'université de Nantes présentée par Frédéric poitiers pris de : Site Internet de l'Association Danoise de l'Industrie Eolienne.
- [11] Guide ADEME de l'énergie éolienne – juin 2013 page 10.11 .
- [12] BRIHMAT Fouzia, « Etude conceptuelle d'un système de conditionnement de puissance pour une centrale Hybride PV/Eolien », thèse déc. magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou, Electrotechnique 2011
- [13] [Oriol Planas](#) - Ingénieur Technique Industriel, spécialité mécanique Date de publication : 10 décembre 2009, <https://energie-nucleaire.net/energie/energie-thermique>
- [14] <https://www.mon-energie-verte.com/centrale-thermique-fonctionnement-et-typologie/>
- [15] <https://www.choisir.com/energie/articles/134449/lenergie-thermique-comment-ca-marche-et-a-quoi-sert-ce-type-denergie>
- [16] <https://amp.rts.ch/decouverte/sciences-et-environnement/environnement/centrales-thermiques/8949202-avantages-et-inconvenients-des-centrales-thermiques.html>

[17] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/la-cogeneration>

[18] Pr. Mohamed Boumechraz. (2015_2016), Énergies et Environnements, Département de science et technologie , UNIVERSITÉ MOHAMED KHIDER BISKRA, p 39

[19] Mémoire du theme de Maximisation de la production d'un système photovoltaïque à base de MPPT soumis à des éclairagements différents : <https://prezi.com/>

[20] D. Madet : "Hydraulique et géothermie : principes physiques et modalités d'utilisation" – Ecole d'été de physique – Caen – août-septembre 2001

[21] Lien vers la page web : L'énergie houlomotrice surfe sur la vague

[22] Institut francophonie pour le developement durable page 1

[23] Guide pour le montage de projets de petite hydroélectricité, ADEME, 2003

[24] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-que-l-energie-hydraulique>

[25] Amplitude des marées. Reproduit avec l'autorisation du Bureau de météorologie, Gouvernement australien (2018)

[26] M . RINOUDO , j.p . Joseleau . 2008 . La Biomasse Végétale Peut-Elle Concurrencer Le Pétrole .

[27] Les Cahiers Du Clip N° 10 – Biomasse Et Electricité La Biomasse D'origine Agricole – 1999.

[28] Research In Thermochemical Biomass Conversion -- An International Conference, Phoenix, Arizona, U.S.A. Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis, 1988, P.155-155

[29] A.Debdoubi., A.El Amarti., E.Ecolacio, A.Maarouft et K.Haboubi. Biomasse Matériaux densifiés combustibles .

[30] F.E. Robertson. *Biocombustibles*. traduit par Cavrois, SCM, Ed: US, (1979).

[31] CH. DARRAS, "Modélisation de systèmes hybrides Photovoltaïque / Hydrogène :

Applications site isolé, micro-réseau, et connexion au réseau électrique dans le cadre du projet PEPITE (ANR PAN-H)", Thèse de Doctorat en Energétique et Génie des Procédés, L'UNIVERSITE DE CORSE, France, 2011.

[32] <http://www.clg-verne-rueil.ac-versailles.fr/spip.php?article33>

[33] <https://www.greenwatt.fr/chauffage-geothermique-avantages-inconvenients/>

[34] <https://geothermie-soultz.fr/guide/avantages-et-inconvenients-de-la-geothermie/>

[35] Ressources naturelles du Canada, Les systèmes photovoltaïques (guide de l'acheteur), division de l'énergie renouvelable et électrique, n°M92-28/2001F, Ottawa, Canada 2002.

[36] <https://plum.fr/blog/energie-ecologie/geothermie-avantages-et-inconvenients/amp/>

[37] Notes de cours, Azoui, Master Energies renouvelables 2019/2020 - http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/azzoui_boubaker/files/chapitre2_systeme_photovoltaique-partie1.pdf

[38] <https://www.ssf-asso.org/systemes-pv-autonomes/>

[39] Smail semaoui. Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque . Thèse de magister université de ouargla 2004.

[40] <http://www.capenergie.fr/catalogue/site-isole/stockage-et-pompage-deau/au-fil-du-soleil.html>

[41] Cherifi Farida- Grim Naima , Mémoire de Fin d'Etude de Master académique , Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[42] Abou El-Maaty Metwally Metwally Aly Abd El-Aal. Modelling and simulation of a photovoltaic fuel cell hybrid system , Thèse de doctorat de l'Université de Kassel, Germany, 2005.

[43] [Http://www.webreview.dz/IMG/pdf/Dimensionnement et Optimisation Technico-economique dun Systeme dEnergie Hybride Photovoltaique - Eolien avec Systeme de Stockage.pdf](http://www.webreview.dz/IMG/pdf/Dimensionnement_et_Optimisation_Technico-economique_dun_Systeme_dEnergie_Hybride_Photovoltaique_-_Eolien_avec_Systeme_de_Stockage.pdf)

[44] Notes de cours, Azoui, Master Energies renouvelables 2019/2020 - http://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/azzoui_boubaker/files/chapitre2_systeme_photovoltaiquepartie1.pdf

[45] <https://www.ssf-asso.org/systemes-pv-autonomes/>

[46] Smail semaoui. Etude de l'électrification d'un village avec de l'énergie solaire photovoltaïque. Thèse de magister université de ouargla 2004.

[47] [Http://www.capenergie.fr/catalogue/site-isole/stockage-et-pompage-deau/au-fil-du-soleil.html](http://www.capenergie.fr/catalogue/site-isole/stockage-et-pompage-deau/au-fil-du-soleil.html)

[48] CHERIFI Farida GRIM Naima. Mémoire de Fin d'Etude de Master académique , Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome, Université Mouloud Mammeri de Tizi- Ouzou.

[49] Abou El-Maaty Metwally Metwally Aly Abd El-Aal. Modelling and simulation of a photovoltaic fuel cell hybrid system, Thèse de doctorat de l'Université de Kassel, Germany, 2005.

[50] [Http://www.webreview.dz/IMG/pdf/Dimensionnement et Optimisation Technico-economique_dun_Systeme_dEnergie_Hybride_Photovoltaïque__Eolien_avec_Systeme_de_S](http://www.webreview.dz/IMG/pdf/Dimensionnement_et_Optimisation_Technico-economique_dun_Systeme_dEnergie_Hybride_Photovoltaïque__Eolien_avec_Systeme_de_Stockage.pdf)tockage.pdf

[51] Ferrah billel, Etude d'un système Hybride (photovoltaïque –éolien), thèse de master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA 2015.

[52] KHENFER Amar, Etude et conception d'une architecture en vue de la détection de défauts dans une installation photovoltaïque, Mémoire de Magister, UNIVERSITE SETIF 1, 09/12/2014

[53] Seif Eddine NAFFOUTI, Dimensionnement et commande d'un hacheur parallèle alimenté par une source photovoltaïque, these pour obtenir le diplôme national d'ingénieur , Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, 02/07/2012.

[55] Benjmaa « Modélisation et commande d'un système de stockage photovoltaïque» Mémoire de Magister, Université Abou-Bakr Belkaid –TLEMCEM, 2012.

[56] M. BOUKLI-HACENE Omar. Conception et réalisation d'un générateur photovoltaïque muni d'un convertisseur MPPT pour une meilleure gestion énergétique. Mémoire de magister. Université ABOU BAKR BELKAID de Tlemcen, 2011.

[57] F. Bouchtouche cherfa «Etude et réalisation d'une centrale photovoltaïque connectée au réseau de distribution électrique BT». Mémoire de magister, Ecole National Polytechnique Elharach, 2004.

[58] GOAR Noureddine, MAHMOUDI Abdelkader, ‘‘ Réalisation d'un convertisseur DC/DC dans une chaine de conversion d'énergie photovoltaïque ‘’, Mémoire de Master, Université Larbi Ben M'Hidi - Oum El Bouaghi, Juin 2017.

[59] [Http://newewa-sn.com/images/telechargements/systeme_solaire.pdf](http://newewa-sn.com/images/telechargements/systeme_solaire.pdf)

[60] Melle HENNOUS Chahrazet Melle AIT-ALLALA Kahina, DIMENSIONNEMENT ET INSTALLATION D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE (APPLICATION A LA F.G.E.I.), Mémoire fin d'études master 2009 université de tizi-ouzou.

[61] INSTALLATIONS PHOTOPVOLTAIQUE :Système PV non raccordé au réseau

[62] <https://fr.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/29962>

[63] <https://www.batteries-prod.fr/les-avantages-dune-batterie-lithium-ion-vs-batterie-au-plomb/#:~:text=Un%20accumulateur%20classique,une%20solution%20d%27acide%20sulfurique.>

[64] Les barrières au développement des énergies renouvelables en Algérie BENAOUAG charaf eddine Amine 1, RAHMANI Mounir 2 , Université Ferhat Abbass Sétif 1, Publié le: 31/07/2019 <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/276/9/3/98091>