

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université *Blida 1*

Département Des énergies renouvelables



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de master

Option : conversion photovoltaïque

Thème

Modélisation d'un micro grid (champ photovoltaïque, réseau, hydrogène) a M'Sila a l'aide de logiciel HOMER

Travail réalisé par

- BEGHADAD BEY Mohamed Redha
- BENAMAR Takieddine

Soutenu devant le jury composé par

Monsieur T. DOMAZ	M.A.A	U.BLIDA 1	Président
Monsieur M. BENAHMED	M.C.B	U.BLIDA 1	Examinator
Dr. M. BOUZAKI	M.C.B	U.BLIDA 1	Promoter

Juin 2024

ملخص

يستكشف مشروع السنة النهائية هذا فكرة استخدام النظام الكهروضوئي لتشغيل مدينة نموذجية، من أجل جعل النظام أكثر كفاءة، وقد تم تنفيذ شبكة صغيرة تسمح بإنتاج الهيدروجين، ودراسة الجوانب الفنية والاقتصادية والبيئية. تم تنفيذ المشروع.

كما استكشفت أيضًا أنواعًا مختلفة من أنظمة الطاقة الشمسية والمعدات اللازمة لتعمل، والشبكات الصغيرة وطرق تشغيلها والهيدروجين مع بعض طرق إنتاجه، مما سمح بتحديد حجم النظام بشكل أفضل وأكثر دقة.

تتيح لنا نمذجة النظام باستخدام برنامج HOMER إجراء تقييم فني واقتصادي للسعر الإجمالي المقدر للمشروع وإطفاء المشروع والأرباح المحتملة، وفي الختام، يهدف هذا المشروع إلى تسليط الضوء على الدور الهام للشبكات الصغيرة في جعل أنظمة الطاقة أكثر كفاءة من خلال التحكم تدفق الطاقة وبالتالي تقليل الخسائر، بالإضافة إلى ذلك، نهدف أيضًا إلى استكشاف الفوائد التي يمكن أن يوفرها الهيدروجين، سواء كان اقتصاديًا أو بيئيًا.

الكلمات المفتاحية: الكهروضوئية، الشبكة المصغرة، الهيدروجين، HOMER، التحليل الكهربائي، الطاقة المتجددة.

Résumé

Ce projet de fin d'études explore l'idée d'utiliser un système photovoltaïque pour alimenter une ville prototype. Afin de rendre le système plus efficace, une micro-réseau a été mis en place, permettant la production d'hydrogène. Une étude des aspects techniques, économiques et environnementaux du projet a été réalisée.

Il explore également différents types de systèmes solaires et l'équipement nécessaire à leur fonctionnement, les micro-réseaux et leurs modes de fonctionnement, ainsi que l'hydrogène et certaines méthodes de production de celui-ci. Cela a permis un dimensionnement du système plus précis et mieux adapté.

La modélisation du système à l'aide du programme HOMER nous permet de réaliser une évaluation technique et économique du prix total estimé du projet, de l'amortissement du projet et des bénéfices potentiels. En conclusion, ce projet vise à souligner le rôle important des micro-réseaux dans l'amélioration de l'efficacité des systèmes énergétiques en contrôlant le flux d'énergie, réduisant ainsi les pertes. De plus, nous visons également à explorer les avantages que l'hydrogène peut offrir, qu'ils soient économiques ou environnementaux.

Les mots clés : photovoltaïque, micro-réseau, hydrogène, HOMER, électrolyse, énergies renouvelables.

Abstract

This final-year project explores the idea of using a photovoltaic system to power a prototype city, in order to make the system more efficient, a micro grid has been implemented which allows for hydrogen production, a study of the technical, economic and environmental aspects of the project has been conducted.

It also explored different types of solar systems and the equipment necessary for them to function, micro grids and their modes of operation and hydrogen with some methods of producing it, this allowed for a better and more accurate system sizing.

The system modeling using the HOMER program allows us to conduct a technical and economical evaluation of the project's total estimated price, project amortization and potential profits, to conclude, this project aims to highlight the important role micro grids in making energy systems more efficient by controlling energy flow thus lowering the losses, in addition, we also aim to explore the benefits that hydrogen can provide, being economical or environmental.

Key words : photovoltaic, micro grid, hydrogen, HOMER, electrolysis, renewable energy.

Remerciement

Tout d'abord, rendons grâce à Dieu le Tout-Puissant pour nous avoir accordé le courage, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à **Mr Mustapha BOUZAKI** pour avoir accepté de superviser notre travail. Nous lui sommes particulièrement reconnaissants pour ses compétences scientifiques, ses qualités humaines et sa disponibilité constante

Nous tenons à remercier les membres du jury, Monsieur **T. DOMAZ** et Monsieur **M. BENAHMED**, pour leur temps, leur expertise et leur précieuses contributions ont grandement enrichi notre projet de fin d'étude.

Nous exprimons également notre profonde gratitude à **Mr BECHENINA Yacine** et à tous nos enseignants pour nous avoir transmis les fondements de la science. Nous remercions sincèrement le président et les membres du jury d'avoir accepté de faire partie de cette commission.

Enfin, nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenus et encouragés tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Je souhaite dédier ce travail à ma famille, dont l'amour, le soutien et les sacrifices inébranlables ont été le moteur de mon parcours. Votre encouragement et votre confiance en mes capacités ont été une source constante d'inspiration. Je suis profondément reconnaissant pour les innombrables sacrifices consentis afin de garantir ma réussite, et je dédie cette réalisation à chacun d'entre vous.

À mes chers amis, votre présence, vos rires et nos expériences partagées ont enrichi ma vie de manière infinie. Ensemble, nous avons surmonté des défis, célébré des victoires et grandi en tant qu'individus. Votre soutien indéfectible et votre amitié ont rendu ce voyage encore plus mémorable et précieux.

BEGHDAD BEY Mohamed Redha

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils trouvent ici, l'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études. A toute ma famille Et A toutes mes amies, Et surtout A tous les gens qui me connaissent et que je connais Et à tous ceux qui aiment le bon travail et ne reculent pas devant les obstacles de la vie.

BENAMAR takie ddine

Table des matières

Introduction générale.....	1
1. Chapitre : Généralité des Systèmes Solaires Photovoltaïques	2
1. Introduction	3
2. Energies renouvelables	3
3. L'énergie Solaire	3
3.1. Energie Solaire photovoltaïque	3
3.2. Énergie Solaire thermique :	4
4. Potentiel solaire en Algérie :.....	4
5. L'effet photovoltaïque.....	5
6. Rayonnement Solaire	5
7. Les types des rayonnements solaires.....	5
7.1. L'irradiation directe	6
7.2. L'irradiation diffuse	6
7.3. L'irradiation réfléchie.....	6
8. Appareil de mesure de la radiation solaire	6
8.1. Pyranomètre.....	6
8.2. Pyrromètre.....	7
8.3. Pyrhéliomètre.....	7
9. Définition d'un system photovoltaïque	7
10. Types des system photovoltaïque	8
10.1. Système autonome.....	8
10.2. System connecté au réseau	8
10.3. Système hybride.....	9
11. Cellules photovoltaïques	10
12. Les paramètres des cellules photovoltaïques	10
12.1. Courant de court-circuit (I_{cc}).....	11
12.2. Tension à circuit ouvert (V_{co}).....	11
12.3. Puissance maximale (P_{max})	11
12.4. Facteur de forme (FF)	11
12.5. Le rendement (η).....	11
13. Composants d'un system photovoltaïque.....	11

13.1.	Génération photovoltaïque.....	11
13.2.	Batteries.....	13
13.3.	Onduleur	14
13.4.	Le régulateur	15
14.	Conclusion	16
2.	Chapitre 2 : Présentation de Micro Grids et Hydrogène vert.....	17
1.	Introduction	18
2.	Historique du développement des micro grids.....	18
3.	Définition d'un micro grid	19
3.1.	Concept des micro grid.....	19
3.2.	Classification des micro grid (micro réseaux)	19
3.3.	Les différentes structures des micro-réseaux.....	20
3.4.	Contrôle des micro grid	21
4.	Avantages et inconvénients des micro grids	21
5.	Comparaison entre les réseaux traditionnel et micro grid	22
6.	Les grands projets micro grids dans le monde.....	22
7.	Etat de l'art sur l'hydrogène	23
	Article 1:	23
	Article 2:	23
	Article 3:	24
	Article 4:	24
8.	Caractéristiques de l'hydrogène	25
9.	Utilisations industrielles de l'hydrogène	25
9.1.	Industrie électronique	25
9.2.	Hydrogène carburant	25
9.3.	Industries chimiques.....	25
10.	Avantages et inconvénients de l'hydrogène	26
11.	Méthodes de production d'hydrogène	26
11.1.	Vaporeformage	26
11.2.	L'oxydation partielle	27
11.3.	Production par électrolyse de l'eau	27
12.	Electrolyse	27
13.	Electrolyse de l'eau	27
13.1.	Historique de l'électrolyse de l'eau.....	27

13.2.	Principe de l'électrolyse de l'eau	28
14.	Introduction de l'idée	28
15.	Conclusion	29
3.	Chapitre 3 : Dimensionnement de Ville Prototype	30
1.	Introduction	31
2.	Description du site et des données	31
2.1.	Gisement solaire	31
2.2.	La température	32
3.	Dimensionnement analytique	33
3.1.	Bilan des puissances.....	33
3.2.	Les Habitations.....	33
3.3.	Les aménagements publics :.....	35
3.4.	Calcule de la puissance d'onduleur :.....	39
3.5.	Calcule de nombre des panneaux :	39
4.	Conclusion.....	39
4.	Chapitre 4 : Modélisation de système avec logiciel HOMER	40
1.	Introduction	41
2.	Logiciel HOMER.....	41
3.	La structure électrique	41
4.	Profile de production	42
4.1.	Système photovoltaïque	43
4.2.	Réseau.....	43
5.	Profile de consommation	44
6.	Hydrogène produit	44
7.	Emissions de CO ₂	45
8.	Discussion sur l'aspect économique.....	45
8.1.	Le prototype.....	45
8.2.	Système alimenté par le réseau	47
8.3.	Hydrogène	48
8.4.	Les bénéfices.....	48
8.5.	Amortissement de projet	48
9.	Perspective.....	48
10.	Conclusion	49
	Conclusion générale.....	50

Liste des figures

Figure 1-1 : Répartition mondiale du rayonnement solaire annuel en KWh/m2.....	4
Figure 1-2 : Le potentiel solaire en Algérie. (Source : MEM, 2016)	5
Figure 1-3 : Types de rayonnements solaires.	6
Figure 1-4 : pyranomètre.....	6
Figure 1-5 : Pyrradiomètre.	7
Figure 1-6 : pyréliomètre.....	7
Figure 1-7 : système photovoltaïque autonome.	8
Figure 1-8 : système photovoltaïque connecte aux réseaux.	9
Figure 1-9 : système photovoltaïque hybride.	9
Figure 1-10 : cellules photovoltaïques.	10
Figure 1-11 : évolution de la caractéristique $I=f(v)$ et $p=f(v)$	10
Figure 1-12 : Panneau en silicium monocristallin.	12
Figure 1-13 : Panneau en silicium polycristallin.....	12
Figure 1-14 : Panneau en silicium amorphe.	12
Figure 1-15 : Batteries au plomb-acide.	13
Figure 1-16 : Batteries au Nickel-cadmium.	13
Figure 1-17 : Batteries au lithium-ion.	13
Figure 1-18 : Batteries au sodium-ion.	13
Figure 1-19 : Onduleur de chaine.	14
Figure 1-20 : Onduleur central.	14
Figure 1-21 : micro-onduleur.	15
Figure 1-22 : Onduleur a batterie.	15
Figure 1-23 : régulateur PWM	16
Figure 1-24 : régulateur MPPT	16
Figure 2-1 : schéma d'un micro grid.	19
Figure 2-2 : principe d'électrolyse de l'eau. [17].....	28
Figure 2-3 : schéma simple de système.....	29
Figure 3-1 : localisation géographique de M'Sila.	31
Figure 3-2 : irradiation solaire mensuelle à M'Sila.....	32
Figure 3-3 : irradiation solaire mensuelle à M'Sila	32
Figure 3-4 : température moyenne mensuelle à M'Sila	33
Figure 4-1 : schéma de system.....	42
Figure 4-2 :production électrique mensuelle.....	43
Figure 4-3 :l'énergie produite par le système photovoltaïque.	43
Figure 4-4 :Energie fournie par le réseau.	43
Figure 4-5 : hydrogène produite en un an	44

Figure 4-6 : production mensuelle d'hydrogène.....	44
Figure 4-7 : Résumé des coûts de prototype.	46
Figure 4-8 : flux de trésorerie de prototype.	46
Figure 4-9 : Résumé des coûts de système alimente par le réseau.	47
Figure 4-10 : flux de trésorerie de système alimente par le réseau.....	47
Figure 4-11 : coût d'hydrogène produit	48

Liste des tableaux

Tableau 2-1 : les avantages et des inconvénients de micro grid.....	21
Tableau 2-2 : comparaisant entre les réseaux traditionnel et micro grid.....	22
Tableau 2-3 : avantages et inconvénients de L'hydrogène.....	26
Tableau 3-1 : nombre et type d'habitation.....	33
Tableau 3-2 : La consommation dans un appartement F3.	34
Tableau 3-3 : La consommation dans un appartement F4.	34
Tableau 3-4 : La consommation dans une villa R+1.	34
Tableau 3-5 : La consommation dans une villa R+1.	35
Tableau 3-6 : La consommation dans une villa R+3.	35
Tableau 3-7 : nombre et type des aménagements.	35
Tableau 3-8 : La consommation dans Ecole primaire.....	36
Tableau 3-9 : La consommation dans CEM.	36
Tableau 3-10 : La consommation dans Lycée.	36
Tableau 3-11 : La consommation dans Poste police.....	37
Tableau 3-12 : La consommation dans Polyclinique.....	37
Tableau 3-13 : La consommation dans Mosquée.....	37
Tableau 3-14 : La consommation dans contre commercial.	38
Tableau 3-15 : La consommation dans Une poste.	38
Tableau 4-1 :profile de production de l'Energie.	42
Tableau 4-2 : Energie consommée par le prototype	44
Tableau 4-3 : émissions de CO ₂	45

Introduction générale

Les combustibles fossiles ont été la principale source d'énergie pendant plus d'une décennie, mais étant donné que ces combustibles sont finis, il est inévitable que le monde finisse par manquer de combustibles fossiles. Pour se préparer à un tel événement, une recherche de sources d'énergie alternatives et renouvelables a commencé. De nos jours, de nombreuses ressources renouvelables sont exploitées pour générer de l'énergie, la plus abondante de ces ressources étant l'énergie solaire.

Les panneaux photovoltaïques sont utilisés pour convertir l'énergie solaire en énergie électrique. Grâce à ce type de technologie, la dépendance aux combustibles fossiles diminue. Cependant, ces derniers sont toujours consommés à un rythme rapide, et l'empreinte carbone continue d'avoir un impact négatif sur l'environnement. Afin de résoudre ces problèmes, il est nécessaire d'améliorer l'efficacité de la consommation énergétique. Pour atteindre cet objectif, des technologies de micro grid sont en cours de développement.

Micro grids, ou Les micro-réseaux en français, sont de petits réseaux électriques capables de fonctionner soit en connexion avec le réseau principal, soit de manière indépendante. Ils peuvent intégrer diverses sources d'énergie et distribuer l'électricité aux charges connectées en fonction des besoins énergétiques à chaque instant, ce qui permet une distribution d'énergie plus efficace. Grâce à cette gestion optimisée, les micro-réseaux présentent des pertes d'énergie réduites par rapport aux autres systèmes. L'énergie excédentaire peut être injectée dans le réseau principal ou même dans d'autres micro-réseaux. Elle peut également être stockée dans des batteries ou convertie en d'autres formes d'énergie, telles que l'hydrogène.

Notre objectif dans cette mémoire est de proposer un système de micro grid alimenté par un champ photovoltaïque et le réseau électrique. L'énergie excédentaire produite par le champ photovoltaïque serait utilisée pour produire de l'hydrogène, qui serait ensuite vendu. Les bénéfices pourraient alors être utilisés pour amortir le coût total du projet.

Cette thèse contient quatre chapitres. Le premier parle des systèmes photovoltaïques en général, la deuxième traite des micro-réseaux et de l'hydrogène, le troisième présente un dimensionnement du champ photovoltaïque nécessaire pour alimenter la ville prototype, et enfin, le quatrième chapitre propose une modélisation du micro-réseau à l'aide du programme HOMER.

1. Chapitre : Généralité des Systèmes Solaires Photovoltaïques

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous abordons les concepts essentiels dans le domaine de l'énergie solaire, avec un accent particulier sur l'énergie photovoltaïque. L'énergie solaire, produite par le soleil, est une source d'énergie renouvelable et inépuisable. Elle est l'une des formes d'énergie les plus propres et les plus abondantes disponibles. L'énergie solaire peut être exploitée pour diverses applications, notamment le chauffage, l'éclairage et la production d'électricité. La méthode la plus courante pour convertir l'énergie solaire en électricité est l'utilisation de systèmes photovoltaïques. Les systèmes PV capturent la lumière du soleil et la convertissent directement en énergie électrique, offrant une solution durable pour répondre aux besoins énergétiques croissants tout en minimisant l'impact environnemental.

2. Energies renouvelables

L'expression énergie renouvelable désigne une énergie produite à partir d'une source quasi inépuisable, parce qu'elle se renouvelle très rapidement. Les énergies renouvelables sont aussi nommées énergies vertes ou énergies propres, car elles ont la particularité d'être moins polluantes que les énergies non renouvelables. On distingue différents types d'énergie renouvelable : l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie géothermique, les bioénergies.[1]

- L'énergie solaire, produite à l'aide de panneaux solaires ou photovoltaïques, exploite la chaleur et la lumière du Soleil.
- L'énergie éolienne est produite en exploitant la force du vent.
- L'énergie hydraulique exploite les fleuves, les courants marins, les vagues, les marées, etc.
- L'énergie géothermique en utilisant la chaleur des sols de la Terre. Enfin, les bioénergies sont produites à partir de la biomasse.

3. L'énergie Solaire

Énergie produite à partir de la conversion du rayonnement solaire, l'énergie solaire, peut être convertie en chaleur ou en électricité.

On distingue deux moyens principaux de convertir l'énergie solaire :

Conversion en électricité : énergie solaire photovoltaïque.

Conversion en chaleur : énergie solaire thermique.

3.1. Énergie Solaire photovoltaïque

Désigne l'énergie récupérée et transformée directement en électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux solaires photovoltaïques. L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par Antoine Becquerel, grand père de Henri Becquerel qui découvrit en 1896 la radioactivité. Elle résulte de la conversion directe dans un semi-conducteur (le silicium, le CdTe, l'AsGa, le CIS, etc.) des photons en électrons. L'énergie solaire photovoltaïque est également appelée énergie photovoltaïque.

3.2. Énergie Solaire thermique :

L'énergie solaire thermique peut être utilisée de façon passive ou active. On parle de solaire thermique passive pour les installations permettant de chauffer directement un bâtiment par ses surfaces vitrées (effet de serre) et/ou l'accumulation de chaleur sur des murs exposés au rayonnement solaire. Le solaire thermique active consiste à récupérer la chaleur du soleil dans des panneaux solaires ou capteurs solaires thermiques dans lesquels circule un fluide caloporteur, ce fluide chauffé dans les panneaux solaires peut stocker sa chaleur dans un ballon à accumulation qui alimente ensuite un circuit de chauffage.[2]

4. Potentiel solaire en Algérie :

L'Algérie bénéficie chaque année d'une énergie solaire parmi les plus abondantes au monde, atteignant environ 5,2 millions de milliards de kWh/an. Cela équivaut à 430 fois les réserves prouvées d'hydrocarbures de l'Algérie et 4,8 fois les réserves prouvées de pétrole à l'échelle mondiale.[3]

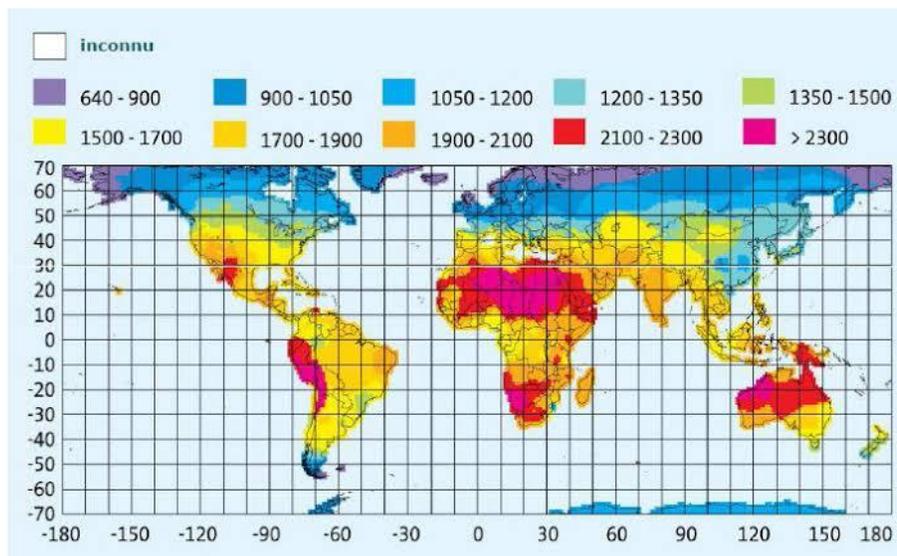


Figure 1-1 : Répartition mondiale du rayonnement solaire annuel en kWh/m².

(Source : ONA, Alger, 2016).

L'Algérie possède un immense potentiel en énergie solaire, le plus important parmi les énergies renouvelables du pays. Avec une production de 169,44 TWh/an, ce potentiel est 5000 fois supérieur à la consommation électrique nationale. L'Algérie bénéficie de plus de 2 000 heures d'ensoleillement par an, atteignant jusqu'à 3 900 heures dans les hauts plateaux et le Sahara. L'énergie solaire reçue quotidiennement varie de 1 700 kWh/m²/an au Nord à 2 263 kWh/m²/an au Sud, avec une moyenne de plus de 2 200 kWh/m²/an.[3]

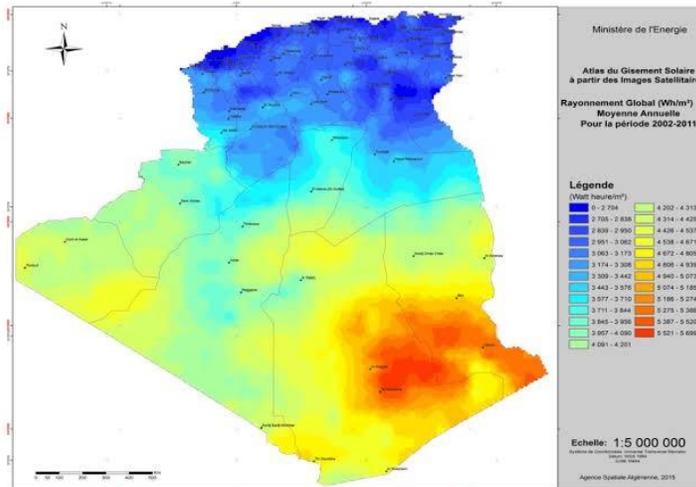


Figure 1-2 : Le potentiel solaire en Algérie. (Source : MEM, 2016)

5. L'effet photovoltaïque

Se produit lorsqu'un photon est absorbé par un matériau constitué de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), formant une jonction p-n (ou n-p). En raison de ce dopage, un champ électrique permanent est présent dans le matériau, similaire à un aimant possédant un champ magnétique permanent. Lorsqu'un photon incident interagit avec les électrons du matériau, il transfère son énergie à l'électron, le libérant de sa bande de valence et le soumettant ainsi au champ électrique intrinsèque. Sous l'influence de ce champ, l'électron se déplace vers la face supérieure, laissant derrière lui un trou qui se déplace dans la direction opposée. Des électrodes situées sur les faces supérieure et inférieure permettent de collecter les électrons et de leur faire effectuer un travail électrique pour rejoindre le trou à la face antérieure, créant ainsi un courant électrique. [4]

6. Rayonnement Solaire

L'énergie émise par le Soleil l'est d'abord sous la forme de rayonnements électromagnétiques dans l'ensemble forme le rayonnement solaire, qui constitue la seule source externe notable d'énergie pour l'atmosphère. Ce rayonnement solaire se propage à la vitesse de la lumière.

7. Les types des rayonnements solaires

En réalité, le rayonnement total reçu sur une surface, appelé irradiation solaire incidente (ou encore éclairement énergétique global), est défini par la somme de trois composantes.

7.1. L'irradiation directe

Provenant directement du Soleil. Cette composante s'annule si le Soleil est caché par des nuages ou par un obstacle.

7.2. L'irradiation diffuse

Correspondant au rayonnement reçu de la voûte céleste, hors rayonnement direct. Cette énergie diffusée par l'atmosphère et dirigée vers la surface de la Terre, peut atteindre 50 % du rayonnement global reçu, lorsque le Soleil est bas sur l'horizon, et 100 % pour un ciel entièrement couvert.

7.3. L'irradiation réfléchie

Correspondant au rayonnement réfléchi par l'environnement extérieur, en particulier le sol, dans le coefficient de réflexion est appelé " albedo ".

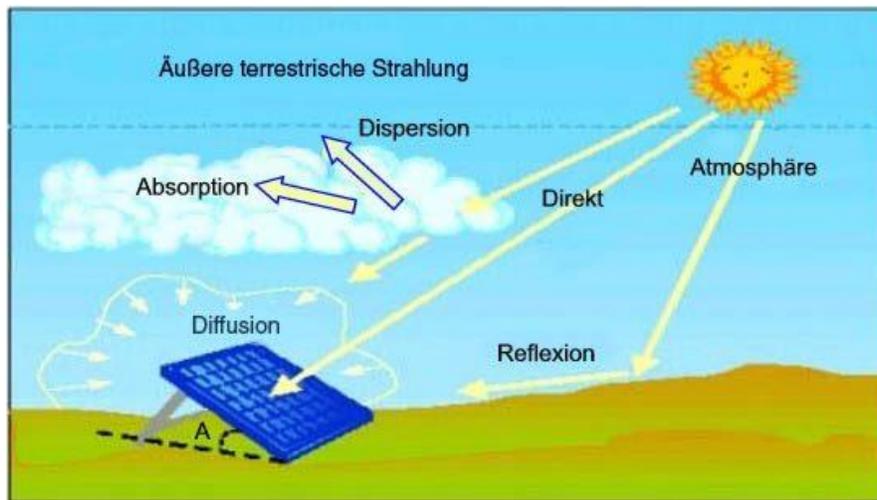


Figure 1-3 : Types de rayonnements solaires.

8. Appareil de mesure de la radiation solaire

8.1. Pyranomètre

Un pyranomètre est un type d'actinomètre utilisé pour mesurer l'irradiance solaire sur une surface plane. Il est conçu pour mesurer la densité de flux de radiation solaire (W/m^2) provenant de l'hémisphère au-dessus, dans une plage de longueurs d'onde de $0,3 \mu m$ à $3 \mu m$, et est basé sur l'effet Seebeck ou thermoélectrique. Les principaux composants d'un pyranomètre comprennent un ou deux dômes, un absorbeur noir, une thermopile, le corps du pyranomètre et, dans certains cas, des électroniques supplémentaires. Un pyranomètre typique ne nécessite aucune alimentation électrique pour fonctionner. [5]



Figure 1-4 : pyranomètre.

8.2. Pyrradiomètre

Le pyrradiomètre est un radiomètre hémisphérique total (solaire et atmosphérique) sur une surface horizontale, couvrant un angle solide de 2π . Il est utilisé pour déterminer précisément la radiation nette dans les gammes de radiation à ondes courtes et à ondes longues, avec deux récepteurs fonctionnant séparément et dotés d'un thermomètre intégré pour déterminer la température de référence. Sa surface sensible est noire et présente une émissivité élevée.[6]



Figure 1-5 : Pyrradiomètre.

8.3. Pyrhéliomètre

Un pyrhéliomètre est un instrument servant à mesurer l'irradiance solaire directe. La lumière du soleil pénètre dans l'appareil par une fenêtre et est dirigée vers une thermopile qui convertit la chaleur en un signal électrique pouvant être enregistré. Il est monté sur un système de suivi orienté vers le soleil. Les applications typiques de mesure avec un pyrhéliomètre incluent les observations météorologiques et climatiques scientifiques, la recherche en test de matériaux, et l'évaluation de l'efficacité des collecteurs solaires et des dispositifs photovoltaïques.[7]



Figure 1-6 : pyrhéliomètre.

9. Définition d'un system photovoltaïque

Bien que fondamental dans la chaîne que représente un système, le module photovoltaïque à lui seul ne peut pas grand-chose : pour répondre à un besoin défini, il faut en fait l'associer étroitement à un système complet correspondant à une application bien spécifique.

Un système photovoltaïque sera donc constitué du générateur précédemment décrit, généralement associé à l'un ou plusieurs des éléments suivants [8] :

- Un système d'orientation ou de suivi (rencontré assez rarement sous nos latitudes).
- Une gestion électronique (stockage, mise en forme du courant, transfert de l'énergie).
- Un stockage palliant la nature aléatoire de la source solaire.
- Un convertisseur DC/AC.
- Une charge en courant continu basse tension ou en courant alternatif standard.

10. Types des system photovoltaïque

10.1. Système autonome

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recours à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans les régions isolées et éloignées du réseau. Les différents types de systèmes photovoltaïques autonomes sont décrits sur la figure qui traduit les différentes possibilités offertes : couplage direct à une charge adaptée ou couplage avec adaptateur d'impédance MPPT (Maximum Power Point Tracking), fonctionnement au fil du soleil ou avec stockage d'énergie électrique.[9]

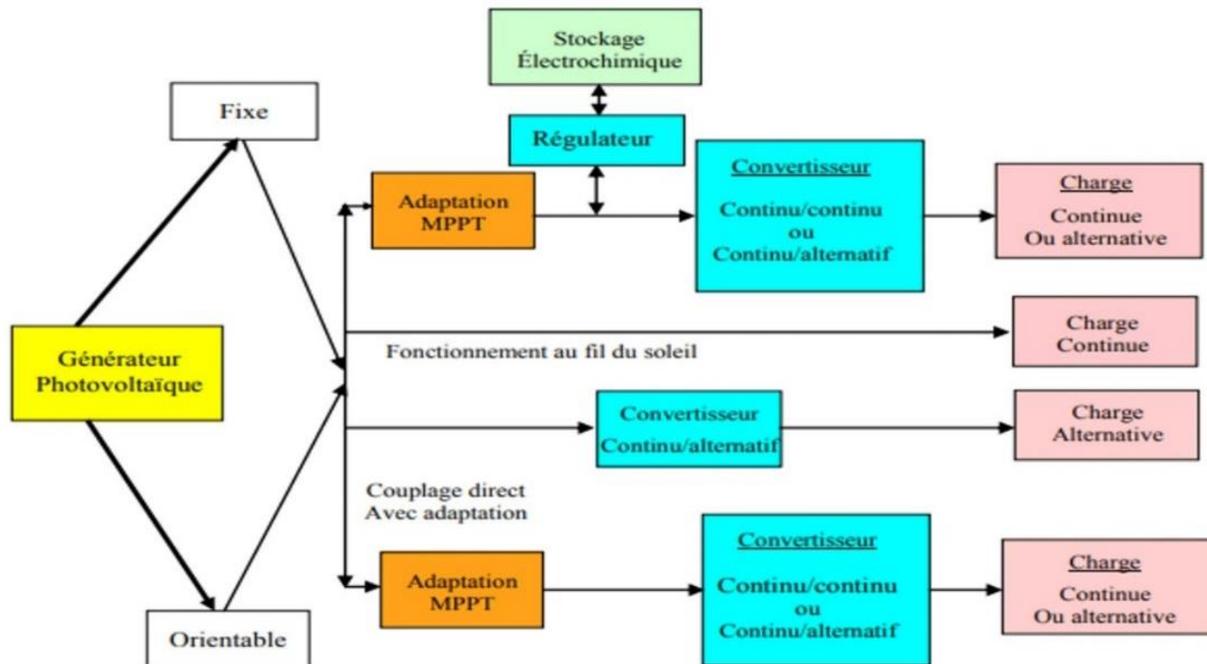


Figure I-7 : système photovoltaïque autonome.

10.2. System connecté au réseau

Les systèmes de production d'énergie photovoltaïque connectés à un réseau (figure I-10) sont une résultante de la tendance à la décentralisation du réseau électrique. L'énergie est produite plus près des lieux de consommation. Les systèmes connectés à un réseau réduisent la nécessité d'augmenter la capacité des lignes de transmission et de distribution. Il produit sa propre électricité et achemine son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin, ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir une batterie. Il est toujours possible d'utiliser ceux systèmes pour servir d'alimentation d'appoint lorsque survient une panne de réseau.[9]

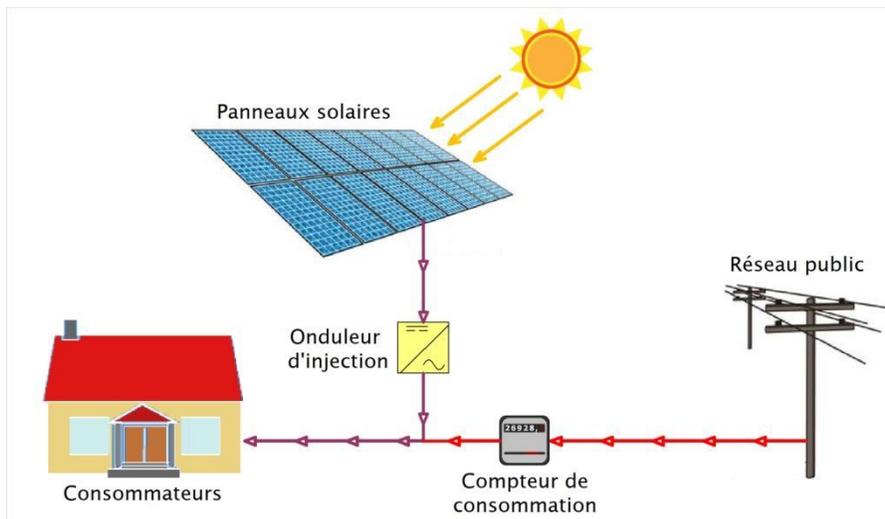


Figure 1-8 : système photovoltaïque connecte aux réseaux.

10.3. Système hybride

Les systèmes photovoltaïques hybrides intègrent un générateur photovoltaïque et un autre générateur : éolienne, groupe électrogène, système hydroélectrique... et même parfois le réseau public d'électricité.

En général un système de batteries stocke l'énergie et permet ainsi de ne pas perdre l'énergie des sources aléatoires telles que le solaire ou l'éolien.

La difficulté de ce type de système est d'équilibrer les différentes sources d'énergie de façon à toutes les optimiser, étant entendu que les sources thermiques (gasoil, gaz...) et le réseau public, sont toujours les appoints de dernier recours.

Aujourd'hui des systèmes à grande échelle intègrent une gestion fine des systèmes photovoltaïques, on parle souvent de "micro-grid" c'est à dire des réseaux au sein desquels une régulation intelligente et coordonnée assure l'optimisation des différentes sources d'énergie.[10]

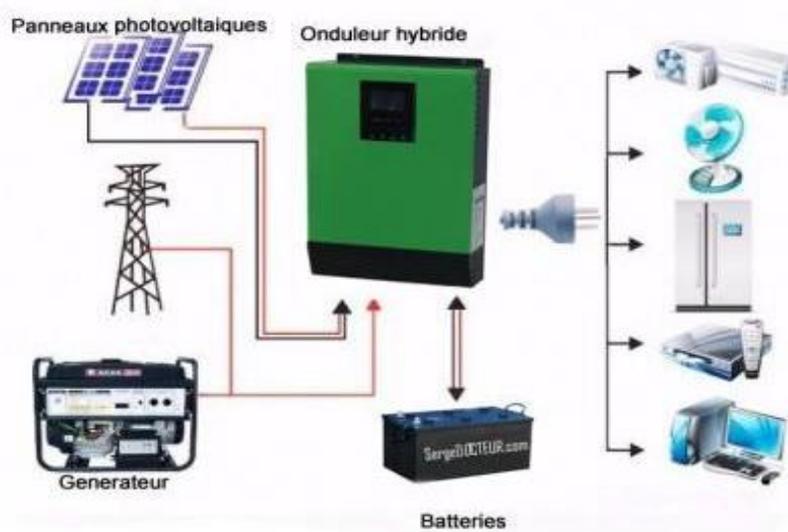


Figure 1-9 : système photovoltaïque hybride.

11. Cellules photovoltaïques

Les cellules photovoltaïques sont constituées de matériaux semi-conducteurs capables de conduire ou de transporter l'électricité. Actuellement, plus de 90 % des cellules solaires sont fabriquées en silicium cristallin. Une face de la cellule est dopée n (par exemple, avec du phosphore), tandis que l'autre est dopée p (par exemple, avec du bore). Des électrodes métalliques sont placées sur les deux faces pour permettre la collecte des électrons et la formation d'un circuit électrique. La face supérieure de la cellule est traitée pour optimiser la quantité de lumière entrant, grâce à des traitements de surface tels que l'application d'une couche antireflet, et elle est recouverte d'une couche en verre pour assurer l'étanchéité et la protection de la cellule. [11]

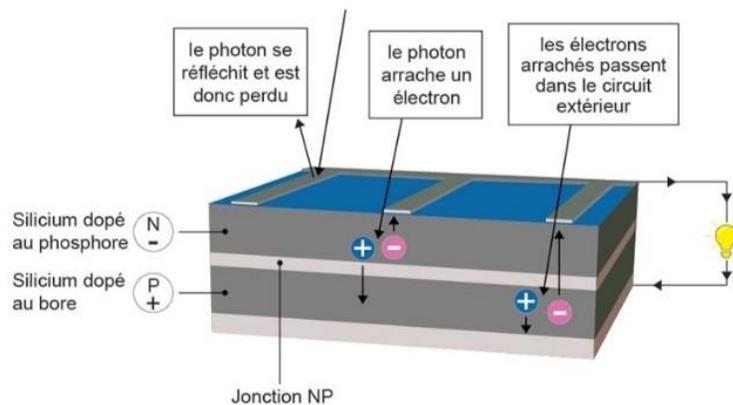


Figure 1-10 : cellules photovoltaïques.

12. Les paramètres des cellules photovoltaïques

Extraits des caractéristiques courant-tension, tels que le courant de court-circuit (I_{cc}), la tension de circuit ouvert (V_{co}), la puissance maximale (P_{max}), la fréquence de quantification (FQ), le facteur de remplissage (FF) et le rendement (η), servent à évaluer et comparer différentes cellules sous des conditions d'éclairage similaires.

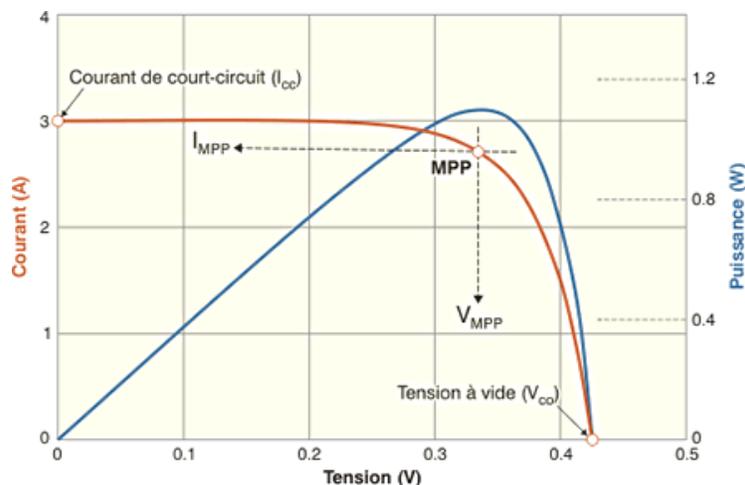


Figure 1-11 : évolution de la caractéristique $I=f(v)$ et $p=f(v)$.

12.1. Courant de court-circuit (I_{cc})

Le courant de court-circuit (ICC) est le courant obtenu en fermant les bornes de la cellule photovoltaïque (en fixant la tension V à zéro dans le schéma équivalent). Il augmente de manière linéaire avec l'intensité de l'éclairage reçu par la cellule, et il est influencé par des facteurs tels que la surface exposée à la lumière, la longueur d'onde du rayonnement, la mobilité des porteurs et la température.

12.2. Tension à circuit ouvert (V_{co})

La tension de circuit ouvert se produit lorsque le courant de la cellule est nul. Elle est associée à la résistance shunt, lorsqu'elle n'est pas connectée ou que sa valeur est infinie. Cette tension diminue avec l'augmentation de la température et elle est influencée par l'intensité lumineuse reçue par la cellule.[12]

12.3. Puissance maximale (P_{max})

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairage dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de la cellule). Cette puissance est maximale (notée P_{max}) pour un point de fonctionnement P_{max} (I_{max} , V_{max}) de la courbe courant-tension (courants compris entre 0 et I_{cc} et tension comprise entre 0 et V_{CO}) donc la puissance fournie par la cellule est donnée par le produit.[12]

12.4. Facteur de forme (FF)

Le facteur de forme, ou FF (fill-factor), désigne le rapport entre la valeur maximale de la puissance disponible ($P_{max} = I_{max} \times V_{max}$) d'une cellule photovoltaïque dans des conditions de mesure standardisées, et le produit $I_{cc} \times V_{co}$.[13]

12.5. Le rendement (η)

Le rendement de la cellule qui correspond au rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule et la puissance solaire incidente.[13]

13. Composants d'un system photovoltaïque

13.1. Génération photovoltaïque

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés, délivre au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN). Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module ou un panneau photovoltaïque. En effet, les modules PV sont composés d'un ensemble de cellules mises en série, réalisant la conversion proprement dite de la lumière du soleil en électricité. Ils sont eux-mêmes associés en série et parallèle pour former un champ photovoltaïque d'une puissance crête définie selon des conditions spécifiques d'éclairage, de température et de spectre solaire. La plupart des modules

commercialisés sont constitués de deux à quatre réseaux de cellules en silicium cristallins connectés en série.[14]

Il existe trois types de technologies de cellules photovoltaïques qui dominent le marché mondial : le silicium monocristallin, le silicium polycristallin et les couches minces (cellules solaires en silicium amorphe).

13.1.1. Le silicium monocristallin

C'est la filière historique du photovoltaïque. Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération. Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Elles ont un bon rendement (15 à 19% en industrie et de 25% en laboratoire) mais la méthode de production est laborieuse, donc très onéreuse, technologie qui demande beaucoup d'énergie pour obtenir un cristal pur.[15]



Figure 1-12 : Panneau en silicium monocristallin.

13.1.2. Le silicium polycristallin

Les cellules polycristallines sont élaborées à cristallines à partir d'un bloc de silicium composé de cristaux multiples. Elles ont un rendement plus faible que les cellules monocristallines mais leur coût de production est moindre. Des avancées technologiques permettent aujourd'hui de produire des cellules polycristallines à couches minces afin d'économiser le silicium. Ces cellules ont une épaisseur de l'ordre de quelques micromètres d'épaisseur [28]. Au cours des dix dernières années, le rendement moyen d'un panneau photovoltaïque à base de silicium est passé de 12 à 16% et 20.4% en Laboratoire, moins bon que les cellules monocristallines.[15]

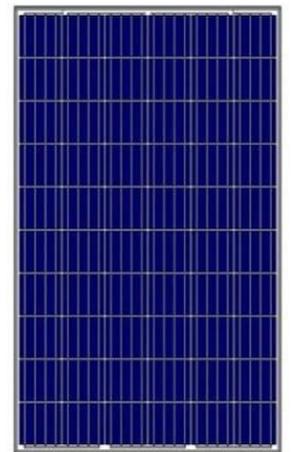


Figure 1-13 : Panneau en silicium polycristallin.

13.1.3. Cellules solaires en silicium amorphe

Le silicium amorphe est un semi-conducteur ayant d'excellentes propriétés optiques, mais de faibles propriétés électroniques, ce qui mène à des rendements modules dans l'industrie assez faible, de l'ordre de 6 à 8% (13.4%, record cellule en laboratoire). Le processus de fabrication présente en revanche des coûts peu onéreux [15]



Figure 1-14 : Panneau en silicium amorphe.

13.2. Batteries

Une batterie ou un accumulateur électrochimique est un système permettant de convertir de l'énergie électrique en une énergie potentielle chimique durant la phase de charge et de convertir l'énergie potentielle chimique en énergie électrique lors de la décharge.

13.2.1. Batteries au plomb-acide

La batterie au plomb acide est la plus ancienne et les plus couramment utilisées pour le stockage de l'énergie solaire. Ce sont des batteries à électrolyte liquide, qui se composent de deux électrodes, positive, baignant dans l'acide sulfurique dilué. Une batterie au plomb est composée de plusieurs éléments d'accumulateurs montés en série.[16]



Figure 1-15 : Batteries au plomb-acide.

13.2.2. Batterie au Nickel-cadmium

La batterie au nickel-cadmium a été utilisée pendant de nombreuses années, mais elles sont progressivement remplacées par des technologies plus avancées en raison de leurs inconvénients environnementaux liés au cadmium, un métal toxique.[17]



Figure 1-16 : Batteries au Nickel-cadmium.

13.2.3. Batterie au Lithium-ion

Une batterie au lithium-ion est de plus en plus populaire pour le stockage de l'énergie solaire en raison de leur haute densité énergétique, de leur longue durée de vie et de leur faible taux d'autodécharge. Généralement, elle est utilisée dans les applications à basse puissance (l'ordinateur portable, tablettes, les téléphones portables).[18]

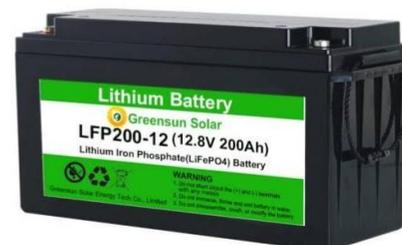


Figure 1-17 : Batteries au lithium-ion.

13.2.4. Batteries au sodium-ion

Les batteries au sodium-ion sont une alternative prometteuse aux batteries au lithium-ion. Elles utilisent du sodium comme matériau actif au lieu du lithium, ce qui les rend potentiellement moins coûteuses et plus abondantes. Cependant, leur développement est encore en cours et elles ne sont pas encore largement disponibles sur le marché. [17]



Figure 1-18 : Batteries au sodium-ion.

13.3. Onduleur

Un onduleur est un appareil qui convertit une énergie électrique de type continu en énergie électrique de type alternatif. En électrotechnique, les onduleurs sont utilisés pour :

- Fournir des tensions ou courants alternatifs de fréquences et amplitudes variables.
- Fournir une ou plusieurs tensions alternatives de fréquence et d'amplitude fixes.

On distingue les onduleurs de tension et les onduleurs de courant selon la nature de la source d'entrée continue, qu'il s'agisse d'une source de tension ou d'une source de courant.

La technologie des onduleurs de tension est la plus avancée et se retrouve dans la plupart des systèmes industriels, couvrant une large gamme de puissances, allant de quelques watts à plusieurs mégawatts.

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques diffèrent quelque peu des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique, bien que leur objectif de conversion AC/DC reste le même.[19]

13.3.1. L'onduleur de chaîne

L'onduleur de chaîne est un type d'onduleur photovoltaïque conçu pour recevoir l'électricité produite par une série de panneaux solaires. Par rapport à d'autres modèles d'onduleurs solaires, il est particulièrement adapté et recommandé pour des installations photovoltaïques destinées aux particuliers ou à certains professionnels souhaitant produire de l'énergie solaire.[20]



Figure 1-19 : Onduleur de chaîne.

13.3.2. L'onduleur central

L'onduleur central est un modèle d'onduleur photovoltaïque de grande taille, capable de gérer l'électricité provenant de plusieurs chaînes de panneaux solaires. Grâce à sa capacité élevée, il est particulièrement adapté aux grandes installations, telles que celles des industries ou des entreprises. Cet onduleur fonctionne généralement en triphasé, ce qui le rend idéal pour des systèmes nécessitant une gestion de charge importante [20].



Figure 1-20 : Onduleur central.

13.3.3. Le micro-onduleur

Le micro-onduleur est couramment utilisé pour les installations photovoltaïques de petite taille. Comparable aux optimiseurs de puissance, ce composant électronique de niveau module nécessite l'installation d'une unité par panneau solaire. Ainsi, chaque panneau de l'installation est équipé de son propre micro-onduleur.[20]



Figure 1-21: micro-onduleur.

13.3.4. L'onduleur à batterie

L'onduleur à batterie, ce type d'appareil, remplit plusieurs fonctions dans une installation solaire. Il agit à la fois comme transformateur et chargeur de batteries.[20]



Figure 1-22 : Onduleur a batterie.

13.4. Le régulateur

Le régulateur de charge solaire est un composant essentiel dans un système électrique autonome utilisant une batterie de stockage. L'électricité produite par les panneaux photovoltaïques est instable, et la transmettre directement à la batterie pourrait réduire la durée de vie de celle-ci. Pour éviter cela, il est nécessaire d'installer un régulateur de charge solaire entre les panneaux photovoltaïques et les batteries. Celui-ci a pour rôles de :

- Recharger correctement les batteries en respectant les différentes phases de recharge.
- Protéger les batteries contre les risques de surtension, de surcharge, de polarité inversée, de décharge profonde, de recharges irrégulières, et de court-circuit.
- Optimiser l'efficacité énergétique de l'installation autonome.

Les modèles MPPT, en particulier, maximisent le rendement en captant le point de puissance maximal des panneaux solaires, même par temps nuageux. [21]

13.4.1. Régulateurs PWM

Les régulateurs de charge PWM (Pulse Width Modulation) sont des régulateurs basiques qui ajustent simplement la tension des panneaux solaires. Ils conviennent parfaitement aux petites installations (inférieures à 150W) en raison de leur faible coût. Cependant, ils ne permettent pas de charger une batterie de 12V avec un panneau dont la tension dépasse 23V. [22]



Figure 1-23 : régulateur PWM

13.4.2. Régulateurs MPPT

Les régulateurs de charge MPPT, équipés de microprocesseurs et d'algorithmes de charge avancés, sont actuellement les plus performants. Ils acceptent une tension d'entrée beaucoup plus élevée (75V, 100V, 150V, et jusqu'à 250V) par rapport aux régulateurs PWM (23V ou 55V max), ce qui permet de réduire les pertes par effet Joule. De plus, ils peuvent charger une batterie de 12V avec des panneaux de 24V ou plus.[23]



Figure 1-24 : régulateur MPPT

14. Conclusion

L'objectif de ce premier chapitre était d'introduire notre travail sur l'énergie solaire en général et sur l'énergie photovoltaïque en particulier. Nous avons appris qu'une installation photovoltaïque est un système qui assure la conversion du rayonnement solaire en énergie électrique à l'aide de modules photovoltaïques, afin d'alimenter des charges électriques. Nous avons également mis en lumière le rôle essentiel de l'onduleur, qui permet de fournir du courant alternatif à nos récepteurs.

2. Chapitre 2 : Présentation de Micro Grids et Hydrogène vert

1. Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter le domaine des micro grids, qu'ils soient connectés ou non connectés aux réseaux électriques principale, ainsi que les différents types de micro grids, on va également parler de l'hydrogène, de ses caractéristiques et de ses applications industrielles. De plus, on va explorer différentes méthodes de production de l'hydrogène, on va concentrer particulièrement sur l'électrolyse de l'eau.

2. Historique du développement des micro grids

L'histoire des réseaux et des systèmes électriques conventionnels permet de comprendre les raisons de leur développement actuel, leur mode de fonctionnement ainsi que leurs limitations face à un avenir énergétique en pleine mutation. L'introduction des énergies locales, principalement renouvelables, a nécessité des adaptations pour permettre leur intégration dans le système électrique initialement non conçu à cet effet.

Historiquement, les réseaux électriques possédaient une architecture centralisée et une communication unidirectionnelle allant du producteur au consommateur.

Le déploiement des micro grids accompagne la modernisation des réseaux et des infrastructures vers une architecture décentralisée. L'objectif est d'intégrer une multitude de sources d'énergie renouvelable de différentes tailles et de permettre de nouveaux modes d'utilisation et de stockage de l'électricité, tels que les véhicules électriques. Au sein de ce réseau électrique avancé, le consommateur final disposera des outils et services lui permettant de connaître sa consommation et d'interagir en temps réel. Cette approche est donc orientée vers une demande "active", grâce à des compteurs intelligents (smart meters) et des échanges bidirectionnels.

L'évolution du réseau électrique a été très lente, conçu autour de sa fonction première : couper, protéger, transformer, évoluant pour devenir plus compact et performant grâce à une technologie de mieux en mieux maîtrisée. Cette évolution a rarement suffi pour justifier le remplacement des infrastructures existantes sur le terrain.[24]

Le protocole de Kyoto, élaboré en 1996, a imposé des limites aux émissions de CO₂, influençant inévitablement l'évolution des réseaux électriques selon les critères suivants :

Réduire la pollution lors de la production en développant et en utilisant davantage les énergies renouvelables.

Diminuer les pertes d'énergie.

Réduire le nombre d'unités de production grâce à un meilleur lissage de la demande.

Améliorer l'utilisation de l'énergie.

Réduire la consommation chaque fois que possible.

3. Définition d'un micro grid

Un micro-réseau est généralement constitué de plusieurs générateurs (installations de production d'électricité à partir de sources renouvelables variables ou conventionnelles), d'installations de stockage d'énergie, de charges, de moyens de réglage, de systèmes de compensation et de systèmes d'information. L'ensemble de ces technologies doit également permettre au micro-réseau de se déconnecter du réseau principal pour fonctionner de manière autonome.[25]

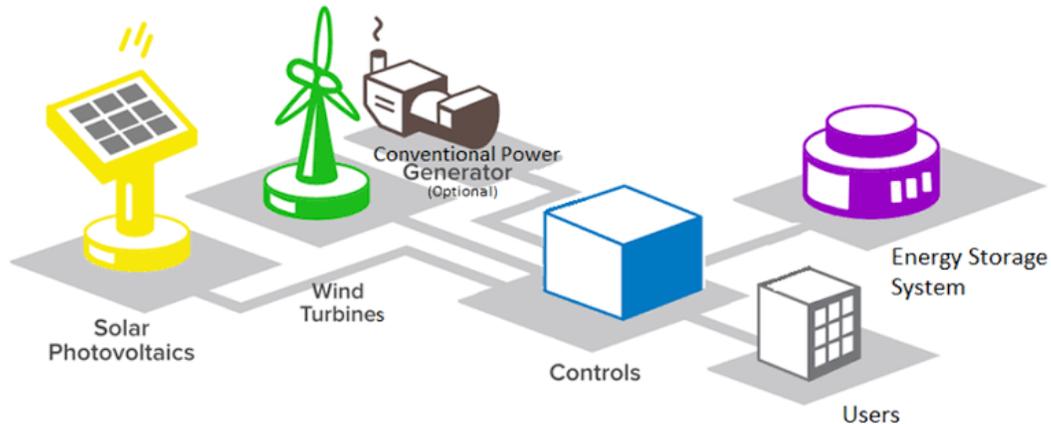


Figure 2-1 : schéma d'un micro grid.

3.1. Concept des micro grid

Aussi appelés mini smart grids ou micro-réseaux intelligents, les microgrids sont des réseaux électriques de petite taille conçus pour fournir un approvisionnement électrique fiable et de meilleure qualité à un nombre limité de consommateurs. Ils agrègent de multiples installations de production locales et diffuses (micro-turbines, piles à combustible, petits générateurs diesel, panneaux photovoltaïques, mini-éoliennes, petite hydraulique), des installations de consommation, des installations de stockage, ainsi que des outils de supervision et de gestion de la demande. Ils peuvent être directement raccordés au réseau de distribution ou fonctionner en mode îloté.[25]

3.2. Classification des micro grid (micro réseaux)

Les projets de micro-réseaux électriques peuvent être classés non seulement en fonction de leur taille, mais aussi selon leur utilité (telles que la fiabilité, la résilience et l'efficacité des réseaux, l'accès difficile à l'énergie, les conditions météorologiques dégradées, l'émergence d'écoquartiers, la réflexion multi-énergie, les économies d'énergie, etc.) en cinq grandes catégories [26] :

- Les micro-réseaux des zones commerciales, artisanales ou industrielles regroupent des entreprises et industries aux activités variées, fortement consommatrices d'électricité. Leurs besoins énergétiques étant différents, l'objectif est d'optimiser la gestion de l'énergie afin de réduire leur dépendance vis-à-vis du réseau de distribution.

- Micro-réseaux de campus universitaires : l'objectif est d'optimiser la gestion énergétique des campus, qui doivent réduire leur consommation d'énergie.
- Micro-réseaux pour les zones isolées ou temporairement coupées du réseau en raison des intempéries : ces microgrids permettent à ces zones de tirer parti des ressources énergétiques renouvelables locales, réduisant ainsi la dépendance aux générateurs diesel polluants et coûteux. Ils offrent également aux villes affectées par des conditions météorologiques extrêmes une solution pour éviter les coupures totales d'électricité.
- Éco-quartiers : ils opèrent selon un modèle similaire à celui des microgrids dans les zones commerciales ou industrielles.
- Micro-réseaux de "base vie" (camp militaire ou hôpital) : équipés de leurs propres moyens de production et de stockage ainsi que de leurs propres infrastructures de distribution, ces microgrids assurent une autonomie énergétique. Ils fournissent de l'électricité durant les coupures de courant du réseau principal, un atout essentiel pour les bases militaires et les hôpitaux qui doivent pouvoir fonctionner sans interruption.

3.3. Les différentes structures des micro-réseaux

Les architectures des micro-réseaux varient selon leur proximité avec un réseau principal plus robuste. On peut ainsi les classer en deux catégories : les micro-réseaux connectés ("on-grid") et les micro-réseaux isolés ("isolated").

3.3.1. Micro-réseau connectés

Les micro-réseaux connectés sont les plus courants, en particulier dans les pays industrialisés où leur développement est en plein essor. Leur nombre augmente rapidement, devenant plus robustes et capables de transporter plus de puissance. Cela est dû à leur capacité à maximiser l'utilisation des sources d'énergies renouvelables tout en évitant le problème de l'intermittence. Ces micro-réseaux peuvent se connecter au réseau de distribution principal en courant alternatif (AC) via un interrupteur, permettant deux modes de fonctionnement distincts. En mode connecté, le micro-réseau ajuste son équilibre production-consommation en échangeant de l'énergie avec le réseau principal. En mode déconnecté, ou "îloté", le micro-réseau favorise l'autoconsommation et assure son fonctionnement indépendant en cas de défaillance du réseau principal.[27]

3.3.2. Micro-réseau isolés

Les micro-réseaux isolés, comme leur nom l'indique, ne sont pas connectés à un réseau plus robuste. Ils doivent donc gérer eux-mêmes leur production d'énergie, leur protection et leur contrôle. Ce type de micro-réseau connaît un développement significatif dans les pays émergents, car il offre une solution pour fournir de l'électricité à des populations qui n'y ont pas encore accès. Les micro-réseaux isolés sont particulièrement intéressants dans les pays du Sud en raison de leurs abondantes ressources en énergies renouvelables. [27]

3.4. Contrôle des micro grid

Pour maximiser les avantages des sources d'énergie distribuées, l'amélioration de la réponse de l'alimentation électrique et le fonctionnement de ces sources doivent être assurés par le système de contrôle. Dans le micro-réseau, le système de contrôle est divisé en trois niveaux afin de pouvoir fournir une énergie de qualité.[28]

Contrôle primaire : Généralement conçu pour assurer la stabilité de la tension et de la fréquence des micro-réseaux et ajuster le partage de puissance entre les générateurs distribués. Ce niveau de contrôle aide également à minimiser les courants de circulation entre les convertisseurs parallèles des générateurs triphasés, évitant ainsi les surintensités dans les équipements électriques.

Contrôle secondaire : La fonction de ce niveau de contrôle est de compenser les différences de tension et de fréquence laissées par le contrôle primaire. Ce niveau de contrôle a une dynamique plus lente que le niveau primaire et est mis en œuvre pour satisfaire les exigences de qualité de l'énergie.

Contrôle tertiaire, également connu sous le nom de système de gestion de l'énergie : Il s'agit du niveau final de contrôle qui régule la puissance du micro-réseau, ainsi que celle entre le micro-réseau et le réseau principal. Le troisième niveau de contrôle permet également d'optimiser l'opération sur le plan économique afin de minimiser les coûts de l'électricité.

4. Avantages et inconvénients des micro grids

Parmi les avantages et inconvénients que nous pouvons rencontrer, nous avons :[29]

Tableau 2-1 : les avantages et des inconvénients de micro grid.

Les Avantages	Les Inconvénient
<ul style="list-style-type: none">• Isolation de toute perturbation ou panne du réseau électrique.• Amélioration de l'efficacité énergétique.• Réduction des émissions de gaz qui peut aider à lutter contre le réchauffement Climatique.• Réduction de la distance physique et électrique entre les micro-sources et les Charges ce qui contribue à la réduction des pertes.• Atteindre l'équilibre offre-demande.• Amélioration de la puissance et de la fiabilité.• Faire face à la pollution environnementale.	<ul style="list-style-type: none">• Coûts élevés des installations ainsi que des ressources énergétiques décentralisées.• Difficultés techniques liés au manque d'expérience technique.• Absence de normes : puisque c'est un domaine relativement nouveau, les normes ne sont pas encore disponibles pour résoudre les problèmes de fonctionnement et de protection.• Absence de lois ou règlement standard pour réguler le fonctionnement des micro réseaux.

5. Comparaison entre les réseaux traditionnel et micro grid

Les principales différences entre un réseau électrique intelligent et un réseau électrique classique sont :[30]

Tableau 2-2 : comparaisant entre les réseaux traditionnel et micro grid.

Réseau traditionnel	Micro grid
<ul style="list-style-type: none"> • Electromécanique, état solide. • Une seule direction et communication localisée. • Génération centralisée. • Protection, surveillance et contrôle limités. • Surveillance manuelle et localisée. • Restauration manuelle lente. • Vérification manuelle des équipements. • Systèmes de contrôle des défauts limités (quelques détecteurs). • Fiabilité estimée. • Besoin en réserve très limité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Digitale/Microprocesseur • Bidirectionnel, réseau de communication étendue. • Adopte une génération distribuée et mixte (décentralisée). • Protection adaptative plus fiable. • Surveillance autonome, et à distance • Automatique, et Self-Healing • Surveillance des équipements à distance. • Pénétration des systèmes de contrôle de défauts (détections à grande échelle du réseau électrique). • Fiabilité prédictive du réseau, plus efficacement améliorée. • Permet la réponse de la charge, et la Gestion du cote charge.

6. Les grands projets micro grids dans le monde

AUSTRALIE : Australia Smart Grid, 100M \$, début 2010 : les objectifs de ce projet sont de rassembler des données via le déploiement de technologies avancées de communication et de contrôle automatique à grande échelle pour faire une étude précise des coûts et des bénéfices associés au Smart Grid. Il est attendu qu’un “Smart Grid” national devrait permettre d’économiser aux ménages australiens 5 milliards de dollars par an (à comparer aux 11 milliards fournis aujourd’hui par les énergéticiens).[31]

JAPON : Projets du Ministère du Japon, 786M \$, début 2010 : le Ministère de l’économie et de l’industrie japonais a lancé quatre projets Smart Grid à grande échelle : Yokohama City, Toyota City, Kyoto Keihanna District et Kitakyushu City. Ces projets étudient des systèmes de gestion, via des compteurs intelligents, de l’énergie consommée par les maisons et les bâtiments, et incluent l’intégration des véhicules électriques, des panneaux photovoltaïques et des batteries.[31]

ETATS-UNIS : Pacific Northwest Smart Grid Demonstration Project, 178M \$, début 2009 : ce projet vise à déployer un réseau électrique intelligent dans 5 Etats et impliquera plus de 60 000 clients particuliers. Les objectifs sont de tester de nouvelles combinaisons de technologies Smart Grid (comprenant des équipements, des logiciels, et des outils analytiques poussés) pour mieux maîtriser les coûts liés à la distribution d'énergie et mieux incorporer les énergies intermittentes, comme l'éolien.[31]

INDE : SmartCity India, 400M \$, début 2010 : trois pilotes sont prévus dans les villes de Haryana, Maharashtra et Gujarat avec comme partenaires Hitachi, Mitsubishi, JGC Corp et Toshiba. Ils visent l'intégration des énergies intermittentes et étudient des systèmes numériques de gestion de l'énergie. Les trois projets Smart Grid sont intégrés dans un projet plus global de ville «<< intelligente >>» (qui comprend aussi les transports propres, la gestion des déchets, ou l'approvisionnement en eau potable).[31]

7. Etat de l'art sur l'hydrogène

Il existe de nombreux articles dans la littérature qui traitent du sujet d'hydrogène et de ses relations avec les domaines industriels d'énergétique, on a trouvé quatre articles qui décrivent l'état actuel de l'hydrogène et comment il est perçu par différentes industries

Article 1:

RAM RAMACHANDRAN et RAGHU K. MENON, "an overview of industrial uses of hydrogen", international association of hydrogen energy,1998.

Les auteurs ont parlé principalement des différentes utilisations de l'hydrogène dans de nombreux domaines, parmi les utilisations discutées, nous trouvons : l'hydrogène comme une source d'énergie, l'hydrogène dans le traitement du pétrole.

Ils sont arrivés à la conclusion que l'hydrogène est évalué en permanence pour une variété d'utilisations par de nombreuses industries et que son utilisation développe rapidement.

Article 2:

Anthony Velazquez Abad, Paul E. Dodds," GREEN HYDROGEN CHARACTERISATION INITIATIVES: DEFINITIONS, STANDARDS, GUARANTEES OF ORIGIN, AND CHALLENGES", Institute for Sustainable Resources, University College London,2020.

Cet article traite les points suivants :

- Il n'existe pas de définition universellement acceptée de l'hydrogène vert
- Plusieurs initiatives de caractérisation verte sont en cours de développement
- Les garanties d'origine démontrent aux consommateurs qu'ils utilisent de l'hydrogène vert
- L'harmonisation des garanties d'origine faciliterait le commerce international
- Les politiques doivent être alignées sur celles de autres vecteurs énergétiques pour éviter toute discrimination

Conclusion : Un cadre politique stable est essentiel pour réduire l'incertitude et les risques pour les producteurs, facilitant ainsi de meilleurs investissements. L'hydrogène vert peut stimuler la croissance économique et créer des emplois. Cependant, le commerce international de l'hydrogène ne sera possible que si des règles cohérentes sur les normes de l'hydrogène vert sont établies au niveau régional ou mondial.

Article 3:

Alexandra M. Oliveira, Rebecca R. Beswick, Yushan Yun, “A Green Economy for a Renewable Society”, Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Centre for Science and Technology, University of Delaware, 2021

Cet article décrit une voie viable par laquelle l'hydrogène peut infiltrer chacun des quatre secteurs des industries, transports, bâtiments et chauffage, et électricité afin de réduire les émissions de carbone dans des applications qui seraient autrement difficiles à décarboner.

De conclure : L'hydrogène ne sera pas la principale économie énergétique en raison des pertes d'énergie lors de sa conversion à partir de l'électricité. Il est préférable d'utiliser directement l'électricité quand c'est possible. Cependant, l'hydrogène est crucial pour décarboner les secteurs où l'électricité renouvelable ne peut être utilisée. Les efforts devraient donc viser l'hydrogène vert comme un pilier essentiel, complémentaire à l'électrification et aux autres technologies, pour soutenir une société entièrement basée sur les énergies renouvelables.

Article 4:

Furat Dawood, Martin Anda, G.M. Shafiullah, «Hydrogen production for energy: an overview», College of Science, Health, Engineering and Education, Murdoch University, Perth, WA, Australia, 2020.

Cet article de synthèse donne un aperçu du rôle de l'hydrogène dans le secteur de l'énergie et de la transition vers une énergie 100 % renouvelable, durable et verte. Il vise à intégrer les résultats de recherche sur les voies de production de l'hydrogène et les technologies associées. La discussion dans cet article se limite à la production d'hydrogène pour le secteur de l'énergie. L'une des principales contributions de cette revue est donc de fournir des éclaircissements sur la planification des systèmes de production d'hydrogène.

Conclusion : La propreté de l'hydrogène dépend de sa voie de production, même s'il ne génère aucune émission de carbone à l'utilisation. Il est donc crucial de garantir l'origine de l'hydrogène pour évaluer sa propreté. Un nouvel indice de propreté de l'hydrogène a été proposé pour des recherches futures. Les résultats de cette étude devraient guider les gouvernements, décideurs politiques, fabricants, industriels et services publics dans le déploiement de la feuille de route de l'hydrogène.

8. Caractéristiques de l'hydrogène

L'hydrogène est incolore, inodore, insipide, inflammable et non toxique. Lorsqu'il est condensé à son point d'ébullition, il devient un liquide incolore dont le poids est 14 fois inférieur à celui de l'eau. En raison de sa température extrêmement basse, l'hydrogène liquide rend très friables les matériaux en contact direct avec lui. Sur le plan chimique, l'hydrogène est principalement un agent réducteur, largement utilisé dans l'industrie chimique. Bien que non toxique d'un point de vue physiologique, il peut provoquer l'asphyxie lorsqu'il est présent en grande quantité dans l'air.[32]

9. Utilisations industrielles de l'hydrogène

Environ 45 millions de tonnes d'hydrogène sont produites chaque année, dont 10 % en Europe. Plusieurs grandes entreprises européennes figurent parmi les principaux producteurs d'hydrogène, notamment Air Liquide, Air Product, Linde et Messer Griesheim.[33]

L'hydrogène est largement utilisé dans divers secteurs industriels :

9.1. Industrie électronique

L'hydrogène est employé dans la fabrication de cristaux de semi-conducteurs en silicium.

9.2. Hydrogène carburant

La température extrêmement élevée de la flamme, atteignant 2700°C avec l'oxygène, en fait un choix idéal sous forme liquide pour propulser les fusées et les engins spatiaux.

9.3. Industries chimiques

- Les applications de l'hydrogène dans ce domaine sont diverses et nombreuses.
- La synthèse de l'ammoniac par réaction avec l'azote est utilisée principalement pour la fabrication d'engrais, mais également pour produire des explosifs et des colorants.
- Dans le processus de raffinage, on utilise l'hydrogénation pour éliminer le soufre des carburants et améliorer les lubrifiants, ainsi que pour produire des essences spéciales.
- La synthèse du méthanol par réaction du gaz à l'eau est utilisée pour produire des matières premières pour divers produits, notamment des caoutchoucs, des résines et des composés de base pour la synthèse chimique, tels que l'acide acétique, le chlorure de méthyle et les esters.
- En chimie organique, l'hydrogénation est utilisée pour deux principaux objectifs : la production de colorants d'une part, et de précurseurs pour les sulfamides et les vitamines d'autre part.
- En chimie minérale, l'hydrogène est utilisé dans la production d'eau oxygénée. Ainsi, ses applications dans l'industrie sont très variées.

10. Avantages et inconvénients de l'hydrogène

Parmi les avantages et inconvénients de l'hydrogène. Nous pouvons trouver [34] :

Tableau 2-3 : avantages et inconvénients de L'hydrogène.

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• L'avantage principal est que l'hydrogène génère environ 2,8 fois plus d'énergie par unité de masse que l'essence.• Lorsque l'hydrogène est brûlé, la seule émission produite est de la vapeur d'eau. Ainsi, un avantage majeur de l'H₂ est qu'il ne génère pas de CO₂ lorsqu'il est utilisé comme combustible.• L'hydrogène est l'élément le plus répandu dans l'univers, représentant environ trois quarts de toute la matière.• Diminution de la dépendance au pétrole.• Non polluant et non toxique.• De poids très faible, facile à produire et transport.	<ul style="list-style-type: none">• En raison de sa légèreté, sa densité énergétique volumique est moins favorable au transport et au stockage sous forme gazeuse que celle du gaz naturel.• Les limites d'inflammabilité et de détonation avec l'air de l'hydrogène sont plus étendues que celles du gaz naturel.• L'énergie nécessaire pour enflammer l'hydrogène est 10 fois inférieure à celle requise pour les hydrocarbures classiques.• Sa flamme est presque invisible.

11. Méthodes de production d'hydrogène

L'hydrogène n'est pas disponible directement dans la nature. Cependant, il présente l'avantage de pouvoir être produit à partir de trois principales sources : les énergies fossiles, nucléaires et renouvelables. Toutefois, pour être économiquement et écologiquement viable, la production d'hydrogène doit répondre à trois critères [34] :

Compétitivité : les frais de production doivent rester raisonnables.

Efficacité énergétique : la production d'hydrogène ne doit pas requérir une quantité excessive d'énergie.

Propreté : le processus de production doit être respectueux de l'environnement pour préserver l'un des principaux avantages de l'hydrogène.

11.1. Vaporeformage

Le vaporeformage, ou reformage à la vapeur, est un procédé qui transforme les hydrocarbures en gaz de synthèse en les faisant réagir avec de la vapeur d'eau en présence d'un catalyseur à base de nickel, à des températures élevées (de 840 à 950 °C) et sous une pression modérée (de 20 à 30

bars). Le gaz de synthèse produit n'est pas un simple mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone, mais contient également du dioxyde de carbone, du méthane et de l'eau en raison des différentes réactions chimiques impliquées.[35]

11.2. L'oxydation partielle

L'hydrogène peut être synthétisé par l'oxydation des hydrocarbures en présence d'air ou d'oxygène pur, un procédé connu sous le nom d'oxydation partielle. Ce processus de production est également bien maîtrisé.[36]

11.3. Production par électrolyse de l'eau

La production d'hydrogène par électrolyse utilise une source d'énergie renouvelable, éliminant ainsi les émissions de gaz à effet de serre. En outre, cette méthode reste la référence pour fournir de petits volumes d'hydrogène de grande pureté, indispensables aux industries des semi-conducteurs et de l'alimentation [37]. Le processus d'électrolyse, sans parties mobiles, est très propre et rentable, capable de produire de l'hydrogène gazeux avec une pureté supérieure à 99,98 %. Ce procédé repose sur la dissociation de la molécule d'eau en ses deux éléments constitutifs, H₂ et O₂, grâce à l'énergie électrique. [36]

12. Electrolyse

L'électrolyse est un processus d'échange où l'énergie électrique est convertie en énergie chimique. Elle permet de provoquer des réactions chimiques grâce à une activation électrique. Cette activation est fournie par une source de courant continu qui procure l'énergie nécessaire à la réaction. La matière à décomposer ou à transférer est dissoute dans un solvant approprié, rendant ainsi ses ions disponibles pour circuler librement dans la solution et entre les deux électrodes ; cette solution est appelée électrolyte. La connexion entre l'électrolyte et le générateur de courant est réalisée par deux électrodes immergées dans l'électrolyte. Une différence de potentiel électrique est appliquée entre les deux électrodes immergées dans la solution. Lorsque le courant électrique continu passe, les électrodes attirent les ions de charge opposée. La cathode est le site de la réduction et l'anode celui de l'oxydation. On peut dire que l'anode est la borne positive et la cathode la borne négative. Il est à noter que ces polarités sont inversées dans le cas d'une pile.[38]

13. Electrolyse de l'eau

13.1. Historique de l'électrolyse de l'eau

La paternité de l'électrolyse de l'eau est attribuée à William Nicholson, un chimiste britannique du XVIIIe siècle (1753-1815). Au tout début du XIXe siècle, après avoir étudié les travaux de Volta sur les batteries électriques, Nicholson en construisit une lui-même. Il découvrit alors que, lorsqu'il immergeait les extrémités des conducteurs électriques dans l'eau, celle-ci se décomposait en hydrogène (H₂) et en oxygène (O₂) moléculaires. Grâce à cette découverte, Nicholson devint le premier homme dont le nom a été conservé par l'histoire pour avoir réussi à réaliser une réaction chimique à l'aide de l'électricité.[39]

13.2. Principe de l'électrolyse de l'eau

L'électrolyse de l'eau consiste à séparer l'eau (H_2O) en hydrogène (H_2) et en oxygène (O_2) lors d'une réaction d'oxydo-réduction. Le procédé industriel actuel utilise de l'électricité pour réaliser cette électrolyse. Comme l'eau ne se décompose pas spontanément en hydrogène et en oxygène, il est nécessaire de lui fournir de l'énergie. Ainsi, l'électrolyse de l'eau est une réaction électrochimique forcée, effectuée dans un appareil spécifique appelé électrolyseur. Dans cet appareil, un courant électrique, généré par un générateur, est injecté dans de l'eau liquide, et l'on récupère en sortie de l'hydrogène et de l'oxygène gazeux. Il s'agit donc d'une transformation chimique où l'on convertit un composé chimique (l'eau) en d'autres composés chimiques (hydrogène et oxygène) à l'aide de l'électricité.[40]

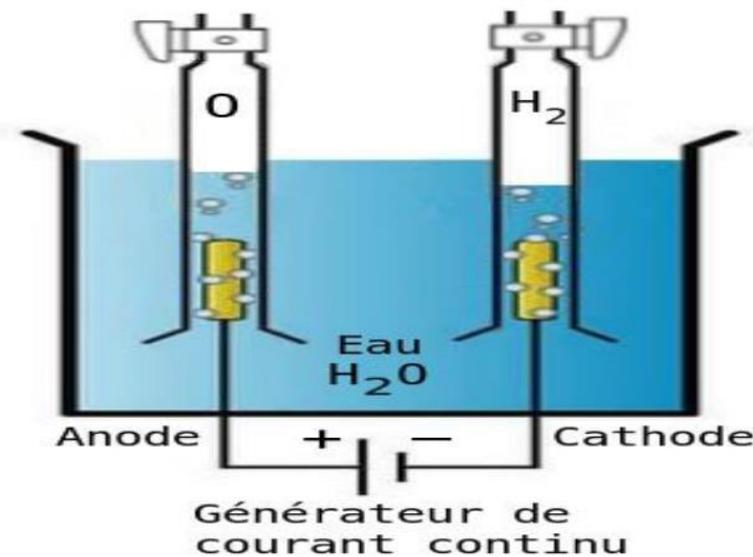


Figure 2-2 : principe d'électrolyse de l'eau. [40]

14. Introduction de l'idée

Notre système fonctionnera comme un micro-réseau avec deux sources d'énergie : un champ photovoltaïque et le réseau principal. Le champ photovoltaïque alimentera la ville prototype pendant la journée, tandis que le réseau fournira de l'énergie la nuit.

Le rôle principal du champ photovoltaïque est de répondre aux besoins énergétiques de la ville prototype. Cependant, sa fonction ne se limite pas à la fourniture d'énergie. Pendant la journée, tout excès d'énergie produit par le champ photovoltaïque sera utilisé pour produire de l'hydrogène via un électrolyseur. Cet hydrogène pourra ensuite être vendu, contribuant ainsi au budget du projet et potentiellement générant des bénéfices.

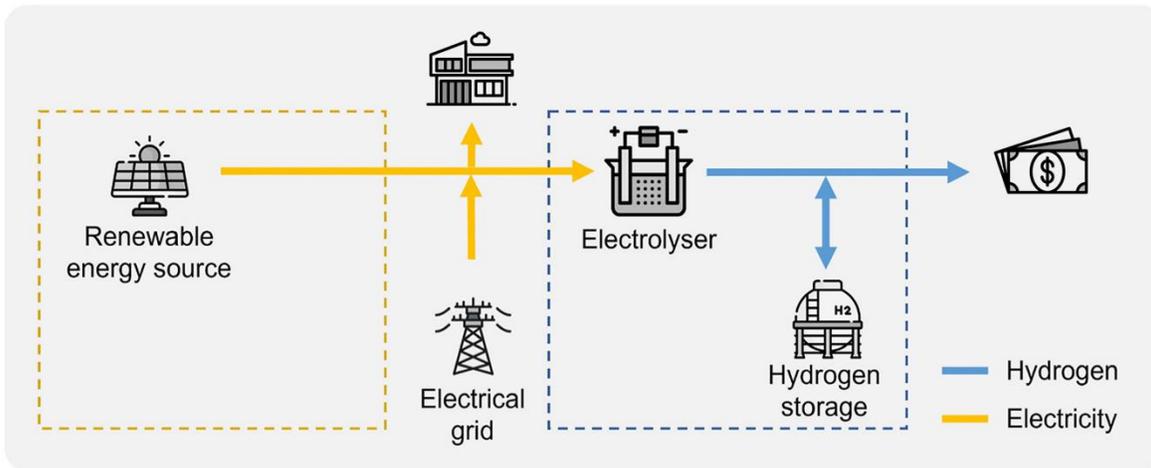


Figure 2-3 : schéma simple de système.

15. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré les différents aspects des micro-réseaux, leurs avantages et leurs inconvénients, en nous penchant sur certains des plus grands projets de micro-réseaux dans le monde. Nous avons également examiné comment l'hydrogène est produit à l'aide d'un électrolyseur, ainsi qu'un aperçu général de notre système.

3. Chapitre 3 : Dimensionnement de Ville Prototype

1. Introduction

Ce chapitre se concentre sur le dimensionnement du système photovoltaïque chargé de fournir de l'énergie à la ville prototype. Il comprend également une description du site d'étude et une analyse des besoins énergétiques de la ville prototype.

2. Description du site et des données

La ville de m'Sila est située au centre-nord de l'Algérie, à environ 248 kilomètres au sud-est de la capitale, Alger. Elle est le chef-lieu de la wilaya de M'Sila, le site a les coordonnées suivant :

Latitude : 35°42.3' nord

Longitude : 4°32.5' Est

Altitude : 475m

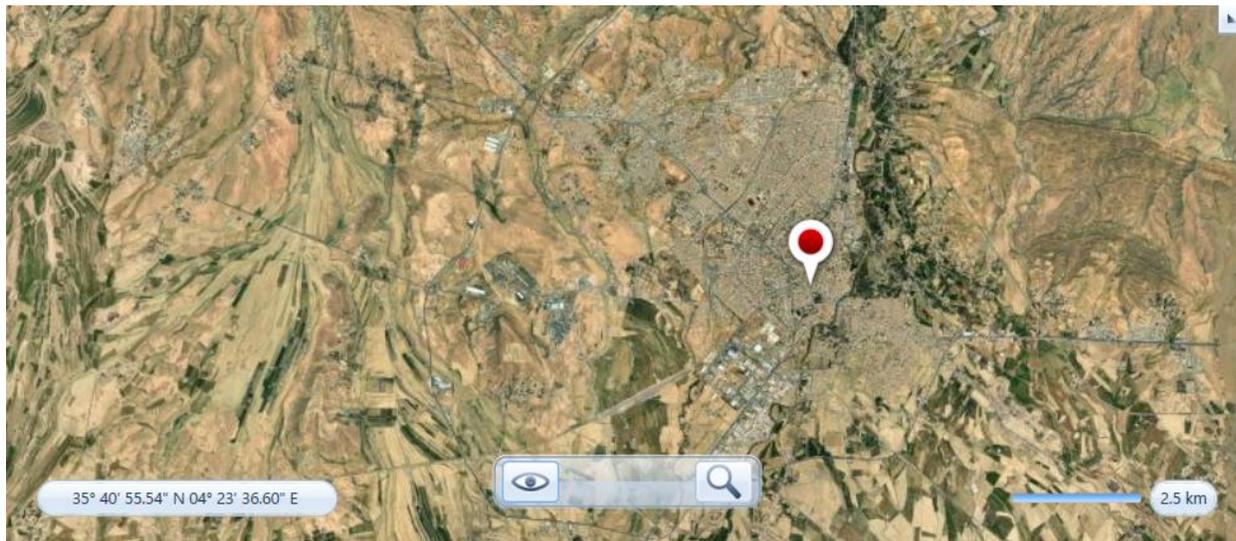


Figure 3-1 : localisation géographique de M'Sila.

2.1. Gisement solaire

L'ensoleillement à notre site varie au fil des saisons. Pendant les mois d'été, la région bénéficie généralement d'une plus grande quantité de soleil, avec des journées plus longues et un ciel dégagé.

En revanche, pendant les mois d'hiver, les journées sont plus courtes et peuvent être plus nuageuses ce qui réduit légèrement l'ensoleillement.

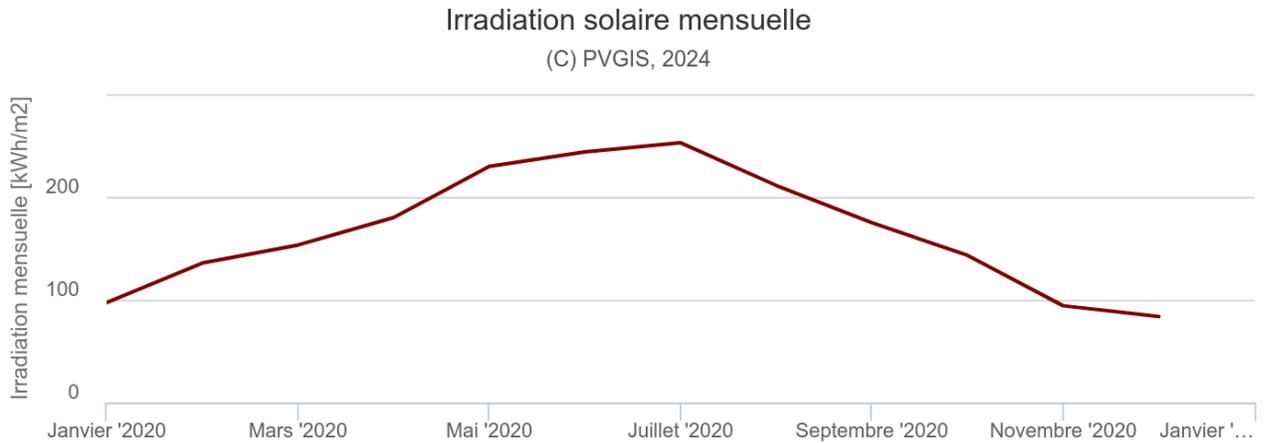


Figure 3-2 : irradiation solaire mensuelle à M'Sila.

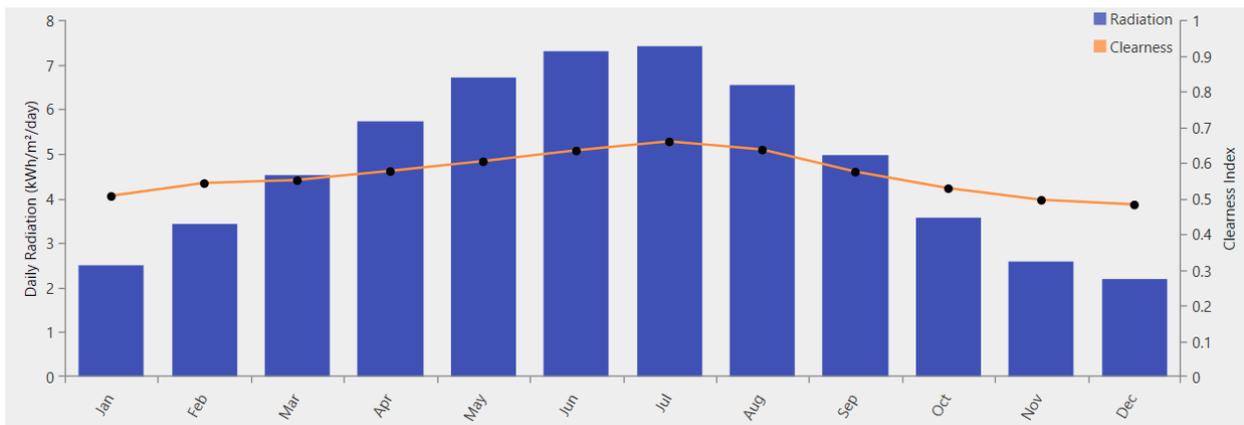


Figure 3-3 : irradiation solaire mensuelle à M'Sila

2.2. La température

Les températures à notre site connaissant une variation saisonnière marquée. Pendant les mois d'été, de juillet et août, il fait le plus chaud, avec des températures moyennes diurnes atteignant généralement 31.2°C à 31.4°C. En revanche, pendant les mois d'hiver, de décembre à février, les températures sont plus fraîches, avec des moyennes diurnes autour de 8.5°C à 13.3°C.

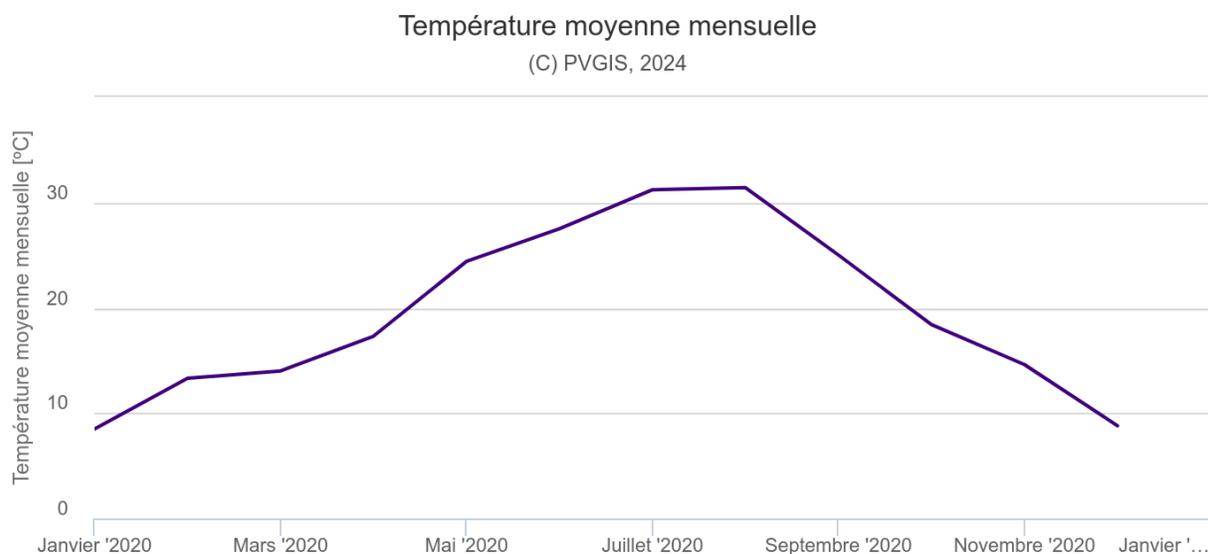


Figure 3-4 : température moyenne mensuelle à M'Sila

3. Dimensionnement analytique

3.1. Bilan des puissances

Il est essentiel d'identifier tous les appareils électriques qui seront alimentés par l'installation photovoltaïque. Pour chaque appareil, il faut déterminer sa puissance nominale de fonctionnement. Vous pouvez vous baser sur des mesures directes sur site ou consultez les fiches techniques ou signalétiques des appareils. Si aucune information n'est disponible, vous pouvez faire une estimation approximative de la puissance électrique de l'appareil.

Le site que nous avons choisi sera le lieu de la ville prototype, cette ville comptera 450 habitations, collectifs et individuels, avec un nombre des aménagements publics nécessaire.

3.2. Les Habitations

La ville aura les habitations suivantes :

Tableau 3-1: nombre et type d'habitation.

Type de logement	Typologie	Gabarie
Collectif	F3 : 150	R+4
	F4 : 150	
Individuels	F5 : 100	R+1
	F6 : 50	R+2
	F7 : 50	R+3

La consommation de chaque type de habitations sera :

○ Un appartement F3

Tableau 3-2: La consommation dans un appartement F3.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	08	15	120
TV	02	300	600
PC	01	120	120
Réfrigérateur	01	105	105
Pompe(surpresseur)	01	380	380
Climatiseur	01	3000	3000
Autre	01	1000	1000
			Pt=5325

○ Un appartement F4

Tableau 3-3: La consommation dans un appartement F4.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	09	15	135
TV	02	300	600
PC	01	120	120
Réfrigérateur	01	105	105
Pompe(surpresseur)	01	380	380
Climatiseur	01	3000	3000
Autre	01	1000	1000
			Pt=5340

○ Une villa R+1

Tableau 3-4: La consommation dans une villa R+1.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	12	15	180
TV	03	300	900
PC	02	120	240
Réfrigérateur	02	105	210
Pompe(surpresseur)	01	380	380
Climatiseur	02	3000	6000
Autre	01	1000	1000
			Pt=8910

o Une villa R+2

Tableau 3-5: La consommation dans une villa R+1.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	16	15	240
TV	03	300	900
PC	03	120	360
Réfrigérateur	02	105	210
Pompe(surpresseur)	01	380	380
Climatiseur	02	3000	6000
Autre	01	1000	1000
			Pt=9090

o Une villa R+3

Tableau 3-6: La consommation dans une villa R+3.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	25	15	375
TV	03	300	900
PC	03	120	360
Réfrigérateur	03	105	315
Pompe(surpresseur)	01	380	380
Climatiseur	03	3000	9000
Autre	01	1500	1500
			Pt=12830

La puissance et l'énergie totale de toutes les habitations de ce prototype sont :

$$P_{\text{total}} = 3586.75 \text{ KW} = 3.56 \text{ MW}$$

$$E_{\text{total}} = 86082 \text{ KWh/jour}$$

3.3. Les aménagements publics :

Tableau 3-7: nombre et type des aménagements.

L'aménagement	Le nombre	L'aménagement	Le nombre
Ecole primaire	01	Centre commercial	01
CEM	01	Mosquée	01
Lycée	01	Poste police	01
Une poste	01	Polyclinique	01

○ Ecole primaire

Tableau 3-8: La consommation dans Ecole primaire.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	75	18	1350
PC	02	120	240
Réfrigérateur	01	100	100
Imprimant	01	150	150
Climatiseur	02	3000	6000
Equipement restaurant	01	1500	1500
			Pt=9330

○ CEM

Tableau 3-9: La consommation dans CEM.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	100	18	1800
PC	15	120	360
Réfrigérateur	01	100	100
Imprimante	02	150	300
Climatiseur	03	3000	9000
Data-show	02	90	180
Equipment restaurant	01	1200	1000
			Pt=14380

○ Lycée

Tableau 3-10: La consommation dans Lycée.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	150	18	2700
PC	15	120	1800
Réfrigérateur	01	100	100
Imprimante	02	150	300
Climatiseur	03	3000	9000
Data-show	02	90	180
Equipment restaurant	01	1000	1000
			Pt=15080

○ Poste police

Tableau 3-11: La consommation dans Poste police.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	25	15	375
PC	08	120	960
Réfrigérateur	01	100	100
Imprimante	02	150	300
Climatiseur	04	3000	12000
Data-show	01	90	90
Autre	01	500	500
			Pt=14325

○ Polyclinique

Tableau 3-12: La consommation dans Polyclinique.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	40	15	600
PC	02	120	240
Réfrigérateur	05	105	525
Climatiseur	05	3000	15000
Autre	01	750	750
			Pt=17115

○ Mosquée

Tableau 3-13: La consommation dans Mosquée.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	40	15	600
TV	01	150	150
Refrigerateur d'eau	04	100	400
Climatiseur	04	5000	20000
Ventilateur	15	25	375
Haut-parleur	02	100	200
Amplificateur	01	200	200
			Pt=21925

○ Contre commercial

Tableau 3-14: La consommation dans contre commercial.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	300	15	450
PC	20	120	2400
Réfrigérateur	15	100	1500
TV	10	150	1500
Climatiseur CENTRAL	01	5000	5000
Caméras de surveillances	50	50	2500
			Pt=13350

○ Une poste

Tableau 3-15: La consommation dans Une poste.

Appareil	Nombre	Puissance unitaire (w)	Puissance total (w)
Lampes LED	10	15	150
PC	05	120	600
Réfrigérateur	01	100	100
Imprimante	01	150	150
Climatiseur	02	3000	6000
Distributeur	01	50	50
			Pt=7050

Alor, la puissance et l'énergie totale de tous les aménagements de ce prototype sont :

$$P_{total} = 112.55 \text{ KW}$$

$$E_{total} = 2701.32 \text{ KWh/jour}$$

La puissance et l'énergie totale de ce prototype sont :

$$P_{total} = 3586.75 + 112.55 = 3699.3 \text{ KW}$$

$$P_{total} = 3.699 \text{ MW}$$

$$E_{total} = 86082 + 2701.32 = 88783.32 \text{ KWh/jour}$$

3.4. Calcul de la puissance d'onduleur :

Pour calculer la puissance de l'onduleur on utilise la formule suivante :

$$P_{\text{onduleur}} = \frac{P_{\text{total}} \times \alpha}{\eta_{\text{onduleur}}}$$

Tel que :

α : facteur de correction

η : rendement d'onduler

$$P_{\text{onduleur}} = \frac{3699.3 \times 1.25}{0.96}$$

$$P_{\text{onduleur}} = 4816.79 \text{KW}$$

On choisit un onduleur avec puissance de sortie supérieur à 4816.79 KW

Donc on prend un onduleur de 5000 KW.

3.5. Calcul de nombre des panneaux :

Pour calculer le nombre des panneaux on utilise la formule suivante :

$$N_p = \frac{P_{\text{total}}}{P_{\text{panneau}} \times G}$$

Tel que :

G : coefficient de correction d'éclairement

$$N_p = \frac{3699300}{600 \times 0.8}$$

$$N_p = 7706,875$$

Donc on prend 7710 panneaux de puissance de 600W.

4. Conclusion

Ce chapitre fournit une analyse approfondie de l'échelle de la ville prototype. Nous avons examiné les besoins énergétiques de l'ensemble du système, en tenant compte de divers facteurs tels que la densité de population et les exigences en matière d'infrastructure.

En plus de comprendre ces besoins énergétiques, nous avons également étudié les exigences de dimensionnement du système photovoltaïque nécessaire pour satisfaire ces besoins. Notre analyse vise à garantir que la ville prototype puisse répondre de manière durable à ses besoins énergétiques grâce à un système photovoltaïque bien conçu et de taille adéquate.

4. Chapitre 4 : Modélisation de système avec logiciel HOMER

1. Introduction

Ce chapitre contient une introduction au programme HOMER, un outil essentiel pour la modélisation des systèmes énergétiques. En outre, nous allons réaliser une évaluation financière du projet de micro grid en utilisant ce logiciel. Cette évaluation comprendra une analyse des coûts initiaux, des coûts d'exploitation, des économies potentielles, ainsi que des scénarios de rentabilité à long terme. L'utilisation du logiciel HOMER est crucial pour déterminer la viabilité économique du projet, en fournissant des simulations précises et des données fiables pour soutenir la prise de décision.

2. Logiciel HOMER

Le logiciel HOMER est un outil d'optimisation utilisé pour simuler plusieurs technologies d'énergies renouvelables. Il évalue le potentiel technico-économique d'une énergie renouvelable particulière en vérifiant si les charges électriques et thermiques peuvent être satisfaites par la technologie proposée. Il évalue également la viabilité économique et l'analyse de sensibilité du projet. Ce logiciel d'optimisation a été largement utilisé pour évaluer plusieurs systèmes énergétiques hybrides précédents dans plusieurs pays. Les données d'entrée pour HOMER comprennent les ressources renouvelables (vitesse du vent et rayonnement solaire), la charge électrique (demande d'énergie), les détails/coûts techniques, entre autres. Le logiciel effectue des centaines ou des milliers de simulations horaires pour permettre une correspondance probable optimale entre la demande et l'offre pour aider à concevoir le meilleur système. [41]

La préoccupation commence par l'exigence de charge électrique ou thermique pour les individus, les sociétés, les organisations et les industries selon les besoins. Après cela, les ressources disponibles sur un terrain spécifique sont prises en compte. L'analyse des actifs aide à déterminer la sélection des composants pour le réseau d'énergie hybride. La taille de la pièce peut être ajustée en utilisant différentes méthodes de simulation pour le système énergétique hybride ou en utilisant l'algorithme d'optimisation. HOMER Pro est utilisé comme outil d'optimisation pour cette analyse.[42]

3. La structure électrique

Nous avons choisi un système de production d'électricité connecté aux réseaux qui comprend des panneaux solaires, un transformateur électrique, un électrolyseur pour produire l'hydrogène et un réservoir d'hydrogène pour stocker l'hydrogène produit. Comme indiqué dans le schéma (figure 4-1).

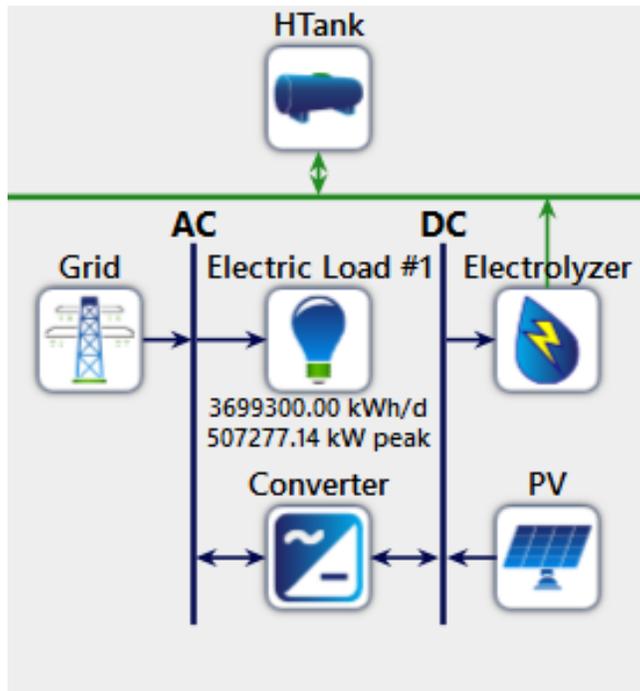


Figure 4-1 : schéma de system

4. Profile de production

Le système photovoltaïque est capable de satisfaire la plupart des besoins énergétique de notre prototype, 78% pour être précis, laissant les 22% restants à fournir par le réseau.

Tableau 4-1: profile de production de l'Energie.

Production	KWh/année	Percentage %
Système photovoltaïque	1,906,624,324	78
Réseau	536,454,716	22
Total	2,443,079,040	100

L'ensoleillement à notre site varie au fil des saisons, par conséquent, l'énergie produite varie également au fil des saisons.

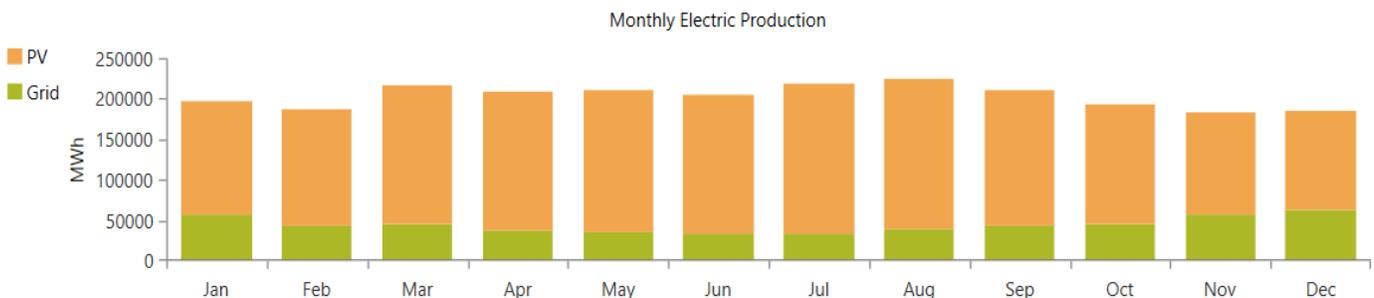


Figure 4-2: production électrique mensuelle.

4.1. Système photovoltaïque

Le figure ci-dessous montre le profil de l'énergie produite par le système photovoltaïque, la production d'électricité débute après le lever du soleil. En hiver et en automne, celui-ci a lieu entre 7h00 et 8h00, et la puissance électrique varie durant cette période. Au printemps et en été, le lever du soleil se situe entre 5h00 et 6h00, et la production électrique est également fluctuante.

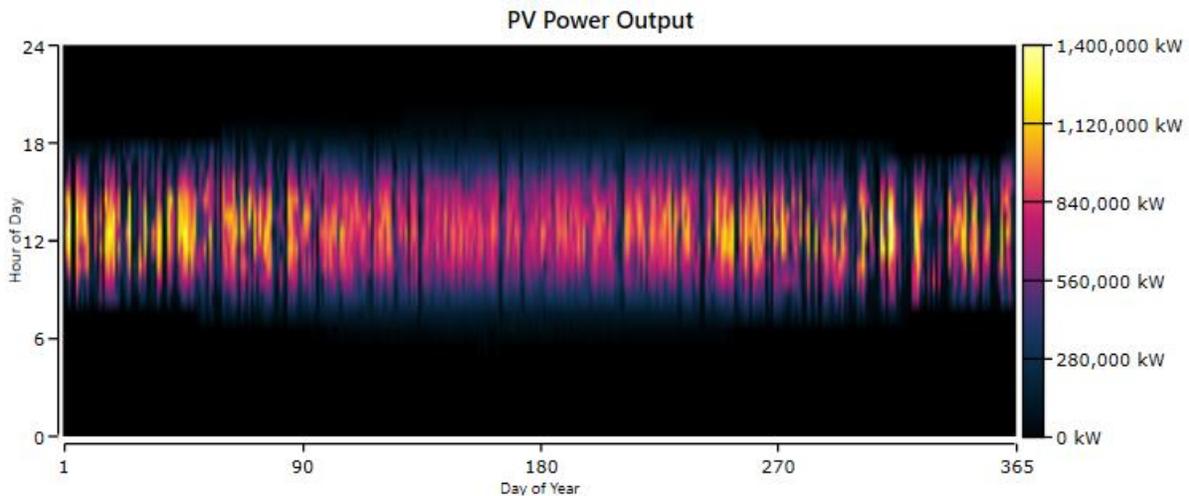


Figure 4-3: l'énergie produite par le système photovoltaïque.

4.2. Réseau

Le figure ci-dessous montre le profil de l'énergie fournie par le réseau, nous pouvons voir que le réseau est principalement utilisé pour fournir l'électricité pendant la nuit, ou lorsque l'énergie produite par le système photovoltaïque est inefficace.

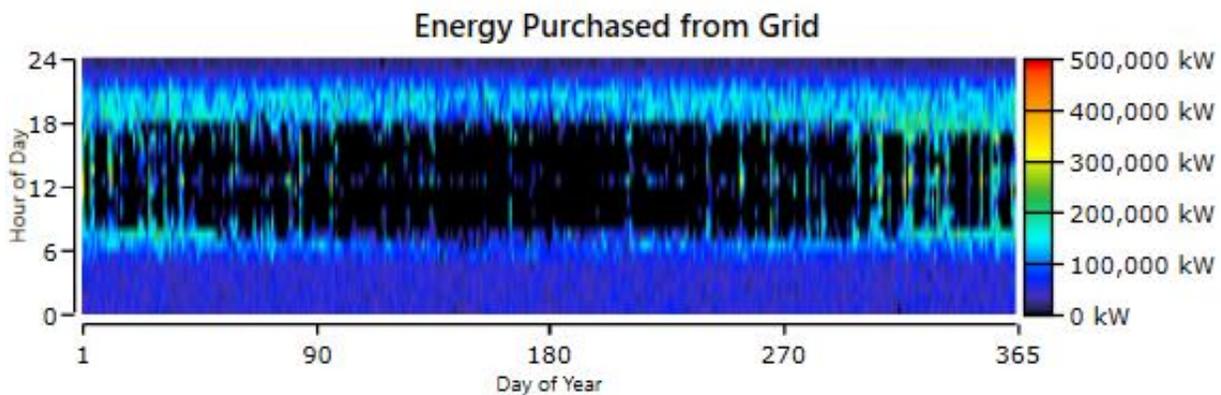


Figure 4-4: Energie fournie par le réseau.

5. Profile de consommation

Le tableau ci-dessous met en évidence l'énergie solaire consommé par l'ensemble du système.

Tableau 4-2 : Energie consommée par le prototype

Consommation	KWh/année	Percentage %
Charge	1,350,244,500	56,3
Excès	1,092,834,540	43.7
Total	2,443,079,040	100

On voit que la ville prototype consomme 56.3% de l'énergie produite par le système photovoltaïque.

Nous avons décidé que nous utiliserions l'énergie excédentaire pour produire l'hydrogène à l'aide d'un électrolyseur, nous pourrions alors vendre l'hydrogène vert produit afin d'obtenir un retour sur investissement du projet ou de réaliser un profit.

6. Hydrogène produit

La figure montre la quantité d'hydrogène produite par l'électrolyseur en un an.

Production	kg/yr	%
Electrolyzer	21,295,846	100
Reformer	0	0
Total	21,295,846	100

Figure 4-5 : hydrogène produite en un an

Ci-dessous nous trouvés la production mensuelle d'hydrogène



Figure 4-6 : production mensuelle d'hydrogène.

On remarque que la production d'hydrogène culmine dans les mois de juillet et août, cela est dû à la forte production d'énergie photovoltaïques pendant l'été. la production d'hydrogène est faible en décembre car la production d'énergie photovoltaïque est faible en hiver.

7. Emissions de CO₂

Les émissions de CO₂ ne seront pas très faibles puisque notre system dépend du réseau pendant la nuit, mais son impact sur l'environnement n'est pas aussi important qu'un système qui dépend entièrement du réseau.

Tableau 4-3 : émissions de CO₂

Système	Emission de CO ₂ (kg/année)
Prototype	339,039,392
Réseau	853,354,496

Nous pouvons voir que les émissions du système qui dépend de réseau seulement sont 2.5 fois supérieurs à celles de prototype.

8. Discussion sur l'aspect économique

Les questions de cout et de fiabilité sont prioritaires pour les responsables des services technologiques, car le cout économique est crucial dans le choix et l'évaluation de ce projet.

Puisque HOMER est capable de simuler plusieurs systèmes en même temp, nous allons comparer notre système avec un système alimenté par le réseau afin de déterminer si notre système fiable.

8.1. Le prototype

Coût totale estime (NPC) : 841,224,200 € (121,147,432,703.10 DZ) avec un capital initial de : 535,091,271.67 € (77060234150.01 DZ) et un coût d'opération de 23,680,720 € (3,410,337,496.90 DZ).

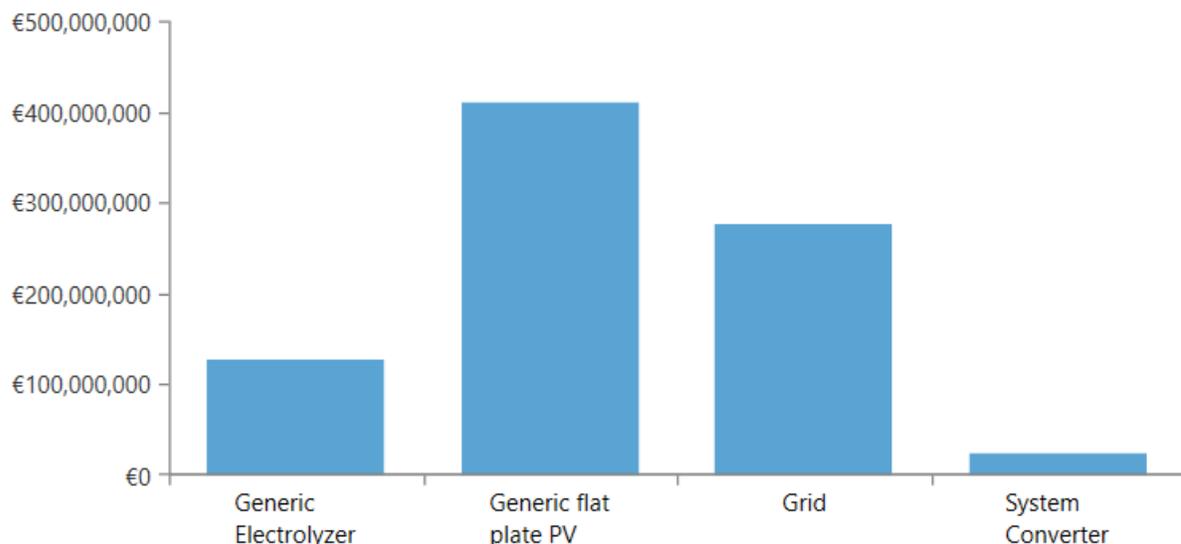


Figure 4-7 : Résumé des coûts de prototype.

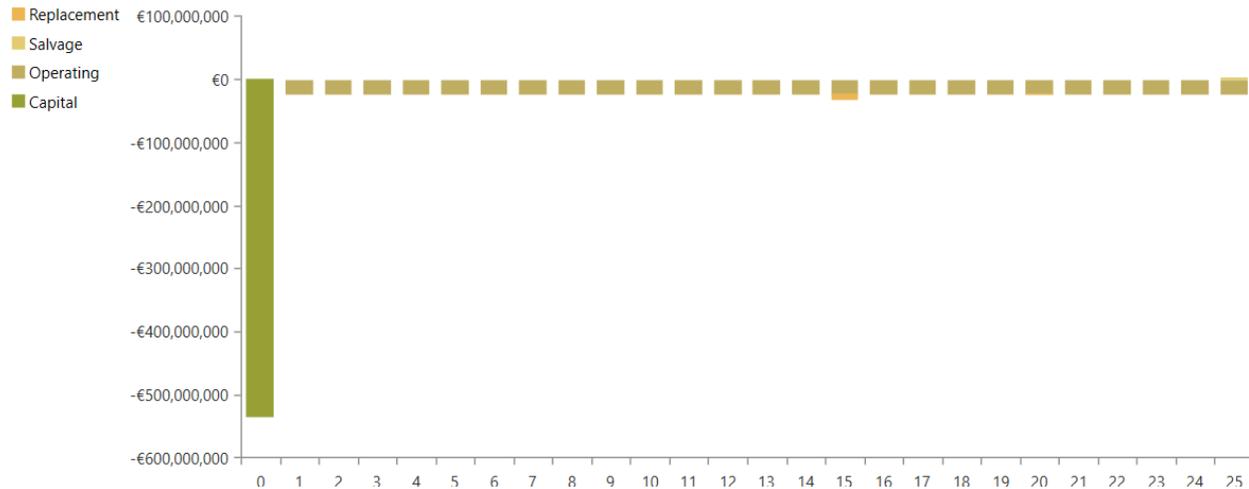


Figure 4-8 : flux de trésorerie de prototype.

Au cours des 25 années de la durée de vie du projet, la première année est notablement celle où les dépenses sont les plus élevées. Cette hausse des coûts pendant la première année est principalement due à l'investissement en capital substantiel requis au départ. Les coûts initiaux en capital constituent la majorité du coût estimé du projet, englobant des dépenses telles que l'achat d'équipements et d'autres dépenses fondamentales.

Ces coûts initiaux augmentent considérablement le prix total estimé du projet. En conséquence, les dépenses financières de la première année établissent une base élevée pour le budget global du projet, ce qui en fait la phase la plus exigeante financièrement de toute la période de 25 ans. Les années suivantes voient généralement une réduction des dépenses annuelles à mesure que le projet passe de la phase d'installation initiale à celle des opérations et de la maintenance courantes, qui sont généralement moins coûteuses comparées aux investissements initiaux en capital.

8.2. Système alimenté par le réseau

Coût totale estime (NPC) : 698,212,400 € (100,551,838,310.72 DZ), avec un coût d'opération de 54,009,780 € (7,778,124,057.60 DZ).

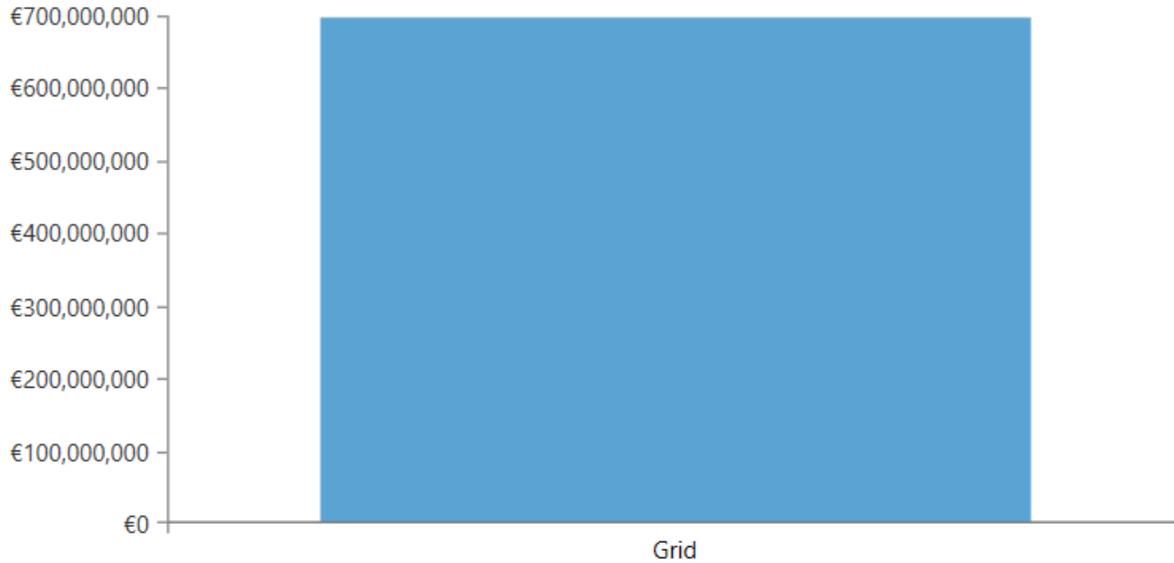


Figure 4-9 : Résumé des coûts de système alimente par le réseau.

Dans ce cas, le coût d'exploitation est le prix de l'énergie achetée sur le réseau

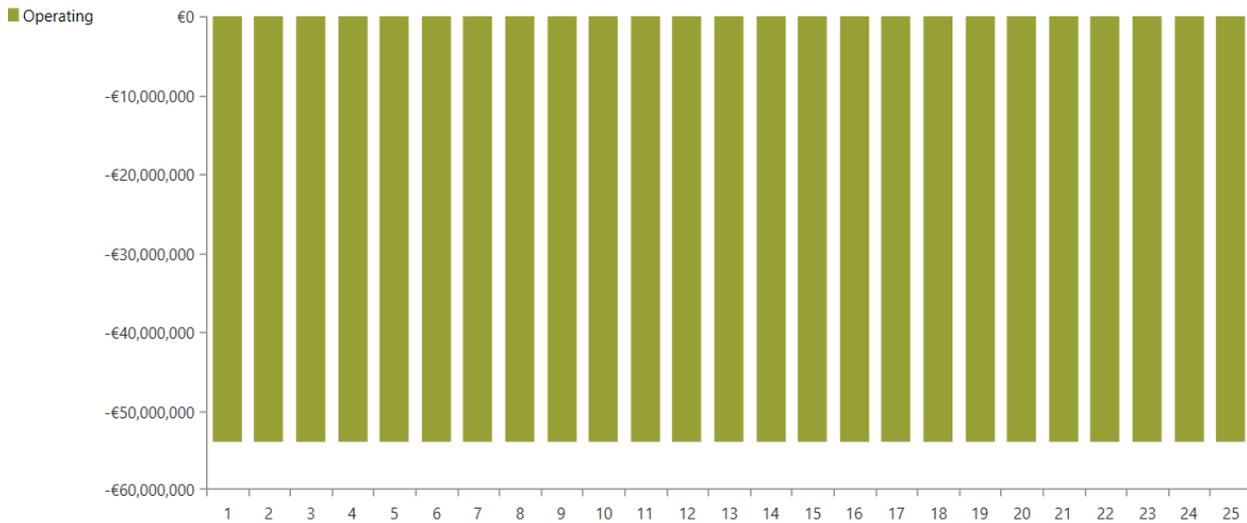


Figure 4-10 : flux de trésorerie de système alimente par le réseau.

Les dépenses tout au long de la durée de vie du projet restent constantes chaque année, avec comme seule source d'énergie le réseau. Par conséquent, le coût du projet est principalement déterminé par le prix de l'énergie achetée.

Cela signifie que les dépenses annuelles sont relativement prévisibles, permettant une meilleure planification budgétaire et financière. Cependant, cela implique également que la viabilité financière du projet est très sensible aux fluctuations des prix de l'énergie. Si les prix de l'énergie augmentent, le coût global du projet augmentera en conséquence

8.3. Hydrogène

En 2022, le prix de gros de l'hydrogène vert en Europe se situe entre 6,10 et 8,15 €/kg. En comparaison [43], en 2024, le coût de l'importation d'hydrogène vert en Europe est prévu d'être d'environ 3,75 \$ par kilogramme. À court terme, l'hydrogène importé devrait être moins cher que celui produit localement.[44]

Grâce à notre projet, nous sommes en mesure de produire de l'hydrogène à un coût de 3,06 €/kg, ce qui nous permettrait de réaliser un profit même en le vendant au prix estimé de 3,75 €/kg.

Figure 4-11 : coût d'hydrogène produit

Quantity	Value
Levelized COH	3.06

8.4. Les bénéfices

Dans ce contexte, la gamme de bénéfices générés par la vente d'hydrogène chaque année serait : 129,904,660.6 € jusqu'à 173,561,144.9€

(18,660,706,625.02 DZ jusqu'à 24,995,104,897.89 DZ)

Et tout au long de la durée de vie complète du projet, les bénéfices s'élèveraient à :

3,247,616,515 € jusqu'à 4,339,028,622.5€ (466,517,665,625.47 DZ jusqu'à 624,877,622,447.31 DZ)

8.5. Amortissement de projet

Si l'hydrogène était vendu au prix de 6,10 €/kg, les bénéfices totaux générés seraient près de quatre fois le coût estimé totaux du projet. Cette marge bénéficiaire substantielle souligne la viabilité financière du projet. De plus, les revenus générés par les ventes d'hydrogène permettraient au projet de rembourser entièrement les coûts estimés totaux en l'espace de 7 ans.

9. Perspective

Le période de remboursement souligne les performances financières solides et la durabilité du projet. En plus de couvrir l'investissement initial, le projet générerait des bénéfices significatifs à long terme, ce qui en fait une opportunité d'investissement attrayante et lucrative. La combinaison d'une rentabilité élevée et d'une période de remboursement relativement courte démontre non

seulement la viabilité du projet, mais en fait également un investissement sûr qui promet des rendements substantiels sur le long terme.

De plus, les émissions de CO₂ associées au système dépendant du réseau sont 2,5 fois supérieures à celles du micro-réseau. Cette différence significative souligne les avantages environnementaux du système proposé. En plus de sa fonction principale de production d'hydrogène—un processus offrant une alternative prometteuse aux combustibles fossiles—le système présente une empreinte carbone nettement réduite. En minimisant la dépendance au réseau traditionnel, souvent associé à des niveaux élevés d'émissions de CO₂, le micro-réseau soutient non seulement la production d'énergie durable mais s'aligne également avec les efforts mondiaux pour lutter contre le changement climatique. Ce double avantage de production d'hydrogène et de réduction des émissions de carbone positionne le système proposé comme une solution innovante et écologiquement responsable, renforçant son potentiel d'adoption généralisée dans la transition vers des infrastructures énergétiques plus propres.

Étant donné que M'Sila abrite déjà une centrale photovoltaïque, la mise en œuvre d'un projet similaire semble prometteuse. La région bénéficie d'un niveau significatif de rayonnement solaire, ce qui la rend particulièrement adaptée pour de nouvelles initiatives en énergie renouvelable. De plus, la proximité avantageuse de M'Sila avec le littoral et les pipelines de gaz naturel reliant l'Afrique à l'Europe facilite le transport de l'hydrogène. Ces avantages stratégiques renforcent la faisabilité et l'impact potentiel de lancer une nouvelle initiative hydrogène.

10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré le rôle essentiel joué par le programme HOMER dans l'étude d'un projet de micro-réseau. Grâce à la simulation effectuée par ce logiciel, nous avons pu examiner en plusieurs aspects cruciaux du projet. Tout d'abord, nous avons analysé la production et la consommation d'énergie et évalué la production d'hydrogène.

De plus, grâce aux données fournies par la simulation HOMER, nous avons pu étudier les émissions de CO₂ générées par le projet, permettant ainsi une évaluation de l'empreinte carbone du système. Cette analyse environnementale est cruciale pour évaluer l'impact global du projet sur l'environnement local et mondial.

En parallèle, nous avons également examiné l'aspect économique du projet. Les simulations réalisées a permis d'évaluer les coûts opérationnels et d'investissement associés, ainsi que les économies potentielles générées.

Grâce à cette analyse exhaustive, ont pu évaluer la viabilité globale du projet. Les résultats obtenus nous ont conduits à la conclusion que le projet représente un investissement prometteur, non seulement d'un point de vue économique mais aussi environnemental. En effet, la combinaison de performances énergétiques solides, d'une empreinte carbone réduite et d'avantages économiques tangibles positionne ce projet comme une réussite potentielle et un modèle pour les initiatives futures dans le domaine des micro grid et des énergies renouvelables.

Conclusion générale

Dans cette mémoire, il a été possible d'expérimenter comment un système photovoltaïque pourrait être utilisé pour alimenter de grandes charges électriques, telles que des villes, tout en explorant les aspects techniques, économiques et même environnementaux du système.

Nous avons vu à quel point les conditions naturelles peuvent avoir un impact sur un système photovoltaïque, ainsi que le rôle crucial joué par de nombreux composants d'un système photovoltaïque. Nous avons également étudié différents types de systèmes photovoltaïques.

Nous avons également été présentés aux micro-réseaux, nous avons observé leurs rôles et leur mode de fonctionnement, ainsi que certains des plus grands projets de micro-réseaux dans le monde. De plus, nous avons étudié le rôle de l'hydrogène dans de nombreux secteurs industriels et certaines des méthodes utilisées pour le produire, notamment l'électrolyse de l'eau.

Après avoir pris en considération des facteurs tels que le site géographique, l'irradiation solaire et la température, nous avons pu dimensionner la ville prototype, ce qui nous a permis de calculer la taille du champ photovoltaïque nécessaire pour alimenter cette ville prototype.

L'utilisation du programme HOMER pour la modélisation du système nous a permis de comprendre de manière approfondie le micro-réseau sous différents angles. Un des aspects clés sur lesquels nous nous sommes concentrés était sa viabilité économique. En utilisant HOMER, nous avons pu évaluer minutieusement la performance du projet sur une période de 25 ans. Malgré l'investissement initial en capital important requis pour le projet, celui-ci a démontré une efficacité financière remarquable. Plus précisément, le micro-réseau a été en mesure d'amortir l'ensemble des coûts estimés en seulement 7 ans d'exploitation. Cette analyse a souligné non seulement la faisabilité du projet, mais aussi sa durabilité à long terme et son bénéfice économique.

En conclusion, l'énergie solaire peut jouer un rôle clé dans la transition des ressources fossiles finies vers des ressources renouvelables, particulièrement lorsqu'elle est utilisée en tandem avec un micro-réseau. Cette combinaison crée un système plus robuste et efficace capable de produire de l'hydrogène, une alternative prometteuse aux combustibles fossiles. De plus, cela soutient l'économie locale tout en réduisant l'empreinte carbone mondiale.

Référence bibliographique

- [1] <https://dictionnaire.orthodidacte.com/article/definition-energie-renouvelable>
- [2] Krim Med lamine Debbah Housseem Eddine <<Etude par simulation d'un générateur photovoltaïque>>MEMOIRE DE MASTER UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA,2018.
- [3] BOUBOU-BOUZIANI Naima<<Potentiel et développement des énergies renouvelables en Algérie. >>Ecole Nationale Polytechnique d'Oran,2017.
- [4] Othmane Benseddik, Fathi Djaloud, « Etude et optimisation du fonctionnement d'un système photovoltaïque », mémoire de master, université Kasdi Marbah- Ouargla, 2012.
- [5] Almorox, Javier, et al. "Adjustment of the Angstrom-Prescott equation from Campbell-Stokes and Kipp-Zonen sunshine measures at different timescales in Spain." Renewable Energy 154 (2020): 337-350.
- [6] <https://novalynx.com/store/pc/240-8111-Pyrradiometer-p511.htm>
- [7] Steufer, Martin, et al. Heated Pyrheliometer Field Campaign Report. No. DOE/SCARM-19-030. Oak Ridge National Lab. (ORNL), Oak Ridge, TN (United States). Atmospheric Radiation Measurement (ARM) Data Center, 2019.
- [8] Alain Ricaud<<Systèmes photovoltaïques>>Polytech' Savoie École d'ingénieurs,2011.
- [9] ALLAGUI SALIM LABIOD SALAH EDDINE<<Etude et simulation d'un système photovoltaïque>>MEMOIRE DE LICENCE, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR ANNABA,2021
- [10] 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.
- [11] J'apprends l'énergie, GDF SUEZ 2013, (énergie renouvelable).
- [12] Kamelia Hellali, « Modélisation d'une cellule photovoltaïque : étude comparative », université Tizi-Ouzou, mémoire de magister, 2012.
- [13] Salaheddine Bensalem, « Effets de la température sur les paramètres et caractéristiques des cellules solaire », université Farhat Abbas- Setif, mémoire de magister, 2011.
- [14] M.N.Mchalikh et CH.Hmada"Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque en fonctionnement autonome et connecté au réseau " Mémoire de Master Université Kasdi Merbah–Ouargla 2013.
- [15] Moufdi Hadjab<<État de l'art technologique des cellules solaires photovoltaïques>>international book market service ltd member of omniscipitum publishing group,2019

- [16] Rania, B. et B. Yasmina, <<Etude et réalisation d'un régulateur de charge solaire>>, Faculté des Sciences et Technologies,2021.
- [17] MECHEHAT Tamader<<Contribution à la gestion d'énergie d'un système renouvelable : panneau photovoltaïque / batterie>>, universite kasdi merbah ouargla,2023.
- [18] ABBOU, B. et D. Boutkhal, <<Contribution à l'étude de la gestion de stockage d'énergie hybride : batterie Li-ion supercondensateur dans les systèmes PV et éolien>>, Directeur : Mr M. BOUCHAOUR/Co-Directeur : Mr MERAD Lotfi,2022.
- [19] Violaine Didier, << Les Onduleurs pour Systèmes Photovoltaïques Fonctionnement, Etat de l'Art et Etude des Performances>>, HESPUL,2007.
- [20] <https://www.srmgt.be/photovoltaique/onduleur/differents-types-et-modeles-onduleurs-solaires-comment-choisir>
- [21] <https://www.ase-energy.com/content/132-tout-savoir-sur-le-regulateur-de-charge-solaire-fonctionnement-usage-modele>
- [22] Yousra AMMOUR et Madiha KENOUCHE, <<Conception et réalisation d'un régulateur de charge par panneaux photovoltaïques>>, Université Mohammed Seddik Ben Yahia – Jijel, Juin 2019.
- [23] Bessem Abdelghani, <<Modélisation et simulation d'un pompage photovoltaïque>>, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA, 2018.
- [24] Tahar DERABLA, <<Etude de l'effet de différents paramètres Physico-chimiques d'électrolyse en vue de la préparation de revêtements électrolytiques de chrome à partir des bains de chrome trivalent >>, Mémoire de MAGISTER,Université 8 Mai 1945 Guelma,2012.
- [25] Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, mémento de l'hydrogène fiche 3.2.1, afh2, 2004.
- [24] ZEMOURI, Yassine, REMILI, Karim, « Aspects économiques et sécurité informatique dans les projets Smart Grids : Etude de cas », Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira Béjaia, 2013.
- [25] S. FERAHTIA, Contrôle de la mise en parallèle des batteries dans un micro réseau, Msila : Thèse de doctorat., 2018.
- [26] A. D. H. B. S. K. C. S. D. A. B. F. Benoît Robyns, Stockage d'énergie électrique pour les bâtiments au sein de réseaux intelligents, LONDON : ISTE Edition, 2019.
- [27] Morettin, Lucas. <<Dimensionnement et protection d'un micro-réseau isolé en courant continu pour l'électrification rurale des pays en voie de développement>>. Ecole polytechnique de Louvain, Université catholique de Louvain, 2020. Prom.
- [28] Guerrero, J; Vasquez, J.C.; Matas, J.; de Vicuña, L.G.; Castilla, M.<< Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids—A General Approach toward Standardization>>. IEEE Trans. Ind. Electron. 2010, 58, 158–172.

- [29] BENOTMANE Sara, MOUALEK Farida, « Etude et simulation des systèmes photovoltaïques connectés à un microgrid », Mémoire de Master, Université Aboubaker Belkaid Tlemcen, 2016.
- [30] SEBAA, Haddi. Contribution à l'optimisation de l'insertion des énergies renouvelables dans un réseau électrique intelligent. Thèse de doctorat. Université Ferhat Abbas – Setif1, 2019
- [31] Florence Portejoie, Claire Flin les <<Smart Grids>>, DOSSIER DE PRESSE, ALCIMÉD, 2011.
- [32] Oualid Mohammed, Production de l'hydrogène à partir des énergies renouvelables, université Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, Juin 2009.
- [33] A. Safidine, Etude paramétrique du comportement d'une flamme d'hydrogène-oxygène dans un milieu confiné, mémoire de Master, Université de Médéa, 2011.
- [34] <http://www.cea.fr/jeunes/themes/les-energies-renouvelables/>
- [35] Khellal Bassim. Boudid fares, Etude d'une installation de production d'hydrogène photovoltaïque par électrolyse de l'eau, rapporteur : Dr a. ait Yala Master Université de Bouira 2015.
- [36] M. Sahli, Etude de la production d'hydrogène par électrolyse et pile à combustible, mémoire de Magister, Université Mentouri de Constantine, 2010.
- [37] Production d'hydrogène à partir des procédés de reformage et d'oxydation partielle, mémento de l'hydrogène fiche 3.1.1, source : AFHYPAC -IFPEN, 2011.
- [38] Tahar DERABLA, <<Etude de l'effet de différents paramètres Physico-chimiques d'électrolyse en vue de la préparation de revêtements électrolytiques de chrome à partir des bains de chrome trivalent >>, Mémoire de MAGISTER, Université 8 Mai 1945 Guelma, 2012.
- [39] Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau, mémento de l'hydrogène fiche 3.2.1, afh2, 2004.
- [40] <http://energiein.e-monsite.com/pages/46-electrolyse-pour-moteur-thermique.html>
- [41] E. B. Agyekum and C. Nutakor, "Feasibility study and economic analysis of stand-alone hybrid energy system for southern Ghana," Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 39, 2020.
- [42] K. Balachander, G. S. Kumaar, M. Mathankumar, A. Manjunathan, and S. J. M. T. P. Chinnapparaj, "Optimization in design of hybrid electric power network using HOMER." 2020.
- [43] <https://pemedianetwork.com/hydrogen-economist/articles/green-hydrogen/2022/green-hydrogen-costs-rise-in-europe/>
- [44] <https://www.statista.com/statistics/1312286/europe-green-hydrogen-production-and-import-costs-2030/>

Annex

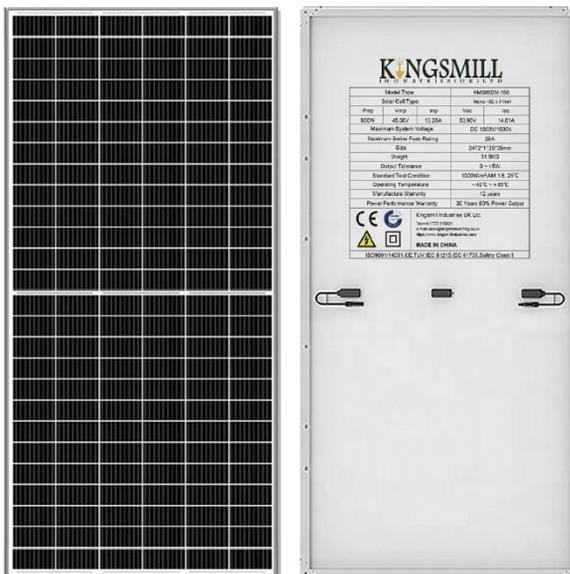
SOLAR PANELS

600W PHOTOVOLTAIC SOLAR PANEL

Introduction

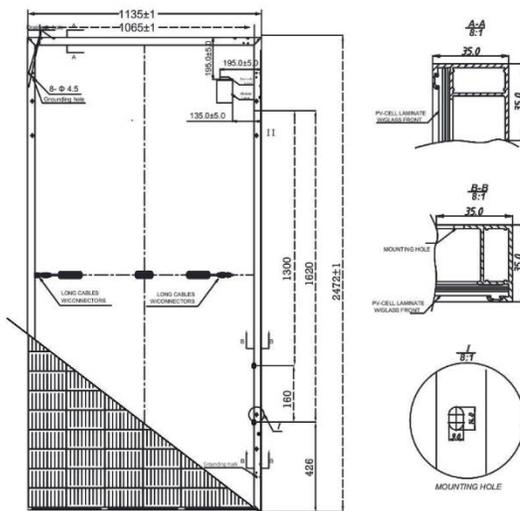
600W Photovoltaic Solar Panels are certified for the most challenging environmental conditions. This 600W Photovoltaic high-power monocrystalline solar panel operates at 21.20% efficiency to maximize the light absorption area.

Product Options



Mono Solar Panel Features

-  Widely using of the most popular and mature type of modules for solar system
-  High power output and highest conversion efficiency of 21.20%
-  Anti-reflective and anti-soiling surface reduces power loss from dirt and dust
-  Outstanding Performance in low-light irradiance environments
-  Excellent mechanical load resistance: Certified to withstand high wind loads (2400Pa) and Snow loads (5400Pa)
-  Positive power tolerance: 0~+5W



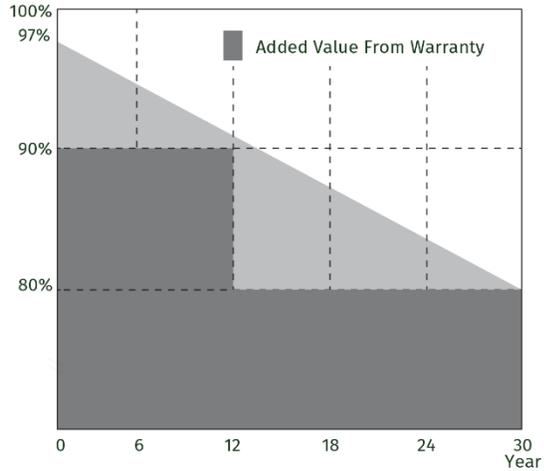
Electrical Characteristics(STC)

Module Type	KMS600M-156
Maximum Power (Pmax)	600W
Maximum Power Voltage (Vmp)	45.00V
Maximum Power Current (Imp)	13.26A
Open-circuit Voltage (Voc)	53.90V
Short-circuit Current (Isc)	14.01A
Module Efficiency (%)	21.20%
Power Tolerance	0~+5W
Temperature Coefficient of Isc	+0.05%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C

Product Features

Warranty
12 years for product defects in materials & workmanship
12 years for 90% of warranted minimum power output
25 years for 80% of warranted minimum power output
25 years liner warranty

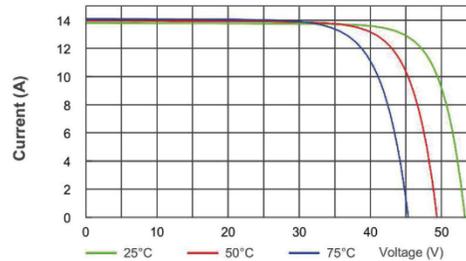
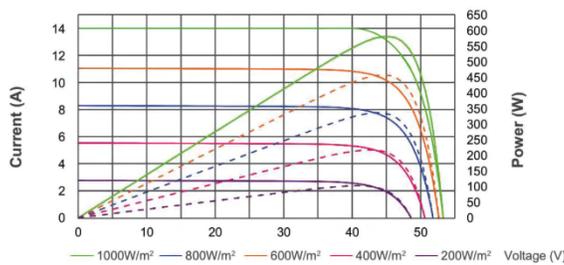
Reliable Quality
Positive power tolerance: 0~+5W
100% EL Double-inspection ensures modules are defects free
Modules Binned by Current to improve system performance
Potential induced Degradation (PID) Resistant



Mechanical Parameters	
Cell(mm)	10BB Mono 182*91
Weight(kg)	31.5kg
Glass Thickness	3.2mm (0.13inches), Tempered AR Glass
Dimensions (L*W*H)(mm)	2472*1135*35mm
Cable Cross Section Size (mm ²)	4
Cable Cross Section Length (mm)	300
No.of Cells and Connections	156(6*26)
Junction Box	IP68,with Bypass Diodes
Connector	MC4 Compatiple

Working Conditions	
Maximum System Voltage	DC 1000V/1500V
Operating Temperature	-40°C~ +85°C
Maximum Series Fuse	25A
Maximum Static Load,Front (e.g,snow and wind)	5400Pa (112 lb/ft ²)
Maximum Static Load,Back (e.g.,wind)	2400Pa (50 lb/ft ²)
NOCT	44±2°C
Positive power tolerance	0~ +5W
Application Class	Class A

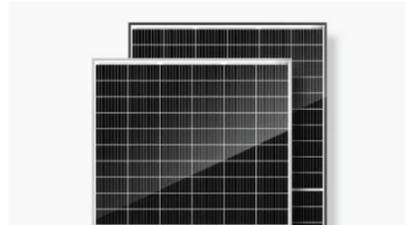
I-V Curve



Product Features

MULTI BUSBAR TECHNOLOGY

- Improves efficiency of modules
- Offers better appearance



HALF CUT TECHNOLOGY

- Under the same shadow condition
- Lower power loss than full cell



FRAME

- Conventional frame
- Boost bearing capability
- Prolong service life
- Serrated-clip design tensile strength



SPLIT JUNCTION BOX

- Reduced internal power loss
- Ensures model running safety



More Information

All with A Grade for on-grid & off-grid use for residential and public rooftop and ground mounting
Solar panels are a clean source of energy that use the sun's rays to convert them into electricity or heat.

Our clean energy solutions provide electrical power as a way to decarbonize
and transition to clean energy in our mission to combat climate change.