



وزارة البحث العلمي والتعليم العالي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



N° d'ordre : M...../GE/2022

MEMOIRE

Présenté pour obtenir le diplôme de

MASTER EN GENIE ELECTRIQUE

Filière : Electrotechnique

Spécialité : Energie renouvelable

Par

Bouksara M'hamed

Djeddi Aboubaker Essedik

Etude et dimensionnement d'un système de stockage pile à hydrogène via Gpv dans un site isolé

Soutenu le // 2022 devant le jury composé de :

Président :	Mr Chaouch Abdellah	MCA	Université de Mostaganem.
Examineur :	Mr Meskine Said	MCA	Université de Mostaganem
Rapporteur :	Mme Neddar Houaria	MCA	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2021/2022

Remerciement

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

Nous tenons prioritairement à remercier très sincèrement notre professeur

Mme NEDDAR pour son support exemplaire durant notre projet de fin d'étude. Nous nous souviendrons longtemps de sa patience, sa rigueur, sa disponibilité, son humour et dévouement sans borne qu'il voue à la réussite de ses étudiants. Ses conseils judicieux et son support continus ont été des apports précieux qui nous ont permis de mettre à terme ce projet. Nous conservons d'elle le souvenir d'un professeur empli d'humilité et de bonté. Également, nous remercions tous les enseignants qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.

En plus, nous exprimons également mes remerciements à **M BENKHELIFA** pour sa disponibilité.

Nous tenons aussi à remercier chaleureusement nos familles, nos amis pour leur soutien, leur support moral, leur encouragement qui nous ont toujours animé par un désir de réussir et de nous accomplir.

Ainsi, nous exprimons nos reconnaissances à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de cet ouvrage.

Merci Abdenour AZIZ.

A tous, encore une fois merci.

Résumé :

Notre Projet consiste à faire l'étude et dimensionnement avec simulation par logiciel Pvsyst et Homer d'un système énergétique renouvelable avec stockage pour l'alimentation électrique d'un site isolé qui contient trois domaines :

Premier domaine : alimentation de la base de vie par un générateur photovoltaïque au fil du soleil et l'excédent de ce dernier est destiné à alimenter l'électrolyseur qui produit le dihydrogène H_2 qui sera stocké et dirigé vers la pile à combustible qui a son tour produit de l'électricité en obscurité ou pendant un faible rayonnement solaire ou bien un substitut au générateur photovoltaïque.

Le deuxième et le troisième domaines consistent à un pompage d'eau du forage et un système d'irrigation qui contient 10 pivots circulaires pour 10 cercles agricoles de 20 hectares qui sont alimentés en alternance par un seul champ photovoltaïque.

L'aspect économique et environnemental sont les premiers objectifs à atteindre car notre système d'alimentation est optimisé, et 100% sans effet de serre « non polluant », sans oublier l'objectif de la sécurité alimentaire.

Mot clé : pompage d'eau de forage, pivots circulaires, Pvsyst, Homer, générateur photovoltaïque, électrolyseur, dihydrogène H_2 , pile à combustible, optimisation, sécurité alimentaire, site isolé.

Sommaire

i.	Introduction générale.....	9
Chapitre I Etude Bibliographique sur les énergies renouvelables et les différents systèmes de stockage.		11
I.1	Introduction.....	12
I.2	Généralité du site isolé	12
I.3	Définition d'énergie renouvelable	12
I.4	Source d'énergie Renouvelable.....	12
I.4.1	Energie éolienne	13
I.4.2	Energie Hydraulique.....	13
I.4.3	Energie géothermique.....	13
I.4.4	Energie Biomasse	14
I.4.5	Energie marine.....	14
I.4.5.1	Les différente énergies marines	14
I.4.6	Energie Solaire	14
I.5	Energie Solaire	15
I.5.1	Rayonnement solaire	15
I.5.1.1	Forme du rayonnement solaire.....	15
I.5.2	Energie solaire thermique	16
I.5.3	Energie Solaire Passive	17
I.5.4	Energie solaire photovoltaïque.....	18
I.5.4.1	Système photovoltaïque autonome	18
I.5.5	Cellule photovoltaïque :	19
I.5.5.1	Principe de fonctionnement :	19
I.5.5.2	Association en série :	20
I.5.5.3	Association en parallèle :	20
I.5.5.4	Association mixte (série + parallèle) :	20
I.5.5.5	Type des cellules :	20
I.6	Stockage d'énergie électrique :	22
I.6.1	Les différentes technologies de stockage d'électricité :	23
I.6.1.1	Le stockage mécanique :	23
I.6.1.2	Stockage électrochimique.....	25
I.6.1.3	Stockage électromagnétique (SMES) :	28
I.6.1.4	Stockage thermique [17].....	29
I.6.2	Les caractéristiques temps de décharge par rapport à la puissance pour les systèmes de stockage : 31	
I.7	Conclusion :.....	32
Chapitre II Production d'énergie couplant champ PV-PAC		33
II.1	Introduction.....	34
II.2	Les différents types de production d'hydrogène.....	35
II.3	Présentation PV-PAC [18]	36
II.4	Les principaux composants	37
II.4.1	Panneaux Photovoltaïque	37
II.4.1.1	Caractéristique électrique et paramètre.....	37

II.4.1.2	Périphérique.....	38
II.4.1.3	Application et commercialisation.....	38
II.4.1.4	Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïque	39
II.4.2	Pile à combustible.....	39
II.4.2.1	Différentes technologies.....	41
II.4.2.2	Caractéristiques électrique et paramètre [18]	42
II.4.2.3	Le rendement énergétique	43
II.4.2.4	Périphérique.....	44
II.4.2.5	Les avantages des piles à combustibles	45
II.5	Electrolyseurs.....	45
II.5.1	Caractéristique électrique et paramètre	47
II.5.2	Application	49
II.6	Les convertisseurs statiques	49
II.7	Sécurité du système PV-H₂	49
II.8	Choix du système PV-H₂	50
II.9	Architecture du système complet	50
II.10	Conclusion	51
Chapitre III	Dimensionnement électrique et thermique du projet.....	52
III.1	La zone géographique du terrain d'étude	53
	Information géographique concernant la zone étudiée	53
III.2	Gisement solaire	54
III.3	Base de vie.....	55
III.3.1	Les Besoins électrique.....	55
III.3.1.1	Etude thermique	57
III.3.1.2	Système de climatisation	58
III.3.1.3	Le bilan thermique.....	59
III.3.2	La consommation électrique de la base de vie.....	59
III.3.2.1	Choix de la Pile a combustible.....	63
III.3.3	Calcul le volume du H ₂	64
III.3.3.1	Autonomie energetique de la base de vie	64
III.3.4	Electrolyseur d'eau	65
III.3.5	Reservoirs de stockage H ₂ :.....	65
III.3.6	Generateur photovoltaïque (base de vie).....	65
III.3.6.1	Generateur PV pour l'electrolyseur	65
III.3.6.2	Choix de l'onduleur (électrolyseur)	66
III.3.6.3	Choix de module Photovoltaïque	66
III.3.6.4	Association panneau série parallèle	66
III.3.6.5	Generateur pv alimentation base de vie au fil du soleil (consommation journalière).....	67
III.3.6.6	Choix de l'onduleur.....	67
III.3.7	Schéma synoptique de la base de vie	68
III.4	Domaine Irrigation.....	70
III.4.1	Les Pivots d'irrigation.....	70
III.4.1.1	Les avantages des pivots :.....	70
III.4.1.2	Les inconvénients des Pivots :.....	70
III.4.2	Le dimensionnement du système d'irrigation :.....	71
III.4.2.1	Calcul les besoins en eau	71

III.4.2.2	Le choix du pivot.....	73
III.4.2.3	Calcul de la puissance électrique du pivot	75
III.4.2.4	Choix de la pompe de surface : (Bassin-Pivot).....	75
III.5	Domaine pompage.....	77
III.5.1	Pompage Solaire.....	77
III.5.2	Principe de pompage au fil du soleil	77
III.5.3	Dimensionnement de la pompe immerger	78
III.5.3.1	Dimension du bassin.....	78
III.5.4	Le bilan d'énergie	79
III.5.5	Calcul de la puissance crête.....	80
III.5.6	Calcul le nombre de panneaux	80
III.5.7	Association panneau série parallèle	81
III.5.7.1	Nombre panneau série	81
III.5.7.2	Nombre panneaux parallèle.....	81
III.5.8	Choix de l'onduleur.....	81
•	Pour le domaine (irrigation et forage).....	81
III.6	Conclusion	82
Chapitre IV	<i>Simulation et analyse du système PV et PV-H2.....</i>	83
IV.1	Introduction.....	84
IV.2	Présentation du logiciel Pvsys.....	84
IV.2.1	Critères de choix de logiciel Pvsys [33]	84
IV.2.2	Caractéristique principale de Pvsys	84
IV.3	Présentation du logiciel HOMER	85
IV.3.1	Critères de choix de logiciel HOMER [34].....	85
IV.3.2	Caractéristiques principales du HOMER.....	85
IV.4	Les étapes de simulation.....	85
IV.4.1	La zone Géographique	85
IV.4.2	Les données relatives à l'ensoleillement au site El-Menia	86
IV.4.3	Données générales du site :	87
IV.5	Simulation du premier domaine	88
IV.5.1	Configuration du système	88
IV.6	Simulation du système de pompage solaire :.....	91
IV.6.1	Les résultats obtenus	97
IV.7	Simulation du système d'irrigation	99
IV.8	Conclusion :.....	100
ii.	Conclusion générale	101
iii.	Annexe.....	106

Liste des figures

Figure I-1 sources des énergies renouvelables	13
Figure I-2 Composants du rayonnement solaire [8]	16
Figure I-3 principe fonctionnement panneau solaire thermique par Solarex Sarl	17
Figure I-4 Energie solaire passif.....	18
Figure I-5 représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque.....	19
Figure I-6 Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	20
Figure I-7 cellule photovoltaïque monocristalline	21
Figure I-8 cellule photovoltaïque polycristalline.....	21
Figure I-9 cellule photovoltaïque couche mince	22
Figure I-10 Schéma d'une cellule PV en silicium.	22
Figure I-11 schéma de principe d'une STEP marine	23
Figure I-12 Schéma de principe d'une installation de stockage à air comprimé.	24
Figure I-13 Volant d'inertie.	25
Figure I-14 le stockage de l'hydrogène.....	27
Figure I-15 Schéma d'une batterie redox vanadium.	28
Figure I-16 Stockage d'énergie super-conducteur	28
Figure I-17 Stockage par chaleur sensible	29
Figure I-18 stockage par changement de phase.....	30
Figure I-19 Stockage thermique Par réaction chimique.....	31
Figure I-20 Caractéristique temps de décharge /puissance de différente technologique de stockage...31	31
Figure II-1 classification de production H2 par les couleurs	35
Figure II-2 description Système PV-FC	36
Figure II-3 courbes du courant et la puissance par apport à la tension pour 3 modes d'irradiance.....	38
Figure II-4 Pile à combustible	40
Figure II-5 Schéma de fonctionnement d'une pile à combustible.	40
Figure II-6 principe de fonctionnement de la pile à combustible	41
Figure II-7 différents types de piles à combustible	42
Figure II-8 Caractéristique électrique d'une cellule de pile à combustible.....	43
Figure II-9 Schéma de fonctionnement d'une cellule d'un électrolyseur.	45
Figure II-10 Principe de fonctionnement de l'électrolyseur.	46
Figure II-11 Les convertisseurs statiques.....	49
Figure II-12 capteur à hydrogène	50
Figure III-1 zone géographique du terrain étudié	53
Figure III-2 moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale, période 1992-2002	54
Figure III-3 plan RDC de l'habitation	55
Figure III-4 Plan du premier étage	55
Figure III-5 Vi ii m-100 pile à combustible a h2	64
Figure III-6 Pivot d'irrigation	70
Figure III-7 dimension d'un cercle agricole (1.2ha →75ha).....	71
Figure III-8 Schéma explicatif du fonctionnement pour les deux domaines.	76
Figure III-9 model d'installation solaire de pompage d'eau pour l'irrigation	77
Figure III-10 Schéma de principe pompage au fil du soleil.....	78
Figure III-11 Pompage au fil du soleil.....	79
Figure III-12 Système de pompage utilisant le moteur à courant alternatif.....	82
Figure IV-1 coordonnées géographiques du site étudié.....	86

Figure IV-2 la trajectoire du soleil au site étudié	86
Figure IV-3 L'irradiation globale horizontale du site étudié.....	87
Figure IV-4 Tableau de données mensuels (Irradiation globale, Température ambiante moyenne, Vitesse du vent, l'humidité)	87
Figure IV-5 coordonnées géographique El Menia + montage électrique du système	88
Figure IV-6 La charge (Load) de la base de vie.	89
Figure IV-7 solution et configuration proposé par HOMER.....	90
Figure IV-8 Production électrique mensuel PV/Pile à combustible	91
Figure IV-9 L'orientation et l'inclinaison du champ PV	92
Figure IV-10 Besoins d'eau mensuelle et pression variable	93
Figure IV-11 caractéristique de forage et circuit hydraulique.....	94
Figure IV-12 choix du panneau photovoltaïque et de l'onduleur MPPT AC.....	95
Figure IV-13 choix de la pompe.....	96
Figure IV-14 comportement du champ PV pour chaque contribution aux pertes	97
Figure IV-15 Energie normalisé mensuels.....	97
Figure IV-16 l'indice de performance mensuel.....	98
Figure IV-17 le débit moyen en fonction de l'irradiance.	98
Figure IV-18 fenêtre de consommation d'énergie électrique par mois.....	99
Figure IV-19 indice de performance et fraction solaire mensuels	99
Figure IV-20 température du cham en fonction de l'irradiance	100

Listes des tableaux

Tableau 1 Tableau comparatif des différentes technologies de batteries	27
Tableau 2 rappelle les mesures correctrices pour diminuer la consommation d'énergie suivant les postes.	56
Tableau 3 Apport d'énergie et de vapeur d'eau suivant l'activité d'une personne.....	57
Tableau 4 Calcul du volume totale du 1 ^{er} étage du bâtiment.....	59
Tableau 5 Calcul le bilan thermique par le coefficient Ubat	59
Tableau 6 consommation électrique pour le jour le plus consommé de l'électricité	61
Tableau 7 Consommation électrique journalière (Jour et Nuit) pour tous les mois.....	62
Tableau 8 consommation d'électricité par heure pour le jour le plus consommé. (Sans climatisation(chauffage))	62
Tableau 9 le bilan Hydraulique de culture de blé tendre pour une saison.	72
Tableau 10 le volume d'eau nécessaire mensuel pour 40 ha.....	73
Tableau 11 volume d'eau disperser du pivot par jour.....	74
Tableau 12 Caractéristique du pivot nécessaire.....	75
Tableau 13 les puissances totales du système irrigation et pompage.....	79
Tableau 14 calcul de nombre de panneaux (forage)	80
Tableau 15 calcul de nombre de panneaux (irrigation).....	81

i. Introduction générale

L'Algérie est un vaste pays dont sa situation stratégique, se caractérise par différentes cultures, parmi celles-ci l'agriculture qui s'est développée ces dernières années afin d'assurer la sécurité alimentaire.

Les autorités algériennes ont investi dans les zones arides et semi arides comme le Sud-est, des zones exploitables dont les céréales etc..., et comme solution économique l'intégration des énergies renouvelables est obligatoire dans ces régions puisqu'on a des multiples ressources énergétiques et hydrauliques.

L'énergie solaire est partout sur Terre, à des degrés divers, et Entièrement renouvelable. L'optimisation du système solaire est basée sur les critères suivants le dimensionnement et maximisation de la puissance produite pour un bon rendement. L'utilisation directe de l'énergie solaire est une technologie tout à fait unique qui produit Énergie électrique.

Le travail de recherche présenté dans ce mémoire se porte sur l'alimentation d'un site agricole isolé par un système énergétique autonome avec un élément de stockage. Nous avons structuré notre travail en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous présentons les différentes ressources des énergies renouvelables ainsi leur principe de fonctionnement, en basant sur l'énergie photovoltaïque, on termine ce chapitre par des descriptions des différents systèmes de stockages.

Dans le deuxième chapitre, on va décrire le système PV-PAC, tout d'abord nous décrivons les différents types de production d'hydrogène, ensuite, nous présentons les principaux composants de ce système PV-PAC : les panneaux photovoltaïques, les piles à combustible et les électrolyseurs, Ainsi les convertisseurs statiques utiliser.

Dans le troisième chapitre, on va diviser notre travail en trois domaines, domaine base de vie, domaine irrigation et le domaine forage, on va faire le dimensionnement et l'étude pour chaque domaine en citons leur système autonome utilisé.

Pour le dernier chapitre, nous allons présenter une méthode de simulation tout en utilise des logiciels HOMER et PVsys, nous terminons par des interprétations des résultats obtenus et les comparés par les résultats du dimensionnement du 3eme chapitre.

Nous finalisons ce travail par une conclusion générale, dans laquelle nous ferons une synthèse récapitulative du travail présenté.

*Chapitre I Etude Bibliographique
sur les énergies renouvelables et
les différents systèmes de
stockage.*

I.1 Introduction

L'énergie est un pôle de dépense important pour la filière agricole. Et dans un contexte de transition énergétique, il devient impératif de repenser les modèles énergétiques des exploitations agricoles. L'agriculture affiche des besoins énergétiques importants mais particuliers, souvent rythmés par la saisonnalité de leur activité.

Dans ce chapitre, tout d'abord, on va choisir un site isolé qui est de nature agricole. Ensuite, on note les différentes ressources des énergie renouvelables ainsi leurs différents systèmes de stockage, en fin on va choisir le système de stockage le plus compatible avec ce site selon leurs caractéristiques.

I.2 Généralité du site isolé

Les autorités Algériennes a commencé d'investir dans les régions arides pour la production des aliments stratégique tels céréales (Blé, Mais ...), Certains ces sites, ne sont pas ou ne peuvent pas être reliés au réseau public de distribution car il est techniquement trop complexe d'étendre le réseau jusqu'à eux ou parce que le coût d'une telle opération n'est pas justifié par rapport à d'autres solutions existantes. Ces sites sont appelés « sites isolés ».

Le site étudié dans ce mémoire est un site exploitable agricole « ferme moderne de 200ha de blé tendre à la wilaya d'El-Menia », ce site isolé autonome est alimenté 100% par les énergies renouvelables avec un système de stockage d'énergie.

I.3 Définition d'énergie renouvelable

Une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau, de la terre et généralement de la biomasse humide ou sèche, à l'échelle de la durée de vie de l'humanité. Ce n'est pas le cas pour les combustibles fossiles et nucléaires. [1]

I.4 Source d'énergie Renouvelable

Comme leur nom l'indique, il s'agit de sources qui se renouvellent et ne s'épuiseront donc jamais à l'échelle du temps humain.

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables, produites à partir de sources Différentes

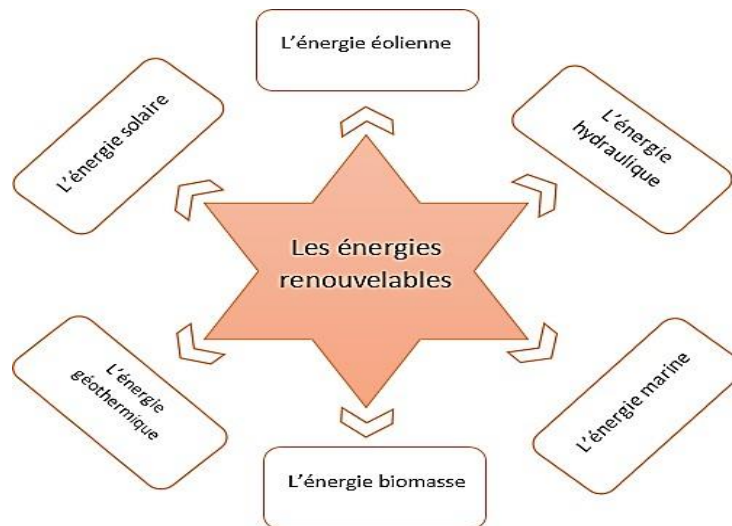


Figure I-1 sources des énergies renouvelables

I.4.1 Energie éolienne

Un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne, est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique du vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'une génératrice. [2]

I.4.2 Energie Hydraulique

Une centrale hydraulique ou hydroélectrique transforme l'énergie mécanique de l'eau en énergie électrique : en s'écoulant ou en chutant d'une grande hauteur, l'eau entraîne une machine tournante, la turbine, qui transmet cette énergie à un générateur capable de produire de l'électricité. Techniquement, c'est le même fonctionnement que les moulins à eau. La différence, c'est que ces centrales sont beaucoup plus puissantes et génèrent beaucoup plus d'énergie. Grâce au cycle naturel de l'eau, pas besoin de machines qui feraient remonter l'eau en altitude : les centrales hydrauliques sont naturellement réapprovisionnées en eau. Sans compter que l'eau rejetée par la centrale est restituée à la rivière tout aussi propre, sans avoir subi de modification. [3]

I.4.3 Energie géothermique

Dans le contexte des sciences pour l'ingénieur, le terme de « géothermie » regroupe des moyens de capter l'énergie thermique de l'intérieur du globe terrestre et de l'utiliser comme source de chaleur ou de la convertir en électricité par des turbines et générateurs électriques. Pour capter

l'énergie géothermique, un fluide est mis en circulation dans les profondeurs de la terre. Ce fluide peut être celui d'une nappe captive naturelle, de l'eau injectée dans une roche chaude imperméable ou dans des puits spéciaux. Dans tous les cas, le fluide se réchauffe et remonte avec une température supérieure.[4]

1.4.4 Energie Biomasse

La biomasse est la fraction biodégradable des produits, des déchets et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture et de l'élevage des animaux, de la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux. La biomasse peut être utilisée principalement de deux manières :

- Lors de la fermentation des déchets, le gaz méthane peut être capté et utilisé comme source d'énergie,
- La biomasse elle-même peut être incinérée.

Dans tous les deux cas, l'énergie thermique peut être utilisée pour produire de l'électricité dans des centrales thermiques. L'intérêt est que le dioxyde de carbone rejeté dans l'atmosphère lors de l'incinération de la biomasse ou le méthane est compensé par celui absorbé par la repousse des plantes qui, entre autre, sont la source principale de biomasse. De cette manière, le bilan carbone peut être proche de zéro.[4]

1.4.5 Energie marine

Les énergies marines dépendent des ressources naturelles des eaux des mers et des océans. Elles permettent de produire de l'électricité grâce aux flux naturels d'énergie des courants et des marées, et à la matière marine, exploités dans différents types d'installations. [5]

1.4.5.1 Les différente énergies marines

- L'énergie des marées.
- L'énergie des courants marins.
- L'énergie thermique des mers.
- L'énergie des vagues.
- L'énergie osmotique
- La biomasse marine

1.4.6 Energie Solaire

L'énergie solaire, comme son nom l'indique, provient du soleil. Cette énergie peut être efficacement convertie en énergie thermique (énergie thermique) ou en énergie électrique (photovoltaïque). Ensuite, il existe trois types d'énergie solaire :

1. Le solaire thermique,
2. Le solaire photovoltaïque
3. Le solaire passif.

I.5 Energie Solaire

Les rayons du soleil chauffent l'eau à l'aide de capteurs solaires ou fournissent de l'électricité à l'aide de cellules photovoltaïques ou de centrales solaires.

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou de centrales solaires thermiques grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires.

Ce terme fait référence à l'énergie fournie par les rayons du soleil. Le soleil est la source d'énergie la plus puissante, cette énergie est gratuite, il suffit de l'utiliser ! La technologie est divisée en actifs et passifs

Les technologies actives convertissent l'énergie solaire en une forme d'électricité ou de chaleur que nous pouvons utiliser directement. Les exemples incluent les cellules photovoltaïques qui convertissent directement la lumière du soleil en électricité, les capteurs solaires qui chauffent l'eau dans les maisons, le chauffage et le refroidissement solaires, les concentrateurs solaires qui utilisent des miroirs pour concentrer les rayons du soleil et générer une chaleur intense, convertir l'eau en vapeur et utiliser certaines machines, Four pour produire de l'électricité.

Les techniques passives consistent à positionner correctement les bâtiments en fonction du soleil ou à utiliser des matériaux spéciaux et des modèles de construction permettant d'exploiter l'énergie solaire.

I.5.1 Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire désigne l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le Soleil. Il se compose donc d'ultraviolets, de la lumière visible, mais également d'ondes radio en plus de rayons cosmiques.[6]

I.5.1.1 Forme du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est la matière première de l'énergie solaire. C'est une propagation d'une onde de longueur qui varie entre 0.2et 4.10-6m. Sans la nécessité d'un support physique pour

se déplacer, il arrive au sol après la perte d'une grande partie de son intensité, à cause d'une partie de l'ultraviolet, qui s'absorbent.[7]

En réalité, le rayonnement total reçu sur une surface, appelé **irradiation solaire incidente (ou encore éclairement énergétique global)**, Il est mesuré par un pyromètre ou un Solari mètre sans écran, Les stations météorologiques généralement mesurer le rayonnement global horizontal par un Pyranomètre placé horizontalement à l'endroit requis. Ce rayonnement est défini par la somme de trois composantes :

- a) **Le rayonnement direct** : est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs. Il peut être mesuré par un Pyranomètre.
- b) **Rayonnement diffus** : est constitué par la lumière diffusée par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). La diffusion est le phénomène qui répartit un faisceau parallèle en une multitude de faisceaux partant dans toutes les directions. Dans le ciel, ce sont à la fois les molécules d'air, les gouttelettes d'eau (nuages) et les poussières qui produisent cet(éclatement) des rayons du soleil. Cela dépend donc avant tout des conditions métrologies.
- c) **Rayonnement solaire réfléchi** : ou l'albédo du sol est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige).

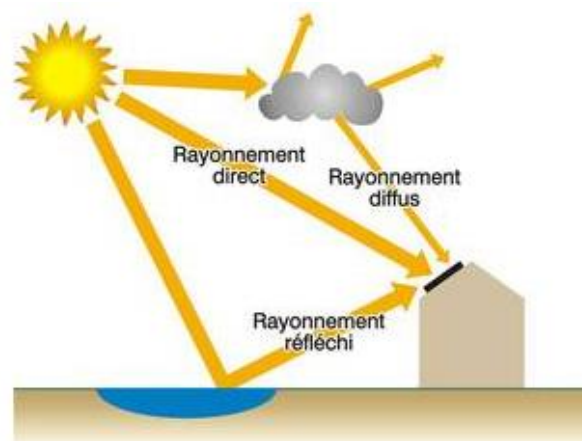


Figure I-2 Composants du rayonnement solaire [8]

I.5.2 Energie solaire thermique

Le principe consiste à capter le rayonnement solaire et à le stocker dans le cas des systèmes passifs (véranda, serre, façade vitrée) ou, s'il s'agit de système actif, à redistribuer cette énergie

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES ENERGIES RENOUVELABLES ET LES DIFFERENTS SYSTEME DE STOCKAGE

par le biais d'un fluide caloporteur qui peut être de l'eau, un liquide antigel ou même de l'air.
[9]

L'énergie solaire thermique trouve de nombreuses applications :

1. Production d'eau chaude,
2. Le chauffage des maisons,
3. Le chauffage de l'eau des piscines,
4. Le séchage des récoltes,
5. La réfrigération par absorption pour les bâtiments,
6. La production de très haute température.

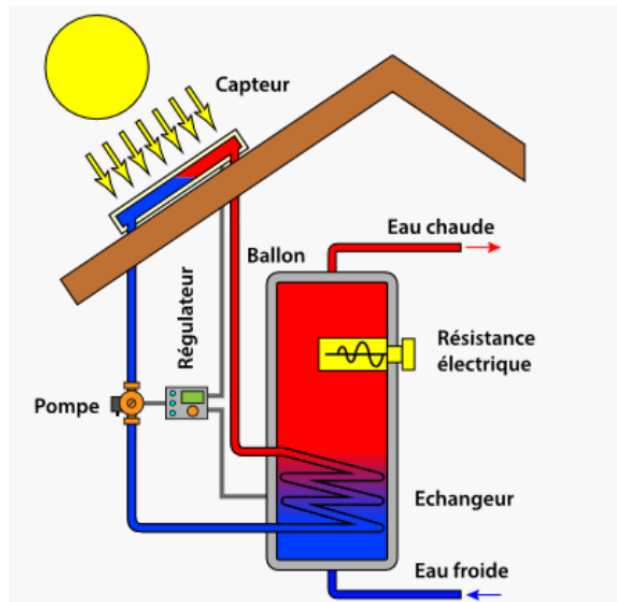


Figure I-3 principe fonctionnement panneau solaire thermique par Solarex Sarl

1.5.3 Énergie Solaire Passive

L'énergie **solaire passive** est créée gratuitement par l'absorption des rayons du soleil à travers les fenêtres et les baies vitrées d'une maison. L'énergie est stockée dans les murs, le plafond et le plancher, puis diffusée en chaleur dans le logement.[10]



Figure I-4 Energie solaire passif

I.5.4 Energie solaire photovoltaïque

Le terme « photovoltaïque » souvent abrégé par le sigle « PV », a été formé à partir des mots « photo » un mot grec signifiant lumière et « Volta » le nom du physicien italien Alessandro Volta qui a inventé la pile électrochimique en 1800. L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité. [11]

I.5.4.1 Système photovoltaïque autonome

Ces systèmes photovoltaïques sont installés pour assurer un fonctionnement autonome sans recourir à d'autres sources d'énergie. Généralement, ces systèmes sont utilisés dans des zones isolées du réseau. Selon que le stockage électrochimique est utilisé, les systèmes photovoltaïques autonomes sont classés comme suit.

I.5.4.1.1 Système photovoltaïque autonome sans stockage électrochimique

Ce système ne fonctionnera qu'en présence d'un éclairage solaire c'est-à-dire qu'il fonctionne seulement au fil du soleil, c'est intéressant pour toutes les applications qui n'ont pas besoin de fonctionner dans l'obscurité, Cependant, le générateur photovoltaïque doit être correctement dimensionné afin qu'il ait suffisamment de puissance pour alimenter l'équipement où l'éclairage est très faible, cette catégorie de système autonome est utilisée dans le pompage solaire de notre mémoire.

I.5.4.1.2 Système photovoltaïque autonome avec stockage électrochimique :

Il s'agit de la configuration la plus courante pour un système PV autonome. Il dispose de batteries qui stockent l'électricité produite par les générateurs photovoltaïques pendant la

journée. Par conséquent, le stockage électrochimique est essentiel pour assurer un fonctionnement nocturne ou un nombre de jours prédéfini dans le dimensionnement du système PV.

I.5.5 Cellule photovoltaïque :

La cellule PV, aussi appelée cellule solaire, constitue l'élément de base de la conversion photovoltaïque. Il s'agit d'un dispositif semi-conducteur qui transforme en énergie électrique l'énergie lumineuse fournie par une source d'énergie inépuisable, le soleil. Elle exploite les propriétés des matériaux semi-conducteurs utilisés dans l'industrie de l'électronique : diodes, transistors et circuits intégrés.[12]

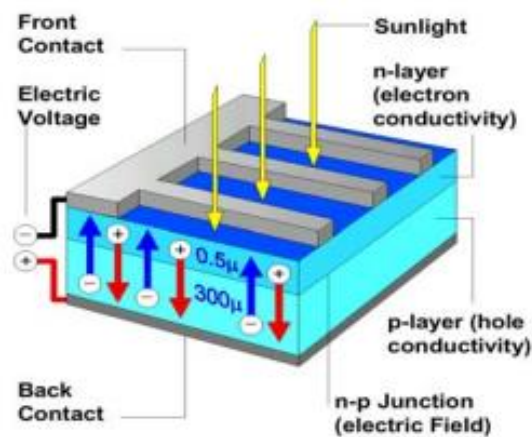


Figure I-5 représentation en coupe d'une cellule photovoltaïque

I.5.5.1 Principe de fonctionnement :

L'effet photovoltaïque se manifeste quand un photon est absorbé dans un matériau composé de semi-conducteurs dopés p (positif) et n (négatif), dénommé comme jonction p-n (ou n-p). Sous l'effet de ce dopage, un champ électrique est présent dans le matériau de manière permanente (comme un aimant possède un champ magnétique permanent). Quand un photon incident (grain de lumière) interagit avec les électrons du matériau, il cède son énergie $h\nu$ à l'électron qui se retrouve libéré de sa bande de valence et subit donc le champ électrique intrinsèque. Sous l'effet de ce champ, l'électron migre vers la face supérieure laissant place à un trou qui migre en direction inverse. Des électrodes placées sur les faces supérieure et inférieure permettent de récolter les électrons et de leur faire réaliser un travail électrique pour rejoindre le trou de la face antérieure. [12]

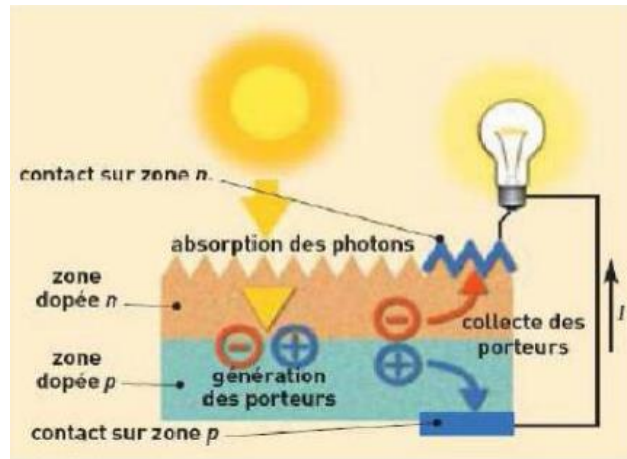


Figure I-6 Le principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

I.5.5.2 Association en série :

En ajoutant les mêmes cellules (modules) en série, le courant de branche reste le même, mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série.

I.5.5.3 Association en parallèle :

En ajoutant des cellules identiques (modules) en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque cellule (module), et le courant augmente proportionnellement au nombre de cellule parallèles (modules) dans la branche.

I.5.5.4 Association mixte (série + parallèle) :

Pour être satisfait en courant et en tension, il faut utiliser des groupements mixtes, c'est-à-dire série et parallèle.

I.5.5.5 Type des cellules :

Il existe différents types de cellules photoélectriques en fonction de la nature et des caractéristiques des matériaux utilisés. La cellule de silicium cristallin (Si) est Le type le plus courant. Ce matériau est découpé en feuilles très minces en forme d'un disque, monocristallines ou polycristallines, en fonction du processus de fabrication de la barre de silicium.

I.5.5.5.1 Cellule monocristalline :

Les cellules photovoltaïques en silicium monocristallin sont formées d'un monocristal. Leur Habituellement un bleu uniforme.

- Un bon rendement, sensibilité accrue au rayonnement direct, cout élevé.

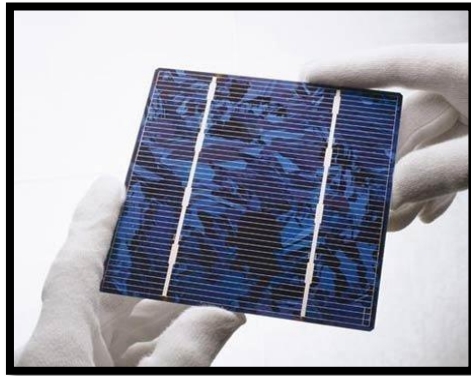


Figure I-7 cellule photovoltaïque monocristalline

I.5.5.2 Cellule polycristalline :

Elles sont composées de plusieurs cristaux, et les cellules ont un aspect de mosaïque bleue (inégale). Ils ont des rendements inférieurs à ceux des monocristaux, une sensibilité à la température plus élevée et un coût inférieur.



Figure I-8 cellule photovoltaïque polycristalline

I.5.5.3 Cellule couche mince :

Le silicium est utilisé en couches minces, il ne cristallise pas. Il est posé sur une plaque de verre. Ce type de cellule se trouve le plus souvent dans les produits de petite consommation (montres, calculatrices).

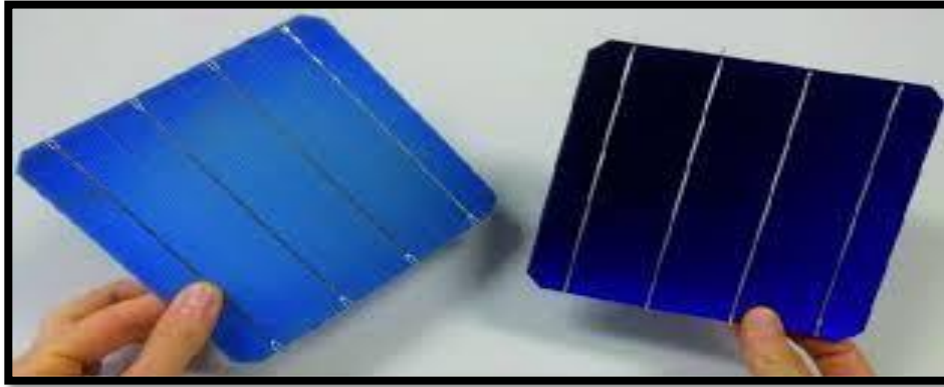


Figure I-9 cellule photovoltaïque couche mince

I.5.5.4 Cellule photovoltaïque multi-jonction :

Les cellules multi jonctions sont constituées de différentes couches qui permettent d'absorber la majorité de spectre solaire.

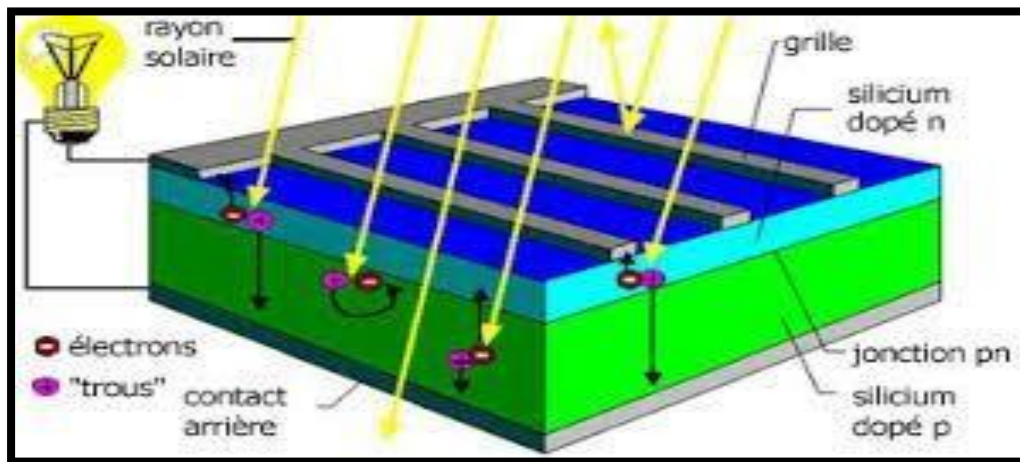


Figure I-10 Schéma d'une cellule PV en silicium.

I.6 Stockage d'énergie électrique :

Le stockage de l'énergie consiste à préserver une quantité d'énergie pour une utilisation ultérieure. Par extension, l'expression désigne également le stockage de matière contenant l'énergie.

L'électricité est un vecteur très pratique pour le transport de l'énergie, mais difficile à stocker sous sa forme propre. Elle est donc généralement transformée pour être stockée sous une autre forme : énergie mécanique, thermique ou chimique par exemple. Au contraire, l'énergie thermique est généralement stockée sous sa forme originale (chaleur).

Il existe deux types de stockage d'électricité : le stockage stationnaire de l'électricité, donc fixe, et le stockage embarqué dans les véhicules électriques ou les appareils portables. Alors que les

systèmes de stockage stationnaire ont en général des capacités importantes (qui peuvent se compter en centaines de MWh), on est plutôt sur des capacités de l'ordre du kWh pour le stockage embarqué. [13]

I.6.1 Les différentes technologies de stockage d'électricité :

I.6.1.1 Le stockage mécanique :

Le stockage mécanique de l'électricité est aujourd'hui principalement réalisé grâce à trois technologies différentes qui utilisent l'énergie potentielle (stockage hydraulique), l'énergie cinétique (volants d'inertie) et la compression.

I.6.1.1.1 Station de pompage :

Stocker l'énergie électrique en élevant l'énergie potentielle d'un volume d'eau est actuellement la solution la plus mûre pour répondre aux besoins massifs du système électrique. C'est la raison pour laquelle ce sont les barrages et les stations de transfert d'énergie par pompage (STEP) qui représentent à ce jour la quasi-totalité de la puissance de stockage stationnaire installée dans le monde. [14]

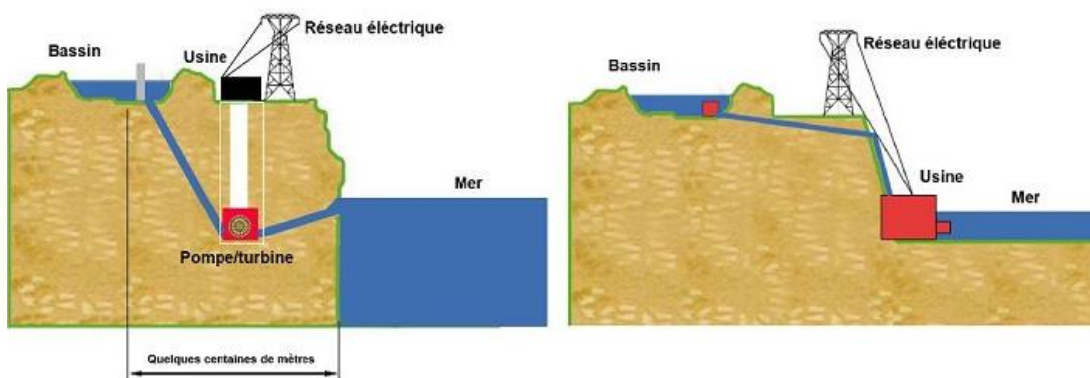


Figure I-11 schéma de principe d'une STEP marine

I.6.1.1.2 Stockage d'énergie par air comprimé :

La technique de stockage d'énergie par air comprimé repose sur l'utilisation de la puissance produite par une source quelconque pour comprimer de l'air. Cet air comprimé peut ensuite être utilisé, lorsqu'on juge que la production est insuffisante pour alimenter une turbine qui produira à son tour de l'électricité. Cette approche est utilisée aujourd'hui dans le cadre de grands stockages dans des cavités souterraines comme le montre la figure I.12. [15]

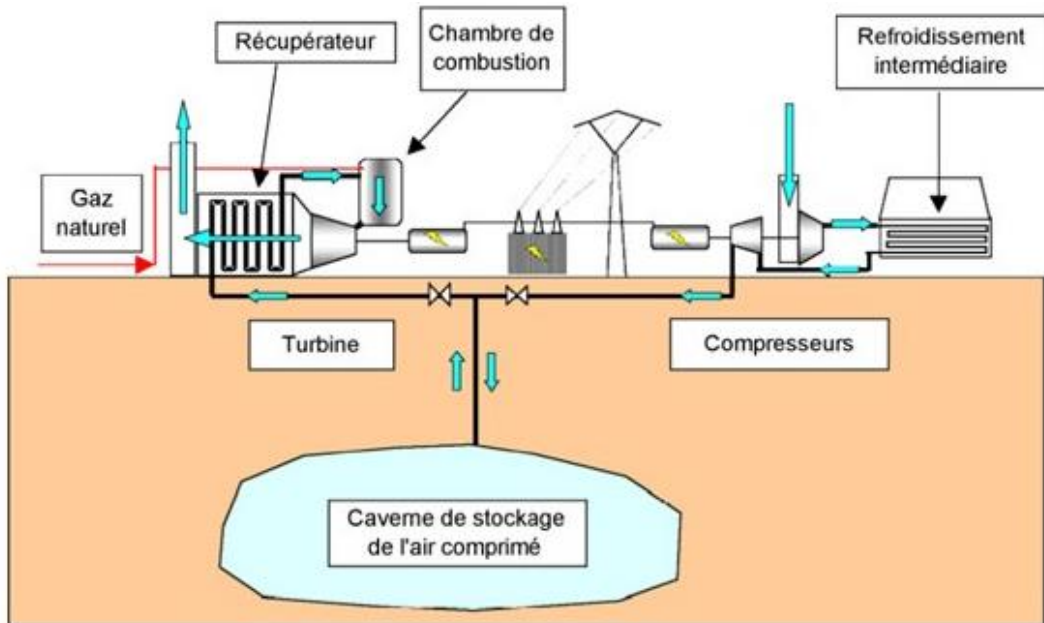


Figure I-12 Schéma de principe d'une installation de stockage à air comprimé.

I.6.1.1.3 Stockage inertielle :

Le principe du volant d'inertie permet aujourd'hui de stocker temporairement l'énergie sous forme de rotation mécanique. Un volant d'inertie est constitué d'une masse (anneau ou tube) en fibre de carbone entraînée par un moteur électrique. L'apport d'énergie électrique permet de faire tourner la masse à des vitesses très élevées (entre 8 000 et 16 000 tour/min) en quelques minutes. Une fois lancée, la masse continue à tourner, même si plus aucun courant ne l'alimente. L'électricité est donc stockée dans le volant d'inertie sous forme d'énergie cinétique. Elle pourra être restituée en utilisant un moteur comme génératrice électrique, entraînant la baisse progressive de la vitesse de rotation du volant d'inertie. [16]

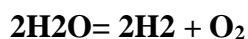


Figure I-13 Volant d'inertie.

I.6.1.2 Stockage électrochimique

I.6.1.2.1 Stockage d'énergie grâce à l'hydrogène :

Les systèmes de stockage d'énergie grâce à l'hydrogène utilisent un électrolyseur intermittent. Pendant les périodes de faible consommation d'électricité, l'électrolyseur utilise de l'électricité pour décomposer de l'eau en oxygène et en hydrogène, selon l'équation :

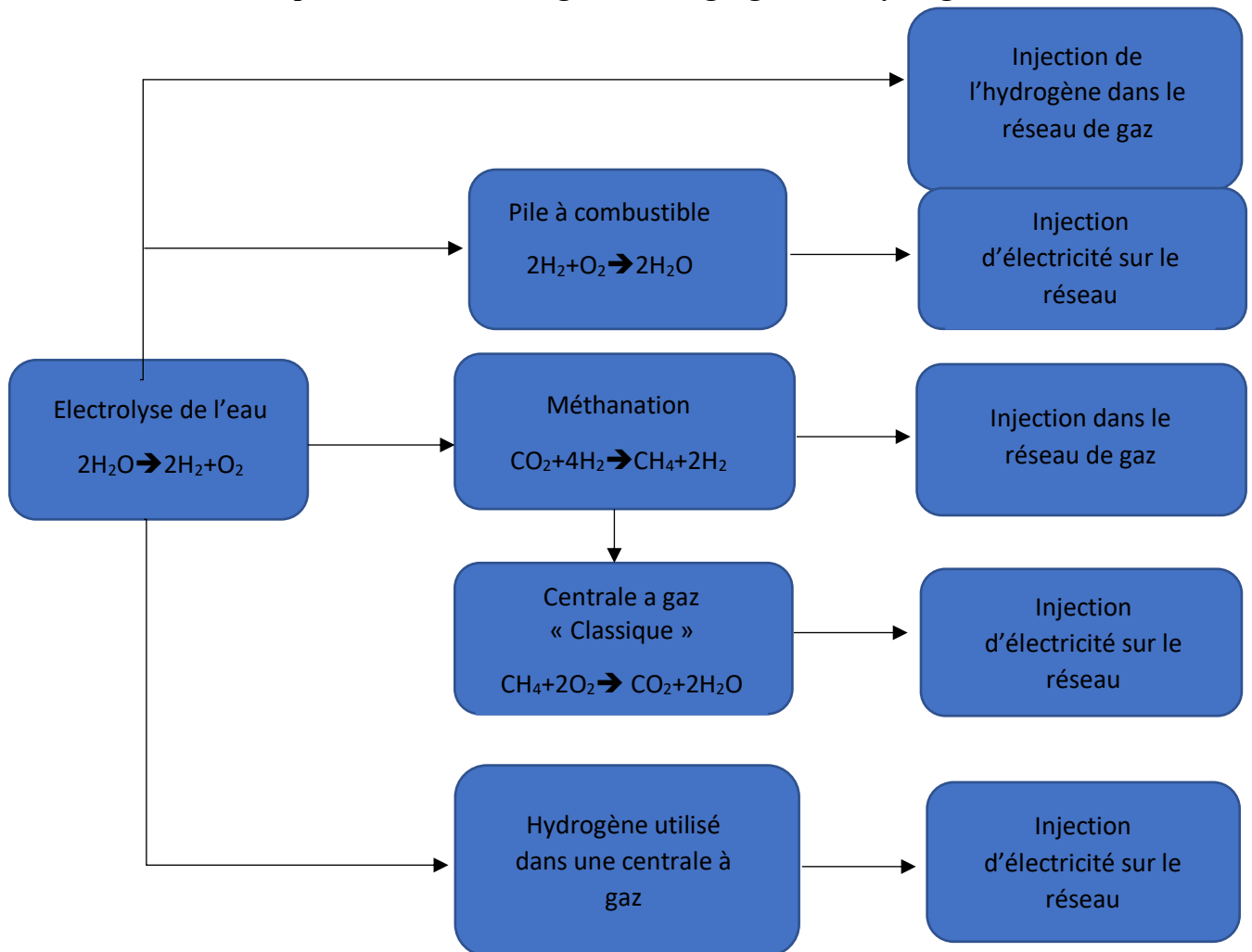


Cet hydrogène est ensuite comprimé, liquéfié ou stocké sous forme d'hydrure métallique.

Ensuite, il existe trois moyens différents pour réinjecter de l'électricité sur le réseau à partir de l'hydrogène stocké :

- Le premier consiste à alimenter une pile à combustible ;
- Le deuxième consiste à synthétiser du gaz naturel selon le procédé de la méthanation. Ce gaz peut être injecté directement dans le réseau de gaz existant ou être utilisé pour alimenter une centrale à gaz « classique », produisant de l'électricité ;
- Le troisième consiste à utiliser l'hydrogène directement dans une centrale à gaz spécialement conçue à cet effet, afin de fabriquer de l'électricité.

Les différentes possibilités de stockage de l'énergie grâce à l'hydrogène



L'intérêt de ce type de système réside :

- Dans la grande flexibilité d'usage du vecteur d'hydrogène, qui a pour particularité d'être facilement stocké et transporté, que ce soit sous forme liquide ou gazeuse ;
- Et dans le découplage énergie-puissance : en effet, la capacité de puissance en absorption ou en production est dimensionnée par l'électrolyseur ou la pile à combustible. La capacité en énergie est dimensionnée par la taille des réservoirs et peut aller de plusieurs heures à plusieurs jours en fonction de l'application du système (secours, décalage de consommation).

Pendant leur utilisation, les électrolyseurs et les piles à combustible dégagent de la chaleur (entre 20 et 50 % de l'énergie du système selon la technologie), dont la valorisation améliore la rentabilité économique du système. Cette technologie est aujourd'hui au stade du démonstrateur. Le projet de PPE (janvier 2020) prévoit entre 1 à 10 MW de Power-to-Gas à l'horizon 2023. [16]

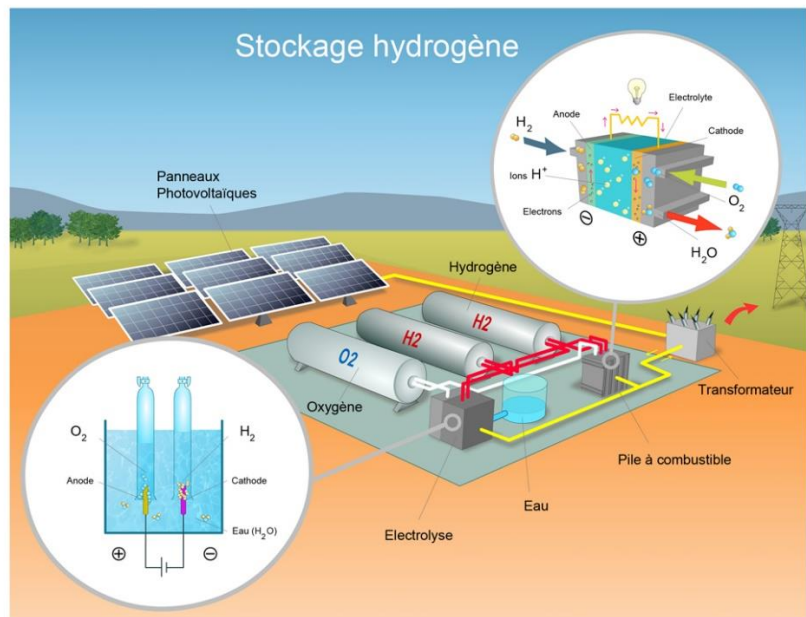


Figure I-14 le stockage de l'hydrogène

I.6.1.2.2 Batteries électrochimiques :

Les batteries électrochimiques sont conçues par empilement de disques composés de différents types d'éléments chimiques. Il existe ainsi des batteries plomb-acide, nickel-cadmium, nickel-hydrure métallique, lithium-ion, lithium-polymère, lithium-air, sodium-soufre, chlorure de sodium (zebra), etc...

L'empilement est ensuite relié à un système d'électronique de puissance qui, lors de la décharge, convertit le courant continu des batteries en courant alternatif à la tension, la fréquence et la puissance voulues. Ce système est aussi utilisé dans le sens inverse pour recharger les batteries. [16]

	Pb	Ni-Cd	Ni-Mh	Ni-Zn	Zebra	LMP	Li-ion	Li-Po	LiFePo4	Li-air
Wh/Kg	40	60	90	80	120	110	150	190	110	100
Durée de vie (cycles)	500	2000	1500	nc	nc	1800	1000	2000	2000	nc

Tableau 1 Tableau comparatif des différentes technologies de batteries

I.6.1.2.3 Batterie a circulation :

Dans les systèmes de stockage par batteries à circulation, deux électrolytes liquides contenant des ions métalliques (couples d'ions métalliques zinc/brome, polybromure / polysulfure de sodium et vanadium/vanadium), séparés par une membrane échangeuse de protons, circulent à travers des électrodes. L'échange de charges permet de produire ou d'absorber l'électricité.

L'utilisation du vanadium avait déjà été suggérée, mais la première démonstration réelle et le développement commercial de toutes les batteries vanadium à flux travaillant avec une solution d'acide sulfurique ont été réalisés par Maria Skyllas-Kazacos et collaborateurs à l'université de Nouvelle-Galles du Sud en Australie.[16]

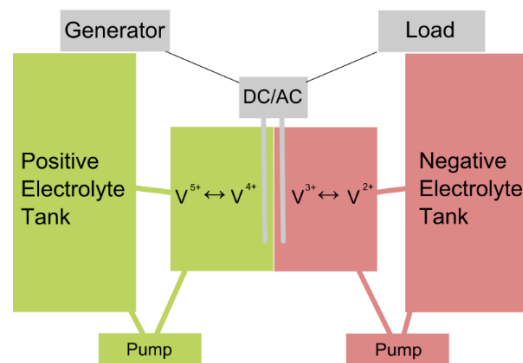


Figure I-15 Schéma d'une batterie redox vanadium.

I.6.1.3 Stockage électromagnétique (SMES) :

Le **stockage électromagnétique (SMES)** fait également partie des solutions envisagées qui consiste à créer, grâce à l'électricité, un champ magnétique dans une bobine. L'électricité peut ensuite être récupérée dans un laps de temps très court.[17]

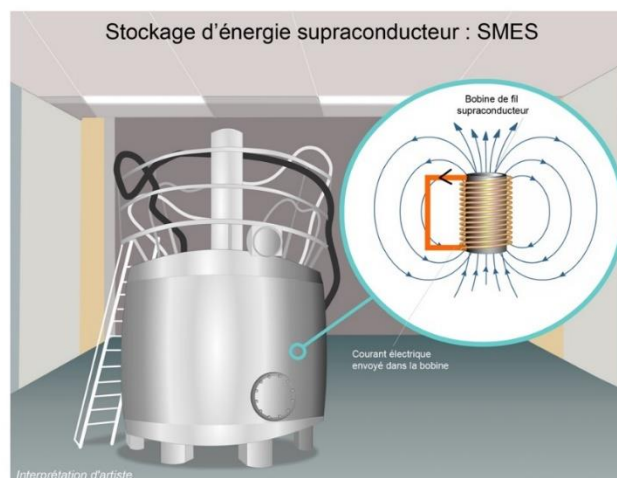


Figure I-16 Stockage d'énergie super-conducteur

I.6.1.4 Stockage thermique [17]

I.6.1.4.1 Le stockage par chaleur sensible :

Consiste à chauffer un fluide caloporteur ou un solide. La chaleur est ensuite récupérée en chauffant un autre fluide. C'est le principe du ballon d'eau chaude, couplé à un panneau solaire thermique. C'est aussi tout simplement le cas d'une pierre posée près d'une cheminée. Une fois qu'elle a emmagasiné la chaleur, elle peut être déplacée et céder sa chaleur.

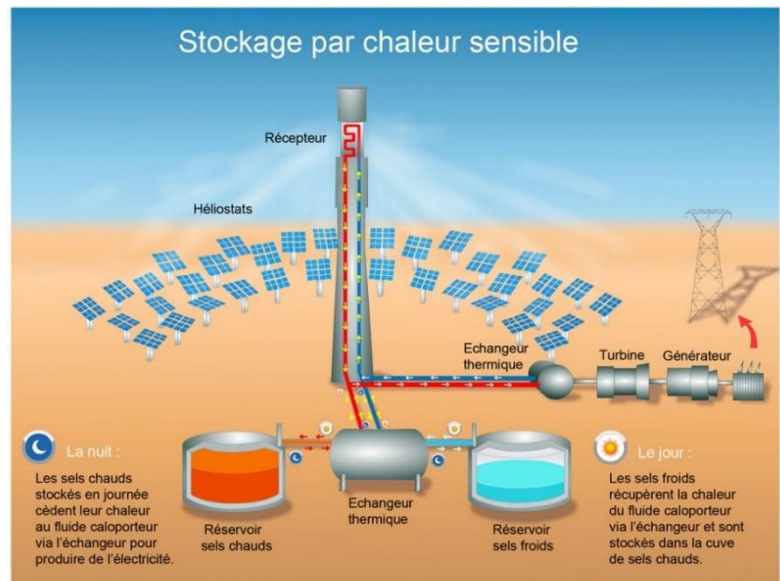


Figure I-17 Stockage par chaleur sensible

I.6.1.4.2 Stockage par changement de phase :

Grâce à l'utilisation de matériaux dont la chaleur va entraîner le passage d'un état solide à un état liquide. C'est le cas, par exemple, de la paraffine dont la température de fusion est proche des 70°C. Elle restitue cette chaleur lorsqu'elle repasse à l'état solide.

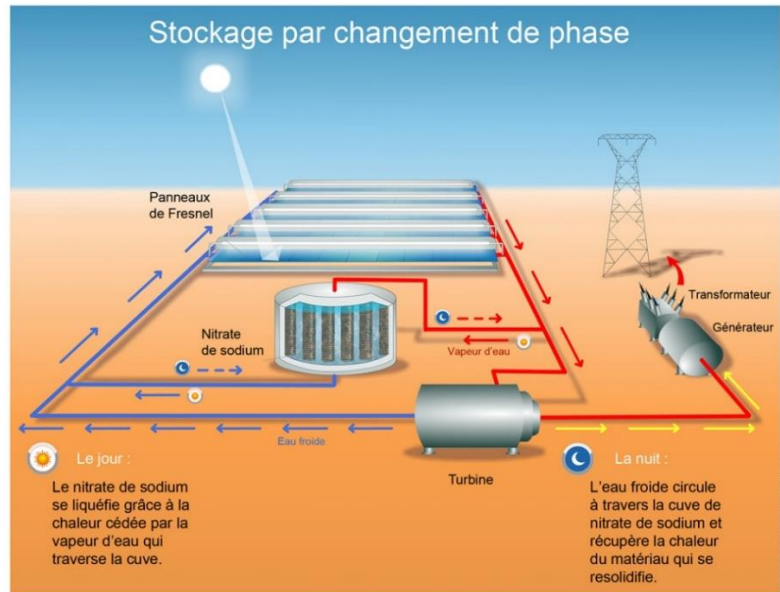


Figure I-18 stockage par changement de phase

1.6.1.4.3 Le Stockage de chaleur par réaction chimique :

Ce qui consiste en l'utilisation d'une réaction chimique réversible qui a besoin d'un apport de chaleur dans un sens (endothermique) et dégage de la chaleur dans le sens opposé (exothermique). Parmi les réactifs envisagés, la chaux. La chaleur apportée permet de l'assécher (c'est-à-dire retirer l'eau du mélange). La chaux sèche est ensuite conservée à l'abri de l'humidité. Lorsqu'elle est réhumidifiée, se produit alors un dégagement de chaleur qui peut être utilisé notamment dans l'habitat. La stabilité de ce système peut permettre un stockage saisonnier.

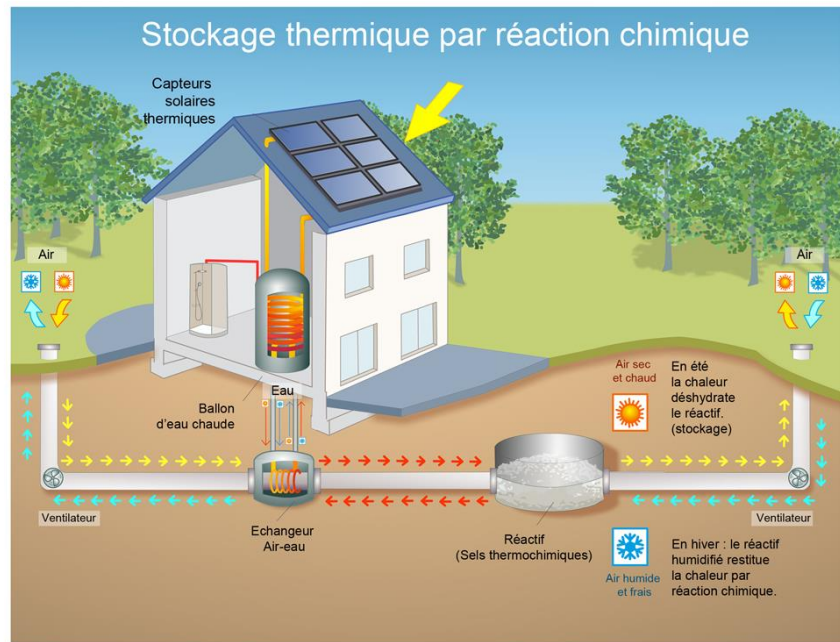


Figure I-19 Stockage thermique Par réaction chimique

I.6.2 Les caractéristiques temps de décharge par rapport à la puissance pour les systèmes de stockage :

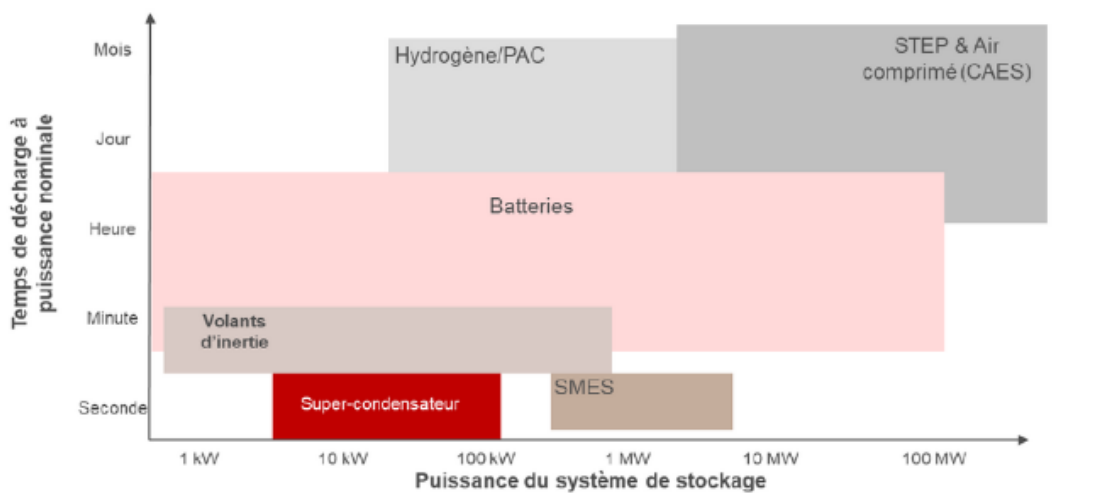


Figure I-20 Caractéristique temps de décharge /puissance de différente technologique de stockage.

Donc, Selon les ressources naturelles énergétique et hydraulique, et ces caractéristiques de stockage, on va choisir le système PV-H₂ comme solution pour l'alimentation électrique de notre projet c'est-à-dire un champ photovoltaïque car cette zone géographique est classifiée par les zones qui contient le meilleur rayonnement solaire au monde, et un système de stockage le dihydrogène H₂ qui a un temps de décharge plus important que les autres systèmes avec une grande puissance.

I.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous définissons les énergies renouvelables et restituons ces ressources et ces types, ainsi que les systèmes photovoltaïques et les différents systèmes de stockage, nous mettons en évidence leur fonctionnement et ces différentes technologies, Nous avons également tenté d'élaborer et d'identifier les principaux composants de tels dispositifs, tout en expliquant vaguement leur processus de fabrication.

*Chapitre II Production d'énergie
couplant champ PV-PAC*

II.1 Introduction

L'électricité provenant de sources renouvelables est intermittente, en fonction des conditions météorologiques. Ces générateurs renouvelables sont couplés à des systèmes de stockage pour assurer une disponibilité continue de l'énergie.

Généralement, le stockage est assuré par des batteries. Ces systèmes, appelés systèmes PV-Batterie, sont l'une des solutions les plus utilisées aujourd'hui. Si l'on considère la technologie au plomb, le rendement des batteries est très bon, autour de 80-85%, et le prix est très compétitif. Mais il présente de nombreux inconvénients :

- 1) L'autodécharge peut atteindre 15 % par mois.
- 2) Les contraintes de fonctionnement sont nombreuses afin d'éviter la dégradation prématurée des batteries :
 - a. Pas de charge/décharge trop profonde
 - b. Régime conseillé de charge/décharge
 - c. Sulfatation en cas de stockage prolongé
- 3) La durée de vie est variable entre 6 mois et 15 ans selon la technologie et son utilisation.
- 4) Un entretien régulier peut être nécessaire afin de maintenir un niveau suffisant d'électrolyte (cas des batteries ouvertes)
- 5) En ce qui concerne la sécurité, un local ventilé doit être dédié aux batteries et la maintenance demande des précautions.

Les contraintes de fonctionnement décrites ci-dessus, imposent que la taille des batteries soit en regard de la puissance du générateur photovoltaïque, conduisant à une autonomie du système de stockage de 3 à 8 jours selon l'application. Du fait de ce stockage limité, pour qu'un tel système soit autonome, il doit être dimensionné par rapport au mois le plus défavorable. Par conséquent, l'excédent solaire produit lors des mois les plus favorables se trouve la plupart du temps mal valorisé. Finalement, les systèmes PV-Batteries ne permettent d'alimenter qu'une charge limitée et seuls les appareils vitaux sont alimentés.

Pour améliorer les systèmes PV-Batteries tout en conservant leur qualité de respect de l'environnement, une idée, apparue dans les années 90, est d'utiliser l'hydrogène pour stocker l'énergie à long terme. En effet, le gaz peut être produit par un électrolyseur, stocké sans perte importante quelle que soit la durée du stockage, puis converti en électricité dans une pile à

combustible. Ces systèmes, appelés Solaire-Hydrogène ou PV-Hydrogène, présentent de nombreux avantages. Sans pièce en mouvement, l'électrolyseur et la pile à combustible ne produisent que très peu de bruit. De plus, on attend de ces composants une grande fiabilité, peu de contraintes de fonctionnement et une maintenance limitée. Cependant, l'utilisation de l'hydrogène comme stockage d'énergie augmente la complexité des installations. De nombreuses recherches ont été menées sur les systèmes Solaire-Hydrogène. Ces études se sont heurtées à la faible maturité des électrolyseurs et des piles à combustible. [18]

II.2 Les différents types de production d'hydrogène

Il y a plusieurs façons de produire de l'hydrogène : à base de charbon, de gaz naturel ou encore d'eau. Chaque méthode de production est associée à une couleur selon son impact environnemental : produit à partir de charbon, dit « noir » ou « marron », il est très polluant ; s'il est produit à base de gaz naturel, on le qualifie de « gris » car il est également émetteur de gaz à effet de serre, mais il peut être bleu si le dioxyde de carbone émis lors de sa production est stocké et réutilisé. L'hydrogène produit à partir de gaz naturel est dit « gris » car il est également émetteur de gaz à effet de serre, mais il peut être bleu si le dioxyde de carbone émis lors de sa production est stocké et réutilisé.

L'hydrogène peut être aussi produit grâce à l'électrolyse de l'eau. Si l'électricité utilisée pour alimenter l'électrolyseur provient du nucléaire, l'hydrogène est dit « jaune », Si elle est d'origine solaire, éolienne ou hydroélectrique, c'est de l'hydrogène « vert » ou renouvelable. [19]

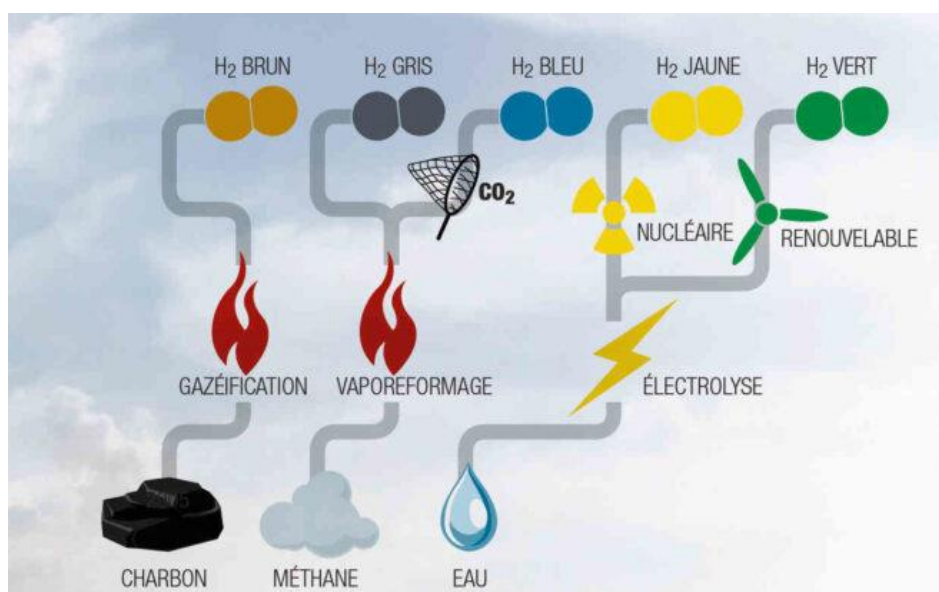


Figure II-1 classification de production H2 par les couleurs

II.3 Présentation PV-PAC [18]

Dans le système étudié, le champ photovoltaïque (PV) alimente directement l'utilisateur. L'excédent solaire est stocké sous forme chimique. Un électrolyseur (EL) dissocie l'eau en hydrogène et oxygène. Le gaz est stocké sans perte quel que soit le temps de stockage. Lorsque le champ solaire ne peut pas fournir la totalité de la demande d'électricité, la pile à combustible est connectée. Elle régénère l'électricité stockée en recombinaison l'hydrogène et l'oxygène. La pile à combustible (ou FC pour Fuel Cell) produit de l'eau pure qui est stockée pour approvisionner l'électrolyseur.

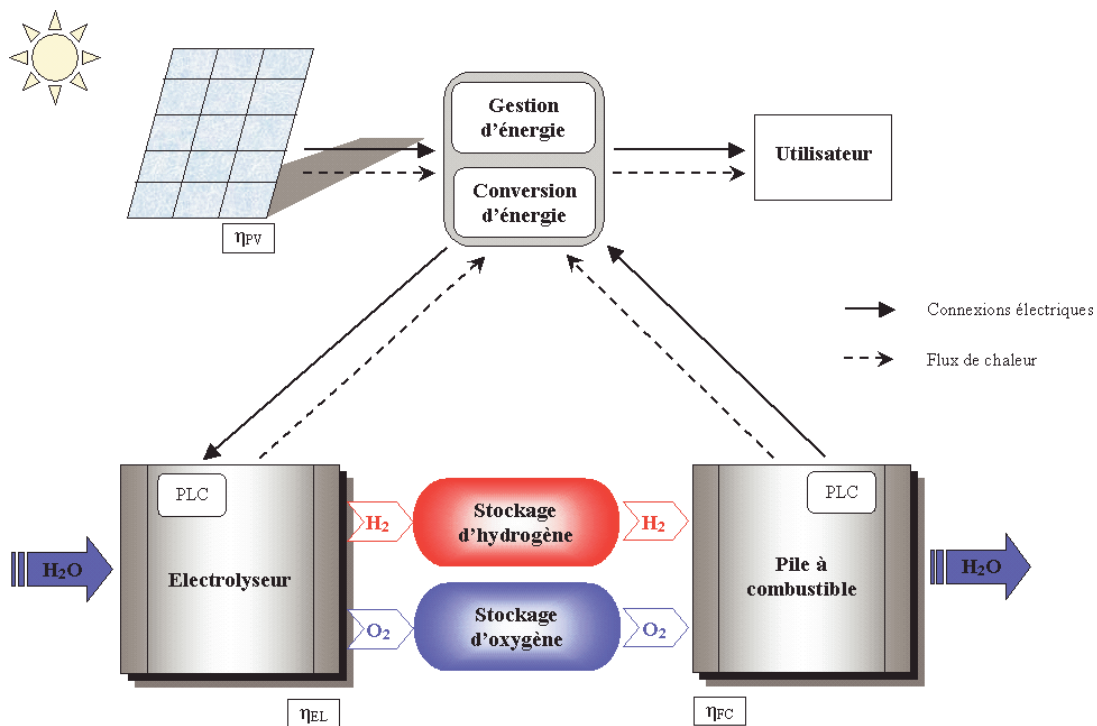


Figure II-2 description Système PV-FC

Ce système est composé d'un générateur solaire et d'un système de stockage d'énergie constitué d'un électrolyseur, d'une unité de stockage des gaz et d'une pile à combustible. Il est assimilable à un système PV-Batteries dont la puissance et la capacité de stockage sont totalement dissociées.

Bien que le système de stockage par l'hydrogène a un rendement plus faible que celui des batteries, le rendement du système PV-FC est augmenté par l'utilisation totale de l'énergie délivrée par le champ photovoltaïque, permise par le stockage saisonnier de l'énergie. De plus, les rendements faibles de la pile et de l'électrolyseur peuvent être compensés par la génération thermique de ces composants.

Les inconvénients majeurs sont le coût d'investissement de l'installation, le rendement et la complexité des composants électrochimiques ainsi que les dangers associés à l'utilisation de l'hydrogène.

Notre étude se concentre principalement sur le système de stockage par l'hydrogène et sur son intégration dans un système autonome « ferme moderne », de génération d'énergie. L'étude du générateur photovoltaïque se limite dans ce mémoire, aux connaissances nécessaires à son utilisation comme générateur du système.

II.4 Les principaux composants

Pour assurer le fonctionnement du système PV-PAC (PV-FC), les principaux composants ont été bien étudiés et choisis selon leurs caractéristiques électriques, leurs paramètres et leurs performances, nous avons aussi recherché les composants actuellement disponibles sur le marché.

II.4.1 Panneaux Photovoltaïque

II.4.1.1 Caractéristique électrique et paramètre

Un panneau photovoltaïque, appelé module, est constitué de cellules photovoltaïques connectées en série et en parallèle. Il est défini par sa puissance crête aux conditions standards de tests, sa tension et son intensité à la puissance crête ainsi que par sa tension de circuit ouvert et son courant de court-circuit. Les conditions standards de tests (STC) correspondent à un ensoleillement de 1000 W/m^2 , à une température de cellule de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ et une masse d'air optique AM (Air Mass) égale à 1,5. Les caractéristiques électriques des modules commercialisés peuvent être sensiblement différentes à puissance identique selon que le niveau de courant ou de tension est privilégié.

Un champ photovoltaïque ou champ solaire est constitué d'un ensemble de modules connectés en série et/ou en parallèle. La caractéristique électrique d'un champ solaire dépend de la façon dont les modules sont câblés : les modules connectés en série définissent la tension d'une « branche » et donc du champ ; les branches sont ensuite connectées en parallèle déterminant l'intensité délivrée par le champ. Le choix de la caractéristique du champ solaire va dépendre du point de fonctionnement requis par les composants associés (batteries, convertisseurs, électrolyseur ...). Les générateurs photovoltaïques sont modulaires. Leur puissance varie de manière discrète par pas équivalent à la puissance d'une branche.

Le rendement d'un panneau correspond à son potentiel de conversion des rayons solaires en

électricité. Le rendement moyen des panneaux photovoltaïques varie selon le type de cellules photovoltaïques. Un panneau monocristallin a un rendement de 18 à 21%. Cela signifie qu'il transforme en électricité 18 à 21 % de la lumière du soleil captée. Un panneau polycristallin a un rendement de 14 à 18 %. Un panneau en silicium amorphe a un rendement d'environ 10 %. Ne pas confondre avec le rendement de surface des panneaux, exprimé en watt/m². [20]

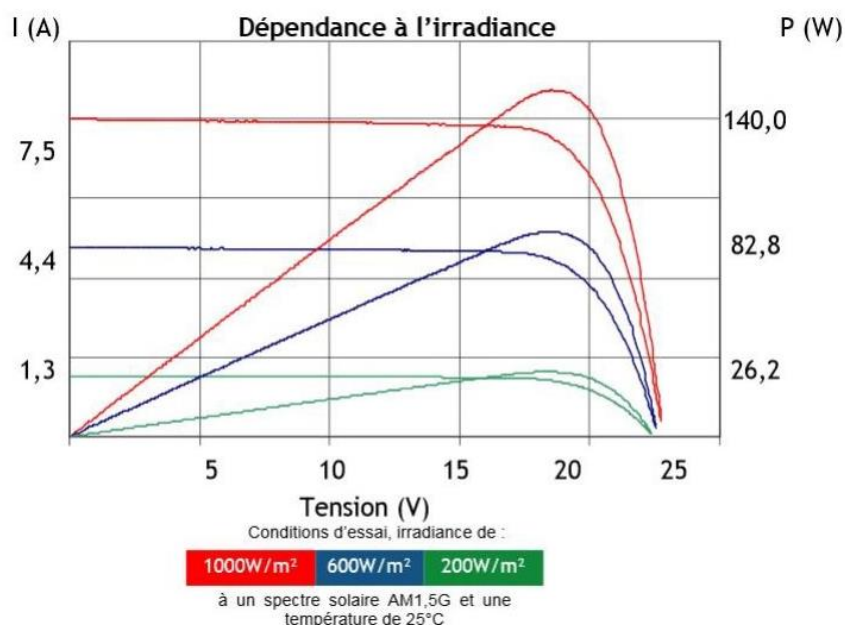


Figure II-3 courbes du courant et la puissance par apport à la tension pour 3 modes d'irradiance

II.4.1.2 Périphérique

Un champ solaire est constitué d'un ensemble de modules connectés en série et/ou en parallèle. Lors de la connexion en série, on protège les éléments avec des diodes by-pass (souvent intégrées au module) afin d'éviter le fonctionnement inverse des cellules occultées, entraînant une surchauffe voire une destruction des cellules. Lors de la connexion en parallèle, on place des diodes dites « séries », empêchant aussi le fonctionnement inverse. Les diodes Schottky sont généralement utilisées car les chutes de tension dans ces diodes sont seulement de 0,4 V / diode (diode classique 0,7 V).

Diverses mesures de sécurité doivent être prises telles que des parafoudres et la mise à la terre des châssis. Lors de la mise en place d'un champ solaire, il est important d'installer un interrupteur général, unique moyen de couper spontanément la production de ce générateur.

II.4.1.3 Application et commercialisation

Les panneaux photovoltaïques que nous utilisons ont une durée de vie de 30 ans et plus. Ils disposent de garanties de puissance solides à long terme (de 90% jusqu'à 12 ans et de 80%

jusqu'à 25 ans). Cette durée de vie estimée est corroborée par des tests en laboratoire qui ont été effectués en 2014 sur des panneaux installés depuis plus de 25 ans. Ces tests ont permis de vérifier que les pertes étaient largement inférieures à celles prévues dans le cadre des garanties évoquées.

II.4.1.4 Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïque

Avantage

- Ils sont des fonctionnements sûrs, ne sont pas polluants et silencieux
- Ils sont très fiables, Ils n'exigent presque aucun entretien
- Ils sont compétitifs dans les régions éloignées et dans de nombreuses applications résidentielles et commerciales, la durée de vie (20 à 30 ans)

Inconvénients

- Ils sont dépendants des conditions météorologiques.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
- Il est difficile de stocker de l'énergie solaire.
- Le cout élevé

II.4.2 Pile à combustible

Une PAC est un convertisseur d'énergie chimique en énergie électrique et thermique. La réaction mise en œuvre est une réaction électrochimique entre l'hydrogène H₂ (carburant) et l'oxygène O₂ (comburant) avec production simultanée d'eau, d'électricité et de chaleur selon la réaction globale de synthèse de l'eau :



Contrairement aux piles traditionnelles où, Aux batteries, l'énergie n'est donc pas stockée dans le volume fini de la pile lui-même mais dans des réservoirs de gaz qui peuvent alimenter la PAC de manière continue. Le flux d'énergie délivré par la PAC découle de la circulation du gaz combustible (H₂) et du gaz oxydant (O₂).

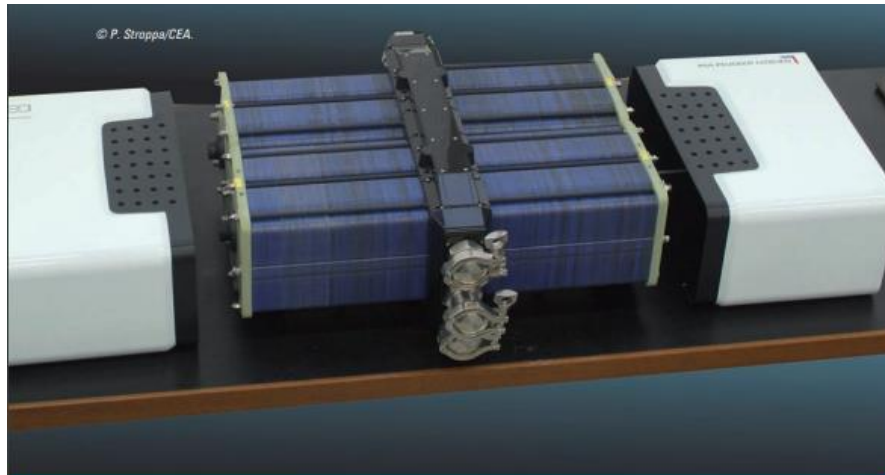


Figure II-4 Pile à combustible

La mise en œuvre de cette réaction s'effectue au travers de deux demi-réactions l'une à l'anode correspondant à l'oxydation de l'hydrogène et l'autre à la cathode avec la réduction de l'oxygène produisant de l'eau. [21]

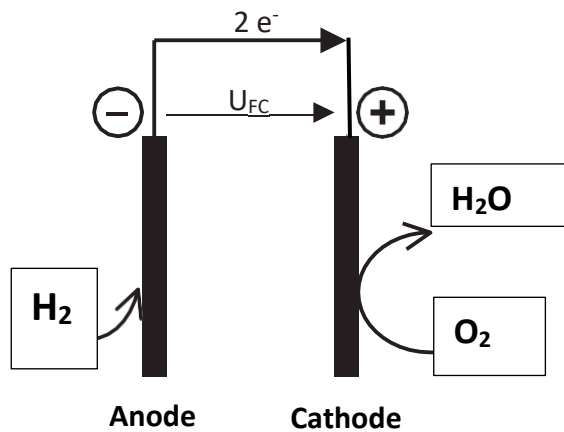


Figure II-5 Schéma de fonctionnement d'une pile à combustible.

Donc, L'hydrogène est injecté à l'anode de la pile à combustible. Les molécules H₂ se dissocient en ions H⁺ qui migrent vers l'électrolyte et en électrons qui sont contraints de circuler dans un circuit qui génère un courant et donc de l'électricité. A la cathode, ces électrons se recombinent avec les ions H⁺ et les molécules O₂ (issues de l'air ambiant) pour rejeter de l'eau H₂O. Cette réaction produit également de la chaleur. [22]

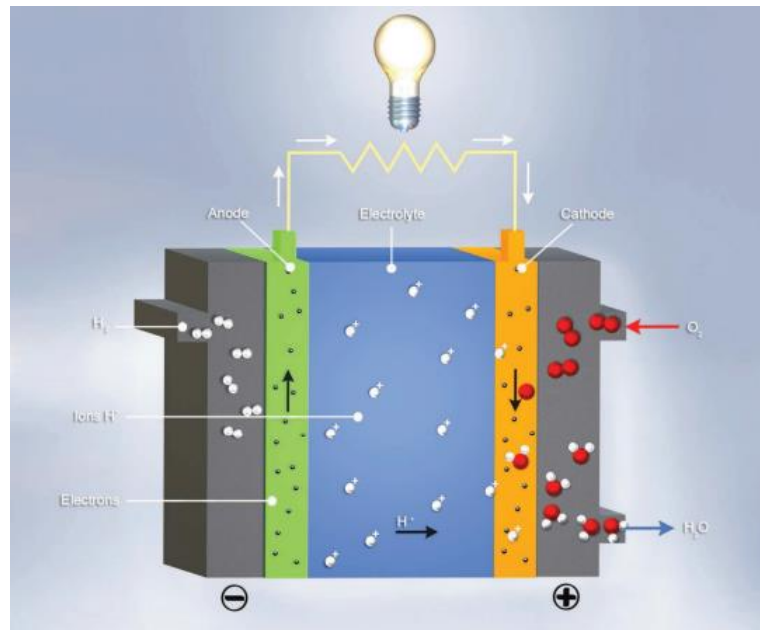


Figure II-6 principe de fonctionnement de la pile à combustible

II.4.2.1 Différentes technologies

Il existe plusieurs technologies de pile à combustible, se caractérisant par la nature de l'électrolyte, la température de fonctionnement, les gaz consommés.

Jusqu'en 2005, plus de 14 500 unités de PAC ont été produites à travers le monde. La technologie dominante est la PAC à membrane échangeuse de protons (PEMFC) qui constitue la technologie la plus flexible et la seule vraiment examinée pour le marché automobile. Cependant, les autres technologies prennent lentement leurs marques, créant ainsi une industrie plus dynamique et robuste.

Pour les plus fortes puissances, les piles à carbonates fondus (MCFC) restent toujours la technologie de choix. Les piles SOFC, malgré les grandes avancées de ces dernières années, luttent toujours pour passer des unités de recherche à un démonstrateur en conditions réelles d'usage. Bien que le nombre d'unités en pile à combustible à acide phosphorique (PAFC) demeure pratiquement inchangé en 2005.

Pour les plus petites puissances, nous constatons que le marché des véhicules à moteur est dominé par les piles PEMFC qui prennent près de 100 % de la part de marché. Néanmoins, elles

sont actuellement clairement absentes du grand marché stationnaire au-dessus de 50 kW. Les piles SOFC ont également pénétré le marché des transports mais en grande partie comme générateur auxiliaire de puissance (APU) (jusqu'à 3 – 5 kW). [23]

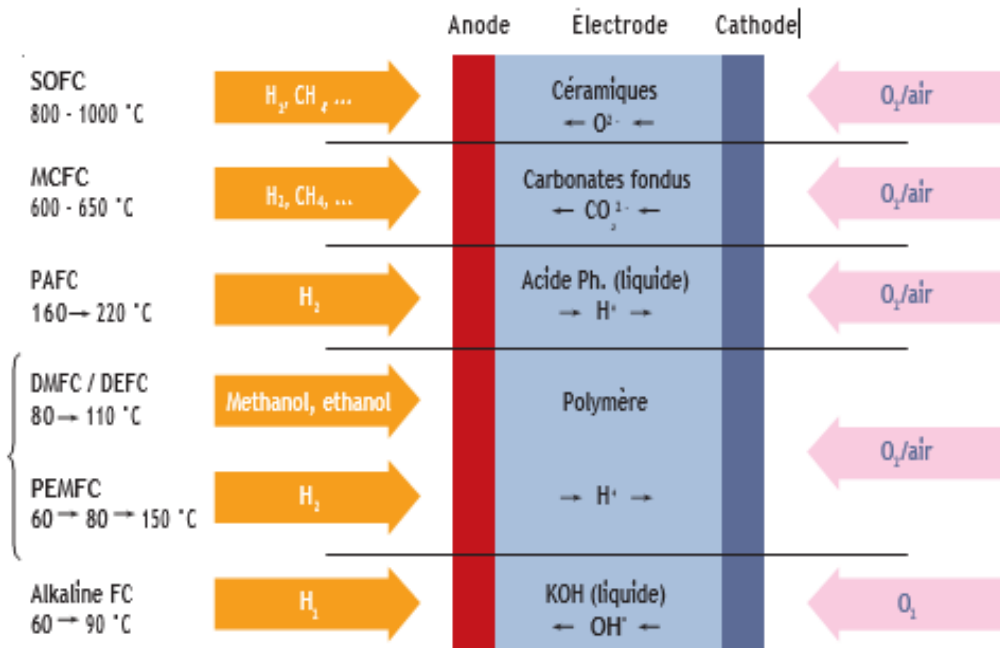


Figure II-7 différents types de piles à combustible

II.4.2.2 Caractéristiques électrique et paramètre [18]

La caractéristique électrique d'une pile à combustible est déterminée par le nombre de cellules en série, définissant la tension totale et par la taille de la surface active, déterminant le courant délivré.

Les caractéristiques électriques d'une cellule de pile à combustible basse température sont décrites à la Figure II.8. La tension à vide est d'environ 1 V. Lorsque la densité de courant augmente, les pertes sont plus importantes : la tension diminue. Pour de fortes densités de courant, la tension chute rapidement : la réaction est limitée par des problèmes de diffusion des ions vers les sites de réaction. On limite généralement la tension à 0,4-0,5 V, tension du point de puissance maximale. Les deux courbes tracées correspondent à des conditions opératoires différentes. L'influence des différents paramètres est décrite plus loin.

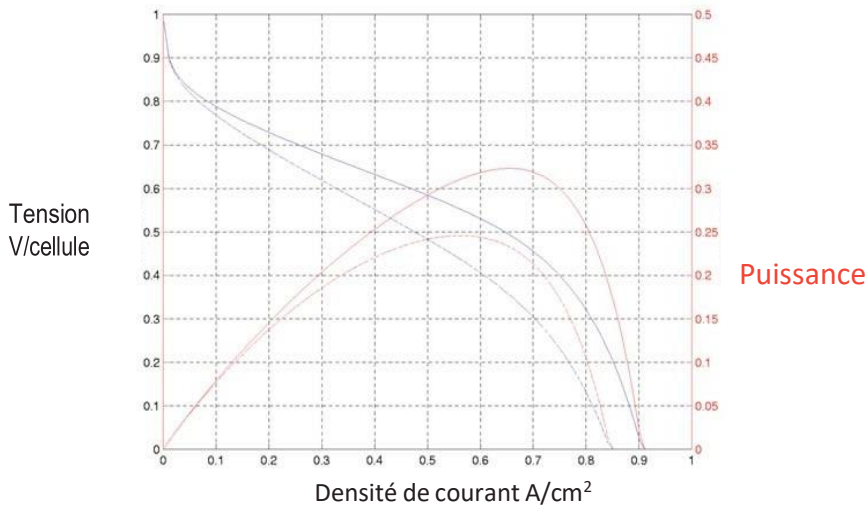


Figure II-8 Caractéristique électrique d'une cellule de pile à combustible.

II.4.2.3 Le rendement énergétique

Le rendement énergétique d'une cellule, appelé aussi rendement potentiel, dépend de la tension de fonctionnement. Il est égal au rapport de l'énergie délivrée sur l'énergie globale mise en jeu. L'énergie globale mise en jeu au cours de la réaction est l'enthalpie, égale à 286 kJ/mol dans les conditions standards. Cette énergie correspond à un potentiel, appelé thermoneutre, égal à 1,48 V. Le rendement énergétique s'obtient simplement en divisant la tension de la cellule par le potentiel thermoneutre (Équation II-1). Le rendement énergétique varie donc entre 65 % lorsque la densité de courant est nulle et 34 % si on limite la tension à 0,5 V.

$$\eta_{fc} = \frac{U}{U_{th}} \tag{Équation 1}$$

Avec U Tension de la cellule (V)
 U_{th} potentiel thermoneutre (1.48 V)

Ce rendement énergétique est souvent calculé par rapport à l'enthalpie libre de la réaction de formation de l'eau (241 kJ/mol), correspondant au potentiel d'équilibre (1,23 V). On distingue ces deux rendements en indiquant s'il est basé sur le pouvoir calorifique inférieur de l'hydrogène (PCI), c'est-à-dire par rapport au potentiel d'équilibre ou sur le pouvoir calorifique supérieur (PCS) dans notre approche. [18]

Les flux d'hydrogène et d'oxygène consommés par une pile à combustible sont directement proportionnels au courant délivré (Équation 2).

$$F_{\text{gaz}} = \frac{nc \times I}{n \times F} \times \frac{1}{\eta_f} \quad \text{Équation 2}$$

Avec	F_{gaz}	Flux de gaz (mol.s^{-1})
	nc	nombre de cellules
	I	intensité de l'appareil (A)
	η_f	rendement faradique (%)
	n	nombre de moles d'électrons échangées par mole d'eau ($n = 2$ pour l'hydrogène, $n=4$ pour l'oxygène)

Le rendement faradique ou rendement de courant, η_f provient du fait qu'une partie de l'hydrogène et de l'oxygène migre à travers la membrane et se recombine sans que l'on puisse récupérer l'énergie. Ce rendement est généralement très proche de 1.

On obtient le rendement global des cellules électrochimiques, ou rendement de puissance, en multipliant le rendement faradique et le rendement énergétique.

II.4.2.4 Périphérique

Le périphérique des piles à combustible est indispensable à leur fonctionnement. Les principales options sont :

- Alimentation de la cathode en mode ouvert par de l'air parfois enrichi en oxygène. Un **ventilateur ou compresseur** amène le gaz au débit nécessaire à une stœchiométrie de 1,5 à 2. Le facteur stœchiométrique correspond au rapport entre le débit fourni à la pile et le débit réellement consommé. Le gaz non consommé est évacué en sortie. Un déverseur maintient la pression de fonctionnement dans le système.
- Alimentation de l'anode en mode ouvert, fermé ou avec **recirculation du gaz** non consommé. L'hydrogène comprimé est détendu à la pression de fonctionnement de la pile puis humidifié. En mode ouvert, la stœchiométrie est généralement de 1,5.
- L'évacuation de l'eau produite est indispensable. Dans le cas des piles alcalines, l'eau entraîne la dilution de l'électrolyte et donc la diminution de sa conductivité. Dans le cas de piles à membrane, l'eau obstrue les canaux de circulation des gaz. On utilise de simples séparateurs gaz/liquide pour les technologies à membrane. Le système se complique pour la pile alcaline (**évaporateur**, condenseur...).
- Circuit de refroidissement (**pompe**).
- Circuit d'humidification des gaz et de la membrane (**pompe et système de chauffage**).
- Contrôle de la tension des cellules, témoin de l'endommagement d'une membrane.

- Contrôle température, pression...

Les termes en gras correspondent à des composants très consommateurs d'énergie. Le rendement global d'une pile à combustible doit prendre en compte la consommation intrinsèque de son périphérique (Équation 3).

$$\eta_{global} = \frac{P_{FC} - P_{CI}}{P_{GAZ}}$$

Équation 3

Avec	η_{global}	rendement global ou rendement de puissance de la pile (%)
	P_{FC}	puissance délivrée par la pile à combustible (W)
	P_{CI}	puissance consommée par le périphérique (W)
	P_{GAZ}	puissance consommée sous forme de gaz (W)

II.4.2.5 Les avantages des piles à combustibles

Les avantages des piles à combustible sont nombreux. Ecologiquement, ce générateur est parfait : la pile à combustible produit sans bruit de l'énergie électrique et thermique, à des rendements élevés, ne produisant que de l'eau et ne rejetant aucun gaz à effet de serre (cela dépend du carburant).

Les piles à combustible ne sont pas une technologie mature. De nombreux points restent à étudier et à améliorer : fiabilité, durée de vie, prix, développement commercial...

II.5 Electrolyseurs

Un électrolyseur est l'appareil inverse de la pile à combustible. Il décompose l'eau en hydrogène et oxygène lorsqu'il est électriquement alimenté (Figure II.8).

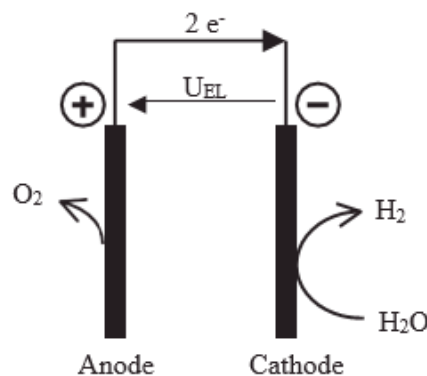


Figure II-9 Schéma de fonctionnement d'une cellule d'un électrolyseur.

Le courant électrique circule dans l'électrolyte (milieu conducteur d'ions, ici l'eau) pour dissocier les deux atomes d'hydrogène et l'atome d'oxygène de chaque molécule d'eau. A l'anode (oxydation de l'eau), les ions se recombinent en oxygène O₂. A la cathode (réduction de l'eau), ils se recombinent en hydrogène H₂ qui peut être ainsi récupéré.

L'anode est l'électrode où a lieu l'oxydation, c'est-à-dire la réaction dans laquelle un atome ou un ion perd des électrons ; la cathode est l'électrode où a lieu la réduction, c'est-à-dire la réaction dans laquelle un atome ou un ion gagne des électrons (également pour la pile à combustible) [24]

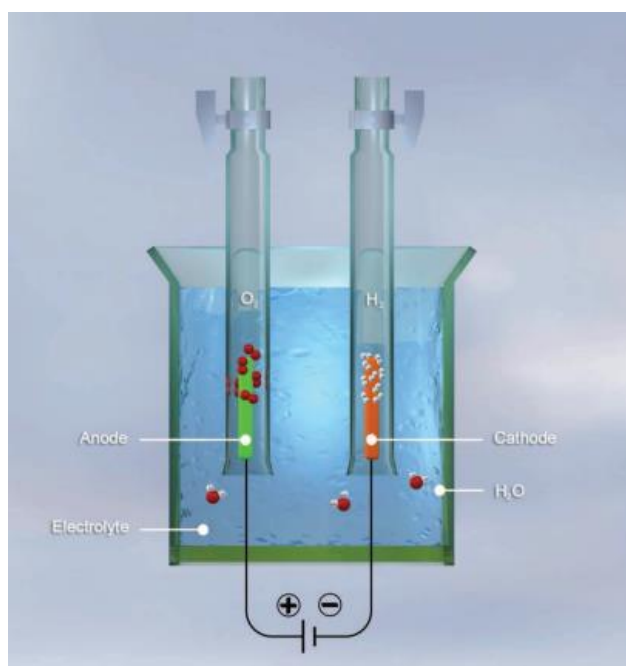


Figure II-10 Principe de fonctionnement de l'électrolyseur.

Ce schéma correspond à une vision « historique » de l'électrolyse. Selon les technologies, l'électrolyte (ou membrane) peut être liquide ou solide :

- Une solution aqueuse acide.
- Une membrane polymère échangeuse de protons : cas de l'électrolyse PEM, principe inverse de la pile à combustible de type PEMFC.
- Une membrane céramique conductrice d'ions O₂⁻, comme dans le cas de l'électrolyse haute température (EHT).

Les électrolyseurs alcalins sont actuellement les plus utilisés. Les performances de cette technologie se sont beaucoup améliorées par :

- Changement de la géométrie et de la configuration des cellules (plaques bipolaires, appelées «

zéro gap ») permettant une diminution des pertes ohmiques et une augmentation de la densité volumique de puissance,

- Augmentation de la température entraînant une augmentation de la conductivité de l'électrolyte et une diminution des surtensions aux électrodes,
- Développement de nouveaux catalyseurs diminuant aussi les surtensions,
- Augmentation de la pression permettant d'augmenter la conductivité de l'électrolyte.

II.5.1 Caractéristique électrique et paramètre

De la même façon que pour la pile à combustible, la caractéristique électrique d'un électrolyseur est déterminée par sa technologie, le nombre de cellules en série (tension) et par la taille de la surface active (courant).

Le rendement énergétique ou rendement potentiel des cellules d'un électrolyseur est le rapport de l'énergie globale mise en jeu sur l'énergie consommée. Il se calcule simplement en divisant le potentiel thermoneutre par la tension de la cellule (Équation 4).

$$\eta_{EL} = \frac{U_{th}}{U}$$

Équation 4

Avec U tension de la cellule (V)
 U_{th} potentiel thermoneutre (V)

Le rendement énergétique d'une cellule d'électrolyse diminue lorsque le courant augmente. Il est supérieur à 74 % lorsque la tension est limitée à 2 V (cas des électrolyseurs alcalins améliorés).

De la même façon que pour les piles à combustible, le flux de gaz produit par un électrolyseur est directement proportionnel au courant et au rendement faradique (Équation 5).

$$F_{gaz} = \frac{n_c \times I}{n \times F} \times \eta_F$$

Équation 5

Avec F_{gaz} flux de gaz (mol.s⁻¹)
 n_c nombre de cellules
 I intensité de l'appareil (A)

- η_F rendement faradique (%)
 n nombre de moles d'électrons échangées par mole d'eau ($n=2$ pour l'hydrogène, $n=4$ pour l'oxygène)

On obtient le rendement global ou rendement de puissance des cellules de l'électrolyseur en multipliant le rendement énergétique et le rendement faradique.

Un autre critère de performance est essentiel pour les électrolyseurs. En effet, les gaz qui traversent la membrane sans se recombiner, rendent les gaz produits impurs et surtout dangereux. La limite inférieure d'explosivité de l'H₂ dans l'O₂ et de l'O₂ dans l'H₂ est de 4%. On mesure pour des raisons de sécurité la pureté des gaz produits. Généralement, seul l'oxygène est vérifié car l'hydrogène étant plus petit que l'oxygène, il traverse plus facilement la membrane.

Deux paramètres modifient les performances des électrolyseurs, c'est-à-dire le rendement énergétique, le rendement faradique ainsi que la pureté des gaz produits par l'électrolyseur.

La température augmente la conductivité de l'électrolyte. Cela diminue les surtensions aux électrodes. La tension des cellules étant diminuée, le rendement potentiel est amélioré, Par contre, l'augmentation de la température diminue le rendement faradique d'un électrolyseur alcalin et la pureté des gaz. Aucune donnée sur l'influence de la température sur la pureté du gaz n'a été trouvée. Par ailleurs la pression et de la densité de courant influence directement sur le rendement potentiel et sur la pureté du gaz produit. [18]

La consommation des périphériques, souvent très importante, doit être prise en compte dans le calcul du rendement global des électrolyseurs.

$$\eta_{global} = \frac{P_{GAZ}}{P_{EL} + P_{CI}}$$

Équation 6

- Avec η_{global} rendement global ou rendement de puissance de l'électrolyseur (%)
 P_{FC} puissance consommée par les cellules (W)
 P_{CI} puissance consommée par le périphérique (W)
 P_{GAZ} puissance produite sous forme de gaz (W)

II.5.2 Application

Les électrolyseurs alcalins sont utilisés pour la production de gaz sur site. Il s'agit généralement de grosses unités (30 kW à 700 kW). Actuellement, les applications se sont diversifiées (production de gaz dans les laboratoires et les hôpitaux). Les modules sont plus petits, mais il y a peu d'unités de puissance inférieures à 5 kW.

Les fournisseurs d'électrolyseurs alcalins déclarent une durée de vie de 15 à 20 ans, certains garantissent 25 ans (systèmes à hydrogène). Pour un électrolyseur PEM produisant du gaz à 200 bars, le temps de fonctionnement sera très long (150 000 heures).

II.6 Les convertisseurs statiques

Un convertisseur statique est un système qui a un rôle d'adapter le transfert de l'énergie entre le générateur (source) et la charge (récepteur), un convertisseur DC/AC pour une charge alternative, et un convertisseur DC/DC pour une charge continue.

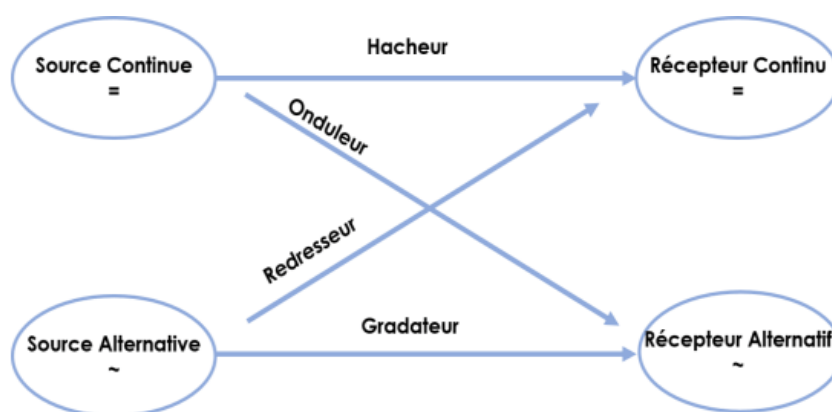


Figure II-11 Les convertisseurs statiques

II.7 Sécurité du système PV-H₂

Comparé aux autres carburants, l'hydrogène ne pose pas de nouveaux risques majeurs et la pile à hydrogène est très sûre. Les difficultés surviennent lors des interventions humaines dans la chaîne de valorisation, de la production jusqu'à la consommation, par exemple lors du remplissage des réservoirs, du transport ou de la maintenance. Chaque application possède ses particularités, mais la sécurité des sites est commune à toutes et elle englobe l'ensemble des mesures pour la sécurité des installations, de la maintenance et des opérations.

Les propriétés de l'hydrogène exigent une détection précoce des fuites pour garantir la sécurité du personnel et des installations. La détection de gaz est considérée comme le premier instrument de protection contre les explosions, puisqu'elle vise à empêcher la formation d'une

atmosphère explosible. Pour mettre en place des niveaux de protection efficaces, il existe différentes technologies de détection.

Les capteurs à hydrogène, des détecteurs de fuite par ultrasons aux détecteurs de flammes avec capteurs à ultraviolets et à infrarouges, déclenche instantanément l'alarme en cas de problème. La combinaison des différentes technologies par un spécialiste permet de garantir un niveau de sécurité optimal. [24]



Figure II-12 capteur à hydrogène

II.8 Choix du système PV-H₂

Pour choisir le meilleur système PV-H₂, premièrement il faut insister sur le rendement et le prix, en suite, déterminer les composant électrochimiques adaptable avec la demande d'énergie, avec une étude d'architecture du système complet bien définie.

II.9 Architecture du système complet

Pour optimiser le système Trois points doivent être étudiés :

- Le dimensionnement du système permet de définir la puissance des composants et la taille du stockage afin de répondre à la demande électrique.
- Le choix de l'architecture électrique est très important en termes de rendement.
- Enfin, une bonne stratégie de gestion d'énergie au sein du système permet une utilisation rationnelle des différents composants.

II.10 Conclusion

En conclusion, dans ce chapitre, on a cité les différents types de production du dihydrogène, en suite on a défini les principes composants électrochimiques et leurs différentes technologies, puis on a décrit comment choisir un système PV-H₂ qui répond aux besoins électriques sans oublier les mesures de sécurité.

*Chapitre III Dimensionnement
électrique et thermique du projet*

Introduction

Dans ce chapitre on a fait le dimensionnement et l'étude de la consommation et l'alimentation de trois domaines pour notre mémoire ; commençons par la base de vie qui est alimenté au fil du soleil par un champ photovoltaïque et avec une pile à combustible a la nuit ou a un faible rayonnement ; le deuxième domaine c'est le domaine d'irrigation et le troisième domaine est définie par le pompage solaire.

La méthode de dimensionnement de notre étude Suits la chronologie suivante :

1. Déterminer la zone géographique du terrain d'étude
2. Le gisement solaire de la zone géographique
3. Les besoins électriques globales (jour et nuit).
4. Déterminer le nombre et la technologie de panneaux PV
5. Déterminer les onduleurs
6. Déterminé la quantité de d'hydrogène vert autant qu'un système de stockage pour la base de vie.

III.1 La zone géographique du terrain d'étude

Information géographique concernant la zone étudiée

30° 35' 20'' Nord, 2° 52' 47'' Est

Latitude : 30.5822°

Longitude : 3.0025°

Altitude: 417 m

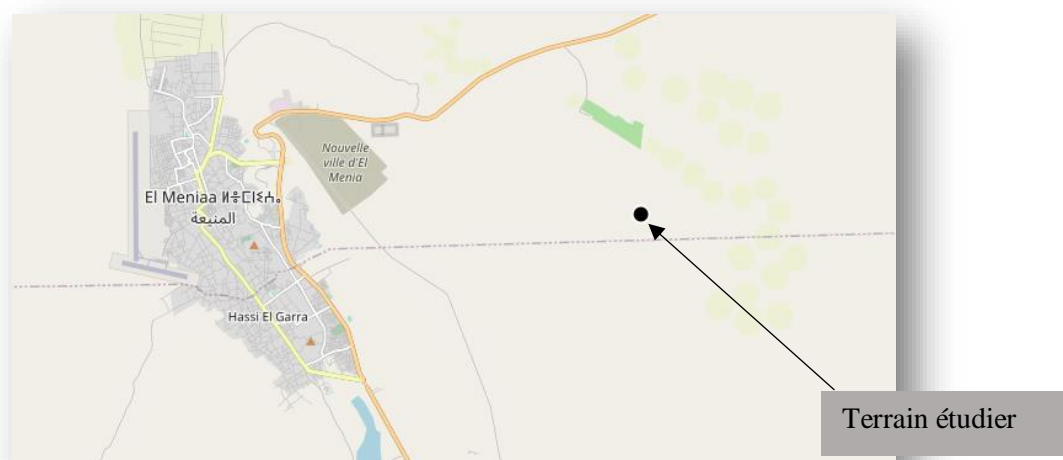


Figure III-1 zone géographique du terrain étudié

III.2 Gisement solaire

La situation géographique de l'Algérie présente un gisement solaire le plus important du monde. L'énergie solaire reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5kWh sur la majorité du territoire national.

La zone sur laquelle nous travaillons, l'énergie solaire reçue est de 5.7 à 6.1kWh .

L'orientation et l'angle d'inclinaison des structures supports doivent optimiser l'énergie incidente sur le générateur solaire durant le mois le plus défavorable. La meilleure orientation correspond toujours à celle de l'azimut du soleil, soit : au nord dans l'hémisphère sud et au sud dans l'hémisphère nord. Dans la wilaya de El-Menia, il faut incliner le module d'un angle égal à 50° .

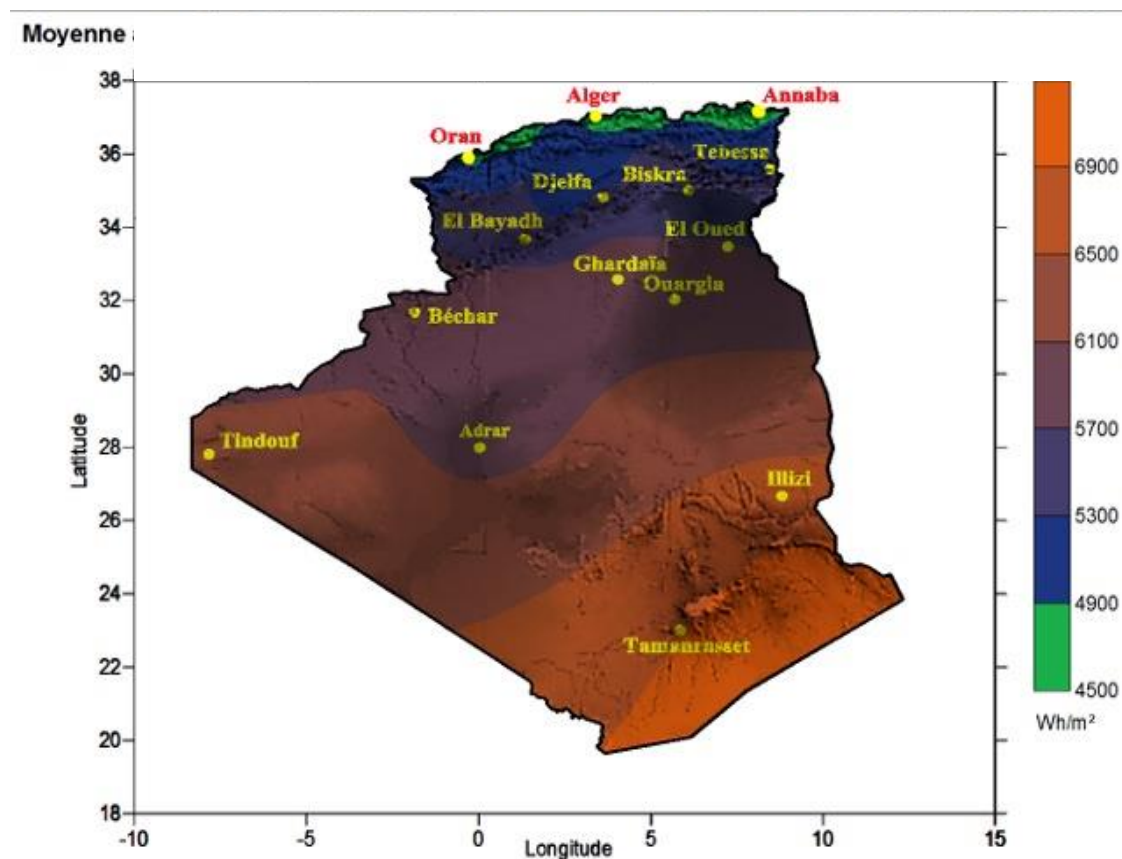


Figure III-2 moyenne annuelle de l'irradiation globale reçue sur une surface horizontale, période 1992-2002

III.3 Base de vie

III.3.1 Les Besoins électrique

Notre bâtiment est constitué d'un rez de chaussé et un étage, R+1 :

Le rez de chaussé contient de 3 bureaux, une buanderie, une salle de soin, une cafétéria et un restaurant.

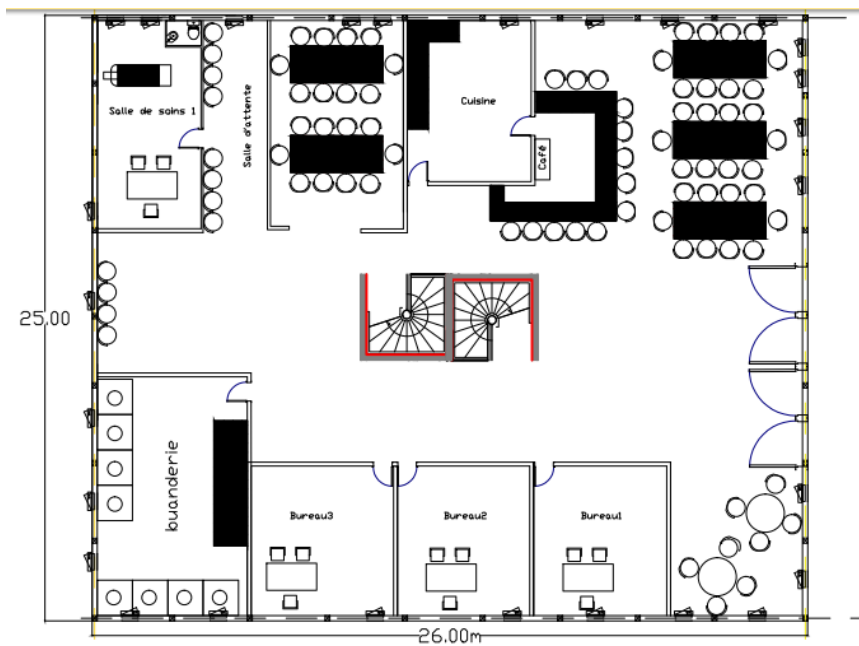


Figure III-3 plan RDC de l'habitation

Le premier étage contient de 26 chambres, une chambre pour deux personnes avec un sanitaire

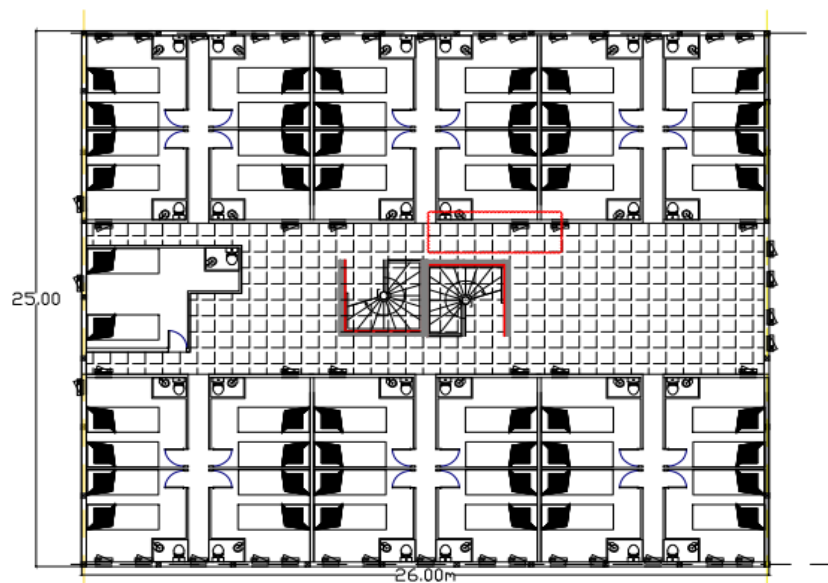


Figure III-4 Plan du premier étage

DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE ET THERMIQUE DU PROJET

Pour un dimensionnement parfait ; On a calculé la consommation globale de l'énergie électrique avec une meilleure optimisation, tout d'abord, pour diminuer cette consommation en énergie de cette société, il faut connaître les postes les plus gros consommateurs, puis identifier les mesures de maîtrise de l'énergie les plus appropriées. Les mesures les plus fréquentes dans les entreprises sont présentées ci-après, avec un accent particulier sur les mesures liées à la climatisation, étant donné la part croissante de ce poste dans la consommation énergétique des établissements.

Poste	Solution pour réduire la consommation d'énergie
Eclairage	Utilisation de lampes à faible consommation Éviter le sur-éclairage dans les pièces Optimiser la lumière naturelle Allumage et adaptation de l'intensité d'éclairage par automates (ex : minuteur)
Chauffage	Limiter les déperditions de chaleur par une bonne isolation Éviter une ventilation excessive Récupérer l'énergie gratuite (orientation du bâtiment suivant le soleil) Éviter le surdimensionnement des systèmes et choisir des technologies performante et économique avec un meilleur rendement Amélioration du système de régulation
Eau chaude sanitaire	Réparation de fuites et isolations du réseau d'eau chaude Régulation Optimale Utilisation de panneau solaires ou de pompes à chaleur pour le chauffage ou le préchauffage
Blanchisserie	Récupération d'énergie sur le poste Lavage au niveau du dernier rinçage Récupération d'énergie sur l'air sur le poste séchage
Ventilation	Réduire le temps de fonctionnement si possible Utilisation de moteurs à vitesse variable
Production de froid	Optimiser la production de froid selon les besoins pour la climatisation et pour la cuisine Choisir des technologies performantes (meilleur rendement) ou innovantes comme le stockage du froid,
Appareils spécifiques	Difficulté à diminuer la consommation d'énergie des appareils spécifiques et la consommation de certains appareils est difficilement modifiable sans altérer la qualité du milieu

Tableau 2 rappelle les mesures correctrices pour diminuer la consommation d'énergie suivant les postes.

III.3.1.1 Etude thermique

Lors de la conception d'une climatisation, plusieurs paramètres sont pris en compte pour un bon dimensionnement.

Une bonne analyse de ces paramètres permet de diminuer la consommation d'une climatisation. Dans tous les cas, un bâtiment équipé d'une climatisation consommera toujours plus qu'un bâtiment sans climatisation.

Le dimensionnement et le bon fonctionnement d'une climatisation dépendent des apports énergétiques internes et externes et aussi de la température intérieure et de l'humidité souhaitée dans le bâtiment.

Il est recommandé de se baser sur une température se situant autour de 24- 25 °C et une humidité comprise entre 40 et 60 %.

III.3.1.1.1 Apport énergie interne

Un apport interne est une énergie calorifique qui est dégagée à l'intérieur d'un bâtiment par des équipements (appareil, luminaire, etc.) mais aussi, par les personnes (chaque personne dégage une certaine quantité de chaleur et d'humidité suivant son activité). Les apports énergétiques apportés dans un bâtiment sont difficiles à estimer. Dans un établissement, de nombreux appareils spécifiques consomment beaucoup d'énergie ; la chaleur qu'ils dégagent doit être comptabilisée. Mais, aussi, au niveau de l'éclairage, l'énergie calorifique apportée ne peut pas être négligée suivant le matériel utilisé :

Les occupants dégagent aussi une certaine quantité d'énergie et une quantité de vapeur d'eau qui est prise en compte pour le calcul d'une puissance de climatisation :

Type d'activité	Apport d'énergie (W)	Apport de Vapeur d'eau (g/l personne)	
		A 21C°	A 25C°
Assis au repo	114	46	66
Debout, Travail léger	174	121	156
Travail Actif	230	170	216

Tableau 3 Apport d'énergie et de vapeur d'eau suivant l'activité d'une personne.

III.3.1.1.2 Apport énergie externe

Les apports externes apportés à un bâtiment sont constitués de l'énergie calorifique apportée de l'extérieur. Ils sont principalement dus aux transferts de chaleur par les parois extérieures et le rayonnement solaire transmis par les parois vitrées. Lors de l'étude d'un système de climatisation, il faut prendre en compte la température maximale atteinte sur le lieu pour pouvoir calculer l'énergie calorifique apportée au bâtiment par les parois. [25]

Un bâtiment climatisé équipé de parois et de toitures bien isolées thermiquement consommera moins d'énergie qu'un bâtiment mal isolé.

En ce qui concerne le rayonnement solaire transmis par les fenêtres, l'étude concerne chaque pièce du bâtiment en fonction de son orientation par rapport au soleil en estimant les apports énergétiques. Ces derniers ne seront pas constants tout au long de la journée. De ce fait, la puissance globale du système de climatisation sera calculée à partir des apports énergétiques les plus défavorables d'une pièce.

Pour diminuer ces apports, un bâtiment climatisé devra installer ses fenêtres de pare-soleil de différentes tailles selon l'orientation du soleil.

Lors d'une conception d'une climatisation, la puissance de celle-ci peut être diminuée grâce au renouvellement de l'air.

En optimisant les besoins en air neuf d'une pièce, on pourra ajuster le taux de recyclage de l'air et, ainsi, diminuer la puissance d'une climatisation. Il faudra tenir compte des besoins en air neuf des personnes occupants une pièce.

Le taux de brassage est l'indication du nombre de fois où le volume d'air est remplacé par heure. Il est le rapport entre le débit d'air brassé et le volume de la pièce. Un bon taux de brassage permettra une bonne homogénéité de la température de l'air.

III.3.1.2 Système de climatisation

Pour une optimisation de notre système de climatisation avec une bonne performance dans le bâtiment d'habitation on a choisi **un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur et pompe à chaleur réversible.**

Une VMC (Ventilation Mécanique contrôlée) double flux est à la fois un appareil qui permet un bon renouvellement d'air et récupérer jusqu'à 95% de la chaleur dans l'air repris. La chaleur de la cuisine et des salles de bains est récupérée et utilisée pour chauffer l'air soufflé à une température agréable.[26]

Un KIT Centrale MyDATEC Smart 300H [voir annexe 1]

III.3.1.3 Le bilan thermique

Pour le bilan thermique, tout d’abord, on calcule le volume totale du 1^{er} étage qui nous aide à connaître le coefficient de déperdition (perte de chaleur du int vers ext par les parois, les fenêtres ext... [27]

Piece	Chambre	Sanitaire	Couloire	
Nombre de pièce	26	26	1	
Longueur d’une pièce (m)	5	2,5	24	
Largeur d’une pièce (m)	4	2	3	
Surface d’une pièce (m ²)	20	5	72	
Surface Total (m ²)	520	130	72	
La hauteur (m)	2,50	2,50	2,50	
Le Volume Total (m ³)	1300	325	180	1805

Tableau 4 Calcul du volume totale du 1^{er} étage du bâtiment

	Formule	Calcul
Calcul le bilan Thermique par le coefficient Ubat	Déperditions= Dp x (19 – T ext base)	12250
Le coefficient de déperditions du bâtiment (W/K)	Dp = Ubat x Sdép + R x Vh	875
La déperdition thermique totale moyenne (W/m ² .K)	Ubat	0,4
Somme des surfaces des paroi (m ²)	Sdép	1285
Volume habitable de la zone traitée (m ³)	Vh	1805
Coefficient fonction du type de ventilation	R	0,2
Température de confort	19	19
Température extérieure de base du lieu d’habitation	T ext base	5

Tableau 5 Calcul le bilan thermique par le coefficient Ubat

Donc, on estime que le nombre du CTA (Centrale de Traitement d’Air) est de 2 SMART 300H

III.3.2 La consommation électrique de la base de vie

Après l’étude thermique du bâtiment ; La première étape du dimensionnement de cette installation autonome consiste à estimer la consommation d’électricité et à déterminer à quel moment nous avons besoin de l’électricité. En effet, puisque cette installation n’est pas raccordée au réseau, elle doit être capable de fournir de l’énergie y compris lorsqu’il n’y a plus de soleil. Cette étape nécessite beaucoup de réflexion car il vaut mieux dimensionner correctement son installation afin d’éviter un surcoût inutile ou une usure prématurée du matériel. Sachons cependant qu’il est possible d’agrandir son installation au fur et à mesure que les besoins augmentent : on peut ajouter des modules PV pour augmenter la puissance de l’installation autonome.

La consommation globale le mois le plus consommable de l’énergie électrique (Janvier) est calculée et classée dans les tableaux ci-dessus :

DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE ET THERMIQUE DU PROJET

Janvier	T min	3	T max	18											
1er Etage															
Pièce	Nombre de pièces	Appareil	Marque	Le nombre d'appareils dans une Piece	Fréquence d'utilisation (h/J)		Mode en veille (h/J)		Consommation	Consommation	Puissance en (wh/J)		Total (wh/J)		
					N	J	N	J	opérationnelle (Watt)	en veille (Watt)	N	J	N	J	
Chambre	26	LED TV 32 pouce	Condor	1	8	2	6	8	50	3	418	124	10868	3224	
		Chargeur mobile	Samsung	2	2	2	0	0	20	0	40	40	2080	2080	
		Chargeur PC	HP	1	3	0	0	0	45	0	135	0	3510	0	
		Lampe LED	Wellamax	1	7,5	0	0	0	40	0	300	0	7800	0	
Sanitaire	26	Lampe LED	Wellamax	2	4	0	0	0	25	0	100	0	5200	0	
									180				29458	5304	

Rez-de-chaussée															
pièce	mbre de pièce	Appareil	Marque	Le nombre d'appareils	Fréquence d'utilisation (h/J)		Mode en veille (h/J)		Consommation	Consommation	Puissance en (w/h/J)		Totale (wh/j)		
					Nuit	Jour	Nuit	Jour	opérationnelle (Watt)	en veille (Watt)	N	J	N	J	
blanchisserie	1	Machine à laver 100kg	feilong XTQ-100H	1	0	4	0	0	7500	0	0	30000	0	30000	
		Lampe LED	Wellamax	2	0	5	0	0	20	0	0	200	0	200	
		Fer à repasser professionnel	COMEL	2	0	3	0	0	7900	0	0	47400	0	47400	
									15420				0	77600	

DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE ET THERMIQUE DU PROJET

pièce	Nombre de pièces	Appareil	Marque	Le nombre d'appareils	Fréquence d'utilisation (h/J)		Mode en veille (h/J)		Consommation opérationnelle (Watt)	Consommation en veille (Watt)	Puissance en (w/h/J)		Totale (wh/j)	
					Nuit	Jour	Nuit	Jour			Nuit	Jour	Nuit	Jour
Bureau	3	Lampe LED	Wellamax	3	0	8	0	0	40	0	0	320	0	960
		PC bureautique	Acer	3	0	6	0	0	480	0	0	2880	0	8640
		Imprimante noir et blanc	Canon	2	0	0,5	0	6	295	0,8	0	152,3	0	304,6
		Imprimante multifonction	Canon	1	0	0,5	0	6	1470	0,8	0	739,8	0	739,8
		Modem 4G	Idoom	1	1	9	0	0	22	0	22	198	22	198
													22	10842,4
Cafétéria	1	LED TV 32 pouce	Condor	2	8	2	7	7	50	3	421	121	842	242
		LED TV 50 pouce	Condor	1	7	9	8	0	120	3	864	1080	864	1080
		Playstation 4	Sony	2	8	2	4	0	80	6,6	666,4	160	1332,8	320
		Démodulateur	Bein Sport	1	7	9	8	0	30	3,5	238	270	238	270
		Lampe LED	Wellamax	4	8	2	0	0	40	0	320	80	1280	320
		Distributeur café	Sagoma Milano Rheavendors	1	2	0	13	9	1700	83	4479	747	4479	747
		Vitrine à Boisson	Snack Saphir 6/6/31C	1	2	0	13	9	450	90	2070	810	2070	810
													11105,8	3789
Restaurant	1	Lampe Led	Wellamax	8	6	6	0	0	25	0	150	150	1200	1200
		Vitrine a Boisson	Simafe SBC430-J	1	15	9	0	0	343	0	5145	3087	5145	3087
		Table de cuisson 5 foyer	BOSCH PIV975DC1E	1	3	3	0	0	11100	0	33300	33300	33300	33300
		Panineuse	Bosch TFB4431V	1	1	1	0	0	2000	0	2000	2000	2000	2000
		Four Electrique	Bosch HBG676ES6	1	3	3	0	0	870	0	2610	2610	2610	2610
		Armoire congélation opale	Simafe OC700	1	15	9	0	0	871	0	13065	7839	13065	7839
		Armoire réfrigération opale	Simafe OR140	1	15	9	0	0	713	0	10695	6417	10695	6417
		Micro-ondes Pose libre	brandt GE2300S	1	2	1	0	0	1250	0	2500	1250	2500	1250
		Friteuse	Tefal FR36101Q	1	1	1	0	0	3600	0	3600	3600	3600	3600
Hotte aspirante économique	Bosch DWK67CM6Q	1	3	3	0	0	260	0	780	780	780	780		
													74895	62083
Salle de soin	1	Plafonnier LED (60*60) slim	NourLED	4	9	1	0	0	48	0	432	48	1728	192
		Concentrateur d'oxygène	INVACARE PERFECT O2V	1	1	2	0	0	300	0	300	600	300	600
		Batterie moniteur de signe Vitaux	EDAN EDA035	1	0	1	0	0	45	0	0	45	0	45
		Lampe d'examen à LED 20005	Inmoclinc	1	0	1	0	0	10	0	0	10	0	10
		Négatoscope 1 Plage	StaricareMedical	1	0	0,25	0	0	50	0	0	12,5	0	12,5
		Aspirateur mucosité électrique	OB1000 - BOSCAROL	1	0	0,5	0	0	70	0	0	35	0	35
		Réfrigérateur Médical	Modèle BXC-V260M	1	15	9	0	0	200	0	3000	1800	3000	1800
		Scie à plâtre électrique avec variateur	COMED 47 300 00	1	0	0,5	0	0	500	0	0	250	0	250
													5028	2944,5
CTA	1	Mydatec	Smart 300H	2	13	6	2	3	4300	400	56700	27000	113400	54000

Tableau 6 consommation électrique pour le jour le plus consommé de l'électricité

DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE ET THERMIQUE DU PROJET

Avec cette méthode, l'estimation de la consommation électrique journalière pour les autres mois est calculé et classé dans le tableau ci-dessus :

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Nuit (KW/j)	233,9	227,86	191,56	124,57	102,41	100,11	8,177	8,21	15,56	124,57	226,56	230,78
Jour (KW/j)	216,5	167,21	159,08	161,94	176,63	209,72	9,73	10,13	17,31	161,94	218,44	217,19
Total (KW/j)	450,4	395,066	350,64	286,52	278,8	309,83	17,908	18,34	32,87	286,52	445,01	447,97

Tableau 7 Consommation électrique journalière (Jour et Nuit) pour tous les mois.

Notre calcul de cette consommation dépend de la fréquence d'utilisation pendant le jour ou bien la nuit, prise en compte des horaires d'ensoleillement de chaque mois.

Ce tableau représente la consommation horaire d'un jour du mois le plus consommé de l'électricité (Janvier) :

Heure	Consommation Opérationnel (KW)	Heure	Consommation Opérationnel (KW)
0	5,067	12	40,190
1	4,666	13	31,100
2	3,444	14	20,310
3	3,444	15	4,762
4	2,404	16	4,344
5	2,391	17	5,694
6	3,431	18	7,880
7	4,891	19	7,880
8	4,470	20	26,897
9	12,055	21	20,867
10	14,445	22	17,940
11	29,707	23	4,370

Tableau 8 consommation d'électricité par heure pour le jour le plus consommé. (Sans climatisation(chauffage))

La plus grande consommation est à midi et celle après le coucher du soleil à 20h.

Donc au fil du soleil le champ photovoltaïque alimente directement ce bâtiment et l'excédent de cette énergie électrique est dirigé vers l'électrolyseur où se créera le dihydrogène vert ;

Dans la pratique d'une électrolyse industrielle, il faut **1 litre d'eau et 5 kWh d'électricité** pour fabriquer un « normal mètre cube (Nm^3) d' H_2 (Soit 1000 litres d' H_2 sous forme de gaz à 0° , à la pression atmosphérique) **qui convient 3 kWh** d'énergie (rendement de 60% de l'électrolyse).

L' H_2 étant un gaz très peu dense, sa densité d'énergie par volume est très faible aussi (3 kWh / m^3). Pour diminuer ce grand volume encombrant et contenant peu d'énergie, on comprime ce gaz jusqu'à 700 bars, voire davantage. On peut aussi le liquéfier à -253°C . Ces deux opérations « coûtent » de l'énergie, et consomment respectivement 15% et 35% de l'énergie contenue au départ. Ainsi, comprimé à 700 b, sur les 3 kWh, il ne reste plus que 2,55 kWh, et après liquéfaction, il ne reste que 2 kWh, à partir des 5 kWh d'électricité. Si cette H_2 liquide est reconverti en électricité dans une PAC ou une turbine avec un rendement de 50 %, alors il ne reste que 1 kWh d'électricité restitué après stockage des 5 kWh.

En termes d'énergie « contenue » :

1 kg d' H_2 = 11 Nm^3 = 13,6 l d' H_2 liquide = 23,3 l d' H_2 à 700 bars et contient 33 kWh d'énergie produit par 52 kWh d'électricité (en pratique industrielle, le rendement est de 63% par électrolyse avant compression ou liquéfaction). [28]

Consommation global :70,506 KW

Irradiation moyenne pour janvier :4184 Wh/m²,j

Pour la consommation nocturne, la pile a combustible alimente directement le bâtiment,

III.3.2.1 Choix de la Pile a combustible

la référence de la pile a combustible utilise sur le site est **vl ii m-100** du constructeur horizon dont les caractéristiques techniques sont : [voir annexe 2]

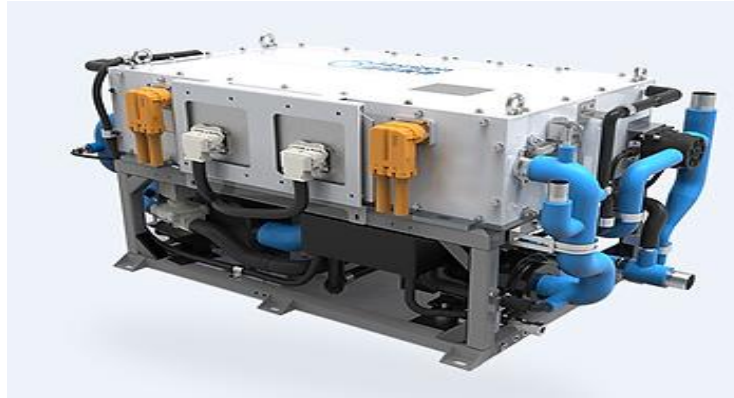


Figure III-5 VI ii m-100 pile à combustible a h2

III.3.3 Calcul le volume du H₂

on ce reference sur le mois ou la consommations electrique de notre base de vie et la plus grande parmi les mois de l'année.

Le mois de janvier a un total de **E=450,4 kwh/j** repartie sur consommation nocturne **E nuit =233,9 Kwh/j** et une consommation au fil du soleil **Ejour=216,5 kwh/j** dont la consommation nocturne de la base de vie est alimentée par la pile a combustible.

D'apres les caracteristiques technique de la pile **1kwh** demande une quantite de **0,7 M³** de **H₂**

Donc pour assurer la globalite de la consommation de nuit , **Enuit=233,9 kwh** la pile a besoins de **163,73 M³** de **H₂**

0,7 m³ → **1 Kwh**

????? → **233,9 Kwh**

$$(233,9 * 0,7) / 1 = 163,73 \text{ m}^3$$

Équation 7

On tenant compte des perte engendrer par l'onduleur et des perte de H₂ on ajoute 20% a la quantite volumique du H₂ ,le volume total est de l'ordre de **196 ,48 m³** de **H₂**

III.3.3.1 Autonomie energetique de la base de vie

le cas ou il ya une absence de rayonnement solaire, l'autonomie sans rayonnement solaire est estimee a 2 jour en cas de fort vent de sable oubien de faible rayonnement dans la regions d'ELMENIA.

La consommation toltal **E total=Enuit+Ejour= 450,4 kwh/j** le volume H₂ equivalent est **V=315,28 M³**

0,7 m³ → **1Kwh**

????? → **450,4 kwh/j**

$$(450,4*0,7)/1=315,28 m^3$$

Équation 8

On ajoutant une quantité de **20%** de perte donc Pour deux jours de stockage :

$$V=378,7*2=758 M^3$$

Équation 9

Pour cela le scenario envisage est que l'ectrolyseur a un eccedent volumique stoquer de l'ordre de **55%** produit pendant **6 jours** pour etre stoque en un volume equivalent a une consommation de **2 jour**, Donc un excédent de volume de **107 M³/j**

le volume de production journalier de H2 est de **Vjournalier=196 ,48 M³ +107 M³**

Volume de H2 que l'electroliseur produit par jour est **Vjournalier=304 M³**

III.3.4 Electrolyseur d'eau

nous besoins journalier de H2 sont de l'ordre de **304 M³ h2** ,l'electrolyseur choisi qui doit nous fournire cette quantité volumique de H2 est la suivante :

IDEAL MAKINA de fabrication italienne [voir annexe 3]

III.3.5 Reservoirs de stockage H2 :

la production de H2 global a etre stoke est estimee a **V=954,4 M³**

d'après les calcule faitent on on a choisi les reservoirs suivant :**LAPESA LH 200** [voir annexe 4]

III.3.6 Generateur photovoltaïque (base de vie)

III.3.6.1 Generateur PV pour l'electrolyseur

III.3.6.1.1 Calcule de la puissance crete

$$PC = \frac{EC}{Ir moy * K}$$

Équation 10

PC : puissance crête du champ photovoltaïque (Wc)

EC : l'énergie consommée par jour (Wh/j)

Ir moy : l'irradiation journalière moyenne (kWh/m². j)

Irradiation journalière moyennes au mois de janvier a la région d'ELMENIA est :

Ir moy =4,18 kWh/m². j

K : Coefficient correcteur 0,55<k<0,75

Ec= Ec électrolyseur

$$EC=448kw*4 h Kwh/J$$

Équation 11

$$EC=1792 Kwh/J$$

$$PC = \frac{1792 * 1000wh}{4,18 * 0,65}$$

Donc : **Pc=659550,98 Wc**

EN ajoutant les pertes du a l'onduleur qui a un rendement de 97% :

$$PC=679337.51 Wc$$

III.3.6.1.2 Calcule nombre de panneaux photovoltaïque

$$N = \frac{PC\ total}{pc\ panneau}$$

Équation 12

$$\text{Donc } N = \frac{679337.51\ WC}{550\ WC} = 1235\ \text{panneaux}$$

nombre de panneau est : **1235 panneaux de 550 wc**

III.3.6.2 Choix de l'onduleur (électrolyseur)

pour une puissance total equivalente a 500kw on choisi l'onduleur suivant : **satcon 500 kw triphase 400.**

[Voir annexe 5]

III.3.6.3 Choix de module Photovoltaïque

Caractéristique panneau PV choisi : [voir annexe 6]

Remarque : on installe ce modele de panneau PV pour les trois domaine (Base de vie, Irrigation, Forage)

III.3.6.4 Association panneau série parallèle

III.3.6.4.1 Nombre panneau série

$$Ns = \frac{U_{systeme}}{U\ panneau}$$

Équation 13

$$D'où\ Ns = \frac{600}{41.96} = 15\ \text{nombres\ panneau\ série}\ 15\ \text{panneaux}$$

III.3.6.4.2 Nombre panneaux parallèles :

$$Np = \frac{N \text{ PANNEAU TOTAL}}{Ns} \quad \text{Équation 14}$$

$$Np = \frac{1235}{15} = 83 \text{ panneaux}$$

Nombre de Panneaux parallèles est **Np=83 panneaux.**

III.3.6.5 Generateur pv alimentation base de vie au fil du soleil (consommation journalière)

III.3.6.5.1 Calcule de la puissance crete :

$$PC = \frac{EC}{Ir \text{ moy} * K} \quad \text{Équation 15}$$

PC : puissance crête du champ photovoltaïque (Wc)

EC : l'énergie consommée par jour (Wh/j)

Ir moy : l'irradiation journalière moyenne (kWh/m². j)

K : Coefficient correcteur 0,55<k<0,75

Ec= Ec jour

EC=216,5 Kwh/J Ejour du mois de janvier

Donc $PC = \frac{216,5 * 1000 \text{wh}}{4,18 * 0,65}$ d'où : **Pc=79643,48 Wc**

EN ajoutant les pertes du a l'onduleur qui a un rendement de 97% :

$$PC=82032.78Wc$$

III.3.6.5.2 Calcule nombre de panneaux photovoltaïque

$$N = \frac{PC \text{ total}}{pc \text{ panneau}} \quad \text{Équation 16}$$

$$N = \frac{82032.78 \text{ WC}}{550 \text{ WC}} = 150 \text{ panneaux}$$

nombre de panneau est :**150 panneaux de 550 wc**

III.3.6.6 Choix de l'onduleur

pour une puissance total equivalente a 100kw on choisi l'onduleur suivant :

onduleur refernce satcon 100 kw [voir annexe 7]

III.3.6.6.1 Association panneau série parallèle

III.3.6.6.1.1 Nombre panneau série

$$Ns = \frac{U_{systeme}}{U_{panneau}} \quad \text{Équation 17}$$

$$D'où Ns = \frac{600}{41.96} = 15$$

Nombre panneaux séries 15 panneaux

III.3.6.6.1.2 Nombre panneaux parallèles

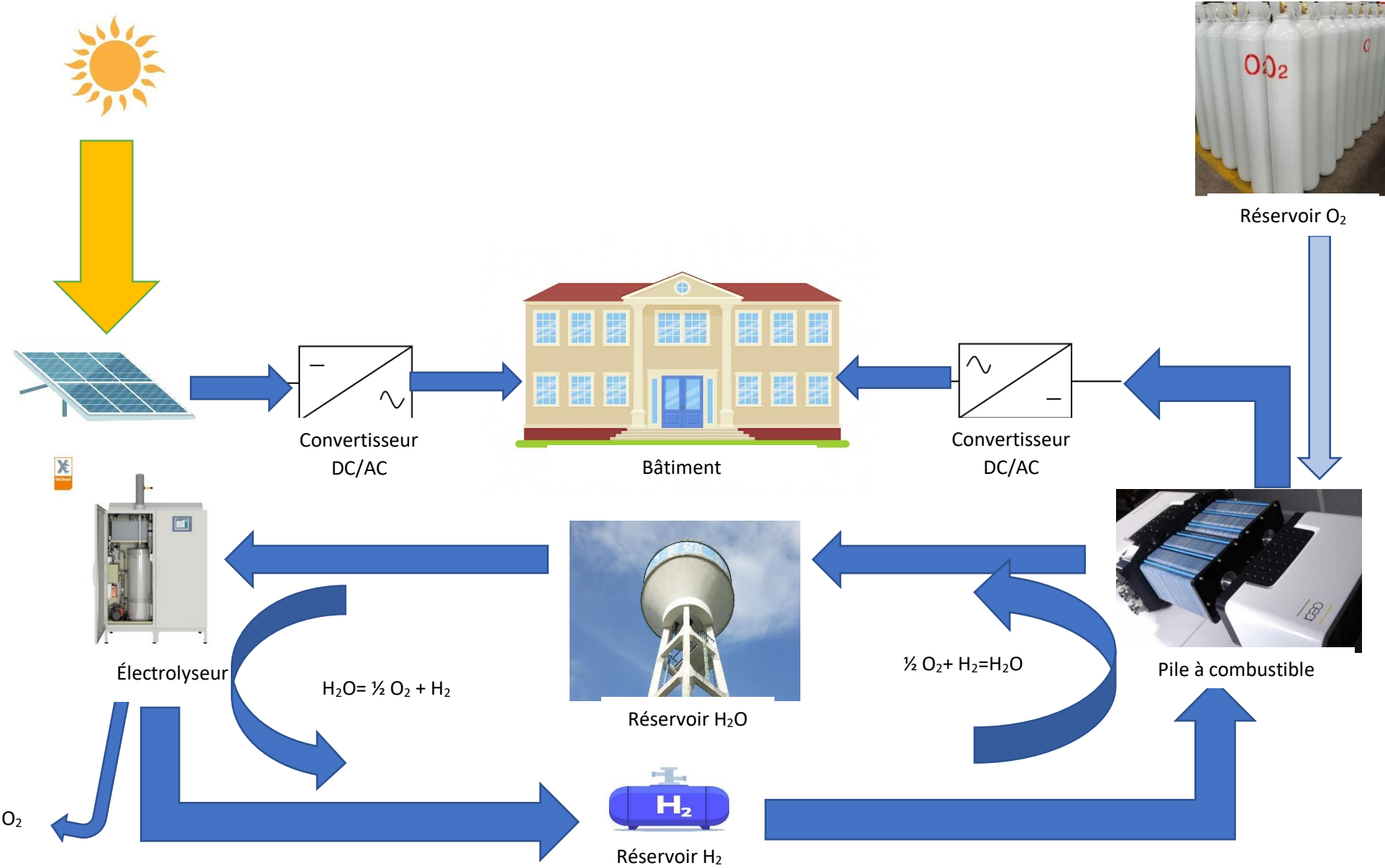
$$Np = \frac{N_{PANNEAU\ TOTAL}}{Ns} \quad \text{Équation 18}$$

$$Np = \frac{150}{15} = 10$$

Nombre panneaux parallèle est Np 10 panneaux

III.3.7 Schéma synoptique de la base de vie

DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE ET THERMIQUE DU PROJET



III.4 Domaine Irrigation

III.4.1 Les Pivots d'irrigation

Un pivot d'irrigation est un matériel permettant d'irriguer des grandes surfaces agricoles par l'aspersion d'eau. Cette eau aspergée sur l'ensemble de surface de la parcelle de terre est produite selon les mêmes caractéristiques que la pluie naturelle. Ainsi selon la disposition du champ à irriguer, l'aspersion peut couvrir la zone de façon intégrable totale ou partielle.

Le pivot doit être installé à l'endroit idéal pour satisfaire les besoins d'eau de l'ensemble de la parcelle. Il est muni de plusieurs travées avec des tubes. Ces principaux éléments sont montés sur une charpente et un jambage motorisé. Le pivot tourne autour d'une unité centrale afin d'assurer l'utilisation d'eau dans ces conditions. Chaque pivot est monté sur des roues dont le nombre et les caractéristiques dépendent du type de sol.[29]



Figure III-6 Pivot d'irrigation

III.4.1.1 Les avantages des pivots :

Ils peuvent résumer comme Suits :

- ✓ La rotation rapide permet une fréquence d'arrosage élevée ce qui le rend particulièrement intéressant pour les sols peu épais à faible réserves d'eau.
- ✓ La répartition de l'arrosage est très bonne.
- ✓ Economie d'eau, avec contrôle absolue de l'eau d'irrigation
- ✓ La durée de vie, qui se situe en moyenne aux alentours de 15 années.

III.4.1.2 Les inconvénients des Pivots :

Les plus importants sont :

- Non adaptés aux petites exploitations.
- Investissement initial important.
- Un coût élevé
- Son utilisation entraîne une concentration de sel dans la surface de la terre.

Les pivots d'irrigation sont des machines d'irrigation motorisées qui se déplacent selon un cercle autour d'une tour centrale. Il s'agit de machines destinées à l'irrigation des grandes surfaces.

Un pivot peut être réparti en deux systèmes : un système hydraulique pour pomper l'eau d'irrigation est un système mécanique pour assurer le déplacement du pivot. Un bon fonctionnement du pivot nécessite une grande quantité d'énergie pour son alimentation.

Le but c'est de quantifier l'énergie électrique demandée et de calculer le nombre des modules photovoltaïques utilisés pour alimenter le système, selon les besoins du projet d'irrigation.[30]

III.4.2 Le dimensionnement du système d'irrigation :

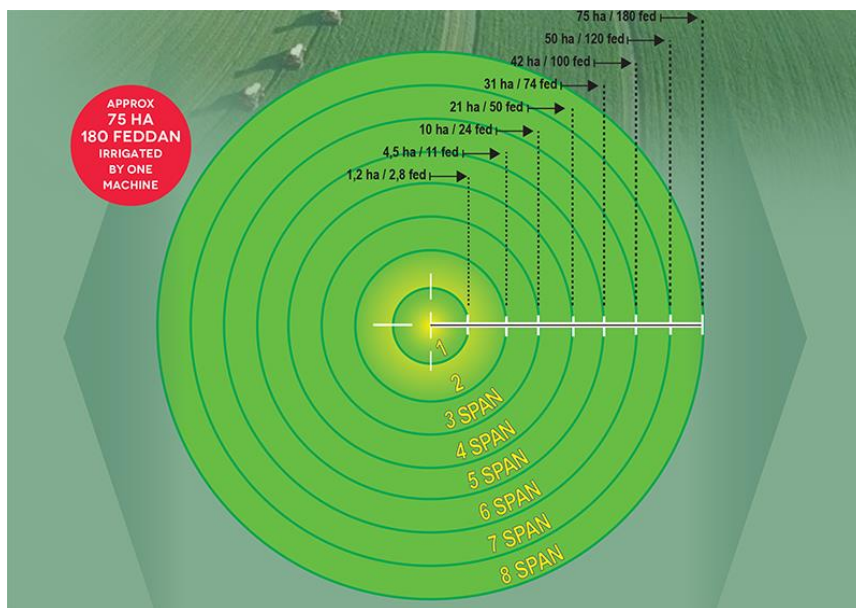


Figure III-7 dimension d'un cercle agricole (1.2ha →75ha)

Le premier pas dans ce projet consiste à dimensionner le système d'irrigation (pompage et pivot). Ensuite, et à partir de ces calculs, nous choisissons les équipements photovoltaïques nécessaires pour l'alimenter.

III.4.2.1 Calcul les besoins en eau

Les besoins d'eau pour l'irrigation dépendent du type de culture, des facteurs météorologiques comme la température, l'humidité, la vitesse de vent, l'évapotranspiration du sol, la saison de

l'année considérée et de la méthode d'irrigation. Cependant il est important de se baser sur la pratique.

Les pluies, en particulier leur part efficace, fournissent une partie de l'eau requise pour satisfaire les besoins d'évapotranspiration des cultures. Le sol, agissant comme un tampon, stocke une partie de l'eau de pluie et la restitue aux cultures en période de déficit. Sous des climats humides, ce mécanisme suffit pour assurer une croissance satisfaisante dans des systèmes de culture sans irrigation. Dans certaines conditions liées à l'agriculture, il est nécessaire d'irriguer pour compenser le déficit d'évapotranspiration (transpiration des cultures et évaporation à partir du sol) pour obtenir les conditions hydrauliques nécessaires [30] et que la plante ne rentre pas dans le stress.

La quantité d'eau nécessaire pour l'irrigation varie en fonction de la culture et du climat.

Le bilan hydraulique tient compte :

- De la consommation d'eau pour l'irrigation nécessaire et demandée par la culture.
- De l'évapotranspiration potentielle de culture notée **Etp**

Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Total
Profondeur D'enracinement (cm)	0-2	02_12	12_17	18_21,5	22_35	36_45,5	46_53	53	
Stade	Germination	Levée	Levée	Levée	Le Tallage	Le Tallage/Montaison	Montaison /Epaison	Maturation	
Précipitation Moyenne (mm)	4	8	11	2	7	5	15	5	57
Température Moyenne (C°)	15,8	11,4	10,3	12,8	17,1	21,7	26,6	31,6	
ETP (mm)	26,27	11,15	9,47	14,62	34,92	71,91	127,1	188,72	
Perte d'eau	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	
Déficit agricole « irr » (mm)	23,38	3,31	0	13,25	29,32	70,26	117,71	192,91	450,12

Tableau 9 le bilan Hydraulique de culture de blé tendre pour une saison.

DIMENSIONNEMENT ELECTRIQUE ET THERMIQUE DU PROJET

La quantité d'eau utilisée pour l'irrigation pour une saison est de 450.12 mm, donc pour trouver le volume d'eau nécessaire pour le stocké dans des bassins pour 2 cercles exploitable de 20 Ha :

On fait un simple calcul : [31]

$$irr(mm) \times S(ha) \times 10 = Ve \quad \text{Équation 19}$$

Dont :

Irr : déficit agricole

S : Surface de zone exploitable

Ve : Volume d'eau

Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Déficit agricole « irr » (mm)	23,38	3,31	0	13,25	29,32	70,26	117,71	192,91
Volume d'eau m ³	9353,40	1323,00	0	5300,40	11726,40	28102,20	47082,00	77162,40

Tableau 10 le volume d'eau nécessaire mensuel pour 40 ha

Au mois de juin on trouve la plus grande consommation d'eau pour l'irrigation de 38 581,20 Pour 20 ha de blé tendre on installe pour deux cercle agricole un bassin de longueur 50m ; largeur 25m ; et profondeur de 4,5m ; c'est-à-dire un bassin de 5625m³. Parce que l'irrigation de cette culture se fais une fois tous les deux jours ; alors on fait ce calcule :

$$\frac{77162,40}{15jrs} = 5144,16 M^3/j \quad \text{Équation 20}$$

Donc pour 10 cercles agricole on installe 5 bassins de 5625 m³.

Débit par cercle est de

$$5144,16 / 2 = 2572,08 m^3/jrs \quad \text{Équation 21}$$

III.4.2.2 Le choix du pivot

Le cercle d'une culture de blé tendre de 20 HECTARES :

Alors, pour choisir le pivot circulaire en doit connaitre **le rayon r du cercle** :

D'où **1 hectare = 10000 m²**, un cercle de **20 hectares est égal à 200000 m²**

La surface du cercle est :

$$S = \pi \cdot R^2 \quad \text{Équation 22}$$

$$R = \sqrt{s} / \sqrt{\pi}$$

Équation 23

Le rayon du cercle est :

$$R = \sqrt{200000} / \sqrt{\pi}$$

$$R = 252,31 \text{ m}$$

Le rayon du cercle représente la longueur du pivot d'irrigation circulaire

Donc La longueur du pivot :

$$L = 252,31 \text{ m}$$

Le pivot doit irriguer le cercle de blé de 20 hectares et d'après les mesures faites précédemment (TABLEAU 10) le pivot doit disperser un volume de **2572,08 m³/jrs** au mois de juin qui représente le mois de forte consommation en eau :

Les données calculées sont représentées au tableau suivant :

Mois	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Volume D'eau pour un cercle (20ha)	4676,5	661,5	0	2650,2	5863,2	14051,1	23541	38581,2
Volume d'eau Pivot m³/ JOUR	311,77	44,1	0	176,68	390,88	936,74	1569,4	2572,08

Tableau 11 volume d'eau disperser du pivot par jour

Si une irrigation par pivot se fait au fil du soleil alimenté par un générateur photovoltaïque, le rayonnement solaire maximale au mois de juin dans la région d'El-Menia qui est équivalent à 10 heures, le pivot doit donc faire un tour de cercle en 10 heures d'où un débit d'irrigation qui est 2572,08 m³ en 10 heures.

$$D = 2572,08 \text{ m}^3 / 10 \text{ heures}$$

Équation 24

$$D = 257,208 \text{ m}^3 / \text{h}$$

D : Débit du pivot par heure.

Vitesse d'avancement du pivot sur 10 HEURES

On calcule la circonférence du cercle :

$$C = 2\pi \cdot R$$

Équation 25

$$C = 1585,31 \text{ m}$$

La vitesse de rotation V est de :

$$V = C / (10H * 60)$$

Équation 26

Donc

$$V = 2,64 \text{ m/min}$$

Les caractéristiques du pivot d'après les calculs sont :

Longueur pivot	Débit journalier	Débit par heure	NOMBRE HEURE ELECTRECITE GPV	Vitesse de rotation
252,31 M	2572 ,08 m ³ /JOUR	257,208 m ³ /h	10 heures	2,64 m/min

Tableau 12 Caractéristique du pivot nécessaire.

On doit faire le choix sur un pivot qui représente les caractéristiques similaires au ceux calculées :

Le pivot choisi est le pivot de l'Entreprise algérienne **GHAYTH** [voir annexe 8]

On note que le pivot a quatre 4 travées chaque travée se fait avancée par deux roues pneumatiques qui sont mobilisé par un couple moteur réducteur.

Moteur d'une puissance 0,55 kW 220/380 V

III.4.2.3 Calcule de la puissance électrique du pivot

La puissance consommée par l'avancement se calcule de la façon suivante :

$$P \text{ électrique total pivot} = 1.23 * ((\text{Puissance d'un moteur} + (0.60 * \text{Somme des puissances des autres moteurs}))$$

Équation 27

Puissance d'avancement du pivot est de :

$$P \text{ pivot} = 1.23 * ((0,55KW + (0,6 * 2,2))$$

D'où la puissance **P pivot=2, 31 KW**

III.4.2.4 Choix de la pompe de surface : (Bassin-Pivot)

La pompe doit pomper l'eau a partie du bassin a la tour du pivot central pour que l'eau circule de la tour centrale jusqu'à la dernière travée sans diminuer de pression

La pompe choisie et de puissance **44,7 kW** triphasé débit max 330 M³ /h suivante :

Marque DAB avec un système de régulation électronique [voir annexe 9]

Avant de terminer le dimensionnement du système d'irrigation (pivot + pompe centrifugeuse), on note que notre système PV alimente le domaine irrigation et le domaine pompage solaire (forage) en alternance, un jour pour l'irrigation, un jour pour le forage.

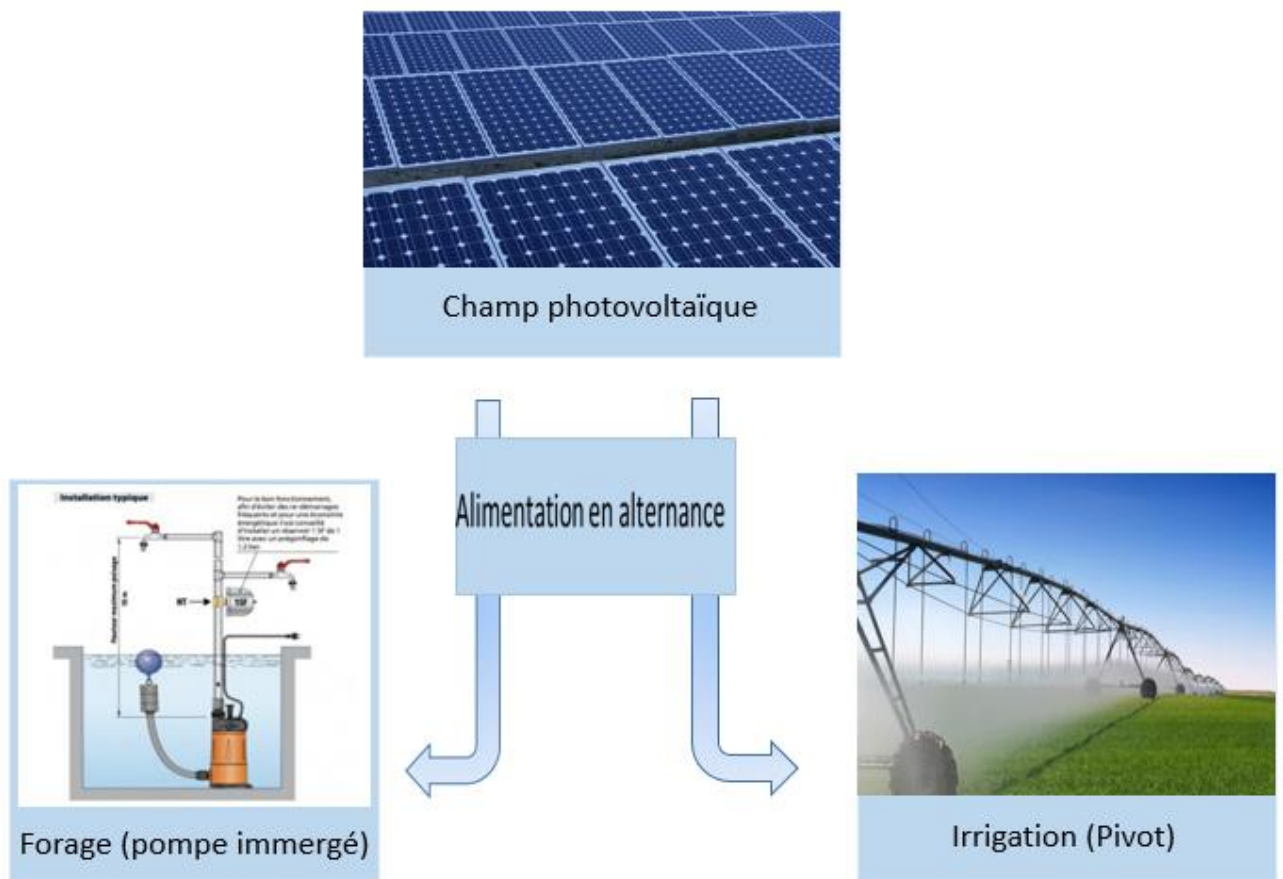


Figure III-8 Schéma explicatif du fonctionnement pour les deux domaines.

III.5 Domaine pompage

III.5.1 Pompage Solaire

La demande croissante d'eau dans les zones rurales et sites isolés a fait qu'un intérêt grandissant est porté sur l'utilisation des générateurs photovoltaïques comme source d'énergie aux groupes moteur- pompes. En effet la réalisation de systèmes de pompage autonomes, fiables et à bon rendement constitue une solution pratique et économique au problème du manque d'eau dans les régions désertiques.



Figure III-9 model d'installation solaire de pompage d'eau pour l'irrigation

III.5.2 Principe de pompage au fil du soleil

Le système solaire de pompage développé au C.D.E.R. est spécialement étudié pour fonctionner là où l'approvisionnement fiable d'électricité est impossible. L'énergie solaire est convertie en électricité au moyen de cellules photovoltaïques. Le convertisseur DC/AC transforme le courant continu produit par les panneaux solaires en un courant alternatif triphasé pour actionner le groupe moteur pompe. Les panneaux solaires et le convertisseur sont des éléments statiques, la seule partie en mouvement du système est le groupe moteur-pompe. Les avantages de ce système sont nombreux, les plus évidents sont :

- L'autonomie de fonctionnement,
- La fiabilité,
- Le bon rendement,
- La relation naturelle entre la disponibilité de l'énergie solaire et le besoin en eau.

Les applications de ce système sont :

- Alimentation en eau : en beaucoup d'endroits, l'eau de surface est disponible, mais très souvent contaminée. Le dispositif de pompage permettrait de puiser l'eau souterraine qui est généralement propre. L'eau est puisée le jour et stockée dans des réservoirs. "

- Irrigation : dans les zones agricoles, le rendement des récoltes peut être amélioré et le prix par unité de nourriture diminué. De nouvelles zones agricoles peuvent être développées au moindre coût. En outre la disponibilité de l'eau permet d'améliorer la nature et la quantité de pâturages. Une alimentation correcte en eau et nourriture du bétail est ainsi réalisée grâce aux pompes solaires

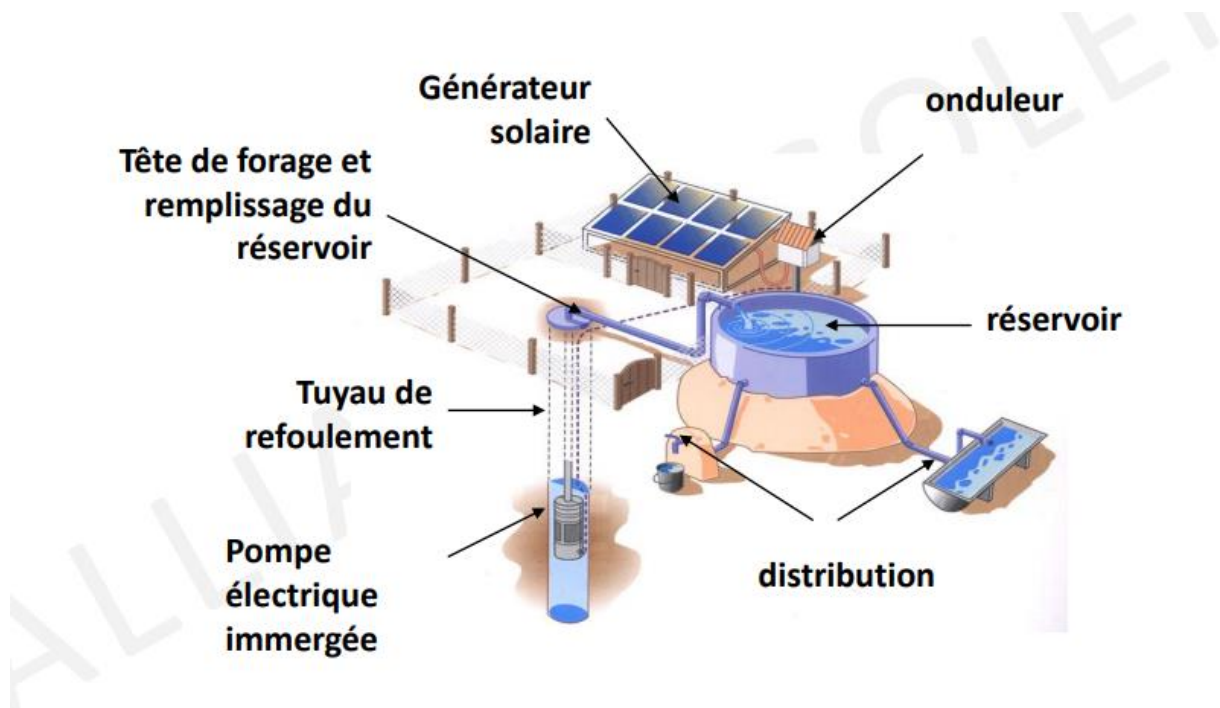


Figure III-10 Schéma de principe pompage au fil du soleil

III.5.3 Dimensionnement de la pompe immerger

Pour avoir le choix de la pompe immerger il faut tout d'abord calcule le débit de pompage pour alimenter le bassin qui représente les caractéristiques suivantes :

III.5.3.1 Dimension du bassin

Le bassin alimente en eau d'irrigation deux pivots circulaire qui est destiné vers deux surfaces de terre cultivable chaque surface est un cercle d'une superficie de 20 hectares

- **Longueur du bassin** : 50 m,
- **Largeur** : 25 m,
- **Profondeur** : 4 m.

Le bassin doit être alimenté en eau d'un volume maximum de 5600 m^3 et ce pendant une journée, nous avons prix le mois ou la culture a une forte demande en eau d'irrigation le mois de Juin ; donc les pompe doit alimenter le bassin au fil du soleil qui est dans la zone d'El-Menia d'une moyenne de 11 heure d'ensoleillement par jour au mois de juin.

Donc le remplissage du bassin en 11 heure d'où $5600 \text{ m}^3 / 11 \text{ h} = 509 \text{ m}^3/\text{h}$

On a besoins de deux pompes qui fonctionnent en parallèle.

On a choisi d'installer de pompe immergées semi axiale de mark **DAB SM12G2A** voir annexe 10

Caractéristique du débit pour le pompage au fil du soleil

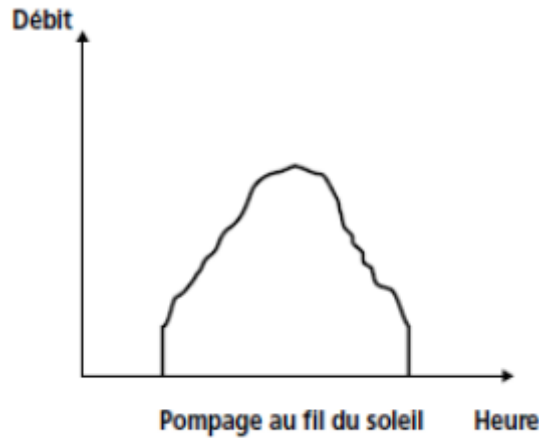


Figure III-11 Pompage au fil du soleil

III.5.4 Le bilan d'énergie

Donc le bilan d'énergie est simplifié est classé sur le tableau ci-dessus :

Matériel	Puissance kW
Pivot	2,31
Pompe centrifugeuse En ligne	44 ,7
Pivot +POMPE CENTREFUGEUSE UN CERCLE 20 H	47,01
PIVOTS+POMPES Centrifugeuse deux cercle 40 H	94,02
POMPES IMERGEE FORAGE BASSIN	63 KW*2 =126 KW

Tableau 13 les puissances totales du système irrigation et pompage

Puisque l'alimentation électrique est en alternance donc nous allons prendre la valeur de la puissance consommée par les pompes immergées car elle est la plus grande puissance entre les deux systèmes d'où p= 126 kW

Le système PV doit fournir une puissance équivalente ou supérieur à 126 kW

III.5.5 Calcul de la puissance crête

$$PC = \frac{EC}{Ir\ moy * K} \quad \text{Équation 28}$$

PC : puissance crête du champ photovoltaïque (Wc)

EC : l'énergie consommée par jour (Wh/j)

Ir moy : l'irradiation journalière moyenne (kWh/m2.j)

K : Coefficient correcteur 0,55<k<0,75

EC=P CONSSOME total * NBR HEURE

$$EC = 126\ KW * 10\ HEURE = 1260\ KWh \quad \text{Équation 29}$$

Donc pour le forage pour savoir le nombre de panneau il faut calculer la puissance crête pour chaque mois exemple application pour le mois de juin :

$$PC = \frac{1260 * 1000wh}{8,458 * 0,65} \quad \text{Donc on obtient } pc = 229186,75\ WC$$

On ajoute les pertes de 15 % :

On trouve **Pc=263564.76 Wc**

III.5.6 Calcul le nombre de panneaux

$$N = \frac{PC\ total}{pc\ panneau} \quad N = 263564.76 / 550 = 479\ \text{Panneaux}$$

Pour tous les mois on a calculé et classifié dans ce tableau ci-dessus :

Mois	novembre	decembre	janvier	fevrier	mars	avril	mai	juin
Irradiation solaire	4,421	3,835	4,184	5,36	6,625	7,762	8,343	8,458
Nbr heure	7	7	7	7	10	10	10	10
PC pompe nécaissaire	184156,04	212295,66	194587,44	151894,37	175558,78	149842,43	232345,86	229186,75
perte totale 15%	27623,41	31844,35	29188,12	22784,16	26333,82	22476,36	34851,88	34378,01
PC pompe totale	211779,44	244140,01	223775,56	174678,53	201892,60	172318,79	267197,74	263564,76
nbr Panneaux	385	444	407	318	367	313	486	479

Tableau 14 calcul de nombre de panneaux (forage)

On fait le même travail pour l'irrigation

Mois	Novembre	decembre	janvier	fevrier	mars	avril	mai	juin
Irradiation solaire	4,421	3,835	4,184	5,36	6,625	7,762	8,343	8,458
Nbr heure	5	5	5	5	10	10	10	10
PC nécaissaire (Irr)	98167,8353	113168,188	103728,489	80970,1493	131018,868	111826,849	173411,151	171053,35
Perte totale 15%	14725,1753	16975,2282	15559,2734	12145,5224	19652,8302	16774,0273	26011,6726	25658,0024
PC nécessaire totale	112893,011	130143,416	119287,763	93115,6716	150671,698	128600,876	199422,823	196711,352
nbr panneaux	205	237	217	169	274	234	363	358

Tableau 15 calcul de nombre de panneaux (irrigation)

III.5.7 Association panneau série parallèle

III.5.7.1 Nombre panneau série

$$Ns = \frac{U_{systeme}}{U_{panneau}} \quad \text{Équation 30}$$

Donc $Ns = \frac{600}{41.96} = 15$

Nombres panneau série 15 panneaux

III.5.7.2 Nombre panneaux parallèle

$$Np = \frac{n \text{ panneau total}}{ns} \quad \text{Équation 31}$$

$$Np = \frac{486}{15} = 33$$

Nombres panneaux parallèle est Np 33 panneaux

Nombre total est 486 panneaux

Donc le champ photovoltaïque est de 486 modules PV pour les deux domaines irrigation et Forage dont 15 panneaux en série et 33 panneaux en parallèle.

III.5.8 Choix de l'onduleur

- **Pour le domaine (irrigation et forage)**

L'utilisation d'un moteur asynchrone augmente ainsi l'autonomie et la fiabilité de l'installation.

Le moteur est alimenté par un onduleur (convertisseur DC/AC) qui assure l'optimisation du générateur.



Figure III-12 Système de pompage utilisant le moteur à courant alternatif

Onduleur solaire photovoltaïque 150 KW PowerGate Plus voir annexe 11

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, tout d'abord, on a divisé notre travail en trois domaines (Habitation, irrigation, forage), en suite, on a calculé la charge électrique pour chaque domaine, la précision de la consommation horaire pour la base de vie (habitation) est obligatoire pour bien dimensionner le système PV-H₂ nécessaire sans oublier les demandes électriques de l'électrolyseur.

Puis, pour une meilleure optimisation, on a combiné les besoins électriques des deux domaines (irrigation + Forage) dans une seule installation du champ Photovoltaïque en respectant les besoins en eau nécessaire de l'irrigation et que la plante ne rentre pas dans le stress hydrique.

En fin, en termine par le calcul de nombre de module photovoltaïque en série et en parallèle, et le choix du l'onduleur qui correspond à cette puissance fournie.

*Chapitre IV Simulation et analyse
du système PV et PV-H2*

IV.1 Introduction

La technologie des panneaux solaires photovoltaïques a beaucoup évolué, et Ainsi sont ces outils. Il existe des logiciels de simulation pour évaluer les coûts et Différentes données économiques, certaines pour l'industrie et d'autres pour Développé pour surveiller et contrôler les systèmes installés ou Évaluation sur place.

Dans ce chapitre, on a utilisé deux logiciels pour la simulation, Pvsys pour la simulation de système d'irrigation et le pompage solaire, et le logiciel HOMER « Hybrid Optimization Of Multiple Energy Ressources » pour le système PV-H2 pour l'habitation.

IV.2 Présentation du logiciel Pvsys

Pvsyst est conçu pour être utilisé par les architectes, les ingénieurs et les chercheurs, mais c'est aussi un outil pédagogique très utile. Il inclut une aide contextuelle approfondie, qui explique en détail la procédure et les modèles utilisés et offre une approche ergonomique avec guide dans le développement d'un projet. Pvsyst permet d'importer des données météo d'une dizaine de sources différentes ainsi que des données personnelles.[33]

IV.2.1 Critères de choix de logiciel Pvsys [33]

- Extension des possibilités qu'offre Pvsyst pour les grands projets et les scènes d'ombrage très détaillées
- Amélioration du traitement du composant de circum solaire
- Nombre illimité de sous-champs
- Définition de plusieurs transformateurs MT et HT, avec leurs spécifications
- Consulter les valeurs et graphiques des résultats pendant que la simulation est en cours
- Evaluation économique disponible
- Affichage des avertissements générés par la simulation, pendant celle-ci et avec les résultats ensuite
- Longue Français ou anglais

IV.2.2 Caractéristique principale de Pvsys

PVSYST est l'un des plus anciens et des plus performants logiciels dédiés au photovoltaïque. Il propose des fonctionnalités très poussées telle que son application 3D qui permet de simuler la course du soleil et les ombres portées afin d'optimiser l'implantation des panneaux. [35]

IV.3 Présentation du logiciel HOMER

HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Ressources) est un logiciel développé pour des systèmes de production d'énergie de petites puissances. Il se présente sous la forme d'un exécutable complètement autonome, capable de faire le dimensionnement, l'optimisation et la simulation des systèmes avec des énergies renouvelables ou avec des énergies fossiles. Un des grands atouts de ce logiciel est la possibilité de pouvoir simuler des systèmes hybrides combinant différentes sources d'énergie qu'elle soit renouvelable ou non pour une variété d'applications. [36]

IV.3.1 Critères de choix de logiciel HOMER [34]

- Langue : français ou anglais.
- Accessibilité à tous.
- La simulation de systèmes hybrides connectés au réseau ou hors réseau.
- L'évaluation des coûts et l'optimisation des systèmes.
- Simulation de systèmes dans plusieurs pays

IV.3.2 Caractéristiques principales du HOMER

Les caractéristiques de ce logiciel permettent de faire l'optimisation et la simulation des systèmes hybrides, et terminent avec les analyses de sensibilité sur ces systèmes optimisés.

La solution obtenue par Homer est la solution la moins couteuse parmi différentes combinaisons de systèmes d'énergie renouvelable, d'énergie fossiles ou de système hybrides comprenant deux sources d'énergie ou plus.

IV.4 Les étapes de simulation

IV.4.1 La zone Géographique

Les données sont prises par le logiciel Pvsys

En commence par entrer les données géographiques du site étudier

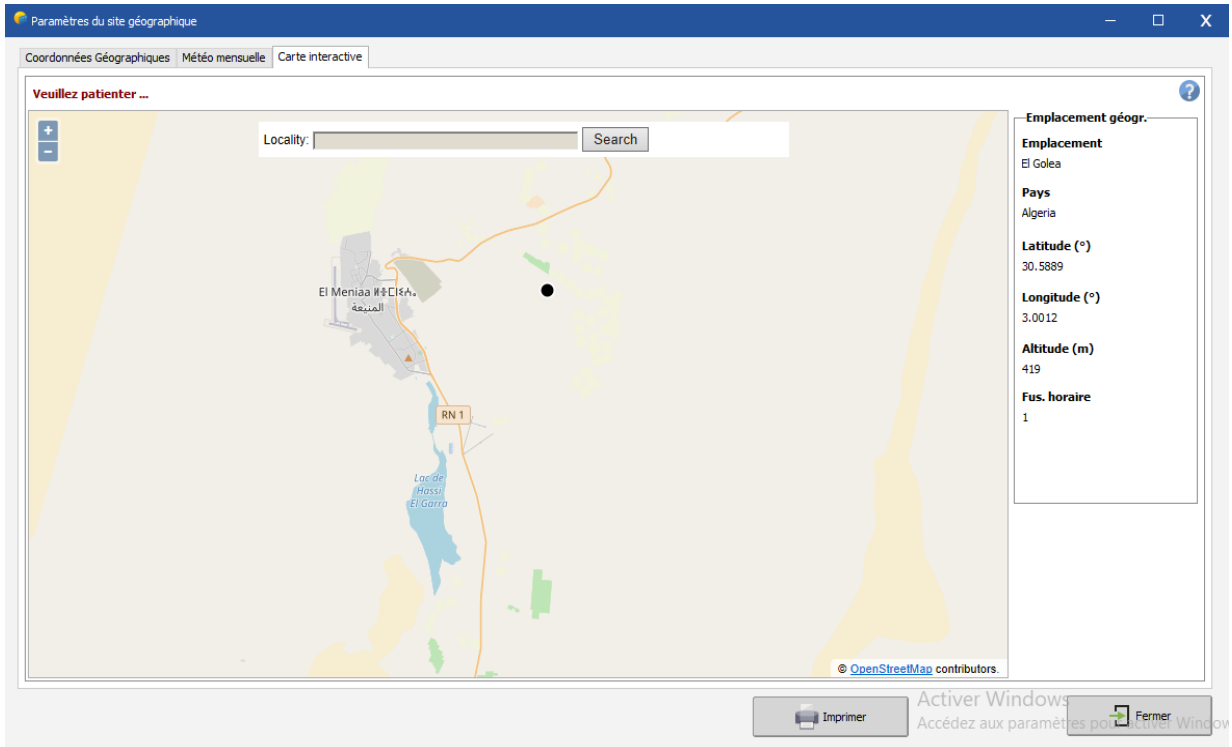


Figure IV-1 coordonnées géographiques du site étudié

IV.4.2 Les données relatives à l'ensoleillement au site El-Menia

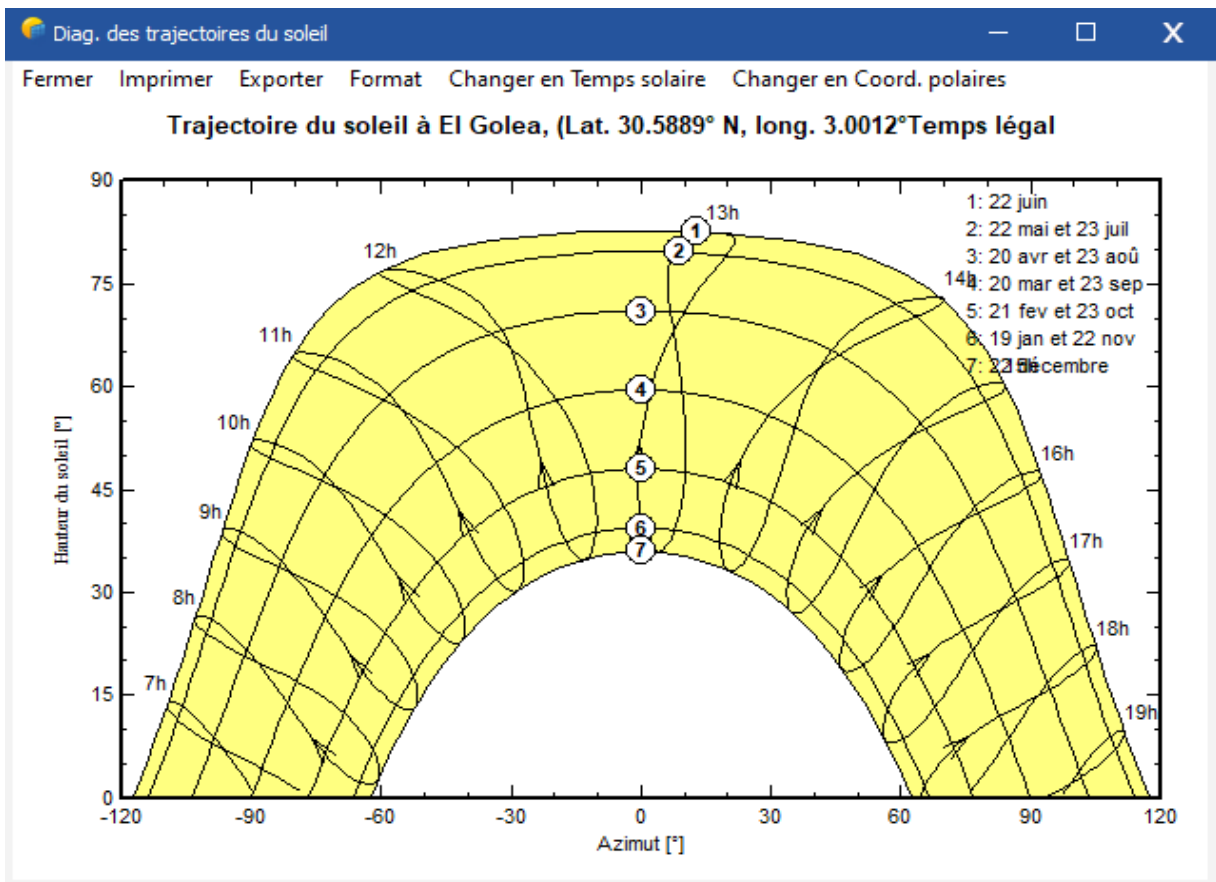


Figure IV-2 la trajectoire du soleil au site étudié

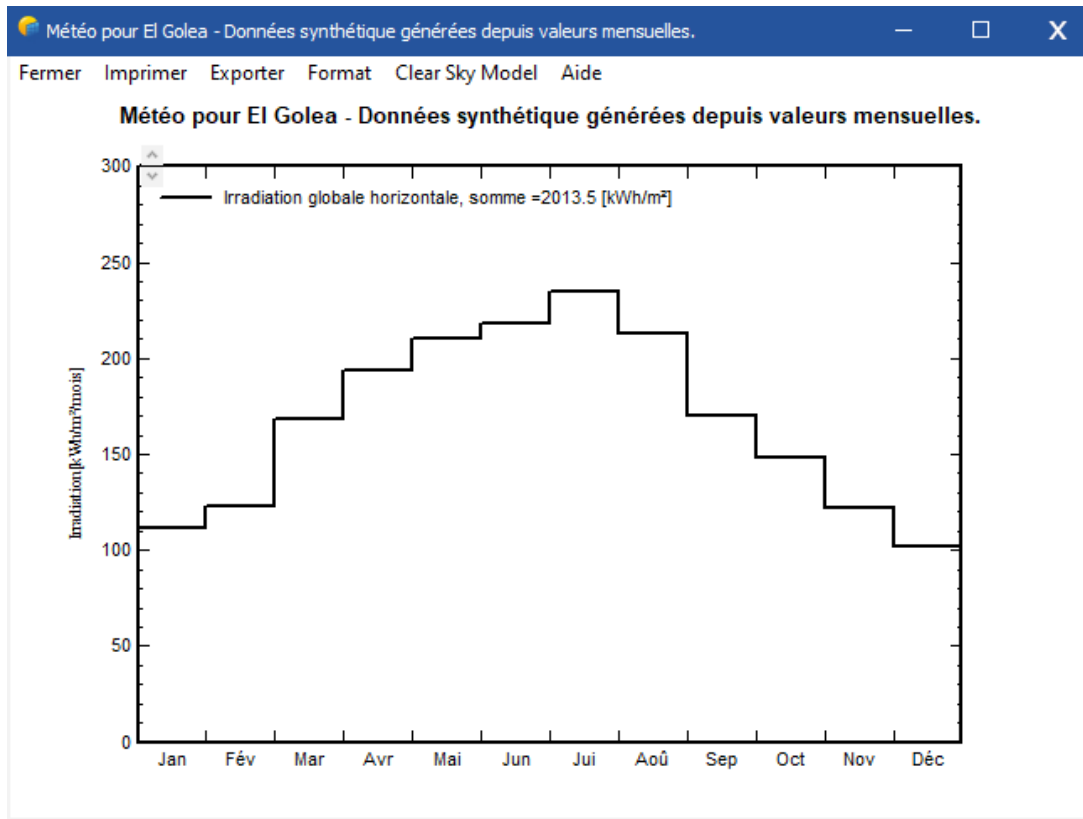


Figure IV-3 L'irradiation globale horizontale du site étudié

IV.4.3 Données générales du site :

Début intervalle	GlobHor kWh/m ² /mois	T_Amb °C	WindVel m/s	RelHum ratio
Janvier	111.5	9.4	2.8	0.583
Février	123.1	12.2	3.5	0.468
Mars	168.0	17.8	3.8	0.376
Avril	193.6	22.6	4.3	0.312
Mai	210.5	28.2	4.4	0.267
Juin	218.2	32.5	3.9	0.243
Juillet	234.8	36.5	3.4	0.210
Août	212.6	35.2	3.4	0.234
Septembre	169.8	30.2	3.3	0.321
Octobre	147.9	24.3	3.0	0.398
Novembre	121.7	15.5	2.8	0.519
Décembre	101.8	10.6	2.7	0.617
Année	2013.5	23.0	3.4	0.379

Figure IV-4 Tableau de données mensuels (Irradiation globale, Température ambiante moyenne, Vitesse du vent, l'humidité)

IV.5 Simulation du premier domaine

Le domaine de la base de vie (habitation) est simulé par le logiciel HOMERpro ; sur ce logiciel nous avons prédéfini les composants et les éléments utilisé dans ce domaine (habitation) : GPV, électrolyseur, pile a combustible, réservoir de stockage H₂, convertisseur DC/AC, et la puissance journalière (la charge).

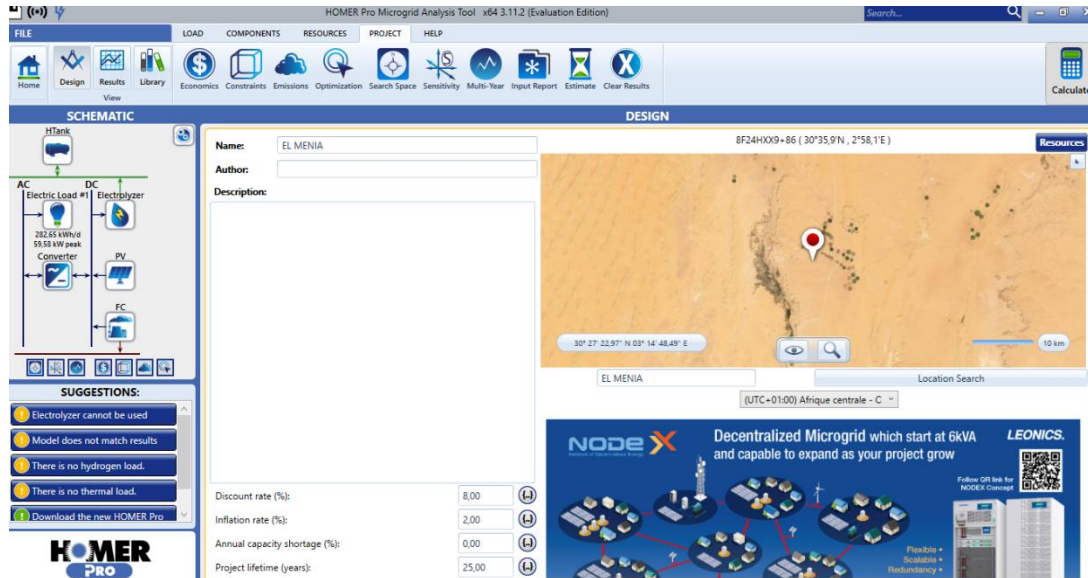


Figure IV-5 coordonnées géographique El Menia + montage électrique du système

IV.5.1 Configuration du système

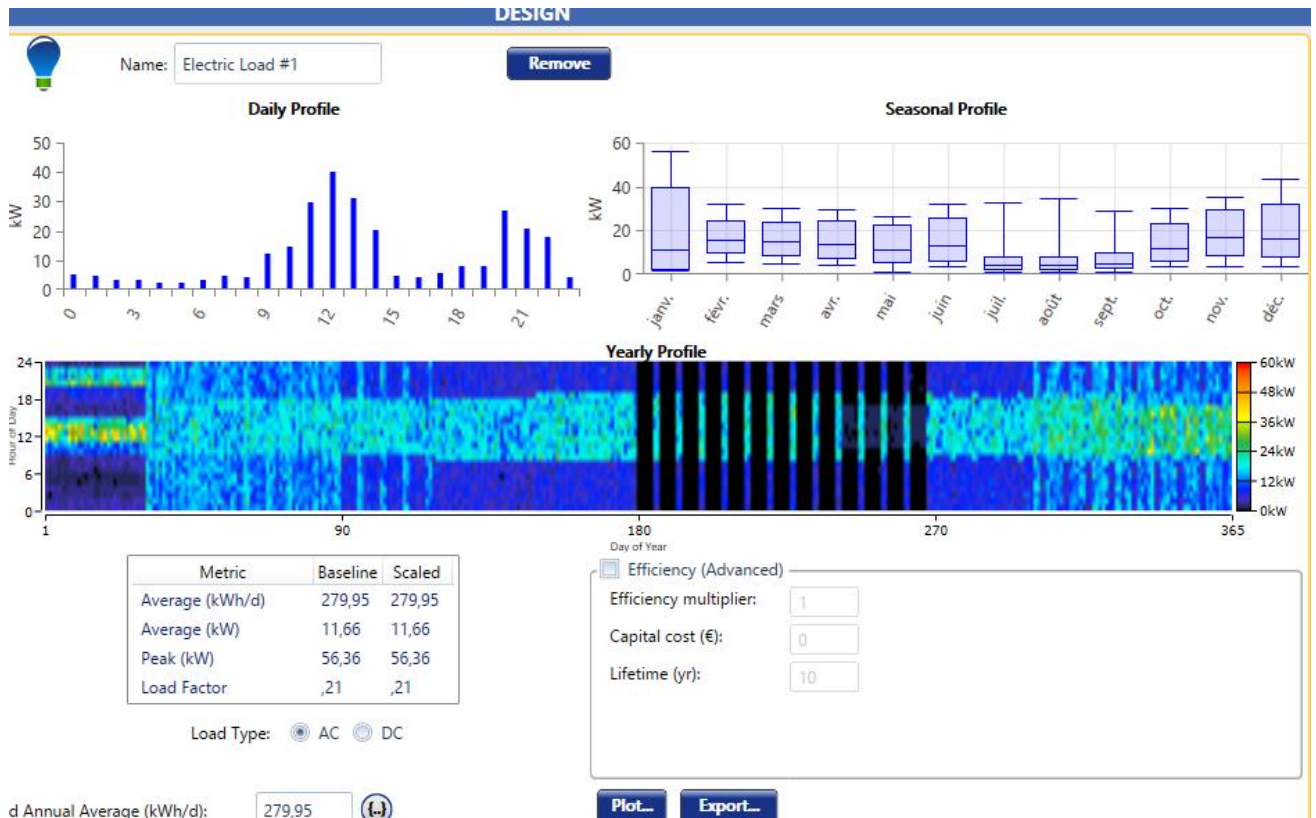


Figure IV-6 La charge (Load) de la base de vie.

La figure ci-dessus représente le profil de charge de notre installation en kW avec un profil journalier en longueur d'une journée, d'où en parvient à distinguer que la consommation en kW est la plus grande dans une plage horaire 9h à 15h, ensuite elle baisse pour augmenter aux alentours 19 h jusqu'à 23h avec un pic de 40 KW, un profil saisonnier et annuelle avec une variance spectrale d'ont en remarque que la plus grande valeur de la variance spectrale est en saison hivernal avec une très nette baisse entre juillet, août et septembre, est-ce par la diminution de la consommation de notre installation et ce qui est similaire à notre étude de dimensionnement

Après avoir intégré les données géographiques et les besoins électrique, on va à la simulation pour la recherche d'une solution optimale.

SIMULATION ET ANALYSE DU SYSTEME PV ET PV-H2

RESULTS															
Sensitivity Cases															
Left Click on a sensitivity case to see its Optimization Results.															
Architecture								Cost				System			
PV (kW)	FC (kW)	Electrolyzer (kW)	HTank (kg)	Converter (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours			
28,1	250		100	46,0	CC	1,82 €	2,41 €M	121 527 €	834 068 €	33,1	14 345	8 136			
Optimization Results															
Left Double Click on a particular system to see its detailed Simulation Results.															
Architecture								Cost				System			
PV (kW)	FC (kW)	Electrolyzer (kW)	HTank (kg)	Converter (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€/yr)	Initial capital (€)	Ren. Frac (%)	Total Fuel (L/yr)	Hours			
28,1	250		100	46,0	CC	1,82 €	2,41 €M	121 527 €	834 068 €	33,1	14 345	8 136			
28,1	250	100	100	46,0	CC	1,82 €	2,41 €M	121 527 €	834 068 €	33,1	14 345	8 136			
28,1	250			46,0	CC	1,82 €	2,41 €M	121 527 €	834 068 €	33,1	14 345	8 136			
28,1	250	100		46,0	CC	1,82 €	2,41 €M	121 527 €	834 068 €	33,1	14 345	8 136			
	250			46,0	CC	1,90 €	2,51 €M	135 104 €	763 813 €	0	22 579	8 760			
	250	100		46,0	CC	1,90 €	2,51 €M	135 104 €	763 813 €	0	22 579	8 760			

FC					PV		Converter	
Hours	Production (kWh)	Fuel (m ³)	O&M Cost (€/yr)	Fuel Cost (€/yr)	Capital Cost (€)	Production (kWh/yr)	Rectifier Mean Output (kW)	Inverter Mean Output (kW)
8 136	68 308	14 345	40 680	4 303	70 254	51 918	0	11,7
8 136	68 308	14 345	40 680	4 303	70 254	51 918	0	11,7
8 136	68 308	14 345	40 680	4 303	70 254	51 918	0	11,7
8 760	107 517	22 579	43 800	6 774			0	11,7
8 760	107 517	22 579	43 800	6 774			0	11,7
8 760	107 517	22 579	43 800	6 774			0	11,7

Figure IV-7 solution et configuration proposé par HOMER

HOMER nous propose plusieurs solutions possibles de notre installation qui se compose par GPV, pile à combustible, électrolyseur, réservoir de stockage H₂ et convertisseur DC/AC, ces solutions sont organisées du plus au moins performantes.

Parmi ces solutions proposés la configuration la plus performante du système est composé de PV/PAC/convertisseur/ électrolyseur/ réservoir de stockage H₂/ est la plus rentable et optimale.

SIMULATION ET ANALYSE DU SYSTEME PV ET PV-H2

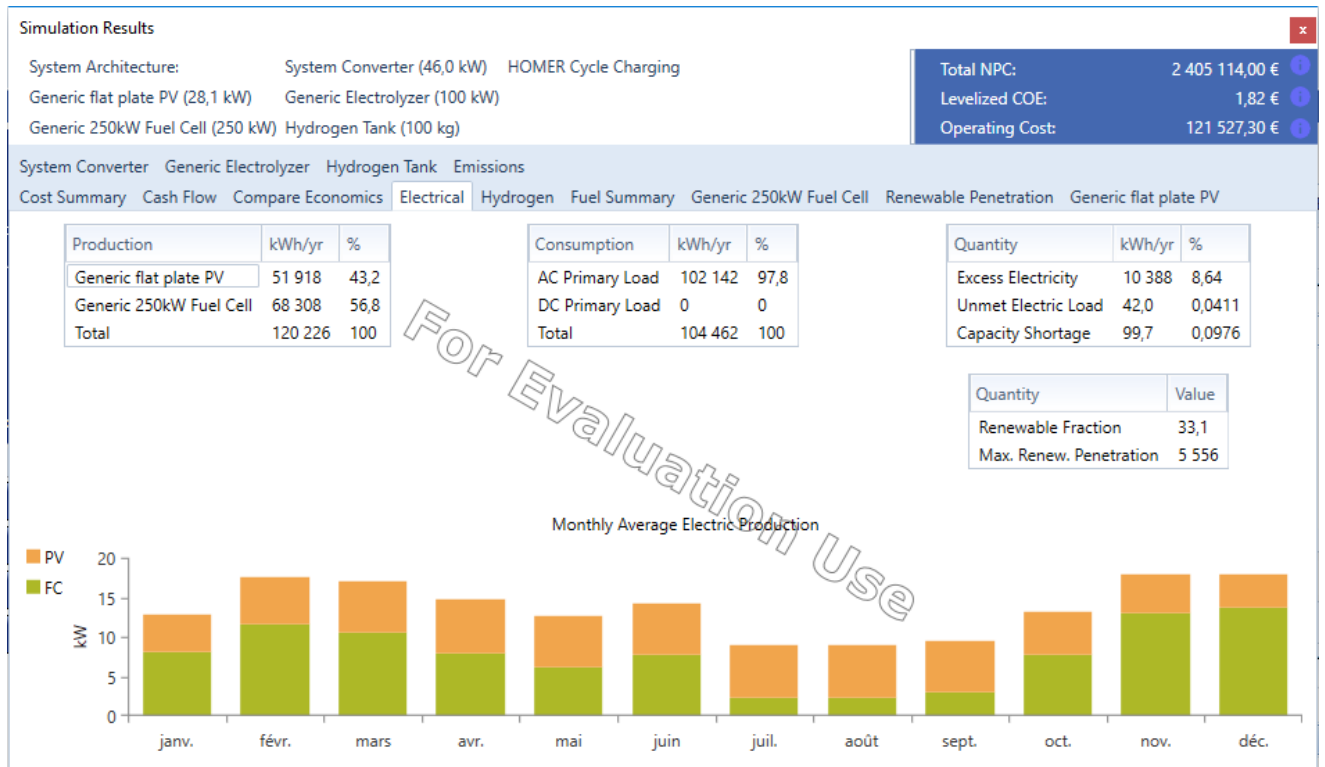


Figure IV-8 Production électrique mensuel PV/Pile à combustible

La figure ci-dessus représente la production mensuelle de notre système simulé par HOMER, d'après ces histogrammes on constate qu'il y a une combinaison entre la production d'électricité par PV et la pile à combustible, les mois où il y a une forte utilisation de la PAC sont les mois de la saison hivernale, par contre il y a une augmentation de production d'électricité par le champ photovoltaïque en saison estivale.

IV.6 Simulation du système de pompage solaire :

Avec le Pvsys on a simulé ce domaine :

Tout d'abord, on fixe l'orientation et l'inclinaison des modules PV.

SIMULATION ET ANALYSE DU SYSTEME PV ET PV-H2

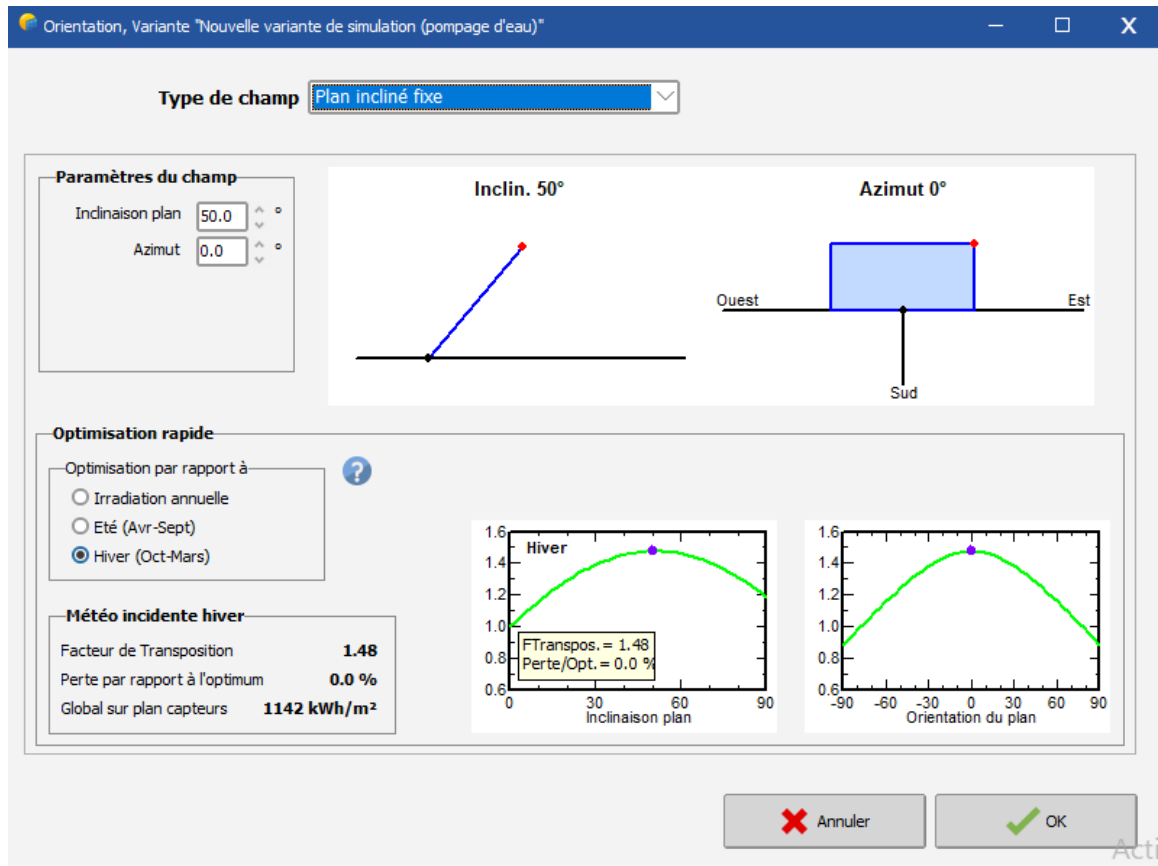
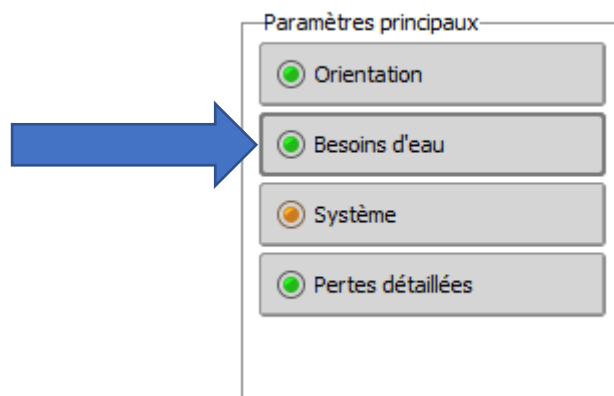


Figure IV-9 L'orientation et l'inclinaison du champ PV

La figure ci-dessus représente l'orientation et l'inclinaison du champ photovoltaïque avec une optimisation par rapport à la saison hivernal, en perçoit que l'inclinaison la plus performante ou il y a une forte valeur d'irradiation solaire est 50°. Ensuite, on clique sur besoin en eau et mis tous les besoins hydrauliques mensuels :



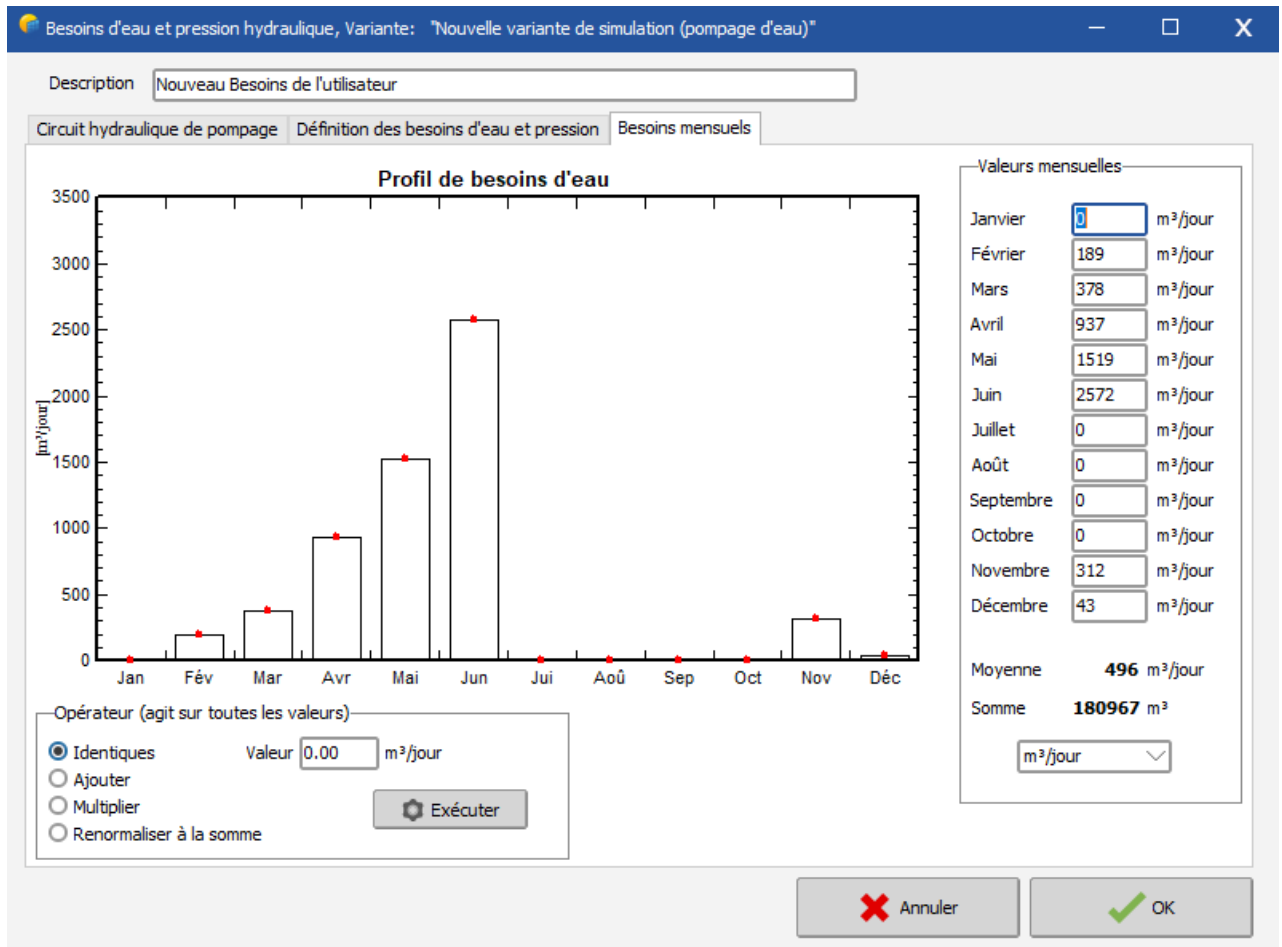


Figure IV-10 Besoins d'eau mensuelle et pression variable

La figure est une fenêtre du logiciel Pvsys qui nous permis de saisir nos besoins mensuels en eau, le logiciel va nous calculées instantanément nos besoins mensuelle moyens $496 \text{ m}^3/\text{j}$ et la somme totale qui est égale à 180967 m^3

Après, on définit les données concernant les caractéristiques du forage, réservoir et le circuit hydraulique

SIMULATION ET ANALYSE DU SYSTEME PV ET PV-H2

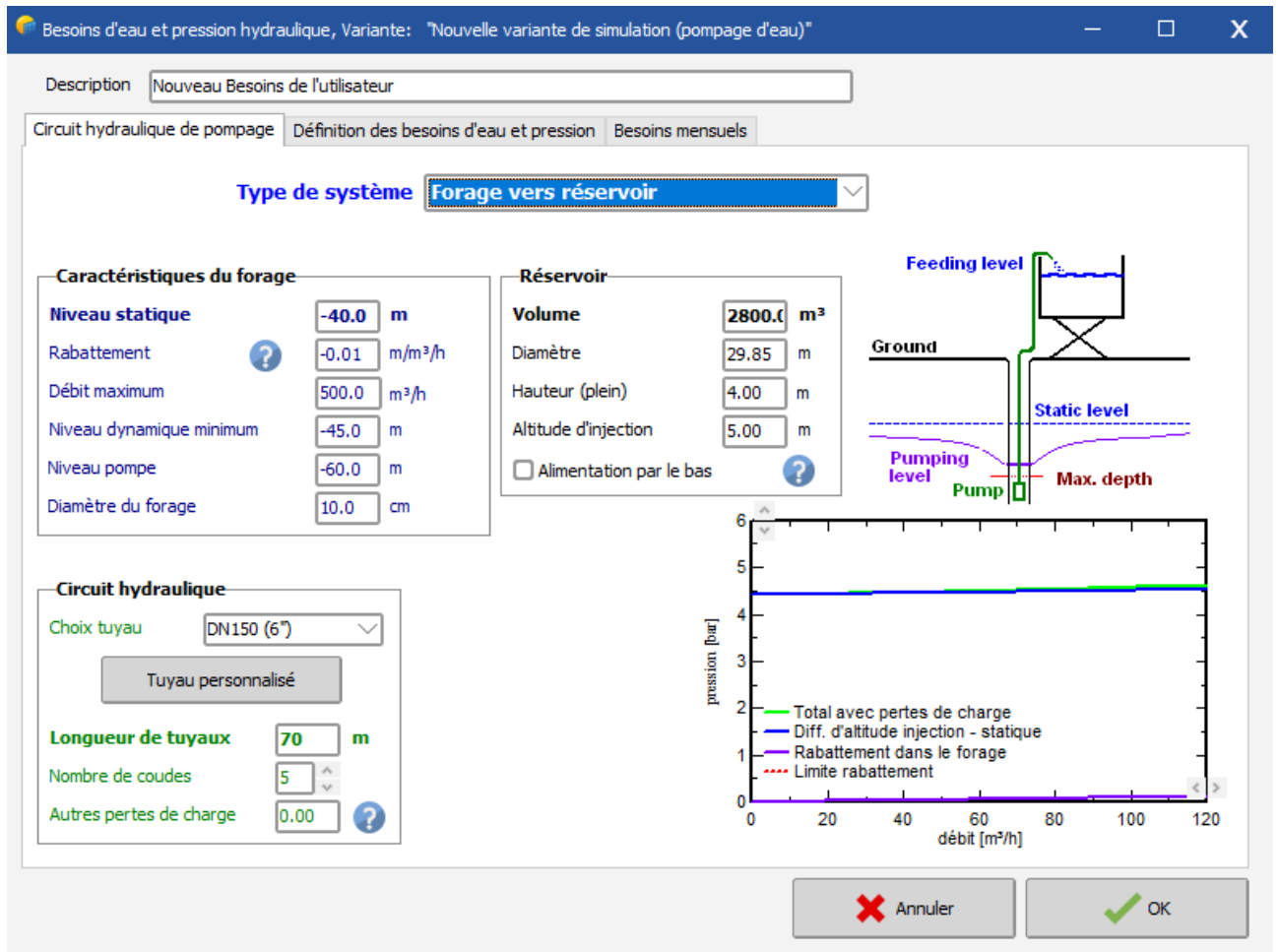
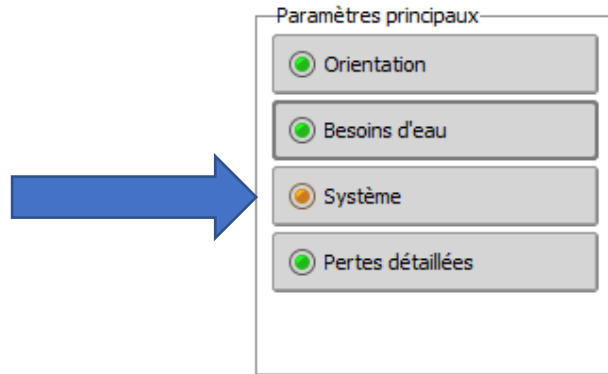


Figure IV-11 caractéristique de forage et circuit hydraulique

La figure IV.11 représente des données qu'il faut ajouter en termes de caractéristique de notre forage le réservoir d'eau et le circuit hydraulique avec max hauteur manométrique par apport à notre pompe immergé.

Maintenant, on clique sur le système :

SIMULATION ET ANALYSE DU SYSTEME PV ET PV-H2



🔍 Définition d'un système de pompage, Variante: "Nouvelle variante de simulation (pompage d'eau)"

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :	Autonomie requise	1.0	Jours	Volume réservoir conseillé	2572 m ³
Pression min. 4.41 bar	Manque accepté	5.0	%	Puissance pompe conseillée	82.4 kW
Pression max. 4.81 bar				Puissance PV conseillée	104 kWc (nom.)
Volume 493.3 m ³ /jour					
Puissance hydraulique 12636 W (très approximatif)					

Définition pompe | Conception du sous-champ

Information système

Pompe choisie	"FF Submersible 6" 10300-03A"		
Technologie	Centrifuge multi-étages	Pression	4.32 - 9.61 bar
Puissance max.	81000 W	Débit	332.00 - 129.00 m ³ /h

Aide au dimensionnement

Pas de prédim. Entrez Pnom désirée kWc
 ... ou surface disponible m²

? Redimens.

Sélection du module PV

Disponibles

Omnis Power USA

550 Wp 35V Si-mono OP550M72-P3 Depuis 2021 Manufacturer 2021 Ouvrir

Modules nécessaires approx. **193** Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) **36.0 V**
 Vco (-10°C) **55.4 V**

Choisissez le mode de régulation et le régulateur

Régulateur universel mode de régulation **Onduleur MPPT-AC** ?

Tous les fabricants | 1000 W Onduleur MPPT-AC Universal MPPT - AC Inverter Generic device Adaptabl Ouvrir

Les paramètres de fonctionnement du régulateur universel seront automatiquement ajustés selon les propriétés du système.

Conception champ PV

Nombre de modules et chaînes

Mod. en série doit être:

Nb. chaînes

Perte surpuissance **N/A**

Rapport Pnom **N/A**

nbre modules 175 Surface 451 m²

Cond. de fonctionnement

Vmpp (60°C)	36 V
Vmpp (20°C)	42 V
Vco (-10°C)	55 V

Irradiance plan **1000 kWh/m²**

Imp	2328 A	Puiss. max. en fonctionnement	87.6 kW
Isc	2448 A	(à 1000 W/m ² et 50°C)	
Isc (aux STC)	2448 A	Puiss. nom. champ (STC)	96.3 kWc

✖ Annuler ✔ OK

Figure IV-12 choix du panneau photovoltaïque et de l'onduleur MPPT AC.

On définit le modèle des panneaux photovoltaïque ainsi l'onduleur utilisé, et le modèle de la pompe.

SIMULATION ET ANALYSE DU SYSTEME PV ET PV-H2

Définition d'un système de pompage, Variante "Nouvelle variante de simulation (pompage d'eau)"
— □ ×

Suggestions de pré-dimensionnement

Besoins en eau journaliers moyens :		Autonomie requise <input type="text" value="4.0"/> Jours	Volume réservoir conseillé 10288 m³
Pression min. 4.41 bar		Manque accepté <input type="text" value="5.0"/> %	Puissance pompe conseillée 72.2 kW
Pression max. 4.81 bar			Puissance PV conseillée 91.2 kWc (nom.)
Volume 493.3 m ³ /jour			
Puissance hydraulique 12635 W (très approximatif)			

Définition pompe Conception du sous-champ

Choix d'un modèle de pompe

Dape

81 kW 44-98 m Well, AC, Centrifuge multi-étages "FF Submersible 6" 10300-03 🔍 Ouvrir

Pompes en cascade ?

Pompes en parallèle

Caractéristiques de la pompe

Technologie pompe **Centrifuge multi-étages**

Moteur **Moteur AC triphasé**

Puissance maximale **81000 W** Tension **400 V**
Courant max. **181.9 A**

Pression Min / Nom / Max	4.3	6.3	9.6 bar
Débit corresp.	332.0	294.0	129.0 m ³ /h
Puissance corresp.	73105	72771	72870 W
Efficacité	54.5	70.5	47.3 %

Unités pour ce projet

Débit

Pression

Puissance

Énergie

Outil de calcul énergie hydraulique

Vous pouvez définir n'importe quelles valeurs, pas nécessairement liées à votre projet

Débit m³/h

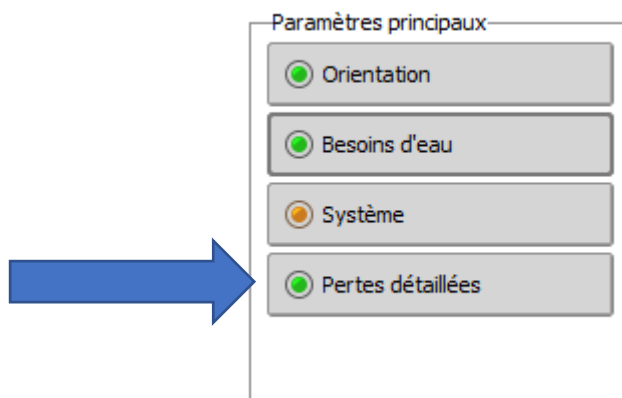
Pression bar

Puissance kW

Le débit de la pompe est légèrement surdimensionné par rapport aux besoins.

Figure IV-13 choix de la pompe

Sans oublier d'ajouter les pertes et le facteur de vieillissement



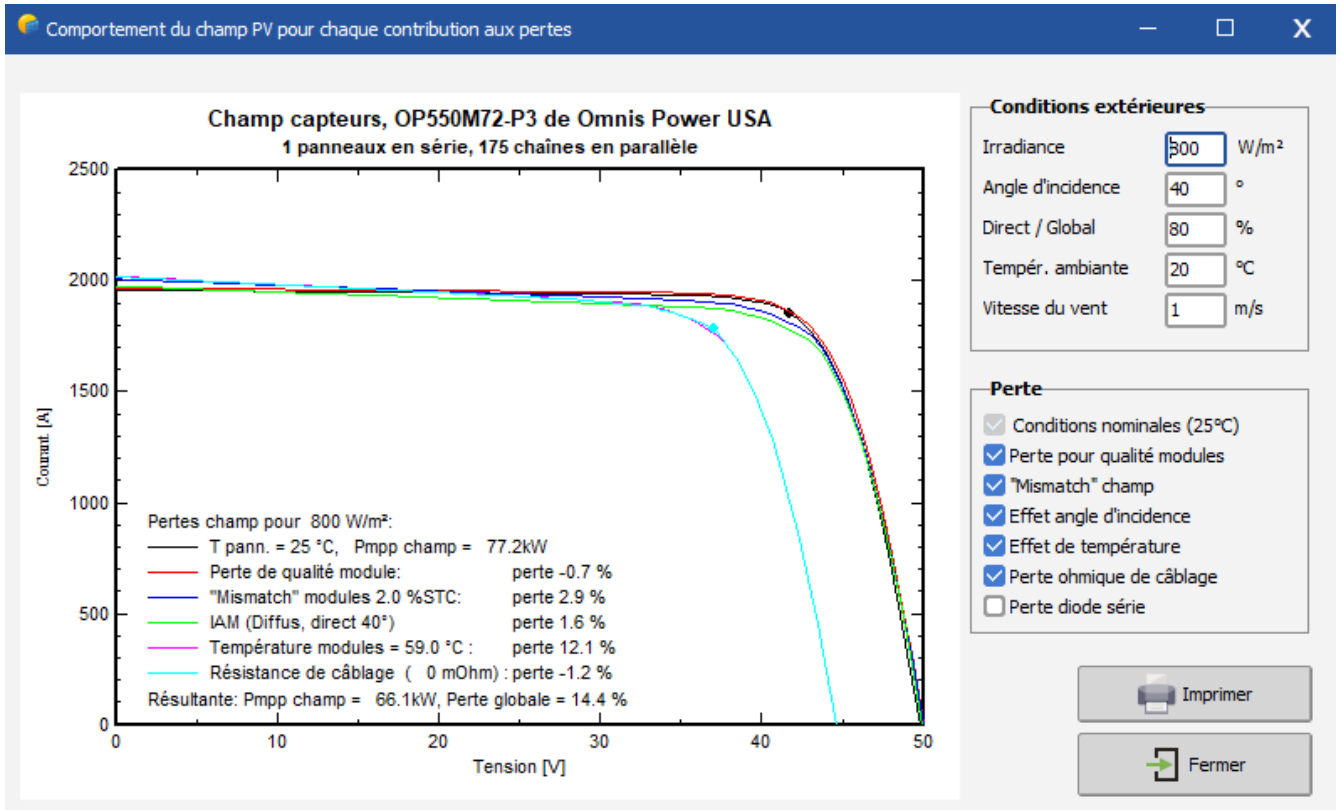


Figure IV-14 comportement du champ PV pour chaque contribution aux pertes

IV.6.1 Les résultats obtenus

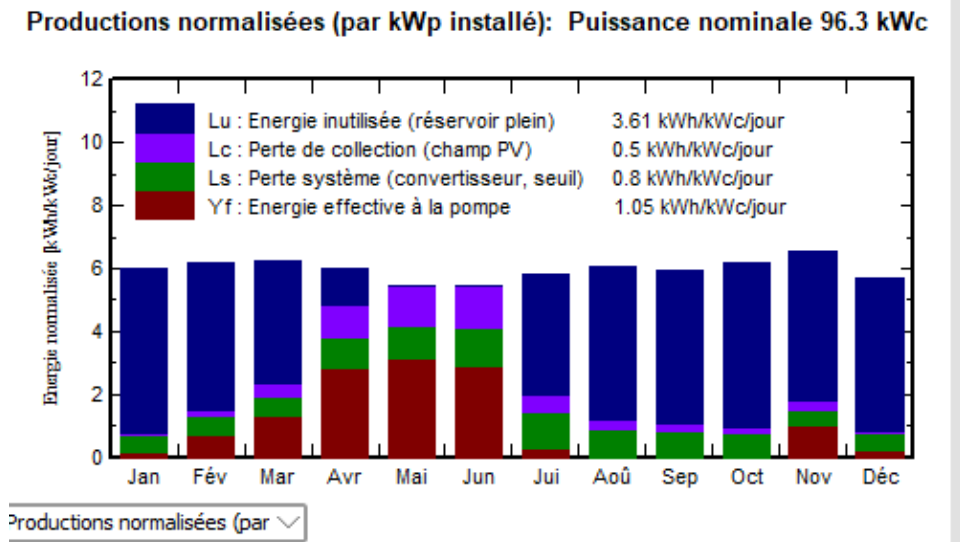


Figure IV-15 Energie normalisé mensuels

Pour le système forage, cet histogramme représente la variance entre l'énergie inutilisé, perte de collection, pertes système et l'énergie effective à la pompe. On observe que la quantité de l'énergie inutilisé est très grande par rapport à l'énergie effective de la pompe pour toute l'année sauf au mois avril, mai et juin, c'est pour ça qu'on a fait le dimensionnement on a alimenté les deux domaines irrigation et forage par un seul champ photovoltaïque.

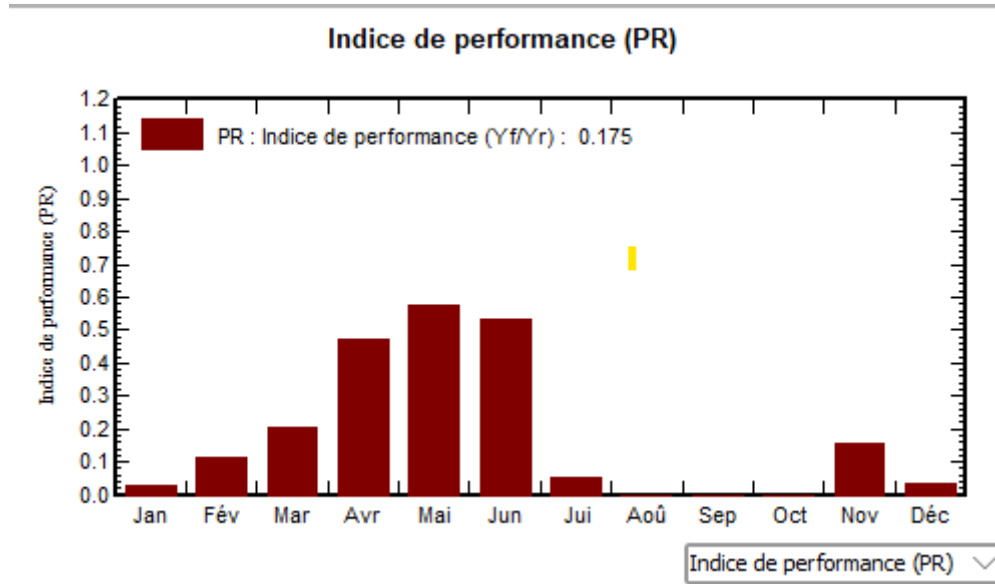


Figure IV-16 l'indice de performance mensuel

Cet histogramme représente l'indice de performance de notre système de forage, on voit qu'il prend les valeurs maximums au mois de l'avril, mai et juin.

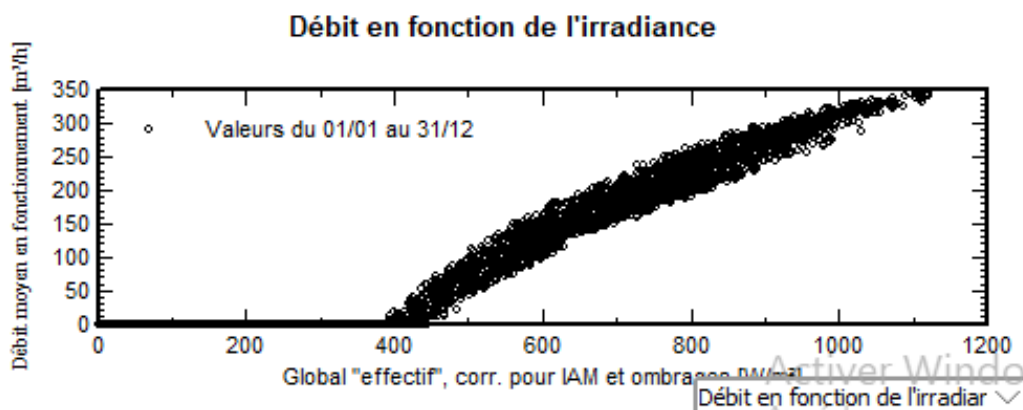


Figure IV-17 le débit moyen en fonction de l'irradiance.

Cette figure représente le débit moyen journalier par rapport à l'irradiance, on remarque que le débit augmente avec l'augmentation de l'irradiance reçu par le champ photovoltaïque.

IV.7 Simulation du système d'irrigation

D'après avoir compléter les étapes de coordonnées géographiques et l'orientation du champ PV, on va à l'ajout de la charge mensuels des moteurs de pivot d'irrigation.

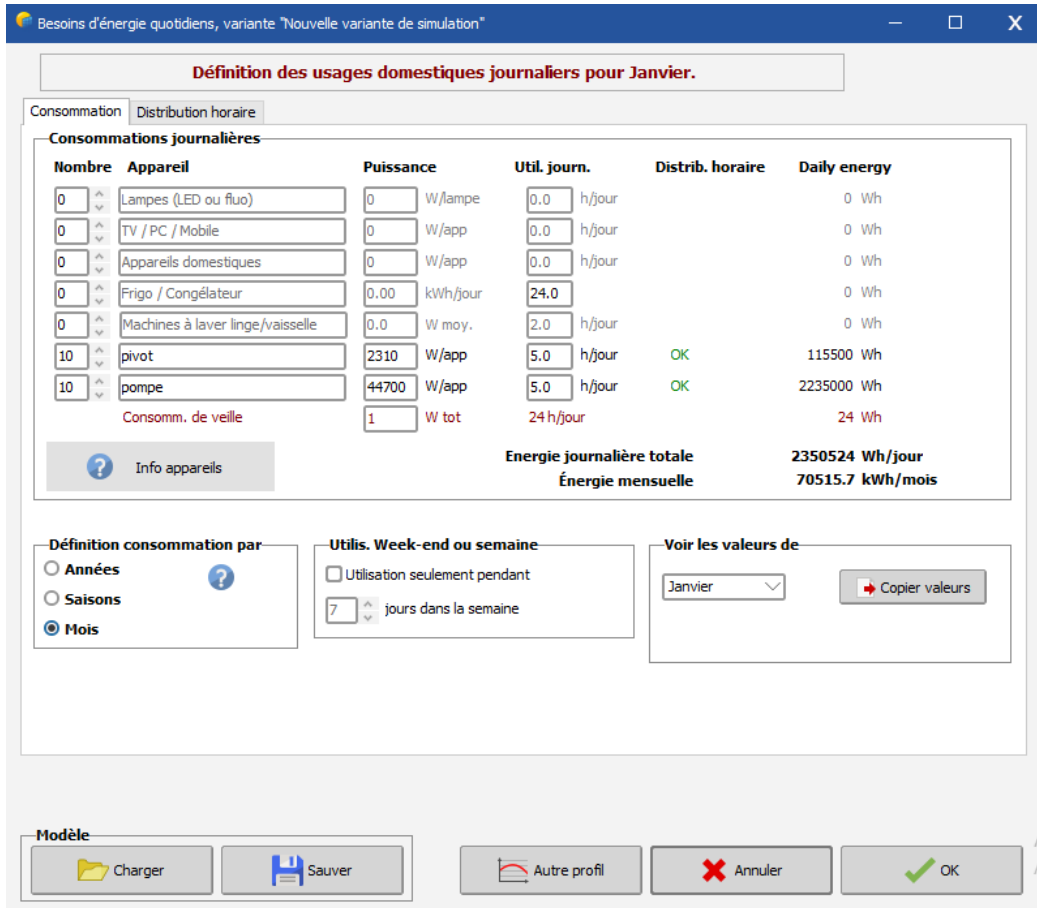


Figure IV-18 fenêtre de consommation d'énergie électrique par mois

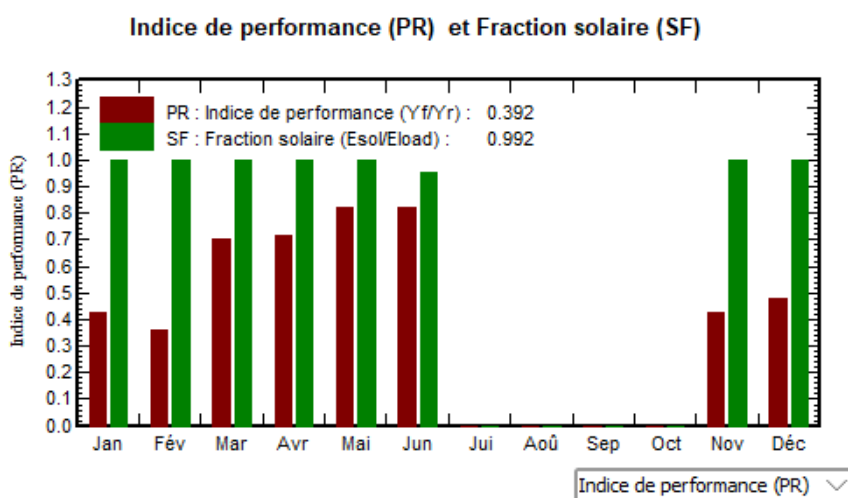


Figure IV-19 indice de performance et fraction solaire mensuels

Cette figure représente deux variables ; l'indice de performance et la fraction solaire dans toute l'année, on voit que la fraction solaire est toujours approximativement égale à 1 sauf les mois juillet, aout, septembre et octobre, par contre l'indice de performance des pivots est très variable entre les mois car il y a des plusieurs facteur vas intervenir. Parmi ces facteurs en trouve l'utilisation commandé des pivots.

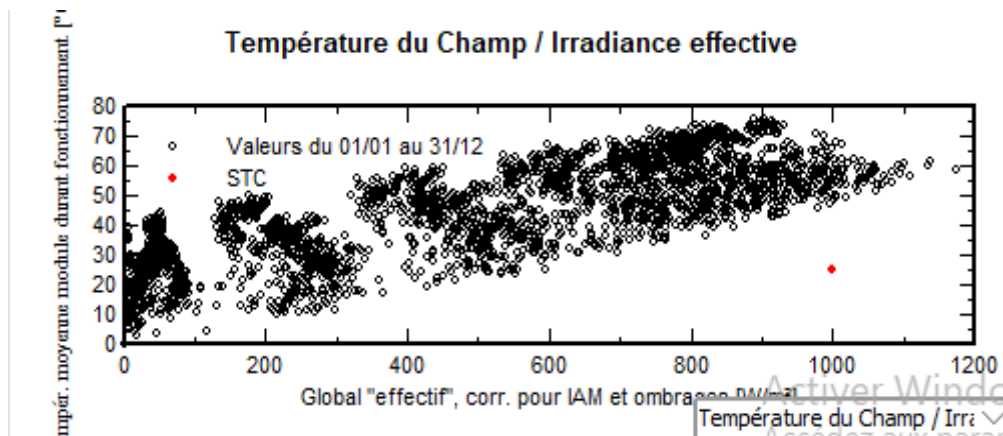


Figure IV-20 température du cham en fonction de l'irradiance

Cette figure représente la température moyenne des modules photovoltaïques en fonction de l'irradiance globale, par ces points présentés on trouve que l'augmentation de l'irradiance globale est suivie par l'augmentation de la température de module, c'est-à-dire ces deux variables fonctionnent en parallèle et c'est tout à fait normal.

IV.8 Conclusion :

On a entamé ce chapitre par une description générale sur les deux logiciels utilisés (Pvsys ; HOMER), en suite, on a passé à la simulation pour les trois domaines (base de vie, irrigation, forage) dans des conditions météorologiques bien défini.

En fin, on a interprété les résultats de la simulation et les comparés avec les résultats obtenus dans le chapitre de dimensionnement, on conclut que les deux résultats sont similaires.

ii. Conclusion générale

Dans ce projet de fin d'étude nous avons fait l'étude et le dimensionnement d'alimentation d'un site isolé par un système photovoltaïque, avec un stockage d'énergie par dihydrogène vert et la pile à combustible, notre mémoire de fin d'étude est divisée en plusieurs chapitres le premier chapitre, nous avons contenu une recherche bibliographique sur les énergies renouvelables, leurs domaines d'application etc..., en ce concentrant sur l'énergie solaire photovoltaïque, le deuxième chapitre, nous avons présenté plus en détail les composants d'un système PV-H₂, les panneaux solaires, les convertisseurs ainsi que les modes de production de dihydrogène et son stockage, tout en présentant les piles à combustible utilisées, leur fonctionnement et types.

Le chapitre 3 c'est un chapitre de dimensionnement de notre système nous avons fait une étude du site qui est divisée en trois domaines base de vie, pompage d'eau et irrigation d'une surface agricole de culture de blé tendre par pivots circulaires dans les différents stades de végétation, la terre agricole se compose de 200 hectares divisée en dix cercles de 20 hectares, l'ensemble pompage d'eau et irrigation des surfaces est alimenté en électricité par un système de générateur photovoltaïque au fil du soleil, l'alimentation de la base de vie est basée sur un générateur photovoltaïque et l'excédent est utilisé pour la production de dihydrogène pour être utilisé ensuite en période de nuit d'obscurité par la pile à combustible. Donc l'électricité est toujours présente 24h/24 sans interruption, pour arriver à des calculs exacts de notre dimensionnement nous avons fait une étude géographique, météorologique « rayonnement et irradiation solaire, etc... » et hydraulique « nappes souterraines de la région El-Goléa à EL MENEA », comme nous avons fait une étude de l'état du sol et l'évapotranspiration de cette région, pour l'optimisation de notre dimensionnement nous avons étudié les éléments et les composants électriques tels que l'utilisation de la pompe à chaleur réversible au lieu du système de chauffage et de climatisation, des lampes LED au lieu des lampes standard etc... sans négligence du confort de l'employeur.

Le chapitre 4 c'est le chapitre où nous avons interprétés les résultats de simulation de notre système qu'on a dimensionné, à l'aide des deux logiciels Homer et Pvsyst, ces résultats confirment la bonne méthodologie de notre dimensionnement.

Notre mémoire englobant ces chapitres, un travail mené pendant des mois, ce projet représente une solution et alternative efficace pour une alimentation électrique des sites agricoles de grandes surfaces non connectées au réseau électrique, notre système qui respecte la charte environnementale se base sur l'énergie photovoltaïque, le dihydrogène vert et la pile à combustible, nous espérons sa concrétisation sur le terrain.

Référence

- [1] Dr SAIDI Hemza « Energies Renouvelables » Polycopié de cours. 2016/2017.
- [2] Frédéric POITIERS « étude et commande de génératrices asynchrones pour l'utilisation de l'Energie éolienne-Machine asynchrone à cage autonome - Machine asynchrone à double alimentation reliée au réseau » Energie électrique. Université de Nantes, 2003.
- [3] 10-decouverte_les-energies-hydrauliques_college.pdf
- [4] Hristiyan Kanchev. Gestion des flux énergétiques dans un système hybride de sources d'énergie renouvelable : Optimisation de la planification opérationnelle et ajustement d'un micro réseau électrique urbain. Energie électrique. Ecole Centrale de Lille ; Université Technique de Sofia. Faculté Francophone, 2014
- [5] <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/qu-est-ce-qu-une-energie-marine>
- [6] <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-rayonnement-solaire-13785/>
- [7] DRIES MESSIPSA ; DERRAHI MUSTAPHA « Electrification d'un site isolé par un système énergétique autonome » Thèse de master Université Abderrahmane Mira Bejaia 2020
- [8] <https://www.ef4.be/fr/pv/composants-dun-systeme/ensoleillement-belgique.html>
- [9] L'ÉNERGIE SOLAIRE THERMIQUE USAGES RESIDENTIEL ET COLLECTIF Axenne-2008 <https://www.landes.fr/files/cg40/environnement/Guide-ST.pdf>
- [10] <https://www.lenergiesoutcompris.fr/actualites-conseils/energie-solaire-active-et-passive-quelles-sont-les-differences-48174#:~:text=Contrairement%20C3%A0%20l'%20C3%A9nergie%20solaire,en%20chaleur%20dans%20le%20logement.>
- [11] Dr. BELAID LALOUNI Sofia « Cours Energie Solaire Photovoltaïque » Université A.MIRA de BEJAIA 2014/2015
- [12] LE PHOTOVOLTAÏQUE FONCTIONNEMENT ET TECHNOLOGIES https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/IF%20ENERGIE%20Mod3%20Fonctionnement%20technologies%20PV%20FR
- [13] <https://particulier.edf.fr/fr/accueil/guide-energie/electricite/stockage-energie-electricite.html>

REFERENCE

- [14] TOURNERY Jean-François « Les stations de pompage (STEP) » Article 080, décembre 2015.
- [15] Sidiki Simpure. Modélisation, simulation et optimisation d'un système de stockage à air comprimé couplé à un bâtiment et à une production photovoltaïque. Physique [physics]. Université de la Réunion, 2018.
- [16] <https://www.smartgrids-cre.fr/encyclopedie/le-stockage-deelectricite/les-differentes-technologies-stationnaires-de-stockage-de-lelectricite>
- [17] <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/energies/renouvelables/essentiel-sur-stockage-stationnaire-energie.aspx>
- [18] Séverine Busquet « Étude d'un système autonome de production d'énergie couplant un champ photo- voltaïque, un électrolyseur et une pile à combustible : réalisation d'un banc d'essai et modélisation. Sciences de l'ingénieur » École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2003
- [19] <https://www.notre-environnement.gouv.fr/actualites/breves/article/gris-jaune-vert-quelle-couleur-pour-l-hydrogene#:~:text=Si%20l'%C3%A9lectricit%C3%A9%20utilis%C3%A9%20pour,hydrog%C3%A8ne%20%C2%AB%20vert%20%C2%BB%20ou%20renouvelable>
- [20] <https://www.jade-technologie.com/caracteristiques-dun-panneau-solaire/#:~:text=La%20principale%20caract%C3%A9ristique%20d'un,sont%20domestiques%20%C2%20professionnelles%20%C2%20industrielles>
- [21] LAURENT ANTONI Docteur-ingénieur, responsable du Laboratoire des systèmes piles à combustible basse température au Commissariat à l'énergie atomique, Laboratoire d'innovations pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux (CEA/LITEN), Grenoble
- [22] Stéphane LAVEISSIERE « Les technologies de l'hydrogène au CEA » Mai 2012
- [23] Johan ANDRE « optimisation des proprietes de conduction electrique et de passivite d'aciers inoxydables pour la realisation de plaques bipolaires de pile a combustible de type pemfc » thèse du doctorat, 2007
- [24] Drager « Hydrogène : Comment relever le défi de la sécurité ? » livre numérique
- [25] Ahmad Hassan MARWANY « Etude et gestion de l'énergie électrique de l'hôpital HIRAM – Tyr » thèse de master, 2015

REFERENCE

- [26] <https://www.acec-chauffage.com/produits/ventilation-double-flux-2/>
- [27] <https://www.abcclim.net/calcul-bilan-thermique.html>
- [28] AFHYPAC : Idem
- [29] Boussouf Romaiassa ; Benatallah Kheira « Etude, dimensionnement et réalisation d'un prototype d'irrigation photovoltaïque » Thèse de master, 2021
- [30] <https://www.agrimaroc.ma/besoins-eau-irrigation/>
- [31] Préviation des volumes d'eau pour l'irrigation
https://centre-valde Loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Centre-Val-de-Loire/122_Inst-Centre-Val-de-Loire/Votre_Chambre/CA41/Site_41/Environnement/Irrigation/41_Notice_Optim3.pdf
- [32] https://prema.com.pl/assets/Katalogi/Pompy/DAB/08_60171441_SUBMERSIBLE_PUMPS_AND_MOTORS_TC_FRE.pdf
- [33] <https://www.pvsyst.com/fr/pvsyst-7-informations/>
- [34] Katia Oumaila, Tinhinane Ouldamura, « Etude d'un système photovoltaïque-hydrogene » These de master 2018
- [35] <https://photovoltaique-energie.fr/component/content/article/87-logiciels-photovoltaiques/86-logiciels-photovoltaiques-professionnels.html>
- [36] <https://www.homerenergy.com/>

iii. Annexe

Annexe 3:



MODEL	Hydrogen Capacity m³/h	Oxygen Capacity m³/h	Purity %	Pressure Bar	Power Requirement
Mod. 0.6	0,4	0,2	>99,5	1,8 bar	230VAC/50Hz/1
Mod. 1.6	1,06	0,54	>99,5	1,8 bar	230VAC/50Hz/1
Mod. 3.7	2,47	1,23	>99,5	1,8 bar	400VAC/50Hz/3
Mod. 4.2	2,8	1,4	>99,5	1,8 or 4 bar	400VAC/50Hz/3
Mod. 6.0	4	2	>99,5	1,8 or 4 bar	400VAC/50Hz/3
Mod. 8.0	5,33	2,67	99,999	4 bar	400VAC/50Hz/3
Mod. 11.0	7,33	3,67	99,999	4 or 6 bar	400VAC/50Hz/3
Mod. 15.0	10	5	99,999	4 or 6 bar	400VAC/50Hz/3
Mod. 19.0	12,67	6,33	99,999	4 or 6 bar	400VAC/50Hz/3
Mod. 33.0	22	11	99,999	4 or 6 bar	400VAC/50Hz/3
Mod. 66.0	44	22	99,999	4 or 6 bar	400VAC/50Hz/3
Mod. 120.0	80	40	99,999	4 or 6 bar	400VAC/50Hz/3

* Pressure can be increased by using equipment if needed.

Annexe 6 :

Mono Poly System

RS-144HC Series

Framed 144 Layout Mono Module
PERC Half-Cell: 540-560W



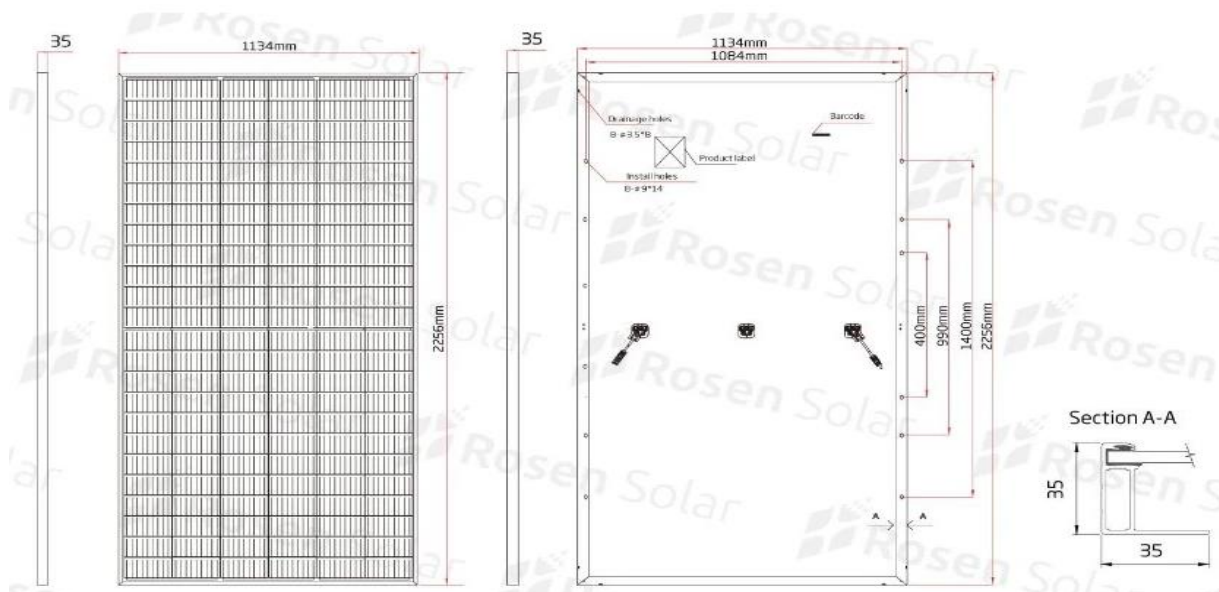
144 HALF CELL MONOCRYSTALLINE MODULE

540-560W POWER OUTPUT RANGE

PRODUCTS: RS-144HC(cells) | POWER RANGE: 540-560W

TPP Ideal choice for large scale ground installation

Modèle de panneau solaire	RS540M6-144HC	RS545M6-144HC	RS550M6-144HC	RS555M6-144HC	RS560M6-144HC
Puissance de crête Watts-Pmax(wp)*	540	545	550	555	560
Puissance maximale Voltage-Vmpp(V)	41.64	41,80	41.96	42.12	42.28
Puissance maximale Current-Impp(A)	12.97	13.04	13.11	13.18	13.25
Circuit ouvert Voltage-Voc(V)	49,60	49.75	49.90	50.05	50.20
Court-circuit Current-Isc(A)	13,86	13.93	14.00	14.07	14.14
L'efficacité du module (%)	21.1	21.3	21.5	21.7	21,9
La puissance de sortie Tolerance-Pmax(W)	0~+5				
Coefficient de température de Pmax	-0.350% / °C				
Coefficient de température de COV	-0.275% / °C				
Coefficient de température de l'Isc	0,045% / °C				
STC	L'irradiance 1000W/m2, température de la cellule, AM1.5 25 Masse d'air				



Annexe 5 :

Fiabilité éprouvée

Robustes et fiables, les onduleurs photovoltaïques PowerGate Plus sont entièrement conçus pour répondre aux exigences de grandes installations.

Maintenance minimale

Composants modulaires rendent l'entretien simple et efficace

Double système de ventilation forcée

Sécurité

Conforme à la classification UBC Zone sismique 4

Sectionneurs CC et CA intégrés

Un sectionneur dipôle CC intégré isole l'onduleur (à l'exception du circuit GFDI) du générateur photovoltaïque afin de permettre les opérations de contrôle et de maintenance

Protections sur les connexions électriques découvertes

Spécifications PowerGate Plus 500 kW

UL/CSA

CE

Paramètres d'entrée

Tension maximale d'entrée de champ PV	600 VCC		•	
	900 VCC			•
Configuration du champ photovoltaïque (PV)	Pôle positif raccordé à la terre		•	•
	Pôle négatif raccordé à la terre		•	•
	Non raccordé à la terre			•
Plage de tension d'entrée (MPPT, puissance maximale)	320/333–600 VCC	200/208 VCA ¹	•	
	420–850 VCC	265 VCA ¹		•
	320–600 VCC	480 VCA	•	
Courant d'entrée maximal	1 628 ACC/ 1 565 ACC	200/208 VCA ¹	•	
	1 228 ACC	265 VCA ¹		•
	1 628 ACC	480 VCA	•	

Paramètres de sortie

Plage de tension de sortie	176-220 VCA/ 183-229 VCA	200/208 VCA ¹	•	
	233–292 VAC	265 VCA ¹		•
	422-528 VAC	480 VCA	•	
Tension nominale de sortie	200/208 VCA ¹		•	
	265 VCA ¹			•
	480 VCA		•	
Plage de fréquences de sortie	59,3–60,5 Hz		•	
	49,3–50,5 Hz			•
Plage de tension CA (standard)	-12%/+10%		•	•
Fréquence nominale de sortie	60 Hz		•	
	50 Hz			•
Plage de fréquences de sortie	59,3–60,5 Hz		•	
	49,3–50,5 Hz			•
Plage de tension CA (standard)	-12%/+10%		•	•
Fréquence nominale de sortie	60 Hz		•	
	50 Hz			•
Nombre de phases	3		•	•
Courant maximal de sortie par phase	1 443/1 388 A	200/208 VCA ¹	•	
	1090 A	265 VCA ¹		•
	602 A	480 VCA	•	

• Standard • En option



Le transformateur externe intégré est standard sur les modèles 480 VCA uniquement ; des solutions personnalisées sont également disponibles.

Annexe 2 :

VL II series Liquid-Cooled System



Product Description:

The rated power of VL II series systems range from 60kW to 135kW. It is applicable for buses, logistics vehicles, tractors, trucks and other commercial vehicles. And it can be customized or available for joint development according to customers' needs.

Product Features:

- High integration, compact structure, local manufacturing
- In-house hydrogen circulation module design, with 10-100% hydrogen reflux ratio, which solve the problem of insufficient hydrogen supply for high-power density systems.
- Strong environmental adaptability.

Description	Technical data	
	Description	Technical data
Nominal system power (kW): 100	Nominal system power (kW): 100	
Stack nominal power (kW): 120	Stack nominal power (kW): 120	
Number of cells: 500	Number of cells: 500	
Current voltage output: 400A @ 300V	Current voltage output: 400A @ 300V	
System size (mm): 1130 * 790 * 990 (Excluding DC booster, air compressor)	System size (mm): 1130 * 790 * 990 (Excluding DC booster, air compressor)	
System Weight (kg): 237.6 (Excluding DC booster)	System Weight (kg): 237.6 (Excluding DC booster)	
System mass power density (W / kg): 420 (excludes DCDC, radiator)	System mass power density (W / kg): 420 (excludes DCDC, radiator)	

Annexe 7 :

Rendement

Niveau de puissance	Puissance utile ¹	Rendement ²
10 %	10 kW	93,2 %
20 %	20 kW	96,1 %
30 %	30 kW	96,5 %
50 %	50 kW	96,7 %
75 %	75 kW	96,5 %
100 %	100 kW	96,1 %

¹ 315 V minimum ² Modèle à 480 V

MPPT Edge

Assure un contrôle rapide et précis qui augmente le rendement de l'installation photovoltaïque en kilowatts

Assure un vaste champ d'applications parmi toutes les technologies de cellule photovoltaïque

Longévité des cartes à circuits imprimés

Large plage de températures de fonctionnement : -40° C à 85° C

Revêtement enrobant pour supporter des niveaux extrêmes d'humidité et de pollution atmosphérique

Fiabilité éprouvée

Robustes et fiables, les onduleurs photovoltaïques PowerGate Plus sont entièrement conçus pour répondre aux exigences de grandes installations.

Maintenance minimale

Composants modulaires rendent l'entretien simple et efficace

Sécurité

Conforme à la classification UBC Zone sismique 4

Sectionneurs CC et CA intégrés

Spécifications PowerGate Plus 100 kW

		UL/CSA	CE
Paramètres d'entrée			
Tension maximale d'entrée de champ PV	600 VCC	•	
	900 VCC		•
Configuration du champ photovoltaïque (PV)	Pôle positif raccordé à la terre	•	•
	Pôle négatif raccordé à la terre	•	•
	Non raccordé à la terre		•
Plage de tension d'entrée (MPPT, puissance maximale)	315–600 VCC	•	
	420–850 VCC		•
Courant d'entrée maximal	331 ACC	•	
	248 ACC		•
Paramètres de sortie			
Plage de tension de sortie	183–229 VCA	208 VCA	•
	211–264 VCA	240 VCA	•
	352–440 VCA	400 VCA	•
	422–528 VCA	480 VCA	•
	528–660 VCA	600 VCA	•
Tension nominale de sortie	208 VCA		•
	240 VCA		•
	400 VCA		•
	480 VCA		•
Plage de fréquences de sortie	59,3–60,5 Hz		•
	49,3–50,5 Hz		•
Plage de tension CA (standard)	-12 %/+10 %		•
Fréquence nominale de sortie	60 Hz		•
	50 Hz		•
Nombre de phases	3		•
Courant maximal de sortie par phase	278 A	208 VCA	•
	241 A	240 VCA	•
	145 A	400 VCA	•
	121 A	480 VCA	•
	96 A	600 VCA	•
Rendement pondérée CEC	96 %		•
Puissance maximale de sortie en continu	100 kW (100 kVA)		•

Plage de fréquences de sortie	59,3–60,5 Hz		•
	49,3–50,5 Hz		•
Plage de tension CA (standard)	-12%/+10%		•
Fréquence nominale de sortie	60 Hz		•
	50 Hz		•
Nombre de phases	3		•
Courant maximal de sortie par phase	1 443/1 388 A	200/208 VCA ¹	•
	1090 A	265 VCA ¹	•
	602 A	480 VCA	•

• Standard • En option



Le transformateur externe intégré est standard sur les modèles 480 VCA uniquement ; des solutions personnalisées sont également disponibles.

Annexe 4 :



lapesa | Stockage de **HYDROGÈNE GAZ**

Réservoirs conçus et fabriqués spécifiquement pour le stockage d'HYDROGÈNE GAZEUX comprimé, destinés aux stations d'approvisionnement d'hydrogène ou d'utilisation industrielle.



MODÈLES ET CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

MODÈLES HORIZONTAUX	LH 10H	LH 25H	LH 50H	LH 100H	LH 145H	LH 200H
Volume nominal (m ³)	10	25	50	100	145	200
Diamètre extérieur D (mm)	1.500	2.200	2.450	3.000	3.000	3.500
Longueur totale L (mm)	5.950	7.350	11.550	15.350	21.850	22.300
Poids en vide (Ton)	3,5	8,9	18,2	34,7	48,3	66,8
Poids stocké de H ₂ (kg) ⁽¹⁾	36	90	180	360	522	720

MODÈLES VERTICAUX	LH 10V	LH 25V	LH 50V	LH 100V	LH 145V	LH 200V
Volume nominal (m ³)	10	25	50	100	145	200
Diamètre extérieur D (mm)	1.500	2.200	2.450	3.000	3.000	3.500
Hauteur totale L (mm)	6.300	7.850	12.000	15.850	22.350	22.800
Poids en vide (Ton)	3,7	10,1	19,2	36	49,6	69
Poids stocké de H ₂ (kg) ⁽¹⁾	36	90	180	360	522	720

(1) Poids du gaz à 40 bar et 0°C.

Annexe 1

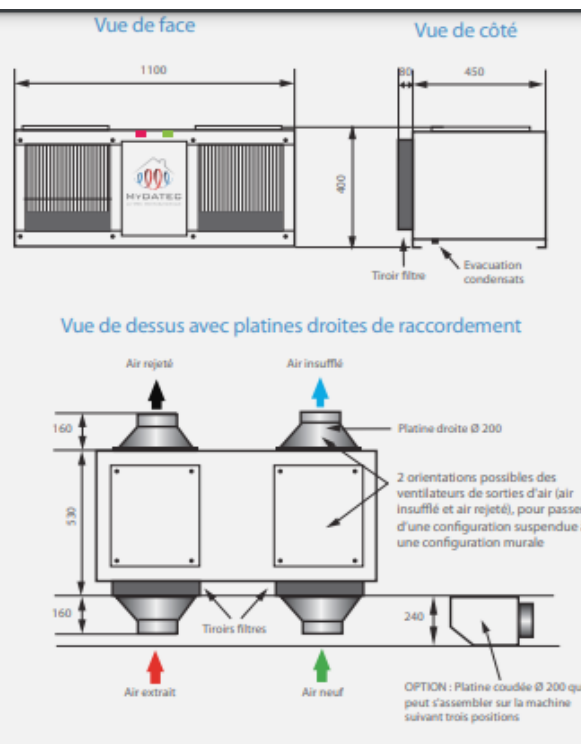
	RT 200H	RT 250H	RT 300H
COP (+7°C Ext. / -7°C Ext.) avec 20°C Int.	3,67 / 4,55	3,89 / 5,38	3,55 / 4,79
Puissance chaud fournie à +7°C ext / 20°C int	1,9 kW	2,53 kW	3,1 kW
Puissance absorbée normative à +7°C ext / 20°C int	0,52 kW	0,65 kW	0,87 kW
EER à 35°C ext / 27°C int	2,41	2,47	2,39
Puissance froid fournie à +35°C ext / 27°C int	1,78 kW	2,19 kW	2,67 kW
Débit d'air nominal (100 Pa)	200 m ³ /h	250 m ³ /h	300 m ³ /h
Débit d'air maximum paramétrable (200 Pa)	600 m ³ /h	600 m ³ /h	600 m ³ /h
Intensité moyenne absorbée	2,3 A	2,8 A	3,8 A
Alimentation électrique	230 V - 50 Hz		
Protection conseillée	10 A (AM)		
Filtration	G4 / M5 (en option)		
Fluide frigorigène	R 407 c		
Masse de fluide frigorigène	900 g		
Poids de la centrale	60 Kg		

Domaine d'application

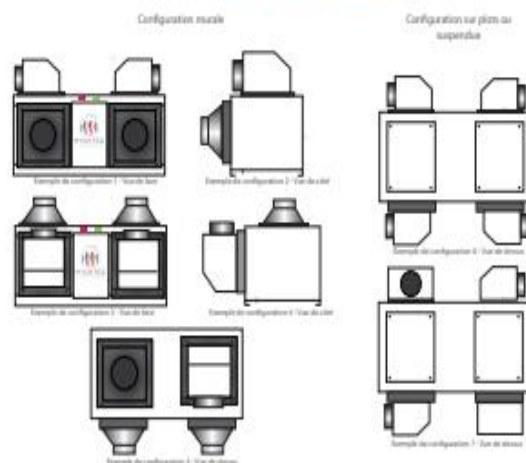
- Maisons individuelles ou petites surfaces tertiaires ou administratives (salle de classe, local commercial, ...)
 - Neuf, Rénovation et remplacement de système double flux et système PAC*1 sur air extrait
 - A associer de préférence à de bonnes performances d'étanchéité et d'isolation de votre bâti
- *1 PAC = Pompe à Chaleur

Avantages

- Récupération maximale des calories de l'air extrait par toutes les conditions de températures extérieures
 - Réduction de la consommation de chauffage (performance remarquable de la PAC*1)
 - Amélioration du confort d'été par un rafraîchissement actif (possible par la réversibilité du système PAC*1)
 - Maîtrise de la qualité de l'air (filtration sur l'air neuf) et des débits de renouvellement d'air
 - Moteurs technologie EC*2 très basse consommation, réglables finement permettant une parfaite adaptation à des réseaux aérauliques de différentes caractéristiques
- *2 (EC : Electronic Commutation)



Exemples de configurations possibles (avec platines coudées)



Description

- Châssis tôle aluminium 10/10 laqué blanc.
- Compresseur rotatif
- Echangeurs haute efficacité - faible perte de charge (X2) (condenseur / évaporateur)
- Ventilateurs technologie EC*2 très basse consommation (X2)
- Bac de récupération condensats inox permettant d'éviter tout départ de corrosion
- Boîtier de commande (On/Off - Été/Hiver gamme LEGRAND)
- Thermostat de régulation (1 étage pour une utilisation autonome de la machine ou 2 étages pour le pilotage d'une source d'appoint de chauffage par effet joule)

Mise en oeuvre et entretien*3

- En combles isolés ou en local technique chauffé
- Montage avec support de fixation sur mur et plots antivibration ou kit de suspension (fourni sur demande)
- Raccordement au réseau aéraulique avec conduits souples aluphoniques calorifugés (25mm d'isolant en volume chauffé)
- Kit de raccordement des condensats (DN20) fourni
- Entretien des filtres à prévoir tous les trimestres (réalisable aisément par l'utilisateur)

Annexe 10 :

SM12G

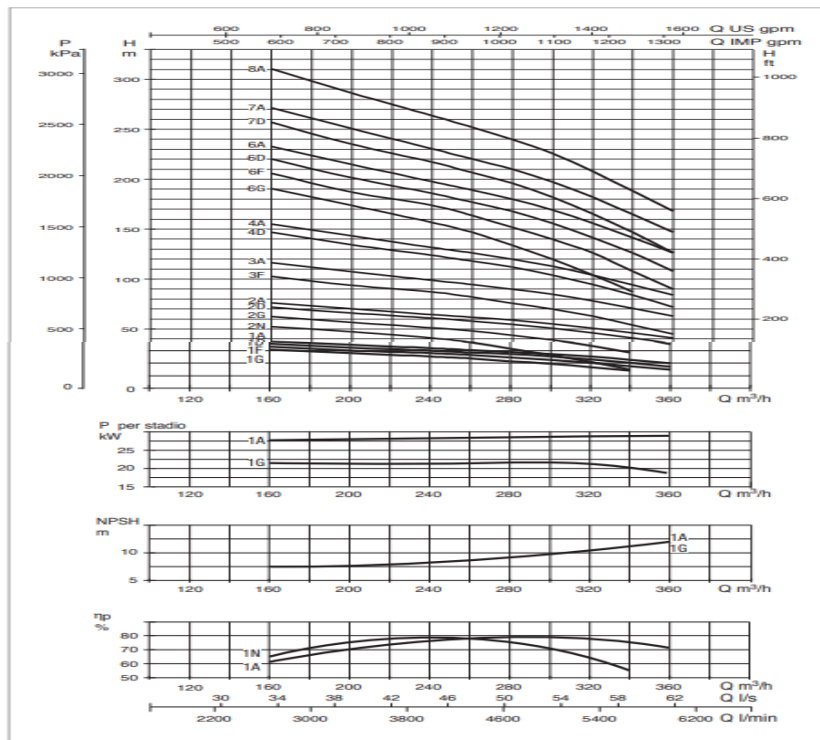
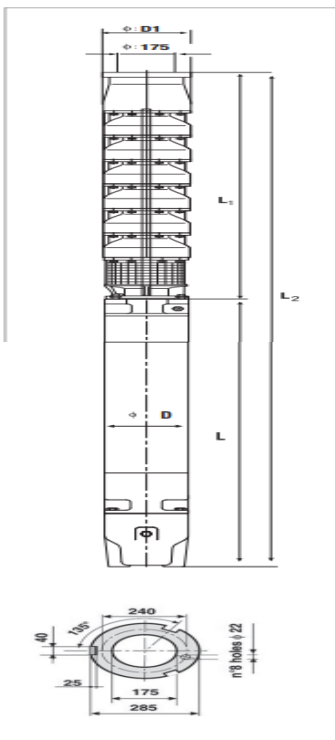
ÉLECTROPOMPES IMMERGÉES 12" SEMI-AXIALES

PERFORMANCES À 50 Hz - 2 PÔLES

MODÈLE	DONNÉES ÉLECTRIQUES		CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES											ACCOUPLEMENT STANDARD MOTEUR	
	P2 NOMINALE		Q=m³/h	0	160	200	240	260	280	300	320	340	360		H (m)
	kW	ch	Q=l/min	0	2667	3333	4000	4333	4667	5000	5333	5667	6000		
SM12G1G	22	30	43	31	28	25	24	22	19	17	14		8"		
SM12G1F	26	35	47	33	30	28	26	25	23	20	17	15,0	8"		
SM12G1D	30	40	49	36	33	30	29	27	25	23	20	17	8"		
SM12G1A	37	50	52	38	35	32	31	29	27	25	23	20	8"		
SM12G2N	37	50	74	52	47	41	37	32	27	21	15		8"		
SM12G2G	45	60	87	62	57	51	48	44	39	34	28		8"		
SM12G2D	55	75	100	72	66	61	58	55	51	46	41	35	8"		
SM12G2A	63	85	104	76	70	65	62	59	55	51	46	41	8"		
SM12G3F	75	100	145	103	94	87	82	76	70	63	54	45	8"		
SM12G3A	92	125	160	116	107	99	95	90	85	78	71	63	8"		
SM12G4D	110	150	204	147	134	124	118	112	104	94	84	72	10"		
SM12G4A	132	180	213	155	143	132	126	120	113	104	94	84	10"		
SM12G6G	132	180	268	191	174	157	147	134	120	104	87		10"		
SM12G6F	147	200	291	206	187	174	164	152	140	126	108	90	10"		
SM12G6A	190	260	319	233	215	198	189	180	169	156	141	126	10"		
SM12G6D	170	230	306	220	202	186	177	168	156	142	126	108	10"		
SM12G7D	190	260	357	257	235	217	207	196	182	165	147	126	10"		
SM12G7A	220	300	372	272	251	231	221	210	197	182	165	147	12"		
SM12G8A	250	340	426	310	286	264	252	240	226	208	188	168	12"		
Niveau minimum recommandé sur l'aspiration (m)			1	1	1	1	1	1	2	2,5	3,5	4			

SM12G

ÉLECTROPOMPES IMMERGÉES 12" SEMI-AXIALES



Performances à 50 Hz, 2 pôles. Les courbes de performances se basent sur des valeurs de viscosité cinématique = 1 mm²/s et densité égale à 1 000 kg/m³. Tolérance des courbes selon ISO9906.

ALL RIGHTS RESERVED. No part of this publication may be reproduced without the prior written permission of the publisher.




annexe 9 :

BT BU

CP / CP-G / DCP / DCP-G - 2 PÔLES

POMPES EN LIGNE

CIRCULATEURS ET POMPES EN LIGNE



Pompes de circulation avec orifices en ligne, adaptées aux installations civiles et industrielles de chauffage, climatisation et eau chaude sanitaire. Corps pompe et support moteur en fonte. Orifices d'aspiration et de refoulement avec bride PN 16, munis de trous filetés pour manomètres de contrôle. Roue en technopolymère, garniture mécanique en carbone/céramique.

Moteur triphasé, deux pôles, de type asynchrone à ventilation extérieure. Il est conseillé d'utiliser une protection thermique contre les surcharges conformément aux normes en vigueur.

Plage de fonctionnement
de 3,6 à 420 m³/h avec hauteur d'élévation max. de 102 mètres.

Plage de température du liquide
de -10 °C à +140°C.


Caractéristiques liquide pompé propre, dépourvu de corps solides ou de substances abrasives, non visqueux, non agressif, non cristallisé et chimiquement neutre.

Température ambiante maximum +40 °C

Pression de service maximum 16 bar (1600 kPa).

Niveau de protection IP 55

Classe d'isolation F
Contrebrides PN 16 sur demande



MODÈLE	CODE	ENTRÉE	RACCORDS POMPE	DONNÉES ÉLECTRIQUES					DONNÉES HYDRAULIQUES										POIDS KG			
				TENSION 50 Hz	P1 MAX kW	P2 NOMINALE		En(A) 400	TYPE MOT.	Q=m ³ /h		H (m)										
						HP	KW			0	150	180	210	240	270	330	360	390		420		
DCP-G 125-4750/A/BAQE/37	60167373	620	DN 125	3 x 400 V - 1	44,7	37	50	63	IE3	H (m)	0	150	180	210	240	270	330	360	390	420	863	
DCP-G 125-5300/A/BAQE/45	60167374	620	DN 125	3 x 400 V - 1	53,9	45	60	76			0	2500	3000	3500	4000	4500	5500	6000	6500	7000	1028	
DCP-G 125-5800/A/BAQE/55	60167375	620	DN 125	3 x 400 V - 1	68,2	55	75	95			57,5	57,0	56,0	55,0	53,0	51,0	46,0	43,0	39,0	36,0	1305	

Annexe 8



المرش الأخير

يمكن أن تعمل بضغط منخفض بين 1-3,4 بار وتوفر ما يصل إلى 4 هكتارات مسقية إضافية بمعدل تدفق 45-246 لتر / دقيقة ؛ ونصف القطر بين 9 م و 15 م ، مزود بأربع فوهات مختلفة: 12 ، 15 ، 18 ، و 21

ASPERCEUR FIN PIVOT

Il peut fonctionner en basse pression entre 1-3.4 Bar et assure jusqu'au 4 hectares supplémentaires irrigués, avec un débit de 45-246 l/min; et rayon entre 9 m et 15 m, il est fournis avec 4 différentes buses 12,15,18 et 21.

علبة التحكم في الاتجاهات

علبة بطواعة كبيرة مزودة بقاطع كهربائي قابل للتعديل، ومزود بحماية حرارية للمحرك، قاعدة صلبة من الفولاذ المجلفن، غطاء مقاوم للاشعة فوق البنفسجية

COFFRET COMMANDE DIRECTIONNELLE

Coffret de grande flexibilité équipé d'un disjoncteur réglable, sécurité thermique, platine rigide en acier galvanisé et couvercle anti UV.

البرج المتحرك

وصلة من نوع مفصلي من فولاذ 235JR يقبل سماحية 15 ٪ ميل استواء الحقل محور بانبوب 168 مم بفولاذ 235JR عجلات 14,9 x 24 باحارات مركبة، على حامل مجلفن مزود بواقني فولاذي للمنافخ.

TOURS MOBILE

Accouplements de type cardan en acier 235JR, peut accepter 15% de pente Essieu avec tube en acier 235JR diamètre 168mm Roues 14,9 x 24 avec jantes équipée d'un protège valve en acier.

البرج المركزي

هيكل فولاذي مجلفن بانبوب رئيسي قطره 168 مم، مفصل دوار مانع للتسربات يحتوي على عازل بشفاه عند الضغط المنخفض

TOUR CENTRALE

Structure en acier galvanisé 235JR avec conduite de 219mm de diamètre, étanchéité du raccord tournant assurée par un joint à lèvres basse pression.

Annexe 11 :



Onduleur solaire photovoltaïque 150 kW PowerGate Plus

Production d'énergie commerciale et à grande échelle

Entièrement conçus pour répondre aux exigences d'installations à grande échelle, les onduleurs photovoltaïques Satcon® comportent un boîtier pour utilisation extérieure, des fonctions avancées de surveillance et de contrôle et l'application Edge™, la solution MPPT de nouvelle génération de Satcon.



Spécifications

Spécifications PowerGate Plus 150 kW		Union Européenne
Paramètres d'entrée		
Tension maximale d'entrée de champ PV	900V CC (CE)	o
Plage de tension d'entrée (MPPT, puissance maximale)	430-850V CC	o
Voie industrielle à basse tension ¹	20%	o
Paramètres de sortie		
Plage de tension de sortie	352-440V CA	o
Tension nominale de sortie	400V CA	o
Plage de fréquences de sortie	49,5-50,5 Hz	o
Valeurs de consigne de la plage de tension CA	+/- 10%	o
Fréquence nominale de sortie	50 Hz	o
Nombre de phases	3	o
Courant maximal de sortie par phase	217A	o
Protection maximale par phase contre les surintensités	260A	o
Puissance maximale de sortie en continu	150 kW (150 kVA)	o
Facteur de puissance (cos φ) à pleine charge	>0.99	o
Taux d'harmoniques	< 3 % THD	o

o Standard o En option

¹ Accepte des tensions faibles pour réseaux solaires en réduisant la tension d'alimentation minimale de 10%.