

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Mécanique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Génie Mécanique
Domaine : Science et Technologie
Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Energétique
Thème

Dimensionnement Technique D'une Installation Photovoltaïque D'un Département Administrative UBBAT

Présenté Par :

- 1) Mr Benmeddah Sid ahmed
- 2) Mr Mokhtari Djawad

Devant le jury composé de :

Dr. RAMLAOUI Ahmed	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr. DORBANE Abdelhakim	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. BERREZOUG Imane	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant
Mr. GUENDOZ Bouhelal	M C B	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Co-Encadrant

Année Universitaire 2022/2023



Remerciements

Au terme de ce travail, Je tiens d'abord en premier lieu à remercier mon DIEU, mon créateur qui m'a donné la force pour accomplir ce travail. A : ceux qui sont dévoués pour faire mon bonheur, pour m'éclaircir la route * mes chères parents *

Madame BERREZOUG Hiba Imane

Mon Encadreur qui m'a inspiré le sujet de ce mémoire et dirigé lors de sa confection, pour son aide précieuse et ses conseils judicieux.

Monsieur GUENDOZ Bouhellal

Mon Co-encadreur de son orientation qui nous a été très bénéfique pour la réalisation de ce travail, sa rigueur et façon de travailler nous a permis d'être plus attentives vis-à-vis notre travail.

Messieurs RAMLAOUI Ahmed et DORBANE Abdelhakim

Je tiens à vous exprimer ma profonde gratitude pour l'honneur que vous m'avez fait en évaluant mon mémoire de fin d'études.

Tous les professeurs du Département de Génie Mécanique, pour leur contribution, notre formation et leur disponibilité à orienter les étudiants.

Mes remerciements à toute ma famille, mon frère Mohammed et tous mes amies.

Enfin, je remercie toute personne ayant participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail



Dédicace

Je dédie ce mémoire A mes chers parents ma mère et mon père pour leur patience, leur amour, leur soutien et leur encouragement. Ce travail est le fruit de leurs sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation. A mon frères mohammed , A tous mes camarades et mes amis en particulier. A ma famille et toutes les personnes que j'aime.

BENMEDDAH SID AHMED

Je dédie ce mémoire à mes parents, qui ont été patients avec moi plus que nécessaire tout au long de mon parcours scolaire et universitaire, sans oublier mon frère et ma sœur, sans qui le voyage aurait été fatigant.

MOKHTARI DJAWAD

Résumé

L'électricité solaire photovoltaïque est une source d'énergie renouvelable ayant atteint la maturité technique. Ses caractéristiques en font une ressource de grand intérêt dans les nombreuses régions de notre planète notamment dans notre pays très ensoleillé.

Pour notre mémoire on choisit de le faire une étude sur une installation photovoltaïque ce qui nous permet d'apprendre plus sur ces nouvelle technologie qui sont la base de notre avenir on se consacrant au énergie nouvelle vue ce qui se passe dans notre monde , pour cela on s'est d'abord consacrer sur les richesse que ce soit par ses terre ou par sa position géographiques qui nous donne un avantage d'ensoleillement énorme pour qu'ensuite passer à la conversion photovoltaïque et tous les équipements nécessaire pour faire notre propre étude photovoltaïque , enfin en termine par modéliser notre étude spécifique faites dans notre région Ain-Témouchent exactement à l'un des département de son pôle universitaire UBBAT en déposant notre cahier des charge avec nos calculs a nous pour finir avec une simulation complète de notre système avec le logiciel PVSYST outille indispensable pour l'exactitude des résultat avec un temps record en évitant toutes perte , Comme nous avons réalisé un dimensionnement théorique toujours pour le même lieu étudié ou on a approuvé théoriquement les résultats obtenu par le PVSYST d'où on a déterminer le nombre totales des panneaux photovoltaïques, le nombre des panneaux en série et le nombre des panneaux en parallèle. Notre travail permis de savoir de quoi notre système a besoin en équipements ce qui rend notre projet réellement beaucoup plus facile de le gérer. Cette étude nous a non seulement ouvert l'esprit sur ses nouvelles énergies mais aussi elle nous a appris comment penser différemment et comment guider notre pays vers un avenir meilleur.

Mots clés : Photovoltaïque, autonome, dimensionnement, logiciel « PVSYST ».

Abstract:

Photovoltaic solar power is a renewable energy source that has reached technical maturity. Its characteristics make it a resource of great interest in many regions of our planet, particularly in our very sunny country.

For our dissertation, we have chosen to carry out a study on a photovoltaic installation, which will allow us to learn more about this new technology, which is the basis of our future, by devoting ourselves to new energy in view of what is happening in our world. To do this, we have first of all focused on the richness of the land and its geographical position, which gives us an enormous advantage in terms of sunshine, and then move on to photovoltaic conversion and all the equipment

needed to carry out our own photovoltaic study, Finally, we finished by modelling our specific study carried out in our region, Ain-Témouchent, exactly in one of the departments of its university pole, UBBAT, by submitting our specifications with our own calculations, to finish with a complete simulation of our system using the PVSYSY software, an essential tool for accurate results in record time, avoiding any losses, We also carried out a theoretical dimensioning for the same location, where we theoretically approved the results obtained by PVSYSY, from which we determined the total number of photovoltaic panels, the number of panels in series and the number of panels in parallel. This study has not only opened our minds to this new energy but has also taught us how to think differently and how to guide our country towards a better future.

Key words: Photovoltaics, stand-alone, sizing, "PVSYSY" software.

ملخص:

تعد الطاقة الشمسية الكهروضوئية أحد مصادر الطاقة المتجددة التي وصلت إلى مرحلة النضج التقني. تجعل خصائصه مصدرًا ذا أهمية كبيرة في العديد من مناطق كوكبنا ، لا سيما في بلدنا المشمس جدًا.

لأطروحتنا ، اخترنا إجراء دراسة حول التركيب الكهروضوئي ، والذي سيسمح لنا بمعرفة المزيد عن هذه التكنولوجيا الجديدة ، والتي هي أساس مستقبلنا ، من خلال تكريس أنفسنا للطاقة الجديدة في ضوء ما يحدث في عالمنا. للقيام بذلك ، ركزنا أولاً وقبل كل شيء على ثراء الأرض وموقعها الجغرافي ، مما يمنحنا ميزة هائلة من حيث أشعة الشمس ، ثم ننتقل إلى التحويل الكهروضوئي وجميع المعدات اللازمة لتنفيذ الخلايا الكهروضوئية الخاصة بنا. الدراسة ، أخيرًا ، انتهينا من خلال نمذجة دراستنا المحددة التي أجريت في منطقتنا ، عين تموشنت ، بالضبط في أحد أقسام قطب جامعتها ، UBBAT ، من خلال تقديم مواصفاتها مع حساباتها الخاصة ، لتنتهي بمحاكاة كاملة لـ نظامنا باستخدام برنامج PVSYSY ، وهو أداة أساسية للحصول على نتائج دقيقة في وقت قياسي ، وتجنب أي خسائر ، كما قمنا بتنفيذ أبعاد نظرية لنفس الموقع ، حيث وافقنا نظريًا على النتائج التي حصلنا عليها بواسطة PVSYSY ، والتي حددنا منها العدد الإجمالي عدد الألواح الكهروضوئية على التوالي وعدد الألواح على التوازي. لم تفتح هذه الدراسة عقولنا لهذه الطاقة الجديدة فحسب ، بل علمتنا أيضًا كيفية التفكير بشكل مختلف وكيفية توجيه بلدنا نحو مستقبل أفضل.

الكلمات الرئيسية: الخلايا الكهروضوئية ، قائمة بذاتها ، تحجيم ، برنامج "PVSYSY".

Table des matières

sommaire

Liste des abréviations :.....	9
Liste des figures.....	10
Liste des Tableaux.....	13
Introduction générale :	15
Chapitre I : d'énergies renouvelables en Algérie.....	17
I. 1. Introduction :.....	17
I. 2. Principaux chercheurs algériens en énergie renouvelables	18
I. 3. Le Centre de Recherche dans le domaine des Energies Renouvelables en Algérie :.....	20
I. 4. Principaux types d'énergies renouvelables	21
1. Énergie solaire	21
2. Énergie éolienne	23
3. Énergie marémotrice.....	25
4.Énergie hydraulique.....	27
5.Énergie géothermique.....	29
6.Énergie de la biomasse	31
I. 5. État de l'énergie renouvelable en Algérie	33
1.Énergie solaire	33
2.Énergie hydraulique.....	36
3.Énergie éolienne	36
4.Énergie géothermique.....	37
5.Énergie de la biomasse	39
I. 6. État des énergies renouvelables	40
1.Énergie solaire	40
2.Énergie hydraulique.....	43
3.Énergie éolienne	45
4.Énergie géothermique.....	46
5.Bioénergie.....	46
Chapitre II : Energie Solaire.....	48
II .1 Introduction.....	48
II .2 Historique d'énergie solaire.....	48
II .3. Systeme photovoltaïque.....	51
II .3.1 les cellules monocristallin :.....	51

Table des matières

II .3.2 Les Cellules Polycristallin	52
II .3.3. Cellules amorphes :	52
II .3.4 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	53
II .3.5 Classification d'un système solaire photovoltaïque	55
II .4. Conversion photovoltaïque :	64
II .4.1. les semi-conducteurs :	65
II .4.2 Dopage d'un semi-conducteur	66
II .5. Matériels d'un système photovoltaïque :	67
II .5.1 Le panneau photovoltaïque :	67
II .5.2 Convertisseur DC/DC :	70
II .5.3 Les batteries	71
II .5.4 Le régulateur solaire	73
II .5.5 Les onduleurs :	74
II .5.6 Les charges :	75
II .5.7 Câblage de système :	76
II .6. Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome :	76
II .6.1 Définition :	76
II .6.2 Etapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque :	77
II .7. Conclusion	82
Chapitre III : Présentation de logiciel Pvsyst 7.1	84
III.1 INTRODUCTION :	84
III . 2 Premier contact avec Pvsyst 7.1	84
Étape 1 :	85
Étape 2 :	85
Étape 3 :	85
Étape 4 :	85
Étape 5 :	86
III . 3 Définir l'orientation	86
III . 4 Définition des besoins de l'utilisateur	88
III . 5 Définir le système	99
III . 6 Exécution de la première simulation	106
III . 7 Conclusion	111

Table des matières

CHAPITRE IV : etude et dimensionnement Photovoltaïque d'un département UBBAT Erreur ! Signet non défini.

IV . 1. Introduction :.....	113
IV . 2. Démarrage pvsyst 7.1 :.....	113
IV . 4 Situation géographique de site Universitaire de Ain-Témouchent:	114
IV . 7 Définir l'orientation	114
IV . 8 Rapport détaillé de notre simulation:	120
Dimensionnement théorique de notre système photovoltaïque	126
IV . 10 Conclusion.....	129
CONCLUSION GENERALE.....	132
Références :	135

Liste des abréviations :

DC : courant continu

PV : photovoltaïque

MPPT : Poursuite du point de puissance maximale

PWM : Modulation de largeur d'impulsion

AC : courant alternatif

SPA :Système photovoltaïque autonome

SPCR : Système PV connecté au réseau

N : dopage de type négatif

P : dopage de type positif

Liste des figures

Chapitre I : d'énergies renouvelables en Algérie

Figure (I. 1) Le CDER	20
Figure (I. 2) : énergie solaire	22
Figure (I. 3) : énergie éolienne	24
Figure (I. 4) : énergie marémotrice	26
Figure (I. 5) : énergie hydraulique	28
Figure (I. 6) : : énergie géothermique	30
Figure (I. 7) : : énergie biomasse.....	32
Figure (I. 8) : L'irradiation solaire en Algérie en kW/m ²	34
Figure (I. 9) : La distribution de température en Algérie	35
Figure (I. 10) : Production solaire potentielle pour le désert du Sahara	35
Figure (I. 11) : Emplacements potentiels des barrages et des rivières en Algérie pour la production d'énergie hydroélectrique	36
Figure (I. 12) : Le potentiel de vitesse du vent en Algérie	37
Figure (I. 13) : Localisation du potentiel géothermique en Algérie	38
Figure (I. 14): La carte géothermique en Algérie.....	39
Figure (I. 15) : Capacité installée d'ER en Algérie de 2014 à 2019	41
Figure (I. 16) : Localisation des stations photovoltaïques en Algérie	41
Figure (I. 17) : La première centrale solaire du pays	42
Figure (I. 18): Localisation des centrales hydroélectriques en Algérie	44
Figure (I. 19) : Production d'électricité de l'Algérie par les énergies renouvelables de 2014 à 2018 .	45
Figure (I. 20) : Le parc éolien de 10 MW à Kabertene, Adrar	46

Chapitre II : Energie Solaire

Figure (II . 1):Le physicien français Alexandre Edmond Becquerel	49
Figure (II . 2): Ernst Werner von Siemens	49
Figure (II . 3):Calvin Fuller, Daryl Chapin, and Gerald Pearson.....	50
Figure (II . 4): le premier satellite équipé de cellules à 10% de rendement.....	50
Figure (II . 5) :La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.....	51

Figure (II . 6): Cellules du silicium (a) monocristallin et (b) polycristallin.....	52
Figure (II . 7): Cellule silicium amorphe en couche mince.....	53
Figure (II . 8) : Courbe caractéristique d'un module photovoltaïque.....	54
Figure (II . 9) : Courbes I (V) d'un panneau solaire à divers ensoleillements	54
Figure (II . 10) : Courbes I(V) d'un panneau à diverses températures.....	55
Figure (II . 11): exmple d'un structure de système photovoltaïque autonome	56
Figure (II . 12) : exmple d'un structure de système photovoltaïque hybride	57
Figure (II . 13) : Coupe de la lame d'air en sous-face des panneaux PV	58
Figure (II . 14) : Schéma du capteur solaire hybride PV/T à air	58
Figure (II . 15) : Les prototypes I, II, III, IV de capteur solaire PV/T à air	59
Figure (II . 16) : Banc d'essai du capteur solaire PV/T hybride à air	60
Figure (II . 17): Modifications du capteur solaire PV/T hybride à air	60
Figure (II . 18) : Capteur solaire PV/T hybride à deux fluides et à fonctions superposées.....	61
Figure (II . 19) : Schéma du capteur solaire PV/T hybride à eau SolarNor.	62
Figure (II . 20): Capteur solaire PV/T hybride à eau.	62
Figure (II . 21):Section du capteur solaire hybride à eau étudié	63
Figure (II . 22) : exmple d'un structure de système photovoltaïque raccordée au réseau.....	64
Figure (II . 23): Schéma de principe de la conversion photovoltaïque par une jonction p-n	65
Figure (II . 24) Diagramme des bandes d'énergie des semi-conducteurs	66
Figure (II . 25)) : Un exemple de Réseau cristallin de semi-conducteur type N.....	66
Figure (II . 26) : Réseau cristallin de semi-conducteur type P	67
Figure (II . 27) :Exemple d'une jonction P/N a l'équilibre non-polarisé.	67
Figure (II . 28) :Panneau solaire mobile	68
Figure (II . 29) : comment incliné le panneau solaire	69
Figure (II . 30) :Association en parallèle	69
Figure (II . 31) : Association en serie	70
Figure (II . 32): Schéma de principe d'un hacheur : (a) abaisseur , (b) élévateur	70
Figure (II . 33) : les composants des batteries plomb	73
Figure (II . 34) : régulateur solaire MPPT	73
Figure (II . 35) : schéma de principe de l'onduleur	74
Chapitre III: Présentation de logiciel de simulation PVSYST	
Figure (III . 1): Démarrage pvsyst 7.1	84
Figure (III . 2) : Paramètres de base à définir.....	87
Figure (III . 3) : Boîte de dialogue d'orientation.	87

Figure (III . 4) : Outil d'optimisation rapide de l'orientation.	88
Figure (III . 5) : Définition des besoins de l'utilisateur.	89
Figure (III . 6) : Onglet Consommation dans la boîte de dialogue des besoins de l'utilisateur.....	90
Figure (III . 7) : Définition des consommations quotidiennes des ménages pour l'année.....	91
Figure (III . 8): Définition de la répartition horaire de chaque appareil.....	92
Figure (III . 9): Graphique de la consommation journalière.	93
Figure (III . 10): Finalisation de la définition de la consommation.	94
Figure (III . 11): Définition de la consommation des récepteurs par le biais d'un "autre profil".	95
Figure (III . 12): Profils de chargement.....	96
Figure (III . 13): Graphique des données de puissance de charge en termes d'heures.	99
Figure (III . 14): Définition du système.	100
Figure (III . 15): Définition du stockage du système.	101
Figure (III . 16): Outil d'aide au prédimensionnement.....	104
Figure (III . 17): Exécution de la simulation.	106
Figure (III . 18): Barre de progression.	106
Figure (III . 19): Boîte de dialogue des résultats.....	107
Figure (III . 20): Besoins détaillés des utilisateurs et répartition horaire.....	108
Figure (III . 21): Principaux résultats de la simulation.	109
Figure (III . 22): Graphiques mensuels dans les résultats principaux.	110
Figure (III . 23): Diagramme de perte de flèche.	111

CHAPITRE IV : etude et dimensionnement Photovoltaïque d'un département UBBAT

Figure (IV . 1) : Démarrage pvsyst 7.1.....	113
Figure (IV . 2) : présente une situation géographique de notre département	114
Figure (IV . 3) : Boîte de dialogue d'orientation	115
Figure (IV . 4) Définition de la consommation des récepteurs	117
Figure (IV . 5): Graphique de la consommation journalière.	118
Figure (IV . 6): Définition du stockage du système.	119
Figure (IV . 7): Outil d'aide au prédimensionnement.....	119
Figure (IV . 8).Indice de performance et la fraction solaire de l'installation PV.....	125
Figure (IV . 9) Energie utile produite par l'installation PV.....	126

Liste des Tableaux

Chapitre I : d'énergies renouvelables en Algérie

Tableau (I . 1) : Potentiel solaire en Algérie	Erreur ! Signet non défini.
Tableau (I . 2) : Localisation des sources thermiques en Algérie	Erreur ! Signet non défini.
Tableau (I . 3) : Potentiel de bioénergie en Algérie	Erreur ! Signet non défini.
Tableau (I . 4): Centrales solaires installées	42
Tableau (I . 5) : Centrales hydroélectriques en Algérie	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre II : Energie Solaire

Tableau (II.1) :Tension recommandée pour les systèmes photovoltaïques.	79
Tableau (II.2) : L'angle d'inclinaison par rapport à la latitude.	80

CHAPITRE IV : etude et dimensionnement Photovoltaïque d'un département UBBAT

Tableau IV . 1: Appareils électroménagers de département UBBAT et leurs puissances journalières.....	116
Tableau (IV . 2): Estimation des consommations d'appareils disponible dans notre département.	116

Introduction générale

Introduction générale :

Introduction générale :

L'énergie est l'un des moteurs de développement des sociétés, et pour réduire les effets négatifs des ressources en combustibles fossiles sur l'environnement, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours croissant aux sources d'énergie renouvelables tels que le solaire, la géothermie, la biomasse et l'énergie éolienne. Plusieurs projets de recherche ont été lancés dans différents laboratoires de recherche dans le domaine du développement durable.

L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale 1m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la quasi-totalité du territoire national, la durée d'insolation quant à elle dépasse les 2000 heures chaque année et peut aller jusqu'à 3900 heures sur les hauts plateaux et le Sahara, ce qui représente une moyenne élevée par rapport aux pays du monde. Pour exploiter efficacement cette énergie par les systèmes photovoltaïques.

L'installation d'un système photovoltaïque nécessite tout d'abord son dimensionnement pour lequel il faut calculer à combien s'élève les besoins énergétiques que nous comptons satisfaire et calculer par la suite la puissance du champ photovoltaïque satisfaisant ces besoins énergétiques, ainsi que la capacité des batteries pour assurer un fonctionnement autonome du réseau si c'est le but de l'installation.

Dans ce contexte général, le travail présenté dans ce mémoire traite le dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome destiné à l'un des départements administratifs de l'université d'Ain-Temouchent UBBAT.

La présentation de ce manuscrit est étalée sur quatre chapitres :

D'abord, et après une introduction générale, le premier chapitre, décrit les concepts de base de l'énergie solaire en Algérie.

Le deuxième chapitre présente une étude descriptive générale des systèmes photovoltaïques est présentée, leurs types, leurs compositions et les critères de choix d'un panneau Photovoltaïque PV

Le troisième chapitre se concentre sur présentation de logiciel PVSYST 7.1

Le quatrième chapitre consiste à l'étude détaillée sur un dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome destiné aux département UBBAT par le logiciel PVSYST 7.1

nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume notre étude.

Chapitre I : Les énergies renouvelables en Algérie

Chapitre I : Les énergies renouvelables en Algérie

I. 1. Introduction :

Actuellement, L'énergie renouvelable est l'un des sujets qui préoccupe nos recherches vues sont importance quotidienne dans notre vie. Les énergies renouvelables désignent un large éventail de ressources énergétiques qui diffèrent en termes d'économie, de technologie, d'applications finales, d'évolutivité, d'implications environnementales, de disponibilité et d'épuisement [1].

Cette énergie est produite à partir de sources naturelles qui se renouvellent plus rapidement qu'elles ne sont consommées [2] comme la lumière du soleil et le vent sont deux exemples de ces sources qui se renouvellent constamment.

Par contre l'énergie du fossile produite à partir de charbon, pétrole et gaz qui sont des ressources non renouvelables et qui se forment sur des centaines de millions d'années. Ainsi les combustibles fossiles émettent des gaz à effet de serre dangereux tels que le dioxyde de carbone.

Les énergies renouvelables produisent beaucoup moins d'émissions que la combustion de combustibles fossiles [3]. Pour lutter contre la catastrophe climatique, il est essentiel d'abandonner les combustibles fossiles, qui représentent aujourd'hui la majorité des émissions, au profit des énergies renouvelables. Les énergies renouvelables sont désormais moins chères dans la plupart des pays et créent trois fois plus d'emplois que les combustibles fossiles.

Dans cette partie, notre étude portera sur le secteur énergétique actuel en Algérie. Nous passerons à une étude de cas sur les énergies renouvelables et une politique définie par l'Algérie pour la transition énergétique.

I. 2. Principaux chercheurs algériens en énergie renouvelables [4] :



Prof. Hafid AOURAG

Professeur de physique, université de Tlemcen et directeur général de la recherche scientifique.

L'Algérie, à travers son ambitieux programme 2030, place les énergies renouvelables au premier rang de ses priorités. Le déploiement à grande échelle des énergies renouvelables permettra à l'Algérie de diversifier son bouquet énergétique, de protéger l'environnement et de lutter contre le changement climatique.

En tant que plus grand pays d'Afrique, du monde arabe et du bassin méditerranéen, et grâce à sa position géographique stratégique et à ses terres diversifiées (littoral, hauts plateaux et Sahara), l'Algérie possède l'une des plus grandes ressources d'énergie renouvelable au monde, allant de l'énergie solaire à l'énergie éolienne, en passant par la géothermie et la bioénergie.

La recherche et l'innovation dans le domaine des énergies renouvelables jouent un rôle clé dans le développement de solutions modernes et abordables en matière d'énergies renouvelables, qui peuvent rendre la transition énergétique en Algérie techniquement possible et économiquement viable.

La DGRSDT soutient des programmes de recherche pour le développement de solutions technologiques en matière d'énergies renouvelables et leurs applications dans différents secteurs.

L'Atlas algérien des ressources en énergies renouvelables constitue un outil précieux pour ceux qui souhaitent investir dans les énergies renouvelables telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie géothermique et la valorisation énergétique des déchets.

L'énergie solaire peut à elle seule répondre aux besoins énergétiques actuels et futurs de l'Algérie, avec un grand potentiel d'exportation. Nous vous invitons à découvrir, à travers l'Atlas des ressources

en énergies renouvelables de l'Algérie, l'importance du potentiel de l'Algérie en matière de production d'énergie propre et durable.

Prof. Nouredine YASSAA



Professeur de chimie à l'Université des sciences et technologies Houari Boumediene (USTHB) à Alger et directeur de « Centre de Développement des Énergies Renouvelables »

Le développement des énergies renouvelables en Algérie dans de nombreux secteurs. Son déploiement à grande à grande échelle repose sur l'énorme potentiel de ses ressources solaires, éoliennes, géothermiques et bioénergétiques, solaire, éolienne, géothermique et bioénergétique. Le potentiel de l'énergie solaire en Algérie est l'un des plus importants au monde.

La durée annuelle moyenne d'ensoleillement dépasse 2500 heures par an et le rayonnement solaire moyen est de l'ordre de 3000 kilo watt heure par mètre carré par an. Le potentiel éolien disponible est également appréciable avec l'existence de nombreux sites caractérisés par une vitesse moyenne du vent supérieure à 5 m/s. De même, l'Algérie possède plusieurs ressources géothermiques dont les températures dépassent les 90°C. La transformation des déchets en énergie offre également d'importantes opportunités pour la production d'énergie en Algérie.

L'Atlas algérien des ressources en énergies renouvelables, qui est une clé pour le développement de projets renouvelables, a été réalisé par des chercheurs qualifiés du CDER et constitue le premier atlas détaillé des ressources renouvelables les plus importantes en Algérie. Il fournit les connaissances les plus récentes sur les ressources solaires, éoliennes, géothermiques et bioénergétiques.

Les cartes des ressources en énergies renouvelables sont produites par des méthodologies de pointe basées sur des données mesurées et analysées fiables collectées au cours de décennies de recherches et d'observations, ainsi que sur des données simulées utilisant des outils et des méthodes récents.

L'Atlas algérien des ressources en énergies renouvelables est conçu pour les entités intéressées par l'investissement dans les énergies renouvelables en Algérie, ainsi que pour les professionnels, les décideurs, les chercheurs et tous ceux qui s'intéressent aux énergies renouvelables.

A travers l'Atlas des ressources énergétiques algériennes, nous souhaitons mettre en évidence l'immensité du potentiel d'énergie renouvelable de l'Algérie qui peut conduire l'Algérie vers une société durable.

I. 3. Le Centre de Recherche dans le domaine des Energies Renouvelables en Algérie :



Figure I. 1 : Le CDER [5]

Un organisme situé à Bouzaréah sur les hauteurs d'Alger, aujourd'hui connu sous le nom de "Centre de Développement des Energies Renouvelables", assure la poursuite des activités de recherche dans le domaine des Energies Renouvelables depuis le projet de construction de l'Héliodyne entre 1952 et 1954. Cependant, le statut et la gestion de cette entité ont changé à de nombreuses reprises. En bref, elle a évolué comme suit [6] :

1959-1962 : Institut d'énergie solaire de l'Université d'Alger (IESUA)

1962-1972 : Institut de l'énergie solaire (IES).

1972-1981 : Station d'énergie solaire (SES).

1981-1982 : Centre de recherche sur les énergies nouvelles (CRENO).

1982-1988 : Station d'expérimentation d'équipements solaires (SEES).

1988 : Création du Centre de développement des énergies renouvelables (CDER). Il est placé sous la tutelle du Haut-Commissariat à la Recherche.

1988 : Rattachement de l'Unité de développement des équipements solaires (UDES), située à Tipaza, au CDER.

2002 : Création de l'Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables à Ghardaïa, rattachée au CDER.

2003 : Le CDER devient un Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technologique (EPST) à vocation intersectorielle. Il est placé sous la tutelle du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Le siège de l'EPST CDER est situé à Bouzaréah, Alger.

2004 : Création de l'Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien (URERMS) à Adrar, rattachée au CDER.

2007 : Création de la filiale commerciale Etudes et Réalisations en Energies Renouvelables (ER2), rattachée au CDER.

I. 4. Principaux types d'énergies renouvelables

1. Énergie solaire

L'énergie solaire est l'une des sources d'énergie renouvelable les plus importantes qui a récemment fait l'objet d'une attention considérable. Comparée à d'autres sources d'énergie, l'énergie solaire est la plus facilement disponible car elle est très abondante. Le soleil fournit à la planète suffisamment d'énergie en une seule journée pour répondre à tous ses besoins énergétiques pendant une année entière [6]. Comme l'énergie solaire ne produit pas de polluants ou de sous-produits nocifs pour l'environnement, elle est propre et ne produit pas d'émissions. Il existe plusieurs secteurs dans lesquels l'énergie solaire peut être convertie en énergie électrique. Les principales utilisations de l'énergie solaire sont les habitations, les voitures, l'espace, les avions et les bateaux.



Figure I. 2 : énergie solaire [7]

Les civilisations anciennes utilisaient la lumière du soleil comme source d'énergie pour allumer des feux et brûler les navires de guerre ennemis à l'aide de "miroirs ardents". L'énergie solaire a été utilisée pour le chauffage et l'éclairage jusqu'au XVIIe siècle. Les Européens ont commencé à construire des serres et des jardins d'hiver chauffés à l'énergie solaire dans les années 1800. À la fin du XIXe siècle, des chercheurs français ont utilisé la chaleur d'un capteur solaire pour faire fonctionner une machine à vapeur. En 1882, à Paris, une machine à imprimer a été entraînée par cette machine à vapeur alimentée par le soleil [8]. L'inventeur américano-suédois John Ericsson a créé un moteur à air chaud solaire très efficace. Les navires étaient propulsés par ces moteurs solaires [9]. Charles Greely, considéré comme le fondateur de l'énergie solaire moderne, a créé la première chaudière solaire [10]. Charles Fritts a créé les premières cellules solaires fonctionnelles en 1883 [11]. Ces prototypes étaient construits à partir de sélénium et avaient un rendement d'environ 1 %. Calvin Fuller, Gerald Pearson et Daryl Chapin ont inventé les cellules solaires au silicium en 1954. Ce succès a été obtenu en adoptant les idées principales des travaux de Russel Ohl dans les années 1940 [12]. Cette innovation a marqué un tournant important dans la manière de produire de l'électricité. Après le développement ultérieur des cellules solaires dans les années 1950, le rendement est passé de 6 % à 10 % [13], mais les applications commerciales n'étaient possibles que pour les nouveautés en raison du coût élevé des cellules solaires (300 \$ par watt) [12].

Avantages :

- Renouvelable et durable.
- Rentable.
- Indépendance énergétique.
- Création d'emplois.
- Évolutivité.

Inconvénients :

- Coût initial.
- Dépendance à l'égard des conditions météorologiques.
- Utilisation des sols.
- Stockage de l'énergie.
- Fabrication et élimination.

2. Énergie éolienne

Le flux d'air qui contient une variété de gaz dans l'atmosphère terrestre s'appelle le vent. Les causes fondamentales du vent sont la rotation de la terre, le réchauffement inégal de l'atmosphère et les imperfections de la surface terrestre. L'homme utilise l'énergie du mouvement du vent pour diverses tâches, notamment la production d'électricité, le pompage de l'eau et le traitement des céréales. Afin de les distinguer des applications mécaniques plus conventionnelles de l'énergie éolienne, les moulins à vent utilisés pour produire de l'électricité sont appelés éoliennes.



Figure I. 3: énergie éolienne [14]

En raison de sa nature renouvelable, de sa large distribution géographique et de son abondance, le vent est une source d'énergie durable. En outre, comme il peut être utilisé comme alternative à la production d'électricité à partir de combustibles fossiles, il contribue à réduire les émissions de gaz à effet de serre [15]. Les éoliennes transforment l'énergie cinétique du vent en électricité utilisable en la captant. Les pales d'une éolienne tournent grâce à l'énergie cinétique du vent. Un arbre est fixé aux pales. Le générateur électrique est relié à l'arbre. L'énergie mécanique est transformée en énergie électrique par le générateur.

Même si seulement 1 % de l'énergie mondiale est actuellement produite par des éoliennes, l'énergie éolienne est l'une des sources d'énergie renouvelable qui se développe le plus rapidement à l'échelle mondiale. L'énergie éolienne fournit environ 19 %, 9 %, 9 % et 6 % de l'énergie électrique nécessaire dans des pays comme le Danemark, l'Espagne, le Portugal et l'Allemagne, respectivement. La production mondiale d'énergie éolienne a été multipliée par plus de cinq entre 2000 et 2007[16].

Avantages :

- Renouvelable et durable.
- Rentable.
- Indépendance énergétique.
- Création d'emplois.
- Double usage des terres.

Inconvénients :

- Dépendance à l'égard des conditions météorologiques.
- Pollution visuelle et sonore.
- Impact sur la faune.
- Utilisation des terres.
- Stockage de l'énergie.

3. Énergie marémotrice

La production d'énergie électrique à partir des marées océaniques est tout à fait comparable à celle de l'énergie hydroélectrique conventionnelle. Un barrage est construit en travers d'un bras de mer pour constituer le système de production d'énergie marémotrice le plus élémentaire. Une usine marémotrice typique se compose d'une centrale électrique dotée d'un turbogénérateur, d'une vanne permettant le flux bidirectionnel des marées et d'un bassin de marée créé par un barrage. Lorsque la vanne du barrage est ouverte pendant la marée haute, les eaux de la marée montante remplissent le bassin de marée. Lorsque le barrage est entièrement rempli, les vannes sont fermées. Le bassin de marée est libéré par un turbogénérateur une fois que l'eau de l'océan s'est retirée. La marée descendante ou la marée montante, ou les deux, peuvent créer de l'énergie. La marée montante se produit lorsque le niveau de l'eau monte près de la plage, tandis que la marée descendante se produit lorsque l'eau est retirée [15]. Des études montrent que l'énergie marémotrice est rentable dans les endroits où l'amplitude moyenne des marées dépasse 16 pieds [15,16].

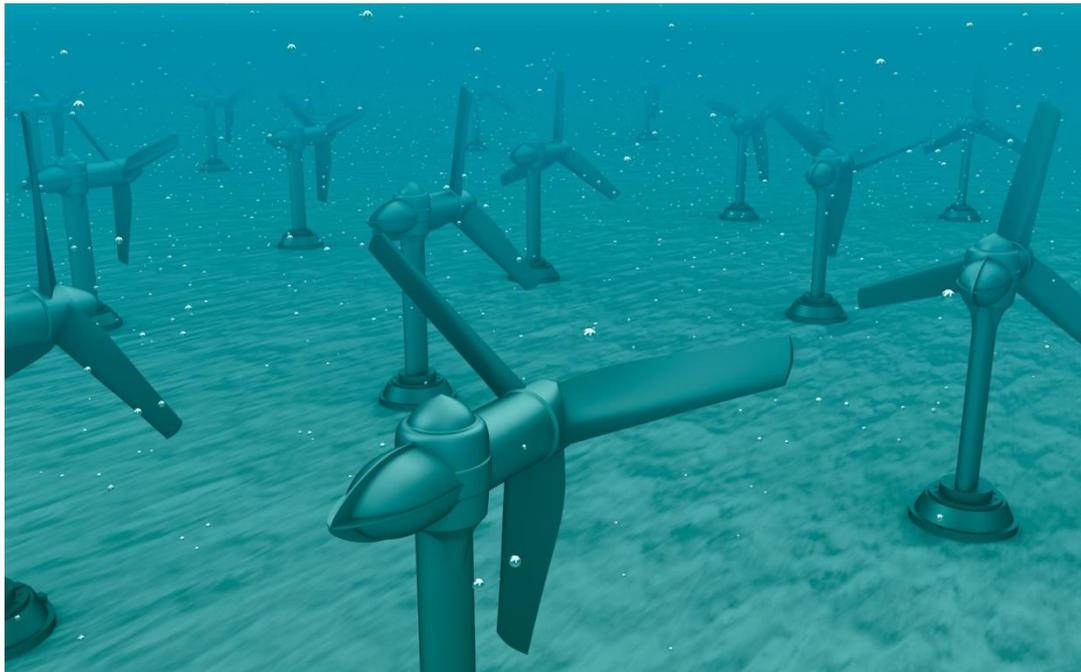


Figure I. 4 : énergie marémotrice [17]

La régularité et la prévisibilité du courant de marée est l'un des avantages de l'exploitation de l'énergie marémotrice. En outre, ni le changement climatique ni le manque de pluie ou de fonte des neiges n'ont d'impact sur le courant de marée. Les problèmes de pollution, les effets physiques et les répercussions environnementales sont minimales. En outre, l'énergie marémotrice peut être utilisée pour l'électrolyse de l'eau dans des applications de production d'hydrogène et de dessalement de l'eau [18]. La production d'énergie marémotrice est une technique relativement nouvelle, c'est pourquoi des recherches et des progrès supplémentaires sont nécessaires.

Avantages :

- Renouvelable et durable.
- Prévisible.
- Faibles coûts d'exploitation.
- Pas d'émissions de gaz à effet de serre.
- Possibilité de colocalisation avec d'autres utilisations marines.

Inconvénients :

- Coûts d'investissement élevés.
- Impact sur l'environnement.
- Disponibilité limitée des emplacements.
- Problèmes de maintenance.
- Affecte la vie marine.

4.Énergie hydraulique

Utilisée depuis des millénaires, l'énergie hydraulique, souvent appelée hydroélectricité, est une source d'énergie renouvelable. L'électricité est créée en utilisant la force de l'eau courante. L'un des types d'énergie renouvelable les plus anciens et les plus répandus est l'hydroélectricité, qui utilise le débit naturel de l'eau pour produire de l'électricité [18]. Dans les régions à forte pluviométrie et dans les régions vallonnées ou montagneuses suffisamment proches les unes des autres, c'est la source d'énergie privilégiée [19].

Afin d'élever le niveau de l'eau derrière le barrage et de fournir la hauteur de chute la plus élevée possible, les centrales hydroélectriques sont souvent construites à l'intérieur de barrages qui retiennent les rivières. Un barrage à haute chute peut générer beaucoup plus d'énergie qu'un barrage à basse chute, car la quantité d'énergie potentielle pouvant être générée à partir d'un volume d'eau est directement proportionnelle à la hauteur de chute [19].



Figure I. 5 : énergie hydraulique [20]

L'hydroélectricité est une source d'énergie propre et renouvelable qui n'émet pas de gaz à effet de serre ni d'autres polluants atmosphériques. Étant donné qu'elle peut être rapidement mise en œuvre pour répondre aux variations de la demande, elle constitue également une source d'énergie fiable. Source d'électricité polyvalente, l'hydroélectricité peut être utilisée pour fournir une charge de base, une charge de pointe et une charge de suivi [21].

Actuellement, 6,3 % de la production nationale totale d'électricité et 31,5 % de la production nationale d'électricité renouvelable proviennent de l'hydroélectricité [21]. Il s'agit d'un type d'énergie renouvelable qui transforme en électricité l'eau qui coule dans les rivières et l'eau retenue dans les barrages [22]. Les installations hydroélectriques sont souvent situées sur ou à proximité d'une source d'eau, car la quantité d'énergie qui peut être extraite de l'eau en mouvement dépend à la fois du volume de l'écoulement de l'eau et du changement d'altitude [22].

Comme elle existe depuis longtemps, l'hydroélectricité est une source d'énergie renouvelable. L'électricité est créée en utilisant la force de l'eau en mouvement. Pour la production d'électricité de base, de pointe et de suivi de charge, l'hydroélectricité constitue une source d'énergie sûre et fiable. Il s'agit d'une source d'énergie polyvalente qui peut être utilisée dans les petits et les grands bâtiments.

Avantages :

- Renouvelable et durable.
- Rentable.
- Fiables.
- Faibles coûts d'exploitation.
- Contrôle des inondations.

Inconvénients :

- Coûts d'investissement élevés.
- Impact sur l'environnement.
- Disponibilité limitée des sites.
- Problèmes de maintenance.
- Affectation de la migration des poissons.

5.Énergie géothermique

Utilisant la chaleur du noyau fondu de la Terre, l'énergie géothermique est une source d'énergie renouvelable. Cette énergie thermique peut alimenter les systèmes électriques et les systèmes de chauffage et de refroidissement des bâtiments. Les ressources géothermiques sont des réserves d'eau chaude naturelles ou créées par l'homme à différentes températures et profondeurs sous la surface de la Terre (23). La chaleur étant produite en permanence à l'intérieur de la terre, l'énergie géothermique, qui est l'énergie thermique de la terre, est une source d'énergie renouvelable (24).



Figure I. 6 : énergie géothermique [25]

Les centrales géothermiques fonctionnent en pompant de l'eau à grande profondeur, là où les roches chauffées de la Terre la réchauffent. L'eau chauffée est ensuite renvoyée à la surface, où elle est utilisée pour produire de l'électricité. Quelles que soient les conditions météorologiques, les centrales géothermiques peuvent fonctionner pratiquement 24 heures sur 24, sept jours sur sept, et fournir continuellement de l'électricité [26,23].

L'énergie géothermique est une source d'énergie renouvelable et sans carbone qui présente un certain nombre d'avantages. Elle est domestique, renouvelable et a un impact environnemental modeste. Par rapport aux centrales au charbon, éoliennes et solaires photovoltaïques de capacité comparable, les installations géothermiques sont petites et consomment moins de terrain par gigawattheure [23].

En conclusion, l'énergie géothermique est une source d'énergie renouvelable produite en puisant la chaleur dans le noyau fondu de la Terre. Elle peut être utilisée pour produire de l'énergie ou pour chauffer et refroidir des bâtiments. Il s'agit d'une source d'énergie durable et neutre en carbone.

L'énergie géothermique est une source d'énergie renouvelable qui présente plusieurs avantages, notamment celui d'être domestique, renouvelable et d'avoir un impact environnemental modeste.

Avantages :

- Renouvelable et durable.
- Fiable.
- Rentable.
- Faibles émissions.
- Peut assurer le chauffage et le refroidissement.

Inconvénients :

- Disponibilité limitée de l'emplacement.
- Coûts d'investissement initiaux élevés.
- Incertitude géologique.
- Utilisation de l'eau.
- L'utilisation des sols.

6.Énergie de la biomasse

La bioénergie, communément appelée énergie de la biomasse, est une forme d'énergie durable produite à partir de plantes et de composants obtenus à partir de plantes. L'énergie solaire la plus abondante est concentrée et renouvelable dans la biomasse. La bioénergie peut être créée à partir de biomasse non alimentaire renouvelable, comme les déchets agricoles, les sous-produits de la sylviculture et les cultures énergétiques [27]. Le terme "matières premières" est utilisé pour décrire les ressources renouvelables de la biomasse qui sont soit utilisées directement comme combustible, soit transformées en un autre type de produit énergétique [28].



Figure I. 7 : énergie biomasse [29]

Les cultures énergétiques dédiées, les résidus de cultures agricoles, les résidus de cultures forestières, les algues, les résidus de transformation du bois, les ordures ménagères et les déchets humides sont autant d'exemples de matières premières de la biomasse. Ces matières premières peuvent être utilisées pour créer des carburants pour le transport, le chauffage et l'électricité [28].

L'énergie de la biomasse est une source d'énergie renouvelable qui présente de nombreux avantages. Il s'agit d'une source d'énergie locale qui peut réduire la dépendance à l'égard du pétrole importé. En outre, comme le dioxyde de carbone absorbé pendant la croissance des plantes utilisées comme matières premières compense le dioxyde de carbone libéré lors de la combustion de la biomasse, il s'agit d'une source d'énergie neutre en carbone [30].

En conclusion, l'énergie de la biomasse est une source d'énergie renouvelable produite à partir de plantes et de matériaux dérivés des plantes. Il s'agit d'une source d'énergie nationale qui peut réduire la dépendance à l'égard du pétrole étranger. L'énergie de la biomasse est une source d'énergie neutre en carbone qui peut être utilisée pour produire de l'électricité, de la chaleur et des carburants de

transport. Les matières premières de la biomasse comprennent les cultures énergétiques dédiées, les résidus de cultures agricoles, les résidus forestiers, les algues, les résidus de transformation du bois, les déchets municipaux et les déchets humides.

Avantages :

- Renouvelable et durable.
- Réduction des déchets.
- Rentable.
- Peut fournir du chauffage et de l'électricité.
- Neutre en carbone.

Inconvénients :

- Émissions.
- Disponibilité limitée et incohérence.
- Consommation élevée d'eau.
- L'utilisation des terres.
- Impact sur les prix des denrées alimentaires.

I. 5. Pntiel de l'énergie renouvelable en Algérie

Le gouvernement a lancé des politiques et des fonds pour le développement des énergies renouvelables dans le pays depuis 1998. L'Algérie dispose de sources d'ER prometteuses, telles que l'hydroélectricité, l'éolien, la géothermie, la biomasse et le solaire, en raison de sa situation géographique [31,32].

1.Énergie solaire

Le pays reçoit une irradiation directe estimée à 169 440 kW/m²/an avec une production potentielle de 3000 kWh/an [33,34]. Le tableau 1 montre le potentiel de production solaire en Algérie. Le désert du pays est considéré comme l'une des zones où l'irradiation solaire moyenne et la température sont les plus élevées au monde. La durée d'insolation est d'environ 2000 à 3900 heures par an, avec un

rayonnement horizontal de surface d'environ 3 à 5 kWh/m². Il existe un réseau de 78 stations de mesures météorologiques exploitées par l'Office national de la météorologie (ONM) et réparties sur l'ensemble du territoire. Les figures 7 et 8 montrent la distribution de l'irradiation et de la température dans le pays [35].

Tableau (I. 1) : Potentiel solaire en Algérie [36]

	Localisation		
	Zone côtière	Zone intérieure	Zone désertique
Surface (%)	4	10	86
Moyenne du lever du soleil (heure/année)	2650	3000	3500
Énergie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	2650

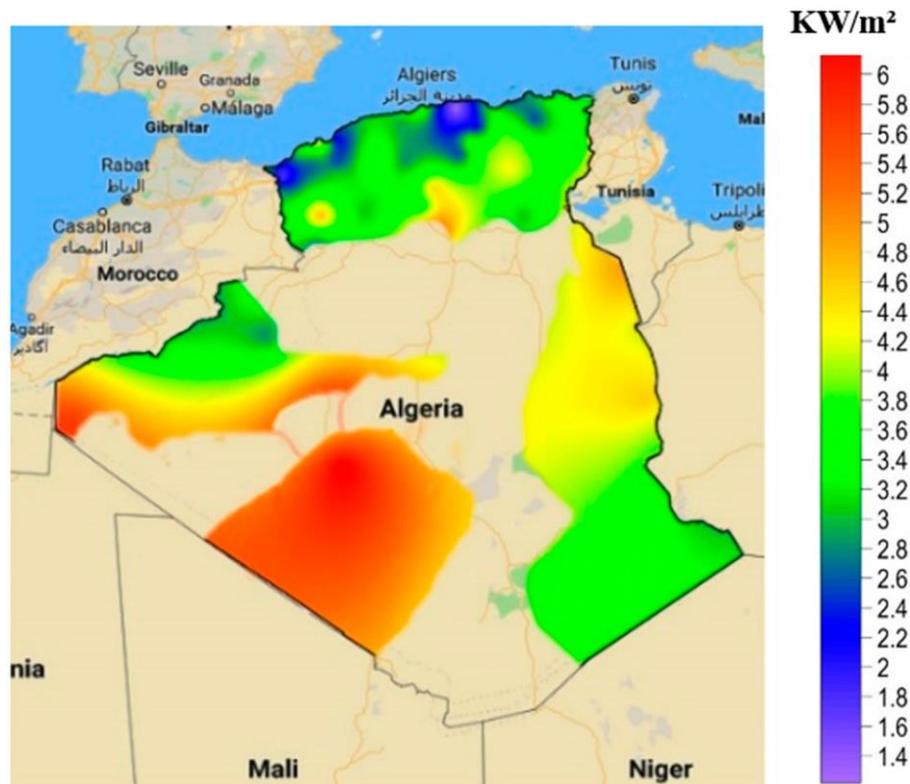


Figure I. 8 : L'irradiation solaire en Algérie en kW/m² [36]

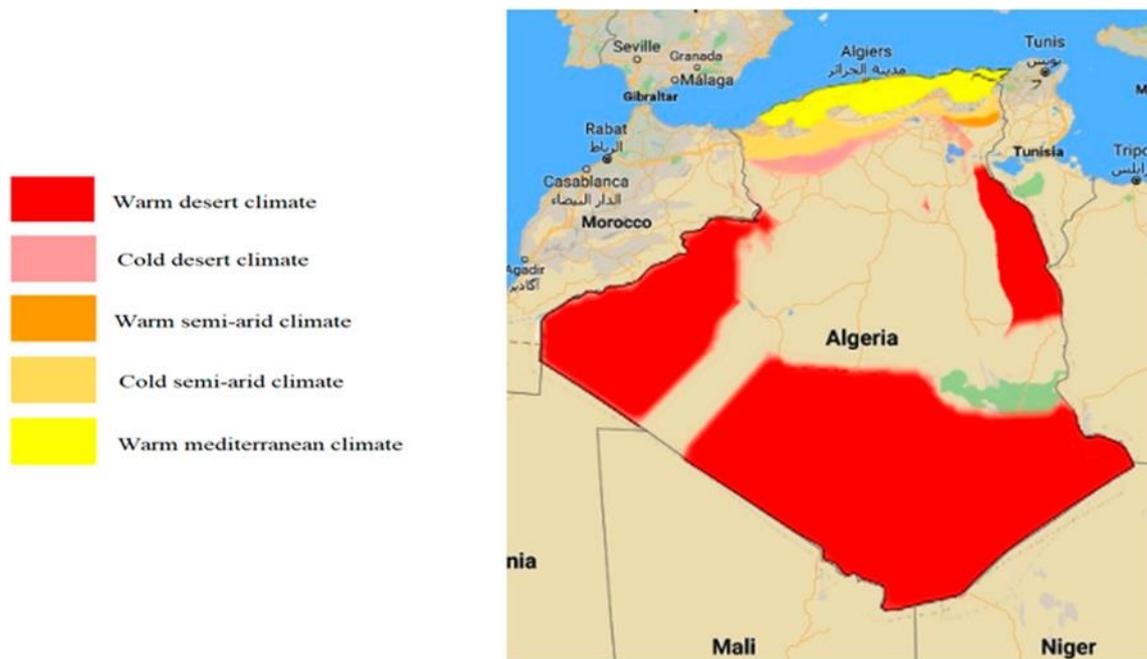


Figure I. 9 : La distribution de température en Algérie [36]

Le potentiel de production solaire dans la zone désertique du pays est illustré dans la Figure 9. La zone désertique du pays couvre 2048,297 km² de terre [37]. Cette zone a le potentiel de produire 168 1012 kWh/an en utilisant 50% du facteur d'espace disponible et un rendement de 10%.

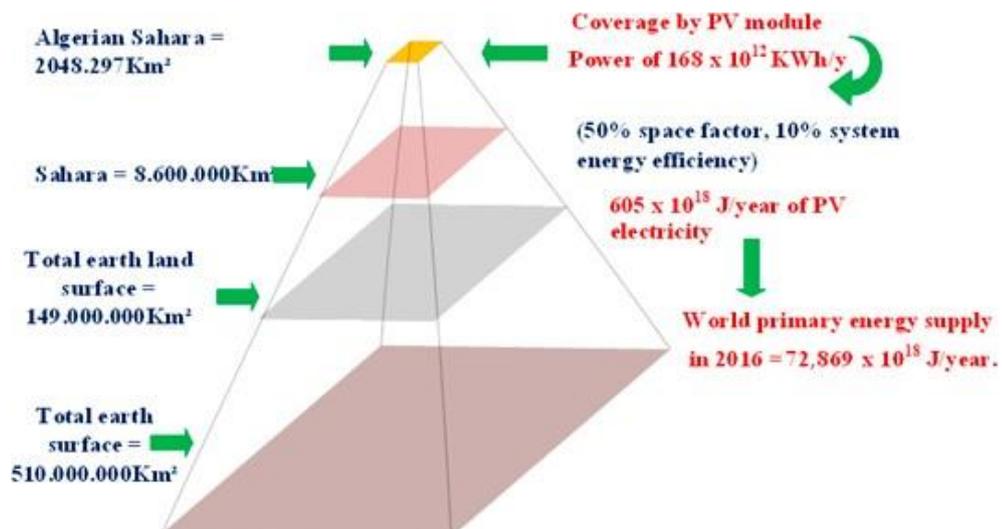


Figure I. 10 : Production solaire potentielle pour le désert du Sahara [36]

2.Énergie hydraulique

L'Algérie dispose d'un potentiel prometteur pour la production d'énergie hydroélectrique en raison de la disponibilité de sites de barrage et d'une pluviométrie moyenne élevée. Actuellement, très peu d'études ont examiné le potentiel de l'hydroélectricité dans le pays.

Les précipitations moyennes qui tombent sur le territoire algérien sont estimées à 65 milliards de mètres cubes par an, avec 103 sites de barrages potentiels [38]. La figure 10 montre les sites potentiels pour les barrages et les rivières qui se trouvent dans la région nord du pays.



Figure I. 11 : Emplacements potentiels des barrages et des rivières en Algérie pour la production d'énergie hydroélectrique [36]

3.Énergie éolienne

Les ressources éoliennes en Algérie varient d'un endroit à l'autre en fonction de la topographie et du climat. Le pays est divisé en deux zones géographiques distinctes. La région nord du pays a un littoral de plus de 1600 km² avec une topographie montagneuse. Le désert se trouve quant à lui dans la région méridionale du pays. Plusieurs études ont été menées pour analyser le potentiel de production d'énergie éolienne dans le pays. Récemment, Y. Himri et al. ont mené une étude pour déterminer la faisabilité de la production d'énergie éolienne dans la région sud-ouest du pays [39].

En outre, Djamila Abdeslame a étudié les données éoliennes mesurées sur dix ans dans quatre localités du pays [40]. En outre, H. Daaou Nedjari et al. du CDER ont réalisé une étude pour déterminer les emplacements optimaux pour la production d'énergie éolienne dans le pays [41]. L'étude [41] du Centre de développement des énergies renouvelables (CDER) fournit une étude complète du potentiel éolien dans le pays à partir de 74 stations météorologiques.

Sur la base de ces études, l'Algérie dispose d'un bon potentiel de production éolienne dans plusieurs régions, telles que M'Sila, Bou Chekif, Djelfa et Mecheria. Ces régions bénéficient de conditions venteuses tout au long de l'année, avec des vitesses comprises entre 6 et 7 m/s. Bien qu'il y ait d'autres endroits avec des vitesses de vent élevées, comme In Salah et Adrar, ces endroits ne sont pas adaptés à l'installation de la production d'énergie éolienne en raison des conditions géographiques et de l'indisponibilité du réseau de transport d'électricité. D'autre part, les températures extrêmes jusqu'à 50 °C limitent l'installation dans les zones désertiques du sud du pays. La figure 11 illustre la vitesse du vent disponible dans les différentes régions du pays [42,43].

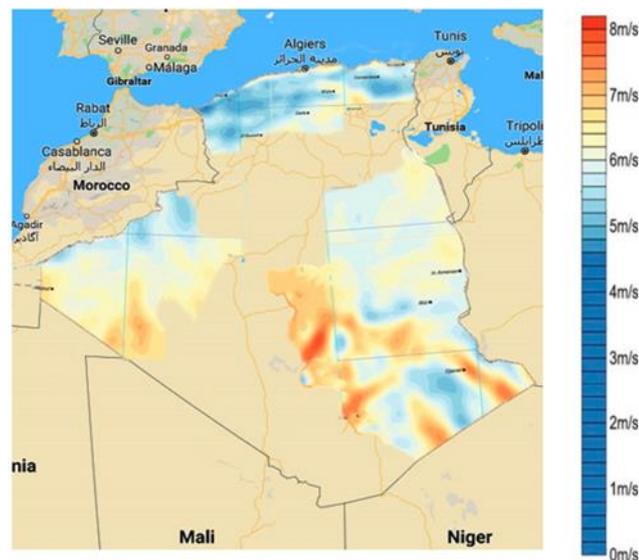


Figure I. 12 : Le potentiel de vitesse du vent en Algérie [36]

4.Énergie géothermique

L'énergie géothermique est une solution prometteuse pour accroître l'intégration des ER dans le pays en raison de la disponibilité d'un grand nombre de sources chaudes [44]. Seules quelques études ont

été publiées sur les ressources géothermiques potentielles en Algérie. Par exemple, Fatima Zohra Kedaïd du CDER a développé une base de données des sites géothermiques à basse température en Algérie, comprenant des informations telles que des cartes thématiques, des sources thermales et des ressources en eau chaude [45]. En outre, Hakim Saïbi a résumé les données géothermiques et l'environnement de l'Algérie à partir des données d'exploration géothermique disponibles auprès du CDER [46]. Récemment, Abdelkader Ait Ouali et al. ont mené des études pour évaluer le potentiel de production d'énergie géothermique dans le centre-nord de l'Algérie, dans des endroits où se trouvent 31 sources thermales, comme l'Ouarsenis, Biban et la Kabylie [47]. La figure 12 illustre les sites géothermiques potentiels en Algérie.

D'après les études de [45,46], il y a plus de 240 sources chaudes disponibles et réparties d'est en ouest et situées à une altitude modérée dans les régions montagneuses du pays. La température la plus élevée enregistrée est de 98 °C dans la zone orientale, de 68 °C dans la zone occidentale et de 80 °C dans la zone centrale. Quant à la zone méridionale, elle affiche une température moyenne de 50 °C. La figure 11 montre les emplacements disponibles pour la production d'énergie géothermique dans le pays. La figure 13 présente la carte géothermique de 41 échantillons de sources chaudes dans le pays.

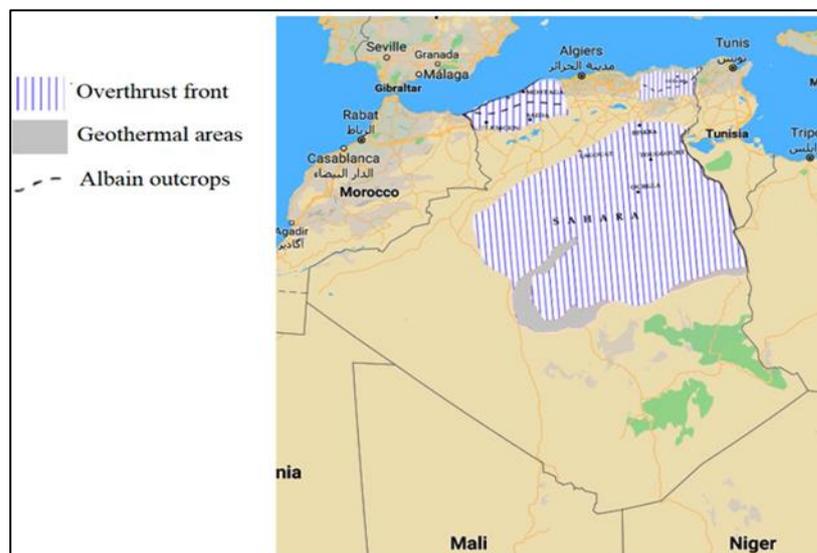


Figure I. 13 : Localisation du potentiel géothermique en Algérie [36]

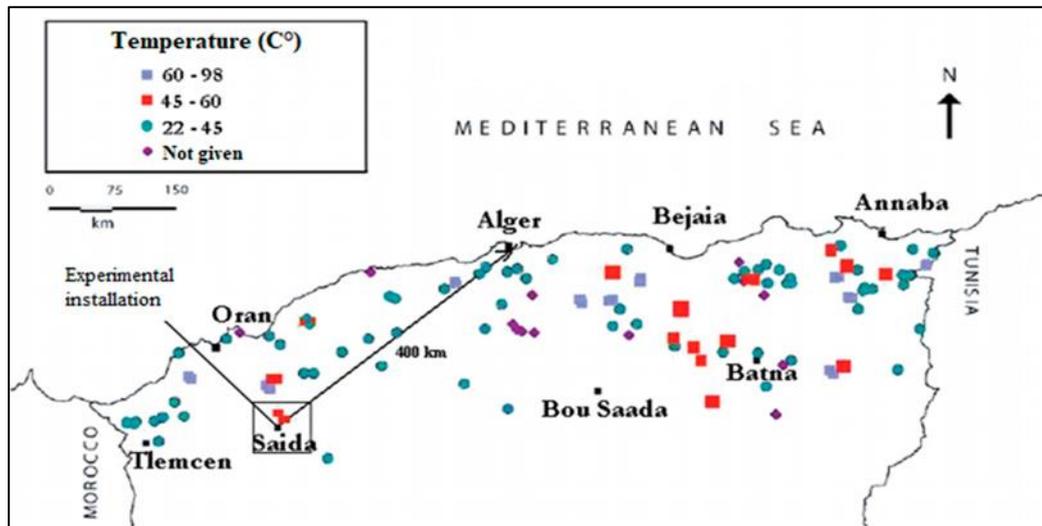


Figure I. 14: La carte géothermique en Algérie [36]

La formation du continent intercalaire constitue un grand nombre de réservoirs d'eau chaude dans la région sud du pays. Ce réservoir, connu sous le nom d'"aquifère albien", est exploité par le biais de forages et présente une température moyenne de 57 °C et un débit de 4 m³/s, avec une production potentielle allant jusqu'à 700 MW [46].

Le tableau 2 présente les emplacements des sources thermales dans le pays. Le terme arabe "Hammam" signifie sources chaudes.

Tableau I. 2 : Localisation des sources thermiques en Algérie [36]

Source Thermique	Location	Température (°C)
Hammam Rabbi	Saïda	49
Hammam Bouhadjar	Aïn	66.5
Hammam Ain Mentila	Témouchent	31
Hammam Righa	Relizane	31
Hammam Melouane	Aïn Defla	67
Hammam El Mesrane	Blida	38.5
	Djelfa	42

5.Énergie de la biomasse

L'Algérie dispose de ressources bioénergétiques vastes et diversifiées. L'évaluation des ressources bioénergétiques, telles que la biomasse, est essentielle pour le développement du secteur

bioénergétique dans le pays. Peu d'études ont été menées pour évaluer le potentiel bioénergétique du pays. Amine Akbi du CDER a fourni une vue d'ensemble du potentiel bioénergétique du pays qui se concentre sur les ressources de biomasse disponibles au niveau national pour la production d'énergie [48]. Boukelia Taqiy Eddine et Mecibah Med Salah ont quant à eux étudié le potentiel des déchets solides pour la production d'énergie à partir de la biomasse en Algérie [49]. Le potentiel de bioénergie dans le pays, basé sur le travail effectué dans [48], est résumé dans le tableau 3.

Tableau (I . 3) : Potentiel de bioénergie en Algérie [36]

Bio-Power Resources (GWh)	Annual Biogas Potential (Million m ³)	Potential Energy
Agribusiness and industry waste		
	10.5	17.74
Pomace available from the olive oil industry	-	215.5
Whey available from the dairy industry	2.35	3.97
Urban waste		
The organic fraction of household waste	974	1646
Sewage from wastewater treatment plants	22.91	38.72
TOTAL	1009.76	1706.43

I. 6. État des énergies renouvelables

1.Énergie solaire

Le plan directeur des ER en Algérie se concentre sur le développement de l'énergie solaire, avec un total de 13 500 MW de production solaire photovoltaïque prévue pour 2030. Les ER installées en Algérie en fonction de la technologie sont présentées dans la figure 15. La plupart des installations photovoltaïques dans le pays sont destinées à fournir de l'électricité aux zones rurales où l'extension du réseau est difficile. La figure 16 montre l'emplacement de toutes les stations photovoltaïques du pays, et la liste des fermes photovoltaïques installées figure dans le tableau 3.

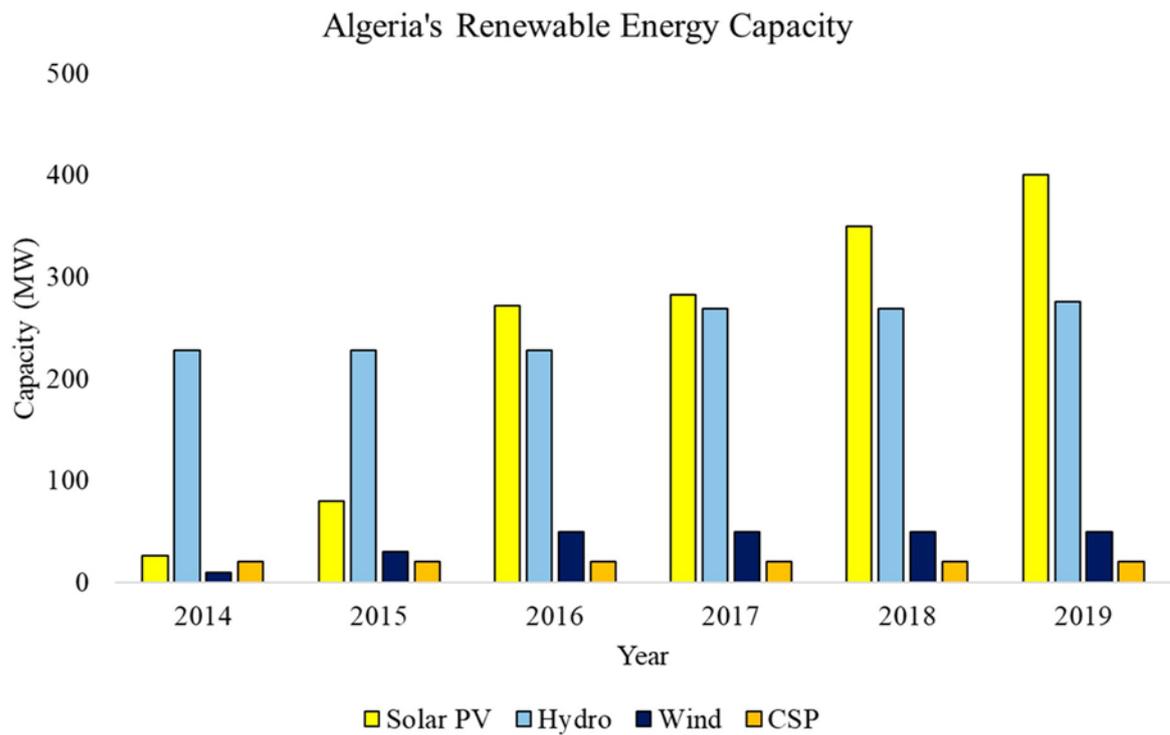


Figure I. 15 : Capacité installée d'ER en Algérie de 2014 à 2019 [36]

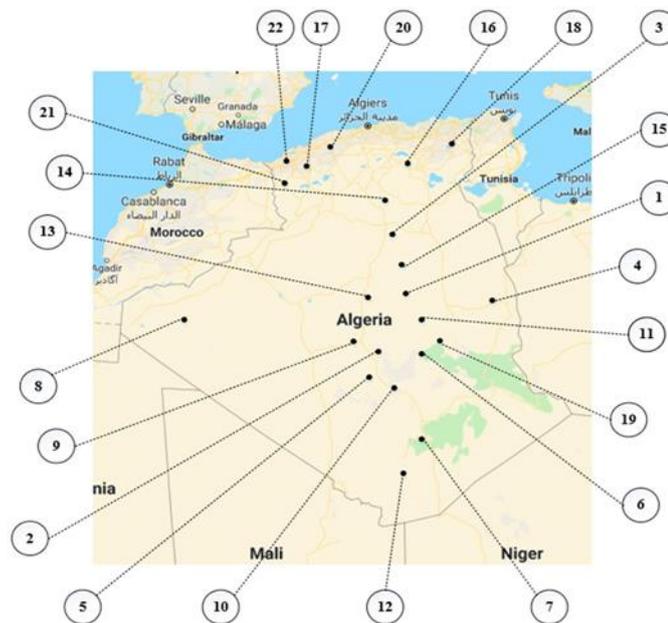


Figure I. 16 : Localisation des stations photovoltaïques en Algérie [36]

Tableau (I. 4): Centrales solaires installées [36].

	Station	Localisation	Capacité (MW)
1	SPP1	Hassi R'mel	25
2	SPE	Adrar	10
3	Ghardaïa	Ghardaïa	11
4	Djanet	Illizi	3
5	Adrar	Adrar	20
6	Kabertene	Adrar	13
7	Tamanrasset	Tamanrasset	13
8	Tindouf	Tindouf	9
9	Z.Kounta	Adrar	6
10	Timimoun	Adrar	9
11	Reggane	Adrar	5
12	In-salah	Tamanrasset	5
13	Aoulef	Adrar	5
14	Ain EL-Lbel	Djelfa	20
15	Khang	Lghouat	20
16	Oued EL-Kebrit	Souk Ahras	15
17	Sedrate Lghzal	Naama	20
18	Ain EL-Melh	M'sila	20
19	EL-Hadjira	Touggourt	10
20	Ain Shouna	Saida	30
21	E.B.S Chikh	El Bayadh	24
22	Telga	Telemcene	12

Tableau I. 5: Centrales solaires installées [36].



Figure (I. 17) : La première centrale solaire du pays

La première centrale solaire du pays a été installée en 2011, et il y avait 22 centrales disponibles - avec une capacité totale de 423 MW - à la fin de 2019, ce qui est sept fois inférieur à l'objectif de 3 000 MW d'ici 2021 [50]. Selon l'objectif initial, un total de 60 projets de centrales photovoltaïques a été planifiés pour la période 2011-2020.

Ces dernières années, le pays s'est appuyé sur des modules solaires importés de pays tels que la France, l'Espagne et la Chine, ce qui a entraîné des coûts élevés pour les projets solaires. C'est pourquoi le pays a encouragé la mise en place d'installations nationales de fabrication de modules solaires. Le gouvernement soutient également les entreprises de fabrication de modules solaires exigeant des modules et des systèmes photovoltaïques locaux dans les appels d'offres pour les grands projets solaires. Ainsi, plusieurs usines de modules solaires ont été développées en Algérie par des entreprises telles que Condor, ALPV, Aures Solaire et ENIE pour servir les projets solaires nationaux.

2.Énergie hydraulique

Il existe 13 centrales hydroélectriques en Algérie, avec une production annuelle de 389,4 GWh, ce qui représente le troisième mix énergétique du pays après le gaz naturel et le pétrole. Le petit système hydroélectrique du pays (système inférieur à 10 MW) contribue à hauteur de 42 MW à la production totale d'énergie [51].

La plupart des centrales hydroélectriques se trouvent dans les régions du nord du pays. La figure 20 montre l'emplacement des centrales hydroélectriques en Algérie. Le tableau 9 présente la liste des centrales hydroélectriques installées d'après le rapport du MEM. La capacité hydroélectrique, d'après le rapport du MEM de 2007, était de 269 MW pour un total de 13 centrales hydroélectriques [52]. Entre-temps, la capacité de production d'énergie hydroélectrique a été estimée à 228 MW entre 2014 et 2016 et a augmenté à 269 MW entre 2017 et 2019, d'après les rapports sur l'état de l'énergie hydroélectrique de l'Association internationale de l'énergie hydroélectrique (IHA) [53-54].

Tableau I. 6 : Centrales hydroélectriques en Algérie [36]

N°	Station	Capacité (MW)
1	Draguina (Bejaia)	71.5
2	Ighil emda (Bejaia)	24
3	Mansoria (Bejaia)	100
4	Erraguene (Jijel)	16
5	Souk el djemaa (Relizane)	8.085
6	Tizi meden (Tizi ousou)	4.458
7	Ighzenchebel (Algiers)	2.712
8	Ghrib (Ain defla)	7
9	Gouriet (Bejaia)	6.425
10	Bouhanifia (Mascar)	5.700
11	Oued fodda (Chlef)	15.6
12	Beni behdel (Tlemcen)	3.5
13	Tessala (Algiers)	4.228
TOTAL		269.208

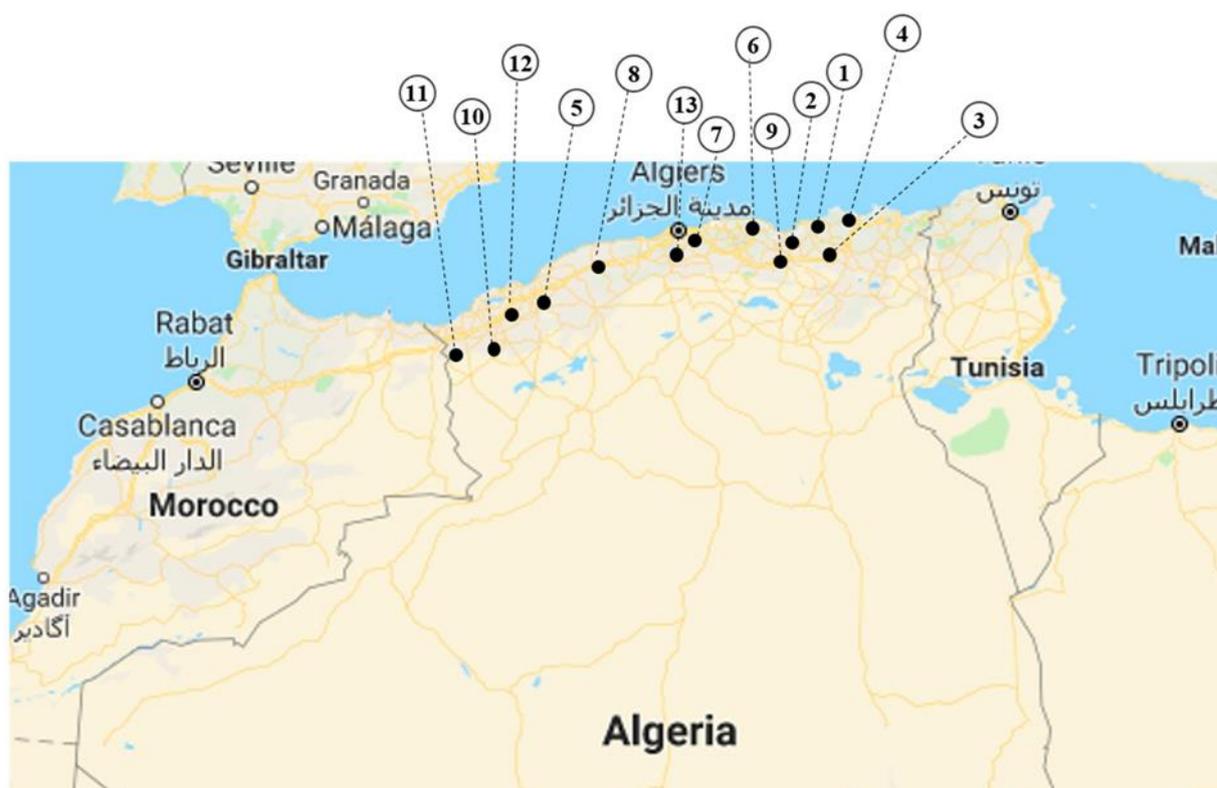


Figure I. 18: Localisation des centrales hydroélectriques en Algérie [36]

Bien que le pays dispose d'une capacité hydroélectrique de 269 MW, il a commencé à cesser progressivement l'exploitation de toutes les centrales hydroélectriques à partir de 2014 et à consacrer ses efforts aux barrages pour l'eau et l'irrigation en raison des pénuries d'eau [55,56]. Par conséquent,

la production d'hydroélectricité du pays a chuté de 13 % entre 2007 et 2017, comme le montre la Figure 21.

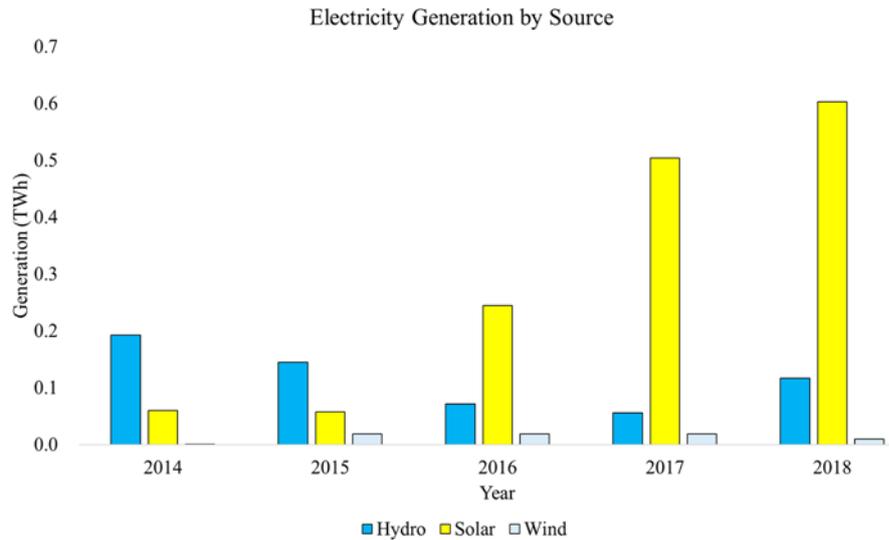


Figure I. 19 : Production d'électricité de l'Algérie par les énergies renouvelables de 2014 à 2018 [36]

3.Énergie éolienne

Le premier et unique parc éolien en Algérie a été installé en 2014 à Kabertene Adrar dans la région sud du pays avec une capacité de production de 10 MW [57,39]. Le parc éolien terrestre - détenu et exploité par Sonelgaz - comprend 12 unités de turbines de 850 kW de 850 kW. La figure 22 montre le parc éolien situé à Adrar. Initialement, sept centrales éoliennes étaient prévues pour être achevées d'ici 2021. Cependant, une seule centrale a été développée et est opérationnelle. Comme le montre la figure 17, la production d'énergie éolienne a chuté de 47,4 %, passant de 19 GWh en 2017 à 10 GWh en 2018. Bien que l'objectif de production d'énergie éolienne dans le pays soit de 3 000 MW d'ici 2030, aucune nouvelle ou information n'a été communiquée par le gouvernement ou les entreprises d'énergie renouvelable en ce qui concerne les projets d'énergie éolienne dans un avenir proche. La progression plus lente de la production éolienne par rapport à la production solaire peut être due à la vitesse modérée du vent, à une rentabilité moindre et à des coûts de maintenance associés élevés [58]. En outre, le pays a moins d'expérience en matière de production d'énergie éolienne, et les cartes des vents disponibles sont moins précises [58].



Figure I. 20 : Le parc éolien de 10 MW à Kabertene, Adrar [36]

4.Énergie géothermique

Le CDER a créé un centre géothermique situé à Saïda (Sidi Aïssa) pour la recherche et le développement de la production d'énergie géothermique. Le pays a un objectif de production géothermique de seulement 15 MW d'ici 2030. Actuellement, il n'y a pas de projets planifiés pour la production d'énergie géothermique dans le pays.

5.Bioénergie

Le CDER a mis en place un centre de recherche et de développement sur la bioénergie dans la décharge d'Ouled Fayet. L'objectif de production de bioénergie dans le pays est de 1 GW d'ici 2030. Actuellement, il n'y a pas de production d'énergie biologique dans le pays. En 2020, le gouvernement a déclaré que le pays rejoindrait le projet allemand Deserted pour l'approvisionnement en ER qui comprend le solaire, l'éolien, l'hydroélectricité et la biomasse en Europe et dans la région de l'Afrique du Nord [59].

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés le secteur énergétique actuel en Algérie, en particulier dans le domaine de l'énergie renouvelable. Comme nous avons vu une étude de cas sur les énergies renouvelables et une politique définie par l'Algérie pour la transition énergétique.

Chapitre II :

Energie

Solaire

Chapitre II : Energie Solaire

II .1 Introduction

Situé à 146 millions km de la terre, le soleil est une source d'énergie extraordinairement puissante. Chaque année le soleil envoie 1.6 milliards de KW à la terre. 40% seulement de cette énergie atteignent effectivement la surface terrestre, le reste étant réfléchi par les couches supérieures de l'atmosphère ce pourcentage relativement faible. Le rayonnement du soleil commande la majeure partie des grands processus terrestres, notamment météorologique et biologiques. Aujourd'hui, nous utilisons cette lumière du soleil dans toutes les techniques de production d'électricité à partir d'énergies renouvelables. L'une d'entre elles transforme directement le rayonnement solaire en énergie électrique [60], cette conversion s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque.

L'énergie solaire joue un rôle important dans la vie quotidienne de l'être humain, elle offre la solution pour répondre aux exigences énergétiques modernes comme la production d'électricité, chauffage de l'eau, éclairage extérieur, camping et randonnée et réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Dans ce chapitre, nous aborderons quelques notions indispensables sur l'énergie solaire l'installations et le fonctionnement des panneaux photovoltaïques.

II .2 Historique d'énergie solaire

Historique Quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque [61] :

- 1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.



Figure II . 1:Le physicien français Alexandre Edmond Becquerel [62]

- 1875 : Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.



Figure II. 2: Ernst Werner von Siemens [63]

- 1954 : Trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.



Figure II . 3:Calvin Fuller, Daryl Chapin, and Gerald Pearson [64]

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

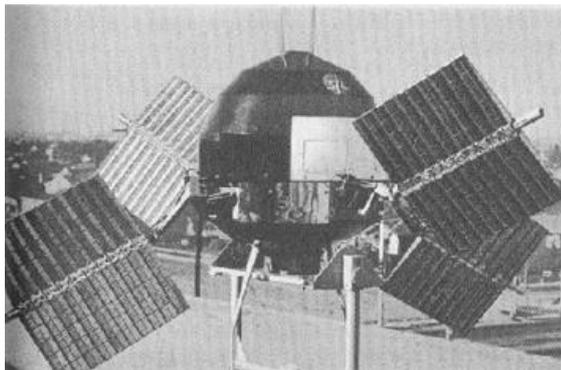


Figure II . 4: le premier satellite équipé de cellules à 10% de rendement [65].

- 1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.



Figure II . 5 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.[66]

- 1983 : La première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4 000 km en Australie.

II .3. Système photovoltaïque

Les cellules solaires sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité par un processus appelé « effet photovoltaïque » [67], car le soleil est la source lumineuse la plus intense de notre planète, et la plupart des applications sont en plein air. Mais certains préfèrent l'expression énergie lumière, pour insister sur le fait que toute source de lumière, même artificielle (ampoules, tubes fluorescents...), peut générer de l'électricité à travers une cellule solaire [68]. Il existe plusieurs types de cellules photovoltaïques :

II .3.1 les cellules monocristallines :

Les cellules monocristallines comportent une plaquette de silicium purifié détachée d'un gros cristal de ce matériau semi-conducteur. Ce type de cellules photovoltaïques est apparu en 1955, et c'est le plus ancien. Le monocristallin est difficile à obtenir. En effet, il nécessite un taux de pureté très élevé et donc plusieurs étapes de purification. Ces étapes sont délicates et donc coûteuses. Le rendement du silicium monocristallin est le plus élevé, il est compris entre 12 et 20% pour les cellules industrielles. Son coût élevé est aujourd'hui un handicap et le silicium monocristallin perd du terrain devant le silicium multicristallin [69]

3.1.1. Avantage cellule monocristalline

- Bon ration WC/m²(environ 150 wc /m²).
- Nombre de fabricants élevé.
- La très bonne stabilité et les durées de vie des dispositifs qui peuvent atteindre 30 ans.

3.1.2. Inconvénient cellule monocristallin

- Cout élevé.
- Rendement faible sous un faible éclairement.

II .3.2 Les Cellules Polycristallin

Les cellules polycristallin sont fabriquées à partir du même matériau que les cellules monocristallines, mais au lieu d'un gros cristal, elles sont formées de plusieurs cristaux moulés dans un bloc carré. Le silicium Polycristallin (multicristallin) est devenu aujourd'hui la technologie la plus utilisée. A-t-elle seule elle représente près de 50% du marché photovoltaïque. Car elle allie à la fois des rendements de conversion élevés qui varie entre 11 à 15% avec un coût de production faible par rapport à la filière silicium monocristallin et une durée de vie estimée 30 ans, mais qui reste toujours assez élevé [70].



(a) monocristallin

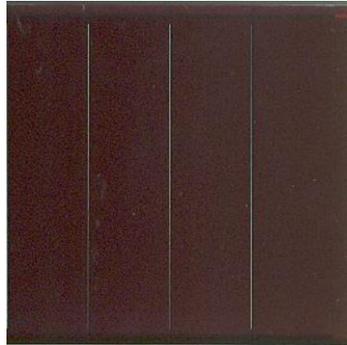


(b) polycristallin

Figure II. 6: Cellules du silicium (a) monocristallin et (b) polycristallin [71]

II .3.3. Cellules amorphes :

Elles ont un faible rendement (6 à 7 % soit 60-70 W/m²) [72], mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans de petits



produits de consommation telle que des calculatrices solaires ou encore des montres.

Figure II. 7: Cellule silicium amorphe en couche mince [73].

3.3.1. Avantages des cellules amorphes :

- Fonctionnent avec un éclairage faible
- Bon marché par rapport aux autres types de cellules
- Moins sensible aux températures élevées
- Souple

3.3.2. Inconvénients des cellules amorphes :

- Rendement faible en plein soleil (environ 60 Wc/m²), les cellules en couche mince nécessite une surface plus importante pour atteindre les mêmes rendements que les cellules épaisses
- Durée de vie courte (+/- 10 ans), performances qui diminuent sensiblement avec le temps

II .3.4 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

II .3.4.1-Courbe courant-tension

La courbe caractéristique d'une cellule photovoltaïque représente la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule photovoltaïque depuis le court-circuit(tension nulle correspondant au courant maximum produit) jusqu'au circuit ouvert (courant nul pour une tension maximale aux bornes de la cellule)[74]

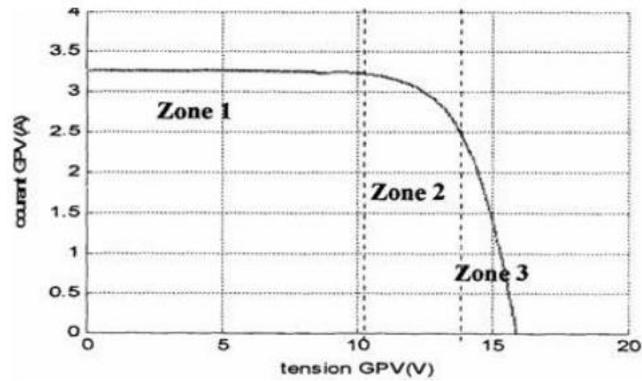


Figure II. 8 : Courbe caractéristique d'un module photovoltaïque

Zone 1 : le GPV est un générateur de courant (le courant est constant).

Zone 2 : c'est la zone de travail du GPV (puissance maximale).

Zone 3 : le GPV est un générateur de tension (la tension est presque constante).

II .3.4.2-Influence de l'éclairement solaire

L'énergie électrique produite par une cellule photovoltaïque dépend de l'éclairement qu'elle reçoit sur sa surface.

La figure (II. 9) représente la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque à une température constante [74].

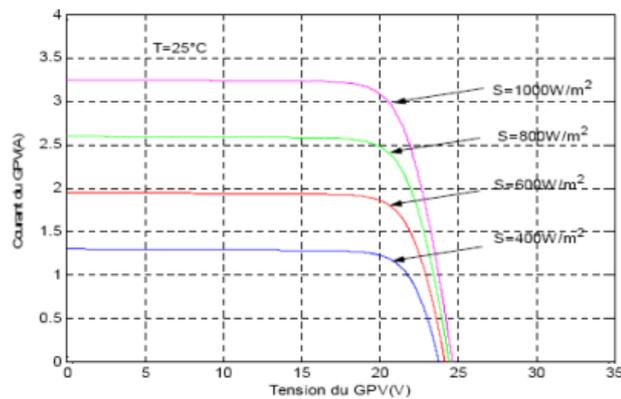


Figure II. 9 : Courbes I (V) d'un panneau solaire à divers ensoleillements

II .3.4.3-Influence De La Température

La température est un paramètre important puisque les modules sont exposés au rayonnement Solaire. Les courbes suivantes représentent l'évolution du courant et de la tension en fonction de La température de la cellule durant le même éclairage [74].

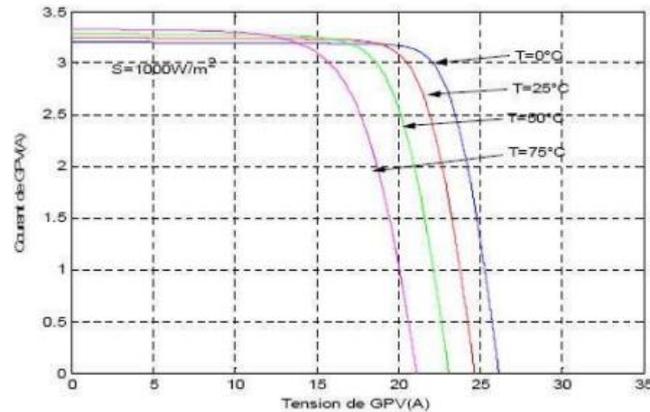


Figure II. 10 : Courbes I(V) d'un panneau à diverses températures.

On remarque qu'une élévation de la température de jonction des modules solaires provoque une diminution de la tension et une augmentation du courant.

Dans le cas de cellules au silicium, le courant augmente d'environ $0.025 \text{ mA/cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$; alors que la tension diminue de $2.2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$.

Plus la température augmente et moins le module est performant.

La puissance électrique produite par un panneau photovoltaïque dépend fortement de l'ensoleillement et à un degré moins important de la température des cellules. Ces deux variables influençant le comportement du système présentent des fluctuations quotidiennes et saisonnières.

Pour ces raisons, le panneau photovoltaïque ne peut fournir une puissance maximale que pour une tension particulière et un courant bien déterminé ; ce fonctionnement à puissance maximale dépend de la charge à ses bornes. À cet effet et en fonction du type de cette charge, un dispositif de contrôle devra être intégré dans le circuit de commande du convertisseur (hacheur ou onduleur). Ce dernier doit être capable de faire fonctionner le panneau photovoltaïque à sa puissance maximale [74].

II .3.5 Classification d'un système solaire photovoltaïque

Les systèmes PV sont composés selon les exigences en trois types :

- ✚ Autonome
- ✚ Hybride
- ✚ Raccordée au réseau

II. 3.4.1. Système autonome :

Le rôle des systèmes autonomes est d'alimenter un ou plusieurs consommateurs situés dans Une zone isolée du réseau électrique. Comme on le remarque sur la Figure (II .11) qui représente l'exemple d'un système PV autonome, un système de stockage est associé aux générateurs PV pour assurer l'alimentation à chaque instant et pendant plusieurs jours malgré l'intermittence de La production. Ce système de stockage représente une part très importante du coût de l'installation, et ces conditions de fonctionnement sont très contraignantes. Par conséquent, des systèmes de gestion de l'énergie ont été développé afin d'optimiser la durée de vie du système de stockage et de réduire les coûts de fonctionnement.[75]

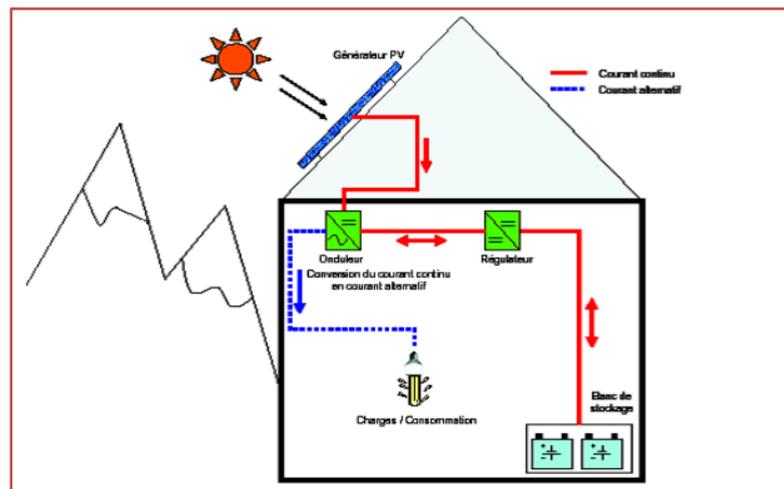


Figure II . 11: exemple d'un structure de système photovoltaïque autonome .[75]

Dans ce système, on doit fixer le nombre de jour d'autonomie de cette installation photovoltaïque, c'est-à dire le nombre de jours pendant lesquels les batteries n'ont pas besoin d'être rechargées tout en conservant une consommation d'énergie normale. En général, cela représente le nombre de jours consécutifs sans soleil auquel vous pouvez faire face.

La capacité de stockage des batteries solaires

Le choix d'une batterie solaire est primordial pour adapter la capacité de stockage aux besoins énergétiques, à l'intensité installée et à la place disponible. Par exemple, une batterie sous-dimensionnée ne permettra pas d'atteindre le niveau d'autonomie souhaité. À l'inverse, une batterie surdimensionnée entraînera des surcoûts.[76]

II. 3.4.2. Système hybride :

Les systèmes hybrides reçoivent une partie de leur énergie d'une ou plusieurs sources supplémentaires, qui sont également indépendants des réseaux de distribution d'électricité. En pratique Le panneau solaire hybride fonctionne à la fois avec un générateur photovoltaïque combiné à une éolienne ou à des capteurs thermiques (donc, il permet de produire à la fois de l'électricité et de la chaleur). Un tel système s'avère un bon choix pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance assez élevée.

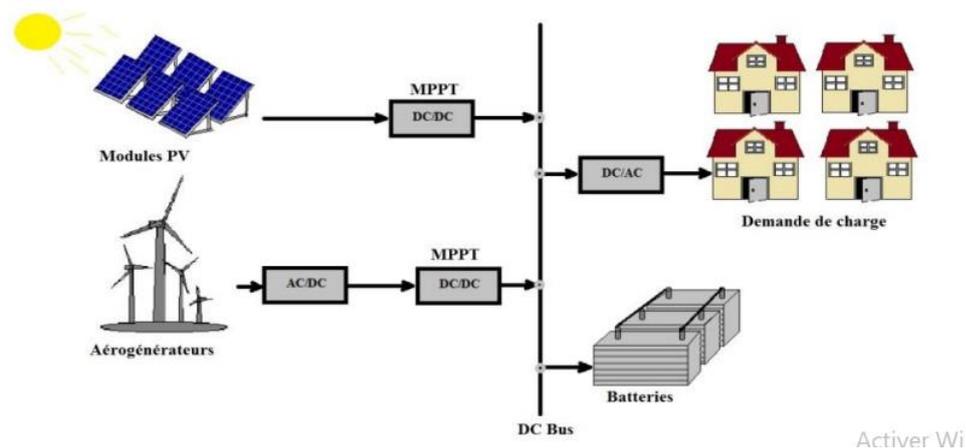


Figure II. 12 : exemple d'une structure de système photovoltaïque hybride [77]

II. 3.4.2.1 Types des panneaux solaires hybride : Air, Eau

Un capteur hybride PV/T est un système combiné, associant le solaire photovoltaïque et le solaire thermique dans un seul cadre. Il permet de réaliser une production simultanée d'électricité et de chaleur ; une cogénération d'énergie qui permet d'améliorer le rendement global du système. Une étude spécifique a été consacrée à un tel système pour en réaliser une modélisation. Dans le cadre de cette étude un programme de simulation a été élaboré et validé à travers des résultats expérimentaux relevés de diverses études. La présente communication est consacrée à l'exposé de l'étude réalisée dans le but d'examiner les performances et les caractéristiques énergétiques électriques et thermiques d'un capteur hybride PV/T.

II. 3.4.2.1.1 Capteurs solaires hybride à air [78]

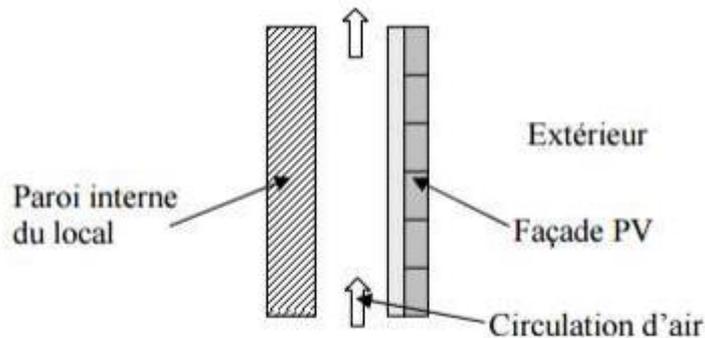


Figure II . 13 : Coupe de la lame d'air en sous-face des panneaux PV
[78]

Les études paramétriques menées par ces auteurs ont montré que les dimensions et la position des modules PV le long de la lame, ont une forte influence sur le comportement thermique et aérodynamique du système. En 1999, Garg et Adhikari proposent un programme de modélisation d'un capteur solaire hybride à air permettant d'en prédire les productivités thermique et électrique. Le rendement des panneaux PV est calculé à partir d'une fonction linéaire décroissante.

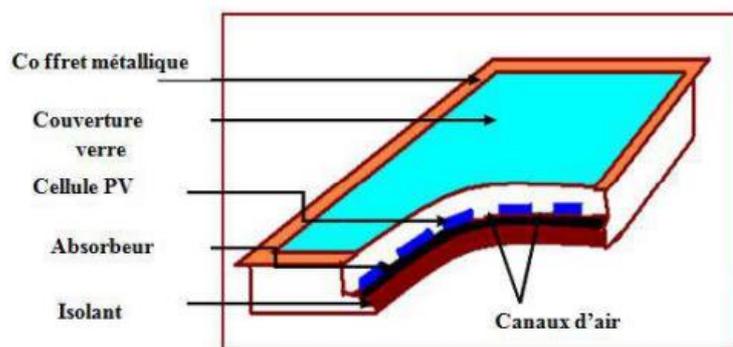


Figure II. 14 : Schéma du capteur solaire hybride à air [78]

Ce capteur solaire est composé d'une couverture transparente, d'un absorbeur peint en noir et d'un support arrière bien isolé (Figure II .14)

Les cellules PV sont collées sur l'absorbeur par l'intermédiaire d'une couche adhésive choisie pour ses bonnes propriétés de conduction thermique et d'isolation électrique. Hegazy compare en 2000, les

performances thermiques et électriques de quatre capteurs solaires hybrides à air qui sont différenciés par le mode de refroidissement (mécanique) des panneaux PV, à savoir au-dessus (prototype I), en dessous (prototype II), de part et d'autre (prototype III) de l'absorbeur, et par double circulation d'air (prototype IV) (Figure II.15).

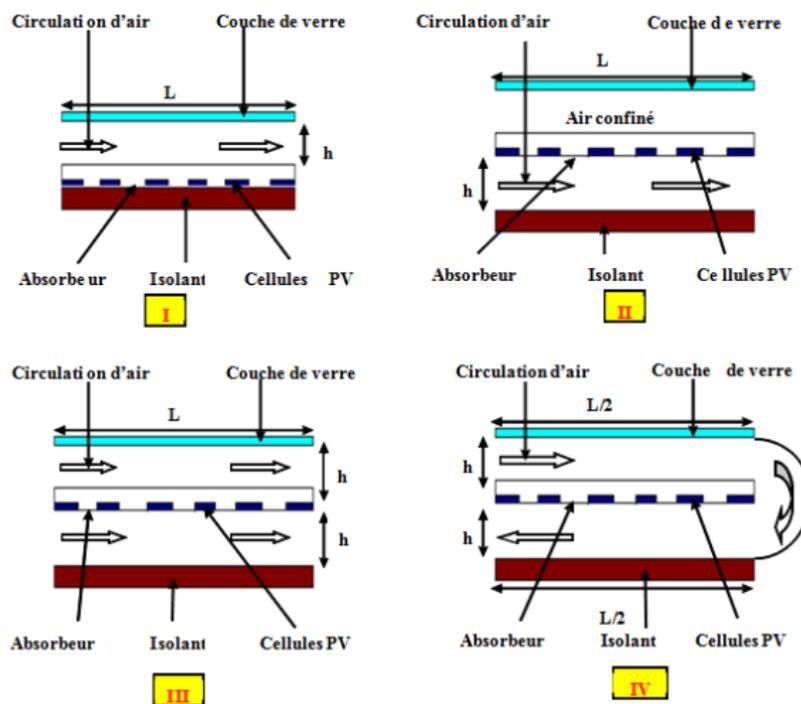


Figure II. 15 : Les prototypes I, II, III, IV de capteur solaire hybride à air [78]

Ce type de capteur relativement simple, est constitué d'une couche absorbante à dos isolé, refroidi par un courant d'air circulant entre l'absorbeur et un couvercle de verre. On peut augmenter sa surface d'échange de chaleur en donnant à l'absorbeur soit un pouvoir émissif élevé, soit surface striée ou rainurée.

En 2006, Tiwari et al présentent l'étude théorique et expérimentale en régime permanent d'un capteur solaire PV/T à air ventilé naturellement ou mécaniquement. Ce capteur solaire est constitué de deux modules PV de 0.61 m² de surface chacun, connectés en série et montés sur une couche isolante non-corrosive de Tedlar. Le module PV est composé de cellules photovoltaïques collées entre elles par l'intermédiaire d'une couche d'EVA et protégées par une couche de verre. Ce composant a été intégré à un banc d'essai en acier inclinable et monté à New Delhi, en Inde (figure (II.16)). Des ventilateurs disposés à l'entrée de la lame d'air située entre le Tedlar et une couche isolante en bois permettent la ventilation forcée des modules PV en face arrière. L'énergie électrique produite est

stockée dans une batterie électrique. Cette analyse a montré que la récupération complémentaire de l'énergie thermique produite permet une amélioration du rendement global du système PV/T à air d'environ 18 %. [79]



Figure II. 16 : Banc d'essai du capteur solaire hybride à air

En 2007, Trip Anagnostopoulos a réalisé l'étude de capteurs solaires PV/T hybrides dont le fluide caloporteur est soit de l'air soit de l'eau, et pouvant être intégrés au bâti. L'objectif de ces travaux était de réduire la température de fonctionnement des modules PV, d'accroître la production d'air préchauffé et de réduire les pertes thermiques à travers l'isolant en sous-face du composant. Pour cela, la configuration d'un capteur solaire PV/T à air a été modifiée à moindre coût. Des études paramétriques menées sur un système PV/T à air ont montré qu'une faible épaisseur de la lame d'air améliore les transferts thermiques mais réduit le débit massique de ventilation de la lame, d'où une réduction du rendement thermique du système. Pour pallier à ce problème en optimisant les transferts de chaleur convectifs et radiatifs, la solution proposée est d'accroître la surface d'échange entre l'air et les modules PV. Pour cela, des configurations intégrant des plaques nervurées ou planes, des tubes soudés à l'absorbeur ou des ailettes au sein de la lame d'air ont été envisagées (figure (II .17)). [80]

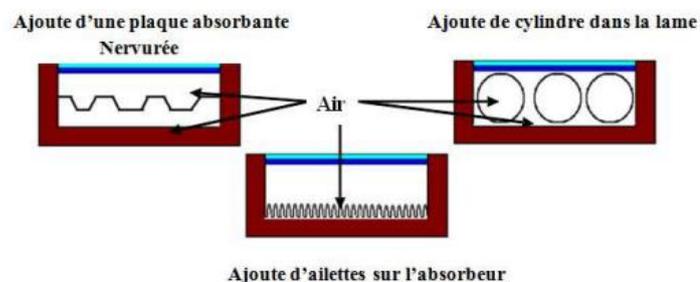


Figure II. 17: Modifications du capteur solaire hybride à air[80]

II. 3.4.2.1.2 Capteurs solaires hybrides à eau :

En 2001, Trip Anagnostopoulos a effectué l'étude d'un capteur solaire hybride faisant appel à deux types de fluides caloporteurs disposés de manière superposée. Trois configurations ont été conçues et analysées expérimentalement afin d'évaluer le comportement de chacune des formes de production thermique (à air ou à eau). Le système le plus performant schématisé sur la figure (II .18), comporte un absorbeur soudé à des tubes en cuivre situé en face avant du composant, une plaque métallique plane et des ailettes disposées sur la paroi inférieure de la lame d'air.

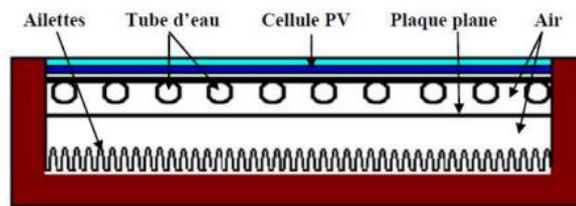


Figure II. 18 : Capteur solaire hybride à deux fluides et à fonctions superposées.

En 2002, un capteur solaire PV/T hybride vitré a été étudié par Sandnes et Rekstad. Ce système est composé de cellules PV en silicium monocristallin collées sur un absorbeur en plastique noir polyphénylèneoxyde par l'intermédiaire de 0.5 mm d'adhésif à base de silicium.

Cet absorbeur est muni de canaux de circulation d'eau en sous-face (figure (II .19)). L'eau circule par l'intermédiaire de la force de gravité. Le panneau PV de surface 0.32 m² est constitué de 6 rangées de 5 cellules PV en série de 1.5 W chacune. L'analyse de ce prototype a consisté en la conception, et la modélisation du composant complétée par une étude expérimentale en vue d'évaluer ses performances thermique et électrique, et les interactions entre la production thermique en eau et la production électrique. Pour cela, des modèles analytiques existants ont été modifiés en vue de les adapter à ce système hybride. La température de l'absorbeur croît dans la direction de l'écoulement du fluide caloporteur, est du haut vers le bas du capteur solaire. [81]

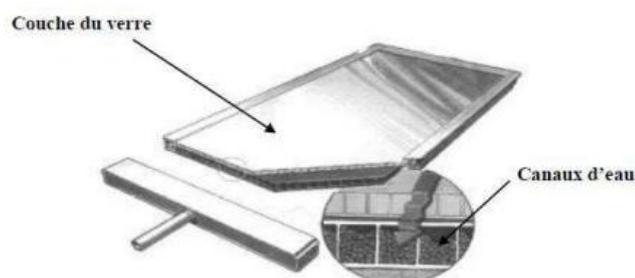


Figure II. 19 : Schéma du capteur solaire hybride à eau SolarNor.

En 2003, un capteur solaire hybride à eau est étudié en régime dynamique par Chow qui en réalise un modèle adapté aux simulations thermiques en régime transitoire. Il s'appuie pour cela, sur les travaux de Bergene et Lovvik qui présentent en 1995, la modélisation d'une configuration similaire de capteur solaire PV/T hybride à eau. Ce modèle thermique se base sur la méthode des volumes finis et permet de calculer les performances horaires, les gains thermiques et électriques, les rendements et le comportement thermique des diverses couches de ce capteur solaire. Le composant est constitué d'une couche de verre séparée d'un panneau PV par une lame d'air confinée (figure (II.20)). Le panneau PV est fixé à l'absorbeur par l'intermédiaire d'une couche adhésive composée d'EVA (Ethylène Acétate de Vinyl) et de Tedlar. Cet absorbeur se présente sous forme d'ailette soudée à des tubes de circulation d'eau parallèles, régulièrement espacés et connectés aux deux extrémités par des tubes de jonction. Cette disposition permet d'uniformiser le débit d'eau dans chacun des tubes. Les côtés et le fond du capteur solaire sont isolés. [82]

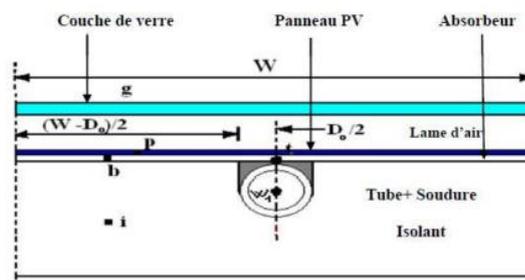


Figure II. 20: Capteur solaire hybride à eau.

En 2007, Kalogirou et Trip Anagnostopoulos poursuivent une étude précédemment menée sur les capteurs solaires hybrides à air en analysant cette fois, le comportement de capteurs solaires hybrides à eau comportant des panneaux PV à base de cellules en silicium polycristallin ou de cellules amorphes, sur trois sites. Ces composants ont été intégrés à des bâtiments industriels et ont chacun une surface totale de 300 m². Le capteur solaire hybride a été isolé en face arrière par une couche de 5 cm de polyuréthane (figure (II. 21)). [83]

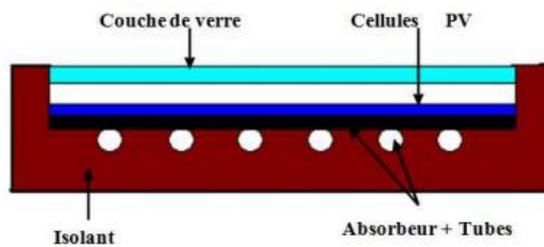


Figure II. 21:Section du capteur solaire hybride à eau étudié

II. 3.4.3. Systèmes PV raccordés au réseau (SPCR) :

Une installation PV peut être connectée en parallèle avec le réseau d'électricité. Les panneaux solaires sont connectés en série pour former des « < strings », eux même reliés à un onduleur. La tâche de l'onduleur est de transformer le courant continu sortant des panneaux en courant alternatif. Chaque onduleur est choisi en fonction de la puissance des panneaux et peut accueillir un ou plusieurs strings.

Si la consommation locale est supérieure à la production de l'installation PV, l'appoint est fourni par le réseau. Dans le cas contraire, l'énergie est fournie au réseau public et sert à alimenter les consommateurs.[84]

Au niveau de l'interface avec le réseau :

Deux compteurs d'énergie sont nécessaires

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

Deux options de branchement sont possibles

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

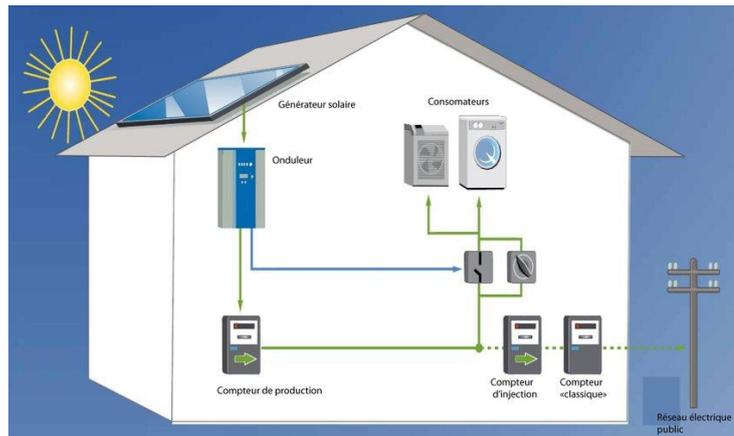


Figure II. 22 : exemple d'une structure de système photovoltaïque raccordée au réseau.[85]

II.4. Conversion photovoltaïque :

La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire consiste à convertir directement l'énergie lumineuse en énergie électrique, ce phénomène physique appelé « effet photovoltaïque » est un phénomène propre aux semi-conducteurs capables de capter l'énergie solaire pour la convertir en énergie électrique, Schématiquement, un photon de lumière incidente d'énergie $E=h.v$ permet sous certaines circonstances de mettre en mouvement un électron, produisant ainsi un courant électrique (courant continu).. Les cellules photovoltaïques sont fabriquées avec des matériaux semi-conducteurs principalement produits à partir de silicium mais il existe également d'autres matériaux qui peuvent être utilisés pour produire des cellules solaires. Ces matériaux émettent des électrons lorsqu'ils sont soumis à l'action de la lumière. Ceux-ci sont éjectés du matériau et ils circulent dans un circuit fermé, produisant ainsi de l'électricité[86].

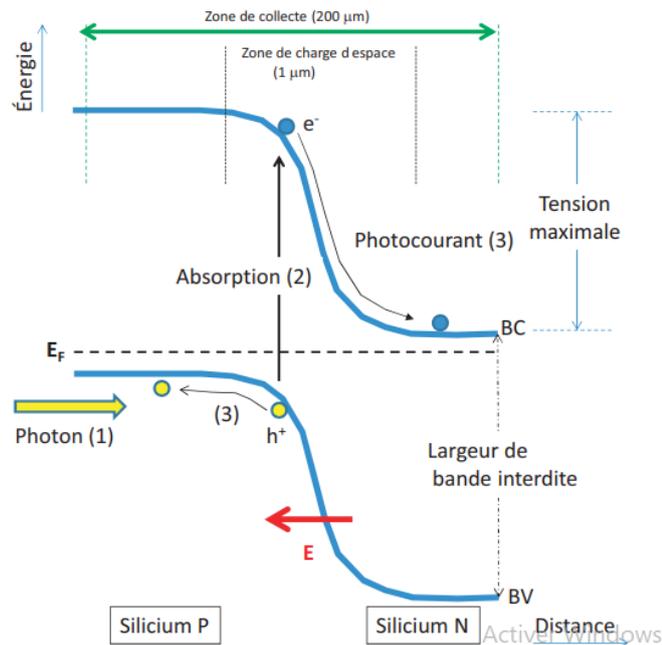


Figure II. 23: Schéma de principe de la conversion photovoltaïque par une jonction p-n (exemple du silicium). [87]

Les processus impliqués dans la conversion photovoltaïques [88] :

- Absorption de la lumière et génération de porteurs de charges libres.
- Séparation de ces porteurs pour éviter leur recombinaison.
- Collection des porteurs et passage dans un circuit externe.

II .4.1. Les semi-conducteurs :

II .4.1.1 Définition :

Les semi-conducteurs sont des matériaux intermédiaires entre les métaux et les isolants. Ce sont en principe des isolants à la température $T=0^{\circ}\text{K}$ car on peut établir que les électrons de la couche de valence occupent complètement la bande permise d'énergie la plus élevée (bande de valence). Mais la distance séparant cette bande pleine de la première bande vide supérieure dans le diagramme énergétique, c'est à dire la bande interdite de largeur E_g (**énergie de gap**) est faible alors qu'elle est notable pour les isolants, et dès que la température augmente les semi-conducteurs commencent à conduire l'électricité. Leur résistivité varie entre $10^{-3} \Omega\text{cm}$ et $10^9 \Omega\text{cm}$, alors que celle des métaux est de l'ordre de $10^{-6} \Omega\text{cm}$ et celle des isolants peut atteindre $10^{22} \Omega\text{cm}$ [89].

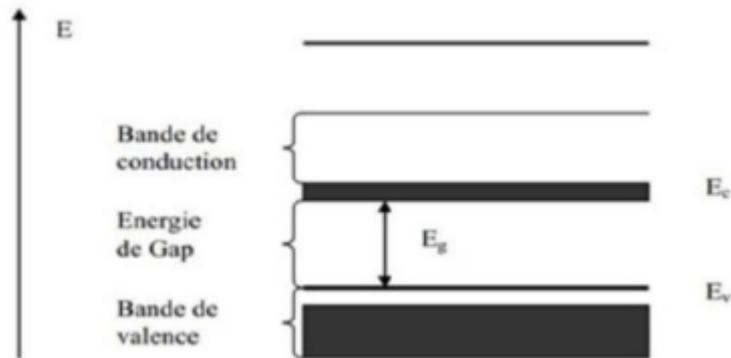


Figure II . 24 : Diagramme des bandes d'énergie des semi-conducteurs [90]

II .4.2 Dopage d'un semi-conducteur [91]

La technique de dopage d'un semi-conducteur consiste à lui ajouter des impuretés, c'est-à dire des éléments ayant un nombre différent d'électrons de valence (ou périphériques).

-Dopage de type N : L'ajout de phosphore (cinq électrons de valence) au silicium (quatre électrons de valence) se traduit par un excès d'électrons dans le réseau, cette association forme alors un semi-conducteur de type N (conduction assurée par des charges négatives)

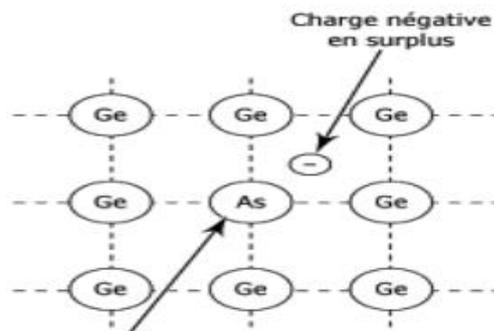


Figure II. 25 :Un exemple de Réseau cristallin de semi-conducteur type N.[92]

-Dopage de type P : l'ajout d'aluminium (trois électrons de valence) au silicium se traduit par un défaut d'électrons formant des trous dans le réseau, il s'agit alors d'un semi-conducteur de type P (conduction assurée par des charges positives)

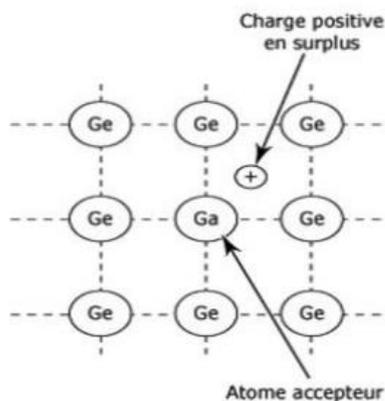


Figure II. 26 : Réseau cristallin de semi-conducteur type P [92]

II .4.3 Jonction P-N :

On définit la jonction P-N par la mise en contact entre un semi-conducteur de type N et un semi-conducteur de type P. Lorsqu'on les assemble, la différence de concentration entre les régions P et N génère ce que on appelle la circulation d'un courant de diffusion. Les trous de la région P, vont se déplacer vers la région N, en laissant derrière eux des de charges négatives. La même chose pour les électrons de la région N qui se déplacent vers la région P en laissant derrière eux des charges positives. Au niveau de la jonction P-N, une zone contenant des charges fixes positives et négatives est créer. Ces charges vont créer un champ électrique qui va s'opposer au déplacement des porteurs pour créer une situation d'équilibre électrique [93].

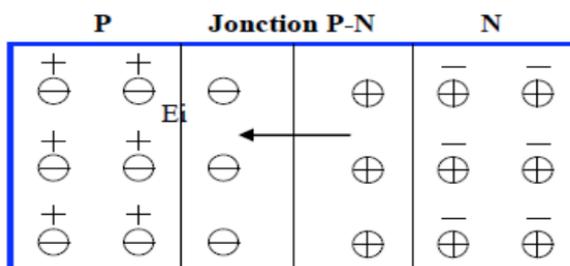


Figure II. 27 : Exemple d'une jonction P/N à l'équilibre non-polarisé. [93]

II .5. Matériels d'un système photovoltaïque :

Il existe plusieurs composants d'un système photovoltaïque :

II .5.1 Le panneau photovoltaïque :

Le panneau solaire ou champ solaire est un groupement de plusieurs modules en série et /ou en parallèle capable de transformer directement la lumière en électricité, ces modules sont montés sur

une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique. [94]



Figure II. 28 : Panneau solaire mobile [95]

La quantité d'électricité dans l'ensemble des composants des systèmes PV dépend de :

- La taille du panneau.
- L'ensoleillement du lieu d'utilisation.
- La saison d'utilisation.

La puissance délivrée par un panneau est importante dans les heures d'ensoleillement maximal et presque nul la nuit ce qui nécessite un élément de stockage.

➤ **Choix de l'orientation du module**

L'orientation des modules doit être vers le sud pour les sites de l'hémisphère Nord, et vers le nord pour les sites de l'hémisphère Sud. [96]

➤ **Choix de l'inclinaison du module**

Il faut que la surface soit perpendiculaire aux rayons solaires pour produire un maximum d'énergie, comme il est difficile de modifier plusieurs fois dans l'année l'inclinaison des modules on choisit généralement une valeur moyenne sur l'année.[96]

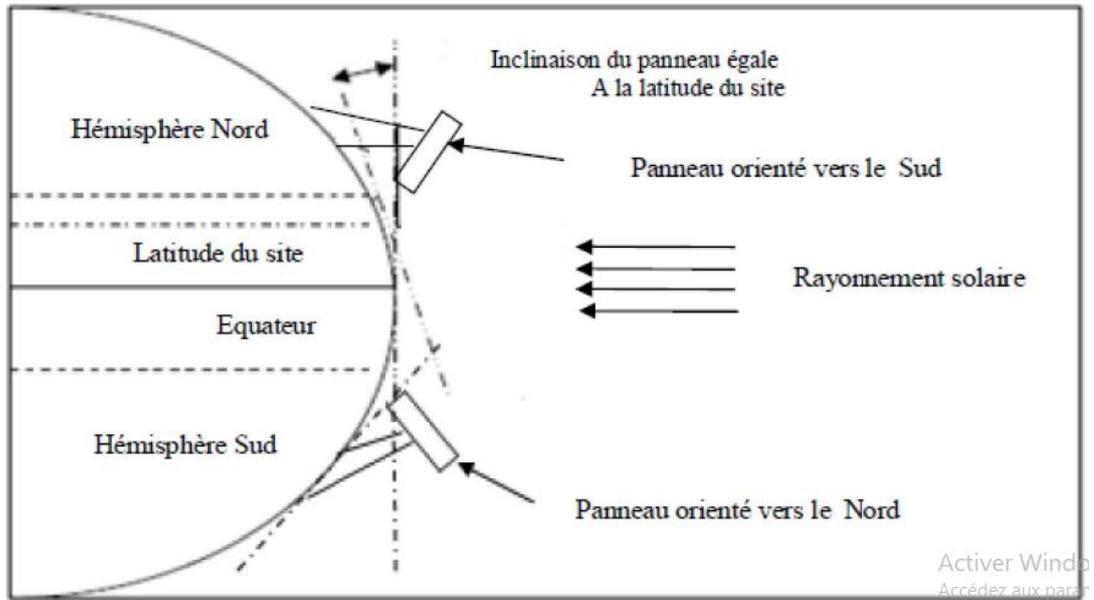


Figure II. 29 : comment incliné le panneau solaire. [96]

➤ **Association des modules photovoltaïques :**

Pour augmenter le courant du générateur en associe les modules en parallèle comme montrer dans la figure ((II .30)) suivante :

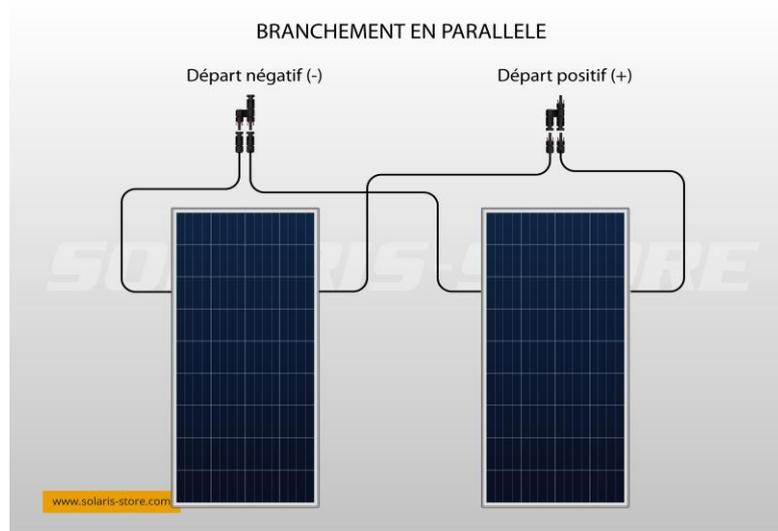


Figure II. 30 : Association en parallèle [97].

Pour obtenir une augmentation de la tension du générateur en associe les modules en série comme montrer dans la figure (II .28) suivante :

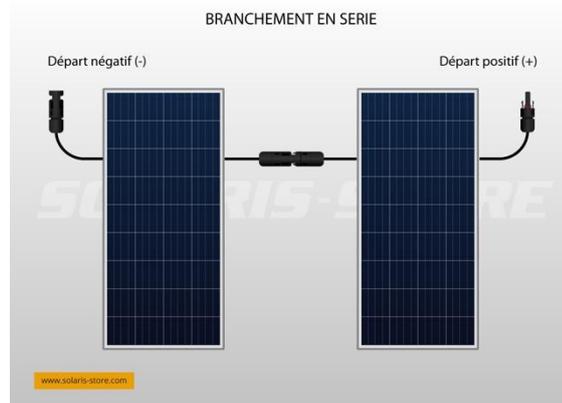


Figure II. 31 : Association en série [97].

II .5.2 Convertisseur DC/DC : [98]

Le convertisseur continu-continu (Hacheur), a pour fonction de fournir une tension continue variable à partir d'une tension continue fixe. La tension continue du départ peut être fournie à un réseau alternatif redressé et filtré. Une batterie d'accumulateurs assure une alimentation stabilisée. On distingue trois types de convertisseurs continu-continu non isolés :

- **Les abaisseurs** (BUCK) dans lesquels $V_o < V_i$
- **Les éleveurs** (BOOST) dans lesquels $V_o > V_i$
- **Abaisseur-éleveur** (BUCK-BOOST), mélange entre les deux précédents qui comportent plusieurs topologies

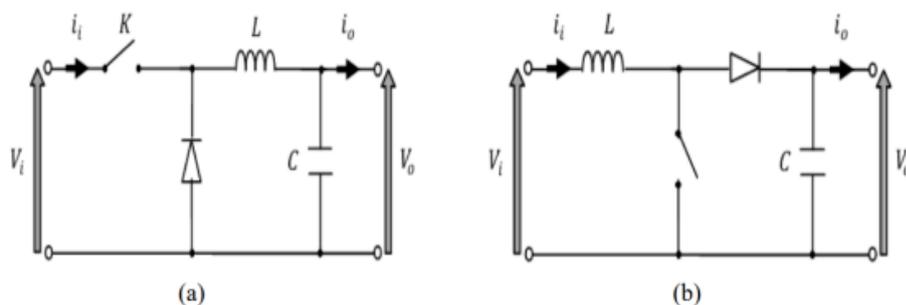


Figure II . 32: Schéma de principe d'un hacheur : (a) abaisseur , (b) éleveur [98].

II .5.3 Les batteries [99]

Les batteries sont souvent intégrées au générateur photovoltaïque, elles permettent le stockage de l'électricité pour les systèmes isolés, et restitue la nuit ou les journées nuageuse cette électricité accumulée durant la journée. Il existe différents types de batteries, on peut citer :

- ❖ La batterie plomb acide
- ❖ La batterie nickel cadmium
- ❖ La batterie sodium chlorure de nickel
- ❖ La batterie lithium-ion
- ❖ La batterie zinc air

II .5.3.1. Les caractéristiques d'une batterie [100]

➤ Capacité en Ampère heure

Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant.

Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou

50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures.

➤ Rapports de chargement et déchargement

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer.

Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

➤ Température

Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement.

Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie

➤ La durée de vie

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles)

➤ **Profondeur de décharge**

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge.

➤ **La tension d'utilisation**

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

➤ **Le rendement**

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

➤ **Le taux d'autodécharge**

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

II .5.3.2. La batterie solaire Plomb- Acide

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité.

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de Plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de Plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte.

[101]

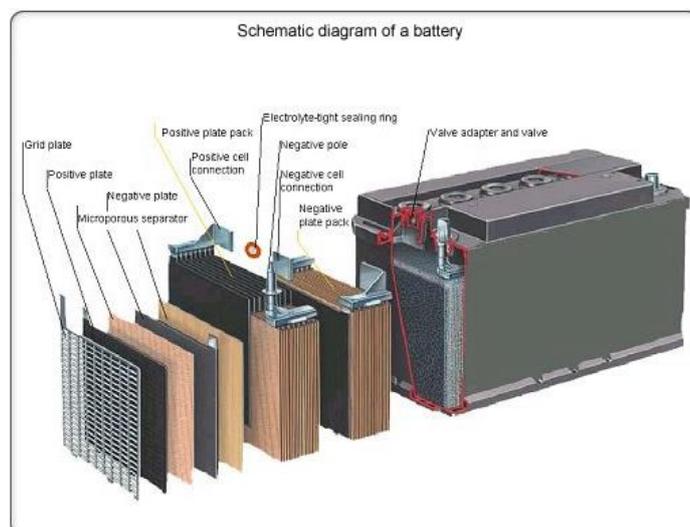


Figure II. 33 : les composants des batteries plomb [102].

II .5.4 Le régulateur solaire [103] :

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Lorsqu'une batterie se rapproche d'un état de charge complète, de petites bulles commencent à se former sur les électrodes positives. A partir de ce moment, il vaut mieux réduire le courant de charge non seulement pour éviter des dégâts mais aussi afin de mieux atteindre l'état de charge complète. Un courant trop élevé peut provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit. Le régulateur solaire est placé entre le panneau solaire et la batterie pour contrôler le courant qui circule entre les deux.

Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

-La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.

-L'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation

Les différents types de régulateurs solaires :

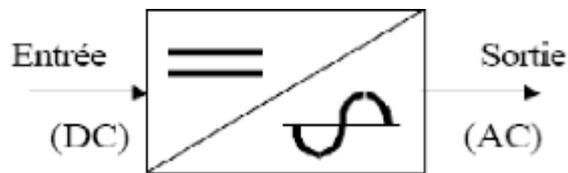
Il existe différents types de régulateurs solaires, notamment les régulateurs solaires à relais, Les régulateurs série, Les régulateurs shunt, les régulateurs solaires PWM (Modulation de largeur d'impulsion) et les régulateurs solaires MPPT (Poursuite du point de puissance maximale). Les régulateurs solaires MPPT sont les plus avancés et les plus efficaces, car ils peuvent maximiser la production d'énergie des panneaux solaires en s'adaptant aux conditions de lumière changeantes et en optimisant la tension et le courant de charge de la batterie.



Figure II. 34 : régulateur solaire MPPT [104]

II .5.5 Les onduleurs :

Un onduleur est un convertisseur statique assurant la conversion d'énergie électrique de la forme continue (DC) à la forme alternative (AC). En fait, cette conversion d'énergie est satisfaite au moyen d'un dispositif de commande (semi-conducteurs). Il permet d'obtenir aux bornes du récepteur une tension alternative réglable en fréquence et en valeur efficace, en utilisant ainsi une séquence adéquate de commande [105].



Convertisseur Continu (DC) - Alternatif (AC)

Figure II. 35 : schéma de principe de l'onduleur [106].

II .5.5.1 Différents type d'onduleurs autonomes

- Onduleurs à onde carré

C'est la technique la plus simple et la plus ancienne pour générer une onde alternative. Mais ne sont pas toujours capables d'alimenter certains appareils. [107]

- Onduleurs à onde sinusoïdale modifiée

La technologie utilisée est plus élevée que les onduleurs à onde carré, et mieux adaptés aux installations photovoltaïques autonome en termes d'efficacité et de rendement globale. [107]

- Onduleurs à onde sinusoïdale

Sont généralement les plus chers et plus aboutie que les onduleurs précédents. [107]

II .5.5.2 La caractéristique des onduleurs

Les principales caractéristiques des onduleurs sont :

Puissance nominale.

Puissance de point ou surcharge.

Consommation à vide ou en attente.

Tension d'entrée et de sortie.

II .5.6 Les charges :

La charge et l'équipement électrique alimenté par le système, pouvant être de type continu des équipements de télécommunication, nécessite un onduleur.

➤ Les lampes:

Représentent les principaux récepteurs des systèmes autonomes. Le type plus utilisé est lampe fluorescente qui présente un des rendements les plus élevés. Les autres sources de lumière comme les lampes à incandescence et à halogène seront réservées aux courtes durées d'utilisation.

➤ Réfrigération:

Les réfrigérateurs pour installations autonomes utilisent des compresseurs fonctionnant avec un moteur DC et une armoire à isolation renforcée.

➤ Ventilation:

Pour la ventilation de petits espaces, il existe une large gamme de ventilateur DC utilisés en électronique. Certains sont même déjà montés avec des cellules solaires dans une bouche de ventilation pour caravane ou bateau.

➤ Le pompage de l'eau:

Le pompage de l'eau est une des priorités du solaire dans les régions isolées du sud. Pour les utilisations au nord, les besoins les plus courants sont la mise en pression de l'eau d'une habitation.

➤ Ordinateurs:

La plupart des ordinateurs portables doivent être rechargés à des tensions de 15 à 20V, ce qui demande un convertisseur DC/DC adapté.

➤ L'imprimante:

Les modèles qui consomment le moins d'énergie sont des modèles à jet d'encre (12 W à 150 W), les modèles à impact consomment en général plus de 100W et les types à laser de 300 à 1500 W.

II .5.7 Câblage de système :

Le câblage d'un système photovoltaïque (PV) est un élément crucial pour assurer le bon fonctionnement et la sécurité de l'installation. Voici quelques éléments importants à considérer lors du câblage d'un système photovoltaïque :

- ✓ **Câblage des panneaux solaires** : Les panneaux solaires sont généralement câblés en série pour augmenter la tension de sortie. Cela signifie que les bornes positives de chaque panneau sont connectées aux bornes négatives du panneau suivant, créant ainsi une chaîne de panneaux solaires. Le câblage doit être protégé contre les intempéries et les dommages mécaniques.
- ✓ **Câblage du régulateur de charge** : Le régulateur de charge est un élément clé de l'installation photovoltaïque, car il protège la batterie contre la surcharge ou la décharge excessive. Le régulateur de charge est généralement câblé entre les panneaux solaires et la batterie, et doit être dimensionné en fonction de la puissance des panneaux solaires.
- ✓ **Câblage de la batterie** : La batterie doit être câblée avec des câbles de grosseur suffisante pour supporter la charge électrique. Les bornes de la batterie doivent être protégées contre les courts-circuits et les surcharges.
- ✓ **Câblage de l'onduleur** : L'onduleur convertit le courant continu produit par les panneaux solaires en courant alternatif utilisable pour alimenter les appareils électriques. L'onduleur doit être connecté à la batterie et aux circuits électriques de l'installation.
- ✓ **Protection contre les surtensions** : Les systèmes photovoltaïques sont sensibles aux surtensions, il est donc important de protéger l'installation contre les surtensions éventuelles. Des parafoudres peuvent être installés pour protéger les composants électroniques contre les surtensions.
- ✓ **Étiquetage** : Tous les câbles et les composants doivent être correctement étiquetés pour faciliter la maintenance et les réparations éventuelles.

II .6. Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome :

II .6.1 Définition :

Le dimensionnement d'un système PV est un procédé qui définit le nombre et la technologie du matériel à utiliser afin d'optimiser au maximum le rapport qualité et cout du projet, aussi il est indispensable de connaitre précisément le besoin en énergie d'une installation, afin de concevoir un

système PV adapté. Au vu du cout encore élevé du watt solaire, il est souhaitable d'éviter de surdimensionné le système PV en privilégiant l'économie d'énergie au niveau des récepteurs [108].

Quel que soit le mode d'utilisation de l'énergie photovoltaïque étudiée, les critères de dimensionnement à respecter sont sensiblement identiques. Seule la réflexion diffère.

- pour une installation autonome, il faut trouver le meilleur compromis entre les besoins en électricité et le cout de l'investissement.

- Pour une installation raccordée au réseau, du type central destinée à la vente, le dimensionnement consiste à produire le plus d'énergie possible en fonction de la surface disponible et la capacité d'investissement du maître de l'ouvrage.

Un dimensionnement précis, est en réalité un processus relativement complexe car il y a de nombreux paramètres à prendre en considération, par exemple, la consommation du régulateur de charge doit être ajoutée à celle des récepteurs pour définir la consommation totale du système. Or le choix du régulateur dépend de la taille du champ photovoltaïque, lui-même déterminé par la consommation globale, donc la conception d'un système PV est le résultat d'une optimisation réalisée par itérations [109].

II .6.2 Étapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque :

Les étapes de dimensionnement d'une installation photovoltaïque autonome sont :

1. Evaluation la consommation
2. Dimensionnement d'un générateur photovoltaïque
3. Détermination de l'inclinaison des panneaux
4. Dimensionnement de stockage
5. Dimensionnement de l'onduleur
6. Dimensionnement des câbles de raccordement

II .6.2.1 Évaluation de la consommation [110]:

C'est l'étude de la consommation d'énergie requise par des dispositifs, qui sont généralement connus pour chaque appareil en watts ou en calories par jour dans différentes périodes (été, Hiver, Vacances). Donc c'est la somme de l'énergie quotidienne moyenne nécessaire pour le processus de dimensionnement, par exemple, TV, lampe, réfrigérateur, et d'autres appareils. Elle est donnée par la loi suivante :

❖ La consommation globale de système :

$$E = \sum_1^n E_i \quad (\text{II .1})$$

Avec :

E : La consommation globale de système

E_i : L'énergie journalière consommée d'un équipement (Wh/j)

Le temps moyen d'utilisation est plus délicat à cerner ; il faut le rapporter à :

- La saison.
- Le nombre d'occupants.
- Le mode d'utilisation.

Exemple :

Description des équipements	Puissance (W)	Nombre	Heures/jour	Consommation (Wh/jour)
Eclairage habitations	20	4	2	160
Eclairage salon	40	2	4	320
Eclairage cuisine	40	1	3	120
Eclairage salle de bain	30	2	2	120
Eclairage extérieur	40	2	2	160
Téléphone	20	1	5	100
Moteur	743	1	0,7	520,1
E_{DC} = 1500 Wh/jour				Consommation totale DC
				1.500

II .6.2.2 Dimensionnement d'un générateur photovoltaïque

✓ La puissance crête du générateur :

$$P_C = \frac{1000 \cdot E_{Tot}}{G \cdot F_{CG}} \quad (\text{II .2})$$

Avec :

E_{Tot} : Energie totale consommée par jour (Wh /J)

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

F_{CG} : Facture de correction globale (entre 0.65 et 0.9) la valeur souvent utilisée et 0.75.

✓ **Le nombre de modules en sérié :**

$$N_{MS} = \frac{V_{bat}}{V_{max}} \quad (II .3)$$

Avec :

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

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

✓ **Le nombre de module en parallèle :**

$$N_{MP} = \frac{N_{Tot}}{N_{MS}} \quad (II .4)$$

Avec :

N_{MP} : Nombre de module en parallèle.

N_{Tot} : Nombre totale de module.

N_{MS} : Nombre de module en sérié.

✓ **Tension de fonctionnement du champ photovoltaïque :**

Le choix de la tension nominale d'un système photovoltaïque dépend de la puissance crête du champ photovoltaïque :

Le tableau suivant, nous donne la tension adaptée la plupart du temps pour les différentes puissances du champ photovoltaïque.

Tableau II.1 : Tension recommandée pour les systèmes photovoltaïques.

Puissance crête	<500 Wc	500Wc-2KWc	>2KWc
Tension du système	12 V _{DC}	24 V _{DC}	48 V _{DC}

II .6.2.3. détermination d'inclinaison des panneaux :

Un panneau photovoltaïque capte le maximum d'énergie lumineuse quand il est perpendiculaire aux rayons du soleil, or l'angle d'incidence de ces rayons varie au cours de la journée et au cours des saisons (le soleil est bas sur l'horizon pendant l'hiver et haut dans le ciel en été).

Les dispositifs de poursuite de la course du soleil dans le ciel seraient donc idéaux s'ils ne présentaient pas quelques inconvénients : ils sont complexes, fragiles et coûteux, en plus que leur usage ne peut se justifier qu'en cas d'absence de couverture nuageuse (nébulosité).

L'inclinaison optimale généralement décidée d'un panneau solaire est donc fixe. On la choisit de manière à favoriser la production énergétique du mois le moins ensoleillé de la période envisagée d'exploitation, face au sud dans l'hémisphère nord. Le tableau suivant explique la manière de déterminer cette angle-là [111] :

Tableau II.2 : L'angle d'inclinaison par rapport à la latitude.[111]

Latitude du lieu	Angle d'inclinaison
0° – 9°	15°
10° – 20°	Latitude + 5°
21° – 45°	Latitude + 10°
46° – 65°	Latitude + 15°
66° – 75°	80 °

II .6.2.4. Dimensionnement de système de stockage (batteries) :

✓ Détermination de la capacité de stockage :

La capacité de stockage en (Ah) est donnée par [112] :

$$C = \frac{(Nj * E)}{(U * PD * RT)} \quad (II .5)$$

Avec :

C : capacité nominale de stockage (Ah)

Nj : nombre de jours d'autonomie (jour)

E : besoin énergétique journalier (wh)

U : tension continue du système (V)

PD : profondeur de décharge (compris entre 0 et 1)

RT : coefficient réducteur de température (compris entre 0 et 1)

✓ **Détermination du nombre d'élément batterie en série :**

On donne le nombre d'élément batterie en série par la relation [113] :

$$N_{bs} = U/U_b \quad (\text{II .6})$$

Avec :

U_b : tension de l'élément batterie donnée par le constructeur en V

✓ **Détermination du nombre de branche d'élément en parallèle :**

Le nombre de branche d'élément en parallèle [113] :

$$N_{bp} = C/C_e \quad (\text{II .7})$$

Avec :

C_e : capacité d'un élément batterie donnée par le constructeur exprimé en (Ah)

✓ **Détermination du nombre total d'élément batterie :**

Le nombre total d'élément batterie est donné par [113] :

$$N_b = N_{bp} * N_{bs} \quad (\text{II .8})$$

II .6.2.5. Dimensionnement de l'onduleur

Pour fixer la puissance nominale de l'onduleur, il faut estimer :

- La charge maximale probable pendant une durée supérieure à 10 - 20 minutes : les charges de courtes durées ne sont pas prises en compte.
- La charge maximale instantanée : elle est généralement égale à 04 fois la puissance du moteur le plus puissant que l'onduleur devra démarrer.

L'onduleur devra pouvoir fournir la charge maximale probable pendant une durée supérieure à 10-20 minutes en permanence et la charge maximale instantanée pendant quelque seconde. Ces douces valeurs sont bien connues des constructeurs [55]. La puissance maximale doit être la plus faible possible afin de limiter au maximum les pertes à charges faibles ou nulle, tous spécialement si l'onduleur est amené à fonctionner d'une façon continue. Si la puissance nominale est calculée au plus juste, le disjoncteur de l'onduleur déclenchera de temps en temps. Pour une habitation moyenne, l'onduleur a une puissance nominale comprise entre 0.5 et 2.5 KVA, selon le système retenu (valeur moyenne 1.8 KVA) [114].

II .6.2.6. Dimensionnement des câbles de raccordement

La plupart des installations photovoltaïques fonctionne sous une faible tension (12 à 48 Vcc) et courant relativement élevé. Or, les pertes en lignes sont proportionnelles au carré de l'intensité (RI^2 ou R est la résistance du câble considéré) [56]. Qu'il s'agisse du câble permettant de raccorder le panneau à la batterie, ou de celui permettant de raccorder la batterie aux appareils, il faut en calculer la section de façon à limiter les pertes en lignes. Celles-ci doivent être faibles par rapport à la puissance réellement transmise par la ligne, si possible inférieures à 04 ou 05 % de cette puissance [115].

II .7. Conclusion

Ce chapitre présente les systèmes photovoltaïques, les différents systèmes comme les systèmes hybride, systèmes connecté au réseau et les systèmes autonome avec batterie Les batteries solaires stockent l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques afin d'assurer l'alimentation électrique en toutes circonstances, Il aborde également les différents équipements importants pour une installation photovoltaïques comme les différents types de batterie et onduleur. Enfin, Le dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome.

CHAPITRE III :

Présentation de logiciel

Pvsyst 7.1

Chapitre III : Présentation de logiciel Pvsyst 7.1

III.1 INTRODUCTION :

PV système est un progiciel complet pour l'étude, le dimensionnement, la simulation et l'analyse des photovoltaïque. Dans ce chapitre nous présenterons et montrerons les étapes de calculs effectués par ce logiciel « PVSYST 7.1 ». Cet outil de modélisation est devenu important pour l'Industrie Photovoltaïque avec une prise en compte de tous les aspects : emplacement géographique, profile de charge, l'identification du système, ombrages, pertes, ...etc. pour donner les meilleurs résultats précisés et évaluée la bonne simulation [116].

III. 2 Premier contact avec Pvsyst 7.1

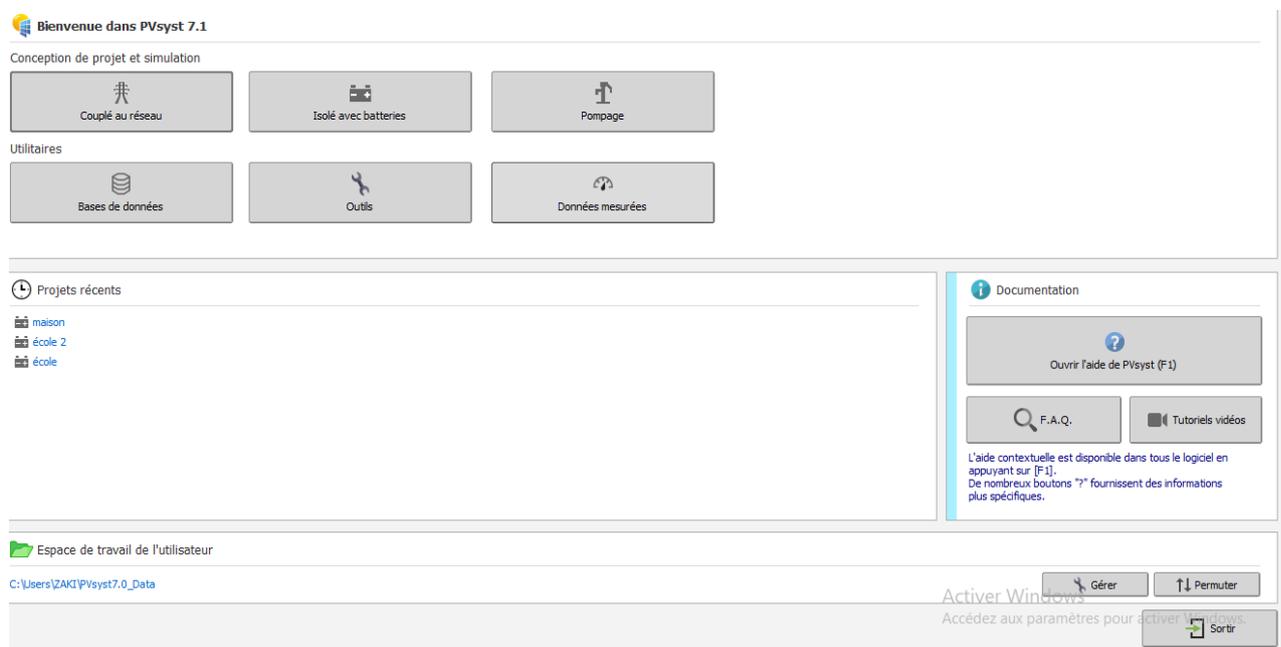


Figure III. 1: Démarrage pvsyst 7.1

Le premier contact avec Pvsyst 7.1 on a une conception de projet et simulation :

Couplé au réseau :

Isolé avec batterie :

Pompage :

Les systèmes autonomes sont toujours organisés autour d'une batterie de stockage. Un générateur photovoltaïque charge la batterie ou fournit directement son énergie à l'utilisateur. Par conséquent, le profil quotidien des besoins de l'utilisateur (consommation) doit être bien défini (c'est-à-dire en valeurs horaires).

Procédure pour les systèmes autonomes - Un guide étape par étape pour définir un système autonome dans PVsyst.

Étape 1 :

Comme pour tout système PVsyst, vous devez spécifier l'orientation de la matrice PV.

Étape 2 :

Il vous sera demandé de définir les besoins de l'utilisateur.

Par défaut, pour les petits systèmes, elle est proposée sous la forme d'une liste d'appareils domestiques et de leur consommation (saisonnnière ou mensuelle).

Pour les systèmes industriels ou plus importants, vous avez de nombreuses possibilités de définir un profil de charge (y compris par une liste de valeurs horaires).

Étape 3 :

L'outil de pré-dimensionnement (en haut) donne des conseils sur la puissance requise du banc de batteries et du champ photovoltaïque. Le calcul est basé sur vos fichiers météorologiques et les définitions ci-dessus. Vous devez définir :

- l'autonomie requise (généralement environ 4 jours),
- la probabilité acceptable que les besoins ne soient pas couverts par le système (PLOL : "Probability of Loss of Load"),
- la tension nominale du parc de batteries.

Le programme effectue alors un dimensionnement du système, de la même manière que dans la section "Prédimensionnement".

Vous disposez également d'un bouton permettant d'affiner les études de dimensionnement pour différentes distributions météorologiques, ou en fonction du paramètre PLOL.

Étape 4 :

Définir la batterie en choisissant un modèle de batterie (page "Stockage").

Le programme proposera le nombre de batteries en série et en parallèle en fonction des suggestions obtenues dans l'outil de prédimensionnement précédent.

Vous devez également définir les conditions de température de fonctionnement des batteries, en fonction de la mise en œuvre de votre système.

Étape 5 :

Définir la configuration du réseau et la stratégie de contrôle (page "Réseau PV") en :

- Reconnaître les propositions de pré-dimensionnement (puissance prévue ou surface disponible),
- Choix d'un modèle de module PV dans la base de données,
- Choix de la stratégie de contrôle (couplage direct, MPPT ou convertisseur DCDC).

Il est conseillé de commencer par choisir le "contrôleur universel" pour se débarrasser des conditions de contrôle spécifiques.

Le programme détermine le nombre de modules en série et en parallèle en fonction de la tension de la batterie ou des conditions MPPT et de la puissance photovoltaïque requise.

III. 3 Définir l'orientation

III . 3.1 Création de la première variante (de base) pour ce projet

Après avoir défini le site et les données météorologiques du projet, vous pouvez créer la première variante. Vous remarquerez qu'au début, il y a deux boutons marqués en rouge : "Orientation" et "Besoins de l'utilisateur".

La couleur rouge signifie que cette variante du projet n'est pas encore prête pour la simulation : des données supplémentaires sont nécessaires. Les paramètres de base qui doivent être définis pour toutes les variantes et qui n'ont pas encore été spécifiés sont l'orientation des panneaux solaires, les besoins de l'utilisateur, le type et le nombre de modules PV, le type et le nombre de batteries qui seront utilisées.

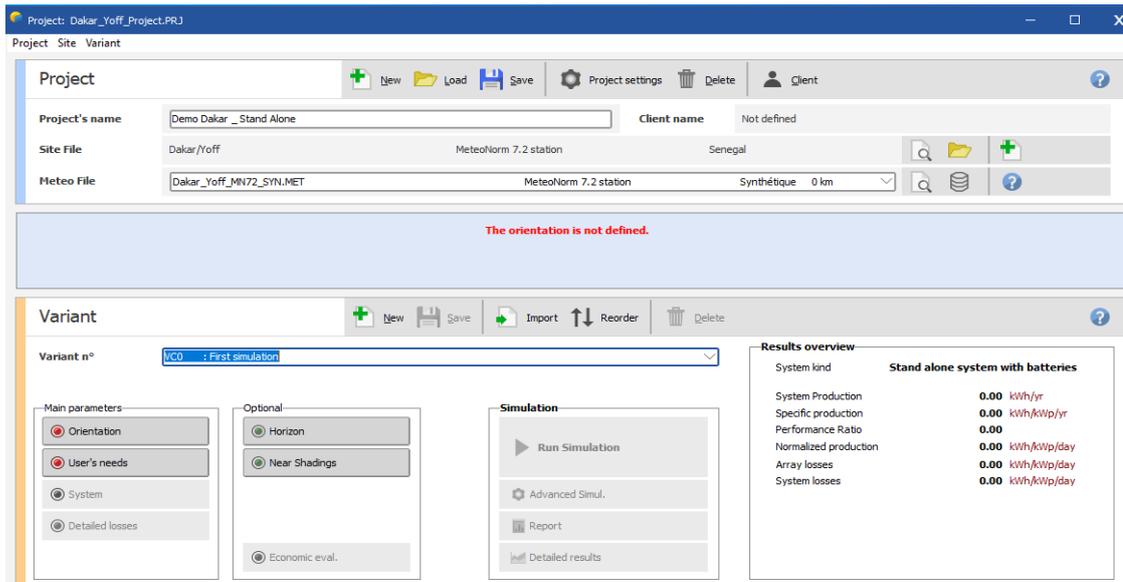


Figure III . 2 : Paramètres de base à définir.

Tout d'abord, vous devez cliquer sur le bouton "Orientation" :

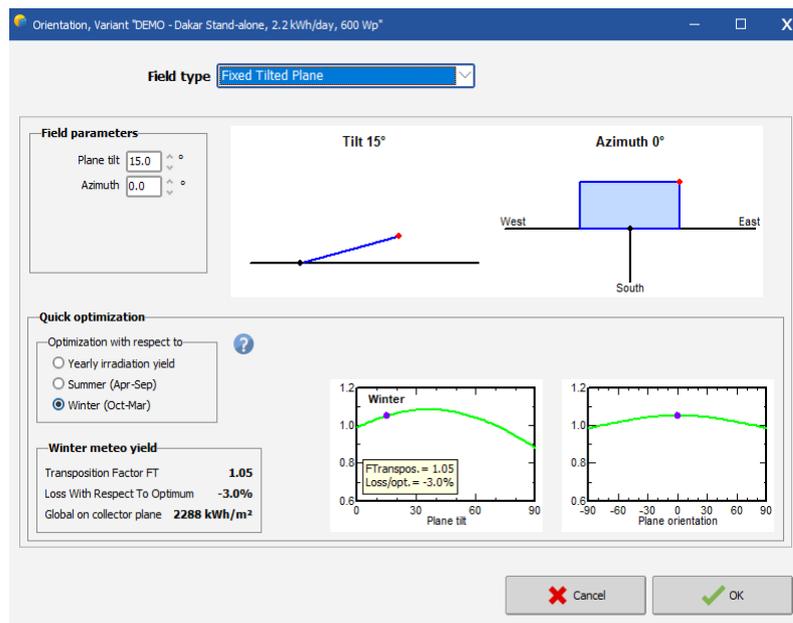


Figure III . 3 : Boîte de dialogue d'orientation.

Cet outil a pour but de montrer l'orientation la mieux adaptée à un système photovoltaïque ou ce que l'on perd lorsque l'orientation n'est pas optimale.

Le facteur de transposition est le rapport entre le rayonnement incident sur le plan et le rayonnement horizontal, c'est-à-dire ce que l'on gagne (ou perd) en inclinant le plan du collecteur.

Veillez noter que l'optimisation de l'orientation dépend de l'utilisation prévue de l'énergie photovoltaïque. Pour les systèmes autonomes, le rendement solaire pertinent pour le dimensionnement du système peut être, par exemple, les mois d'hiver pour une maison ou un système industriel, ou certains mois spécifiques pour les appareils de loisirs.

Cet outil offre donc la possibilité de choisir la période d'optimisation par année, par hiver, par été ou par mois choisis.

En outre, l'optimisation peut dépendre de conditions spécifiques d'ombrage lointain (montagnes) : vous pouvez définir une ligne d'horizon, ce qui entraînera généralement un déplacement d'azimut.

Outil d'optimisation rapide dans la partie "Orientation" :

Lors du choix de l'orientation du plan (fixe), un panneau d'information indique le facteur de transposition correspondant, la différence (perte) par rapport à l'orientation optimale et l'irradiation disponible sur ce plan incliné.

Un graphique du facteur de transposition en fonction de l'inclinaison du plan et de l'azimut indiquera votre choix réel par un cercle violet sur les courbes, montrant immédiatement où vous vous situez par rapport à l'optimum.

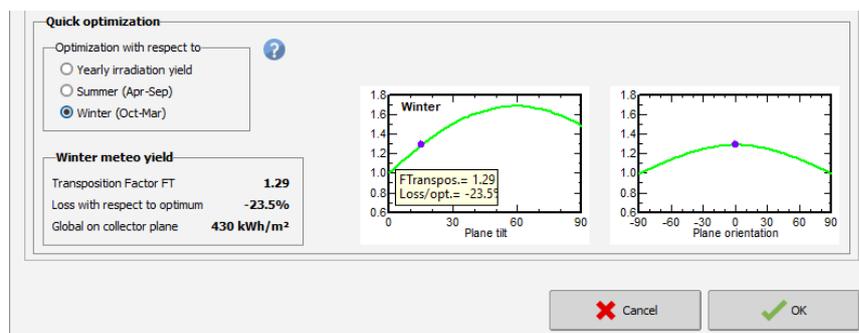


Figure III. 4 : Outil d'optimisation rapide de l'orientation.

III. 4 Définition des besoins de l'utilisateur

Nous devons maintenant définir les besoins de l'utilisateur.

Plusieurs options sont disponibles :

- Utilisation d'un profil de consommation disponible dans la base de données.

- Importer un profil de consommation au format CSV.
- Utiliser l'interface de définition des besoins de l'utilisateur.

III. 4.1 Définition de base

Nous utiliserons l'interface de définition des besoins de l'utilisateur pour vous donner des clés afin de personnaliser la définition de vos besoins énergétiques.

Pour compléter vos besoins en énergie, vous devez dans tous les cas cliquer sur le bouton "Besoins de l'utilisateur".

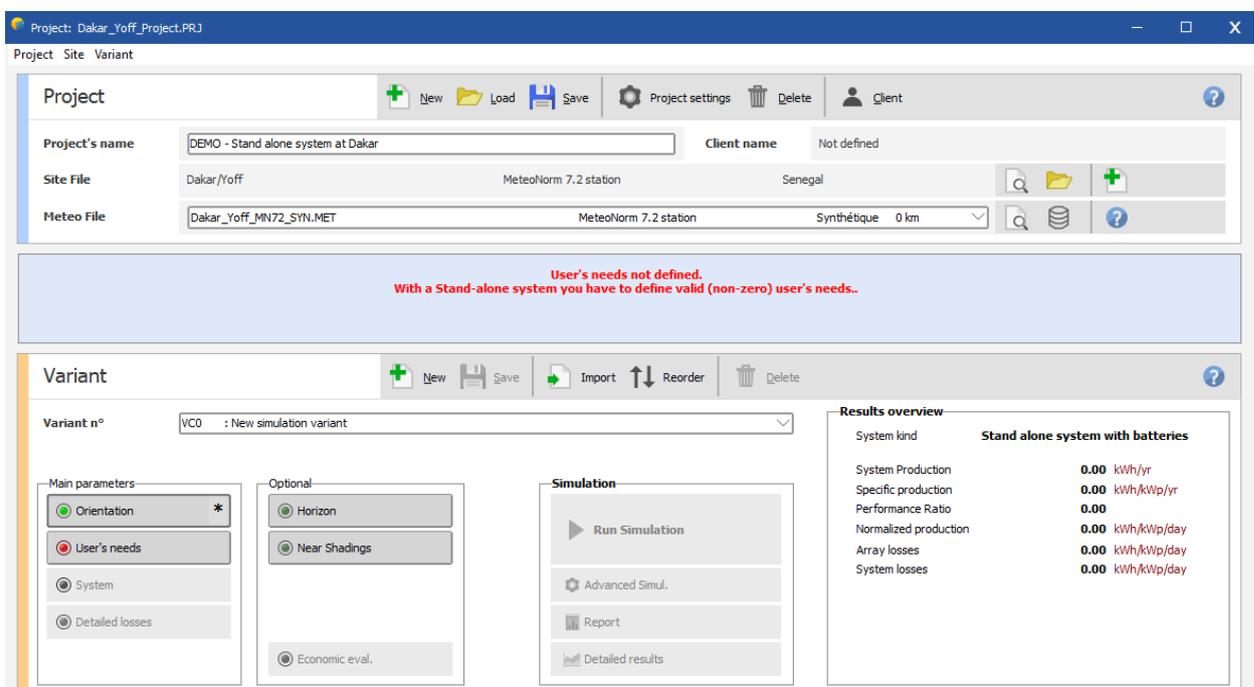


Figure III. 5 : Définition des besoins de l'utilisateur.

Une fois le menu "Besoins de l'utilisateur" ouvert, commencez par définir la fréquence de vos besoins.

Vous pouvez choisir la répartition de votre consommation entre : Années, Saisons ou Mois. Vous pouvez également choisir le nombre de jours par semaine de votre consommation.

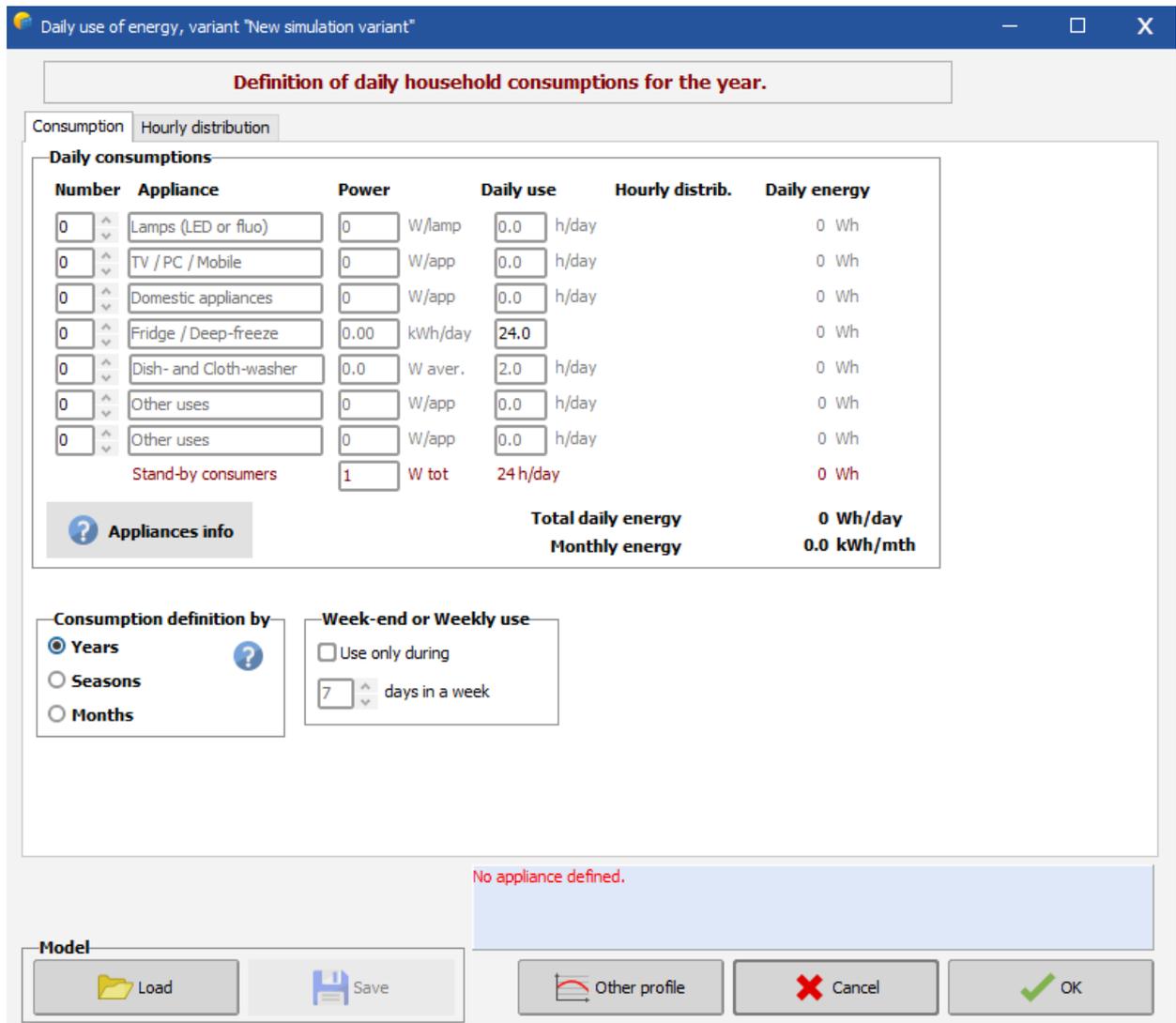


Figure III. 6 : Onglet Consommation dans la boîte de dialogue des besoins de l'utilisateur.

L'étape suivante consiste à compléter le tableau de la consommation journalière. Pour ce faire, vous devez définir les:

- Nombre d'appareils correspondant à la désignation,
- Puissance unitaire en watts,
- Le temps de fonctionnement quotidien.

Vous pouvez modifier / personnaliser le nom de chaque appareil dans la section "Appliance".

Veillez noter que nous ne parlons pas de puissance unitaire, mais d'énergie consommée (en kWh / jour).

Une fois la définition de vos besoins énergétiques achevée, vous disposez d'un bilan de l'énergie totale consommée quotidiennement et mensuellement par vos appareils.

Vous pouvez voir que nous avons ajouté 24 watts 24 heures sur 24 pour les consommateurs en veille. En effet, lorsque vos appareils sont éteints, très souvent une lampe de veille ou autre reste allumée. Il est donc nécessaire de définir cette consommation afin d'obtenir un dimensionnement le plus proche de la réalité.

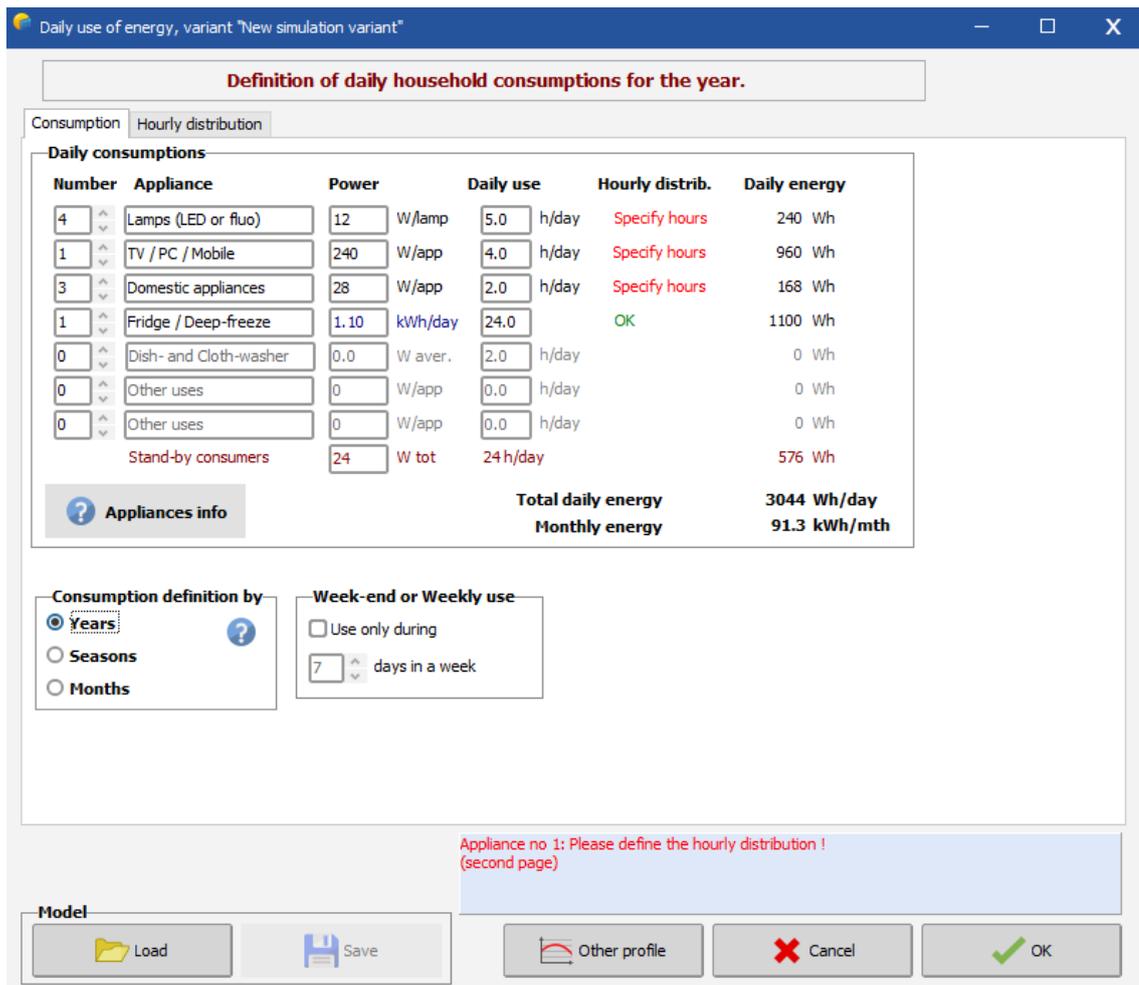


Figure III. 7: Définition des consommations quotidiennes des ménages pour l'année.

Plusieurs messages d'erreur en rouge indiquent que vous n'avez pas encore fini de définir vos "besoins de l'utilisateur".

En effet, maintenant que vous avez défini les appareils et leur puissance, vous devez entrer les plages horaires de fonctionnement de ces appareils.

Il est important que ces plages horaires soient correctement remplies car c'est à partir de ces

éléments que le dimensionnement du champ photovoltaïque et de la batterie sera calculé par l'outil de "prédimensionnement".

Lorsque vous cliquez sur l'onglet "distribution horaire", les cadrans de montre respectifs de vos appareils seront vides.

Seul le cadran pour les systèmes de réfrigération sera complété au préalable (évidemment modifiable en fonction de votre projet).

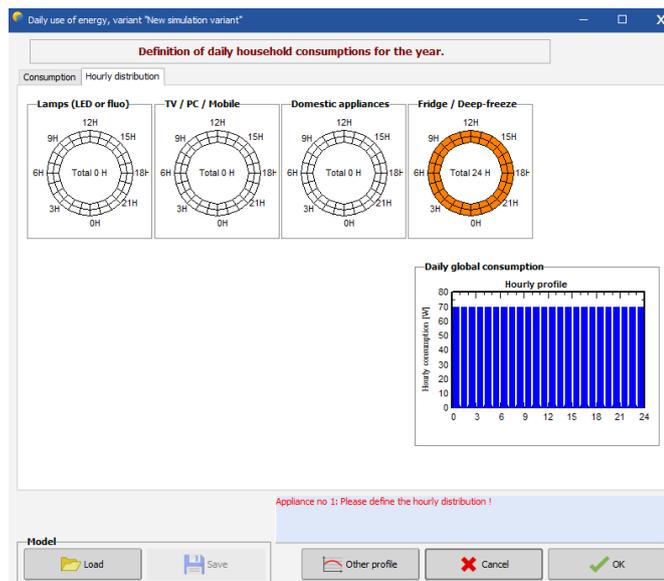


Figure III. 8: Définition de la répartition horaire de chaque appareil.

Chaque cadran est composé de 48 sections. Chaque section représente 30 minutes de la journée. Cliquez avec le bouton gauche de la souris pour définir un horaire ou une plage horaire, et avec le bouton droit de la souris pour supprimer un horaire ou une plage horaire.

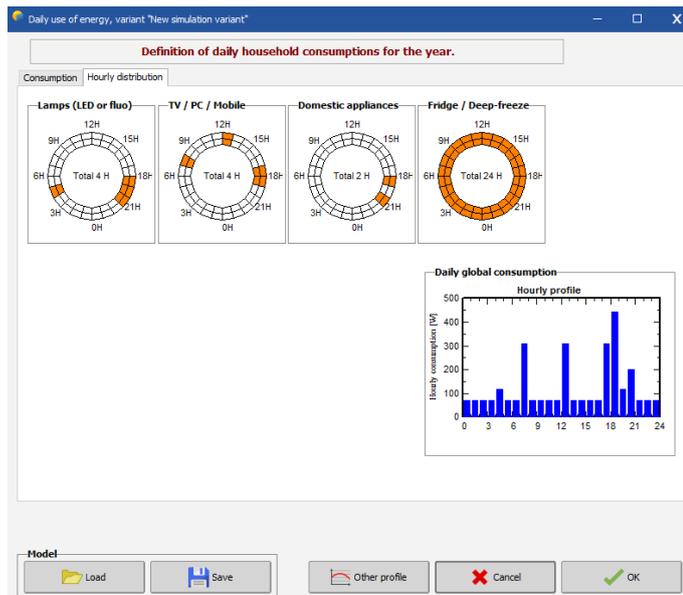


Figure III. 9: Graphique de la consommation journalière.

Lorsque vous ajoutez une plage horaire, un graphique correspondant à votre profil de consommation quotidien est automatiquement construit.

De même, si la valeur de l'heure de fonctionnement positionnée dans les cadrans ne correspond pas à l'utilisation journalière définie dans l'onglet "Consommation", c'est la valeur définie dans les cadrans de l'onglet "Répartition horaire" qui sera utilisée pour les calculs.

Une fois la répartition horaire terminée, vous pouvez revenir à l'onglet "Consommation" pour vérifier si un changement de valeur a été effectué et si aucun message d'erreur n'apparaît.

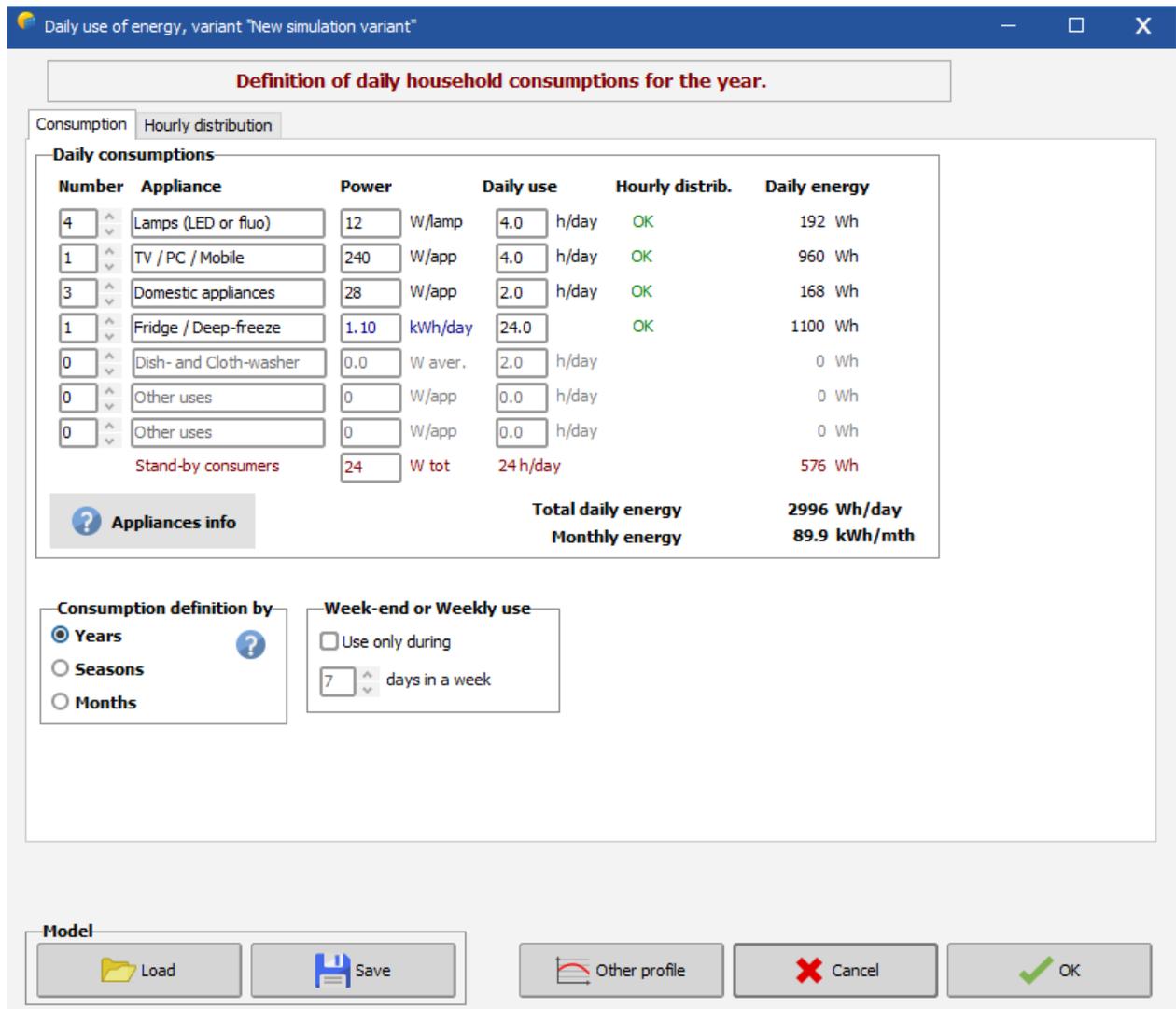


Figure III. 10: Finalisation de la définition de la consommation.

Lorsqu'il n'y a plus de message rouge ou de message d'erreur, vous pouvez valider ces informations en cliquant sur OK. Tous ces paramètres d'entrée seront affichés dans le rapport PDF final.

III .4.2 Autre profil

Une autre façon de définir la consommation des récepteurs est d'importer une base de données au format CSV. Pour ce faire, il suffit de cliquer sur le bouton "Autre profil", qui donne accès au tableau présenté dans **Erreur ! Source du renvoi introuvable ...**

Ici, vous pouvez définir votre consommation par :

- Chargement d'un modèle,

- Fixation de la consommation constante,
- Définition des valeurs mensuelles,
- Définition des profils journaliers,
- Définir les consommateurs domestiques,
- Chargement de valeurs à partir d'un fichier CSV horaire/journalier.

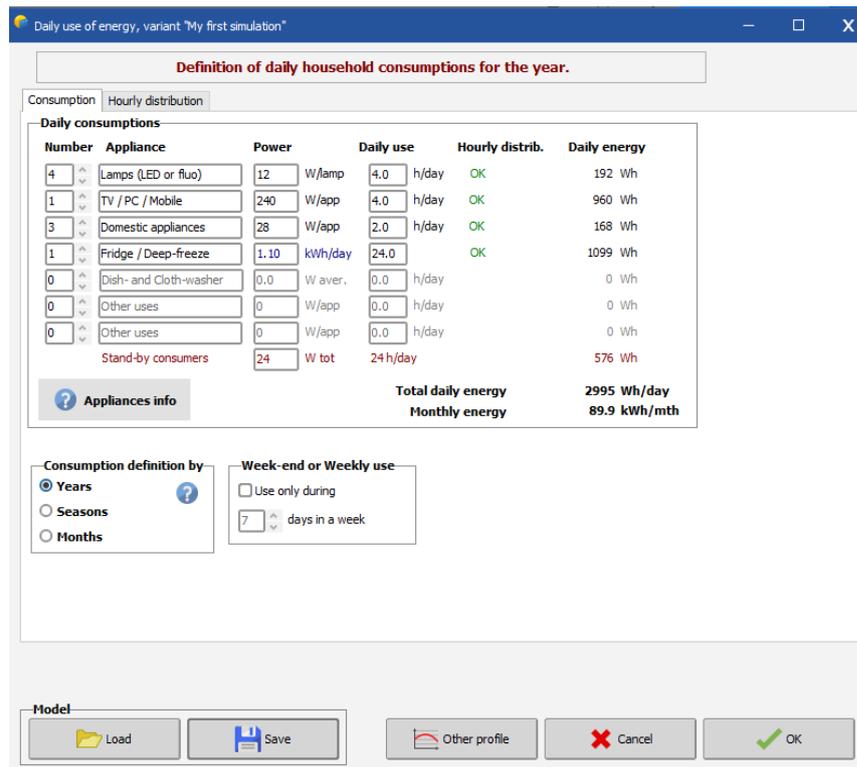


Figure III. 11: Définition de la consommation des récepteurs par le biais d'un "autre profil".

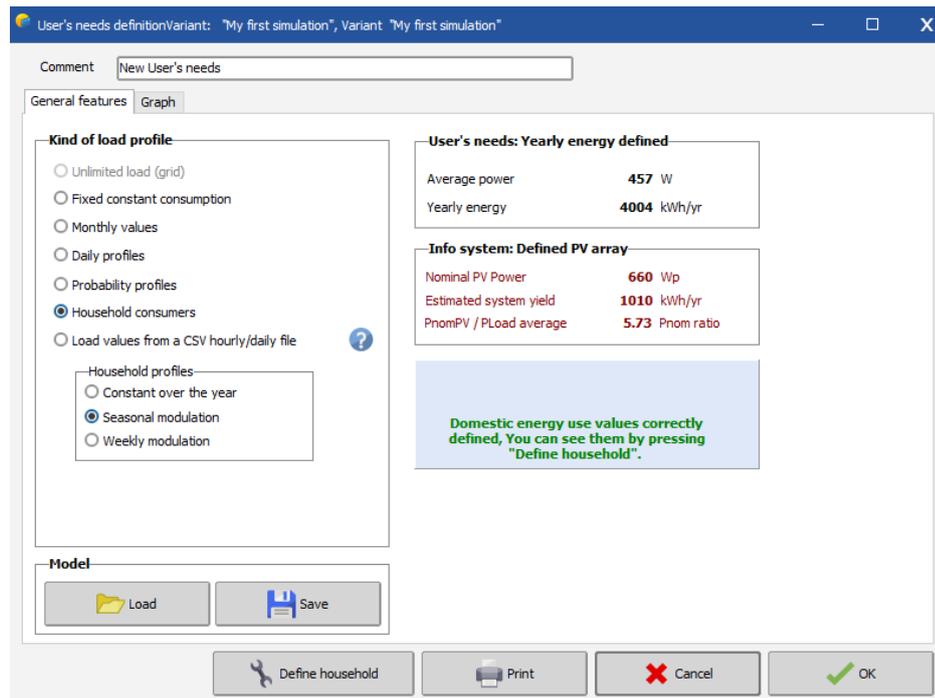


Figure III. 12: Profils de chargement.

Chargement de valeurs à partir d'un fichier CSV horaire/journalier :

La manière la plus souple de définir un profil de charge personnalisé est de l'introduire sous la forme d'un fichier ASCII (CSV) toutes les heures.

Fichier des paramètres horaires

Le fichier source d'entrée doit être préparé dans un tableur (comme MS-EXCEL), au format CSV (Comma Separated Values, le séparateur peut être un point-virgule ou une virgule).

Vous trouverez un modèle nommé "PARAMS_Hourly_Template.CSV" :

dans l'emplacement du programme, généralement : \n- programfiles (x86) \n- PVsyst7.x \n- DataRO \n- DataRO \n- PVsyst7.x \n- PVsyst7.x \n- DataRO

PVsyst7.0_Données \N- Modèles \N- PVsyst7.0_Data

Oudans votre espace de travail C : \N- Utilisateurs \N-Votre session \N-PVsyst7.0_Data \N- Templates \N-

Dans ce dernier cas, vous devez mettre à jour/recharger ce fichier en utilisant "Fichiers > Espace de travail > recharger les modèles" dans le menu principal.

Une fois modifié, vous placerez votre fichier de données dans votre espace de travail \N "user"\NPVsys7.0_Data \Nutilisateur Hourly Params \N.

Format standard PVsyst pour les paramètres horaires

Le format requis pour importer des paramètres horaires dans PVsyst est le suivant :

- Fichier texte (format CSV avec virgules ou points-virgules) écrit en ANSI (et non en UTF8).
- Toutes les lignes commençant par # sont des commentaires, ignorés.
- Les lignes vierges sont ignorées.
- La première ligne sans # contient le titre de la colonne. Elle doit commencer par "date" et "P Load" pour un

la puissance de charge horaire (d'autres mots-clés pour d'autres paramètres seront définis à l'avenir).
- Deuxième ligne : les unités des données de cette colonne seront lues et interprétées par le programme.
 - Dans les données infra-horaires, [kW] sera interprété comme des puissances (les valeurs seront moyennées au cours du pas horaire), et [kWh] comme des énergies (les valeurs seront additionnées au cours de l'heure).
 - Première colonne de données et heure au format EXCEL (les formats européen JJ/MM/AA hh:mm ou américain MM/JJ/AA hh:mm sont reconnus).
- Autres colonnes : valeurs selon le titre de la colonne et les unités.
- Le fichier doit contenir toutes les heures d'une année générique (du 01/01 à 0h00 au 31/12 à 23:00). L'année est ignorée.
- Ces dates/heures ne sont pas liées aux dates réelles de votre fichier météorologique d'entrée : elles correspondent à chaque heure d'une année générique.
- Étiquette temporelle = début de l'année.

Utilisation du fichier

Après avoir soigneusement préparé ce fichier, la boîte de dialogue "Paramètre horaire" vous demandera de le choisir dans votre espace de travail "UserHourlyParams", ou n'importe où ailleurs.

Le contenu du fichier s'affiche, ce qui vous permet de le vérifier.

Le programme vérifiera également sa validité et fournira quelques valeurs intégrées afin que vous puissiez l'analyser à l'aide de graphiques. La boîte de dialogue vous demandera si vous le souhaitez :

- Lire le fichier au moment de la simulation (peut être utile en mode batch),
- Lire le fichier immédiatement et le stocker en interne dans votre version de calcul en tant que paramètres d'entrée pour la simulation.

Données infra-horaires

Il est également possible de lire des données infra-horaires (par exemple les profils de charge par tranches de 15 minutes).

Une fois le type de profil et la charge définis, vous pouvez cliquer sur "graphique" pour visualiser le profil de votre charge. Sur l'axe des abscisses, vous trouverez par défaut les heures de fonctionnement par jour.

Sur l'axe des ordonnées, vous trouverez la puissance de la charge (définie précédemment). Vous pouvez modifier certains paramètres d'affichage du graphique ci-dessus :

- Valeurs
- Unités
- Nombre de jours

Une fois que toutes les données saisies sont paramétrées et vérifiées, vous pouvez les valider et poursuivre votre projet en cliquant sur le bouton "OK".

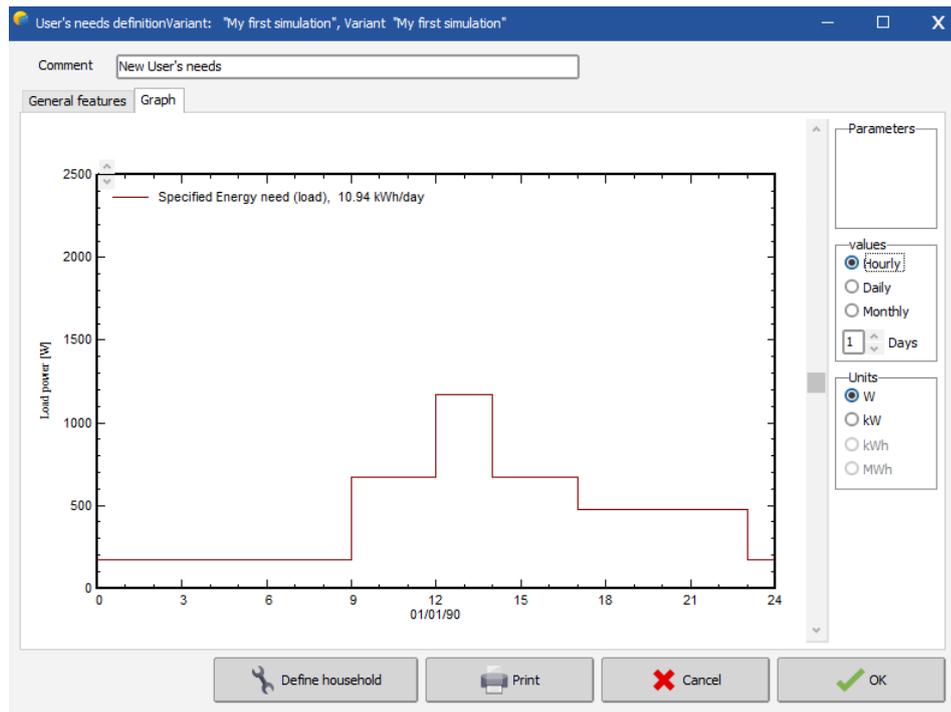


Figure III. 13: Graphique des données de puissance de charge en termes d'heures.

III. 5 Définir le système

Une fois que vous avez défini l'orientation du système et les besoins de votre utilisateur, l'onglet "Système" devient rouge, ce qui signifie que vous pouvez cliquer dessus pour définir votre système électrique.

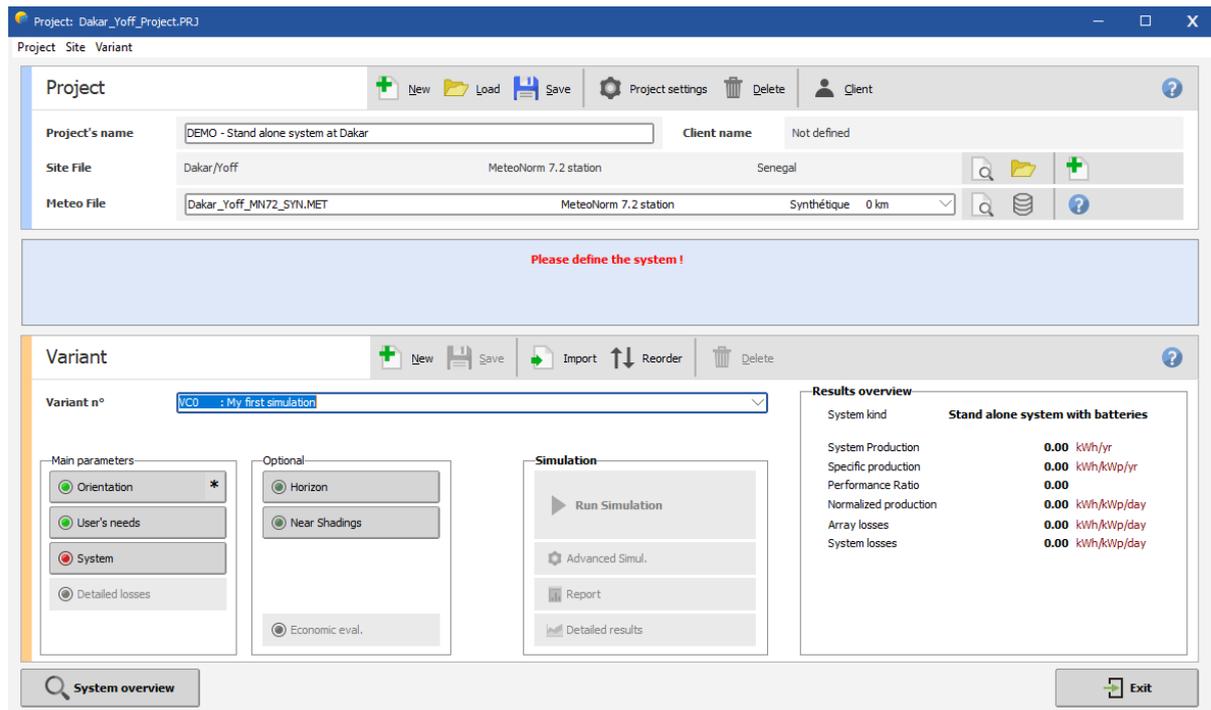


Figure III . 14: Définition du système.

Dans la boîte de dialogue "Système", vous devez définir le :

- caractéristiques de la batterie,
- Les caractéristiques du champ photovoltaïque,
- Caractéristiques du régulateur de charge/décharge.

Vous pouvez ajouter un système de générateur optionnel via l'onglet "Back-up".

Le premier onglet de la boîte de dialogue "Systèmes" contient plusieurs informations importantes, telles que

- Pré-dimensionnement,
- Ensemble de piles,
- Température de fonctionnement de la batterie.

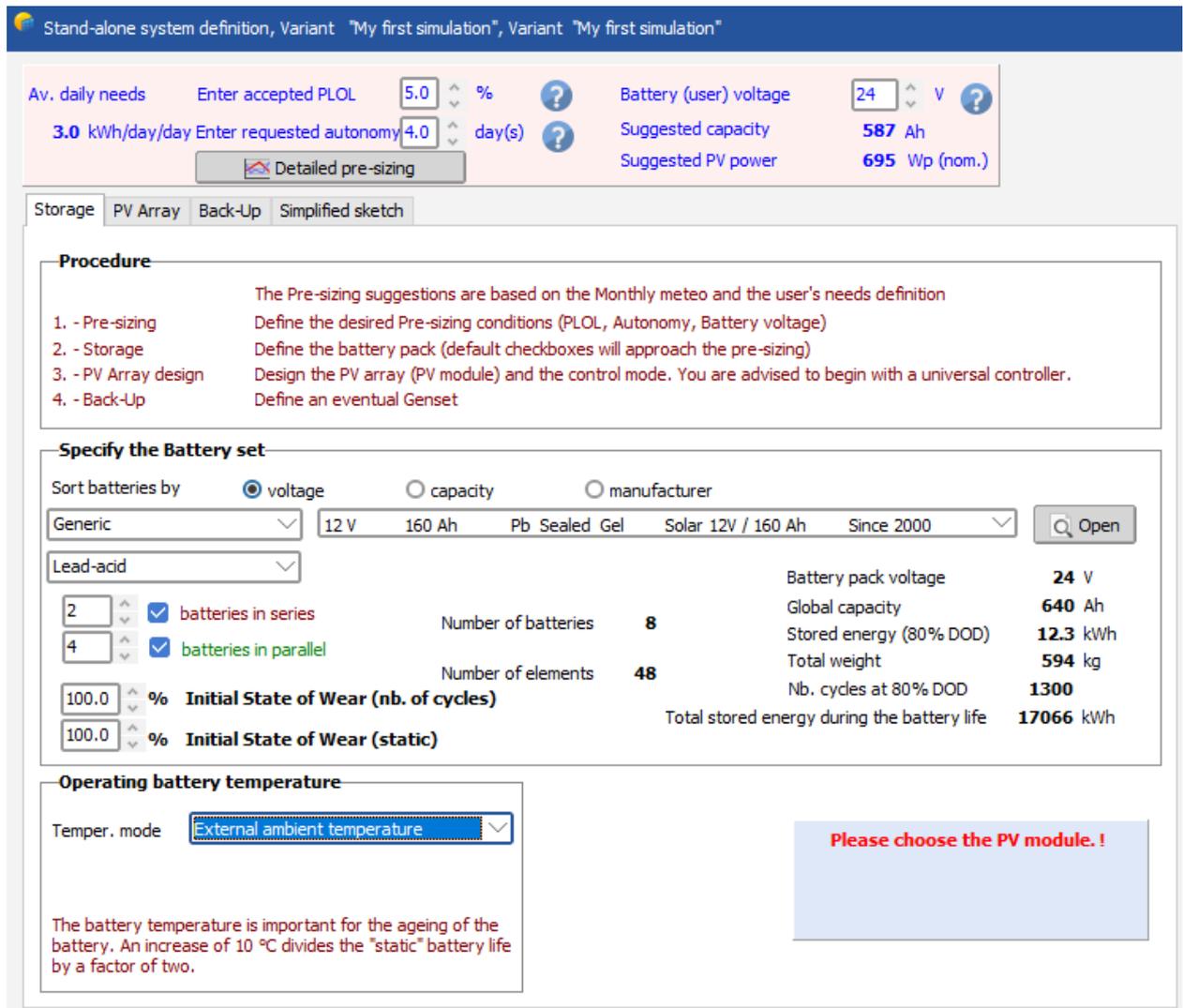


Figure III. 15: Définition du stockage du système.

L'outil de prédimensionnement calcule deux éléments d'information, le.. :

- Capacité suggérée (batterie),
- Puissance PV suggérée.

PLOL en pourcentage (%) :

Cette valeur est la probabilité que les besoins de l'utilisateur ne puissent pas être satisfaits (c'est-à-dire la fraction de temps pendant laquelle la batterie est déconnectée en raison de la sécurité du régulateur "Faible charge").

Elle peut être considérée comme le complément de la "fraction solaire" (bien qu'elle soit décrite en termes de temps plutôt que d'énergie). Au cours du processus de dimensionnement, l'exigence

LOL permet de déterminer la taille du réseau photovoltaïque nécessaire, pour une capacité de batterie donnée.

Le LOL est calculé à l'aide d'une simulation annuelle simplifiée et rapide : le programme divise les valeurs météorologiques mensuelles en une séquence aléatoire réaliste de 365 jours (selon le modèle Collares-Pereira), chaque jour étant divisé en 3 périodes : matin - jour (avec les gains solaires) - et soir. Ensuite, il effectue un bilan jour par jour et rapporte l'état quotidien du système, afin d'accumuler une valeur annuelle "LOL" réaliste.

Ce processus est répété avec différentes tailles de réseaux PV, afin de trouver la taille PV exacte correspondant au "LOL" requis.

Autonomie demandée en jours :

Dans le processus de pré-dimensionnement, la capacité de la batterie proposée est déterminée en fonction de l'autonomie requise du système, exprimée en jours.

L'autonomie est définie comme le temps pendant lequel la charge peut être satisfaite avec la batterie seule, sans apport solaire, en partant bien sûr d'une batterie "complètement chargée". Avec des charges non constantes (définition saisonnière ou mensuelle, utilisation hebdomadaire), il s'agit du scénario le plus défavorable sur l'année.

Le calcul tient compte du seuil minimal de déconnexion du SOC et de l'efficacité énergétique" de la batterie. Il doit également appliquer une correction de capacité, car ce mode d'utilisation se produit généralement à un taux de décharge assez lent (correspondant donc à peu près à la définition de la capacité C100, c'est-à-dire avec une décharge en 100 heures environ), alors que la capacité nominale des batteries dans la base de données Pvsyst est définie comme la valeur C10. Le rapport C100/C10 est généralement de l'ordre de 120% à 130%.

Ces 3 paramètres de dimensionnement sont réglables dans le "paramètre caché".

NB : Lors de la définition d'une très grande autonomie, le processus d'optimisation du système global choisira la taille PV "minimale" qui répondra juste au "LOL" requis.

Cela peut conduire à une valeur moyenne de l'état de charge très basse sur de grandes périodes de l'année, ce qui est très dommageable pour la batterie.

Tension de la batterie (utilisateur) :

Dans un système PV autonome avec couplage direct à l'utilisateur (sans onduleur), la tension de la batterie détermine la tension de distribution. Ce choix doit être fait en fonction de la puissance du système et/ou de l'appareil, ainsi que de l'extension du réseau de distribution prévu afin de minimiser les pertes ohmiques dans le câblage.

Ce choix doit être fait dès le début de la planification de l'installation, car la tension de l'appareil existant ne peut généralement pas être modifiée, et les convertisseurs de tension sont coûteux et ne sont pas efficaces à 100 %.

Les valeurs nominales de distribution peuvent être choisies en fonction des critères suivants (onduleur supposé directement connecté au bloc-batterie) :

- 12V - petits systèmes pour l'éclairage et la télévision :
 - Puissance maximale de l'appareil : < 300 W.
 - Courant correspondant:25 A.
 - Onduleur : environ < 1 kW.
- 24V - taille moyenne, ménage avec réfrigérateur et petits appareils, ou extension du câblage à plus de 10 m :
 - Puissance maximale de l'appareil : < 1000 W.
 - Courant correspondant : 42 A.
 - Onduleur : environ < 5 kW.
- 48V - utilisation industrielle ou agricole spéciale :
 - Puissance maximale de l'appareil : < 3 kW.
 - Courant correspondant : 62 A.
 - Onduleur : environ < 15 kW.

Les puissances plus élevées nécessitent soit des tensions continues élevées (appareils spéciaux), soit une alimentation en courant alternatif par l'intermédiaire d'un onduleur. NB : Dans une batterie, lorsqu'un élément est plus faible que les autres, il se vide plus rapidement.

Comme toutes les cellules sont connectées en série, c'est-à-dire avec le même courant, il peut y avoir des décharges profondes, voire une polarisation inversée (le courant forcé peut inverser la polarité, comme pour le point chaud dans un réseau photovoltaïque).

Cela endommagera encore plus cette cellule défectueuse. De la même manière, pendant la

charge, à mesure que la capacité diminue, les conditions de surcharge produiront des gaz avant les autres cellules, ce qui entraînera une perte d'électrolyte.

Par conséquent, en l'absence d'un entretien minutieux ou de stratégies de compensation, le risque de défaillance des batteries à haute tension est fortement accru.

Outil d'aide au prédimensionnement :

Avec cet outil, vous pouvez définir une surface ou une puissance maximale que vous souhaitez installer.

Lorsqu'une valeur est définie dans l'une des deux cases, le logiciel propose une suggestion de câblage via l'outil de conception de panneaux photovoltaïques.

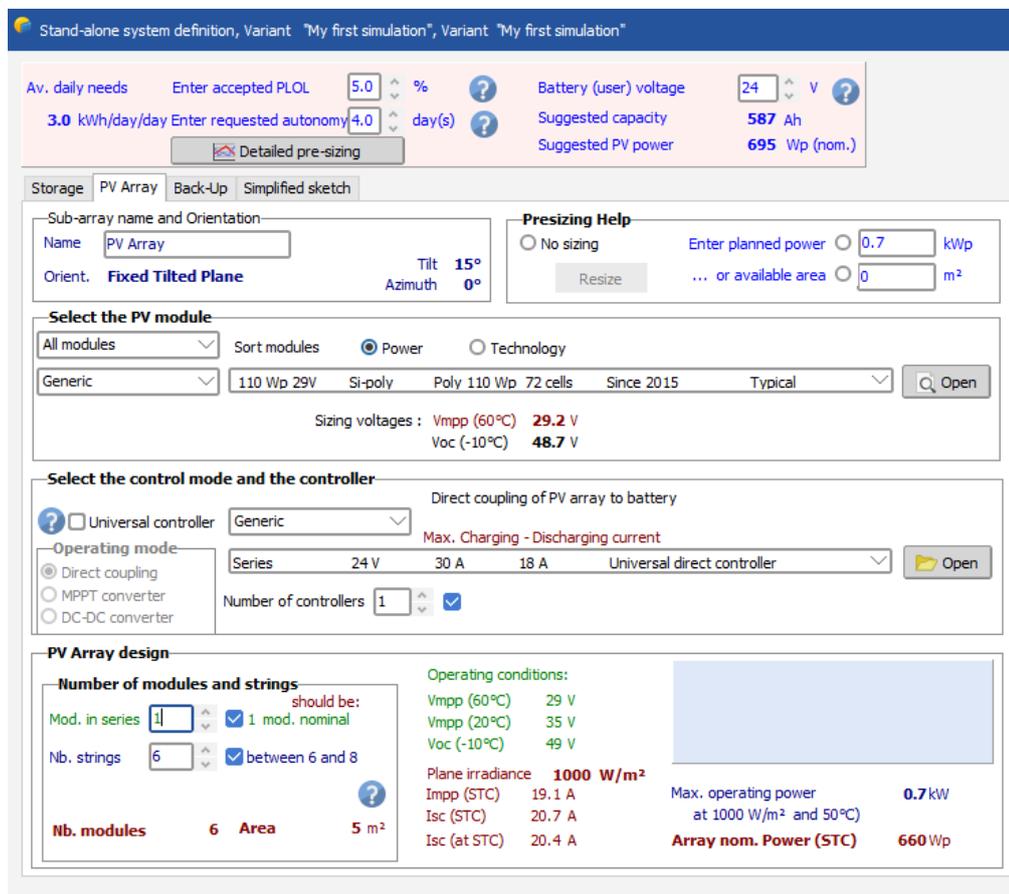


Figure III . 16: Outil d'aide au prédimensionnement.

Contrôleur universel :

Au début de l'étude d'un système autonome, les principaux problèmes sont le dimensionnement global du système, la détermination du pack de batteries, la puissance du champ photovoltaïque,

en fonction des besoins de l'utilisateur et des conditions météorologiques. Après l'évaluation rapide du pré-dimensionnement, les résultats (PLOL, énergie non utilisée) doivent être évalués à l'aide d'une simulation horaire détaillée.

La stratégie exacte du régulateur n'a pas d'importance. Pour se débarrasser des contraintes de contrôle, Pvsyst introduit un contrôleur universel "générique" à usage général, pour les 3 stratégies différentes : Couplage direct, convertisseur MPPT ou convertisseur DCDC.

Au cours du processus de dimensionnement (spécification du pack de batteries et du réseau PV), ces dispositifs spéciaux adapteront leurs paramètres au système, afin de rester toujours compatibles avec un comportement normal sans pertes de contrôle au cours de la simulation horaire.

Les principaux paramètres à adapter sont les suivants

- Les seuils de contrôle : leurs valeurs par défaut sont spécifiées dans les "Paramètres cachés" en termes de SOC. Mais vous pouvez les modifier pour étudier la dépendance du seuil et éventuellement les définir en termes de tension de la batterie.
- Corrections de température pour les seuils de tension de la batterie.
- Avec les unités de conditionnement d'énergie, les tensions d'entrée et la puissance en fonction des modules du réseau, ainsi que la courbe d'efficacité. Les valeurs de rendement (Euro et Max) peuvent être modifiées explicitement.
- Les courants maximaux de charge, de charge et de secours.
- Gestion de la commande de secours si un groupe électrogène est spécifié.

Tous ces paramètres sont enregistrés dans votre variante de calcul, ce qui permet de conserver vos modifications.

Si vous souhaitez conserver une configuration spécifique pour une utilisation ultérieure, vous pouvez toujours enregistrer ce convertisseur universel avec les paramètres actuels. Dans ce cas, veuillez lui donner un nom significatif pour les paramètres Fabricant et Modèle. Il est conseillé de le sauvegarder sous un nom tel que "Manufacturer_Model.RLT" dans votre propre base de données.

III . 6 Exécution de la première simulation

Sur le tableau de bord du projet, tous les boutons sont maintenant verts (parfois orange) ou éteints. Le bouton "Exécuter la simulation" est activé et nous pouvons cliquer dessus.

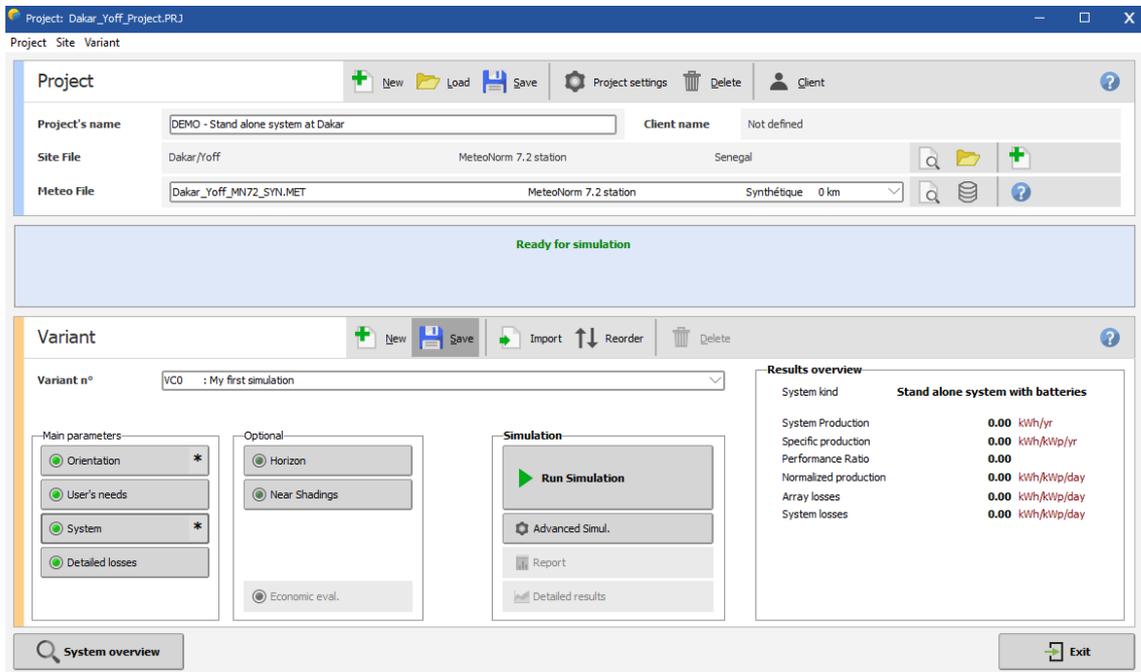


Figure III . 17: Exécution de la simulation.

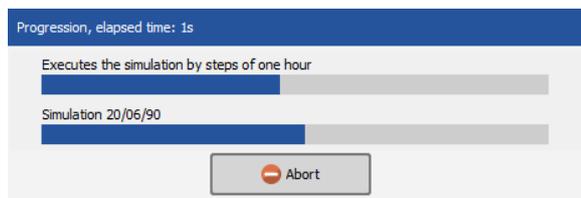


Figure III . 18: Barre de progression.

Une barre de progression s'affiche, indiquant la partie de la simulation qui reste à effectuer. Une fois la simulation terminée, vous serez dirigé vers la boîte de dialogue "Résultats".

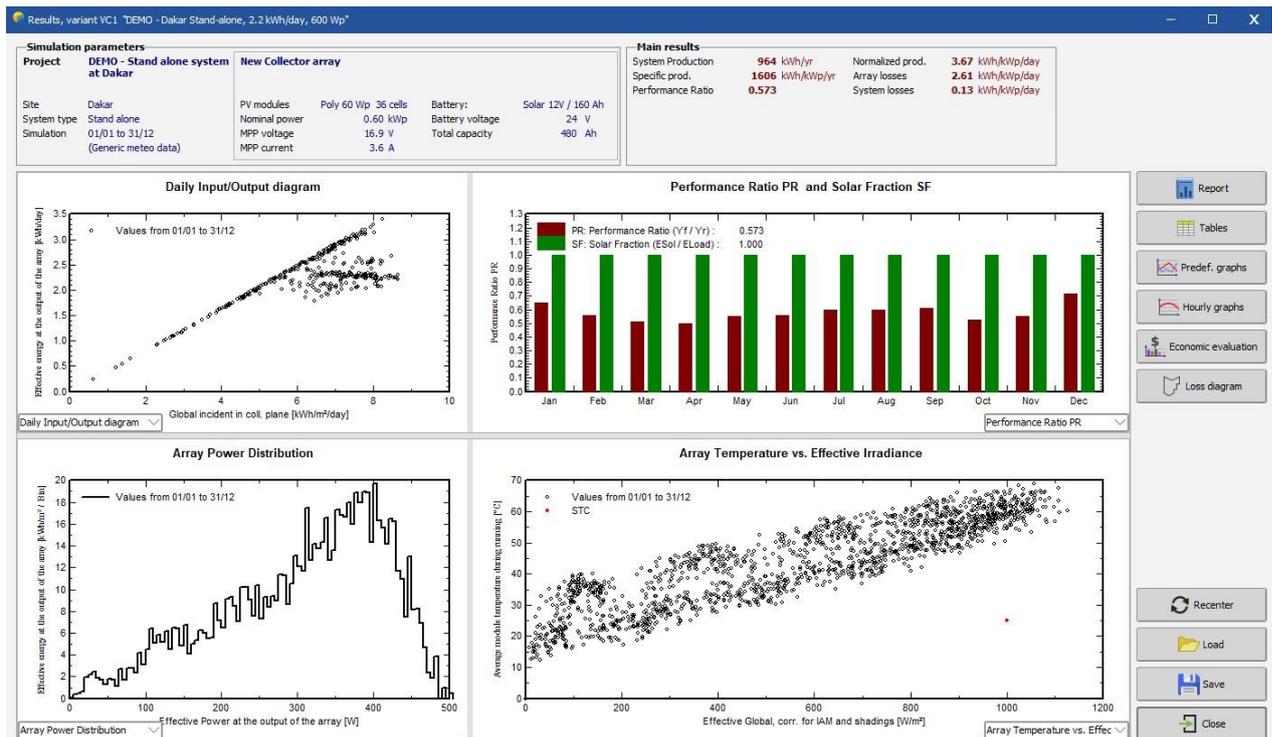


Figure III. 19: Boîte de dialogue des résultats.

En haut de la boîte de dialogue se trouve un résumé des paramètres de simulation que vous devriez vérifier rapidement pour vous assurer que vous n'avez pas fait d'erreur évidente dans les paramètres d'entrée. Sur sa droite se trouve un cadre avec six valeurs qui résument d'un seul coup d'œil les principaux résultats de la simulation. Ils ne donnent qu'une image très approximative des résultats et sont là pour repérer rapidement les erreurs évidentes ou pour obtenir une première impression d'un changement ou d'une comparaison entre les variantes du projet.

Les principales informations sur les résultats de la simulation sont rassemblées dans le rapport. Les autres boutons permettent d'accéder à des tableaux et graphiques complémentaires pour une analyse plus approfondie des résultats de la simulation. Pour l'instant, nous les ignorons. Lorsque vous cliquez sur , vous obtenez le rapport complet qui, pour cette première variante simple, comprend 7 pages (pour les simulations plus détaillées, vous pouvez obtenir jusqu'à 11 pages de rapport). Dans ce rapport, vous trouverez

Page de couverture : Divers aspects du projet de simulation et du nom de la variante, y compris le numéro de version de Pvsyst et des informations sur le type, la taille et l'emplacement du système.

Deuxième page : Un résumé de haut niveau du système du projet et des résultats de la variante

de simulation. Un site géographique et des propriétés météorologiques entièrement définis. Une table des matières du rapport est également fournie.

Troisième page : Paramètres généraux sous-jacents de la simulation : type de système, orientation du plan, informations générales sur les ombres (horizon et ombres proches), composants utilisés et configuration du réseau, paramètres de perte.

Quatrième page : Une information détaillée sur les besoins de l'utilisateur où la consommation de chaque ménage est présentée dans des tableaux en fonction de la saison, et un graphique sur la distribution horaire est illustré en bas de la page.

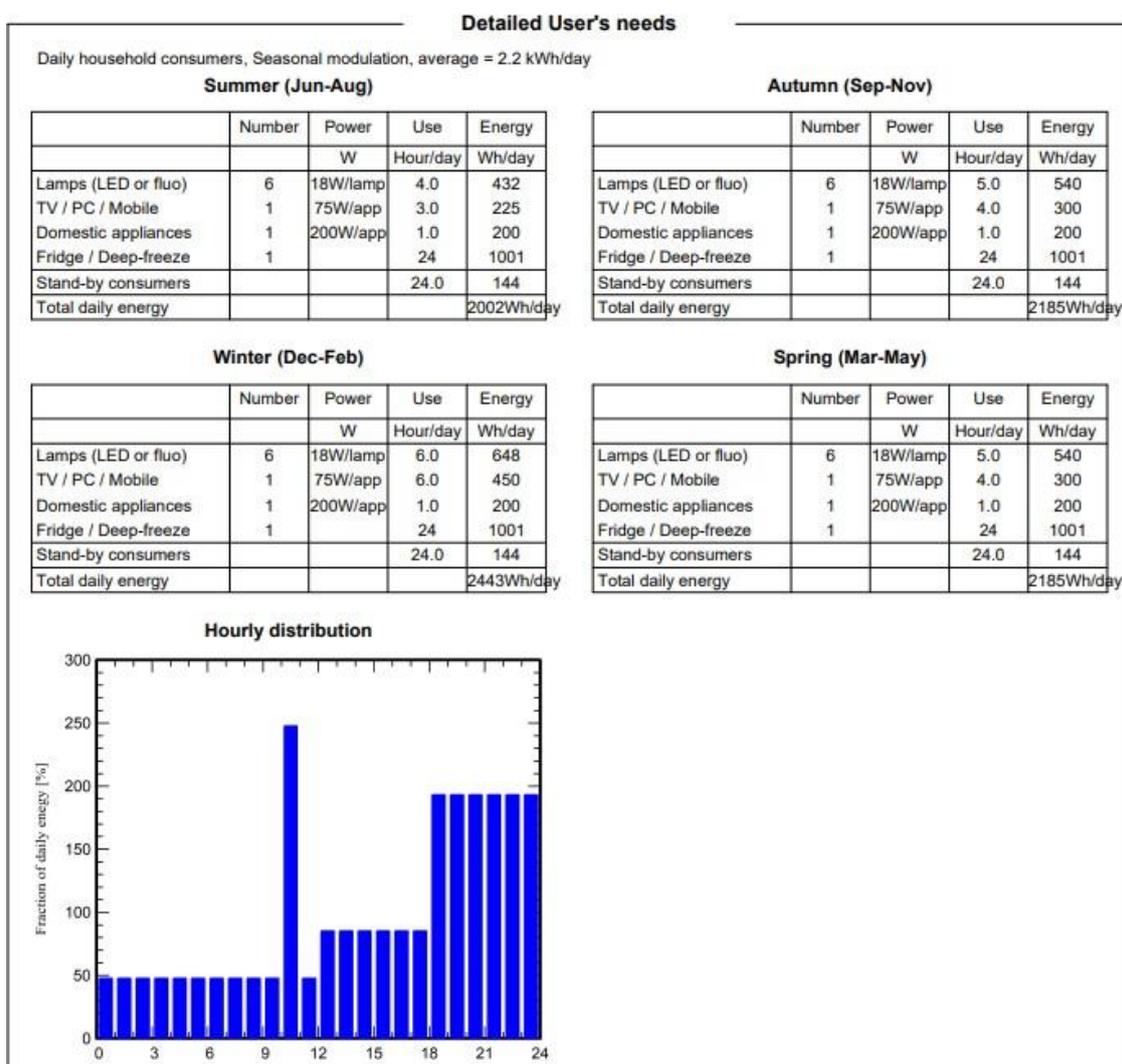


Figure III . 20: Besoins détaillés des utilisateurs et répartition horaire.

Cinquième page : Cette page affiche les principaux résultats de la simulation, en

commençant par définir trois quantités importantes :

- Production du système,
- Perte de charge,
- Vieillessement de la batterie.

Main results			
System Production			
Available Energy	963.9 kWh/year	Specific production	1606 kWh/kWp/year
Used Energy	803.8 kWh/year	Performance Ratio PR	57.30 %
Excess (unused)	132.4 kWh/year	Solar Fraction SF	100.00 %
Loss of Load			
Time Fraction	0.0 %	Battery aging (State of Wear)	
Missing Energy	0.0 kWh/year	Cycles SOW	97.4 %
		Static SOW	90.0 %
		Battery lifetime	10.0 years

Figure III. 21: Principaux résultats de la simulation.

Les graphiques mensuels sont également présentés ci-dessous, le graphique de gauche représentant la production normalisée et celui de droite le ratio de performance.

Le bas de cette page est constitué d'un tableau reprenant les principales variables, sous forme de valeurs mensuelles et de valeur annuelle globale. La valeur annuelle peut être une moyenne, comme la température, ou une somme, comme l'irradiation ou les énergies. La signification des différentes variables est la suivante:

- GlobHor : Rayonnement global dans le plan horizontal. Il s'agit de notre valeur d'entrée météorologique.
- GlobEff : Température moyenne ambiante (bulbe sec) s'agit également de notre valeur d'entrée météorologique
- E_Avail : Disponible Energie solaire.
- E_Unused : Énergie non utilisée (batterie pleine).
- E_Miss : Énergie manquante
- E_User : Énergie fournie à l'utilisateur.
- E_Load : Besoin en énergie l'utilisateur (charge).

- SolFrac : Fraction solaire(E_{Used} / E_{Load}).

Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	165.9	183.8	78.91	0.00	0.000	75.73	75.73	1.000
February	181.6	192.7	83.92	9.19	0.000	68.40	68.40	1.000
March	211.1	209.7	92.05	20.95	0.000	67.73	67.73	1.000
April	223.9	208.1	91.34	23.02	0.000	65.54	65.54	1.000
May	218.7	192.3	84.25	16.02	0.000	67.73	67.73	1.000
June	196.4	169.5	74.29	9.65	0.000	60.05	60.05	1.000
July	184.7	162.0	71.00	7.08	0.000	62.06	62.06	1.000
August	180.3	164.3	71.87	8.06	0.000	62.06	62.06	1.000
September	175.4	168.9	73.80	6.99	0.000	65.54	65.54	1.000
October	198.0	204.4	89.48	17.91	0.000	67.73	67.73	1.000
November	170.4	186.7	81.68	13.21	0.000	65.54	65.54	1.000
December	150.1	166.6	71.26	0.30	0.000	75.73	75.73	1.000
Year	2256.5	2209.0	963.85	132.38	0.000	803.84	803.84	1.000

Figure III. 22: Graphiques mensuels dans les résultats principaux.

Sixième page : Le diagramme des pertes de la flèche PVsyst, qui montre un équilibre énergétique et toutes les pertes le long du système. Il s'agit d'un indicateur puissant de la qualité de votre système, qui indique immédiatement les erreurs de dimensionnement, le cas échéant. C'est la façon dont PVsyst rend compte du comportement du système, avec toutes les pertes détaillées. Ce diagramme est très utile pour l'analyse des choix de conception et devrait être utilisé lors de la comparaison des systèmes ou des variantes d'un même projet.

Notez qu'il y a différents types de flèches sur le diagramme : Les flèches orientées vers l'extérieur représentent les pertes d'énergie de la simulation. La taille des flèches est proportionnelle à la quantité de perte du système. Les flèches orientées vers l'intérieur représentent les gains d'énergie du système et le pourcentage est indiqué par un signe positif (+).

Le rapport peut être envoyé à une imprimante ou copié dans le presse-papiers.

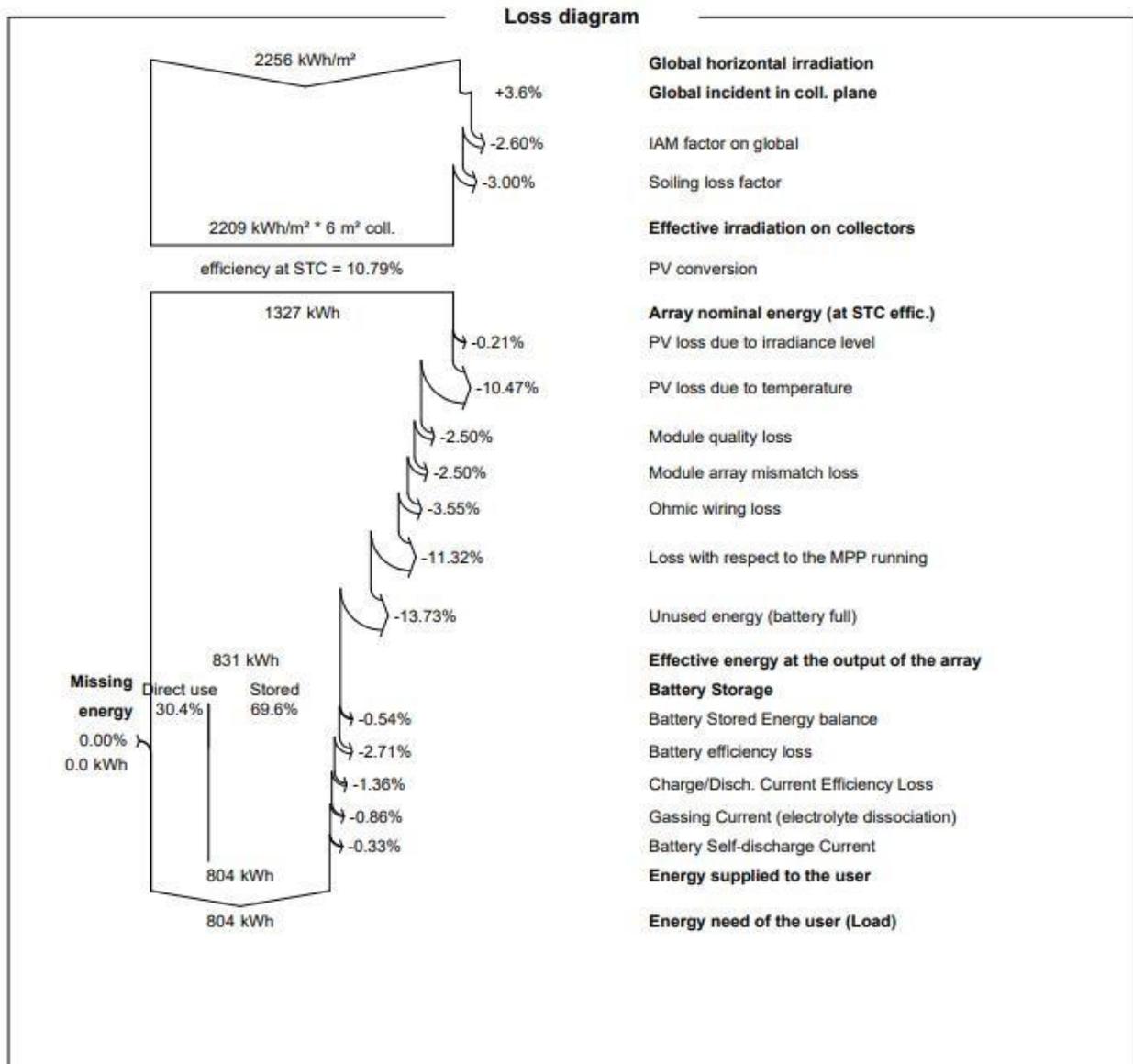


Figure (III. 23) : Diagramme de perte de flèche.

Septième page : Graphiques spéciaux sur la simulation. Le diagramme journalier d'entrée/sortie et la distribution de la puissance injectée dans le réseau sont montrés.

III. 7 Conclusion

Dans ce document, nous avons démontré l'approche de base pour exécuter un premier projet de simulation pour un projet de système autonome sur Pvsyst à l'aide d'un exemple, en commençant par les spécifications du projet, en définissant ses variantes jusqu'à l'exécution et l'analyse des résultats sur le rapport.

CHAPITRE IV : étude et dimensionnement

Photovoltaïque d'un département

UBBAT

IV. 1. Introduction :

Dans ce chapitre on va s'intéresser à la modélisation complète d'une installation photovoltaïque de notre département administrative au sein de notre université d'Ain-Temouchent UBBAT. Pour faire nous avons fait deux parties de dimensionnement.

Dans la première partie nous avons défini le dimensionnement par une simulation faite avec le PVSYSY ou nous allons présenter notre cahier de charge avec un calcul détaillé de notre système pour enfin compléter notre modélisation avec un schéma détaillé de notre travail.

Dans la deuxième partie nous allons approuver la première partie par un calcul de dimensionnement théorique toujours fait pour le même endroit.

PARTIE I

Simulation de notre système photovoltaïque

IV. 2. Démarrage PVsyst 7.1 :

Dans ce dimensionnement nous sommes intéressés par une conception « **isolé avec batterie** »

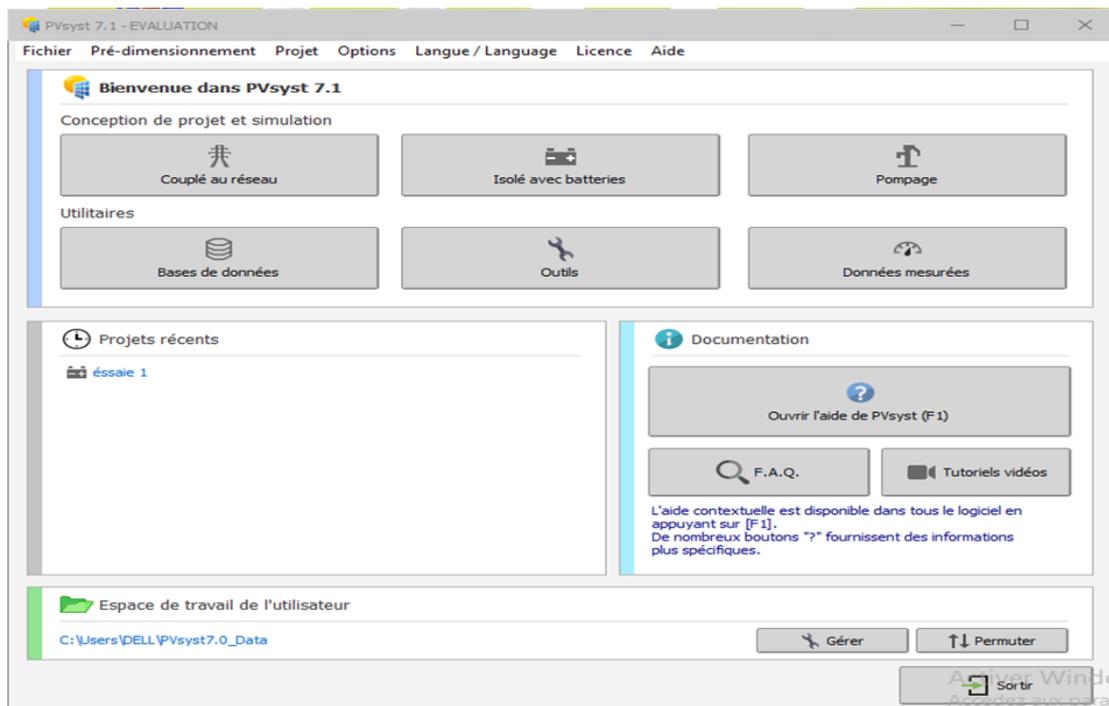


Figure IV. 1 : Démarrage pvsyst 7.1

IV. 4 Situation géographique de site Universitaire de Ain-Témouchent:

Ain Témouchent est située à l'extrémité occidentale de la haute plaine du sahel oranais, dont le fond en cuvette est occupé par la grande sebkha d'Oran, se trouve à 81 km au sud-ouest d'Oran et à 504 km à l'ouest d'Alger. Notre Université se trouve évidemment dans cette wilaya.

Voici la figure Qui présente une situation géographique de notre département administrative au sein de notre université UBBAT.

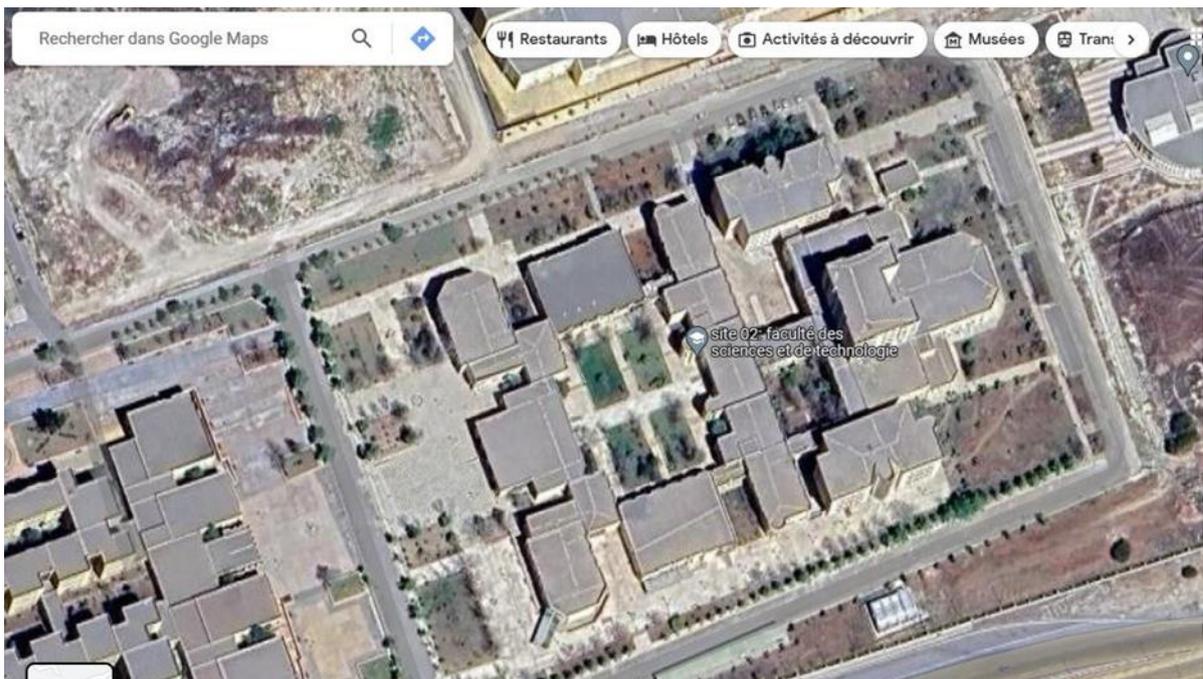


Figure IV. 2 : présente une situation géographique de notre département administrative au sein de notre université UBBAT.

❖ Latitude: $35^{\circ}17'36.7''$ Nord

❖ Longitude: $1^{\circ}07'16.5''$ ouest

IV. 7 Définir l'orientation

On commence de la première variante par l'identification de l'orientation du champ photovoltaïque, qui visant à montrer l'orientation la plus appropriée pour notre système photovoltaïque.

Après avoir choisi un champ plan incliné fixe, on identifie l'orientation des panneaux photovoltaïques selon la période souhaitée (année, hiver ou été). Ensuite on modifie les paramètres du champ (inclinaison plan et azimuth) pour une meilleure valeur possible de l'irradiance incidente sur le plan et une faible valeur possible de perte par rapport à l'optimum. Le facteur de transposition traduit la

variation d'énergie incidente dans un plan incliné par rapport à l'énergie incidente dans un plan horizontal. L'optimisation de l'orientation du champ photovoltaïque se manifeste clairement sur les graphes résultants en cliquant sur « voir optimisation ». Donc nous avons un Azimut qui est égale à 0 avec une inclinaison de 33° pour notre système étudier selon la figure 3.

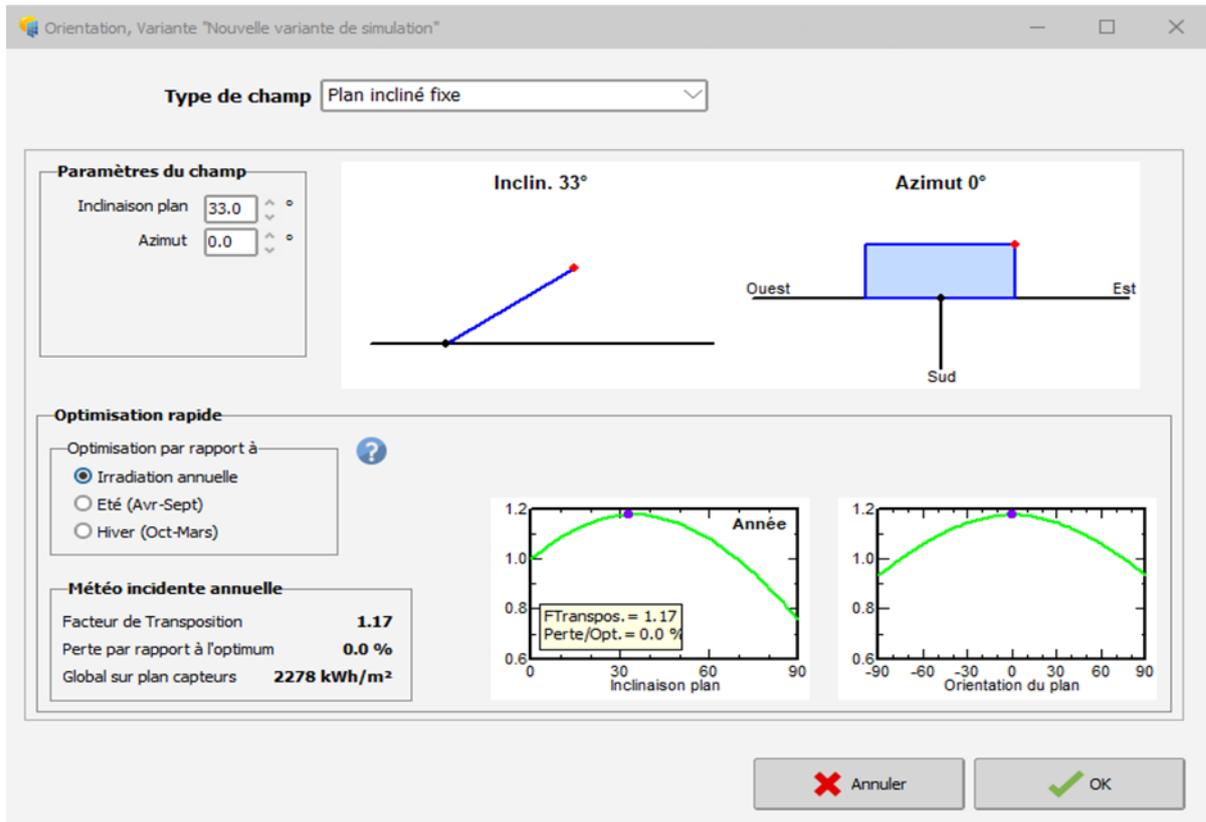


Figure IV. 3 : Boîte de dialogue d'orientation

IV. 8 Définition des besoins

Selon nos enquêtes sur ce département administrative étudié, constituée d'un rez-de-chaussée et de 5 étages, ou chaque étage est constituée de 12 bureaux et d'un sanitaire. Les besoins en puissance de notre département étudié sont mentionnés dans les tableaux IV.1. Et IV.2. Ces besoins sont définis dans ce paramètre voir figure IV.4.

Tableau IV. 1: Appareils électroménagers de département UBBAT et leurs puissances journalières

Type d'appareil	Nombre	Puissance (W/App)	Durée de fonctionnement (h)
PC	71	1403	6
Imprimante	62	483	2
Photocopieuse	25	1012	2
Téléphone	61	18	9
Eclairage	328	150	7

Tableau IV. 2: Estimation des consommations d'appareils disponible dans notre département.

Type d'appareil	Puissance*nombre	Consommation (Wh)
PC	99613	597678
Imprimante	29946	59892
Photocopieuse	25300	50600
Téléphone	1098	9882
Eclairage	49200	344400

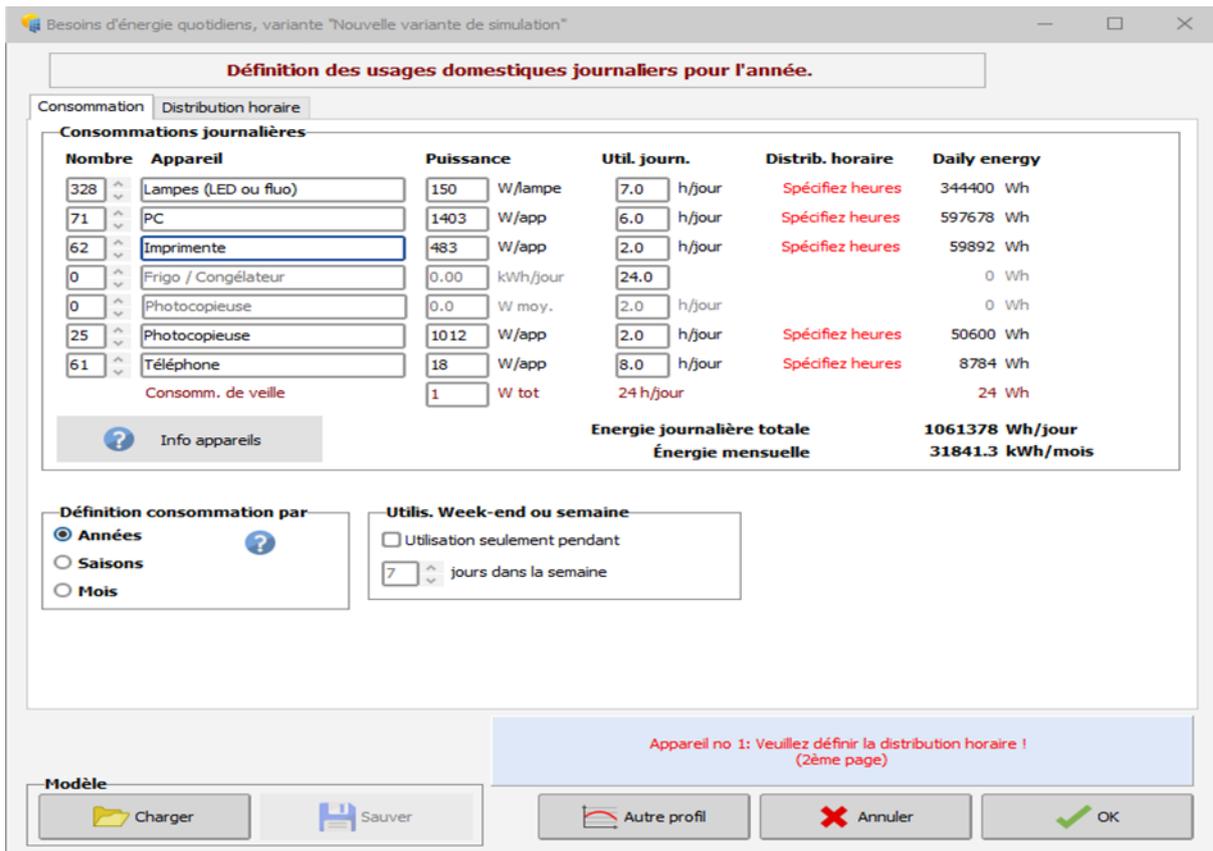


Figure IV. 3 : Définition de la consommation des récepteurs

Puis on précise la distribution horaire de nos besoins qui ont toujours été présents de personnes travaillant au sein de notre département étudié. On constate que les horaires de travail sont généralement entre 8h00 du matin jusqu'à 17h00, ou le taux élevé de l'utilisation de ses besoins est entre 10h00 jusqu'à 15h00, ce qui est clairement représenté dans le graphe de la figure IV.5.

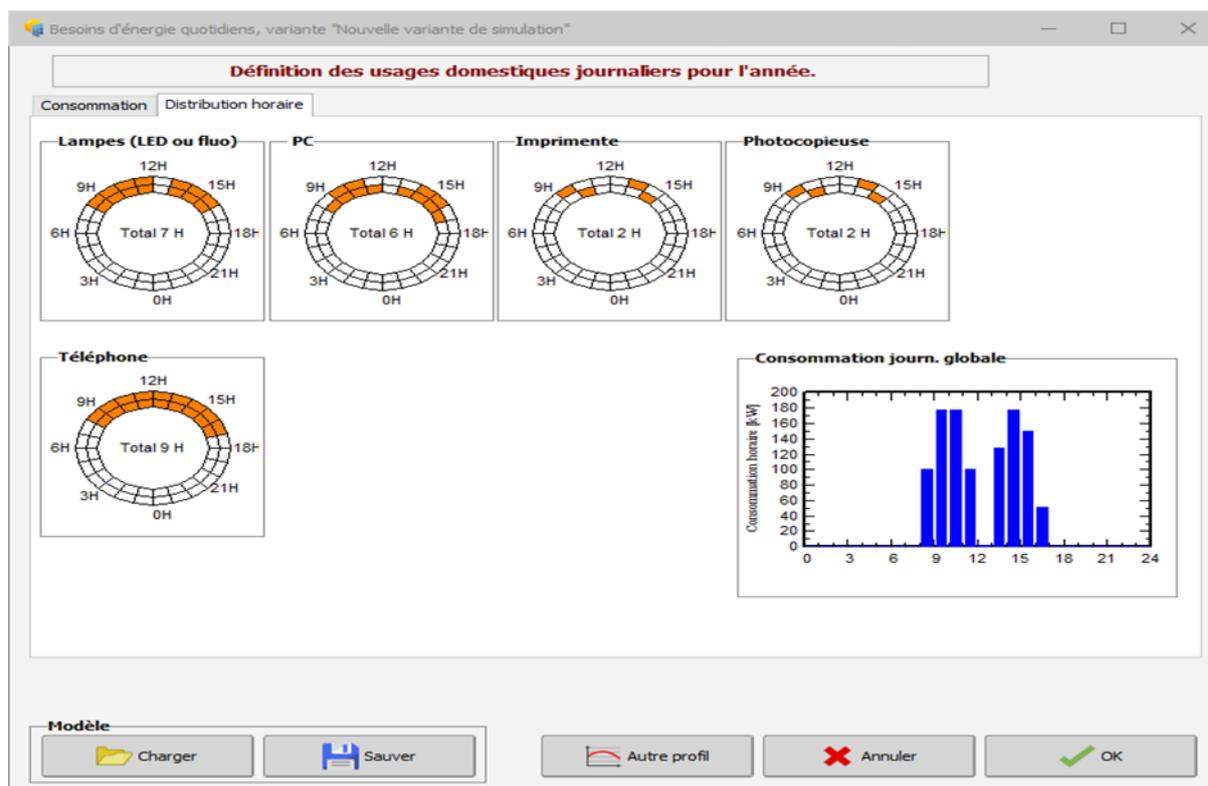


Figure IV. 4: Graphique de la consommation journalière.

IV. 9 Dimensionnement Stockages :

Dans cette partie nous avons choisi une autonomie de 1 journée, la figure IV.6 représente le dimensionnement stockage de notre système, ou nous avons obtenu une tension batterie de 48V avec une puissance crête de 212118 Wc.

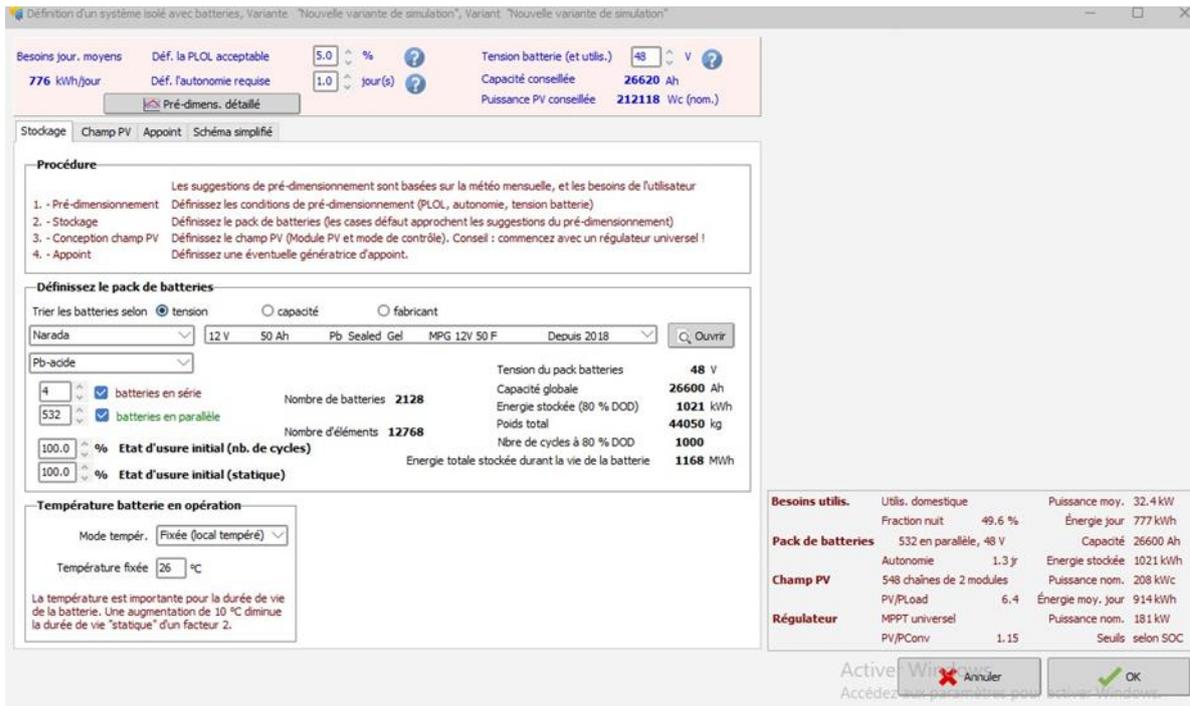


Figure IV. 5 : Définition du stockage du système.

- ❖ En série : 4 b
- ❖ En parallèle : 532 b

IV. 9 Dimensionnement PV :

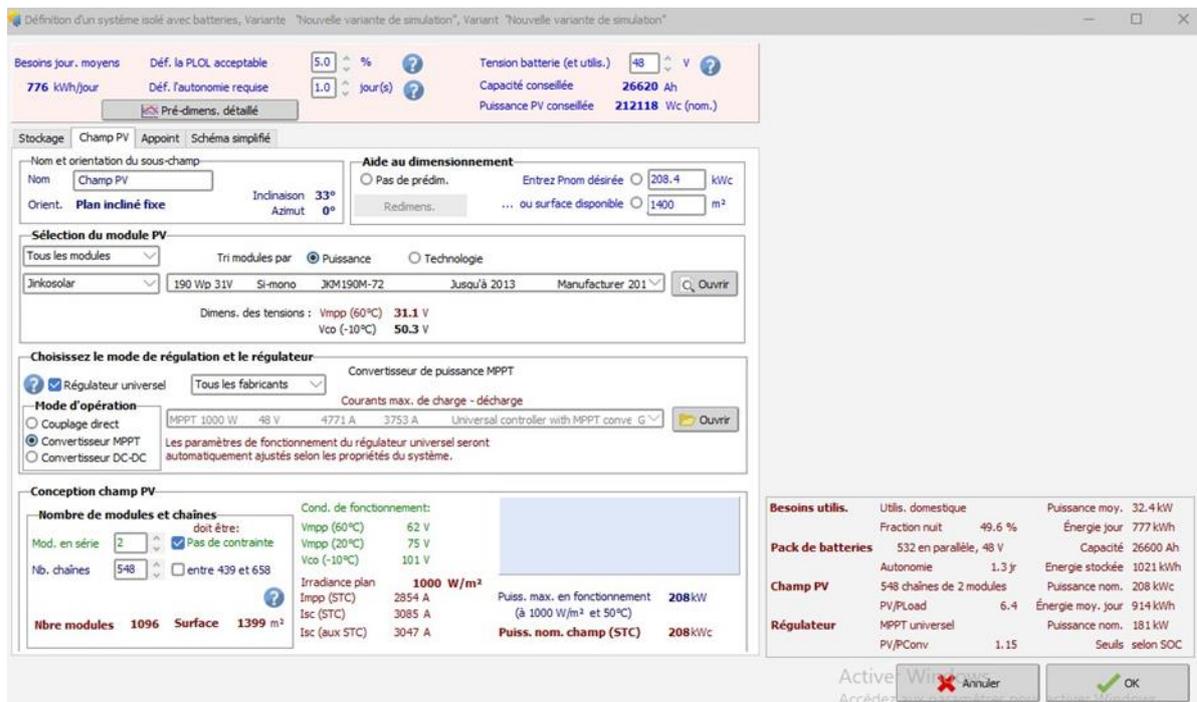


Figure IV. 6: Outil d'aide au prédimensionnement.

- ❖ En série : 2 PV
- ❖ En parallèle : 548 PV

IV. 8 Rapport détaillé de notre simulation :

Un rapport complet avec tous les paramètres impliqués et les résultats principaux, est conçu pour être directement à l'utilisateur.

Project summary			
Geographical Site	Situation	Project settings	
Aïn Temouchent	Latitude	35.29 °N	Albedo
Algeria	Longitude	-1.12 °W	0.20
	Altitude	0 m	
	Time zone	UTC+1	
Meteo data			
Aïn Temouchent			
NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Synthétique			

System summary			
Stand alone system		Stand alone system with batteries	
PV Field Orientation		User's needs	
Fixed plane		Daily household consumers	
Tilt/Azimuth	33 / 0 °	Constant over the year	
		Average	
		777 kWh/Day	
System information			
PV Array			
Nb. of modules	1096 units	Battery pack	
Pnom total	208 kWp	Technology	Lead-acid, sealed, Gel
		Nb. of units	2128 units
		Voltage	48 V
		Capacity	26600 Ah

Results summary			
Available Energy	383828 kWh/year	Specific production	1843 kWh/kWp/year
Used Energy	274182 kWh/year	Perf. Ratio PR	58.25 %
		Solar Fraction SF	96.72 %

Table of contents	
Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Detailed User's needs	4
Main results	5
Loss diagram	6
Special graphs	7

General parameters			
Stand alone system		Stand alone system with batteries	
PV Field Orientation		Models used	
Orientation		Transposition	Perez
Fixed plane		Diffuse	Perez, Meteonorm
Tilt/Azimuth	33 / 0 °	Circumsolar	separate
		User's needs	
		Daily household consumers	
		Constant over the year	
		Average	777 kWh/Day

PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JKM190M-72	Model	MPG 12V 50 F
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	190 Wp	Nb. of units	532 in parallel x 4 in series
Number of PV modules	1096 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	208 kWp	Stored energy	1052.8 kWh
Modules	548 Strings x 2 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	48 V
Pmpp	187 kWp	Nominal Capacity	26600 Ah (C10)
U mpp	65 V	Temperature	Fixed 26 °C
I mpp	2858 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.90 / 0.75
Technology	MPPT converter	approx.	54.0 / 50.7 V
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
Converter		approx.	47.1 / 49.1 V
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	208 kWp		
Total	1096 modules		
Module area	1399 m ²		
Cell area	1201 m ²		

Array losses					
Thermal Loss factor		DC wiring losses		Serie Diode Loss	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	0.38 mΩ	Voltage drop	0.7 V
Uc (const)	20.0 W/m ² K	Loss Fraction	1.5 % at STC	Loss Fraction	1.0 % at STC
Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s				
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss	
Loss Fraction	-0.8 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %
IAM loss factor					
ASHRAE Param: IAM = 1 - bo(1/cosi - 1)					
bo Param.	0.05				

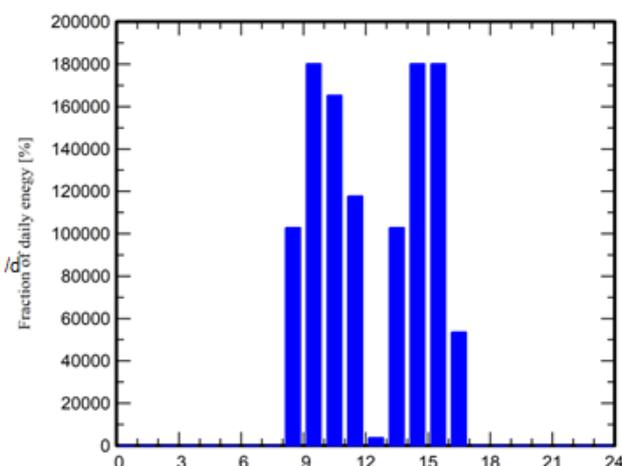
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 777 kWh/day

Annual values

Use 5 days a week	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
PC	71	150W/lam 1403W/ap	6.0	344400 597678
Imprimante	62	483W/app	2.0	59892
Photocopieuse	25	1012W tot	2.0	50600
Téléphone	61	61W tot	9.0	33489
Consomm. de veille			24.0	24
Total daily energy				1086083Wh

Hourly distribution



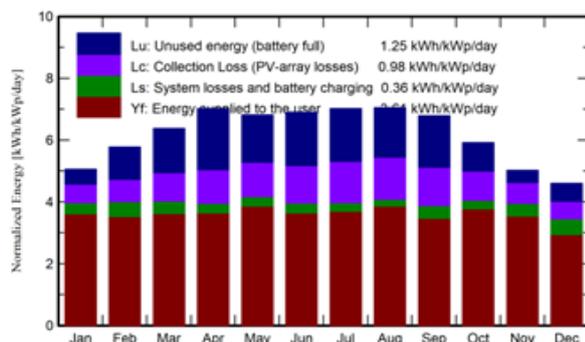
Main results

System Production

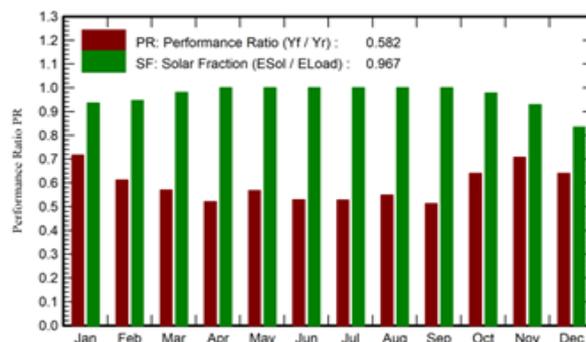
Available Energy	383828 kWh/year
Used Energy	274182 kWh/year
Excess (unused)	94906 kWh/year
Loss of Load	
Time Fraction	1.5 %
Missing Energy	9286 kWh/year

Specific production	1843 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR	58.25 %
Solar Fraction SF	96.72 %
Battery aging (State of Wear)	
Cycles SOW	93.2 %
Static SOW	91.1 %
Battery lifetime	11.2 years

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR

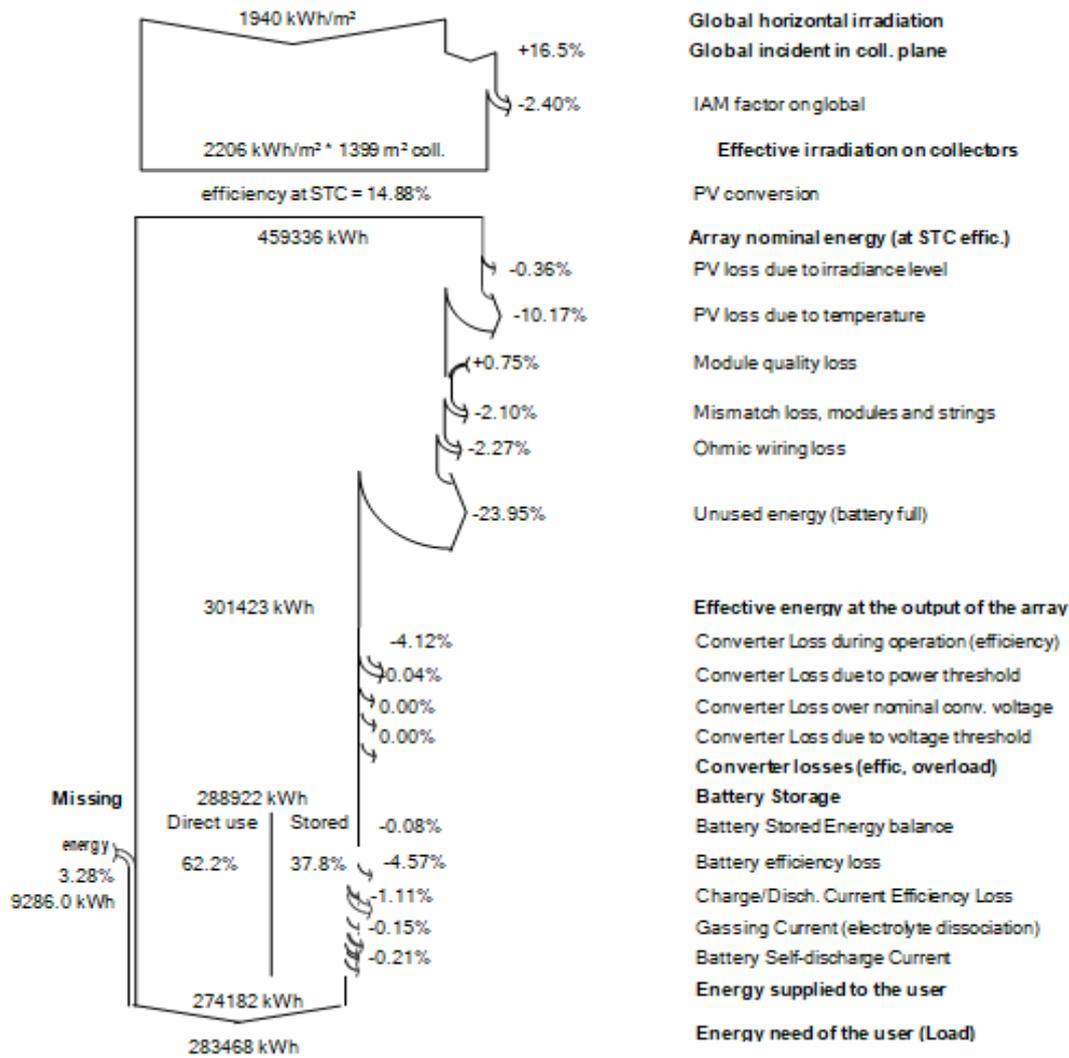


Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	92.4	153.4	27730	3062	1613	23367	24980	0.935
February	109.8	158.5	28529	6079	1156	20566	21722	0.947
March	159.3	193.2	34128	9169	469	23425	23894	0.980
April	196.8	205.0	36074	12309	0	22808	22808	1.000
May	221.7	205.2	35707	9867	0	24980	24980	1.000
June	229.5	200.7	34454	10733	0	22808	22808	1.000
July	234.7	211.2	35583	10982	0	23894	23894	1.000
August	213.6	212.9	35678	10344	0	24980	24980	1.000
September	172.5	198.7	33687	10365	0	21722	21722	1.000
October	133.0	179.8	31019	5879	549	24431	24980	0.978
November	94.2	147.5	26122	2381	1711	22183	23894	0.928
December	82.1	139.9	25117	3738	3789	19019	22808	0.834
Year	1939.6	2206.3	383828	94906	9286	274182	283468	0.967

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		



D'après les résultats, on constate bien que l'énergie produite par le champ photovoltaïque ($E_{user} = E_{utile}$) est proportionnelle aux valeurs d'énergie nécessaire pour répondre aux besoins de l'utilisateur pendant toute l'année ($E_{load} = E_{besoins}$), tel que la fraction solaire est définie par le rapport : $SF = E_{utile} / E_{besoin}$ et qui dépasse 50%.

La fraction solaire est maximale presque toute l'année sauf les mois de novembre décembre et janvier, et que le ratio de performance est faible à partir du mois d'avril jusqu'à le mois de septembre d'après la figure IV.8 car l'irradiation est maximale à cette période de l'année.



Figure IV. 4 : Indice de performance et la fraction solaire de l'installation PV.

D'après la figure IV.9, on constate que l'énergie non utilisée est maximale à partir du mois de mars jusqu'à le mois de septembre car l'irradiation est si forte et si abondante que notre système n'a pas besoin d'utiliser l'énergie stockée dans les batteries.

On constate également que les pertes de collecte sont maximales toujours à partir du mois de mars jusqu'à le mois de septembre car les panneaux n'absorbent pas toute l'irradiation disponible, surtout lorsque les batteries sont pleines.

Quant aux pertes du système, à la charge des batteries et à l'énergie fournie à l'utilisateur, elles sont constantes tout au long de l'année car notre système nous fournit l'énergie nécessaire quelles que soient les variantes.

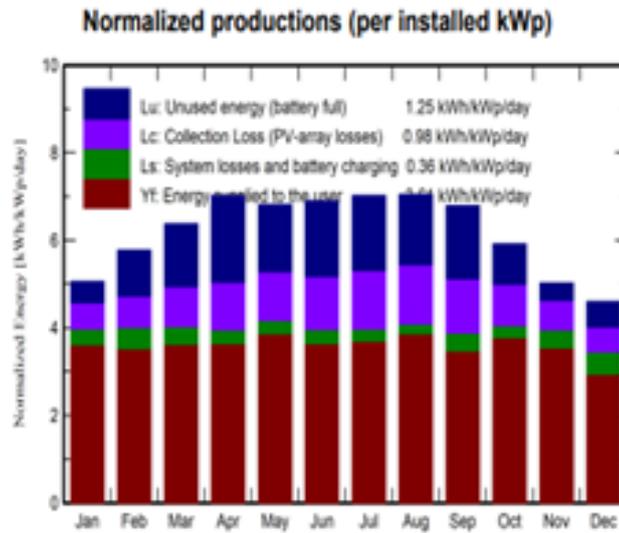


Figure IV. 5 : Energie utile produite par l'installation PV.

PARTIE II

Dimensionnement théorique de notre système photovoltaïque

➤ **Nombre de panneaux photovoltaïques**

A partir de la puissance crête des panneaux on peut déterminer le nombre de Panneaux solaire nécessaires à l'installation, il suffit de diviser la puissance totale souhaitée par la puissance unitaire d'un seul panneau solaire :

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{Puissance crête unitère panneau}}$$

Comme exemple Le nombre moyen de panneaux posés par Terre Solaire selon la puissance d'installation souhaitée avec une puissance crête d'un panneau $P_{cu} = 190W_c$

Nombre de module en série nécessaires afin que la chaîne photovoltaïque délivre une tension comprise dans la plage de tension MPPT de l'onduleur, on pourra considérer les deux critères suivants :

- La tension VMPP délivrée par la chaîne photovoltaïque, à la température minimale du site et sous une irradiation de $1000 W/m^2$, doit être inférieure à la valeur maximale de la plage de tension MPPT de l'onduleur. Cela permet de déterminer le nombre maximal de modules photovoltaïques en série.

- La tension VMPP délivrée par la chaîne photovoltaïque, à une température des modules de 60 °C et sous une irradiation de 1000 W/m², doit être supérieure à la valeur minimale de la plage de tension MPPT de l'onduleur. Cela permet de déterminer le nombre minimum de modules photovoltaïques en série.

➤ **Nombre de panneaux photovoltaïques en séries**

Le nombre minimum et le nombre maximum de modules photovoltaïques en série se calculent par la formule simple suivante :

- Nombre minimal de modules en série = $E_+ \left[\frac{V_{MPPT,MIN}}{V_{MPP} \times 0.85} \right]$
- Nombre maximal de modules en série = $E_- \left[\frac{V_{MPPT,MAX}}{V_{MPP} \times K} \right]$

Avec :

- $E_- [X]$: La partie entière inférieure du nombre X.
- $E_+ [X]$: La partie entière supérieure du nombre X.

$V_{MPPT,MIN}$: La valeur minimale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne

$V_{MPPT,MAX}$: La valeur maximale de la tension pour laquelle le tracker (MPPT) fonctionne

V_{MPP} : La tension de puissance maximale des modules photovoltaïque.

➤ **Nombre de panneaux photovoltaïques en parallèles**

Les connexions strictement parallèles sont principalement utilisées dans des systèmes plus petits et plus fondamentaux, et généralement avec des régulateurs PWM, bien qu'il s'agisse d'exceptions. Connecter les panneaux en parallèle augmentera les ampères et maintiendra la même tension (voir chapitre II). Le nombre de modules photovoltaïques en parallèles se calculent en divisant le nombre des panneaux photovoltaïques total par le nombre des panneaux photovoltaïques en série comme suite:

Avec :

$$N_p = \frac{N_m}{N_s}$$

N_m : nombre total de panneaux photovoltaïque

N_s : nombre de panneaux connectés en série

➤ **Calcul du nombre des panneaux solaires**

Pour calculer le nombre de panneaux solaires, nous allons calculer la puissance crête de champs photovoltaïques. On rappelle que l'école contient des panneaux solaires dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Puissance (W) : 190 W
- Nombre de cellules en série : 72
- Courant au point de puissance maximale (I_{mp}) : 5.19 A
- Tension au point de puissance maximale (V_{mp}) : 31.1 V
- Courant de courts circuit (I_{sc}) : 5.56 A
- Tension à vide ou circuit ouvert (V_{oc}) : 45.20 V

La Puissance crête de champs photovoltaïques :

$$P_{ch} = \frac{E_c \times P_i}{E_i \times K} = 236101 W_c$$

P_{ch} : Puissance crête de champs photovoltaïques en Watt crête (W_c)

E_c : Energie consommée par jour (Wh/jour)

E_i : Energie solaire journalière (W/m^2 jour) (irradiation)

P_i : puissance d'éclairement aux condition STC ($P_i = 1000 W/m^2$)

K : Ratio de performance (Facteur de correction globale (Entre 65 et 90) (%))

Nombre de panneaux :

$$N_m = \frac{P_{ch}}{\text{Puissance crête unitère panneau}} = 1243 \text{ panneaux}$$

Puissance crête unitaire par panneau=190 W_c

Remarque : Toujours pour précaution on ajoute quelques panneaux supplémentaires.

➤ **Nombre de panneaux en série :**

Pour calculer le nombre de modules PV connectés en série, la tension de ces modules doit être comprise dans la plage de tension MPPT de l'onduleur. Sachant que l'école contient un régulateur de charge intégré à l'onduleur et que ses caractéristiques sont les suivantes :

- Capacité : 3000 W
- Facteur de puissance : 1.0
- Plage de température de fonctionnement : 10-50°C
- Entrée CC : 24VDC, 142A
- Sortie CA : 230VAC, 50/60HZ, 13A
- Puissance nominale : 2425W
- Tension nominale de fonctionnement : 240VDC
- Tension solaire max (VOC) : 500VDC
- Plage de tension MPPT : 50-90VDC

Et l'onduleur disponible à l'école a une Puissance nominale : 4000W

- Nombre minimal de modules en série $E_+ \left[\frac{V_{MPPT,MIN}}{V_{MPP} \times 0.85} \right] = \left[\frac{40}{31.1 \times 0.85} \right] = 1 \text{ panneaux}$
- Nombre maximal de modules en série $E_- \left[\frac{V_{MPPT,MAX}}{V_{MPP} \times K} \right] = 2 \text{ panneaux}$

$$N_{ms} = 2 \text{ panneaux}$$

Remarque : Toujours par précaution on prendra 2 panneaux en série

➤ **Nombre de panneaux en parallèle :**

$$N_{mp} = \frac{1243}{2} = 622 \text{ panneaux}$$

Le nombre des panneaux en séries et en parallèles sont similaire et fait partie de l'intervalle calculés par le PVSyst, respectivement.

IV . 10 Conclusion

Dans ce chapitre on a réalisé deux parties, la première présente une simulation complète avec le PVSYST logiciel en passant par la géographie exact de notre lieu étudié ainsi que les données météorologiques ce qui nous a permis de faire un travail complet. La deuxième partie présente un dimensionnement théorique toujours pour le même lieu étudié ou on a approuvé théoriquement les résultats obtenu par la première partie d'où on a déterminer le nombre totales des panneaux photovoltaïques, le nombre des panneaux en série et le nombre des panneaux en parallèle. Notre travail permis de savoir de quoi notre système a besoin en équipements ce qui rend notre projet réellement beaucoup plus facile de le gérer.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'état de l'énergie solaire en Algérie est prometteur et en plein développement. Disposant de ressources solaires abondantes, l'Algérie est en pleine transition vers les énergies renouvelables pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et diversifier son mix énergétique.

L'intégration de l'énergie solaire est visible dans divers secteurs, tels que les stations-service à énergie solaire et les lampadaires. L'ambitieux programme d'énergies renouvelables de l'Algérie vise à mettre aux enchères 4 GW de capacité solaire d'ici 2024 et d'atteindre 22 GW de capacité renouvelable d'ici 2030, en mettant l'accent sur l'énergie solaire photovoltaïque.

Dans l'ensemble, le secteur de l'énergie solaire en Algérie possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde, avec une durée d'ensoleillement sur la totalité du territoire national pouvant atteindre les 3900 heures par année.

Pour cela on s'est particulièrement intéressé par la conversion photovoltaïque en mettant des panneaux solaires sur un endroit publique utilisant souvent de l'électricité, et raccordé des batteries au panneaux ou bien au réseau de la ville.

Notre étude a été réalisée sur le site administratif de la Faculté des Sciences et Technologie de l'UBBAT où nous avons fait une installation isolé avec batterie, nous avons commencé à remplir notre cahier de charge puis nous l'avons simulé à travers le logiciel PVsyst ,ce dernier nous a fait gagner beaucoup de temps et d'efforts et nous a fourni toutes les données liées à la localisation, à la navigation, à la météo et au rayonnement dont notre étude avait besoin, ce qui nous permet de travailler directement sur le terrain sans pertes financières importantes. Comme nous avons réalisé un dimensionnement théorique toujours pour le même lieu étudié ou on a approuvé théoriquement les résultats obtenus par le PVSYST d'où on a déterminé le nombre total des panneaux photovoltaïques, le nombre des panneaux en série et le nombre des panneaux en parallèle. Notre travail permis de savoir de quoi notre système a besoin en équipements ce qui rend notre projet réellement beaucoup plus facile de le gérer.

Enfin, nous espérons que les jeunes ingénieurs et entrepreneurs, grâce à cette technologie, pourront s'imposer dans le domaine pratique, d'autant plus que les populations commencent à s'ouvrir à l'énergie solaire et y voient une solution idéale pour économiser de l'énergie et de l'argent, même à

usage domestique, ce qui signifie que les opportunités d'emploi et d'investissement existent en abondance.

Perspective :

En fin de cette étude on espère voir ce type de projet se réalise en vrai . la réalisation de l'étude de coût économique sera une perfection ajoutée à notre projet ,ce dernier nous permet d'avoir un rapport financiers de cette installation qui aide de travaillé directement sur terrain sans crainte d'avoir des pertes énormes

Références

Références :

- [1].<https://understand-energy.stanford.edu/energy-resources/renewable-energy/introduction-renewable-energy>
- [2].United nations/economic and social council/economic commission for Europe/committee on sustainable energy/Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 to Renewable Energy Resources Prepared by the Task Force on Application of UNFC-2009 to Renewable Energy Resources
- [3].UNITED NATIONS ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE/Life Cycle Assessment of Electricity Generation Options
- [4].Centre de Développement des Energies Renouvelables Algerian Renewable Energy Resource Atlas 1st edition 2019
- [5]. <https://www.cder.dz/spip.php?rubrique34>
- [6].R. Pelc and R.M. Fujita, “Renewable energy from the ocean,” *Journal of Marine Policy*, 26, 471–479, 2002.
- [7].<https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/energie-renouvelable-record-efficacite-cellule-solaire-98682/>
- [8].S. Rahman, “Alternate sources of energy,” *IEEE Potentials*, 7, 22–25, 1988.
- [9].T. Kajikawa and T. Agawa, “System characteristics of low temperature difference power generation,” *Transactions on IEEE Journal*, 98-B, 773–780, 1978.
- [10]. G.T. Heydt, “An assessment of ocean thermal energy conversion as an advanced electric generation methodology,” *Proceedings of the IEEE*, 81, 409–418, 1993.
- [11]. C.B. Panchal, J. Larsen-Basse, L. Berger, J. Berger, B. Little, H.C. Stevens, J.B. Darby, L.E. Genens, and D.L. Hillis, “OTEC biofouling-control and corrosion-protection study at the seacoast test facility: 1981–1983,” *Argonne National Laboratory Report ANLIOTEC-TM-5*, 1985.

- [12]. M.A. Girgis and J.M. Siegel, "Open-cycle ocean thermal energy conversion," Florida Solar Energy Center, Technical Report, No: FSEC-FS-28-83, December 1983.
- [13]. M. Mac Takahashi, translated by: K. Kitazawa and P. Snowden, Deep Ocean Water as Our Next Natural Resource, Tokyo, Japan: Terra Scientific Publishing Company, 1991.
- [14]. <https://education.nationalgeographic.org/resource/wind-energy>
- [15]. Ocean Energy: Technology Overview, Renewable Development Initiative, available at: <http://ebrdrenewables.com>
- [16]. D.A. Dixon, "Fish and the energy industry," EPRI (Electric Power Research Institute) Research Report, ASMFC Energy Development Workshop, October 2006.
- [17]. <https://marine.copernicus.eu/services/use-cases/tidal-energy-assessment-tidea>
- [18]. P.O'Donnell, "Update '05: Ocean wave and tidal power generation projects in San Francisco," Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vol. 2, pp. 1990-2003, June 2005.
- [19]. <https://www.energy.gov/eere/water/hydropower-basics>
- [20]. <https://www.innovationnewsnetwork.com/hydropower-vs-wind-energy-securing-the-worlds-electricity-supply>
- [21]. <https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower-works>
- [22]. <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/hydroelectric-power-water-use>
- [23]. <https://www.energy.gov/eere/geothermal/geothermal-basics>
- [24]. <https://www.nrel.gov/research/re-geothermal.html>
- [25]. <https://geothermal-energy-journal.springeropen.com/>
- [26]. <https://greenerideal.com/guides/renewable-energy/geothermal-energy/>
- [27]. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/biomass>

- [28]. <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biomass-resources>
- [29]. <https://education.nationalgeographic.org/resource/biomass-energy/>
- [30]. <https://www.nrel.gov/research/re-biomass.html>
- [31]. Stambouli, A.B.; Khiat, Z.; Flazi, S.; Kitamura, Y. A review on the renewable energy development in Algeria: Current perspective, energy scenario and sustainability issues. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012, 16, 4445–4460. [CrossRef]
- [32]. SONALGAZ. The National Balance of Electricity and Gas 2015; 2015; Volume 15. Available online: <https://www.sonelgaz.dz/en/home>
- [33]. creg.dz. Commission for Regulation of Electricity and Gas. Program Indicative of the Requirements for Means of Production of Electricity (2008–2017). Available online: <https://creg.dz/> (accessed on 12 June 2020).
- [34]. Ministère de l'énergie et des Mines. Guide des Energies Renouvelables 2007. Available online: <https://www.energy.gov.dz/?article=contact> (accessed on 26 May 2020).
- [35]. Himri, Y.; Malik, A.S.; Stambouli, A.B.; Himri, S.; Draoui, B. Review and use of the Algerian renewable energy for sustainable development. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2009, 13, 1584–1591. [CrossRef]
- [36]. Current Status, Scenario, and Prospective of Renewable Energy in Algeria: A Review <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/9/2354>
- [37]. Administration USEI. Country Analysis Executive Summary: Iran; 2019; pp. 1–6. Available online: https://www.eia.gov/international/content/analysis/countries_long/Iran/pdf/iran_exe.pdf (accessed on 12 June 2020).
- [38]. Himri, Y.; Merzouk, M.; Merzouk, N.K.; Himri, S. Potential and economic feasibility of wind energy in south West region of Algeria. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 2020, 38, 100643. [CrossRef]
- [39]. Abdeslame, D.; Merzouk, N.K.; Mekhtoub, S.; Abbas, M.; Dehmas, M. Estimation of power generation capacities of a wind farms installed in windy sites in Algerian high plateaus. *Renew. Energy* 2017, 103, 630–640. [CrossRef]

- [40]. Nedjari, H.; Haddouche, S.K.; Balehouane, A.; Guerri, O. Optimal windy sites in Algeria: Potential and perspectives. *Energy* 2018,147, 1240–1255. [CrossRef]
- [41]. Wang, L.; Kerrouche, K.D.E.; Mezouar, A.; Bossche, A.V.D.; Draou, A.; Boumediene, L. Feasibility Study of Wind Farm Grid- Connected Project in Algeria under Grid Fault Conditions Using D-Facts Devices. *Appl. Sci.* 2018, 8, 2250. [CrossRef]
- [42]. Gadonneix, P.; Sambo, A.; Guobao, Z.; Kim, Y.D.; Teyssen, J.; Lleras, J.A.V. *World Energy Issues Monitor* 2019. World Energy Counc. 2019. Available online: <https://www.worldenergy.org/> (accessed on 20 May 2020).
- [43]. Kedaid, F.Z. Database on the geothermal resources of Algeria. *Geothermics* 2007, 36, 265–275. [CrossRef]
- [44]. Ministère de l'énergie. *Energie*. 2020. Available online: <https://www.energy.gov.dz/> (accessed on 26 May 2020).
- [45]. Saibi, H. Geothermal resources in Algeria. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2009, 13, 2544–2552. [CrossRef]
- [46]. Ouali, A.A.; Issaadi, A.; Maizi, D.; Ayadi, A.; Bouhdjar, A. Geothermal potential in the Ouarsenis-Biban-Kabylie (North Central Algeria): Hot spring catalogue. *Arab. J. Geosci.* 2019, 12, 741. [CrossRef]
- [47]. Akbi, A.; Saber, M.; Aziza, M.; Yassaa, N. An overview of sustainable bioenergy potential in Algeria. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 72, 240–245. [CrossRef]
- [48]. Eddine, B.T.; Salah, M.M. Solid waste as renewable source of energy: Current and future possibility in Algeria. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 2012, 3, 17. [CrossRef]
- [49]. Energypedia. *Algeria Energy Situation*. 2013. Available online: https://energypedia.info/wiki/Algeria_Energy_Situation (accessed on 27 May 2020).
- [50]. Africa Energy Series. *Algeria Special Report; 2020*. Available online: www.africaoilandpower.com/ (accessed on 20 May 2020).
- [51]. Arabstoday. *Government Closes Hydropower Plants to Save Water in Algeria*. 2014. Available online: <https://www.arabstoday.net/en/182/government-closes-hydropower-plants-to-save-water-in-algeria> (accessed on 3 June 2020).

- [52]. Stambouli, A.B.; Koinuma, H. A primary study on a long-term vision and strategy for the realisation and the development of the Sahara Solar Breeder project in Algeria. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2012, 16, 591–598. [CrossRef]
- [53]. International Hydropower Association. *Hydropower Status Report 2015*; Int Hydropower Assoc: London, UK, 2015.
- [54]. International Hydropower Association. *Hydropower Status Report 2019*; 2019. Available online: <https://www.hydropower.org/> (accessed on 20 May 2020).
- [55]. Laouari, A. *Hydropower in Algeria: Current Status and Future Opportunities*. *Int. J. Hydropower Dams*. 2017, 24. Available online: <https://www.hydropower-dams.com/articles/hydropower-in-algeria-current-status-and-future-opportunities/> (accessed on 12 June 2020)
- [56]. *Algeria’s Solar and Wind Power Industries Grow*. Oxford Bus Gr. 2019. Available online: <https://oxfordbusinessgroup.com/> (accessed on 12 June 2020).
- [57]. Bouznit, M.; Pablo-Romero, M.P.; Sánchez-Braza, A. Measures to Promote Renewable Energy for Electricity Generation in Algeria. *Sustainability* 2020, 12, 1468. [CrossRef]
- [58]. Inès Magoum. *ALGERIA: Towards an Agreement with Germany to Join Desertec Project*. Afrik21. 2020. Available online: <https://www.afrik21.africa/en/algeria-towards-an-agreement-with-germany-to-join-desertec-project/> (accessed on 12 June 2020).
- [59]. *Algeria: Renewable Energy Development Program to Create 200,000 Jobs 2011*. Available online: <https://www.ilo.org/global/lang--en/index.htm> (accessed on 12 June 2020).
- [60] TOUMI Nihed&KOUDA Iskandar « ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE ET SYSTEME PHOTOVOLTAIQUE AUTONOME » PROJET FIN D’ETUDE LICENCE Université Badji Mokhtar -Annaba2021
- [61] *Energie solaire photovoltaïque.doc* / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07
- [62] https://fr.wikipedia.org/wiki/Edmond_Becquerel
- [63] https://fr.wikipedia.org/wiki/Werner_von_Siemens
- [64] <https://www.greentechmedia.com/articles/read/happy-60th-anniversary-to-the-modern-solar-cell>
- [65] https://fr.solarpedia.net/wiki/index.php?title=Fichier:Satellite_Explorer_6.png

[66] <https://role-energies.fr/wp-content/uploads/2021/03/premiere-maison-photovoltaïques-300x300.jpeg>

[67] Belhadj Mohammed, "Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome",
Mémoire de Magister, université de Bechar, 2008

[68] Anne Labouret, Pascal Cumunel, "Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque",
Dunod, 5e édition, 2010

[69]. Mr. MESSAOUDENE Hichem Détermination intelligente de la puissance maximale des modules photovoltaïques Mémoire de de Magister UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR BATNA 2013/2014.

[70] DENDANI Assia « Etude et simulation d'une cellule photovoltaïque en silicium Polycristallin. » Mémoire de magister UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA2020.

[71]Zouhair EL JOUAD , « Réalisation et caractérisation des cellules photovoltaïques organiques », thèse de doctora, université bretagne loire ,2016

[72] Lamiss ABBAD&Sara DJOUADI « ELABORATION D'UN CODE DE CALCUL POUR L'ETUDE DES CELLULES SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES A HAUT RENDEMENT APPLICATION A LA CELLULE A L'ARSENIURE DE GALLIUM (GAAS) » Mémoire de Magister, Université larbiben m'hidi-oumelbouaghi

[73] <https://www.ecosources.org/images/category/83/silicium-amorphe.jpg>.

[74] BOUZIANE Afaf « Évaluation du rayonnement solaire en Algérie pour des applications photovoltaïques »

Mémoire de Magister, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA , 2018

[75]R. Merahi, « Modélisation d'un diapositif MPPT pour l'étude de l'augmentation de la puissance produite par les générateurs photovoltaïques », Mémoire de Magistère, Université de Annaba 2010.

[76] https://www.battery-world-service.com/actualites/actualite/batteries-de-stockage-solaire?page_type=post

[77]https://www.cder.dz/download/Art20-2_8.pdf « Optimisation du dimensionnement d'un système hybride »

- [78] Zahrouna Mohamed & Amine Bouaoune Khmissi « Recherche du point maximal de la puissance thermique et électrique d'un système PV/T » Mémoire de de Magister, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 2018 .
- [79] A. Tiwari, M. S. Sodha, A. Chandra et al, « Performance evaluation of photovoltaic thermal solar air collector for composite climate of India », Journal of Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 90, (2006).
- [80] Y. Tripanagnostopoulos, «Aspects and improvements of hybrid photovoltaic thermal solar energy systems», Journal of Solar Energy, Vol. 81, (2007).
- [81] M. Sandberg, B. Moshfegh, «Buoyancy induced air flow in photovoltaic facades. Effect of geometry of the air gap and location of solar cell modules», Journal of Building and environment, Vol. 37, (2002).
- [82] L.MEI. D.INFIELD U.EICKER « Thermal modeling of a building with an integrated ventilated PV façade ». Energy and buildings, 2003, Vol 35 n° 3 pp 605-617.
- [83] Slah Ben MABROUK, Etude d'un capteur solaire hybride photovoltaïque thermique Université Tunis El Manar, 08 December 2014.
- [84] W. Boucheritte, « Convertisseurs multi niveaux dans les systèmes PV Connectés au réseau», Mémoire de Magistère, Université de Biskra.
- [85] https://www.researchgate.net/figure/La-composition-dun-systeme-PV-raccorde-au-reseau-electrique_fig14_268075238
- [86] NEKBIL Houdhifa & BENZERROUK Islam « Etude et conception d'un mini-caractéristeur pour modules photovoltaïque » Mémoire de de Magister, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2020 .
- [87] <https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/2012-360-361-fev.-mars-p127-Lincot-HD.pdf>
- [88] Abdelkader OUTZOURHIT « CHAPITRE 3 Cellules Solaires: Principes, technologies et matériaux » cours système photovoltaïque , Ecole ECOMAT, Bouznika

- [89] Aïda BENAMAROUCHE « Etude et simulation d'une structure photovoltaïque à base de semi conducteurs II-VI (CdZnTe) » Mémoire de Magister, Université SAAD DAHLAB de BLIDA ,2011-2012
- [90] Hanbli, Oussama Abdeladaim& M Mansri, Ismail « Etude Et Simulation De L'émission Infrarouge A Base De Matériau Semi- conducteur » Mémoire de Master ,Électronique et Télécommunications, Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, 2020
- [91] Aissaoui Anis « Étude comparative des approches de recherche du point optimum de fonctionnement d'un générateur photovoltaïque » Mémoire de Magister, Université Abderrahmane Mira de Bejaia,2021
- [92] Nasreddine Benahmed ET Nadia Benabdallah«Chapitre I LES SEMI-CONDUCTEURS ET LA JONCTION» -Ecole Supérieure en Sciences Appliquées-Tlemcen, Algérie -OCTOBER 2016 - 14 P .
- [93] «<https://bv.univpoitiers.fr/access/content/user/fwatteau/site/peda/geii1/en1/cm/diode.pdf> ». (consulté le Sep. 17, 2020).
- [94] F.GUESSOUMI et A.SAADI, Mémoire de fine d'études « commande de panneaux solaire a l'aide d'une carte APIC, Université Biskra, 2010.
- [95] <https://www.pearl.fr/article/NX6199/panneau-solaire-mobile-avec-cellule-solaire-monocristalline-110-w>
- [96] CHERIFI Farida&GRIM Naima « Dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome » Mémoire de Magister, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou ,2018 .
- [97] https://www.solaris-store.com/img/cms/guide-solaire/parallele_panneau_site.png
- [98] NACEF Mohamed. « Analyse et commande optimale du système de stockage d'énergie dans un générateur photovoltaïque ». Mémoire de Master en Sciences et Technologie. Université Ferhat Abbes Sétif . 2012
- [99] L.Debou et D.Maghribi. «Commande d'un système hybride (photovoltaïque éolienne) de production d'énergie ». Mémoire d'ingénieur d'état. Université de bejaia Génie électrique 2008
- [100] N. Achaïbou, A Malek, N Bacha « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV » ; N. spécial (CHEMSS), Génie électrique 2000.

[101] Dirk Uwe Sauer, «Electrochemical Storage for Photovoltaics», Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, (2004).

[102] <https://www.batterie-solaire.com/files/25346/img/17/935227828146.jpg>

[103] BOUAMINE SADEQ & SAYAD YACINE « étude des caractéristiques des éléments d'un système photovoltaïque » Mémoire de Master en Sciences et Technologie, Université 08 mai 1945 GUELMA, JUIN 2011.

[104] https://www.bluenergy.fr/128-thickbox_default/regulateur-de-charge-solaire-bluesolar-mppt.jpg

[105] BOUKAROURA Abdelkader'' Modélisation et Diagnostic d'un Onduleur Triphasé Par l'Approche Bond Graph ''Mémoire de Magister UNIVERSITE FERHAT ABBAS DE SETIF 02/12/2009.

[106] https://www.memoireonline.com/02/11/4239/m_Production-de-lenergie-photovoltaique--la-societe-Nova-Diffusion18.html

[107] Hankins Mark, installation solaires photovoltaïques autonomes : conception et installation d'unités non raccordées au réseau, Paris :Dunod 2012.

[108] Anne labouret et al « énergie solaire photovoltaïque », dunod, paris 2003, 2005,2006 ISBN 2-10-049945-9, P 223.

[109] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques », 2011, ISBN978-2-281-11497-3 P127

[110] Ghedeir Brahim Dhif et Sayah Lembarek Mouadh, « Gestion d'énergie d'un système photovoltaïque », Master professionnel en Electronique, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2018

[111] <https://www.ecosolaire.com/2017/10/10/linclinaison-du-panneau-solaire-photovoltaique/>

[112]] Sylvain Brigand « installations solaires photovoltaïques » 2011, ISBN978-2-281-11497- 3 P150

[113] Anis Yaker et al « dimensionnement d'une centrale photovoltaïque autonome », thèse de master année (2015), p41-42.

[114] Falk ANTONY, Christian DÜSHNER et Karlheinz REMMERS, « Le photovoltaïque pour tous Conception et réalisation d'installation », livre édité par : INES), 2006.

[115] BENCHEGHIB TAKAI EDDINE & RAHEM CHOROUK « Dimensionnement d'un Système Photovoltaïque pour une Habitation Énergétiquement Autonome » mémoire de magister , Université 8 Mai 1945 – Guelma, 2014

[116] : GABANI Lakhdar & RIGHI Abdoullah « Dimensionnement d'un système multi sources à énergies renouvelables » mémoire de master, Université de Ghardaïa, 2021