

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 سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الآلية و الألكتروتقني
Département d'Automatique et électrotechnique



Mémoire de Master

Mention Automatique

Spécialité Automatique et Systèmes

Présenté par

MEGUETOUHNIF Razika

Comparaison Technico-Economique d'une Installation Photovoltaïque des Panneaux Solaires Fixes et Mobiles Afin De Produire Une Puissance De 5kw Dans Le Site De Ouled Djellal

Promotrice : Dr. CHENTIR Amina

Co-promoteur : Mme. SOUILAMAS Nesrine

Année Universitaire 2022-2023

Je tiens à remercier ALLAH le tout puissant de m'avoir donné courage, santé, souffle et patience pour accomplir ce travail.

*Je veux tout d'abord adresser toute mes reconnaissances à ma chère enseignante et promotrice **Dr. CHENTIR Amina** , pour tout ce que j'ai appris d'elle. Je la remercie aussi pour la qualité de son encadrement exceptionnel, sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant ma préparation de ce mémoire.*

*Mes sincères remerciements vont à tous le personnel de Sonelgaz qui m'ont toujours accueillie avec beaucoup de gentillesse et de patiences, en particulier ma co-promotrice **Mme. SOUILAMAS Nesrine** qui m'a guidée et soutenue au cours de ce stage.*

Je remercie également les membres de jury pour l'honneur qu'ils me font de juger mon travail.

Enfin, mes remerciements les plus chaleureux s'adressent à ma maman.

Je dédie ce travail à :

Mes chers parents, nulle dédicace ne peut exprimer mes sincères sentiments, pour leur patience Illimitée, leur encouragement continu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour ses grands sacrifices. Surtout ma MERE que je remercie pour tout ce qu'elle fait pour moi, je lui souhaite une bonne santé. Qu'Allah te protège de tout mal.

À mon petit frère AHMED, à mes sœurs KHAWLA, FATIMA, RYANE "Love y'all". Les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement ,L'amour et l'affection que je porte pour vous .Merci pour tout ! pour votre amour ,la confiance et l'énergie que vous m'aviez donnée.

À mes chères amies et à tous les étudiants de ma promo. Et à toute personne qui a contribué à la réalisation de ce travail .

الملخص:

الهدف الذي يتمحور عليه هذا المشروع هو المقارنة بين إنتاجية الألواح الشمسية الثابتة والمتحركة. لقد استعملنا عدة أدوات منها التحجيم لبرنامج PV-SYST ووحدات التحكم المنطقية القابلة للبرمجة S7-300 من اجل التحكم في اللوحات المتحركة, و ذلك باستخدام برنامج تياپورتال(سيمنز).
تمت الدراسة على قطعة ارض في ولاد جلال وهي منطقة غنية بالموارد الشمسية من أجل إنتاج 5 كيلوواط. تمت مقارنة نتائج هذه الدراسة عدد الألواح الشمسية والبطاريات والمساحة المستعملة وتكلفة التركيب و المردود.
الكلمات المفتاحية : نظام الضوئية، S7-300، التركيب الثابت و المتحرك، التحجيم، PV-SYST، API، IHM، نظام التتبع.

Résumé :

Le but de ce projet de fin d'études consiste à une comparaison technico-économique des installations de production d'énergies électrique photovoltaïque entre les systèmes des panneaux solaire fixes et les systèmes à panneaux solaire mobiles , en utilisant les outils de dimensionnement du logiciel pv-syst et la commande des panneaux mobiles par des automates programmable industriel S7-300, en utilisant logiciel Tia Portal (siemens) dans la zone de Ouled Djellal riche en ressources solaires afin de produire une énergie de 5KW.

Tout ceci, en se basant sur le nombre des panneaux, batteries, la surface de la carrière, le cout de l'installation et le rendement.

Mots Clés : installation photovoltaïque ; S7-300 ; installations fixe et mobile ; dimensionnement ; PV-SYST ; API ; IHM ; tracker.

Abstract:

The aim of this final-year project is to carry out a technico-economic comparison of photovoltaic power generation systems between fixed and mobile solar panel systems, using pv-syst sizing tools and S7-300 PLC control of mobile panels, using Tia Portal software (siemens) in an area of Ouled Djellal rich in solar resources, in order to produce 5KW of power.

All this is based on the number of panels, batteries, quarry area, installation cost and yield.

Key Words: Photovoltaic installation ; S7-300 ; fixed and mobile installations ; Dimensions ; PV-SYST ; PLC ; HMI ; tracker.

Table des Matières

Remerciements

Dédicaces

Résumés

Table des matières

Liste des figures et tableaux

Liste des abréviations

Introduction Générale	1
Chapitre I : Généralités sur l'Energie Photovoltaïque.....	3
I.1 Introduction.....	3
I.2 Qu'est-ce que l'effet photovoltaïque ?	3
I.3 Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	4
I.4 La cellule solaire	6
I.5 Les différentes générations de cellules photovoltaïques	6
I.5.1 Les cellules de 1 ^{ère} génération.....	7
I.5.2 Les cellules de 2 ^{ème} génération.....	8
I.5.3 Les cellules de 3 ^{ème} génération.....	9
I.6 Qu'est-ce qu'un panneau photovoltaïque ?	9
I.6.1 Association en série.....	10
I.6.2 Association en parallèle.....	10
I.7 Paramètres électriques d'un module photovoltaïque.....	11
I.8 Principe de fonctionnement d'une installation photovoltaïque.....	12
I.9 Les différents types des systèmes photovoltaïques	13
I.9.1 Système photovoltaïque isolé, non raccordé, autonome	13
I.9.2 Système photovoltaïque connecté au réseau	14
I.9.3 Les systèmes photovoltaïques hybrides	14
I.10 Conclusion.....	15
Chapitre II : Le Tracker Solaire	14
II.1 Introduction	14
II.2 Qu'est-ce que le tracker solaire ?	14
II.3 Types de systèmes de suivi solaire.....	15
II.3.1 Tracker solaire passif.....	16
II.3.2 Tracker solaire actif.....	16
II.4 Intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes.....	18
II.5 Avantages et inconvénients des suiveurs	20
II.6 Gisement solaire	21
II.6.1 Gisement solaire mondial.....	21
II.6.2 Le gisement solaire en Algérie.....	22
II.7 Conclusion.....	23

Chapitre III : Conception d'une Installation Photovoltaïque.....	23
III.1 Introduction	23
III.2 Objectif.....	23
III.3 Qu'est-ce que le dimensionnement d'un système photovoltaïque ?	24
III.4 Le logiciel PV-SYST	25
III.5 Dimensionnement d'un système autonome avec le fixe	27
III.5.1 Schéma simplifié du système autonome	27
III.5.2 Description du dimensionnement.....	28
III.5.3 Rapport obtenu pour le système à PV fixes	36
III.6 Dimensionnement d'un système suiveur.....	44
III.6.1 Description du dimensionnement à PV mobiles	44
III.6.2 Rapport obtenu pour le système suiveur	45
III.7 Comparaison entre les systèmes fixe et suiveur.....	54
III.8 Conclusion.....	55
Chapitre IV : Programmation et Simulation du Projet	56
IV.1 Introduction	56
IV.2 Structure générale d'un API.....	56
IV.2.1 Structure interne d'un automate programmable industriel.....	58
IV.2.2 Fonctionnement.....	59
IV.3 Automate Programmable Industriel S7 300	60
IV.3.1 Fonctionnement.....	61
IV.3.2 Modularité S7-300	62
IV.4 Le capteur inductif.....	62
IV.5 Moteur asynchrone triphasé	63
IV.6 Programmation de l'API S7-300.....	65
IV.6.1 Data bloc (DB)	65
IV.6.2 La table des mnémoniques (les variables).....	66
IV.6.3 Le programme	66
IV.6.4 Présentation de l'IHM	70
IV.7 Simulation du programme	71
IV.8 Conclusion.....	73
Conclusion Générale	74
Bibliographie	76
Annexes	

Liste des Figures et Tableaux

Liste des Figures

Figure I.1: L'effet photovoltaïque	4
Figure I.2 : La cellule cristalline	7
Figure I.3 : Les cellules cristallines (monocristallines, polycristallines).....	8
Figure I.4 : Exemple d'une connexion en série	10
Figure I.5 : Exemple d'une connexion en parallèles.....	11
Figure I.6 : Schéma général d'un système photovoltaïque.....	12
Figure II.1 : Principe de fonctionnement d'un tracker solaire.....	15
Figure II.2: Exemple de fonctionnement d'1 suiveur passif	16
Figure II.3 : Les différentes architectures du suiveur mono-axe	17
Figure II.4 : Tracker actif double axe	18
Figure II.5 : Panneau photovoltaïque fixe.....	19
Figure II.6 : Panneau photovoltaïque avec suiveur.....	19
Figure II.7 : Diagramme comparatif : production avec suiveur / production avec système fixe.....	20
Figure II.8 : Moyenne annuelle du Rayonnement solaire journalier sur un plan horizontal.....	22
Figure III.1 : Vue générale de la page principale de PVsyst 7.2.....	26
Figure III.2 : Configuration typique d'un système isolé.....	27
Figure III.3 : Sélection de emplacement de oud Djalal sur la carte	29
Figure III.4 : Choix de l'orientation du générateur PV	30
Figure III.5 :Définitions des usages journaliers / année.....	31
Figure III.6 : La distribution horaire journalière.....	32
Figure III.7 : Diagramme de consommation journalière globale.....	32
Figure III.8 : Energie solaire disponible et besoin de l'utilisateur / mois.....	33
Figure III.9 : Réglage de stockage d'une installation	34
Figure III.10 :Température batterie en opération.....	34
Figure III.11 : Réglage de champ PV d'une installation.....	35
Figure III.12 : Diagramme des pertes annuelles	36
Figure III.13 : Réglage de champ PV d'une installation mobile	45
Figure IV.1: Aspect extérieur d'un automate S7-200 CPU222.....	57
Figure IV.2: Exemple d'un Automate Modulaire	58
Figure IV.3 : Structure interne d'un automate programmable industriel (API)	59
Figure IV.4 : Fonctionnement cyclique d'un API	60

Figure IV.5 : Présentation des modules du S7-300.....	61
Figure IV.6 : Le capteur inductif	63
Figure IV.7 : Moteur asynchrone triphasé	64
Figure IV.8 : Le rotor d'un moteur asynchrone triphasé	64
Figure IV.9 : Data bloc (DB)	65
Figure IV.10 : La table des mnémoniques	66
Figure IV.11 : Réseau 1	67
Figure IV.12 : Réseau 2	67
Figure IV.13 : Réseau 3	68
Figure IV.14 : Réseau 4	68
Figure IV.15 : Réseau 5	69
Figure IV.16 : Réseau 6	69
Figure IV.17 : Réseau 9	69
Figure IV.18 : Liste des variables	70
Figure IV.19 : L'ajout de marche avant au liste des variables.....	70
Figure IV.20 : L'activation de START / STOP	71
Figure IV.21 : Ladder-Réseau 1 Figure IV.22 : Ladder-Réseau 2.....	71
Figure IV.23: Ladder-Réseau 3.....	72

Liste des tableaux

Tableau I.1: Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	5
Tableau III.1 : Les paramètres d'emplacement de Ouled Djellal.....	30
Tableau III.2 : les prix des composants d'installations fixe et mobile.....	53
Tableau III.3 : Comparaison des résultants d'installations fixe et mobile.....	55

Liste des Abréviations

AC : Alternative Current

API : Automate Programmable Industriel.

CPU : Central Procession Unit.

DC :Direct current

EEPROM : Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

EPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory

E/S : Entrées/ Sorties

FF : Facteur de Forme

Icc: Courant de Court-Circuit

IHM : Interface Homme-Machine

Impp : Le courant maximale

Km:kilomètre

KW : Kilo Watt.

LADDER : Livelihoods and Diversification Directions Explored by Research.

Mm: Millimètre

MPPT: Maximum power point tracking

MW: Mega Watt

PC : Partie Commande

PG :Programmation

PLC : Programmable Logique Controller

PV: Photovoltaïque

PV-SYST: Photovoltaïque -Système

S7 : STEP7.

Si-Poly: silicium -polycristallin

TIA Portal : Totally Integrated Automation Portal.

Uco : Tension de Circuit Ouvert

Umpp : La tension maximale

Introduction Générale

L'énergie solaire reçue par la terre vaut, en chiffres ronds, environ 10.000 fois la quantité totale d'énergie consommée par l'ensemble de l'humanité. En d'autres termes, capter 0,01% de cette énergie nous permettrait de nous passer de pétrole, de gaz, de charbon et d'uranium.

Comment pouvons-nous profiter de cette grande quantité ? l'énergie solaire est dispersée sur toute la superficie de la terre et les océanes. En moyenne la quantité d'énergie qui est appelée par notre atmosphère extérieure équivaut à une puissance de 1.4kw par chaque m², quantité qui se réduit jusqu'à approximativement 1 kW/m² quand il traverse l'atmosphère et arrive au sol.

La radiation qui arrive sur la terre varie de forme aléatoire à cause de plusieurs effets divers qui sont provoqués sur elle par l'atmosphère terrestre. Par exemple, une grande partie de la radiation est victime d'une absorption et d'une dispersion dans l'atmosphère comme conséquence de sa propre structure et des agents variables.

La radiation solaire qui arrive à la superficie terrestre se divise en trois parties : la radiation directe, la radiation diffusée et la radiation réflétée. La somme des trois radiations forme la radiation globale.

Depuis le début des années 80, la quantité de modules photovoltaïques expédiés par an (mesurés en MW-Crêtes) a augmenté et le prix des modules (par Watt-Crête) diminuait au fur et à mesure que le nombre de modules fabriqués augmentait. Bien que le prix se soit quelque peu stabilisé, la quantité de modules photovoltaïques expédiés chaque année continue d'augmenter.

En Algérie bien que les conditions (géographiques, climatiques et météorologiques) soient très favorables, l'énergie solaire n'a pas encore percé et ce marché demeure encore presque vierge.

Notre pays a un des gisements solaires des plus élevés au monde, en effet de par sa position géographique dispose de plus de 2500 heures d'ensoleillement en moyenne par an sur une très grande partie de son territoire.

Le but principal de notre travail est d'améliorer les systèmes de production d'énergies électrique par les panneaux photovoltaïque, en adaptant un système mobile utilisant les suiveurs qui sont commandés par un API en exploitant des logiciels simples tels que le Tia Portal step7 win CC, PLC HMI et bien sur le PV-syst.

Le travail présenté dans ce mémoire, est organisé comme suit :

- Le chapitre 1 traite des généralités sur les énergies renouvelables photovoltaïques
- Dans le chapitre II, on définit les gisements solaires en Algérie (Ouled Djellal), les trackers solaires avec leurs différents types d'installation, leurs avantages et leurs inconvénients aussi.
- Le chapitre III est consacré à l'étude du dimensionnement et la comparaison des installations PV fixes et mobiles.
- Dans le chapitre IV, nous présenterons l'API S7-300, les moteurs et les capteurs utilisés dans le système mobile et bien sur les tests et les simulations réalisés.
- Et enfin, une conclusion générale va résumer notre travail, tout en proposant des perspectives pour l'amélioration de notre travail .

Chapitre I

Généralités sur l'Energie

Photovoltaïque

Introduction

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin (semi-conducteur) qui reste la filière la plus avancée sur le plan technologique et la production d'énergie électrique. En effet le semi-conducteur, le silicium, est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique.

Le mot " photovoltaïque" vient du grec "photo" qui signifie lumière et "voltaïque" qui tire son origine du mot d'un physicien italien Alessandro Volta (1754-1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité.

Nous allons donc, dans ce chapitre, présenter quelques définitions utilisées dans le domaine du photovoltaïque ainsi que quelques concepts de base.

Qu'est-ce que l'effet photovoltaïque ?

L'effet photovoltaïque, découvert en 1839 par le français Edmond Becquerel, désigne la capacité que possèdent certains matériaux, notamment les semi-conducteurs, à convertir directement les différentes composantes de la lumière du soleil (et non sa chaleur) en électricité.

Autrement dit, l'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semiconducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière.

Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p.

Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p est alors chargée négativement (Figure I.1) [1] [2].

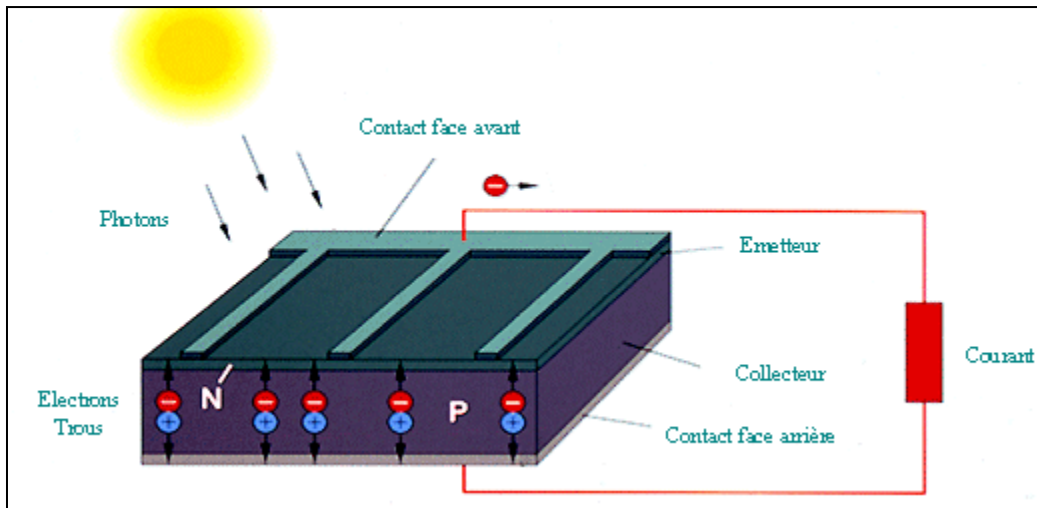


Figure 0.1: L'effet photovoltaïque[3]

Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque

L'énergie solaire est une énergie renouvelable et donc inépuisable à l'échelle humaine. En effet, même si le soleil a une durée de vie limitée, à notre échelle, elle promet de fournir encore sa clarté et sa chaleur pour de nombreux siècles. Cependant, en fonction des caractéristiques de l'installation solaire, il y a des inconvénients de l'énergie solaire qu'il est important de connaître.

Le tableau ci-dessous, présente quelques principaux avantages et inconvénients de ce type d'énergie[4].

Avantages	Inconvénients
-----------	---------------

L'énergie photovoltaïque peut être installée partout, même en ville.	Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé.
L'énergie photovoltaïque est renouvelable et gratuite.	Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût.	Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente.
La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voire de générer des revenus.	Les panneaux contiennent des produits toxiques et la filière de recyclage n'est pas encore existante.
Les systèmes photovoltaïques sont fiables : aucune pièce employée n'est en mouvement. Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes.	Le rendement électrique diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans).
L'énergie photovoltaïque est totalement modulable et peut donc répondre à un large éventail de besoins. La taille des installations peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de son propriétaire.	
Le coût de fonctionnement des panneaux photovoltaïques est très faible car leur entretien est très réduit, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.	

Tableau 0.1: Avantages et Inconvénients de l'énergie photovoltaïque

La cellule solaire

La cellule solaire, élément unitaire d'un module photovoltaïque, est aussi l'élément actif dans lequel se produit l'effet photovoltaïque. Celui-ci permet au matériau de cellule de capter l'énergie lumineuse (photons) et de la transformer en énergie électrique caractérisée par un déplacement de charges, positives et négatives.

De manière générale, les cellules photovoltaïques peuvent être vues comme un empilement de matériaux (Figure I.1) :

- la couche active ou l'absorbeur constituée d'un premier matériau accepteur d'électrons et d'un second matériau donneur d'électrons, formant une jonction donneur-accepteur ;
- les contacts métalliques avant et arrière constituant les électrodes positive (+) et négative (-) chargées de collecter le courant généré ;
- des couches supplémentaires comme un anti-reflet ou une couche plus fortement dopée permettant d'améliorer les performances de la cellule : meilleure absorption de la lumière, meilleure diffusion des porteurs de charges dans le matériau etc[5].

Les différentes générations de cellules photovoltaïques

Il existe de nombreuses familles et sous-familles de cellules qui diffèrent chacune selon la nature du semi-conducteur et du procédé de fabrication. Néanmoins, leurs propriétés électriques sont semblables d'une technologie à une autre.

Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono ou polycristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou de sulfure de cadmium (CdS), de tellure de cadmium (CdTE) et des alliages de cuivre indium et sélénium (CIS)....

Généralement on distingue des cellules photovoltaïques en fonction des développements technologiques) [6].

I.1.1 Les cellules de 1^{ère} génération

Les cellules de première génération sont basées sur une seule jonction P-N et utilisent généralement le silicium sous forme cristalline comme matériau semi-conducteur. Le silicium est fondu puis refroidi afin d'obtenir un cristal qui sera découpé en fines tranches (les wafers) pour obtenir la cellule photovoltaïque (Figure I.2) [6].

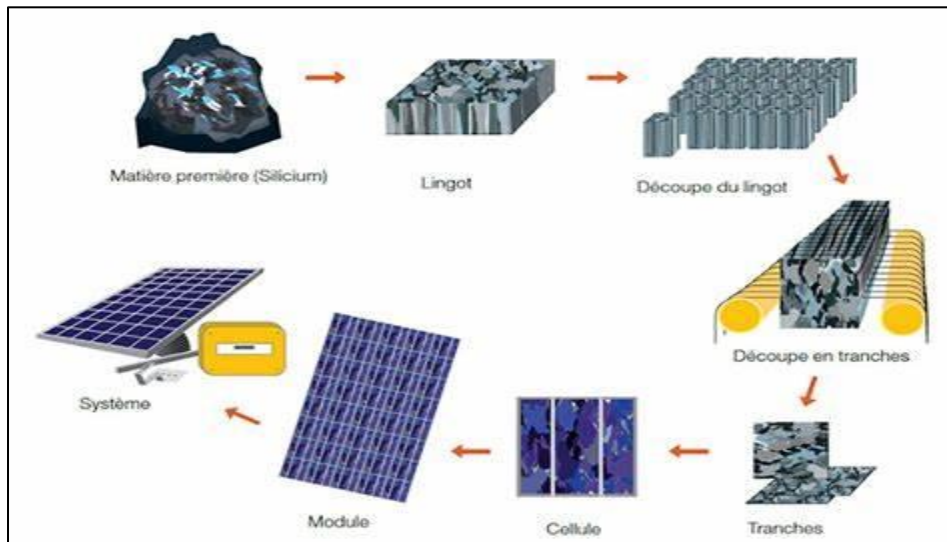


Figure 0.2 : La cellule cristalline[6]

Cette méthode de production est très énergivore et donc très chère. Elle nécessite par ailleurs un silicium de grande pureté. On différencie les cellules en silicium monocristallin et en silicium polycristallin (Figure I.3) [6].

a) Les cellules en silicium monocristallin

- Très bon rendement
- Sensibilité accrue aux rayonnements directs
- Coût élevé).

b) Les cellules en silicium polycristallin

- Bon rendement (moins bon que les cellules monocristallines)

- Coût moins élevé que pour les cellules monocristallines
- Sensibilité accrue aux rayonnements directs
- Forte sensibilité à la température).



Figure 0.3 : Les cellules cristallines (monocristallines, polycristallines)[6]

I.1.2 Les cellules de 2^{ème} génération

Les couches minces constituent la seconde génération de technologie photovoltaïque. Dans cette génération, on distingue le silicium amorphe (a-Si), le diséléniure de cuivre indium (CIS), le tellure de cadmium (cdTE), entre autres,...

Dans le cas de couches minces, la couche de semi-conducteur est directement déposée sur un substrat (ex : verre, plastique,...). La production de ce type de cellules est moins coûteuse que celle de la 1^{ère} génération puisqu'elles consomment moins de matériaux semi-conducteur et ne nécessitent pas de passer par l'étape de transformation en « wafers ».

Ces cellules possèdent divers avantages et inconvénients :

- Sensibilité accrue aux rayonnements diffus
- Moins sensible à l'ombrage dû à la forme longitudinale des cellules
- Moins de matériau de base pour la fabrication
- Moins sensible aux fortes températures
- permet la fabrication de panneaux souples et flexibles
- Certains éléments très polluants lors de la fabrication (cadmium)
- Performance diminuant dans le temps
- Rendement moindre que les cellules de 1^{ère} génération

Notons que le diséléniure de cuivre qui est au stade de la production industrielle et offre un rendement de 10 à 12% pour les modules commerciaux ne présente pas les problèmes de toxicité du cadmium. Les réductions de coût attendus à moyen terme pour cette technologie sont donc très promoteurs)[6].

I.1.3 Les cellules de 3^{ème} génération

La troisième génération vise à passer la limite maximale de rendement des cellules actuelles, qui est d'environ 30%. Plusieurs concepts sont envisagés pour atteindre cet objectif :

- Superposition de multiples cellules (utilisant des bandes d'énergie différentes)
- Cellules à concentration
- Utilisation de photons à basse énergie qui ne sont habituellement pas abordé par la cellule
- Cellules à électrons chauds produisant plus de paires d'électron/trou pour des énergies supérieures à la bande d'énergie
- Conversion des photons pour ajuster le spectre de la lumière solaire aux caractéristiques du semi-conducteur)[6].

Qu'est-ce qu'un panneau photovoltaïque ?

Un panneau solaire photovoltaïque est un ensemble de cellules connectées entre elles. Ces cellules ont la capacité de convertir directement la lumière en électricité grâce à l'effet photovoltaïque.

En associant les cellules en série ou en parallèle, on peut augmenter la tension ou le courant pour obtenir la puissance souhaitée[7].

I.1.4 Association en série

En additionnant des cellules ou des modules identiques en série, le courant de la branche reste le même mais la tension augmente proportionnellement au nombre de cellules (modules) en série (Figure I.4).

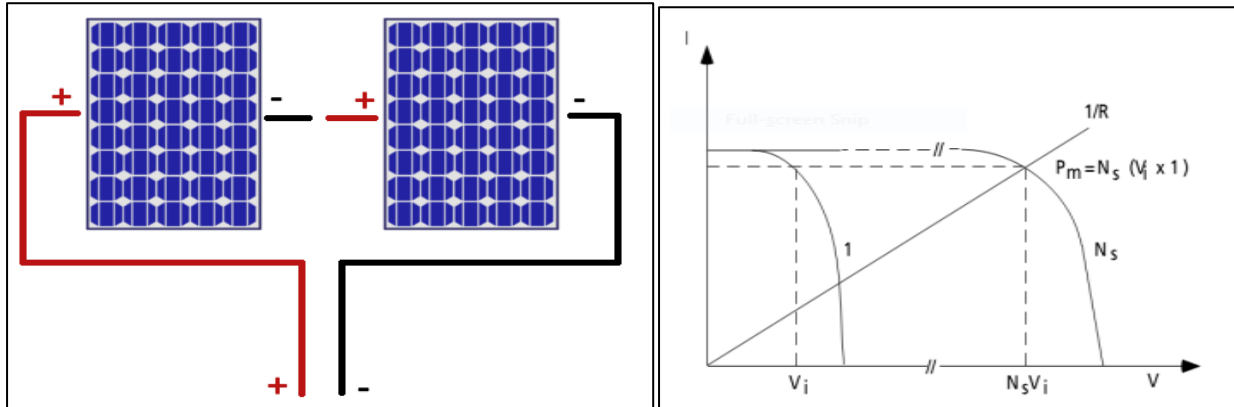


Figure 0.4 : Exemple d'une connexion en série

I.1.5 Association en parallèle

En additionnant des cellules ou des modules identiques en parallèle, la tension de la branche est égale à la tension de chaque module et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de modules en parallèle dans la branche (Figure I.5).

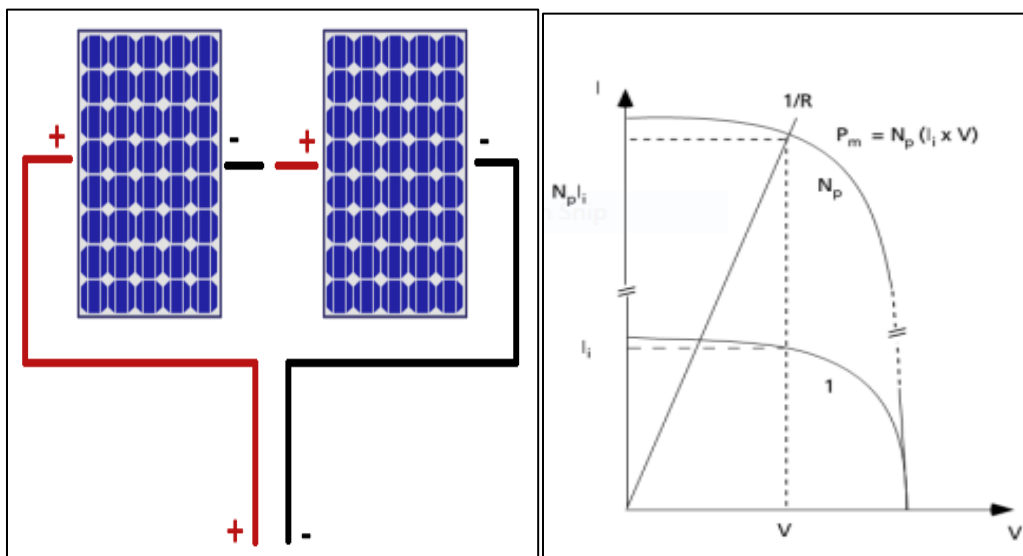


Figure 0.5 : Exemple d'une connexion en parallèles

Paramètres électriques d'un module photovoltaïque

Les paramètres les plus importants d'un panneau photovoltaïque sont :

- **Courant de court-circuit (I_{cc})** : C'est l'intensité de courant maximale fournie par le panneau. Il s'agit du courant qui se produit lors de la connexion directe des deux pôles
- **Tension de circuit ouvert (U_{co})** : C'est la tension maximale fournie par le panneau. Elle se produit quand les pôles se trouvent « en plein air ». **U_{co}** : est généralement inférieur à 22 V dans les modules qui fonctionnent avec 12 V.
- **La puissance de crête** : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).
- **Facteur de forme FF** : Rapport entre la puissance crête et la puissance nominale P_m que peut avoir la cellule : $P_m = U_{co} * I_{cc}$.
- **Efficacité ou rendement η** : C'est le rapport entre la puissance électrique nominale que le panneau peut transmettre à la charge et la puissance du rayonnement solaire (E) frappant le panneau(s).

Note : Les notions de caractéristique Courant-tension, la puissance crête et le rendement d'un panneau photovoltaïque sont détaillées en annexe.

Principe de fonctionnement d'une installation photovoltaïque

Le principe de fonctionnement d'une installation solaire photovoltaïque est relativement simple : il s'agit de convertir le rayonnement du soleil en électricité (Figure I.6). Cette opération repose sur un phénomène physique appelé *effet photovoltaïque*.

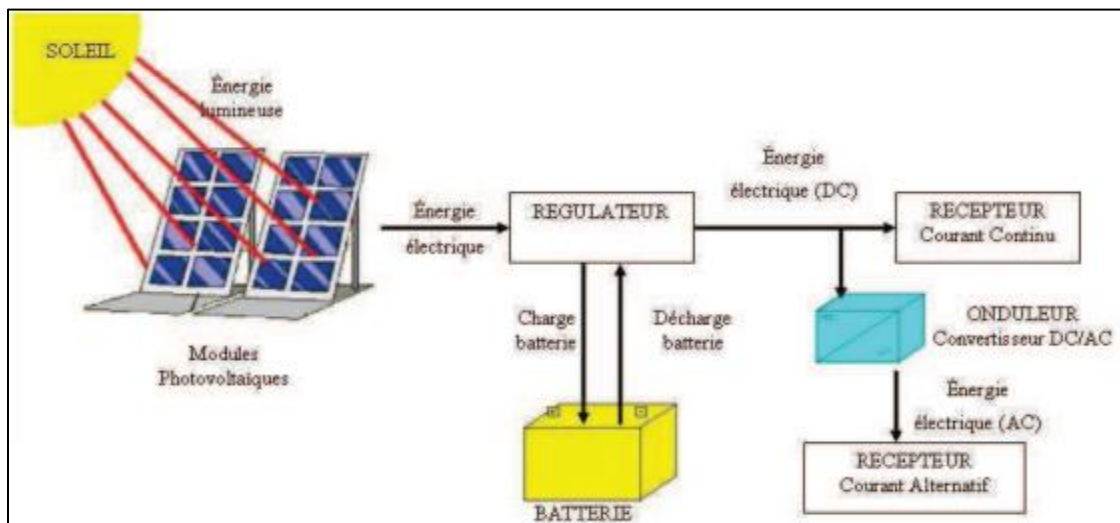


Figure 0.6 : Schéma général d'un système photovoltaïque[8]

Les composants d'un système photovoltaïque dépendent du type d'application :

- En site isolé les principaux composants sont :
 - Panneaux photovoltaïques et la structure de support de fixation
 - Chargeur / régulateur DC/DC
 - Système de stockage (les accumulateurs)

- Éventuellement un onduleur si la consommation est alimentée en courant alternatif
- Éventuellement un groupe électrogène en appoint
- Facultatif : système de monitoring/supervision pour enregistrer les données et éventuellement y accéder à distance ou via un portail web.
- En système photovoltaïque connecté au réseau les principaux composants sont :
 - Panneaux photovoltaïque avec la structure de support de fixation
 - coffret de coupure et de protection courant continu DC
 - Onduleurs
 - Coffret de coupure et de protection courant alternatif AC
 - Facultatif : système de monitoring /supervision pour enregistrer les données et éventuellement y accéder à distance ou via un portail web[4].

Les différentes types des systèmes photovoltaïques

On cite trois types de systèmes) :

I.1.6 Système photovoltaïque isolé, non raccordé, autonome

L'énergie solaire captée par les panneaux est soit utilisée, soit stockée dans des batteries et utilisable ultérieurement.

Pour les systèmes électriques isolés, autonomes ou non raccordés au réseau électrique, le photovoltaïque est une source d'énergie particulièrement adaptée et rentable. De nombreux relais de communication, balises en mer, sont équipé de générateurs photovoltaïques fournissent une énergie fiable et constante nécessitant peu de maintenance.

Les systèmes photovoltaïques dits isolés ou embarqués sont également utilisés pour les applications portables : montres, lampes-torches, chargeur basse-tension...)[2]

I.1.7 Système photovoltaïque connecté au réseau

Un système photovoltaïque connecté au réseau est raccordé au réseau public de distribution d'électricité (EDF, régies municipale...).

Ses principaux composants sont :

- panneau photovoltaïque
- un ou plusieurs coffrets de protection électrique coté courant continu" coffrets DC" qui contiennent des fusibles, interrupteurs sectionneurs, parafoudres
- Des câbles solaires
- Un ou plusieurs onduleurs qui convertissent l'énergie continue en courant alternatif synchronisé au réseau.
- Un coffret de protection coté alternatif "coffret AC" avec disjoncteur et parafoudre
- Éventuellement un système de supervision et surveillance)[2].

Note : Les types de raccordement possibles sont donnés en annexe.

I.1.8 Les systèmes photovoltaïques hybrides

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

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

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

Aujourd'hui des systèmes à grande échelle intègrent une gestion fine des systèmes photovoltaïques, on parle souvent de "smart-grid" c'est à dire des réseaux au sein desquels un régulateur intelligent et coordonné assure l'optimisation des différentes sources d'énergie)[2].

Conclusion

Ce chapitre traite les différentes structures d'une installation photovoltaïque et leurs fonctionnements dans le réseau autonome, le système connecté au réseau et le réseau avec des structures hybrides.

Le chapitre suivant va se baser sur l'étude d'une installation photovoltaïque sur un réseau isolé (autonome) avec une structure fixe et mobile des panneaux solaires.

Chapitre II

Le Tracker Solaire

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter ce qu'est un tracker solaire, ses principaux constituants ainsi que les différents types qu'on peut trouver dans la réalité.

Et à la fin, on parlera aussi du gisement solaire.

Qu'est-ce que le tracker solaire ?

Le tracker solaire, également appelé suiveur solaire, est un bras motorisé qui permet à des panneaux photovoltaïques de suivre le soleil tout au long de la journée (Figure II.1). Il se comporte de la même façon que les tournesols : durant toute la journée, le bras tourne pour capter le plus de rayons solaires possible.

Le but du tracker est très simple : il permet d'améliorer le rendement d'une installation photovoltaïque. Celui-ci dépend en effet de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux. En utilisant un suiveur solaire, ces deux éléments sont optimisés tout au long de la journée.[9]

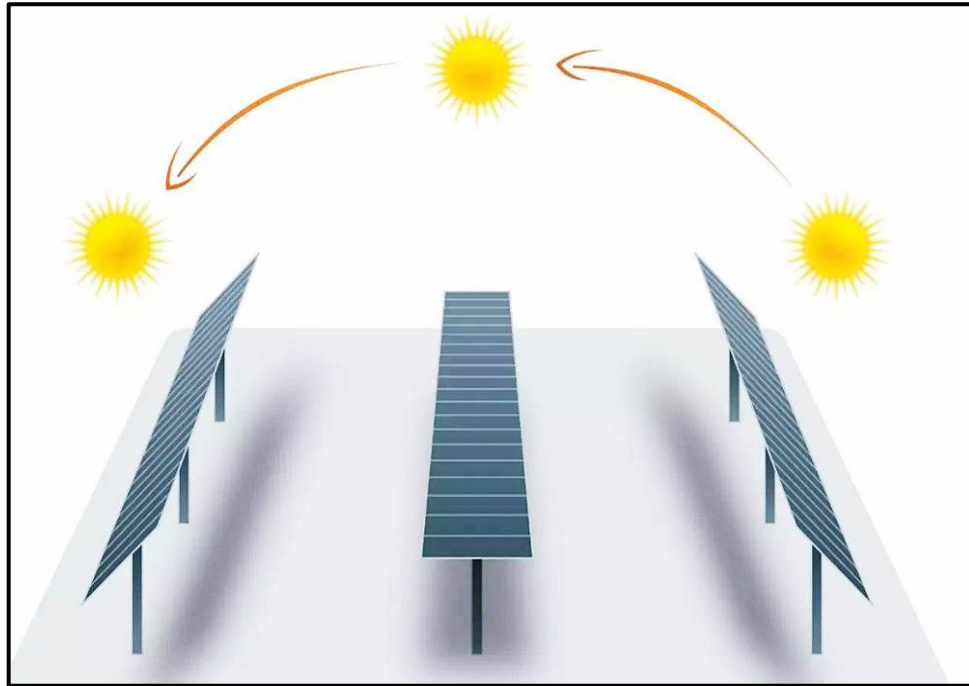


Figure II.1 : Principe de fonctionnement d'un tracker solaire[10]

Types de systèmes de suivi solaire

Il existe différents types de suiveurs solaires ainsi différentes caractéristiques permettent de différencier les traqueurs solaires entre eux. En effet, il est possible de les comparer principalement selon leurs gains en production électrique. Bien évidemment, il est aussi possible de les comparer selon leur coût, leur fiabilité ou leur robustesse, c'est-à-dire leur tenue face au vent.

Lorsque le mouvement ou l'ajustement de la surface se produit en tournant autour d'un axe, cela s'appelle un suivi à axe unique. D'autre part, lorsque la rotation de la surface se produit autour de deux axes simultanément, on parle de suivi à deux axes.

On distingue principalement deux systèmes permettant le tracking [11] :

II.1.1 Tracker solaire passif

Ce type de tracker solaire (Figure II.2) est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre monté sur les côtés Est et Ouest du module Photo Voltaïque. Le tube en cuivre est rempli de fluides chimiques capable de se vaporiser à basse température.

En effet, lorsque l'exposition au rayonnement solaire augmente la température d'un côté du panneau, le composé dans le tube en cuivre se vaporise. La partie gazeuse du composé occupe un plus grande volume interne, et sa partie liquide est décalée vers le coté ombré.

Cette opération de transfert de masse ajuste l'équilibre du panneau PV en le faisant tourner vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le repositionnement du panneau. [11]

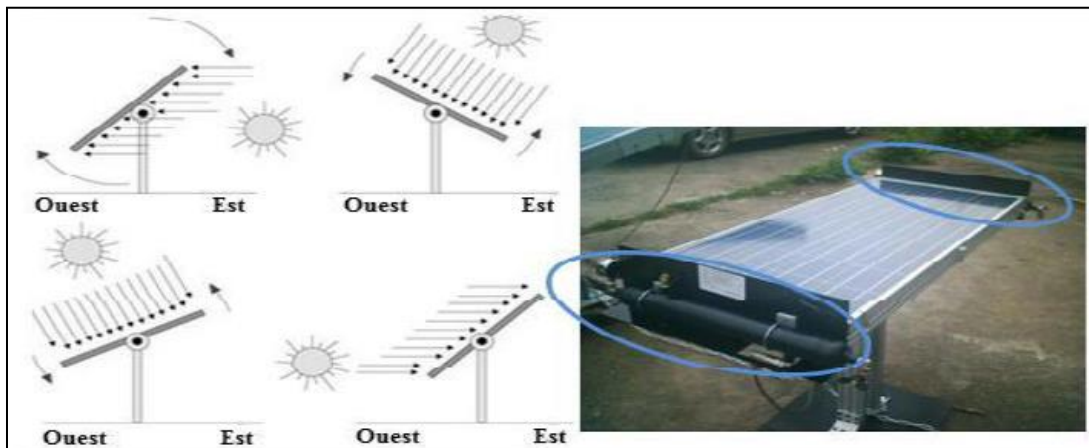


Figure II.2: Exemple de fonctionnement d'un suiveur passif[12]

II.1.2 Tracker solaire actif

Les suiveurs solaires actifs sont des suiveurs d'un mouvement motorisé et peuvent être composés par un microprocesseur et des capteurs électro-optiques qui détectent la lumière en suivant la trajectoire solaire à base des données contrôlées par PC de façon à chercher à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur la surface de panneau PV.

L'avantage de ces derniers par rapport aux suiveurs solaires de type passif, c'est qu'ils présentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour l'ajuster. Il existe deux types dans cette famille :

a) Les suiveurs mono-axe

C'est un système de suivi solaire à axe unique dans lequel le panneau solaire suit le soleil d'Est en Ouest, en utilisant un seul pivot pour le faire pivoter. Ce type comporte plusieurs architectures (Figure II.3). [11]

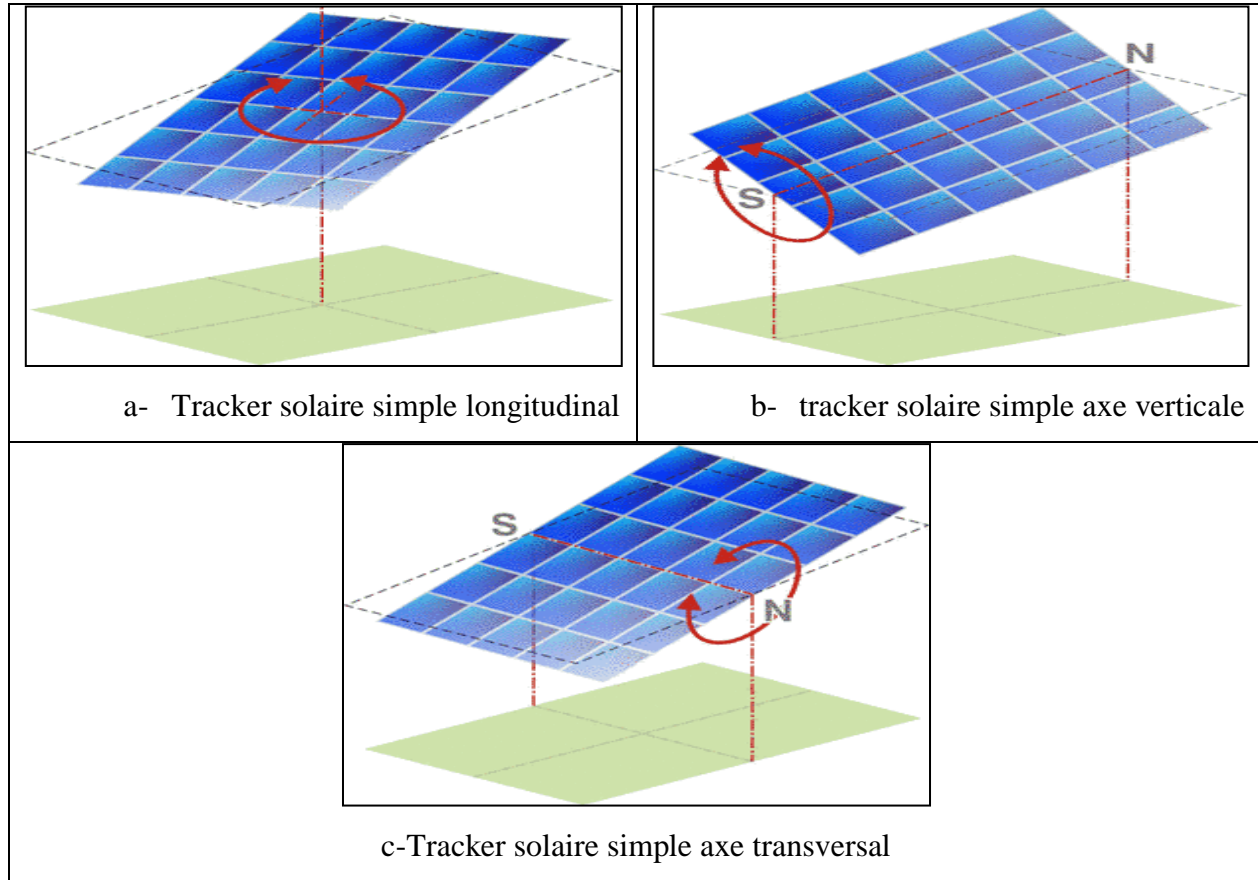


Figure II.3 : Les différentes architectures du suiveur mono-axe

b) Tracker solaire actif double axe

Ce type de suiveurs solaires utilise deux moteurs pour avoir une rotation à deux axes (Figure II.4). Le premier assure la rotation en azimut (d'Est en Ouest, à mesure de l'avancée de la journée) et l'autre l'inclinaison des capteurs (selon la saison et l'avancée du jour).[11]

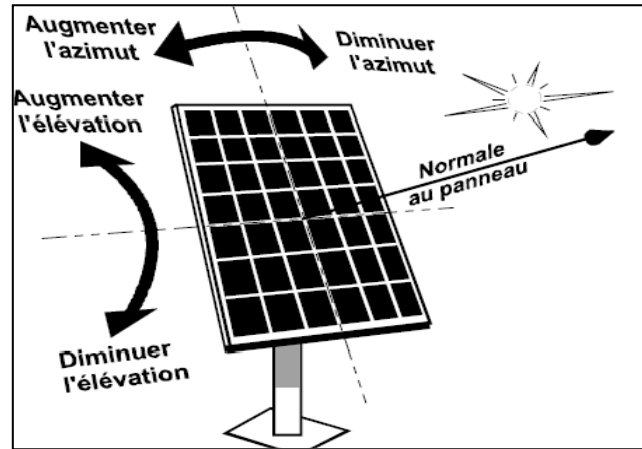


Figure II.4 : Tracker actif double axe[13]

Intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes

Lorsqu'un panneau photovoltaïque est fixe par rapport au sol et est orienté vers le sud (implantation en hémisphère nord), son rendement énergétique n'est pas constant au cours de la journée : en début et en fin de journée, le mauvais angle d'éclairement du panneau diminue le rendement de la production électrique.

Lorsqu'un système suiveur oriente le panneau solaire en le faisant pivoter en direction du soleil et en maintenant en permanence un angle d'incidence des rayons idéal, voisin de 90° , la production électrique par m^2 du panneau atteint alors son maximum. (Figures II.5 et II.6)



Figure II.5 : Panneau photovoltaïque fixe[15]



Figure II.6 : Panneau photovoltaïque avec suiveur[16]

Le diagramme comparatif présenté sur la Figure II.7, de production électrique, montre pour une journée ensoleillée d'été, le gain de production électrique obtenu en passant d'une installation fixe à une installation équipée d'un suiveur.

Au cours d'une journée complètement ensoleillée, un système fixe de 1 kW bien orienté, produit 5,5 kWh d'énergie, alors que le même système avec suiveur, dans les mêmes conditions d'ensoleillement, produit 11 kWh d'énergie (figure II.7). [14]

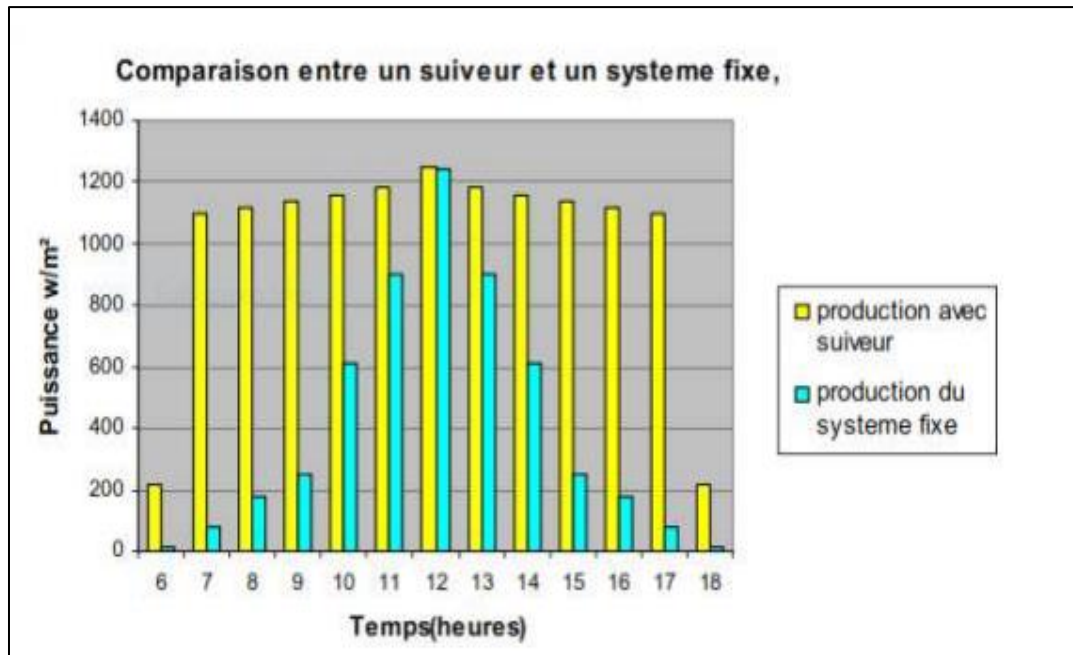


Figure II.7 : Diagramme comparatif : production avec suiveur / production avec système fixe[17]

Avantages et inconvénients des suiveurs

Bien qu'il soit incontestable que le suivi solaire est tout simplement une « meilleure » façon d'utiliser la technologie solaire qu'un système traditionnel à panneaux fixes, il convient de noter qu'il n'est pas sans inconvénients.

c) Avantages

- ✓ + 40 % de production à surface de panneaux solaires égale.
- ✓ Augmente le nombre de cas d'implantation quand les solutions classiques ne sont pas possibles.
- ✓ Peut valoriser les espaces de terrains perdus.

d) Inconvénients

- ✓ Le principal inconvénient des traqueurs solaires est leur faible résistance aux vents. En effet, ceux-ci se replient lorsque le vent atteint des vitesses supérieures à 11.11-13.88 m/s.
- ✓ Nécessité d'un permis communal.
- ✓ Encombrant. Demande un grand terrain.
- ✓ Risque de panne du suiveur. [18]

Gisement solaire

Le gisement solaire est l'ensemble des caractéristiques de la ressource en énergie solaire disponible, en tout point de la surface terrestre.

La connaissance du gisement solaire est essentielle pour le calcul des diverses performances des systèmes liés au soleil comme les panneaux solaires photovoltaïques, l'isolation thermique d'une construction, le chauffage de locaux par l'intermédiaire exclusif du rayonnement solaire.

II.1.3 Gisement solaire mondial

L'énergie solaire reçue est inégalement répartie dans le monde. Dans les régions les plus chaudes du globe, l'ensoleillement annuel peut atteindre 2 300 kwh/m².an (Energie reçue par une surface de 1 m² pendant une année). En Europe centrale l'ensoleillement moyen est de 1100 KWh/m².an (FigureII.8).

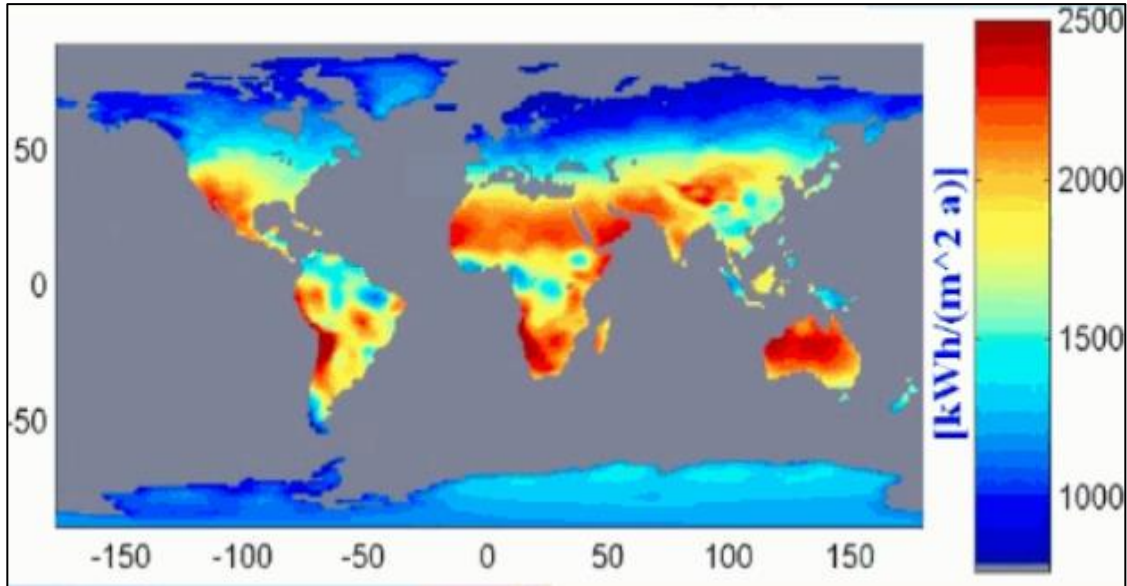


Figure II.8 : Moyenne annuelle du Rayonnement solaire journalier sur un plan horizontal

II.1.4 Le gisement solaire en Algérie

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde.

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays.

Une évaluation par satellite, effectuée par l'agence spatiale allemande, a montré que l'Algérie a un gisement solaire de plus de 2000 kWh/m².

La Figure II.9 montre la carte de l'irradiation solaire globale reçue sur plan incliné à la latitude du lieu en moyenne annuelle en Algérie.

Conclusion

Un panneau photovoltaïque a un rendement maximal quand il est perpendiculaire aux rayons du soleil. Le tracker solaire est un dispositif mécanique qui permet de suivre la course du soleil et maintient les cellules photovoltaïques face au soleil pour maximiser la production d'énergie renouvelable et produire de l'électricité de manière stable et linéaire du lever au coucher du soleil, quelle que soit la saison.

Dans le prochain chapitre, il sera question de la présentation de l'objectif de notre projet et de la méthodologie suivie pour dimensionner le système photovoltaïque à réaliser.

Chapitre III

Conception d'une Installation Photovoltaïque

Introduction

La réalisation et le dimensionnement d'une installation photovoltaïque est en vérité une procédure relativement complexe parce qu'il y a plusieurs paramètres à étudier où les principaux équipements sont les panneaux photovoltaïques, les régulateurs, les batteries, les onduleurs, et les inverseurs.

Par conséquent, on doit répondre à plusieurs questions :

- ✓ Combien de panneaux sont nécessaires pour obtenir l'énergie optimale pour la charge ?
- ✓ Combien de batteries sont nécessaires pour accumuler cette énergie ?
- ✓ Quel type de régulateur est nécessaire pour le garantir ?
- ✓ Et combien de superficie est nécessaire pour mettre en place les panneaux ?

Par rapport aux caractéristiques définies lors du premier chapitre, nous avons constaté de faibles rendements de ces technologies.

En prenant l'exemple d'un panneau monocristallin où le rendement obtenu est de 20 % maximal uniquement à midi en plein soleil, notre étude va essayer de permettre de maintenir cette valeur pendant les heures d'ensoleillement en intégrant un système tracker (ou suiveur de soleil).

Objectif

Dans le cadre de notre stage au sein de l'école de Sonelgaz de Blida, un projet de réalisation d'une étude comparative entre une installation fixe et une installation mobile de panneaux photovoltaïque a été proposée.

Pour cela, nous allons essayer de répondre aux besoins d'un agriculteur afin de lui assurer l'irrigation de son champs par une pompe d'eau d'une puissance de 5 kW.

Le site proposé pour l'installation se situe au niveau de Ouled Djellal qui est une commune de la daïra du même nom dans la wilaya d'Ouled Djellal (créée en 2009) en Algérie, à environ 100 km au sud-ouest de la ville de Biskra..

Ce choix a été fait à cause de la disponibilité des relevés météorologiques de ce site qui indiquent une irradiation solaire moyenne de 5.6 et une température ne dépassant pas les 50 °C.

Qu'est-ce que le dimensionnement d'un système photovoltaïque ?

Le dimensionnement d'un système solaire photovoltaïque a pour but de déterminer la puissance du générateur photovoltaïque et la capacité de batterie associée à installer, à partir des données d'ensoleillement du lieu, et des besoins en énergie électrique de l'utilisateur.

Ces dernières années, il a été listé 7 logiciels de simulation photovoltaïque couramment utilisés pour concevoir des systèmes solaires photovoltaïques dans le monde entier. Les programmes répertoriés sont les suivants (par ordre alphabétique) :

1. Homer Pro - Homer Energy, États Unis
2. PV F-Chart - Logiciel F-Chart, États Unis
3. pvPlanner - SolarGis, Slovaquie
4. PVSyst - Pvsyst SA, Suisse
5. RETScreen - Ressources naturelles Canada, Canada
6. System Advisor Model (SAM) - National Renewable Energy Laboratory (NREL), États Unis
7. Solar Pro - Laplace Systems, Japon[20]

Note: Notre choix s'est fixé sur le logiciel PVsyst qui est facile à utiliser.

Le logiciel PV-SYST

L'acronyme PVSYST signifie PhotoVoltaïque (PV) Système (SYST). C'est un logiciel de dimensionnement de panneaux solaires permettant d'obtenir diverse informations telles que la production d'énergie, l'irradiation et le coût de l'installation, la surface nécessaire, ou la production annuelle d'énergie. Un mode avancé permet d'obtenir beaucoup plus d'informations pour une étude très complète. [20]

Le logiciel comprend principalement deux modes de fonctionnement :

- Le premier est une application de pré dimensionnement assez simple à prendre en main et accessible aux apprentis.
- Le deuxième permet une étude beaucoup plus approfondie et prend en compte beaucoup plus de paramètre. De plus il se base sur du matériel concret pour ses calculs, contrairement au premier mode qui effectue ses calculs pour un cas très général.

Pour chacun des deux modes, le principe est le même :

- on donne la localisation géographique de l'installation,
- puis on entre les données concernant l'installation.
- Vient ensuite une partie résultats où l'on choisit les données qui nous intéresse.

Ce logiciel est donc accessible au confirmés comme aux novices. La Figure ci-dessous présente un aperçu de la première page obtenue lors de l'ouverture du logiciel PVsyst.

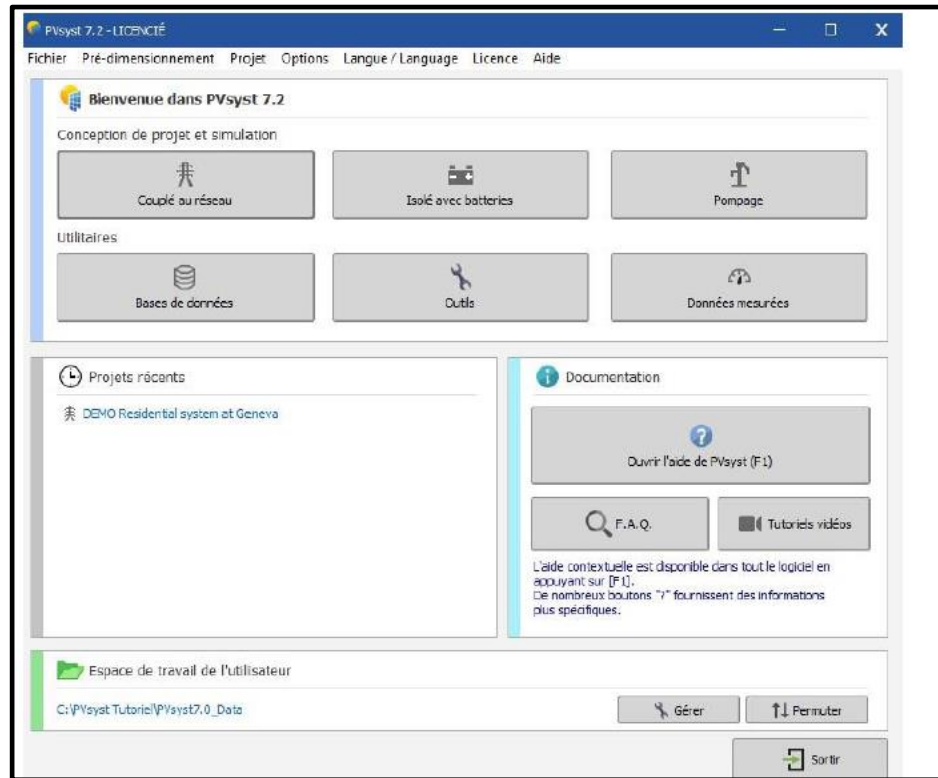


Figure III.1 : Vue générale de la page principale de PVsyst 7.2

Cela donne accès aux quatre parties principales du programme :

1. « Conception et simulation de projet » Partie principale du logiciel, elle est utilisée pour l'étude complète d'un projet. Elle implique le choix des données météorologiques, la conception du système, les études d'ombrage, la détermination des pertes et l'évaluation économique. La simulation est réalisée sur une année complète par tranche horaire et fournit un rapport complet, ainsi que de nombreux résultats supplémentaires.
2. « Projets récents » : Recherche et modifications rapides des projets récents.
3. « Documentation » : Aide dans la réalisation des différentes simulations grâce aux tutoriels PDF, vidéos et d'une FAQ.
4. « Espace de travail de l'utilisateur Pvsyst »

Dimensionnement d'un système autonome avec le fixe

L'objet de cette partie est de montrer les différentes étapes suivies pour dimensionner le champ photovoltaïque de notre installation photovoltaïque autonome à Ouled Djellal, à l'aide de panneaux fixes.

III.1.1 Schéma simplifié du système autonome

L'architecture générale du système est présentée sur la Figure III.2.

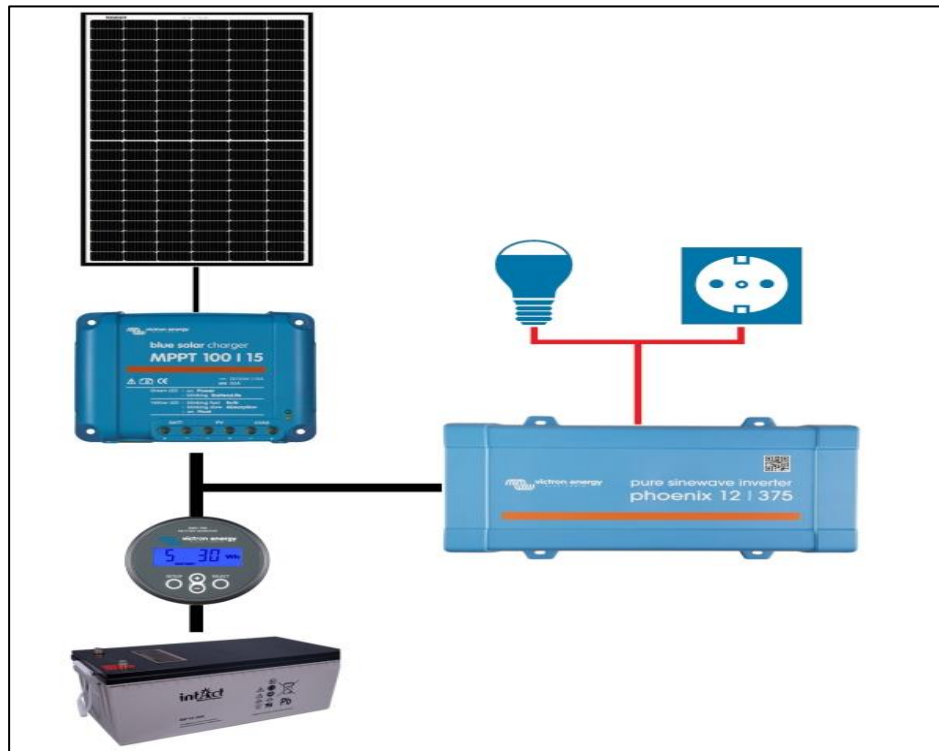


Figure III.2 : Configuration typique d'un système isolé

Cette installation photovoltaïque autonome fonctionne de la manière suivante :

- les panneaux solaires captent l'énergie solaire incidente et la transforment en courant continu ;
- l'énergie captée est transformée par l'onduleur en courant alternatif ;
- l'énergie alternative produite peut être autoconsommée immédiatement par l'utilisateur ou stockée dans les batteries de stockage, puis prélevée lorsque l'utilisateur en a besoin.
- Ce processus implique que l'accumulateur (la batterie) se charge et se décharge ; pour ne pas compromettre son efficacité, le régulateur de charge gère ce mécanisme.

III.1.2 Description du dimensionnement

Notre système autonome est toujours organisé autour d'un stockage sur batterie :

- Un générateur PV charge la batterie ou fournit directement son énergie à l'utilisateur.
- Les besoins de l'utilisateur (consommation) doivent être bien définis, avec son profil quotidien (c'est-à-dire en valeurs horaires).
- À chaque heure, la simulation effectue un équilibrage entre la production PV (en fonction de l'irradiance) et les besoins de l'utilisateur. La différence doit être envoyée dans la batterie, soit positivement (charge), soit négativement (décharge).

Cet équilibre énergétique est contrôlé par un contrôleur dont le rôle est de gérer le flux d'énergie, principalement pour la protection de la batterie :

- Lorsque la batterie est pleine, le générateur photovoltaïque doit être déconnecté.
- Lorsque la batterie est vide, l'utilisateur doit être déconnecté.

Notre installation qui va produire 5 kW de puissance, utilisera donc un (ou plusieurs) "chargeurs solaires", équipés de convertisseurs MPPT, et des onduleurs de batterie DC/AC.

Le contrôleur n'est plus un dispositif unique : le contrôle de la charge est assuré par le chargeur solaire (parfois plusieurs en parallèle), et le contrôle de la décharge par l'onduleur qui doit également gérer le générateur de secours, s'il y en a un.

Dans PVsyst, nous considérons le chargeur solaire comme étant le composant "contrôleur autonome". Pour des raisons historiques (et de simplification), ce composant PVsyst doit également contrôler la décharge et le générateur de secours.

D'où les différentes étapes suivies pour définir notre système autonome avec des panneaux fixes :

a) Première étape

Elle concerne le choix du lieu qui a été fixé à une carrière à Ouled Djellal (Figure III.3)

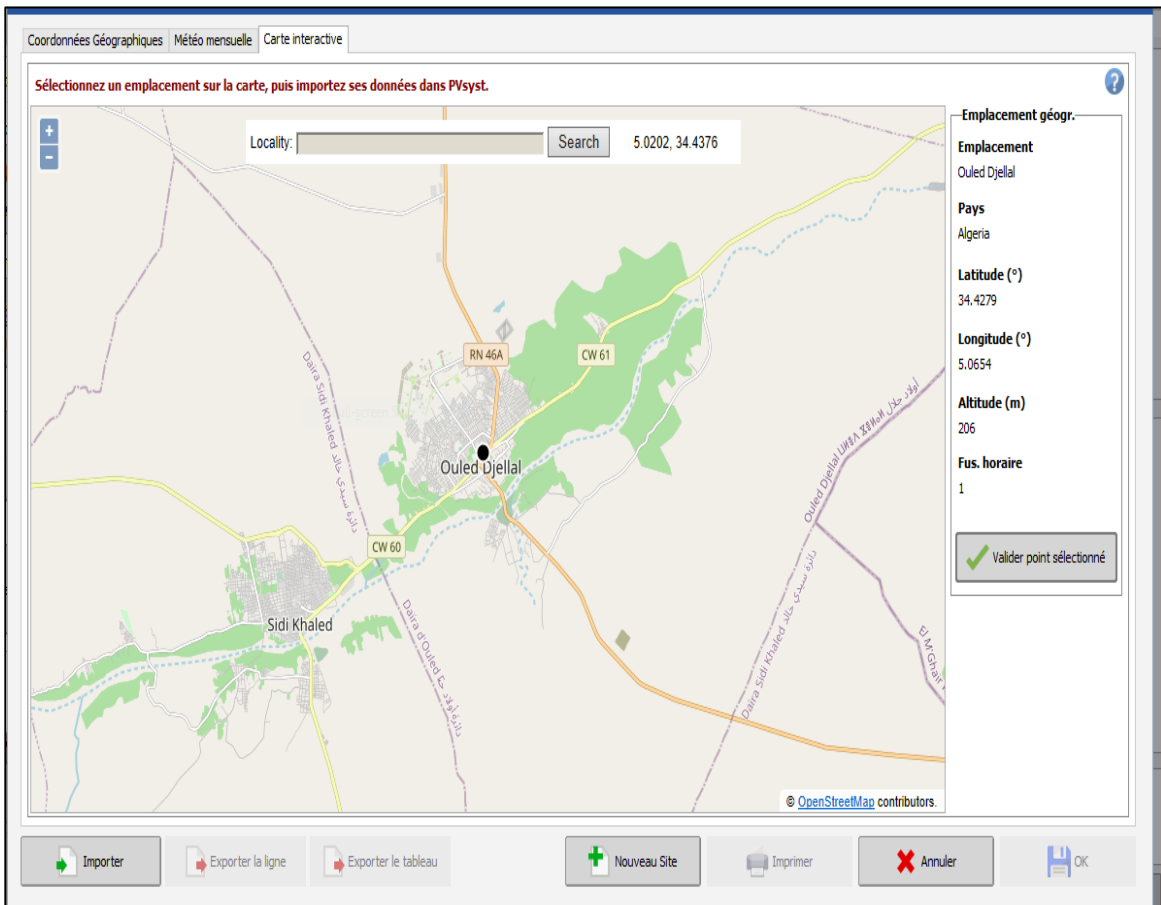


Figure III.3 : Sélection de emplacement de oud Djalal sur la carte

Ainsi, le Tableau III.1 présente les paramètres d'emplacement du site choisi.

Emplacement	Ouled Djelal
-------------	--------------

Pays	Algérie
Latitude (°)	34.43
Longitude (°)	5.0654
Attitude (m)	206
Fus. Horaire	1

Tableau III.1 : Les paramètres d'emplacement de Ouled Djellal

b) Deuxième étape

Comme pour tout système défini sur PVsyst, on doit spécifier l'orientation du générateur PV. Pour cela, on a choisi une orientation qui se compose d'une inclinaison de 4.43° et un azimut égal à 0° avec une irradiation annuelle (Figure III.4)

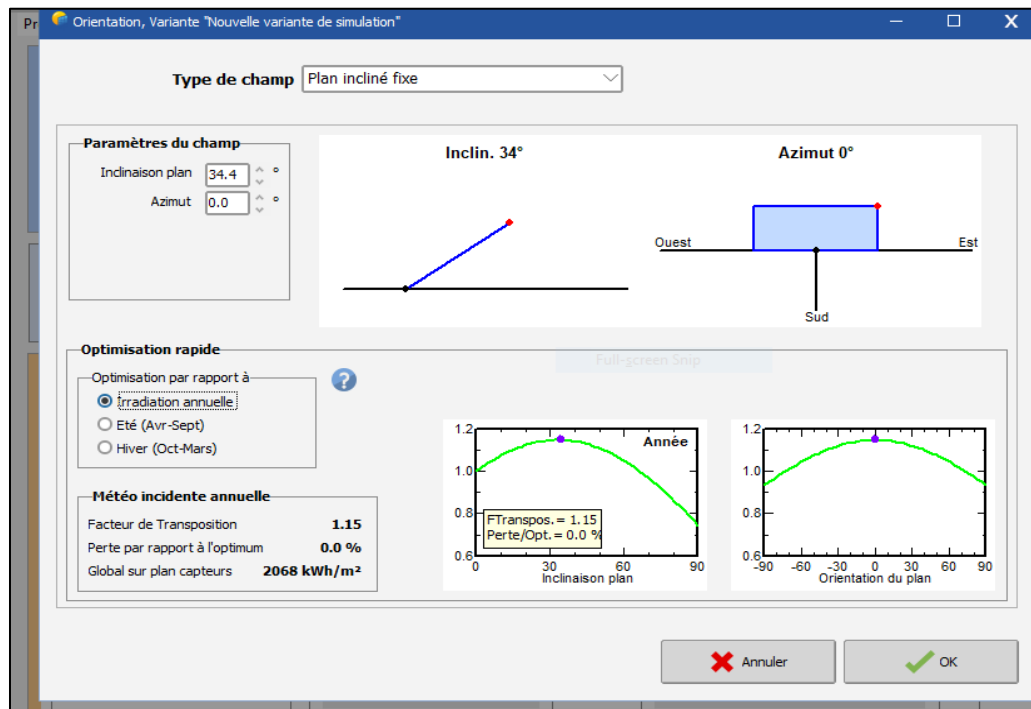


Figure III.4 : Choix de l'orientation du générateur PV

c) Troisième étape

Maintenant, il nous ai demandé de définir les besoins de l'utilisateur.

- Sachant qu'on a une pompe qui consomme une puissance de 387Wh/app alors pour une utilisation de 12 heures par jour, ça nous donne $387 \times 12 = 4640$ Wh,
- et une lampe qui consomme 60 Wh /Lampe alors pour 6 heures de fonctionnement par jours, ça nous donne $60 \times 6 = 360$ Wh
- D'où une énergie journalière totale égale à $4640 + 360 = 5000$ kWh, avec une définition de la consommation par Année (Figure III.5)

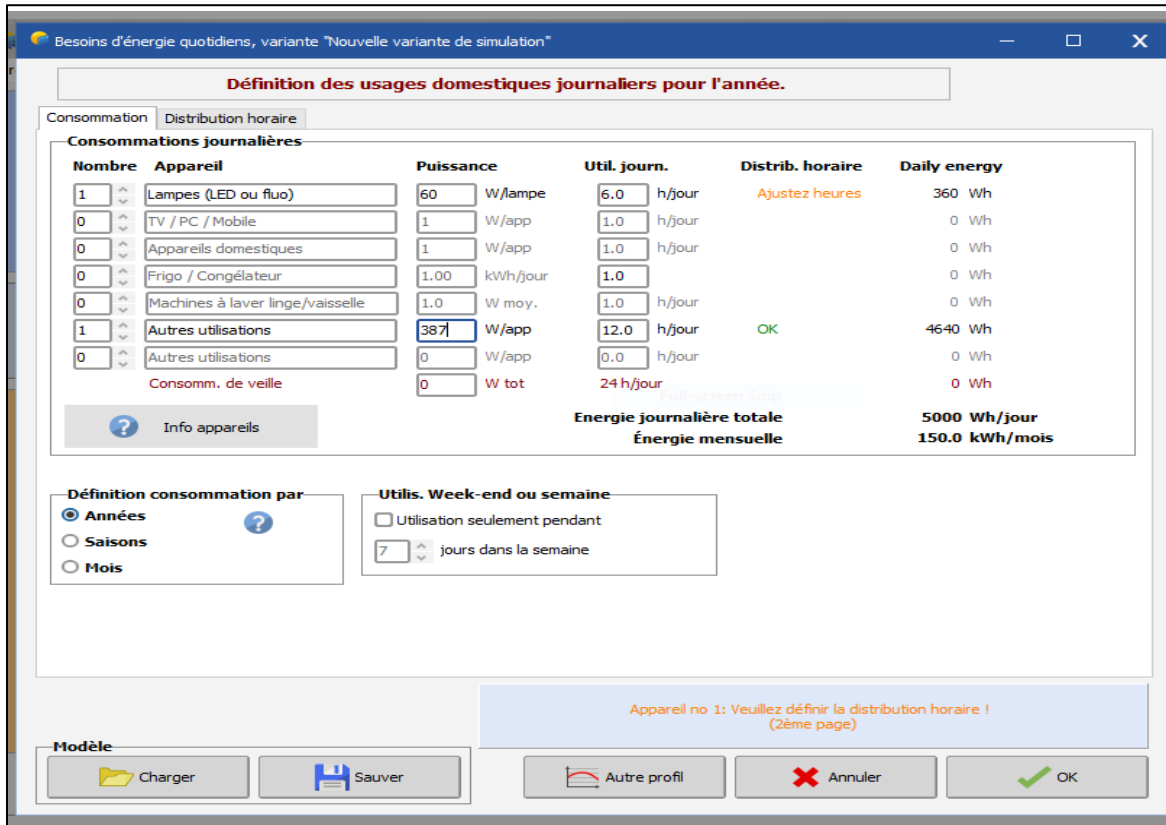


Figure III.5 :Définitions des usages journaliers / année

- Le choix horaire : Le système produit une puissance de 5kW dans la journée. Afin d'arroser la nuit de 18 h à 6 h du matin et pour une lampe qui allume la pompe de 21 h à 3h du matin, on fixe le choix de la distribution horaire sous la forme suivante (Figure III.6).

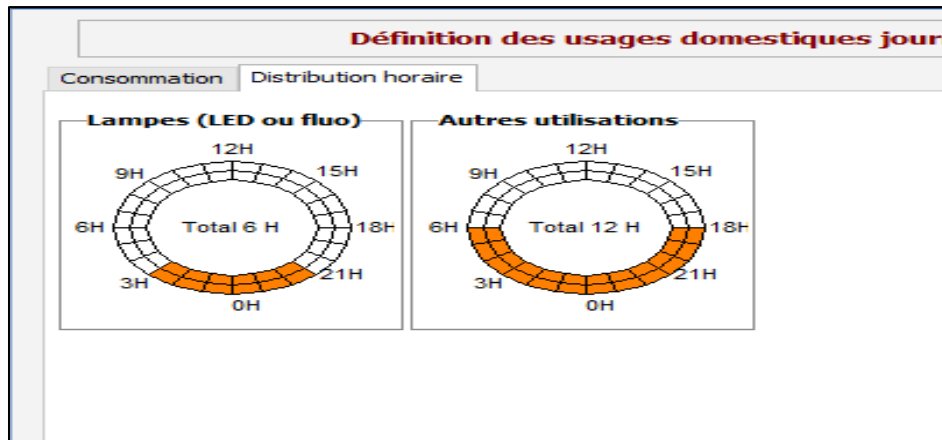


Figure III.6 : La distribution horaire journalière

La Figure III.7 affiche le graphe de la consommation de la pompe et la lampe en fonction de l'heure. Si on prend la valeur 3h, la pompe consomme une puissance de 387 Wh par suite, si on prend la valeur à 22h, la lampe consomme une puissance de 60 wh, le graphe affiche donc $387+60 = 447$ Wh.

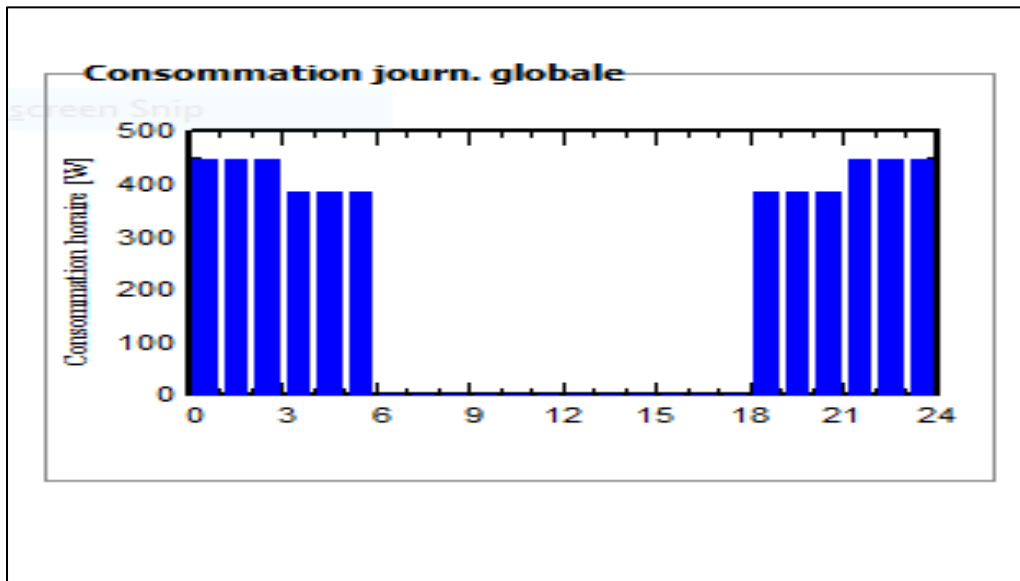


Figure III.7 : Diagramme de consommation journalière globale

- Résultat du prédimensionnement : Le graphe de la Figure III.8, nous montre l'énergie solaire disponible et le besoin de l'utilisateur en fonction des mois de l'année.

- ✓ Si on prend le mois de janvier, on remarque que la valeur d'énergie disponible est inférieure à l'énergie des besoins de l'utilisateur.
- ✓ Si on prend le mois de novembre, on remarque que la valeur d'énergie solaire disponible est presque identique à l'énergie des besoins de l'utilisateur.
- ✓ Si on prend le mois de juillet, on remarque que l'énergie solaire disponible est supérieure à l'énergie des besoins de l'utilisateur

On conclue que pour ce site choisi, l'énergie solaire disponible moyenne (5.4 kW/jour) est supérieure à l'énergie des besoins de l'utilisateur (5kw/jour).

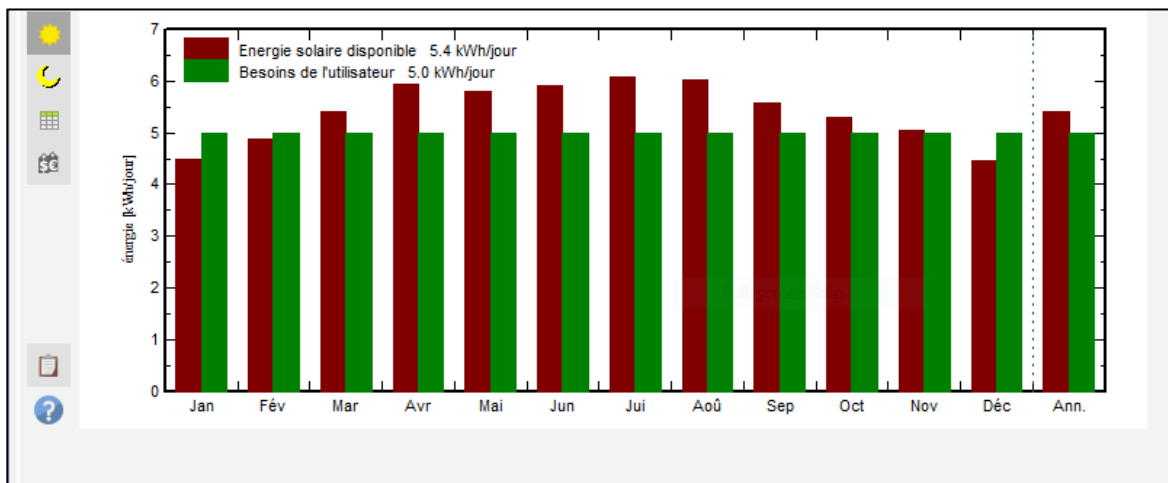


Figure III.8 : Energie solaire disponible et besoin de l'utilisateur / mois

d) Quatrième étape

On définit le pack de batterie, en choisissant un modèle de batterie pour le stockage et où plusieurs informations sont importantes à obtenir.

L'outil de pré – dimensionnement, calcule deux informations conseillées “la capacité de la batterie en Ah ” et “la puissance de module PV en Wc”.

Pour cela, on laisse la tension batterie à 24 V en raison de la pompe qui est gourmande en énergie.

- La valeur de capacité conseillé est de 980 Ah dans la base de données et la puissance PV conseillée est 1364 W.
- Dans la base de données, on peut trouver une liste de marque de batteries, ici on choisit le modèle GENERIC qui est souvent utilisé et qui est identique avec la batterie plomb 12V/160Ah.

- La configuration en série et en parallèle se fera automatiquement selon l'aide au pré-dimensionnement (Figure III.9)

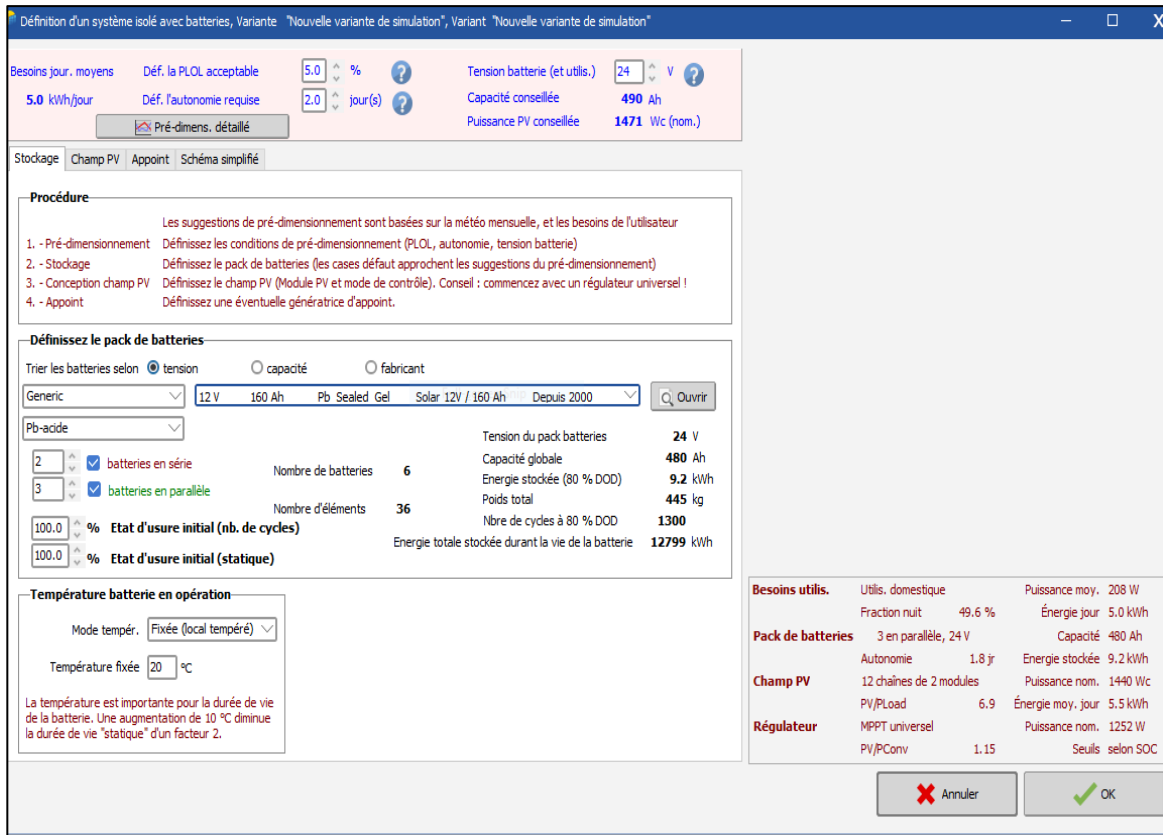


Figure III.9 : Réglage de stockage d'une installation

- Un dernier paramètre à prendre en compte est la température des batteries en opération. Elle est importante pour la durée de vie de la batterie. Une augmentation de 10 °C diminue la durée des statiques d'un facteur de 2, sachant que on a un système de ventilation qui fixe la température a 20°C (Figure III.10)

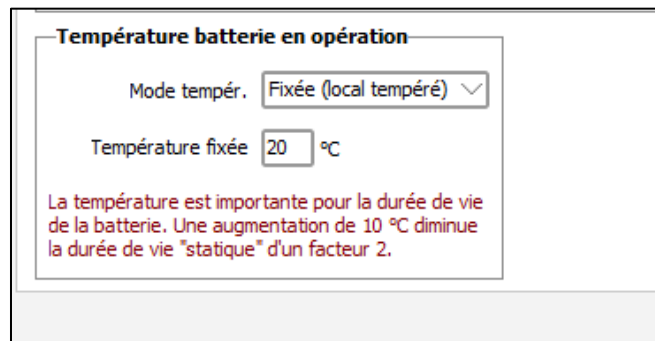


Figure III.10 :Température batterie en opération

- On passe à la configuration du champ PV, à l'aide de pré-dimensionnement conseillé avec une puissance crête pour le champ PV, on choisit un module PV de 60Wp/14V/si-poly/36 cells poly cristallin qui est le plus résistant.
- Le logiciel nous montre le dimensionnement de tension (Figure III.11) , on peut lire la tension V_{mpp} à 60°C égale à 14.5V et un V_{co} (tension de circuit ouvert) à -10°C égal 23.5V pour ce module .
- Le PVsyst met à disposition une liste de régulateur à choisir, pour ne pas être bloqué, on peut utiliser le régulateur universel s'adaptant à notre choix de configuration alors on clique sur régulateur universel, on sélectionne un convertisseur MPPT qui donne beaucoup de puissance par apport à d'autres régulateurs. Le logiciel fera la conception du champ PV automatiquement

Remarque : on n'est pas obligé de suivre ce dimensionnement, on est libre de d'augmenter le nombre de modules en série ou le nombre de chaine ou les réduire.

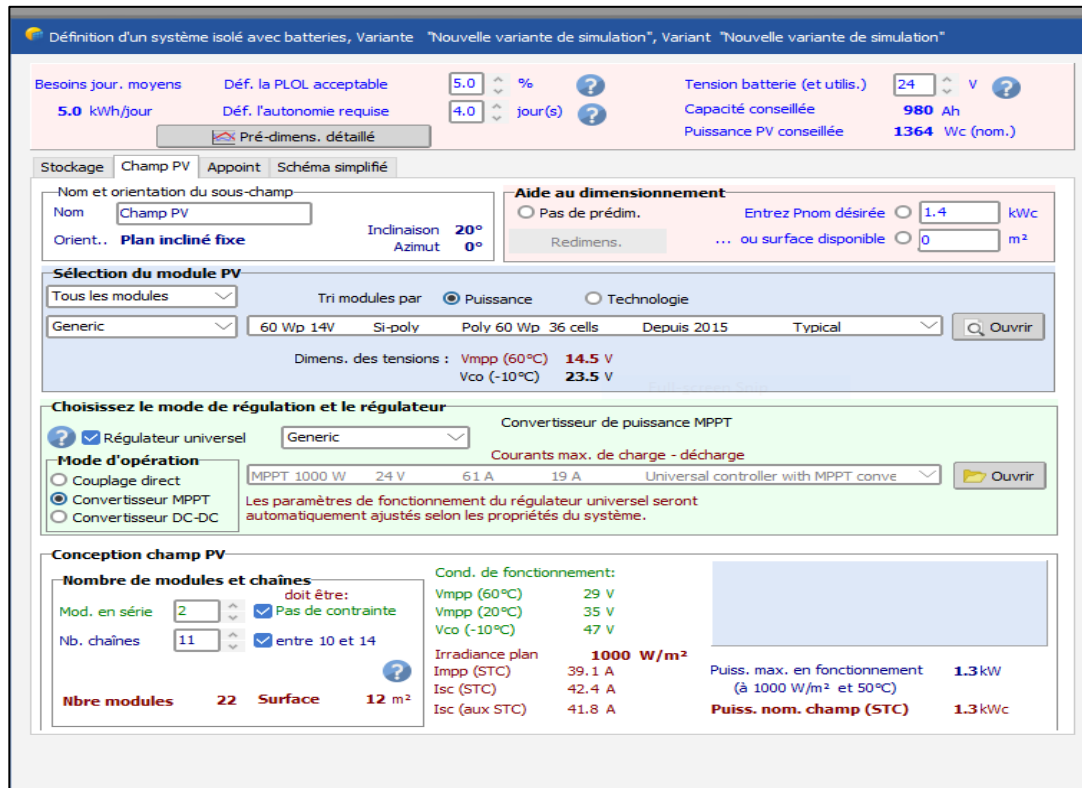


Figure III.11 : Réglage de champ PV d'une installation

- Le diagramme des pertes : On a trois informations importantes pour le système qui apparaissent sur la Figure III.12) :
 - ✓ La quantité d'énergie stockée de 99.8%
 - ✓ L'énergie mise à disposition pour une utilisation directe égale à 0.2%
 - ✓ L'énergie manquante pour le système égale à 3.2%

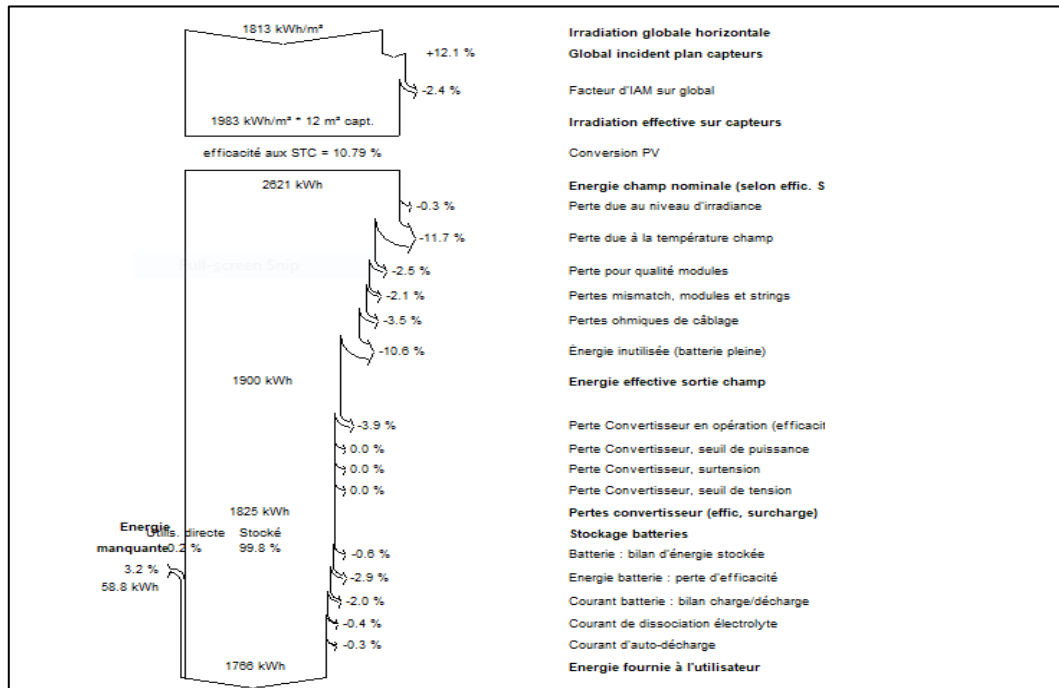


Figure III.12 : Diagramme des pertes annuelles

III.1.3 Rapport obtenu pour le système à PV fixes

Le rapport généré par PVsyst pour notre conception à PV fixes, est donné sous forme de plusieurs pages, comme représentés ci-dessous.



Version 7.2.0

PVsyst - Simulation report

Stand alone system

Project: systeme autonom mgt

Variant: Nouvelle variante de simulation

Stand alone system with batteries

System power: 1600 Wp

Ouled Djellal - Algérie

| Author



PVsyst V7.2.0

VC0, Simulation date:
03/07/23 12:20
with v7.2.0

Project: systeme autonom mgt

Variant: Nouvelle variante de simulation

Project summary

Geographical Site		Situation		Project settings	
Ouled Djellal		Latitude	34.43 °N	Albedo	0.20
Algérie		Longitude	5.07 °E		
		Altitude	193 m		
		Time zone	UTC+1		
Meteo data					
Ouled Djellal					
Meteonorm 8.0 (1991-2000), Sat=100 % - Synthétique					

System summary

Stand alone system		Stand alone system with batteries			
PV Field Orientation		User's needs			
Fixed plane		Daily household consumers			
Tilt/Azimuth	20 / 0 °	Constant over the year			
		Average			
		5.0 kWh/Day			
System information					
PV Array					
Nb. of modules	10 units	Battery pack		Technology	
Pnom total	1600 Wp			Lead-acid, sealed, Gel	
				Nb. of units	
				6 units	
				Voltage	
				24 V	
				Capacity	
				480 Ah	

Results summary

Available Energy	2603 kWh/year	Specific production	1627 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	55.94 %
Used Energy	1822 kWh/year			Solar Fraction SF	99.81 %

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



PVsyst V7.2.0
 VC0, Simulation date:
 03/07/23 12:20
 with v7.2.0

Project: systeme autonom mgt
 Variant: Nouvelle variante de simulation

General parameters

Stand alone system		Stand alone system with batteries	
PV Field Orientation		Sheds configuration	Models used
Orientation		No 3D scene defined	Transposition Perez
Fixed plane			Diffuse Perez, Meteorom
Tilt/Azimuth	20 / 0 °		Circumsolar separate
User's needs			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average	5.0 kWh/Day		

PV Array Characteristics

PV module		Battery
Manufacturer	Generic	Manufacturer
Model	Poly 160 Wp 36 cells	Model
(Original PVsyst database)		Generic
Unit Nom. Power	160 Wp	Solar 12V / 160 Ah
Number of PV modules	10 units	Technology
Nominal (STC)	1600 Wp	Lead-acid, sealed, Gel
Modules	5 Strings x 2 In series	Nb. of units
At operating cond. (50°C)		3 in parallel x 2 in series
Pmpp	1441 Wp	Discharging min. SOC
U mpp	33 V	20.0 %
I mpp	44 A	Stored energy
		9.2 kWh
Controller		Battery Pack Characteristics
Universal controller		Voltage
Technology	MPPT converter	Nominal Capacity
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	480 Ah (C10)
Converter		Temperature
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %	Fixed 20 °C
Total PV power		Battery Management control
Nominal (STC)	2 kWp	Threshold commands as
Total	10 modules	SOC calculation
Module area	9.9 m²	Charging
Cell area	4.7 m²	SOC = 0.90 / 0.75
		approx.
		26.5 / 24.8 V
		Discharging
		SOC = 0.20 / 0.45
		approx.
		23.3 / 24.1 V

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Serie Diode Loss				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	13 mΩ	Voltage drop	0.7 V			
Uc (const)	20.0 W/m²K	Loss Fraction	1.5 % at STC	Loss Fraction	1.9 % at STC			
Uv (wind)	0.0 W/m²K/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								
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



PVsyst V7.2.0

VC0, Simulation date:
03/07/23 12:20
with v7.2.0

Project: systeme autonom mgt

Variant: Nouvelle variante de simulation

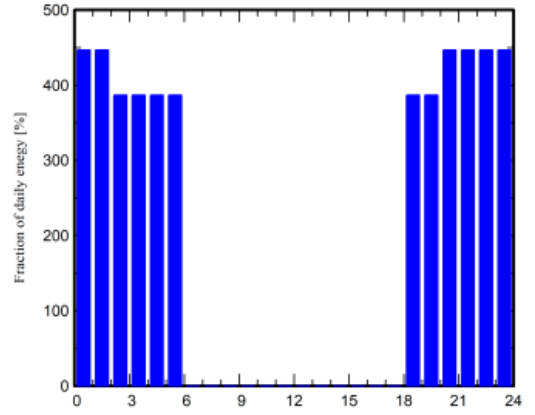
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 5.0 kWh/day

Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lamps (LED or fluo)	1	60W/lamp	6.0	360
Autres utilisations	1	387W tot	12.0	4640
Total daily energy				5000Wh/day

Hourly distribution





Project: systeme autonom mgt
 Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.2.0
 VC0, Simulation date:
 03/07/23 12:20
 with v7.2.0

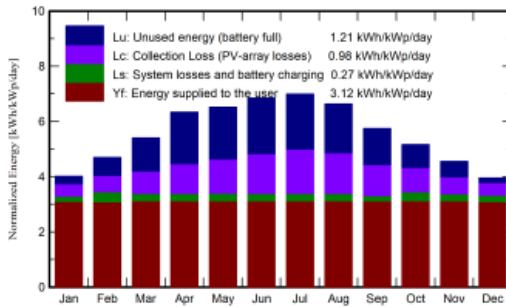
Main results

System Production

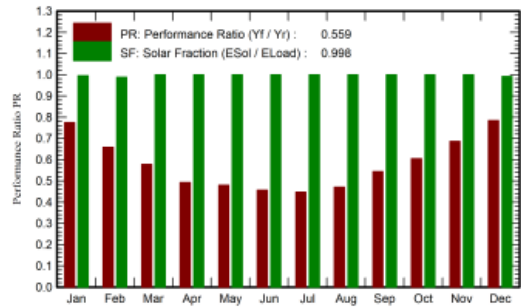
Available Energy 2603 kWh/year
 Used Energy 1822 kWh/year
 Excess (unused) 705 kWh/year
Loss of Load
 Time Fraction 0.5 %
 Missing Energy 4 kWh/year

Specific production 1627 kWh/kWp/year
 Performance Ratio PR 55.94 %
 Solar Fraction SF 99.81 %
Battery aging (State of Wear)
 Cycles SOW 91.1 %
 Static SOW 90.0 %
 Battery lifetime 10.0 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	89.2	120.8	170.5	13.28	0.695	154.3	155.0	0.996
February	102.8	128.0	177.8	29.08	1.585	138.4	140.0	0.989
March	145.7	163.6	221.1	59.47	0.000	155.0	155.0	1.000
April	178.4	185.5	245.8	89.21	0.000	150.0	150.0	1.000
May	201.7	197.1	254.7	93.01	0.000	155.0	155.0	1.000
June	209.7	200.5	253.2	96.66	0.000	150.0	150.0	1.000
July	218.6	211.7	260.5	98.81	0.000	155.0	155.0	1.000
August	197.7	201.1	249.3	87.54	0.000	155.0	155.0	1.000
September	155.0	168.2	215.1	62.45	0.000	150.0	150.0	1.000
October	130.7	156.3	205.9	40.95	0.000	155.0	155.0	1.000
November	99.1	133.0	182.6	26.47	0.000	150.0	150.0	1.000
December	83.9	118.8	167.2	8.04	1.241	153.8	155.0	0.992
Year	1812.5	1984.7	2603.5	704.97	3.521	1821.6	1825.1	0.998

Legends

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



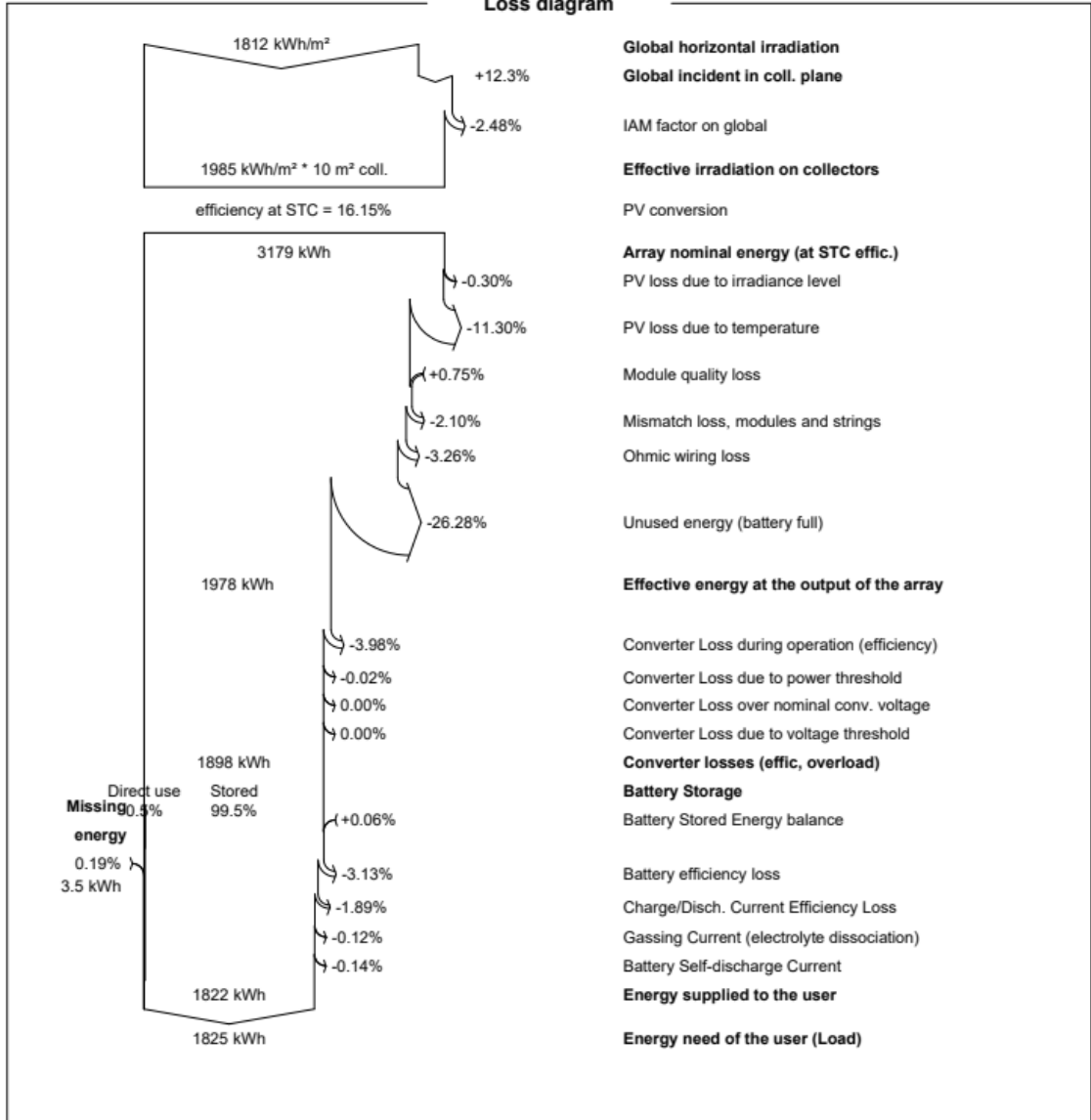
PVsyst V7.2.0

VC0, Simulation date:
03/07/23 12:20
with v7.2.0

Project: systeme autonom mgt

Variant: Nouvelle variante de simulation

Loss diagram





PVsyst V7.2.0

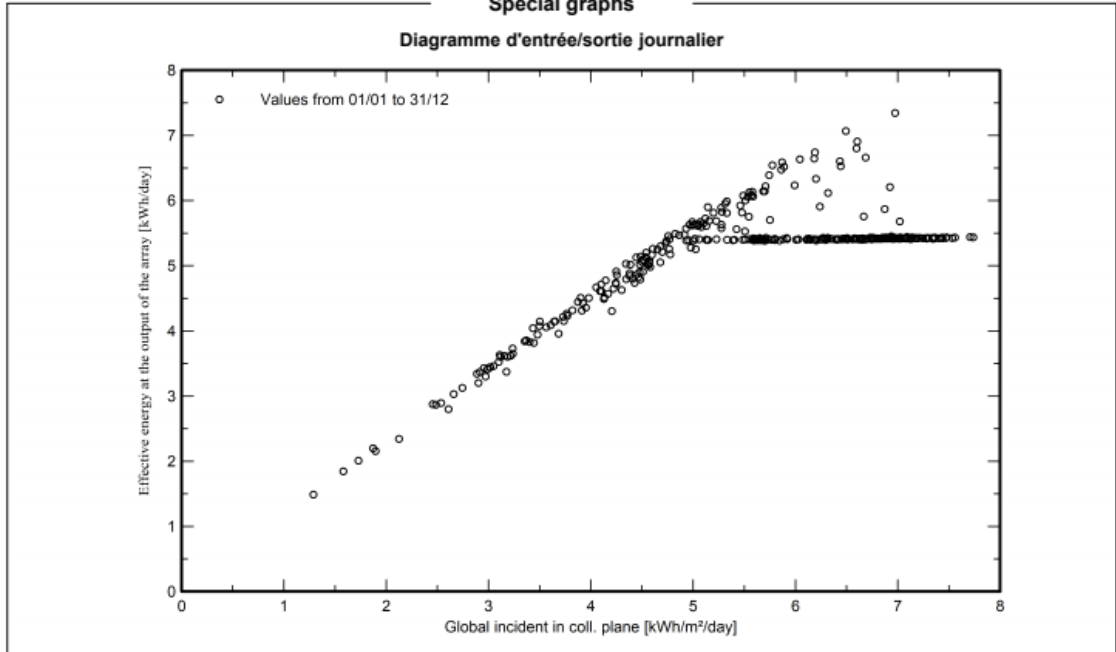
VC0, Simulation date:
02/07/23 11:30
with v7.2.0

Project: systeme autonom mgt

Variant: Nouvelle variante de simulation

Special graphs

Diagramme d'entrée/sortie journalier



- ✓ Dans la première page, le rapport affiche le nom de projet "système autonome mgt".
- ✓ Dans la deuxième page, le rapport affiche le tableau décrivant les paramètres du site d'Ouled Djellal, ainsi que les résultats suivants :
 - La puissance de chaque module 160W
 - Le nombre de module à utiliser 10 modules de 1600Wp (puissance totale)
 - L'énergie produite annuelle 2603 KWh/ year
 - L'énergie à utiliser annuelle 1822KWh/year
 - La puissance pour chaque kW installé 1627kwh/kwp/year
 - La tension maximale Umpp de 33 V
 - Le courant d'entrée Impp de 44 A

Dimensionnement d'un système suiveur

Pour le dimensionnement de notre système avec panneaux mobiles, on démarre de la même configuration typique d'un système isolé (Figure III.2).

III.1.4 Description du dimensionnement à PV mobiles

Comme pour tout système PVsyst, on doit spécifier l'orientation du générateur PV comme suit (Figure III.13) :

- ✓ Une inclinaison de 4.43° avec une inclinaison minimale de -90° et une inclinaison maximale de 90°
- ✓ Un azimut de 0° avec une irradiation annuelle
- ✓ Le type de champ suiveur est horizontal sur un seul axe Est -Ouest.

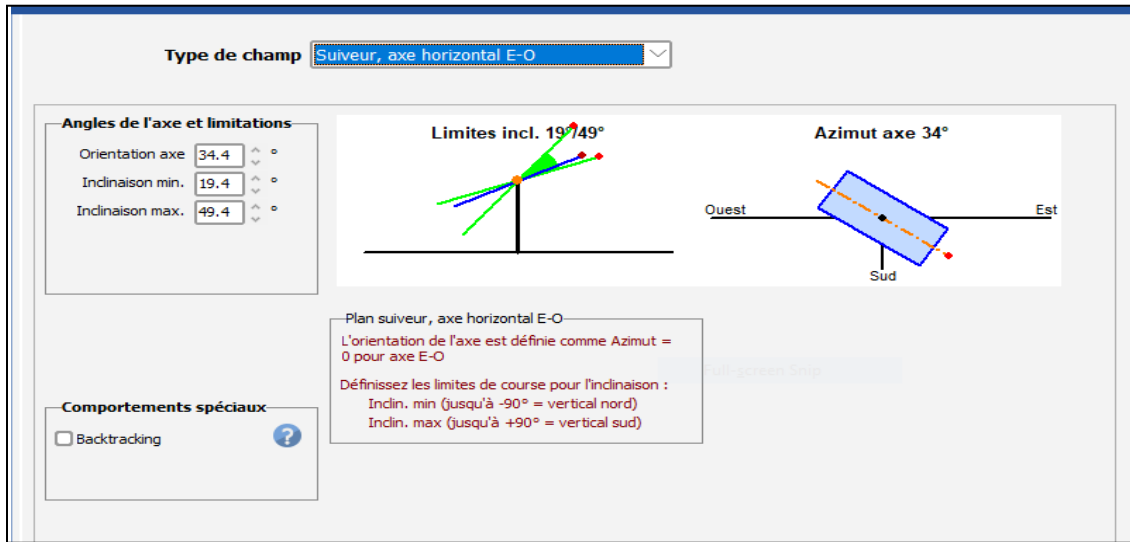


Figure III.13 : Réglage de champ PV d'une installation mobile

Les mêmes étapes déjà vues pour le cas fixe avec les besoins de l'utilisateur et le système sont alors exécutées.

III.1.5 Rapport obtenu pour le système suiveur

Le rapport engendré par PVsyst pour notre conception du système de tracking est donc présenté aussi sous forme de plusieurs pages, comme montrées ci-dessous.



Version 7.2.0

PVsyst - Simulation report

Stand alone system

Project: Nouveau systeme tracking

Variant: Nouvelle variante de simulation

Stand alone system with batteries

System power: 1280 Wp

Ouled Djellal - Algérie

| Author



PVsyst V7.2.0

VC0, Simulation date:
27/06/23 21:43
with v7.2.0

Project: Nouveau systeme tracking

Variant: Nouvelle variante de simulation

Project summary

Geographical Site		Situation		Project settings	
Ouled Djellal		Latitude	34.43 °N	Albedo	0.20
Algérie		Longitude	5.07 °E		
		Altitude	193 m		
		Time zone	UTC+1		
Meteo data					
Ouled Djellal					
Meteonorm 8.0 (1991-2000), Sat=100 % - Synthétique					

System summary

Stand alone system		Stand alone system with batteries			
PV Field Orientation		User's needs			
Fixed plane		Daily household consumers			
Tilt/Azimuth	20 / 0 °	Constant over the year			
		Average			
		5.0 kWh/Day			
System information					
PV Array					
Nb. of modules	8 units	Battery pack		Technology	
Pnom total	1280 Wp			Lead-acid, sealed, Gel	
				Nb. of units	
				6 units	
				Voltage	
				24 V	
				Capacity	
				480 Ah	

Results summary

Available Energy	2067 kWh/year	Specific production	1615 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	67.83 %
Used Energy	1767 kWh/year			Solar Fraction SF	96.82 %

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



Project: Nouveau systeme tracking

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.2.0

VC0, Simulation date:
27/06/23 21:43
with v7.2.0

General parameters

Stand alone system		Stand alone system with batteries	
PV Field Orientation			
Orientation			
Fixed plane		Sheds configuration	Models used
Tilt/Azimuth	20 / 0 °	No 3D scene defined	Transposition Perez
			Diffuse Perez, Meteonorm
			Circumsolar separate
User's needs			
Daily household consumers			
Constant over the year			
Average	5.0 kWh/Day		

PV Array Characteristics

PV module		Battery	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	Poly 160 Wp 36 cells	Model	Solar 12V / 160 Ah
(Original PVsyst database)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	160 Wp	Nb. of units	3 in parallel x 2 in series
Number of PV modules	8 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	1280 Wp	Stored energy	9.2 kWh
Modules	4 Strings x 2 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	24 V
Pmpp	1153 Wp	Nominal Capacity	480 Ah (C10)
U mpp	33 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	35 A		
Controller		Battery Management control	
Universal controller		Threshold commands as	SOC calculation
Technology	MPPT converter	Charging	SOC = 0.90 / 0.75
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	approx.	26.4 / 24.8 V
Converter		Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %	approx.	23.3 / 24.1 V
Total PV power			
Nominal (STC)	1 kWp		
Total	8 modules		
Module area	7.9 m ²		
Cell area	3.7 m ²		

Array losses

Thermal Loss factor		DC wiring losses		Serie Diode Loss				
Module temperature according to irradiance		Global array res.	16 mΩ	Voltage drop	0.7 V			
Uc (const)	20.0 W/m ² K	Loss Fraction	1.5 % at STC	Loss Fraction	1.9 % 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								
Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



PVsyst V7.2.0

VC0, Simulation date:
27/06/23 21:43
with v7.2.0

Project: Nouveau systeme tracking

Variant: Nouvelle variante de simulation

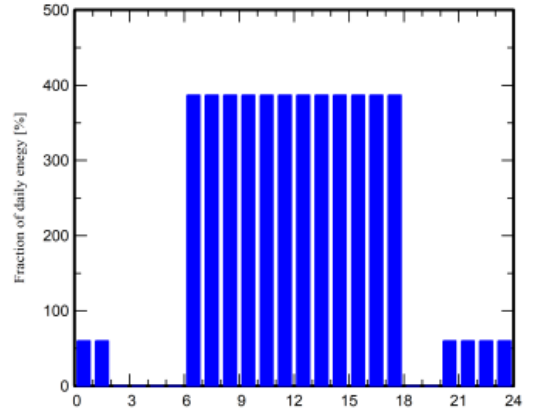
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 5.0 kWh/day

Annual values

	Number	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Lamps (LED or fluo)	1	60W/lamp	6.0	360
Autres utilisations	1	387W tot	12.0	4640
Total daily energy				5000Wh/day

Hourly distribution





Project: Nouveau systeme tracking

Variant: Nouvelle variante de simulation

PVsyst V7.2.0

VC0, Simulation date:
27/06/23 21:43
with v7.2.0

Main results

System Production

Available Energy 2067 kWh/year
Used Energy 1767 kWh/year
Excess (unused) 268 kWh/year

Loss of Load

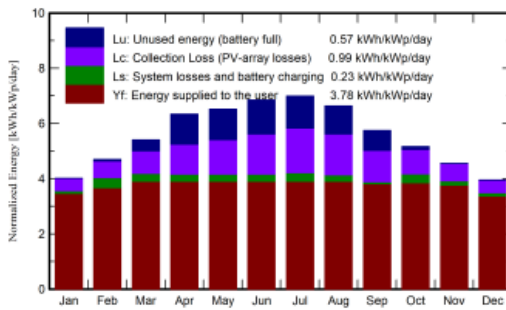
Time Fraction 2.5 %
Missing Energy 58 kWh/year

Specific production 1615 kWh/kWp/year
Performance Ratio PR 67.83 %
Solar Fraction SF 96.82 %

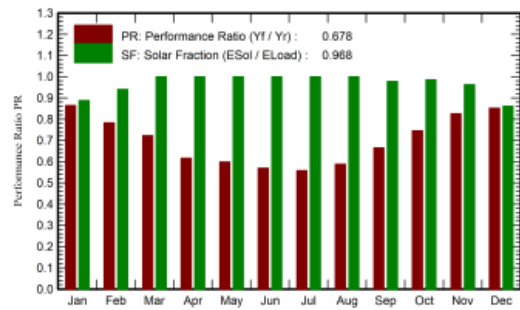
Battery aging (State of Wear)

Cycles SOW 96.4 %
Static SOW 90.0 %
Battery lifetime 10.0 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	89.2	120.6	135.7	0.00	17.27	137.7	155.0	0.889
February	102.8	127.9	141.1	1.99	8.24	131.8	140.0	0.941
March	145.7	163.3	175.2	15.74	0.00	155.0	155.0	1.000
April	178.4	185.1	194.9	41.55	0.00	150.0	150.0	1.000
May	201.7	196.7	202.0	43.75	0.00	155.0	155.0	1.000
June	209.7	200.2	200.8	47.33	0.00	150.0	150.0	1.000
July	218.6	211.3	206.6	46.06	0.00	155.0	155.0	1.000
August	197.7	200.7	197.9	40.37	0.00	155.0	155.0	1.000
September	155.0	167.9	170.9	27.54	3.32	146.7	150.0	0.978
October	130.7	156.0	163.1	3.93	2.22	152.8	155.0	0.986
November	99.1	132.9	145.1	0.01	5.59	144.4	150.0	0.963
December	83.9	118.7	133.3	0.00	21.47	133.5	155.0	0.861
Year	1812.5	1981.3	2066.7	268.27	58.11	1767.0	1825.1	0.968

Legends

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



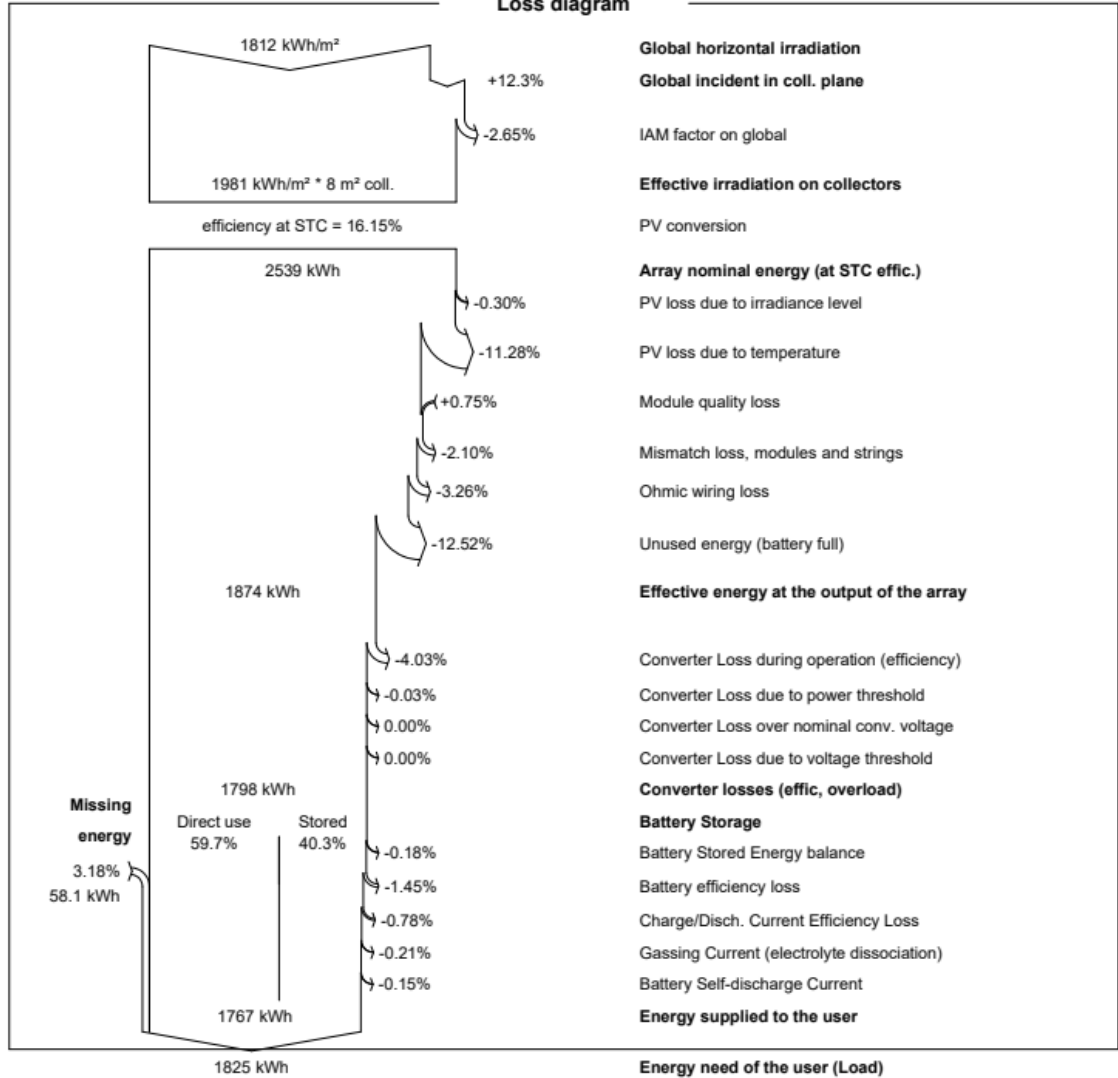
PVsyst V7.2.0

VC0, Simulation date:
27/06/23 21:43
with v7.2.0

Project: Nouveau systeme tracking

Variant: Nouvelle variante de simulation

Loss diagram





PVsyst V7.2.0

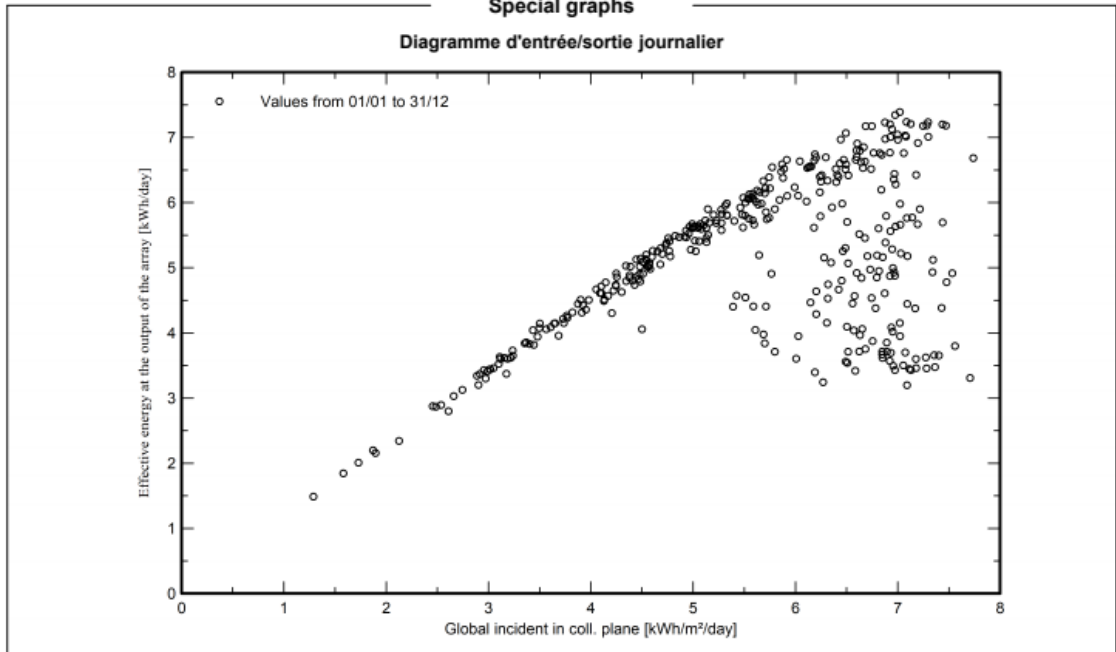
VC0, Simulation date:
27/06/23 21:43
with v7.2.0

Project: Nouveau systeme tracking

Variant: Nouvelle variante de simulation

Special graphs

Diagramme d'entrée/sortie journalier



- ✓ Sur la première page, le rapport affiche le nom de projet “système tracking”.
- ✓ Dans la deuxième page, le rapport affiche donc les paramètres du site d'Ouled Djellal avec les résultats obtenus suivants :

- La puissance de chaque module 160W
- L'énergie produite annuelle est de 2067 KWh/ year
- L'énergie utilisée annuelle est de 1767KWh/year
- La puissance pour chaque kW installée est de 1615 kwh/kwp/year
- La tension maximale U_{mpp} est de 33 V.
- Le courant d'entrée I_{mpp} est de 35 A .

- **Le prix des composants d'une installation fixe et mobile**

	Installation fixe	Installation mobile
Panneaux solaire (DA)	152 000(8p)	121 600(10p)
Batteries (DA)	177 786(6B)	177 786(6B)
Régulateur / Onduleur(DA)	3 705/111 209	3705/111 209
Boite de jonction(DA)	3012	3 012
API S7-300(DA)	/	9 5407
Moteur asynchrone triphasé (DA)	/	35 270(2M)
Capteur inductif(DA)	/	8 896(2C)
Total (DA)	447 712	556 885

Tableau III.2 : les prix des composants d'installations fixe et mobile

Comparaison entre les systèmes fixe et suiveur

Pour la même puissance de 5 KW journalière, on remarque que (Tableau III.2) :

- Le nombre des panneaux mobiles (8) est inférieur à celui obtenu dans le cas des panneaux fixes (10).
- La surface utilisée pour le système suiveur (8 m^2) est aussi inférieure que celle utilisée dans le cas d'1 système fixe (10 m^2)
- sauf que le prix de revient de l'installation pour le système suiveur est supérieur à celui du système fixe. Cette différence du coût évaluée à 109 173 DA peut être considérée comme une valeur négligeable devant la durée de vie de l'installation qui varie de 20 ans à 25 ans

	Installation à panneaux fixes	Installation à panneaux mobiles
Nombre des panneaux utilisé	10	8
Energie du besoin journalière (KW)	5	5
Surface de la carrière (m^2)	10	8
Coût de l'installation (DA)	444 700	556 885
Energie du besoin annuelle (KW)	1825	1825
Facteur de performance(yr/yf)	0.678	0.678
Énergie manquante (%)	3.22	3.18
Perte de captation (%)	1.65	0.99

Tableau III.3 : Comparaison des résultants d'installations fixe et mobile

Conclusion

Le système de poursuite solaire consiste à contrôler le mouvement de rotation du panneau et le commander par un programme informatique pour mettre la normale du collecteur face au soleil pendant toute la journée.

L'importance de ce système est de capter le rayonnement solaire parallèle venant directement du disque solaire (rayonnement direct).

À partir des résultats obtenus par le logiciel PVsyst, il est clair que nous obtenons une nette amélioration du niveau de l'éclairement solaire et un meilleur rendement du système tout au long de l'année en utilisant le système avec Tracker.

Chapitre IV

Programmation et Simulation du Projet

Introduction

Un Automate Programmable Industriel (**API**) est une machine électronique programmable par un personnel non informaticien et destiné à piloter en ambiance industrielle et en temps réel des procédés industriels. Un **automate programmable** est adaptable à un maximum d'applications, d'un point de vue traitement, composants, langage. C'est pour cela qu'il est de construction modulaire.

Il est en général manipulé par un personnel électromécanicien. Le développement de l'industrie à entraîner une augmentation constante des fonctions électroniques présentes dans un automatisme c'est pour ça que l'API s'est substituée aux armoires à relais en raison de sa souplesse dans la mise en œuvre, mais aussi parce que dans les coûts de câblage et de maintenance devenaient trop élevés.

Dans ce chapitre on va parler de la commande du système suiveur qui se compose d'un API S7-300 et sa programmation avec le logiciel Tia Portal via le langage Ladder à l'aide d'un capteur inductif et un moteur .

Structure générale d'un API

Les caractéristiques principales d'un automate programmable industriel (**API**) (Figure IV.1) [21] sont :

- Compact ou modulaire
- Tension d'alimentation
- Taille mémoire
- Sauvegarde (EPROM, EEPROM, pile, ...)
- Nombre d'entrées / sorties

- Modules complémentaires (analogique, communication,)
- Langage de programmation

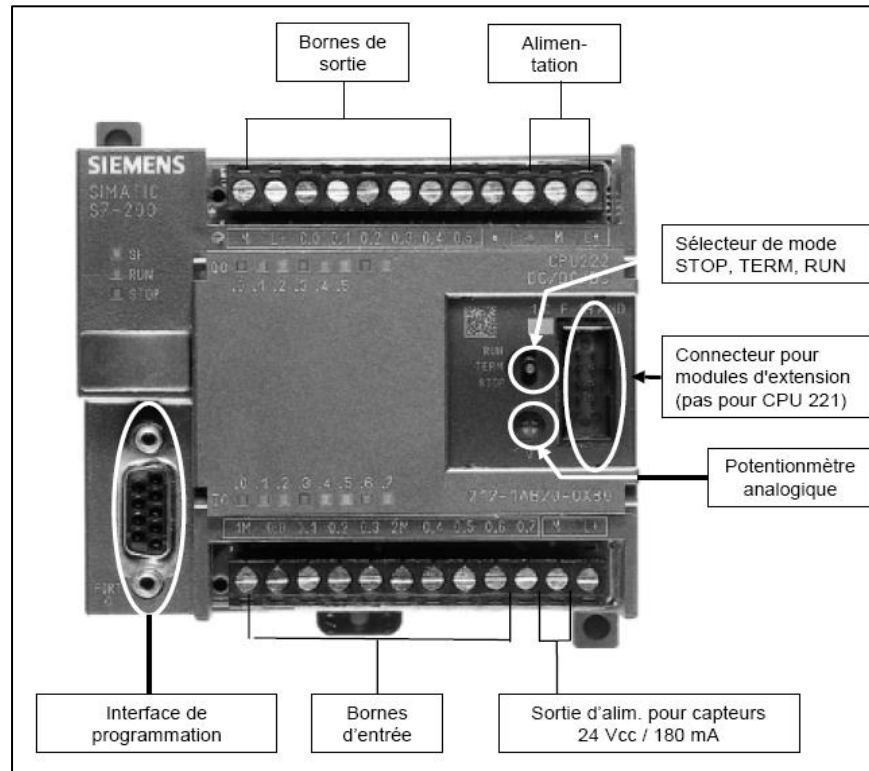


Figure IV.1: Aspect extérieur d'un automate S7-200 CPU222[21]

Des API en boîtier étanche sont utilisés pour les ambiances difficiles (température, poussière, risque de projection ...) supportant ainsi une large gamme de température, humidité ... L'environnement industriel se présentent sous trois formes (Figure IV.2) :

- Environnement physique et mécanique (poussières, température, humidité, vibrations) ;
- Pollution chimique ;
- Perturbation électrique. (Parasites électromagnétiques)



Figure IV.2: Exemple d'un Automate Modulaire[21]

IV.1.1 Structure interne d'un automate programmable industriel

Les API comportent quatre principales parties :

- Une unité de traitement (un processeur CPU) ;
- Une mémoire ;
- Des modules d'entrées-sorties ;
- Des interfaces d'entrées-sorties ;
- Une alimentation 230 V, 50/60 Hz (AC) - 24 V (DC).

La structure interne d'un **automate programmable industriel** (API) est assez voisine de celle d'un système informatique simple, L'unité centrale est le regroupement du processeur et de la mémoire centrale. Elle commande l'interprétation et l'exécution des instructions programme. Les instructions sont effectuées les unes après les autres, séquencées par une horloge.

Deux types de mémoire cohabitent :

- **La mémoire Programme** où est stocké le langage de programmation. Elle est en général figée, c'est à dire en lecture seulement. (ROM : mémoire morte)
- **La mémoire de données** utilisable en lecture-écriture pendant le fonctionnement c'est la RAM (mémoire vive). Elle fait partie du système entrées-sorties. Elle fige les valeurs (0 ou 1) présentes sur les lignes d'entrées, à chaque prise en compte cyclique de celle-ci, elle mémorise les valeurs calculées à placer sur les sorties (Figure IV.3). [21]

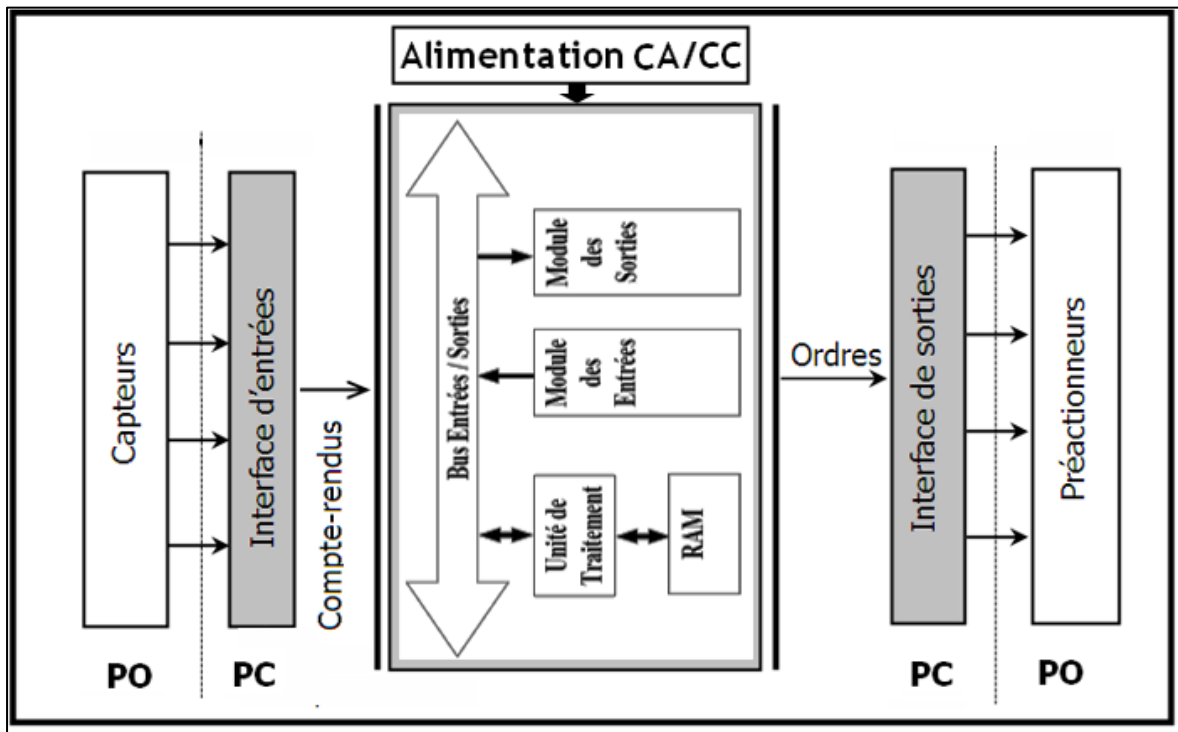


Figure IV.3 : Structure interne d'un automate programmable industriel (API) [21]

IV.1.2 Fonctionnement

L'automate programmable **reçoit** les informations relatives à l'état du système et puis **commande** les pré-actionneurs suivant le programme inscrit dans sa mémoire. Généralement les automates programmables industriels ont un fonctionnement cyclique. Le **microprocesseur** réalise toutes les fonctions logiques ET, OU, les fonctions de temporisation, de comptage, de calcul... Il est connecté aux autres éléments (mémoire et interface E/S) par des liaisons **parallèles** appelées 'BUS' qui véhiculent les informations sous forme binaire.. Lorsque le

fonctionnement est dit synchrone par rapport aux entrées et aux sorties, le cycle de traitement commence par la prise en compte des entrées qui sont figées en mémoire pour tout le cycle (Figure IV.4). [21]

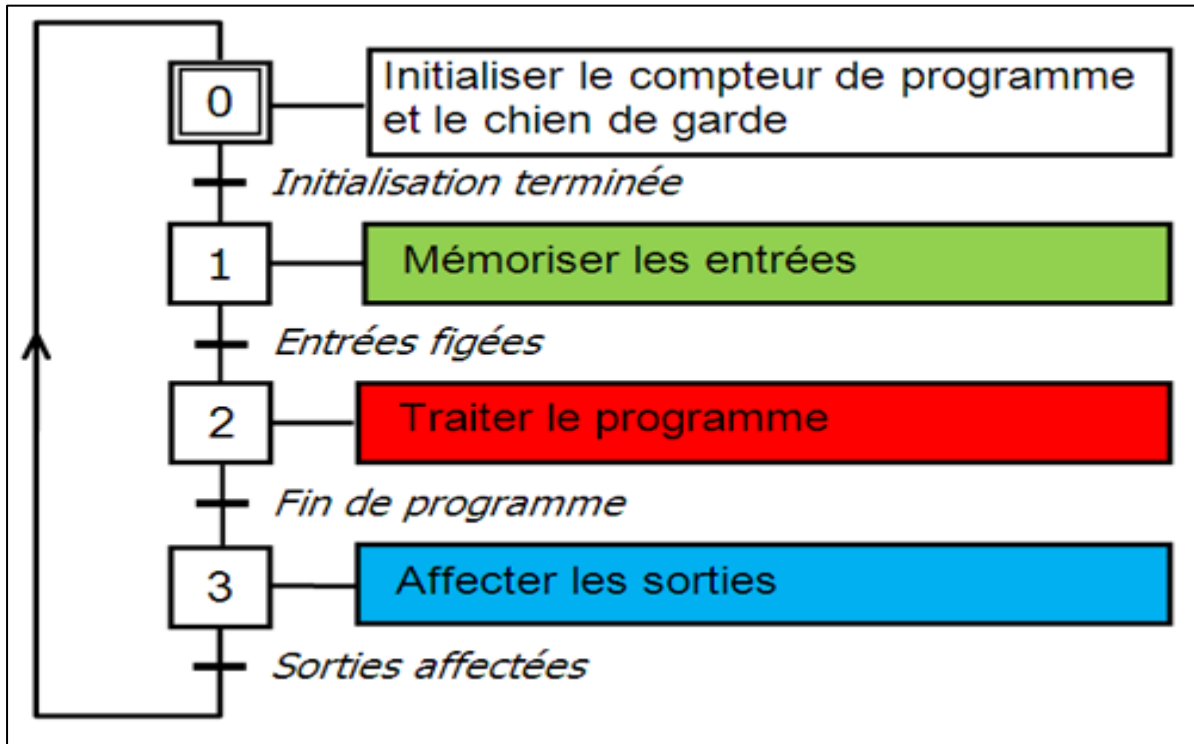


Figure IV.4 : Fonctionnement cyclique d'un API[21]

Automate Programmable Industriel S7 300

L'automate programmable est un système de traitement logique de l'information dont le programme de fonctionnement s'effectue à partir d'instructions établies en fonction du processus à réaliser (Figure IV.5).[22]

Le S7-300 est un automate de conception modulaire destiné à des tâches d'automatisation de moyenne et haute complexité, sa gamme est caractérisée par :

- Gamme diversifiée de la CPU ;

- Gamme complète de module ;
- Possibilité d'extension jusqu'à 32 modules ; Possibilité de mise en réseau avec :
 - Profibus ;
 - L'interface multipoint (MPI) ;
 - L'industrie Ethernet ;
- Raccordement central de la console de programmation (PG) avec accès a tous les modules ;
- Liberté de montage aux différents emplacements.

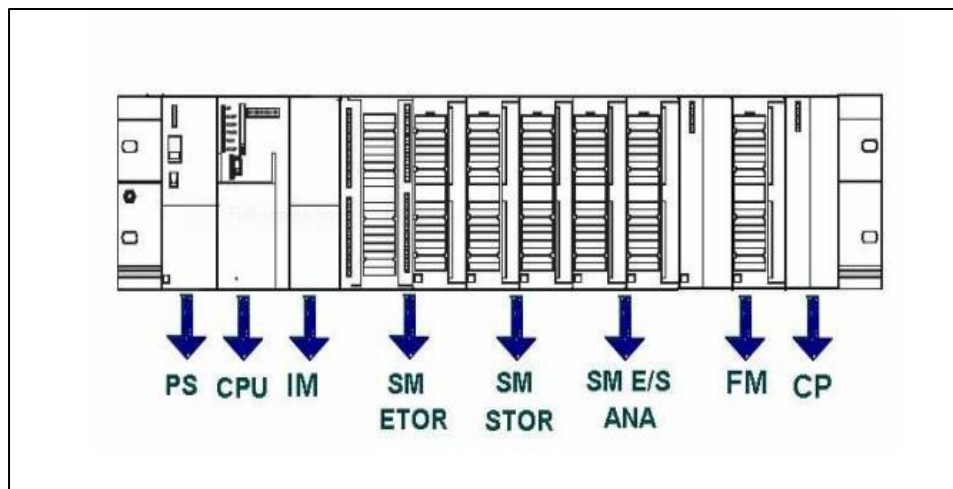


Figure IV.5 : Présentation des modules du S7-300[23]

IV.1.3 Fonctionnement

L'automate programmable lit en permanence et à grande vitesse les informations du programme dans la mémoire.

Selon la modification des entrées, il réalise les opérations logiques entre information d'entrée et de sortie.

Le temps de lecture d'un programme est pratiquement inférieur à 10 μ s. Ce temps est très inférieur au temps d'évolution d'une séquence.[22]

IV.3.2 Modularité S7-300

Le S7-300 est un mini automate modulaire conçu pour les applications d'entrées et de milieu de gamme.[22]

a) Module d'alimentation (PS)

Le module d'alimentation (PS) délivre, sous une tension de 24V, un courant de sortie assigné de 2A, 5A et 10A. Il permet de sauvegarder le contenu des mémoires RAM au moyen d'une pile de sauvegarde ou une alimentation externe.

Une LED indique le bon fonctionnement du module d'alimentation. En cas de surcharge de la tension de sortie, un témoin se met à clignoter.

b) Unité centrale (CPU)

La CPU est le cerveau de l'automate, elle lit les états de signaux d'entrée, exécute le programme utilisateur et commande les sorties.

Elle contient un système d'exploitation, une unité d'exécution et des interfaces de communication.

Elle permet le pré réglage du comportement au démarrage et le diagnostic de défauts par les LEDs.

Le capteur inductif

Les capteurs inductifs sont couramment utilisés pour effectuer des mesures de position ou de vitesse, notamment dans les environnements difficiles. La terminologie et les techniques employées dans le domaine des capteurs inductifs peuvent toutefois s'avérer quelque peu déroutantes pour de nombreux ingénieurs. Mark Howard, directeur général de Zettlex, explique les différents types de capteur, leurs principes de fonctionnement, ainsi que leurs forces et faiblesses respectives (Figure IV.6).

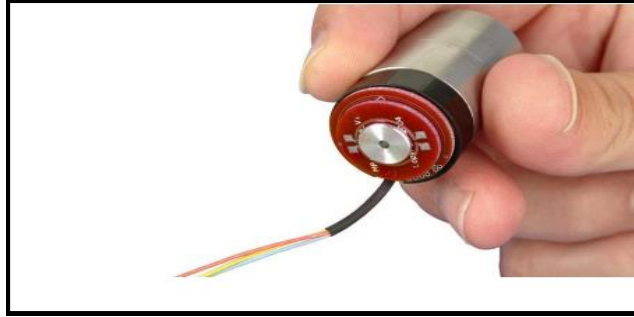


Figure IV.6 : Le capteur inductif

Les capteurs inductifs de position et de vitesse existent en un large éventail de formes, tailles et principes de conception. On peut toutefois considérer que tous les capteurs inductifs exploitent les principes du transformateur ; et qu'ils utilisent tous un phénomène physique lié aux courants électriques alternatifs.

Ce phénomène a été observé pour la première fois durant les années 1830 par Michael Faraday, qui a constaté qu'un premier conducteur porteur de courant pouvait « induire » un courant dans un second conducteur. Les découvertes de Faraday ont abouti à diverses inventions, dont le moteur électrique, la dynamo et, bien sûr, les capteurs inductifs de vitesse et position.

Ces capteurs incluent notamment : commutateurs de proximité, capteurs à inductance variable, capteurs à réluctance variable, synchro-machines, résolveurs, et capteurs de déplacement.

Moteur asynchrone triphasé

Le moteur asynchrone triphasé est largement utilisé dans l'industrie, sa simplicité de construction en fait un matériel très fiable et qui demande peu d'entretien. Il est constitué d'une partie fixe, le stator qui comporte le bobinage, et d'une partie rotative, le rotor qui est bobiné en cage d'écureuil. Les circuits magnétiques du rotor et du stator sont constitués d'un empilage de fines tôles métalliques pour éviter la circulation de courants de Foucault (Figure IV.7).[24]

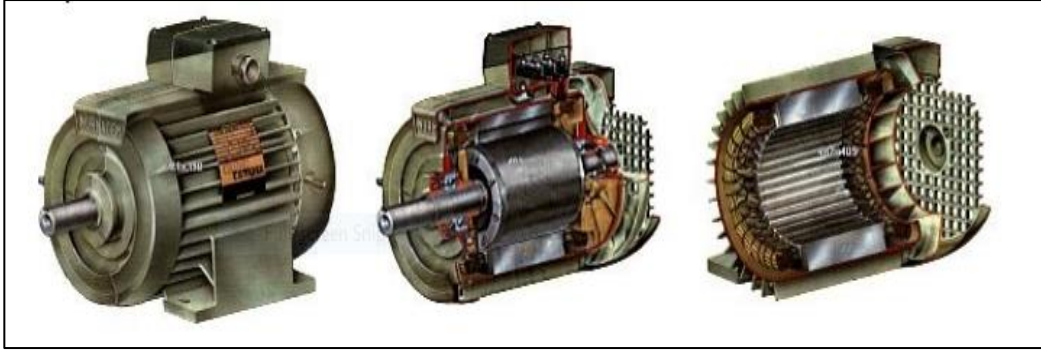


Figure IV.7 : Moteur asynchrone triphasé[24]

Le principe de fonctionnement des moteurs à courants alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives.

La circulation d'un courant dans une bobine crée un champ magnétique B . Ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du courant I . C'est une grandeur vectorielle. Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie en sens et en direction à la même fréquence que le courant.

Si deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux autres. Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres, trois champs magnétiques sont ainsi créés.

Le rotor est constitué de barres d'aluminium noyées dans un circuit magnétique. Ces barres sont reliées à leur extrémité par deux anneaux conducteurs et constituent une "cage d'écureuil". Cette cage est en fait un bobinage à grosse section et très faible résistance (Figure IV.8).[24]

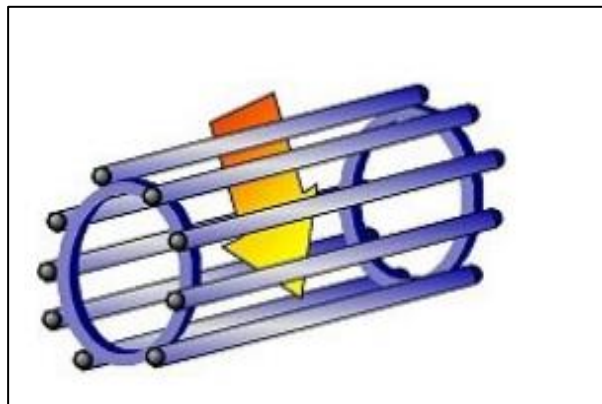


Figure IV.8 : Le rotor d'un moteur asynchrone triphasé

Programmation de l'API S7-300

Pour réaliser la programmation de notre projet, on a suivi la méthodologie suivante :

IV.1.4 Data bloc (DB)

Les DB sont des zones de données dans lesquelles l'on enregistre les données utilisateur , nous avons crée un Data Bloc "Red time " et un autre data bloc s'appel "clock 19h " et une horloge T-comp qui fait la comparaison entre le temps réel et le temps sélectionné (Figure IV.9)

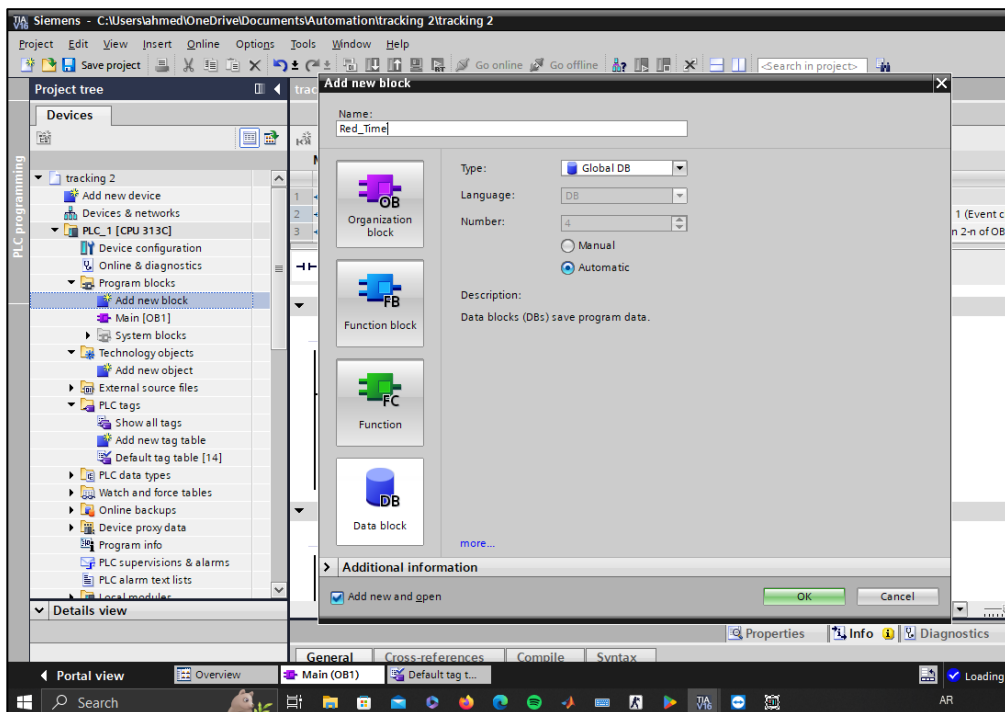
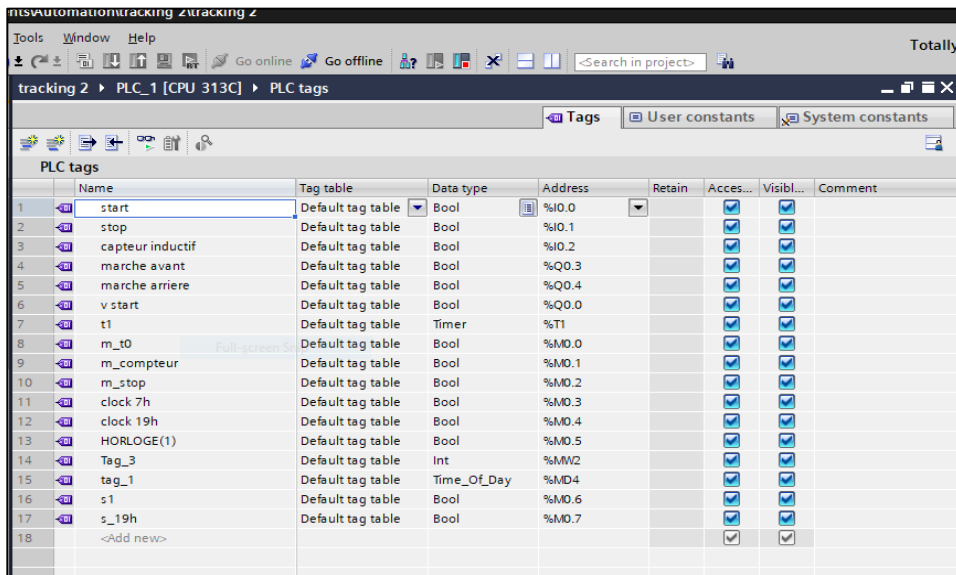


Figure IV.9 : Data bloc (DB)

IV.1.5 La table des mnémoniques (les variables)

On mentionne les sorties et les entrées et les mémoires sur PLC tags(Figure IV.10)



Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Visibl...	Comment
start	Default tag table	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
stop	Default tag table	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
capteur inductif	Default tag table	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
marche avant	Default tag table	Bool	%Q0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
marche arriere	Default tag table	Bool	%Q0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
v start	Default tag table	Bool	%Q0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
t1	Default tag table	Timer	%T1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
m_t0	Default tag table	Bool	%M0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
m_compteur	Default tag table	Bool	%M0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
m_stop	Default tag table	Bool	%M0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
clock 7h	Default tag table	Bool	%M0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
clock 19h	Default tag table	Bool	%M0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
HORLOGE(1)	Default tag table	Bool	%M0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Tag_3	Default tag table	Int	%MW2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
tag_1	Default tag table	Time_Of_Day	%MD4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
s1	Default tag table	Bool	%M0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
s_19h	Default tag table	Bool	%M0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
<Add new>					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figure IV.10 : La table des mnémoniques

IV.1.6 Le programme

- On fixe le point de départ a 7h du matin vers l'est
- chaque 1h le moteur fait un pas de 15°
- le moteur s'arrête a 19 h sa position vers l'ouest
- le moteur revient au point de départ
- API est programmé pour une pose dans les prochain 12 heures a fin de faire la même procédure
- Cet opération se répète dans les 31 jours au mois de décembre , le mois le plus défavorable.

a) réseau 1

Sur le 1 er réseau on met (Figure IV.11).

- Un contacte ouvert “ un bouton start”
- Un contacte fermé “bouton stop ”
- Un voyant start veut dire que le système est en fonctionnement

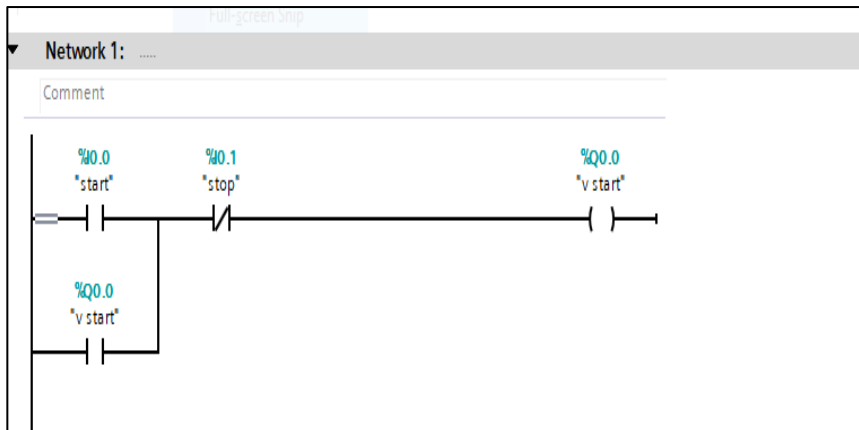


Figure IV.11 : Réseau 1

b) réseau 2

Sur le 2 -ème réseau on met (Figure IV.12).

- un contact ouvert “marche avant ” démarre a 7h du matin
- un voyant start est actif
- un contacte fermé “capteur inductif”, pour arrêter le moteur a 19h
- un contacte ouvert “Horloge” qui fait limiter l’opération de 7h a 19h

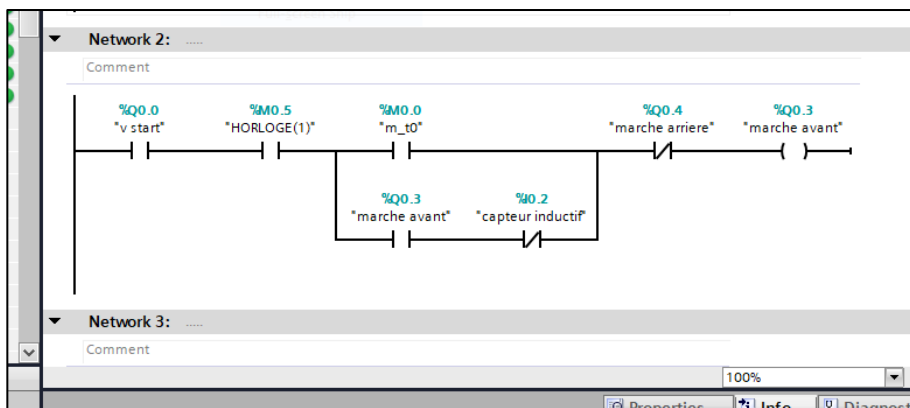


Figure IV.12 : Réseau 2

c) réseau 3

A 19h le moteur s’arrête et fait un marche arriere vers le point de départ (Figure IV.13).

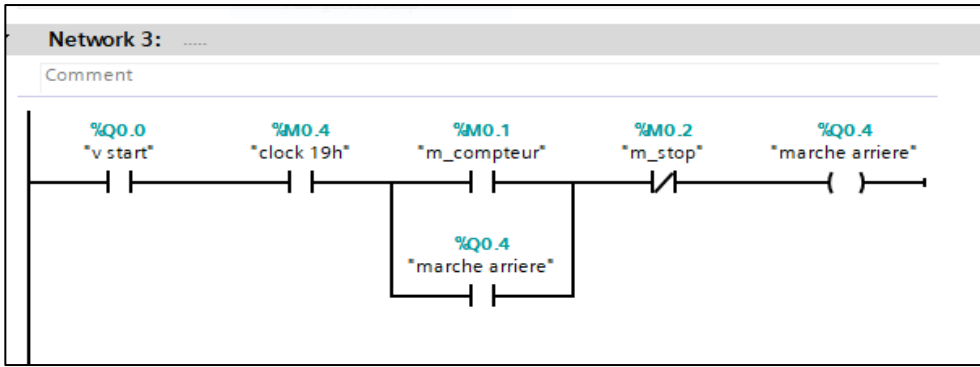


Figure IV.13 : Réseau 3

d) réseau 4

Dans ce réseau , nous avons programmé la configuration de la fonction timer “le démarrage après une heure ” (Figure IV.14).

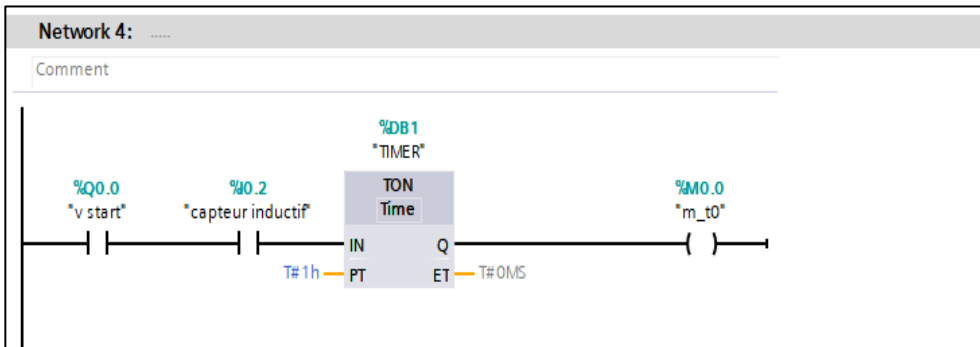


Figure IV.14 : Réseau 4

e) réseau 5

Nous avons programmé la configuration de fonction CTU afin de compter le nombre des degrés 180°(les degrés) /15(degré de pas)=12(nombre de pas) (Figure IV.15).

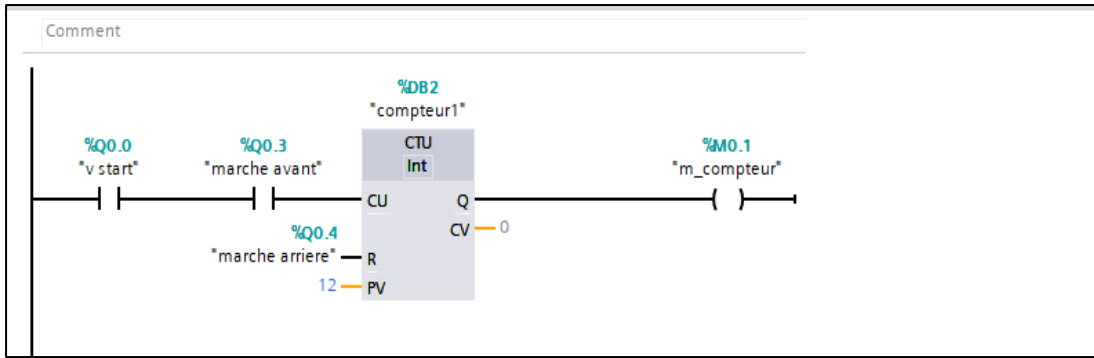


Figure IV.15 : Réseau 5

f) réseau 6

Nous avons programmés la configuration de fonction CTU afin de compter le degré de marche arrière (Figure IV.16).

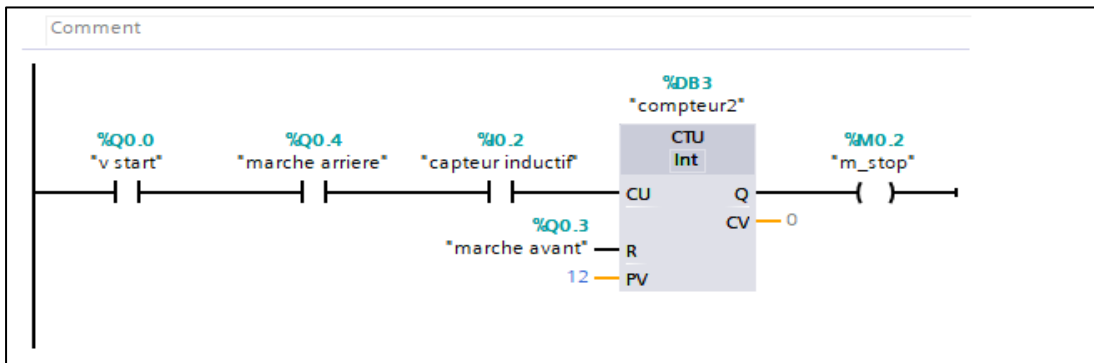


Figure IV.16 : Réseau 6

g) réseau 9

le bloc data “T-comp ” fait la comparaison entre le temps réel et le temps sélectionné (Figure IV.17)

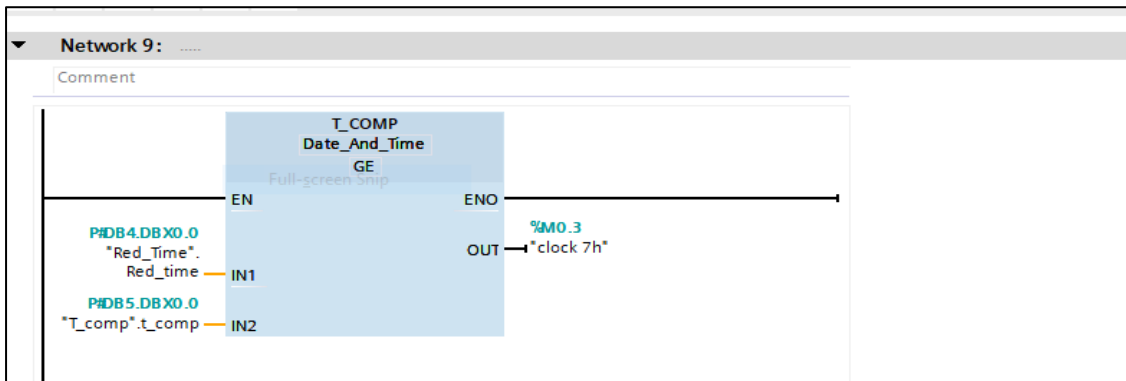


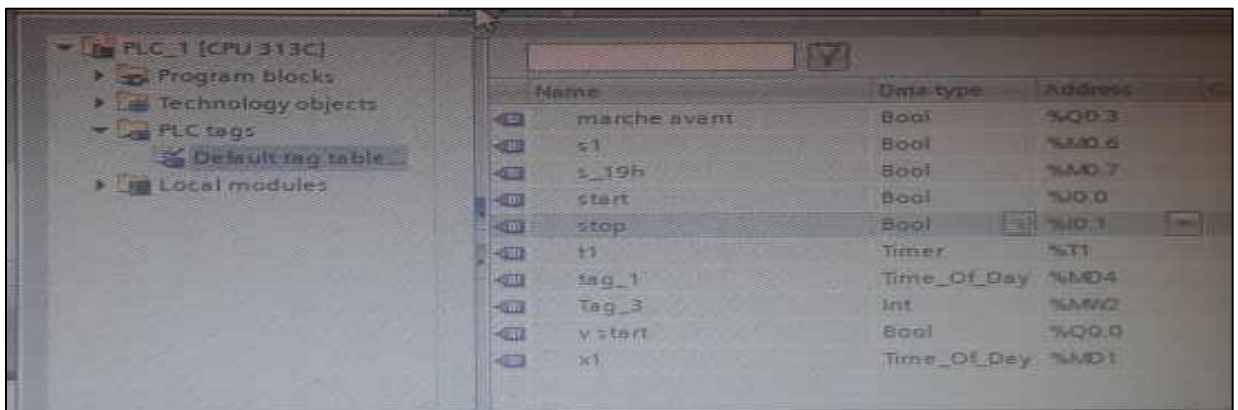
Figure IV.17 : Réseau 9

IV.1.7 Présentation de l'IHM

Dans l'automate Siemens, plusieurs types de ports sont disponibles pour communiquer avec d'autres appareils.

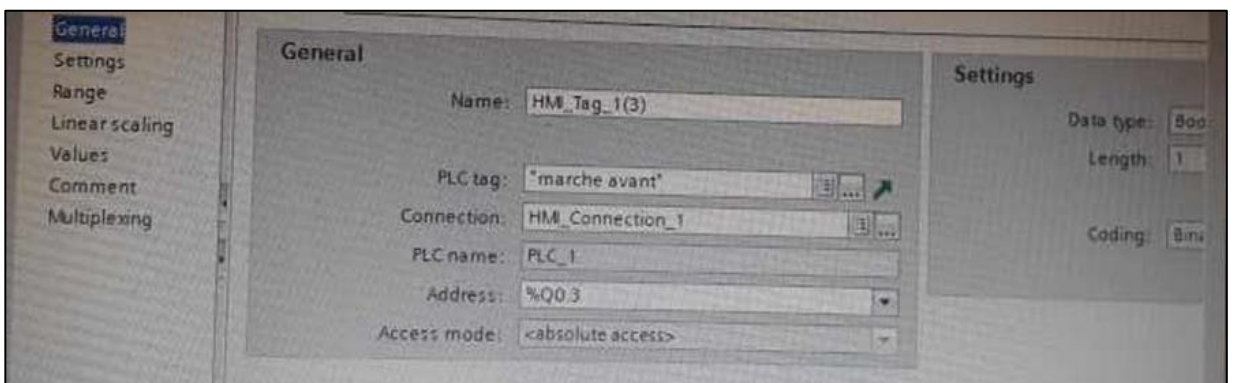
Nous utilisons le port MPI pour connecter la CPU à l'IHM ; de cette façon, les données peuvent facilement être transférées vers l'IHM.

Le port MPI utilise le protocole de communication RS-485. Une communication dite point à point aura lieu entre deux processus, l'un appelé processus émetteur et l'autre processus récepteur (ou destinataire). D'abord c'est faire rentrer les variables (Figure IV.18) (Figure IV.19) après le mentionnent de START, STOP, MARCHE AVANT, MARCHE ARRIERE (Figure IV.20).



Name	Data type	Address
marche avant	Bool	%Q0.3
s_1	Bool	%M0.6
s_19h	Bool	%M0.7
start	Bool	%I0.0
stop	Bool	%I0.1
t1	Timer	%T1
tag_1	Time_Of_Day	%MD4
tag_3	Int	%MW2
v = start	Bool	%Q0.0
x1	Time_Of_Day	%MD1

Figure IV.18 : Liste des variables



General

Name: HMI_Tag_1(3)

PLC tag: "marche avant"

Connection: HMI_Connection_1

PLC name: PLC_1

Address: %Q0.3

Access mode: <absolute access>

Settings

Data type: Bool

Length: 1

Coding: Bin

Figure IV.19 : L'ajout de marche avant au liste des variables

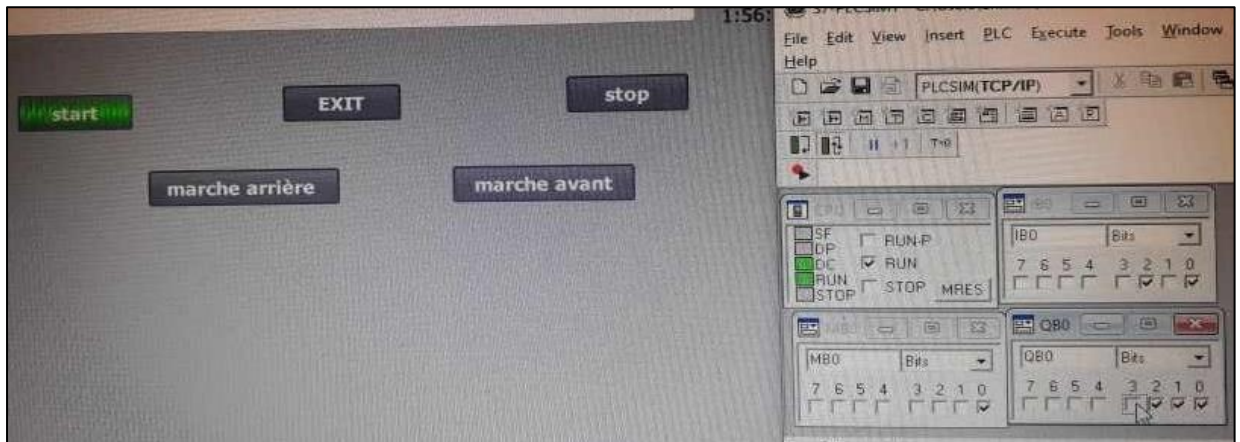


Figure IV.20 : L'activation de START / STOP

Simulation du programme

Nous allons maintenant expliquer le déroulement de notre fonctionnement de commande lorsqu'on lance notre simulation.

- Le moteur se démarre a 7h du matin (Figure IV.21)
- Le capteur signal les pas de moteur. Après 1h ,le moteur fait un pas de 15°.(Figure IV.22)
- Le compteur calcule le nombre des pas (Figure IV.23).

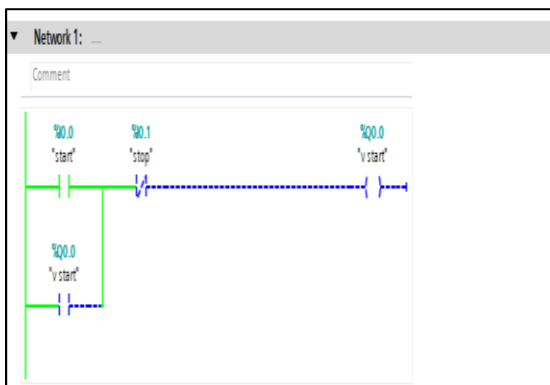


Figure IV.21 : Ladder-Réseau 1

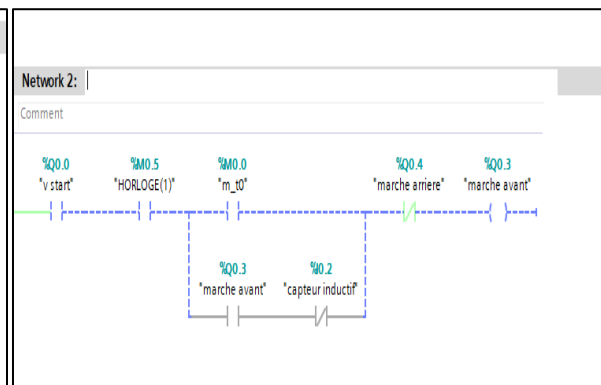


Figure IV.22 : Ladder-Réseau 2

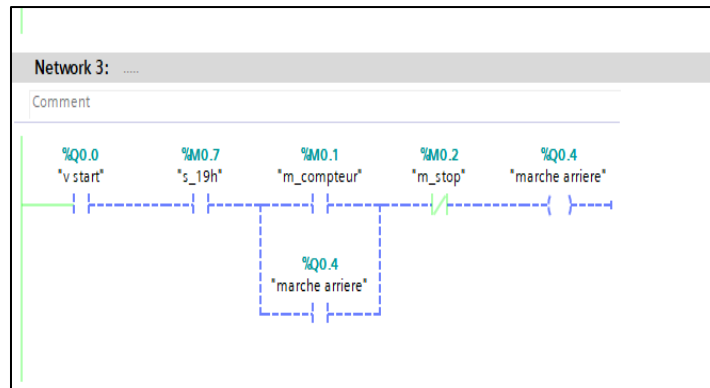
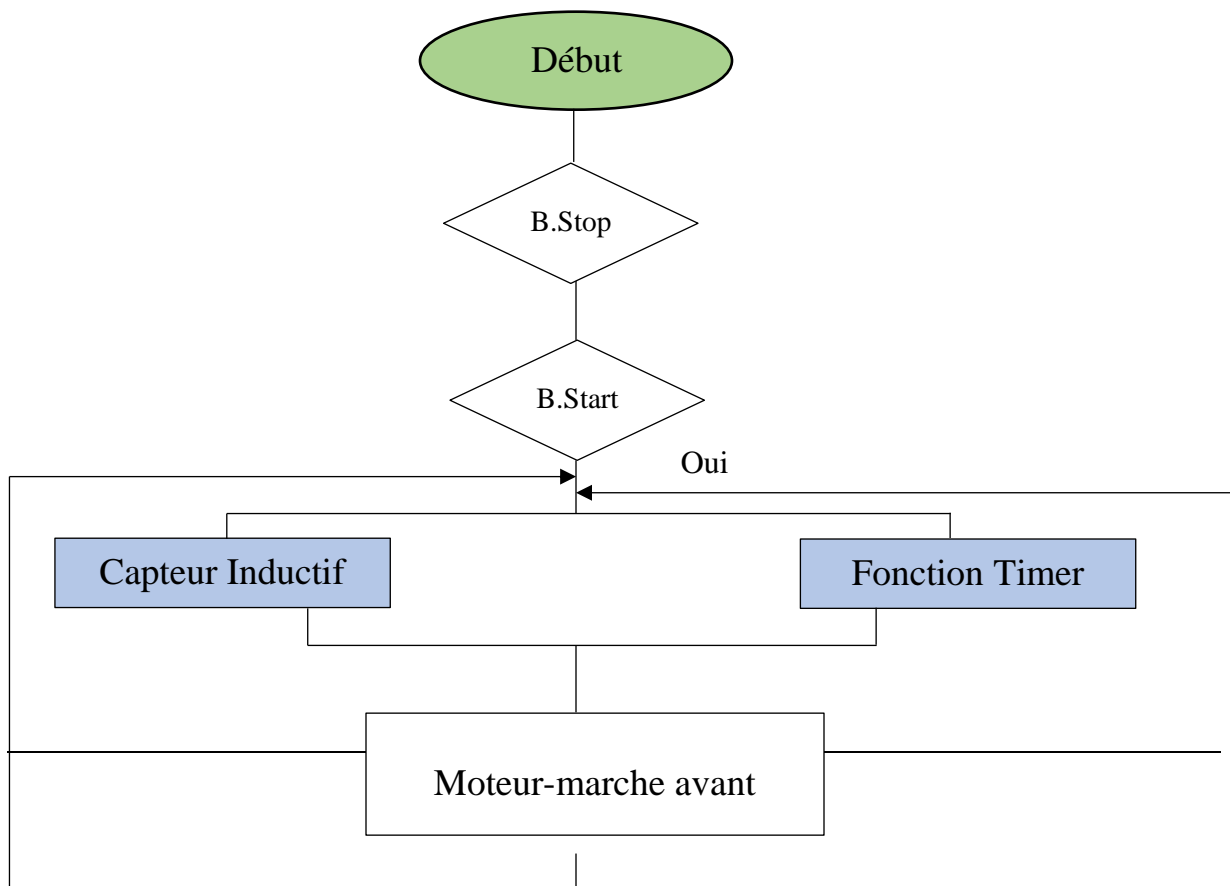


Figure IV.23: Ladder-Réseau 3

- Afin de comprendre le fonctionnement , on choisi les 31 jours du mois de Mai :
 - ✓ Le capteur inductif signales le premier pas de moteur (cet opération se répète chaque 1h)
 - ✓ le moteur fait un pas de 15°
 - ✓ le compteur enregistres le nombre des pas (le nombre des pas est 12), si ce système n’arrive pas a 180°alors l’opération précédente se répètes
 - ✓ le moteur fait un marche arriere au point de départ ,si non alors l’opération va se répéter .

La figure suivante présente l’organigramme correspondant :



Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en vue des généralités sur l'automate programmable industriel, précisément l'API S7-300 que nous avons adopté à notre installation du système suiveur ainsi que le logiciel Tia Portal.

La validation du programme de système suiveur que nous avons développé a été réalisé grâce au logiciel de simulation de module S7-300.cette opération nous a permis d'augmenter le rendement des panneaux photovoltaïque jusqu' à 20 %

Conclusion Générale

La réalisation de ce projet de fin d'études au sein de l'école de SONELGAZ de Blida a été très intéressante, car elle m'a permis de se frotter au monde professionnel, et de mettre le lien entre mes connaissances théoriques et le monde de l'industrie.

On peut conclure que ce travail a été bénéfique pour moi, vu son importance pour enrichir mes connaissances dans le domaine des énergies renouvelables.

Le stage a été très bénéfique à plus d'un titre compte tenu des nombreux avantages qu'il m'a apporté comme :

- D'affronter le milieu professionnel
- Se familiariser avec le milieu du travail;
- d'approfondir mes connaissances dans différents secteurs tel que l'énergie photovoltaïque et l'automatisation industrielle.
- mettre mes connaissances théoriques en pratique et l'expérience engrangée lors de ma collaboration avec l'équipe d'ingénieurs
- Maîtriser certains instruments et certains outils indispensables pour un automaticien tel que le logiciel Tia Portal S7-300 et le PV-SYST.

Ainsi, j'ai bénéficié d'une formation complète en énergie photovoltaïque, menant un travail bien détaillé concernant la méthode de dimensionnement des systèmes photovoltaïques fixes et mobiles en tenant compte de la comparaison technico-économique entre les deux en se basant sur le gain énergétique, le gain des équipements des installations photovoltaïques et bien sur la surface du terrain d'exploitation.

Rappelons que le but principal de notre travail est d'améliorer les systèmes de production d'énergies électrique par les panneaux photovoltaïque, en adaptant un système mobile appellent les suiveurs qui sont traitées par un API et des logiciels simple a exploité Tia Portal step7 win CC, PLC HMI et bien sur PV-syst.

On a commencé donc par l'étude de dimensionnement et la comparaison des installations PV fixes et mobiles, après nous avons présenté l'API S7-300, les moteurs et les capteurs utilisés dans le système mobile et bien sur la partie programmation sous forme de simulation et tests.

Conclusion Générale

Nous estimons que notre objectif a été atteint surtout avec le système suiveur, les modules PV sont parfaitement orientés vers le soleil et produisent 20 % d'électricité en plus que des systèmes fixes idéalement inclinés.

Et à la fin, nous pouvons dire que ce mémoire de fin d'étude est une expérience qui m'a été très bénéfique. J'espère que ce modeste travail sera précieux et pourra contribuer d'une façon ou d'une autre à apporter un plus aux étudiants qui veulent enrichir leurs connaissances dans l'automatisation des systèmes et poursuivre des travaux dans le domaine du dimensionnement photovoltaïque..

Bibliographie

- [1] “ Ensoleillement”, 2010, [Ensoleillement - Energie Plus Le Site \(energieplus-lesite.be\)](http://energieplus-lesite.be), (consulté le 1/02/2023).
- [2] “ Comment dimensionner un système photovoltaïque? ”, <https://photovoltaique-energie.fr/dimensionner-un-systeme-photovoltaique.html> (consulté le 17/02/2023).
- [3] “l’effet photovoltaïque ”
- W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLDEsIkVrY0tKRgHtTVdNeU5
USm1MVfk1WkRjdE5Ea3hOUzFoWmpRd0xXRmlNVGM0TURJMVpERTNZaElmV
1hkcFRHTklNRjlmWjFGbVVUjFWV2RKvkUxaWJEWm5WMVJCUldwU1p3PT0iL
G51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLFtudWxsLDEyLFtdXV0
(consulté le 17/02/2023).
- [4] A. Berregui, A. Absa, “ Etude Technicoéconomique d’une Installation Photovoltaïque pour application dans la région de Ouargla ”, Mémoire de Master en Electrotechnique Industrielle, Université Kasdi Merbah, Ourgla, Algerie,2020,
https://dspace.univouargla.dz/jspui/bitstream/123456789/25268/1/memoire%20de%20master%202020%20PV_compressed.pdf (consulté le 25/03/2023).
- [5] “Solaire photovoltaïque”, 2017, [Énergie solaire photovoltaïque : fonctionnement, enjeux et chiffres clés \(connaissancedesenergies.org\)](http://connaissancedesenergies.org) (consulté le 10/04/2023).
- [6] B. Jacques, “Génie énergétique - Energie solaire, Calculs et optimisation”, éd. Ellipses, France, 2011 (consulté le 17/05/2023).
- [7] O. Planas, “Énergie solaire thermique, fonctionnement et définition”, 2021, [Comment fonctionne l’énergie solaire thermique ? Définition \(lenergie-solaire.net\)](http://lenergie-solaire.net), (consulté le 18/05/2023).
- [8] “ Schéma général d'un système photovoltaïque ”
- W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLDEsIkVrY0tKRgGd3WkRNMV
pEVTVMV1ZsT1RNde5HWmhOaTA0WkRnNUxUQXINalZpWW1JNU0yVmhPQklm
VlhveVIyUTRhRk5JUzNkaFVVUjFWV2RKvkUxaWJEVjNZMVJCUmlwU1p3PT0iL
G51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLFtudWxsLDEyLFtdXV0
(consulté le 20/05/2023).
-

- [9] Z. Benmohammadi, “ Etude, Conception et Réalisation d'une Commande d'un Tracker Solaire (suiveur solaire) ”, Mémoire de Master en Systèmes Microélectroniques, de Télécommunications et de l'Informatique Industrielle, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, Maroc, 2014,
[file:///Users/aminachentir/Documents/PFE%20megtounif/biblio/Etude,%20conception%20et%20re%CC%81alisation%20d'une%20commande%20d'un%20tracker%20solaire%20\[suiveur%20solaire\]%20-%20BENMOHAMMADI%20Zahra.pdf](file:///Users/aminachentir/Documents/PFE%20megtounif/biblio/Etude,%20conception%20et%20re%CC%81alisation%20d'une%20commande%20d'un%20tracker%20solaire%20[suiveur%20solaire]%20-%20BENMOHAMMADI%20Zahra.pdf)(consulté le 25/05/2023).
- [10] “Principe de fonctionnement d'un tracker solaire”
https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxePwY-HSksHy6sihk6glzqdvYSh_X8cVTu0A3T7Kz2fPsF-8cBi1J11_ZkE1YzV6kQDUpOPXd1CgCfa8oKQT3FpwNZUPAlqQQJyNaceOOg7U1qepz9GkQaYywg9SYN6OUZZ25qWHS0x_EG04Sxoxue7EHNiJ7nWpSGYIoauN875MmOghsnRq9_6LgDU3XqiuxlvH0PmEUc1ERegcPsfKG3nQ0%3D#ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRGxrTWpnNE16ZG1MV0psT0RVdE5EZzVZaTA0WkRoakxUbGINMkk1T0RNNVpqTmlOaElmY3pWeGVEWnBXa3BNTUVsVU5FWXpjRVF5ZGpoaFkzVIBXbE5CU0dwU1p3PT0iXQ==(consulté le 25/05/2023).
- [11] D. François, R. Baptistin, L. Marie et al., “ Tournesol Photovoltaïque ”, Rapport de projet, Institut National Des Sciences Appliquées, INSA Rouen, France, 2014, https://moodle.insa-rouen.fr/pluginfile.php/41749/mod_folder/content/0/Rapport_P6_2014_12.pdf?forcedownload=1 (consulté le 28/05/2023).
- [12] “Exempledefonctionnementd'lsuiveurpassif”,
W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRGcwTTJVeFl6TXpMV1V3Tm1ZdE5EaGlOQzFpTXpnd0xUbGtOekEzTlIdaalpUQXpNQklmWjNwMFpGVjVabVp5TlhkYVvVUjFWV2RKvkUxaWJEUm5YMmR2U1dwU1p3PT0iXQ (consulté le 28/05/23).
- [13] “Tracker actif double axe”,
https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxdm4XaMiYWi--5zwwgq50ILur5nSg9xpeSbomtJ2bCvy3ZjlyfbAvncEN8rKkROCVGJ6WAdr2WuA_j_J7wwQk0cxc7gtA3O-aRemaG3xJIHnZVy_0kJsx2w-k0ddsok1K7U6zMPHQ0FgqmfswDSkCj6hbUU9ihAxTUQ3tB7WBU1YmNgWwqfLyemNUCsmkhqWjHuyMYp3q5IPMJLYz-OIZXrb0%3D#ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKRGxpTk dFMk5EZGIMV0UzT0dNdE5ESTNOeTA1T1RBNUxXVmtPV000TWpZNVpUVTRZaElmVVRoVmMyVTNTVUpqTTnkWE5FWXpjRVF5ZGpoaFkzWIBkRTA1UldwU1p3PT0iXQ(consulté le 15/04/2023).
- [14] S. BOUJENANE, “Tracker Solaire ”Mémoire de master en Génie Électronique, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, Maroc, 2017, (consulté le 28/05/2023).
- [15] “Panneau photovoltaïque fixe”,

[https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxdceeWPTgZZ6UG_s-jgER_ommkZWiwUXScOWi35KUNgwX03k1HMYDj4j-O_2Tb81fBA9IetKZyQFDg33pdTRCfdQA60eLaXsBy2BwSm4USBBVfxRthpZDvS-3tbFzLRPHaLApCaY9EWRtE4tqsUx_bD5W0UTYvyJ8nKjLpQJxcvtNHcPQxWizVnYkf082tk_k_K3DfQw8_1NV8sfbKMs8D8MCtY%253D#lms=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR0kzTIRabFkyUTRMVEI5TURJdE5HVmhPQzA0WVRRMkxUWXhNamt6TUDFMU1XWTFaUklmV1ROMWVVRXphakI2TVRSVE5FWXpjRVF5ZGpoaFkzUIBTVEF4UjJwU1p3PT0iXQ=\(consulté le 28/05/2023\).](https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxdceeWPTgZZ6UG_s-jgER_ommkZWiwUXScOWi35KUNgwX03k1HMYDj4j-O_2Tb81fBA9IetKZyQFDg33pdTRCfdQA60eLaXsBy2BwSm4USBBVfxRthpZDvS-3tbFzLRPHaLApCaY9EWRtE4tqsUx_bD5W0UTYvyJ8nKjLpQJxcvtNHcPQxWizVnYkf082tk_k_K3DfQw8_1NV8sfbKMs8D8MCtY%253D#lms=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR0kzTIRabFkyUTRMVEI5TURJdE5HVmhPQzA0WVRRMkxUWXhNamt6TUDFMU1XWTFaUklmV1ROMWVVRXphakI2TVRSVE5FWXpjRVF5ZGpoaFkzUIBTVEF4UjJwU1p3PT0iXQ=(consulté le 28/05/2023).)

[16] “Panneau photovoltaïque avec suiveur”,

[https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxe7DxzkJNt1Gb-plqOgt4U5asNF0eY7lhUNO91mByzmClO4iDnaMZfO3TivK6xpxWzsXlk11P3MKdlVkjQG04pPLLZTofDoskKhW_ZfQnE2OryrLo5h5OnyxnFGZGCoKwK7Mr5Uw_GVsFsI2vHK9D0VzL7TipJ3N7gYbKunTh3cwDMvX5Hg-WzJNYPoDhF5eaUwVAvb-GuSofpuRw3KKcIPSSc%253D#lms=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKREkyWWpGak1tUTRMV0k0WVRZdE5HSXdNaTA1TkRObUxUazFZV0I3TURjNE5tWXhNaElmWXpsbFJYaFROVXA0VjJOWE5FWXpjRVF5ZGpoaFkzWmxVvkJTUjJwU1p3PT0iXQ=\(consulté le 28/05/2023\).](https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxe7DxzkJNt1Gb-plqOgt4U5asNF0eY7lhUNO91mByzmClO4iDnaMZfO3TivK6xpxWzsXlk11P3MKdlVkjQG04pPLLZTofDoskKhW_ZfQnE2OryrLo5h5OnyxnFGZGCoKwK7Mr5Uw_GVsFsI2vHK9D0VzL7TipJ3N7gYbKunTh3cwDMvX5Hg-WzJNYPoDhF5eaUwVAvb-GuSofpuRw3KKcIPSSc%253D#lms=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKREkyWWpGak1tUTRMV0k0WVRZdE5HSXdNaTA1TkRObUxUazFZV0I3TURjNE5tWXhNaElmWXpsbFJYaFROVXA0VjJOWE5FWXpjRVF5ZGpoaFkzWmxVvkJTUjJwU1p3PT0iXQ=(consulté le 28/05/2023).)

[17] “Diagramme comparatif : production avec suiveur / production avec système fixe”,

[https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxfhbXEuS00N-3x01HTacAJLoduZnN_khR-Vg5Y9-sOMSxl0ktuw0C1_UwkJbxWBNfLD3z9Z1rDvjmc7g94kd3nLi8cwmSsCcmEUH8nA3YQTIqtj0Duls9Y6qHRQMIRJ8gPKEob3wI3gx8A8yiP_Pqn2m6WjbXuo6UbUhs96J2i12w0d7MLaDAk-z6_w4ADoHhDQPc6_E2toNPAnIL486_kVhd4%253D#lms=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKREJqTnpObFptTTNMV1kxTmPbdE5HWmpPQzA1TkdnEuxUYzFaREUwTURVMU1XSmhPQklmZHPkemNVZGIta041ZFRoUIVVUjFWV2RKVkUxaWJEUkJjekZhU0dwU1p3PT0iXQ=\(consulté le 28/05/2023\).](https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxfhbXEuS00N-3x01HTacAJLoduZnN_khR-Vg5Y9-sOMSxl0ktuw0C1_UwkJbxWBNfLD3z9Z1rDvjmc7g94kd3nLi8cwmSsCcmEUH8nA3YQTIqtj0Duls9Y6qHRQMIRJ8gPKEob3wI3gx8A8yiP_Pqn2m6WjbXuo6UbUhs96J2i12w0d7MLaDAk-z6_w4ADoHhDQPc6_E2toNPAnIL486_kVhd4%253D#lms=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKREJqTnpObFptTTNMV1kxTmPbdE5HWmpPQzA1TkdnEuxUYzFaREUwTURVMU1XSmhPQklmZHPkemNVZGIta041ZFRoUIVVUjFWV2RKVkUxaWJEUkJjekZhU0dwU1p3PT0iXQ=(consulté le 28/05/2023).)

[18] I. DHARYE, “Optimisation du Rendement Énergétique que d’un Panneau Solaire par un Support Suiveur ”Mémoire de master en Génie Industriel, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, Maroc,2014, (consulté le 29/05/2023).

[19] “Irradiation solaire globale reçue en Algérie”,

[https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxcibFalj5jwYagqjlkU1X6t1V1k0A5U-EFybnzxHnUauhojDu0YQOODtObypoOgliVVZbS1QkFiCTJ2c9m4kyY39pm2IQv1dS6UGXDugzYrReKMUTAKBmMBSDeFurCxnle6cHWcDCdp7shUKe9j1ztkAtbreJHBW1c06ShrywLWD5OZaP8neROMdtYINI2TbFnVkfGzQRmQhw41pdyXz2achY%253D#lms=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR0U0WXPkbU1qQXpMV1V3WldRdE5HWmhZaTA1TldaakxUWTNNbUU1TnpRMk1XWm1OeElmWnpNd05HcGhUSE00VvdkWVVVUjFWV2RkVkuXaWJEUkJWbTkwU21wU1p3PT0iXQ=\(consulté le 21/05/2023\)](https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=ATHeKxcibFalj5jwYagqjlkU1X6t1V1k0A5U-EFybnzxHnUauhojDu0YQOODtObypoOgliVVZbS1QkFiCTJ2c9m4kyY39pm2IQv1dS6UGXDugzYrReKMUTAKBmMBSDeFurCxnle6cHWcDCdp7shUKe9j1ztkAtbreJHBW1c06ShrywLWD5OZaP8neROMdtYINI2TbFnVkfGzQRmQhw41pdyXz2achY%253D#lms=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR0U0WXPkbU1qQXpMV1V3WldRdE5HWmhZaTA1TldaakxUWTNNbUU1TnpRMk1XWm1OeElmWnpNd05HcGhUSE00VvdkWVVVUjFWV2RkVkuXaWJEUkJWbTkwU21wU1p3PT0iXQ=(consulté le 21/05/2023))

[20] “PV-SYST”,2010, <https://www.pvsyst.com/>(consulté le 22/05/2023).

[21] M. HADJI Hassan, “les Automates Programmables Industriel”, Support de formation, École Sonelgaz, <https://www.technologuepro.com/cours-automate-programmable-industriel/ les-automates-programmables-industriels-.htm>, Septembre2020, (consulté le 30/05/2023).

[22] “ Programmation des API Siemens S7 300”, [Cours API s7300 - Free Download PDF \(kupdf.net\)](#) (consulté le 23/05/2023).

[23] “Présentation des modules du S7-300”

,https://lens.google.com/search?ep=gisbubb&hl=en-DZ&re=df&p=Acn1BYdyVhIJEYA94HvXBd91F6rQ-UX__zSehbPs9kceIE9tZ_1-CclfsYtjz5VmrToTv_iFCThk0oQUQnlEKZFQkzdmdI7Dd0EC42VNnr8UtFrhsX95o8VuEmhC UzmOAlwk-DwC3b1433m_1_8kYAiNrCCd2yoKpoZJCa-Ob1wxPltEdaFdpAocfLqqHg0hZvOvKrDY4EMYT1Q5Y12RsCBIS5XP68A%3D#Ins=W251bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsbnVsbCxudWxsLG51bGwsIkVrY0tKR1V4WmprMk5UZzVMVEJqT1dRdE5HTTVaaTFpTnpJekxUUXpOMkl5WmpFd05ETXhOQklmVIRaclFUQjZWa28xZVZGU05FWXpjRVF5ZGpoaFkzWmxWM3BsVTJ0Q1p3PT0iXQ(consulté le 23/05/2023).

[24] “Moteur asynchrone triphasé ” [Chapitre5 MAS \(est-usmba.ac.ma\)](#) (consulté le 24/05/2023).

Annexes

A.1 Caractéristique courant-tension

Une cellule photovoltaïque est un générateur élémentaire d'énergie électrique définie par sa courbe caractéristique courant-tension.

Elle indique la variation du courant qu'elle produit en fonction de la tension aux bornes de la cellule depuis le court-circuit jusqu'au circuit ouvert (tension à vide).

Le fonctionnement électrique d'un module est représenté par sa courbe caractéristique.

Cette courbe indique le courant fourni par le module en fonction de sa tension. Et montrent les possibles valeurs de tension et de courant qui dépendent surtout de la température et du rayonnement solaire reçu par les cellules du module (Figure A-1).

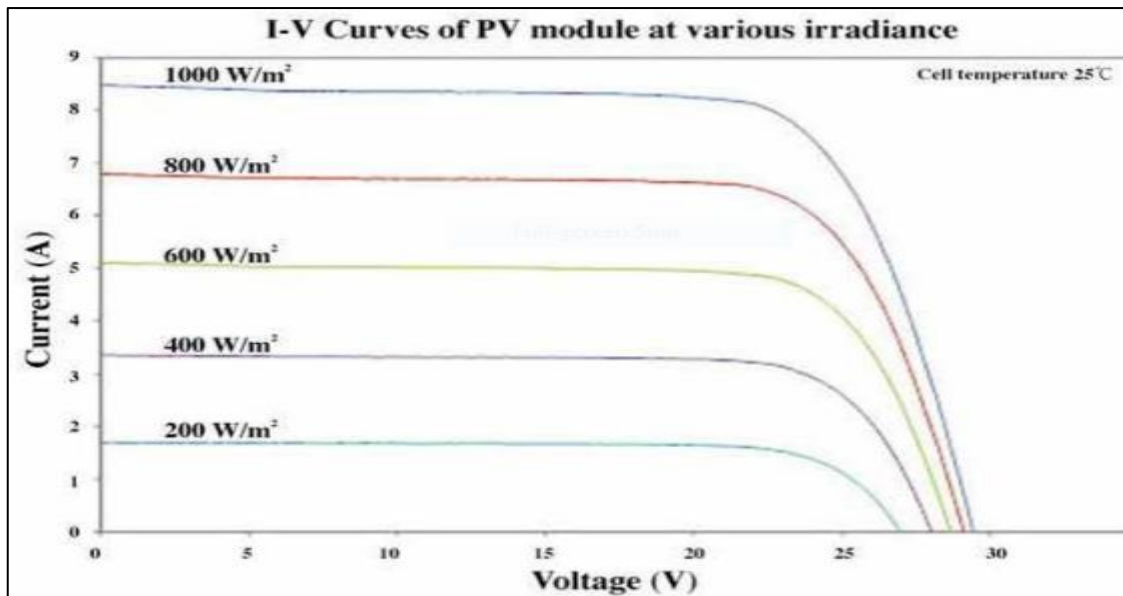


Figure A-1 : Caractéristique courant-tension

Où chaque courbe correspond à des conditions spécifiques de fonctionnement. De plus, une courbe est propre à chaque type de matériau photovoltaïque.

Sous illumination, avec un changement de signe conventionnel pour le courant, cette relation devient :

$$I = I_p - I_s[\exp(U/U_t) - 1]$$

Avec :

U : Tension imposé à la diode

U_t = k.t/q = 26 mV à 300 K

k = 1,38x 10⁻²³ : constante de Boltzmann

q=1,602 x10⁻¹⁹ : charge de l'électron

t : température absolue en K

I_s : Courant de saturation de la diode

I_p : La photo courant

- Le courant de court-circuit :

$I_{cc} = I_p$ (Quand $U=0$)

- La tension du circuit ouvert :

$U_{co} = KT/ q \ln (1+I_p/ I_s)$

Ou pour : $I_{cc} \gg I_s$

$U_{co} = KT/ q \ln (I_p/I_s)$

On note clairement que :

- Le courant d'une cellule solaire est proportionnel à l'éclairement et à la surface de la cellule. Il augmente avec la température.
- La tension en circuit ouvert d'une cellule solaire varie de manière logarithmique avec l'éclairement et baisse avec la température.

A.2 Puissance crête d'un panneau photovoltaïque

La puissance que peut fournir un module est fonction de sa surface et de l'ensoleillement incident. Elle s'exprime en Watt-crête (W_c) et représente la puissance maximale du module pour l'ensoleillement maximal de référence (1000Watt par m (W/m)).

La tension délivrée par un module dépend du nombre de cellules connectées en séries. Pour les modules de petite puissance(<75 W_c), la tension d'usage est généralement comprise entre 12 et 15 Volts.

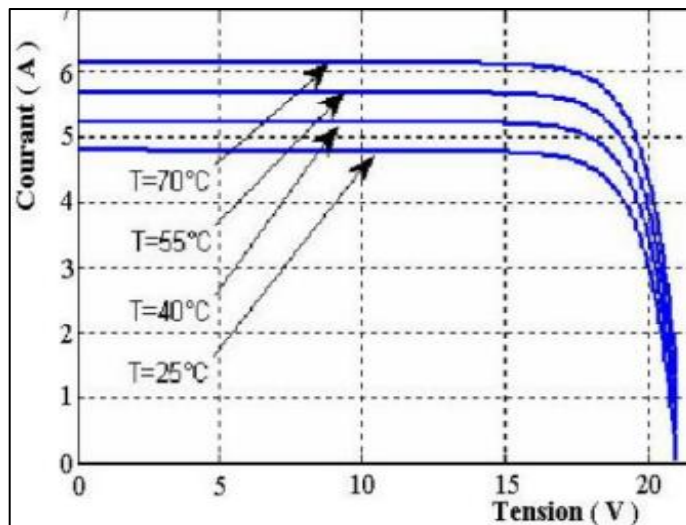
Des modules de puissance plus importante sont obtenus par une augmentation du nombre de cellules en série (augmentation de la tension) et augmentation du nombre de branches de cellules en parallèle (augmentation de la valeur du courant).

La tension d'usage peut être de 12, 24, 48 volts ou plus selon la configuration du système à alimenter.

A.3 Le rendement d'un panneau photovoltaïque

Comme on l'a mentionné déjà, le rendement des panneaux photovoltaïques varie selon la technologie utilisée dans la fabrication des cellules solaire mais il y'a d'autres facteurs qui influent sur leur rendement :

- La température : qui a une influence considérable sur le comportement du module photovoltaïque et donc sur son rendement. Cette influence se traduit principalement par une diminution de la tension générée (et une très légère augmentation au courant) et par conséquent la variation de la puissance nominale fournie par le module avec la température, tel qu'il est présenté sur la Figure A-2.



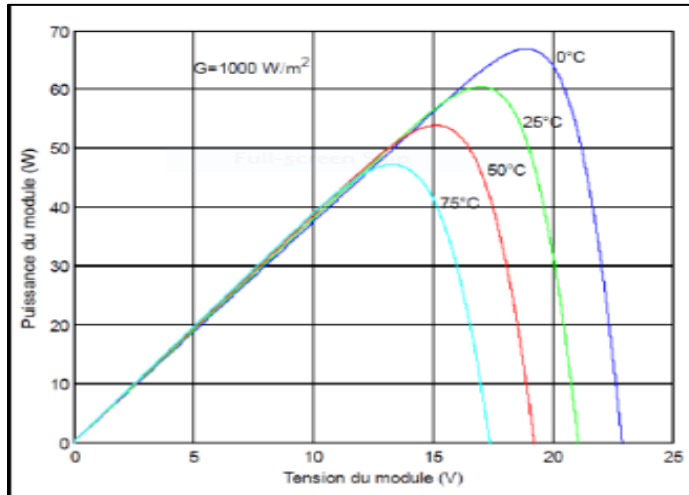


Figure A-2 : Influence de la température sur la caractéristique I(V) et P(V)

- Le positionnement : comme mentionné auparavant, l'énergie fournie par le panneau PV dépend fortement de la quantité d'éclairement solaire absorbée par ce dernier. Cette quantité dépend de l'orientation du panneau par rapport au soleil. Pour collecter le maximum d'énergie, le panneau PV doit être constamment orienté perpendiculairement aux rayons solaires (Figure A-3).

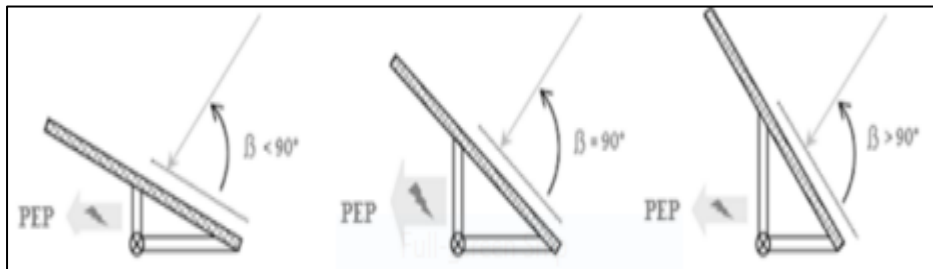


Figure A-3 : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle beta

Avec beta qui est l'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents.

L'angle optimal correspond à un angle de 90° . Chaque fois que cet angle diminue ou augmente, la surface (m^2) du panneau exposé aux rayons diminue et donc en partant de la puissance produite, le rendement diminue aussi (Figure A-4).

Le rendement en puissance solaire exploité peut être calculé à l'aide de l'équation suivante : $R = \sin(B) * 100$

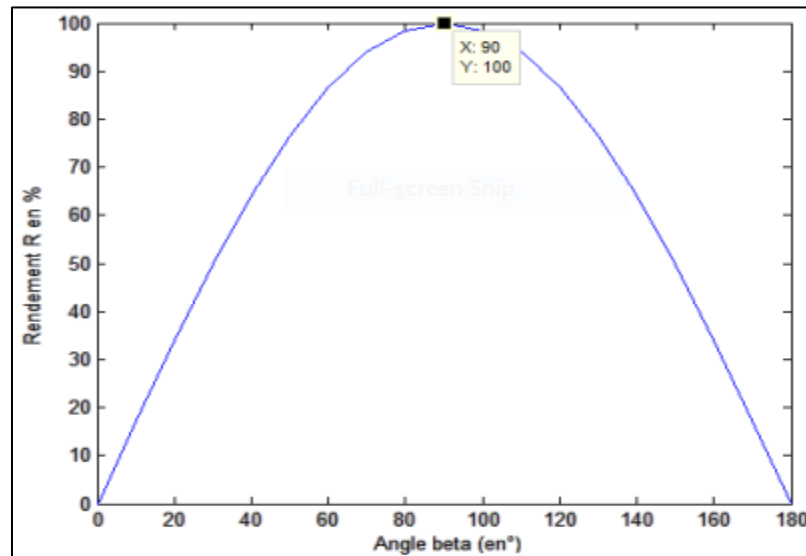


Figure A-4 : Rendement en puissance solaire exploitée en fonction de l'angle beta des rayons solaires

- Angle d'inclinaison des PV : un autre facteur qui influence sur les performances du panneau PV est l'angle d'inclinaison qui correspond à l'angle formé par le plan du panneau solaire par rapport à l'horizontal (le plan du sol) (Figure A-5)

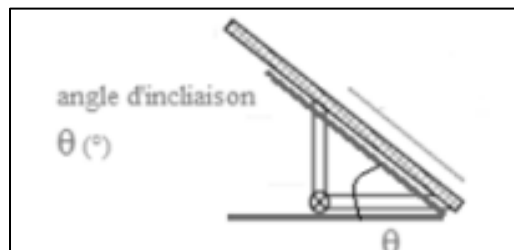


Figure A-5 : Représentation de l'angle d'inclinaison θ

Remarque : En effet, l'angle d'inclinaison est plus réduit en été et plus important en hiver

A. 4 Différents schémas de raccordement au réseau

Il existe deux types de raccordements au réseau :

- Connexion avec injection de la totalité de la production photovoltaïque.
- Connexion avec injection du “surplus” de la production photovoltaïque.

Il existe aussi les systèmes connectés au réseau “sécurisés” équipés d’un système de stockage (batteries d’accumulateurs) auquel est connecté l’onduleur qui peut alimenter directement le circuit en aval du compteur électrique de la maison ou du bâtiment concerné.