

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf...../2024



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER Académique**

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Électrotechnique

Spécialité : Réseaux électriques

Par : BRAKNI Abd Elghafour

BOUZNADA Anouar

Thème

**Intégration du PV au réseaux électriques intelligents
(On-Grid)**

Soutenu publiquement, le 23/06/2024, devant le jury composé de :

M.BABOURI Abdessalem	Professeur	Univ.Guelma	Président
M.FERAGA Chams-Eddine	Professeur	Univ.Guelma	Examinateur
Mme.GUEROUI Assia	MCB	Univ.Guelma	Encadreur
M.AZOUZI Ahamidet	Docteur	Center.annaba	CoEncadreur

Année Universitaire :2023/2024

Remerciements

Au nom d'Allah le plus miséricordieux, le plus gracieux,

*Nous souhaitons exprimer notre immense reconnaissance à **Mme GUERROUI Assia**, Professeur à l'Université du 8 mai 1945, Guelma, pour son encadrement exceptionnel, ses conseils généreux et avisés, et son soutien constant tout au long de ce projet.*

*Nous tenons à adresser nos remerciements sincères au **Dr AZOUZI Ahamidet**.*

*Nous lui sommes profondément reconnaissants pour son accompagnement précieux dans nos travaux pratiques, pour la mise à disposition de ses équipements, et pour son soutien inconditionnel. Un grand merci également à toute son équipe pour leur aide précieuse, avec une mention spéciale pour notre collègue **ZENATI Nesrine**, dont le soutien a été inestimable.*

*Nos remerciements les plus profonds vont également au Président du Jury, **M. BABOURI Abdessalem**, Professeur à l'Université du 8 mai 1945 de Guelma, ainsi qu'à **M. FERAGA Chams-Eddine**, maître de conférences dans la même université, pour leur bienveillance et leur engagement à faire partie du jury. Nous leur sommes infiniment reconnaissants pour l'honneur qu'ils nous font.*

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à :

*Nos chers **parents**, pour leurs prières incessantes et leurs nombreux efforts tout au long de notre parcours universitaire. Que Dieu les garde et veille sur eux.*

*Nos **frères** et **sœurs**, pour leur présence réconfortante et leur compréhension durant les périodes intenses de travail.*

*Nos **familles** respectives, dont le soutien infaillible et les encouragements constants.*

*Nos **amis** et toute la promotion, pour leur compréhension et leur patience. Surtout durant les périodes de stress.*

*Tous ceux qui ont cru en nous et qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail et en particulier notre collègue **ZENATI Nesrine**, nous vous disons un grand merci.*

Bouznada Anouar et Brakni Abd Elghafour

Résumé

Ce mémoire explore l'intégration des systèmes photovoltaïques dans les réseaux électriques intelligents en Algérie, en évaluant leur faisabilité technique et économique. Les simulations effectuées avec le logiciel PVsyst montrent que l'Algérie, grâce à son fort potentiel solaire, peut bénéficier significativement de ces technologies pour améliorer l'approvisionnement énergétique et réduire les coûts. Pour maximiser ces avantages, il est crucial de développer des infrastructures de communication robustes, d'adopter des politiques favorables, de poursuivre la recherche et le développement, et de sensibiliser le public aux bénéfices des énergies renouvelables et les réseaux électriques intelligents.

Mots clés : Intégration des systèmes photovoltaïques, Réseaux électriques intelligents, Énergies renouvelables, Faisabilité technique et économique.

Abstract

This thesis explores the integration of photovoltaic systems into smart electrical grids in Algeria, assessing their technical and economic feasibility. Simulations conducted using PVsyst software demonstrate that Algeria, with its high solar potential, can significantly benefit from these technologies to enhance energy supply and reduce costs. To maximize these benefits, it is crucial to develop robust communication infrastructures, adopt favorable policies, continue research and development, and raise public awareness about the advantages of renewable energy and the smart electrical grids.

Keywords: Integration of photovoltaic systems, Smart electrical grids, Renewable energies, Technical and Economic feasibility.

المخلص

تستكشف هذه الرسالة دمج أنظمة الطاقة الكهروضوئية في الشبكات الكهربائية الذكية في الجزائر، مع تقييم جدواها الفنية والاقتصادية. أظهرت المحاكاة التي أجريت أن الجزائر، بفضل إمكاناتها الشمسية العالية، يمكن أن تستفيد بشكل كبير من هذه التقنيات لتحسين إمدادات الطاقة وتقليل التكاليف. لتعظيم هذه الفوائد، من الضروري تطوير بنى تحتية قوية للاتصالات، واعتماد سياسات ملائمة، ومواصلة البحث والتطوير، وزيادة الوعي العام بفوائد الطاقة المتجددة والشبكات الكهربائية الذكية.

الكلمات المفتاحية: دمج أنظمة الطاقة الكهروضوئية، الشبكات الكهربائية الذكية، الطاقات المتجددة، الجدوى الفنية والاقتصادية

Table des matières

Introduction Générale	
Chapitre I : Le réseau électrique intelligent(Smart Grid).....	
I.1 Introduction	1
I.2 Réseau électrique classiques	1
I.2.1 Définition.....	1
I.2.2 Architectures des réseaux électriques classiques.....	2
I.2.3 Limites d'un réseau électrique classique.....	3
I.3 Réseaux électriques intelligents	3
I.3.1 Définition.....	3
I.3.2 Objectifs principaux du réseau électrique intelligent.....	4
I.4 Comparaison entre le réseau classique et le réseau électrique intelligent	5
I.5 Types des réseaux intelligents	6
Au Niveau des gestionnaires de réseaux de transport (GRT)	6
Au niveau des gestionnaires de réseaux de distribution (GRD).....	6
Au niveau local.....	6
I.6 Applications des réseaux intelligents.....	7
I.7 Compteur électrique intelligent	8
I.7.1 Définition.....	8
I.7.2 Niveau de performance des compteurs intelligent.....	9
I.7.3 Présentation d'un modèle de système de comptage évolué	9
I.7.4 Les principales fonctionnalités des systèmes de comptage évolués	10
I.8 Les différentes technologies de sources d'énergies	10
I.8.1 Les énergies primaires fossiles	10
I.8.2 Les énergies renouvelables	11
I.8.2.1 Energie solaire	11
I.8.2.2 Les avantages de L'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque dans les réseauxintelligents..	11
I.9 Conclusion.....	12
Chapitre II : Le système photovoltaïque Connecté au réseau (On-Grid)	
.II.1 Introduction	13
.II.2 Irradiation solaire mondiale	13
.II.3 Irradiation solaire en Algérie	14
.II.4 Spectre du rayonnement solaire.....	15
II.5 La cellule photovoltaïque.....	16
II.5.1 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :	17
II.5.2 Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque) :	17
II.5.3. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque	18
.II.6 Le générateur photovoltaïque.....	19

Table des matières

II.6.1	Caractéristique Courant-Tension et Puissance-Tension	20
II.6.1.1	Influence de l'éclairement sur les courbes I-V et P-V	20
II.6.1.2	Influence de la température sur les courbes I-V et P-V	21
II.6.1.3	Influence de l'ombrage partiel	21
.II.7	Les différents types de systèmes photovoltaïques	22
II.7.1	Système hybrids	22
II.7.2	Système photovoltaïque autonomes.....	22
II.7.3	Système PV connecté au réseau (On Grid)	23
II.7.3.1	Les Avantages des Systèmes PV Connectés au Réseau (On-Grid).....	24
II.8	Onduleur réseau.....	25
II.8.1	Le principe de fonctionnement	27
II.8.1.1	La recherche du point de puissance maximal	27
II.8.1.2	La conversion DC/AC.....	28
II.8.1.3	Couplage découplage au réseau électrique.....	28
II.8.2	Les différents types d'onduleurs réseau	29
II.8.3	Choix et placement d'un onduleur.....	29
.II.9	Système de protection électrique	30
.II.10	Câblage électrique	32
.II.11	Conclusion	32
Chapitre III : Étude et dimensionnement d'un système photovoltaïque connecté au réseau On-Grid.....		
III.1	Introduction	33
III.2	Bilan générale de la consommation énergétique	33
III.3	Dimensionnement de l'installation photovoltaïque	34
	Données:.....	34
	Le calcul montre que:.....	34
III.4	Données géographiques et positionnement du site	34
	Site Géographique.....	34
III.5	Calcul et vérification de la surface prévue pour l'installation des panneaux photovoltaïque.....	36
III.6	Données électriques des panneaux photovoltaïques (IBEX-120-MHC-DUO 340 monocristallin)	38
III.7	Protection contre les surintensités	38
III.8	Dimensionnement et réglage des trois (04) onduleurs.....	40
III.9	Dimensionnement et sections des câbles	40
III.10	Vérification des sections des câbles et des chutes de tension admissibles	41
III.11	Courant admissibles des câbles	42
III.12	Dimensionnement des sectionneurs interrupteurs SI qui pouvant être installés dans le circuit PV.....	44
III.13	Schéma électrique de l'installation photovoltaïque et état quantitatif des équipements électriques	44
III.14	Conclusion	47

Table des matières

Chapitre IV : Validation De L'étude à L'aide Du Logiciel <i>PVsys</i>	
IV1 Introduction	48
IV2 Le logiciel <i>PVsys</i>	48
IV3 Les principales fonctions du logiciel	48
IV4 Simulation de l'étude par le logiciel <i>PVsys</i>	49
IV5 Résultats de la simulation et discussions	60
<i>PVsys</i> - Rapport de simulation Système couplé au réseau Projet : New Project.....	61
Projet-Algérie.....	61
IV.5.1 Résultats des paramètres de simulation	62
▪ Les productions normalisées	67
▪ L'indice de performance.....	67
▪ Bilans et principaux.....	67
IV.5.2 Les pertes	68
IV6 Conclusion	70
Conclusion générale.....	71
Bibliographie.....	73
Annexe.....	77
Caractéristiques des équipements de l'installation photovoltaïque Module PV	78
Onduleur.....	78
Câblage.....	78
Protection	78
Structure	79

Liste des figures

Chapitre I : Le réseau électrique intelligent (Smart Grid)

Figure I.1 : Les lignes haute tension.	Page 2
Figure I.2 : Architectures des réseaux électriques classiques	Page 3
Figure I.3 : Architecture d'un smart grid	Page 4
Figure I.4 : Types de réseaux intelligents	Page 7
Figure I.5 : «Smart Grid», «Smart Home» et « Smart City »	Page 8
Figure I.6 : Compteurs intelligent [9].	Page 8
Figure I.7 : Schéma d'un modèle couramment retenu pour un système de Comptage évolue en électricité.	Page 9
Figure I.8 : Panneau photovoltaïque	Page 11
Figure I.9 : Panneau thermique	Page 11

Chapitre II: Le système photovoltaïque Connecté au réseau (On-Grid)

Figure II.1 : Le rayonnement solaire dans le monde (kWh//an)	Page 13
Figure II.2 : Irradiation horizontale globale en Algérie	Page 14
Figure II.3 : Spectre du rayonnement solaire	Page 15
Figure II.4 : Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM	Page 16
Figure II.5 : Cellule PV	Page 16
Figure II.6 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	Page 17
Figure II.7 : Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque	Page 19
Figure II.8 : Association des cellules photovoltaïques	Page 20
Figure II.9 : Evolution des caractéristique $I(V)$ et $P(v)$ en fonction de l'irradiation	Page 20
Figure II.10 : Evolution des caractéristique $I(V)$ et $P(v)$ en fonction de température	Page 21
Figure II.11 : Courbe P, V dans des conditions d'ombrage partiel	Page 21
Figure II.12 : Schéma d'un système PV hybride	Page 22
Figure II.13 : Schéma d'un système PV autonome avec batterie	Page 23
Figure II.14 : La structure d'un système PV connecté au réseau (On-Grid)	Page 24
Figure II.15 : Caractéristique d'un onduleur réseau	Page 26
Figure II.16 : Un onduleur réseau	Page 26
Figure II.17 : Principe de fonctionnement d'un onduleur réseau	Page 27

Chapitre III : Étude et dimensionnement d'un système photovoltaïque connecté au réseau (On-Grid)

Figure III.1 : Le site géographique	Page 35
Figure III.2 : Positionnement des rangées des panneaux PV sur la terrasse du 4 ^{ième} étage	Page 35
Figure III.3 : Les dimensions des panneaux	Page 36
Figure III.4 : Schéma électrique de l'installation photovoltaïque	Page 45

Chapitre IV : Validation De L'étude à L'aide Du Logiciel PVsyst

Figure IV.1 : Type de l'installation photovoltaïque	Page 49
Figure IV.2 : Liste de sites.	Page 50
Figure IV.3 : Création d'un nouveau site.	Page 50
Figure IV.4 : Les coordonnées géographiques.	Page 51
Figure IV.5 : Trajectoires du soleil.	Page 51
Figure IV.6 : Les données de météo mensuelles.	Page 52
Figure IV.7 : Choix le nouveau site.	Page 53
Figure IV.8 : Le nom du projet.	Page 54
Figure IV.9 : Choisir l'orientation du plan.	Page 54
Figure IV.10 : Orientation des modules PV.	Page 55
Figure IV.11 : Définie le système.	Page 55
Figure IV.12 : Paramètres de la simulation.	Page 56
Figure IV.13 : Pertes détaillées.	Page 57
Figure IV.14 : Les pertes ohmiques.	Page 57
Figure IV.15 : Disposition du câblage.	Page 58
Figure IV.16 : Ombrages proches	Page 58
Figure IV.17 : Définition d'ombrage	Page 59
Figure IV.18 : Lancement de la simulation.	Page 59
Figure IV.19 : Résultats de simulation.	Page 60
Figure IV.20 : Synthèse du système.	Page 62
Figure IV.21 : Caractéristiques de l'installation PV.	Page 64
Figure IV.22 : Caractéristiques d'ombrages	Page 66
Figure IV.23 : Les résultants principaux.	Page 68
Figure IV.24 : Diagramme des pertes dans le système.	Page 69
Figure IV.25 : Le schéma unifilaire.	Page 70

Liste des tableaux

Chapitre I : Le réseau électrique intelligent (Smart Grid)

Tableau I.1 : Comparaison des réseaux classiques et du réseau électrique intelligent	Page 5
--	--------

Chapitre II: Le system photovoltaïque (On-Grid)

Tableau II.1 : Potentiel solaire en Algérie	Page 15
Tableau II.2 : Les types des cellules photovoltaïques	Page 18
Tableau II.3 : Condition de couplage -découplage au réseau électrique.	Page 28
Tableau II.4 : Les différents types d'onduleurs réseau	Page 29
Tableau II.5 : Les différents mesures de protection d'un système photovoltaïque.	Page 30

Chapitre III : Étude et dimensionnement d'un système photovoltaïque connecté au réseau (On-Grid)

Tableau III .1 : Bilan énergétique	Page 33
Tableau III .2 : Résultats de calcul de la surface d'installation des panneaux photovoltaïque	Page 37
Tableau III .3 : Données électriques des panneaux photovoltaïques	Page 38
Tableau III .4 : Calibrage des fusibles en courant (If)	Page 39
Tableau III .5 : Calibrage des fusibles en tension (Vf)	Page 39
Tableau III .6 : Caractéristiques des onduleurs	Page 40
Tableau III .7 : Section des câbles	Page 40
Tableau III .8 : Longueur des câbles	Page 40
Tableau III .9 : Sections des câbles	Page 41
Tableau III .10 : Les chutes de tension	Page 42
Tableau III .11 : Calcul des courants admissibles des câbles	Page 43
Tableau III .12 : Dimensionnement des sectionneurs interrupteurs SI	Page 44
Tableau III .13 : Etat quantitatif des équipements électriques de l'installation photovoltaïque	Page 46

Liste des symboles

λ	Longueur d'onde (Wavelength).
I	Courant (Current).
V	Tension (Voltage).
P	Puissance (Power).
E	Énergie (Energy).
R	Résistance (Resistance).
η	Rendement (Efficiency).
A	Aire (Area).
T	Température (Temperature).
G	Irradiance solaire (Solar Irradiance).
S	Section (Section).
f	Fréquence (Frequency).
ϕ	Flux (Flux).
θ	Angle (Angle).
k	Conductivité thermique (Thermal Conductivity).
C	Capacité (Capacity).
L	Inductance (Inductance).
Z	Impédance (Impedance).
Q	Charge électrique (Electric Charge).
Δ	Variation ou différence (Difference or Change).
SPV	Surface des panneaux photovoltaïques (Surface of PV panels).
Isc	Courant de court-circuit (Short-circuit current).
Voc	Tension en circuit ouvert (Open-circuit voltage).
In	Courant nominal (Nominal current).
Vf	Tension de fusible (Fuse voltage).
If	Courant de fusible (Fuse current).

V_{mpp}	Tension au point de puissance maximale (Voltage at max power point).
I_{mpp}	Courant au point de puissance maximale (Current at max power point).
I_d	Courant direct (Direct current).
I_r	Courant de retour (Return current).
T_{cellule}	Température de la cellule (Cell temperature).
H	Irradiation (Irradiation).
G_{max}	Irradiance maximale (Maximum irradiance).
μ	Coefficient de température (Temperature coefficient).
S_p	Surface de panneau (Panel surface).
P_{stc}	Puissance en conditions standard (Standard Test Conditions power).
N_{cellules}	Nombre de cellules (Number of cells).
t_{jour}	Durée du jour (Day duration).
I_d	Courant direct (Direct current).
I_r	Courant de retour (Return current).
I_{circuit}	Courant du circuit (Circuit current).
H_s	Hauteur de support (Support height).
S_{total}	Surface totale (Total surface).
P_{crête}	Puissance crête (Peak power).
S_c	Surface des cellules (Surface of cells).
θ_{inc}	Angle d'inclinaison (Inclination angle).
λ_{max}	Longueur d'onde maximale (Maximum wavelength).
P_m	Puissance crête du panneau solaire (Peak power of the solar panel).
I_{ccmax}	Courant de court-circuit maximal (Maximum short-circuit current).
V_{ocmax}	Tension à vide maximale (Maximum open-circuit voltage).
MPP	Point de puissance maximale (Maximum power point).
m²	Mètre carré (unité de surface) (Square meter - unit of surface).
m³	Mètre cube (unité de volume) (Cubic meter - unit of volume).

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans un contexte de transition énergétique mondiale et de nécessité croissante de réduire notre dépendance aux énergies fossiles, les énergies renouvelables occupent une place centrale dans la recherche de solutions durables pour répondre à nos besoins énergétiques. Parmi celles-ci, l'énergie solaire photovoltaïque se distingue par son potentiel considérable et sa capacité à être déployée à différentes échelles, des installations individuelles aux parcs solaires de grande envergure. L'intégration des systèmes photovoltaïques (PV) au sein des réseaux électriques traditionnels représente une étape cruciale dans cette transition énergétique.

Les réseaux intelligents, ou "smart grids", émergent comme une réponse innovante pour moderniser et optimiser la gestion de la distribution électrique. Ces réseaux intègrent des technologies avancées de communication, de contrôle et de gestion de l'énergie permettant une meilleure flexibilité et une optimisation des flux énergétiques.

L'intégration des systèmes PV sur les réseaux intelligents en mode "on-grid" implique que les installations solaires sont connectées au réseau électrique principal, permettant ainsi l'injection d'électricité produite en surplus et la récupération d'énergie du réseau en cas de besoin. Cette approche présente des avantages significatifs en termes de stabilité du réseau, d'efficacité énergétique et de promotion des énergies renouvelables.

Dans cette optique, l'objectif de cette étude est d'effectuer le dimensionnement d'une installation photovoltaïque connectée au réseau pour l'alimentation de la nouvelle structure de la SPE Annaba afin de maximiser son efficacité, sa fiabilité et sa contribution à la transition énergétique, tout en répondant aux défis techniques. Cette étude examine le bilan énergétique adéquat, met à disposition et détermine l'état quantitatif et qualitatif des équipements photovoltaïques. En utilisant le logiciel *PVsys*, une validation de l'étude a été menée.

Le mémoire présenté est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre aborde une présentation générale des réseaux électriques intelligents, ainsi leurs caractéristiques, et les contraintes liées à leur mise en place.

Le deuxième chapitre examine, dans un premier temps, l'irradiation solaire mondiale et en Algérie. Ensuite, il présente le système photovoltaïque connecté au réseau, y compris ses composants tels que les cellules photovoltaïques, les différents types de systèmes photovoltaïques, l'onduleur de réseau. Enfin, il présente le système de protection électrique et le câblage électrique.

Le troisième chapitre se concentre sur l'étude de faisabilité de l'installation des équipements photovoltaïques pour l'alimentation de la nouvelle structure de la SPE Annaba en présentant une étude détaillée de dimensionnement du système.

Le dernier chapitre est dédié à la validation de l'étude à l'aide du logiciel *PVsystem*, comprenant les différentes étapes de simulation et d'analyse des résultats.

Enfin, cette étude se conclut par une conclusion générale qui résume les travaux réalisés et les éventuelles perspectives.

Chapitre I : Le réseau électrique intelligent(Smart Grid)

I.1 Introduction

Les réseaux électriques actuels seront profondément transformés par la croissance des énergies renouvelables intermittentes, l'émergence de nouveaux usages électriques, et la nécessité d'améliorer l'efficacité. Il sera crucial de maintenir un équilibre optimal entre production et consommation [1].

Ce chapitre aborde les divers aspects des réseaux électriques intelligents, ainsi que les caractéristiques et les contraintes associées à leur mise en place. De plus, nous allons présenter un aperçu des divers éléments constitutifs de ces systèmes et nous présenterons les différentes technologies de sources d'énergies et les avantages d'intégration de ces dernières dans le réseau intelligent.

I.2 Réseau électrique classiques

I.2.1 Définition

Les systèmes d'électricité sont des structures qui transmettent de l'énergie du centre de production aux utilisateurs, tels que les fabricants d'électricité, les responsables du réseau et les fabricants d'équipements. Les systèmes traditionnels possèdent des outils de mesure et de contrôle, mais sont généralement utilisés pour l'analyse d'incidents.

Les infrastructures avancées permettent des répartitions régionales et nationales, la création de programmes de production et des schémas d'exploitation du réseau. L'électricité est transportée par un réseau de lignes haute tension. La mise en marche ou la désactivation de chaque ligne dépend des exigences de maintenance et de consommation.

Le réseau est entretenu à l'échelle mondiale, en respectant des règles techniques et économiques spécifiques. L'architecture repose sur une approche top-down, avec le transport allant du producteur au consommateur [2].



Figure I.1 : Les lignes haute tension [3].

I.2.2 Architectures des réseaux électriques classiques

On peut subdiviser le réseau électrique en trois parties en fonction du niveau de tension, qui sont liées à différentes utilisations et types de clients : transport et interconnexion, distribution et commercialisation.

Le réseau de transport et d'interconnexion relie les principaux centres de production aux centres de consommation, assurant ainsi la distribution d'électricité à travers les régions nationales et internationales. Il maintient également un équilibre constant entre l'offre et la demande, ce qui permet de réduire les besoins en électricité et les coûts de production.

Le marché de l'électricité à grande échelle dépend également de ce réseau, ce qui permet le développement du marché régional dans plusieurs pays. Le réseau de distribution, qui fournit l'électricité à certains clients industriels importants, peut être utilisé en même temps pour le transport et la distribution. Les trois niveaux du réseau sont séparés par des transformateurs, qui permettent le transport d'énergie à différents niveaux de tension (**Figure I.2**) [2].

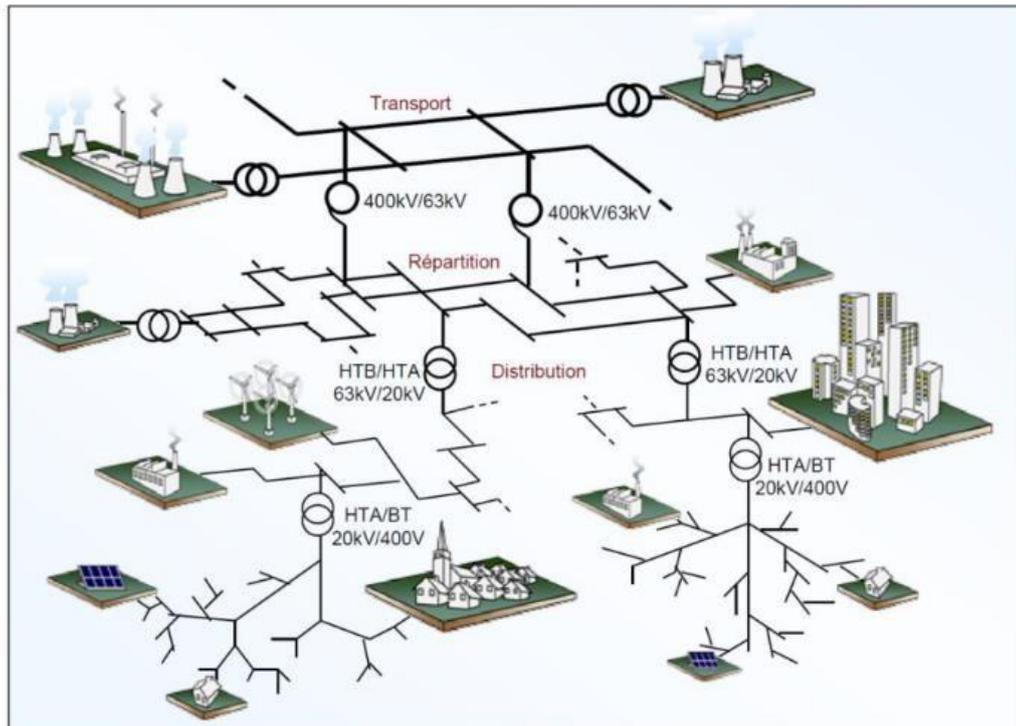


Figure I.2 : Architectures des réseaux électriques classiques [1].

I.2.3 Limites d'un réseau électrique classique

Les limites d'un réseau électrique classique peuvent être comme suit [4] :

- Génération centralisée.
- Communication unidirectionnelle.
- Systèmes de protection, de surveillance et de contrôle limités.
- Restauration et réparations manuelles.
- Vérification d'équipement manuelle.
- Contingences limitées du système de contrôle.

I.3 Réseaux électriques intelligents

I.3.1 Définition

Un smart grid est un réseau électrique intelligent qui optimise les comportements et les actions des producteurs, consommateurs, et prosummateurs pour assurer durabilité et rentabilité. Il limite les pertes et garantit une haute sécurité, fiabilité et qualité d'approvisionnement.

Ce réseau intègre diverses technologies et outils comme illustre la **Figure I.3**, de la production d'énergie à la consommation, en utilisant des équipements numériques de protection, de mesure et de communication, et en interagissant avec les centres de contrôle. Les utilisateurs reçoivent des informations précises sur leur consommation d'électricité, ce qui leur permet de mieux comprendre leur usage, leur potentiel de production domestique et d'améliorer leur efficacité énergétique [5].

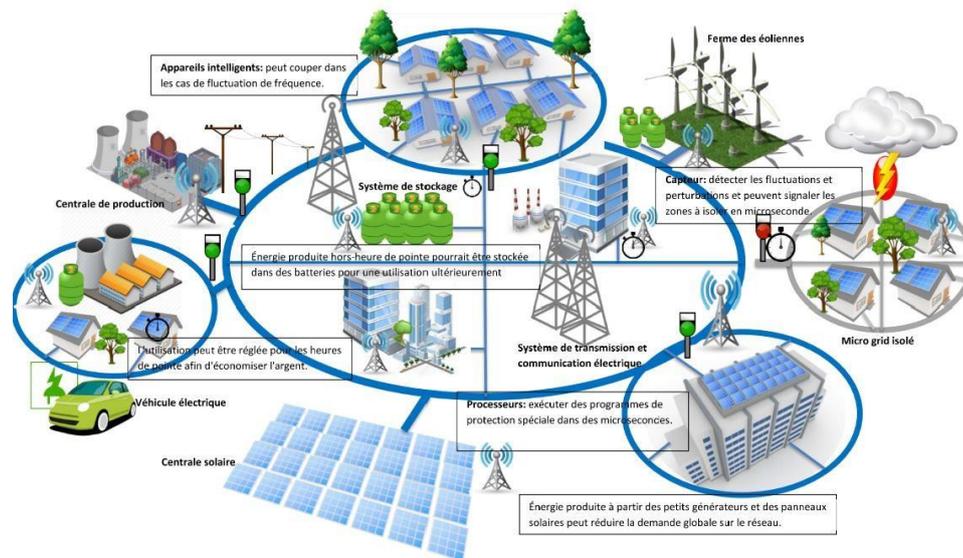


Figure I.3 : Architecture d'un smart grid [6].

I.3.2 Objectifs principaux du réseau électrique intelligent

Il est essentiel que les réseaux électriques évoluent et deviennent plus intelligents afin de faire face à l'augmentation de la consommation mondiale d'électricité, en particulier ces dernières années.

Parmi les objectifs du réseau électrique intelligent on peut citer [7] :

- **La Sécurité du réseau** : Quoi qu'il en soit pour le producteur, le transport ou le consommateur, le réseau manque de sécurité tant sur le plan physique qu'informatique.
- **La Gestion de la demande** : Actuellement, le réseau ne peut pas utiliser les données de tous les appareils consommateurs intelligents, y compris la gestion manuelle, afin de gérer l'équilibre entre production et consommation.
- **La Conservation de l'énergie** : Les batteries ont joué un rôle essentiel dans la gestion de l'énergie en raison de leur capacité à consommer ou produire de l'énergie, mais leur

intégration est essentielle pour influencer le réseau intelligent afin de prévenir les pics de consommation.

- **L'intégration des énergies renouvelables** : Nouvelles sources d'énergie renouvelable émergent, augmentant en valeur, en nombre et en nouvelles formes de puissance. Cependant, leur production est ponctuelle et leur gestion est complexe.

I.4 Comparaison entre le réseau classique et le réseau électrique intelligent

Les principales caractéristiques qui différencient les réseaux électriques traditionnels des réseaux électriques intelligents sont présentées dans le **Tableau I.1**.

Tableau I.1 : Comparaison des réseaux classiques et du réseau électrique intelligent [1].

Caractéristiques	Réseau électrique classique	Réseau électrique intelligent
Participation des consommateurs	Les consommateurs ne sont pas informés et ne participent pas	Les consommateurs ne sont pas informés et potentiellement actifs.
Intégration de source et de systèmes de stockage	Dominés par le producteur d'énergie centralisée	Déploiement d'un grand nombre de producteurs distribués
Nouveaux produits, services et marchés	Limité, peu d'intégration du marché pour les consommateurs.	Grande intégration du marché, augmentation de l'utilisation du marché de l'énergie pour le consommateur.
Qualité de l'énergie	Centrée sur les pannes réponse Lente aux problèmes Opérationnelles de gestion d'actif	Priorité sur la qualité de l'énergie avec une grande variété de qualité et de prix, rapide résolution des problèmes.
Optimisation des actifs	Peu d'intégration des données opérationnelles de gestion d'actifs	Nombreuse acquisition de données élargies et des paramètres du réseau.
Auto cicatrisation	Prévention pour réduire l'impact des dégâts en se concentrant sur la protection des infrastructures suite à une panne.	Détection automatique et correction des problèmes centrés sur la prévention pour minimiser l'impact sur le consommateur
Résistance aux attaques	Très vulnérables aux attaques	Résistance aux attaques avec restaurations rapides en cas de problèmes

I.5 Types des réseaux intelligents

Trois types de démarches "réseaux intelligents" peuvent être identifiés (comme illustre la **Figure I.4**).

Au Niveau des gestionnaires de réseaux de transport (GRT)

L'objectif est d'améliorer le contrôle à distance, la surveillance (analyse de sécurité, etc.) et la planification (prévision des situations, etc.). Il s'agit de poursuivre une évolution amorcée depuis longtemps en tirant parti des avancées technologiques pour répondre aux nouveaux besoins de transport. Ces besoins sont particulièrement importants suite à l'intégration en réseaux de la production décentralisée, caractérisée par une puissance réduite et une gestion plus complexe pour les responsables de l'équilibre et de la sécurité des réseaux [1].

Au niveau des gestionnaires de réseaux de distribution (GRD)

Les gestionnaires de réseaux de distribution doivent aujourd'hui mettre en œuvre des technologies qui étaient principalement utilisées dans le réseau de transport télé-contrôle, protections bidirectionnelles et gestion d'équilibre en raison de l'évolution de la production décentralisée. L'objectif est d'accélérer l'implémentation de technologies existantes depuis longtemps. La diminution des coûts de ces technologies facilite cette évolution [1].

Au niveau local

L'apport de l'électronique, de l'informatique et des télécommunications pourrait apporter le changement le plus significatif, offrant ainsi de nouvelles perspectives pour la gestion de la consommation et de la production locale. Ce secteur particulier est connu sous le nom de « smarthome » ou plus généralement de « smart consumer » [1].

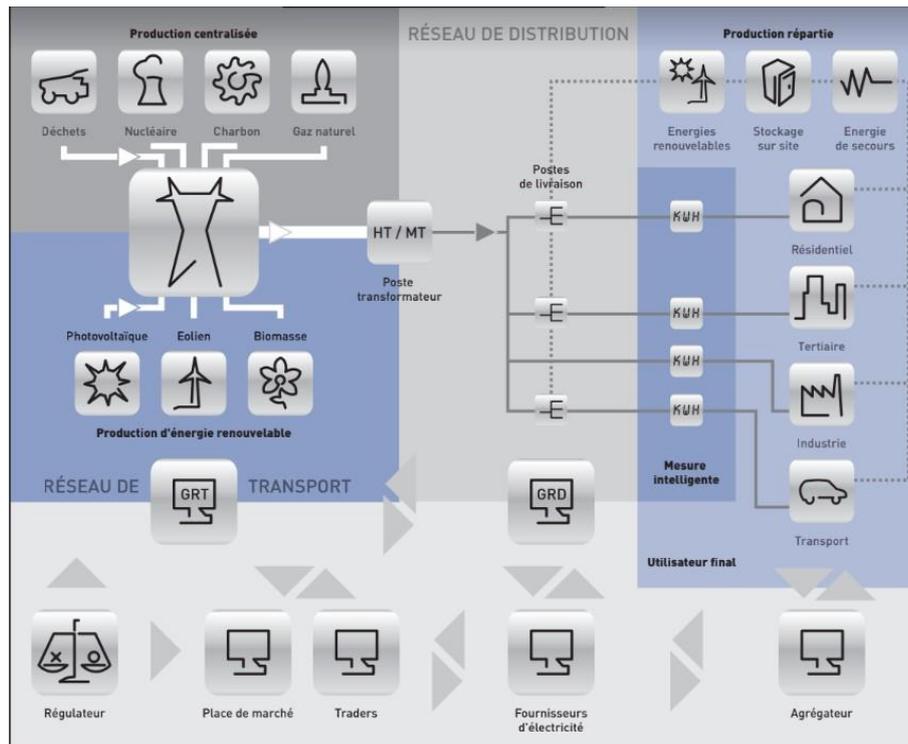


Figure I.4 : Types de réseaux intelligents [8].

I.6 Applications des réseaux intelligents

Dans le futur de la construction résidentielle, l'accent sera mis sur l'utilisation d'énergies renouvelables, comme l'énergie solaire photovoltaïque, et sur l'instauration d'un système de communication transparent entre le foyer et les résidents pour optimiser l'utilisation des ressources naturelles telles que l'eau, le soleil et l'énergie.

La maison intelligente, ou maison communicante, exploitera un système de contrôle connecté à l'Internet et aux protocoles de communication pour améliorer la gestion de l'énergie [3]. Parallèlement, le concept de "**Ville intelligente**" repose sur l'utilisation des technologies de l'information et de la communication pour optimiser les services urbains et réduire les dépenses, répondant ainsi aux besoins économiques, sociaux et environnementaux des institutions, des entreprises et des citoyens. Ce modèle investit dans les ressources humaines, sociales, énergétiques et d'information pour un développement économique durable et une qualité de vie élevée.

A l'échelle mondiale, la production décentralisée gagne en importance grâce à des technologies comme les moteurs à combustion interne, les turbines à gaz, les micro-turbines, les

panneaux solaires photovoltaïques et les piles à combustible. Cependant, les générateurs répartis peuvent poser des problèmes, résolus efficacement en alimentant des générateurs et des consommateurs au sein de sous-régions appelées **microgrids** (Figure I.5) [1].

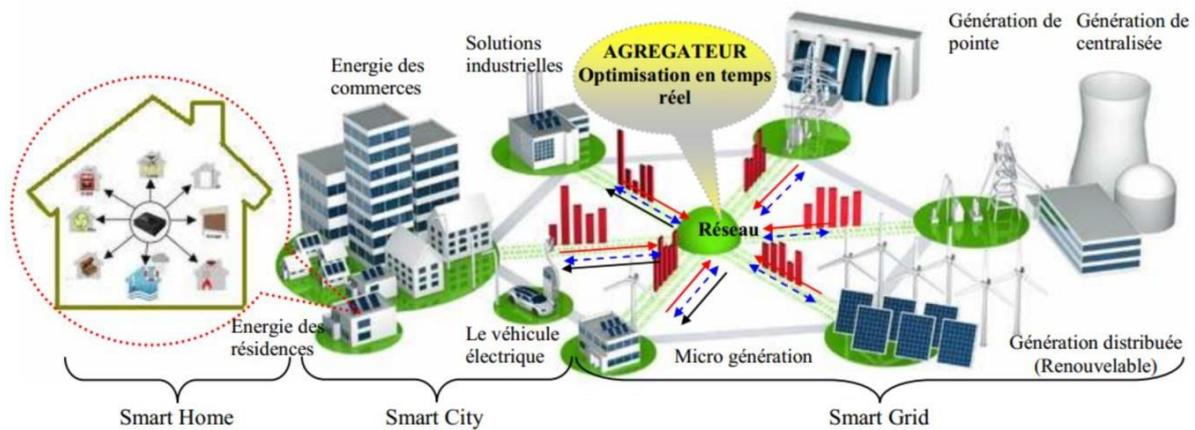


Figure I.5: «Smart Grid», «Smart Home» et « Smart City » [1].

I.7 Compteur électrique intelligent

I.7.1 Définition

Les réseaux d'électricité intelligents utilisent des méthodes de communication pour identifier et estimer précisément la consommation d'énergie, permettant une facturation horaire avantageuse et une analyse précise de la demande. Ils peuvent repérer des envois coûteux et signaler des problèmes potentiels, mais la principale difficulté réside dans la gestion fiable des milliards de données envoyées. L'installation d'émetteurs intelligents est une étape cruciale vers ces réseaux intelligents [1].



Figure I.6 : Compteurs intelligents [9].

I.7.2 Niveau de performance des compteurs intelligent

Différents niveaux de performance pour les compteurs intelligents [1] :

- **Fonctionnalités de base** : Permettre une lecture d'index tous les mois ou tous les deux mois. Ex : Italie.
- **Fonctionnalités moyennes** : Débit de communication permettant une lecture d'index par jour. Ex : projet linky.
- **Fonctionnalités plus avancées** : Permettre plusieurs lectures par jour et des interactions en temps-réel.

I.7.3 Présentation d'un modèle de système de comptage évolué :

Un système de comptage sophistiqué nécessite [1] :

- La création de compteurs communicants qui peuvent stocker les données issues des mesures.
- En instaurant des systèmes de transmission de données, les informations contenues dans les compteurs peuvent être rapidement et avec fiabilité transmises entre les utilisateurs, le gestionnaire de réseaux et les fournisseurs.

Il possède des caractéristiques de communication bidirectionnelle, ce qui permet de surveiller la demande et de contrôler la distribution de l'énergie. Il y a communication entre les compteurs des utilisateurs et un centre de distribution proche grâce à la technologie du port actuel en ligne (CPL) (**Figure I.7**). ACPL modem relie chaque compte et concentre, transformant les données en un signal électrique.

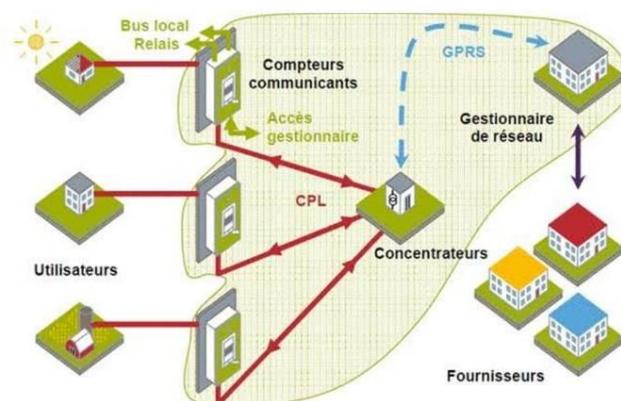


Figure I.7 : Schéma d'un modèle couramment retenu pour un système de Comptage évolué en électricité.

On encode les données en format numérique aux concentrateurs et on les envoie au système de gestion du réseau via GPRS, ce qui permet aux fournisseurs d'énergie d'accéder et d'utiliser les informations d'acompte des clients [1].

I.7.4 Les principales fonctionnalités des systèmes de comptage évolués

En vue de satisfaire aux exigences. Les compteurs avancés doivent être en mesure de garantir [1] :

- La relève des données du compteur à intervalle régulier.
- La télé-relève.
- La gestion de compteurs à distances (réduction de la puissance, coupure, gestion de la demande, etc.) par le gestionnaire de réseau de distribution.
- La mesure de la consommation pour une gestion décentralisée de la production.
- La gestion à distance des paramètres du compteur telles que les structures tarifaires, la puissance contractuelle, les intervalles de relève du compteur par les fournisseurs.
- Le transfert des messages à distance des acteurs du marché pour le client (consommateur/producteur) comme, par exemple, les signaux tarifaires.
- L'affichage des informations sur le compteur et : ou un télé-report à partir de la TIC installée.
- Un port de communication principal permettant le transfert d'information via le GPRS, le GSM ou le CPL.
- La mesure de la qualité (y compris la continuité de l'approvisionnement et la qualité de tension).

I.8 Les différentes technologies de sources d'énergies

I.8.1 Les énergies primaires fossiles

La production traditionnelle décentralisée repose sur des technologies éprouvées qui utilisent des énergies fossiles (gaz, charbon, pétrole). Les principaux moyens de production sont : la flamme thermique, les turbines à gaz, les moteurs diesel...etc. [1].

I.8.2 Les énergies renouvelables

L'intégration des énergies renouvelable dans les réseaux intelligents est primordiale, Elles offrent la possibilité de varier les ressources et de réduire les dépendances aux réseaux électriques en milieu urbain. De nos jours, il y a différentes sources d'énergies renouvelables, parmi lesquelles on peut mentionner [1] :

- L'énergie Géothermique.
- L'énergie éolienne.
- L'énergie hydraulique.
- L'énergie de la biomasse.
- L'énergie solaire.

I.8.2.1 Energie solaire

L'énergie solaire est une forme d'énergie renouvelable qui transforme une partie du rayonnement solaire en énergie électrique ou thermique grâce aux cellules des panneaux photovoltaïques (**Figure I.8**) ou thermiques (**Figure I.9**) [1].



Figure I.8 : Panneau photovoltaïque [10]



Figure I.9 : Panneau thermique [11]

I.8.2.2 Les avantages de L'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque dans les réseauxintelligents

L'intégration de l'énergie solaire photovoltaïque (PV) dans les réseaux intelligents présente effectivement de nombreux avantages, comme décrits dans votre aperçu. Voici une synthèse de ces avantages :

- **Optimisation de la gestion de l'énergie** : Les réseaux intelligents permettent de mieux équilibrer la production et la consommation d'énergie, évitant ainsi les surcharges et les instabilités [12].

- **Réduction des coûts énergétiques :** L'intégration des systèmes PV dans les réseaux intelligents peut diminuer les besoins en investissements coûteux dans les infrastructures et encourager une consommation plus efficace grâce à une tarification dynamique [12].
- **Empowerment des consommateurs :** Les consommateurs peuvent participer activement à la gestion de leur consommation d'énergie, devenir des producteurs d'énergie et adopter des comportements plus efficaces grâce à des dispositifs et des applications intelligents [12].
- **Avantages économiques et sociaux :** L'intégration de l'énergie solaire PV et des réseaux intelligents crée des emplois, stimule l'économie locale et favorise le développement régional, notamment dans les régions ensoleillées [12].
- **Amélioration de la durabilité et de la résilience :** En réduisant les émissions de CO₂ et en rendant les réseaux moins vulnérables aux pannes grâce à des sources d'énergie décentralisées, cette intégration renforce la durabilité et la résilience du système énergétique [13].
- **Flexibilité et adaptabilité :** Les réseaux intelligents peuvent ajuster la production et la consommation d'énergie en temps réel, s'adaptant ainsi aux fluctuations de la demande et de l'offre solaire tout en intégrant de nouvelles technologies [13].

Cette synergie entre l'énergie solaire photovoltaïque et les réseaux intelligents représente donc une avancée significative vers un système énergétique plus durable, flexible, et efficace, tout en offrant des avantages économiques et sociaux importants.

I.9 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné les divers aspects des Smart Grid, qui sont la solution pour intégrer les énergies renouvelables dans les réseaux de distribution d'électricité. Ces systèmes requièrent une infrastructure de communication et une gestion des ressources plus étendue, ce qui permet d'équilibrer la demande de production centralisée et décentralisée.

Chapitre II : Le système photovoltaïque Connecté au réseau (On-Grid)

II.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque consiste à convertir directement l'énergie solaire en électricité grâce à des cellules solaires fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs, principalement du silicium. En combinant ces cellules en série et en parallèle, on obtient un module photovoltaïque. Afin d'obtenir la puissance d'utilisation souhaitée, il est également possible d'assembler ces modules en série et en parallèle afin de créer un générateur photovoltaïque. Le générateur photovoltaïque génère de la puissance en fonction du niveau d'éclairage et de la température de jonction de la cellule [14].

Au cours de ce chapitre, nous exposons des informations générales concernant le système photovoltaïque (la définition de l'énergie solaire photovoltaïque, les différents types de systèmes photovoltaïques, les cellules photovoltaïques, le système photovoltaïque Connecté au réseau (On-Grid), ...etc.).

II.2. Irradiation solaire mondiale

Bien que le Soleil soit à une distance d'environ $150 \cdot 10^6$ km de la Terre, il demeure la principale source d'énergie où la Terre reçoit l'énergie solaire en une heure de plus que ce que le monde consomme en un an.

Il est estimé que le rayonnement solaire envoie $90 \cdot 10^{15}$ gigawatts d'énergie, mais la Terre ne peut recevoir que $180 \cdot 10^6$ GW de cette énergie, bien que cette quantité soit très importante [15].

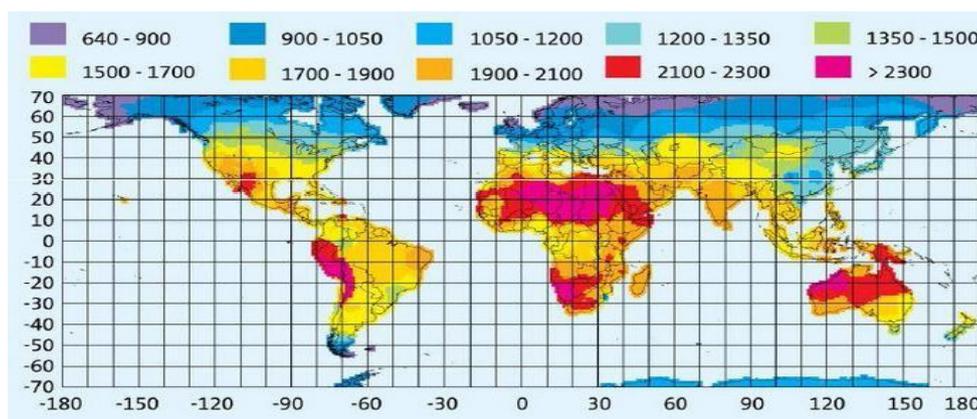


Figure II.1 : Le rayonnement solaire dans le monde ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$) [15]

Selon la **Figure II.1**, il est évident que la majorité des pays en développement possèdent un potentiel d'énergie solaire considérable. Par exemple, les pays africains bénéficient d'environ 325 jours de soleil par an et reçoivent en moyenne plus de 6 kWh d'énergie par mètre carré par jour. L'Algérie fait partie des pays africains qui ont un potentiel élevé en matière d'énergie solaire[15].

II.3. Irradiation solaire en Algérie

Environ 3 200 heures d'ensoleillement sont disponibles chaque année en Algérie, ce qui lui permet de bénéficier des conditions climatiques favorables pour mettre en œuvre les technologies de l'énergie solaire. La durée d'ensoleillement moyenne dans le désert du Sahara, qui couvre 86% du territoire algérien, est d'environ 3 500 heures. On estime à 16 940 TWh l'énergie totale reçue chaque année, ce qui représente 5 000 fois la consommation annuelle d'électricité du pays [15].

La répartition annuelle moyenne de l'énergie en Algérie est de 5,6 kWh/m² au sud, contre 3 kWh/m² au nord. Le sud représente 86 % de la surface totale d'Algérie, avec 8 heures de soleil par jour. La durée moyenne du soleil est de 2650 heures au nord, 3000 heures aux hauts plateaux et 3500 heures au sud, ce qui entraîne une puissance annuelle potentielle de 3500 kWh/m² (**Figure II.2**) [15].

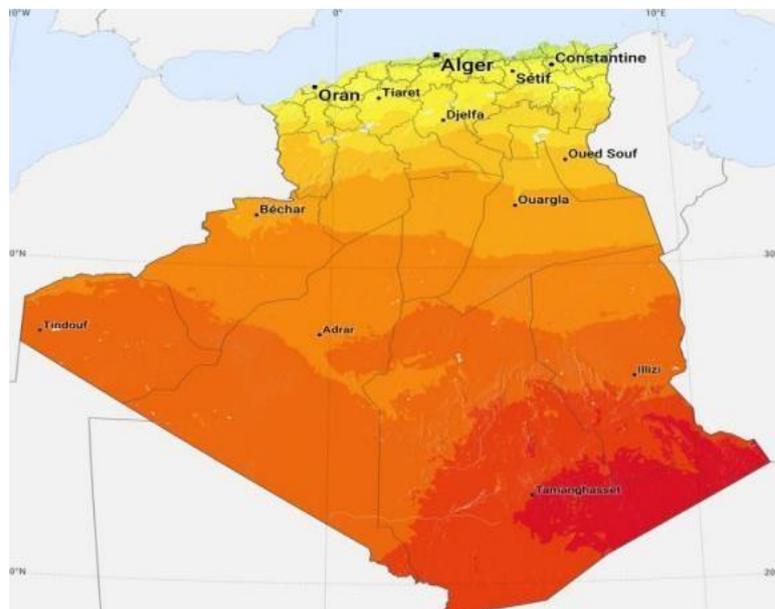


Figure II.2 : Irradiation horizontale globale en Algérie [16].

Le **Tableau II.1** montre le potentiel solaire dans les trois régions de l'Algérie.

Tableau II.1 : Potentiel solaire en Algérie [15].

régions	Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	Énergie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	Surface (%)
Côtier	2650	1700	4
Hauts plateaux	3000	1900	10
Sahara	3500	2263	86

II.4. Spectre du rayonnement solaire

Malgré la distance élevée qui les sépare, la couche terrestre reçoit une quantité considérable d'énergie solaire (180,106 GW). Ainsi, l'énergie solaire constitue une excellente alternative aux autres sources d'énergie disponibles. Elle se manifeste sous la forme d'un rayonnement électromagnétique dont la longueur peut fluctuer entre 0,22 et 10 micromètres.

Les composantes de l'énergie liées à ce rayonnement solaire sont approximativement telles que (comme illustre la **Figure II.3**) [15] :

- La bande des ultraviolets ($0.29 < \lambda < 0.4 \mu\text{m}$) qui représente 9 % de l'énergie totale. Émise par le soleil.
- La bande visible ($0.4 < \lambda < 0.8 \mu\text{m}$) qui représente 47 % de l'énergie totale.
- La bande des infrarouges ($0.8 < \lambda < 3.5 \mu\text{m}$) qui représente 44 % de l'énergie totale.

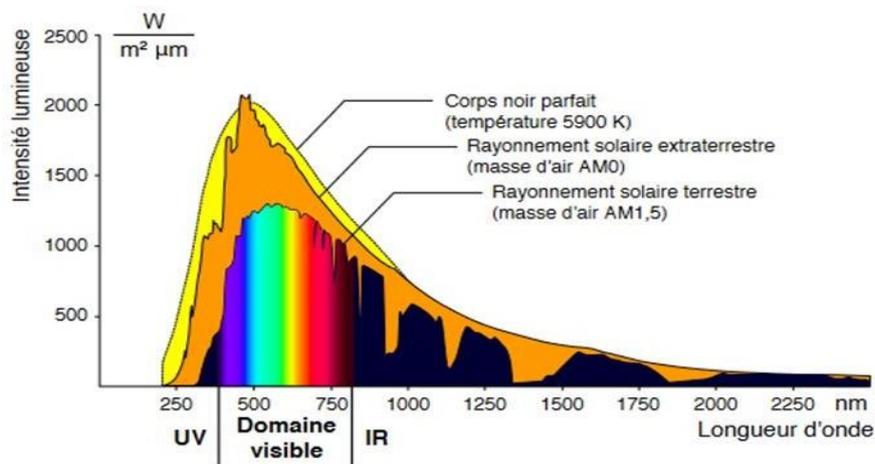


Figure II.3 : Spectre du rayonnement solaire [15].

Le concept AM de masse d'air (**Figure II.4**) est utilisé pour décrire le spectre solaire, où une énergie totale de 1350 watts par mètre carré. Ce spectre est atténué et modifié après son passage dans l'atmosphère, notamment par l'absorption du spectre d'ozone et l'angle de pénétration [15].

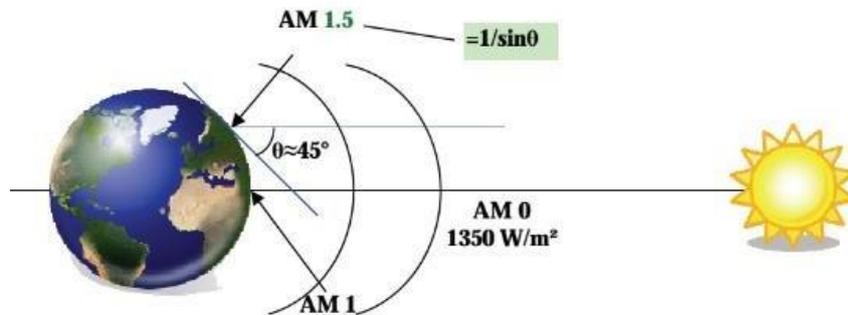


Figure II.4 : Normes de mesures du spectre d'énergie lumineuse émis par le soleil, notion de la convention AM [15].

II.5 La cellule photovoltaïque

Les cellules photovoltaïques convertissent l'énergie solaire en électricité via l'effet photoélectrique en utilisant des semi-conducteurs pour optimiser l'absorption de la lumière. La majorité des panneaux solaires sont en silicium cristallin, avec des électrodes métalliques pour collecter les électrons. La surface est traitée avec des couches anti-réfléctives et protectrices pour permettre la pénétration de la lumière (**Figure II.5**) [18].

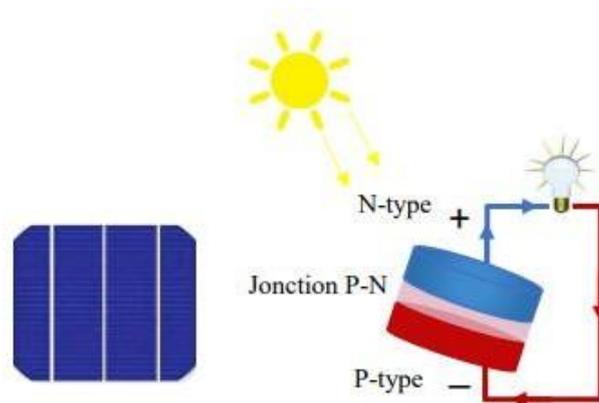


Figure II.5 : Cellule PV [19].

II.5.1 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est composée de deux plaques de silicium, l'une avec un bore et l'autre avec un phosphore formant ainsi une connexion potentielle. Lorsque le semi-conducteur absorbe des photons, il transfère de l'énergie vers les atomes de la jonction PN, libérant des électrons et générant des charges positives et négatives. Cela conduit à une éventuelle différence entre les deux plaques, qui peut être évaluée en comparant la relation entre les traces positives et négatives de la batterie. La tension maximale de la cellule est de 0,6 V pour un circuit ouvert (**Figure II.6**) [18].

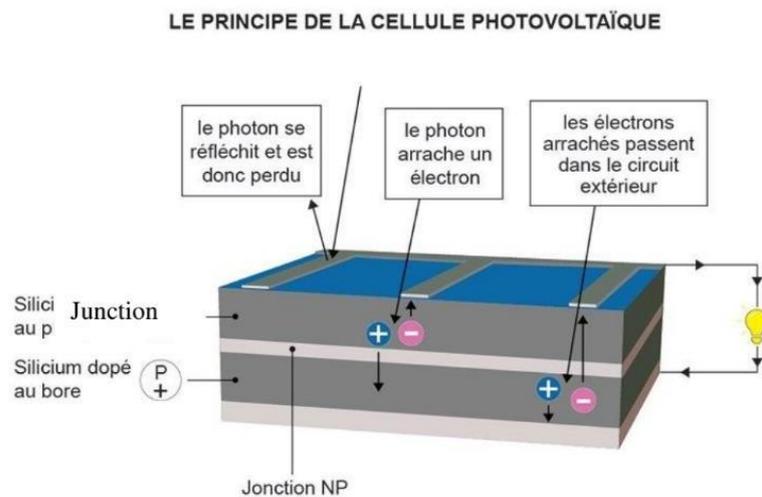


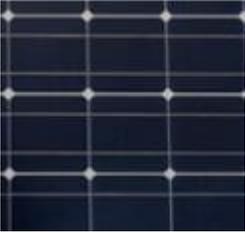
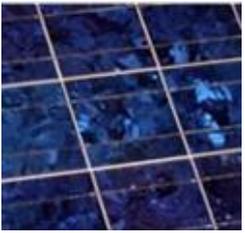
Figure II.6 : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque [18].

II.5.2 Les différents types de cellules solaires (cellules photovoltaïque) :

On peut distinguer diverses catégories de cellules solaires ou de cellules photovoltaïques. Chaque type de cellule se distingue par son propre rendement et son propre prix. Malgré cela, peu importe le type, le rendement demeure assez faible : entre 8 et 23 % de l'énergie que les cellules reçoivent.

Aujourd'hui, il y a trois catégories principales de cellules (**Tableau II.2**) [18].

Tableau II.2 : Les types des cellules photovoltaïques.

Les cellules monocristallines	Les cellules polycristalline	Les cellules amorphes
		
<p>Haute efficacité (12-16%, Jusqu'à 23% en laboratoire), mais coûteux en énergie et en fabrication.</p>	<p>Moins coûteux à produire, légèrement moins efficace (11-13%).</p>	<p>Faible coût de production, adapté aux petits appareils, mais moins efficace (5-8%, jusqu'à 13% en laboratoire).</p>

II.5.3. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

Avec un éclairage spécifique, chaque cellule photovoltaïque est représentée par une courbe courant-tension (I-V) (**Figure II.7**) qui illustre toutes les configurations électriques que la cellule peut prendre. Cette courbe est définie par trois grandeurs physiques [18] :

- Tension à vide Cette valeur correspondrait à la tension produite par une cellule éclairée qui n'est pas connectée.
- La valeur du courant court-circuit I_{cc} (I_{sc}) correspondrait au courant produit par une cellule éclairée connectée à elle-même.
- MPP (point de puissance maximal) obtenu pour une tension et un courant optimal : V_{opt} , I_{opt} (parfois également désignés comme V_{mp} , I_{mp}).

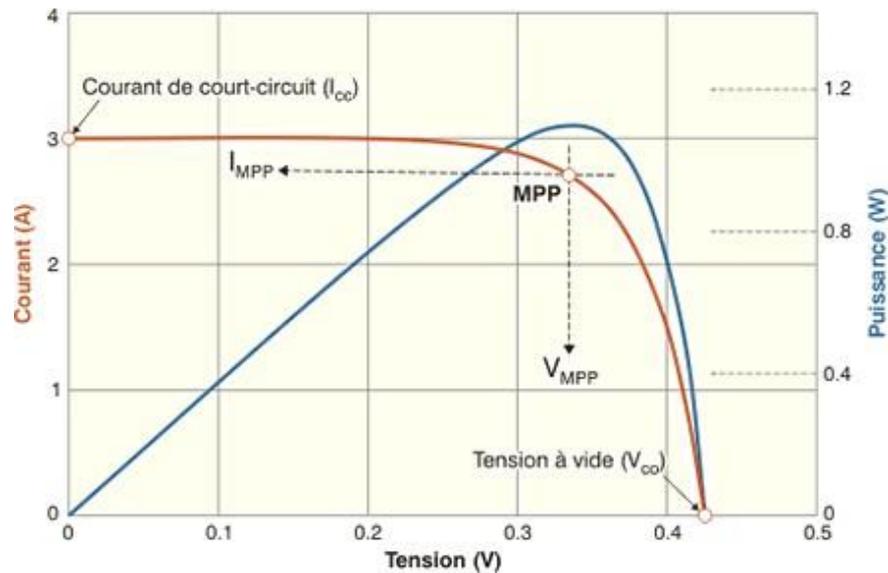


Figure II.7 : Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque [20].

II.6. Le générateur photovoltaïque

Les configurations de panneaux photovoltaïques jouent un rôle crucial dans la réalisation d'une installation solaire efficace. Les panneaux peuvent être reliés en série, en parallèle ou en utilisant une combinaison de ces deux méthodes, appelée association mixte.

Lorsqu'ils sont connectés en série, les panneaux sont reliés l'un après l'autre afin d'augmenter la tension du système. En revanche, une connexion en parallèle permet de relier les panneaux côte à côte pour accroître l'intensité du courant électrique. L'association mixte, quant à elle, combine ces deux approches pour augmenter à la fois la tension et l'intensité [21].

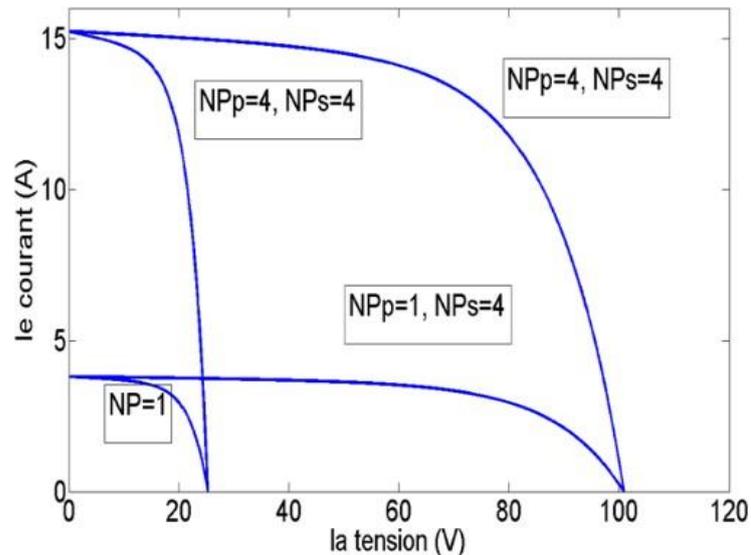


Figure II.8 : Association des cellules photovoltaïques [22]

II.6.1 Caractéristique Courant-Tension et Puissance-Tension

Les caractéristiques d'un générateur photovoltaïque (PV) sont influencées par l'éclairement, la température, et l'ombrage partiel.

II.6.1.1 Influence de l'éclairement sur les courbes I-V et P-V

Lorsque l'irradiation augmente, la courbe courant-tension (I-V) se déplace vers le haut et vers la droite, augmentant proportionnellement le courant de court-circuit (I_{sc}). En parallèle, la courbe puissance-tension (P-V) évolue, permettant une augmentation de la puissance maximale atteignable (**Figure II.9**) [23].

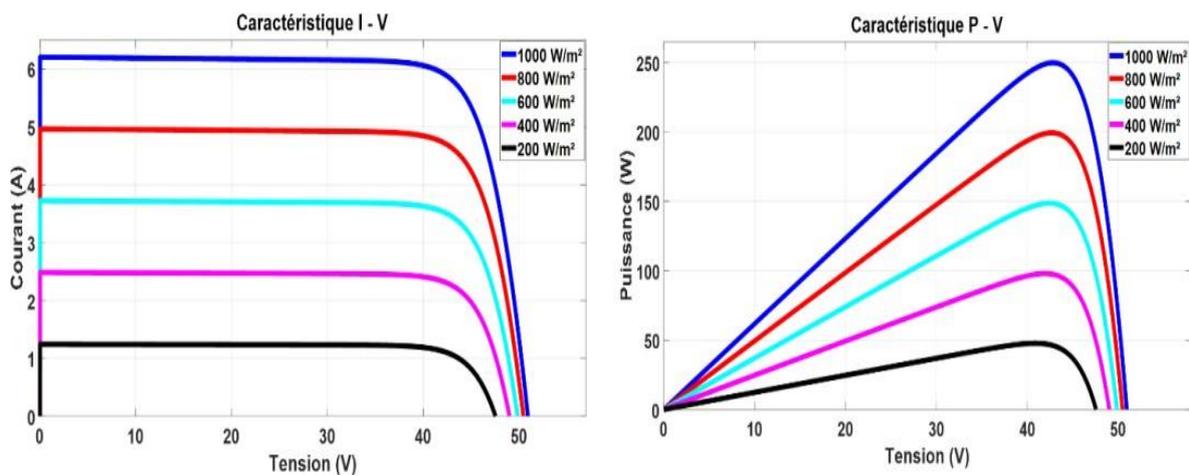


Figure II.9 : Évolution des caractéristique I(V) et P(v) en fonction de l'irradiation [23].

II.6.1.2 Influence de la température sur les courbes I-V et P-V

À des températures plus basses, la tension à vide (V_{oc}) augmente tandis que le courant de court-circuit diminue légèrement en raison de la diminution du courant de saturation, entraînant une réduction de la puissance maximale avec des températures plus élevées (**Figure II.10**) [23].

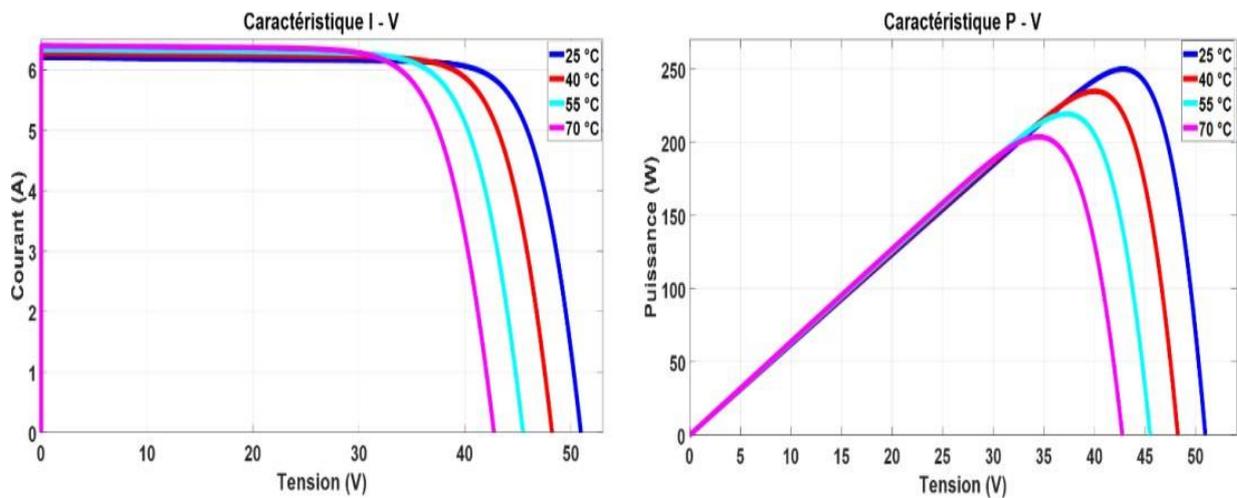


Figure II.10 : Évolution des caractéristique I(V) et P(v) en fonction de température [23].

II.6.1.3 Influence de l'ombrage partiel

Causé par des obstacles permanents ou temporaires comme des arbres, cheminées, nuages, etc. L'ombrage partiel affecte les courbes I-V et P-V (**Figure II.11**), entraînant des pertes d'énergie annuelles de 3% à 6% [23].

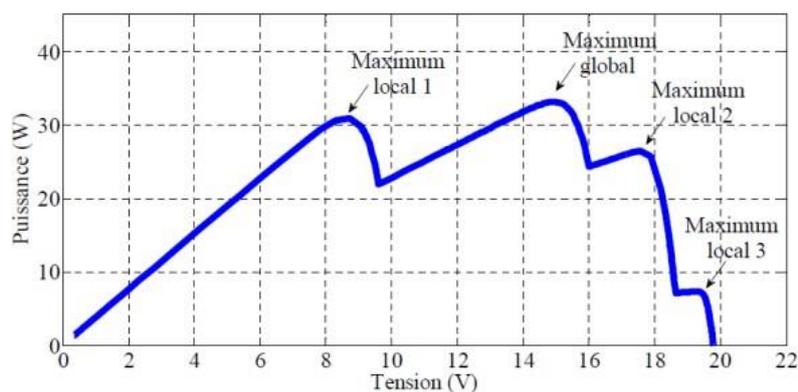


Figure II.11 : Courbe P 3 V dans des conditions d'ombrage partiel [23].

II.7. Les différents types de systèmes photovoltaïques

II.7.1 Système hybrides

Les systèmes hybrides de production d'électricité combinent différentes sources d'énergie comme le solaire, l'éolien et parfois des générateurs diesel ou le réseau électrique conventionnel. Ils utilisent des dispositifs de stockage d'énergie pour réguler la fourniture d'électricité et maximiser l'efficacité. L'équilibre entre les différentes sources est crucial pour assurer une alimentation continue et fiable. Ces systèmes offrent une solution flexible pour répondre aux besoins énergétiques dans divers environnements [24].

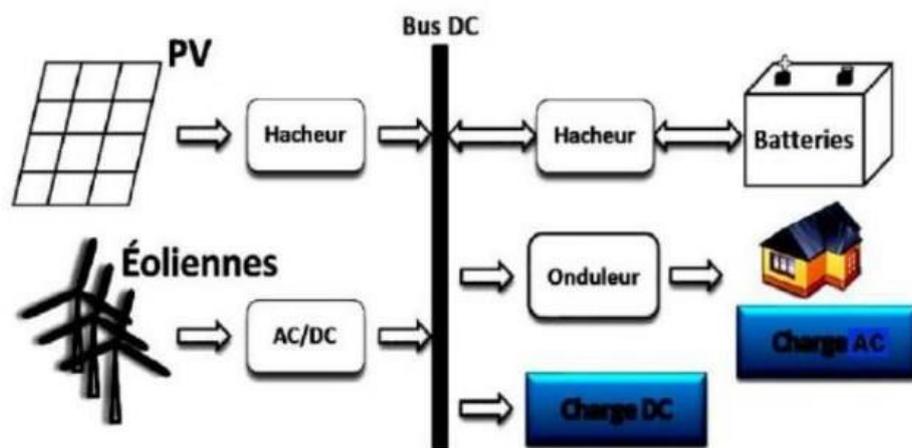


Figure II.12 : Schéma d'un système PV hybride [24].

II.7.2 Système photovoltaïque autonomes

Les systèmes photovoltaïques autonomes sont utilisés dans des zones isolées, éloignées du réseau électrique. Ils se divisent en deux types : ceux sans stockage électrochimique et ceux avec stockage (**Figure II.13**). Les premiers ne nécessitent pas de batterie car soit la production des panneaux est suffisante sous faible éclairage, soit le stockage n'est pas crucial pour l'application. Les seconds utilisent des batteries pour stocker l'électricité produite, assurant ainsi un approvisionnement continu, même lorsque le soleil ne brille pas, par exemple pour l'éclairage domestique [24].

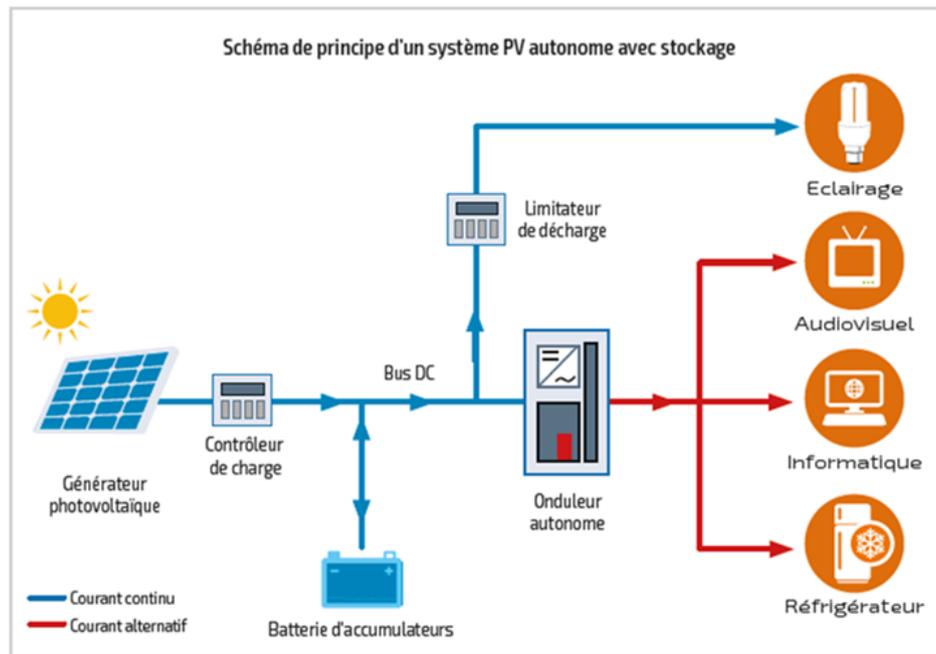


Figure II.13 : Schéma d'un système PV autonome avec batterie [24].

II.7.3 Système PV connecté au réseau (On Grid)

Dans le système photovoltaïque relié au réseau électrique (On Grid) illustré dans la **Figure II.14**, la fonction principale est de participer à la génération d'électricité d'origine renouvelable dans le réseau électrique. Sur le plan physique, les charges locales de l'habitat consomment directement l'énergie produite par les modules. Le réseau injecte l'éventuel excédent de production par rapport à la consommation instantanée. Le réseau sert de support à la production photovoltaïque [24].

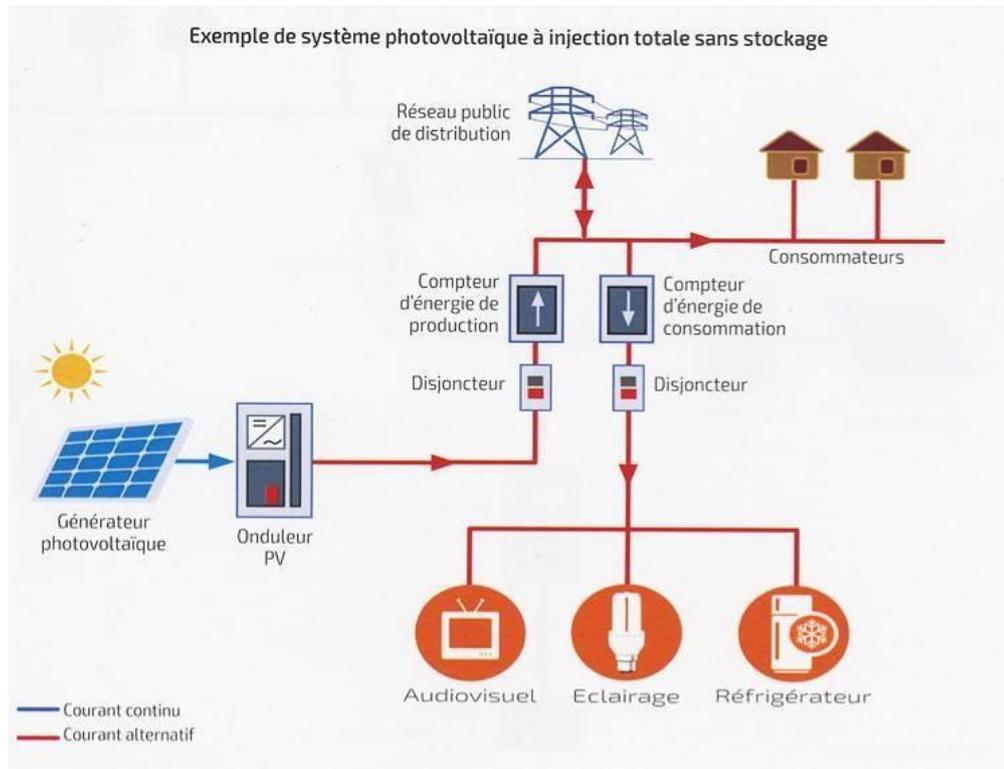


Figure II.14 : La structure d'un système PV connecté au réseau (On-Grid) [25].

II.7.3.1 Les Avantages des Systèmes PV Connectés au Réseau (On-Grid)

Les systèmes photovoltaïques (PV) connectés au réseau, aussi connus sous le nom de systèmes on-grid, offrent plusieurs avantages majeurs dans le domaine des énergies renouvelables :

- **Réduction des coûts énergétiques** : Les utilisateurs peuvent réduire leurs factures d'électricité en produisant leur propre électricité et en diminuant leur dépendance au réseau [26].
- **Retour sur investissement (ROI) attractif** : Les incitations gouvernementales et les programmes de net metering permettent aux utilisateurs de bénéficier d'un retour financier sur leur investissement initial [27].
- **Réduction des émissions de carbone** : En utilisant l'énergie solaire, ces systèmes contribuent à réduire la dépendance aux énergies fossiles, diminuant ainsi les émissions de gaz à effet de serre [28].

- **Stabilité du réseau électrique** : Ils peuvent stabiliser le réseau en réduisant la demande globale pendant les heures de pointe, en injectant l'électricité solaire excédentaire dans le réseau [29].
- **Production d'énergie décentralisée** : Ils favorisent une production d'énergie plus efficace en réduisant les pertes liées au transport et à la distribution [30].
- **Faible maintenance** : Les systèmes nécessitent peu de maintenance une fois installés, avec des panneaux solaires ayant une longue durée de vie [31].
- **Technologie fiable et mature** : La technologie photovoltaïque est bien développée, utilisant des composants standardisés pour assurer une performance stable [32].
- **Flexibilité et évolutivité** : Ils peuvent être facilement étendus pour répondre aux besoins énergétiques croissants des utilisateurs [33].
- **Intégration avec les compteurs intelligents** : Les systèmes peuvent être intégrés avec des compteurs intelligents pour une gestion en temps réel de la production et de la consommation d'électricité, améliorant ainsi l'efficacité énergétique [34].

II.8 Onduleur réseau

Un onduleur réseau, tout comme un onduleur dans une installation photovoltaïque autonome, fonctionne en convertissant une tension continue en une tension alternative, mais cette fois-ci avec une fréquence et une valeur équivalente à celles du réseau. Les principales distinctions consistent en la nécessité que l'onde soit toujours sinusoïdale et que cette tension alternative qui va "charger" le réseau devra être en accord avec ce dernier et répondre à un ensemble de règles et exigences de sécurité plus strictes.

L'onduleur réseau joue le rôle de lien entre le champ photovoltaïque et le réseau électrique. Il ne fonctionne qu'en journée et uniquement lorsque la tension réseau est établie. Il présente des spécificités distinctes par rapport à un onduleur PV autonome (**Figure II.15**) [35].

- L'onduleur convertit le courant continu du champ PV en courant alternatif compatible avec le réseau électrique.
- Le courant produit est injecté sur réseau au fil du soleil.

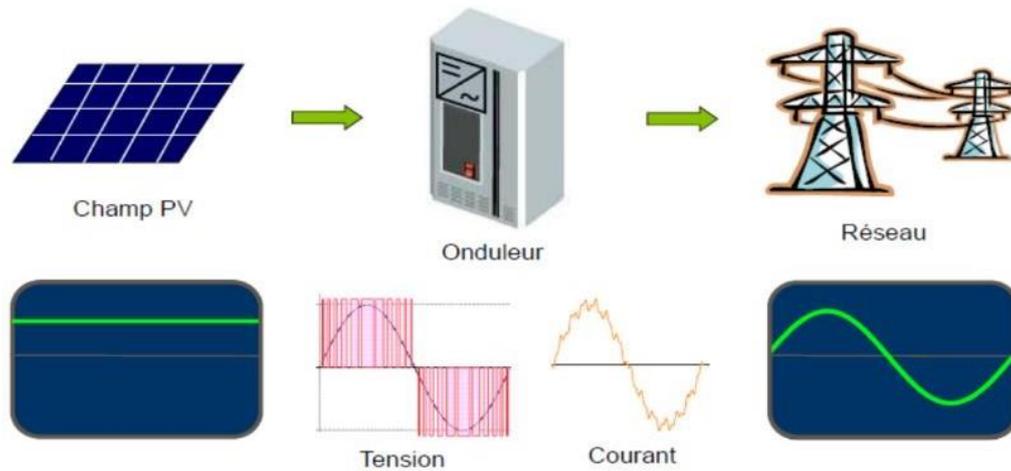


Figure II.15 : Caractéristique d'un onduleur réseau [35]

La forme de l'onduleur est un boîtier métallique équipé d'un radiateur ou d'un ventilateur (**Figure II.16**). Il est installé sur un support vertical (par exemple un mur) ou dans une armoire électrique, dans un espace ventilé ou à l'extérieur, à l'abri et le plus près possible des panneaux solaires pour réduire les pertes d'électricité en ligne. Il ne produit que peu de son (un léger ronronnement ou sifflement) et son champ électromagnétique est très faible, inférieur à celui d'une plaque à induction [35].



Figure II.16 : Un onduleur réseau [35].

II.8.1 Le principe de fonctionnement

Le courant continu des modules photovoltaïques est converti par l'onduleur réseau en courant alternatif similaire à celui du réseau. Au cours de sa conversion, l'onduleur cherche constamment le point de puissance maximal (MPP) en se basant sur les caractéristiques I/U du champ photovoltaïque, qui varient en fonction des conditions météorologiques (température, irradiation). L'onduleur réseau combine trois rôles principaux (**Figure II.17**) [35].

- Suivi du Pmax du champ PV.
- Conversion du courant continu en courant alternative.
- Couplage/découplage du réseau électrique.

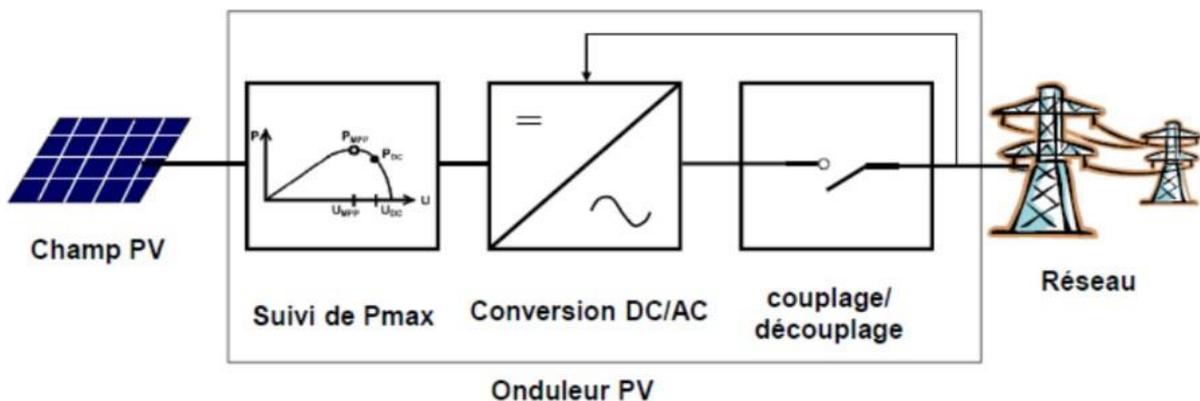


Figure II.17 : Principe de fonctionnement d'un onduleur réseau [35].

II.8.1.1 La recherche du point de puissance maximal

Le contrôle du point de puissance maximale (MPPT) dans un système photovoltaïque revêt une importance capitale pour optimiser la production d'électricité solaire. Plusieurs méthodes de suivi du MPPT ont été développées, avec de nombreuses variations pour répondre aux différents défis et contraintes. Face à la diversité des approches disponibles, il peut être complexe de déterminer la meilleure méthode à utiliser lors de la conception d'un système photovoltaïque.

Chaque méthode MPPT présente des caractéristiques distinctes en termes de complexité, de nombre de capteurs requis, de mise en œuvre numérique ou analogique, de vitesse de convergence et d'efficacité. De plus, le choix de l'algorithme MPPT peut être influencé par la nature spécifique de l'application.

Les méthodes les plus couramment utilisées pour le suivi du point de puissance maximale sont :

- Méthode de perturbation et d'observation (P&O)

- Méthode de la tension constante (CV)
- Méthode de tension ouverte (OV)
- Contrôle de logique floue (Fuzzy Logic Control)

Ces méthodes représentent les approches les plus répandues et sont largement utilisées dans les systèmes photovoltaïques actuels. Chacune présente des avantages et des inconvénients, et le choix de la méthode dépendra des caractéristiques spécifiques du système ainsi que des objectifs de performance et d'efficacité énergétique [35].

II.8.1.2 La conversion DC/AC

Les onduleurs sont généralement composés d'interrupteurs électroniques tels que des IGBT (transistors de puissance), qui forment des structures en pont. Dans le cas classique, en utilisant un jeu de commutation approprié, généralement par MLI, l'énergie électrique continue fournie est modulée pour obtenir un signal alternatif à la fréquence du réseau [35].

II.8.1.3 Couplage découplage au réseau électrique

Le couplage au réseau électrique se réalise en quelques dizaines de secondes avec une synchronisation de la tension, de la fréquence et de la phase. Certains onduleurs utilisent des transformateurs pour isoler les panneaux solaires du réseau, d'autres des dispositifs de test de courant continu. Tous consomment de l'énergie pour leur fonctionnement, entraînant des pertes annuelles. Une surveillance régulière de la production de voltage et de fréquence est nécessaire, ainsi qu'un démarrage rapide en cas de pannes du réseau [35].

Tableau II.3 : Condition de couplage -découplage au réseau électrique.

Condition de couplage au réseau électrique	Condition de découplage au réseau électrique
<ul style="list-style-type: none"> - Puissance et tension suffisantes en entrée d'onduleur (début de journée). - Présence de tension du réseau électrique. - Absence du défaut d'isolement au niveau du champ PV. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puissance et tension insuffisantes en entrée d'onduleur (fin de journée). - Absence de tension du réseau électrique (ou hors tolérance en tension et fréquence). - Défaut d'isolement au niveau du champ PV (pour onduleur avec transfo).

II.8.2 Les différents types d'onduleurs réseau

Il existe plusieurs types d'onduleurs pour les systèmes solaires photovoltaïques (**Tableau II.4**).

Tableau II.4 : Les différents types d'onduleurs réseau [35].

	Micro-onduleur	Onduleur string (Chaîne)	Onduleur central
Le type de l'onduleur			
Avantages	Une distribution équilibrée de la production d'électricité entre les panneaux, possibilité d'ajouter des panneaux à tout moment.	Adaptabilité aux différentes configurations, prix relativement abordable.	Coût global d'investissement limité par rapport aux micro-onduleurs.
Inconvénients	Coût plus élevé par rapport aux onduleurs centraux.	Risque de perte de production importante si un onduleur cesse de fonctionner.	Risque de perte de production importante si l'onduleur central cesse de fonctionner.

II.8.3 Choix et placement d'un onduleur

L'onduleur joue un rôle essentiel dans l'installation et ne doit pas être sous-estimé. Le champ de capteur pris en charge permettra de déterminer naturellement ses caractéristiques. Effectivement, chaque onduleur dispose de plages de fonctionnement spécifiques qui devront être en accord avec les caractéristiques du courant continu produit par les modules.

Le choix et la taille de l'onduleur prendront en considération [35] :

- La puissance maximale générée par les modules est généralement réduite de 5 à 15 %, en utilisant la puissance crête (conditions STC).

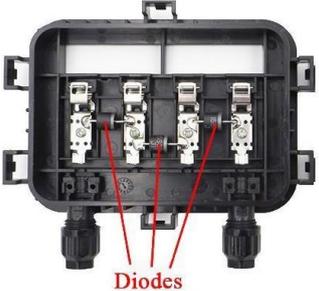
- En ce qui concerne les tensions minimales et maximales, on utilise habituellement la tension maximale générée en circuit ouvert (U_{oc}) à une température de -10°C , tandis que la tension basse est celle à 70°C .
- La valeur maximale du courant

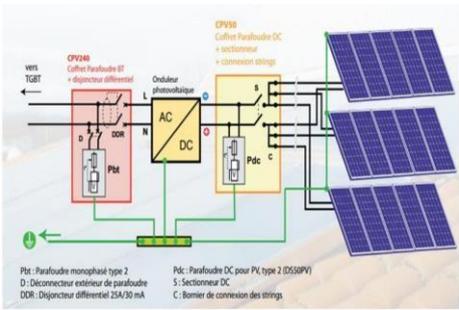
On peut doubler le nombre d'onduleurs en fonction de la taille de l'installation, généralement à partir de 5 kWc. Le choix des onduleurs dépend de l'hétérogénéité de l'installation, avec des modulaires ou des strings qui sont plus efficaces. Pour une installation homogène, il est possible de réduire le nombre de centrales onduleuses.

II.9. Système de protection électrique

Les normes françaises et européennes en matière de sécurité électrique régissent l'installation d'un système photovoltaïque (**Tableau II.5**) [35] [24].

Tableau II.5 : Les différents mesures de protection d'un système photovoltaïque.

La Protection		Description	
Le courant continu	Protection du panneau	Utilisation de diodes anti-retour et de diodes by-pass pour éviter les courants négatifs et isoler les sous-réseaux de cellules.	 A black photovoltaic junction box with three internal bypass diodes. Red lines point to the diodes, with the word "Diodes" written in red below the box.
	Fusible	Installation de fusibles sur chaque branche parallèle, choisis en fonction des spécifications des modules.	 A blue fuse holder with two gold-colored fuses inserted. Next to it is a white fuse holder with a single fuse inserted.
	Protection par coffre DC	Utilisation d'un coffre DC équipé d'un dispositif de coupure pour isoler les panneaux solaires de l'onduleur	 A white DC disconnect switch with a blue cover. The cover is partially open, revealing internal components and a red emergency stop button. It has several terminals at the bottom.

	Interrupteur de coupure/sectionneur DC	Installation d'un interrupteur de coupure/sectionneur DC pour faciliter la maintenance en toute sécurité.	
	Le parafoudre	Utilisation de parafoudres pour protéger contre les surtensions, notamment celles causées par la foudre.	
Le courant alternatif	Le disjoncteur/ interrupteur différentiel	Installation d'un disjoncteur/interrupteur différentiel entre l'onduleur et le réseau de distribution pour détecter les fuites de courant et assurer la sécurité.	
	Le parafoudre AC	Utilisation de parafoudres AC pour prévenir les surtensions dans le circuit de la partie à tension alternative de l'installation.	
	La mise à la terre	Mise à la terre des équipements électriques et des parties métalliques pour éviter les accidents électriques et assurer la sécurité du système.	

II.10. Câblage électrique

Les câbles de courant continu et les modules sont reliés entre eux afin de créer des strings, et ils peuvent brancher plusieurs strings simultanément. Il n'est possible d'utiliser que descâbles dits « solaires » (avec double isolation, protection contre les UV et l'ozone, etc.). En détail, il est essentiel que les câbles solaires utilisés à l'extérieur sur des toitures soient à la fois résistants aux rayons UV et protégés contre l'ozone. Ils doivent également être agréés pour être utilisés à des températures allant de -20°C à 80°C . Il est également nécessaire que la prescription de température soit applicable à l'ensemble du matériel utilisé pour l'installation.

Il est essentiel de dimensionner et de connecter les câbles principaux de CC en respectant certains critères essentiels afin de garantir la sécurité et l'efficacité énergétique :

- Il est possible de supporter une tension de 1,15 fois la tension de circuit ouvert (isolation).
- La capacité du câble doit être adaptée pour le transport du courant DC et AC (section descâbles) ainsi que pour les pertes ohmiques causées par les chutes de tension.
- utiliser des connecteurs appropriés.

Il est important de prévenir les surtensions pendant l'impact ou l'installation du circuit afin d'assurer des connexions parallèles de plusieurs strings. Il convient de protéger les conducteurs en utilisant des schémas sur les pôles + et -. Évaluer la taille des conducteurs de courant continu essentiel afin d'obtenir une puissance maximale [35].

II.11. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a offert une vue d'ensemble complète des systèmes photovoltaïques, de la captation de l'énergie solaire à la protection électrique, en passant par les avantages des systèmes PV connectés au réseau et l'importance des onduleurs et des systèmes de protection. La compréhension et l'intégration de ces différents éléments sont essentielles pour tirer parti du potentiel solaire de l'Algérie, tout en assurant des installations sécurisées, fiables et efficaces. La transition vers les énergies renouvelables, soutenue par des systèmes PV robustes et bien protégés, est une étape cruciale vers un avenir énergétique durable et résilient.

**Chapitre III : Étude et dimensionnement d'un
système photovoltaïque connecté au réseau
(On-Grid)**

III.1 Introduction

L'étude des dimensions des panneaux solaires est cruciale pour garantir leur efficacité optimale. La taille et l'épaisseur ainsi que plusieurs d'autres paramètres des panneaux jouent un rôle important dans la détermination de la qualité et de la performance d'un panneau photovoltaïque. Une analyse précise de ces dimensions est indispensable pour concevoir des systèmes solaires à la fois performants et optimisés.

Cette étude présente la mise en évidence des données contractuelles du projet de dimensionnement et d'installation des équipements photovoltaïques pour l'alimentation de la nouvelle structure de la SPE Annaba et d'optimiser l'utilisation de cette installation par une évaluation du bilan énergétique adéquat, mettre à disposition et déterminer l'état quantitatif et qualitatif des équipements photovoltaïques.

III.2 Bilan générale de la consommation énergétique

Le **Tableau III.1** montre le bilan énergétique de la totalité de l'éclairage des bureaux, Halls et couloirs des différents niveaux de la structure SPE.

Tableau III.1: Bilan énergétique

Niveau	LED					Totaux (kWh/j)
	Nombre	P (W)	Pt (W)	Nombre d'Heures	En (Wh)/J	
Sous-sol	100	30	3000	4	12000	12.00
RDC	110	30	3300	10	33000	33.00
1er étage	96	30	2880	10	28800	28.80
2 ème étage	96	30	2880	10	28800	28.80
3 ème étage	35	30	1050	10	10500	10.50
4 ème étage	26	30	780	10	7800	7.80
Cage d'escalier	8	30	240	10	2400	2.40
Totaux (kWh/j)						123.30

III.3 Dimensionnement de l'installation photovoltaïque

L'étude de la faisabilité de l'alimentation de la totalité de l'éclairage de la SPE Annaba ainsi que le nombre de panneaux nécessaires pour assurer l'énergie du bilan déjà calculée montre que l'énergie nécessaire pour assurer l'alimentation de la totalité de l'éclairage est de **123.30 kW/j**.

Données:

- Pour un choix d'un panneau de puissance de 340 Wc.
- Un coefficient de rentabilité de 75 pourcents de la puissance crête du panneau.
- Un nombre d'heure pour la journée la plus défavorable en ensoleillement de l'année le 21 décembre qui de 7h.

Le calcul montre que:

- La puissance crête productive de l'énergie déjà citée est de 24.48 kWc.
- Le nombre de panneaux nécessaires pour assurer cette puissance est de 72.

$$N_p = P_m / P$$

$$N_p = 24480 / 340 = 72 \text{ panneaux}$$

Avec :

N_p : Nombre de panneaux

P_m : Puissance maximale des panneaux

P : puissance d'un panneau (dans notre étude = 340Wc)

III.4 Données géographiques et positionnement du site

Site Géographique

Annaba- Algérie

Orientation Du Champs PV

Plan Fixe

Angle d'inclinaison des panneaux : 30°

Angle de déviation du positionnement des supports sur la terrasse 40° Sud-Ouest.



Figure III.1 : Le site géographique

Positionnement des rangées des panneaux PV sur la terrasse du 4^{ème} étage (Figure III.2)

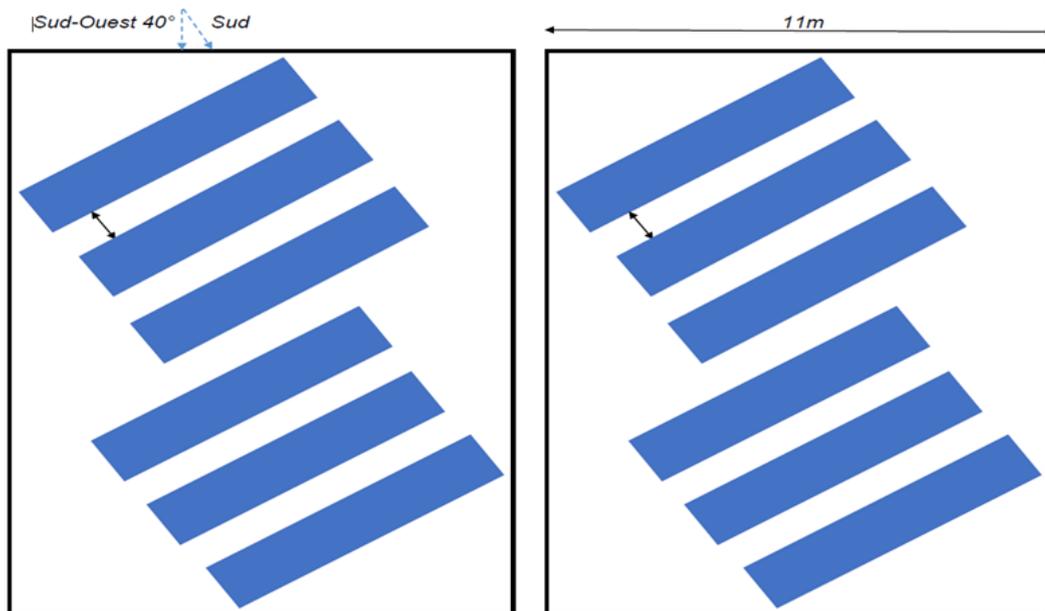


Figure III.2 : Positionnement des rangées des panneaux PV sur la terrasse du 4^{ème} étage

III.5 Calcul et vérification de la surface prévue pour l'installation des panneaux photovoltaïque

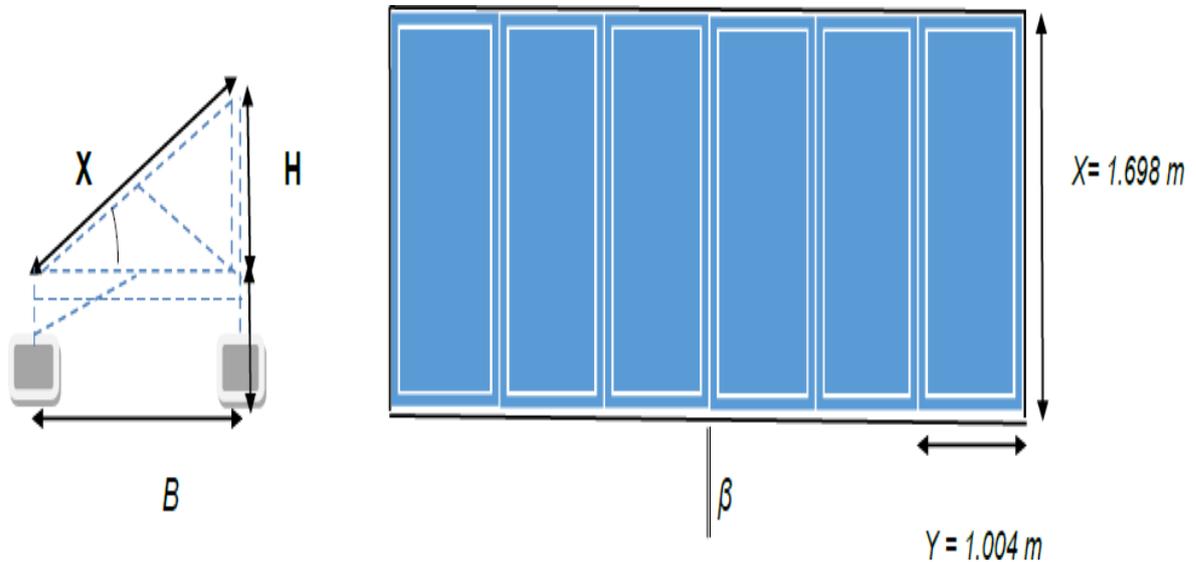


Figure III.3 : Les dimensions des panneaux

$$\sin 30^\circ = H/X \quad H = X \times \sin 30^\circ = 1.698 \times 0.5 = 0.849$$

$$\cos 30^\circ = B/X \quad B = X \times \cos 30^\circ = 1.698 \times 0.866 = 1.470$$

Les résultats de calcul de la surface d'installation sont résumés dans le **Tableau III.2**

Tel que :

Dimensions du module : 1698/1004/35 mm

Surface du module : 1.704 m^2

Surface 01 rangée de 06 panneaux : 06 panneaux alignés l'un après l'autre occupent la surface de 9.017 m^2 .

03x04 rangées de 06 panneaux occupent la surface de 108.2 m^2 environ 109 m^2 .

La distance moyenne entre les rangées des panneaux doit être comprise entre 2 et 2.5 de la hauteur des panneaux inclinés : $2 \times 0.849 = 1.689 \text{ m}$ environ 1.7 m (2H).

Surface intercalée totale entre les rangées des 06 panneaux alignées est de :

$$104.16 \text{ m}^2 \text{ environ } 105 \text{ m}^2$$

Surface totale réservée pour les panneaux est de $109 + 105 = 214 \text{ m}^2$

Un espacement de 1.7 m suffisant entre les rangées de panneaux qui nous permet d'éviter le phénomène d'ombrage et d'installer les 72 panneaux photovoltaïques sans contrainte.

Tableau III.2 : Résultats de calcul de la surface d'installation des panneaux photovoltaïque

Dimensionnement	X/Y	Incl. 30°	2H	B	B	Surface	M	Socle	Nbre en Socles béton
Hauteur Panneau (m)	1.698/1.004								
Hauteur du panneau incliné (m)			2x0.849						
Intercalaire horizontal entre panneaux (m)					0.022				
Projection du panneau incliné sur le planché (m)				1.470					
Surface de 06 panneaux avec 06β intercalaires (m²)						$(06 \times 1.004 + 05 \times 0.022) \times 1.470 = 9.017$			
Surface de 72 panneaux (m²)						$9.017 \times 12 = 108.2$			
Surface des espaces intercalés entre les séries des 06 panneaux pour 2x36 panneaux (m²)						$2 \times 5 \times (06 \times 1.004 + 05 \times 0.022) \times (2 \times 0.849) = 2 \times 5 \times (6.134) \times (1.698) = 10 \times 10.453 = 104.16$			
Surface totale (m)						$108.2 + 104.16 = 212.38$			
Hauteur support et socle en béton (m)							0.6		
Socle en béton (m³)								$0.4 \times 0.40 \times 0.4 = 0.064$	$6 \times 10 = 60$

III.6 Données électriques des panneaux photovoltaïques (IBEX-120-MHC-DUO 340 monocristallin)

(Le Tableau III.3) représente les caractéristiques électriques nécessaire pour l'installation des panneaux photovoltaïques.

Tableau III.3 : Données électriques des panneaux photovoltaïques

Caractéristiques électriques panneau	Puissance crête (Wc)	Impp (A)	Icc (A)	Icc Max (A)	Vmpp (V)	Voc (V)	Voc Max (V)
1 panneau	340	9.94	10.20	12.75	34.20	42	47.88
06 panneaux en série	2040	9.94	10.20	12.75	205.20	252	272.28
1 string de 06panneaux x3)	6120	29.82	30.60	37.50	205.20	252	272.28
(1 string de 06panneaux x 3) x4	24480	119.28	122.40	150	205.20	252	272.28
72 panneaux	24480	119.28	122.40	150	205.20	252	272.28

III.7 Protection contre les surintensités

Conformément à l'UTE C15-712-2, la présence de fusible est toujours obligatoire pour chacune des chaînes photovoltaïques, et ce afin de protéger les modules.

IRM Courant retour maximal à supporter par les modules est de $2 \times I_{cc}$ (Selon le fabricant)

Le courant assigné I_n des fusibles devra, conformément au guide de l'UTE C15712-2

respecter la condition suivante : $1.1 \times 1.25 I_{cc} \leq I_n \leq I_{rm}$ ($I_{ccmax} = 1.25 \times I_{cc}$, $IRM = 2 I_{cc}$) (Tableau III.4).

La tension du fusible doit être supérieure à la tension à vide des panneaux en série multiplié par un coefficient de sécurité 1.14. Les fusibles doivent être spécifiques à une application en courant continu, à fusion rapide, être indépendants du sens de passage du

courant, présentant une tension assignée V_f supérieur à la tension maximale du système photovoltaïque (**Tableau III.5**).

Tableau III.4 : Calibrage des fusibles en courant (If)

Protection courant	Fusible1 (A)	Fusible2 (A)	Fusible3 (A)	Nombre
Séries 6 panneaux PV	$14 \leq I_{nf} \leq 20.40$			24
4 Boîtes de jonction		$42 \leq I_{nf} \leq 61.20$		24
1 Coffrets CC			$42 \leq I_{nf} \leq 61.20$	08

Tableau III.5 : Calibrage des fusibles en tension (Vf)

Protection tension	Fusible1 (V)	Fusible2 (V)	Fusible3(V)	Nombre
Séries 6 panneaux PV	$287.28 < V_{nf}$			24
4 Boîtes de jonction		$287.28 < V_{nf}$		24
1 Coffrets CC			$287.28 < V_{nf}$	08

Afin de garantir la sécurité des opérations de coupure et de maintenance, nous installons des interrupteurs sectionneurs dans le coffret électrique qui doivent supporter et interrompre les courants dans les conditions normales y compris des surcharges

- Le courant en condition normale est de 29.82 A.
- Le courant en situation de surcharge est de 61.20 A.
- La tension assignée de l'interrupteur sectionneur à vide $1.14 \times 2 \times 272.28 = 620.798V$.

III.8 Dimensionnement et réglage des trois (04) onduleurs

Tableau III.6 : caractéristiques des onduleurs

Paramètres onduleur	Puissance nominale (W)	Tension maximale admissible par l'onduleur (V)	Courant maximal admissible (A)
Valeur de réglage	6500	$252 \times 1.14 = 287.28$	$1.25 \times 30.60 = 37.50$

III.9 Dimensionnement et sections des câbles

Tableau III.7 : section des câbles

Section des câbles	Courant Max (A)	Section 4 mm ²	Section 10 mm ²
Entre panneaux	9.94	X	
Panneaux-Boîtes de jonction	29.82	X	
Boîtes de jonction-Coffret	29.82		X
Coffret –Onduleur	29.82		X

Tableau III.8 : Longueur des câbles

Longueur câble entre	L1 (m)	L2 (m)	L3 (m)
Panneaux PV1-Boîte jonction1-Onduleur1	1	9	2
Panneaux PV2-Boîte jonction2-Onduleur2	1	9	2
Panneaux PV3-Boîte jonction3-Onduleur3	1	9	2

Panneaux PV- 4 Boite jonction4- Onduleur4	1	9	2
--	---	---	---

III.10 Vérification des sections des câbles et des chutes de tension admissibles

Tableau III.9 : Sections des câbles

Extrémités	Imp (A)	Vmp (V)	Longueur (m)	Longueur totale (m)	Section (mm²)
Panneaux PV1- Boite de jonction1	9.94	6x 34.2= 205.2	2+9	15	0.83
Boites de jonction1-Coffret Onduleur1	39.76	205.2	2x2		3.34
Panneaux PV2- Boite de jonction2	9.94	205.2	2+9	15	0.83
Boites de jonction2-Coffret onduleur2	39.76	205.2	2x2		3.34
Panneaux PV3- Boite de jonction3	9.94	205.2	2+9	15	0.83
Boites de jonction3-Coffret onduleur 3	39.76	205.2	2x2		3.34
Panneaux PV4- Boite de jonction4	9.94	205.2	2+9	15	0.83
Boites de jonction4-Coffret onduleur 4	39.76	205.2	2x2		3.34

Tableau III.10 : Les chutes de tension

Extrémité	Section Calculée (mm ²)	Section Commerciale (mm ²)	Calcul chute de tension	Chute de tension totale
Panneaux PV1-Boîte de jonction 1	0.84	4	0.21%	0.21% +0.08% = 0.29%<1%
Boîtes de jonction1-Coffret onduleur 1	3.34	10	0.08%	
Panneaux PV2-Boîte de jonction 2	0.84	4	0.21%	0.21% +0.08% = 0.29%<1%
Boîtes de jonction2-Coffret onduleur 2	3.34	10	0.08%	
Panneaux PV3-Boîte de jonction 3	0.84	4	0.21%	0.21% +0.08% = 0.29%<1%
Boîtes de jonction3-Coffret onduleur 3	3.34	10	0.08%	
Panneaux PV4-Boîte de jonction 4	0.84	4	0.21%	0.21% +0.08% = 0.29%<1%
Boîtes de jonction4-Coffret onduleur 4	3.34	10	0.08%	

III.11 Courant admissibles des câbles

Le calcul des courants admissibles des câbles pour les différents parties sont représenter dans le **Tableau III.11**.

Tableau III.11 : Calcul des courants admissibles des câbles

Extrémité	Section commercial (mm^2)	Courant admissible $I_{ccmax}(A)$	I courant d'emploi (A)	Observation
Panneaux PV1-Boîte de jonction 1	4	$1.25 \times 10.2 = 12.75$	95.22	$95.22 > 12.75$
Boîtes de jonction1-Coffret onduleur 1	10	$1.25 \times 30.60 = 37.50$	238	$238 > 37.50$
Panneaux PV2-Boîte de jonction 2	4	$1.25 \times 10.2 = 12.75$	95.22	$95.22 > 12.75$
Boîtes de jonction2-Coffret onduleur 2	10	$1.25 \times 30.60 = 37.50$	238	$238 > 37.50$
Panneaux PV3-Boîte de jonction 3	4	$1.25 \times 10.2 = 12.75$	95.22	$95.22 > 12.75$
Boîtes de jonction3-Coffret onduleur 3	10	$1.25 \times 30.60 = 37.50$	238	$238 > 37.50$
Panneaux PV4-Boîte de jonction4	4	$1.25 \times 10.2 = 12.75$	95.22	$95.22 > 12.75$
Boîtes de jonction4-Coffret onduleur4	10	$1.25 \times 30.60 = 37.50$	238	$238 > 37.50$

La section calculée « câbles Panneaux-Boîtes de jonctions » est de 0.83 la section industrielle la plus proche à celle calculée est de 2.5 mm^2 (Nous avons choisi une section plus importante de 4 mm^2).

La section calculée des câbles « Boîtes de jonction-Coffrets onduleurs » est de 3.34 la section industrielle la plus proche à celle calculée est de 4 mm^2 (Nous avons choisi une section plus importante de 10 mm^2).

III.12 Dimensionnement des sectionneurs interrupteurs SI qui pouvant être installés dans le circuit PV

Tableau III.12 : Dimensionnement des sectionneurs interrupteurs SI

Protection du circuit	SI (A)	SI (V)
Panneaux PV1-Boite de jonction1	$1.25 \times 10.20 = 12.75$	$1.14 \times 205.2 = 272.28$
Boites de jonction1-Coffret onduleur1	$1.25 \times 30.60 = 37.50$	$1.14 \times 205.2 = 272.28$
Panneaux PV2-Boite de jonction2	$1.25 \times 10.20 = 12.75$	$1.14 \times 205.2 = 272.28$
Boites de jonction2-Coffret onduleur2	$1.25 \times 30.60 = 37.50$	$1.14 \times 205.2 = 272.28$
Panneaux PV3-Boite de jonction3	$1.25 \times 10.20 = 12.75$	$1.14 \times 205.2 = 272.28$
Boites de jonction3-Coffret onduleur3	$1.25 \times 30.60 = 37.50$	$1.14 \times 205.2 = 272.28$
Panneaux PV4-Boite de jonction4	$1.25 \times 10.20 = 12.75$	$1.14 \times 205.2 = 272.28$
Boites de jonction4-Coffret onduleur4	$1.25 \times 30.60 = 37.50$	$1.14 \times 205.2 = 272.28$

III.13 Schéma électrique de l'installation photovoltaïque et état quantitatif des équipements électriques

La Figure III.4 montre le schéma électrique de l'installation des 72 panneaux et les 04 onduleurs chacun ainsi que le système de protection et les différents câbles.

Le Tableau III.13 illustre l'état quantitatif des équipements électriques de l'installation photovoltaïque

Les caractéristiques des équipements de l'installation photovoltaïque sont mentionnées dans l'annexe.

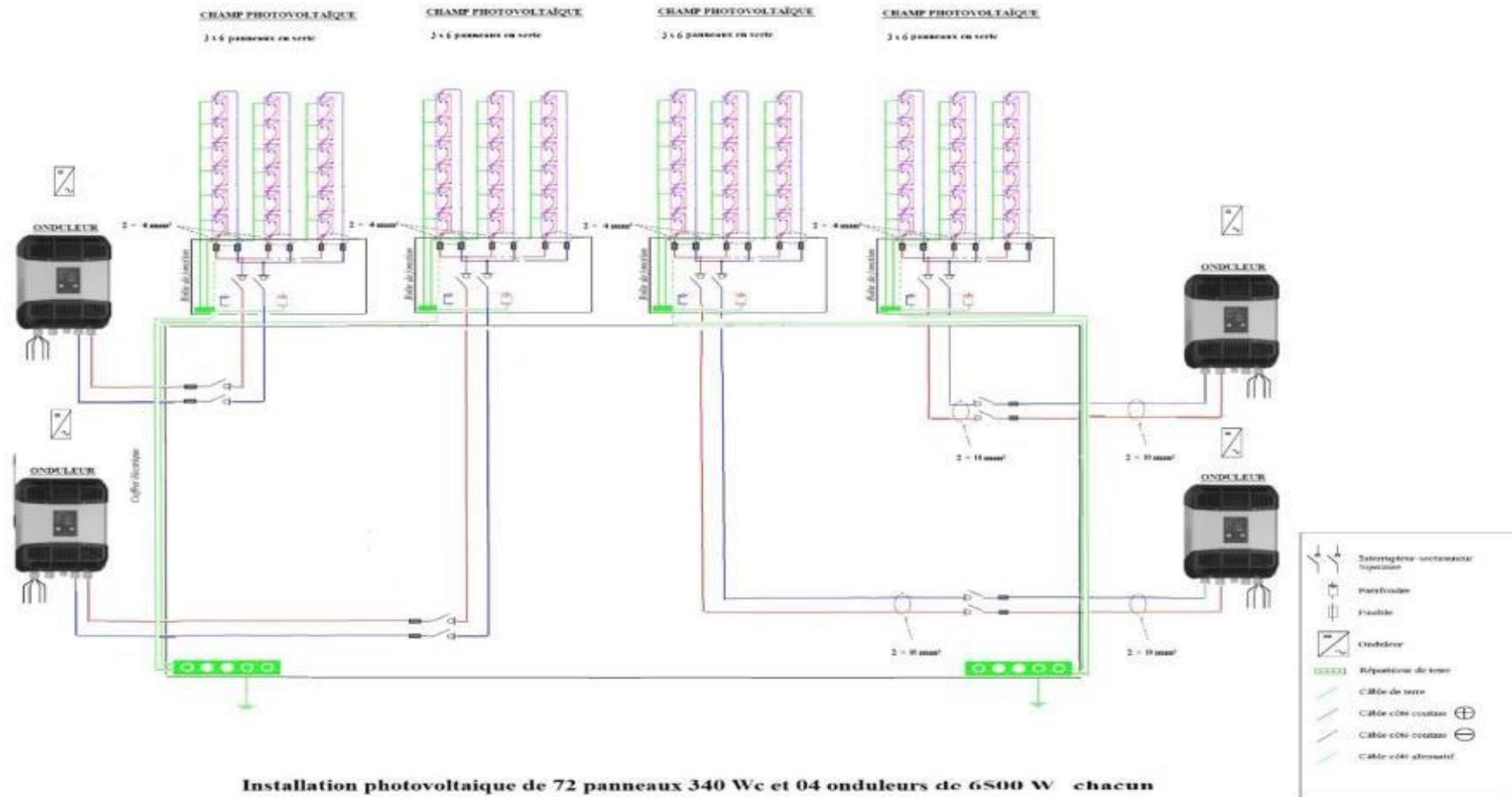


Figure III.4 : Schéma électrique de l'installation photovoltaïque

Tableau III.13 : Etat quantitatif des équipements électriques de l'installation photovoltaïque

N°	Désignation	Quantité
01	Panneau photovoltaïque 340W	72
02	Onduleur Hybride On-Grid de 95%: 98% - 6.5 kW – 7.5 Kw	04
03	Boite de jonction IP65 IK07 spécial extérieur : - 06 Fusibles solaires ≥ 20 A (287 V) - 06 portes fusibles - 02 Interrupteur sectionnaire 2P DC ≥ 61 A (287 V) - 02 paratonnerres	04
04	Armoire métallique principale : - 04 Disjoncteur Différentiel 4P-120A - 04 Disjoncteur DC (61 A et 287 V)	01
05	Structure métallique en aluminium galvanisé avec socle en béton armé	12 60
06	Coffret électrique	01
07	- Fusibles 20 A - Fusibles 61 A - Portes fusibles - Interrupteurs sectionnaires 2P DC ≥ 20 A (287 V)	24 08 34 04

08	Câblerie (m) :	
	- 1*4 mm ² (rouge et noir)	150
	- 1*10 mm ² (rouge et noir)	150
	- Câble de mise à la terre (j/v)	150
	- Chemin de câble en tôle d'acier galvanisé avec socle des trous de ventilation	120

III.14 Conclusion

Grâce à cette étude, nous avons pu déterminer le bilan énergétique pour l'éclairage, ainsi que déterminer toutes les composantes du projet, qu'elles soient quantitatives ou qualitatives, pour toutes les parties du projet. C'est ce qui nous aidera à créer la meilleure installation photovoltaïque connectée au réseau électrique afin de fournir l'énergie dans les meilleures conditions d'exploitation de la nouvelle structure SPE d'Annaba.

Chapitre IV : Validation De L'étude à L'aide Du Logiciel *PVsyst*

IV1 Introduction

Il est en effet assez complexe de concevoir et de dimensionner un champ photovoltaïque précis, car il y a de nombreux paramètres à prendre en compte, une certaine dose d'impondérable (la météorologie), et surtout de nombreuses interactions entre les choix. À titre d'exemple, il est nécessaire d'ajouter la consommation du régulateur de charge, de l'onduleur et de la batterie à celle des récepteurs afin de déterminer la consommation totale du système. Cependant, la sélection de ces paramètres est influencée par la taille du champ photovoltaïque, qui est liée à la consommation. Ainsi, la création d'un système photovoltaïque est le fruit d'une optimisation effectuée en plusieurs étapes [36].

Au cours de ce chapitre, nous aborderons les différentes étapes nécessaires pour élaborer un système photovoltaïque connecté aux réseaux électriques intelligents. Par la suite, nous allons effectuer une simulation à l'aide de *PVsyst* d'une installation photovoltaïque connectée aux réseaux intelligents, et présenter les résultats obtenus pour tirer des conclusions et faire des discussions.

IV2 Le logiciel *PVsyst*

PVsyst est une application logicielle spécialement conçue pour évaluer les performances des systèmes photovoltaïques et leur analyse économique. Cette application, en tant que version bêta, est développée avec Visual Studio et Visual Basic pour la rendre opérationnelle [37].

IV3 Les principales fonctions du logiciel

- **Choix du site et gisement solaire** : Grâce à l'application, vous avez la possibilité de choisir le site où vous voulez installer votre système solaire. Des informations précises sur le gisement solaire de cette région peuvent être obtenues, comme l'ensoleillement moyen, l'orientation Utilisation optimale des panneaux solaires, et l'orientation appropriée [37].
- **Quantification des besoins** : Il est possible de prendre en compte les exigences énergétiques particulières de votre installation, que ce soit pour une habitation, une entreprise ou tout autre consommateur. L'application tient compte de la consommation électrique et des périodes de forte demande énergétique afin de déterminer les besoins en énergie [37].

- **Dimensionnement technique** : Selon les informations précédentes, l'application procède à la conception du système photovoltaïque. Elle tient compte de différents éléments tels que la capacité de stockage des batteries, la puissance des panneaux solaires et le régulateur de charge requis pour satisfaire aux besoins énergétiques établis [37].
- **Analyse économique** : L'application vous offre une étude économique approfondie du système offert. Elle englobe les frais initiaux de mise en place, les économies d'énergie prévues, le temps de rentabilité, les profits à long terme et d'autres indicateurs financiers pertinents [37].

IV4 Simulation de l'étude par le logiciel PVsyst

- Au début, on ouvre le logiciel « PVsyst » situé sur le bureau.
- On clique sur « conception du projet » et on choisit le system « couplé au réseau »

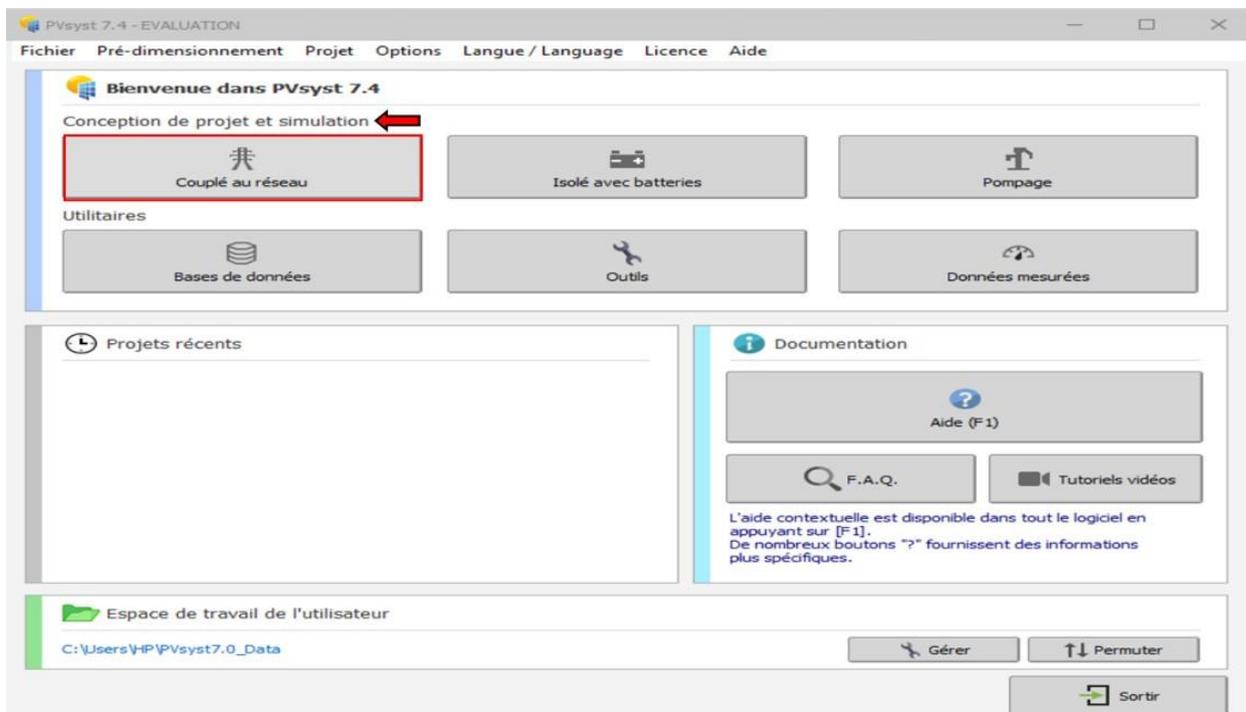


Figure IV.1 : Type de l'installation photovoltaïque

- On va déterminer la localisation géographique du projet en suivant les étapes suivantes :
 - La première étape consiste à cliquer sur l'indicateur de recherche pour ajouter un nouveau site, comme indiqué ci-dessous :

Chapitre IV : Validation De L'étude à L'aide Du Logiciel PVsyst

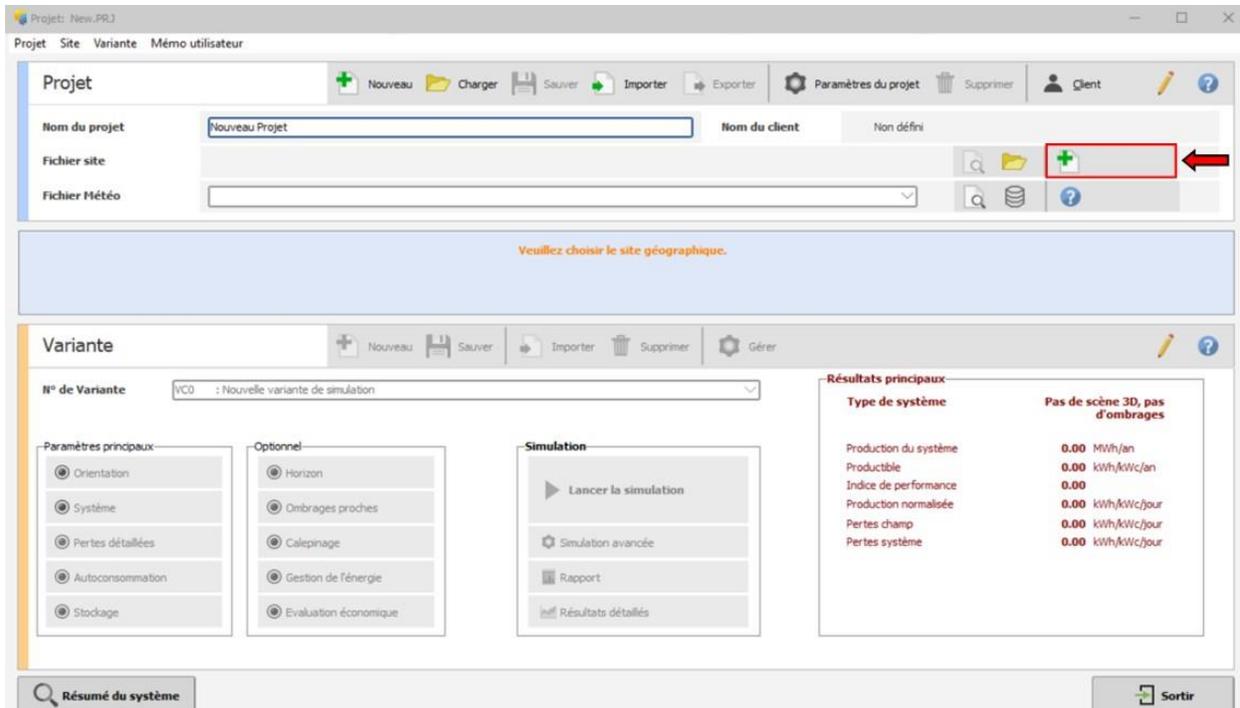


Figure IV.2 : Liste de sites.

- La deuxième étape, et après l'apparition de cette fenêtre, on clique sur « nouveau »

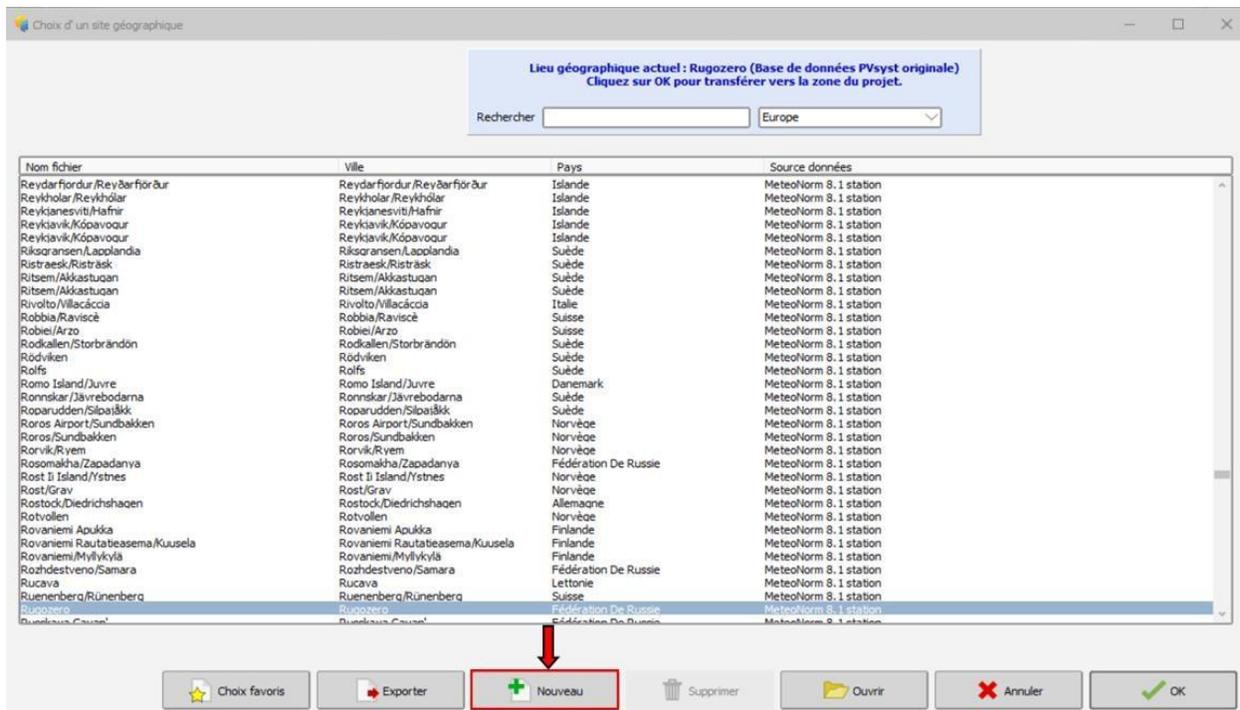


Figure IV.3 : Création d'un nouveau site.

- La troisième étape dans laquelle on détermine le site par son nom, son pays et ses Coordonnées géographiques (longitude et latitude)

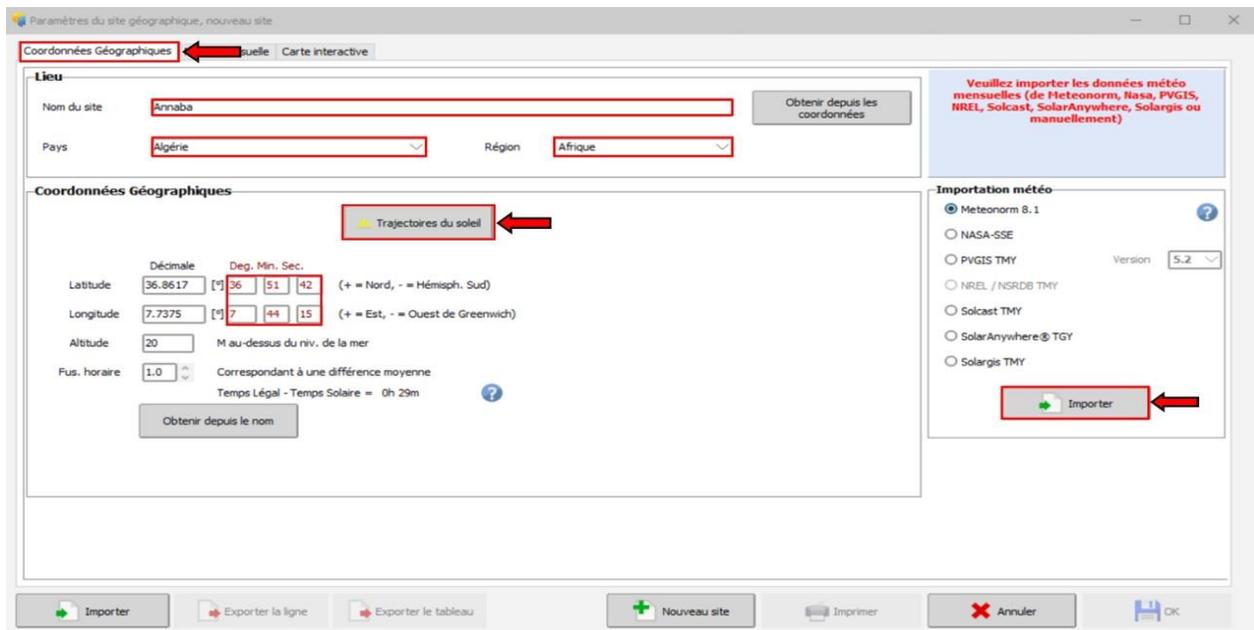


Figure IV.4 : Les coordonnées géographiques.

Lors de cette troisième étape, on clique sur « Trajectoires du soleil » pour afficher la fenêtre suivante :

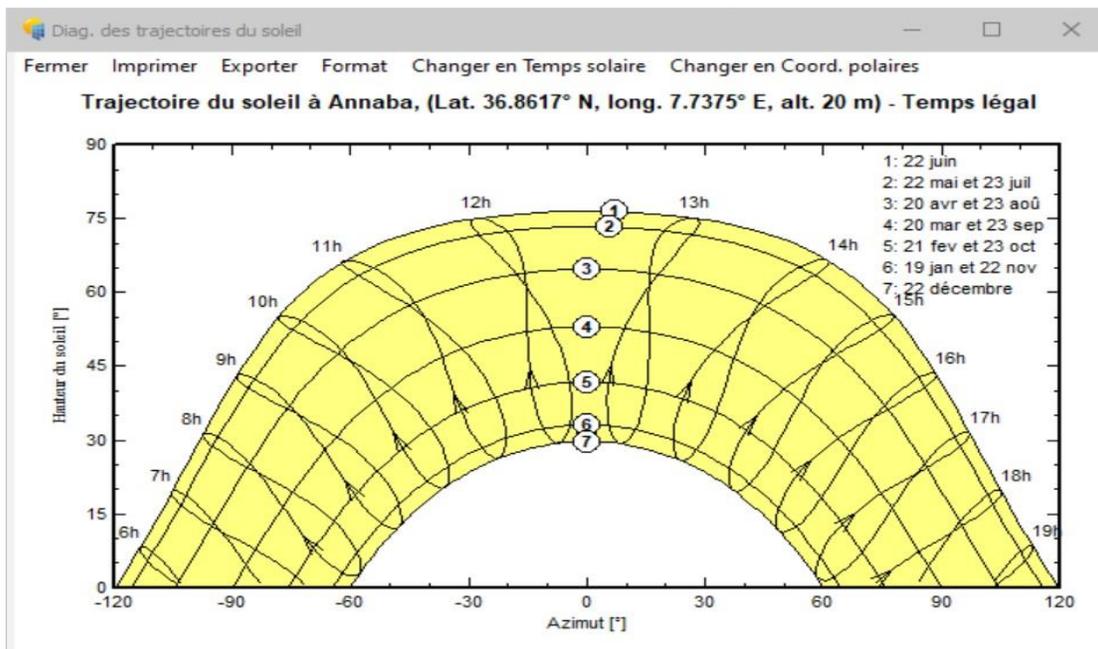


Figure IV.5 : Trajectoires du soleil.

- La quatrième étape, après la détermination du site dans « PVsyst », un tableau de données pour deux types de rayonnement solaire mensuelle (globale et diffus) est remis, ainsi que la température et la vitesse du vent et turbidité linke et humidité relative du site à étudier, par « Meteonorm ».

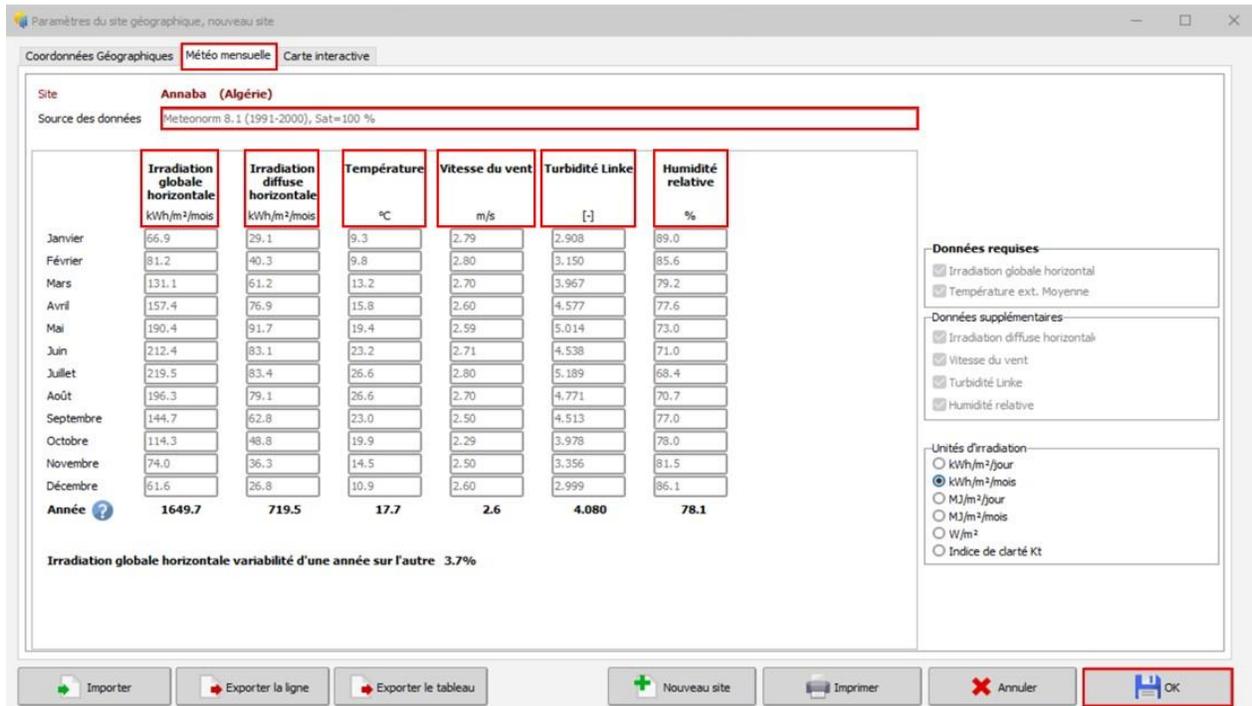


Figure IV.6 : Les données de météo mensuelles.

D'après le tableau de la Figure IV.6, on peut déduire que le rayonnement solaire global annuel de Annaba est 1649.7 KWh/m², avec des températures ambiantes de 17.7 °C, la valeur de rayonnement diffus 719.5 KWh/m².

- On suit les étapes suivantes pour sauvegarder le site.

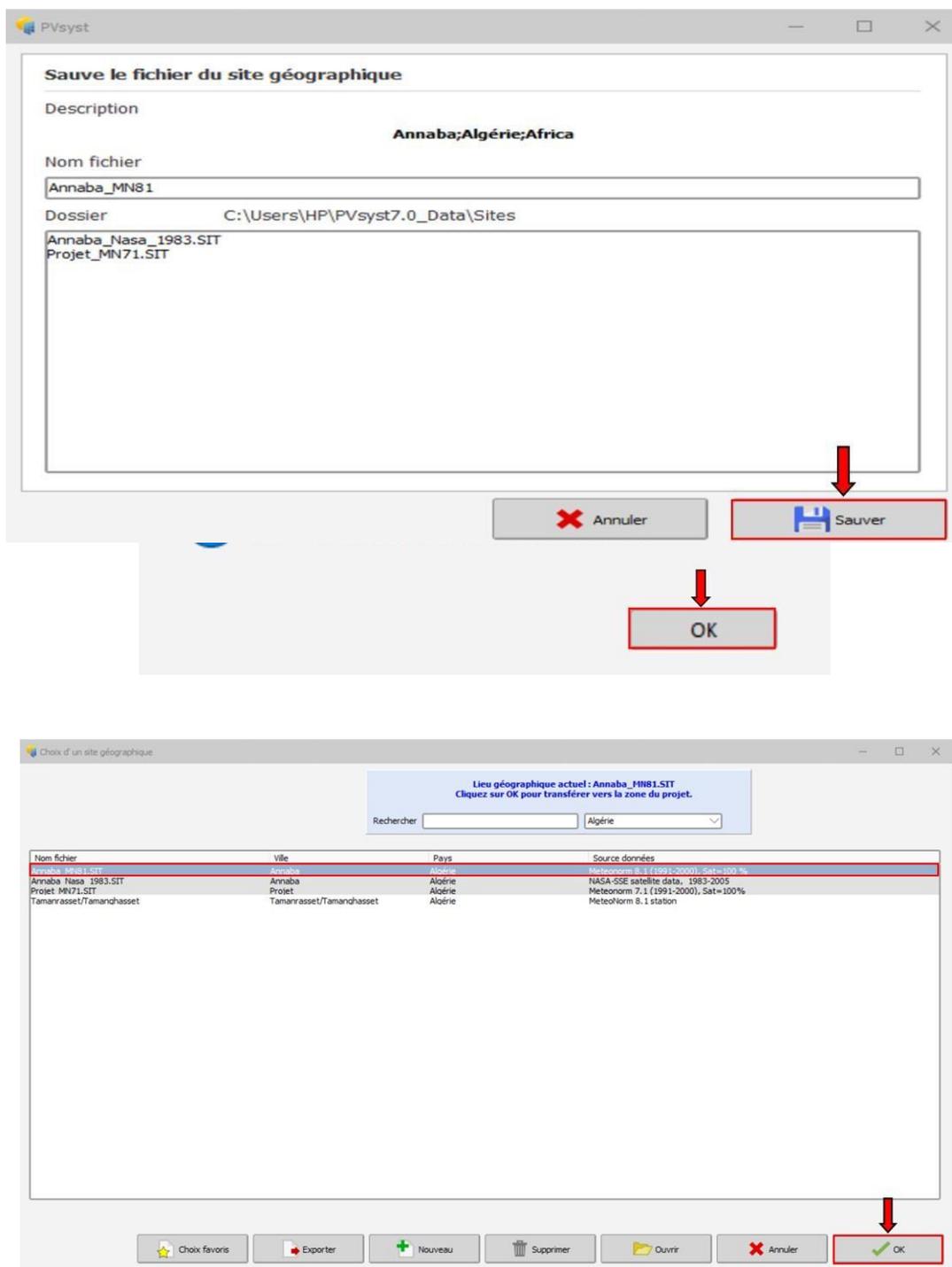


Figure IV.7 : Choix le nouveau site

- On va citer le nom du notre projet.

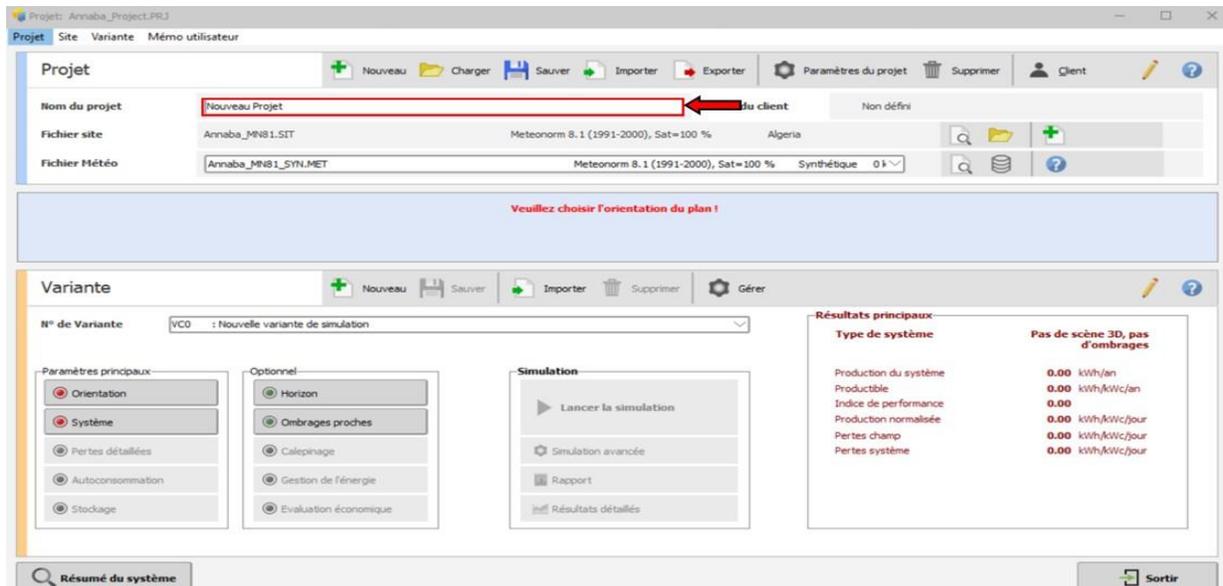


Figure IV.8 : Le nom du projet.

➤ À cette étape, un message apparaît en rouge, puis on clique sur « orientation » pour déterminer le message requis.

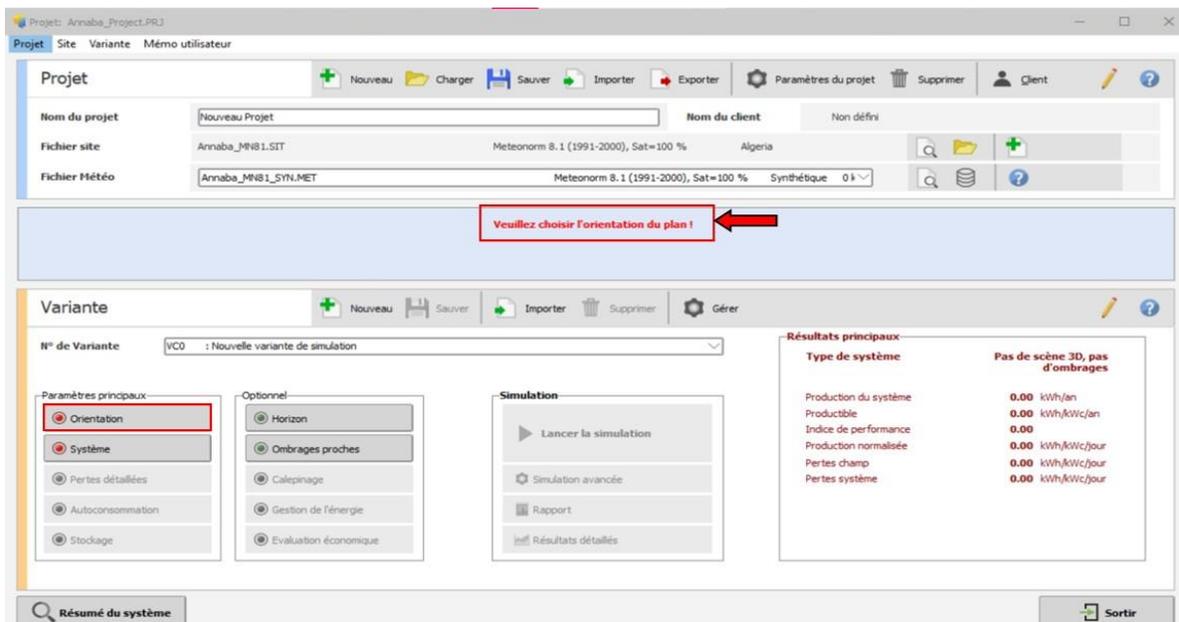


Figure IV.9 : Choisir l'orientation du plan.

➤ Ci-dessous, on va définir l'angle, la direction et la position du panneau solaire, dans ce cas on va choisir un plan incliné fixe, et on va indiquer que la bonne optimisation du panneau solaire est l'Irradiation annuelle, après on clique sur « OK ».

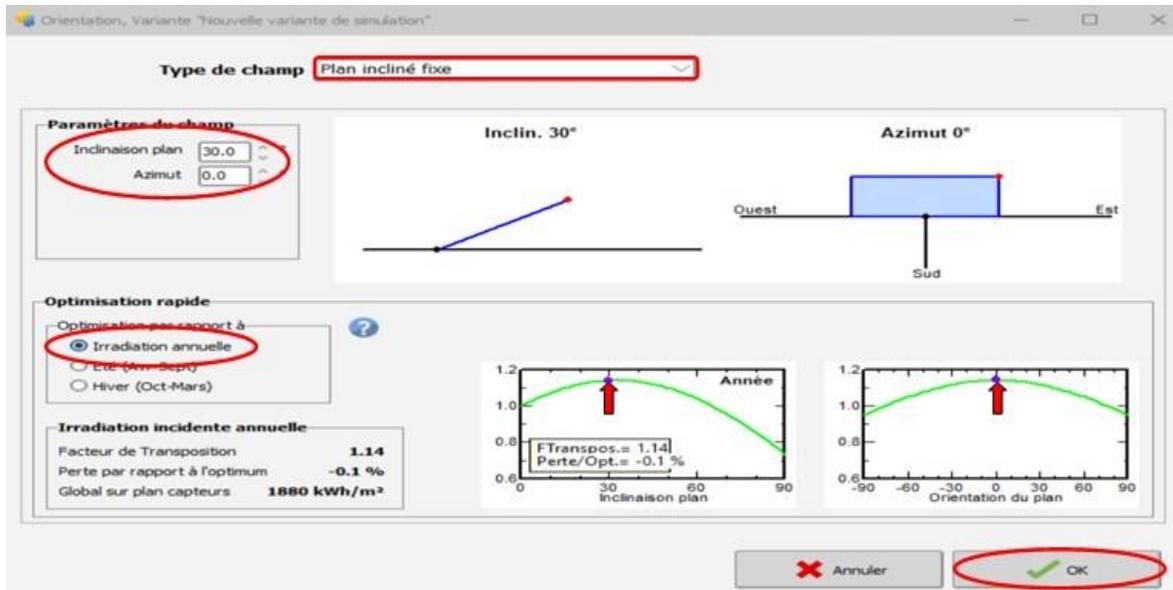


Figure IV.10 : Orientation des modules PV.

Dans la **figure IV.10**, on peut observer l'angle d'inclinaison de nos panneaux, nécessaire pour maximiser l'exposition solaire sur la surface réceptrice, permettant ainsi de prolonger la durée d'ensoleillement et d'optimiser la production du champ. Cela nous permet de tirer un profit maximal de l'ensoleillement quotidien.

- Après avoir confirmé l'étape précédente, un autre message apparaît en rouge, on clique sur « système » pour déterminer le message requis.

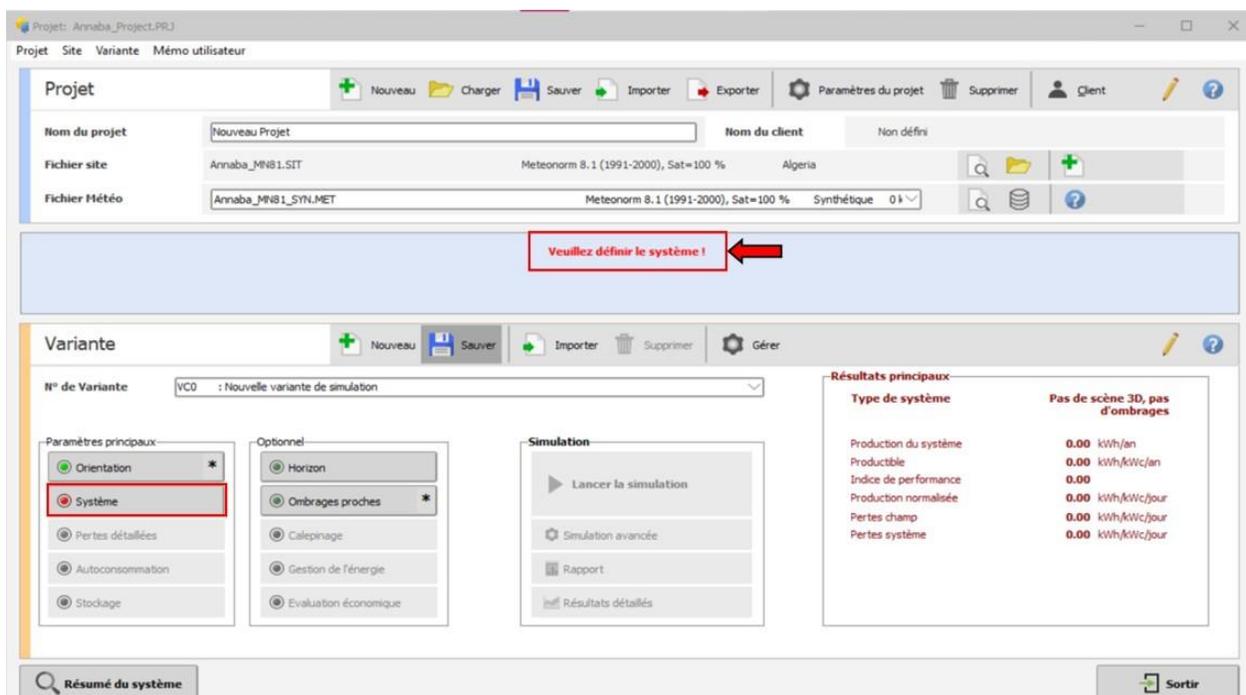


Figure IV.11 : Définie le système.

On choisit la taille du système en fonction de la capacité de production.

- On choisit le fabricant de panneaux solaires, son type, sa capacité et le nombre totale des modules.
- On va sélectionner le type d'onduleur et ses caractéristiques.
- Ensuite, la méthode de connexion des panneaux en série et en parallèle.
- Enfin, on clique sur « OK » pour sortir et trouver le system prêt à la simulation.

Sous-champ

Nom et orientation du sous-champ
 Nom: Sous-champ #4
 Orient.: Plan incliné fixe
 Ordre: 4
 Inclinaison: 30°
 Azimut: 0°

Aide au dimensionnement
 Pas de prédim. Entrez Pnom désirée: 5 kWc
 Redimens. ... ou surface disponible(modules): 31 m²

Sélection du module PV

Disponibles: Tous les modules PV
 Filtre: Tous les modules PV
 Modules nécessaires approx.: 18

Swiss Solar 340 Wp 29V Si-mono IBEX-120MHC-Duo-340 Wp-1 Depuis 2020 Manufacturer 2020

Utiliser optimiseur:

Dimens. des tensions : Vmpp (60°C) 29.8 V
 Vco (-10°C) 46.3 V

Sélection de l'onduleur

Disponibles: Tension de sortie 380 V Tri 50Hz
 Solar Konzept 6,5 kW 48 - 380 V TL 50 Hz SKN 1070 M Depuis 2000

Nbre d'onduleurs: 1
 Tension de fonctionnement: 48-380 V Puissance globale ond.: 6.5 kWac
 Tension entrée maximale: 430 V

Dimensionnement du champ

Nombre de modules et chaînes
 Mod. en série: 5 entre 2 et 9
 Nb. chaînes: 3 entre 3 et 4

Perte surpuissance: 0.0 %
 Rapport Pnom: 0.94

Nbre modules: 18 Surface: 31 m²

Cond. de fonctionnement
 Irradiance plan: 1000 W/m²
 Vmpp (60°C): 179 V
 Vmpp (20°C): 210 V
 Vco (-10°C): 278 V

Inpp (STC): 29.8 A
 Isc (STC): 31.4 A
 Isc (aux STC): 31.4 A

La puissance de l'onduleur est légèrement surdimensionnée.

Max. données STC
 Puiss. max. en fonctionnement (à 1051 W/m² et 50°C): 5.8 kW
 Puiss. nom. champ (STC): 6.1 kWc

Liste des sous-champs

Nom	#Mod #Ond.	#Chaîne #MPPT
Champ PV		
Swiss Solar - IBEX-120MHC-Duo...	6	3
Solar Konzept - SKN 1070 M	1	1
Sous-champ #2		
Swiss Solar - IBEX-120MHC-Duo...	6	3
Solar Konzept - SKN 1070 M	1	1
Sous-champ #3		
Swiss Solar - IBEX-120MHC-Duo...	6	3
Solar Konzept - SKN 1070 M	1	1
Sous-champ #4		
Swiss Solar - IBEX-120MHC-Duo...	6	3
Solar Konzept - SKN 1070 M	1	1

Résumé système global

Nb. de modules: 72
 Surface modules: 123 m²
 Nbre d'onduleurs: 4
 Puissance PV nominale: 24.5 kWc
 Puissance AC nominale: 26.0 kWAC
 Rapport Pnom: 0.942

Résumé du système Schéma unifilaire

Annuler OK

Figure IV.12 : Paramètres de la simulation.

Il faut sélectionner « Pertes détaillées » et renseigner tous les paramètres des câblages de notre utilisateur.

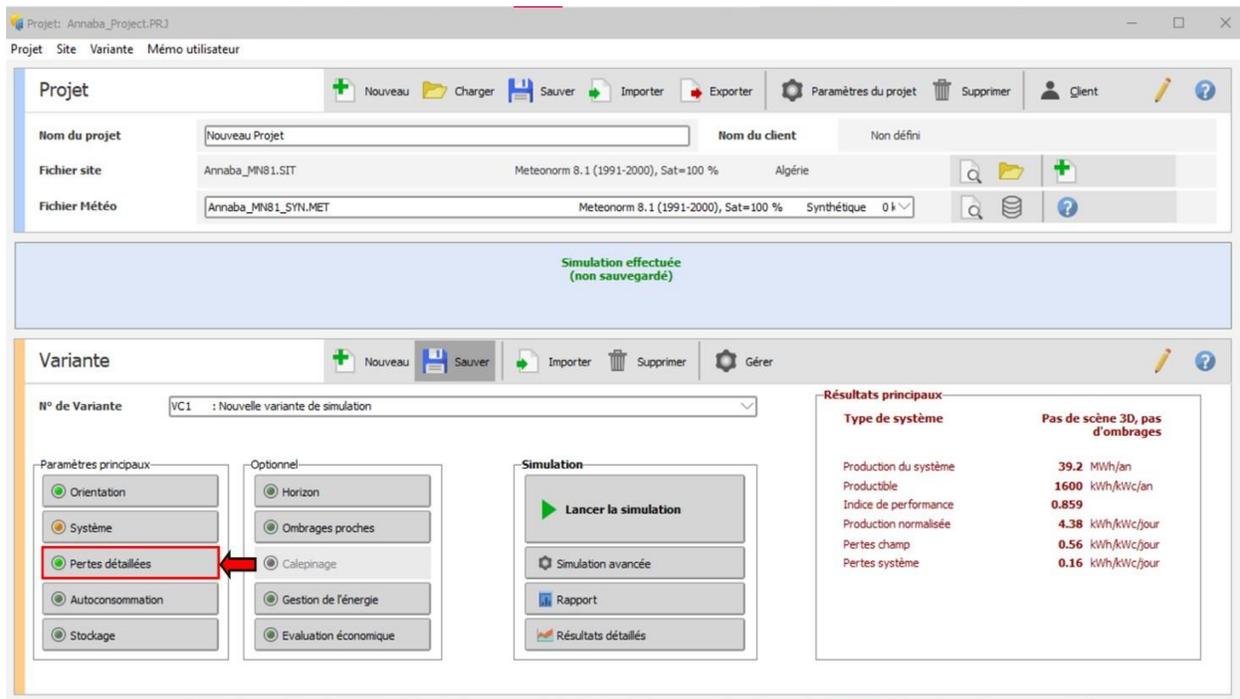


Figure IV.13 : Pertes détaillées.

Après cela, on clique sur « Calcul détaillé ».

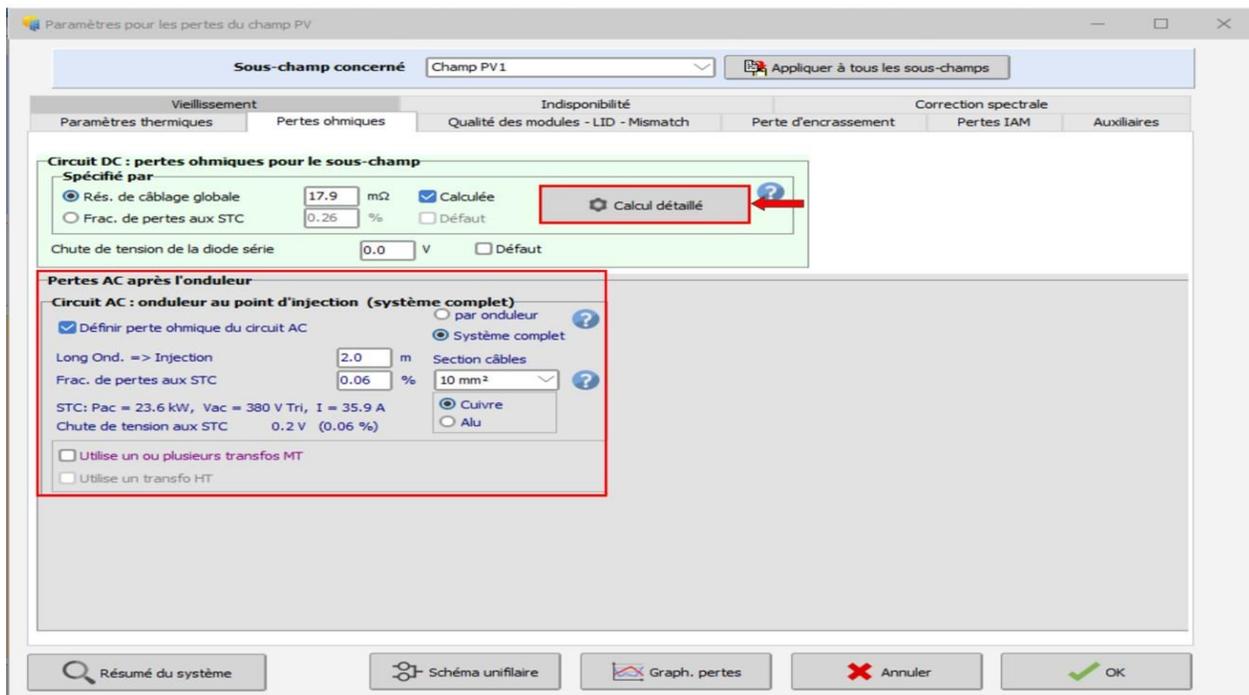


Figure IV.14 : Les pertes ohmiques.

Lorsque la nouvelle fenêtre s'ouvre, on sélectionne « la section et la longueur moyenne ».

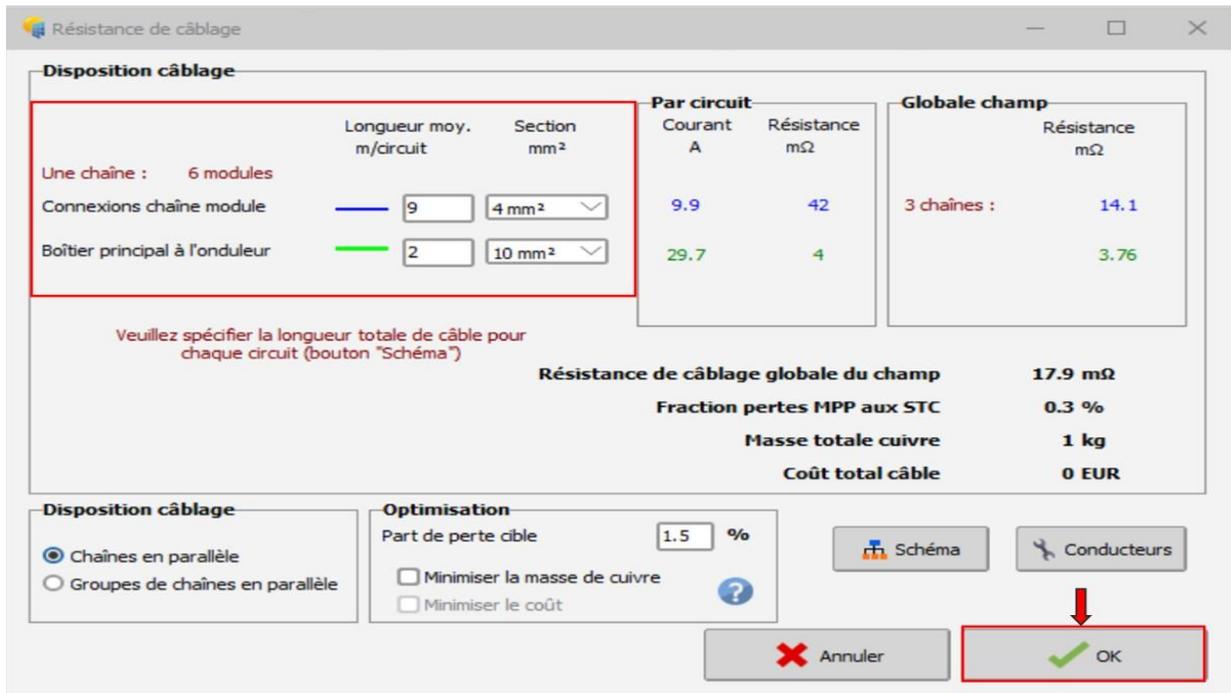


Figure IV.15 : Disposition du câblage.

Il faut sélectionner « Ombrages proches ».

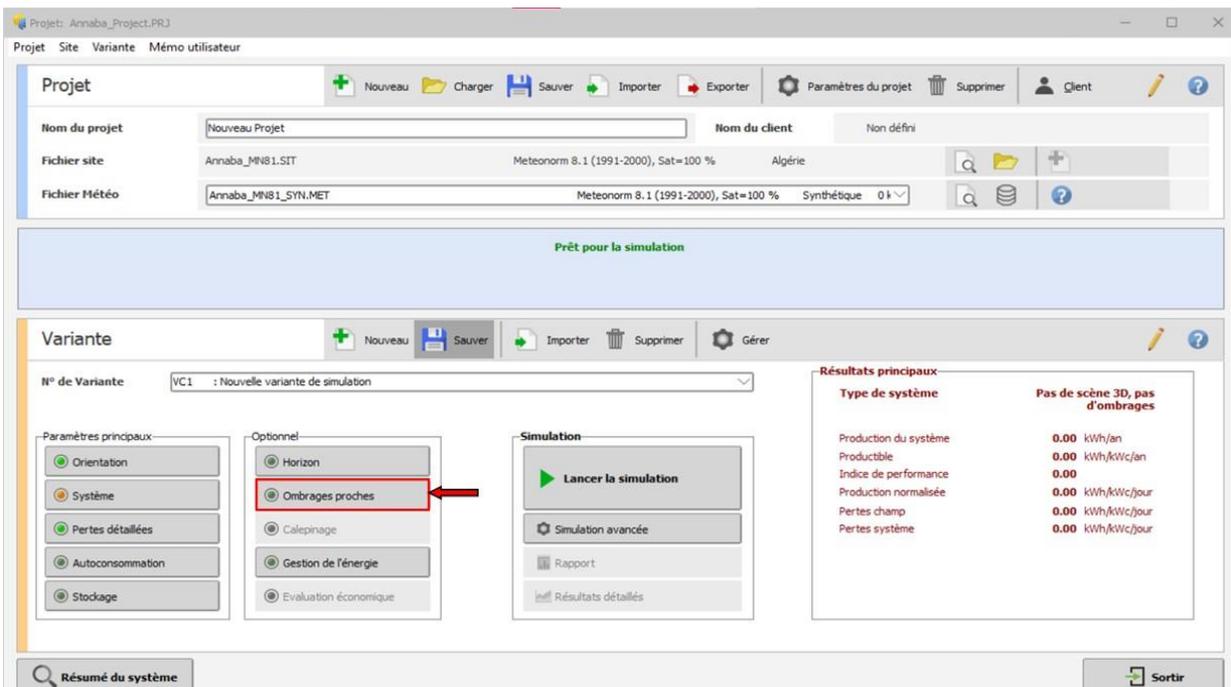


Figure IV.16 : Ombrages proches

Lorsque la nouvelle fenêtre s'ouvre, on sélectionne « Construction / Perspective » et Créer le schéma et déterminer les dimensions responsables du phénomène d'Ombrage.

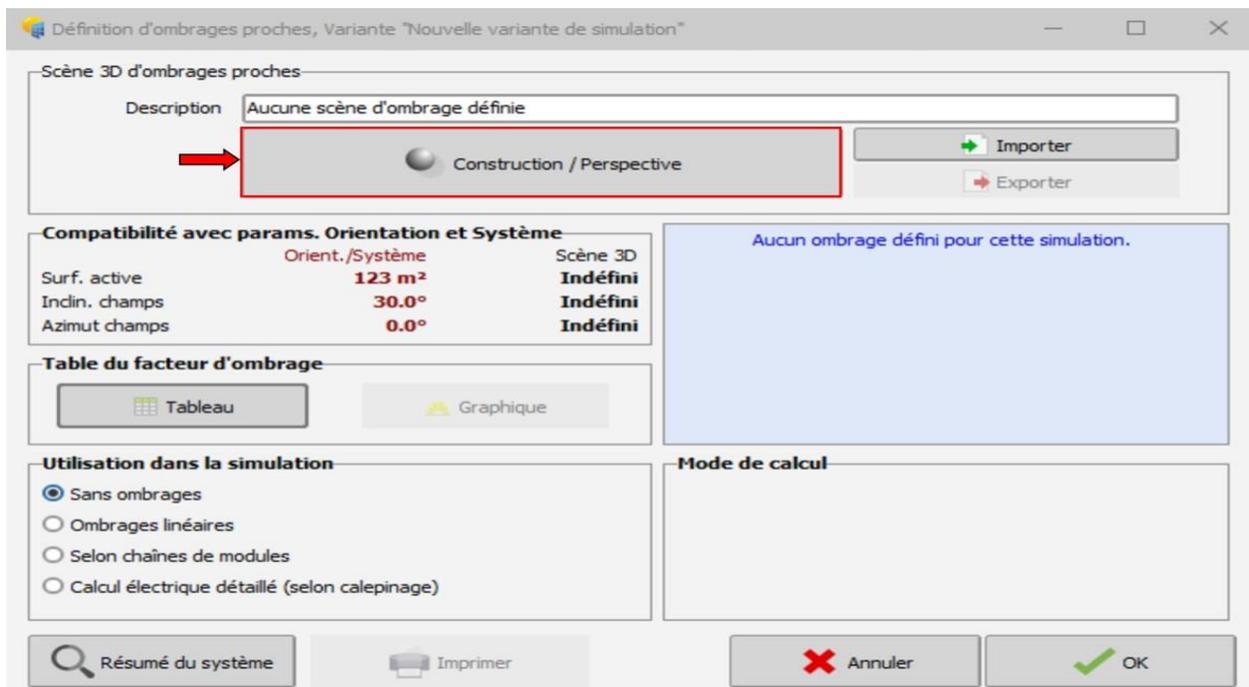


Figure IV.17 : Définition d'ombrage

Après on clique sur « lancer la simulation ».

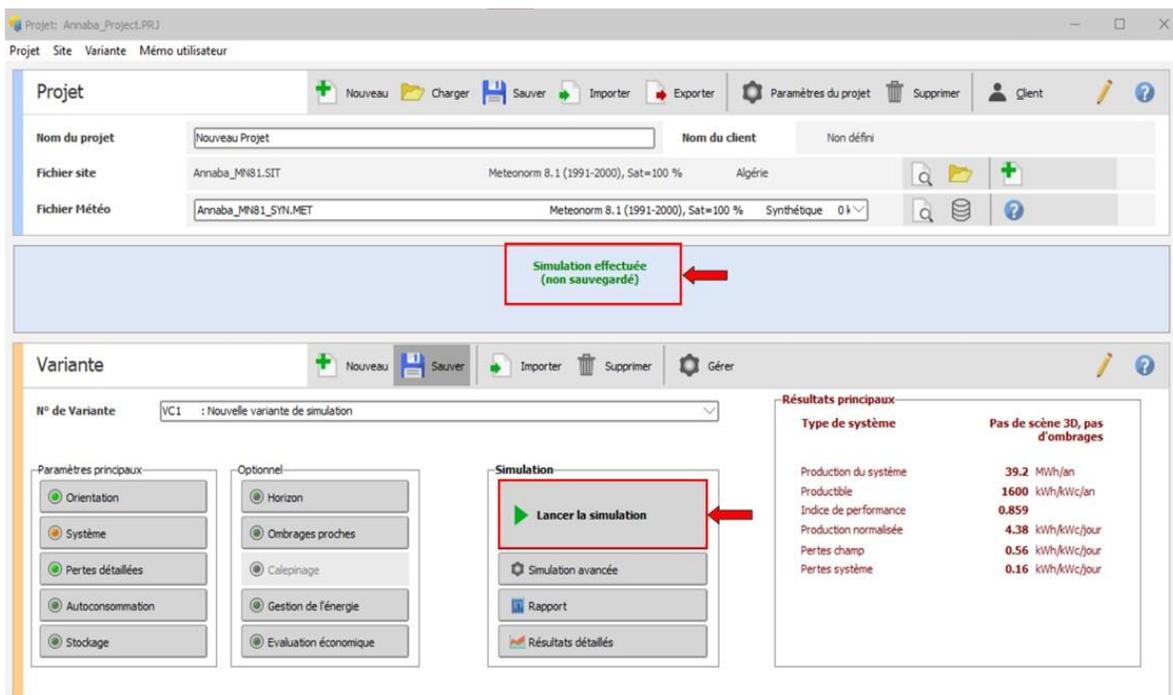


Figure IV.18 : Lancement de la simulation.

La fenêtre suivante apparaît, la simulation est terminée.

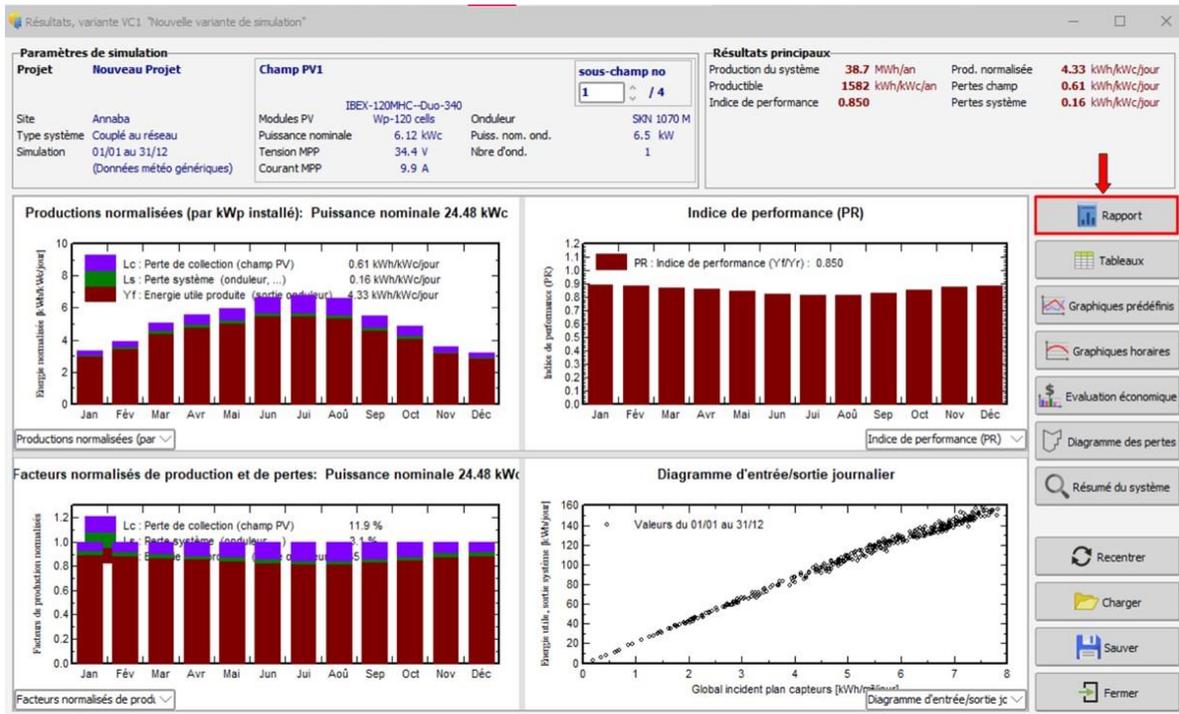
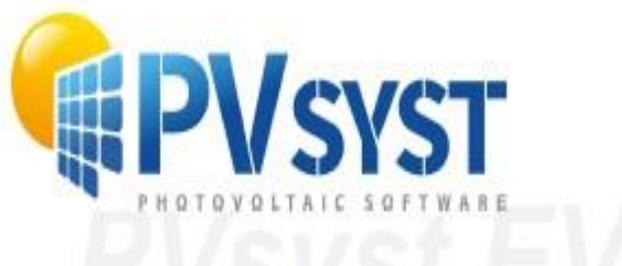


Figure IV.19 : Résultats de simulation.

- Finalement on clique sur « Rapport »

IV5 Résultats de la simulation et discussions

Les principaux résultats des simulations de PVsyst seront présentés sous forme de graphiques et de tableaux, puis tous ces résultats feront l'objet d'une discussion. La faisabilité globale du système sera également examinée.



Version 7.4.6

PVsyst - Rapport de simulation

Système couplé au réseau

Projet : New Project

Variante : Annaba

Sheds au sol

Puissance système : 24.48 kWc

Projet-Algérie

IV.5.1 Résultats des paramètres de simulation

La **Figure IV.20** montre la synthèse du système, la localisation géographique.

Résumé du projet			
Site géographique	Situation	Paramètres du projet	
Annaba	Latitude	36.86 °N	Albédo
Algérie	Longitude	7.74 °E	0.20
	Altitude	20 m	
	Fus. horaire	UTC+1	
Données météo			
Annaba			
Meteonorm 8.1 (1991-2000), Sat=100 % - Synthétique			
Résumé du système			
Système couplé au réseau	Sheds au sol	Besoins de l'utilisateur	
Orientation plan capteurs	Ombrages proches	Charge illimitée (réseau)	
Plan fixe	Ombrages linéaires : Lent (simul.)		
Inclinaison/Azimut			
30 / 0 °			
Information système			
Champ PV	Onduleurs		
Nb. de modules	72 unités	Nombre d'unités	4 unités
Pnom total	24.48 kWc	Pnom total	26.00 kWac
		Rapport Pnom	0.942
Résumé des résultats			
Energie produite	38717 kWh/an	Productible	1582 kWh/kWc/an
		Indice perf. PR	84.98 %

Figure IV.20 : Synthèse du système.

Les caractéristiques générales du système photovoltaïque raccorder au réseau intelligent sont illustrer par la **Figure IV.21**, tel que :

- Le type de système photovoltaïque. Dans notre cas, c'est le système raccorder au réseau Intelligent.
- Le type d'ombrage.
- Les caractéristiques des modules photovoltaïques dans notre projet et leur type.
- Les spécificités des onduleurs photovoltaïques utilisés dans notre projet ainsi que leur catégorie.

On peut également observer les diverses pertes telles que :

- Les pertes de câblages.
- Pertes thermiques.
- Facteur de perte.
- Pertes de qualité des modules.

Paramètres généraux			
Système couplé au réseau		Sheds au sol	
Orientation plan capteurs		Configuration des sheds	
Orientation		Nbre de sheds 12 unités	
Plan fixe		Dimensions	
Inclinaison/Azimut 30 / 0 °		Esp. entre sheds 4.20 m	
		Largeur collecteurs 1.70 m	
		Taux d'utilisation sol (GCR) 40.4 %	
		Bande inactive haut 0.02 m	
		Bande inactive bas 1.20 m	
		Angle limite d'ombrage	
		Angle de profil limite 17.6 °	
Horizon		Ombrages proches	
Pas d'horizon		Ombrages linéaires : Lent (simul.)	
		Besoins de l'utilisateur	
		Charge illimitée (réseau)	

Caractéristiques du champ de capteurs			
Module PV		Onduleur	
Fabricant Swiss Solar		Fabricant Solar Konzept	
Modèle IBEX-120MHC-Duo-340 Wp-120 cells		Modèle SKN 1070 M	
(Base de données PVsyst originale)		(Paramètres définis par l'utilisateur)	
Puissance unitaire 340 Wc		Puissance unitaire 6.50 kWac	
Nombre de modules PV 72 unités		Nombre d'onduleurs 4 unités	
Nominale (STC) 24.48 kWc		Puissance totale 26.0 kWac	
Champ #1 - Champ PV1		Nombre d'onduleurs 1 unité	
Nombre de modules PV 18 unités		Puissance totale 6.5 kWac	
Nominale (STC) 6.12 kWc		Tension de fonctionnement 48-380 V	
Modules 3 chaîne x 6 En série		Rapport Pnom (DC:AC) 0.94	
Aux cond. de fonct. (50°C)			
Pmpp 5.57 kWc			
U mpp 187 V			
I mpp 30 A			
Champ #2 - Sous-champ #2		Nombre d'onduleurs 1 unité	
Nombre de modules PV 18 unités		Puissance totale 6.5 kWac	
Nominale (STC) 6.12 kWc		Tension de fonctionnement 48-380 V	
Modules 3 chaîne x 6 En série		Rapport Pnom (DC:AC) 0.94	
Aux cond. de fonct. (50°C)			
Pmpp 5.57 kWc			
U mpp 187 V			
I mpp 30 A			
Champ #3 - Sous-champ #3		Nombre d'onduleurs 1 unité	
Nombre de modules PV 18 unités		Puissance totale 6.5 kWac	
Nominale (STC) 6.12 kWc		Tension de fonctionnement 48-380 V	
Modules 3 chaîne x 6 En série		Rapport Pnom (DC:AC) 0.94	
Aux cond. de fonct. (50°C)			
Pmpp 5.57 kWc			
U mpp 187 V			
I mpp 30 A			

Caractéristiques du champ de capteurs								
Champ #4 - Sous-champ #4								
Nombre de modules PV	18 unités	Nombre d'onduleurs	1 unité					
Nominale (STC)	6.12 kWc	Puissance totale	6.5 kWac					
Modules	3 chaîne x 6 En série							
Aux cond. de fonct. (50°C)		Tension de fonctionnement	48-380 V					
Pmpp	5.57 kWc	Rapport Pnom (DC:AC)	0.94					
U mpp	187 V							
I mpp	30 A							
Puissance PV totale		Puissance totale onduleur						
Nominale (STC)	24 kWc	Puissance totale	26 kWac					
Total	72 modules	Nombre d'onduleurs	4 unités					
Surface modules	123 m ²	Rapport Pnom	0.94					
Surface cellule	109 m ²							
Pertes champ								
Fact. de pertes thermiques		Pertes câblage DC		Perte de qualité module				
Température modules selon l'irradiance		Rés. globale champ	18 mΩ	Frac. pertes		-1.3 %		
Uc (const)	20.0 W/m ² K	Rés. de câblage globale	4.5 mΩ					
Uv (vent)	0.0 W/m ² K/m/s	Frac. pertes	0.3 % aux STC					
Pertes de mismatch modules		Perte de "mismatch" strings						
Frac. pertes		Frac. pertes						
2.0 % au MPP		0.1 %						
Facteur de perte IAM								
Effet d'incidence (IAM): Fresnel, anti-reflets, n(verre)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000
Pertes câblage AC								
Sortie ond. jusqu'au point d'injection								
Tension onduleur		380 Vac tri						
Frac. pertes		0.06 % aux STC						
Système global								
Section câbles		Cuivre 3 x 10 mm ²						
Longueur câbles		2 m						

Figure IV.21 : Caractéristiques de l'installation PV.

Nous le remarquons (Figure IV.22) : Une image typique de l'emplacement des panneaux solaires et un diagramme graphique montrant la trajectoire du soleil au fil des mois de l'année.

La **Figure IV.23** montre les différents résultats de la simulation à savoir :

- **Les productions normalisées**

Nous remarquons sur le graphique à colonnes pour « P.N » l'énergie utilisable, car sa valeur change avec le changement des mois, et elle s'accompagne à la fois des pertes spécifiques aux panneaux solaires et du système dans son ensemble.

Lc : Les pertes correspondantes au champ PV.

Ls : Les pertes de système.

Yf : Les énergies utiles produites.

- **L'indice de performance**

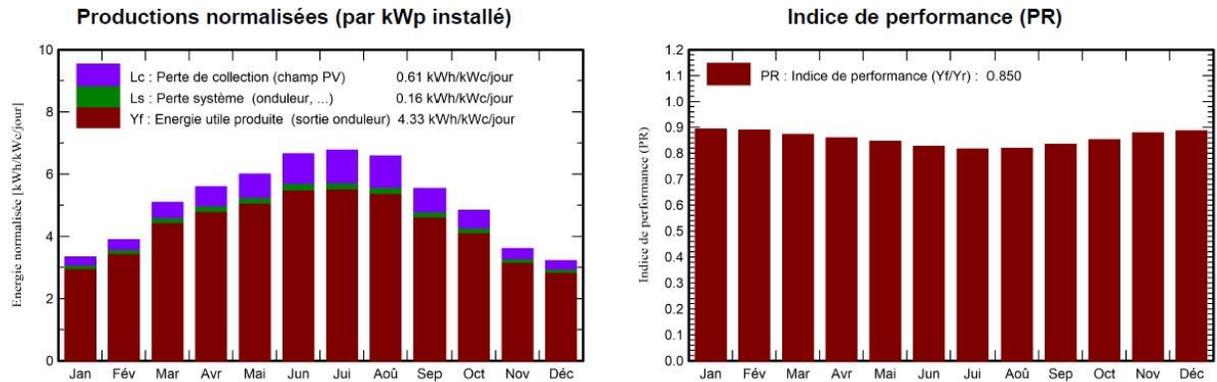
L'indice de performance est une mesure indépendante du lieu et évalue la qualité d'une installation photovoltaïque. Il est également souvent désigné comme un facteur de qualité.

Le rendement réel de l'installation photovoltaïque est exprimé en pourcentage et représente le rapport entre le rendement réel et le rendement théorique. De cette manière, il représente la quantité d'énergie réellement disponible après avoir exclu les pertes d'énergie (telles que les pertes thermiques et les pertes de conductivité) ainsi que la consommation propre au fonctionnement.

- **Bilans et principaux**

Selon les résultats présentés dans le tableau, il est évident que l'énergie générée par le panneau photovoltaïque est en proportion de l'énergie incidente, et que le besoin énergétique du foyer est comblé tout au long de l'année.

- L'énergie générée par le champ photovoltaïque est évaluée à 40133 kWh par an.
- Le besoin total d'énergie est de 38717 kWh par an.



Bilans et résultats principaux

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	ratio
Janvier	66.9	29.13	9.34	103.3	100.4	2343	2257	0.893
Février	81.2	40.25	9.83	108.8	105.7	2457	2368	0.889
Mars	131.1	61.15	13.15	157.8	153.1	3493	3370	0.873
Avril	157.4	76.93	15.83	167.7	162.2	3657	3527	0.859
Mai	190.4	91.65	19.37	185.9	179.2	3992	3852	0.846
Juin	212.4	83.13	23.23	199.5	192.3	4191	4042	0.828
Juillet	219.5	83.44	26.62	209.9	202.7	4345	4195	0.816
Août	196.3	79.10	26.58	204.1	197.7	4237	4090	0.819
Septembre	144.7	62.84	22.97	166.2	161.2	3518	3395	0.835
Octobre	114.3	48.78	19.94	150.1	146.0	3243	3131	0.852
Novembre	74.0	36.29	14.48	108.2	105.0	2413	2327	0.879
Décembre	61.6	26.80	10.94	99.6	96.6	2245	2163	0.887
Année	1649.7	719.48	17.74	1861.1	1802.3	40133	38717	0.850

Figure IV.23 : Les résultats principaux.

IV.5.2 Les pertes

Concernant les pertes, la simulation utilise les valeurs par défaut, qui incluent les pertes des onduleurs, des modules photovoltaïques, ainsi que d'autres composants du système.

Nous pouvons également inclure les pertes supplémentaires dues au câblage. Cependant, il a été décidé de se concentrer sur les pertes de défaut, car les recherches montrent que ces dernières sont sélectionnées de manière très précise et réaliste.

Le diagramme de la **Figure IV.24** est le diagramme des pertes, montre les énergies aux différents niveaux du système, avec une évaluation des pertes à chaque stade.

Diagramme des pertes

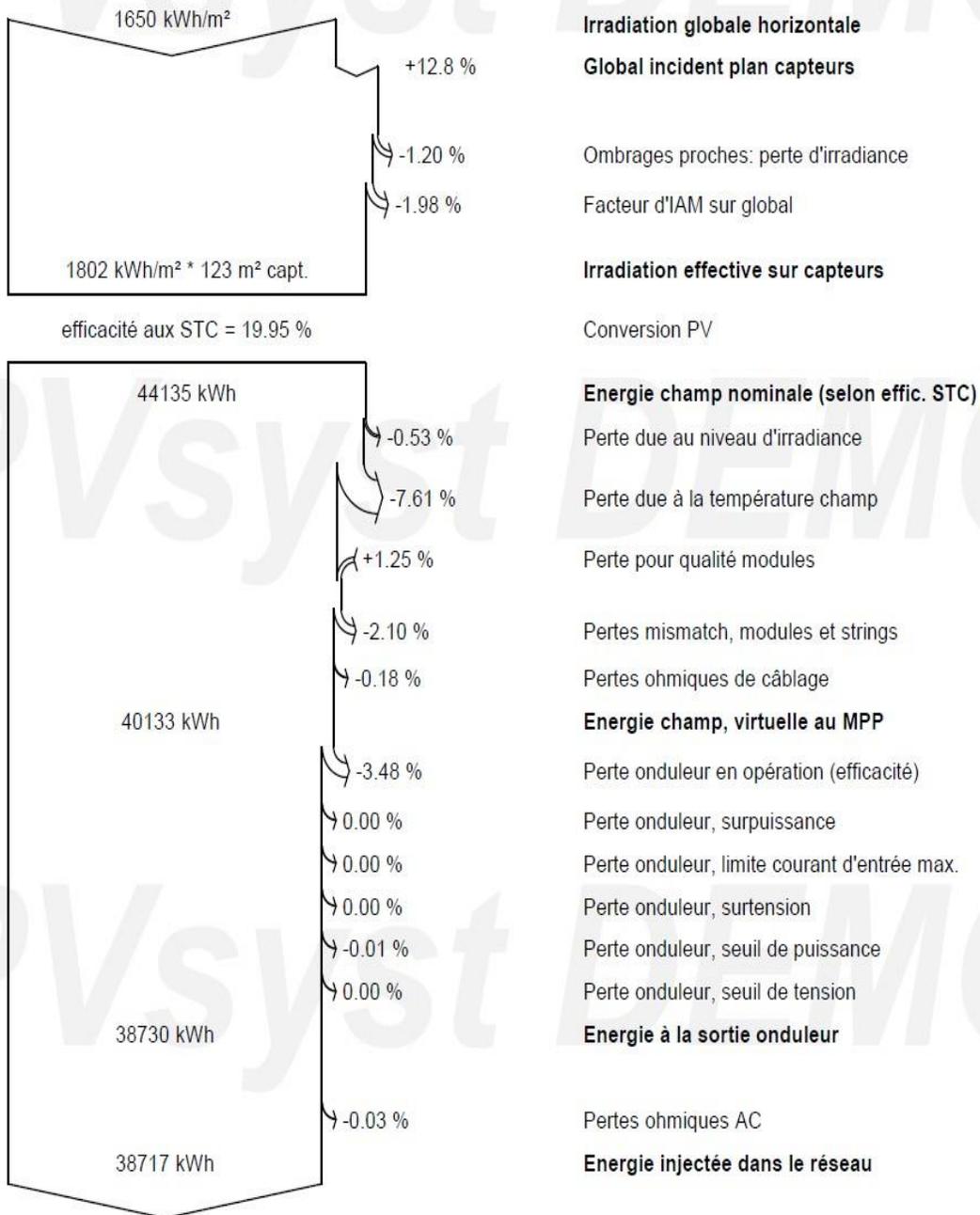


Figure IV.24 : Diagramme des pertes dans le système.

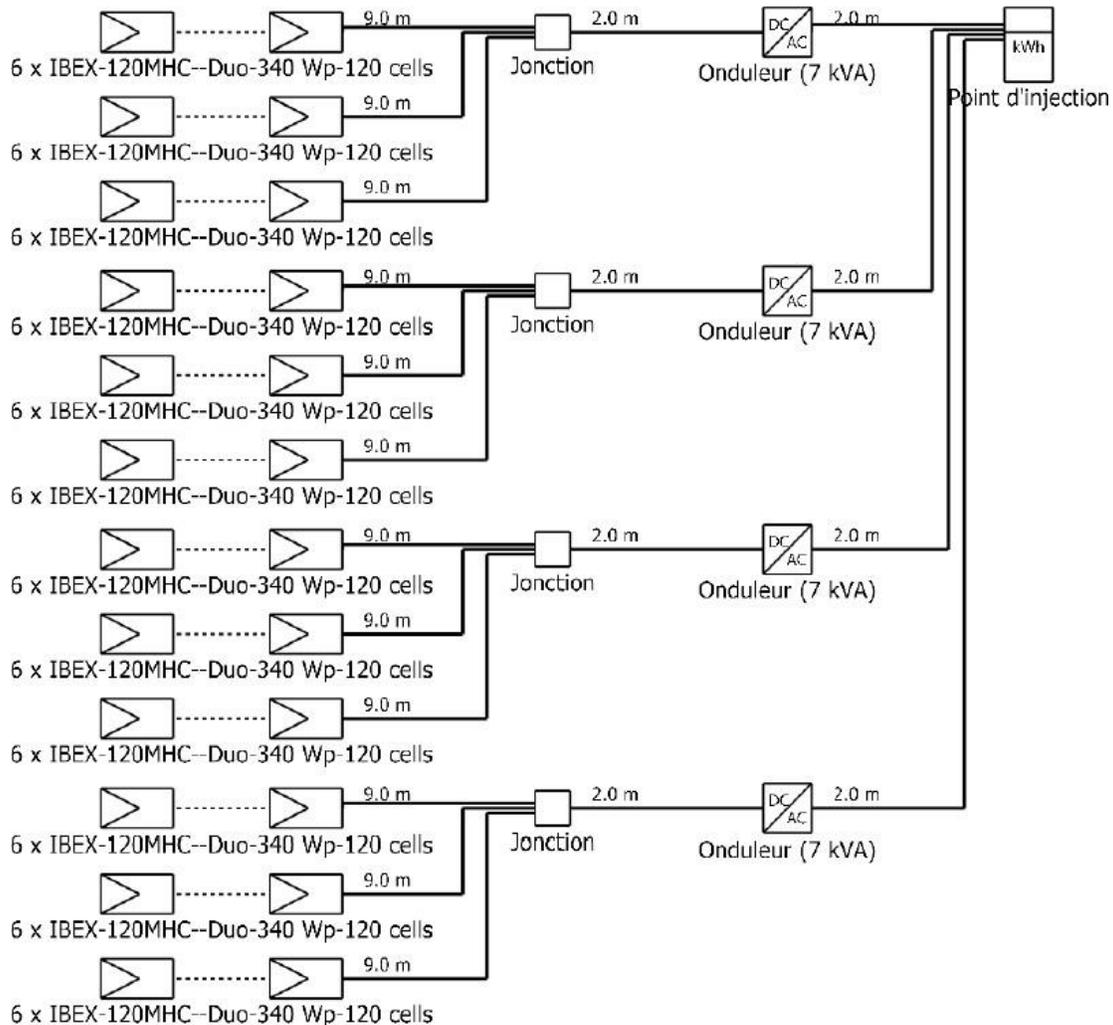


Figure IV.25 : Le schéma unifilaire.

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons découvert le programme de simulation « *PVsyst* » et expliqué toutes les étapes nécessaires pour créer un système photovoltaïque connecté au réseau électrique en simulant notre projet personnel. Enfin, nous avons extrait un rapport détaillé contenant tous les détails de chaque partie du projet.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de ce mémoire, il est clair que les réseaux électriques intelligents et l'intégration des systèmes photovoltaïques constituent des piliers essentiels pour la transition énergétique moderne. L'étude a démontré que les smart grids permettent de gérer efficacement les fluctuations de la production d'énergie renouvelable et d'optimiser l'équilibre entre l'offre et la demande. Les avantages des réseaux intelligents incluent une meilleure qualité de service, une réduction des coûts énergétiques et une résilience accrue face aux perturbations.

Les simulations réalisées avec le logiciel *PVsystem* ont validé les hypothèses de départ et ont mis en lumière les potentialités offertes par l'intégration des systèmes photovoltaïques. En particulier, l'étude a souligné la faisabilité technique des projets photovoltaïques connectés au réseau. L'Algérie, avec son fort potentiel solaire, se positionne avantageusement pour bénéficier de ces technologies.

Les réseaux électriques intelligents et les systèmes photovoltaïques Connecté au réseau (On-Grid) représentent une avancée significative vers un système énergétique plus durable, résilient et économique. La mise en œuvre de ces technologies en Algérie et ailleurs offrira des avantages considérables, contribuant à la réduction des émissions de CO2 et à la sécurisation de l'approvisionnement énergétique.

La continuité des efforts de recherche et de développement ainsi qu'une coopération accrue entre les différentes parties prenantes seront déterminantes pour réaliser pleinement le potentiel de cette transition énergétique.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] M. A. Benhamadouche , Laib Kamel, “ Gestion d’énergie dans un réseau intégrant des systèmes à source renouvelable’’, Mémoire de Master, Université de Msila, Juin 2016.
- [2] KADARI Abed Abdelmoudjib, MOUDJAHED Abderrahmane Yassine, “ conduite des réseaux électriques dans les smart grids ’’, Mémoire de Master, Université de Tiaret, Juin 2015.
- [3] “ opa.dz ’’, <https://opa.dz/amelioration-remarquable-de-l'alimentation-en-energie-electrique-en-algerie/>
- [4] Bouras Ikram , Fethallah Khadra,“ Un système de détection d'intégration pour les smart grids ’’, Mémoire de Master, Université de Tebessa, Juin 2017
- [5] HOMCI Mohammed Ali,BA El Bachir,MEKHIBER Ali,GROUN Boubaker, “ Impact de l'insertion des Énergies Renouvelables sur la Protection de Réseau Électrique’’, Mémoire de Master, Université d'El Oued, Juin 2022.
- [6] Badis LEKOUAGHET, “ Elaboration de nouvelles Approches pour la communication à base des systèmes électriques intelligents.’’, Thèse de Doctorat, Université Mohammed Seddik Benyahia -Jijel- , 2019.
- [7] ZITOUNI Badreddine,HAMDI Mouaad,“ Application des réseaux de neurons artificiels dans le contrôle de la tension des réseaux de distribution intelligents ’’, Mémoire de Master, Université de Ouargla, Juin 2022.
- [8] Réseaux Électriques Intelligents: Livre Blanc’’,
<https://www.scribd.com/document/507078329/49053317>
- [9] “SMART Grid : Déploiement de nouveaux compteurs intelligents STEG “
<https://www.webmanagercenter.com/2022/06/30/489026/smart-grid-deploiement-de-nouveaux-compteurs-intelligents-steg/>
- [10] “ english.mubasher ’’,<https://english.mubasher.info/news/3421931/Saudi-Acwa-led-consortium-wins-100-MW-solar-plant-in-Bahrain>
- [11] “direns.mines-paristech’’,<https://direns.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/fr/co/solaires-directes.html>
- [12] International Renewable Energy Agency (IRENA), "Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2023." IRENA, 2023.
- [13] World Bank, "Solar Mini Grids Could Power Half a Billion People by 2030 – if Action is Taken Now." World Bank, 2023.
- [14] Belkhir, Yanis & Babahamed, Khadidja & Rekioua,“ Séparation électrostatique de matériaux granulaires isolants’’, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia,2020.

- [15] Boutelli, Halima, “ Etude D’un Système Hybride À Sources D’énergie Renouvelables Dans La Région De Ouargla : Application Au Pompage De L’eau ”, Thèse de Doctorat, Université Kasdi Merbah - Ouergla, 2023.
- [16] Algeria global horizontal irradiation [WWW Document], n.d. URL <http://solargis.com/products/maps-and-gis-data/free/download/algeria>».
- [17] M. TELIDJANE, “ Modélisation des panneaux photovoltaïques et adaptation de la cyclostationarité pour le diagnostic,”, Thèse de Doctorat, Université de Jean Monnet Saint-Etienne , Lyon, 2017.
- [18] Sahour Dounia , “ Etude Et Modélisation D’un Panneau Photovoltaïque ”, Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 - Guelma. 2021
- [19] S. FADHEL, “ Efficacité énergétique et Surveillance d’un microgrid à courant continu alimenté par des panneaux photovoltaïques, ”, Thèse de Doctorat, Université l’ENI Sousse, Sousse, 2020.
- [20] “energie plus le site”,
<https://energiepluslesite.be/theories/photovoltaique6/caracteristiques-electriques-des-cellules-et-des-modules-photovoltaiques/>
- [21] A. Bilbao, “ Implémentation Software De L’algorithme Bio-inspiré Soa Pour La Commande Mppt ”, Diplome ingénieur technique indistruel, Universitat Rovira i Virgili, 2006.
- [22] R Khenfer, “ Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques ”, Thèse de Doctorat, l’Université de Setif, 2018.
- [23] Bougandoura Djihane, Boudjenih Hadjer, “ Implémentation Software De L’algorithme Bio-inspiré Soa Pour La Commande Mppt ”, Mémoire de Master, École Nationale Polytechnique - Alger, 2020.
- [24] Bourad, Kahina & Rahrah, Karima & Ouchene, Nassimco-. “ Dimensionnement D’un Système Photovoltaïque Avec Stockage”, Mémoire de Master, Université Abderrahmane Mira - Bejaia, 2021.
- [25] “power-africa.com ”, <https://www.power-africa.com/systeme-photovoltaique-connecte-au-reseau/>
- [26] “ Photovoltaic Systems Engineering" par Roger A. Messenger et Jerry Ventre ”, CRC Press ,2010.
- [27] “ Renewable Energy: Power for a Sustainable Future" par Godfrey Boyle ”, Oxford University Press, 2012.

- [28] Arno Smets, Klaus Jäger, Olindo Isabella, René van Swaaij, and Miro Zema ,“ Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems ”,UIT Cambridge, 2016
- [29] Zema Felix A. Farret et M. Godoy Simões ,“ Grid Integration of Solar Energy: Current Status and Future Prospects ”, Wiley-IEEE Press, 2016.
- [30] Nasir El Bassam et Preben Maegaard,“ Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities: Strategies and Technologies Toward Achieving Sustainability in Energy Generation and Supply ”, Elsevier, 2013.
- [31] Augustin McEvoy, Tom Markvart, and Luis Castañer,“ Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications ”, Academic Press, 2012.
- [32] Jenny Nelson,“ The Physics of Solar Cells ”, Imperial College Press, 2003.
- [33] R. Messenger et J. Ventre,“ Photovoltaic Systems: Analysis and Design ”, CRC Press, 2004.
- [34] Fereidoon P. Sioshansi,“ Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy”, Academic Press, 2011.
- [35] MESSAOUD Ilyes, FARDJALLAH Mohamed ouail , LAIDI Abdelouahed, “ Étude et dimensionnement d'un système photovoltaïque autonome”, Mémoire de Master, Université de Blida 1, 2023
- [36] MOKHTARI MERIEM“ Etude et réalisation d'une installation photovoltaïque”, Mémoire de Master, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA,2021.
- [37] Fairouz Salah Ayache “ Conception et développement d'une application software Pour le dimensionnement et l'étude économique de projets Photovoltaïques”, Mémoire de Master, Université Blida-1, 2023.

Annexe

Annexe

Caractéristiques des équipements de l'installation photovoltaïque

Module PV

- Dimensions : 1698/1004/35 mm
- Marque : SWISS SOLAR - Poids : 19 Kg
- Modèle : IBEX 120MHC-DUO 330-355 - Nombre de Cellules : 120
- Puissance Nominale (STC) : 340 WC - Surface de module : 1.7 m²
- Voc: 42 V - Verre Extérieur: 3.2mm tempered Low Iron Glass
- Icc: 10.48 A - Frame: Stable, anodised aluminum frame, black
- Vmp : 34.2 V - Junction box : Split junction Box (IP68)
- Imp : 9.94 A - Garantie : 20 ans
- Rendement : 19.94 %
- Nombre : 72
- Puissance Nominale : 24,48 kWc
- Branchement : (3 strings x 6 en série) x 4
- Température De Fonctionnement : - 40°C à +85°C

Onduleur

- Type: Hybride On-Grid (04) 04x6.5 kW
- Rendement : 95-98%

Câblage

- 1 x 4mm² (150 m)
- 1 x 10mm² (150 m)
- Câble de mise à la terre (150 m)

Protection

- Piquet de terre (01)
- Parafoudre DC (08)
- Disjoncteur Différentiel (04)
- Disjoncteur DC (04)
- Fusible solaire (24x20A+08x61A)

- Porte fusible solaire (24+8)
- Interrupteur Sectionnaire DC (04)
- Boite de jonction IP65, IK07 spécial (04)
- MC4 (Male/Femelle, Y) (150/150)
- Coffret (01)

Structure

- En Aluminium galvanisé
- Dimensions : 6178X1728X35 mm
- Nombre : 12
- Nombre de panneaux PV par structure/nombre de Structures : 6/12
- Nombre de socles en béton/Volume en béton par socle : 60/0.064
- Volume du béton total est de $0.384m^3$