

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET
FACULTÉ DES SCIENCES PPLIQUEES
DÉPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electro technique

Spécialité : Réseau Electrique

Thème :

**Etude technico-économique des centrales solaires
photovoltaïque**

Présenté par :

MEGHRAOUI Manel

Membres du jury :

Président :	BOURENANE Hayet	« MAA »	Université de Tiaret
Examineur	LARIBI Souad	« MCA »	Université de Tiaret
Examineur	KOULALI Mustapha	« MCB »	Université de Tiaret
Encadreur	BOUMEDIENE Bachir	« MCB »	Université de Tiaret
Co-Encadreur	ARARIA Rabah	« MCB »	Université de Tiaret

PROMOTION 2023 /2024

Remerciement

*Au nom de Dieu le Clément, le Tout Miséricordieux
Je remercie en premier lieu ALLAH le tout puissant de m'avoir
accordé la volonté et le courage pour terminer ce modeste travail*

*Je remercie mon encadrant Monsieur **Boumdiane bachir et
Araria rabah** d'avoir posé un sujet très intéressant et pour leurs
précieux conseils répétés, leur disponibilité et pour m'avoir fait
profiter de leurs connaissances et de leurs qualités tant
professionnelles qu'humaines*

*Je tiens à remercier la présidente et les membres du jury de
m'avoir fait l'honneur d'évaluer mon travail*

*Ma reconnaissance va également à mes enseignants pour leur
honorabile tache durant Ma période d'études. Merci, à tous ceux
qui m'ont aidé de près ou de loin pour Accomplir ce travail*

Merci

Dédicaces

*Je Dédie ce modeste travail en premier lieu à mes parents qui m'ont
soutenues pour me permettre de réaliser tous mes objectifs et qu'ils
trouvent ici toute ma reconnaissance et ma gratitude*

A mon Frère Ma soeur Également à tous les membres de ma famille

Mes oncles et Mes tentes Mes cousins et cousines

Qui Mon soutenues durent tout la période de mes études

Tous mes amis Tous mes collègues d'étude.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire,

Du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur

Tous ceux qui m'aiment et ceux qui j'aime

SOMMAIRE

Remerciements	
Dédicace	
Introduction générale.....	10
Chapitre 1 : Les sources d'énergie et les Systèmes Photovoltaïques	13
Les sources d'énergies	13
Les énergies renouvelables.....	15
Les systèmes photovoltaïques	19
L'effet photovoltaïque	22
Cellules, panneaux et champs photovoltaïques	23
Les systèmes photovoltaïques flottant	25
La classification de différentes installations PV solaires est présentée	26
Examen des différentes installations solaires photovoltaïques flottantes dans le monde.	30
Les barrages.....	32
Chapitre 2 : Conception et dimensionnement d'un projet de ferme photovoltaïque flottante Générateur photovoltaïque (GPV)	37
les différents types d'installations solaires photovoltaïques	38
Topologies des systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique	38
Modèle du panneau photovoltaïque	41
Conditions et techniques d'interconnexions	43
Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau	48
Gisement solaire	52
Rayonnement solaire	52
Mode de dimensionnement des systèmes photovoltaïques	54
Estimation de l'énergie consommée par jour (en Wh/j).....	54
Calcul de l'énergie à produire	55
Méthodes de dimensionnement du générateur photovoltaïque (ensemble des panneaux à installer)	
Mode de dimensionnement des systèmes photovoltaïques	55
L'évaluation de la capacité de stockage des batteries.....	56
Le choix de la section des câbles électriques et dimensionnement.....	57
Choix de régulateur et de l'onduleur.....	57
Chapitre 3 : Évaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante.....	60

Les type de système photovoltaïques flottant	61
Les composants d'un système photovoltaïque	62
Dimensionnement de la ferme photovoltaïque flottante au projet étudié	63
L'application des panneaux solaires	73
Résultats de simulation.....	74
Le coût d'une installation photovoltaïque	89
Conclusion générale	95
Bibliographie.....	96
Résumé	100

Liste des figures

Figure 1: La production mondiale d'énergie primaire

Figure 2: Les deux types d'énergie solaire

Figure 4: Réponse spectacle d'une cellule (PV)

Figure 5: Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque

Figure 6: Photos d'une cellule, d'un panneau et d'un champ photovoltaïque

Figure 7: Principe d'une cellule photovoltaïque

Figure 8: Coupe transversale d'une cellule PV

Figure 9: Systèmes solaires offshore

Figure 10: Centrales solaires flottantes

Figure 11: Disposition de la centrale solaire flottante

Figure 12: Structure de ponton

Figure 13: Conception flottante de refroidissement actif et de concentration, SIT-italy

Figure 14: Générateur photovoltaïque

Figure 15: Structure d'un système hybride [8].

Figure 16: Structure d'un système hybride [8].

Figure 17: Installations des panneaux photovoltaïques connectés au réseau [12].

Figure 18: Topologies des systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique.

Figure 19: Modèle à une seule diode de PV.

Figure 20: Variation de la caractéristique I-V avec : a) le rayonnement solaire b) la température

Figure 21: Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température.

Figure 22: L'algorithme de L'MPPT.

Figure 23 : Schéma du parking connecté au réseau électrique.

Figure 24 : Carte annuelle de l'irradiation solaire globale sur la surface horizontale.

Figure 25: Carte de localisation du barrage Bekhadda et son réseau d'alimentation (Mostafa et mourah , 2016).

Figure 26 : Emplacement du GPVF sur la carte

Figure 271: Interface de logiciel PVsyst 7.3

Figure 28: Définition du projet et d'outil de simulation.

Figure 29: Affectation de la situation et la météo.

Figure 30: Paramètres de site géographique et Coordonnées géographiques.

Figure 31: Paramètres de site géographique météo mensuel.

Figure 32: Création du projet.

Figure 33: Réglage de l'orientation.

Figure 34: Trajectoire du soleil pour Sept mois.

Figure.35 : Réglage des paramètres du système.

Figure.36: PVSYST pour l'étape de la simulation.

Figure.37: Résultats principaux.

Figure 38: Diagramme des pertes.

Figure 39: Diagramme des radiation incident .

Figure 40: Diagramme d'énergie journalisé à la sortie de système.

Figure 41: Diagramme de la puissance de sortie système

Figure 42: Diagramme de la tension/ température du champ .

Figure 43 : Diagramme de probabilité distribution.

Figure 44 : Diagramme single-line.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques électriques typiques d'un GPV LR5-72HIH-560M G2

Tableau 2: Caractéristiques électriques typiques d'un Sinacon PV1000

Tableau 3: Paramètres de rayonnement solaire et météorologiques

Tableau 4: Informations sur le projet du Barrage de Bakhadda 2 MW

Tableau 5 : Estimations de prix par fabricants

Tableau 6 : Prix du panneau photovoltaïque en Algérie.

Tableau 7: échantillons de prix de quelques fabricants

Introduction générale :

Introduction générale :

L'introduction générale de ce document sur l'étude et l'analyse technico-économique des centrales solaires photovoltaïques flottantes vise à présenter le contexte et l'importance de cette étude. L'énergie solaire est devenue une alternative cruciale et durable dans le secteur de la production d'électricité, en raison de sa disponibilité abondante et de ses impacts environnementaux réduits par rapport aux sources d'énergie traditionnelles. Dans ce contexte, les centrales solaires photovoltaïques flottantes émergent comme une solution innovante, offrant des avantages supplémentaires tels que la possibilité de les déployer sur les plans d'eau existants, ce qui permet une utilisation efficace de l'espace et présente des opportunités pour l'électrification des régions éloignées et insulaires.

Ce document se concentre sur une étude approfondie des centrales solaires photovoltaïques flottantes, en fournissant une analyse technique et économique détaillée. Il est divisé en trois chapitres principaux qui couvrent les aspects essentiels de cette technologie. Le premier chapitre présente une vue d'ensemble des énergies renouvelables, en mettant particulièrement l'accent sur l'énergie solaire et ses avantages par rapport aux sources d'énergie conventionnelles. Les avantages de durabilité, de disponibilité et d'impacts environnementaux réduits sont mis en évidence pour souligner l'importance croissante des énergies renouvelables.

Le deuxième chapitre se concentre sur la conception et le dimensionnement des centrales solaires photovoltaïques flottantes. Il explore les différents aspects à prendre en compte lors de la planification d'un projet de ferme photovoltaïque flottante, notamment la sélection de l'emplacement, les contraintes techniques, les considérations environnementales et les choix technologiques. Une attention particulière est accordée aux méthodes de dimensionnement visant à maximiser l'efficacité de la ferme et à optimiser la production d'électricité, afin d'assurer des performances optimales.

Le troisième chapitre aborde l'évaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement des centrales solaires photovoltaïques flottantes. Il présente les outils de simulation utilisés pour estimer les performances de ces installations, en prenant en compte les conditions météorologiques, la géométrie du site et les caractéristiques des modules photovoltaïques. L'analyse des résultats de simulation permet d'évaluer la faisabilité du projet, de déterminer les rendements attendus et d'aider à prendre des décisions éclairées concernant les investissements et la rentabilité économique.

Introduction générale

Cette étude technico-économique des centrales solaires photovoltaïques flottantes fournit une compréhension approfondie des énergies renouvelables, ainsi que des aspects clés de la conception, du dimensionnement et de l'évaluation de projets de fermes photovoltaïques flottantes. Ces informations sont essentielles pour les décideurs, les ingénieurs et les investisseurs intéressés par le déploiement de cette technologie prometteuse, qui contribue à la transition vers un avenir énergétique plus durable.

Chapitre I :

Les sources d'énergie et les Systèmes Photovoltaïques

I.1 Introduction :

L'énergie solaire est devenue une alternative incontournable aux énergies fossiles, en raison de sa disponibilité abondante et durable, de sa nature renouvelable et de son impact environnemental réduit. Les installations photovoltaïques traditionnelles ont connu une croissance significative ces dernières décennies, mais elles nécessitent souvent l'utilisation de terres précieuses, engendrant des conflits d'usage et des coûts supplémentaires. C'est dans ce contexte que les installations photovoltaïques flottantes ont émergé comme une solution prometteuse. Placées sur des plans d'eau tels que des réservoirs, des lacs ou des étangs, ces installations présentent plusieurs avantages majeurs. Elles permettent notamment de préserver les terres pour d'autres usages, d'améliorer l'efficacité énergétique grâce à la réflexion de la lumière solaire par la surface de l'eau et de maintenir les panneaux à une température optimale grâce à l'évaporation. Cependant, malgré les avancées technologiques, les installations photovoltaïques flottantes doivent encore faire face à des défis spécifiques. La résistance aux intempéries, l'impact environnemental sur les écosystèmes aquatiques, la gestion des déchets et des matériaux utilisés, ainsi que l'intégration des systèmes sont autant de questions qui nécessitent une attention particulière. Dans ce chapitre, nous présenterons une revue de l'état de l'art concernant les installations photovoltaïques flottantes. Nous examinerons les avancées technologiques récentes, les études menées sur l'impact environnemental, les stratégies de gestion des déchets, ainsi que les efforts visant à intégrer ces systèmes dans le paysage énergétique global. L'objectif principal de cette revue est de mettre en évidence les progrès réalisés jusqu'à présent, les défis restants à relever et les perspectives futures pour l'utilisation de l'énergie solaire flottante.

I.2 Les sources d'énergies :

Une source d'énergie non renouvelable est une forme d'énergie qui a une capacité limitée, voire inexistante, à se régénérer à l'échelle humaine. Son utilisation est restreinte car la consommation de cette source d'énergie par l'homme est plus rapide que sa capacité de se renouveler, contrairement aux sources renouvelables.

En 2009, les énergies non renouvelables représentaient 89% de la consommation d'énergie mondiale, selon l'Agence internationale de l'énergie. La figure I.1 illustre la production mondiale d'énergie primaire.

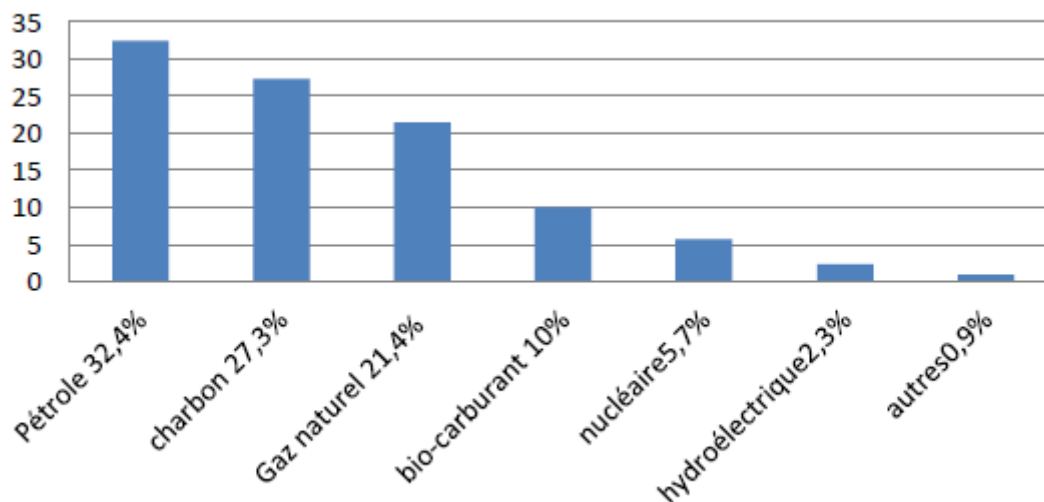


Figure 1: La production mondiale d'énergie primaire [03]

I2.1 Les énergies fossiles :

Le charbon est le combustible fossile le plus ancien qui a été utilisé. Il a joué un rôle crucial dans la première révolution industrielle en Angleterre à la fin du 18e siècle, en fournissant les fondations énergétiques essentielles pour la seconde révolution industrielle jusqu'à la fin du 19e siècle. Bien que sa contribution à l'approvisionnement énergétique mondial ait diminué progressivement en raison de la concurrence du pétrole et du gaz naturel, le charbon reste la deuxième source d'énergie primaire utilisée, se classant après le pétrole et devant le gaz naturel.

Il est important de mentionner que le charbon est également à l'origine de sous-produits utilisés dans divers secteurs industriels tels que l'industrie pharmaceutique, l'industrie des colorants, la production de plastiques et de textiles synthétiques, la fabrication d'engrais, et bien d'autres. En outre, dans certains pays, il est également utilisé pour les besoins domestiques tels que le chauffage et la cuisson des aliments [04].

I.2.2 Le Pétrole :

Le pétrole, un liquide visqueux, tire son nom du latin "Petra - oléum", signifiant huile de roche. Sa couleur lui a valu le surnom d'or noir. Connu depuis des temps immémoriaux, il a d'abord été utilisé pour étanchéifier les navires, puis comme lubrifiant et comme carburant pour l'éclairage (lampes à pétrole, torches). Ce n'est qu'à partir des années 1860, principalement en Allemagne et aux États-Unis d'Amérique, que la recherche de pétrole a réellement commencé. Au début du 19e siècle, le pétrole représentait environ 40% de la consommation mondiale d'énergie[04].

I.2.3 Le Gaz naturel :

Le gaz naturel, également connu sous le nom de gaz hydrocarboné, est un gaz qui se trouve dans les sous-sols de la Terre. Principalement composé de méthane (CH₄), il libère son énergie chimique lors de la combustion en produisant relativement peu de substances polluantes. Les gisements de gaz naturel sont souvent associés à ceux du pétrole, et l'exploitation des champs pétrolifères entraîne généralement une production simultanée de pétrole et de gaz naturel.[04].

I.2.4 Le nucléaire :

L'énergie nucléaire est produite par des transformations des noyaux atomiques, connues sous le nom de réactions nucléaires. Lorsqu'un neutron percute le noyau de certains atomes lourds, le noyau impacté se divise en deux noyaux plus légers. Cette réaction, appelée fission nucléaire, génère une quantité d'énergie extrêmement importante. Elle entraîne une réaction en chaîne entre les noyaux d'autres atomes, libérant de l'énergie cinétique qui est ensuite récupérée sous forme de chaleur dans les réacteurs nucléaires pour être transformée en électricité.[05].

I.3 Les énergies renouvelables :

I.3.1 Energie éolienne :

L'énergie éolienne est définie comme l'énergie produite par le vent. Elle est générée par des éoliennes, des machines électriques entraînées par le vent dans le but de produire de l'électricité.

Lorsque le vent fait tourner une hélice, cela permet la production d'énergie mécanique ou électrique dans des endroits où le vent est suffisamment fort. L'énergie du vent est captée par les pales de l'éolienne, ce qui entraîne la rotation du rotor. En étant couplé à une génératrice, le rotor convertit ensuite l'énergie mécanique en énergie électrique. La quantité d'énergie produite par une éolienne dépend principalement de la vitesse du vent, ainsi que de la surface balayée par les pales et de la densité de l'air.[06].

I.3.2 La Biomasse :

La biomasse est constituée de matière végétale produite par le processus de photosynthèse, qui résulte de la réaction entre le CO₂ présent dans l'air, l'eau et la lumière du soleil. En général, la photosynthèse convertit moins de 1% de la lumière solaire disponible [07]. L'énergie ainsi produite est stockée dans les liaisons chimiques des végétaux. Plus récemment, la biomasse fossile (charbon et pétrole) a été exploitée.

Lorsque des combustibles fossiles issus de la biomasse "ancienne" sont brûlés, cela libère du "nouveau CO₂", contribuant ainsi à l'effet de serre et épuisant une ressource non renouvelable. En revanche, brûler de la "nouvelle" biomasse n'a pas le même impact, car la croissance de nouvelles plantations garantit que le CO₂ est absorbé par les nouvelles plantes [08].

I.3.3 L'énergie solaire :

Le soleil est une source d'énergie pratiquement inépuisable qui envoie un rayonnement à la surface de la Terre, représentant environ 8400 fois la consommation énergétique annuelle. Cela équivaut à une puissance instantanée de 1 kilowatt-crête par mètre carré (KWc/m²), couvrant tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie solaire que celle consommée par l'humanité en une année entière (Figure 2).

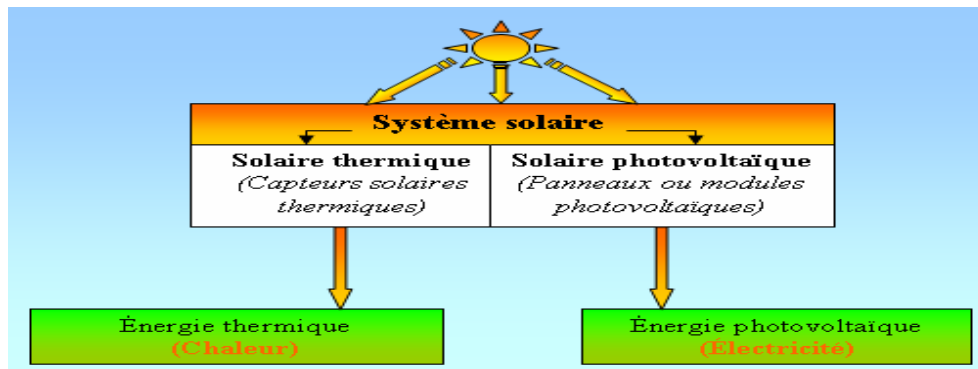


Figure 2: Les deux types d'énergie solaire

I.3.3.1 L'énergie Solaire Photothermique :

Les panneaux solaires thermiques ont pour fonction de convertir la lumière en chaleur, principalement pour le chauffage de l'eau. Pour ce faire, les rayons du soleil traversent d'abord une plaque de verre transparente. Juste en dessous de cette plaque de verre se trouve un absorbeur noir (une plaque métallique recouverte d'une fine couche de chrome) qui absorbe entre 80% et 90% des rayons lumineux. L'absorbeur transforme ensuite ces rayons lumineux en chaleur par le biais du transfert thermique par rayonnement. Lorsqu'il se réchauffe, l'absorbeur émet des infrarouges qui sont piégés entre la plaque métallique et la plaque de verre, créant ainsi un effet de serre. Cela permet à l'air situé entre les deux plaques de se réchauffer, améliorant ainsi le rendement. Par conduction, l'énergie thermique ou la chaleur de l'absorbeur est transférée à un circuit d'eau (appelé liquide caloporteur). L'eau se réchauffe alors et est acheminée vers un réservoir d'eau chaude à l'aide d'une pompe ou par gravité.[09].

II.3.3.2 L'énergie solaire photovoltaïque :

L'énergie solaire photovoltaïque est obtenue en convertissant directement une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie est réalisée grâce à une cellule photovoltaïque (PV) qui exploite un phénomène physique connu sous le nom d'effet photovoltaïque. Lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière, elle génère une force électromotrice. La tension produite peut varier en fonction du matériau utilisé dans la fabrication de la cellule (Figure 3).

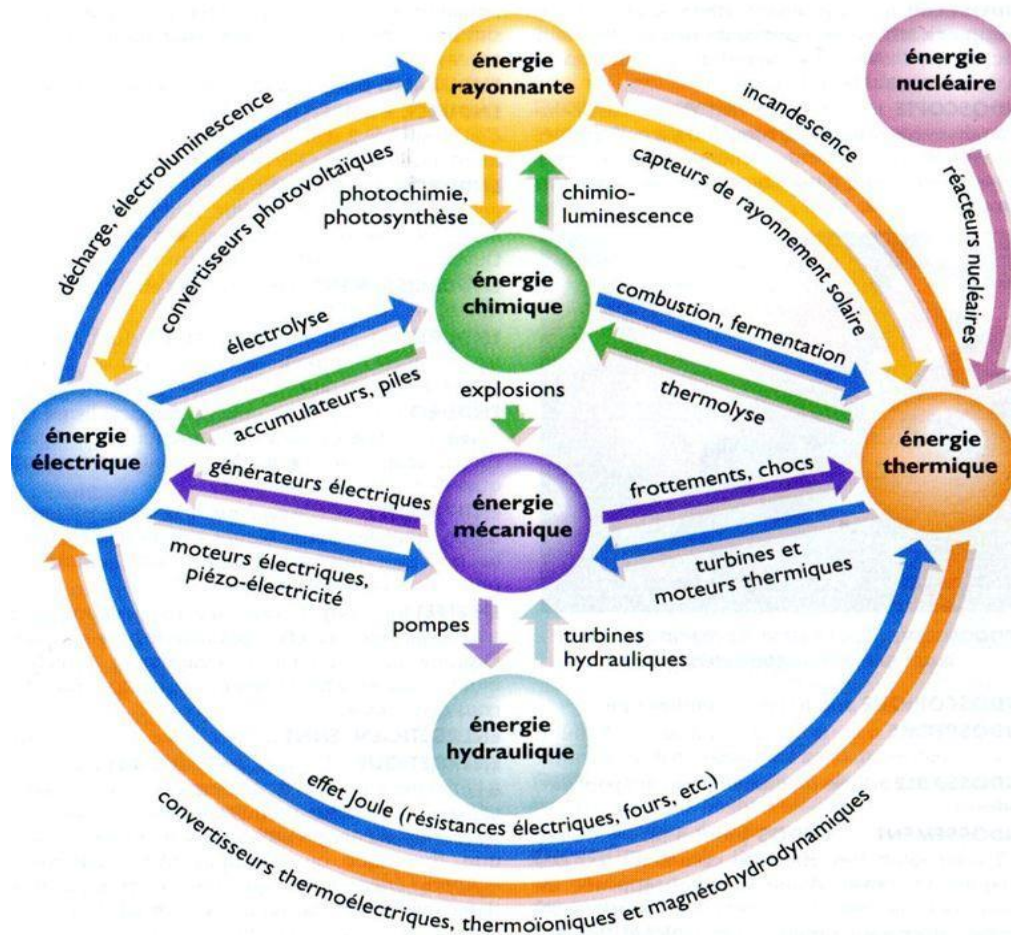


Figure 3: Les différents types des énergies renouvelable

I.3.3.3 Rayonnement solaire

Malgré la vaste distance entre le soleil et la terre, qui s'élève à environ 150.10^6 km, la couche terrestre reçoit une quantité considérable d'énergie solaire, atteignant environ 180.10^6 GW. C'est pourquoi l'énergie solaire est une alternative prometteuse aux autres sources d'énergie (Figure 4). Cette énergie sera émise de la surface terrestre sous forme de

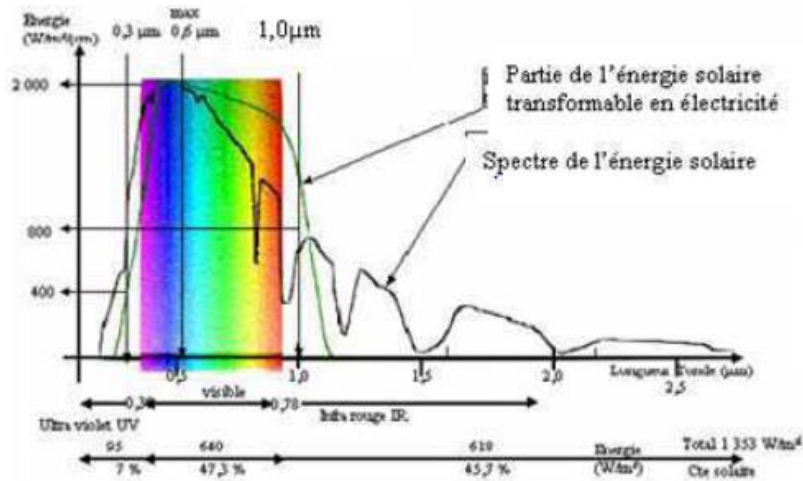


Figure 4: Réponse spectrale d'une cellule (PV)

rayonnement électromagnétique, couvrant une gamme de longueurs d'onde allant de 0.22 à 10 μm [2]. La répartition approximative de cette énergie solaire est la suivante :

- 9 % dans la bande des ultraviolets ($< 0.4 \mu\text{m}$).
- 47 % dans la bande visible ($0.4 \text{ à } 0.8 \mu\text{m}$).
- 44 % dans la bande des infrarouges ($> 0.8 \mu\text{m}$).

Au cours de ces dix dernières années ce spectre à été homologué par l'organisation international de standardisation (ISO 9845-1 :1992) et la société américaine de test et de matériaux (ASTM E 892-87 :1992) ont fixé le flux de standardisation à 1000 W/m^2 .

Cette énergie est définie comme paramètre solaire qui à une valeur variable suivant la saison, l'heure, la localisation géographique du site, les conditions météorologiques (poussière, humidité,...etc.).

I.4 Les systèmes photovoltaïques :

I.4.1 Définition :

Le terme "photovoltaïque" (PV) est formé de deux mots : "photo", qui signifie lumière, et "voltaïque", en référence au physicien italien Alessandro Volta (1745-1825) qui a découvert

la première batterie électrochimique, et qui se rapporte à l'électricité. Ainsi, la conversion photovoltaïque peut être définie comme la transformation directe de la lumière en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque. La principale source de lumière inépuisable étant le soleil [MEK18].

I.4.2 Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque (PV) est obtenue par la conversion directe de l'énergie contenue dans les photons du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion est réalisée grâce à des capteurs appelés cellules PV, qui sont fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes visibles. Lorsque plusieurs cellules PV sont associées en série ou en parallèle, elles forment un générateur photovoltaïque (GPV) qui présente une caractéristique courant-tension I-V non linéaire, avec un point de puissance maximale (PPM).

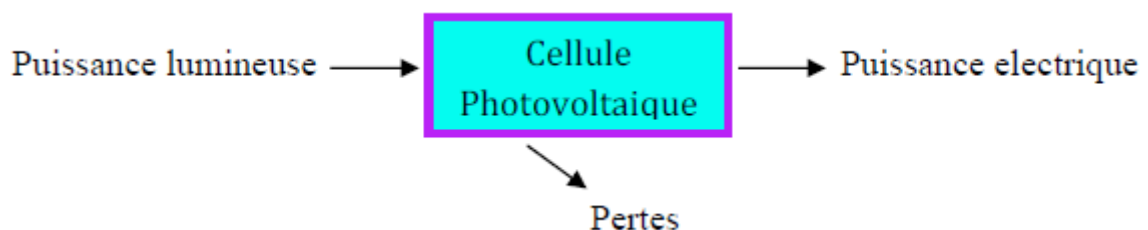
La caractéristique I-V du GPV dépend du niveau d'éclairement et de la tension de la cellule. Le point de fonctionnement du GPV peut varier entre les points extrêmes correspondant au courant de court-circuit I_{sc} et à la tension en circuit ouvert V_{oc} . Le point de fonctionnement du GPV est déterminé directement par la charge à laquelle il est connecté, et peut s'éloigner plus ou moins du PPM qui est caractérisé par le courant et la tension optimaux, notés I_{mp} et V_{mp} .

Dans cette partie, nous commencerons par présenter les principes de base de l'énergie solaire photovoltaïque, puis nous tenterons de définir un modèle applicable aux cellules photovoltaïques. La détermination des paramètres du modèle sera basée sur des données fournies par le fabricant des panneaux solaires.

I.4.3 Historique de l'énergie photovoltaïque

Quelques dates importantes dans l'énergie photovoltaïque

1839 : Le physicien français Edmond Becquerel découvre l'effet photovoltaïque.



1875 : Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.

Chapitre I : Les sources d'énergie et les systèmes photovoltaïques

1954 : Trois chercheurs américains Chapin, Peason et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque.

1958 : Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.

1973 : La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à

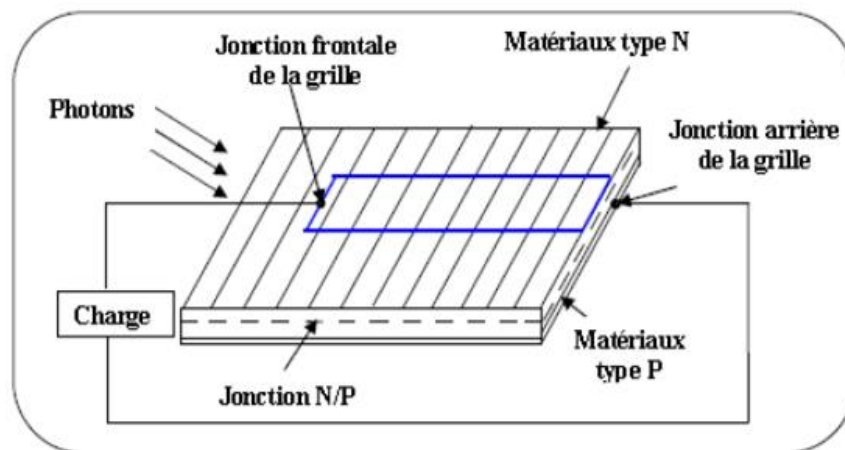


Figure 5: Principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque

l'université de Delaware.

1983 : La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie.

I.4.5 Principe de la conversion photovoltaïque

La cellule photovoltaïque repose sur l'effet photovoltaïque, un phénomène physique qui crée une force électromotrice lorsque la surface de la cellule est exposée à la lumière. La tension générée par la cellule peut varier de 0.3 à 0.7 V, en fonction de facteurs tels que le matériau utilisé, sa structure et la température de la cellule..

La figure (1.5) illustre une cellule PV typique.

Une cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopée P (dopée au Bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore), créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel.

Lorsque les photons sont absorbés par les semi-conducteurs, ils transmettent leurs énergies aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons (charges N) et des trous

(charges P) créent alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positive et négative de la cellule.

La tension maximale de la cellule est d'environ 0.6 V pour un courant nul, cette tension est nommée tension de circuit ouvert V_{oc} . Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-circuitées ; il est appelé courant de court-circuit I_{sc} et dépend fortement du niveau d'éclairage.

I.5 L'effet photovoltaïque :

Le terme "photovoltaïque" est dérivé du grec et signifie "lumière". Il est composé de deux parties : "photos" (lumière) et du nom de famille du physicien italien Alessandro Volta, qui a inventé la pile électrique en 1800 et a donné son nom à l'unité de mesure de la tension électrique, le volt.

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé à la lumière du soleil, les atomes situés à la surface du matériau sont impactés par les photons qui composent la lumière. Sous l'effet de cette interaction, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons de valence) ont tendance à être libérés de leurs atomes :

Si l'électron retourne à son état initial, l'agitation de l'électron entraîne un réchauffement du matériau, convertissant ainsi l'énergie cinétique du photon en énergie thermique.

Cependant, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne retourne pas à leur état initial. Ces électrons libérés créent une faible tension électrique continue. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement convertie en énergie électrique, ce qui est connu sous le nom d'effet photovoltaïque.

L'effet photovoltaïque permet la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique à l'aide de cellules généralement fabriquées à partir de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont connectées ensemble pour former un module solaire.

L'effet photovoltaïque a été observé pour la première fois en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel. Cependant, ce n'est qu'au cours des années 1950 que les chercheurs des laboratoires Bell, aux États-Unis, ont réussi à fabriquer la première cellule photovoltaïque, qui est l'élément de base d'un système photovoltaïque [1].

I.6 Cellules, panneaux et champs photovoltaïques :

La cellule photovoltaïque est l'unité de base qui permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique. Un panneau photovoltaïque est formé d'un assemblage de cellules photovoltaïques. Parfois, les panneaux sont aussi appelés modules photovoltaïques. Lorsqu'on



Figure 6: Photos d'une cellule, d'un panneau et d'un champ photovoltaïque

regroupe plusieurs panneaux sur un même site, on obtient un champ photovoltaïque

I.6.1 Puissance lumineuse et éclairement :

L'éclairement caractérise la puissance lumineuse reçue par unité de surface. Il s'exprime en W/m^2 . La grandeur associée à l'éclairement est notée **E**. Parfois, cette grandeur est aussi appelée irradiante.

I.6.2 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à faire apparaître une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier entre 0.3 V et 0.7 V et dépend principalement du matériau utilisé (Figure 7).

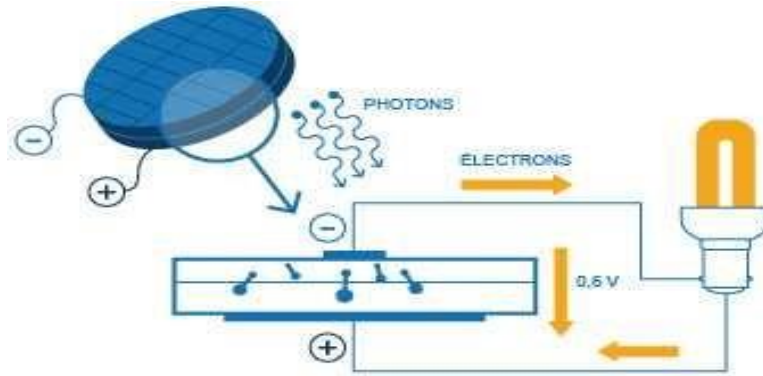


Figure 7: Principe d'une cellule photovoltaïque

Elle peut aussi dépendre de la température et du vieillissement de la cellule. (Figure 8) illustre une constitution détaillée de la cellule.

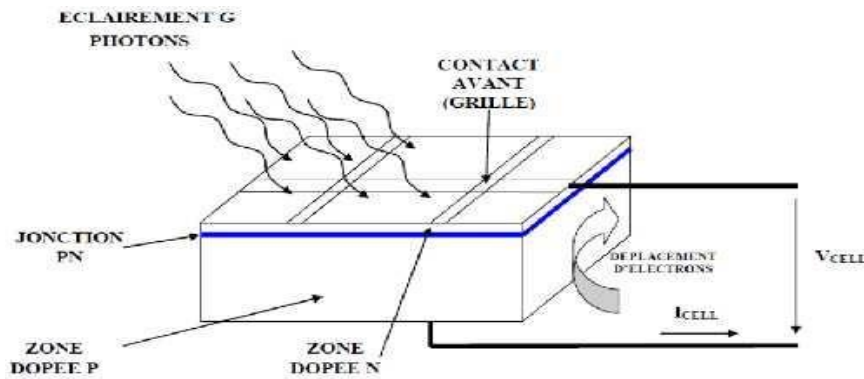


Figure 8: Coupe transversale d'une cellule PV

Une cellule photovoltaïque est constituée de deux couches de silicium, l'une dopée positivement (dopée au bore) et l'autre dopée négativement (dopée au phosphore), formant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transfèrent leur énergie aux atomes de la jonction PN, ce qui libère les électrons de ces atomes, créant ainsi des charges négatives (électrons) dans la zone dopée négativement et des charges positives (trous) dans la zone dopée positivement. Cela crée une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel peut être mesurée entre les bornes positives et négatives de la cellule. En utilisant un circuit externe, on peut récolter ces porteurs de charge de manière continue. La tension maximale de la cellule est d'environ 0,6 V [2] lorsque le courant est nul. Cette tension est appelée tension de circuit ouvert (VOC). Le courant maximal se produit lorsque les bornes de la cellule sont court-

circuites, ce qui est appelé courant de court-circuit (ICC), et il dépend fortement du niveau d'éclairement.

I.7 Les systèmes photovoltaïques flottant :

I.7.1 Définition :

Le photovoltaïque flottant est une technologie émergente qui consiste à installer des panneaux solaires sur des structures flottantes, généralement sur l'eau. Cette technologie présente plusieurs avantages par rapport aux installations solaires terrestres, notamment une utilisation plus efficace de l'espace disponible et une réduction de l'évapotranspiration de l'eau.

I.7.2 Introduction :

Dans les dernières années, les sources d'énergie renouvelable connaissent une croissance rapide dans le monde entier. L'énergie solaire est considérée comme l'une des alternatives énergétiques les plus prometteuses en raison de son ubiquité et de sa durabilité. L'énergie solaire est libre et disponible en grande quantité dans le monde entier [1]. L'application la plus courante de l'énergie solaire est à travers les systèmes photovoltaïques (PV). Les modules photovoltaïques sont l'un des produits les plus efficaces, durables et écologiques dans le domaine de l'énergie renouvelable [2-7]. L'installation de panneaux solaires photovoltaïques a l'inconvénient d'exiger une grande superficie de terrain, qui sera toujours une denrée rare. Il existe de grands plans d'eau dans différentes parties du pays qui peuvent réduire les coûts d'exploitation et d'utilisation du terrain pour la production d'énergie [8]. Ainsi, les systèmes PV peuvent devenir une alternative très logique pour exploiter l'énergie solaire en utilisant les plans d'eau disponibles, ce qui contribue à augmenter la viabilité économique des projets solaires. L'énergie photovoltaïque, bien qu'étant une source d'énergie renouvelable, maintient une faible efficacité de moins de 15% sur sa longue durée de vie [9]. Les installations solaires flottantes génèrent plus d'électricité que les systèmes solaires installés sur le sol et sur les toits en raison de l'effet de refroidissement de l'eau. Ils réduisent également l'évaporation des réservoirs et la croissance des algues en ombrageant l'eau. Les plates-formes flottantes sont à 100 % recyclables, utilisant du polyéthylène haut densité qui peut résister aux rayons ultraviolets et à la corrosion.

L'état de l'art sur le photovoltaïque flottant montre que cette technologie est encore en développement, mais elle a déjà fait l'objet de plusieurs projets pilotes et d'études de

faisabilité dans le monde entier. Voici quelques points clés sur l'état de l'art du photovoltaïque flottant :

Plusieurs types de structures flottantes ont été développés pour soutenir les panneaux solaires, y compris des radeaux flottants, des plates-formes flottantes et des structures flottantes en forme de dôme.

Les projets pilotes de photovoltaïque flottant ont été réalisés dans plusieurs pays, notamment en Chine, en Inde, au Japon, aux États-Unis et en Europe. Ces projets ont généralement été réalisés sur des réservoirs d'eau, des lacs ou des étangs.

I.8 La classification de différentes installations PV solaires est présentée

I.8.1. Projet solaire sur terre classique / montage au sol

Les systèmes photovoltaïques installés au sol sont généralement de grandes centrales solaires à grande échelle. Leurs modules solaires sont maintenus en place par des supports de montage fixés au sol. Les supports de montage au sol comprennent :

- Les supports de poteau, qui sont ancrés directement dans le sol ou fixés dans du béton.
- Les supports de fondation, tels que des dalles en béton ou des semelles coulées.
- Les supports de pied de ballast, tels que des bases en acier ou en béton qui utilisent le poids pour maintenir le système de module solaire en position et n'ont pas besoin de pénétration dans le sol. Ce type de système de montage est bien adapté pour les sites où l'excavation n'est pas possible, comme les décharges scellées, et simplifie la mise hors service ou le déplacement des systèmes de modules solaires.

I.8.2 Projet solaire en toiture Une centrale électrique photovoltaïque en toiture

Est un système photovoltaïque dont les panneaux solaires sont montés sur le toit d'un bâtiment résidentiel.

L'environnement offshore qui tire pleinement parti des rayons du soleil pendant la journée est une option idéale pour l'installation de centrales photovoltaïques (Figure 9). Étant donné que l'un des composants clés des panneaux solaires est le chlorure de cadmium, qui est extrêmement toxique et coûteux, cela affecte à la fois le processus de fabrication et le prix des panneaux solaires. L'eau de mer contient du chlorure de magnésium, qui pourrait remplacer le chlorure de cadmium hautement toxique et coûteux.



Figure 9: Systèmes solaires offshore

I.8.3 Le système solaire flottant basé

Sur les réservoirs/lacs est un nouveau concept, avec aucune installation commerciale en cours et seulement quelques projets de démonstration déployés dans le monde entier [11]. Il existe de nombreux endroits dans le monde qui n'ont pas suffisamment de terres pour les installations photovoltaïques, principalement des îles telles que le Japon, Singapour, la Corée, les Philippines et de nombreux autres. Il y a déjà une demande de systèmes solaires flottants au Japon, aux États-Unis, en Corée, en Australie, au Brésil, en Inde et ailleurs. Ces demandes devraient augmenter et se propager dans le monde entier. Les systèmes solaires flottants peuvent être installés dans des plans d'eau tels que les océans, les lacs, les lagunes, les réservoirs, les étangs d'irrigation, les stations d'épuration des eaux usées, les domaines viticoles, les fermes piscicoles, les barrages et les canaux, etc.

I.8.4 Un module PV

Typique convertit de 4 à 18 % de l'énergie solaire incidente en électricité, selon le type de cellules solaires et les conditions climatiques. Le reste de la radiation solaire incidente est converti en chaleur, ce qui augmente considérablement la température du PV [12,13]. La production d'électricité des cellules solaires varie en fonction de la température. En raison de cela, l'efficacité du module PV dépend de la température. Si nous installions des systèmes solaires PV à la surface de l'eau, ils bénéficieraient d'une température ambiante considérablement plus basse grâce à l'effet de refroidissement de l'eau [7,14-16]. Si des cadres en aluminium sont utilisés pour supporter le module solaire PV flottant, ils transfèrent

également la température plus froide de l'eau, ce qui abaisse la température globale des modules (Figure 10). En moyenne, l'efficacité des panneaux solaires flottants est de 11 % supérieure à celle des panneaux solaires installés au sol.



Figure 10: Centrales solaires flottantes

I.8.4 Concept du système PV flottant :

Il s'agit d'une nouvelle idée d'installer un système photovoltaïque solaire sur les plans d'eau en utilisant la technologie flottante. La production d'électricité résulte de la combinaison de la technologie des centrales photovoltaïques et de la technologie flottante

Panneaux et câbles (Figure 11). Selon une étude, la présence de cette couverture efficace sur le ponton et les panneaux PV des réservoirs a entraîné une réduction de l'évaporation de l'eau. Une recherche menée en Australie suggère qu'environ 40 % de l'eau d'un réservoir ouvert peut être perdue en raison de l'évaporation [18]. Le paramètre le plus important pris en compte pour l'évaluation des performances du FPV est l'efficacité de conversion PV en conditions opérationnelles, qui affecte la génération d'électricité et donc le produit le plus précieux du composant. L'efficacité de conversion d'un module PV est donnée par le rapport entre la puissance électrique générée et l'intensité du rayonnement solaire incident, selon l'expression suivante :

$$\eta = P_{\max} / (S * A_{pv}) * 100\% \times (Pv / el)$$

Où η est l'efficacité électrique (%), P_{\max} est la puissance générée par le module PV (W), S est l'intensité du rayonnement solaire incident sur le module PV (W/m^2), et A_{pv} est la surface frontale du module PV exposée à l'intensité du rayonnement solaire (m^2).

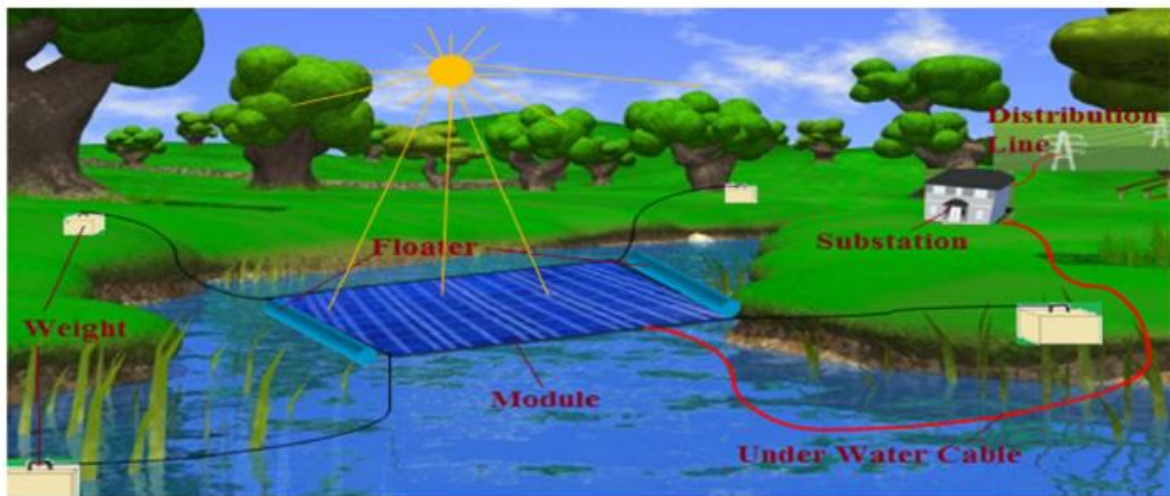


Figure 11: Disposition de la centrale solaire flottante

I.8.6 Composants du système PV flottant

Ponton : Un ponton est un dispositif de flottaison avec une flottabilité suffisante pour flotter seul ainsi qu'avec une charge lourde. La plateforme est conçue pour contenir un nombre suffisant de modules en série et en parallèle en fonction des besoins et de l'espace disponible [19,20]. La (Figure 12) montre les flotteurs et la structure du ponton.

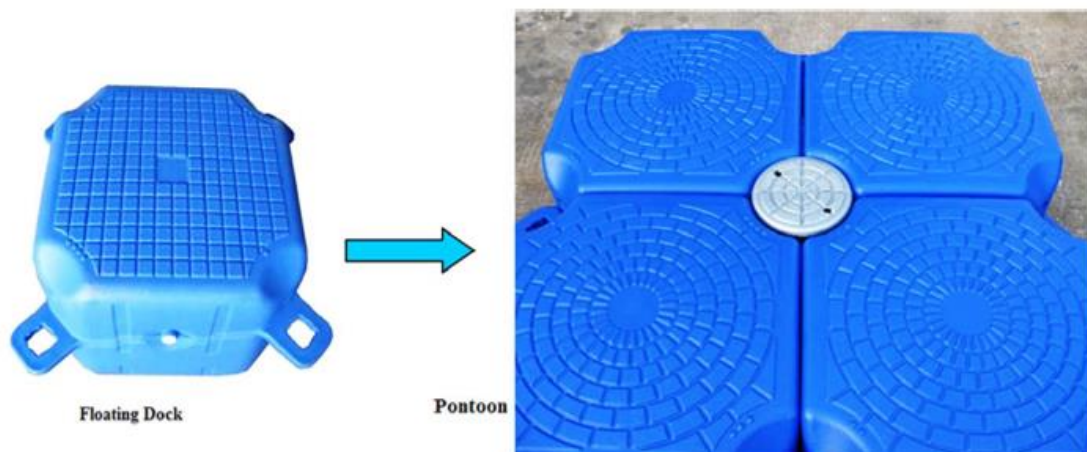


Figure 12: Structure de ponton

Flotteurs : Plusieurs flotteurs creux en plastique avec un rapport flottabilité/poids propre efficace sont combinés encore et encore pour former un gigantesque ponton. Les flotteurs sont généralement fabriqués en polyéthylène haute densité (HDPE), connu pour sa résistance à la traction, sans entretien, résistant aux UV et à la corrosion. Le plastique renforcé

de fibres de verre (GRP) peut également être utilisé pour la construction de la plateforme flottante. L'HDPE est couramment utilisé pour la fabrication de réservoirs de carburant, de bouteilles de lait, de tuyaux d'eau, et peut également être recyclé (Figure 13).

Système d'amarrage : Un système d'amarrage désigne généralement toute structure permanente à laquelle un conteneur peut être fixé. Des exemples incluent les quais, les jetées, les pontons, les bouées d'ancrage et les bouées d'amarrage. Dans le cas d'un système solaire flottant, le système d'amarrage maintient les panneaux en position et les empêche de tourner ou de flotter au loin [21]. L'installation d'un système d'amarrage peut être un défi et coûteuse en eau profonde. Le système d'amarrage pour plateforme flottante peut être réalisé avec des élingues de corde en nylon qui peuvent être attachées à des bollards sur la berge et attachées à chaque coin. La figure 9 montre le système d'amarrage.



Figure 13: Conception flottante de refroidissement actif et de concentration, SIT-italy

I.9 Examen des différentes installations solaires photovoltaïques flottantes dans le monde.

Il y a très peu de fabricants impliqués dans le développement de systèmes PV flottants dans le monde entier (Tableau 2). En Inde également, les fabricants de PV prévoient d'entrer sur le marché des PV flottants. L'Inde prévoit actuellement de construire la plus grande centrale solaire flottante du monde. La centrale devrait produire 50 MW. Ce projet majeur devrait coûter entre 64 et 72 millions de dollars. Elle sera installée dans des plans d'eau dans

l'État méridional du Kerala par la National Hydro Power Corporation avec l'assistance technique de MANIT Bhopal.

I.9.1 les avantages et les inconvénients de systèmes photovoltaïques flottants

Les avantages du photovoltaïque flottant par rapport aux installations solaires terrestres comprennent une utilisation plus efficace de l'espace, une réduction de l'évapotranspiration de l'eau et une amélioration de l'efficacité du refroidissement des panneaux solaires. Les panneaux solaires photovoltaïques flottant ont une efficacité de génération de puissance plus élevée en raison de leur température inférieure sous les panneaux par rapport aux panneaux solaires installés sur terre [29].

Avantage

- Effet d'ombrage.
- Réduction de la croissance des algues.
- Réflectivité naturelle de surface de l'eau
- Pénétration de lumière solaire réduite Des températures d'eau inférieure ont un impact positif sur la performance des systèmes solaire photovoltaïque flottants [30].
- Réduire l'évaporation de l'eau, conserver l'eau en abaissant la température de l'eau et en réduisant la taille de la zone d'eau exposée à l'air, les panneaux solaires flottants peuvent réduire l'évaporation de l'eau jusqu'à 33% sur les lacs et étangs naturels, d'environ 50% sur les installations artificielles [31].
- Economiser des terres précieuses pour les activités agricoles, minières, touristiques et autres activités incitatives à l'occupation des terres et transformer les surfaces d'eau inexploitées et non génératrices de revenu en centrales solaires commerciales.
- Les systèmes solaires flottants offrent une approche globale pour les plans d'eau douce intérieurs les îles éloignées, les barrages hydroélectriques, les étangs industriels, les carrières et les lacs, miniers, les réservoirs d'irrigation et les sites de traitement de l'eau pour devenir des biens immobiliers adaptés au solaire.

Inconvénient

- Les systèmes solaires flottants sont compétitifs en termes de coûts avec les systèmes solaires à axe unique au sol et sur les toits, et utilisent les mêmes panneaux solaires disponibles dans le commerce.
- Les installations solaires flottantes dans la plupart des pays sont admissibles aux subventions fédérales, aux programmes de subventions et d'incitations similaires à l'installation de panneaux solaires flottants ne peut pas être réalisée en mer car les marées affectent continuellement la position des panneaux [36].
- La forte vitesse du vent en mer affecte également l'efficacité de production d'énergies du système de panneaux solaires flottants
- Les centrales solaires flottantes ont besoin de systèmes de mouillage à contrôle directionnel pour maintenir efficacement le même azimut (direction) et la même position sur l'eau. Le changement de direction des modules solaires réduit la production d'énergie.
- Les problèmes de stress et de vibration sont plus courants dans les centrales solaires flottantes en raison du vent, des vagues et des forces externes. Les productions d'électricité et pose des problèmes de durabilité
- La participation du public et des organisations concernées dès les premières étapes de la planification est nécessaire pour assurer l'acceptation du public [18].

I.10 Les barrages

Il est important de noter que la production d'énergie solaire ne dépend pas directement du type de barrage, mais plutôt de l'installation de panneaux solaires photovoltaïques ou de centrales solaires thermiques à proximité du barrage ou sur ses crêtes. Les barrages fournissent alors un stockage d'énergie et une régulation des débits d'eau pour soutenir la production d'énergie solaire.

Les barrages d'eau classés en fonction de leur volume d'eau, de leur surface et de leur utilisation dans la production d'énergie solaire :

- **Barrage de retenue** : Il s'agit d'un type de barrage conçu pour stocker une grande quantité d'eau dans un réservoir. Ces barrages peuvent être de petite ou de grande taille en fonction du volume d'eau qu'ils peuvent retenir. Ils sont principalement utilisés pour la régulation des débits d'eau, l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable et la production d'énergie hydraulique. Bien qu'ils ne soient pas directement

liés à la production d'énergie solaire, ils peuvent être combinés avec des centrales solaires thermiques pour fournir de l'énergie propre.

- Barrage à voûte : Ce type de barrage est construit en béton ou en maçonnerie et est courbé vers l'aval. Les barrages à voûte utilisent la résistance de la structure pour retenir l'eau. Leur surface et leur volume d'eau dépendent de la conception spécifique du barrage. Ils peuvent être utilisés pour la production d'énergie hydraulique, mais pas directement pour la production d'énergie solaire.
- Barrage-poids : Les barrages-poids sont des barrages massifs construits en béton ou en terre. Ils sont principalement utilisés pour la production d'énergie hydraulique. Bien qu'ils puissent être utilisés en combinaison avec des installations solaires sur leurs crêtes pour la production d'énergie solaire, l'énergie hydroélectrique est généralement leur principale fonction.
- Barrage mobile : Il s'agit d'un type de barrage qui peut être déplacé en fonction des besoins. Ces barrages peuvent être construits à partir de matériaux tels que l'acier ou le béton et peuvent être utilisés pour créer des réservoirs temporaires ou pour contrôler les débits d'eau dans les cours d'eau. Ils ne sont généralement pas utilisés pour la production d'énergie solaire.
- Veuillez noter qu'il existe de nombreux autres barrages d'eau à travers le monde, chacun avec son nom et son pays d'implantation. Cette liste n'est qu'un échantillon représentatif et ne couvre pas tous les barrages existants.
- Quelques exemples de barrages d'eau à travers le monde :
 - Barrage des Trois Gorges - Chine
 - Barrage d'Itaipu - Brésil/Paraguay
 - Barrage d'Assouan - Égypte
 - Barrage de Hoover - États-Unis
 - Barrage des Quatre Vallées - Suisse
 - Barrage d'Aswan High - Égypte
 - Barrage de Kariba - Zimbabwe/Zambie
 - Barrage de Tarbela - Pakistan
 - Barrage de Guri - Venezuela

- Barrage de Grand Coulee - États-Unis

Quelques types de barrages d'eau en Algérie :

- Barrage de Timgad : Situé dans la wilaya de Batna, c'est un barrage de retenue utilisé principalement pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation.
- Barrage de Beni Haroun : Situé dans la wilaya de Mila, c'est l'un des plus grands barrages d'Algérie. Il sert à l'approvisionnement en eau potable, à l'irrigation et à la production d'énergie hydroélectrique.
- Barrage de Taksebt : Situé dans la wilaya de Tizi Ouzou, il est utilisé pour la régulation des débits d'eau et l'irrigation.
- Barrage de Koudiat Acerdoune : Situé dans la wilaya de Tlemcen, c'est un barrage de retenue utilisé pour l'irrigation et la production d'énergie hydroélectrique.
- Barrage de Boukourdane : Situé dans la wilaya de Béjaïa, il est utilisé pour la régulation des débits d'eau et l'irrigation.
- Barrage de Ghrib : Situé dans la wilaya de Sétif, il est utilisé pour la régulation des débits d'eau et l'irrigation.
- Barrage de Koudiat Medouar : Situé dans la wilaya de Constantine, il est utilisé pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation.
- Barrage de Fergoug : Situé dans la wilaya de Djelfa, il est utilisé pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation.
- Ces barrages en Algérie jouent un rôle important dans la gestion des ressources en eau, l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation des terres agricoles. Certains d'entre eux peuvent également produire de l'énergie hydroélectrique.

I.11 Conclusion :

Ce chapitre a permis d'explorer le domaine des installations photovoltaïques flottantes dans le contexte de l'énergie solaire. Nous avons mis en évidence les enjeux liés à cette source d'énergie renouvelable, ainsi que l'évolution des installations photovoltaïques flottantes au fil du temps. Nous avons constaté que ces installations offrent de nombreux avantages, tels que la préservation des terres, une meilleure efficacité énergétique et une gestion optimale de la température des panneaux solaires. Elles représentent une solution innovante pour répondre aux contraintes foncières et contribuer à la transition vers des sources d'énergie plus durables. Cependant, malgré les progrès technologiques réalisés, des défis persistent. La résistance aux intempéries, l'impact environnemental sur les écosystèmes aquatiques, la gestion des déchets et des matériaux utilisés, ainsi que l'intégration harmonieuse de ces installations dans le paysage énergétique global sont autant de préoccupations essentielles. L'état de l'art présenté dans ce chapitre a permis d'identifier les avancées réalisées jusqu'à présent dans le domaine des installations photovoltaïques flottantes. Les chercheurs et les ingénieurs ont développé des technologies plus durables et résistantes, tout en se souciant de minimiser l'impact environnemental et de garantir une intégration harmonieuse dans les écosystèmes aquatiques. En regardant vers l'avenir, il est crucial de poursuivre les recherches et les efforts de développement pour surmonter les défis restants. Des stratégies innovantes de gestion des déchets, des études approfondies sur l'impact environnemental et des avancées technologiques continues seront nécessaires pour rendre les installations photovoltaïques flottantes encore plus viables et efficaces.

Chapitre II :

**Conception et dimensionnement d'un
projet de ferme photovoltaïque flottante**

Introduction :

La modélisation d'un système photovoltaïque et la gestion solaire sont des éléments essentiels pour optimiser les performances et l'efficacité des installations solaires. Dans ce chapitre, nous aborderons les principaux aspects de la modélisation d'un système photovoltaïque, ainsi que la définition et les avantages d'une gestion solaire efficace. De plus, nous explorerons le logiciel PV System, un outil puissant utilisé pour simuler et analyser les performances des systèmes photovoltaïques.

Tout d'abord, la modélisation d'un système photovoltaïque consiste à représenter mathématiquement et informatiquement le comportement d'un système solaire en fonction de différents paramètres tels que l'ensoleillement, la température, la configuration des panneaux solaires, les caractéristiques des composants électroniques, etc. Cette modélisation permet de prédire la production d'énergie solaire, d'optimiser la conception du système et de prendre des décisions éclairées lors de l'installation et de l'exploitation du système.

Ensuite, la gestion solaire est une approche systématique visant à maximiser la production d'énergie solaire en ajustant les paramètres du système en fonction des conditions environnementales changeantes. Une gestion solaire efficace implique la surveillance continue des performances du système, la collecte de données en temps réel sur l'ensoleillement et la température, ainsi que la prise de décisions automatiques ou manuelles pour optimiser le rendement énergétique.

Le logiciel PV System est un outil informatique spécialement conçu pour la modélisation et la gestion des systèmes photovoltaïques. Il offre des fonctionnalités avancées telles que la simulation de l'ensoleillement sur une période donnée, le calcul précis de la production d'énergie solaire, l'optimisation des paramètres du système, la visualisation des données en temps réel et l'évaluation de la performance du système. Le logiciel PV System facilite la planification, la conception et l'exploitation des systèmes photovoltaïques en fournissant des informations précieuses aux ingénieurs, aux installateurs et aux exploitants.

Dans ce chapitre, nous examinerons en détail les principes de base de la modélisation d'un système photovoltaïque, les concepts clés de la gestion solaire et les fonctionnalités offertes par le logiciel PV System. Nous mettrons également en évidence les avantages d'une modélisation précise et d'une gestion solaire efficace, notamment en termes d'optimisation des performances, de rentabilité économique et d'impact environnemental réduit.

II L'architecture de systèmes photovoltaïques :

II.1 Générateur photovoltaïque (GPV) :

Un générateur photovoltaïque (GPV) (voir la figure II.1) est un système qui utilise des panneaux solaires photovoltaïques pour convertir l'énergie solaire en électricité. L'association des modules en série ou en parallèle permet d'ajuster la tension et le courant de sortie en fonction des besoins spécifiques du système.



Figure 1: Générateur photovoltaïque

II.2 les différents types d'installations solaires photovoltaïques :

L'installation des systèmes photovoltaïques (PV) peuvent être classés en trois catégories principales :

- Systèmes autonomes.
- Systèmes hybrides.
- Systèmes raccordés au réseau.

II.2.1 Les systèmes autonomes :

Selon le besoin, les systèmes autonomes alimentent un ou plusieurs consommateurs situés dans des zones isolées du réseau électrique. La Figure (II.2) ci -dessous représente l'exemple d'un système PV autonome raccordé à un système de stockage pour répondre aux besoins des consommateurs à chaque à chaque moment.

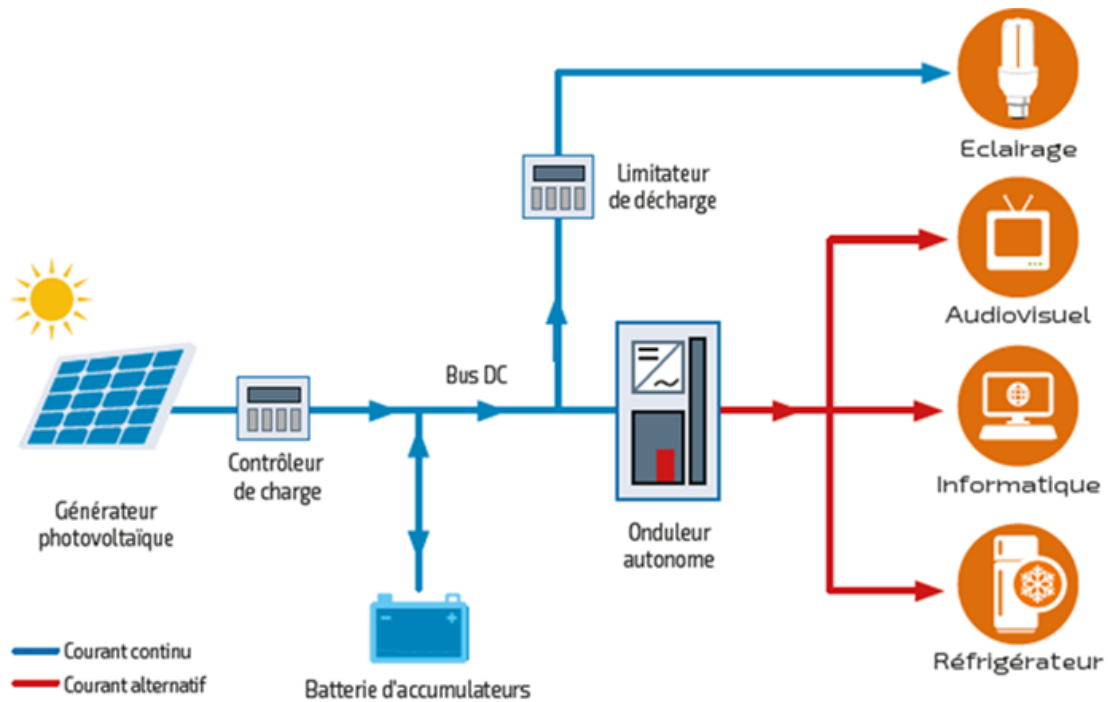


Figure 2: Structure d'un système hybride [8].

II.2.2 Les systèmes photovoltaïques Hybrides :

Les systèmes photovoltaïques hybrides sont des installations qui combinent des panneaux solaires photovoltaïques (figure II.3) avec d'autres sources d'énergie (éolien, groupe électrogène, système hydroélectrique,) pour répondre à la demande énergétique de manière plus efficace et fiable. Ces systèmes permettent d'optimiser l'utilisation de l'énergie solaire et de compenser les variations de la production solaire en intégrant d'autres sources d'énergie complémentaires.

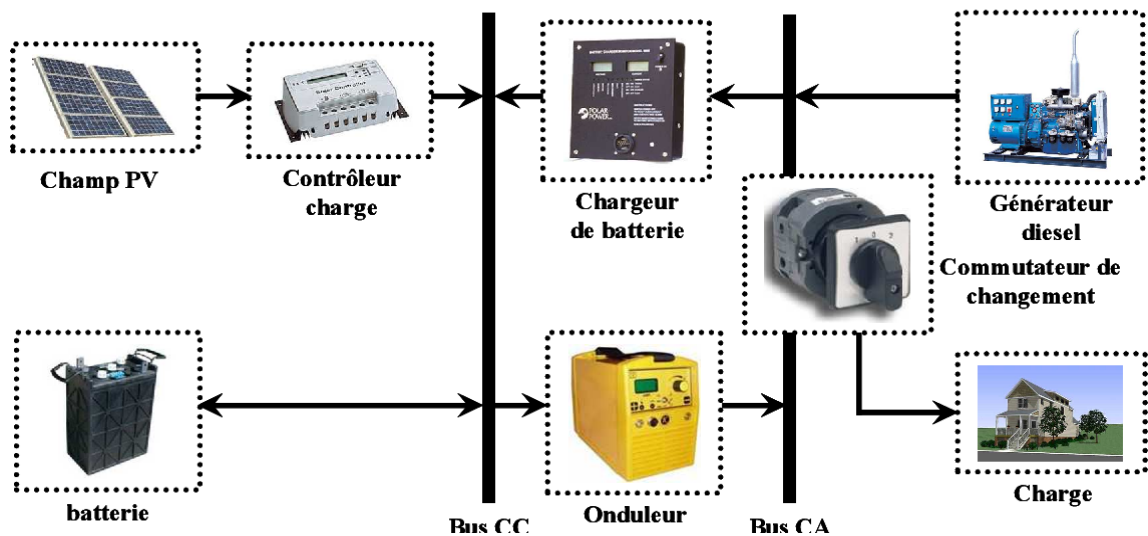


Figure 3: Structure d'un système hybride [8].

II.2.3 Les systèmes raccordés au réseau :

Les systèmes photovoltaïques se raccordent directement au réseau électrique à l'aide des convertisseurs de courant. Ce type des systèmes offre beaucoup de facilités pour le (producteur/consommateur) puisque c'est le réseau qui s'occupe du maintien de l'équilibre entre la production et la consommation d'électricité. La Figure (II.4) représente un système PV connecté au réseau électrique [5]:

Les avantages de ce type des systèmes PV sont :

- Absence de batteries (on ne stocke plus l'énergie, on l'injecte directement dans le réseau local).
- Toute l'énergie produite est récupérée.

II.2.4 Installation photovoltaïque interconnectée au réseau :

Le raccordement ne peut se faire qu'après transformation, à l'aide d'un onduleur du courant continu de tension variable fourni par les panneaux en courant alternatif adapté aux caractéristiques du réseau. Ce système est actuellement soutenu par les pouvoirs publics. En fait, la technologie photovoltaïque exploite l'effet photoélectrique, par lequel des semi-conducteurs correctement <dopés> génèrent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés au rayonnement solaire. La génération d'énergie est imprévisible en raison de la variabilité de la source d'énergie solaire.

Une installation PV est essentiellement constituée d'un générateur (panneaux PV), d'un cadre de support pour monter les panneaux au sol, d'un système de contrôle de l'énergie et de climatisation, d'un éventuel système de stockage de l'énergie [12].

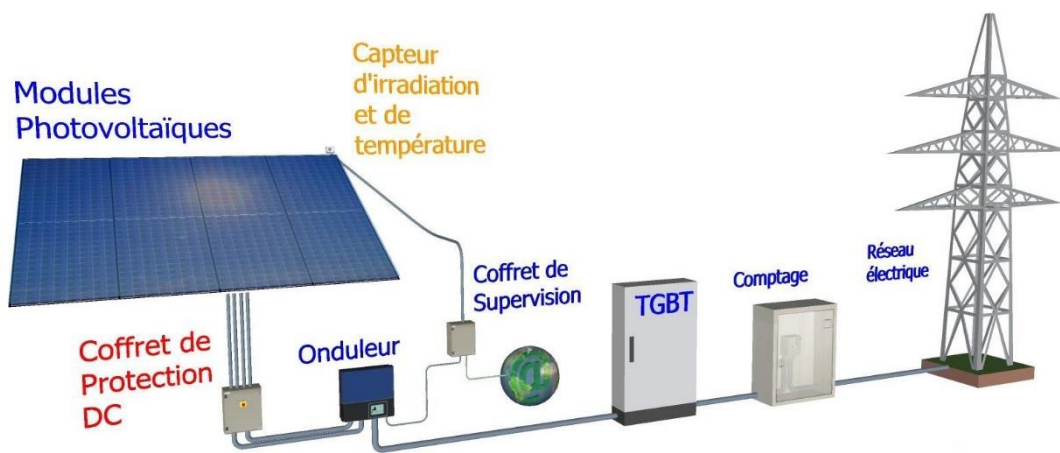


Figure 4: Installations des panneaux photovoltaïques connectés au réseau [12].

II.3 Topologies des systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique :

Afin de se connecter au réseau électrique, deux solutions s'offrent à nous : la connexion via un étage d'adaptation (DC/AC), ou bien par le biais de deux étages (DC/DC et DC/AC).

II.3.1 La connexion via un étage d'adaptation (DC/AC) :

Il existe différentes topologies de gestion de ces systèmes photovoltaïques connectés au réseau. Néanmoins, toutes ces approches reposent sur un générateur photovoltaïque raccordé au réseau par le biais d'onduleurs qui transfèrent vers le réseau de l'énergie solaire électrique. Les progrès réalisés dans le développement des onduleurs dédiés au photovoltaïque ont permis de faire évoluer grandement ces systèmes de gestion. Les onduleurs ne se limitent plus seulement à transformer la puissance continue (DC) générée par les panneaux solaires en puissance alternative sous forme d'une tension sinusoïdale de fréquence souhaitée (par exemple : 230 V/400V – 50Hz), mais ils exploitent également la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque en le forçant à fonctionnera son point de puissance maximal. De plus, ils assurent une surveillance fiable du réseau pour protéger ce dernier contre les pannes et interrompre, l'alimentation en cas de problèmes survenant, soit du réseau, soit de l'installation. Actuellement, il existe principalement trois architectures d'onduleurs donnant de bonnes solutions techniques : l'onduleur central, les onduleurs strings et les onduleurs intégrés aux panneaux Figure (II.6) [5].

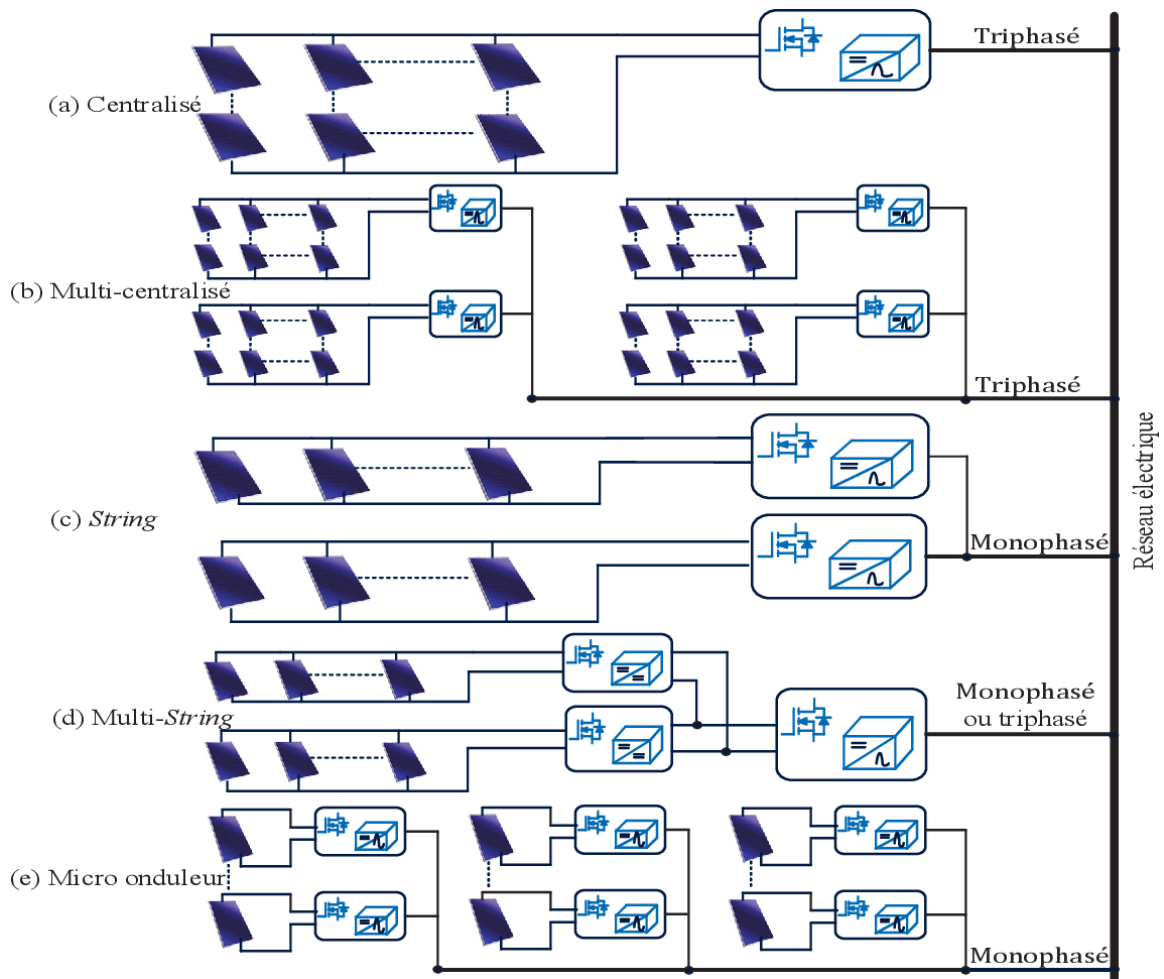


Figure 5: Topologies des systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique.

II.3.2 La connexion via deux étages (DC/DC et DC/AC) :

Les convertisseurs de puissance hacheur et onduleur sont implantés pour ces raisons :

- Forcer le générateur photovoltaïque à fonctionner au point de puissance maximale.
- Produire le courant de sortie sinusoïdale et en phase avec la tension du réseau.
- Conversion de puissance avec un rendement η élevé.

II .4 Modèle du panneau photovoltaïque :

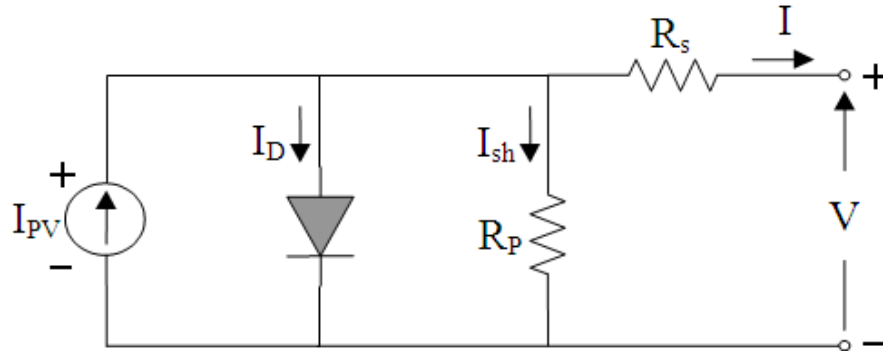


Figure 6: Modèle à une seule diode de PV.

La cellule photovoltaïque est un dispositif non linéaire et peut être représentée comme une source de courant en parallèle avec une diode.

Le modèle de cellule PV pratique comprend la connexion de la résistance interne en série et en parallèle, à savoir \$R_s\$ et \$R_p\$, qui est exprimée par l'équation suivante :

$$I = I_{PV} - I_0 \left(e^{\frac{U+R_s I}{U_t a}} - 1 \right) - \frac{U+R_s I}{R_p} \quad (\text{II.1})$$

Le \$I_{PV}\$ est le courant généré par la lumière produite par une cellule photovoltaïque qui a une relation linéaire avec l'irradiation solaire et la température, comme indiqué dans l'équation suivante

$$I_{PV} = (I_{PV,n} + K_I \Delta_T) \frac{G}{G_n} \quad (\text{II.2})$$

Où \$\Delta_T = T - T_n\$ et \$I_{PV,n}\$ est le courant généré dans les conditions nominales (\$T=25^\circ\text{C}\$, \$G = 1000 \text{ W/m}^2\$)

Les influences externes (température, lumière) affectent le courant \$I_{PV}\$. Pour prendre en compte ces influences [11], le courant \$I_{PV}\$ est pris comme

$$I_0 = I_{0,n} \left(\frac{T_n}{T} \right)^3 e^{\frac{qE_g}{ak} \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right)} \quad (\text{II.3})$$

Avec

\$E_g\$: énergie de bande interdite du semi-conducteur utilisé dans la cellule avec \$E_g \approx 1.12 \text{ Ev}\$.

q : Charge d'électrons $1.60217646 \cdot 10^{-19} \text{C}$

k : Constante de Boltzmann $1.3806503 \cdot 10^{-23} \text{ J / K}$

a : facteur d'idéalité de jonction pn

Le courant I_0 est parfois vulgarisé par une autre formule pour correspondre aux données expérimentales [11]

$$I_0 = I_{sc,n} + K_I \Delta T \left(\frac{1}{e \frac{aU_t}{U_{ocn} + K_v \Delta T} - 1} \right) \quad (\text{II.4})$$

Avec

$I_{sc,n}$: Courant de court-circuit de la cellule à la température de référence et rayonnement

$U_{oc,n}$: Tension de circuit ouvert de la cellule à la température de référence et rayonnement

K_I : Coefficient de température du courant de court-circuit (A / K)

K_v : Coefficient de température de tension en circuit ouvert (V / K)

Il convient de noter que le modèle décrit ci-dessus est appelé modèle à cellule unique. Cependant, une fois que les paramètres du modèle pour une seule cellule sont connus, il est possible d'étendre les résultats à l'ensemble du panneau PV.

Les équations suivantes résument comment un modèle à cellule unique peut être étendu pour représenter un panneau photovoltaïque :

$$I_{PVtot} = N_p I_{PV} \quad (\text{II.5})$$

$$I_{0tot} = N_p I_0 \quad (\text{II.6})$$

$$R_{stot} = \frac{N_s}{N_p} R_s \quad (\text{II.7})$$

$$R_{ptot} = \frac{N_s}{N_p} R_p \quad (\text{II.8})$$

Les cellules connectées en parallèle augmenteront le courant (II.5) tandis que la série connectée augmentera la tension.

$$U_t = \frac{N_s k T}{q}$$

(II.9)

II .4.1 Module photovoltaïque cristallin :

Les caractéristiques des composants de base utilisés pour concevoir le système ils sont affichés dans les tableaux suivants :

Dans notre travail nous avons utilisé le modèle installé à l'unité de recherche en énergie renouvelables en milieu d'eau dans barrage. Ce module est LR5-72HIH-560M G2 (Monocristallin) dont les paramètres de construction est donné dans le tableau suivant :

Table II .1 : Caractéristiques électriques typiques d'un GPV LR5-72HIH-560M G2 [<https://fr.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/47666>].

Type Cellule	Monocristallin
Puissance maximal (P_{max})	560 W
Tension de P_{max} (V_{mp})	42,25 V
Courant de P_{max} (I_{mp})	13,26 A
Tension de circuit ouvert (V_{oc})	50,10 V
Courant de court-circuit (I_{sc})	14,10 A
Max System Voltage	1500 V
Dimension	2278x1134x35 mm
Poids	27,5 kg
Température	45±2 °C

Nous constatons qu'en fixant la température à 30°C

- Le courant de court-circuit I_{sc} varie proportionnellement avec le rayonnement solaire.
- La tension à vide V_{oc} varie peu avec le rayonnement solaire. Elle peut être considérée comme une constante pour une installation donnée.

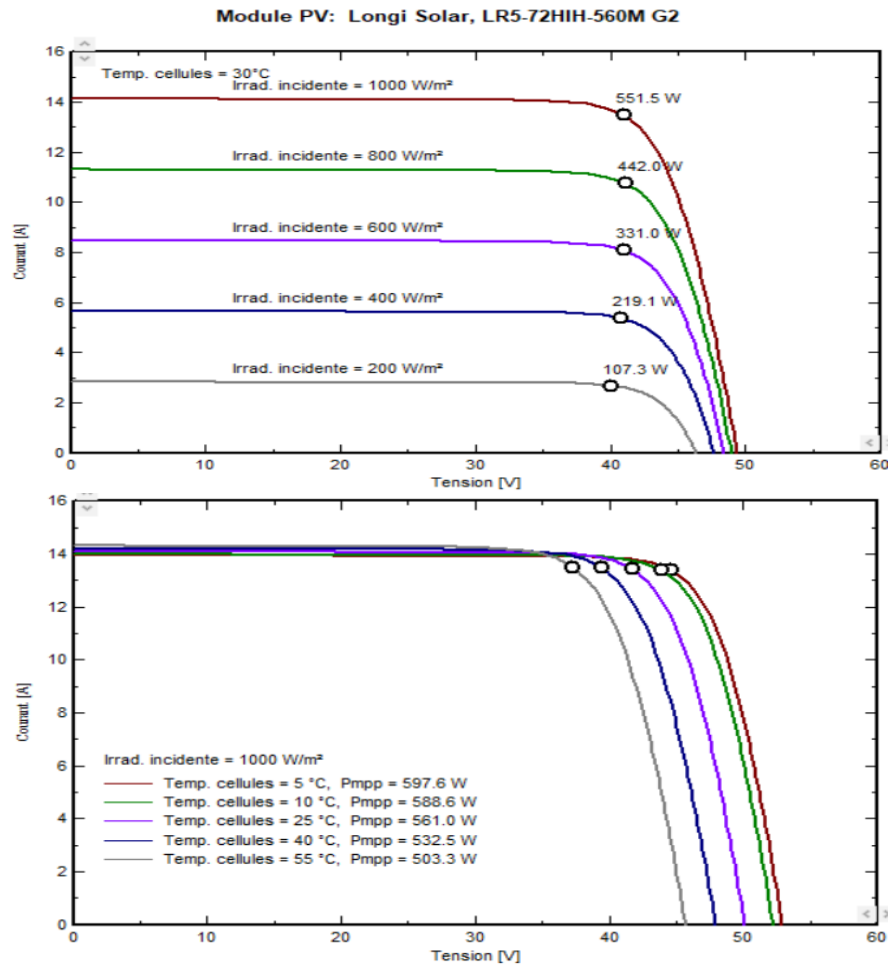


Figure 7 : Variation de la caractéristique I-V avec : a) le rayonnement solaire b) la température

La température a également une influence sur la caractéristique du générateur PV. La figure II.8 présente la variation des caractéristiques du générateur PV en fonction de la température. Nous constatons que pour un éclairement fixe :

- La tension à vide V_{oc} décroît avec la température. Plus la température est élevée plus V_{oc} est faible.
- Le courant de court-circuit I_{sc} augmente avec la température.

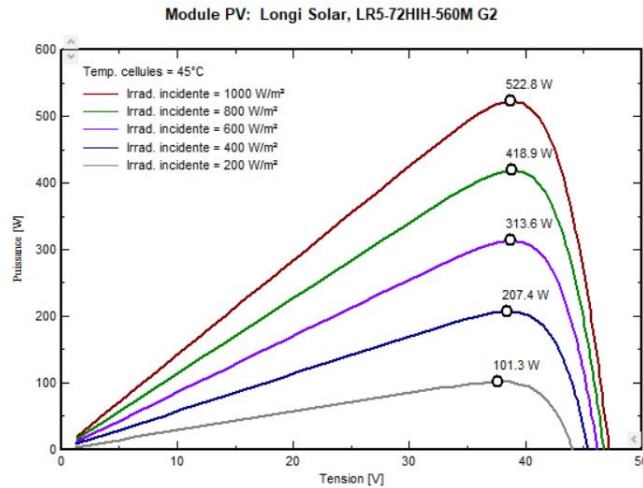


Figure 8: Caractéristique puissance-tension d'une cellule en fonction de la température.

II.4.2 L'algorithme MPPT

L'algorithme perturber et observer (P&O) est le plus couramment utilisé en pratique en raison de sa facilité de mise en œuvre [12]. La Figure III.6 montre l'organigramme de la méthode P&O. Il perturbe périodiquement la tension aux bornes du champ PV, puis il compare la puissance de sortie PV avec celle du cycle de perturbation précédent [35].

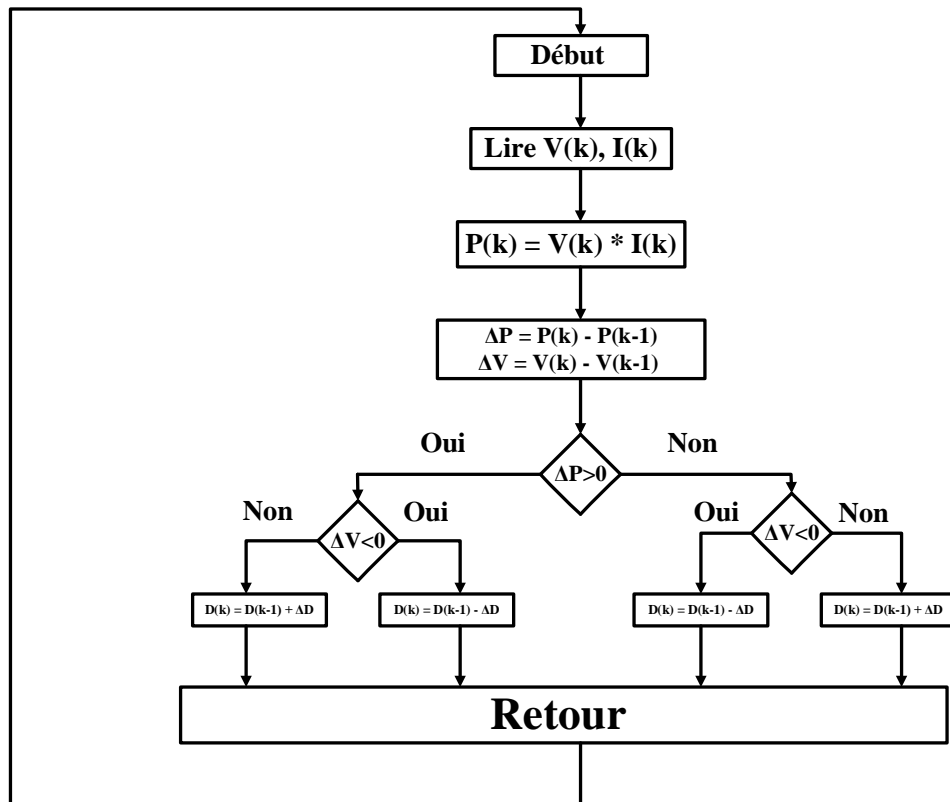


Figure 9: L'algorithme de L'MPPT.

II.5 Conditions et techniques d'interconnexions :

Les conditions et techniques d'interconnexion au réseau électrique sont [13]:

II.5.1 Raccordement :

En fonction de la puissance à raccorder, des caractéristiques du réseau sur lequel elle est appelée à être raccordée et du maintien d'une qualité de tension dans les limites fixées par des normes, le gestionnaire du réseau établit les dispositions du raccordement. Le réseau qui doit assurer le transit de la production décentralisée est soumis à plusieurs contraintes. Il doit pouvoir maintenir le plan de tension dans les limites d'exploitation avec et sans la présence de la production décentralisée. Dans un réseau basse tension, la puissance totale des productions décentralisées ne doit pas dépasser la puissance de la transformatrice moyenne tension / basse tension (MT/BT). De plus, le transit de la puissance doit se faire sans excéder la capacité des éléments du réseau. Enfin le supplément de puissance de court-circuit cumulé à la valeur de la puissance de court-circuit du réseau doit être compatible avec le niveau réel du matériel. En conséquence, le raccordement peut nécessiter des renforcements du réseau et de ce fait, une participation financière du producteur décentralisé dans ces renforcements peut être demandée. Sur la base de ces critères, le gestionnaire du réseau fixe le mode de raccordement de l'installation de production au réseau de distribution. Chaque cas fait l'objet d'un examen particulier qui tient compte des conditions réelles rencontrées [13].

II.5.2 Jugement de conformité :

Le producteur est tenu de soumettre un rapport de contrôle rédigé à ses frais par un organisme agréé qui démontre la conformité de l'installation au règlement général des installations électriques. En outre, le gestionnaire du réseau contrôle avant le raccordement de l'installation du producteur décentralisé en ce qui concerne les aspects particuliers de l'installation de fourniture d'énergie. Ceci inclut entre autres le schéma de raccordement, le fonctionnement de l'appareil de découplage, le réglage et le fonctionnement de l'ensemble constituant les protections particulières, le dispositif de mise en parallèle, l'éventuelle protection contre l'injection de courant continu [13].

II.5.3 Accord de raccordement :

L'installation de production décentralisée ne peut être raccordée au réseau de distribution qu'après accord écrit du gestionnaire du réseau (SONALGAZ). Cet accord n'est

pas encore fonctionnel au cas où le producteur décentralisé envisage une modification de son installation de production, notamment s'il modifie la puissance concernée [13].

II.5.4 Dispositif de coupure :

Lors de travaux hors tension sur le branchement ou sur le réseau de distribution, l'installation de production décentralisée doit pouvoir être séparée du réseau par un dispositif de coupure de sécurité. La coupure de sécurité doit être visible, verrouillée et accessible en permanence au gestionnaire du réseau. Ces dispositifs sont de type agréé par ce dernier. Lorsque la puissance de l'installation de production décentralisée est < 10 kW, la coupure de sécurité peut éventuellement être réalisée pour chaque unité de production, par un système automatique de sectionnement. Les installations photovoltaïques < 5 kW doivent être pourvues de ce système automatique [13].

II.5.5 Dispositif de protection :

Comme pour tout autre raccordement au réseau de distribution, les installations sont munies en tête de leur raccordement au réseau de distribution d'un appareil assurant la coupure des phases en cas de défaut interne occasionnant le dépassement d'un courant fixé pendant un temps donné. Les valeurs du courant et de la temporisation sont données par le gestionnaire du réseau. Les systèmes de protection doivent constituer un minimum de technicité. Dans certaines configurations des déclenchements intempestifs peuvent se produire. Ces déclenchements qui n'entament pas l'aspect sécurité tel que défini dans le domaine d'application, pourraient gêner les conditions d'exploitation. Il pourrait donc s'avérer utile de faire usage soit d'une protection par asservissement soit d'ajouter d'autres fonctionnalités à la chaîne de relais prévu ou d'en modifier certaines. Les variantes sont autorisées dans la mesure où elles remplissent les fonctions des relais qu'elles remplacent [13].

II.5.6 Couplage :

Une mise en parallèle de l'installation de production décentralisée avec le réseau public de distribution est toujours réalisée au moyen d'un relais synchro-check équipé d'un synchroscope pour des installations avec une puissance supérieure à 10 kW. Lors de la connexion en parallèle, la tension, la fréquence et l'écart de phase sont tels qu'ils ne provoquent pas de variations brusques relatives de la tension supérieure à %. Si la connexion en parallèle se répète plusieurs fois par jour, les variations brusques de tension dues à la connexion parallèle seront limitées aux mêmes valeurs que celles requises pour le

fonctionnement et définies dans le paragraphe suivant. Pendant le fonctionnement, les variations brusques de la tension seront limitées en valeur relative à 3 % au maximum et en fonction de leur fréquence d'apparition à des valeurs inférieures de façon à ne pas perturber les autres utilisateurs raccordés au réseau. Ces considérations impliquent que la production décentralisée qui fonctionne en îlotage ne peut être reconnectée au réseau qu'après vérification de la tension, de la fréquence et de l'écart de phase et qu'il ne peut pas être possible d'effectuer une prise en parallèle à un endroit non prévu, des verrouillages sont installés pour empêcher ces éventualités. Après un déclenchement commandé par la protection de découplage, lorsque les conditions sont redevenues normales, la reconnexion au réseau peut se faire automatiquement à condition de disposer d'un système de synchronisation automatique. Ces automatismes font partie des aspects particuliers de la production décentralisée [14].

II.5.7 Compensation avec des batteries de condensateurs :

S'il est fait usage de batteries de condensateurs, l'installation de production décentralisée sera pourvue, si nécessaire, de filtres destinés à éviter l'amortissement des signaux. D'autre part, les condensateurs doivent être débranchés en même temps que l'engin de production. Si les conditions techniques le justifient, le gestionnaire du réseau peut imposer au producteur décentralisé le placement de condensateurs [14].

II.5.8 Harmoniques et inter harmoniques :

Le niveau des harmoniques et inter harmoniques qui sont générés par l'installation de production décentralisée ne doit pas provoquer des perturbations dans le réseau de distribution. L'impact de l'installation sur le réseau (pour le changement de période tarifaire, pour l'éclairage public...) doit également rester à des niveaux de perturbation acceptables. Dans la plupart des cas, le niveau de perturbation de la production décentralisée s'ajoute aux niveaux de perturbation déjà existant par la présence des utilisateurs et des autres producteurs. C'est pourquoi des mesures doivent être étudiées et appliquées au niveau de la production décentralisée de manière à ce que tout reste compatible avec un niveau de signal acceptable [14].

II.5.9 Protection contre l'injection de courant continu :

Les onduleurs, qui sont équipés d'un transformateur, n'injectent pas de courant continu dans le réseau de distribution et ne nécessitent par conséquent pas de mesures de sécurité complémentaires. Les onduleurs avec une technologie sans transformateur sont également acceptés pour autant qu'ils soient certifiés ne jamais injecter un courant continu supérieur à

1% du courant nominal ou qu'ils disposent d'un système de protection contre l'injection de courant continu. Celui-ci débranche l'onduleur en moins de 0,2 s au cas où le courant continu dépasse la valeur de seuil établie à 1% du courant nominal [14].

II.6 Problème de connexion des systèmes photovoltaïques au réseau :

Les problèmes concernant l'interconnexion du système photovoltaïque au réseau sont :

- Le débrogage de système photovoltaïque si le réseau présente une défaillance (le problème d'i landing).
- La protection contre la foudre.
- La qualité de puissance fournie au réseau.
- Les effets des systèmes multiples sur une partie du réseau, en particulier monophasé non équilibré.
- Le dosage fiable des flux de puissance.
- Risques techniques et financiers [15].

II.6.1 L'onduleur :

L'onduleur utilisé est du Siemens modèle Sinacon PV1000 dont les paramètres de Construction sont donnés dans le tableau suivant :

Table 2: Caractéristiques électriques typiques d'un Sinacon PV1000
[<https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:cb65b0d3-6425-48f5-92cb-cc217d2d5285/sinacon-pv-technical-data-en.pdf>].

Tension DC max	1500 V
Plage de tension photovoltaïque, MPPT	333- 500 V
Courant d'entrée max	34A
Puissance Nominale AC	1000 kW
Tension AC max	802-1500 V
Fréquence du réseau AC	50-60 HZ
Rendement max	98.8%

II.6.2 Le schéma

D'après les résultats analytiques, on a trouvé que le système PV se compose de nombre de module PV est de 3588 unités, connectés en deux modes série/parallèle, et deux onduleurs, voir figure (II.1), avec une puissance totale de 2MWC.

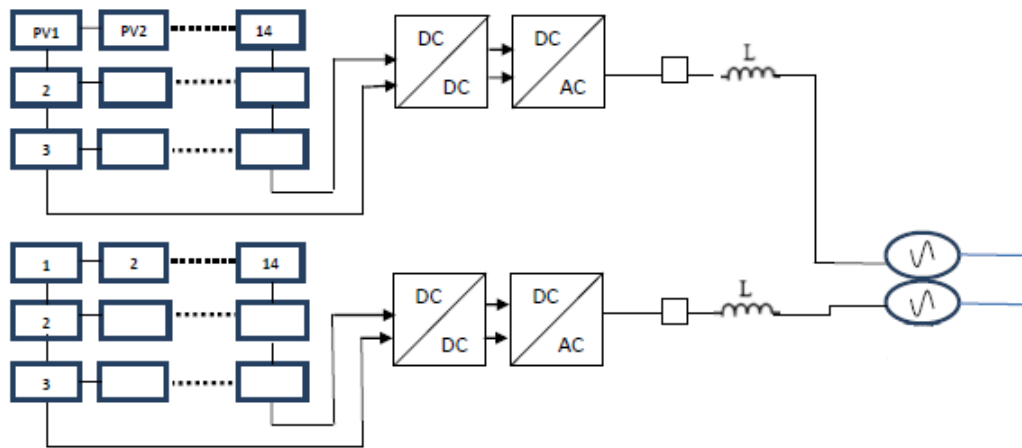


Figure 10 : Schéma du parking connecté au réseau électrique.

II.7 Gisement solaire :

Un gisement solaire fait référence à la quantité d'énergie solaire disponible dans une région donnée. Il est souvent mesuré en termes de ressource solaire, c'est-à-dire la quantité d'énergie solaire reçue par unité de surface pendant une période de temps spécifique.

L'évaluation du gisement solaire est importante pour déterminer le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire dans une région donnée. Différents facteurs influencent le gisement solaire, tels que l'ensoleillement, l'angle d'incidence du soleil, la couverture nuageuse et les obstacles physiques tels que les bâtiments ou les arbres. Pour évaluer le gisement solaire, des données météorologiques et climatiques sont souvent utilisées, combinées à des modèles informatiques pour calculer la quantité d'énergie solaire disponible. Ces évaluations peuvent aider à déterminer si une région est propice à l'installation de systèmes solaires, tels que des panneaux photovoltaïques ou des systèmes de chauffage solaire. L'exploitation du gisement solaire peut avoir plusieurs avantages, notamment la réduction des émissions de gaz à effet de serre, la diminution de la dépendance aux combustibles fossiles et la promotion de l'indépendance énergétique. De plus, le développement des technologies solaires peut créer des emplois et stimuler l'innovation dans le secteur de l'énergie propre. Il convient de noter que le gisement solaire peut varier d'une région à l'autre, et il est important de prendre en compte les spécificités locales lors de l'évaluation du potentiel solaire d'une zone particulière.

II .8 Rayonnement solaire

Lorsque la construction d'une centrale solaire à concentration de puissance est envisagée sur un site donné, la disponibilité adéquate du rayonnement solaire direct joue un rôle crucial.

Il est primordial que la composante directe du rayonnement solaire soit élevée, contrairement à d'autres formes d'utilisation de l'énergie solaire, telles que les systèmes photovoltaïques. En effet, les centrales solaires à concentration de puissance ne peuvent exploiter que cette composante directe du rayonnement solaire, car elle est la seule pouvant être efficacement concentrée.

Le paramètre clé pour évaluer la disponibilité du rayonnement solaire direct sur un site donné est le DNI (Irradiance Directe Normale). Le DNI mesure la densité du flux de rayonnement solaire incident dans le spectre solaire (entre $0,3 \mu\text{m}$ et $3 \mu\text{m}$), perpendiculairement à la surface de la Terre, et est intégré sur un petit cône de trajectoire du soleil. Il est influencé par l'absorption et la diffusion du rayonnement solaire par les molécules d'air, l'ozone, la vapeur d'eau et les aérosols.

L'unité utilisée pour exprimer le DNI est la puissance par mètre carré, en W/m^2 . Cependant, lorsqu'on évalue la disponibilité du rayonnement direct sur une base annuelle, les valeurs cumulées annuelles sont souvent employées. Dans ce contexte, l'unité est l'énergie par mètre carré et par an, exprimée en $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{an}$.

Il est courant dans la littérature relative à la Concentration Solaire à Puissance (CSP) d'utiliser le terme "DNI" pour désigner également les sommes annuelles de rayonnement direct. Cela permet une évaluation plus aisée de la disponibilité globale du rayonnement solaire direct sur une zone spécifique au cours d'une année.

En ce qui concerne les régions tropicales situées entre les régions Sun Belt, elles sont généralement exclues en raison de l'humidité de l'air élevée et des fréquentes perturbations atmosphériques. De même, les latitudes supérieures à 40° ne sont pas considérées. Les conditions DNI y sont défavorables pour trois raisons principales : premièrement, les hautes latitudes sont généralement caractérisées par une nébulosité fréquente, ce qui réduit considérablement le nombre d'heures d'ensoleillement direct annuel. Deuxièmement, les hautes latitudes connaissent des écarts de rayonnement saisonniers élevés, entraînant d'importantes variations saisonnières dans le rendement énergétique. Enfin, les angles d'incidence du rayonnement solaire (sur le plan horizontal) sont élevés, ce qui peut engendrer des pertes dues au facteur de cosinus (en fonction de la géométrie de la concentration), et dans tous les cas, cela réduit le rayonnement direct disponible en raison d'une traversée plus importante de la masse d'air.

De la figure II.11, nous pouvons déduire que les valeurs d'irradiance solaire annuelle globale sont très prometteuses pour l'installation de projets de divers systèmes d'énergie solaire.

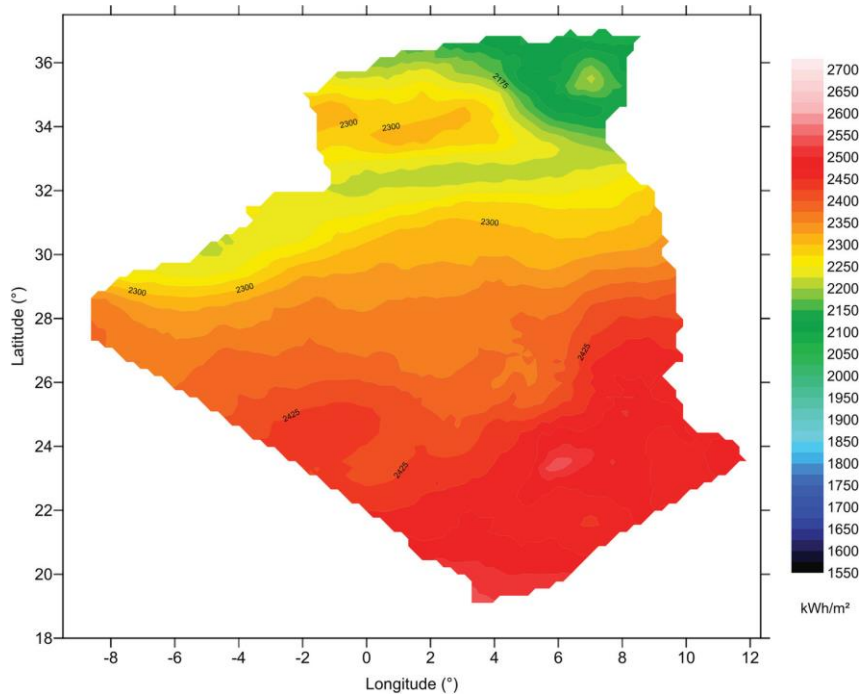


Figure 11 : Carte annuelle de l'irradiance solaire globale sur la surface horizontale.

II.9 Mode de dimensionnement des systèmes photovoltaïques

Le dimensionnement d'un générateur PV vise à trouver le meilleur équilibre technico-économique entre la puissance crête du champ de panneaux solaires et la capacité de la batterie associée. Ce choix se fait en prenant en compte d'une part les besoins électriques de l'utilisateur, d'autre part les données d'ensoleillement spécifiques au site, ainsi que les prix et la qualité des composants disponibles sur le marché. La quantité d'énergie fournie quotidiennement par le champ de panneaux solaires doit être au moins égale, avec un coefficient correctif K , à la moyenne quotidienne de l'énergie consommée par l'utilisateur. Les étapes de dimensionnement d'un système PV autonome comprennent la prise en compte des appareils suivants [16].

II.10 Estimation de l'énergie consommée par jour (en Wh/j):

A partir des données fournies par l'utilisateur [16].

$$E_c = P * Q * h8$$

(II.10)

Où

E_c : énergie consommée par l'appareil (Wh / jour).

P: Puissance électrique de l'appareil (w).

Q: Nombre d'appareils utilisés.

h: temps utilisées (h)

II.11 Calcul de l'énergie à produire :

Pour que les besoins du client soit assurés il faut que l'énergie consommée (E_c) égales l'énergie produite (E_p) à un coefficient près de l'unité [16].

$$E_p = \frac{E_c}{K} \quad (\text{II.11})$$

Le coefficient k tient compte des facteurs suivants :

- ✓ l'incertitude météorologique.
- ✓ l'inclinaison non corrigé des modules suivant la saison.
- ✓ le point de fonctionnement des modules qui est rarement optimal et qui peut être aggravé par la baisse des caractéristiques des modules, la perte de rendement des modules dans le temps (vieillessement et poussières)
- ✓ le rendement des cycles de charge et de décharge de la batterie (90%).
- ✓ le rendement du chargeur et de l'onduleur (de 90 à 95%).
- ✓ les pertes dans les câbles et connexions.
- ✓ Pour les systèmes avec parc batterie, le coefficient k est en général compris entre 0,55 et 0,75.
- ✓ La valeur approchée que l'on utilise pour les systèmes avec batterie sera souvent de 0,65[16]

II.12 Méthodes de dimensionnement du générateur photovoltaïque (ensemble des panneaux à installer)

- ❖ La puissance crête des panneaux à installer est déterminée en fonction de l'irradiation du lieu d'installation. Celle-ci est calculée en utilisant la formule suivante [13]:

$$P_C = \frac{E_C}{K I_r} = \frac{E_P}{I_r} \quad (\text{II.12})$$

Avec

P_C : Puissance crête en Watt crête (Wc).

I_r : Irradiation quotidienne moyenne annuelle (kWh/m². j)

❖ Le nombre total des modules installés est calculé par :

$$N = \frac{P_C}{P_U} \quad (\text{II.13})$$

P_C : Puissance crête du champ installé.

P_u : puissance crête unitaire des modules

❖ Le nombre de module PV en série est calculé par :

$$N_S = \frac{U_{ond}}{U_{mod}} \quad (\text{II.14})$$

U_{ond} : la tension d'entrée aux bornes de l'onduleur.

U_{mod} : la tension unitaire des modules.

❖ Le nombre de module PV en parallèle est calculé par :

$$N_P = \frac{P_C}{N_S P_{mod}}$$

(II.15)

P_{mod} : la puissance crête d'un module.

II.13 L'évaluation de la capacité de stockage des batteries

L'estimation de la capacité (C) de stockage des batteries consiste à déterminer la quantité d'énergie électrique qui peut être stockée dans les batteries du système, en appliquant la formule ci-dessous [16]:

$$C = \frac{E_C}{DU} n$$

(II.16)

ou

n: Nombre de jours d'autonomie.

D: Maximum admissible de décharge de la batterie.

U: La tension nominale de la batterie

II.14 Le choix de la section des câbles électriques et dimensionnement

Les intensités les plus élevées se trouvent dans la partie en courant continu de l'installation, ce qui entraîne le problème des pertes joules et des chutes de tension dans les câbles. Il est crucial de déterminer les sections de câbles appropriées afin de minimiser les pertes de tension entre les panneaux solaires et l'onduleur-chargeur, ainsi qu'entre les batteries et l'onduleur-chargeur. Il est recommandé que la chute de tension ne dépasse pas 3% [16].

Il est nécessaire de calculer la section des conducteurs reliant les panneaux solaires au boîtier de raccordement [16].

$$S = \frac{\rho l}{\Delta U} I \quad (\text{II.17})$$

ΔU : chute de tension maximale dans le conducteur.

I : courant circulant dans le conducteur.

II.15 Choix de régulateur et de l'onduleur

Le choix du régulateur et de l'onduleur doit être effectué en fonction des spécifications du système, de la capacité de charge requise, de l'efficacité énergétique, et de la compatibilité avec les autres composants du système photovoltaïque. Des facteurs tels que la puissance nominale, la tension d'entrée/sortie, la qualité de l'onde de sortie, la fiabilité, et les fonctions de protection sont également pris en considération pour garantir le bon fonctionnement et la durabilité du système dans différentes conditions d'utilisation.

Pour régulateur il faut que : $P_{reg} > P_C$

Pour l'onduleur il faut que : $P_{ond} \geq P_C$

Avec:

P_{reg} , P_{ond} : respectivement puissance de régulateur et puissance de l'onduleur

II.16 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a exploré en profondeur la modélisation d'un système photovoltaïque, la définition d'un gisement solaire et l'utilisation du logiciel PV System. Nous avons examiné les principes fondamentaux de la modélisation d'un système photovoltaïque, y compris les facteurs tels que l'ensoleillement, la configuration des panneaux solaires, les caractéristiques des composants électroniques, etc. Une modélisation précise permet de prédire la production d'énergie solaire, d'optimiser la conception du système et de prendre des décisions éclairées tout au long du processus d'installation et d'exploitation.

De plus, nous avons défini ce qu'est un gisement solaire, qui représente la disponibilité de l'énergie solaire dans une région donnée. Comprendre les caractéristiques et la variation du gisement solaire est crucial pour estimer la quantité d'énergie solaire disponible pour un système photovoltaïque donné. Cela permet de déterminer l'efficacité potentielle du système et d'optimiser sa conception en fonction des conditions locales.

Enfin, nous avons exploré le logiciel PV System, un outil puissant qui facilite la modélisation et la gestion des systèmes photovoltaïques. Ce logiciel offre des fonctionnalités avancées telles que la simulation de l'ensoleillement, le calcul précis de la production d'énergie solaire, l'optimisation des paramètres du système et la surveillance en temps réel. L'utilisation du logiciel PV System permet aux professionnels de l'énergie solaire de planifier, concevoir et exploiter de manière efficace les installations photovoltaïques, en prenant en compte les données du gisement solaire et en optimisant les performances du système

Annex

Compatibilité entre les définitions de systèmes

Orientation du système complet

1 sous-champ

Paramètres du système

Sous-champ #1

Modules PV:

Pnom = 560 Wc

Onduleurs (1000 kWac)

inclin/azim = 32° / 0°

PNom = 2009 kWp, surface de modules = 9269 m²

Champ PV

138 chaînes de 26 modules en série, 3588 total

PNom champ = 2009 kWc, surface = 9269 m²

1 entrées MPPT, Total 2000 kWac, Rapport Pnom

Chapitre III :

**Évaluation des résultats de simulation pour
le dimensionnement d'une ferme
photovoltaïque flottante**

III.1 Introduction :

Après avoir minutieusement examiné et analysé les différents paramètres d'une installation photovoltaïque flottante, il est impératif de recourir à des logiciels spécialisés dans le dimensionnement et l'installation d'un champ photovoltaïque. Dans le cadre de notre étude, nous avons délibérément opté pour le logiciel PV-Syst. Le logiciel offre une gamme complète d'outils et de fonctionnalités permettant de réaliser une étude complète et approfondie de l'installation. Cela comprend la sélection des données météorologiques appropriées, la conception du système photovoltaïque, l'évaluation des pertes liées à l'ombrage, ainsi que l'évaluation économique du projet. Une simulation est effectuée sur une année complète, avec une résolution horaire, afin de fournir un rapport détaillé.

Dans ce chapitre, nous allons présenter dimensionner et calculer avec précision une installation photovoltaïque flottante, qui sera connectée au réseau électrique. La localisation choisie pour cette installation est Barrage Bakhadda, située à Mechraa Safa, dans la province de Tiaret, en Algérie. Cette région présente des caractéristiques environnementales et climatiques spécifiques, ce qui rend l'utilisation d'un logiciel PV-Syst indispensable pour obtenir des résultats précis et fiables.

III.2 Les type de système photovoltaïques flottant :

Les types de systèmes photovoltaïques flottants sont des installations solaires qui sont spécifiquement conçues pour être installées sur l'eau. Ces systèmes flottants présentent plusieurs avantages, notamment une utilisation efficace de l'espace, une réduction de l'évaporation de l'eau et un refroidissement naturel des panneaux solaires, ce qui peut améliorer leur rendement. Voici quelques-uns des types de systèmes photovoltaïques flottants couramment utilisés :

III.2.1 Systèmes flottants avec panneaux solaires standards :

Ces systèmes utilisent des panneaux solaires conventionnels montés sur des flotteurs qui maintiennent les panneaux à la surface de l'eau. Ils peuvent être adaptés pour être utilisés sur des plans d'eau tels que des réservoirs, des étangs ou des lacs.

III.2.2 Systèmes flottants à film mince :

Ces systèmes utilisent des panneaux solaires à film mince qui sont légers et flexibles. Les panneaux sont souvent intégrés dans des matériaux flottants spéciaux, tels que des

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

membranes en plastique, pour créer une structure flottante. Ces systèmes sont souvent utilisés sur des plans d'eau plus calmes, tels que des étangs ou des lacs.

III.2.3 Systèmes flottants à concentration solaire :

Ces systèmes utilisent des miroirs ou des lentilles pour concentrer la lumière solaire sur des cellules photovoltaïques plus petites et plus efficaces. Les cellules sont généralement montées sur des flotteurs et orientées vers le soleil à l'aide de mécanismes de suivi solaire. Cette technologie permet d'obtenir des rendements plus élevés, mais elle est plus complexe et coûteuse que les autres types de systèmes flottants.

III.2.4 Systèmes flottants hybrides :

Certains systèmes combinent des panneaux solaires avec d'autres technologies de production d'énergie renouvelable, comme des éoliennes ou des systèmes de génération d'énergie holométrique. Ces systèmes hybrides flottants permettent une utilisation plus efficace de l'espace et une production d'énergie plus stable et constante.

III.3 Les composants d'un système photovoltaïque

Les systèmes photovoltaïques, également appelés systèmes solaires, comprennent plusieurs composants essentiels pour convertir l'énergie solaire en électricité utilisable. Ces composants travaillent ensemble pour collecter, convertir, stocker et distribuer l'énergie solaire sous forme d'électricité utilisable. La configuration spécifique d'un système photovoltaïque peut varier en fonction des besoins et des exigences individuelles.

Voici une liste des principaux composants d'un système photovoltaïque :

- **Panneaux solaires photovoltaïques** : Les panneaux solaires sont composés de cellules solaires qui capturent la lumière du soleil et la convertissent en électricité à courant continu (DC).
- **Onduleur** : L'électricité produite par les panneaux solaires est généralement en courant continu (DC), tandis que les appareils domestiques utilisent du courant alternatif (AC). L'onduleur est utilisé pour convertir le courant continu en courant alternatif afin qu'il puisse être utilisé par les appareils électriques dans une maison ou un bâtiment.
- **Batterie** : Les batteries peuvent être utilisées dans les systèmes photovoltaïques pour stocker l'électricité produite par les panneaux solaires. Cela permet d'utiliser l'énergie

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

solaire même lorsqu'il n'y a pas de soleil, comme pendant la nuit ou par temps nuageux.

- **Câblage** : Le câblage est utilisé pour connecter les différents composants du système photovoltaïque, y compris les panneaux solaires, l'onduleur, les batteries et les autres dispositifs.
- **Hacheur** : Un hacheur, ou régulateur de tension, peut être utilisé pour réguler la tension ou le courant dans le système photovoltaïque. Il permet de maximiser l'efficacité du système en ajustant les paramètres électriques.
- **Suiveurs solaires** : Les suiveurs solaires sont des dispositifs mécaniques qui permettent de faire pivoter les panneaux solaires tout au long de la journée afin de suivre la trajectoire du soleil. Cela permet d'optimiser la quantité d'énergie solaire capturée par les panneaux.
- **Régulateur de charge** : Dans les systèmes photovoltaïques avec batteries, un régulateur de charge est utilisé pour contrôler le flux de courant entre les panneaux solaires et les batteries. Il empêche les batteries de se surcharger ou de se décharger excessivement, ce qui peut les endommager.

Ces composants travaillent ensemble pour collecter, convertir, stocker et distribuer l'énergie solaire sous forme d'électricité utilisable. La configuration spécifique d'un système photovoltaïque peut varier en fonction des besoins et des exigences individuelles.

III.4 Dimensionnement de la ferme photovoltaïque flottante au projet étudié :

Les dimensions d'une installation photovoltaïque (PV) peuvent varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs, tels que la puissance requise, l'espace disponible et le type de système PV utilisé. Les éléments à prendre en compte lors de dimensionnement d'une installation PV est :

- **Puissance requise** : Déterminez la quantité d'électricité dont vous avez besoin. Cela peut être basé sur votre consommation d'énergie actuelle ou sur une estimation de la consommation future. La puissance est généralement exprimée en kilowatts (kW) ou en mégawatts (MW).

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

- **Surface disponible** : Évaluez l'espace disponible pour l'installation des panneaux solaires. Cela peut inclure le toit d'un bâtiment, un terrain ou d'autres structures adaptées.
- **Rendement des panneaux solaires** : Considérez le rendement des panneaux solaires que vous prévoyez d'utiliser. Le rendement représente la conversion de la lumière solaire en électricité. Les panneaux solaires plus efficaces peuvent produire plus d'électricité sur une surface donnée.
- **Orientation et inclinaison** : Déterminez l'orientation optimale des panneaux solaires pour maximiser l'exposition au soleil. Dans l'hémisphère nord, l'orientation sud est généralement recommandée. L'inclinaison des panneaux solaires peut également être ajustée pour optimiser la capture de la lumière solaire.

III.4.1 Hypothèses fondamentales et dimensionnement du GPVF :

Le dimensionnement d'un GPVF repose sur les hypothèses suivantes :

- N'utiliser le générateur photovoltaïque que pour des applications spécifiques de production d'électricité telles que : l'éclairage, les télétransmissions, le pompage.
- Rejeter les applications thermiques de l'électricité (chauffage et cuisson)
- Choisir des récepteurs à haut rendement.
- Choisir les chaînes de puissances les plus courtes (éviter si possible les onduleurs).

Ainsi, nous pouvons passer pour le dimensionnement à :

- Une identification précise des besoins en électricité de l'utilisateur
- Une connaissance des ressources solaires locales (énergie solaire disponible du site par unité de surface)
- Une connaissance des ressources solaires locales (énergie solaire disponible du site par unité de surface)
- Une recherche des caractéristiques des autres composants de l'installation solaire (capacité des batteries, section des câbles, puissance de l'onduleur,)
- Une consultation des fournisseurs pour une estimation de l'investissement à considérer.
- Un bon choix de matériel, associé à un dimensionnement approprié garantissent le bon fonctionnement de l'installation, sa durée de vie et la rentabilité de l'investissement

III.4.2 Les étapes d'installation du GPVF :

Une fois que nous avons déterminé les dimensions de l'installation PV, nous pouvons passer aux étapes d'installation, qui peuvent varier selon le type de système PV et la structure spécifique de l'installation. Il est important de noter que l'installation d'un système PV peut nécessiter des compétences techniques spécialisées. Il est recommandé de faire appel à des professionnels qualifiés et expérimentés pour garantir une installation sûre et efficace. De plus, les réglementations et les exigences locales peuvent varier, il est donc essentiel de se conformer aux normes et aux règlements en vigueur dans votre région.

L'aperçu général des étapes d'installation d'un système PV est :

- **Évaluation et conception** : Réalisez une évaluation détaillée du site, y compris l'examen de la structure du bâtiment, de l'orientation solaire et de la charge électrique. Concevez le système en tenant compte de ces facteurs et des exigences spécifiques du projet.
- **Préparation du site** : Assurez-vous que le site est prêt pour l'installation. Cela peut inclure des travaux de nettoyage, de préparation du toit ou de renforcement de la structure si nécessaire.
- **Installation des panneaux solaires** : Fixez les panneaux solaires sur la structure appropriée, qu'il s'agisse d'un toit, d'une structure de montage au sol ou d'autres systèmes de support spécifiques.
- **Câblage électrique** : Connectez les panneaux solaires en série ou en parallèle pour former des chaînes ou des tableaux. Effectuez le câblage électrique approprié pour relier les panneaux solaires aux onduleurs et aux autres composants du système.
- **Installation des onduleurs et des composants de conversion d'énergie** : Installez les onduleurs, qui convertissent l'énergie solaire en électricité utilisable, ainsi que d'autres composants tels que les compteurs, les dispositifs de protection et les systèmes de stockage d'énergie si nécessaire.
- **Connexion au réseau électrique ou à l'installation locale** : Si vous souhaitez connecter votre système PV au réseau électrique, vous devrez coordonner cette étape avec les fournisseurs d'électricité locaux.
- **Connexion au réseau électrique** : Si nous prévoyons de nous connecter au réseau électrique, nous devons soumettre une demande de raccordement et obtenir les

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

autorisations nécessaires de la part du fournisseur d'électricité. Une fois approuvé, effectuez les travaux de raccordement conformément aux réglementations locales.

- **Mise à la terre :** nous assurons que notre système PV est correctement mis à la terre pour des raisons de sécurité. Cela implique de connecter les composants métalliques du système à un piquet de terre ou à une électrode de terre.
- **Installation du système de surveillance :** Si nous souhaitons surveiller les performances de notre installation PV, nous pouvons installer un système de surveillance qui collecte des données sur la production d'électricité et les paramètres du système. Cela peut nous aider à optimiser les performances et à détecter les éventuels problèmes.
- **Mise en service et tests :** Une fois que l'installation est terminée, effectuez des tests pour nous assurons que tout fonctionne correctement. Vérifions les connexions électriques, effectuez des mesures de tension et de courant, et nous assurons que le système est conforme aux normes de sécurité.
- **Maintenance et suivi :** Planifiez une routine de maintenance régulière pour notre système PV. Cela peut inclure le nettoyage des panneaux solaires, la vérification des connexions électriques, la surveillance des performances et la gestion des éventuels problèmes ou pannes.

III.4.3 Présentation du Barrage Bekhadda Tiaret

D'après ANBT 2021, le Barrage bekhadda se situe à l'ouest de l'Algérie à 40 Km à l'ouest de la ville de tiaret dans la commune de Mechraa Sfa à une altitude de 581 mètres. Le barrage est destiné à AEP des localités de Tiaret, Rahouia, Mechraa Sfa, Djillali Ben Ammar, Kharouba, Guertoufa et Temda, a pour but de stoker les eaux de l'oued Mina, affluent de l'oued Chellif. Il est essentiellement destiné à :

- L'irrigation de 500 Ha.
- L'alimentation en eau potable de Rahouia et Mechraa Safa.

Ce barrage se trouve sur le cours d'eau supérieur de la Mina (affluent de l'oued Chellif), il est un barrage en enrochement à masque amont, de 45 mètres de haut (fig I.2 et I.3).

Le masque étanche d'une technique un peu plus ancienne, est en béton armé souple.

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

La surélévation du barrage sur la haute mina : en 1960 fut un travail intéressant puisqu'il permis, moyennant une dépense relativement faible, d'augmenter de 14 millions de m³ la capacité de la retenue, celle-ci étant portée de 37 à 51 millions de m³.

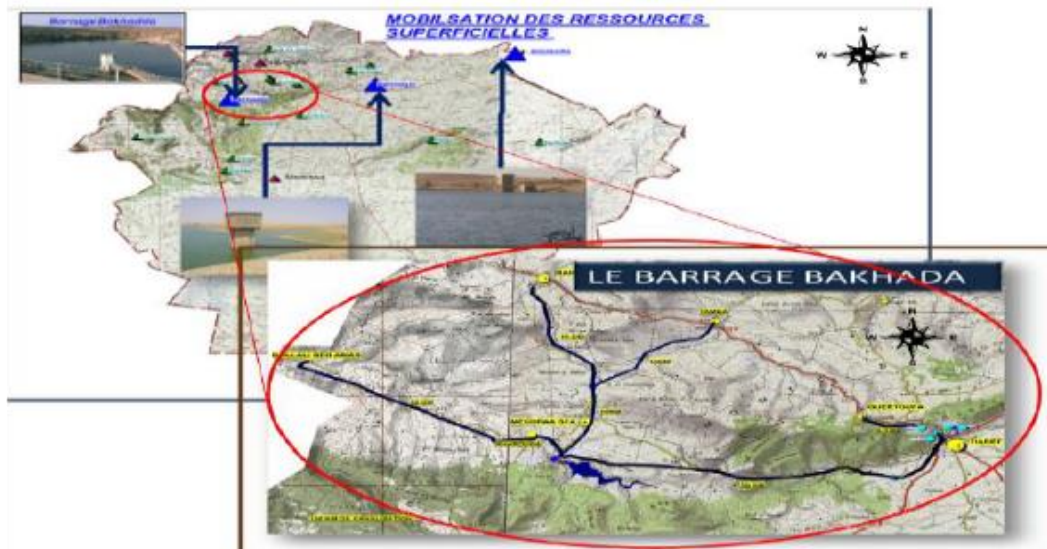


Figure 1: Carte de localisation du barrage Bekhadda et son réseau d'alimentation (Mostafa et mourah , 2016).

III 4.4 Etude climatique de la zone d'étude

Pour alimenter le système d'énergie PV, le paramètre météorologique propre au projet le plus important est le rayonnement solaire, il détermine la production d'électricité solaire. La production d'énergie est également influencée par la température de l'air. D'autres paramètres météorologiques affectent également la performance, la disponibilité et le vieillissement d'un système PV.

Tableau 1: Paramètres de rayonnement solaire et météorologiques

[<https://solargis.com/docs/accuracy-and-comparisons/combined-uncertainty>]

Mois	GHI kWh/m ²	DNI kWh/m ²	DIF kWh/m ²	D2G	TEMP °C	WS m/s	CDD degré-jour	HDD degré-jour
Janvier	83.5	125.5	30.6	0.366	8.9	2.7	0	281
Février	99.7	126.2	36.1	0.362	10.2	2.7	1	221
Mars	146.3	152.2	54.6	0.373	12.8	2.7	3	163
Avril	170.0	153.5	65.9	0.388	15.4	2.6	25	101
Mai	204.6	175.1	76.9	0.376	19.9	2.4	97	39
Juin	223.2	191.8	80.4	0.360	25.0	2.2	211	2

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

Juillet	228.6	186.5	88.5	0.387	28.9	2.1	339	0
Août	204.6	176.7	77.7	0.380	28.7	2.1	331	0
Septembre	161.5	153.3	62.0	0.384	23.9	2.1	179	2
Octobre	130.0	150.4	47.7	0.367	19.6	2.3	84	35
Novembre	86.6	115.6	34.4	0.398	13.3	2.6	4	144
Décembre	74.6	115.2	28.5	0.382	10.2	2.7	0	243
Annuel	1813.2	1822.0	683.2	0.377	18.1	2.4	1273	1231

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

Ce tableau présente des données relatives aux paramètres de rayonnement solaire et aux conditions météorologiques pour chaque mois de l'année, ainsi qu'une moyenne annuelle.

- **Mois:** Il s'agit du mois de l'année pour lequel les données sont fournies.
- **GHI (Global Horizontal Irradiance):** C'est la mesure du rayonnement solaire total reçu sur une surface horizontale, exprimée en kilowattheures par mètre carré (kWh/m²). Il inclut à la fois le rayonnement direct du soleil et le rayonnement diffus provenant du ciel.
- **DNI (Direct Normal Irradiance) :** C'est la mesure du rayonnement solaire direct reçu sur une surface perpendiculaire aux rayons du soleil, exprimée en kilowattheures par mètre carré (kWh/m²). Il représente uniquement le rayonnement direct du soleil.
- **DIF (Diffuse Horizontal Irradiance) :** C'est la mesure du rayonnement solaire diffus (non direct) reçu sur une surface horizontale, exprimée en kilowattheures par mètre carré (kWh/m²).

D2G (Ratio of Direct to Global Irradiance) : Il s'agit du rapport entre le rayonnement solaire direct (DNI) et le rayonnement solaire total (GHI). Ce ratio permet de comprendre la proportion de rayonnement direct par rapport au rayonnement total.

- **TEMP (Température) :** C'est la température moyenne mensuelle en degrés Celsius (°C).
- **WS (Vitesse du vent):** C'est la vitesse moyenne mensuelle du vent en mètres par seconde (m/s).
- **CDD (Cooling Degree Days) :** Il s'agit du nombre de degrés-jours de refroidissement, qui est une mesure utilisée pour estimer la demande d'énergie pour le refroidissement. Cela dépend de la température moyenne et d'un seuil de température fixé (généralement 18°C). Si la température moyenne est supérieure à ce seuil, il y a des CDD.
- **HDD (Heating Degree Days) :** Il s'agit du nombre de degrés-jours de chauffage, une mesure utilisée pour estimer la demande d'énergie pour le chauffage. Cela dépend également de la température moyenne et d'un seuil de température fixé (généralement 18°C). Si la température moyenne est inférieure à ce seuil, il y a des HDD.

- **Annuel** : Cette ligne représente la moyenne annuelle de chaque paramètre sur l'ensemble de l'année.

L'ensemble des données fournit des informations précieuses sur le rayonnement solaire et le climat dans la région concernée. Ces données sont souvent utilisées dans la conception et la planification de systèmes d'énergie solaire, ainsi que dans d'autres applications liées au climat et à l'énergie.

III.4.5 Les étapes de conception Dimensionnement et installation du système

Dans le processus de conception d'un champ photovoltaïque flottant avec PV-Syst, la modélisation du site est une étape essentielle. Le logiciel permet de créer une représentation virtuelle du site en entrant des paramètres tels que la taille du champ, l'orientation des panneaux solaires, l'inclinaison, la disposition des rangées, la distance entre les rangées et les éventuels obstacles qui pourraient provoquer de l'ombrage, tels que des bâtiments ou des arbres. Cette modélisation précise permet de simuler de manière réaliste la performance du système et d'optimiser son rendement.

- **Sélection des composants** : PV-Syst offre une vaste bibliothèque de composants photovoltaïques flottante, tels que les panneaux solaires, les onduleurs, les câbles et les dispositifs de protection. Les caractéristiques techniques de chaque composant, telles que la puissance, l'efficacité, les pertes, les tolérances et les coefficients de température, peuvent être entrées dans le logiciel pour une analyse approfondie. Il est également possible de simuler différentes combinaisons de composants afin d'optimiser le système en termes de performance énergétique, de coût et de compatibilité avec le réseau.
- **Simulation de la performance** : PV-Syst utilise des modèles mathématiques avancés pour simuler la performance du système photovoltaïque en tenant compte des données d'ensoleillement, de température, de perte de câble et d'autres facteurs influençant la production d'électricité. Ces simulations fournissent des résultats précis sur la production d'électricité attendue, les rendements énergétiques, les pertes de performance et les performances en cas d'ombrage partiel. Il est possible d'effectuer des analyses détaillées sur une base horaire, mensuelle ou annuelle pour obtenir une vision complète de la performance du système dans différentes conditions.
- **Optimisation et dimensionnement** : Les simulations réalisées avec PV-Syst permettent de dimensionner le système photovoltaïque de manière optimale. En

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

ajustant les paramètres tels que la taille du champ, l'orientation, l'inclinaison et les caractéristiques des composants, il est possible de maximiser la production d'électricité tout en prenant en compte les contraintes du site et les objectifs spécifiques du projet. PV-Syst fournit des résultats détaillés sur la production annuelle d'électricité, les rendements énergétiques et les taux d'utilisation de la surface disponible, ce qui permet de comparer différentes options de conception et d'optimiser les performances du système.

III.4.6 Présentation du projet

Grâce à l'utilisation du logiciel PV-Syst et des données fournies par SOLARGIS, nous avons pu réaliser une étude complète de l'installation d'un système photovoltaïque flottant injecté au réseau, d'une capacité de 2 MW, dans le barrage de Barrage de Bakhadda, Mechraa Safa, Tiaret, Algérie. Tableau III.2 présente de manière claire et organisée les principales informations du projet "Barrage de Bakhadda 2MW", notamment son nom, son adresse, ses coordonnées géographiques, la zone horaire à laquelle il se situe, son altitude et la couverture du sol qui est une masse d'eau.

Tableau 2: Informations sur le projet du Barrage de Bakhadda 2 MW

Nom du projet	Barrage de Bakhadda 2MW
Adresse	Barrage de Bakhadda, Mechraa Safa, Tiaret, Algérie
Coordonnées géographiques	35.33591°, 001.057983° (35°20'09", 001°03'29")
Zone horaire	UTC+01
Altitude	581 m
Couverture du sol	Masse d'eau
Densité de population	0 hab./km2
Azimut du terrain	plat
Pente du terrain	0°

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante



Figure 2 : Emplacement du GPVF sur la carte

Le logiciel PVsyst offre à travers son interface une multitude de fonctionnalités. En ouvrant PVsyst, on est directement redirigé vers la page principale, comme le montre l'illustration de la figure III.2. Le programme offre un accès aux quatre principales sections suivantes :

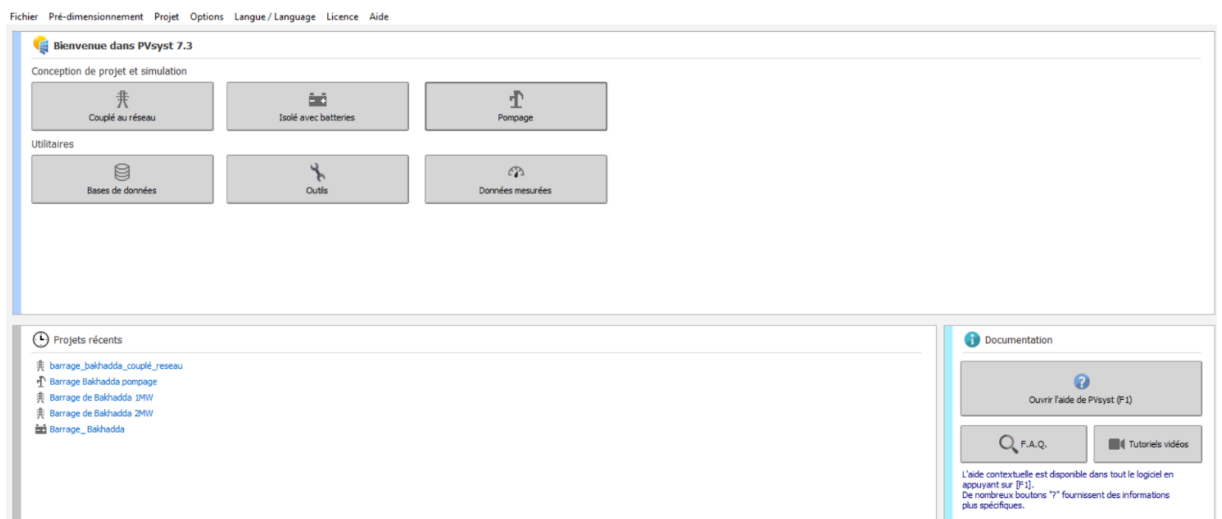


Figure 31: Interface de logiciel PVsyst 7.3

- **Conception et simulation du projet** : Cette partie centrale du logiciel est utilisée pour réaliser une étude complète. Elle permet de choisir les données météorologiques, de concevoir le système, de réaliser des études d'ombrage, de déterminer les pertes et d'évaluer l'aspect économique. La simulation est effectuée sur une année entière, par tranche horaire, fournissant un rapport détaillé ainsi que de nombreux résultats supplémentaires.
- **Projets récents** : Cette section permet de rechercher rapidement et de modifier vos projets récemment consultés.

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

- **Documentation** : Cette section propose une aide pour réaliser différentes simulations grâce à des tutoriels au format PDF, des vidéos et une FAQ.
- **Espace de travail de l'utilisateur Pv-Syst** : Il s'agit d'une bibliothèque regroupant toutes les données créées par l'utilisateur. L'emplacement par défaut est prédéfini.

Après, on donne le nom du projet.

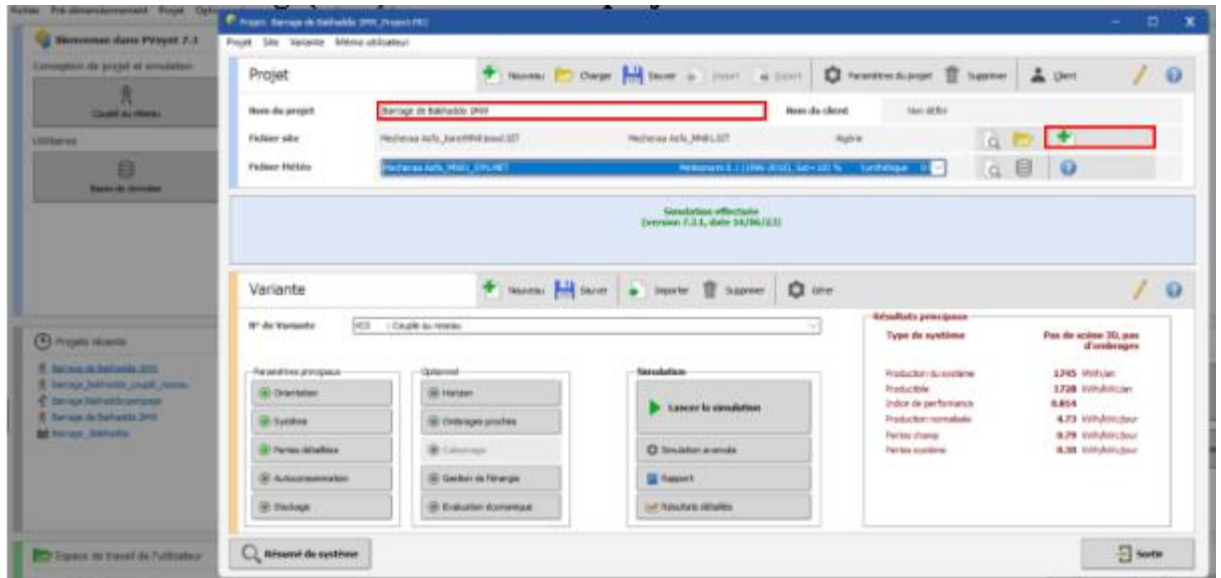


Figure 4: Définition du projet et d'outil de simulation.

III.5. L'application des panneaux solaires :

Lorsque vous parlez de l'application des panneaux, je suppose que vous faites référence à la connexion de panneaux solaires dans un groupe système photovoltaïque. Vous avez trois options principales pour connecter des panneaux solaires : en série, en parallèle ou en configuration mixte.

- **Connexion en série** : Lorsque vous connectez des panneaux solaires en série, la tension de chaque panneau s'additionne, tandis que le courant reste constant. Cela augmente la tension totale du système. La connexion en série est généralement utilisée lorsque vous avez besoin d'une tension plus élevée pour correspondre aux spécifications du système ou pour minimiser les pertes de câblage sur de longues distances. Assurez-vous que les panneaux aient des caractéristiques électriques similaires pour éviter des problèmes d'incompatibilité.
- **Connexion en parallèle** : Lorsque vous connectez des panneaux solaires en parallèle, la tension reste constante, tandis que le courant de chaque panneau s'additionne. Cela

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

augmente le courant total du système. La connexion en parallèle est couramment utilisée lorsque vous avez besoin d'une augmentation du courant pour correspondre aux spécifications du système ou pour minimiser les pertes de tension sur de longues distances. Encore une fois, assurez-vous que les panneaux aient des caractéristiques électriques similaires pour une meilleure performance.

- **Configuration mixte :** Vous pouvez également combiner la connexion en série et en parallèle pour obtenir les avantages des deux. Par exemple, vous pouvez connecter des panneaux solaires en série pour augmenter la tension, puis connecter plusieurs ensembles de ces séries en parallèle pour augmenter le courant total. Cela peut être utile si vous devez à la fois augmenter la tension et le courant pour répondre aux besoins de votre système.

Avant de procéder à la connexion des panneaux solaires, assurez-vous de comprendre les spécifications électriques de chaque panneau, y compris la tension maximale, le courant maximal et la puissance maximale. Vous devrez également tenir compte des exigences spécifiques de votre système, telles que la tension et le courant d'entrée requis par votre onduleur solaire ou votre batterie. Il est recommandé de consulter un professionnel qualifié en énergie solaire ou un installateur solaire pour vous aider à concevoir et à réaliser la connexion appropriée des panneaux solaires en fonction de vos besoins spécifiques.

III.6 Résultats de simulation:

III.6.1 Applications du logiciel PV System

Le logiciel PV System est largement utilisé dans diverses applications liées à l'énergie solaire, notamment :

- La conception et l'optimisation de systèmes photovoltaïques résidentiels, commerciaux et industriels.
- L'évaluation de la faisabilité de projets solaires à grande échelle, tels que les parcs solaires.
- L'analyse de la performance des installations solaires existantes pour l'entretien et la maintenance.
- L'intégration de systèmes solaires dans les bâtiments pour une efficacité énergétique accrue.

III.6.2 Simulation par le logiciel PV-SYST :

Deux options caractérisent le logiciel PVSYST :

III.6.2.1 Pré dimensionnement :

Le logiciel PV-SYST permet le pré dimensionnement d'un projet, en quelques clics, sans composant réels, première évaluation des dimensions du système et de son composant.

Le pré dimensionnement concerne trois systèmes :

- Couplé au réseau
- Isolé avec batteries
- Pompage [13].

III.6.2.2 Conception/Dimensionnement du système :

La conception du système est basée sur une procédure rapide et simple :

- Spécifier la puissance désirée ou la surface disponible.
- Choisir les modules PV dans la base de données interne.
- Choisir l'onduleur dans la base de données interne et PVSYST propose une configuration de système, qui de réaliser une première simulation /évaluation [18].

III.6.2.3 Utilisation de logiciel PVSYST :

- **On Choisie :** conception du projet, en suite couplé au réseau,

Après, on a donné le nom du projet

- Cliquer sur base données météo et «sites géographique »
- Choix des données :
- Le nom de Pays et le nom de fichier
- Choisir Alegria puis cliquer sur « nouveau »

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

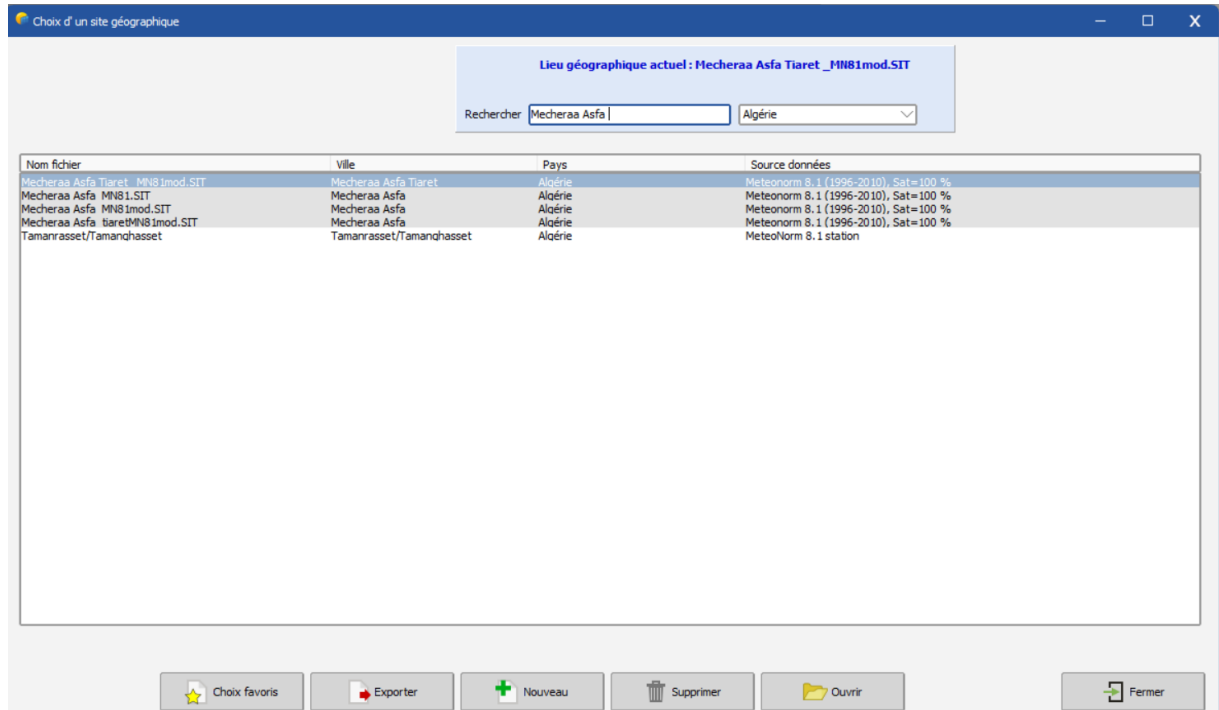


Figure 5: Affectation de la situation et la météo.

III.6.2.4 Coordonnées géographiques :

En donnant :

- Le nom du site, pays, région, latitude, longitude, Altitude, fuseau horaire.

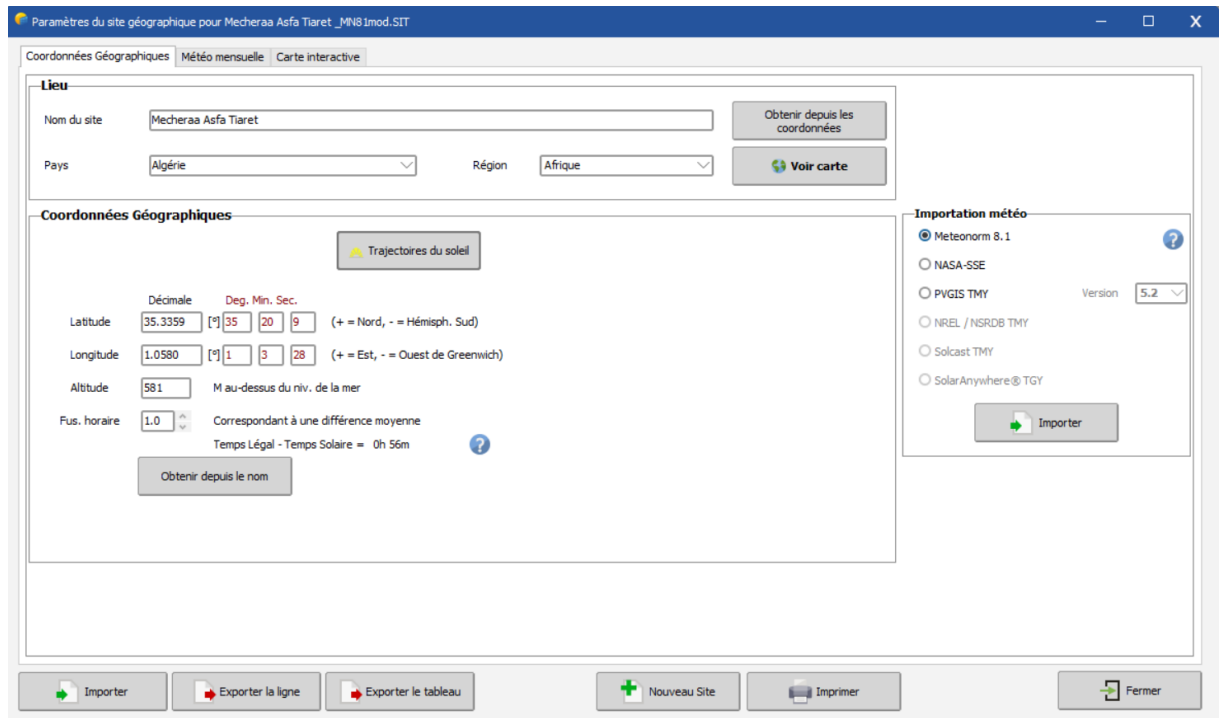


Figure 6: Paramètres de site géographique et Coordonnées géographiques.

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

- Cliquer sur Importer, cliquer sur ok

III.6.2.5 Météo mensuelle :

- En remplissant irradiation globale utilise les obtenus à partir du site PV-SYST et pour la température moyenne utilise-les obtenus à partir température mesuré ou température Depuis site web

	Irradiation globale horizontale kWh/m²/mois	Irradiation diffuse horizontale kWh/m²/mois	Température °C	Vitesse du vent m/s	Turbidité Linke [-]	Humidité relative %
Janvier	85.6	30.3	8.2	4.00	2.572	75.5
Février	97.4	40.9	9.2	4.31	2.845	71.5
Mars	147.9	52.4	12.5	4.19	3.658	66.0
Avril	182.2	67.7	15.3	4.00	4.101	62.6
Mai	202.4	78.9	19.9	3.60	4.744	55.3
Juin	224.6	78.1	25.2	3.60	5.168	45.0
Juillet	229.8	77.3	29.6	3.40	6.474	38.5
Août	214.2	66.7	28.9	3.30	5.503	41.8
Septembre	164.9	52.5	23.5	3.19	4.769	55.1
Octobre	133.9	42.9	19.5	3.39	3.841	59.5
Novembre	92.9	30.6	12.4	4.00	3.121	72.5
Décembre	78.8	26.8	9.5	3.79	2.688	76.1
Année	1854.6	645.1	17.8	3.7	4.124	60.0

Irradiation globale horizontale variabilité d'une année sur l'autre 2.9%

Données requises
 Irradiation globale horizontal
 Température ext. Moyenne

Données supplémentaires
 Irradiation diffuse horizontal
 Vitesse du vent
 Turbidité Linke
 Humidité relative

Unités d'irradiation
 kWh/m²/jour
 kWh/m²/mois
 MJ/m²/jour
 MJ/m²/mois
 W/m²
 Indice de clarté Kt

Imprimer Fermer

Figure 7: Paramètres de site géographique météo mensuel.

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

III.6.2.6 Les étapes pour faire les calculs :

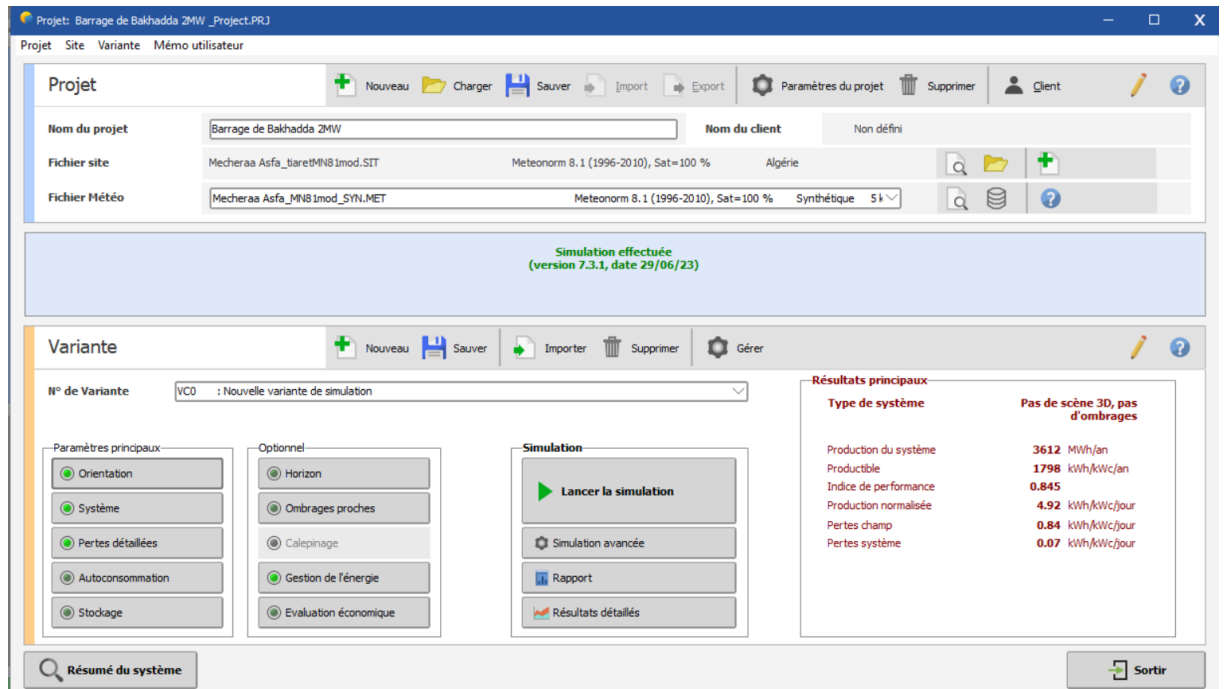


Figure 8: Création du projet.

III.6.2.7 Etape 1 : L'orientation :

Cette étape est pour donner le paramètre du champ et inclinaison plan Azimut

- Cliquer sur orientation

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

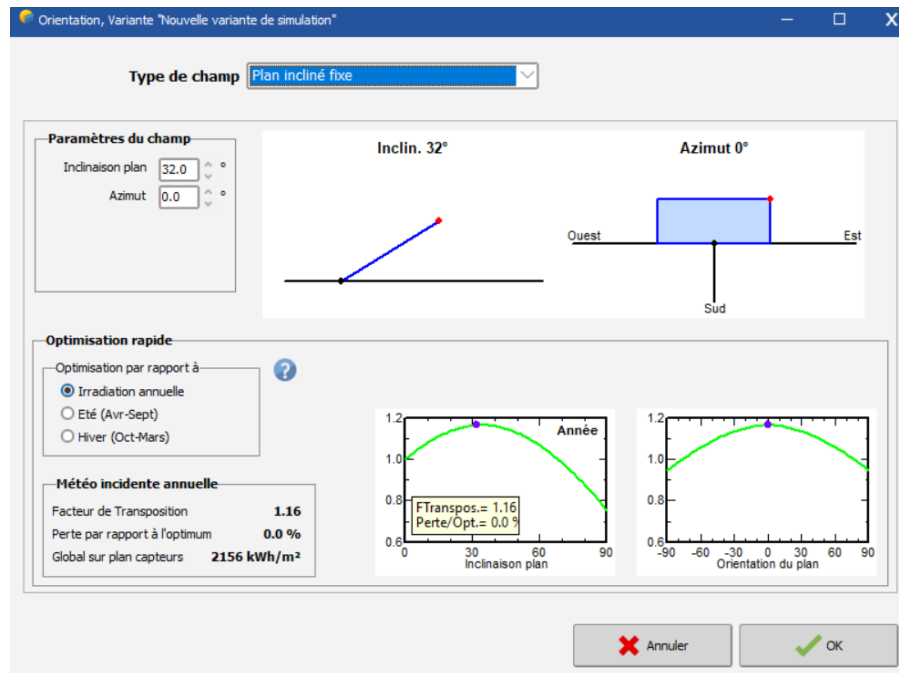


Figure 9: Réglage de l'orientation.

III.6.2.8 Etape 2 : Horizon (réglage Trajectoire du soleil) :

- Cliquer sur horizon pour voir la ligne d'horizon à inclinaison.

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente qui dépend de la latitude et la longitude du lieu où il se trouve. Rappelons que la latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur (de 0 à 90° dans l'hémisphère nord). La figure (III.11) représente les trajectoires du soleil pour le lieu d'étude du projet. On peut y lire la hauteur et l'azimut du soleil à n'importe quel moment de l'année.[12]

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

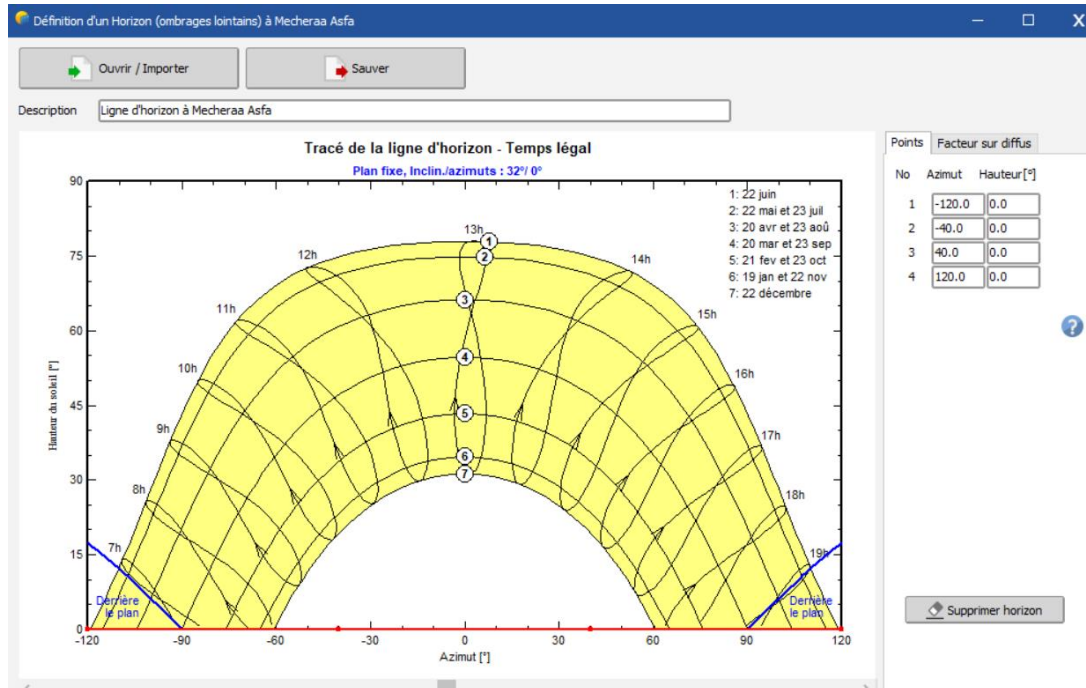


Figure 10: Trajectoire du soleil pour Sept mois.

III.6.2.9 Etape 3 : Cliquer sur système :

Dans cette étape en choisissant

- Enter espace (1) ou la puissance utilise (2)
- Choisir le panneau solaire pour le projet (3)
- Choisi l'onduleur (4), en suite cliquer sur ok

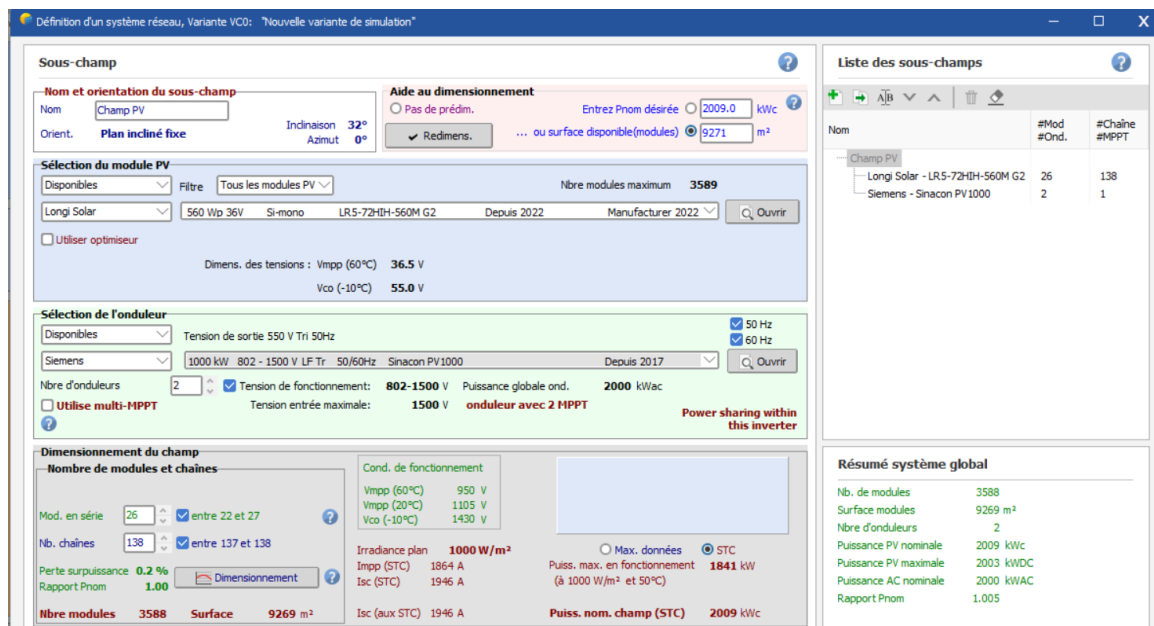


Figure.11 : Réglage des paramètres du système.

III.6.2.10 Etape 4 : Cliquer sur simulation :

- Cliquer sur simulation en suite cliqué sur résultats

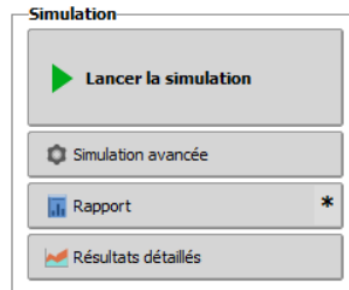


Figure.12: *PVSYS* pour l'étape de la simulation.

La figure (III .11), nous permet de lancer la simulation en obtenant des résultats sous forme des graphes, des histogrammes et des tableaux, dans ce qui suit on va donner des aperçus des résultats de simulation pour analyse et traitement.

- En suite Cliquer sur rapport

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

III .6.2.11 Rapport de simulation :

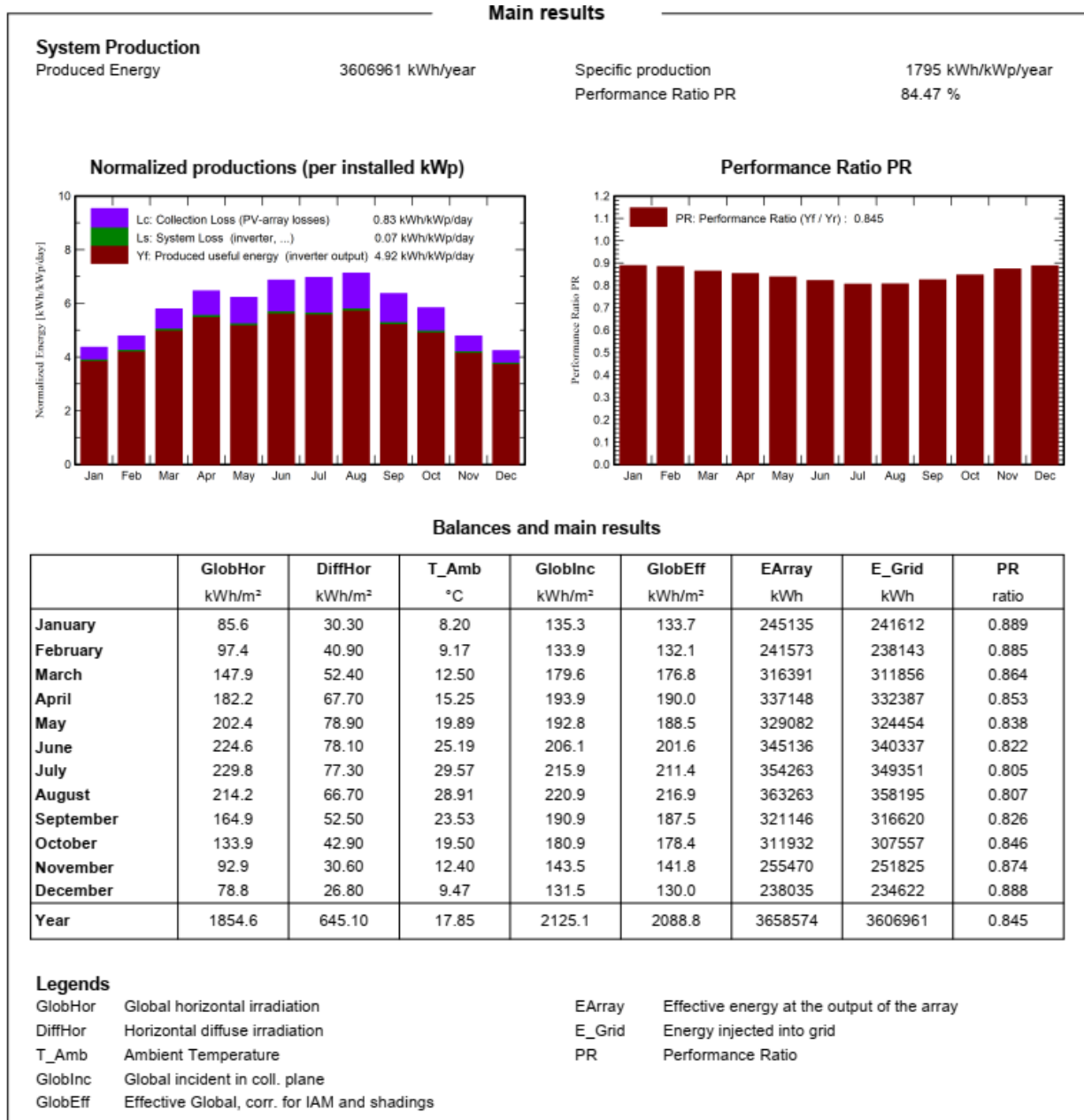


Figure.13: Résultats principaux.

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

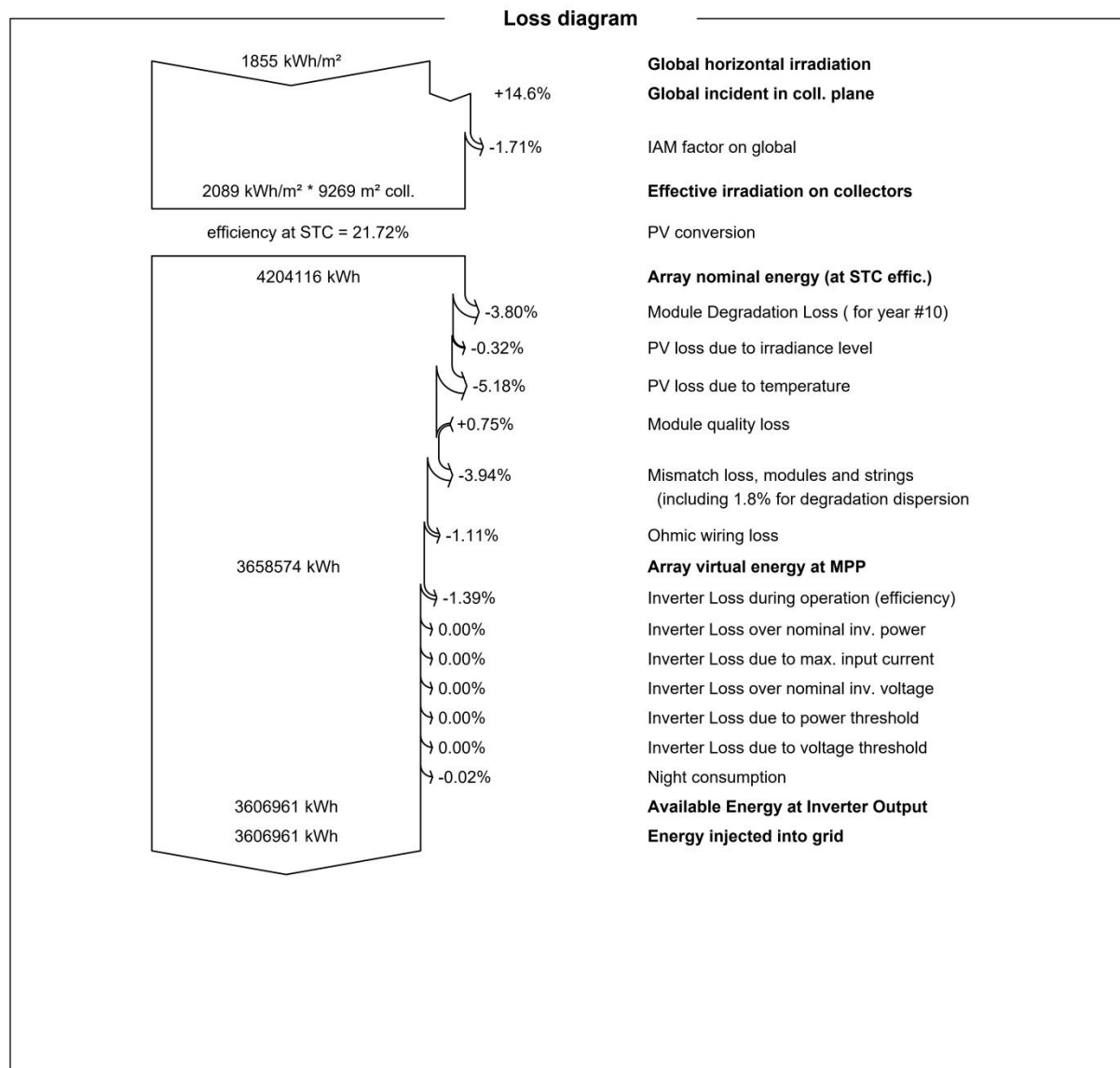


Figure 14: Diagramme des pertes.

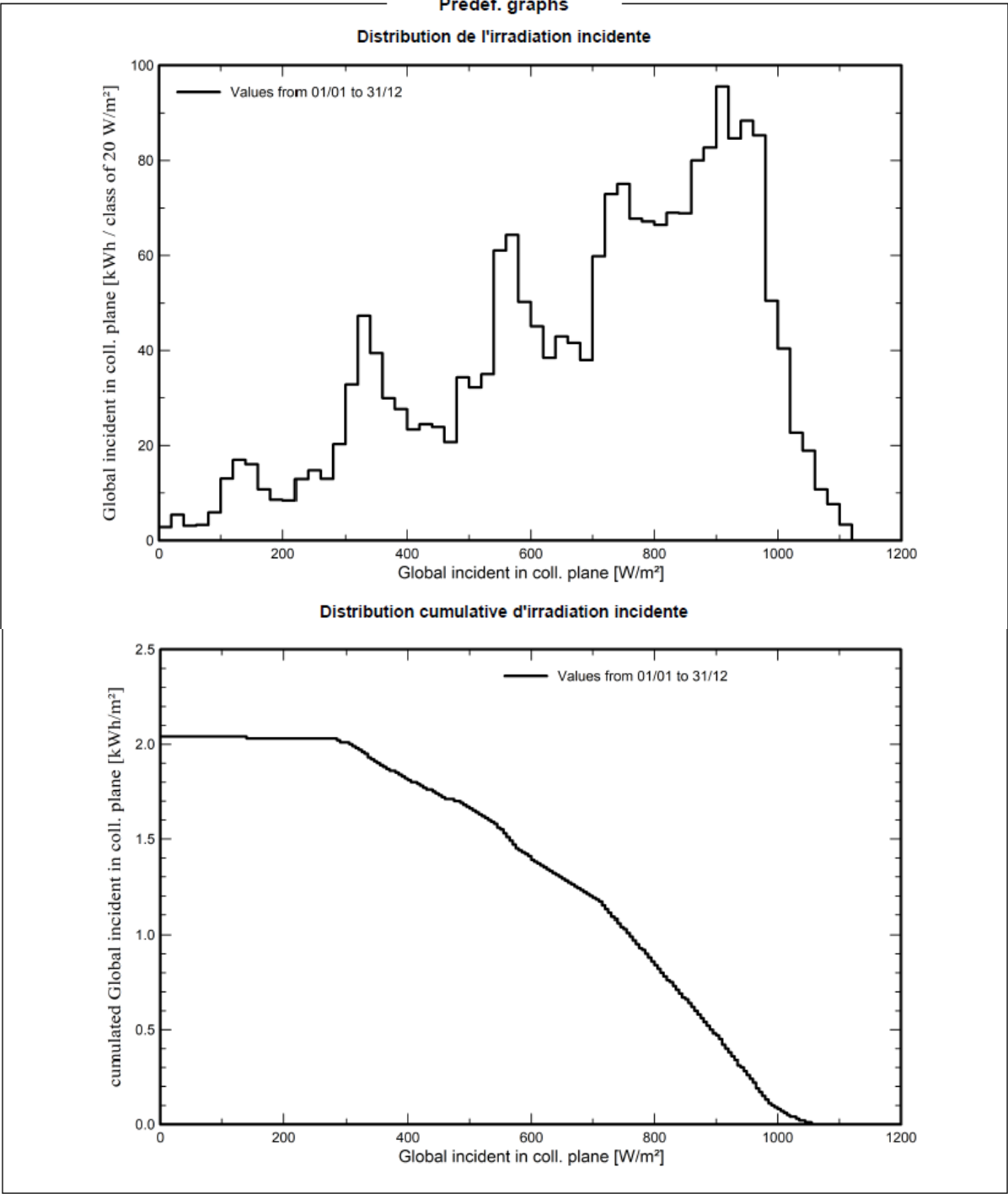


Figure 15: *Diagramme des radiation incident .*

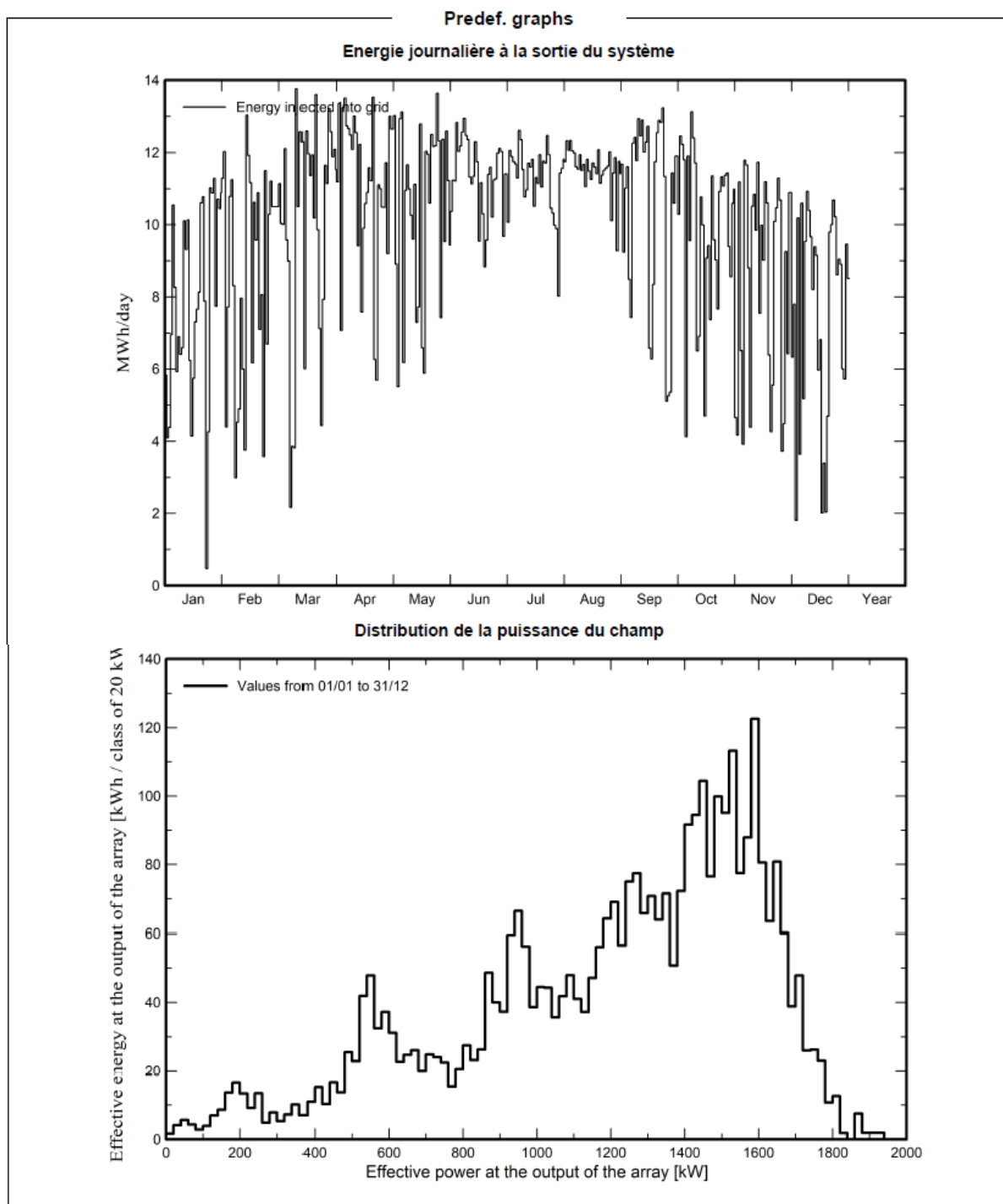


Figure 16: Diagramme d'énergie journalisé à la sortie de système.

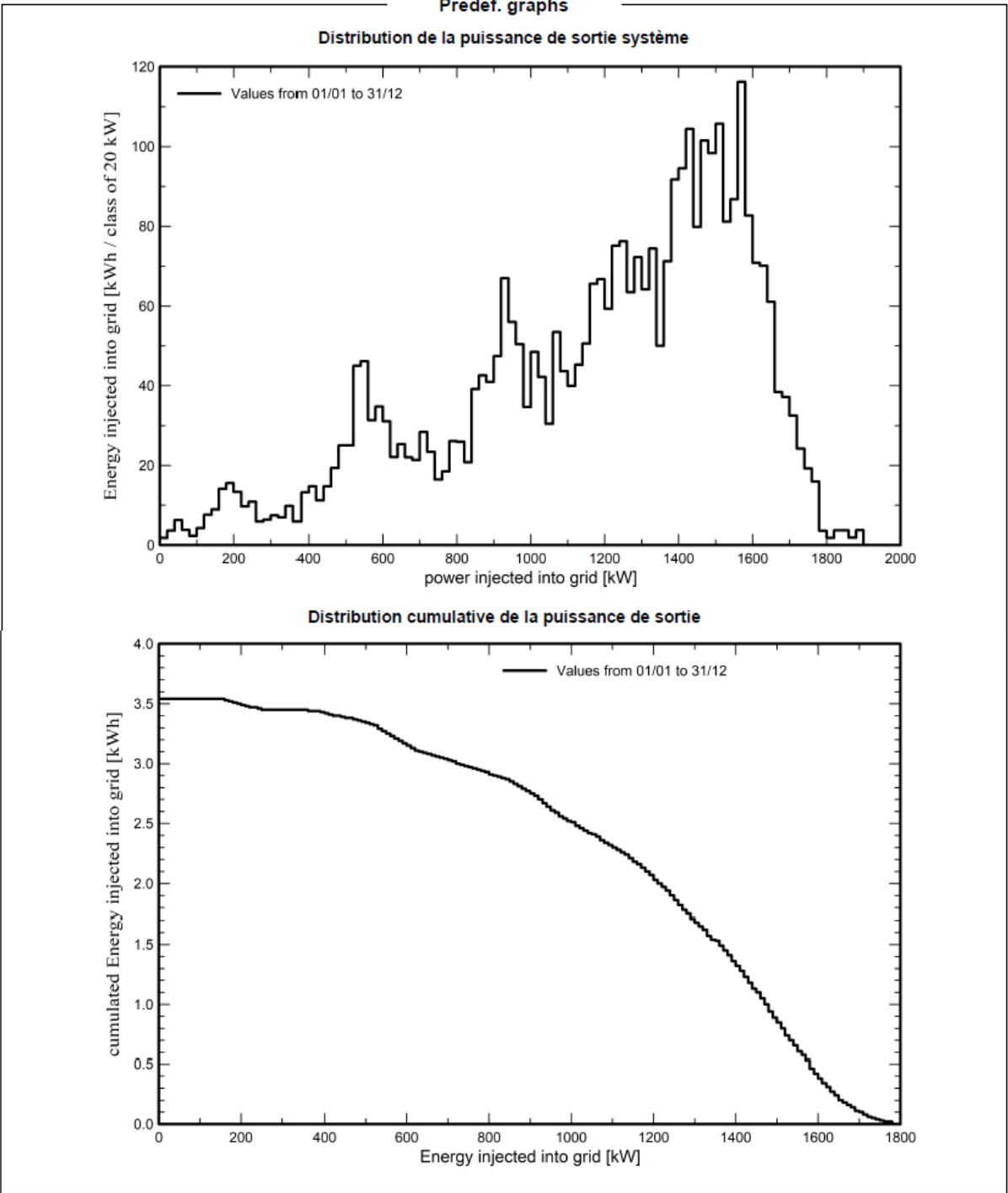


Figure 17: *Diagramme de la puissance de sortie système*

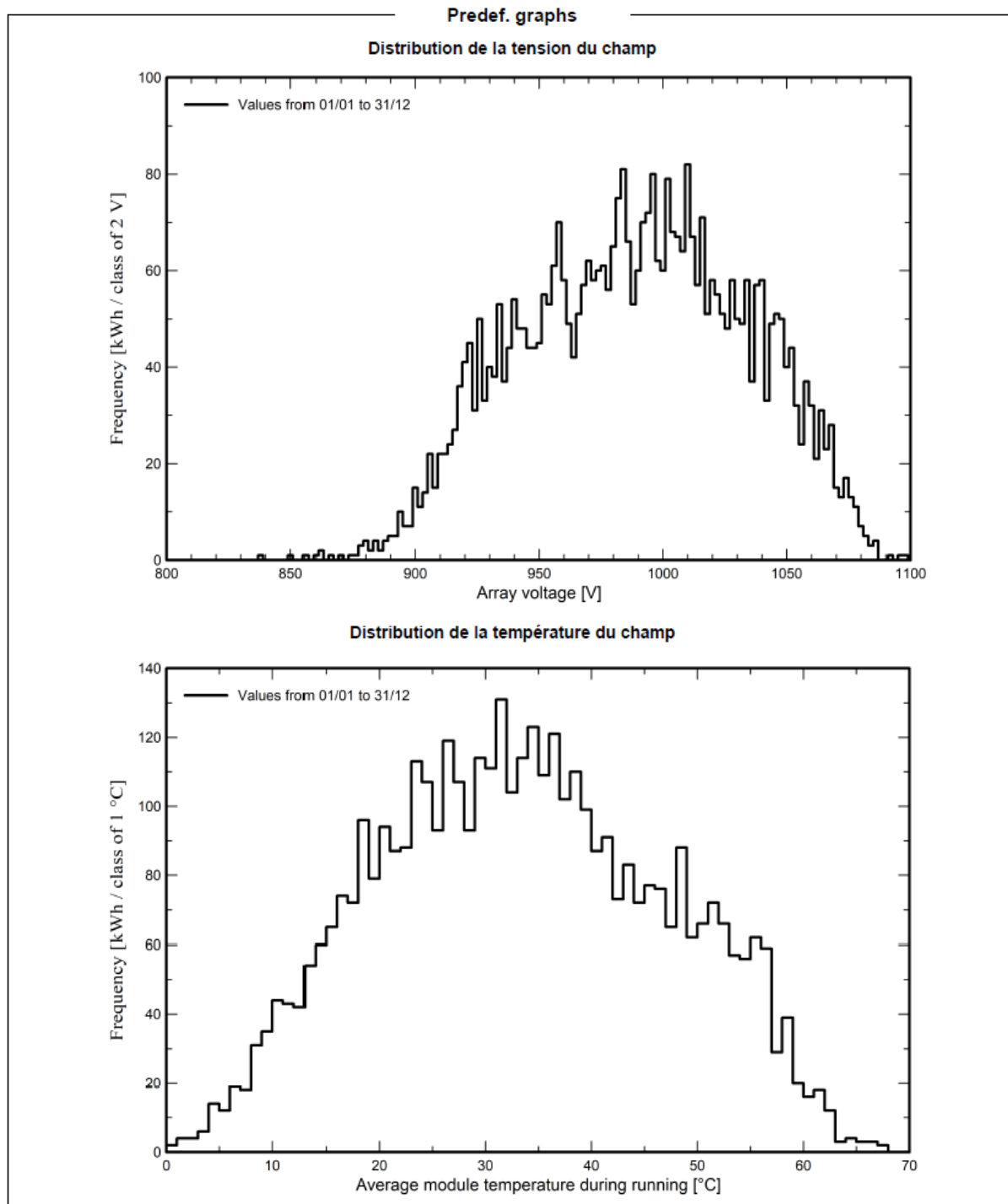


Figure 18: Diagramme de la tension/ température du champ .

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

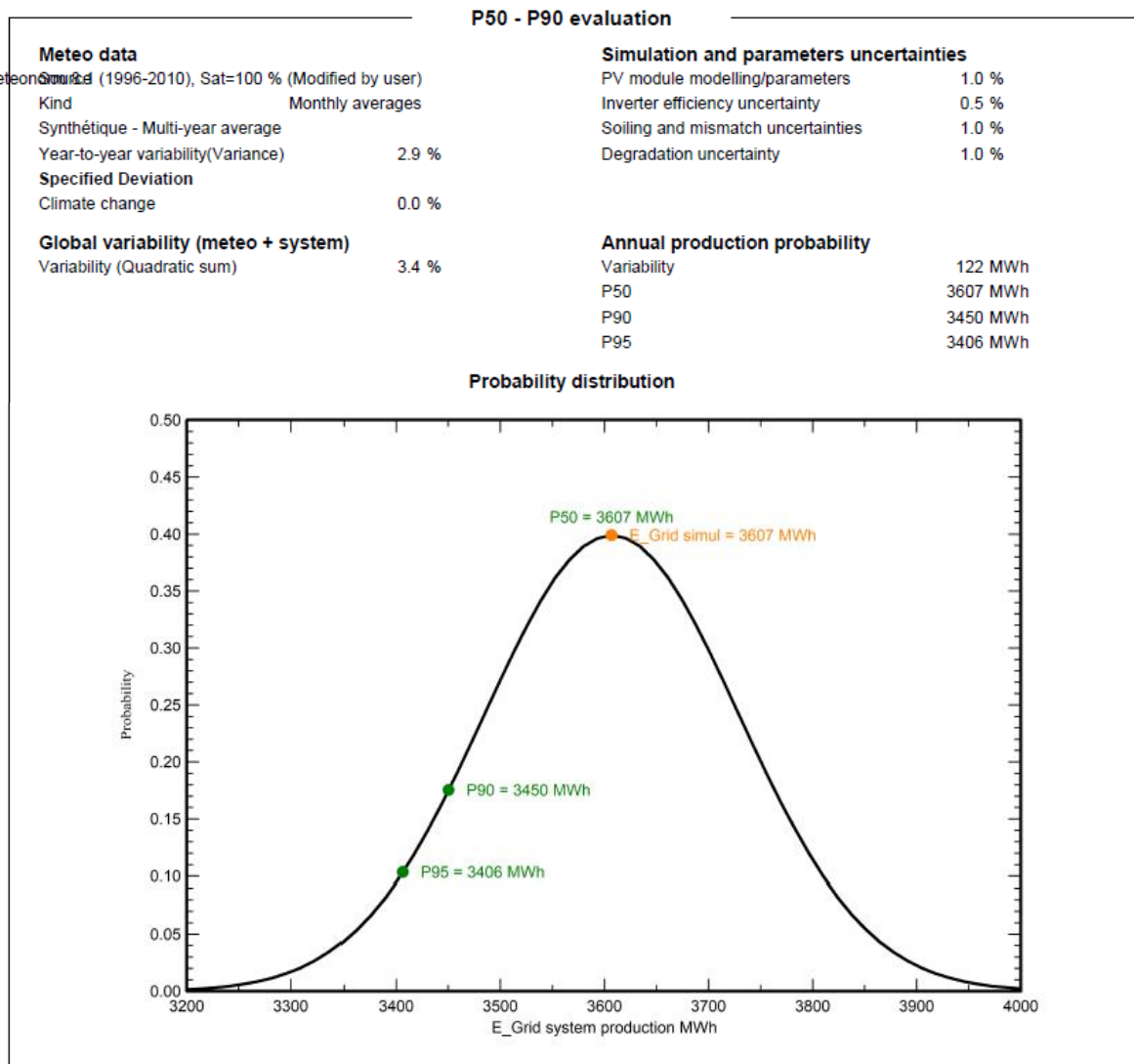


Figure 19 : *Diagramme de probabilité distribution.*

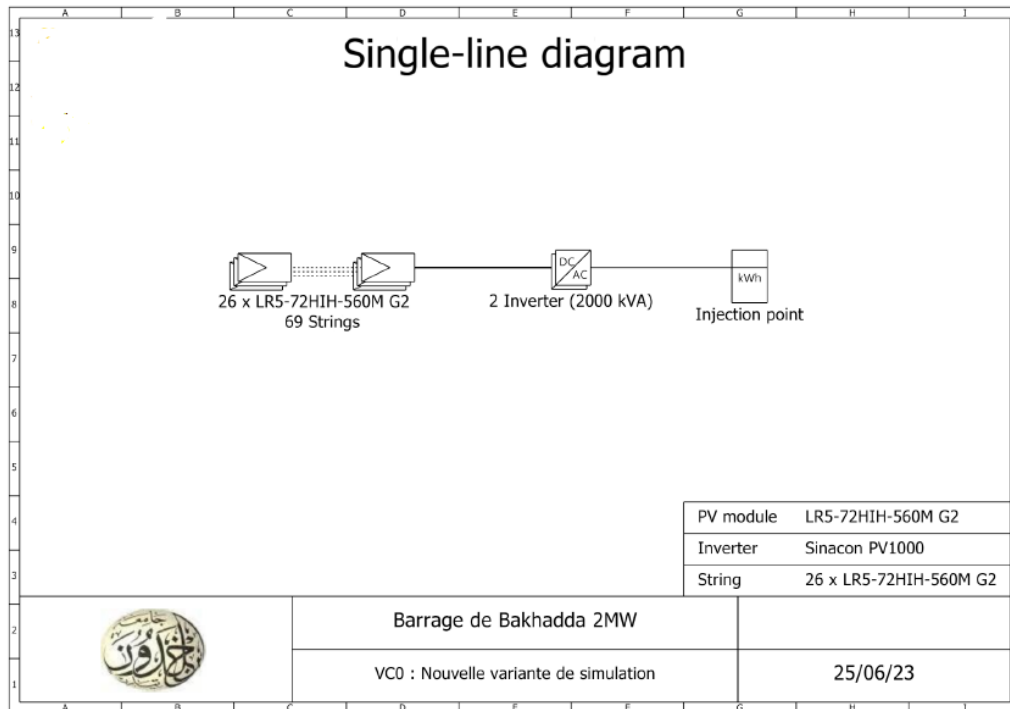


Figure 20 : Diagramme single-line

III.7 Le coût d'une installation photovoltaïque :

Il est composé par les éléments suivants :

- **Modules :** C'est le poste qui influence le plus fortement le coût du système. Le coût de chaque module se réduit proportionnellement à la puissance installée d'environ 40 à 60% du coût d'une installation.
- **Onduleur :** Le coût de ce composant se réduit proportionnellement à la puissance installée.
- **Transport et installation :** La standardisation du système permet de réduire modérément les coûts, surtout dans le cas d'installation de grandes dimensions. Les coûts liés à la mise en sécurité du chantier doivent être pris en considération.
- **Système de fixation :** Une installation intégrée peut s'avérer plus onéreuse par rapport à une installation appliquée ou posée sur le terrain, mais en même temps, une installation intégrée permet d'utiliser globalement moins de matériel.
- **E- Câblage :** Une bonne conception de la connexion électrique entre les modules permet d'optimiser les coûts et de réduire les pertes de production.

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

- **F-Conception** : Plus grande est la complexité de l'installation, plus de temps sera nécessaire pour sa correcte conception. Une bonne conception garantit la qualité de l'installation au fil des ans

III.7.1 Le prix du module photovoltaïque

Le prix des panneaux solaires photovoltaïques dépend dans un premier temps de trois facteurs : le type de panneaux solaires photovoltaïques, la surface du module photovoltaïque, et le fabricant. Le coût des équipements complémentaires et de l'installation viennent s'ajouter ensuite pour établir le coût de revient final des panneaux.

- **Selon le type de cellule solaire** : Le prix au mètre carré des panneaux solaires photovoltaïques varie selon le type de cellule solaire photovoltaïque utilisée : amorphes, monocristallins, ou polys cristallins.
- **Selon la surface du module photovoltaïque** : précisons qu'un module photovoltaïque est un ensemble de cellules solaires photovoltaïques reliées électriquement entre elles. Plus la surface du module est grande, plus le nombre de cellules qui le composent est élevé. La taille du module se basera sur la puissance souhaitée de l'installation. Ainsi, par exemple, pour un besoin de 1000KWc, il faudrait 4 panneaux de 250Wc.
- **Selon le fabricant** : de nombreux modèles rivalisent sur le marché. Les prix peuvent être sensiblement différents entre les fabricants (entre fabricants chinois, européens, américains et algériens) pour deux panneaux standards avec les mêmes types de cellules photovoltaïques.
 - ✓ **Pour les marchés à l'étranger**

En moyenne le prix d'un module photovoltaïque, rapporté à sa puissance, se situe entre 900 et 4500 € (net) par Kilowatt crête (la puissance nominale installée). Ainsi le prix au watt crête varie de 0,9 à 4,5 €. Ces prix seront amenés à baisser avec les années, avec l'augmentation prévisible des offres en panneaux solaires.

Tableau Ci-dessous présente des estimations de prix d'un module, composé de 4 panneaux identiques. Les estimations sont basées sur les gammes de puissance proposées par différents fabricants. Le prix d'un panneau se situe en moyenne entre 2 et 3,5 € par Watt crête.

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

Tableau 3 : Estimations de prix par fabricants.

Fabricants	Puissance d'un panneau	Prix
Suntech	185 à 280 WC	1480 à 3920 €
Centrosolar	180 à 200 WC	1440 à 2800 €
Sunpower	225 à 305 WC	1800 à 4270 €
BP Solar	165 à 230 WC	1320 à 3220 €
Photowatt	120 à 175 WC	960 à 2450 €

Source : <http://www.solaire-guide.fr/>

✓ Pour le marché algérien

Le groupe algérien, spécialisé dans l'électronique, Condor, dont le siège social est basé à Bordj Bou Arreridj a communiqué le prix des panneaux photovoltaïques fabriqués dans son unité Energie Solaire. Le coût moyen du Watt annoncé, en hors taxes, est de 95 DA.

Il s'agit de panneaux photovoltaïques monocristallins et poly-cristallins dont la puissance varie entre 70 Watts et 285 Watts.

Tableau 4 Prix du panneau photovoltaïque en Algérie.

Code	Désignation	P.U. HT	P.U. TTC
CEM90M-36	Panneau Solaire 90 W Mono	8.550,00 DA	10.003,50 DA
CEM100M-36	Panneau Solaire 100 W Mono	9.500,00 DA	11.115,00 DA
CEM200M-72	Panneau Solaire 200 W Mono	19.000,00 DA	22.230,00 DA
Code	Désignation	P.U. HT	P.U. TTC
CEM70P-18	Panneau Solaire 70 W Poly	7.000,00 DA	8.190,00 DA
CEM145P-36	Panneau Solaire 145 W Poly	13.050,00 DA	15.268,50 DA
CEM235P-60	Panneau Solaire 235 W Poly	21.150,00 DA	24.745,50 DA
CEM240P-60	Panneau Solaire 240 W Poly	21.600,00 DA	25.272,00 DA
CEM280P-72	Panneau Solaire 280 W Poly	25.200,00 DA	29.484,00 DA
CEM285P-72	Panneau Solaire 285 W Poly	25.650,00 DA	30.010,50 DA

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

Source : www.cder.dz

✓ Prix des onduleurs :

Le prix des onduleurs dépend de leur taille, leur fabricant, et leur puissance nominale. Aujourd'hui les onduleurs coûtent entre 500 et 1200 € (net) par kilowatt (puissance nominale de l'onduleur). Le coût d'achat de l'onduleur contribue généralement aux 10% de la facture finale de l'investissement.

Ci-dessous un échantillon de modèles présents sur le marché avec leurs prix respectifs.

Tableau 5: échantillons de prix de quelques fabricants.

Modèle	Puissance nominale (en Wc)	Prix (en €)
Sma sunny boy 300tl-20	3000	1750
Sunny boy 2500	2500	1400
Schneider 2800	2800	1390
Fronius ig300	2500	1260
Master volt Xs 3200	2500	1990
Power one 3000	3000	1570

Source : <http://www.solaire-guide.fr/>

III.8 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons utilisé le logiciel PV-Syst pour dimensionner et évaluer une installation photovoltaïque flottante connectée au réseau électrique. Nous avons choisi la localisation du Barrage Bakhadda à Mechraa Safa, en Algérie, en raison de ses caractéristiques environnementales et climatiques spécifiques. Grâce aux fonctionnalités avancées du logiciel, nous avons pu effectuer une étude complète et approfondie de l'installation. L'utilisation de PV-Syst nous a permis de sélectionner les données météorologiques appropriées, de concevoir le système photovoltaïque, d'évaluer les pertes liées à l'ombrage et d'effectuer une évaluation économique du projet. La simulation réalisée sur une année complète, avec une résolution horaire, nous a fourni un rapport détaillé sur les performances attendues de l'installation. Grâce à ces résultats précis et fiables obtenus grâce à

Chapitre III : Evaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante

PV-Syst, nous pouvons conclure que l'installation photovoltaïque flottante au Barrage Bakhadda présente un potentiel prometteur pour la production d'électricité renouvelable. Les résultats de la simulation nous fournissent des informations essentielles pour prendre des décisions éclairées sur le dimensionnement et l'optimisation de l'installation, ainsi que sur les aspects économiques du projet.

Conclusion générale :

Conclusion général

Conclusion générale :

Cette étude technico-économique des centrales solaires photovoltaïques flottantes démontre l'importance croissante des énergies renouvelables, en mettant en évidence l'énergie solaire comme une solution durable et prometteuse pour la production d'électricité. Les centrales solaires photovoltaïques flottantes émergent comme une alternative innovante, offrant des avantages uniques tels que l'utilisation efficace de l'espace sur les plans d'eau existants. Cette étude a couvert trois aspects essentiels de la mise en œuvre de ces centrales solaires flottantes. Le premier chapitre a souligné les avantages des énergies renouvelables, mettant en évidence la durabilité, la disponibilité et les faibles impacts environnementaux de l'énergie solaire. Le deuxième chapitre s'est concentré sur la conception et le dimensionnement d'un projet de ferme photovoltaïque flottante, en soulignant l'importance de considérations telles que l'emplacement, les contraintes techniques, les considérations environnementales et les choix technologiques pour maximiser l'efficacité de la ferme. Le troisième chapitre a présenté l'évaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement des centrales solaires flottantes, fournissant des informations précieuses sur les performances attendues et la rentabilité économique du projet. Ces informations sont cruciales pour les décideurs, les ingénieurs et les investisseurs qui cherchent à exploiter cette technologie prometteuse. Les centrales solaires photovoltaïques flottantes offrent une solution rentable et durable pour la production d'électricité, tout en préservant l'environnement et en contribuant à la transition vers un avenir énergétique plus propre.

Références

REFERENCES

- [1] Firman, A., Hendriyawan, H., Firdaus, A. M., & Bakti, F. P. (2022). Application du photovoltaïque flottant sur le réservoir du barrage en Indonésie. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 346, p. 03029). EDP Sciences.
- [2] Amiot, B., Le Berre, R., Pabiou, H., & Giroux-Julien, S. (2021, August). Qualification de la convection des modules photovoltaïques flottants avec leurs environnements. In *Journée Nationales de l'Energie Solaire*.
- [3] Messaouden, A., Aissou, Y., & OULD CHERCHALI, N. (2020). Etude et réalisation d'un concentrateur solaire de type Fresnel. Application aux panneaux solaires photovoltaïques.
- [4] Ready, K. N., Justin, F. L., & Germain, P. M. (2023). Méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque comme source de secours pour l'alimentation d'un laboratoire informatique: Cas de laboratoire informatique de l'ISTA Lukula, Boma, RD Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 38(4), 847-859.
- [5] M'HAMMEDI, RACHIDA, BEN AMRANI, CHEIMA, ATAILLAH, BEN, et al. Étude techno-économique d'un système photovoltaïque (maison solaire) sur le site d'adrar. 2020. Thèse de doctorat. UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR.
- [6] SEDRATA, Lazhar, FERRAH, Chams Eddine, et al. ETUDE ET MAINTENANCE D'UN SYSTEME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE. Thèse de doctorat. university of M'sila.
- [7] DNVGL-RP-0584: Design, development, and operation of floating solar photovoltaic systems (2021) 2.
- [8] DNVGL-OS-E301 Position Mooring (2018)
- [9] DVGL-RP-C212: Design of offshore steel structures, general-LRFD method (2015)
- [10] DNV-RP-C205: Environmental Conditions and Environmental Loads (2014)
- [11] DNVGL-ST-0119: Floating Wind Turbine Structures (2018)
- [12] American Bureau of Shipping (ABS) Guide for Position Mooring Systems (2020)
- [13] American Bureau of Shipping (ABS) Guidance Notes on Selecting Design Wave by Long Term Stochastic Method (2016)
- [14] American Petroleum Institute (API) API RP 2SK – Design and Analysis of Station keeping Systems for Floating Structures (2005)
- [15] American Petroleum Institute (API) API RP 2FPS – Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Floating Production Systems (2001)
- [16] Rashid, M. H. (2013). *Power Electronics Handbook: Devices, Circuits, and Applications*. Academic Press.

Références

- [17] Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2002). *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. Wiley.
- [18] Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2013). *Fundamentals of Power Electronics*. Springer.
- [19] Li, Y., Lai, J.-S., & Zhu, Y. (2018). *Modeling and Control of Power Electronics Converter Systems for Renewable Energy Applications*. Wiley.
- [20] Tsai, H.-L. (2013). *Power Management Techniques for Integrated Circuit Design*. CRC Press.
- [21] Bouchekara, H. R., & Kerkar, M. (2020). *Modeling and Control of Power Electronics Converters: Applications to Renewable Energy Systems*. ISTE Press - Elsevier.
- [22] Liserre, M., Sauter, T., & Hung, J. Y. (2018). *Future Energy Electronics: Implementation, Control, and Applications for Renewable Energy Systems*. John Wiley & Sons.
- [23] Hui, S. Y. R., & Tsang, K. M. (2016). *Power Converters and AC Electrical Drives with Linear Neural Networks*. CRC Press.
- [24] Márquez-Fernández, F. J. (2019). *Photovoltaic Solar Energy: From Fundamentals to Applications*. CRC Press.
- [25] Sera, D., Teodorescu, R., & Rodriguez, P. (2011). *Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems*. Wiley.
- [26] Kouro, S., Malinowski, M., Gopakumar, K., Franquelo, L. G., Pou, J., Rodriguez, J., & Perez, M. A. (2015). *Power Converters for Medium Voltage Networks*. Wiley.
- [27] Lai, J. S., & Peng, F. Z. (2016). *Multilevel Converters: Conventional and Emerging Topologies and Their Control*. Wiley.
- [28] MR. MERABET A/WEHAB et MR. KHOULALENE YOUGHOURTA, « *COMMANDE PAR MODE DE GLISSEMENT D'UN CONVERTISSEUR DC/DC* », mémoire de master, Université A.MIRA - Bejaïa, 2013.
- [29] <http://selearn.univ ouargla.dz2013-2014 courses TP ELECTRONIQUE DE PUIS document Cour 3 Hacheur.pdf>.

Références

- [30] Soltani Ali, « Etude et réalisation d'un hacheur Buck destiné à l'implémentation des commandes à base de DSP », mémoire de master, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI DE OUM EL BOUAGHI ,2016 .
- [31] Ghania Boukerche, « Etude et Synthèse d'un Contrôleur PI et Application », mémoire de master, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR- ANNABA, 2017.
- [32] Touaref Mostefa, « Etude et simulation d'un convertisseur AC/DC type BUCK (Abaisseur de tension) », mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra ,2014.
- [33] BELFAR Mouiz eddine et SOUALMI Elyamine, « UTILISATION D'UN CONVERTISSEUR QUASI- RESONNANT DANS UN ENTRAINEMENT ELECTRIQUE ETUDE ET SIMULATION », mémoire D'INGENIEUR, UNIVERSITE DE M'SILA, 2007.
- [34] Mohamed MERAH et Mohamed Zakaria KARI, « Conception, simulation et réalisation d'un onduleur assisté (Grid-Tie Inverter) », mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen, 2015.
- [35] Seif Eddine NAFFOUTI, « Dimensionnement et commande d'un hacheur parallèle alimenté par une source photovoltaïque », mémoire D'INGENIEUR, Université de Monastir, 2012.
- [36] BELKAID ABDELHAKIM, « Conception et implémentation d'une commande MPPT de haute performance pour une chaine de conversion photovoltaïque autonome », THESE de DOCTORAT, UNIVERSITE FERHAT ABBAS - SETIF 1. 2015.
- [37] ACHOUR Abderraouf, « Analyse et commande d'un hacheur Buck- boost», mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2018.
- [38] ERICKSON, Robert W. et MAKSIMOVIC, Dragan. Fundamentals of power electronics. Springer Science & Business Media, 2007.
- [39] MOHAN, Ned. Power electronics: a first course. Wiley, 2011.
- [40] SIDDIQUE, Nazmul et ADELI, Hojjat. Computational intelligence: synergies of fuzzy logic, neural networks and evolutionary computing. John Wiley & Sons, 2013.

Résumé :

Ce document est une étude approfondie sur les centrales solaires photovoltaïques flottantes, qui présente une vision globale des énergies renouvelables avec un accent sur l'énergie solaire. Il met en évidence les avantages des énergies renouvelables par rapport aux sources d'énergie traditionnelles, en soulignant leur durabilité, leur disponibilité et leurs faibles impacts environnementaux. L'étude se divise en trois parties principales. La première partie traite de la conception et du dimensionnement d'une ferme photovoltaïque flottante, en abordant les aspects tels que la sélection de l'emplacement, les contraintes techniques, les considérations environnementales et les choix technologiques. L'accent est mis sur les méthodes de dimensionnement visant à maximiser l'efficacité et l'optimisation de la production d'électricité. La troisième partie se concentre sur l'évaluation des résultats de simulation pour le dimensionnement de la ferme, en utilisant des outils de simulation pour estimer les performances en tenant compte des conditions météorologiques, de la géométrie du site et des caractéristiques des modules photovoltaïques. L'analyse des résultats permet d'évaluer la faisabilité du projet, de déterminer les rendements attendus et de prendre des décisions éclairées sur les investissements et la rentabilité économique. En résumé, cette étude fournit des informations essentielles pour les décideurs, les ingénieurs et les investisseurs intéressés par le déploiement des centrales solaires photovoltaïques flottantes, en leur permettant de prendre des décisions éclairées et de mieux comprendre les aspects technico-économiques de cette technologie prometteuse.

Mots clés : Centrales solaires photovoltaïques flottantes ; Énergies renouvelables ; Énergie solaire ; Durabilité ; Disponibilité ; Impacts environnementaux ; Conception ; Dimensionnement ; Ferme photovoltaïque

Abstracts:

This document is an in-depth study on floating photovoltaic solar power plants, providing a comprehensive overview of renewable energies with a focus on solar energy. It highlights the advantages of renewable energies over traditional energy sources, emphasizing their sustainability, availability, and low environmental impacts. The study is divided into three main parts. The first part deals with the design and sizing of a floating photovoltaic farm, addressing aspects such as site selection, technical constraints, environmental considerations, and technological choices. Emphasis is placed on sizing methods aimed at maximizing efficiency and optimizing electricity production. The third part focuses on evaluating simulation results for farm sizing, using simulation tools to estimate performance considering weather conditions, site geometry, and photovoltaic module characteristics. The analysis of the results allows assessing the feasibility of the project, determining expected yields, and making informed decisions on investments and economic profitability. In summary, this study provides essential information for decision-makers, engineers, and investors interested in the deployment of floating photovoltaic solar power plants, enabling them to make informed decisions and gain a better understanding of the technical and economic aspects of this promising technology.

Keywords: Floating photovoltaic solar power plants, Renewable energies, Solar energy, Sustainability, Availability, Environmental impacts, Design, Sizing, Photovoltaic farm.

ملخص

هذا المستند هو دراسة مفصلة عن المحطات الشمسية الكهروضوئية العائمة، ويقدم نظرة شاملة حول الطاقات المتجددة مع التركيز على الطاقة الشمسية. يسلط الضوء على مزايا الطاقات المتجددة مقارنةً بالمصادر التقليدية للطاقة، مع التأكيد على استدامتها وتوفرها وتأثيراتها البيئية المنخفضة. تنقسم الدراسة إلى ثلاثة أجزاء رئيسية. يتناول الجزء الأول تصميم وتجميع مزرعة الطاقة الكهروضوئية العائمة، بالتركيز على جوانب مثل اختيار الموقع والقيود التقنية والاعتبارات البيئية والخيارات التكنولوجية. يتم التركيز على أساليب التجميع التي تهدف إلى تعظيم الكفاءة وتحسين إنتاج الكهرباء. يركز الجزء الثالث على تقييم نتائج المحاكاة لتجميع المزرعة، باستخدام أدوات المحاكاة لتقدير الأداء بالاعتبار ظروف الطقس وهندسة الموقع وخصائص الوحدات الكهروضوئية. يسمح تحليل النتائج بتقييم جدوى المشروع وتحديد العوائد المتوقعة واتخاذ قرارات مستنيرة بشأن الاستثمارات والربحية الاقتصادية. خلاصة، تقدم هذه الدراسة معلومات أساسية لصانعي القرار والمهندسين والمستثمرين المهتمين بنشر المحطات الشمسية الكهروضوئية العائمة، مما يتيح لهم اتخاذ قرارات مستنيرة وفهم أفضل للجوانب التقنية والاقتصادية لهذه التكنولوجيا.