

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

N° Série : ...../2025

Université Ammar Thelidji Laghouat



Faculté des Sciences et Technologie

Département d'Electrotechnique

**MÉMOIRE**

Pour obtenir le Diplôme de Master

Option : Énergie renouvelable

Présenté Par :

**GEURMIT Ahmed, ATTIA Taher**

-THÈME-

## Maitrise d'Énergie dans l'industrie

Soutenu publiquement le : 26/06/2025

Devant le Jury :

Président	<b>BIRANE Mouhoub</b>	<b>MCA</b>	<b>Univ Lagh</b>
Examinant	<b>BENSEDIK Sid Ahmed</b>	<b>PR</b>	<b>Univ Lagh</b>
Encadrant	<b>KOUIDRI Mohammed Ali</b>	<b>MCA</b>	<b>Univ Lagh</b>

**Année Universitaire 2024/2025**



## Remerciement

**Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux,**

Avant toute chose, nous rendons grâce à Dieu Tout-Puissant, source de toute sagesse et de toute force, pour nous avoir accordé la persévérance, la patience et la clarté d'esprit nécessaires à l'accomplissement de ce modeste travail. Sans Sa volonté, aucune entreprise humaine ne saurait aboutir.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à **Monsieur KOUIDRI Mohammed Ali**, notre encadrant, pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de superviser ce mémoire. Sa disponibilité constante, la rigueur de ses observations, la richesse de ses conseils ainsi que la pertinence de ses orientations méthodologiques ont grandement contribué à la qualité et à la finalisation de ce travail.

Nous adressons également nos remerciements les plus respectueux à l'ensemble des enseignants du Département des Electrotechnique de l'Université Ammar Telidji de Laghouat. Par leur dévouement, leur savoir-faire et leur accompagnement pédagogique, ils ont su nous transmettre des connaissances solides et une méthodologie scientifique rigoureuse tout au long de notre cursus.

Enfin, nos pensées reconnaissantes vont à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet, que ce soit par un conseil, un soutien moral ou une simple parole d'encouragement. Que chacun trouve ici l'expression de notre considération et de notre gratitude les plus sincères.





## Dédicace

### **À nos chers parents,**

Qui ont toujours été nos premiers enseignants, nos premières sources de courage, de valeurs et d'amour. Pour leur patience, leurs sacrifices silencieux, leurs prières incessantes et leur foi indéfectible en notre réussite. Que ce travail soit le reflet de leur investissement et de leur bienveillance.

### **À nos familles,**

Pour leur soutien moral, leur compréhension et leur réconfort dans les moments d'effort et de doute. À notre encadrant, Monsieur KOUIDRI Mohammed Ali, Pour sa confiance, son accompagnement méthodique, et la qualité de ses conseils qui ont éclairé notre chemin scientifique.

### **À nos amis et camarades,**

Avec qui nous avons partagé les efforts, les ambitions et les moments de solidarité durant ce parcours universitaire exigeant. À tous ceux qui croient en la science, en l'effort sincère, et en l'avenir durable de notre pays, Nous dédions ce travail avec humilité et espoir.



## ملخص

يندرج هذا البحث ضمن إطار البحث عن حلول مستدامة لمشكلة استهلاك الطاقة في المنشآت الصناعية، من خلال دمج الطاقات المتجددة وتحسين الأداء الطاقوي. يقترح هذا العمل دراسة معمقة لإمكانيات الأنظمة الكهروضوئية، وتحديات جودة الطاقة الكهربائية، بالإضافة إلى تقييم واقعي لاستهلاك الطاقة في موقع قاعدة الحياة سوناتراك بوادي نومر. وقد تم إثراء الدراسة بمحاكاة لعملية التهيئة والربط باستخدام برنامج PVsyst، مما يبرز الأهمية المتزايدة للانتقال الطاقوي في سياق يجمع بين الاستدامة والجدوى الاقتصادية.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقات المتجددة، الأداء الطاقوي، الأنظمة الكهروضوئية، جودة الطاقة، الانتقال الطاقوي، PVsyst.

## Résumé

Ce mémoire s'inscrit dans le cadre de la recherche de solutions durables à la problématique de la consommation énergétique dans les installations industrielles, à travers l'intégration des énergies renouvelables et l'optimisation de la performance énergétique. Il propose une étude approfondie du potentiel des systèmes photovoltaïques, des enjeux de qualité d'énergie électrique, ainsi qu'une évaluation réelle de la consommation sur le site de la base de vie Sonatrach Oued Noumer. L'étude est enrichie par une simulation de dimensionnement via le logiciel PVsyst, et démontre l'intérêt croissant de la transition énergétique dans un contexte de durabilité et de rentabilité énergétique.

**Mots-clés :** Énergie renouvelable, Performance énergétique, Systèmes photovoltaïques, Qualité de l'énergie, Transition énergétique, PVsyst.

## Abstract

This dissertation is part of the search for sustainable solutions to the issue of energy consumption in industrial installations, through the integration of renewable energy and the optimization of energy performance. It presents a comprehensive study of the potential of photovoltaic systems, the challenges of electrical energy quality, and a real-world evaluation of energy consumption at the Sonatrach Oued Noumer base camp. The study is further enhanced by a sizing simulation using **PVsyst** software and highlights the increasing importance of energy transition in a context of sustainability and energy profitability.

**Keywords:** Renewable energy, Energy performance, Photovoltaic systems, Power quality, Energy transition, PVsyst.



# Sommaire

Remerciement .....	i
Dédicace.....	ii
ملخص.....	iii
Résumé.....	iii
Abstract.....	iii
Sommaire .....	iv
Liste des Figures .....	v
Liste des Tableaux .....	vi
Liste des Abréviations.....	vi
Introduction Générale .....	1
<b>CHAPITRE I. Maitrise de l'énergie.....</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction.....	3
1.2 Optimisation énergétique en Algérie.....	3
1.3 Contrôle des risques liés aux technologies et à l'environnement .....	5
1.4 Efforts essentiels pour optimiser la maîtrise énergétique.....	6
1.5 Intégration des énergies renouvelables dans la transition énergétique.....	7
1.6 Les sources d'énergie renouvelables.....	7
1.7 Conclusion.....	22
<b>CHAPITRE II. Système photovoltaïque.....</b>	<b>24</b>
II.1 Introduction.....	24
II.2 Système photovoltaïque.....	24
II.3 Avantages et les inconvénients des énergies d'un système photovoltaïque.....	31
II.4 Conclusion.....	32
<b>CHAPITRE III. Etude de cas .....</b>	<b>34</b>
III.1 Introduction .....	34
III.2 Qualité d'énergie électrique.....	34
III.3 Les harmoniques.....	35
III.4 Chutes et coupures de tension du réseau.....	37
III.5 Comptage.....	38
III.6 Bilans de puissance annuelle BDV Oued Noumer.....	39
III.7 Tarification.....	43
III.8 Optimiser l'utilisation de l'énergie électrique.....	46
III.9 Etude de cas .....	51
III.10 Conclusion.....	54
<b>CHAPITRE IV. Etude et dimensionnement d'un système PV connecté au réseau.....</b>	<b>56</b>
IV.1 Introduction.....	56
IV.2 Les étapes de dimensionnement.....	56
IV.3 Traitement d'un exemple.....	60
IV.4 La rentabilité.....	69
IV.5 Conclusion .....	71
Conclusion générale.....	72
Bibliographie.....	73



# Liste des Figures

Figure I.1 : Consommation d'énergie par secteur en Algérie .....	4
Figure I.2 : Ressources d'Energie solaires.....	7
Figure I.3 : Centrale biomasse.....	9
Figure I.4 : Centrale hydroélectrique.....	11
Figure I.5 : Centrale géothermique .....	14
Figure I.6 : Différents composants d'une éolienne .....	15
Figure I.7 : Centrale éolienne .....	17
Figure I.8 : Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire .....	18
Figure I.9 : Installation photovoltaïque.....	21
Figure II.1 : Schéma synoptique d'un système PV connecté au réseau.....	25
Figure II.2 : Structure d'une cellule PV .....	26
Figure II.3 : Influence de la température sur la caractéristique.....	27
Figure II.4 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique I- -V et P-V d'une cellule solaire .....	28
Figure II.5 : Courbe de I(V) et P(V) d'un générateur PV de 100 KW.....	29
Figure II.6 : Association des modules en parallèle [38].....	30
Figure II.7 : Caractéristiques I (V) pour l'association en parallèle [38].....	30
Figure II.8 : Association des modules en série. ....	30
Figure II.9 : Caractéristique I(V) pour l'association série [38].....	31
Figure II.10 : Association mixte des modules [24] .....	31
Figure III.1 : Evolution de la consommation d'énergie active.....	39
Figure III.2 : Evolution de la consommation d'énergie réactive. ....	40
Figure III.3 : Evolution du poste heures jour .....	40
Figure III.4 : Evolution du poste heures nuit.....	41
Figure III.5 : Evolution de la tangente $\phi$ .....	41
Figure III.6 : Evolution de PMA.....	42
Figure III.7 : Evolution du montant durant l'année 2024. ....	42
Figure III.8 : Schéma illustration de l'énergie active.....	46
Figure III.9 : Schéma du facteur de puissance. ....	48
Figure III.10 : Schéma d'illustration la compensation globale.....	49
Figure III.11 : Schéma d'illustration la compensation par secteur.....	50
Figure III.12 : Schéma d'illustration la compensation locale.....	50
Figure III.13 : Evolution du montant dans chaque type de tarif. ....	52
Figure IV.1 : Irradiation globale horizontale Algérie. ....	57
Figure IV.2 : La structure est en aluminium ou en alliage d'aluminium. ....	60
Figure IV.3 : La température moyenne quotidienne maximale à Laghouat.....	61
Figure IV.4 : Fiche technique de l'onduleur et de panneaux. ....	62
Figure IV.5 : Interface de PVsyst 7.1 et orientations .....	63
Figure IV.6 : Nombres de panneaux et leurs dispositions dans le system d'après PVsyst.....	64
Figure IV.7 : Fiche technique des dispositifs comme donnée dans PVsyst. ....	64
Figure IV.8 : Résultats.....	65
Figure IV.9 : Graphe spéciale.....	66
Figure IV.11 : Les pertes des panneaux.....	66
Figure IV.10 : Graphe des pertes .....	67



## Liste des Tableaux

Tableau III.1 : Bilan de puissance de BDV Oued Noumer 2024.....	39
Tableau III.2 : Prix de la puissance et de la redevance. ....	44
Tableau III.3 : Energie active total en 2024. ....	51
Tableau III.4 : Energie consommée dans chaque type heureux.....	51
Tableau III.5 : Prix mensuels dans chaque type de tarif da l'année 2024.....	52
Tableau III.6 : Gain l'année 2024 .....	52
Tableau III.7 : Gain de la PMD pour la base de vie ONR.....	53
Tableau III.8 : Gain Totale pour base de vie ONR pour l'année 2024.....	53
Tableau IV.1 : Devis quantitatif et estimatif .....	68
Tableau IV.2 : Méthode : Comparaison du coût.....	70

## Liste des Abréviations

PV	Photovoltaïque
BDV	Base de Vie
ONR	Oued Noumer
PMA	Puissance Maximale Appelée
KWh	Kilowattheure
KVARh	Kilovoltampère réactif heure
tg $\Phi$	Tangente de l'angle de puissance
MT / HT / BT	Moyenne / Haute / Basse Tension
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
MPP	Maximum Power Point
C.E.M	Compatibilité électromagnétique
PMD	Puissance Maximale Disponible
PV <sub>sys</sub>	Logiciel de simulation photovoltaïque
DGPS	Differential Global Positioning System
I(V), P(V)	Courants/Tensions caractéristiques



## Introduction Générale

Dans un contexte mondial caractérisé par une crise énergétique persistante, une pression environnementale croissante, et un impératif de compétitivité industrielle, la question de l'efficacité énergétique s'impose comme une priorité stratégique, tant à l'échelle internationale que nationale. L'Algérie, richement dotée en ressources fossiles, se trouve néanmoins confrontée à un double défi : répondre à une demande énergétique en croissance rapide et amorcer une transition vers un modèle de développement plus durable, moins carboné et technologiquement plus avancé.

La consommation énergétique, en particulier dans le secteur industriel, représente une part considérable du coût d'exploitation des infrastructures et conditionne de manière directe leur rentabilité, leur résilience et leur impact environnemental. Dès lors, la mise en place de politiques de maîtrise de l'énergie et l'adoption de solutions technologiques basées sur les énergies renouvelables apparaissent non seulement comme des réponses techniques, mais également comme des impératifs économiques et éthiques. Dans cette perspective, l'audit énergétique se présente comme un outil d'analyse rigoureux et structurant, permettant d'identifier les dysfonctionnements, de quantifier les pertes et d'optimiser les flux énergétiques, tout en proposant des actions correctives pertinentes.

Le présent mémoire s'inscrit dans cette logique de rationalisation énergétique. Il propose une étude multidimensionnelle intégrant à la fois l'analyse de la consommation énergétique d'un site industriel réel – la base de vie SONATRACH de Oued Noumer – et l'exploration des solutions photovoltaïques comme levier de performance énergétique. Par l'usage de méthodes de simulation avancées, notamment via le logiciel PVsyst, et grâce à une approche d'ingénierie appliquée, ce travail ambitionne de démontrer la faisabilité technique et économique de l'intégration du solaire dans les infrastructures industrielles, et d'illustrer comment cette intégration peut répondre aux objectifs de durabilité, d'autonomie énergétique, et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Cette recherche repose sur une problématique actuelle et prospective, engageant une réflexion critique sur les politiques énergétiques algériennes, l'optimisation des systèmes électriques, et l'implémentation des énergies renouvelables dans le tissu industriel national. Elle se veut une contribution scientifique à l'édifice d'une transition énergétique maîtrisée, fondée sur la rigueur technique, la responsabilité environnementale et la vision stratégique

# **CHAPITRE I**

## **Maitrise de l'énergie**

# CHAPITRE I. Maîtrise de l'énergie

## I.1 Introduction

A l'évidence la maîtrise de l'énergie a été un des facteurs clés qui ont conduit au développement de l'humanité. La recherche de nouvelles sources d'énergie. Toujours plus abondantes et diversifiées. Les démarches actuelles de réflexion, d'analyse et de débats du type Quelle énergie Pour demain ? Sont non seulement légitimes mais indispensables. Les tensions sur l'offre énergétique au regard des besoins. Les craintes vis-à-vis de la sécurité de L'environnement. Les interrogations sur le modèle de développement économique. Le développement durable au niveau de notre planète s'inscrit dans une solidarité à la fois dans l'espace et dans le temps. Il ne peut y avoir de développement durable sans une utilisation saine.

Appropriée et à un coût abordable, de l'énergie. Cela signifie qu'il faut :

- Assurer les besoins énergétiques tout en réduisant les impacts environnementaux, veiller à une gestion prudente et responsable des ressources non renouvelables, ce qui conduit à mettre en place une politique énergétique aux niveaux local, régional, national et international ;

Il faudra donc tenir compte :

- Des maîtrises nécessaires des processus de transition entre les technologies d'aujourd'hui et celles de demain ;
- Des grandes échelles de temps associées à la conception, la réalisation et l'utilisation des infrastructures énergétiques ;
- De la nécessité d'une diffusion large de l'information conduisant à une acceptabilité raisonnée par le corps social.

Notons que la maîtrise de l'énergie est une activité d'utilité publique qui permet d'assurer dans les différents domaines d'activité le progrès technologique, l'amélioration de l'efficacité économique et de contribuer au développement. Pour cela la maîtrise de l'énergie fait l'objet de ce chapitre.[1]

## I.2 Optimisation énergétique en Algérie

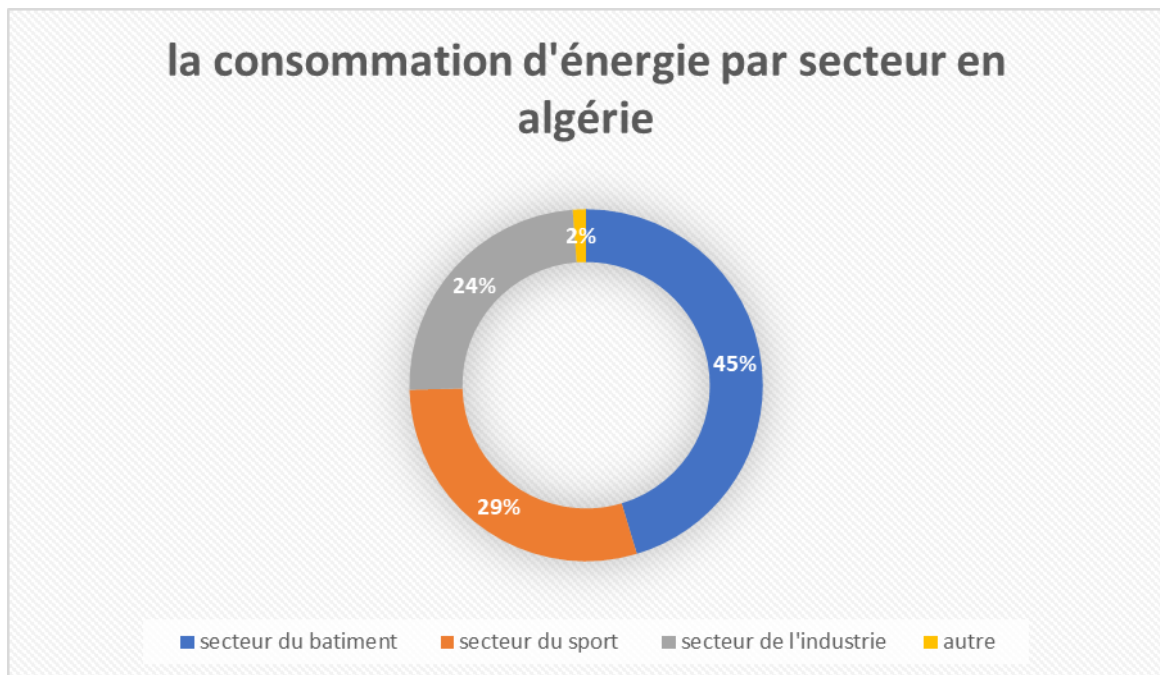
L'Algérie, pays doté d'importantes ressources énergétiques, notamment en hydrocarbures, doit aujourd'hui relever le défi d'une gestion efficace et durable de son énergie.

Malgré son potentiel, le pays fait face à une demande énergétique croissante, notamment dans les secteurs industriel et résidentiel, qui met sous pression ses ressources.

La maîtrise de l'énergie en Algérie est devenue un enjeu stratégique, tant pour garantir la sécurité énergétique que pour réduire les impacts environnementaux. Cela passe par l'amélioration de l'efficacité énergétique, la diversification des sources d'énergie, ainsi que la mise en œuvre de politiques et d'outils adaptés à chaque secteur.

Le développement de programmes nationaux, l'investissement dans les technologies modernes et la sensibilisation des acteurs économiques sont des axes prioritaires pour promouvoir une consommation énergétique maîtrisée et responsable, contribuant ainsi au développement durable du pays. Ces dernières décennies, la consommation d'énergie a fortement augmenté en Algérie, comme dans le reste du monde, sous l'effet notamment de la croissance économique et de la demande accrue en électricité, surtout dans le secteur résidentiel.

En Algérie, près de 42 % de l'énergie produite est consommée localement, tandis que 58 % est exportée. La majeure partie de cette consommation interne est liée au secteur du bâtiment, qui représente 45 % de l'énergie finale consommée. Ce secteur, très énergivore, est non productif, ce qui pose un défi important (Professeur Nordine Yassaa, Commissaire aux énergies renouvelables et à l'efficacité énergétique). [02]



**Figure I.1 : Consommation d'énergie par secteur en Algérie**

Face à cette situation, le gouvernement, par le biais du ministère de l'Énergie et des Mines, a lancé des programmes visant à améliorer l'efficacité énergétique, notamment dans les secteurs du bâtiment, du transport et de l'industrie.

La stratégie énergétique nationale s'appuie aujourd'hui sur deux objectifs principaux : diversifier le mix énergétique en augmentant la part des énergies renouvelables, et maîtriser la consommation d'énergie.

Actuellement, le mix énergétique algérien est dominé par les énergies fossiles, avec 70 % de gaz naturel et 30 % de pétrole, qui assurent 99 % de la production électrique. Les énergies renouvelables, principalement solaires, représentent environ 2 % du mix, soit 400 MW.

Dans le cadre de l'Accord de Paris sur le climat (2015), l'Algérie s'engage à porter la part des énergies renouvelables à 30 % et à réduire ses émissions de gaz à effet de serre entre 7 % et 22 % d'ici 2030 (M. Benattou Ziane, ministre de la Transition énergétique et des Énergies renouvelables).

### **I.3 Contrôle des risques liés aux technologies et à l'environnement**

L'augmentation rapide et continue des besoins en énergie constitue un phénomène majeur des dernières décennies, conséquence directe de la croissance démographique mondiale et de l'expansion industrielle intensive. Cette demande croissante, si elle se poursuit sans adaptation, menace d'épuiser à court ou moyen terme les ressources énergétiques fossiles, qui sont par nature limitées et non renouvelables. Parallèlement, cette dynamique exerce une pression considérable sur l'environnement, contribuant à sa dégradation progressive.

Le modèle énergétique actuel présente des risques importants, tant sur le plan technologique que sur celui de la protection de l'environnement et de la santé humaine. Depuis le début de l'ère industrielle, le monde a été témoin de multiples catastrophes liées à la consommation d'énergie : marées noires résultant de déversements pétroliers, explosions dans les mines, accidents nucléaires, et autres incidents industriels majeurs. Ces événements illustrent la vulnérabilité des systèmes énergétiques face aux aléas techniques et humains.

Par ailleurs, les émissions de gaz à effet de serre, principalement le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) issu de la combustion des énergies fossiles, constituent un facteur central du changement climatique. Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), les émissions mondiales de CO<sub>2</sub> liées à l'énergie ont atteint environ 32 840 millions de tonnes en 2017, soit une augmentation

de plus de 110 % depuis 1973. Ces émissions sont majoritairement générées par le charbon (44,2 %), le pétrole (34,6 %) et le gaz naturel (20,5 %).

Face à ces défis, la communauté internationale s'est engagée, notamment lors de la Conférence de Paris sur le climat en 2015 (COP21), à limiter le réchauffement climatique à moins de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels. Pour atteindre cet objectif ambitieux, il est nécessaire de renoncer à l'extraction d'une part importante des réserves mondiales de combustibles fossiles : environ un tiers du pétrole, la moitié du gaz naturel et plus de 80 % du charbon devraient rester inexploités d'ici à 2050.

Cependant, les engagements actuels des pays, même réunis, sont jugés insuffisants par l'AIE. Leur mise en œuvre ne ralentirait que partiellement la croissance des émissions de CO<sub>2</sub>, menant à une hausse estimée des températures de 2,7 °C à la fin du siècle, bien au-delà de la cible fixée.

Dans ce contexte, il devient impératif de réorienter la production et la consommation d'énergie vers des sources durables et renouvelables. La recherche et le développement de ces ressources alternatives – telles que l'énergie solaire, éolienne, hydraulique, ou encore la biomasse – apparaissent aujourd'hui comme des voies incontournables pour concilier besoins énergétiques croissants, préservation de l'environnement et lutte contre le changement climatique. [03]

## I.4 Efforts essentiels pour optimiser la maîtrise énergétique

Toutes les formes d'énergie exploitées par l'homme trouvent leur origine dans l'une des sources fondamentales suivantes :

L'énergie solaire, émise par le rayonnement du Soleil, et exploitée principalement de deux manières :

- *Directement*, via les technologies de conversion photovoltaïque ou thermique ;
- *Indirectement*, par le biais des combustibles issus de la biomasse (bois, déchets organiques) ou des énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel), qui sont des formes anciennes d'énergie solaire stockée.
- L'énergie géothermique, qui provient de la chaleur interne de la Terre, issue notamment de la désintégration radioactive de certains éléments dans le manteau terrestre.

- L'énergie marémotrice, générée par les mouvements des marées, eux-mêmes causés par les forces gravitationnelles exercées principalement par la Lune, et dans une moindre mesure, par le Soleil. [04]

## I.5 Intégration des énergies renouvelables dans la transition énergétique

Ce dernier volet traite du rôle crucial des énergies renouvelables dans la transition vers un système énergétique durable. Ces énergies, telles que le solaire, l'éolien, l'hydroélectricité, la biomasse et la géothermie, sont présentées comme des alternatives propres, abondantes et renouvelables.



Figure I.2 : Ressources d'Énergie solaires

Elles constituent une réponse stratégique aux défis environnementaux et énergétiques du XXI<sup>e</sup> siècle, en réduisant la dépendance aux énergies fossiles et en soutenant le développement durable. [03]

## I.6 Les sources d'énergie renouvelables

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui soit ne s'épuise jamais, soit peut se renouveler rapidement à l'échelle humaine. Le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. Les énergies renouvelables n'engendrent pas de déchets ni d'émissions polluantes de manière directe. Les énergies renouvelables regroupent un certain nombre de filières technologiques selon la source d'énergie valorisée et l'énergie utile obtenue.

Il y a cinq sources essentielles d'énergies dites renouvelables : le vent (éoliennes), l'eau (barrages hydroélectriques, marée-motrice), le soleil (panneaux solaires), les végétaux (biocarburants) et la chaleur du sol (géothermie). [04]

### I.6.1 La biomasse

L'énergie de la biomasse, ou bioénergie, est l'énergie qui est extraite des matières organiques non fossiles comme le bois, la paille, les huiles et les déchets végétaux des secteurs forestiers, agricole et industriel. Tout comme l'énergie des combustibles fossiles, la bioénergie provient de l'énergie solaire emmagasinée dans les plantes par la photosynthèse. À l'heure actuelle, l'énergie de la biomasse provient en très grande partie des solides (copeaux, granulats, charbon, ordures ménagères) et des liquides (lessives de cuisson) provenant de la cuisson du bois dans l'industrie papetière.

Il existe trois principales catégories d'énergie relatives à la biomasse :

- **Bois** : il a été toujours utilisé comme source d'énergie. Le bois-énergie est une solution pour chauffer les bâtiments collectifs et les habitations, en appoint à des énergies fossiles (fioul, gaz...), et pour produire de l'électricité.
- **Biogaz** : le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène. Cette fermentation appelée aussi méthanisation se produit naturellement (dans les marais) ou spontanément dans les décharges contenant des déchets organiques, mais on peut aussi la provoquer artificiellement dans des digesteurs (pour traiter des boues d'épuration, des déchets organiques industriels ou agricoles, etc.). Le biogaz peut être employé à l'état brut sur des chaudières, groupes électrogènes, générateurs d'air chaud.
- **Biocarburant** : L'autre atout de la biomasse est la possibilité de fabriquer des biocarburants. Il en existe deux types : les éthanol et les biodiesels.

Les éthanol, destinés aux moteurs à essence, sont issus de différentes plantes comme le blé, le maïs, la betterave et la canne à sucre. Le procédé consiste à extraire le sucre de la plante pour obtenir de l'éthanol après fermentation. Quant aux biodiesels, ils sont extraits des oléagineux (colza, tournesol, soja, etc.). Les esters d'huile obtenus peuvent alors être mélangés au gazole. En règle générale, ces biocarburants sont mélangés aux carburants classiques, essence et gazole. Ils entraînent alors une petite diminution des rejets de monoxyde de carbone

et de dioxyde de carbone, gaz responsable de l'effet de serre. Mais ces biocarburants ont un énorme inconvénient, ils occupent des surfaces agricoles au détriment des cultures vivrières.[04]

### I.6.1.1 Fonctionnement d'une centrale biomasse

L'énergie de la biomasse est transformée en énergie thermique par combustion. Cette énergie transforme de l'eau en vapeur, qui actionne ensuite une turbine à vapeur accouplée à un alternateur, qui transforme enfin l'énergie mécanique en énergie électrique. Une partie de la vapeur ou énergie thermique restante peut être utilisée, par exemple, pour alimenter un circuit de chauffage. Il s'agit alors de cogénération. [04]

#### Avantages

- Valorisation de déchets organiques
- Diminution du volume de matière organique et désodorisation des déchets
- Valorisation des ressources locales (élevages agricoles...)

#### Inconvénients

- Epuisement des stocks
- Génératrice de  $CO_2$
- Rendement parfois faible

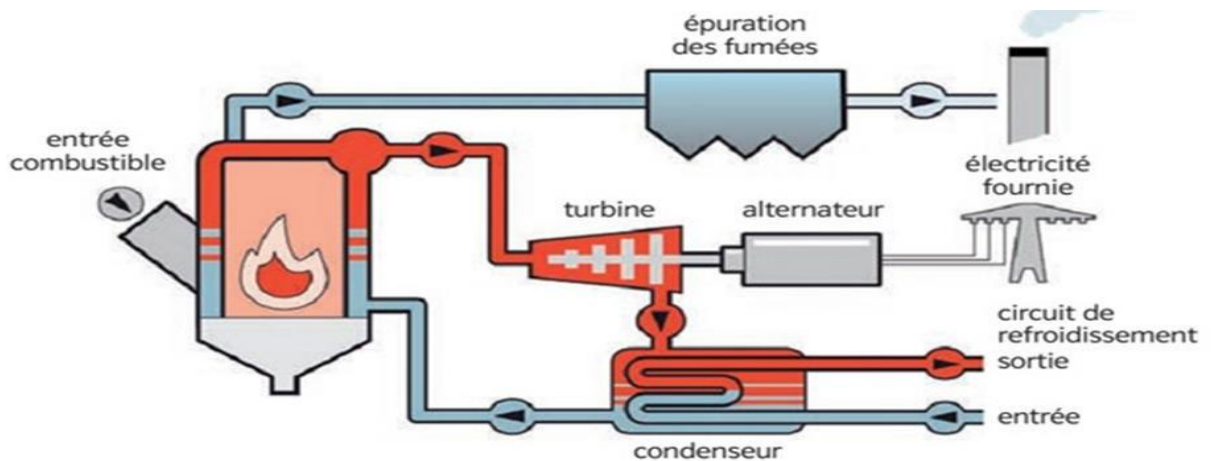


Figure I.3 : Centrale biomasse

## I.6.2 L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes (chutes d'eau, cours d'eau, courant marin, marée, vagues). Ce mouvement peut être utilisé directement, par exemple avec un moulin à eau, ou plus couramment être converti, par exemple en énergie électrique dans une centrale hydroélectrique

L'énergie hydraulique dépend du cycle de l'eau. Elle est la plus importante source d'énergie renouvelable sous l'action du soleil, l'eau des océans et de la terre s'évapore. Elle se condense en nuages qui se déplacent avec le vent. La baisse de température au-dessus des continents provoque des précipitations qui alimentent l'eau des lacs, des rivières et des océans.

On distingue différents types de centrales hydroélectriques suivant la hauteur de chute :

- Les centrales de haute chute : elles ont des hauteurs de chutes supérieures à 300m, elles utilisent des turbines Pelton. Ces centrales se trouvent dans les Alpes et dans d'autres régions très montagneuses. La capacité du réservoir est relativement faible.
- Les centrales de moyenne chute : elles ont des hauteurs comprises entre 30m et 300m ; elles utilisent des turbines Francis. Ces centrales sont alimentées par l'eau retenue derrière un barrage construit dans le lit d'une rivière de région montagneuse. Elles comportent un réservoir de grande capacité.
- Les centrales de basse chute : elles ont des hauteurs de chute inférieures à 30m, elles utilisent des turbines Kaplan ou Francis. Ces centrales sont établies sur les fleuves ou les rivières à fort débit. [05]

### I.6.2.1 Fonctionnement d'une centrale hydroélectrique

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

#### Avantages

- Souplesse d'utilisation
- Absence d'émissions de  $CO_2$

- Production d'énergie active durant les heures de fortes consommations d'électricité
- Pompage durant les heures creuses afin de reconstituer la réserve d'eau dans le bassin de retenu
- Démarrage et arrêt des centrales très rapides
- Production d'électricité décentralisée (pas de pertes liées aux transports)
- Facilité d'entretien et la faible usure du matériel qui travaille à vitesse et à température modérée
- Haut niveau de rendement des machines, capable de transformer 90% de l'énergie de l'eau en énergie mécanique.

### Inconvénients

- Contrainte géographique
- Impacts sur l'environnement à la construction
- L'inondation de certains reliefs lors de la construction de barrages
- Modification du débit et du niveau de l'eau
- Perturbation de la faune et de la flore
- Surcoût lié à la nécessité d'installer des passes à poissons. [01]

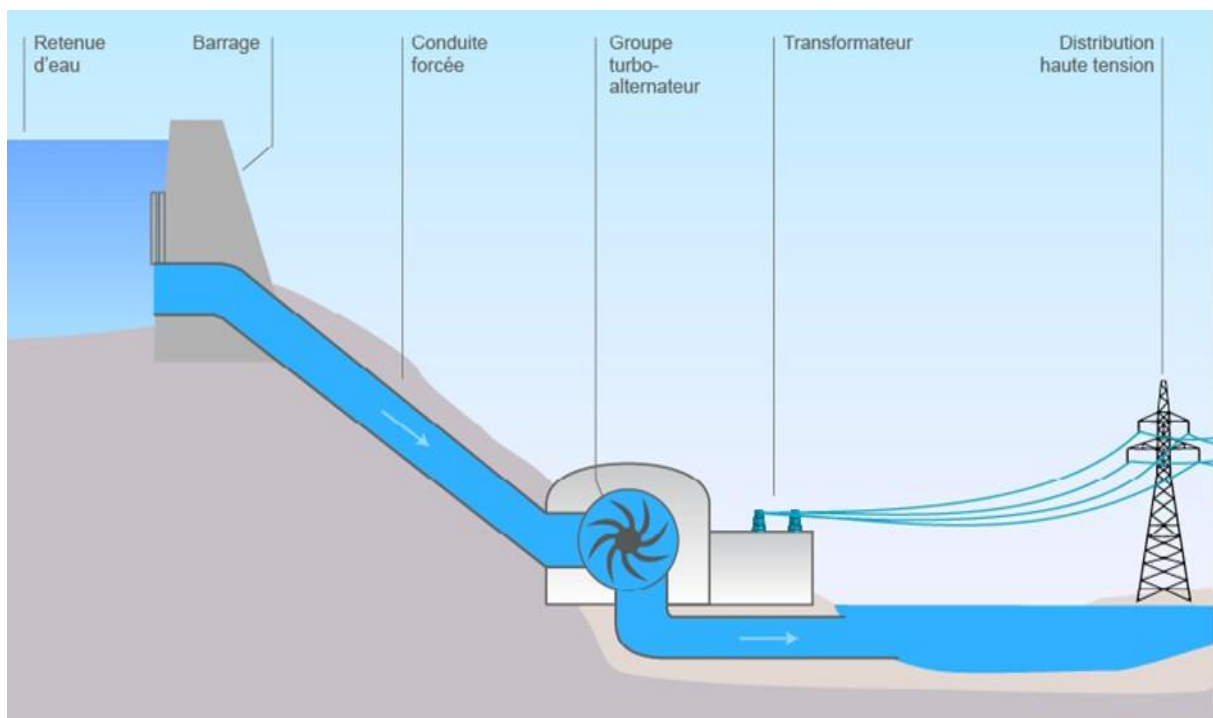


Figure I.4 : Centrale hydroélectrique

### I.6.3 L'énergie géothermique

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Partout, la température croît depuis la surface vers l'intérieur de la Terre. Selon les régions, l'augmentation de la température avec la profondeur est plus ou moins forte, et varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à 15 ou même 30 °C. Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre.

Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la terre dont les températures s'étagent de 1000°C à 4300°C. Cependant, l'extraction de cette chaleur n'est possible que lorsque les formations géologiques constituant le sous-sol sont poreuses ou perméables et contiennent des aquifères.

On distingue quatre types de géothermie : la haute, la moyenne, la basse et la très basse énergie [05].

- Géothermie à haute énergie (>150°C) : ou géothermie profonde, appelée plus rarement géothermie haute enthalpie, est une source d'énergie contenue dans des réservoirs localisée généralement à plus de 1500m de profondeur et dont la température est supérieure à 150°C. Grâce aux températures élevées, il est possible de produire de l'électricité et de faire de la cogénération.
- Géothermie à moyenne énergie (100-150°C) : elle correspond à l'exploitation de la chaleur des nappes profondes dans des régions géologiques. Après forage, on injecte dans le sol un fluide calorifique, tel que le fréon ou l'ammoniac, qui est chauffé et ramené à la surface où on l'utilise pour produire de l'électricité et pour chauffer des bâtiments, produire de l'eau chaude sanitaire.
- Géothermie à basse énergie (30-100°C) : on parle de géothermie basse énergie lorsque le forage permet d'atteindre une température de l'eau entre 30°C et 100°C, cette technologie est utilisée principalement pour le chauffage urbain collectif par réseau de chaleur, et certaines applications industrielles.
- Géothermie à très basse énergie (<30° C) : elle exploite des réservoirs situés à moins de 100 mètres et dont les eaux ont une température inférieure à 30°C, cette technologie est

appliquée à la climatisation passive, le chauffage et la climatisation avec la pompe à chaleur géothermique « prélevant la chaleur contenue dans le sol ». [05]

### **I.6.3.1 Fonctionnement d'une centrale géothermique**

Une centrale géothermique produit de l'électricité grâce à la chaleur de la Terre qui transforme l'eau contenue dans les nappes souterraines en vapeur et permet de faire tourner une turbine et un alternateur.

#### **Avantages**

- Absence de déchets après utilisation
- Non dépendance des conditions atmosphériques
- Pas besoin de stockage
- Utilisation continue

#### **Inconvénients**

- Coût élevé
- Affaissements de terrain
- Rentabilité obtenue qu'après 5ans de son utilisation

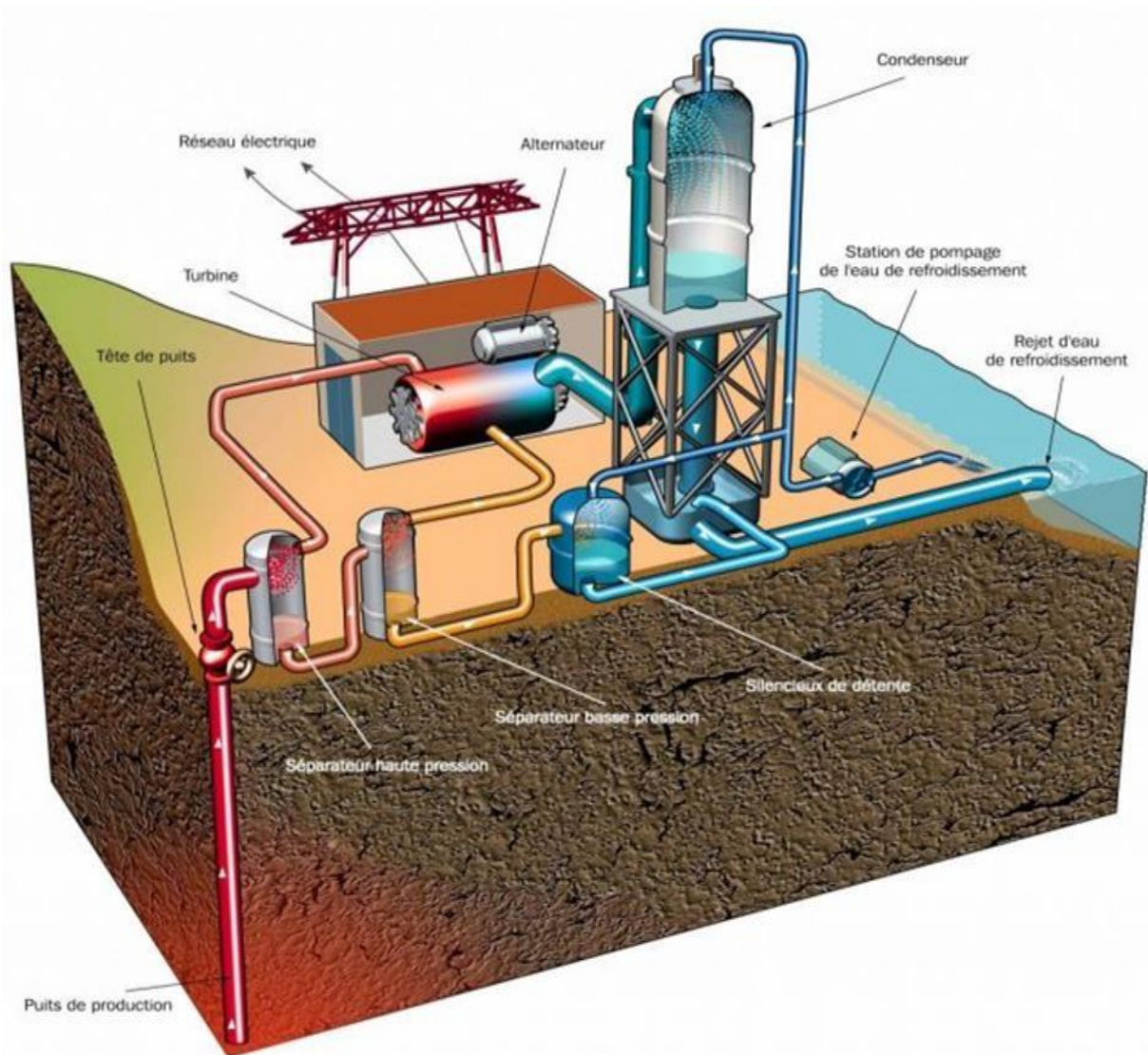
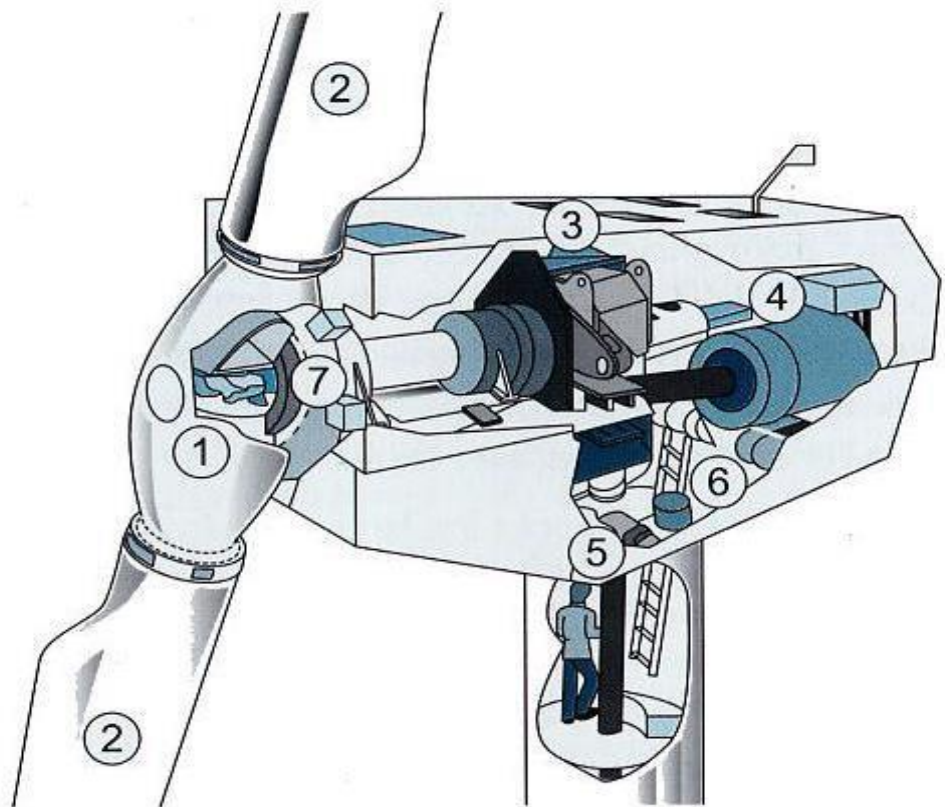


Figure I.5 : Centrale géothermique

### I.6.4 L'énergie éolienne

L'énergie éolienne est produite par la force que le vent exerce sur les pales d'une éolienne. Les éoliennes sont installées sur terre et en mer (respectivement dites onshore et offshore) dans des endroits où le vent atteint une vitesse élevée et constante. Pour produire de l'électricité, le vent doit souffler à une certaine vitesse pour que le démarrage du rotor puisse se faire. Ce seuil est habituellement de 4 m/s (14,4 km/h). Le rotor entraînera le mouvement de l'arbre qui est relié à l'alternateur, qui pourra ainsi changer l'énergie mécanique en énergie électrique. Plus la vitesse du vent augmente, plus la génératrice pourra produire d'énergie. L'augmentation s'arrête cependant quand la vitesse nominale est atteinte. Au-delà de cette limite bien souvent située à 12 m/s ou 43 km/h, on restreint la production pour ne pas

abîmer la génératrice. Habituellement, on arrête les éoliennes quand les vents dépassent les 25 m/s ou 90 km/h pour préserver l'intégrité structurelle de l'éolienne. [06]



1. Rotor • 2. Pâles • 3. Multiplicateur • 4. Génératrice • 5. Mécanisme d'orientation de la nacelle • 6. Système hydraulique • 7. Frein

**Figure I.6 : Différents composants d'une éolienne**

### *Le rotor*

Le rotor d'une éolienne moderne de 1 MW et plus (les pales et le moyeu) tourne assez lentement, environ 16 tours par minute. L'arbre contient des tuyaux pour le système hydraulique permettant l'opération des freins en cas de vents violents.

### *Les pâles*

Les pâles du rotor captent le vent et transfèrent sa puissance au moyeu du rotor. Chaque pale d'une éolienne de 1.5 MW mesure environ 30 à 35 m de long et sa conception ressemble beaucoup à celle des ailes d'un avion.

### *Le multiplicateur*

Il relie l'arbre lent à l'arbre rapide en augmentant au passage de plus de 100 fois la vitesse de rotation.

### ***La génératrice***

La génératrice est l'endroit où l'énergie cinétique (du mouvement) se transforme en énergie électrique.

### ***Le mécanisme d'orientation de la nacelle***

C'est un moteur qui veille à ce que l'éolienne soit toujours placée face au vent. Il est commandé par le système de contrôle, un ordinateur qui surveille en permanence l'état de la machine et celui de son environnement et à l'aide de la girouette qui indique la direction du vent et l'anémomètre qui en montre sa vitesse et sa force.

### ***Le frein***

Il permet d'immobiliser le rotor de l'éolienne lorsque la vitesse du vent est trop élevée, en cas d'urgence ou lors des travaux d'entretien [05].

### **Les éoliennes se divisent en deux grandes familles**

*Eoliennes à axe vertical* : elles ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles

*Eolienne à axe horizontal* : les turbines à axe horizontal sont de loin les plus utilisées. Les différentes constructions des aérogénérateurs utilisent des voilures à plusieurs pâles. Toutefois, les structures les plus courantes sont à trois pâles. Une éolienne à axe horizontal est constituée donc d'une hélice perpendiculaire au vent montée sur un mat dont les pâles sont profilées aérodynamiquement à la manière d'une aile d'avion. Par conséquent, ce type de turbines doit toujours être orienté face au vent. Par comparaison à la turbine à axe vertical, pour la même vitesse de vent, les éoliennes à axe horizontal sont capables de produire plus d'énergie grâce à un meilleur coefficient de puissance. Par ailleurs, elles ont un coût moindre et une efficacité accrue due à leur position à plusieurs dizaines de mètres du sol [07].

### I.6.4.1 Fonctionnement d'une centrale éolienne

a. **La rotation des pales** : sous l'effet du vent, l'hélice se met en marche.

b. **La production d'électricité** : l'hélice entraîne un axe dans la nacelle, relié à un alternateur. L'alternateur produit de l'électricité.

c. **L'adaptation de la tension** : un transformateur situé à l'intérieur du mât élève la tension du courant électrique produit par l'alternateur [04].

#### Avantages

- Coût limité
- Peu de contraintes mécaniques
- Grande efficacité
- Energie propre
- Associable à des panneaux PV afin d'optimiser la fourniture d'électricité [05]

#### Inconvénients

- Pollution acoustique
- Dégradation du paysage
- Faible disponibilité (20 à 30%)
- Acceptation du public [01]

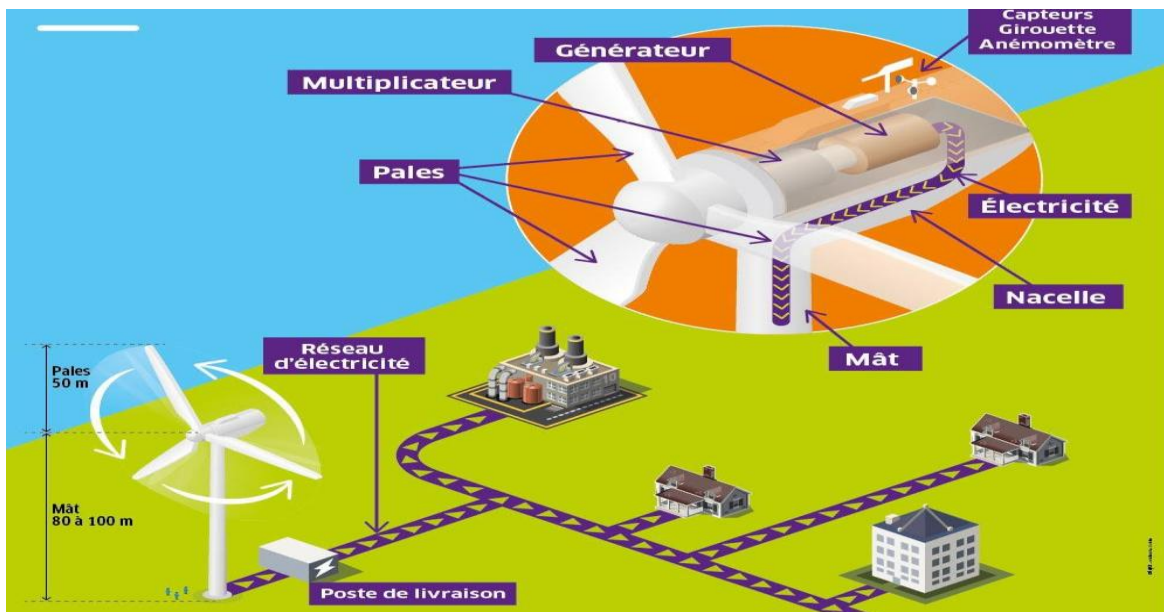


Figure I.7 : Centrale éolienne

### I.6.5 L'énergie solaire

Le rayonnement solaire constitue la ressource énergétique la mieux partagée sur la terre et la plus abondante. La quantité d'énergie libérée par le soleil et captée par la planète terre pendant une heure pourrait suffire à couvrir les besoins énergétiques mondiaux pendant un an. Le soleil décharge continuellement une énorme quantité d'énergie radiante dans le système solaire, la terre intercepte une toute petite partie de l'énergie solaire rayonnée dans l'espace. Une moyenne de 1367 Watts atteint chaque mètre carré du bord externe de l'atmosphère terrestre pour une distance moyenne terre-soleil de 150 millions de km, c'est ce que l'on appelle la constante solaire qui est égale à  $1367 \text{ W/m}^2$ . La partie d'énergie reçue sur la surface de la terre dépend de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser [07].

L'énergie solaire est utilisée essentiellement pour deux usages : la production de chaleur et la production d'électricité.

#### I.6.5.1 L'énergie solaire thermique

L'énergie solaire thermique désigne l'énergie récupérée à partir de la lumière du soleil par des capteurs solaires thermiques vitrés pour assurer le chauffage direct de l'eau et des locaux. La chaleur concentrée par les panneaux est transférée à un fluide caloporteur.

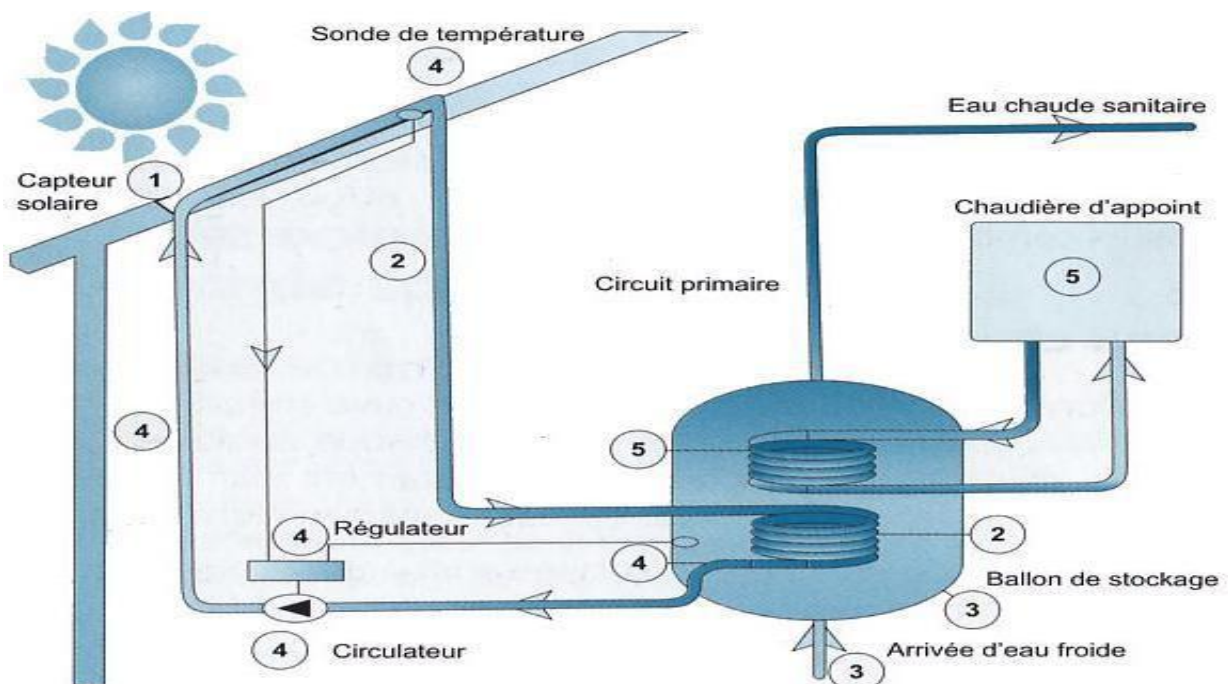


Figure I.8 : Principe de fonctionnement d'un chauffe-eau solaire

## Fonctionnement

Système de captage de l'énergie solaire : le capteur solaire est constitué d'une plaque et de tubes métalliques noirs qui absorbent le rayonnement solaire et permettent l'échauffement du liquide circulant dans les tubes. Cet échauffement peut atteindre 70°C en fonction de la température ambiante. Le liquide circulant dans les tubes est de l'eau froide additionnée d'antigel. Le circuit est fermé ; on le fait passer par un capteur solaire placé sur le toit pour récupérer le maximum de chaleur. Il constitue l'absorbeur. Le tout est enfermé dans un réceptacle rigide thermiquement isolé. Sa partie supérieure est équipée d'une vitre résistant aux intempéries (glace, grêlons...), laissant pénétrer les rayons du soleil et retenant la chaleur comme une sorte de serre.

Transport de la chaleur : un circuit primaire étanche et calorifugé (fluide caloporteur) contenant de l'eau additionnée d'antigel s'échauffe en passant dans les tubes du capteur et se dirige vers le ballon de stockage où il restitue ses calories solaires à un échangeur thermique placé dans le ballon d'eau. Et ainsi de suite, le liquide primaire repart vers le capteur où il est à nouveau chauffé tant que l'ensoleillement est efficace.

Ballon de stockage : c'est une cuve métallique très bien isolée qui constitue la réserve d'eau chaude sanitaire. L'eau chaude soutirée est aussitôt remplacée par une quantité d'eau froide identique, provenant du réseau, et sera immédiatement réchauffée par le liquide du circuit primaire.

Circulation du liquide primaire : cette circulation peut être de deux ordres : naturelle ou forcée. Lorsque la circulation est naturelle, le fluide caloporteur circule grâce à la différence de densité existant entre le liquide du circuit primaire et l'eau du ballon. En effet, puisqu'il est plus chaud donc moins dense que l'eau du ballon, il s'élève naturellement par thermo-circulation. Il est à noter que le ballon doit être placé plus haut que les capteurs. Ce système constitue ce que l'on appelle les chauffe-eaux solaires en "thermosiphon". Dans le cas d'une circulation forcée, une petite pompe électrique met en mouvement le fluide caloporteur quand sa température est supérieure à celle du ballon grâce à un dispositif de régulation. Celui-ci joue sur les différences de température. En effet, si la sonde du ballon est plus chaude que celle du capteur, la régulation stoppe la circulation de fluide. Dans le cas où la sonde du ballon a une température inférieure à celle du capteur, le circulateur se remet en fonctionnement, et le liquide primaire réchauffe l'eau du ballon.

Chaudière d'appoint : lorsque l'ensoleillement est insuffisant, ce qui est le cas en hiver, en période de mauvais temps, un dispositif d'appoint pallie le manque d'ensoleillement pour assurer la production d'eau souvent à mi-hauteur du ballon solaire et d'un serpentin raccordé à une chaudière (bois, fioul ou gaz) situé en aval du ballon. Vous pouvez aussi faire mettre un second ballon doté d'un réchauffeur électrique. [08]

#### **Avantages**

- Rendement élevé (jusqu'à 80%) ;
- Source d'énergie inépuisable
- Gros potentiel de développement.

#### **Inconvénients**

- Généralement limité au chauffage de l'eau chaude sanitaire
- Énergie coûteuse par rapport au chauffage par énergie fossile à cause d'investissements assez lourds
- Retour sur investissement assez long (en moyenne 10 à 15 ans)
- Certains panneaux sont très sensibles et peuvent être endommagés par certaines conditions météorologiques (grêle, gel...) [09]

### **I.6.5.2 L'énergie solaire photovoltaïque**

L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique. Les cellules photovoltaïques produisent de courant continu à partir de rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie. Les panneaux photovoltaïques composés des cellules photovoltaïques à base de silicium ont la capacité de transformer les photons en électrons. Quand l'énergie nécessaire dépasse la quantité fournie par une seule cellule, les cellules sont regroupées pour former un module photovoltaïque, parfois désigné de manière ambiguë sous le terme de panneau solaire. De tels modules ont été dans un premier temps utilisés pour alimenter des satellites en orbite, puis des équipements électriques dans des sites isolés. Enfin, la baisse des coûts de production élargit le champ d'application de l'énergie photovoltaïque à la production de l'électricité sur les réseaux électriques [05].

#### **a. Fonctionnement d'une installation PV**

Trois éléments sont nécessaires à une installation photovoltaïque : des panneaux solaires, un onduleur et un compteur. Ces trois éléments permettent de récupérer l'énergie transmise par le soleil, de la transformer en électricité puis de la distribuer à l'ensemble des clients connectés au réseau. Intégrés au toit, les panneaux solaires convertissent directement la lumière en courant électrique continu.

L'onduleur permet ensuite de transformer l'électricité obtenue en courant alternatif compatible avec le réseau.

Le compteur mesure la quantité de courant injectée dans le réseau. [06]

### Avantages

- Acceptation du public
- Adapté aux pays chauds et aux sites isolés
- Frais de maintenance relativement faibles
- Energie électrique non polluante à l'utilisation

### Inconvénients

- Coût encore élevé
- Rendement assez faible
- Disponibilité
- Marché très limité mais en développement
- Durée de vie des panneaux généralement limitée à 20 ans [01],[10]

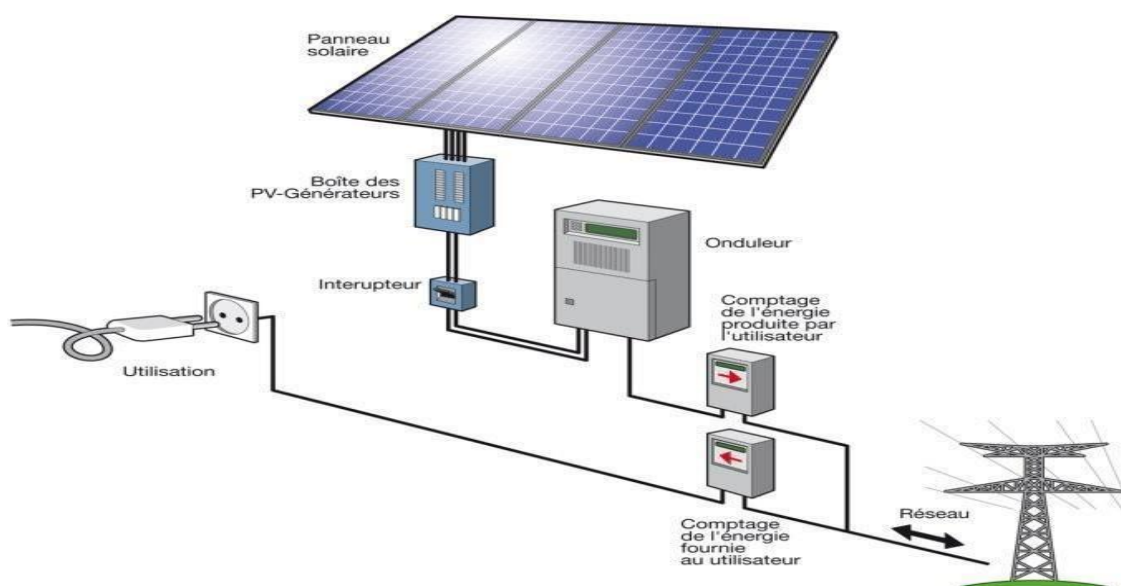


Figure I.9 : Installation photovoltaïque

## I.7 Conclusion

L'électricité est, de toutes les formes d'énergie, la plus polyvalente. Sa facilité de transport, de conversion et d'utilisation dans divers domaines en fait un vecteur énergétique central. C'est pourquoi sa part dans la consommation énergétique globale ne cesse d'augmenter. La gestion efficace de l'électricité constitue une composante essentielle de la politique globale de maîtrise de l'énergie. Dans ce contexte, le développement technologique joue un rôle crucial en offrant des solutions innovantes pour un usage plus rationnel de cette énergie.

Par ailleurs, les énergies renouvelables apparaissent comme des alternatives prometteuses. Elles présentent plusieurs avantages majeurs :

- Une diversification des sources, garantissant une meilleure sécurité énergétique ;
- Une promotion de la production locale à travers des unités décentralisées ;
- Une installation et une utilisation simples, avec la possibilité de combiner plusieurs sources ;
- Une production généralement sans émissions de CO<sub>2</sub>, respectueuse de l'environnement
- Un coût du kilowattheure (kWh) stable, compétitif et peu sujet aux fluctuations ;
- Des investissements à long terme avec des rendements prévisibles.

# **CHAPITRE II**

## **Systeme photovoltaïque**

# CHAPITRE II. Système photovoltaïque

## II.1 Introduction

Les systèmes photovoltaïques sont des dispositifs qui permettent de produire de l'électricité à partir de la lumière du soleil. Leur élément de base est la cellule photovoltaïque, qui transforme directement l'énergie solaire en électricité grâce à un phénomène appelé effet photovoltaïque.

Une seule cellule produit très peu d'énergie (environ 0,5 volt et moins de 3 watts), c'est pourquoi on en assemble plusieurs en série et en parallèle pour former un panneau solaire, capable de répondre aux besoins en électricité.

Comme les panneaux solaires ne produisent de l'électricité que lorsqu'ils sont exposés à la lumière, il est souvent nécessaire de stocker l'énergie pour pouvoir l'utiliser plus tard, notamment la nuit ou par mauvais temps. Ce stockage se fait en général avec des batteries rechargeables. Dans certains cas, d'autres systèmes de stockage ou de secours (comme des générateurs) peuvent être utilisés.

Par ailleurs, un système photovoltaïque peut fonctionner de manière autonome ou être connecté au réseau électrique. Dans ce dernier cas, l'électricité produite en trop peut être envoyée vers le réseau, et en cas de besoin, le réseau peut alimenter la maison ou l'installation.

Dans ce chapitre, nous allons :

- Expliquer le principe de fonctionnement des cellules photovoltaïques ;
- Présenter leurs performances ;
- Décrire les différents types de systèmes photovoltaïques existants.

## II.2 Système photovoltaïque

### II.2.1 Qu'est un système Photovoltaïque :

Le générateur PV est un ensemble d'équipements connectés pour exploiter l'énergie PV afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les panneaux peuvent être assemblés pour constituer un "champ PV". Relié au récepteur sans autre élément, le panneau solaire fonctionne "au fil du soleil", c'est-à-dire que la puissance électrique fournie

au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement. Mais, très souvent, les besoins en électricité ne correspondent pas aux heures d'ensoleillement mais à d'autres moments qui nécessitent une intensité régulière (éclairage ou alimentation de réfrigérateurs, par exemple). On dote alors le système de batteries qui permettent de stocker l'électricité et de la rétablir en cas de nécessité. Un régulateur est alors essentiel pour parer aux problèmes de surcharges ou les décharges profondes de la batterie. Pour un certain nombre d'applications, le courant continu produit, par le générateur PV, est converti à l'aide d'un onduleur PV en courant alternatif. [06]

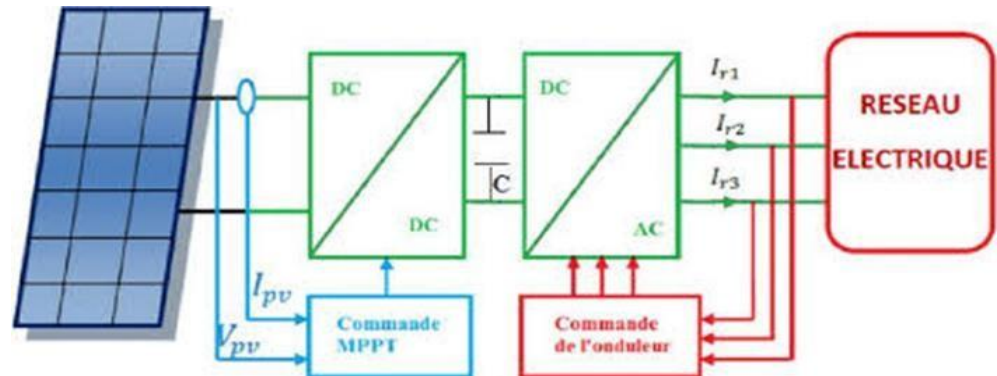


Figure II.1 : Schéma synoptique d'un système PV connecté au réseau.

## II.2.2 Générateur PV

C'est un dispositif qui transforme l'énergie PV en électricité. Selon la puissance crête désirée, ce générateur PV est constitué d'un certain nombre de modules assemblés entre eux en série ou en parallèle.

## II.2.3 Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque a été découvert par Alexandre Edmond Becquerel en 1839. L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi-conducteur qui génère alors une tension électrique. Les cellules photovoltaïques produisent du courant continu à partir du rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenter un appareil ou recharger une batterie. [06]

## II.2.4 Cellule PV

### II.2.4.1 Structure physique :

La cellule est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie

lumineuse et la transforme directement en courant électrique. Un semi-conducteur est un matériau dont la concentration en charges libres est très faible par rapport aux métaux. Pour qu'un électron lié à son atome (bande de valence) devienne libre dans un semi-conducteur et participe à la conduction du courant, il faut lui fournir une énergie minimum pour qu'il puisse atteindre les niveaux énergétiques supérieurs (bande de conduction).

La cellule la plus commune d'aujourd'hui est une cellule simple au silicium de jonction PN avec un rendement qui arrive jusqu'à environ 17% [06]. Ce matériau semi-conducteur comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dite respectivement dopée de type n et dopée de type p (Fig. II.2). Les contacts de la face éclairée de la cellule ont la structure d'une grille afin de n'occulter qu'une faible partie de la surface (5 à 10%). La face arrière peut être entièrement métallisée.[06]

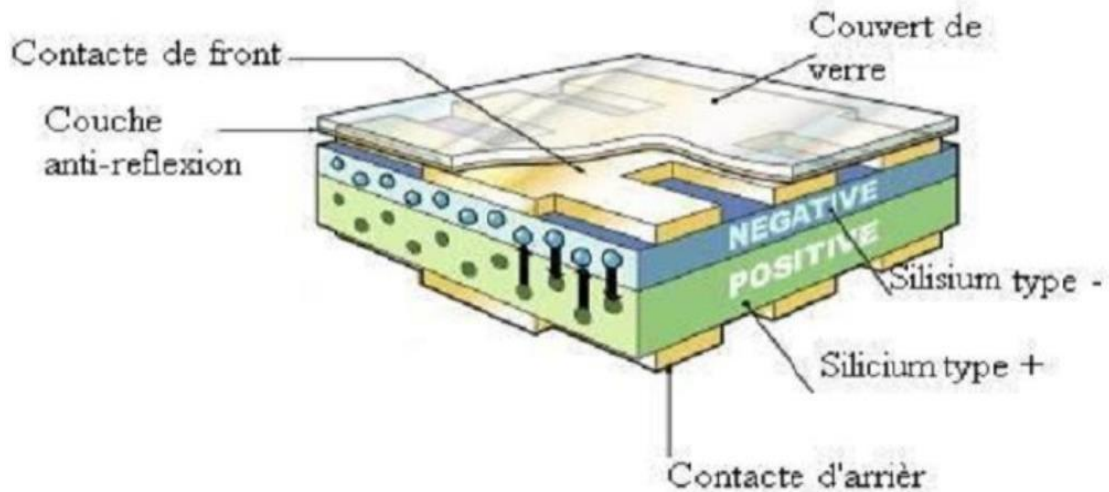


Figure II.2 : Structure d'une cellule PV

### a. Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Lorsque cette cellule sera exposée au rayonnement, les photons créent des paires d'électron trou avec une énergie plus grande que la bande d'énergie du semi-conducteur. Ceci s'appelle l'effet photovoltaïque, a été découvert par Edmond Becquerel en 1889 [04]. Les porteurs de charge nouvellement créés dans la région d'épuisement sont séparés par le champ électrique existant. Ceci mène à une accumulation d'un potentiel de tension appelé photo-voltage. Dès qu'une charge sera reliée à la cellule, cette tension causera un courant (appelé le photo-courant) qui circulera dans le circuit.[03]

### b. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

#### Module photovoltaïque

La cellule solaire de forme ronde ou carrée est l'élément de base d'un système photovoltaïque.

Un ensemble de cellules forme un module solaire, dans un module les cellules sont reliées électriquement entre elles et encapsulées, donc protégées contre les agents extérieurs. Plusieurs modules forment un string PV et plusieurs string PV forment un champ ou générateur PV 1, auxquels viennent s'ajouter des protections, un régulateur, un système de stockage de l'énergie (batterie), des appareils de contrôle et de mesure, un onduleur, etc. [01]

## Influence de l'éclairement et température sur le comportement du module PV

### *Influence de la température*

La température est un paramètre très important dans le comportement des cellules solaires puisqu'elles sont exposées au rayonnement solaire. La Fig.II.3 montre l'influence de la température, sur la caractéristique I (V) de la cellule solaire lorsque la température varie. On observe que l'augmentation de la température provoque une augmentation du courant du court-circuit ( $I_{cc}$ ), on constate que la température influe négativement sur la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Et par contre la puissance maximale du générateur subit une diminution lorsque la température augmente [02]

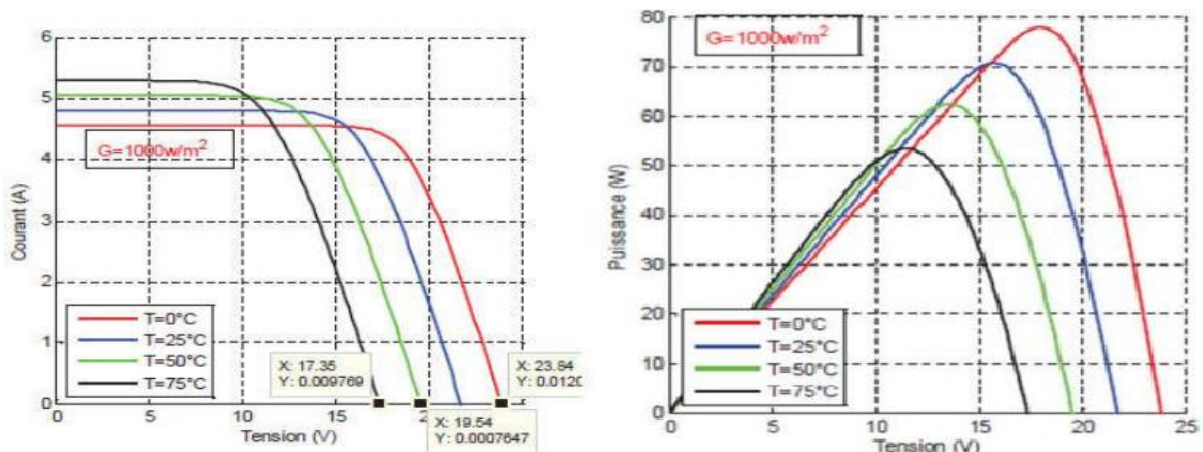


Figure II.3 : Influence de la température sur la caractéristique

### *Influence de l'éclairement*

L'éclairement est un paramètre très important parce qu'il a un effet spécial sur le rendement électrique. D'après la Fig. II.3 ; la caractéristique courant - tension d'une cellule

photovoltaïque change avec l'éclairement pour une température donnée : quand l'éclairement augmente, la courbe se translate vers le haut et vers la droite. Le courant de court-circuit  $I_{sc}$  (ou  $I_{cc}$ ) varie proportionnellement à l'éclairement. Dans un même temps, la tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  varie que très peu, [15] comme le montre la Fig. II.4:

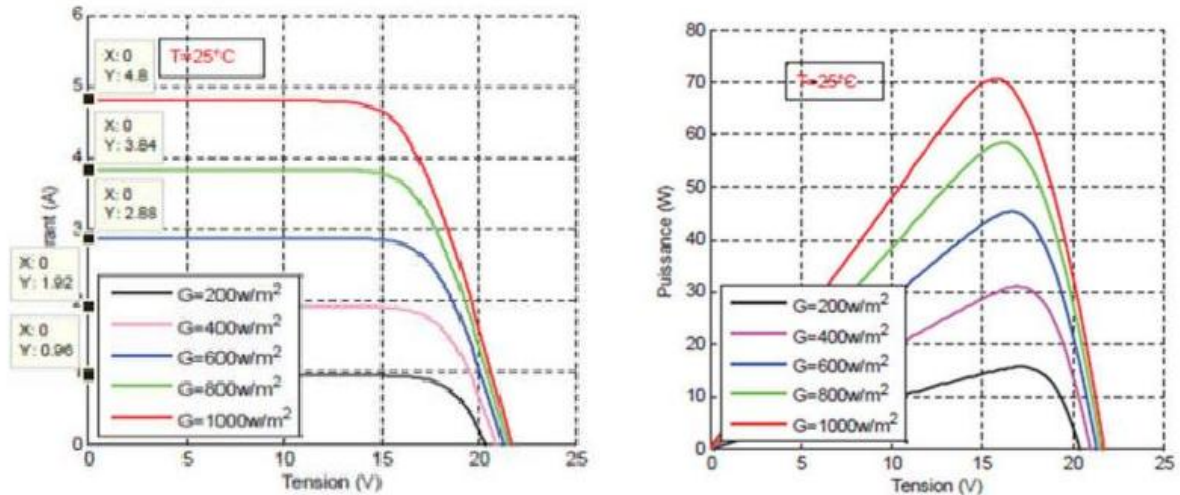


Figure II.4 : Influence de l'éclairement sur la caractéristique I- -V et P-V d'une cellule solaire

#### *Effet de l'ombrage partiel sur le fonctionnement du module PV*

L'efficacité de la production l'énergie PV dépend essentiellement des conditions auxquelles est soumis le champ PV à savoir le rayonnement, la température et l'état de la surface de champ PV (salissure, détérioration). Ces facteurs influent directement sur son absorption photonique et affectent par conséquent la productivité des panneaux PV. Le phénomène d'ombrage partiel est un des problèmes qui nuisent au bon fonctionnement d'une centrale PV. L'ombrage partiel est une répartition non uniforme de l'éclairement qui est dû à plusieurs raisons (Fig. II .4). A cet effet, on distingue deux types d'ombrage [11]:

- Ombrage lointain qui correspond à la disparition du soleil derrière la ligne d'horizon.
- Ombrage proche qui est souvent dû à des obstacles inévitables tels que : les lignes électriques, les arbres, les bâtiments voisins, la saleté.

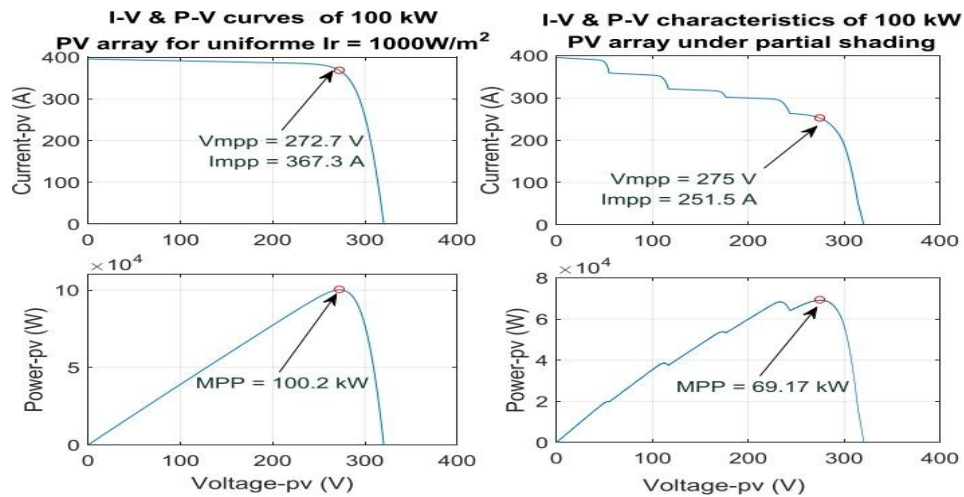


Figure II.5 : Courbe de I(V) et P(V) d'un générateur PV de 100 KW.

Ce phénomène indésirable affecte l'efficacité de la conversion et l'habilité à extraire le maximum de puissance disponible du champ PV en engendrant de multiple maxima local. L'ombrage perturbe aussi le fonctionnement des cellules PV causant ainsi deux problèmes :

Le premier problème c'est celui de mis match qui est dû au fait que le courant total d'un champ PV est limité par le courant du module ombragé (de faible puissance) dans le cas où le courant  $I_{CC}$  du module ombragé est supérieur au  $I_{CC}$  des modules uniformément éclairés.

Le second problème est celui du point chaud (hot pot). Ce problème se produit quand le courant  $I_{CC}$  du module ombragé est inférieur au  $I_{CC}$  des modules uniformément éclairés

Donc le module ombragé se conduit comme un récepteur d'énergie reçu par les autres modules PV.

Ceci engendre, en plus de la déformation de la courbe I-V (Fig.II.5), l'échauffement de ce module par dissipation de cette énergie et si le point de fonctionnement du module ombragé atteint la tension de claquage, ce module sera détruit à cause de l'effet de l'avalanche. Afin de concevoir un système PV performant, il est important de trouver une tension de fonctionnement optimale pour extraire le maximum de puissance PV, ce qui permet d'augmenter l'efficacité du générateur PV. Cependant, le générateur PV peut être partiellement ombragé comme le montre la Fig. II.5, ce qui force les modules PV à fonctionner avec plusieurs courants. D'où l'apparition de plusieurs points de puissances maximales (MPP) locaux. Ce problème affecte la production de l'énergie PV et donc

l'efficacité du système PV. [12]

## II.2.5 Association des cellules photovoltaïques

### II.2.5.1 Association en parallèle

Un module de 36 cellules en série est suffisant pour augmenter le courant, on peut assembler “n” modules en parallèle comme il est montré au Fig.II.6 et II.7.[12]

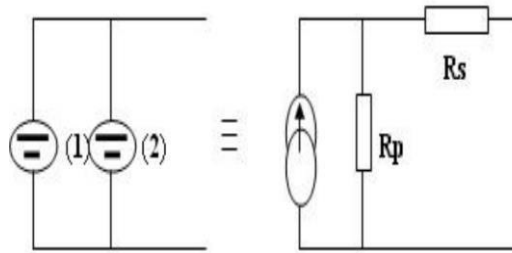


Figure II.6 : Association des modules en parallèle [12].

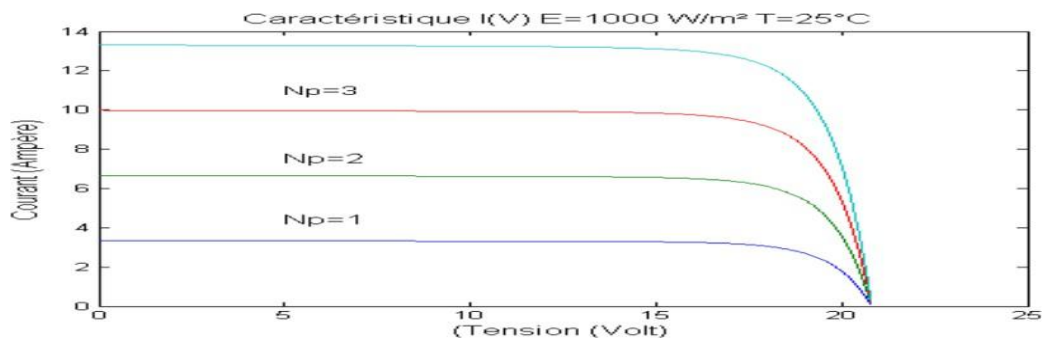


Figure II.7 : Caractéristiques I (V) pour l'association en parallèle [13]

### II.2.5.2 Association en série

Un module de 36 cellules en série est suffisant, pour obtenir une augmentation de la tension.

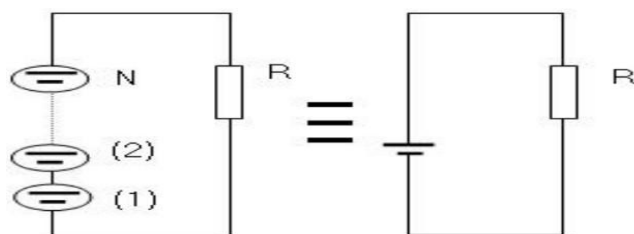


Figure II.8 : Association des modules en série.

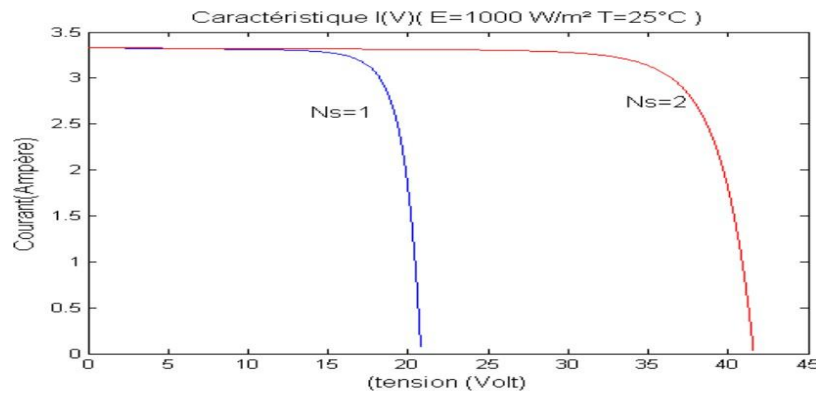


Figure II.9 : Caractéristique I(V) pour l'association série [14]

### II.2.5.3 Association mixte (série parallèle) :

Afin d'obtenir des puissances de quelques kW, sous une tension convenable, il est nécessaire d'associer les modules en panneaux et de monter les panneaux en rangées de panneaux série et parallèle pour former ce que l'on appelle un générateur photovoltaïque.

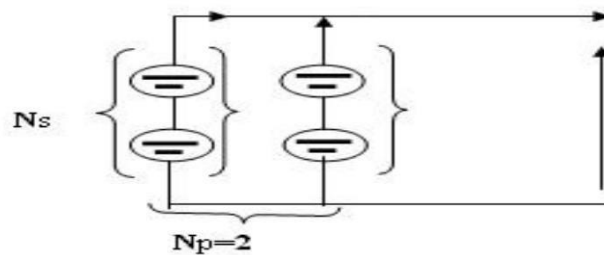


Figure II.10 : Association mixte des modules [15]

## II.3 Avantages et les inconvénients des énergies d'un système photovoltaïque

### II.3.1 Avantages

La technologie photovoltaïque présente un grand nombre d'avantages.

- D'abord, une haute fiabilité - elle ne comporte pas de pièces mobiles - qui la rendent particulièrement appropriée aux régions isolées. C'est la raison de son utilisation sur les engins spatiaux.
- Ensuite, le caractère modulaire des panneaux photovoltaïques permet un montage simple et adaptable à des besoins énergétiques divers. Les systèmes peuvent être dimensionnés pour des applications de puissances allant du milliwatt au Mégawatt.
- Leurs coûts de fonctionnement sont très faibles vu les entretiens réduits et ils ne

nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.

- Enfin, la technologie photovoltaïque présente des qualités sur le plan écologique car le produit fini est non polluant, silencieux et n'entraîne aucune perturbation du milieu, si ce n'est par l'occupation de l'espace pour les installations de grandes dimensions [07].

### II.3.2 Inconvénients

Le système photovoltaïque présente toutefois des inconvénients.

- La fabrication du module photovoltaïque relève de la haute technologie et requiert des investissements d'un coût élevé.
- Le rendement réel de conversion d'un module est (la limite théorique pour une cellule) théorique pour une cellule au silicium cristallin est de 28%.
- Les générateurs photovoltaïques ne sont compétitifs par rapport aux générateurs Diesel que pour des faibles demandes d'énergie en région isolée.
- Enfin, lorsque le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire, le coût du générateur photovoltaïque est accru.
- La fiabilité et les performances du système restent cependant équivalentes pourtant que la batterie et les composants de régulations associés soient judicieusement choisis [08]

## II.4 Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons pu définir le système photovoltaïque en donnant un profil sur les différents critères de ce dernier. Nous avons cité les caractéristiques d'une cellule photovoltaïques, ainsi les effets qui influencent le comportement de la cellule, qui varient selon les besoins énergétiques ; les avantages et inconvénients du système photovoltaïque conçues jusqu'à présent et les techniques utilisées.

# **CHAPITRE III**

## **Etude de cas**

## CHAPITRE III. Etude de cas

### III.1 Introduction

La prévision de la consommation d'énergie est une tâche très importante tant pour les consommateurs que pour les producteurs, dans ce chapitre nous analyserons la consommation d'énergie (électricité) pour une période bien définie (de janvier 2024 à décembre 2024). On a appris que ces factures « Factures de Consommation d'Electricité » ont été obtenues auprès de la direction de Sonelgaz.)

### III.2 Qualité d'énergie électrique

Les critères de qualité de l'électricité sont directement issus de l'observation des perturbations électromagnétiques des réseaux électriques. On parle de Compatibilité Electromagnétique (C. E. M.) afin de caractériser l'aptitude d'un appareil, d'un dispositif, à fonctionner normalement dans un environnement électromagnétique sans produire lui-même des perturbations nuisibles aux autres appareils ou dispositifs. La (C.E.M) classe ces perturbations selon deux groupes :

Ø basses fréquences (< 9 kHz).

Ø hautes fréquences (> 9 kHz).

De manière générale, les perturbations en électrotechnique appartiennent à la basse fréquence. Les phénomènes observés sont nombreux : creux de tension et coupures, surtensions, fluctuations de la tension (flicker), variations de la fréquence, déséquilibres du système triphasé, harmoniques et inter harmoniques.

#### III.2.1 Évaluation de la qualité d'énergie

La qualité de l'énergie électrique intéresse à la fois le fournisseur et le consommateur. Le fournisseur d'énergie électrique à l'obligation de transport et de distribution, qu'il gère, à certains paramètres de qualité. La valeur de la fréquence avec les limites de variations admises en différents régimes du fonctionnement et la continuité de l'alimentation des consommateurs avec de l'énergie électrique. Le consommateur d'énergie, à son tour, est intéressé d'avoir une qualité adéquate de l'énergie mais, en même temps, il est impliqué dans le maintien de la qualité par le type de récepteur utilisé et par l'exploitation judicieuse de ceux-ci. Les principales

influences négatives produites par les récepteurs des consommateurs concernent la production d'harm fonctionnement en régies non symétriques, déséquilibrés La qualité de l'énergie électrique aux bornes des récepteurs est évaluée principalement, conformément aux normatifs d'écarts admissibles de la valeur réelle des paramètres des valeurs nominales.

### III.3 Les harmoniques

Les harmoniques sont des signaux de fréquence multiple de la fréquence industrielle. Ils sont générés par des charges dites non-linéaires. Certains appareils ne présentent pas une impédance constante durant la durée de l'alternance de la sinusoïde de tension à 50 Hz. Ils absorbent alors un courant non sinusoïdal qui se propage dans le réseau et déforme ainsi l'allure de la tension. Une tension ou un courant déformé par rapport à la sinusoïde de référence peut être décomposé en une somme de signaux sinusoïdaux de fréquence multiples à celle du fondamental.

Les inters harmoniques sont des signaux non multiples de la fréquence industrielle. Les variateurs de vitesses pour machines asynchrones, les fours à arcs sont les principaux générateurs d'inter harmoniques.

#### III.3.1 Distorsion harmonique

##### a. Quelques rappels

Un signal périodique de tension ou de courant de forme et de fréquence  $f$  quelconques est décomposé en la somme de signaux sinusoïdaux ayant chacun une fréquence dite harmonique, qui est un multiple entier de la fréquence fondamentale  $f$ . Ce multiple s'appelle le niveau harmonique. Les composantes harmoniques sont généralement exprimées en pourcentage de la quantité fondamentale correspondante. C'est le taux d'harmoniques. Le taux d'harmoniques en un point du réseau est la somme des perturbations générées par différentes sources d'harmoniques, principalement les équipements électroniques et les charges non linéaires. Les moteurs synchrones et les transformateurs saturés sont également des sources de pollution harmonique.

On peut citer

- Les convertisseurs de puissance
- Les convertisseurs de fréquence (variateurs de vitesse)

- Les onduleurs.
- Les moteurs asynchrones
- Les postes à souder
- Les microordinateurs et imprimantes

Les réseaux électriques industriels produisent essentiellement des harmoniques de rang Impaire qui affectent le signal de façon symétrique. Par ailleurs. L'étude des harmoniques S'effectue généralement entre 100 Hz (harmonique de rang 2) et 2500 Hz (harmonique de Rang 50).

Il excite aussi d'autre type d'harmonique tel que :

- Inters harmoniques : sont des signaux de fréquence non multiple de la fréquence fondamentale.
- Infra harmoniques : ce sont des composantes qui sont à des fréquences inférieures à celle du fondamental.

#### **b. Les perturbations engendrées**

Pour le taux de distorsion de tension. Un risque d'échec de 5% à 8% est possible. Dépasser Pour qu'ils deviennent une réalité, les courants harmoniques et les perturbations de tension doivent être limités. Le taux de distorsion de tension ne doit pas dépasser 1,6 %.

- Tensions harmoniques de rangs pairs :  $U_{2n} / U_1 \leq 0.6 \%$
- Tensions harmoniques de rangs impairs :  $U_{2n+1} / U_1 \leq 1 \%$

#### **c. Conséquences des harmoniques A court terme**

- Déclenchements intempestifs des relais à max de courant
- Dysfonctionnement des applications sensibles
- Perturbation des systèmes de télécommande et de télécommunication
- Vibrations et bruits anormaux (tableaux BT. Moteurs. Transformateurs)

A long terme :

- Echauffement des batteries de condensateurs
- Echauffement des transformateurs
- Echauffement des conducteurs de phase et du neutre en présence des harmoniques

### III.4 Chutes et coupures de tension du réseau

Depuis leur démarrage et à différents degrés. à l'instar de continuent de subir des microcoupures et des à-coups de tension réseau malgré les mesures prises par certaines. En matière de protections. Pour en minimiser les effets.

Les minimum tensions (mini U), au niveau de la MT. Telles que préconisées. Doivent être réglées à 85 % d'Un et une temporisation de 1 seconde. Certains constructeurs comme Siemens se limitent au seuil critique de décrochage des gros Moteurs à bagues, Il est vrai que des périodes sont plus « calmes » que d'autres mais à voir l'historique Etats des déclenchements par chute de tension le centre accuse encore des Fluctuations de tension réseau entraînant des perturbations et des déclenchements aux conséquences très fâcheuses bien connues des exploitants. À savoir pour rappel :

- Risques de dommages aux machines et équipements électriques.
- Arrêts prolongés des installations.
- Remontée en régime difficile et lente.
- Durée de vie des réfractaires écourtée.
- Grandes pertes de production.
- Mobilisation accentuée tant sur le plan humain que matériel. ...

Bien entendu. Toutes ces perturbations. Engendrent un manque à gagner colossal devant faire l'objet d'un audit spécifique plus poussé devant s'appuyer au niveau :

- MT : sur tous les enregistrements disponibles au niveau des protections " Sepam, et Ref"

Après étalonnage des différents réglages - BT : sur un analyseur d'énergie

**Important** : Afin de cerner au mieux toutes les perturbations et déclenchements imputables réellement au réseau Sonelgaz. Il est recommandé d'installer à l'arrivée HT - 60 KV, un Oscilloperturbographe ou un " qualimètre " lesquels peuvent enregistrer tous les à-coups et chutes de tension réseau en donnant entre autres paramètres. Principalement leur amplitude et Leur durée. Il faut, dans tous les cas. Vérifier s'il ne s'agit pas de déclenchements qui seraient dus à des réglages mini U très serrés ou carrément inexistantes. Ce qui se traduirait alors par des décrochages instantanés des moteurs de puissance. En règle générale. il faut

associer Sonelgaz. Lors du grand arrêt programmé annuel. À la vérification de toutes les protections MT. Le cas échéant. Procéder à leur étalonnage cependant toutes les vérifications des protections et réglages éventuels au niveau BT sont du ressort de l'équipe d'entretien de la station industriel

### III.5 Comptage

Il assure la mesure des quantités d'énergie livrée et la puissance appelée selon les modalités du contrat tarifaire. Comme le cas du centre. Le comptage se fait au côté HT. C'est à dire en amont des transformateurs HT/MT Il permet de comptabiliser :

- L'énergie active des trois postes horaires (pleine De pointe et creuse)
- L'énergie réactive
- Le Cos (j)
- La puissance maximale atteinte ou appelée (P.M.A).

Prenant la consommation d'électricité durant dernière année du 2024 du 1er janvier a 31 décembre

### III.6 Bilans de puissance annuelle BDV Oued Noumer

BDV SONATRACH Oued Noumer PMD = 1000 KW Code tarif : 43 d'année 2024

Tableau III.1 : Bilan de puissance de BDV Oued Noumer 2024.

Mois	Énergie active (KWh)	Énergie réactive (KVARh)	Montant (DA)	PMA (kW)	Énergie consommée nuit (kWh)	Énergie consommée jour (kWh)	tg $\Phi$
Janvier	78517	24999.8128	301240.00	159	24863	53654	0.3184
Février	74591.15	25778.70144	289361.74	153	23619.85	50971.3	0.3456
Mars	52039	22033.3126	215040.12	140	18232	33807	0.4234
Avril	47355.49	21040.04421	201185.95	135	16591.12	30764.37	0.4443
Mai	44987.7155	20847.30736	194208.4	130	15761.564	29226.1515	0.4634
Juin	44987.7155	20847.30736	194208.4	124	15761.564	29226.1515	0.4634
Juillet	42151.59	20460.38179	185837.31	120	14767.92	27383.67	0.4854
Août	44726.97	22323.23073	194656.76	122	15314.88	29412.09	0.4991
Septembre	63886.68	29458.14815	258142.64	139	19890.4	43996.28	0.4611
Octobre	71607.504	26723.92049	280363.05	142	22675.056	48932.448	0.3732
Novembre	74591.15	25830.91525	289366.21	149	23619.85	50971.3	0.3463
Décembre	86368.7	27240.68798	325327.62	157	27349.3	59019.4	0.3154
	<b>725,810.665</b>	<b>287,583.7702</b>	<b>292,8938.2</b>	<b>139.16</b>	<b>238,446.504</b>	<b>487,364.161</b>	<b>0.4115</b>

#### III.6.1 Analyse de l'énergie active en kwh

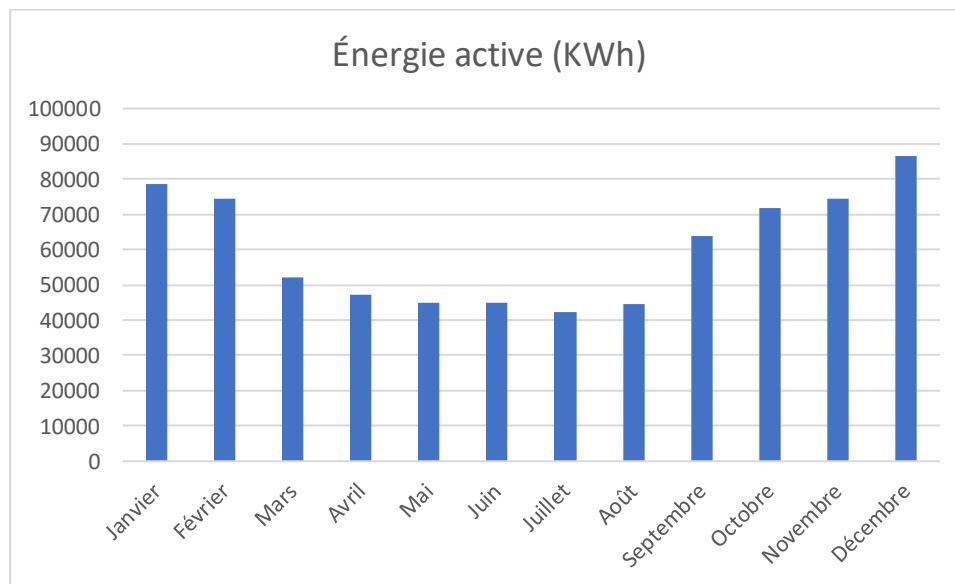
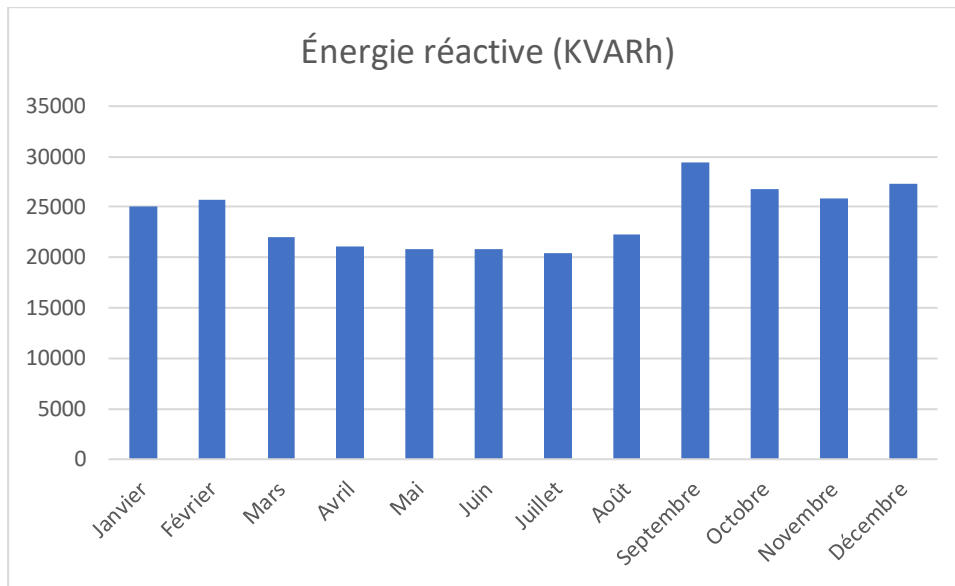


Figure III.1 : Evolution de la consommation d'énergie active.

On constate la consommation d'électricité de la BDV pour cette année, avec une valeur maximale de 86368.7 kwh au mois d'décembre et une valeur minimale de 42151.59 kwh au mois d'juillet.

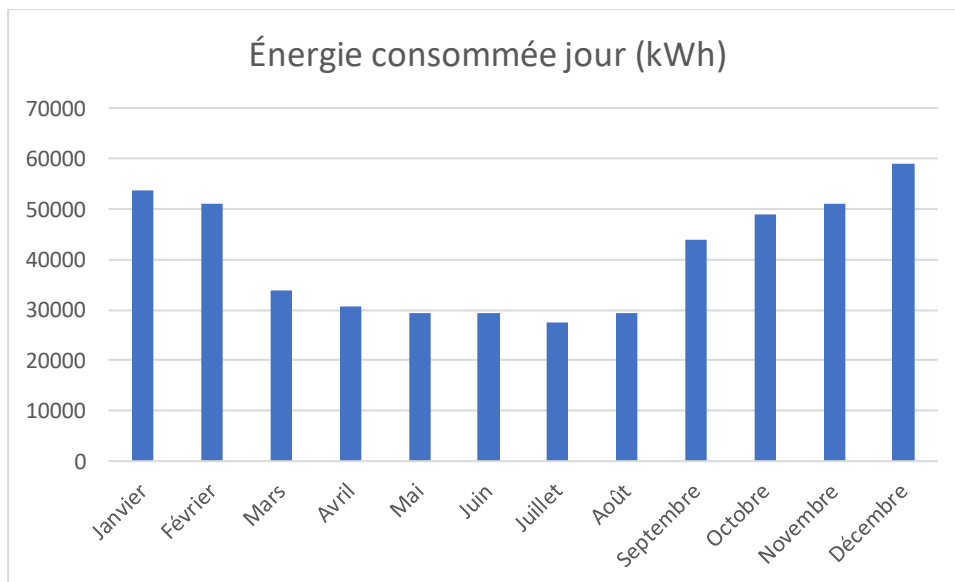
### III.6.2 Analyse de l'énergie réactive en Kvarh de la SP



**Figure III.2 : Evolution de la consommation d'énergie réactive.**

La consommation d'énergie réactive de la base de vie ONR pour cette année est de 287583 kvarh, avec une valeur maximale 29458.14815 kvarh au mois de septembre et une valeur minimale de 20847.30736 kvarh au mois de Mai et juin

### III.6.3 Analyses des énergies consommées en jour 2024



**Figure III.3 : Evolution du poste heures jour**

La consommation d'énergie de la BDV dans les heures jour pour cette année est de 487364.161 kWh.

### III.6.4 Analyses des énergies consommées en nuit 2024

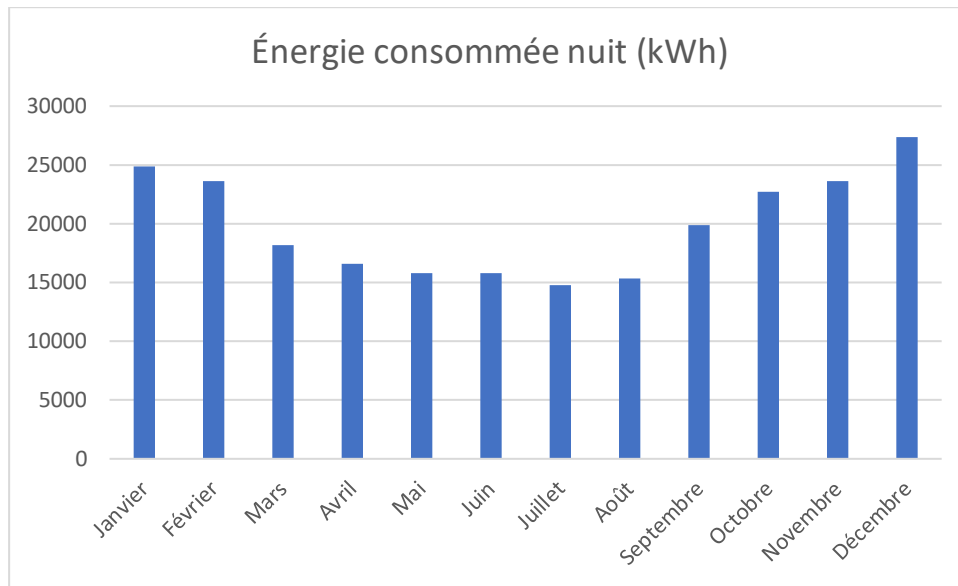


Figure III.4 : Evolution du poste heures nuit

La consommation d'énergie de la station dans les heures nuit pour cette année est de 238446.504.

### III.6.5 Analyse de la tangente $\phi$ 2024

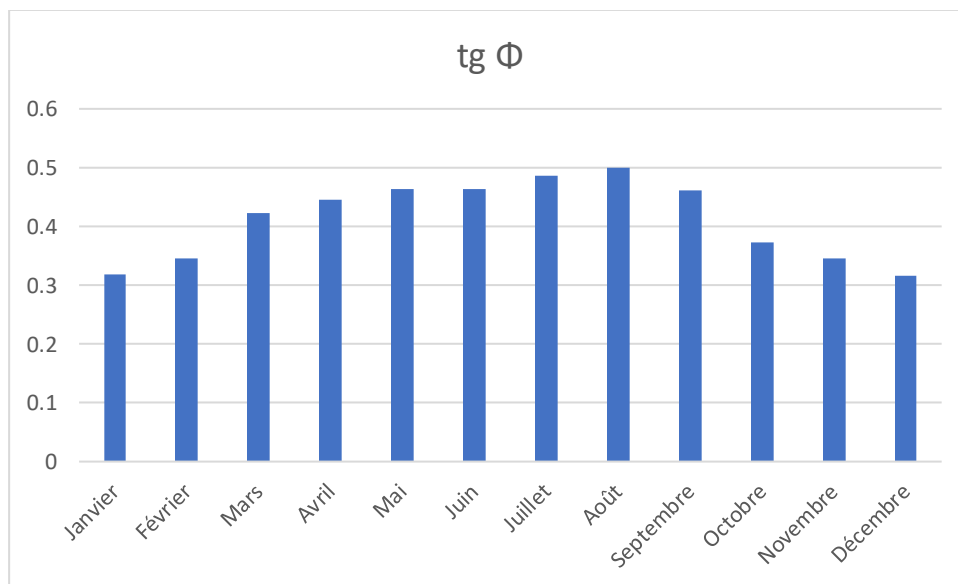
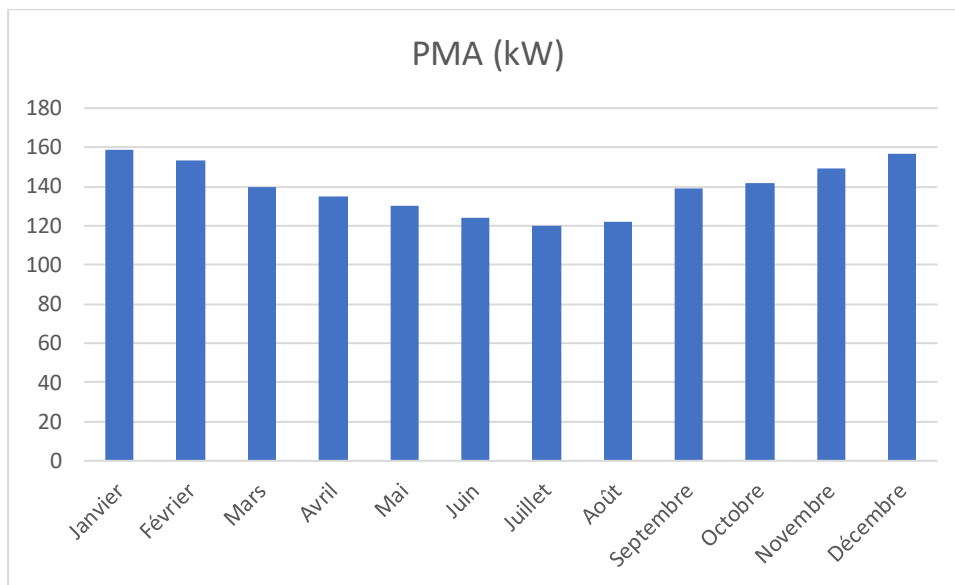


Figure III.5 : Evolution de la tangente  $\phi$

Evolution de la tangente  $\phi$  la valeur maximale de la tangente a été atteinte durant le mois d'aout 2024 de 0,49.

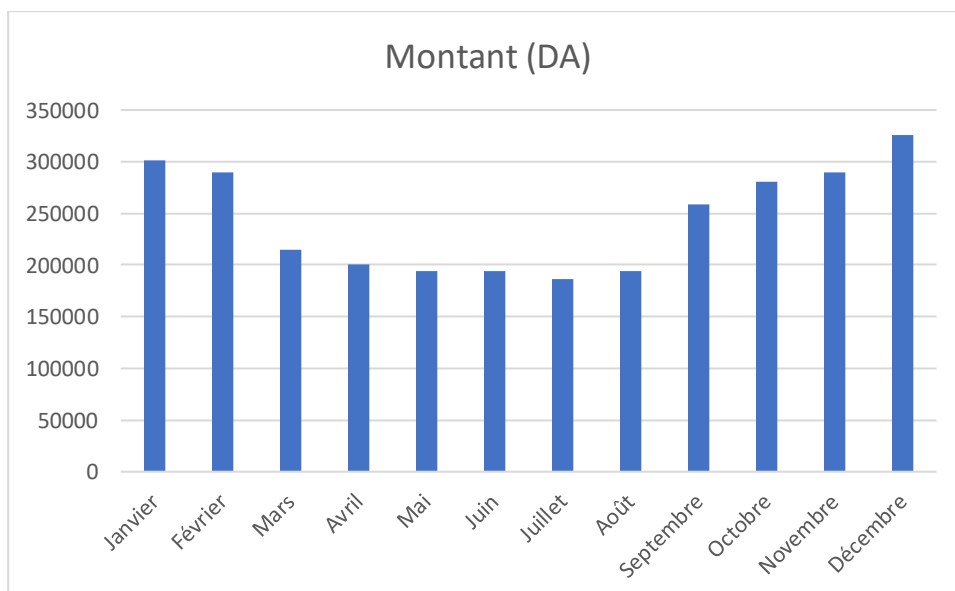
### III.6.6 Analyse de la PMA (2024)



**Figure III.6 : Evolution de PMA**

La PMA moyenne de cette année est de 139 kW avec une valeur maximale de 160 kW le mois d'mai et le mois de juillet et une valeur minimale de 120 kW au mois de décembre, sa puissance appelée à la valeur de la PMD contractuelle dans notre cas est 1000KW

### III.6.7 Facture BDV ONR MT en (DA) 2024 Lignes 30KV



**Figure III.7 : Evolution du montant durant l'année 2024.**

L'évolution du montant durant cette année montre que les valeurs sont aléatoires avec augmentation et baisse ainsi de suite en décembre le montant atteint sa valeur maximum 325327da

## III.7 Tarification

En Algérie. La politique tarifaire relève de l'état. Au lendemain de l'indépendance. Sa démarche a été caractérisée par l'utilisation de l'énergie à bon marché pour lancer le processus d'industrialisation du pays et pour contribuer à un meilleur bien-être social. Aujourd'hui, la mise en place de mécanisme d'économie de marché fixe de nouveaux objectifs en matière de tarification : Les tarifs devront couvrir les charges et assurer un seuil minimum d'autofinancement. Ils devront aussi rechercher l'efficacité économique et la rationalisation des comportements à Travers le reflet des coûts réels. L'application de la vérité des prix est déjà effective pour la clientèle haute tension. Les réajustements prévus devraient l'instaurer également pour la moyenne et basse tension.

### III.7.1 Tarifs de l'électricité applicables aux clients

#### a. Tarification de l'électricité haute tension type A

Qui est concerné : Les clients désirant être alimentés en Haute Tension type A inférieure ou égale à 30KV et à une puissance maximale de 15000kW

Les tarifs de l'électricité sont :

- Fixés par la Commission de régulation de l'électricité et du gaz par décision CREG n° D/22-15/CD du 29 décembre 2015 portant fixation des tarifs de l'électricité et du gaz et sont donnés en hors taxes à compter du 1er janvier 2016.
- Uniformes sur tout le territoire national
- Composés de l'ensemble des couts (Production, Transport, Distribution et commercialisation) vous permettant de disposer de l'énergie électrique au niveau de votre lieu de consommation.

#### Le saviez-vous ?

- Vous pouvez opter pour une des options de tarification ci-dessous, selon votre mode de consommation,
- Votre choix peut s'effectuer avec l'aide et le conseil du chargé de clientèle de la direction de distribution de la société de distribution dont vous dépendez,

- Ce choix vous permettra de parvenir à une consommation optimale et d'obtenir ainsi la facture la plus basse.

### b. Les paramètres de facturation sont

- ✓ PMD
- ✓ PMA
- ✓ Répartition de l'énergie active dans le temps et le système tarifaire choisi
- ✓ Energie réactive

### c. Prix de la puissance

Tableau III.2 : Prix de la puissance et de la redevance.

Tarif 41	Mise à disposition PMD	Absorbée PMA	Redevance fixe
Prix	25,85 DA/Kw/mois	116,15 DA/Kw/mois	38673,35 DA /mois
Tarif 42	Mise à disposition PMD	Absorbée PMA	Redevance fixe
Prix	38,70 DA/Kw/mois	180,58 DA/Kw/mois	515,65 DA/mois
Tarif 43	Mise à disposition PMD	Absorbée PMA	Redevance fixe
Prix	38,70 DA/Kw/mois	154,56 DA/Kw/mois	515,65 DA/mois
Tarif 44	Mise à disposition PMD	Absorbée PMA	Redevance fixe
Prix	38,70 DA/Kw/mois	180,58 DA/Kw/mois	515,65 DA/mois

### Qu'est-ce que la puissance mise à disposition (PMD) ?

- C'est la puissance réservée par votre distributeur selon votre demande de raccordement
- Vous pouvez appeler cette puissance selon vos besoins.
- Elle correspond à vos besoins réels (machines, chauffage, éclairage, etc.) et est exprimée en kW.
- Le choix de cette puissance combiné à l'option de tarif retenue, déterminera le montant de votre facture.
- Vous pouvez la choisir avec l'aide et le conseil du chargé de clientèle de la direction de distribution de la société de distribution dont vous dépendez, parmi les valeurs fixées par décision CREG n° D/11-13/CD du 26 septembre 2013, comme suit :

50-80-120-200-320-500-650-800-1000-1500-2000-2500-3000-4000-4500-5000-7500-10000-12500-15000

#### **d. Durée de la PMD**

La PMD est contractée pour des durées d'au moins

- 5 ans pour les valeurs inférieure à 10000 Kw
- 10 ans pour les valeurs égales ou supérieures à 10000 Kw

#### **e. Dépassement de la PMD**

En cas de dépassement observés de la PMD :

- 1<sup>er</sup> dépassement le client est informé officiellement par Sonelgaz
- 2<sup>ème</sup> dépassement constaté au cours de la période des 12 mois qui suit  
Sonelgaz se réserve le droit, de :
  1. Réajuster à la hausse PMD a une nouvelle valeur, quand le réseau le permet,
  2. Demander au client de perdre à ses frais les mesures nécessaires pour limiter la puissance appelée à la PMD.

### **Qu'est-ce que la puissance maximale absorbée (PMA) ?**

C'est le maximum de la puissance absorbée mesurée à des intervalles réguliers dans le mois. La base de vie ONR - Sonatrach est un client moyen consommateur de tension. Il a signé un contrat avec la Sonelgaz pour un tarif 43 et une PMD de 1000 KW en HT (ces deux paramètres sont signalés dans la facture 2024)

### **Qu'est ce qui est compté dans votre facture ?**

- La redevance fixe : frais de gestion (relève, facturation, accueil) et de comptage qui vous sont facturés même si votre consommation est nulle.
- La rémunération de la puissance mise à disposition « PMD » : part de l'investissement consenti par les sociétés gestionnaires des réseaux de transport et de distribution pour mettre à votre disposition une puissance que vous pouvez appeler à tout moment et qui vous est facturée même si votre consommation est nulle.
- La facturation de la puissance maximale absorbée PMA : incite le client à étaler sa consommation et à éviter les appels de puissance sous forme de pointe,

- Les tarifs de l'énergie active : c'est la rémunération de l'électricité soutirée selon les périodes tarifaires de la journée.
- L'énergie réactive : Les consommateurs d'énergie réactive sont les moteurs électriques, les lampes à fluorescence, les lampes à décharge, les fours à induction, les fours à arc, les postes à souder, les (autos) transformatrices. Il est conseillé au client une consommation de réactif n'excédant pas 50% de celle de l'énergie active. Le réactif consommé au-delà est facturé au client sous forme de malus et en deçà sa facture est bonifiée.

#### Les taxes fixées par l'Etat

- Montant Mensuel de la facture (DA) = Redevance Fixe + Tarif de facturation de la PMD X Puissance Mise à Disposition + Tarif de facturation de la PMA x Puissance Maximale Absorbée + Somme des (énergie consommée par poste horaire x Tarif de l'énergie par poste horaire) + Tarif de l'énergie réactive x (Energie réactive consommée - 0,5x Energie consommée) + Les taxes fixées par l'état

### III.8 Optimiser l'utilisation de l'énergie électrique

Toute machine électrique utilisant le courant alternatif met en jeu deux formes d'énergie :

#### a. L'énergie active

C'est l'énergie consommée par postes horaires durant un mois de facturation.

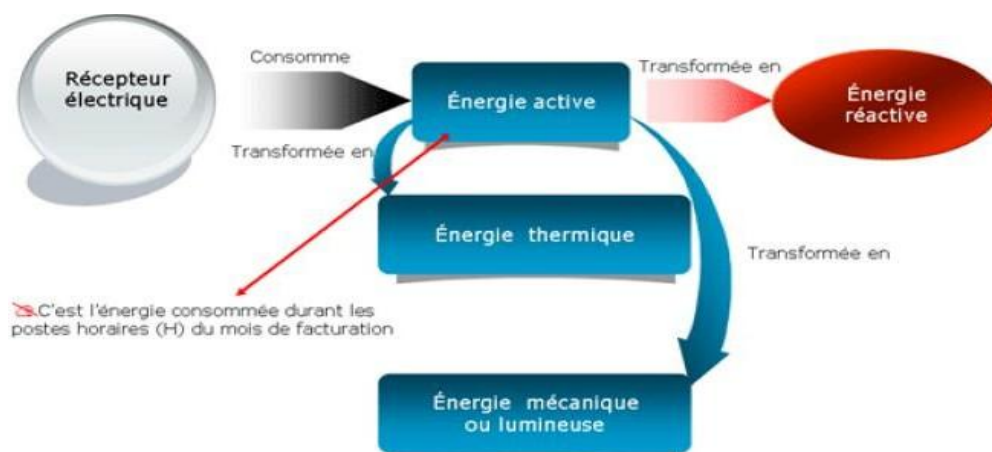


Figure III.8 : Schéma illustration de l'énergie active.

### b. L'énergie réactive

Les consommateurs d'énergie réactive sont les moteurs électriques, les lampes à fluorescence, les lampes à décharge, les fours à induction, les fours à arc, les postes à souder, les (autos) transformatrices. Il est conseillé au client une consommation de réactif n'excédant pas 50% de celle de l'énergie active. Le réactif consommé au-delà est facturé au client sous forme de malus et en deçà sa facture est bonifiée.

#### Les principaux consommateurs d'énergie réactive dans L'industrie sont

- Les moteurs asynchrones ordinaires,
- Les fours à induction et à arc,
- Les machines à souder,
- Les transformateurs,
- Les lampes à fluorescence.

Les prix de l'énergie active s'entendent pour une fourniture normalement accompagnée d'une proportion d'énergie réactive allant jusqu'à 50 % de l'énergie active. Lorsque la consommation d'énergie réactive durant le mois de consommation considéré dépasse la proportion de 50% d'énergie active, l'excédent est facturé au client selon les prix du tarif appliqué sous la forme :

- ✓ Majoration si le  $\frac{\text{rapport } \text{énergie réactive}}{\text{énergie active}} > 50\%$
- ✓ Bonification si le  $\frac{\text{rapport } \text{énergie réactive}}{\text{énergie active}} < 50\%$

### c. Le Facteur De Puissance

C'est une mesure du rendement électrique d'une installation, c'est le quotient de la puissance active sur la puissance apparente comme c'est indiqué dans le schéma ci-après :

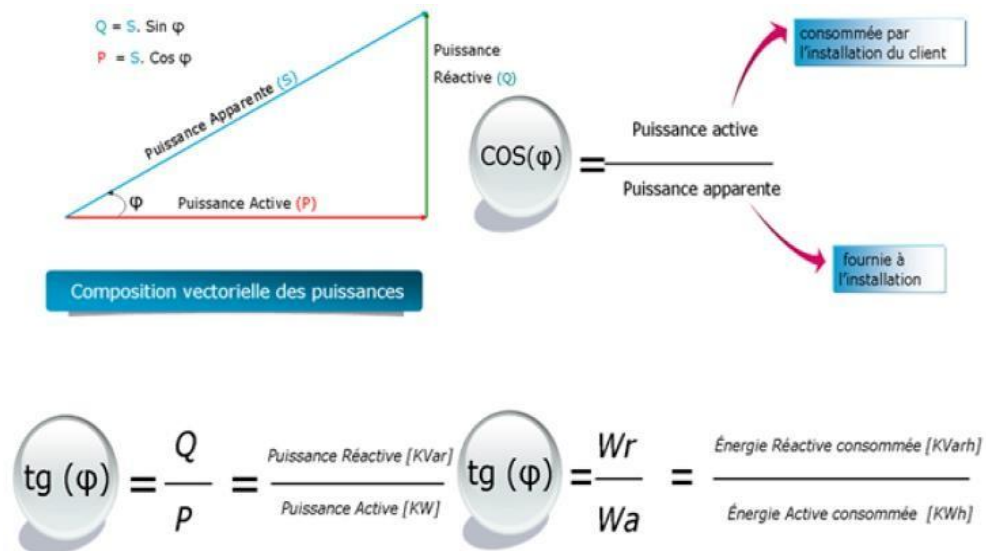


Figure III.9 : Schéma du facteur de puissance.

### Remarques

- Un bon rendement correspond à un  $\cos(\varphi)$  proche de 1
- Le  $\cos(\varphi)$  peut être consulté à n'importe quel moment au niveau du compteur électrique.
- La  $\text{tg}(\varphi)$  est déterminée à partir de la facture d'électricité. Sachez que : pour
  - Réduire votre facture
  - Conserver vos équipements
  - Réduire les pertes de vos réseaux internes

### III.8.1 Compensation de puissance réactive

Les distributeurs d'énergie électrique facturent en général la puissance apparente en (kVA) consommée sur la base de la mesure réalisée à l'aide du compteur d'énergie. Si le facteur de puissance d'une installation est faible, l'intensité consommée sera grande d'où une facture électrique plus élevée. Donc, pour augmenter le facteur de puissance  $\cos\varphi$ , il faut compenser la puissance réactive consommée par les récepteurs inductifs. La compensation de puissance réactive est indispensable pour une correcte gestion technique et économique d'un système électrique en MT. Les bénéfices obtenus sont :

### a. Optimisation technique

- ✓ Diminution de la chute de tension.
- ✓ Baisse des pertes en lignes à puissance active constante.
- ✓ Augmentation de la puissance active disponible au secondaire des TRS.
- ✓ Augmentation de la durée de vie des transformateurs, des équipements d'alimentation.

### b. Optimisation économique

- ✓ Suppression de la facturation des consommations excessives d'énergie réactive.
- ✓ Réduction de la puissance souscrit en kVA.
- ✓ Diminution de l'énergie active consommée en kWh.

#### III.8.1.1 Les modes de compensation

- Compensation Globale
- Compensation par secteur
- Compensation locale

#### III.8.1.2 Compensation globale

La batterie est raccordée en tête d'installation et assure une compensation pour l'ensemble des récepteurs.

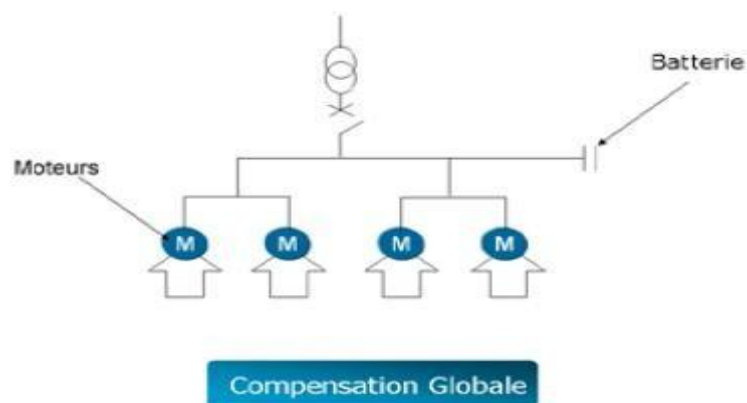


Figure III.10 : Schéma d'illustration la compensation globale.

### III.8.1.3 Compensation par secteur

La batterie est raccordée au tableau et fournit l'énergie réactive par atelier à un groupe de récepteurs.

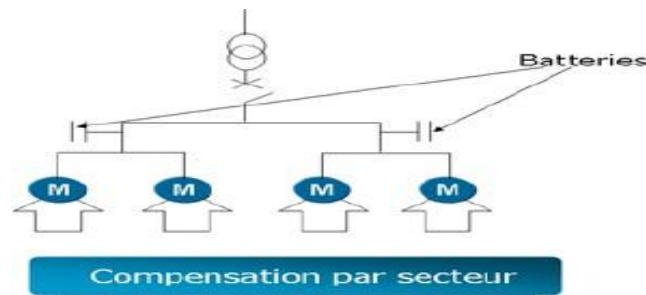


Figure III.11 : Schéma d'illustration la compensation par secteur.

### III.8.1.4 Compensation locale

La batterie est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur de type inductif (moteur) dans ce cas le courant réactif n'est plus présent dans les câbles de l'installation.

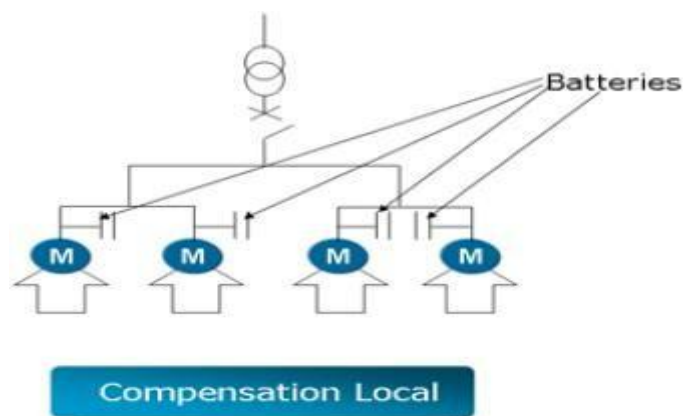


Figure III.12 : Schéma d'illustration la compensation locale.

## III.8.2 Choix du type de compensation

Il existe différents types de batteries de compensation :

### III.8.2.1 Système à compensation fixe

L'on met en service l'ensemble de la batterie de condensateurs de valeur fixe délivrant une puissance réactive constante. La compensation fixe est souvent réservée à des applications où la puissance réactive est faible (moins de 15% de la puissance du transformateur) et la charge assez stable.

### III.8.2.2 Système à compensation automatique

Mettant en jeu une batterie de condensateurs divisée en gradins Ces batteries sont en général installées juste avant le réseau de distribution ou avant un secteur du site. Le déclenchement des gradins est intégralement piloté par un régulateur var-métrique en fonction de la puissance réactive.

#### Remarque

Les condensateurs sont sensibles aux courants harmoniques qui sont issus des équipements faisant appel à l'électronique de puissance (variateurs de vitesse, redresseurs, onduleurs, etc.), un filtre d'harmonique est donc parfois nécessaire.

## III.9 Etude de cas

### III.9.1 Choix du tarif simulation

A partir de simulation sur l'Excel pour le choix du tarif le plus optimal pour les installations alimentées en MT dans la série 40, sachant qu'on peut opter pour un seul mais n'importe lequel des tarifs suivants 41/42/43/43, et étudier pour avoir moins facture, la minimisation des couts de l'énergie électrique dans l'année de 2021.

Le choix des pourcentages des postes heureux sur la base de vie ONR SONATRACH

**Tableau III.3 : Energie active total en 2024.**

<b>Année</b>	<b>2024</b>
Energie consommée En nuit kw	238446.504
Energie consommée En jour kw	487364.161
Energie active totale kwh	725810.665

**Tableau III.4 : Energie consommée dans chaque type heureux.**

<b>Année</b>	<b>2024</b>
Energie consommée En nuit kw %	33 %
Energie consommée En jour kw %	67 %

### III.9.2 Etude de consommation Base de vie Oued Noumer

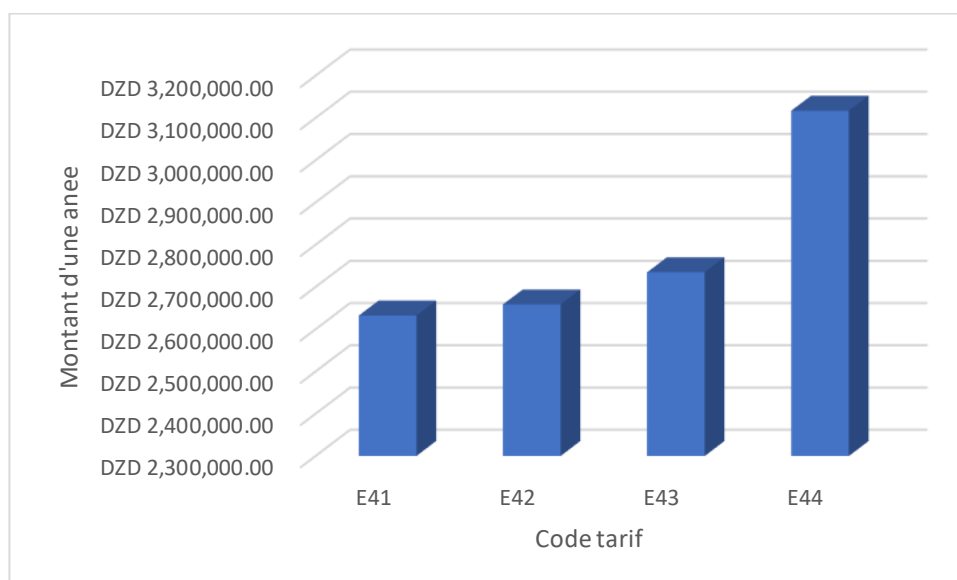
On a calculé les montants en DA dans chaque quatre tarifs pour les 12 mois de l'année 2024 avec un TVA 19 % et une PMD de 1000 KWh.

**Tableau III.5 : Prix mensuels dans chaque type de tarif da l'année 2024**

	E41	E42	E43	E44
<i>Jan</i>	DZD 291,036.13	DZD 290,286.84	DZD 301,240.00	DZD 342,400.50
<i>Fev</i>	DZD 280,570.02	DZD 279,150.22	DZD 289,361.74	DZD 328,658.19
<i>Mar</i>	DZD 220,240.38	DZD 216,538.62	DZD 215,040.12	DZD 249,002.99
<i>Avr</i>	DZD 193,270.47	DZD 203,156.50	DZD 201,185.95	DZD 226,979.57
<i>Mai</i>	DZD 201,170.86	DZD 196,047.92	DZD 194,208.40	DZD 224,096.26
<i>Jui</i>	DZD 201,170.86	DZD 196,047.92	DZD 194,208.40	DZD 224,096.26
<i>Juil</i>	DZD 193,420.15	DZD 182,871.80	DZD 185,837.31	DZD 214,086.13
<i>Aou</i>	DZD 201,548.69	DZD 196,063.76	DZD 194,656.76	DZD 223,305.39
<i>Sep</i>	DZD 253,023.79	DZD 249,494.94	DZD 258,142.64	DZD 291,316.85
<i>Oct</i>	DZD 272,644.94	DZD 260,527.45	DZD 280,363.05	DZD 318,243.20
<i>Nov</i>	DZD 213,013.07	DZD 271,546.90	DZD 289,366.21	DZD 328,662.67
<i>Dec</i>	DZD 312,297.97	DZD 312,889.70	DZD 325,327.62	DZD 370,214.73
<b>Total</b>	<b>2,632,236.47</b>	<b>2,658,574.65</b>	<b>2,734,729.80</b>	<b>3,116,966.48</b>

**Tableau III.6 : Gain l'année 2024**

Code	E41	E42	E43	E44
<b>Totale DA</b>	2,632,236.47	2,658,574.65	2,734,729.80	3.116,966.48
<b>Gains DA</b>	102,493.33	76,155.15	0.00	(382,236.68)
<b>Etat</b>	Meilleur	Bon	Actuelle	Mauvaise



**Figure III.13 : Evolution du montant dans chaque type de tarif.**

Ont constaté le tarif 41 est de meilleure tarification.

### III.9.3 Analyse de la PMA

D'après les factures de Sonelgaz qui été relevant de compteur de la station, la PMA au forfait en prenant la facturation une indication de **159** comme valeur maximale dans la base de vie ONR - Sonatrach,

Donc la PMD 1000 Kw est conforme.

La PMD que Sonelgaz offre au client est

50-80-120-200-320-500-650-800-1000-1500-2000-2500- 3000-4000-4500-5000-7500-10000-12500-15000

On a calculé le montant en DA par Année de la PMD =200

$$1000 \times 38.70 \times 12 = 464,400.00 \text{ DA /Année}$$

Nous avons choisi le PMD = 200

On a calculé le montant en DA par Année de la PMD =200

$$200 \times 38.70 \times 12 = 92,880.00 \text{ DA /Année}$$

**Tableau III.7 : Gain de la PMD pour la base de vie ONR**

	Montant DA/ Année
<b>PMD =1000</b>	464,400.00
<b>PMD =200</b>	92,880.00
<b>Gains</b>	371,520.00

### III.9.4 Généralisé des gains

Economies annuelle à réaliser pour la base de vie Oued Noumer - Sonatrach :

**Tableau III.8 : Gain Totale pour base de vie ONR pour l'année 2024.**

	2024
<b>Code tarif</b>	102,493.33
<b>PMD</b>	371,520.00
<b>Gains Totale (DA)</b>	474,013.33

D'après le tableau on voit que le code tarif, la PMD qui on était choisi par l'entreprise ont couté presque **47 millions centimes de dinars** par an comme une perte dans la facture a la base de vie de Sonatrach.

### III.10 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons entamé à l'analyse des paramètres qui peuvent influencer sur le bilan de puissance et l'efficacité énergétique à travers les courbes et les graphes on peut visualiser et diagnostiquer les taux de consommations.

D'après l'analyse des factures d'électricité de la base de vie ONR - Sonatrach que l'on vient d'effectuer, on note les remarques et propositions suivantes :

- ✓ Une transposition de la consommation des heures de pointes vers les heures creuses peut faire économiser l'entreprise. Ainsi, une transposition de 50% permettra une économie.
- ✓ Pour le code tarif et La PMD, il est nécessaire à l'entreprise de le changer pour avoir moins de facturation dans le sens d'économiser de l'énergie.

# **CHAPITRE IV**

## **Etude et dimensionnement d'un système PV connecté au réseau**

# CHAPITRE IV. Etude et dimensionnement d'un système PV connecté au réseau

## IV.1 Introduction

Le dimensionnement d'une installation photovoltaïque sert à déterminer le nombre des panneaux solaire nécessaire pour couvrir les besoins énergétiques à tout instant ainsi que tous les autres composent électriques, à partir des données d'ensoleillement du lieu. Ce qu'on va voir dans ce chapitre qui va présenter la procédure et les étapes pour effectuer un dimensionnement d'un système photovoltaïque raccordé au réseau, on va traiter une unité industriel situé à Laghouat qui permettra d'appliquer des lois pour faire les calculs nécessaires de l'installation plus la rentabilité d'investissement , ensuite on va déterminer le devis quantitatif de ce projet et enfin on va définir les étapes de préparation du système pour la remise du projet en utilisant le programme PVsyst version 7.1 .

## IV.2 Les étapes de dimensionnement

### IV.2.1 Connaitre le site d'installation et ses caractéristiques

La production annuelle d'électricité dépend de plusieurs facteurs :

- L'ensoleillement annuel du site, qui peut être évalué assez précisément.
- L'orientation, sachant que le soleil a son point le plus haut au Sud dans l'hémisphère Nord, c'est la meilleure orientation pour les panneaux.
- L'inclinaison, qui est choisie en fonction de la hauteur du soleil pendant les mois ensoleillés pour une récupération optimale.

### IV.2.2 Irradiation

L'Algérie est parmi les pays les mieux dotés en ressources solaires au monde la figure VI-1 représente le taux journalier : annuels moyens de l'irradiation globale horizontale en Algérie

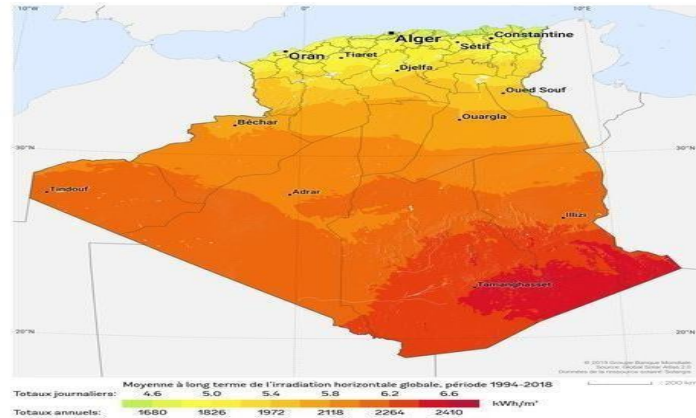


Figure IV.1 : Irradiation globale horizontale Algérie.

### IV.2.3 Rayonnement solaire

On prend l'emplacement de la station sonatrach à laghouat comme un exemple : et donc les coordonnées géographiques pour ce station sont : 33,8763° de latitude 881m d'altitude et longitude et 2.6729°, La période la plus lumineuse de l'année dure 4,5 mois, du mai au septembre.

### IV.2.4 L'orientation et l'inclinaison des panneaux

Quand on a le choix, l'orientation idéale d'un capteur solaire obéit à une règle très simple à retenir : vers l'Equateur, ce qui donne

- Orientation vers le Sud dans l'hémisphère nord.
- Orientation vers le Nord dans l'hémisphère sud.

Comme nous sommes en Algérie qui se situe dans l'hémisphère nord et donc l'orientation des panneaux photovoltaïques est en plein sud L'angle d'inclinaison des panneaux solaire à laghouat est de 33°

### IV.2.5 Puissance maximal atteinte

$PTOT(W) = \sum Puissance.$

### IV.2.6 Détermination du nombre d'onduleur et sa puissance

#### Correspondante

Ça dépend de la fiche technique mais généralement le rendement d'un onduleur solaire est de  $85\% < \eta_{ond} < 99\%$

Donc on calcule avec 90%

$P_{TOT} * 1,25 / 0.95 = (W)$  1,25 : facteur de correction et de sécurité

Et donc la puissance de l'onduleur doit être supérieure à la puissance maximale selon la station

### IV.2.7 Détermination du nombre des panneaux

Les panneaux doivent assurer la consommation d'une journée complète Puissance pour couvrir la consommation  $(W) = EC \times 1,25$

Ir

Ir : duré d'ensoleillement (h)

1,25 : facteur de correction et de sécurité

D'après la fiche technique du panneau solaire on doit calculer la puissance de panneau dans les conditions météorologiques

Les pertes de la puissances (POWER LOSSES) C'est un paramètre qui montre la performance du panneau photovoltaïque dans les conditions météorologiques les plus proches de la réalité en termes de faible rayonnement et de température élevée.

Perte de puissance = coefficient température  $(P_{max}) \times (Température (NOCT) - 25^{\circ}C)$

### IV.2.8 La section des câbles

Pour calculer la section des câbles il faut tout d'abord savoir la distance entre les éléments du système (panneau et boîte jonction, boîte jonction et armoire DC, entre armoire DC et AC...). Après on applique la loi suivante :

$$S = \frac{2 \times L \times I \times \rho}{\varepsilon \times V} \quad (mm^2)$$

$\rho$  : 0,0185

L : la longueur

I : courant sortie de champ

$\varepsilon$  : 0,02

I :

V : Tension de champ PV

### IV.2.9 La mise à la terre

Le conducteur de terre qui assure la liaison entre la prise de terre et la barrette de mesure est de 16 mm<sup>2</sup> et la longueur de ce câble varie avec la distance entre les éléments du système

La mise à la terre de l'installation photovoltaïque ainsi que la protection contre les surintensités et éventuellement contre la foudre sont d'une importance capitale pour éviter tout défaut électrique qui pourrait entraîner des points chauds ou des arcs électriques

### IV.2.10 Les éléments de protection électrique

Fusible, sectionneur DC, le parafoudre DC, le disjoncteur, le parafoudre AC

### IV.2.11 La visite de l'endroit du champ est obligatoire pour

- Avoir une idée sur l'espace et assuré qu'il y a aucun obstacle (arbre, mur le haut bâtiment...)
- Faire les calculs de la surface là où le champ photovoltaïque doit être installé.
- Définir l'orientation et l'inclinaison ainsi que le système de pose des modules photovoltaïques ( sol ou sur une toiture).

### IV.2.12 La structure

La structure est en aluminium ou en alliage d'aluminium Les boulons et écrous sont en acier inoxydable et qui résiste à toutes les conditions météorologiques La base est en béton Assuré la qualité des supports de montage des module PV



Figure IV.2 : La structure est en aluminium ou en alliage d'aluminium.

## IV.3 Traitement d'un exemple

### IV.3.1 Problématique

On veut alimenter une station pompage qui se situe à Laghouat avec des panneaux solaires photovoltaïques afin de couvrir tous les besoins énergétiques seulement avec l'énergie solaire, D'après le chapitre 3 la consommation de cette station est de puissance maximale atteinte égale à 160kw donc on va utiliser 60kw pour nos donnée (pour couvrir la moite de consommation)

### IV.3.2 Le dimensionnement

On a fait le choix d'un système photovoltaïques connecté au réseau et donc le dimensionnement suivant ses étapes :

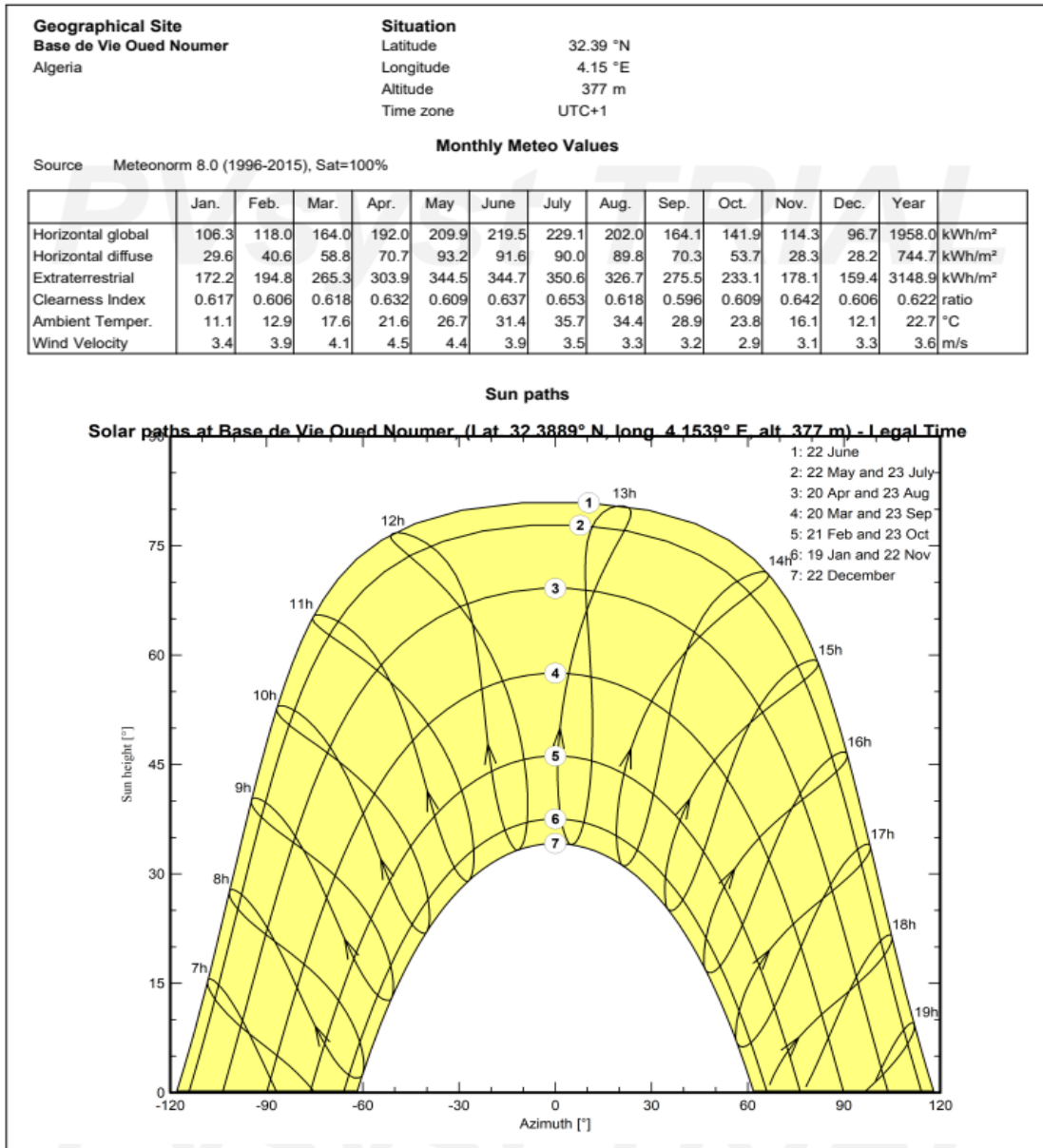
Laghouat se situe à  $33,8763^\circ$  de latitude, donc l'angle d'inclinaison des panneaux solaire est de :  $33^\circ$

L'orientation est : en plein sud

### IV.3.3 Les conditions météorologiques à Laghouat

La saison très chaude dure 3,0 mois, du 11 juin au 9 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à  $34^\circ\text{C}$ . Le mois le plus chaud de l'année à Laghouat est juillet, avec une température moyenne maximale de  $38^\circ\text{C}$  et minimale de  $24^\circ\text{C}$ . La saison fraîche dure 3,8 mois, du 15 novembre au 8 mars, avec une température quotidienne moyenne

maximale inférieure à 19 °C. Le mois le plus froid de l'année à Laghouat est janvier, avec une température moyenne minimale de 3 °C et maximale de 14 °C.



**Figure IV.3 : La température moyenne quotidienne maximale à Laghouat.**

La température moyenne quotidienne maximale (ligne rouge) et minimale (ligne bleue), avec bandes du 25e au 75e percentile et du 10e au 90e percentile. Les fines lignes pointillées sont les températures moyennes perçues correspondantes.

### IV.3.4 Choix d'onduleur et des panneaux

De la fiche technique de l'onduleur dans l'Annexe B : Le rendement de l'onduleur est de

$$98\% < \eta_{ond}$$

Donc on calcule avec 99%

$$P(kw) = p_{max} \times 1.25$$

Avec 1.25 comme facteur de correction et de sécurité

$$P(kw) = 60 \times 1.25 = 75 \text{ kw}$$

0.99

On choisit un onduleur sa puissance de sortie (AC) est supérieure à 75kw qui est l'onduleur de 66.6 kw (De la fiche technique de l'onduleur)

General parameters			
<b>Grid-Connected System</b>		<b>No 3D scene defined, no shadings</b>	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Sheds configuration</b>	
<b>Orientation</b>		<b>Models used</b>	
Fixed plane		Transposition	Perez
Tilt/Azimuth	30 / 0 °	Diffuse	Perez, Meteonorm
		Circumsolar	separate
<b>Horizon</b>		<b>User's needs</b>	
Free Horizon		Unlimited load (grid)	
	<b>Near Shadings</b>		
	No Shadings		

PV Array Characteristics			
<b>PV module</b>		<b>Inverter</b>	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	JLS-60MDG-320	Model	SE33.3K-EU-APAC (480V)
(Original PVsyst database)		(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	320 Wp	Unit Nom. Power	33.3 kWac
Number of PV modules	235 units	Number of inverters	2 units
Nominal (STC)	75.2 kWp	Total power	66.6 kWac
Optimizer Array	5 Strings x 47 In series	Operating voltage	840 V
<b>At operating cond. (50°C)</b>		Pnom ratio (DC:AC)	1.10
Pmpp	68.9 kWp		
Output of optimizers			
Voper	840 V		
I at Poper	82 A		
<b>SolarEdge Power Optimizer</b>			
Model	P320 EU-APAC/AUS		
Unit Nom. Power	320 W		
Modules	1 String x 1 in series		
<b>Physical inverters</b>			
<b>SE33.3K-EU-APAC (480V)</b>			
units 3 strings			
3 strings of 47 optimizers P320 EU-APAC/AUS			
<b>SE33.3K-EU-APAC (480V)</b>			
units 2 strings			
2 strings of 47 optimizers P320 EU-APAC/AUS			
<b>Total PV power</b>		<b>Total inverter power</b>	
Nominal (STC)	75 kWp	Total power	66.6 kWac
Total	235 modules	Number of inverters	2 units
Module area	396 m <sup>2</sup>	Pnom ratio	1.13
Cell area	347 m <sup>2</sup>		

Array losses			
<b>Thermal Loss factor</b>		<b>DC wiring losses</b>	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	
Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K		139 mΩ
Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s	Loss Fraction	1.5 % at STC
<b>Module mismatch losses</b>		<b>Module Quality Loss</b>	
Loss Fraction (Fixed voltage) 0.0 %		Loss Fraction -0.8 %	

Figure IV.4 : Fiche technique de l'onduleur et de panneaux.

### IV.3.5 Simulation dans le PV Sys

The screenshot displays the 'Grid system definition, Variant VCO: "New simulation variant"' window. It is divided into several functional areas:

- Sub-array configuration:**
  - Sub-array name and Orientation:** Name 'PV Array', Tilt 30°, Azimuth 0°.
  - Select the PV module:** Filter 'All PV modules', Approx. needed modules 250. Selected module: SolarEdge P320 EU-APAC/AUS, 320 W, Since 2018.
  - Select the inverter:** Output voltage 480 V Tri 50Hz. Selected inverter: SolarEdge 33.3 kW Fixed 840 V TL 50/60 Hz SE33.3K-EU-APAC (480V), Since 2015.
  - Array Design for SolarEdge architecture:** Optimizer input: 47 optimizers in series (16 to 47). Inverter input: Max. power 313 W / optimizer. Reference for sizing: Plane irradiance 1000 W/m², Max. operating power 68.9 kW, Array nom. Power (STC) 75.2 kWp.
- List of subarrays:**

Name	#Mod #Inv.	#String #MPPT
PV Array		
Jul New Energy - JLS-60MDG-...	47	5
SolarEdge - SE33.3K-EU-APAC ...	2	1
- Global system summary:**

Nb. of modules	235
Module area	396 m²
Nb. of inverters	2
Nominal PV Power	75.2 kWp
Maximum PV Power	74.3 kWDC
Nominal AC Power	66.6 kWAC
Pnom ratio	1.129
- Field parameters:**
  - Plane tilt: 30.0°
  - Azimuth: 0.0°
- Quick optimization:**
  - Optimization with respect to:  Yearly irradiation yield,  Summer (Apr-Sep),  Winter (Oct-Mar).
  - Yearly meteo yield:** Transposition Factor FT: 1.15, Loss with respect to optimum: -0.1%, Global on collector plane: 2247 kWh/m².
  - Graphs:** Two graphs showing irradiation yield vs. Plane tilt (0-90°) and Plane orientation (-90-90°). The tilt graph shows a peak at 30° with FT=1.15 and Loss/opt.=-0.1%. The orientation graph shows a peak at 0°.

Figure IV.5 : Interface de PVsys 7.1 et orientations

### IV.3.6 Détermination du nombre des panneaux



Figure IV.6 : Nombres de panneaux et leurs dispositions dans le system d'après PVsyst.

### IV.3.7 Résultat de la simulation

PVsyst nous a proposé les fiches suivantes :

Project summary			
<b>Geographical Site</b>		<b>Situation</b>	
Base de Vie Oued Noumer		Latitude	32.39 °N
Algeria		Longitude	4.15 °E
		Altitude	377 m
		Time zone	UTC+1
		<b>Project settings</b>	
		Albedo	0.20
<b>Meteo data</b>			
Base de Vie Oued Noumer			
Meteonorm 8.0 (1996-2015), Sat=100% - Synthetic			
System summary			
<b>Grid-Connected System</b>		No 3D scene defined, no shadings	
<b>PV Field Orientation</b>		<b>Near Shadings</b>	
Fixed plane		No Shadings	
Tilt/Azimuth		30 / 0 °	
		<b>User's needs</b>	
		Unlimited load (grid)	
<b>System information</b>			
<b>PV Array</b>			
Nb. of modules	235 units	<b>Inverters</b>	
Pnom total	75.2 kWp	Nb. of units	2 units
		Pnom total	66.6 kWac
		Pnom ratio	1.129
Results summary			
Produced Energy	145.4 MWh/year	Specific production	1933 kWh/kWp/year
		Perf. Ratio PR	86.15 %

Figure IV.7 : Fiche technique des dispositifs comme donnée dans PVsyst.

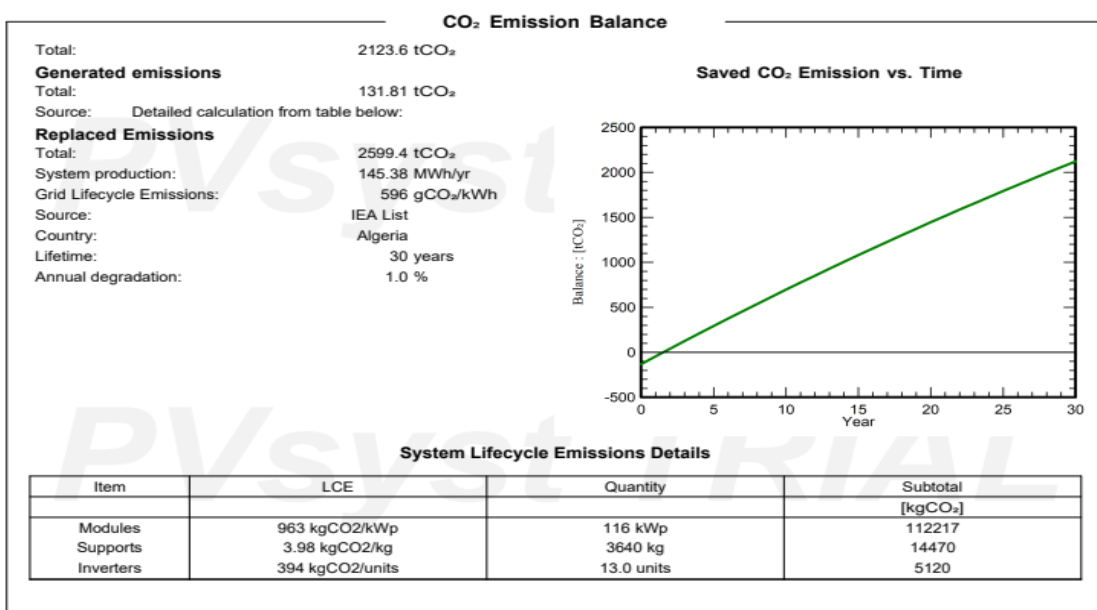
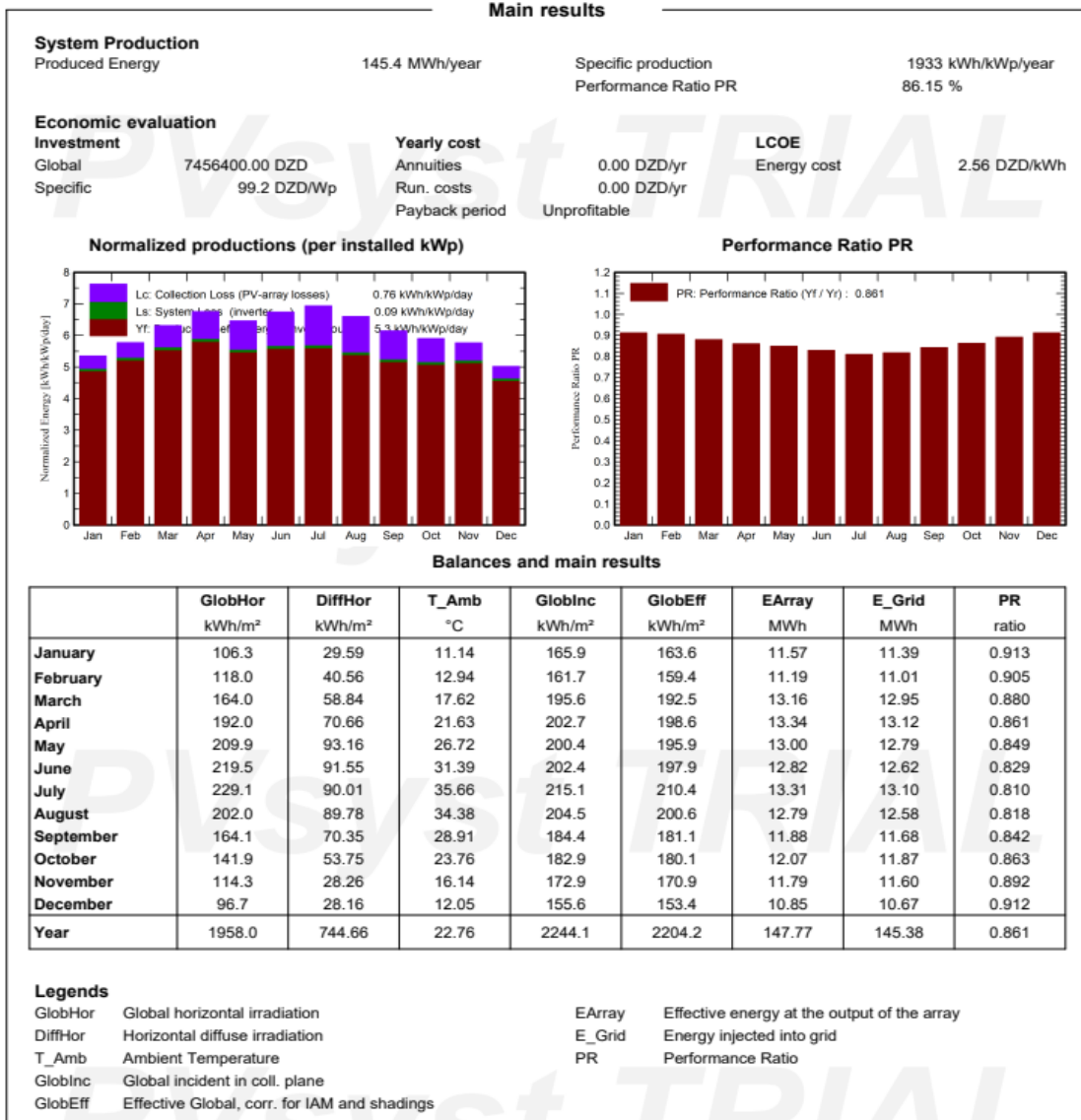


Figure IV.8 : Résultats

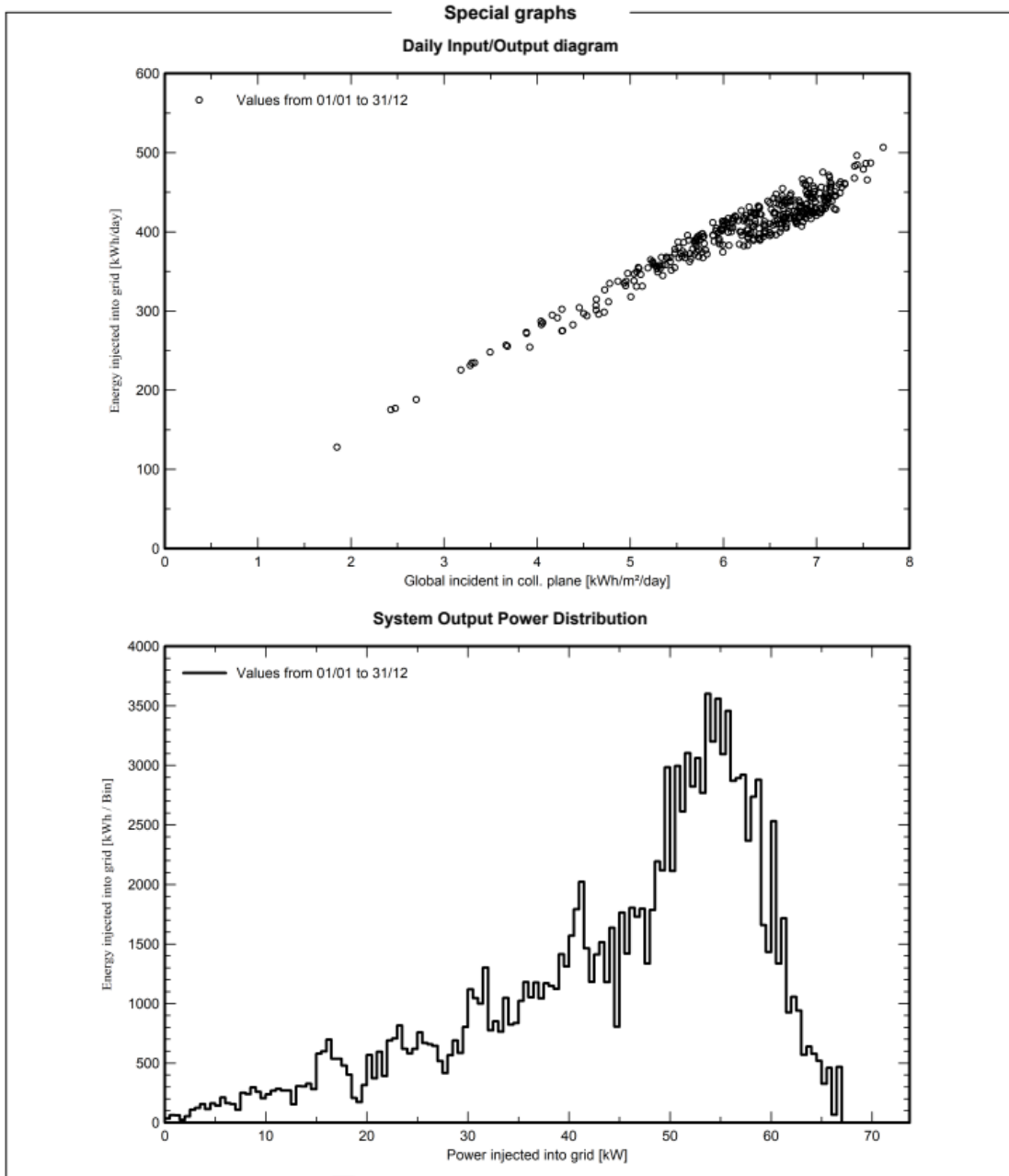


Figure IV.9 : Graphe spéciale

**Array losses**

**IAM loss factor**  
Incidence effect (IAM): Fresnel AR coating,  $n(\text{glass})=1.526$ ,  $n(\text{AR})=1.290$

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Figure IV.10 : Les pertes des panneaux

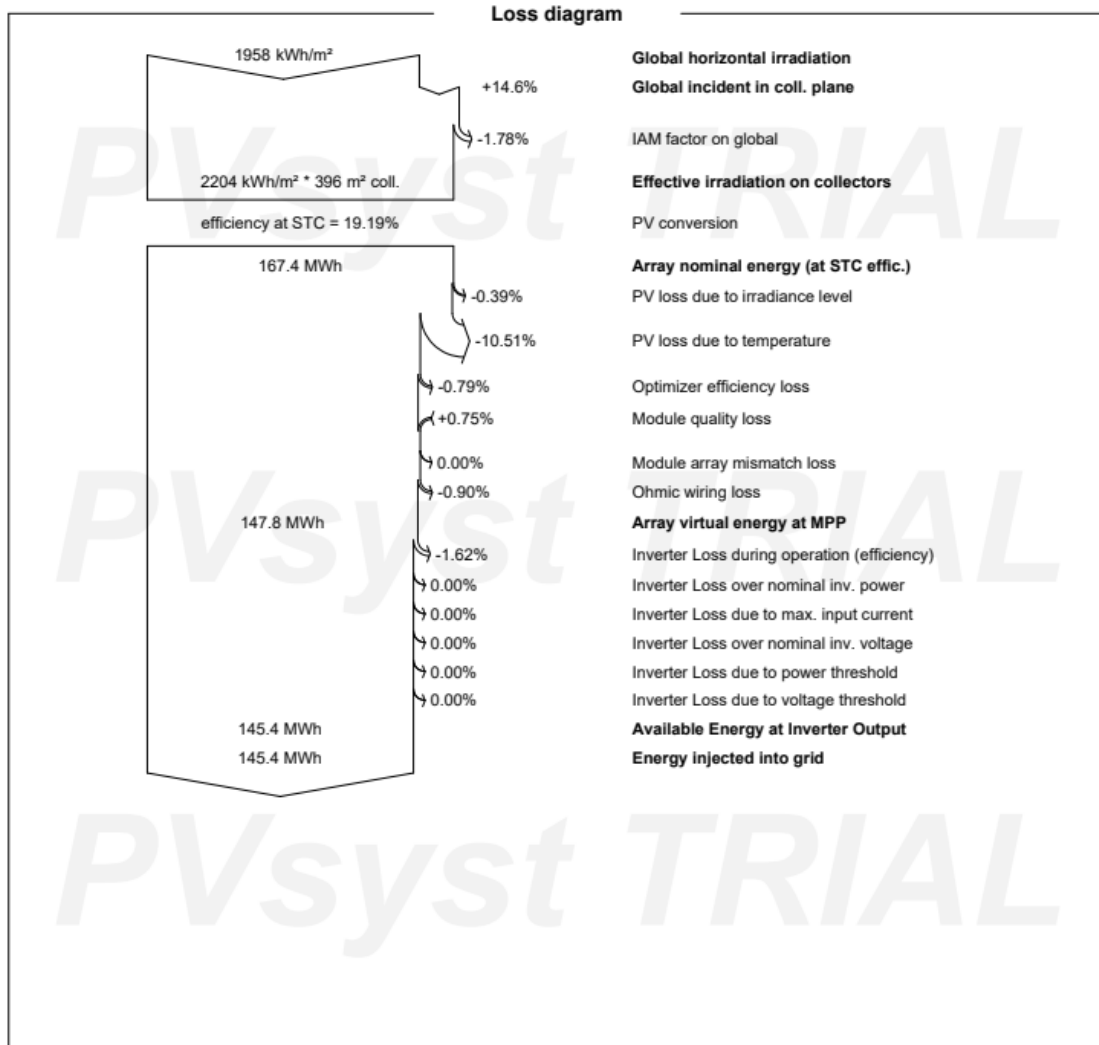


Figure IV.11 : Graphe des pertes

*Les données obtenues de la simulation de PVSys sont*

Nombre des panneaux est : 235 panneaux (47 en série et 5 en parallèle)

Surface utilisé : 421m<sup>2</sup>

#### a. La section des câbles

- Entre champ PV Boite de jonction
- Entre boite de jonction et l'armoire DC
- Entre l'armoire DC et l'onduleur
- Entre l'onduleur et l'armoire AC
- Entre l'armoire AC et compteur

#### b. Les éléments de protection électrique

- Fusible pour les branches

La tension de fonctionnement d'un fusible est  $1,15 \times V_{co} \times \text{modules}$  raccordés en série Le calibre des fusibles  $1,5 \times I_{cc} \leq \text{calibre fusible} \leq 2 \times I_{cc}$

- Sectionneur DC

Tension assignée du fusible  $\geq 1,15 \times V_{co} \times N_{ms}$  Intensité nominale  $\geq 1,5 \times I_{cc} \times N_{BP}$

- Parafoudre DC
- Parafoudre AC
- Disjoncteur différentiel AC 75kw/1500V
- Compteur

Un compteur bidirectionnel Permet de contrôler la quantité d'énergie prélevée sur le réseau et celle qui est réinjectée dans le réseau grâce au système d'énergie solaire.

**Remarque :** On n'a pas utilisés des batteries car notre installation est déjà connectée au réseau public, donc, s'il y a un mauvais fonctionnement du système photovoltaïque (éclairage ou température) notre charge consomme l'énergie de ce réseau et donc on calcule la différence pour la facture. Pour cela on a utilisé un compteur de « production » et de « consommation ».

### c. Devis quantitatif & estimatif

Tableau IV.1 : Devis quantitatif et estimatif

Cost of the system			
<b>Installation costs</b>			
Item	Quantity units	Cost DZD	Total DZD
PV modules			
JLS-60MDG-320	235	15000.00	3525000.00
Supports for modules	235	240.00	56400.00
Inverters			
SE33.3K-EU-APAC (480V)	2	1200000.00	2400000.00
Installation			
Global installation cost per module	235	5000.00	1175000.00
Global installation cost per inverter	2	150000.00	300000.00
<b>Total</b>			<b>7456400.00</b>
Depreciable asset			5981400.00
<b>Operating costs</b>			
Item			Total DZD/year
Total (OPEX)			0.00
Including inflation (2.00%)			0.00
<b>System summary</b>			
Total installation cost		7456400.00 DZD	
Operating costs (incl. inflation 2.00%/year)		0.00 DZD/year	
Produced Energy		145 MWh/year	
Cost of produced energy (LCOE)		2.564 DZD/kWh	

### IV.3.8 La durée du projet

Pour finaliser le projet de cette installation photovoltaïque connecté au réseau il nous faut 45 jours au minimum, 35 jours pour l'installation et le reste des jours pour compléter la paprace des papiers et assurer l'achat et la livraison du matériel et produits nécessaire.

### IV.3.9 La remise du projet

Les étapes de préparation du système pour la remise du projet :

- Terminez toutes les étapes d'installation.
- Effectuez une inspection visuelle de tous les composants du système.
- Effectuer des contrôles électriques pour s'assurer que toutes les pièces fonctionnent correctement

Du fait de sa conception, y compris les contrôles de tension, diélectrique et continuité.

- Vérifiez le fonctionnement de l'onduleur, son arrêt et le temps de réponse.
- S'assurer que les plans exécutifs sont préparés et conformes à la réalité.

## IV.4 La rentabilité

### IV.4.1 Temps de retour simple

La méthode du temps de retour simple consiste à diviser le coût de l'investissement (équipement et installation) par le coût de l'énergie que l'installation permet d'économiser en 1 an Le cout d'équipement et installation 7456400.00 Da, le coût de l'énergie que l'installation permet d'économiser en 1an 1,464,468.7 Da, le résultat du calcul est de 6 ans , cela signifie que nous aurons récupéré le cout d'un investissement au bout de huit ans et que tout ce que vous économiserez ultérieurement, ce sera du bénéfice net.

Cette économie est d'autant plus importante que le temps de retour est court. Pour aller plus loin dans le calcul Pour faire un calcul affiné du temps de retour simple, différents éléments complémentaires peuvent être intégrés, dans le prix d'investissement :

- Le taux d'actualisation et le taux d'inflation.
- Les frais de fonctionnement : entretien, petites consommations auxiliaires, ...

#### IV.4.2 La méthode de la comparaison du coût de l'énergie

Cette approche compare le prix de l'énergie produite par une installation utilisant une source d'énergie renouvelable avec celui d'une source d'énergie classique (gaz, mazout ou électricité).

Le coût unitaire de la production (en DA par kWh) se calcule en divisant le coût d'investissement (achat + installation) par la quantité totale d'énergie qui sera fournie par le système tout au long de sa durée de vie.

Si un équipement « énergie renouvelable » a une durée de vie de 50 ans, cette méthode considère que vous payez d'avance 50 ans d'énergie en installant cet équipement dans votre logement et compare ce coût à celui de 50 ans de consommation d'énergie via un équipement « classique ».

**Tableau IV.2 : Méthode : Comparaison du coût.**

Quantité d'énergie économisée	
Consommation annuelle	1,668 Kw
Durée de vie	50 ans
Consommation total	83,400 Kw
Prix de l'énergie	180.58 DA/Kw
Le coût d'investissement	15,060,372.00 DA

Quantité d'énergie consommée : Au cours de ces 50 années de fonctionnement, la station consomma 1668 kWh par an, soit 83,400 kWh.

**Coût de cette énergie :** Le prix unitaire de l'énergie renouvelable est calculé en divisant le prix d'investissement net de l'équipement par la quantité totale d'énergie produite sur 50 ans:  $15,060,372.00 \text{ DA} / 83,400 \text{ Kw} = 180.58 \text{ DA/KW}$

Ce prix est à comparer avec **la source** d'énergie classique (180.58DA/Kw).

D'après la comparaison on peut voir que cet investissement est n'est pas efficace pendant la durée de vie proposée.

## IV.5 Conclusion

L'importance du dimensionnement des systèmes photovoltaïques est pratiquement évidente pour s'adapter aux conditions météorologiques spécifiques de chaque zone afin d'éviter le gaspillage des ressources économiques du pays dans des systèmes surdimensionnés.

Dans ce chapitre nous avons présenté La méthode de dimensionnement pour un système photovoltaïque connecté au réseau ainsi que toutes les étapes à faire pour le réussir, ensuite, après avoir définies les besoin et caractéristique de la station, ce qui nous permettra de faire des calculs avec des fiches techniques du panneau et onduleur on grid, nous avons trouvé des résultats bien définis pour avoir terminé et réaliser le projet de cette station de Sonatrach. En dernier lieu nous avons décrit Les étapes de préparation du système pour la remise du projet. Concernant la rentabilité on a utilisé deux méthodes :

Temps de retour simple : nous aurons récupéré le cout d'un investissement au bout de huit ans et que tout ce que vous économiserez ultérieurement, ce sera du bénéfice net.

La comparaison du cout de l'énergie : D'après la comparaison du prix on peut voir que cet investissement est efficace et économique pendant la durée de vie proposée.

Enfin, nous concluons que cette entreprise peut investir dans ce projet, pour lui permettre d'éviter de payer des factures d'électricité à la compagnie d'électricité

## Conclusion générale

Au terme de ce travail, il apparaît clairement que la transition énergétique ne constitue plus une option mais une nécessité impérieuse, dictée à la fois par les limites des ressources fossiles, les engagements internationaux en matière de climat, et les exigences économiques en matière de compétitivité. L'étude menée sur la base de vie de SONATRACH Oued Noumer a permis d'illustrer de manière concrète les marges de manœuvre existantes en matière d'optimisation énergétique, notamment par le recours à l'énergie solaire photovoltaïque.

L'analyse des consommations énergétiques, couplée à une simulation détaillée via PVsyst, a permis de mettre en lumière les apports potentiels d'un système photovoltaïque bien dimensionné : réduction significative des charges électriques, stabilisation de l'approvisionnement, limitation des pertes, et diminution des impacts environnementaux. Ces résultats confirment l'intérêt technico-économique des systèmes solaires dans le contexte algérien, particulièrement dans les zones isolées ou à forte consommation énergétique.

D'un point de vue méthodologique, ce mémoire a démontré la pertinence d'une approche intégrée combinant audit énergétique, analyse de la qualité de l'énergie, et modélisation numérique. Cette démarche systémique, rigoureuse et ancrée dans les réalités du terrain, constitue un cadre de référence pour toute initiative visant à moderniser les infrastructures énergétiques nationales.

Enfin, cette recherche ouvre des perspectives prometteuses : elle plaide pour un renforcement des politiques publiques en faveur des énergies renouvelables, une sensibilisation accrue des opérateurs industriels, et un investissement soutenu dans les outils de gestion intelligente de l'énergie. Ainsi, en s'appuyant sur les atouts naturels du pays et sur les avancées technologiques disponibles, l'Algérie peut espérer amorcer une transition énergétique durable, souveraine et économiquement viable.

## Bibliographie

- [01] Agence Internationale de l'Énergie (AIE). World Energy Outlook 2023. Paris : IEA Publications, 2023.  
Rapport de référence sur les politiques mondiales d'énergie et la transition énergétique.
- [02] Benattou Ziane. Discours au Forum de la Transition Énergétique, Ministère de la Transition Énergétique et des Énergies Renouvelables, Alger, 2023.  
Source gouvernementale sur la stratégie algérienne de développement des énergies renouvelables.
- [03] Yassaa, Nordine. Stratégie nationale de l'efficacité énergétique en Algérie. Commissariat aux Énergies Renouvelables et à l'Efficacité Énergétique (CEREFÉ), 2022.
- [04] Kouidri, M. Ali. Cours de Conversion et Production de l'Énergie, Département d'Électrotechnique, Université Ammar Thelidji Laghouat, 2024.  
Cours magistraux utilisés comme base théorique.
- [05] Said, R., & Lounis, S. (2019). Les Énergies Renouvelables en Algérie : Réalités et Perspectives. Revue des Énergies Renouvelables, Vol. 22, N°2, pp. 205–218.
- [06] Bretagne, J.-F. Qualité de l'Énergie Électrique : Harmoniques, Flicker, Chutes de Tension. Paris : Dunod, 2018.
- [07] Farret, F. A., & Simões, M. G. (2016). Integration of Renewable Sources of Energy. John Wiley & Sons.
- [08] Chowdhury, S., Crossley, P., & Chowdhury, S. P. (2009). Microgrids and Active Distribution Networks. The Institution of Engineering and Technology (IET).
- [09] Charlier, C. (2022). Economie de l'Énergie et Transition Énergétique. Presses Universitaires de Grenoble.
- [10] Association Française de Normalisation (AFNOR). NF EN 50160 - Caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution, 2010.  
Norme utilisée pour évaluer la qualité de l'énergie électrique.
- [11] PVsyst SA. PVsyst 7.1 - Logiciel de simulation pour systèmes photovoltaïques, Manuel technique et guide utilisateur, 2023.  
Outil utilisé pour la simulation de performance des systèmes PV.
- [12] Durand, G. (2017). Energies renouvelables : ressources, technologies et enjeux. Ellipses Édition.
- [13] GICET - Groupe Interdisciplinaire de la Consommation Énergétique et des Technologies, Etude du rendement énergétique des centrales hybrides en climat saharien, Rapport technique interne, 2020.
- [14] ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie). Panorama des Énergies Renouvelables, Rapport annuel, France, 2022.
- [15] Organisation des Nations Unies (ONU). Accord de Paris sur le climat, Conférence COP21, Paris, 2015.

