

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
CENTRE UNIVERSITAIRE SALHI AHMED – NAAMA



INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES
DÉPARTEMENT DE TECHNOLOGIE

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de **Master** en :

Énergies Renouvelables

Option : **Énergies Renouvelables en Électrotechnique**

Intitulé :

COMMANDE MPPT DANS UNE CHAÎNE PHOTOVOLTAÏQUE PAR INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Présenté par :

- Kennouda Nasreddine
- Kebir Habib alah
- Zellat Youssef

Soutenu le : ... 15/06/2023..... Devant le Jury :

M. TOUMI KHALED

MCB Centre Universitaire Naâma

Président

M. TAIBI IBRAHIM

MCA Centre Universitaire Naâma

Encadreur

Mme. AMARA ZEYNEB

MCB Centre Universitaire Naâma

Examineur

Naama – Algérie - 2023

REMERCIEMENT

Tout d'abord, nous remercions, ALLAH Tout-Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a accordées pendant toutes ces années d'école.

Nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents pour leurs encouragements.

Nous remercions sincèrement notre superviseur: le Dr. TAIBI IBRAHIM pour son aide, ses encouragements et sa patience pour ses précieux conseils pendant la période de réalisation de ce travail. Nous n'oublions pas tous les enseignants de département de Technologie qui ont contribué à notre étude.

Nous tenons à exprimer notre gratitude à tous les membres du jury pour leur gentillesse

Nous jugeons notre travail.

Nous tenons également à remercier tous nos proches et toutes les personnes qui nous ont aidés lors de notre voyage d'étude.

Dédicace

Je veux dédier ce mémoire à:

.Mes chers parents, qui ont tout mis en œuvre pour m'éduquer, leurs sacrifices illimités et leur confort moral pour atteindre cet objectif. Je demande à Dieu de leur accorder une bonne santé, une tranquillité d'esprit et une longue vie.

.A tous mes amis et ses collègues et à tous ceux que J'aime.

.A Mes frères et sœurs. Pour leurs appuis et leur encouragement

Kennouda nasreddine...

Dédicace

Je veux dédier ce mémoire à:

.Mes chers parents, qui ont tout mis en œuvre pour m'éduquer, leurs sacrifices illimités et leur confort moral pour atteindre cet objectif. Je demande à Dieu de leur accorder une bonne santé, une tranquillité d'esprit et une longue vie.

.A tous mes amis et ses collègues et à tous ceux que J'aime.

.A Mes frères et sœurs. Pour leurs appuis et leur encouragement

Kebir habibalah...

Dédicace

Je veux dédier ce mémoire à:

.Mes chers parents, qui ont tout mis en œuvre pour m'éduquer, leurs sacrifices illimités et leur confort moral pour atteindre cet objectif. Je demande à Dieu de leur accorder une bonne santé, une tranquillité d'esprit et une longue vie.

.A tous mes amis et ses collègues et à tous ceux que J'aime.

.A Mes frères et sœurs. Pour leurs appuis et leur encouragement

.

Zellat yousseff...

Table des matières

Remerciement II

Dédicace III

Table des matières VI

Liste des figures X

Liste des tableaux XIII

Liste des abréviations..... XIV

Introduction générale 1

Chapitre I : Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1 Introduction.....05

I.2.Energie Renouvelable en Algérie.....05

I.3.Energie solaire Photovoltaïque07

I.3.1.Définition.....07

I.4.Le rayonnement solaire.....07

I.4.1.Les type de rayonnement solaire.....07

I.4.1.1.Rayonnement direct.....07

I.4.1.2.Rayonnement diffus.....	08
I.4.1.3.Rayonnement global.....	08
I.4.2.Le spectre solaire de rayonnement solaire.....	08
I.4.3.Mesure de rayonnement solaire.....	10
I.5.Module photovoltaïque.....	10
I.5.1.les différent panneaux solaire.....	12
I.5.1.1.le panneau solaire photovoltaïque.....	12
I.5.1.2. Panneau solaire thermique.....	12
I.5.1.3. Panneau solaire thermodynamique	12
I.6.la cellule photovoltaïque.....	12
I.6.1.le principe de fonctionnement de la cellule PV (effet photovoltaïque).....	13
I.6.2.les technologies de cellule PV.....	14
I.6.3.Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque.....	16
I.6.3.1. Caractéristique courant – tension (I-V)	16
I.6.3.2. Caractéristique puissance – tension (I-V)	16
I.6.4.Influence de la température et l'ensoleillement	17
a) Influence de la température.....	17

b) Influence de l'ensoleillement.....17

I.6.5. Association des cellules photovoltaïques.....17

I.6.5.1.Association en série,.....17

I.6.5.2.Association en parallèle.....18

I.6.5.3.Association en série-parallèle (hybride).....19

I.7.Le système photovoltaïque.....20

I.7.1. Différents types de système photovoltaïque.....21

I.7.1.1. Système PV autonome.....21

I.7.1.2. Système PV connecté au réseau22

I.7.1.3. Système PV hybride.....23

I.8. Protection de Système PV.....24

I.9.les avantage et inconvénient d'un système PV25

I.10.conclusion.....26

Chapitre II: Modélisation du système PV

II.1.Introduction28

II.2. Modélisation du générateur photovoltaïque.....29

II.2.1.Générateur photovoltaïque idéal.....29

II.2.2.Générateur photovoltaïque a une diode (Réal).....31

II .3.Electronique de puissance et la conversion électrique.....34

II.4. Convertisseur DC/DC (hacheur).....34

II.5.Convertisseur Boost36

II.5.1.Le Principe de fonctionnement d’un convertisseur Boost.....37

II.5.2. Modèle mathématique du convertisseur Boost.....38

II.6. la commande MPPT.....40

II.7. Classification des commandes MPPT selon le type de recherches42

II.7.1. MPPT indirect.....42

II.7.2. MPPT direct.....42

II.8.La Méthode perturbation et observation (P&O).....43

II.9. Conclusion45

Chapitre III : Les réseaux de neurones artificiels

III.1.Introduction.....47

III.2.Le neurone biologique.....47

III.3.Constitution du neurone biologique48

III.4.Structure de neurone biologique49

III.5.Le neurone artificiel (formel).....	49
III.5.1. La structure et Les éléments constitutifs d'un neurone artificiel	50
III.6.Fonctionnement d'un réseau de neurones artificiel	54
III.7. Architecture des Réseaux de neurones.....	55
III.7.a .Les réseaux Feed-forward	55
III.7.a.1 Le perceptron monocouche	55
III.7.a.2.Le perceptron multicouche (PMC)	56
III.7.a.3.Le réseau à fonctions radiales (RBF).....	57
III.7.b .Les réseaux Feed-back.....	58
III.7.b.1. Cartes auto-organisatrices de Kohonen	58
III.7.b.2.Réseaux de Hopfield.....	58
III.7.b.3.Réseaux ART (Adaptative Resonance Theory)	59
III.7.C .Réseau à connexion complète	60
III.8.Correspondance et applications de réseaux RNA	61
III.9. Le choix de l'architecture des RNA.....	61
III.10. Apprentissage des réseaux de neurones	62
III.10.1. Apprentissage supervisé	62

III.10.2. Apprentissage non- supervisé63

III.10.3. Apprentissage par renforcement63

III.11. Les règle d'apprentissages64

III.11.1.La règle d'apprentissage de Hebb64

III.11.2.Loi de Hopfield65

III.11.3.Loi Delta rule (Regle de Widrow – Hoff)65

III.12.Domaines d'application et mise en œuvre de RNA65

III.13. Avantages et inconvénients des RNA66

III.14.Conclusion66

Chapitre IV: Simulation, Résultat et Discussion du système PV

IV.1 Introduction.....68

IV.2 Simulation du système photovoltaïque.....68

IV.2 .1 Simulation d'un GPV.....69

IV.2.1.1. Résultat du générateur (GPV) à éclairement et température Constante.....70

IV.2.1.2.Résultat du générateur (GPV) à éclairement et température variable.....72

a) Influence de la température.....72

b) Influence de l'éclairement.....73

IV.3. Simulation du convertisseur BOOST.....	75
IV.4. Simulation de la commande MPPT (P&O)	76
IV.4.1. Résultats de cette simulation	77
IV.5.Simulation de la commande MPPT à base de réseau de neurone.....	80
IV.5.1. les étapes pour obtenir le bloc de RN sur MATLAB.....	80
IV.5.2. Résultats dul’algorithme (P&O) et (RNA) avec les conditions standards.....	85
IV.5.3. résultats du l’algorithme (P&O) et (RNA) avec les conditions variable	88
IV.5.3.1.Variation de température (30/40/50°C) et irradiation fixe (1000 W/m ²).....	88
IV.5.3.2.Variation d’irradiation (600/700/800W/m ²) et température fixe 25 °C.....	90
IV.5.Conclusion.....	93
Conclusion Générale.....	94
Références Bibliographie.....	96
Annexe.....	102
Résumé.....	103

Liste des figures

Chapiter I

Figure I.1 : le développement des EnR en Algérie à fin 2021

Figure I.2 : Composantes du rayonnement global sur un plan horizontal

Figure I.3 : Analyse spectrale du rayonnement solaire

Figure I.4 : Module Photovoltaïque

Figure.I.5: Composition d'un module PV

Figure.I.6: Structure basique d'une cellule photovoltaïque

Figure I.7 : schéma de principe d'une cellule PV

Figure I.8. : Principe de fonctionnement photovoltaïque

Figure I.9 : Caractéristique électrique I-V d'une cellule PV

Figure I.10 : Caractéristique électrique P-V d'une cellule PV

Figure I.11.Résultats de simulation des caractéristiques (P-V) du module PV pour différents température et un éclairement fixe $G = 1000 \text{ W/m}^2$

Figure I.12.Résultats de simulation des caractéristiques (I-V) du module PV pour différents température et un éclairement fixe $G = 1000 \text{ W/m}^2$

Figure I.13.Résultats de simulation des caractéristiques (P-V) du module PV pour différents éclairement et une température fixe $T = 25^\circ\text{C}$

Figure I.14.Résultats de simulation des caractéristiques (I-V) du module PV pour différents éclairement et une température fixe $T = 25^{\circ}\text{C}$

Figure I.15: Caractéristiques résultantes d'un groupement de ns cellules en série

Figure.I.16: caractéristique résultante d'un groupement en parallèle np cellules

Figure.I.17: caractéristique résultante d'un groupement hybride de cellules

Figure I.18 : Architecture d'un panneau photovoltaïque avec diodes de protection, et activation du la diode by-pass lors de la défaillance d'une cellule

Chapitre II

Figure. II.1 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.

Figure (II.2): Schéma électrique idéal d'un module photovoltaïque.

Figure (II.3) : Schéma photovoltaïque d'un module à une diode.

Figure (II.4): une représentation d'un convertisseur DC/DC.

Figure(II.5) : Schéma électrique d'un convertisseur Boost.

Figure II.6 : Schémas équivalents du hacheur survolteur, (A) : K fermé, (B) : K ouvert..

Figure II.7: Caractéristique de la tension et du courant du hacheur Boost.

Figure. II.8: Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.

Figure II.9 : Principe de la commande MPPT.

Figure II.10 : Recherche du PPM par la méthode (P&O).

Figure II.11 : L'algorithme de P&O classique.

Chapitre III

Figure III.1: Le Neurone biologique.

Figure III.2 : Schéma simplifié d'un neurone biologique.

Figure III.3 : Réseau de neurone simplifié.

Figure III.4 : mise en correspondance neurone biologique/ neurone artificiel.

Figure III.5: Structure du neurone artificiel.

Figure.III.6 : Perceptron monocouche.

Figure III.7: Perceptron multicouche.

Figure.III.8:Architecture d'un réseau de Kohonen.

Figure.III.9:Architecture d'un Réseau de Hopfield.

Figure III.10: Réseau ART.1.

Figure.III.11:Réseau à connexion complète. .

Figure III.12 : Apprentissage supervisé.

Figure III.13 : Illustration de l'apprentissage non supervisé.

Figure III.14: Principe de l'apprentissage par renforcement.

Chapitre IV

Figure IV.1 Schéma bloc sous Simulink du système global.

Figure IV.2 Modèle de simulation du GPV.

Figure IV.3 : Caractéristique PV courant / tension.

Figure IV.4 : Caractéristique PV puissance / tension.

Figure IV.5 : Caractéristiques courant-tension pour différents températures.

Figure IV.6 : Caractéristiques puissance-tension pour différents températures.

Figure IV.7 : Caractéristiques courant-tension pour différents éclairement.

Figure IV.8 : Caractéristiques puissance -tension pour différents éclairement.

Figure IV.9 : Modèle de simulation du convertisseur BOOST.

Figure IV.10 : Schéma de block de la commande MPPT (P&O).

Figure IV.11 : la Puissance de sortie et d'entrée du GPV.

Figure IV.12 : la tension de sortie et d'entrée du GPV.

Figure IV.13 : le Courant de sortie et d'entrée du GPV.

Figure IV.14 : rapport de cyclique D.

Figure IV.15 : Modèle de simulation du GPV adapte par la technique MPPT(RNA).

Figure IV.16 : Étape (1) pour obtenir le bloc de réseau neuronal

Figure IV.17 : Étape (2) pour obtenir le bloc de réseau neuronal.

Figure IV.18 : Étape (3) pour obtenir le bloc de réseau neuronal.

Figure IV.19 : Étape (4) pour obtenir le bloc de réseau neuronal.

Figure IV.20: Étape (4) Formation sur les réseaux de neurones.

Figure IV.21 : Étape (4) Formation sur les réseaux de neurones.

Figure IV.22 : schéma Bloc du réseau de neurone artificiel dans SIMULINK.

Figure IV.23 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de 25 neurones.

Figure IV.24 : Variation de Tension de sortie pour (P&O) et (R NA) dans le cas de 25 neurones.

Figure IV.25 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de 50 neurones.

Figure IV.26 : Variation de Tension de sortie pour (P&O) et (R NA) dans le cas de 50 neurones.

Figure IV.27 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de 75 neurones.

Figure IV.28 : Variation de Tension de sortie pour (P&O) et (R NA) dans le cas de 75 neurones.

Figure IV.29 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (30°C).

Figure IV.30 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (40°C).

Figure IV.31 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (50°C).

Figure IV.32 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (600W/m²).

Figure IV.33 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (700 W/m^2).

Figure IV.34 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (800 W/m^2).

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1: Valeurs énergétiques des photos issues spectre solaire.

Tableau.I.2: Tableau Comparatif des différentes technologies d'une cellule PV.

Chapitre II

Tableau II.1 : résume le principe de fonctionnement de la méthode perturbation et observation.

Chapitre III

Tableau III.1 : les fonctions d'activations.

Table III.2: Analogie entre le Neurone Biologique et le Neurone Artificiel.

Tableau III.3 : la correspondance entre les types de RNAs.

Chapitre IV

Tableau IV.1 Paramètres panneau photovoltaïque.

Tableau IV.2 : Paramètres du convertisseur DC-DC boost.

Liste des symboles

α : Rapport cyclique.

K : le rapport de transformation

I_0 : Est le courant de saturation inverse de la diode. [A]

Vd : La tension aux bornes de la diode. [V]

I_{ph}: Courant photonique de la diode.[A]

N/A : Le facteur d'idéalité de la diode.

T : La température de celle en KELVEIN

RS : Résistance série [Ω]

RSH : Résistance parallèle

Id : Courant de diode

IRSH : Courant de résistance parallèle

IRS : Courant circulant dans la résistance RS

P : Puissance(w)

IPV /I_{cell} : Courant généré par la cellule (générateur) photovoltaïque

VPV /V_{cell} : Tension généré par la cellule (générateur) photovoltaïque

IPH : Courant de la cellule PV (Photo-Courant).

D : Diode

C : Condensateur

L : Bobine

K : Constante de Boltzmann (1.381×10^{-23} J/k)

q : Charge d'électron (1.602×10^{-19} C)

I_{sc}/I_{cc} : Le courant de court-circuit

V_{oc} : La tension de circuit ouvert

L : L'inductance de la bobine [H]

V_e : La tension d'entrée [V]

V_e : la tension de sortie [V]

ΔE : Changement d'erreur

n : Facteur de non idéalité de la jonction

Φ : L'amplitude

Top : Température de fonctionnement de la cellule

T_{ref} : Température référence de la cellule

V_{th} : Tension thermique

I_s : Courant de saturation

E_g : Tension de seuil de la diode (1.12 eV)

ΔW : Changement des bais

G : l'éclairement ou (l'irradiation solaire W/m^2)

T : température

Notations

EnR : énergie renouvelable

PV : photovoltaïque

GPV : générateur photovoltaïque

RNA : réseaux de neurone artificiel

PPM : point de puissance maximale

MPPT : poursuite de point de puissance maximal (Maximum power point tracking)

P&O : perturbation et observation

Wc: Watt-crête

GW: Giga-Watt

MW: Méga-Watt

CS : convertisseur statique

DC/DC : Hacheur Courant Continu/Courant Continu

IGBT: Insulated-gate bipolar transistor

MOSFET: Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor

CC: courant continue

CA: courant alternative

Introduction générale

La consommation mondiale d'électricité continue de croître plus rapidement que la croissance démographique mondiale, et cette consommation est liée à la croissance économique, mais la relation varie selon les pays. Les sources et les technologies de production d'électricité ont évolué au fil du temps et certaines sont plus utilisées que d'autres. Les énergies renouvelables font partie des sources de production d'énergie électrique telles que l'énergie hydroélectrique, la biomasse, l'énergie éolienne, la géothermie et l'énergie solaire.

Les sources d'énergie renouvelables ont un énorme potentiel pour réduire les effets négatifs de la consommation d'énergie. Les problèmes sociaux, environnementaux et économiques peuvent être éliminés grâce à l'utilisation de sources d'énergie renouvelables, car elles sont considérées comme une énergie durable et ont la capacité de répondre à la demande mondiale d'énergie. [1]

En Algérie, une attention particulière est portée au développement du secteur de l'énergie solaire avec l'objectif d'atteindre 10% puis 20% de la production d'électricité d'origine renouvelable en 2020 et 2030. Les gisements solaires les plus élevés au monde avec un potentiel de 169,44 TWh en solaire thermique et 13,9 TWh en solaire photovoltaïque et 35 térawatts en éolien. [2]

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables et la plus utilisée. Elle est transmise à la terre à travers l'espace sous forme de photons et de rayonnement électromagnétique. Elle consiste à convertir directement le rayonnement solaire en électricité.[3]

Le rendement des systèmes photovoltaïques peut être amélioré par des solutions utilisant les

Techniques de recherche du point de puissance maximale (dites techniques MPPT «Maximum Power Point Trac King»). [4]

L'objectif de ce mémoire est commande et poursuit de la puissance maximale d'un système photovoltaïque a basée sur l'intelligence artificielle.

Pour ce là le document a été divisé en trois chapitres dont le contenu est résumé ci-dessous :

Le premier chapitre : Nous avons présentons une description générale sur les systèmes photovoltaïques, Dans le premier, nous avons parlé sur l'énergie solaire Après Cela, les

Cellules photovoltaïques, leur principe de fonctionnement et leur caractéristique. Enfin on présent le principe, les type, avantage et l'inconvénient des systèmes photovoltaïques.

Le deuxième chapitre : nous étudierons la Modélisation de système photovoltaïque, qui comprend un GPV et un convertisseur converti statiquement BOOST et est contrôlé par les commandes MPPT (P&O) et MPPT (réseaux de neurones).

Le troisième chapitre : Nous allons commencer par la généralité des réseaux de neurones, nous avons donc parlé des neurones biologiques et de leurs composants, puis nous avons évoqué la structure et les composants des neurones artificiels, le principe de leur fonctionnement, leur Architecture, et comment les choisir. Une description générale sur l'apprentissage, ses types et ses règle, et enfin nous avons mentionné les avantages et les inconvénients d'un réseau de neurones

Le quatrième chapitre : on fait une simulation par MATLAB SIMULINK de chaque élément du système PV réalisé avec un générateur photovoltaïque, et une commande MPPT

(Perturbation & Observation 'P&O', réseaux neurones). en terminant avec une étude comparative qui permet de déterminer le meilleur Méthodes de suivi des points de puissances maximales (MPPT).

Finalement, on termine ce travail par une conclusion générale sur l'ensemble des résultats obtenus.

Chapitre I

Généralité sur les systèmes photovoltaïque

I.1.Introduction

Le soleil est une source d'énergie presque illimitée, qui pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation d'énergie globale. C'est pourquoi l'homme tente depuis longtemps de tirer parti de cette énergie importante, répartie sur l'ensemble de la planète, et a réussi à atteindre cet objectif grâce à la cellule photovoltaïque. [5]

La source d'énergie la plus abondante sur Terre est l'énergie solaire. C'est de là que provient la majorité des énergies renouvelables. [4]

L'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque est désormais reconnue comme une source d'énergie alternative primaire pour la fabrication d'électricité propre à grande échelle. En particulier, le développement des centrales photovoltaïques assure un approvisionnement toujours croissant en électricité dans le monde. [3]

I.2.Energie Renouvelable en Algérie

Afin de produire environ 15 GW d'énergie renouvelable d'ici 2035, le gouvernement algérien prévoit de s'appuyer sur l'énergie solaire thermique, photovoltaïque et éolienne, ainsi que sur la cogénération, la biomasse et l'énergie géothermique. Le pays tente de produire environ 1000 mégawatts d'énergie solaire.[6]

" La puissance EnR installée à fin décembre 2021 en considérant l'ensemble des projets raccordés et non raccordés au réseau s'élève à 567,1 MW, dont 438,2 MW hors hydraulique. On compte ainsi 27,6 MW de nouvelles installations EnR, soit une croissance de près de +7% par rapport à celle cumulée à fin décembre 2019 ", indique le CEREFÉ dans son dernier rapport intitulé " Bilan des capacités d'EnR installées à fin décembre 2021 ".

Chapitre I Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Les installations d'EnR connectées au réseau (hors hydroélectricité) sont estimées à 401,3 MW, dont 12 MW de solaire photovoltaïque (PV) installés en 2021 pour l'hybridation des centrales thermiques du Grand Sud.

Au total, 36,9 MW de capacité pour EnR en dehors du réseau ont été installés à la fin du mois de décembre 2021. Environ 15,6 MW, soit 42 % du total ajouté jusqu'à la fin décembre 2021, ont été ajoutés entre 2020 et 2021, avec 4,4 MW ajoutés en 2020 et 11,2 MW ajoutés en 2021. La principale source de production d'électricité à partir des ENR, avec 84 % raccordés au réseau et 8 % hors réseau, est l'énergie solaire photovoltaïque, qui génère 92 % des ENR hors système hydroélectrique. Les ENR hors hydroélectricité sont représentées par l'énergie solaire thermique (CSP) et le pétrole, respectivement à 6 % et 2 %. [7]

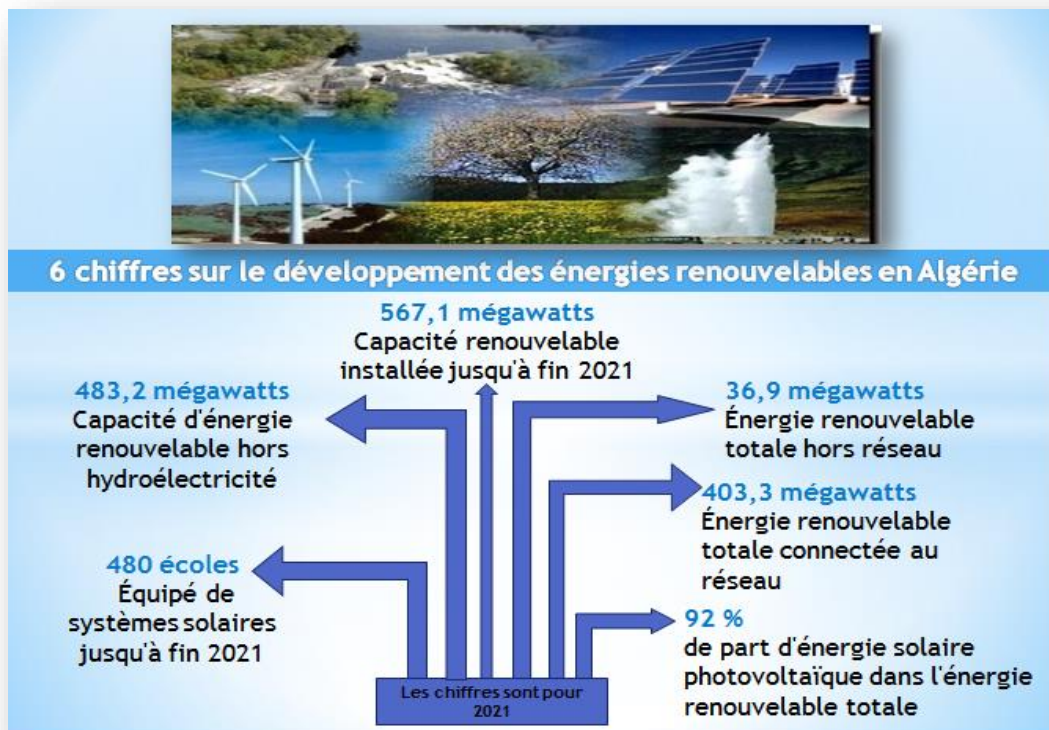


Figure I.1 : Le développement des EnR en Algérie à fin 2021. [6]

I.3.Énergie solaire Photovoltaïque

I.3.1.Définition

L'énergie solaire photovoltaïque résulte de la conversion directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie se fait à l'aide d'une cellule photovoltaïque (PV) qui fonctionne en produisant une force électromotrice lorsque sa surface est exposée à la lumière, selon un phénomène physique connu sous le nom d'effet photovoltaïque. Selon le matériau utilisé pour créer la cellule, la tension produite peut varier. Un générateur photovoltaïque (GPV) est créé en connectant plusieurs cellules PV en série ou en parallèle.[8]

I.4.Le rayonnement solaire

Le rayonnement émis par le soleil est constitué d'ondes électromagnétiques dont une partie atteint en permanence la limite supérieure de l'atmosphère terrestre.[8]

La principale composante de l'énergie solaire est le rayonnement solaire. Il s'agit de la propagation d'une onde dont la longueur est comprise entre 0,2 et $4,10^{-6}$ mètres. Elle se déplace sans nécessiter d'assistance physique et finit par s'immobiliser sur le sol après avoir perdu beaucoup d'intensité.[9]

I.4.1.Les type de rayonnement solaire

I.4.1.1.Rayonnement direct

Le rayonnement solaire direct est défini comme le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est masqué par des nuages. [8]

I.4.1.2. Rayonnement diffus

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules d'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit. [8]

I.4.1.3. Rayonnement global

Il s'agit de la somme des deux types de rayonnement direct et diffus. Le rayonnement global est donc la somme des 3 rayonnements direct, diffus et réfléchi. [8]

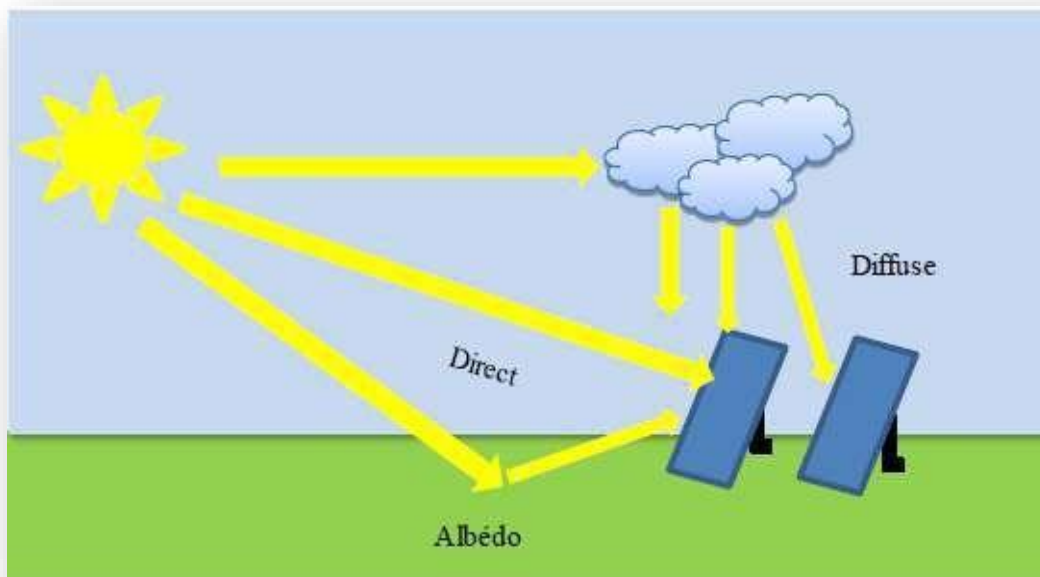


Figure I.2 : Composantes du rayonnement global sur un plan horizontal .[10]

I.4.2. Le spectre solaire de rayonnement solaire

Les "grains" de lumière qui constituent Les radiations électromagnétique sont appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à sa longueur d'onde : Le spectre de rayonnement extraterrestre est à peu près équivalent à l'émission d'un corps noir à 5800 degrés Kelvin. La désignation AM0 fait référence à une courbe standard créée à partir de données

Chapitre I Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Satellites [5], La fluctuation de la distribution spectrale de l'énergie est illustrée à la figure I.3. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose grosso modo de la manière suivante :[11]

- 6,4% dans la bande des ultraviolets ($0,20 < \lambda < 0,38 \mu\text{m}$)
- 48% dans la bande visible ($0,38 < \lambda < 0,78 \mu\text{m}$)
- 45,6% dans la bande des infrarouges ($0,78 < \lambda < 10 \mu\text{m}$)

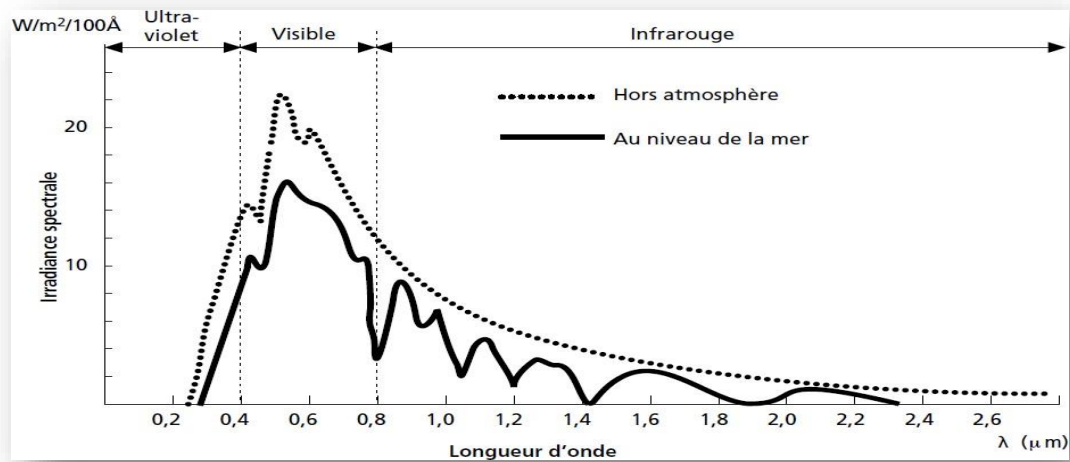


Figure I.3 : Analyse spectrale du rayonnement solaire [11]

Tableau I.1: Valeurs énergétiques des photos issues spectre solaire.[12]

λ (μm)	E_{ph} (eV)	Zone
0.2	6.2	Ultra-violet
0.4	3.1	Visible bleu
0.5	2.48	Visible jaune-vert
0.78	1.59	Visible rouge
1	1.24	Infrarouge
2	0.62	Infrarouge
4	0.31	Infrarouge

I.4.3. Mesure de rayonnement solaire

La quantité d'énergie transmise par unité de surface est utilisée pour mesurer le rayonnement solaire. Moins de $0,5 \times 10^{-9}$ de l'énergie radiative du système solaire tombe en moyenne sur la Terre.

Le rayonnement solaire, mesuré en watts par mètre carré (w/m^2), est le type de rayonnement qui atteint la Terre. [13]

Les appareils varient selon qu'ils mesurent le rayonnement direct (Pyrhéliomètre), le rayonnement global (Pyranomètre) ou le rayonnement réfléchi (Pyranomètre réfléchi). Pour savoir ce qu'il faut mesurer précisément (infrarouge lointain, spectre de la lumière visible, UVA/B, etc.) en fonction de son utilisation, il est également important de tenir compte de la taille du spectre énergétique de la lumière. Les pyranomètres les plus courants sont les thermopiles de Moll. [14]

I.5. Module photovoltaïque

Les cellules PV sont raccordées en série afin d'accroître la tension d'utilisation. En général, la tension nominale du module est ajustée en fonction de la charge. Par conséquent, un module photovoltaïque est un ensemble de cellules connectées en série, en parallèle ou en série parallèle. Alors que le montage en parallèle augmente le courant tout en maintenant la tension, le montage en série de plusieurs cellules augmente la tension pour un courant donné. [11]



Figure I.4 : Module Photovoltaïque.[16]

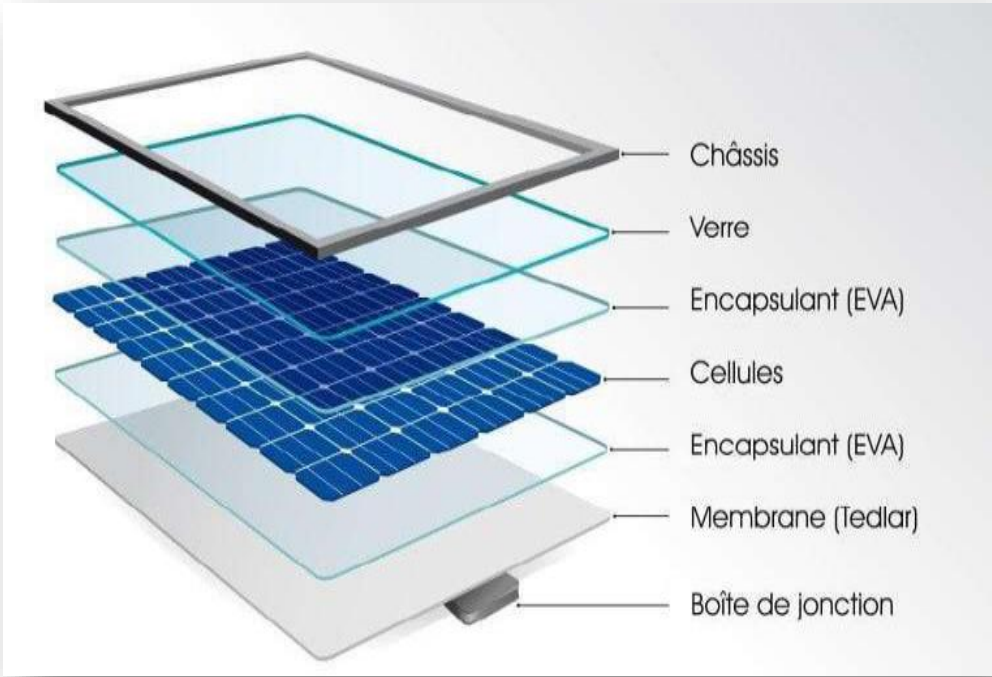


Figure.I.5:Composition d'un module PV. [10]

I.5.1.les différent panneaux solaire

I.5.1.1.le panneau solaire photovoltaïque

Pour produire l'énergie nécessaire, le panneau solaire ou générateur photovoltaïque est constitué de modules photovoltaïques connectés en série et/ou en parallèle. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de soutenir le panneau solaire selon un certain angle d'inclinaison. [15]

I.5.1.2. Panneau solaire thermique

L'idée de ce système est d'utiliser un fluide caloporteur. Le fluide est chauffé dans des panneaux exposés au soleil. Ce fluide utilise des échangeurs pour transférer sa chaleur à l'eau domestique. [15]

I.5.1.3. Panneau solaire thermodynamique

L'ensemble des procédés destinés à convertir l'énergie solaire en chaleur chaude et humide. L'eau chauffée par la température est transformée en vapeur et envoyée dans une turbine. Ensuite, un alternateur relié à la turbine produit de l'électricité. [15]

I.6.la cellule photovoltaïque

Une cellule solaire est un type de diode conçu pour collecter et convertir efficacement l'énergie solaire en électricité. Divers matériaux semi-conducteurs peuvent être utilisés pour créer des cellules solaires. Les types les plus courants sont généralement le silicium amorphe (Si), le silicium poly-cristallin et le silicium monocristallin (Si). Il existe également des cellules composées de matériaux tels que le GaAs, le GaInP, le Cu(InGa) Se₂, le CdTe, etc. [1]

En fonction du matériau utilisé, de son emplacement, de la température et du vieillissement de la cellule, la tension produite peut varier de 0,3V à 0,7V. [17]

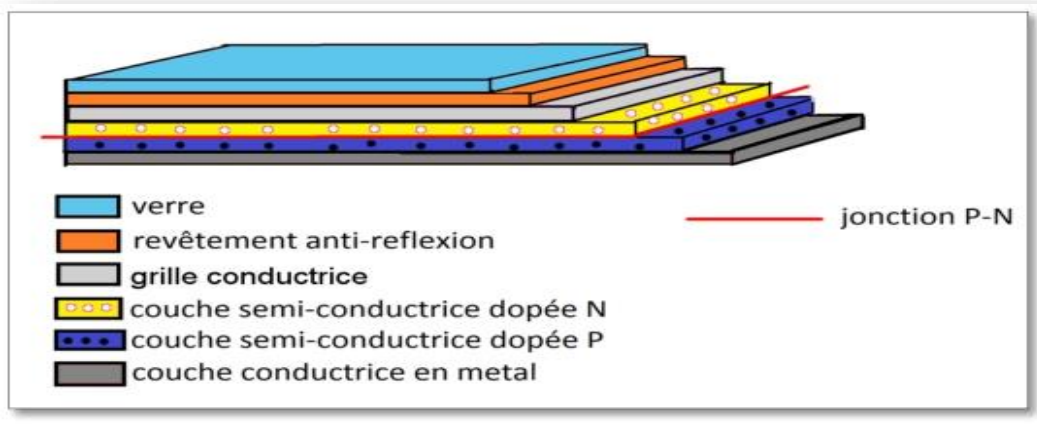


Figure.I.6: Structure basique d'une cellule photovoltaïque. [17]

I.6.1.le principe de fonctionnement de la cellule PV (effet photovoltaïque)

Le composant fondamental qui permet la conversion directe de l'énergie solaire (lumière du soleil) en énergie électrique est la cellule photovoltaïque. Cette méthode de conversion est basée sur l'effet photovoltaïque largement reconnu. [3]

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse du rayonnement solaire en électricité en produisant et en déplaçant des charges électriques dans un matériau semi-conducteur sous l'influence de la lumière. Ce matériau est constitué de deux parties dopées respectivement de type N et de type P, avec des électrons en excès et des électrons en déficit. Les électrons en excès dans le premier matériau se diffusent dans le second lorsqu'il entre en contact avec lui. La zone dopée initiale N devient chargée positivement, tandis que la zone dopée initiale P devient chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone.[4]

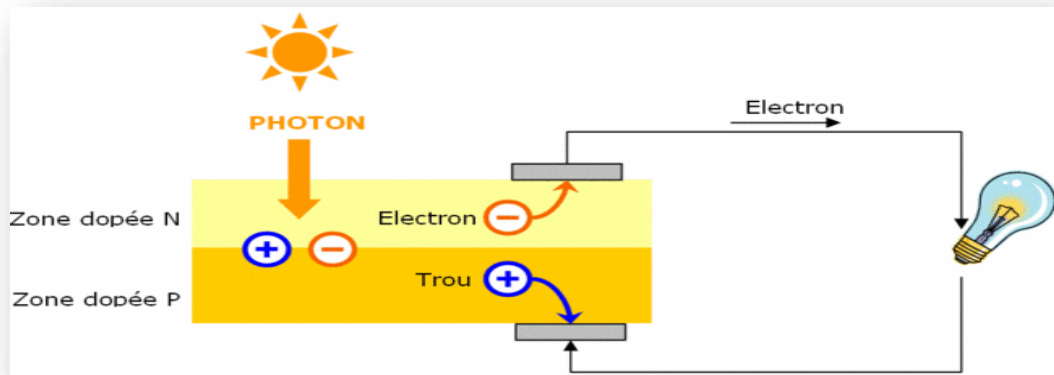


Figure I.7: schéma de principe d'une cellule PV. [18]

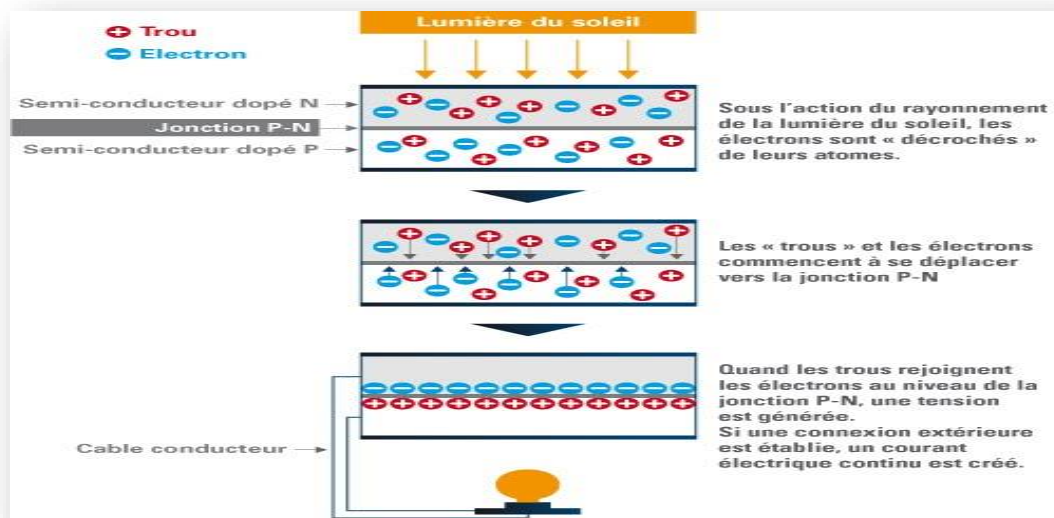





Figure I.8. : Principe de fonctionnement photovoltaïque. [19]

I.6.2. les technologies de cellule PV

Il existe trois principaux types de cellules solaires : cellules monocristallines, polycristallines et cellules amorphes, chaque type a son propre rendement mais quel que soit leurs types, leurs rendement reste faible. [20]

Chapitre I Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Tableau .I.2 Tableau Comparatif des différentes technologies d'une cellule PV. [21]

Technologies	Mon cristalline	Polycrystalline	Amorphe
Cellule			
Caractéristiques	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Très bon rendement: 14 à 20%. ❖ Durée de vie: importante (30 ans) ❖ Coût de fabrication: élevé. ❖ Puissance: 100 à 150 Wc / m². 7 m²/kWc ❖ Rendement faible sous un faible éclairage. ❖ Perte de rendement avec l'élévation de la température ❖ Fabrication: élaboré à partir d'un bloc de silicium fondu qui s'est solidifié en formant un seul cristal ❖ Couleur bleue uniforme. 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Bon rendement: 11 à 15%. ❖ Durée de vie : importante (30 ans) ❖ Coût de fabrication: meilleur marché que les panneaux monocristallins ❖ Puissance: 100 Wc/m². 8 m²/kWc. ❖ Rendement faible sous un faible éclairage. ❖ Perte de rendement avec l'élévation de la température. ❖ Fabrication: élaborés à partir de silicium de qualité électronique qui est refroidissant formé plusieurs cristaux. ❖ Ces cellules sont bleues, mais non uniforme: on distingue des motifs créés par les différents cristaux 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Rendement faible: 5 à 9%. ❖ Durée de vie: assez importante (20 ans) ❖ Coût de fabrication: peu onéreux par rapport aux autres technologies ❖ Puissance: 50 Wc / m². 16 m²/kWc. ❖ Fonctionnement correct avec un éclairage faible. ❖ Peu sensible aux températures élevées. ❖ Utilisable sans panneaux souples. ❖ Surface de panneaux plus importante que pour les autres panneaux au silicium
Part de Marche	43%	43%	10%

I.6.3. Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque

I.6.3.1. Caractéristique courant – tension (I-V) :

Les caractéristiques essentielles d'une cellule solaire sont I-V, ce qui signifie qu'elle répondra à toutes les charges potentielles dans un certain ensemble de conditions de température et d'ensoleillement. Dans cette courbe (**figure I. 9**), il y a trois points clés à noter :[17]

- ❖ Le point **A** où la tension est égale à zéro et le courant est maximum (courant de court-circuit I_{cc}).
- ❖ Le point **B** c'est le point de fonctionnement optimal auquel la cellule fournit sa puissance maximale.
- ❖ Le point **C** où le courant est égal à zéro et la tension est maximale (tension circuit Ouvert, V_{co})

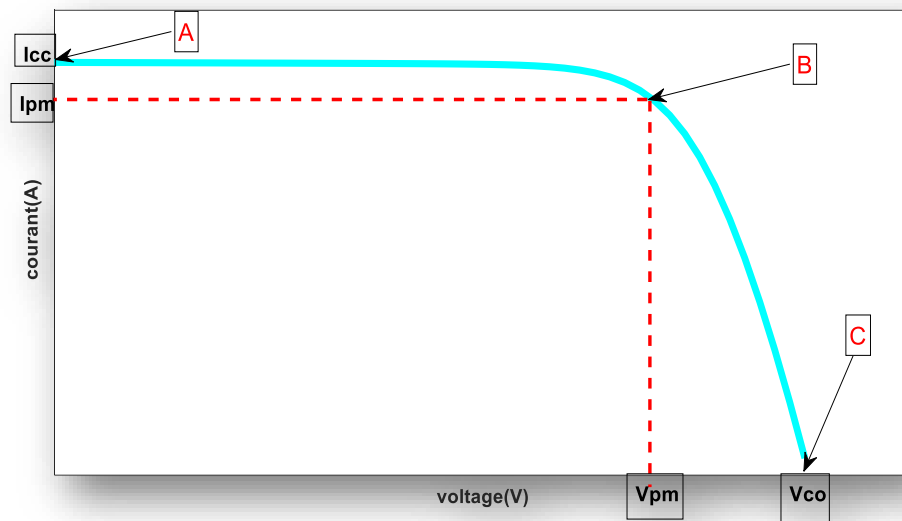


Figure I.9 : Caractéristique électrique I-V d'une cellule PV.

I.6.3.2. Caractéristique puissance – tension (I-V) :

La puissance délivrée par la cellule a pour expression $P=V.I$, pour chaque point, on peut calculer la puissance P et tracer la courbe $P = f(V)$. [18]

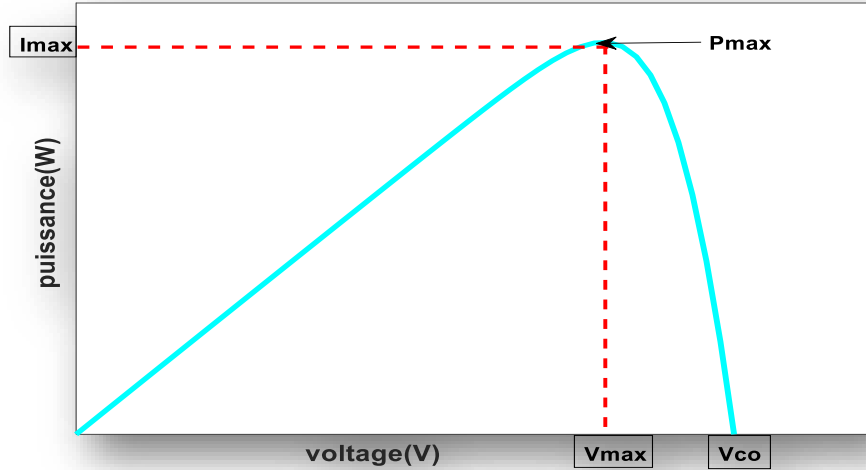


Figure I.10 : Caractéristique électrique P-V d'une cellule PV.

I.6.4. Influence de la température et l'ensoleillement

a) Influence de la température

La température est un paramètre très important qui a un impact considérable sur le comportement du module PV. Cet impact se manifeste par une réduction de la tension générée ; en revanche, les fluctuations de température ont très peu d'impact sur le courant. [1]

b) Influence de l'ensoleillement

L'ensoleillement est un autre paramètre crucial qui a un impact important sur le comportement du module photovoltaïque. Les niveaux de lumière en hiver sont inférieurs à ceux de l'été en raison des changements d'obscurité saisonniers et des conditions météorologiques dominantes. [1]

I.6.5. Association des cellules photovoltaïques

I.6.5.1. Association en série

Chapitre I Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Les cellules sont assemblées pour créer un GPV élémentaire (module PV). Plusieurs cellules connectées en série augmentent la tension pour un même courant. [22] L'équation (I.1) et (I.2) résume les caractéristiques électriques d'une association série de n_s cellules. [12]

$$V_{ocns} = n_s \times V_{co} \quad (I.1)$$

$$I_{cc} = I_{ccns} \quad (I.2)$$

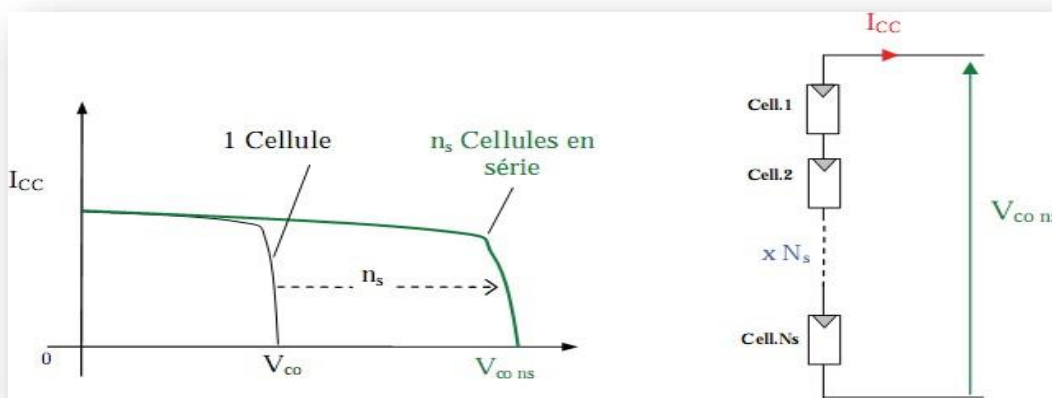


Figure.I.11: Caractéristiques résultantes d'un groupement de n_s cellules en série.[12]

I.6.5.2. Association en parallèle

Tandis que les connexions en parallèle de plusieurs cellules augmentent le courant pour la même tension. [22]

L'équation (I.3) et (I.4) résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de n_p cellules. Avec : [12]

$$I_{scnp} = n_p \times I_{sc} \quad (I.3)$$

$$V_{ocnp} = V_{oc} \quad (I.4)$$

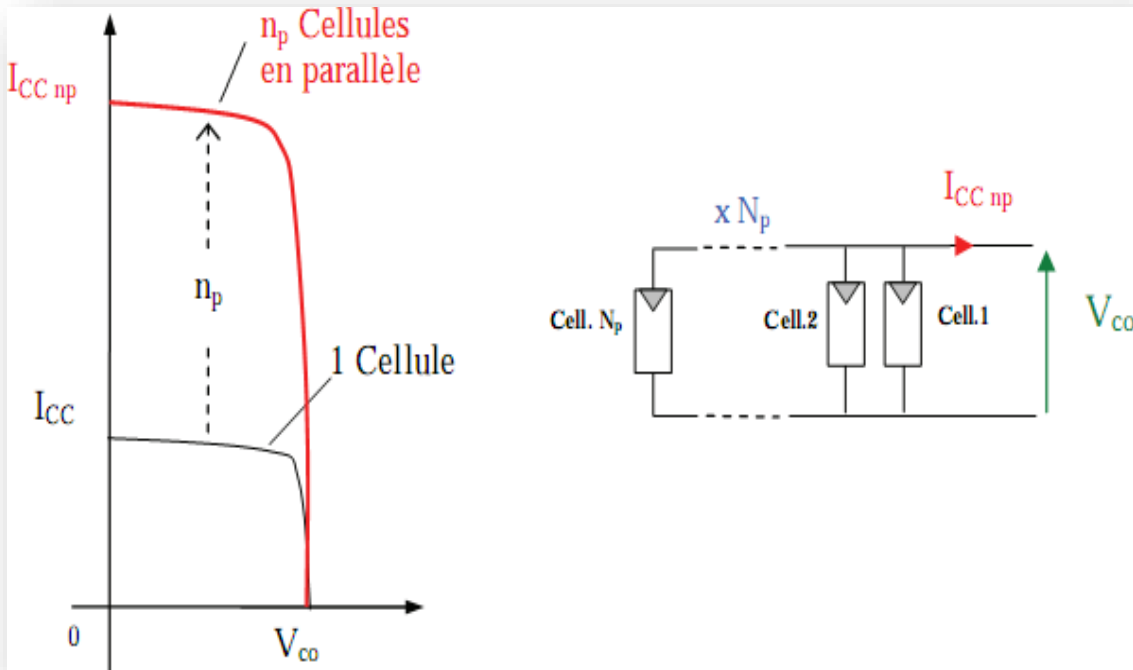


Figure.I.12: caractéristique résultante d'un groupement en parallèle np cellules.[12]

I.6.5.3.Association en série-parallèle (hybride)

Selon l'association en série et en parallèle de ces cellules, les valeurs du courant total de court-circuit et de la tension totale en circuit ouvert sont données par les relations suivantes : [11]

$$I_{spcc} = n_p \times I_{cc} \quad (I . 5)$$

$$V_{spco} = n_s \times V_{co} \quad (I . 6)$$

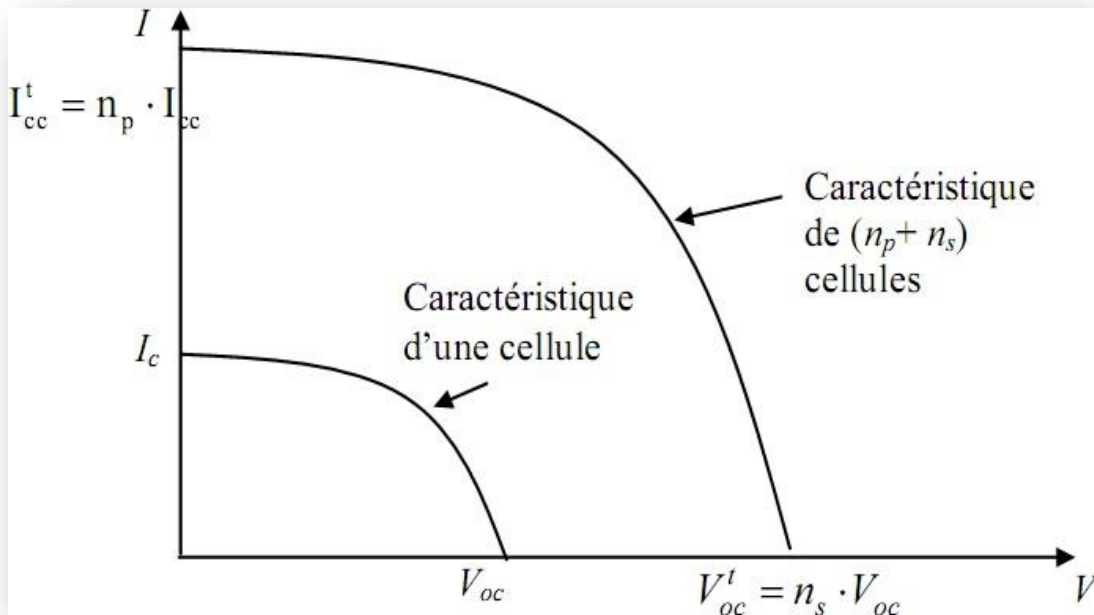


Figure.I.13: caractéristique résultante d'un groupement hybride de cellules. [12]

I.7.Le système photovoltaïque

Un système photovoltaïque est un ensemble complet d'équipements photovoltaïques qui convertissent l'énergie solaire en électricité. En général, un système PV se compose de cinq éléments principaux : un générateur PV, une batterie, un régulateur, un convertisseur et une charge. Les panneaux PV utilisent l'effet photovoltaïque pour convertir l'énergie solaire en courant continu (CC). Ce dernier peut soit être utilisé immédiatement, soit être transformé en courant alternatif (CA) par le régulateur. L'énergie excédentaire produite par le système est stockée dans les accumulateurs (batteries). La charge et la décharge de la batterie sont contrôlées par le régulateur, qui assure l'équilibre entre la production, la consommation et le stockage. [23]

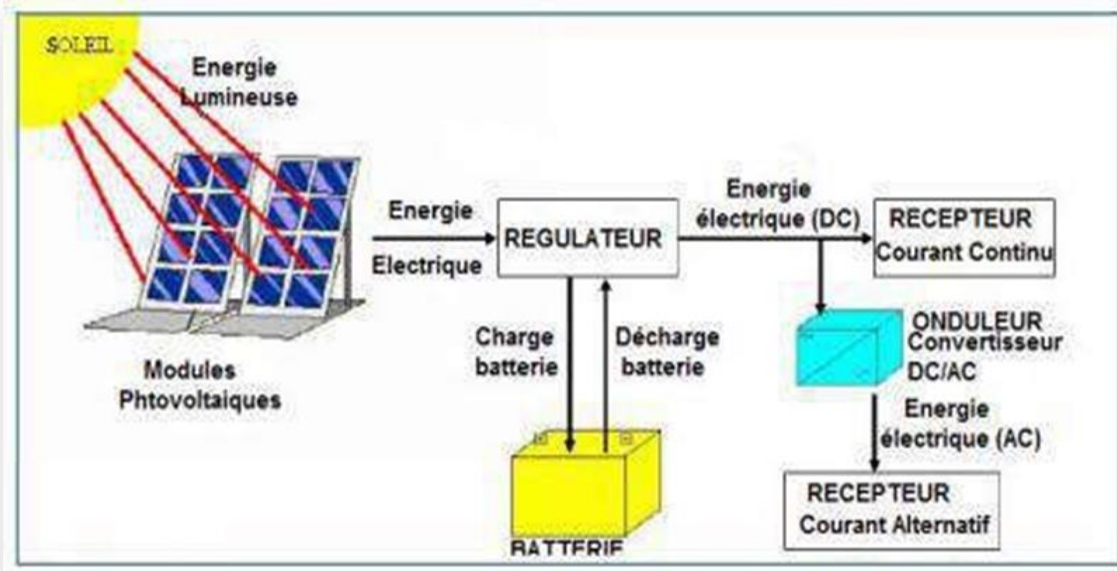


Figure I.14: Système photovoltaïque plus détaillé.[10]

I.7.1. Différents types de système photovoltaïque

I.7.1.1. Système PV autonome

Ces installations isolées, autonomes ou "stand-alone", ne sont pas connectées au réseau mais doivent néanmoins répondre au besoin de recharge à tout moment. Le système photovoltaïque autonome permet d'acheminer le courant électrique dans des lieux dépourvus de réseau. Ainsi, l'énergie produite est soit utilisée immédiatement (éclairage, pompage, etc.), soit stockée dans des batteries pour diverses utilisations. Les principaux composants du système PV autonome sont un générateur photovoltaïque, un convertisseur DC/DC (hacheur), un système de régulation avec commande MPPT, et d'autres composants. Une ou plusieurs batteries, L'onduleur.[17]

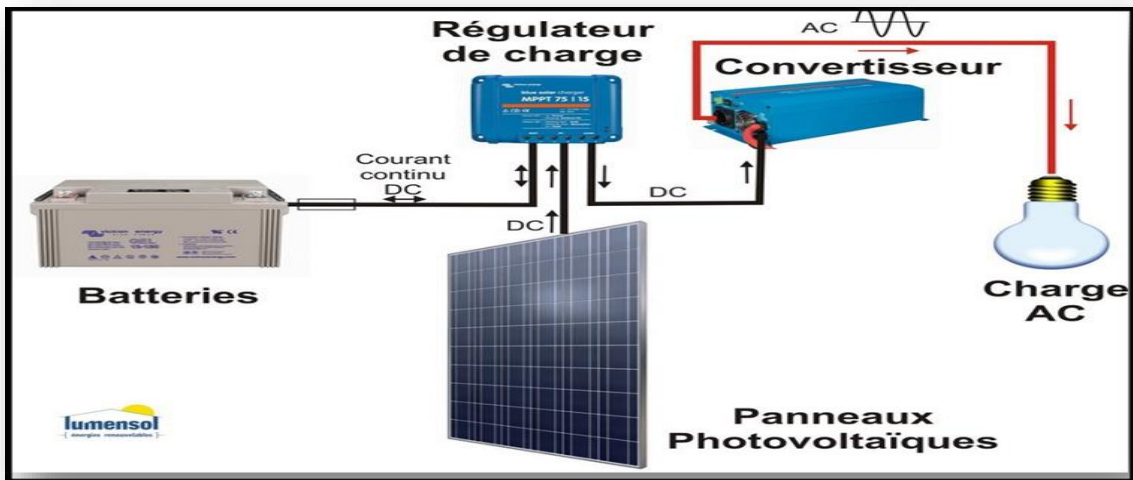


Figure I.15: Installation photovoltaïque autonome. [24]

I.7.1.2. Système PV connecté au réseau

Il produit sa propre électricité et envoie l'énergie excédentaire vers un réseau proche, il y puise selon les besoins, élimine les achats et entretient une batterie. Il est toujours possible d'utiliser ces systèmes pour servir d'alimentation de secours en cas de panne de courant. [25]

L'installation de ce système se compose de trois éléments essentiels qui sont : [25]

- Les panneaux photovoltaïques.
- Un onduleur synchrone qui transforme le courant pour qu'il soit compatible avec les caractéristiques du réseau. C'est "l'interface" entre l'installation et la compagnie d'électricité.
- Un compteur d'énergie (en fait, en général, deux compteurs dans le cas des installations décentralisées).

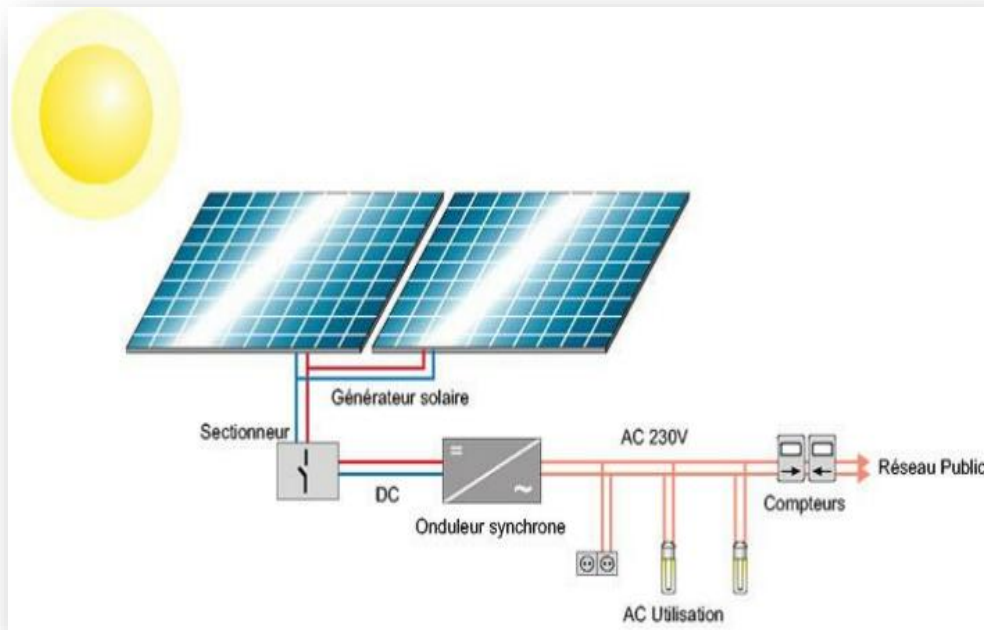


Figure I.16 : Installation photovoltaïque couplée au réseau.[17]

I.7.1.3. Système PV hybride

Un système photovoltaïque hybride qui optimise l'utilisation combinée de plusieurs sources d'énergie renouvelables et/ou fossiles et des méthodes de stockage associées. Le choix de tel ou tel système dépendra d'un certain nombre de facteurs, notamment l'application, l'environnement et la simplicité. Cependant, l'étude des systèmes photovoltaïques se termine par l'analyse de l'adaptation d'une charge - qu'il s'agisse d'une batterie ou d'un autre type de charge - au nombre total de modules solaires. [8]

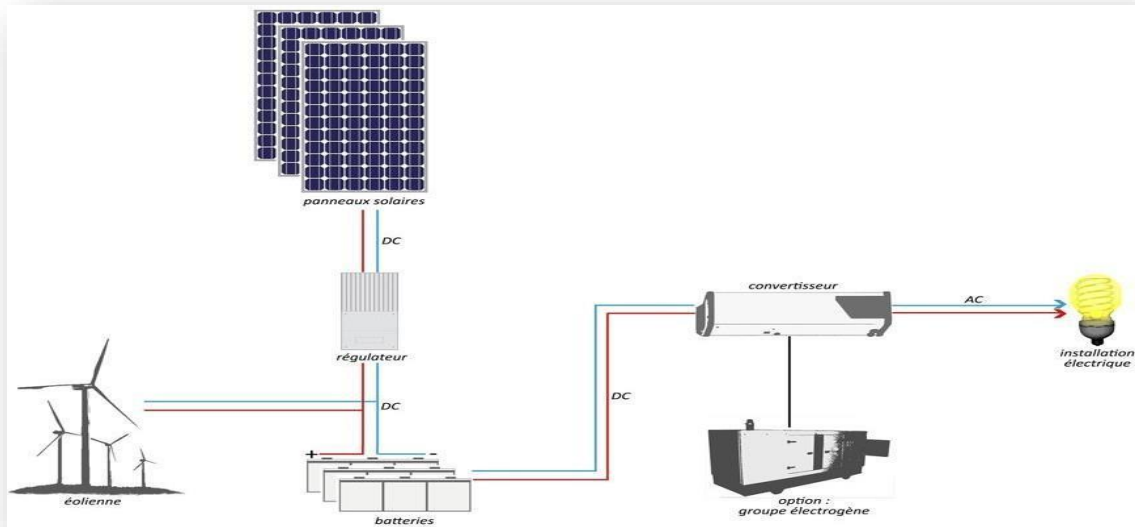


Figure.I.17: Système PV hybride.[25]

I.8. Protection de Système PV

Lors de la conception d'une installation photovoltaïque, il faut s'assurer de sa sécurité électrique afin de prolonger sa durée de vie en évitant, par exemple, les pannes destructrices liées à la connexion des cellules et à leur fonctionnement. Dans les installations actuelles, deux types de protection sont généralement utilisés à cette fin :[22]

- la protection en cas de connexions en parallèle de modules PV pour éviter les courants négatifs dans les GPV (diode anti-retour).
- La protection lors de la mise en série de modules PV permettant de ne pas perdre la totalité de la chaîne (diode by-pass).

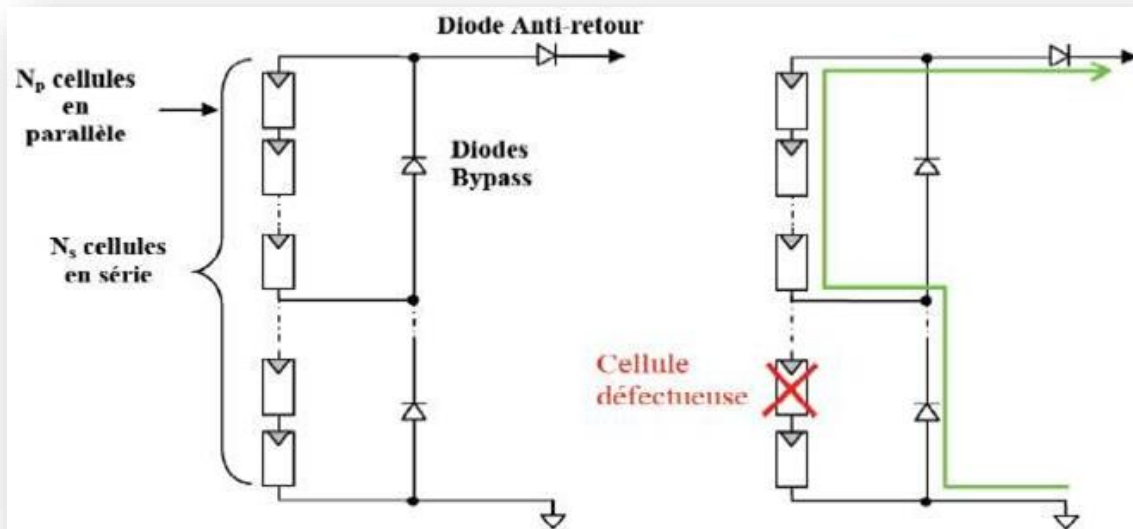


Figure I.22 : Architecture d'un panneau photovoltaïque avec diodes de protection, et activation de la diode by-pass lors de la défaillance d'une cellule. [22]

I.9.les avantages et inconvénient d'une système PV

Avantages

- Le soleil est une source d'énergie propre et renouvelable, qui ne produit ni le gaz ni De déchet toxique par son utilisation.
- L'ensemble du processus photovoltaïque consiste en un seul bloc de semi-conducteurs. Aucun appareil mobile n'est présent et aucun matériau n'est consommé ou libéré.
- Pas de pollution, ni émissions ou odeurs discernables.
- Ils peuvent être des systèmes autonomes qui actionnent sûrement sans surveillance Pendant de longues périodes.
- Grande fiabilité.
- Ils peuvent être combinés avec d'autres sources d'énergies pour augmenter la Fiabilité du système.

Chapitre I Généralités sur les systèmes photovoltaïques

- Ils n'exigent aucun raccordement à une source d'énergie ou à un approvisionnement en carburant existant.[26]

Inconvénients

- La fabrication de modules photovoltaïques nécessite une technologie de pointe et des investissements coûteux.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible, de l'ordre de 10-17 %.
- Le coût du générateur augmente au fur et à mesure que le besoin de stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batteries) se fait sentir.
- Le stockage de l'énergie électrique pose encore de nombreux problèmes. [26]

I.10.conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fourni un aperçu des systèmes photovoltaïques. Tout d'abord, nous avons commencé par parler d'un aperçu des énergies renouvelables en Algérie. Dans notre étude, nous nous intéressons également à l'énergie photovoltaïque, nous l'avons donc définie et mentionné le rayonnement solaire, les panneaux solaires et leurs types. Deuxièmement, nous avons parlé de la cellule photovoltaïque, de ses types et de ses caractéristiques. Enfin, nous avons parlé sur les systèmes photovoltaïques et leurs types, avantage et inconvénient.

Dans le second chapitre, nous allons modéliser un système photovoltaïque, et une cellule PV, et leurs commande MPPT pour chercher le point maximal de la puissance du chaîne photovoltaïque.

Chapitre II

Modélisation du système PV

I.1.Introduction

Les générateurs photovoltaïques sont bien connus pour la large gamme de tension et de courant de sortie dans laquelle ils fonctionnent, mais ils sont incapables de fournir une puissance maximale. En réalité, la variabilité de la puissance maximale est due aux changements climatiques qui ont un impact sur la caractéristique $I(V)$. C'est pourquoi il existe un certain nombre de convertisseurs statistiques en ligne de commande qui permettent de poursuivre le MPP. [4]

Dans ce chapitre, nous présenterons le modèle des composants du système dans le contexte de notre travail. Nous illustrerons d'abord le modèle et l'équation mathématique. Nous procédons également à la modalisation du convertisseur DC/DC de type boost d'un générateur photovoltaïque dans le cas idéal et pratique à une diode. Enfin, en utilisant la méthode de perturbation et d'observation (P&O) et les techniques de réseaux neuronaux, nous étudions la commande MPPT.

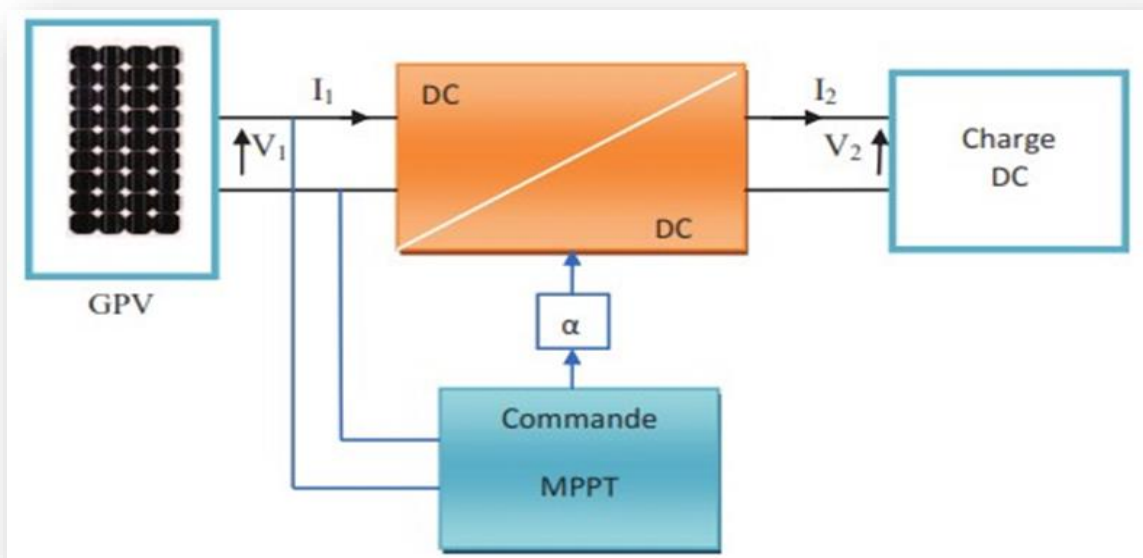


Figure.II.1 : Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque.[23]

II.2. Modélisation du générateur photovoltaïque

La modélisation des modules photovoltaïques implique toujours une sélection judicieuse de circuits électriques équivalents, en tenant compte de plus de généralisations. Seules la clarté et la température de la cellule affectent la quantité de courant qu'un module photovoltaïque peut produire à une charge donnée. [12]

II.2.1. Générateur photovoltaïque idéal

Dans un scénario idéal, la cellule d'une jonction PN soumise à un rayonnement photovoltaïque clair et connectée à une charge pourrait être représentée schématiquement par un générateur de courant I_{ph} en parallèle avec une diode qui délivre un courant comme indiqué sur la figure, simulant un circuit de cellule solaire idéal. [11]

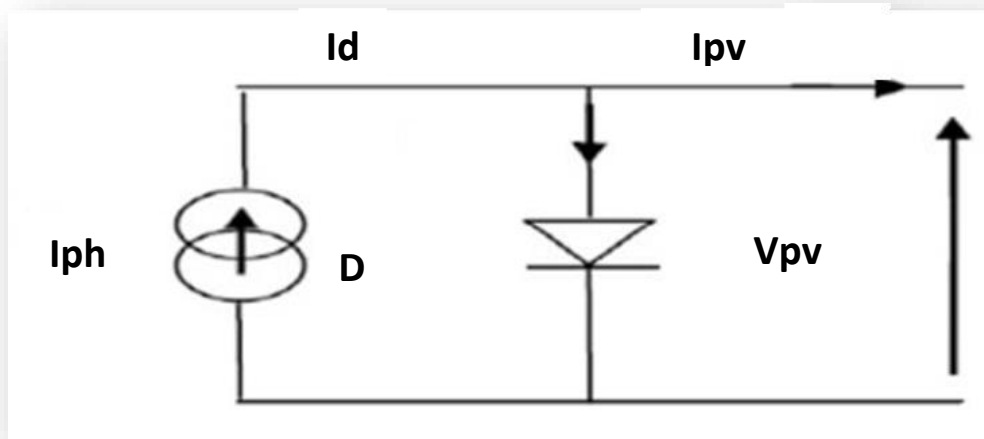


Figure (II.2): Schéma électrique idéal d'un module photovoltaïque. [26]

Après la loi des nœuds (loi de Kirchhoff) en obtiennent l'assemblage des équations : [26]

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (\text{II.1})$$

Pour un générateur PV idéal, la tension aux bornes de la diode est égale à :

$$V_{pv} = V_d \quad (\text{II.2})$$

V_d = La tension aux bornes de la diode.

La diode étant un élément non linéaire, sa caractéristique (I -V) est donnée par la relation :

$$I_d = I_0 \times \left[e^{\frac{q \times V_{pv}}{AKT}} - 1 \right] \quad (\text{II.3})$$

I_0 : Courant de saturation de la diode, qui est exprimé comme suit :

$$I_0 = I_0 \times (T1) \times \left(\frac{T}{T1} \right)^{\frac{3}{n}} \times e^{-q \times E_g / A \times K \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T1} \right)} \quad (\text{II.4})$$

Et:

$$I_0(t_1) = \frac{I_{sc}(T^1)}{e^{\frac{q \times v_{oc}(T^1)}{A \times K \times T_1} - 1}} \quad (\text{II.5})$$

Avec:

E_g = Tension de seuil de la diode (1.12 eV).

I_{sc} = Courant de court-circuit

V_{oc} = Tension de circuit ouvert.

q = Charge électrique qui est égale à 1.6×10^{-19} C

K = Constante de Boltzmann ($K = 1.3854 \times 10^{-23}$ J/K).

A = Facteur de qualité de la diode.

(KT/q) = Représente le potentiel thermique.

T_1 = Température à l'instant T_1 .

T_2 = Température à l'instant T_2 .

I_{ph}: Courant photonique de la diode qui est donné par la relation suivante

Avec :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \times \left[e^{q \times \frac{V_{pv}}{AKT}} - 1 \right] \quad (\text{II.6})$$

Avec :

$$K_0 = \frac{I_{sc}(T_2)I_{sc} - I_{sc}(T_1)}{T_2 - T_1} \quad (\text{II.7})$$

D'après les relations (II.1) et (II.3) on obtient :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \times \left[e^{q \times \frac{V_{pv}}{AKT}} - 1 \right] \quad (\text{II.8})$$

Ce qui implique :

$$I_{pv} = I_{ph}(T_1) \times [1 + K_0 \times (T - T_1)] - I_0 \times \left[\frac{q \times (V_{pv})}{AKT} - 1 \right] \quad (\text{II.9})$$

II.2.2. Générateur photovoltaïque a une diode (Réal)

Ce modèle simule la conversion du flux en énergie électrique en utilisant une cellule solaire comme source de courant. Une résistance parallèle appelée résistance shunt R_p représente le courant de fuite, tandis que la résistance montée R_s représente la résistance du courant et de la connexion. Une diode parallèle qui représente la jonction PN. [22]

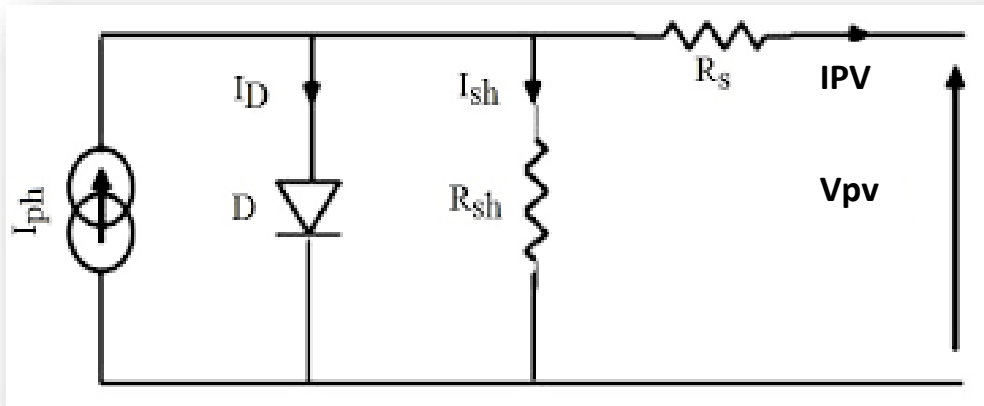


Figure (II.3) : Schéma photovoltaïque d'un module à une diode. [27]

Après la loi des nœuds (loi de Kirchhoff) en obtiennent l'assemblage des équations : [01]

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (\text{II.10})$$

I_{ph} : Photon- courant créer par la cellule.

I_d : Le courant circulant dans la diode.

I_{sh} : Le courant circulant dans la résistance R_{sh} .

Le photon-courant est proportionnel à l'éclairement et dépend aussi de la température son expression est la suivant :

$$I_{ph} = [I_{cc} + K_i(T_{op} - T_{ref})] \frac{G}{G_0} \quad (\text{II.11})$$

Avec:

I_{cc} : Courant de court de circuit.

K_i : Coefficient de la température de court-circuit.

G_0 : Eclairement pour les STC.

T_{op} : Température de fonctionnement de la cellule.

T_{ref} : Température référence de la cellule.

Le courant de la jonction I_d Est donné par:

$$I_d = I_s \left(e^{\left(\frac{V_d}{V_{th}}\right)} - 1 \right) \quad (\text{II.12})$$

Avec :

$$V_{th} = \frac{A - K - T_{op}}{q} \quad (\text{II.13})$$

Le courant de saturation dépend de la température son expression est sous la forme :

$$I_s = I_{sc} \left(\frac{T_{op}}{T_{ref}} \right)^3 e^{\frac{q.E_g}{A.K} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T_{op}} \right)} \quad (\text{II.14})$$

I_{sc} : Le courant de court-circuit de la cellule.

E_g : Energie de seuil.

I_s : Courant de saturation.

V_{th} : Tension thermique.

A : Facteur d'idéalité de la diode=1.3.

K : La constante de Boitzman($1.3854 * 10^{-23} J/K$)

q : Charge électrique élémentaire ($1.6 * 10^{-19} C$)

La résistance de shunt est causée par un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont elle était construite.

$$I_{sh} = \frac{V_d + R_s.I}{R_{sh}} \quad (\text{II.15})$$

I_{sh} : Le courant circulant dans la résistance R_{sh}

V_d : Tension aux bornes de la diode.

R_{sh} : Résistance parallèle.

Donc le courant total généré par la PV :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (\text{II.16})$$

Si on remplacé I_{ph} et I_d et I_{sh} par ses expression l'équation totale devient :

$$I_{pv} = [I_{cc} + K_n(T_{op} - T_{ref})] \frac{G}{G_0} - I_s \left(e^{\frac{V_d}{V_{th}}} - 1 \right) - \frac{V_d + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (\text{II.17})$$

II .3.Electronique de puissance et la conversion électrique

L'électricité est souvent distribuée sous forme de tensions alternatives sinusoïdales ou continues. Grâce à l'électronique de puissance, l'énergie électrique peut être présentée différemment pour répondre à une variété de besoins. Les équipements électroniques de puissance utilisent des convertisseurs statiques. [26]

II.4. Convertisseur DC/DC (hacheur)

Les convertisseurs DC/DC sont des circuits électriques utilisés pour transformer une tension continue en une autre tension continue avec un rapport de transformation bien défini. [22]

$$K = \frac{V_s}{V_e} \quad (\text{II.18})$$

Avec V_s la tension de sortie, V_e la tension d'entrée, K le rapport de transformation

Un circuit électronique de puissance ou un dispositif électromécanique appelé "convertisseur DC-DC" transforme une alimentation continue en courant (DC) d'un niveau de tension spécifique à un autre. Il s'agit d'un type particulier de convertisseur de puissance électrique. Les niveaux de puissance pris en compte par ces circuits vont de très faibles (petites batteries) à très élevés (transmission d'énergie à haute tension ou très haute tension). Comme tous les convertisseurs de puissance confondus, un convertisseur DC-DC est constitué de cellules de commutation. Ces cellules sont dimensionnées pour augmenter ou diminuer la tension constante (ou le courant constant) entre les deux bornes du convertisseur. Pour réaliser cette transformation, chaque interrupteur de puissance de la cellule de commutation sera soit un IGBT, soit un MOSFET, tandis que l'autre interrupteur sera une diode. Les deux interrupteurs seront des thyristors dans certains autres cas (plus rares). [2]

Il existe trois types de convertisseurs DC/DC (Buck, Boost et Buck-Boost), utilisés fréquemment dans les systèmes photovoltaïques pour générer les tensions et les courants souhaités. [9]

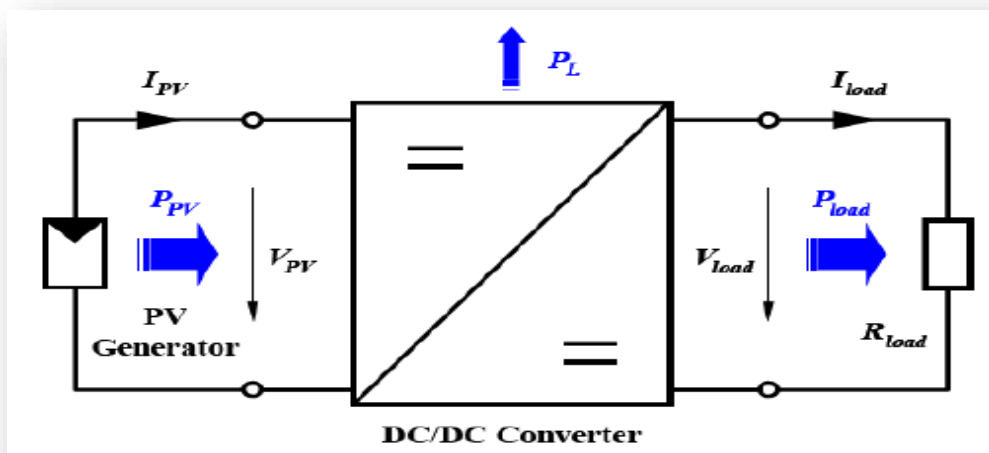
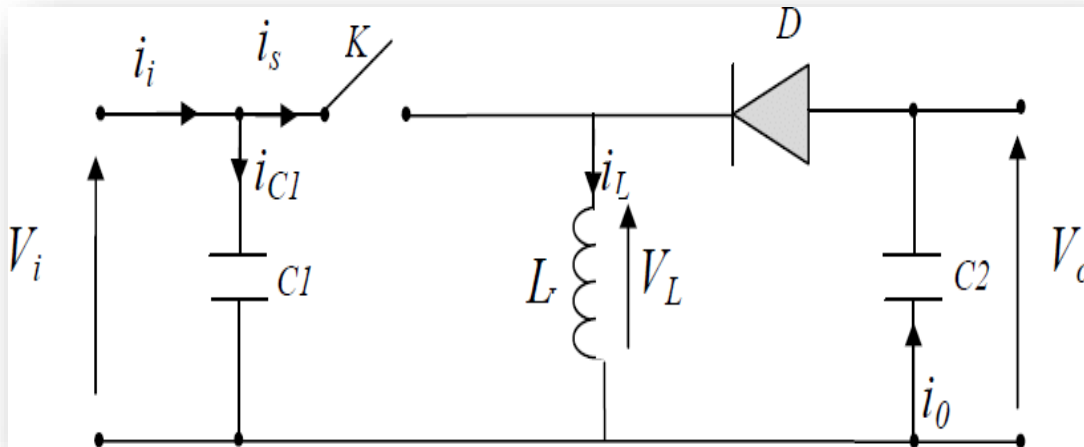


Figure (II.4): une représentation d'un convertisseur DC/DC. [11]

II.5. Convertisseur Boost :

Il s'agit d'un convertisseur DC-DC direct. La source d'entrée est de type courant continu (inductance en série avec une source de tension), et la charge de sortie est de type tension continue (condensateur en parallèle avec la charge résistive). Comme le courant est toujours positif et que les commutations doivent être contrôlées (tant au niveau du blocage que de l'amortissement), l'interrupteur K peut être remplacé par un transistor. [28]



Figure(II.5) : Schéma électrique d'un convertisseur Boost. [29]

V_{pv} : Source de tension d'entrée continue.

L : Bobine fait le plus grosse du travail accumulation.

S : Interrupteur \Rightarrow phase 1 augmentation de la tension et phase 2 distribution de la tension.

D : Diode Schottky généralement limité les pertes le plus possible.

C : Condensateur pour obtenir une tension continue.

V_s : tension de sortie

II.5.1. Le Principe de fonctionnement d'un convertisseur Boost

Lorsque l'interrupteur est fermé pendant la durée, αT_e , le courant dans l'inductance augmente linéairement. La tension aux bornes de K est nulle. Pendant le temps $T_e \in [\alpha T_e; T_e]$, l'interrupteur s'ouvre et l'énergie stockée dans l'inductance fait circuler le courant dans la diode de roue libre D. On a alors $V_s = V_k$, En écrivant que la tension aux bornes de l'inductance est nulle, on arrive à :

[28]

$$V_{pv} = (1 - \alpha)V_s \quad (\text{II.19})$$

II.5.2. Modèle mathématique du convertisseur Boost

Les circuits équivalents du convertisseur boost, (figure II.5) des deux phases de fonctionnement donnent [11]:

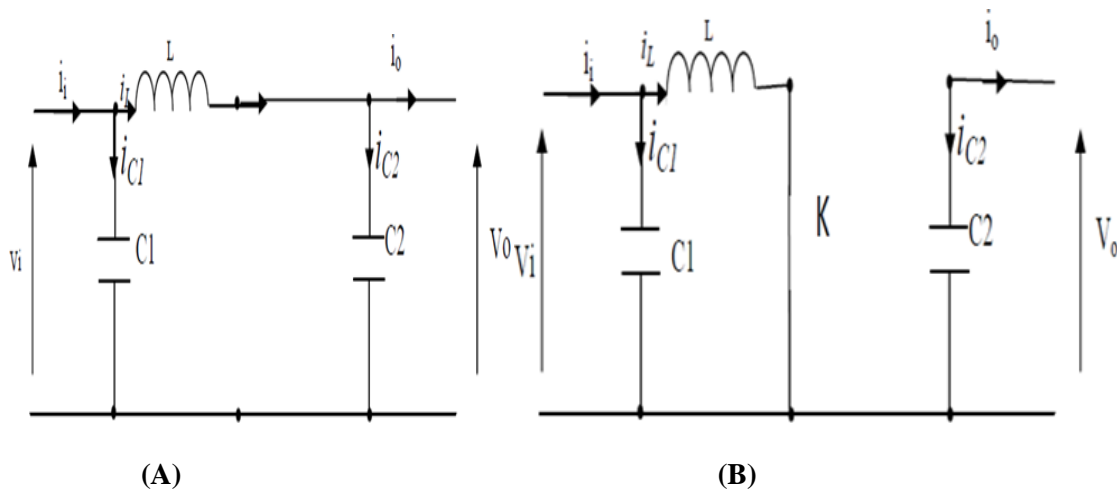


Figure II.6 : Schémas équivalents du hacheur survolteur, (A) : K fermé, (B) : K ouvert

Après l'application des lois de Kirchhoff sur les deux circuits nous obtenons les équations suivantes : [30]

Pour le premier intervalle αT_s :

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_{PV}}{dt} = I_{PV} - I_L \quad (\text{II.20})$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_S}{dt} = -i_L \quad (\text{II.21})$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = V_{PV} - R_L I_L \quad (\text{II.22})$$

Pour le deuxième intervalle $(1 - \alpha)T_s$:

$$I_{C1} = C_1 \frac{dV_{PV}}{dt} = I_{PV} - I_L \quad (\text{II.23})$$

$$I_{C2} = C_2 \frac{dV_S}{dt} = I_L - i_L \quad (\text{II.24})$$

$$V_L = L \frac{dI_L}{dt} = V_{PV} - V_S - R_L I_L \quad (\text{II.25})$$

Le régime continu est obtenu en éliminant les dérivées des variables dynamiques, et en remplaçant ces signaux par leurs valeurs moyennes

$$I_L = I_{PV} - C_1 \frac{dV_{PV}}{dt} \quad (\text{II.26})$$

$$i_L = (1 - \alpha)I_L - C_2 \frac{dV_S}{dt} \quad (\text{II.27})$$

$$V_{PV} = (1 - \alpha)V_S + L \frac{dI_L}{dt} + R_L I_L \quad (\text{II.28})$$

Comme le montre la figure II.5, lorsque l'interrupteur du transistor S est en position de marche, le courant circulant dans l'inductance de la tête augmente linéairement, bloquant la diode D à ce moment-là. Inversement, lorsque le transistor S passe en position "off", l'énergie stockée dans l'inductance est libérée dans le circuit RC bien que la diode D soit passante. La (figure II.7) décrit les caractéristiques du courant de tension et de charge pour le convertisseur Boost dans le cas d'une conduction continue. [22]

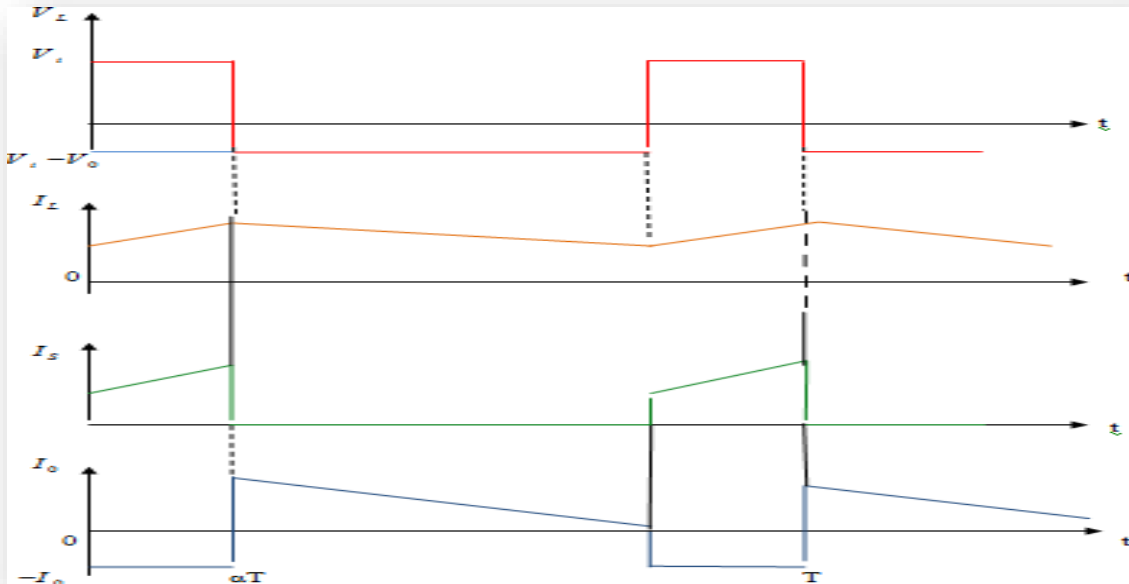


Figure II.7: Caractéristique de la tension et du courant du hacheur Boost. [22]

II.6. la commande MPPT

Par définition, une commande MPPT combinée à un niveau d'adaptation moyen permet à un générateur PV de fonctionner de manière à produire constamment la plus grande quantité d'énergie. Par conséquent, quelles que soient les conditions météorologiques (température et visibilité), la commande du convertisseur fixe le point de fonctionnement du système à son maximum (V_{mpp} , I_{mpp}). Grâce à un convertisseur statique (CS) contrôlé par un MPPT, la chaîne de conversion photovoltaïque sera optimisée. [31], Il peut être illustré par le diagramme de la figure II.8.

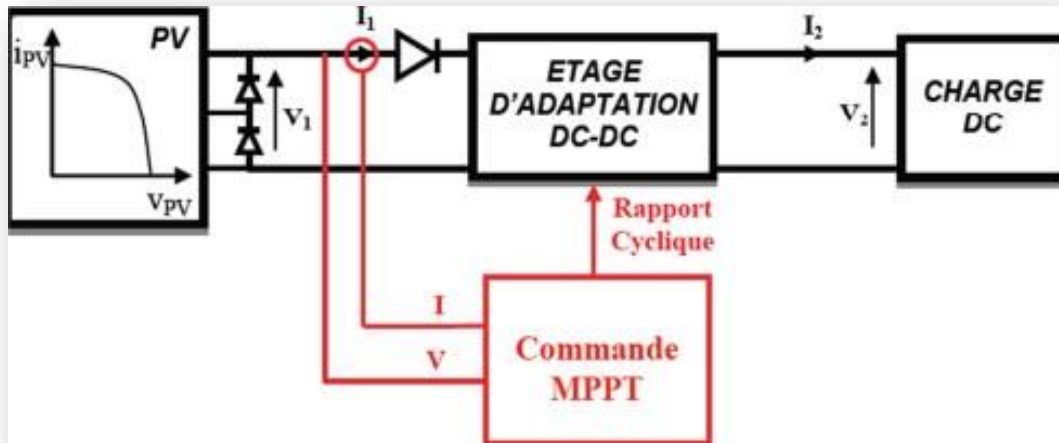


Figure. II.8: Chaîne élémentaire de conversion photovoltaïque. [31]

Un signal électrique approprié est utilisé par la commande MPPT pour modifier le rapport cyclique du stator afin d'extraire la plus grande quantité de puissance que le GPV peut fournir. Pour la recherche MPP, l'algorithme MPPT peut être plus ou moins complexe. En général, il est basé sur la façon dont le rapport cyclique du hacheur change au fur et à mesure que ses paramètres d'entrée (I_{PV} et V_{PV} , et donc la puissance du GPV) changent jusqu'à ce qu'il atteigne le MPP. [4]

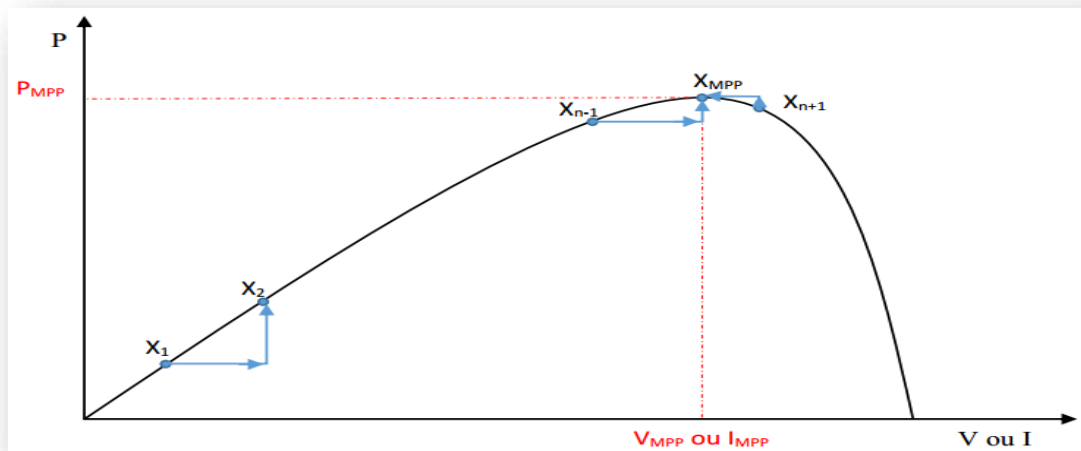


Figure II.9 : Principe de la commande MPPT. [31]

II.7. Classification des commandes MPPT selon le type de recherches

II.7.1. MPPT indirect

Ce type de commande utilise le lien entre les variables mesurées (I_{sc} ou V_{oc}), qui peuvent être facilement déterminées, et la position approximative du MPP. Il existe également des commandes basées sur une estimation du point de fonctionnement du GPV réalisée à partir d'un modèle paramétrique préalablement défini. Il y a aussi des commandes qui établissent un suivi optimal de la tension en tenant compte uniquement des variations de température de la cellule données par un capteur. Ces commandes ont l'avantage d'être simples à mettre en œuvre. Elles sont plutôt destinées à des systèmes peu coûteux et peu précis qui doivent fonctionner dans des zones géographiques où il y a peu de changements climatiques. Parmi ces méthodes, on trouve la méthode de la tension en circuit ouvert du générateur, la méthode du court-circuit, etc. [2]

II.7.2. MPPT direct

Ce type de commande MPPT détermine le point de fonctionnement MPP optimal à partir des courants, tensions ou puissances mesurés dans le système. Il peut donc réagir à des changements imprévisibles dans le fonctionnement du GPV. En général, ces procédures sont basées sur un algorithme de recherche, avec lequel le maximum de la courbe de puissance est déterminé sans interrompre le fonctionnement. Pour ce faire, la tension du point de fonctionnement est augmentée à intervalles réguliers. Si la puissance de sortie est plus élevée, la direction de recherche est maintenue pour l'étape suivante, sinon elle est inversée. Le point de fonctionnement réel oscille alors autour du MPP. Ce principe de base peut être préservé par d'autres algorithmes contre les erreurs d'interprétation. Ces erreurs peuvent se produire, par exemple, en raison d'une mauvaise direction de recherche, résultant d'une puissance élevée due à une augmentation rapide du niveau de rayonnement. Parmi ces méthodes, on peut citer la méthode de différenciation, la méthode Perturbation & Observation (P&O), l'incrément de conductance, etc. [11]

II.8. La Méthode perturbation et observation (P&O)

La méthode la plus souvent utilisée dans l'environnement industriel est la perturbation et l'observation (P&O), car son algorithme est simple à utiliser. Cette approche consiste à perturber le système en modifiant la tension de fonctionnement du module et en observant l'impact sur la puissance de sortie de la gamme. [32]

Lorsque le point de fonctionnement du module PV est sur le côté gauche de la courbe ($\Delta P/\Delta V$ est positif), ce qui signifie que la puissance de sortie du module PV augmente, la perturbation de la tension du module PV devrait être augmentée vers le MPP. Si le point de fonctionnement du module se trouve sur le côté droit de la courbe ($\Delta P/\Delta V$ est négatif), la perturbation de la tension

du module PV doit être réduite pour atteindre la MPP. [24]

En revanche, si la puissance diminue $\Delta P/\Delta V=0$, alors la perturbation a éloigné le point de fonctionnement du MPP. [33]

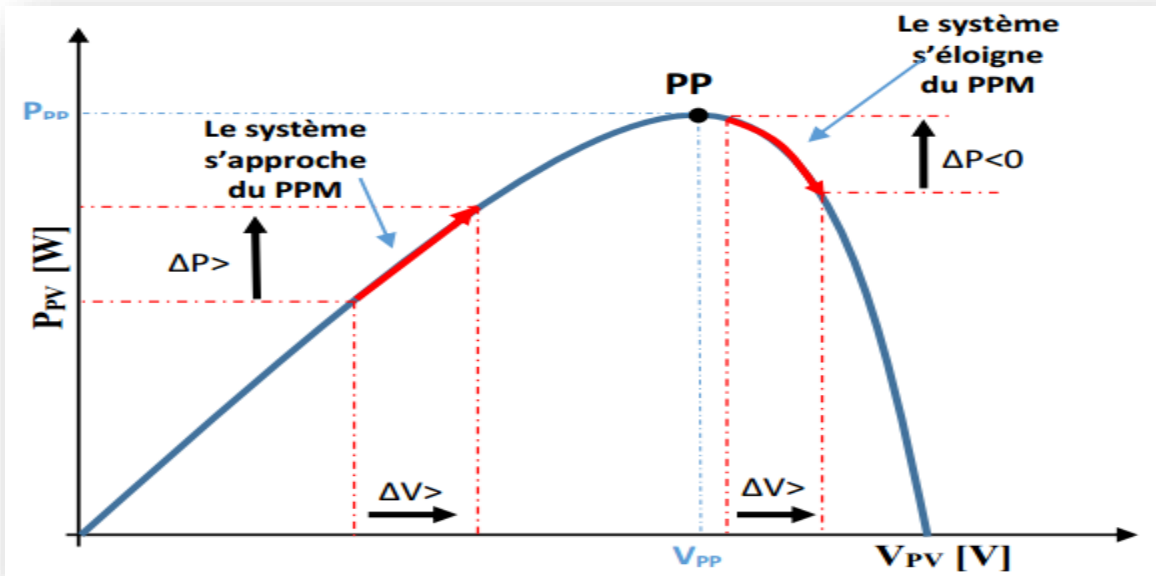


Figure II.10 : Recherche du PPM par la méthode (P&O). [31]

Tableau II.1 résume le principe de fonctionnement de la méthode perturbation et observation.[4]

Perturbation	Changement de la puissance	Perturbation Suivante
Positive	Positive	Positive
Positive	Négative	Négative
Négative	Positive	Négative
Négative	Négative	Positive

La méthode classique illustrée à la Figure II.11 est connectée à une commande MPPT de type P&O, et elle analyse l'évolution de la puissance après chaque changement de tension. Pour déterminer la puissance du PV à tout moment avec cette forme de commande, deux capteurs (courant GPV et tension) sont nécessaires. [23]

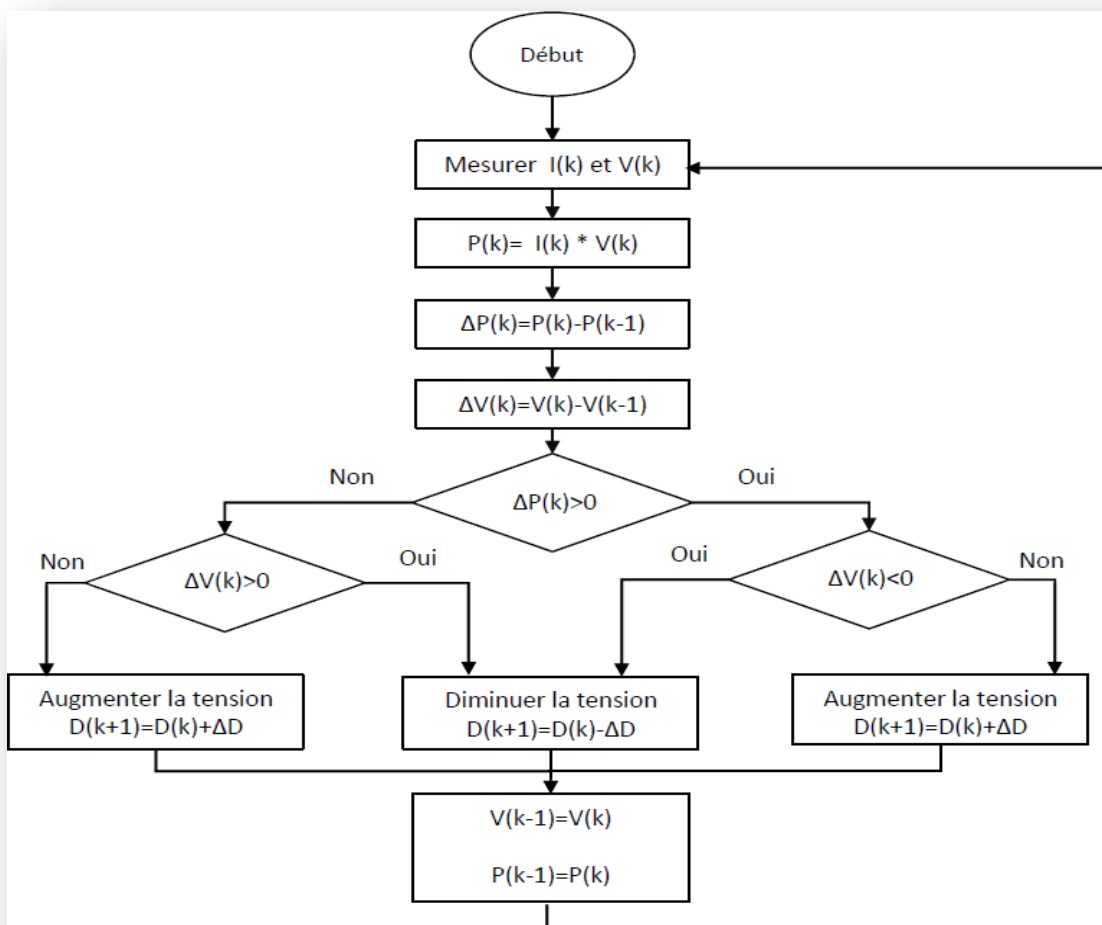


Figure II.12 : L'algorithme de P&O classique.[23]

II.9. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit la modélisation du système photovoltaïque et passé en revue le modèle du convertisseur Boost, qui représente l'étape d'adaptation entre le générateur photovoltaïque et la charge. Le principe de la recherche MPP est ensuite expliqué après l'examen de plusieurs algorithmes MPPT utilisés dans notre recherche, y compris les méthodes de perturbation et d'observation, et enfin, nous nous concentrons sur la méthode MPPT efficace et fiable qui est basée sur des défauts logiques.

Chapitre III

Les réseaux de neurones artificiels



I.1.Introduction

Les réseaux neuronaux artificiels sont l'une des approches de l'intelligence artificielle qui ont été développées en utilisant les mêmes techniques que celles utilisées par les humains pour tenter en permanence d'imiter la nature et de reproduire leurs schémas de pensée et de comportement uniques. [34]

Le premier modèle mathématique d'un neurone biologique a été créé en 1948 par deux chercheurs américains, Mac Culloch et Pitts, et était connu sous le nom de neurone formel. Le concept principal des réseaux neuronaux est le suivant : On donne une unité de base appelée neurone, qui est capable d'effectuer certains calculs élémentaires. Ensuite, un certain nombre de ces unités sont connectées en un réseau capable de résoudre un problème plus complexe. La structure, la taille du réseau et le mécanisme d'apprentissage utilisé dépendent du type et de la complexité de l'application en question. [35]

Dans ce chapitre nous présenterons les réseaux de neurones en général puis nous aborderons en détail la technologie MPPT basée sur les réseaux neurones artificiels.

III.2.Le neurone biologique

Le cerveau humain est constitué d'environ 10^{12} neurones interconnectés, dont aucun n'est identique à un autre ou ne se comporte de la même manière. Dans notre travail, nous nous concentrons sur les principes fondamentaux qui sont essentiels pour comprendre le fonctionnement des réseaux neuronaux. [35]

Son comportement est bien plus mystérieux que celui de ses cellules de base. Il est constitué d'un grand nombre d'unités biologiquement fondamentales, dont chacune transmet et

reçoit des informations (chaque neurone possède entre 1000 et 10 000 synapses). Les composants fondamentaux du système nerveux central sont les cellules nerveuses appelées "neurones". [36]

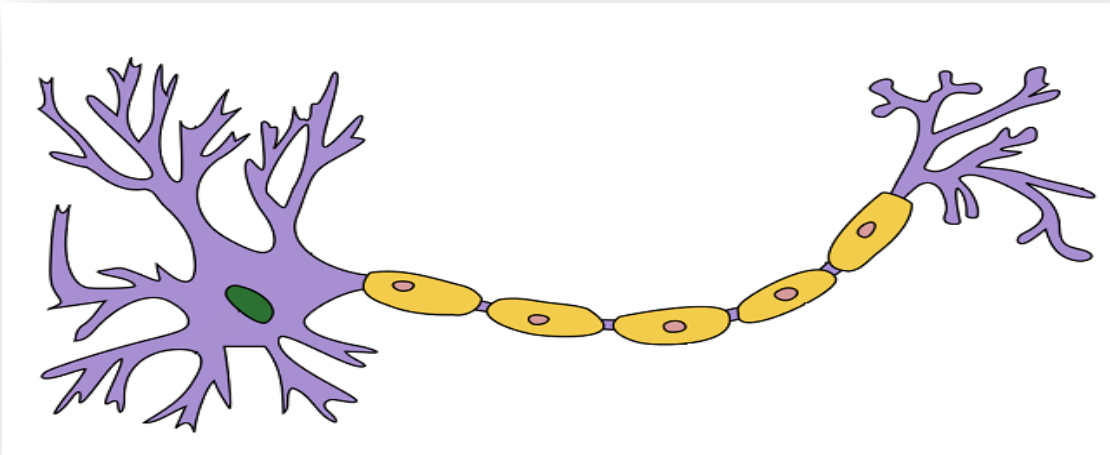


Figure III.1: Le Neurone biologique. [37]

III.3. Constitution du neurone biologique :

Les neurones sont des cellules nerveuses décomposables, en 4 parties principales. [22]

- **Les dendrites**, sur lesquelles les autres cellules entrent en contact synaptique, c'est par les dendrites que les signaux sont reçus.
- **Le corps de la cellule**, c'est l'unité de traitement.
- **L'axone**, ou passage des messages accumulés dans le corps de la cellule, l'envoi de l'information se fait par l'axone.
- **Les synapses**, par lesquelles la cellule communique avec d'autres cellules, sont les points de connexion par lesquels passent les signaux de la cellule.

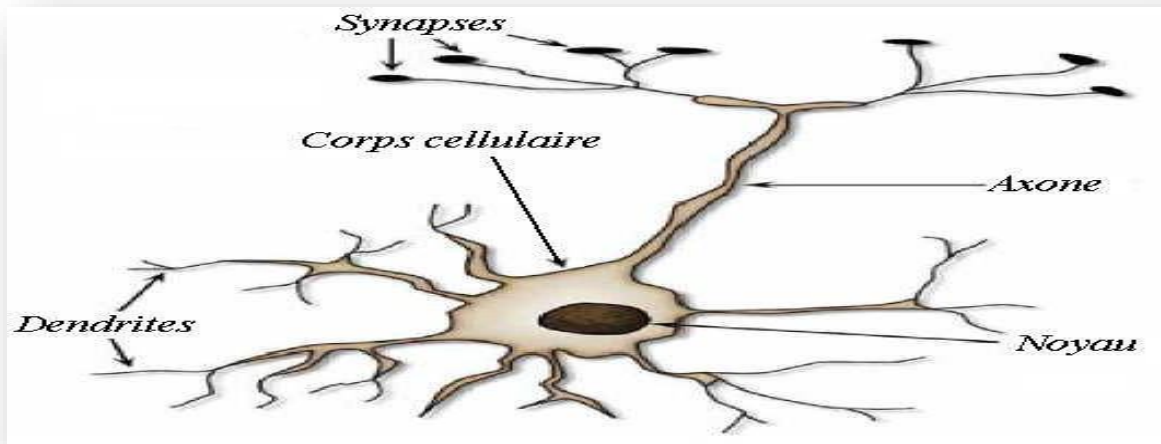


Figure III.2 : Schéma simplifié d'un neurone biologique. [22]

III.4. Structure de neurone biologique :

Le neurone est une cellule composée d'un noyau et d'un corps cellulaire. Les dendrites naissent de la ramification du corps cellulaire. Lorsqu'elles sont trop nombreuses, on parle d'arborisation dendritique ou de chevelure dendritique. Les dendrites sont le moyen par lequel l'information est envoyée de l'extérieur vers le soma, ou corps, du neurone. L'information traitée par le neurone descend ensuite le long de l'axone (unique) jusqu'aux autres neurones. La communication directe entre deux neurones n'est pas possible. La distance réelle entre l'axone du neurone affecté et les dendrites du neurone affecté est de quelques dizaines d'angströms (10-9 m). Les synapses sont les jonctions entre deux neurones. [36]

III.5. Le neurone artificiel (formel)

Un réseau de neurones, souvent appelé réseau artificiel ou réseau neuronal en anglais, est un type de modèle mathématique dont la conception est fortement influencée par le fonctionnement

de neurones réels, qu'ils soient biologiques ou non. Les réseaux de neurones sont typiquement optimisés par des techniques d'apprentissage statistique, bien qu'ils se positionnent dans les familles des applications statistiques, où ils s'enrichissent en permettant la création d'espaces extrêmement grands, fluides et partiellement structurés, et des méthodes d'intelligence artificielle, où ils s'enrichissent en permettant la prise de décisions basées sur des informations contradictoires. [22]

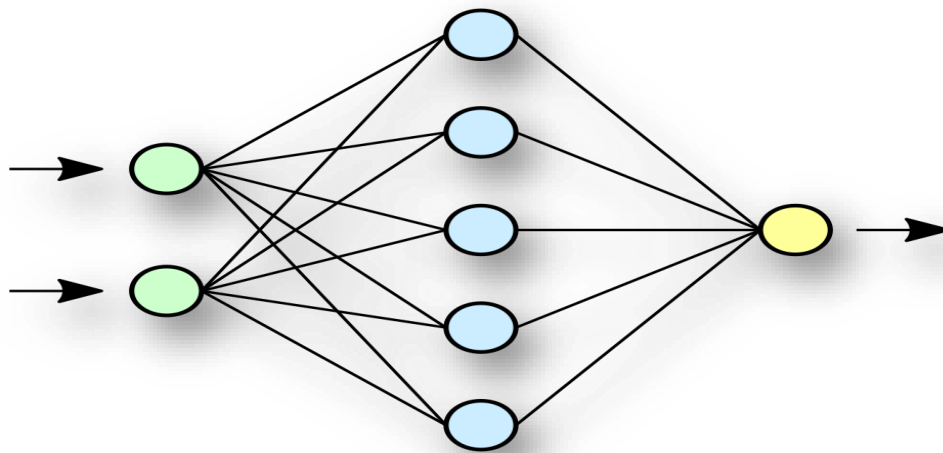


Figure III.3 : Réseau de neurone simplifié. [36]

III.5.1. La structure et Les éléments constitutifs d'un neurone artificiel

Les éléments qui constituent un neurone artificiel sont les suivants:[38]

- ✓ **Les entrées "E"** : du neurone proviennent soit d'autres éléments "processeurs", soit de l'environnement.
- ✓ **Les poids "W"** : indiquent l'influence de chaque entrée.
- ✓ **Entrée de biais** : unité fictive dont le poids permet d'ajuster le seuil du neurone.
- ✓ **La fonction de combinaison "s"** combine les entrées "E" et les poids "W" comme suit :

$$s = \sum_{i=1}^n W_i E_i \quad (\text{III.1})$$

W_i : Poids de la connexion à l'entrée **i**.

E_i : Signal de a l'entrée **i**.

✓ **La Fonction de Transfert "f"** détermine l'état du neurone en sortie "S".

Calcul de la sortie :

$$S = f(s) \quad (\text{III.2})$$

Ou encore :

$$s = f\left(\sum_{i=1}^n W_i E_i\right) \quad (\text{III.3})$$

✓ La fonction de transfert "f" calcule la sortie "S" du neurone en fonction de la combinaison "s" en entrée.

✓ **La sortie** : peut être utilisé en tant que résultat final, ou pour alimenter d'autres neurones.[39]

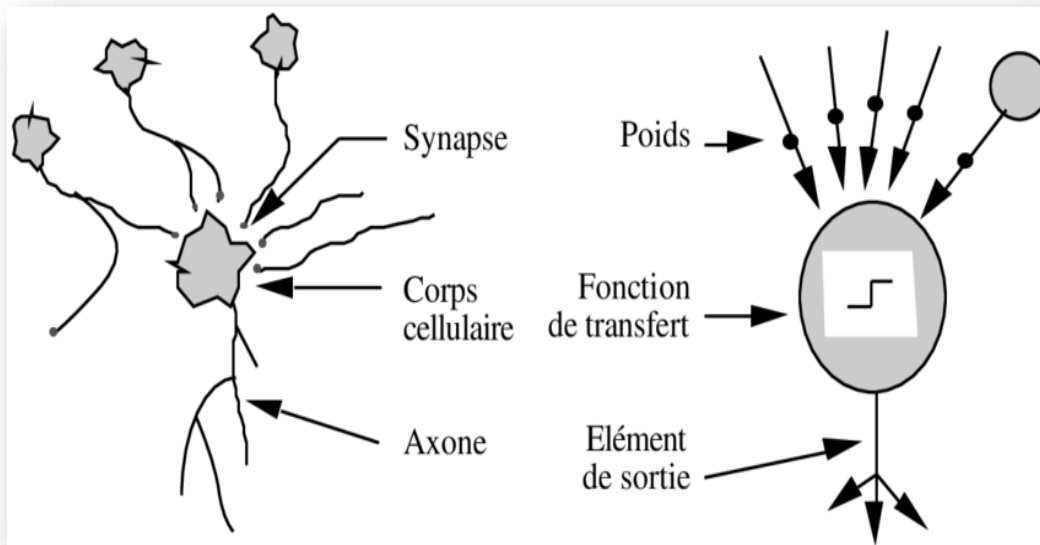


Figure III.4 : mise en correspondance neurone biologique/ neurone artificiel. [36]

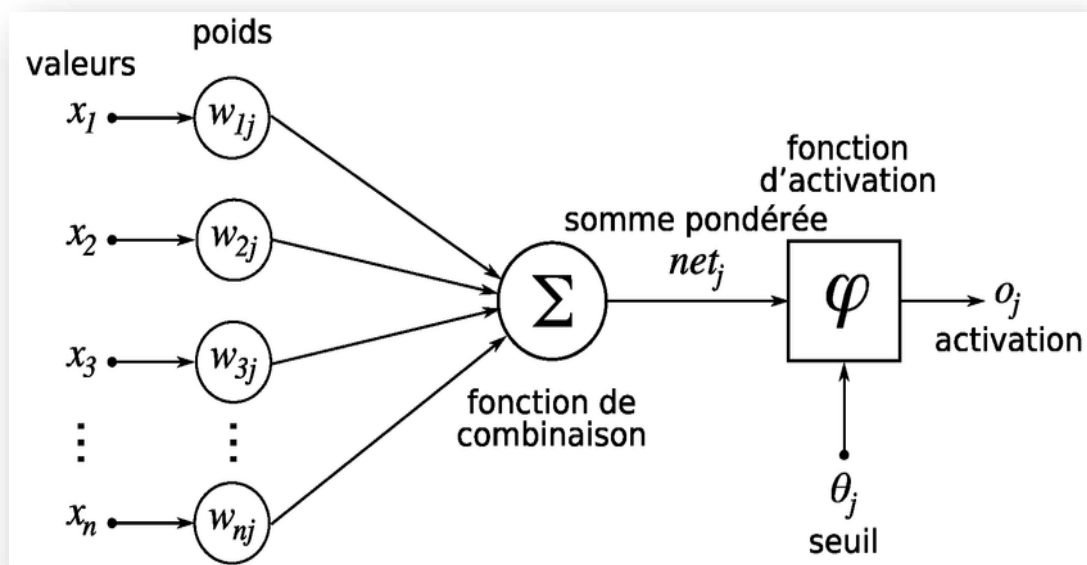


Figure III.5: Structure du neurone artificiel. [36]

Le tableau ci-dessous dévoile les fonctions d'activations les plus utilisées : [39]

Tableau III.1 : les fonctions d'activations.

Categories	Types	Equation	Allure
Seuil	Heaviside	$F(x) = 1 \text{ si } x > 0$ $F(x) = 0 \text{ si } x \leq 0$	
	Signe	$F(x) = 1 \text{ si } x > 0$ $F(x) = -1 \text{ si } x \leq 0$	
Linéaire	Identité	$F(x) = x$	
	Saturé symétrique	$F(x,k) = -1 \text{ si } x < -1/k$ $F(x,k) = 1 \text{ si } x \geq 1/k$ $F(x,k) = kx \text{ sinon}$	
Non linéaire	Sigmoid	$F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	
	Tangent hyperbolique	$F(x) = \frac{2}{1 + e^{-x}} - 1$	

Le tableau III.2 : qui montre la transition entre le neurone biologique et le neurone artificiel. [40]

Table III.2: Analogie entre le Neurone Biologique et le Neurone Artificiel

NEURONE BIOLOGIQUE	NEURONE ARTIFICIEL
Dendrite	Signal d'entrée
Synapses	Poids de connexions
Somma	Fonction d'activation
Axones	Signal de sortie

III.6. Fonctionnement d'un réseau de neurones artificiel

Il est nécessaire de construire un réseau de neurones avant d'utiliser ses capacités de classification et d'approximation ; ce processus se déroule en quatre étapes : [41]

1. La construction de la structure du réseau (généralement empirique).
2. La constitution d'une base de données de vecteurs représentant au mieux le domaine à modéliser. Cette base de données est divisée en deux parties : une partie est utilisée pour apprendre le réseau (nous l'appelons la base de données d'apprentissage) et l'autre partie est utilisée pour tester cet apprentissage (nous l'appelons la base de données de test).
3. Paramétrage du réseau basé sur l'apprentissage. Les vecteurs de données de la base d'apprentissage sont présentés de manière répétée et séquentielle au réseau pendant l'apprentissage. Un algorithme d'apprentissage modifie le poids du réseau pour s'assurer que les

vecteurs sont correctement appris. Le processus d'apprentissage est terminé lorsque l'algorithme atteint un état stable.

4. Chaque vecteur de base de test doit être présenté au réseau pendant la phase de reconnaissance. La réponse du réseau est lue directement sur les unités de sortie et comparée à la réponse prévue, afin de calculer la sortie appropriée. Une fois que le réseau présente des performances respectables, il peut être appliqué pour répondre au besoin qui a motivé son développement.

III.7. Architecture des Réseaux de neurones

La catégorisation des réseaux neuronaux en fonction du mode d'apprentissage a été démontrée ; nous allons maintenant examiner la classification en fonction de l'architecture, qui est elle-même divisée en deux grandes familles : les réseaux feed-forward et les réseaux feed-back. [39]

III.7.a .Les réseaux Feed-forward :

Il s'agit de réseaux dans lesquels l'information se propage successivement d'une couche à l'autre sans retour en arrière. Il en existe : [39]

III.7.a.1 Le perceptron monocouche :

Il se compose d'une voie d'entrée et d'une voie de sortie, ce qui en fait le réseau le plus simple en termes d'architecture et d'implémentation. Ce réseau peut résoudre des problèmes linéairement séparables (tels que les fonctions logiques "OU" ou "AND") ; néanmoins, il convient de noter que tous les neurones d'entrée et de sortie sont connectés. [39] comme le montre la figure suivante :

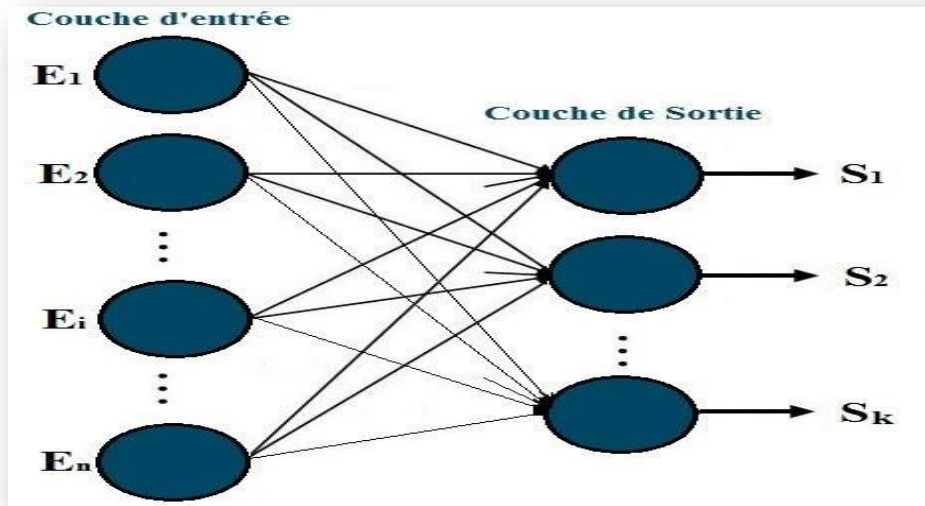


Figure.III.6 : Perceptron monocouche. [39]

E1 : Entrée 1 de la couche d'entrée.

Ei : Entrée i de la couche d'entrée.

En : Entrée n de la couche d'entrée.

S1 : Première sortie du réseau.

Sk : Sortie k du réseau (k étant le nombre de sortie)

III.7.a.2. Le perceptron multicouche (PMC):

Contient des couches superposées entre les couches d'entrée et de sortie, ce qui permet de résoudre des problèmes non linéaires (tels que la fonction logique "XOR"), et les neurones de chaque couche superposée sont connectés à tous les neurones des couches précédentes et suivantes. [39]

Un PMC est représenté par le diagramme ci-dessous :

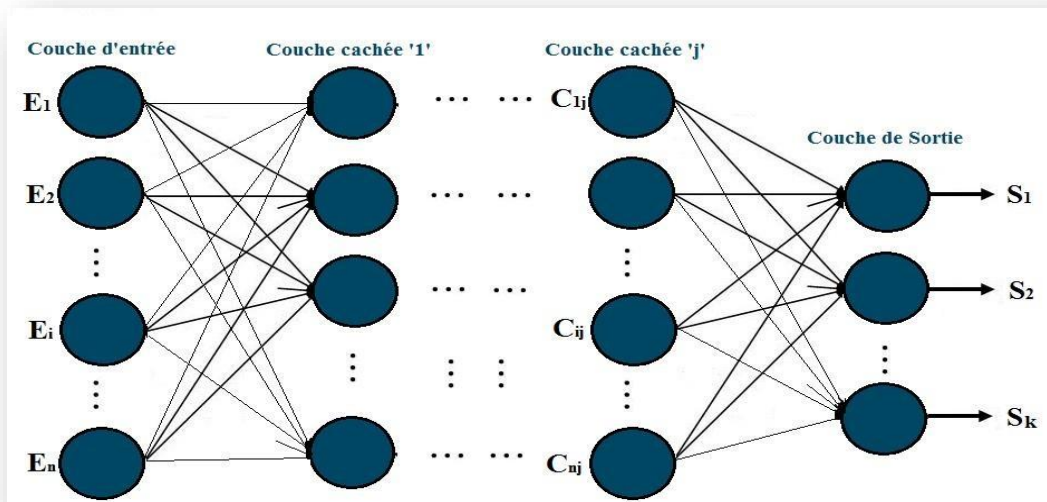


Figure III.7: Perceptron multicouche. [39]

E1 : Entrée 1 de la couche d'entrée

Ei : Entrée i de la couche d'entrée

En : Dernière entrée de la couche d'entrée.

C1j : Premier neurone de la couche cachée j.

Cij : Neurone i de la couche cachée j.

Cnj : Dernier neurone de la couche cachée j (m: nombre de neurones dans la couche cachée j)

S1 : Première sortie du réseau

Sk : Sortie k du réseau (k étant le nombre de sortie).

III.7.a.3. Le réseau à fonctions radiales (RBF):

A la même architecture que le PMC, mais le RBF utilise des fonctions gaussiennes pour activer les neurones, ce qui n'est pas le cas du PMC. [39]

III.7.b .Les réseaux Feed-back :

Appelés aussi "Réseaux récurrents", sont des réseaux dans lesquels le retour en arrière est possible. On y trouve : [39]

III.7.b.1. Cartes auto-organisatrices de Kohonen :

Il s'agit d'un réseau d'apprentissage non supervisé en forme de grille, où chaque nœud représente un neurone lié à un vecteur de poids. [39] L'illustration ci-dessous explique sa structure :

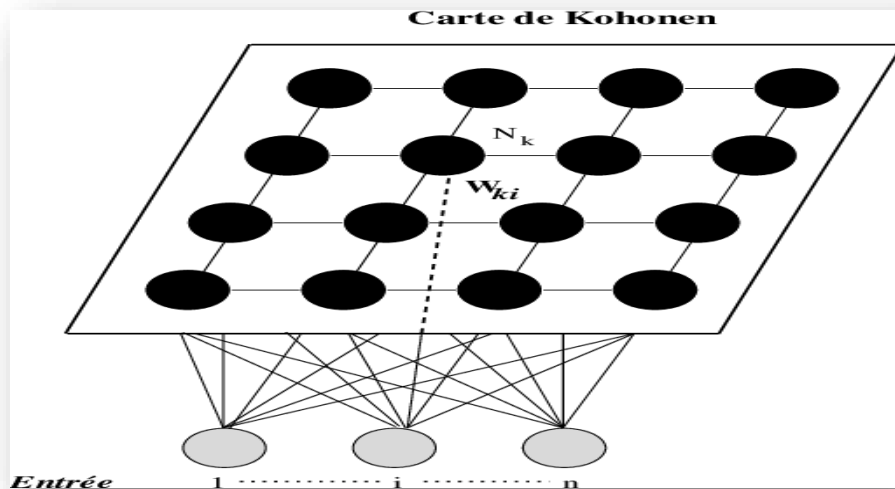


Figure.III.8: Architecture d'un réseau de Kohonen. [42]

III.7.b.2. Réseaux de Hopfield:

Ces réseaux sont entièrement connectés. Chaque neurone de ce type de réseau est relié à tous les autres neurones et il n'y a pas de distinction entre les types de neurones d'entrée et de sortie. Ils sont capables de localiser un élément stocké en utilisant des représentations vagues ou fragmentaires. L'utilisation principale des réseaux Hopfield est l'échange de connaissances, ainsi

que la résolution de problèmes d'optimisation. La méthode d'instruction utilisée est la méthode non supervisée. [39]

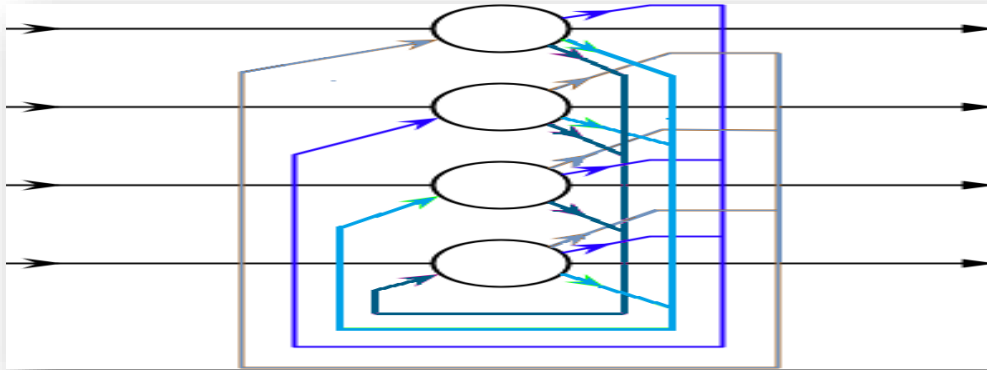


Figure.III.9: Architecture d'un Réseau de Hopfield. [39]

III.7.b.3. Réseaux ART (Adaptive Resonance Theory) :

Le réseau ART est composé d'un canapé caché et d'un canapé d'entrée qui sert de canapé de départ. L'expression "cache couch" est utilisée pour désigner un réseau multicouche. La question de la "stabilité/plasticité" pose le plus grand problème dans ces types de réseaux. En fait, le seul scénario qui pourrait garantir la stabilité serait que le coefficient d'apprentissage tende vers zéro, mais cela réduirait la plasticité du réseau. Les ART ont été créés spécifiquement pour répondre à ce problème. Dans ce type de réseau, les vecteurs de poids ne seront ajustés que si l'entrée fournie est suffisamment proche d'un prototype connu. Ensuite, nous parlerons de la résonance. La méthode d'apprentissage des ART peut être supervisée ou non. [39]

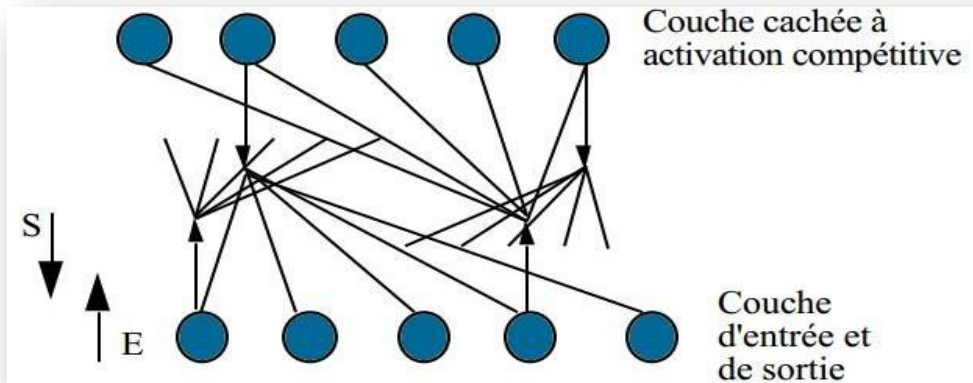


Figure III.10: Réseau ART.1

III.7.C .Réseau à connexion complète :

C'est la structure d'interconnexion la plus générale. Chaque neurone est connecté à tous les neurones du réseau (et à lui-même). [41]

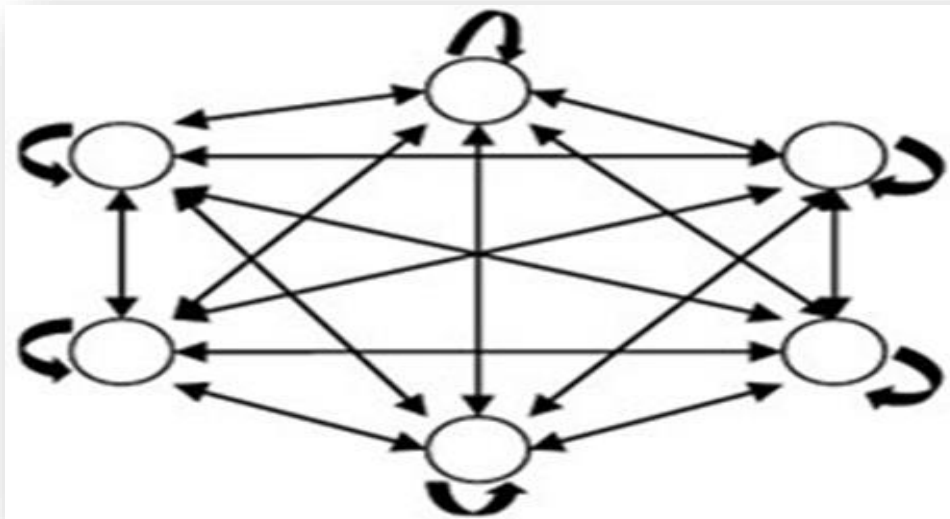


Figure.III.11:Réseau à connexion complète. [41]

III.8. Correspondance et applications de réseaux RNA

Le tableau suivant résume en général la correspondance entre les types de réseaux et les applications les plus appropriées pour ces derniers. Une étude plus détaillée et plus complète sur les applications des SNA dans les environnements industriels. [36]

Tableau III.3 : la correspondance entre les types de RNAs.

Caractéristiques fonctionnelle	Type de RNA
Reconnaissance de formes	MLP, Hopfield, Kohonen, PNN
Mémoires associatives	MLP récurrent, Hopfield, Kohonen
Approximation de fonctions	MLP, RBF
Optimisation	Hopfield, ART, CNN
Classifications et clustering	MLP, Hopfield, Kohonen, PNN, ART, RBF
Modélisation et control	MLP récurrent, MLP, FLN
Traitement d'images	CNN, Hopfield

III.9. Le choix de l'architecture des RNA

Pour obtenir un système fonctionnel ou au moins efficace, il est essentiel de choisir l'architecture ARN appropriée. Or, un certain nombre de facteurs doivent être pris en compte lors de la conception, dont les plus cruciaux sont les suivants : [43]

- Le nombre d'entrées et de sorties.
- Le nombre de couches de neurones.
- Le nombre de neurones sur chaque couche.
- Les interconnexions entre les couches (récuratif ou non-récuratif).

- La fonction d'activation.

III.10. Apprentissage des réseaux de neurones

Incontestablement, la caractéristique la plus importante d'un réseau de neurones est sa capacité à apprendre de son environnement et à améliorer ses performances par le biais d'un processus éducatif. Une phase du développement d'un réseau neuronal appelée apprentissage se produit lorsque les poids synaptiques du réseau sont ajustés pour servir au mieux la tâche pour laquelle il a été conçu. [35] On peut distinguer trois types :

III.10.1. Apprentissage supervisé

L'apprentissage supervisé : implique l'introduction de plusieurs ensembles de données (attributs et identifiants) qui ont déjà été définis et étudiés par un expert ; dans la première phase, le réseau apprend ces échantillons en minimisant la différence entre la sortie souhaitée et la sortie obtenue, suivie de la deuxième phase où le réseau prédit la sortie sur la base de ce qu'il a appris précédemment. [39]

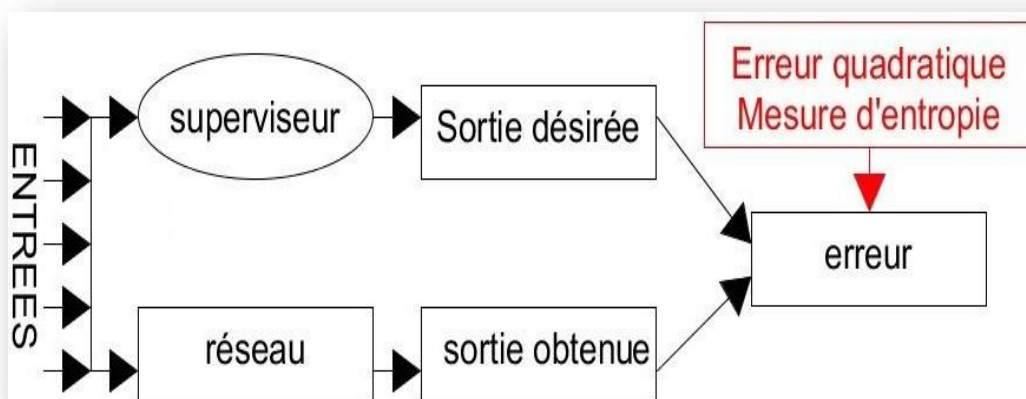


Figure III.11 : Apprentissage supervise. [38]

III.10.2. Apprentissage non- supervisé

L'ajustement des poids à partir d'un ensemble d'apprentissage unique, entièrement basé sur des données, est un apprentissage non supervisé. Aucun résultat souhaité n'est fourni par le réseau. L'avantage de ce type d'apprentissage réside dans son importante capacité d'adaptation, reconnue comme un processus d'"auto-organisation". [44]

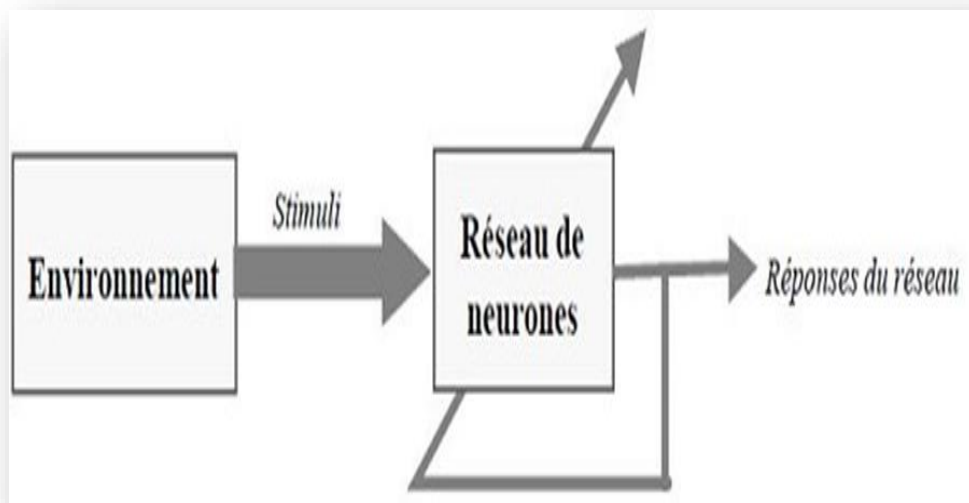


Figure III.12 : Illustration de l'apprentissage non supervisé. [44]

III.10.3. Apprentissage par renforcement

Il s'agit d'un processus d'apprentissage qui élabore et assimile une critique à la fin de chaque exemple traité par le machine Learning. En effet, l'algorithme de critique utilise des indications imprécises sur le comportement final "échec ou succès" du réseau à travers le vecteur de variables explicatives de la Figure III.13. L'ajustement des poids du réseau ne se fait qu'à partir d'une simple évaluation de la qualité de sa réponse. [45]

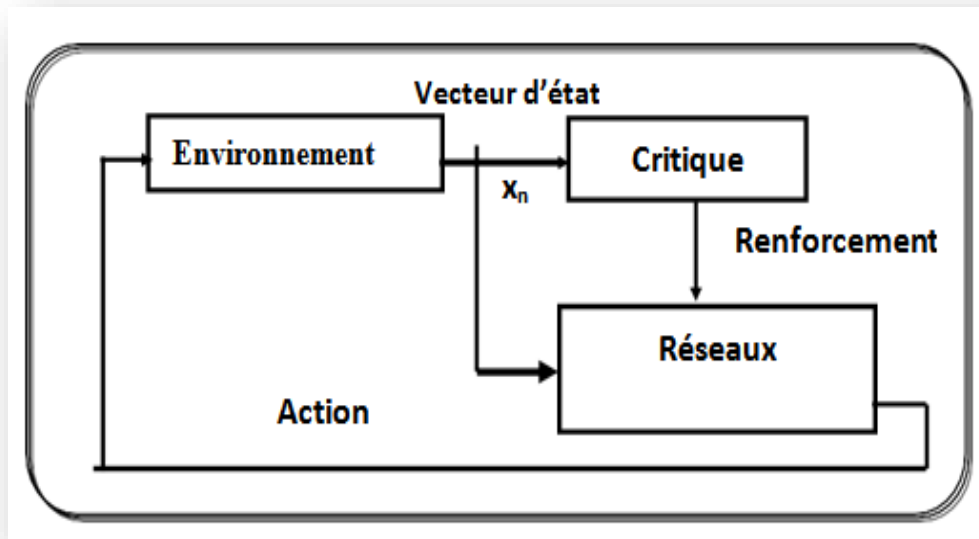


Figure III.13 : Principe de l'apprentissage par renforcement.

III.11. Les règles d'apprentissages

III.11.1. La règle d'apprentissage de Hebb

La première régulation de l'apprentissage, sans conteste la plus connue, a été introduite par Donald Hebb. La description se trouve dans son livre de 1949 *The Organization of Behavior*. Ses règles fondamentales sont les suivantes : Lorsque deux neurones reçoivent une entrée l'un de l'autre et qu'ils sont tous deux très actifs (avec le même signe mathématique), le poids entre les neurones doit être renforcé. [38]

Loi de Hebb :

$$\Delta W_{ij} = R a_i a_j \quad (\text{III.4})$$

III.11.2.Loi de Hopfield

A l'exception du fait qu'elle précise l'ampleur du renforcement ou de l'affaiblissement, elle est similaire à la réglementation de Hebb. Elle stipule que le poids de la connexion doit être augmenté, que les arbres de sortie et d'entrée soient tous les deux actifs ou tous les deux inactifs.[38]

Loi de Hopfield :

$$\Delta W_{ij} = R a_i a_j \quad (\text{III.5})$$

III.11.3.Loi Delta rule (Regle de Widrow – Hoff)

Cette régulation est une alternative à la régulation de Hebb. Elle repose sur la notion simple que la différence (le delta) entre la valeur souhaitée de la sortie et la sortie réelle d'un composant de traitement peut être réduite en modifiant continuellement les forces des connexions d'entrée (poids des synapses). [38]

Widrow –Hoff:

$$\Delta W_{ij} = R a_i (a_j - W_{ij}) \quad (\text{III.6})$$

III.12.Domains d'application et mise en œuvre de RNA

Il y a de nombreux domaines à mentionner : [45]

- ✓ Robotique et Capteurs
- ✓ La modélisation de processus dynamiques non linéaires
- ✓ La commande de processus
- ✓ La classification et Reconnaissance des formes

- ✓ Traitement de signal

III.13. Avantages et inconvénients des RNA

Avantage : [46]

- ✓ Capacité à représenter n'importe quelle fonction, linéaire ou non, simple ou complexe.
- ✓ Enseignement à partir d'exemples représentatifs selon la méthode de la "rétro propagation des erreurs". L'apprentissage se fait automatiquement.
- ✓ Résistance au bruit ou au manque de fiabilité des données.
- ✓ Elle est facile à réaliser et nécessite beaucoup moins de temps de la part du personnel qu'une analyse statistique traditionnelle.

Inconvénients : [46]

- ✓ L'absence de méthode analytique pour déterminer la meilleure topologie du réseau et le nombre de neurones à placer dans les couches cachées.
- ✓ Le choix des valeurs de poids de départ du réseau et la définition du chemin d'apprentissage, qui ont un impact significatif sur la vitesse de convergence.
- ✓ Le problème du sur apprentissage (apprentissage au détriment de la généralisation).

III.14. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur la similitude neurone biologique / neurone artificiel, puis nous nous sommes intéressés plus particulièrement à l'étude d'une architecture de ce neurone artificiel, leurs différents types, leurs modes de fonctionnement ainsi que le type et la règle d'apprentissage, Enfin, nous avons terminé par les domaines d'application et de mise en œuvre et leurs avantages et inconvénients.

Chapitre IV

Simulation et Résultat et Discussion du Système PV

IV.1.Introduction

Selon la partie théorique de notre travail qui dépend de certains concepts sur le système PV, avec des technologies respectueuses MPPT qui est la technologie P&O et réseaux neurone. Dans ce chapitre, nous commencerons les résultats de la simulation de générateurs PV sur MATLAB, ainsi que la simulation de l'adaptateur BOOST all ça pour déduire et étudier la technologie réseaux neurone et la commande MPPT« P &O » et son impact sur les propriétés de sortie.

IV.2 Simulation du système photovoltaïque

La Figure IV.1représente le schéma bloc d'un générateur PV alimentant une charge R avec l'intermédiaire d'un convertisseur BOOST, nous prenons en compte la mise en œuvre de l'algorithme P&O pour déterminer le rapport cyclique afin d'obtenir la puissance maximale.

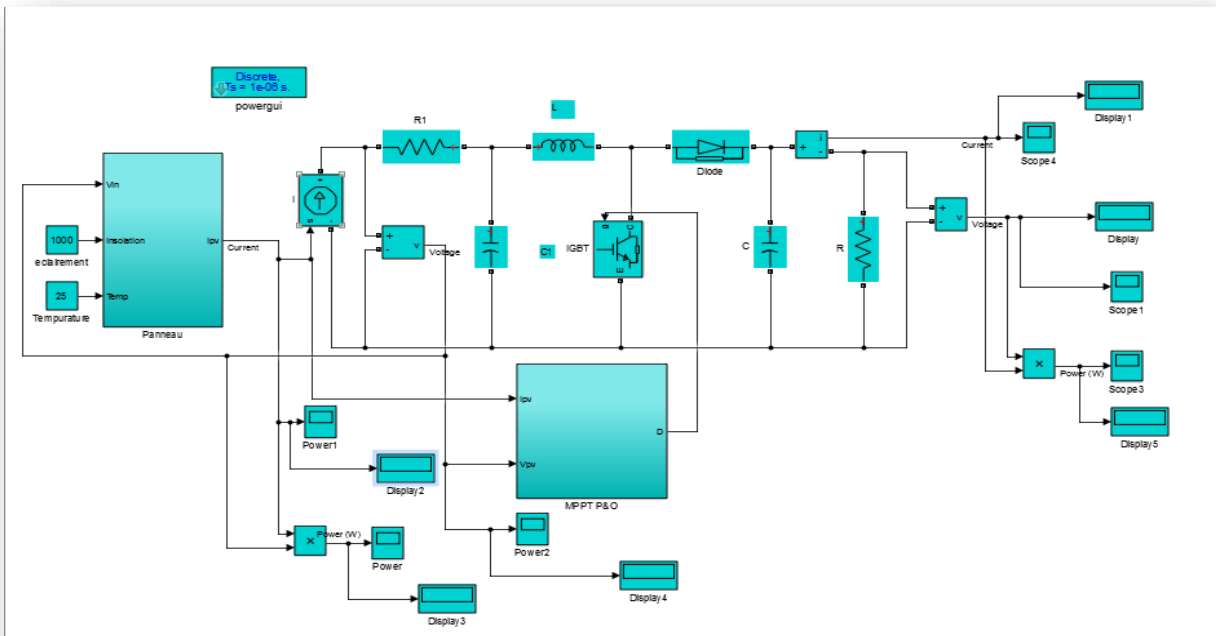


Figure IV.1 Schéma bloc sous Simulink du système global

IV.2.1 Simulation d'un GPV

Le module photovoltaïque est l'assemblage des cellules photovoltaïques reliées généralement en série pour générer un courant continu d'une puissance électrique suffisante. Pour simuler le comportement du GPV, nous avons utilisé le logiciel Matlab/Simulink en se basant sur le modèle mathématique décrit dans le chapitre II. L'implémentation sous Simulink du modèle mathématique du GPV est illustrée sur la Figure IV.2 sous les conditions la température 25°C et une irradiation de 1000 W/m^2 . les paramètres utiliser de ce générateur sont illustrer dans le Tableau III.1. Les caractéristiques $I(V)$ et la puissance sont représentées sur les Figures IV.3 et IV.4.

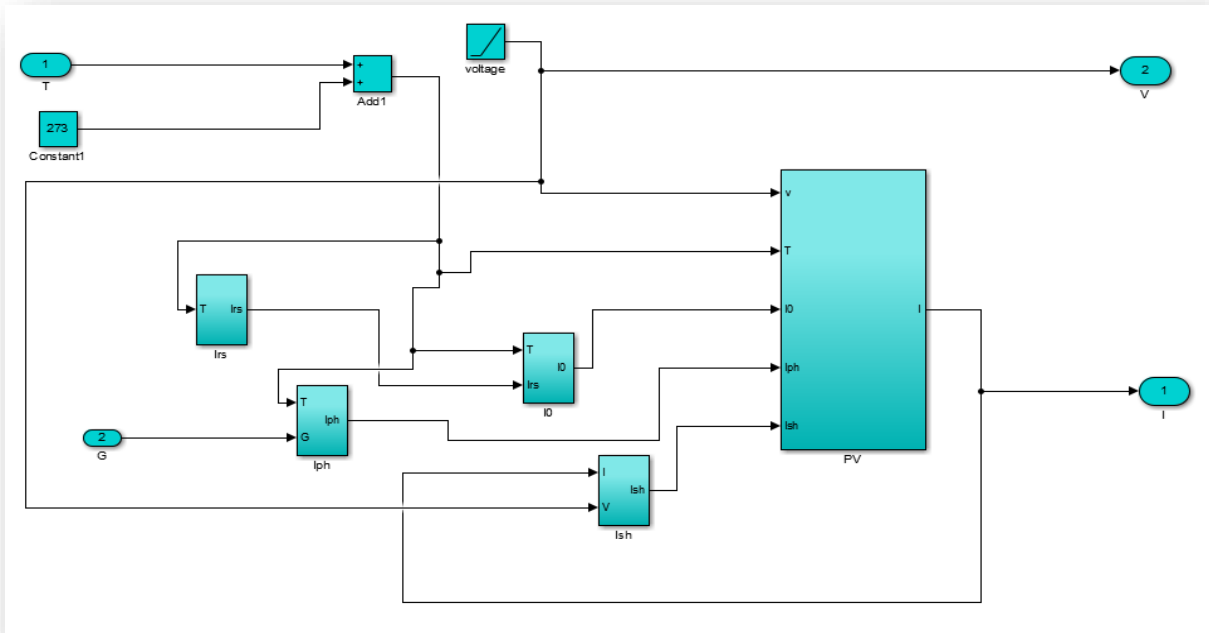


Figure IV.2 Modèle de simulation du GPV

Tableau IV.1 Paramètres panneau photovoltaïque.

Paramètres	Symbole	Unité	valeur
Tension de circuit ouvert	V_{oc}	Volte(V)	32.9
Courant de circuit ouvert	I_{sc}	Ampère(A)	8.21
	R_s	Ohms(Ω)	0.221
Résistance parallèle.	R_{sh}	Ohms(Ω)	415.405
Nombre de cellule	N_c	Cellule	54
Irradiation	I_r	Watt/mètre carré W/m^2	1000
Température de la cellule	T	Celsius ($^{\circ}C$)	25 $^{\circ}C$
Coefficient de la température de court-circuit.	K_i	A/K	0.0032
Charge d'électrons	Q	Coulombs(C)	$1.6 * e - 19$
La constante de Boitzman	K	J/K	$1.38 * e - 23$
Facteur de qualité de la diode	A	/	1.3
Tension de seuil de la diode	E_{g_0}	électrons Volte (eV)	1.1
Température	T_n	Kelvin(K)	298
Puissance max	P_{max}	Watt(W)	200

IV.2.1.1. Résultat du générateur (GPV) à éclairement et température (conditions climatiques) Constante

Lorsque la température du panneau est de 25°C et que l'éclairement est de 1000 W/m², les courbes suivantes liées aux caractéristiques de courant et de puissance sont obtenues :

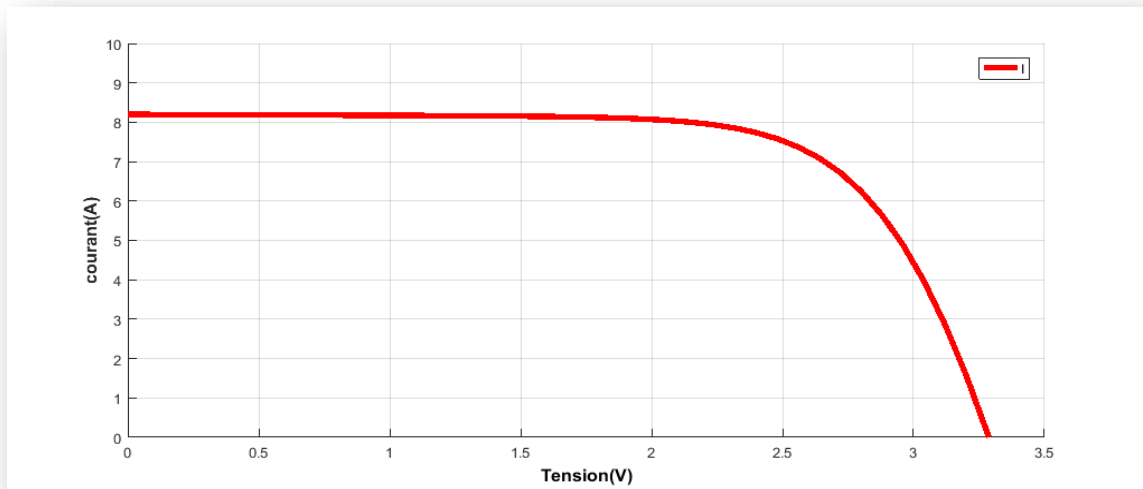


Figure IV.3 : Caractéristique PV courant / tension.

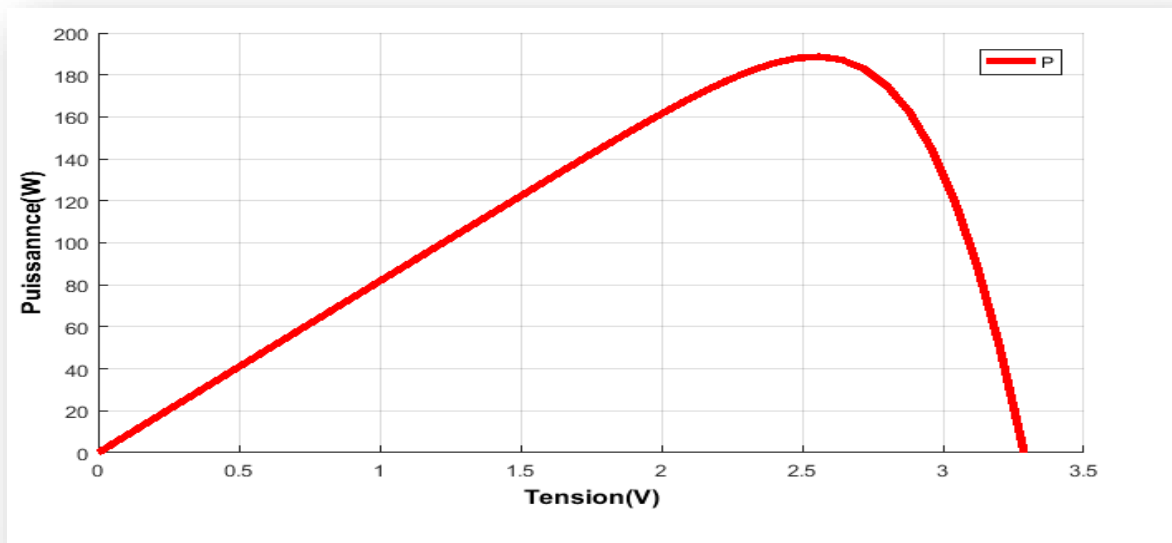


Figure IV.4 : Caractéristique PV puissance / tension.

On peut remarquer que le courant de sortie fourni et la puissance de notre générateur PV sont 8.20 A et 190W respectivement, On note aussi qu'il y a toujours un point de force maximale, qui se situe sur un coude Caractéristique.

IV.2.1.2. Résultat du générateur (GPV) à éclairage et température (conditions climatiques) variable

a) Influence de la température

La température a une influence notable sur le rendement d'une cellule photovoltaïque, Pour une température qui change de de 25°C à 50°C à 75°C et un éclairage constant (1000W/m²), on peut voir les courbes suivantes :

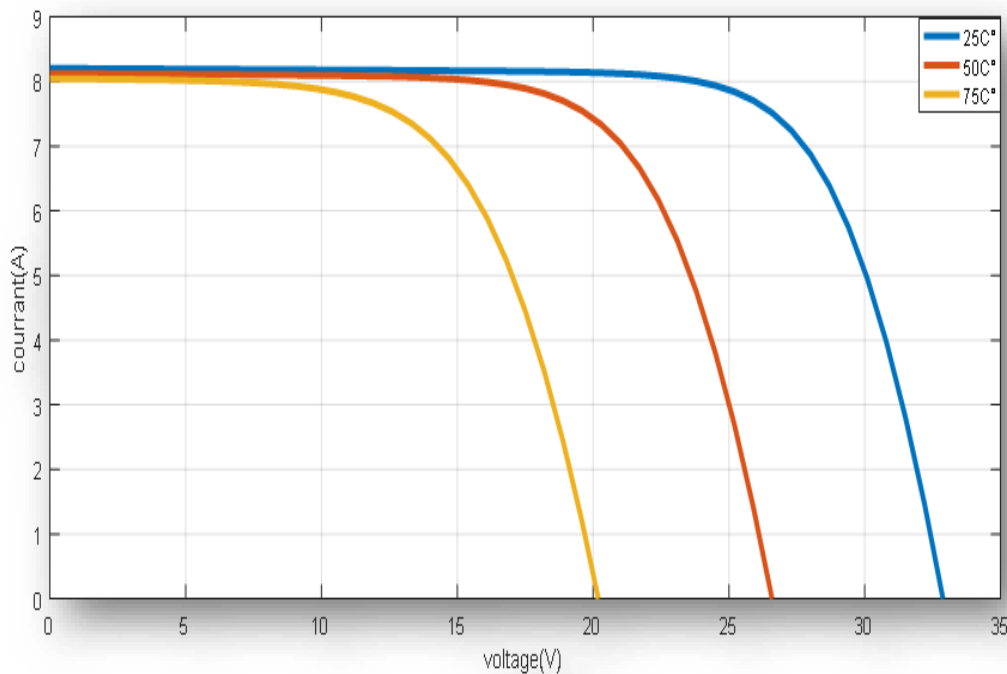


Figure IV.5 : Caractéristiques courant-tension pour différents températures

Dans la figure IV.5, Nous remarquons que lorsque nous augmentons la température, la tension diminue, et donc le courant diminue, nous en concluons qu'il existe une relation inverse entre la température, la tension et le courant. Par contre, on constate que le courant de court-circuit augmente légèrement avec la température du module PV.

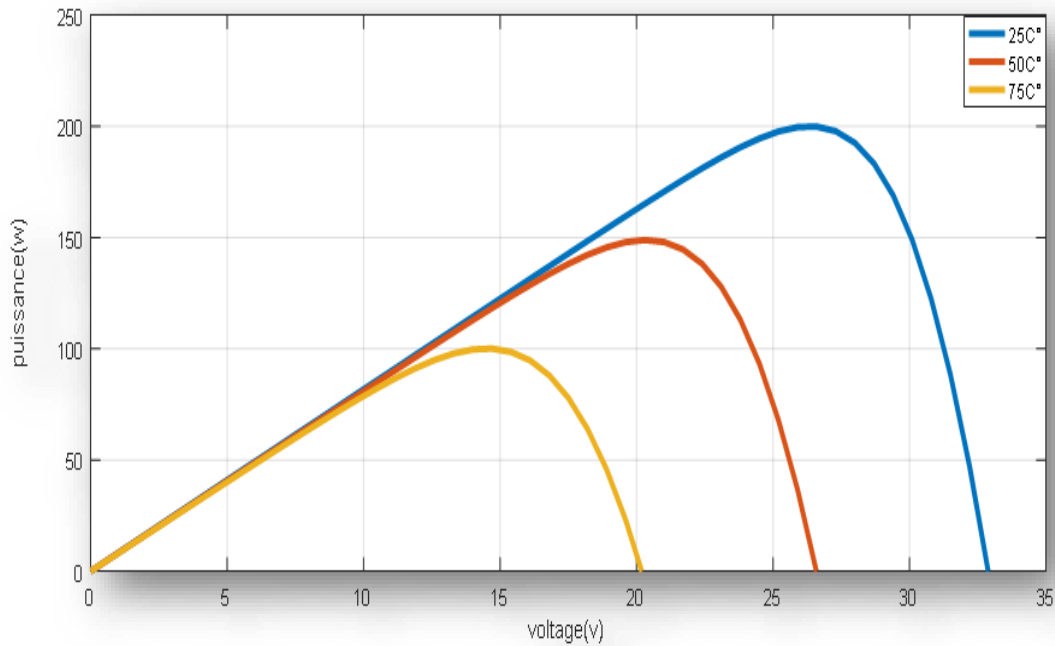


Figure IV.6 : Caractéristiques puissance-tension pour différents températures.

Dans la figure IV.6, Nous remarquons que lorsque nous augmentons la température, la tension diminue, et donc la puissance diminue, nous en concluons qu'il existe une relation inverse entre la température, la tension et la puissance.

b) Influence de l'ensoleillement

Pour vérifier la fiabilité de notre source photovoltaïque on va traiter l'influence de l'irradiation (figure III.7) sur la caractéristique courant-tension, Pour un éclairement qui change de 1000W/m^2 à 800W/m^2 à 600W/m^2 et une température constant (25°C), on peut voir les courbes suivantes :

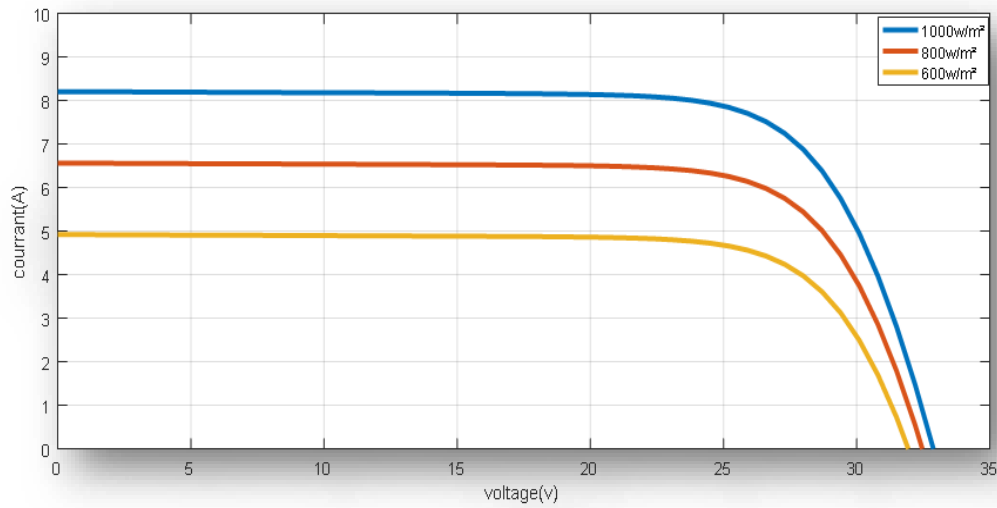


Figure IV.7 : Caractéristiques courant-tension pour différents éclairement.

Dans la figure IV.7, Nous remarquons que lorsque l'éclairement augmente, la tension augmente et donc le courant augmente, et nous concluons qu'il existe une relation directe entre l'éclairement, la tension et le courant.

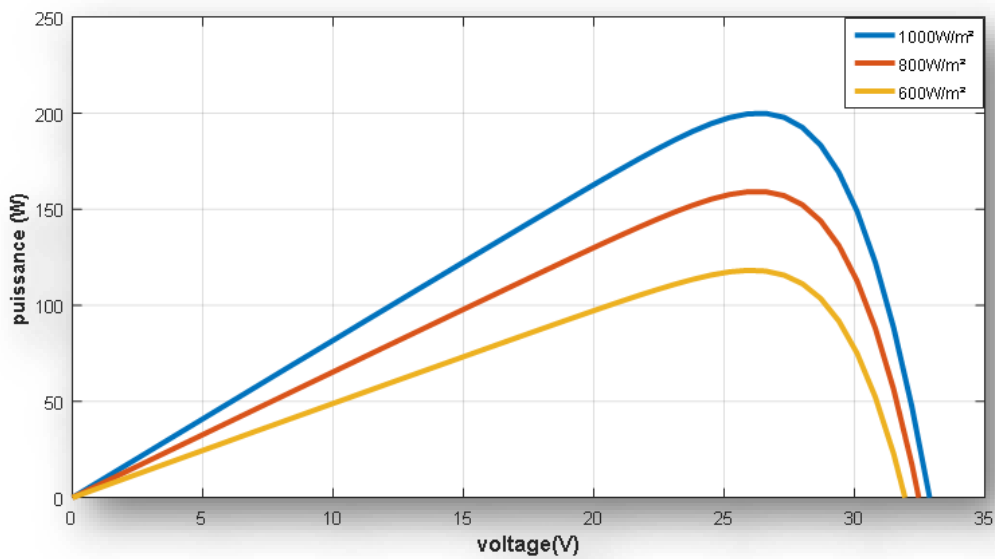


Figure IV.8 : Caractéristiques puissance -tension pour différents éclairement.

Dans la figure IV.8, Nous remarquons que lorsque l'éclairement augmente, la tension augmente et donc la puissance augmente, et nous concluons qu'il existe une relation directe entre l'éclairement, la tension et la puissance.

Les résultats de simulation nous ont montré que les caractéristiques des panneaux photovoltaïques changent avec l'évolution des conditions climatiques (l'éclairement et température). Enfin, à partir des deux expériences, nous concluons que les meilleures conditions de puissance L'optimum pour ce système photovoltaïque est à une température de 25°C et un éclairement de 1000 W/m².

IV.3. Simulation du convertisseur BOOST

Nous sommes obligés d'utiliser le convertisseur (Boost) comme solution pour augmenter et stabiliser la tension pour l'instabilité des performances de sortie du GPV due aux changements météorologiques (G, T).

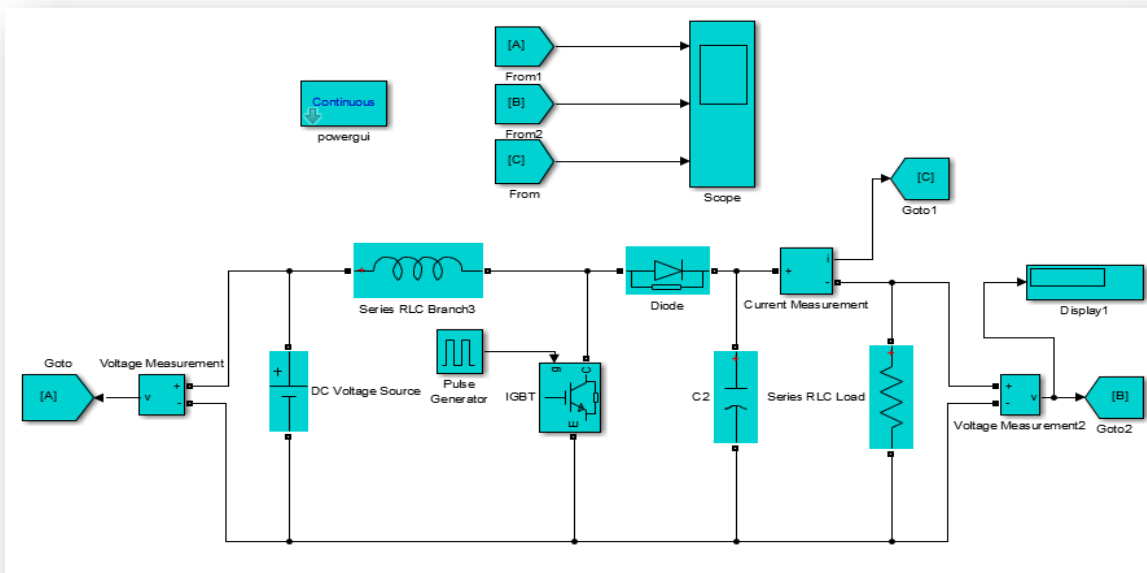


Figure IV.9 : Modèle de simulation du convertisseur BOOST.

Tableau IV.2 : Paramètres du convertisseur DC-DC boost.

DC voltage source(VS)	12V
Largeur d'impulsion	0.5
Période(T)	1/40000s
L	4e-4H
C2	50e-6F
R	7.5Ω

IV.4. Simulation de la commande MPPT (P&O)

Nous avons produit des modèles de simulation pour les algorithmes P&O représentés dans la figure IV.10.

Les conditions idéales conventionnelles sont très rarement respectées dans la pratique, et leur fluctuation est imprévisible et aléatoire. Les caractéristiques de courant-tension et de puissance-tension sont directement influencées par les variations de l'ensoleillement et de la température. C'est pourquoi l'intégration d'une commande MPPT est nécessaire et obligatoire.

Le contrôle MPPT modifie la relation cyclique du transformateur statique en utilisant un signal électrique approprié pour extraire la puissance maximale que le GPV peut fournir.

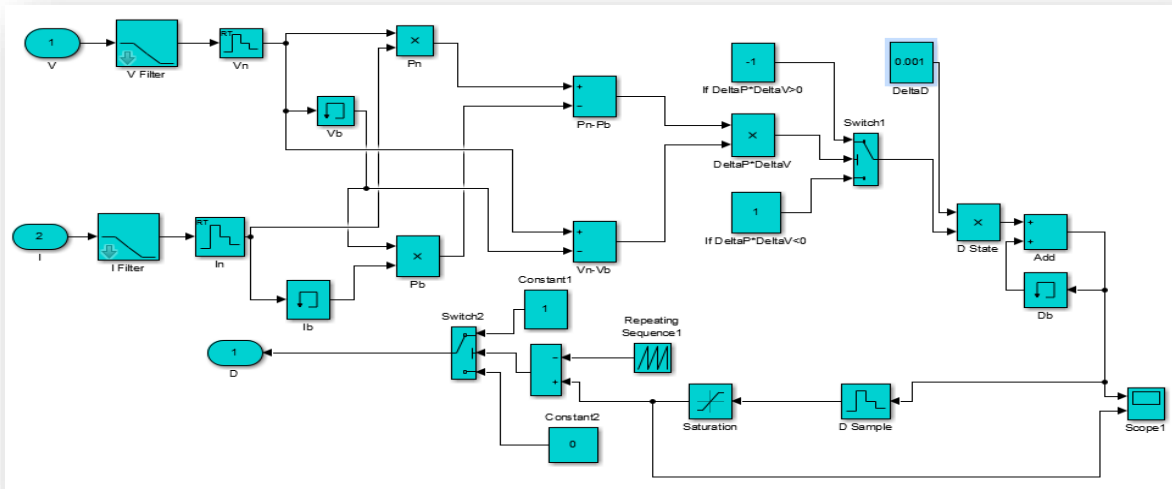


Figure IV.10 : Schéma de block de la commande MPPT (P&O).

IV.4.1. Résultats de cette simulation

Les résultats de simulation adaptée par la commande MPPT « P&O » représentent par les figures suivant :

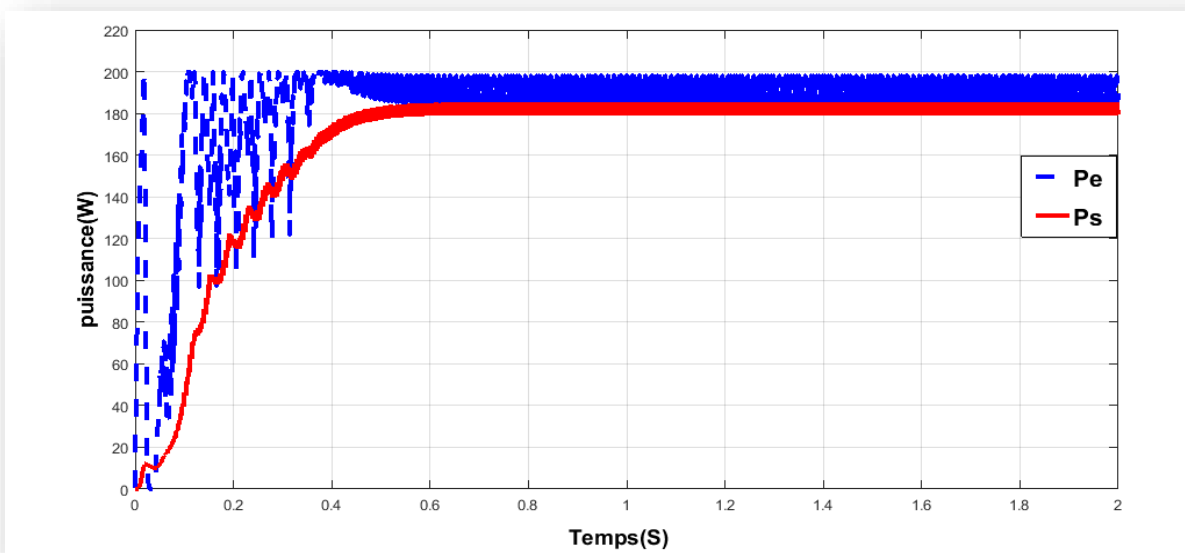


Figure IV.11 : la Puissance de sortie et d'entrée du GPV.

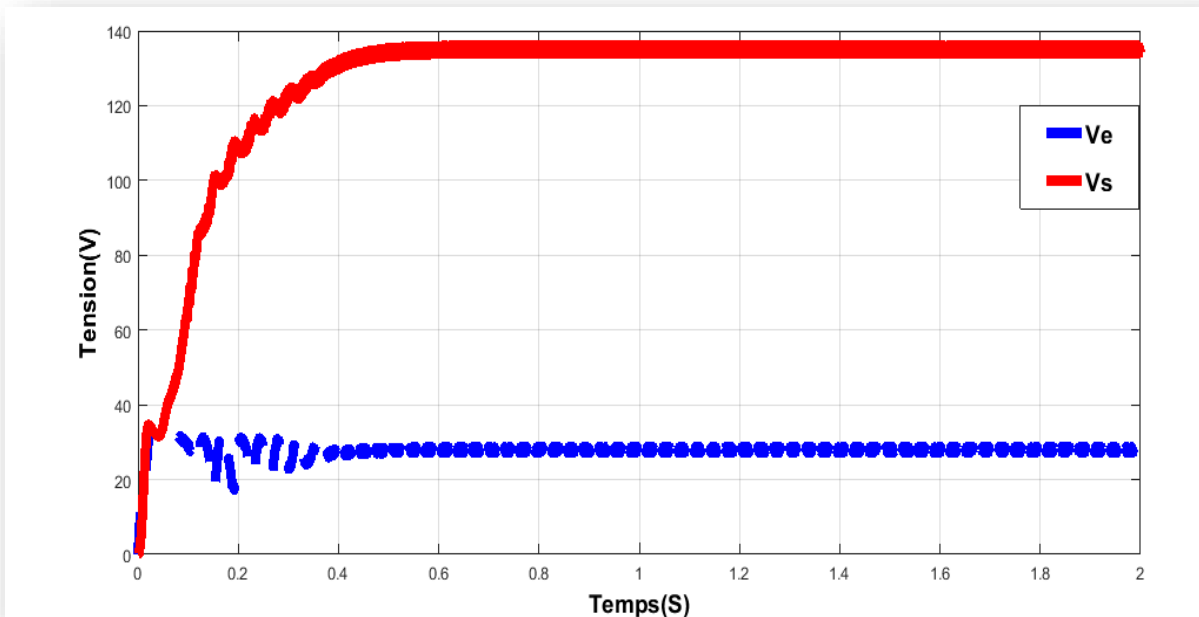


Figure IV.12 : la tension de sortie et d'entrée du GPV.

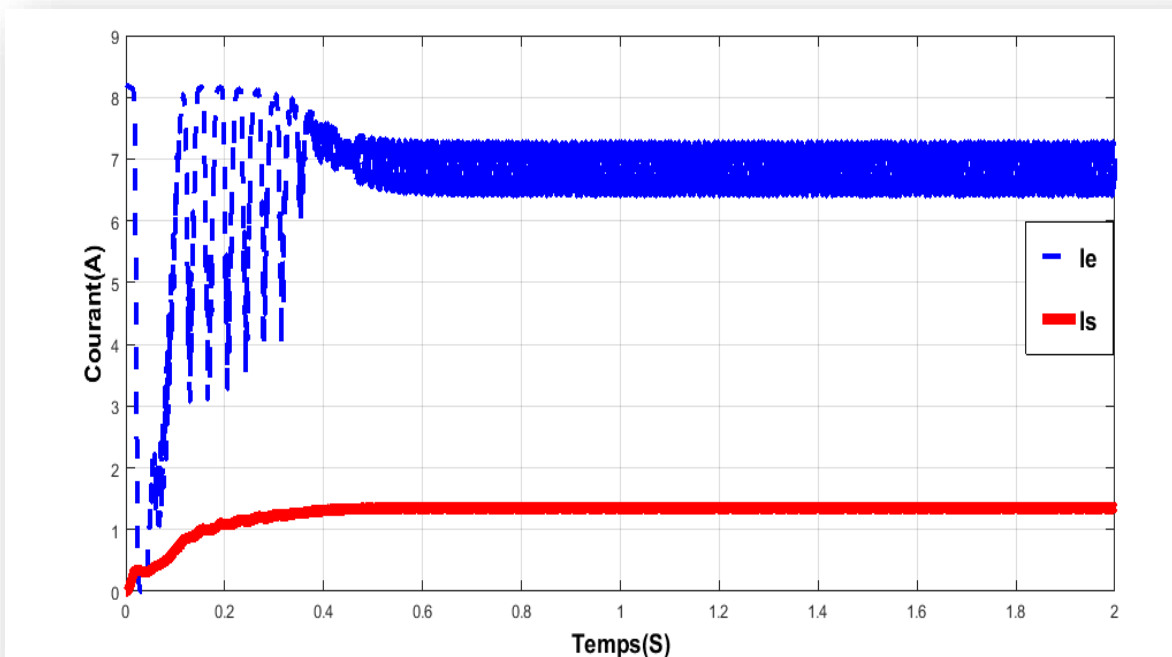


Figure IV.13 : le Courant de sortie et d'entrée du GPV.

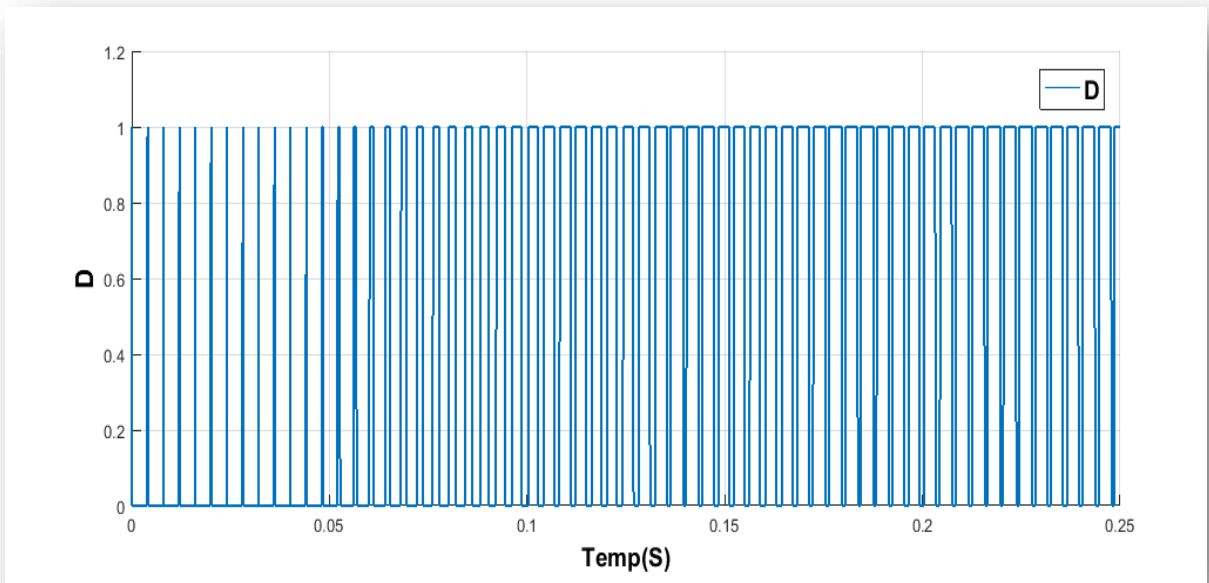


Figure IV.14 :rapport de cyclique D.

En tenant compte des constantes de température (25°C) et l'éclairement ($1000 \text{ W/mètre carré}$), on remarque à travers les courbes que dans le régime transitoire il y a des perturbations dans la valeur du courant, de la tension et de la puissance, mais quand on ajoute la commande MPPT « perturbation et observation P&O » et le convertisseur DC-DC au système photovoltaïque, on constate une stabilité et une amélioration dans le régime permanent par rapport à la valeur des paramètres électriques précédents.

Lorsque la valeur de G et T sont variables, on voit qu'à chaque fois que la valeur de température est augmentée, la puissance du la GPV diminue, Mais quand on augmente la valeur de l'éclairement, la puissance augmente.

Par conclusion, la commande MPPT est obligatoire dans un système photovoltaïque afin de rechercher la valeur de puissance maximale et sa stabilité.

IV.5.Simulation de la commande MPPT à base de réseau de neurone

La technologie nouvelle et moderne choisie pour poursuivre le point maximal de puissance est la méthode neuronale. Dans cette partie, nous allons simuler un réseau de neurones sur MATLAB, nous dépendons donc des paramètres suivants, nous utilisons donc la température et l'éclairement comme entrées, et nous avons le courant, la tension et la puissance comme sorties, et nous changeons le nombre du neurone de 25 à 50 à 75 à 100.

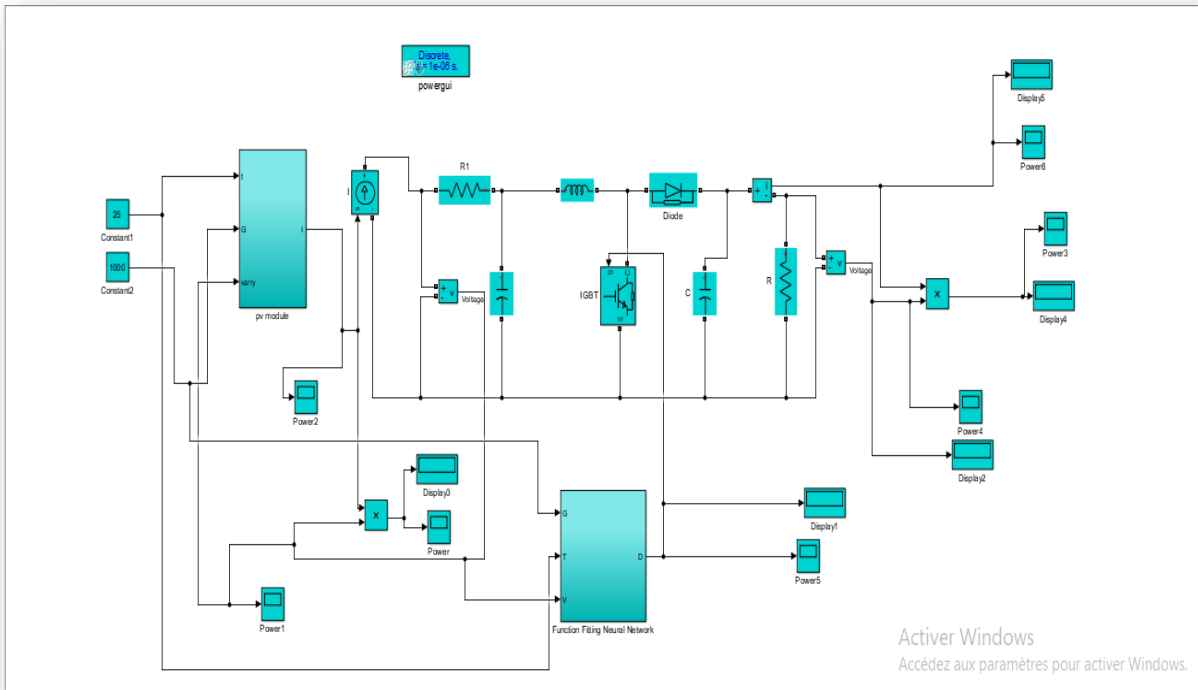


Figure IV.15 : Modèle de simulation du GPV adapte par la technique MPPT(RNA).

IV.5.1.les étapes pour obtenir le bloc de RN sur MATLAB

1.Nous écrivons le mot « nstart » sur lafenêtre de Command Window, une page apparaîtra pour nous, et nous cliquons sur le mot « Fittingapp ».

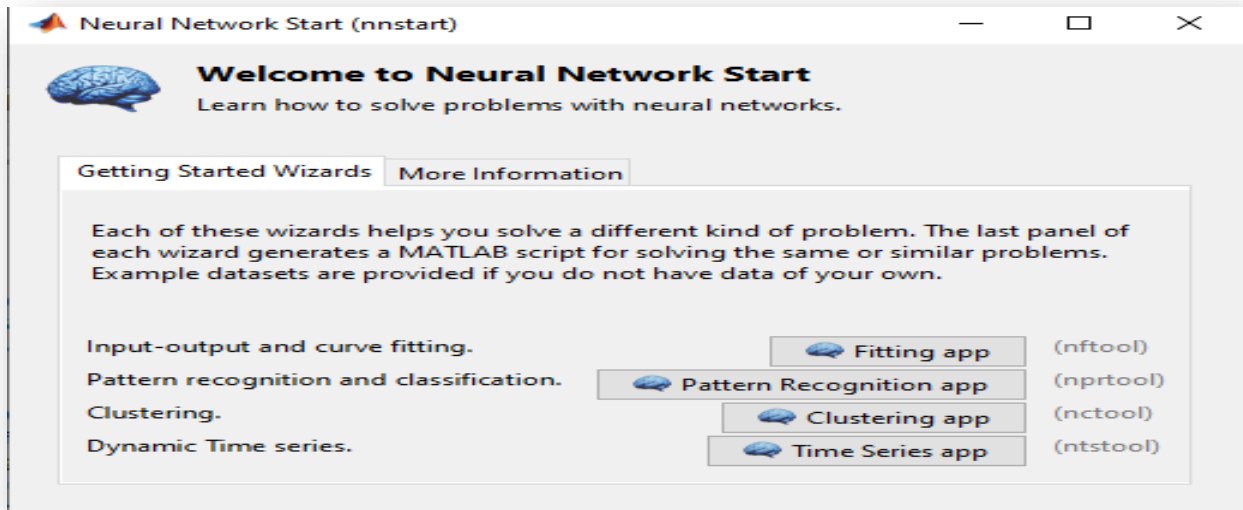


Figure IV.16 : Étape (1) pour obtenir le bloc de réseau neuronal

2. Après l'étape (1), vous serez redirigé vers la fenêtre « Select Data ». Nous spécifions les Entrées (T et G) et les sorties (I, V, P), puis cliquez sur « Next ».

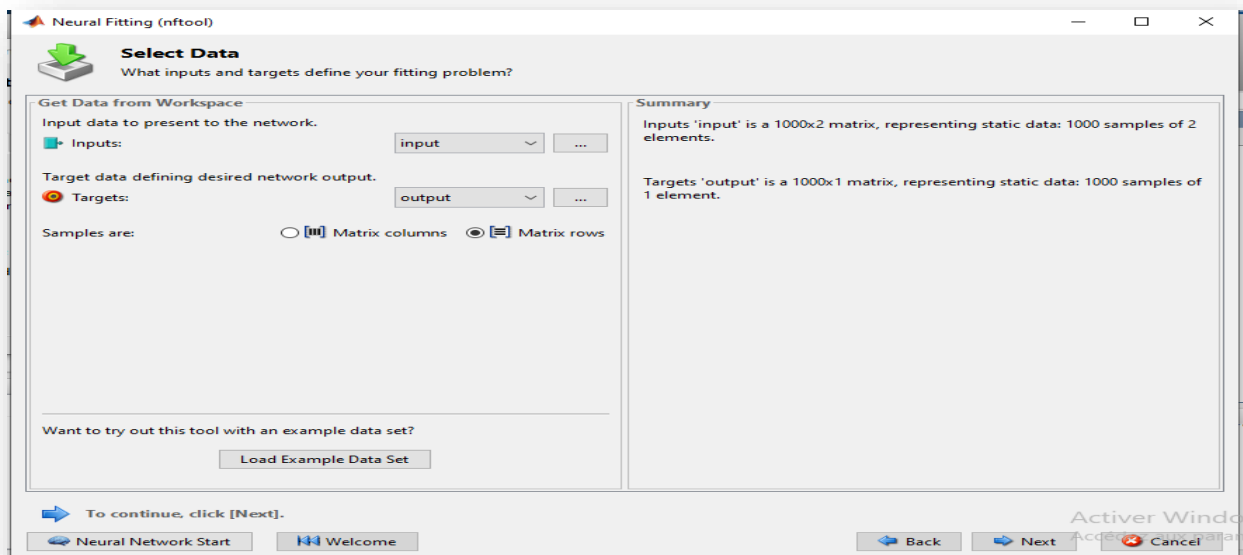


Figure IV.17 : Étape (2) pour obtenir le bloc de réseau neuronal.

3. Après l'étape (2), vous serez redirigé vers la fenêtre « Validation and Test Data ». Nous cliquons directement sur « Next », puis vous serez également dirigé vers la fenêtre « Network Architecture », dans laquelle nous spécifions le nombre de neurones. Ensuite, nous appuyons sur « Next ».

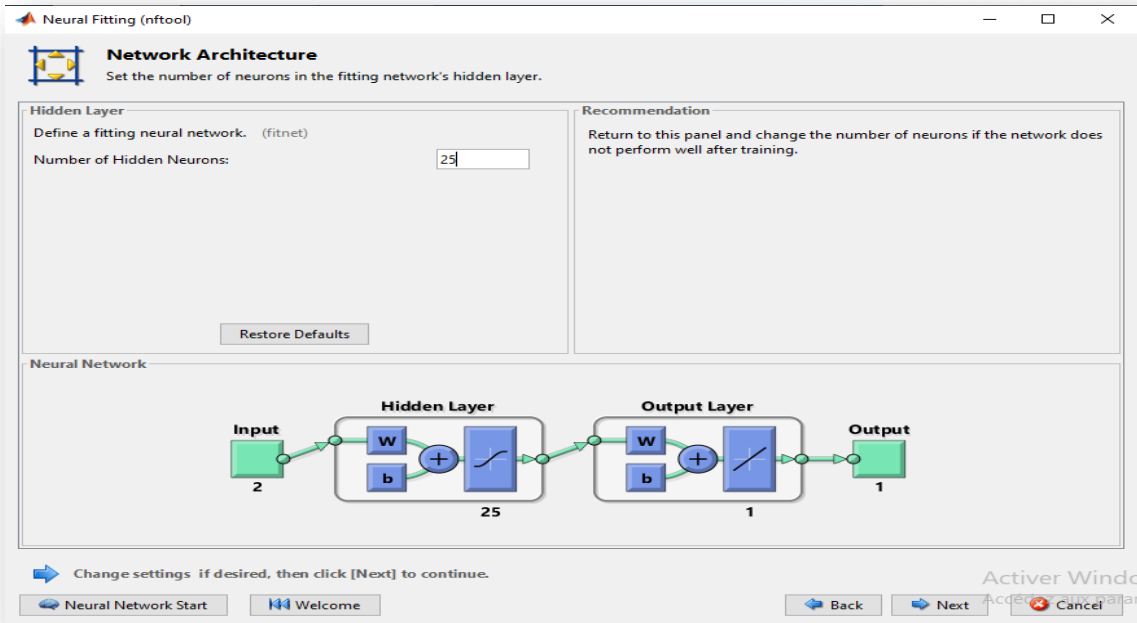


Figure IV.18 : Étape (3) pour obtenir le bloc de réseau neuronal.

Dans cette étape, l'architecture du réseau de neurones est choisie (le nombre de couches cachées, le nombre de neurones dans ces couches). Par conséquent, la couche cachée contient des neurones 25. Quant à la couche de sortie, elle contient un neurone.

4. Après l'étape précédente, la fenêtre « Train Network » monte jusqu'à nous, nous cliquons donc sur le mot « Train », nous obtenons donc la fenêtre « Neural Network Training », qui nous montre qu'après 1000 itérations, nous avons obtenu le réseau de neurones et nous a également montré la valeur de ses performances, puis on clique sur « Plot Regression », qui représente les courbes de la meilleure fonction pour définir la variable de sortie, et donc dans celle-ci L'étape suivante consiste à faire l'apprentissage automatique du réseau de neurones.

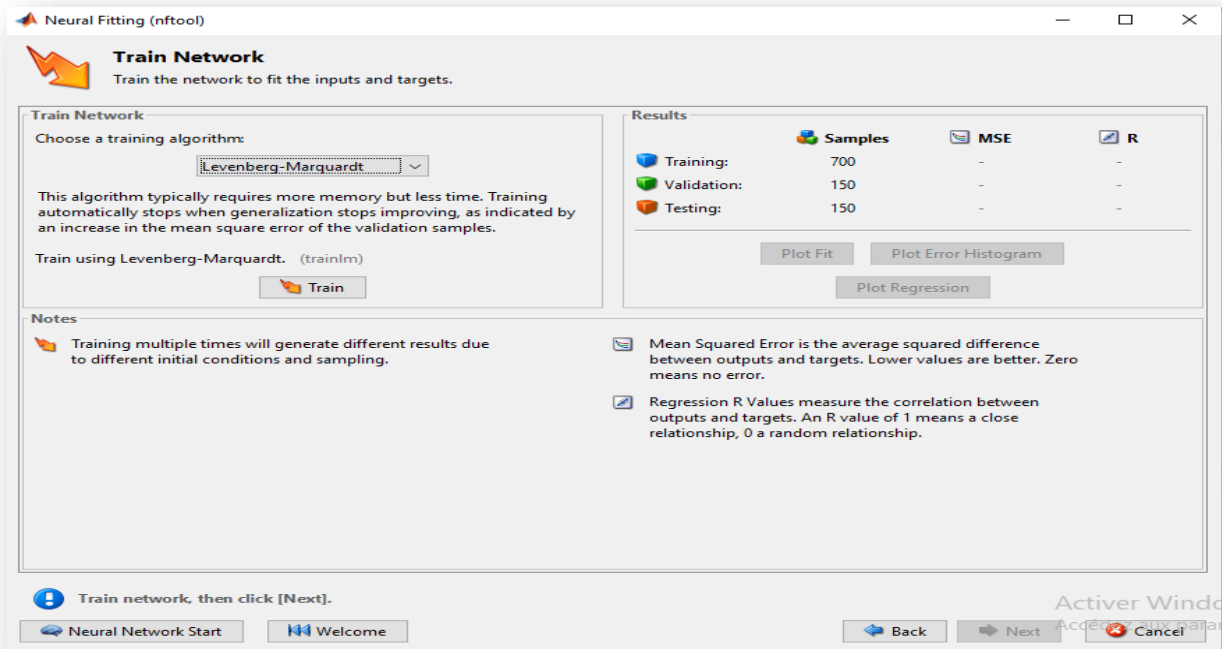


Figure IV.19 : Étape (4) pour obtenir le bloc de réseau neuronal.

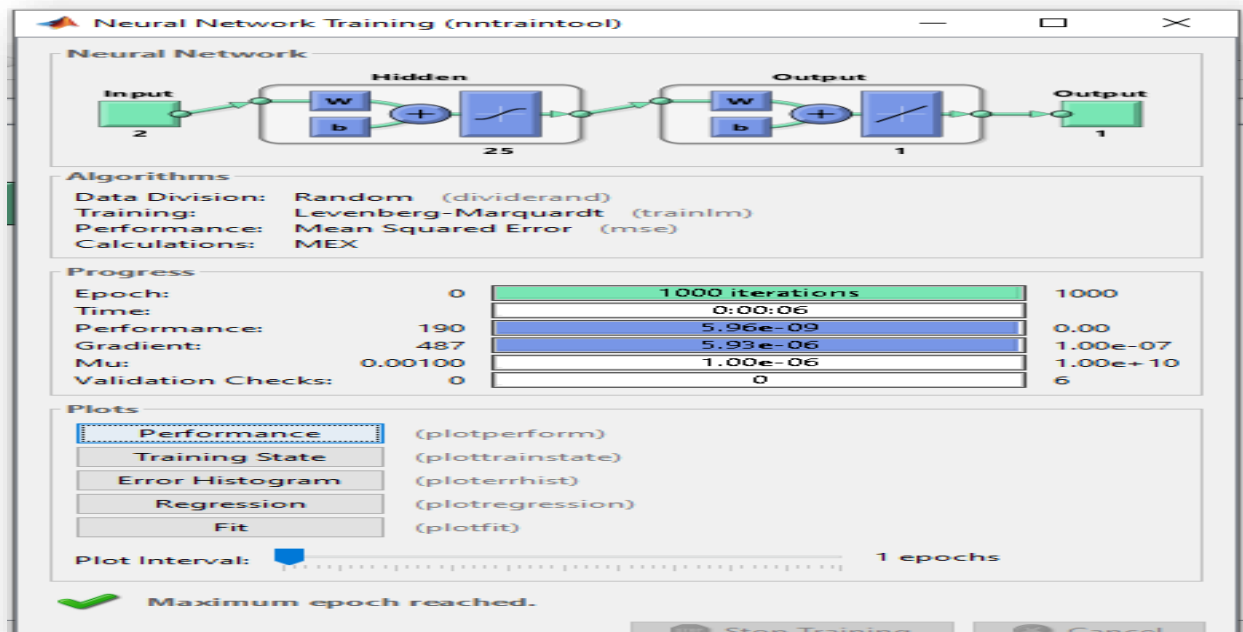


Figure IV.20: Étape (4) Formation sur les réseaux de neuro

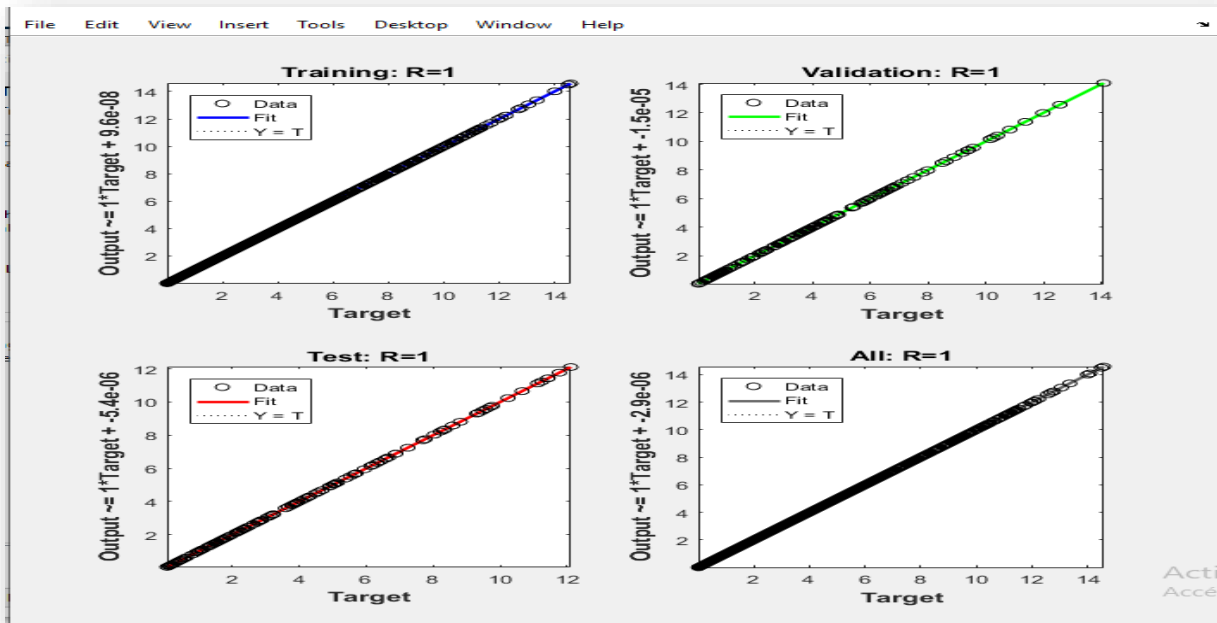


Figure IV.21 : Étape (4) Formation sur les réseaux de neurones.

5. Après avoir cliqué sur « Next » à l'étape précédente, nous obtenons la fenêtre « Depoloy Solution », nous cliquons donc sur « SmulinkDiagram », et nous obtenons le Bloc du réseau de neurones.

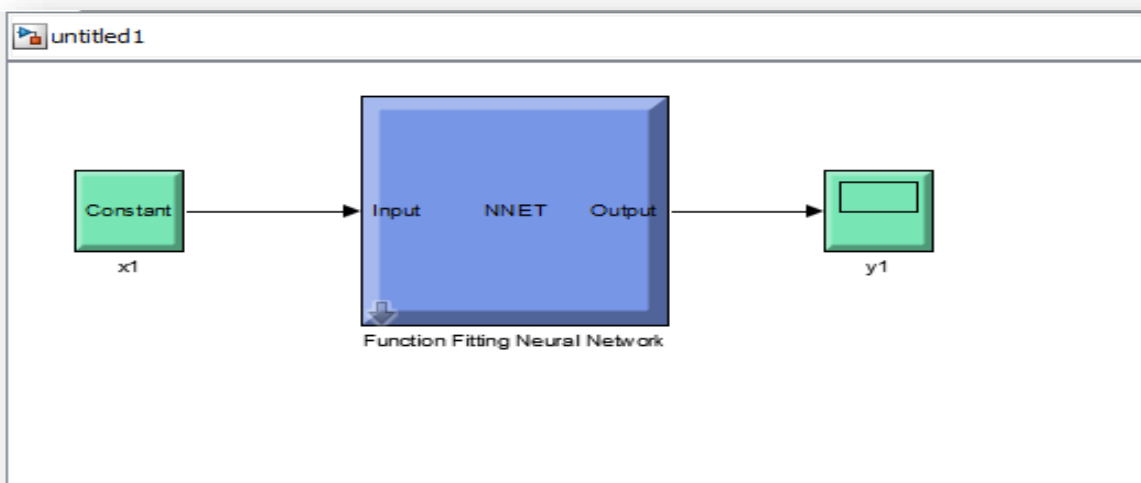


Figure IV.22 : schéma Bloc du réseau de neurone artificiel dans SIMULINK.

IV.5.2. Résultats du l'algorithme (P&O) et (RNA) avec les conditions standards

Dans des conditions standard (Irradiation = $1000 W/m^2$ et La température = $25^{\circ} C$). Et en changeant le nombre de neurones (25, 50,75), Nous avons obtenu les courbes et résultats des algorithmes (P&O) et (RNA) suivant :

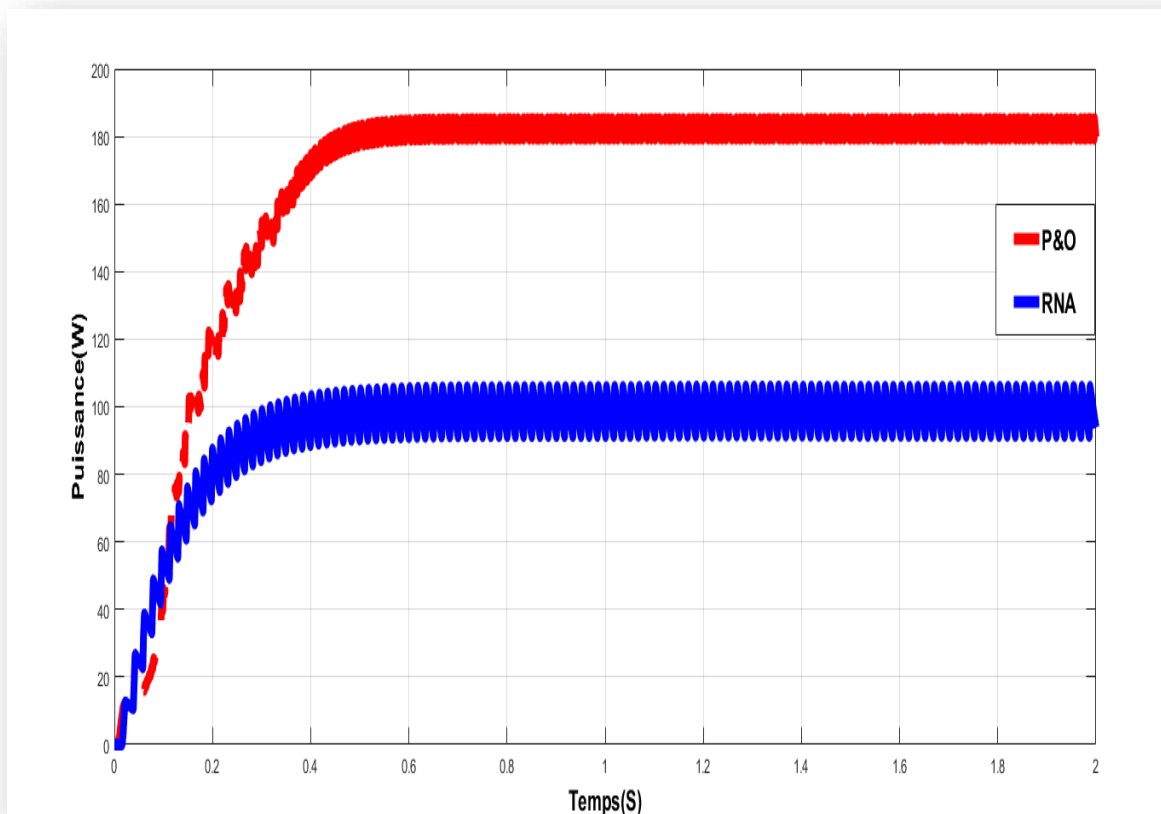


Figure IV.23 :Variation de puissance de sortie de (P&O) et (RNA) dans le cas de 25 neurones.

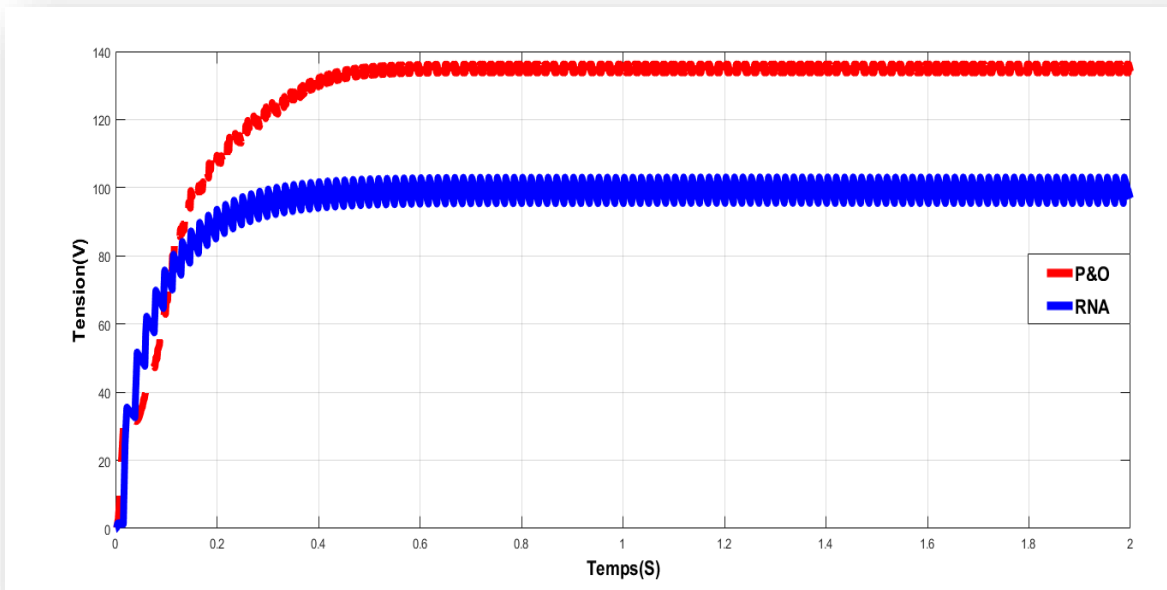


Figure IV.24 : Variation de Tension de sortie pour (P&O) et (R NA) dans le cas de 25 neurones.

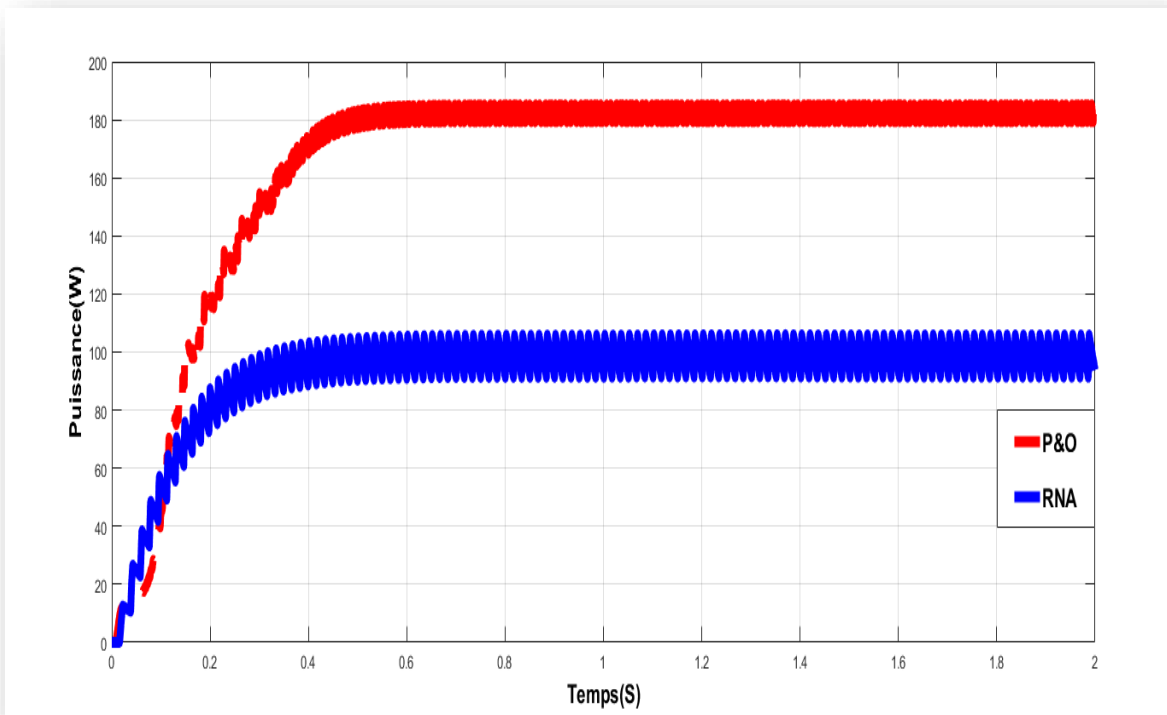


Figure IV.25 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de 50 neurones.

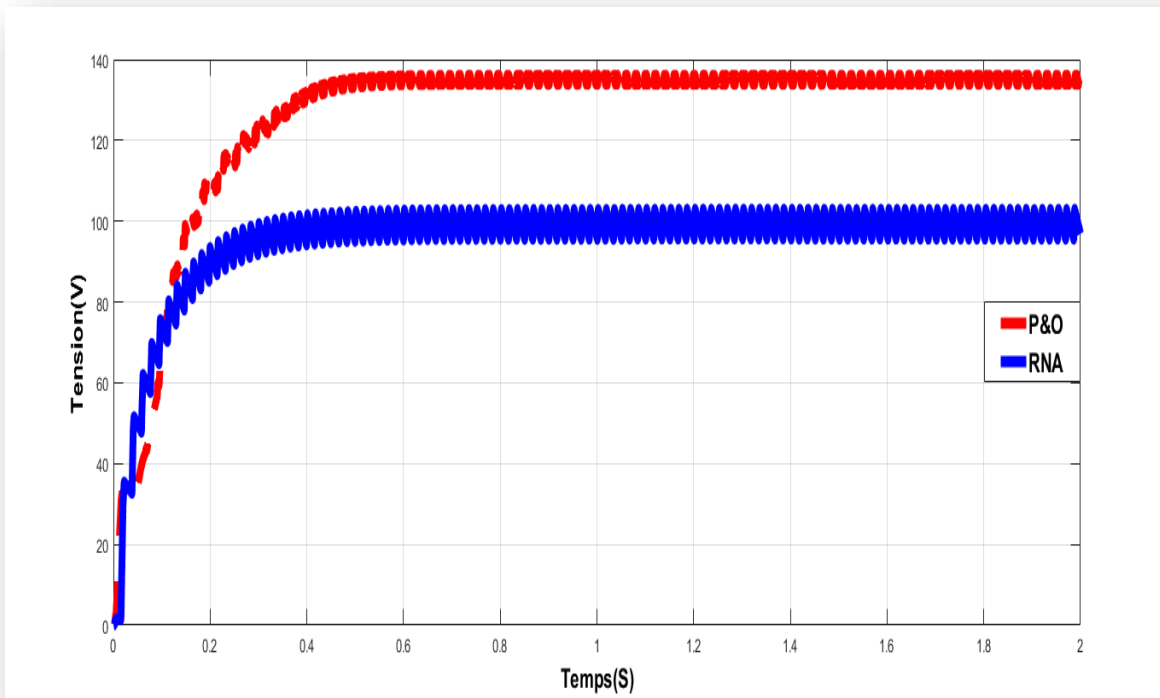


Figure IV.26 : Variation de Tension de sortie pour (P&O) et (R NA) dans le cas de 50 neurones.

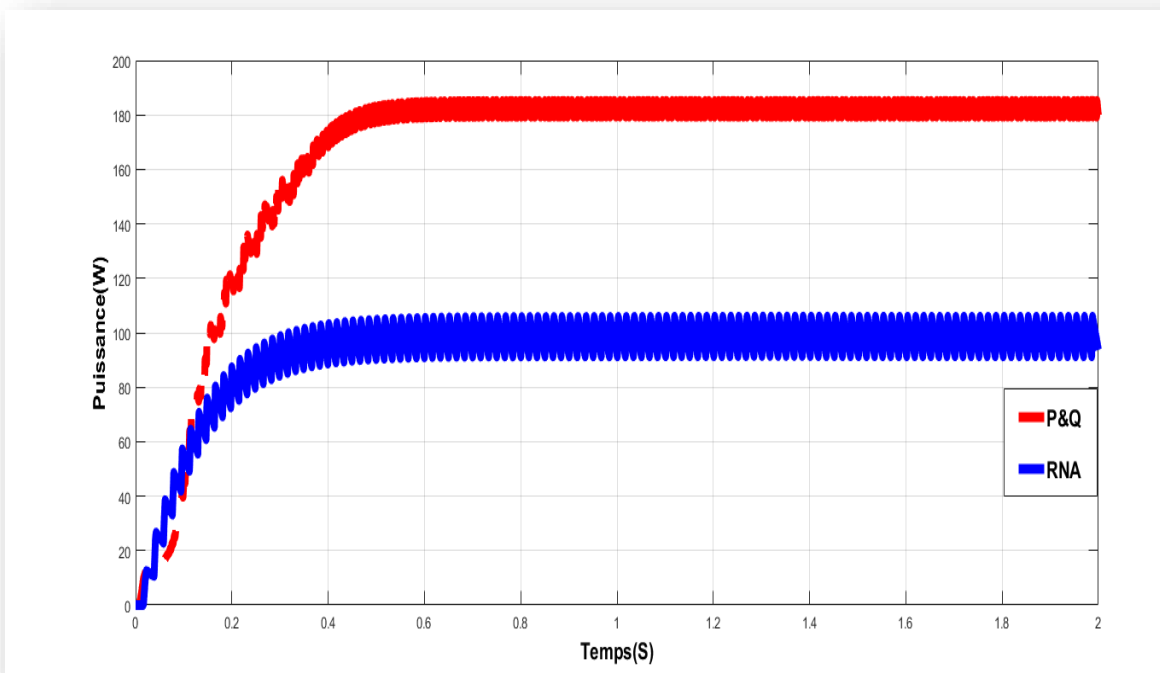


Figure IV.27 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de 75 neurones.

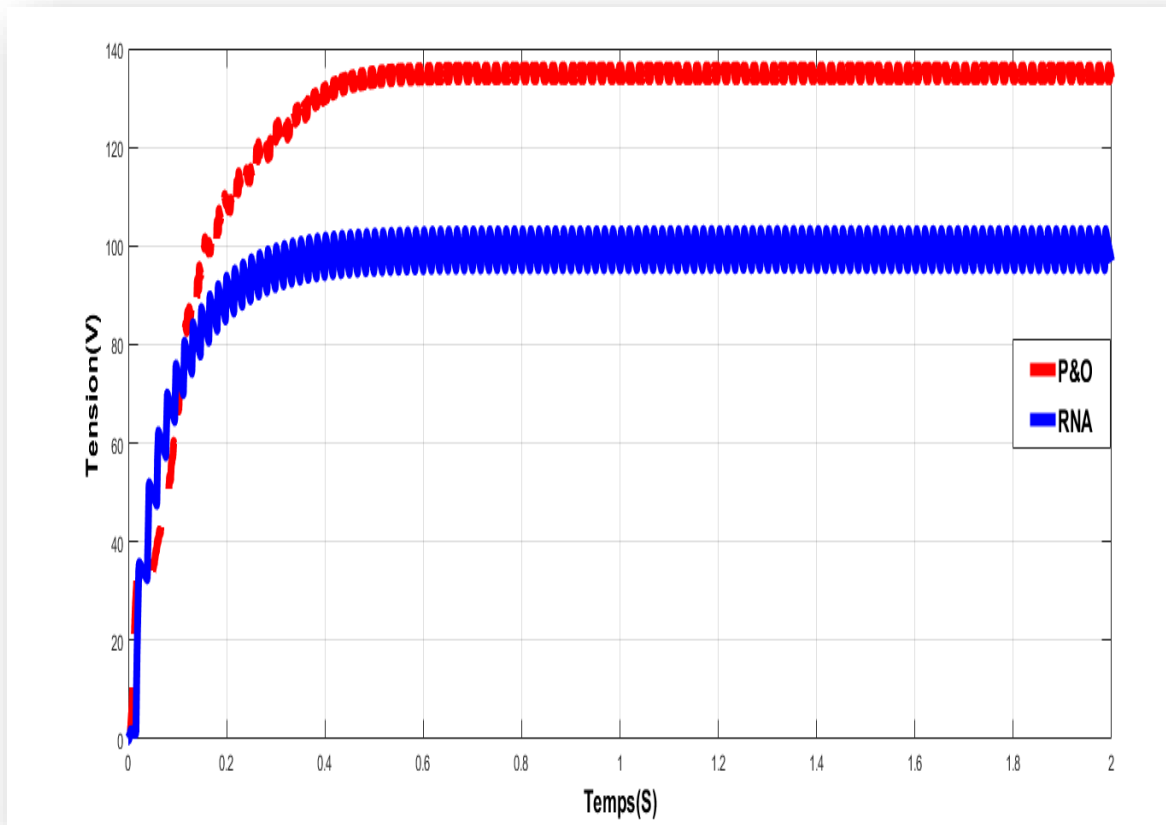


Figure IV.28 : Variation de Tension de sortie pour (P&O) et (R NA) dans le cas de 75 neurones.

D'après les courbes de simulation et les résultats obtenus entre MPPT (ARN) et MPPT (P&O), la méthode P&O a de meilleures performances et un temps de réponse plus rapide contrairement à la méthode ARN. Quant au nombre de neurone, il a un léger effet sur la valeur de puissance maximale.

IV.5.3. résultats du l'algorithme (P&O) et (RNA) avec les conditions variable

IV.5.3.1.Variation de température (30/40/50°C) et irradiation fixe (1000 W/m²)

Dans ce cas en va varier dans les conditions, pour l'irradiation (1000 W/m²) et pour les températures (30/40/50°C).Nous avons obtenu les courbes ci-dessous :

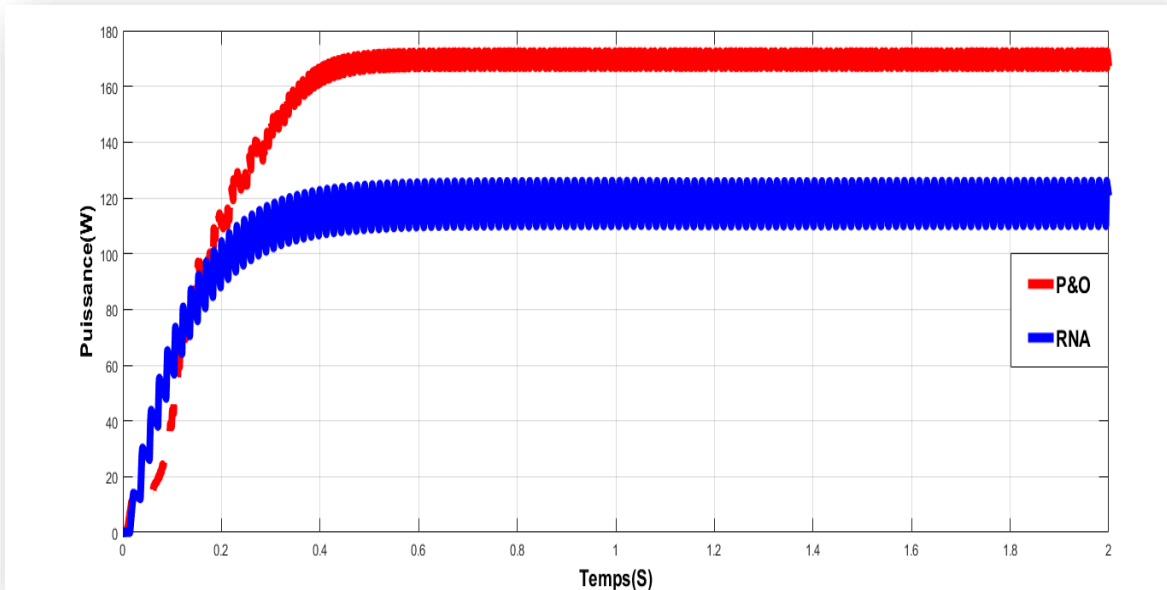


Figure IV.29 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (30°C).

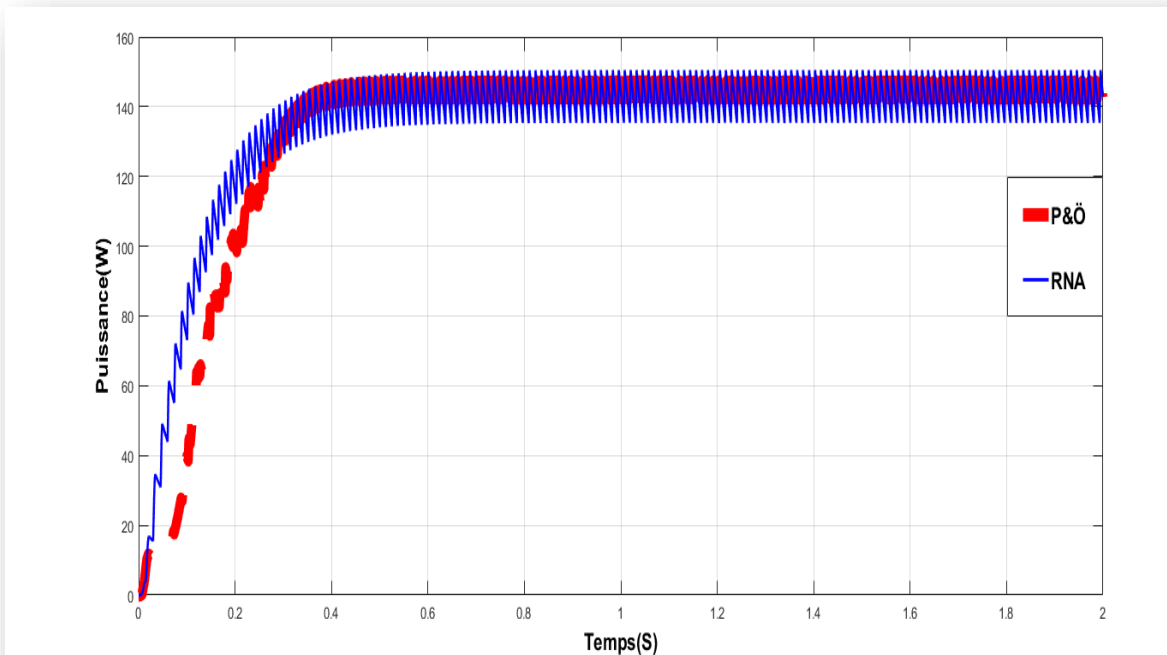


Figure IV.30 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (40°C).

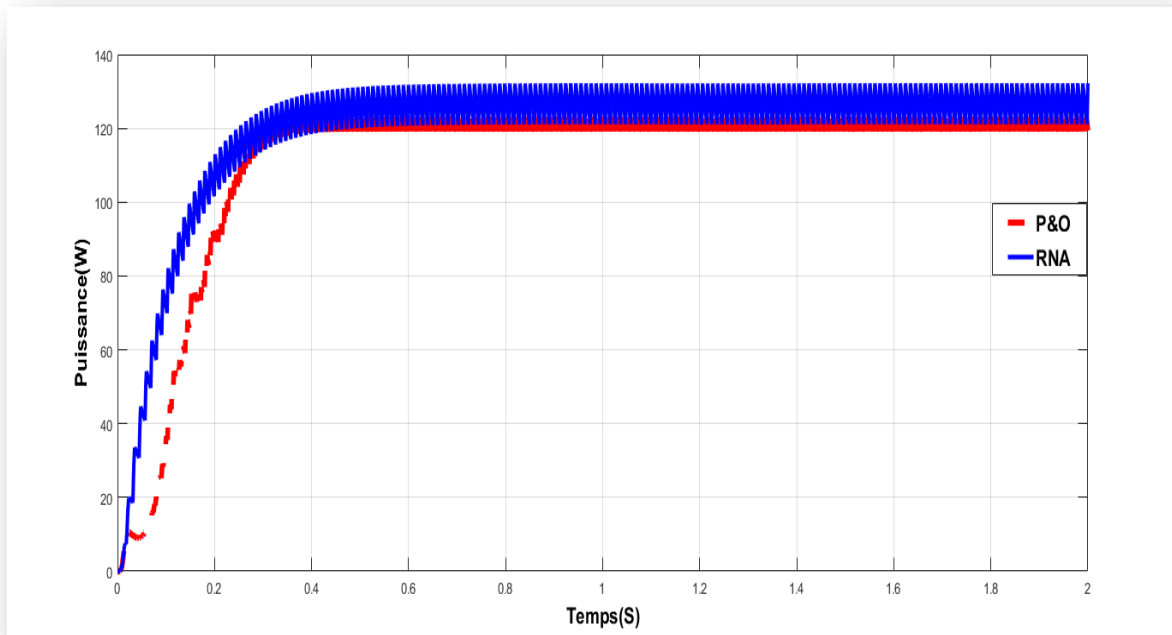


Figure IV.31 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (50°C).

D'après les courbes de simulation et les résultats obtenus entre MPPT (ARN) et MPPT (P&O), en changeant la valeur de température et en fixant la valeur d'éclairement, on remarque qu'il existe une relation inverse entre les valeurs de puissance en utilisant la méthode P&O et la température, et d'autre part, on note qu'il existe une relation directe entre les valeurs de puissance en utilisant la méthode ARN et les valeurs de température. Par conséquent, nous concluons que nous avons un effet de la température sur la puissance, car elle diminue avec l'augmentation de la température.

IV.5.3.2. Variation d'irradiation (600/700/800W/m²) et température fixe 25 °C

Dans ce cas en va varier dans les conditions, pour l'irradiation (600/700/800W/m²) et pour une température fixe (25°C). Nous avons obtenu les courbes ci-dessous :

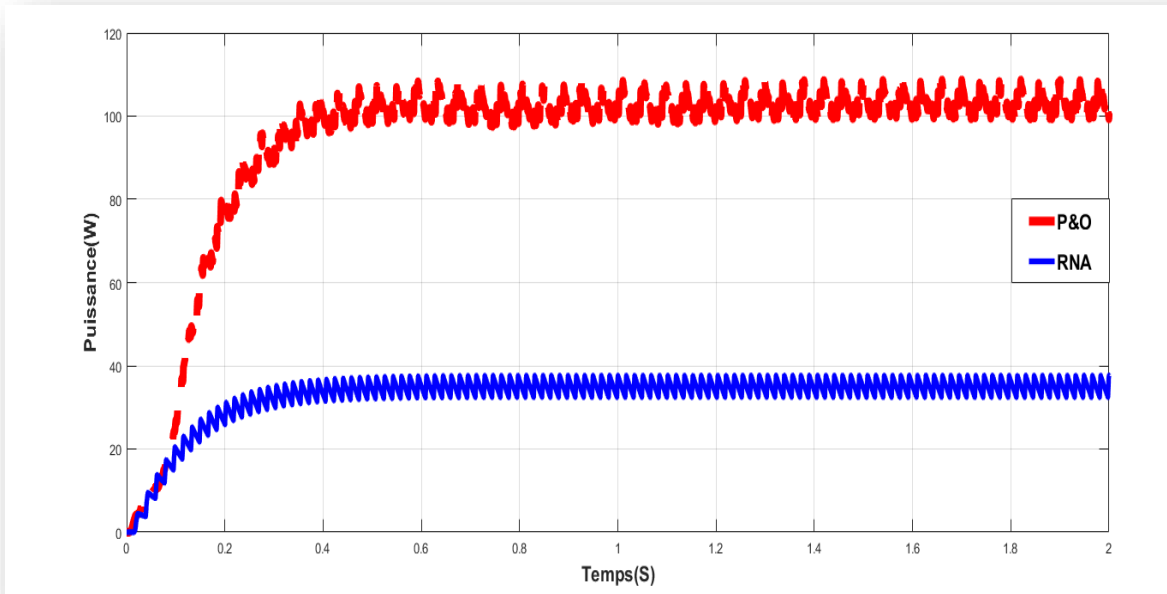


Figure IV.32 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (600W/m^2).

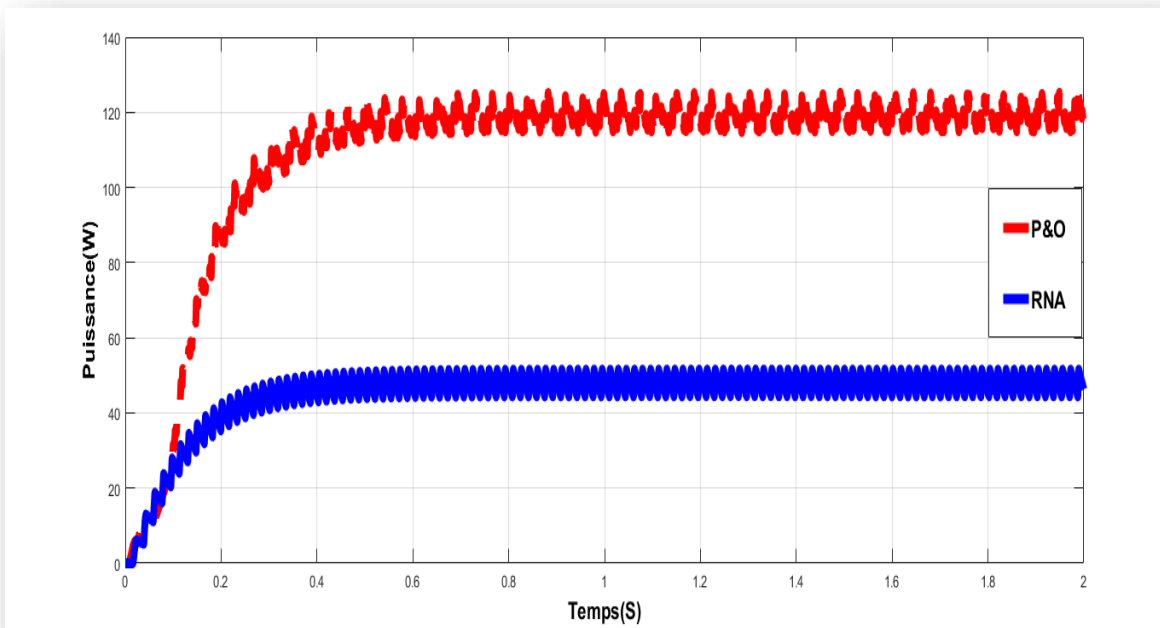


Figure IV.33 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (R NA) dans le cas de (700 W/m^2).

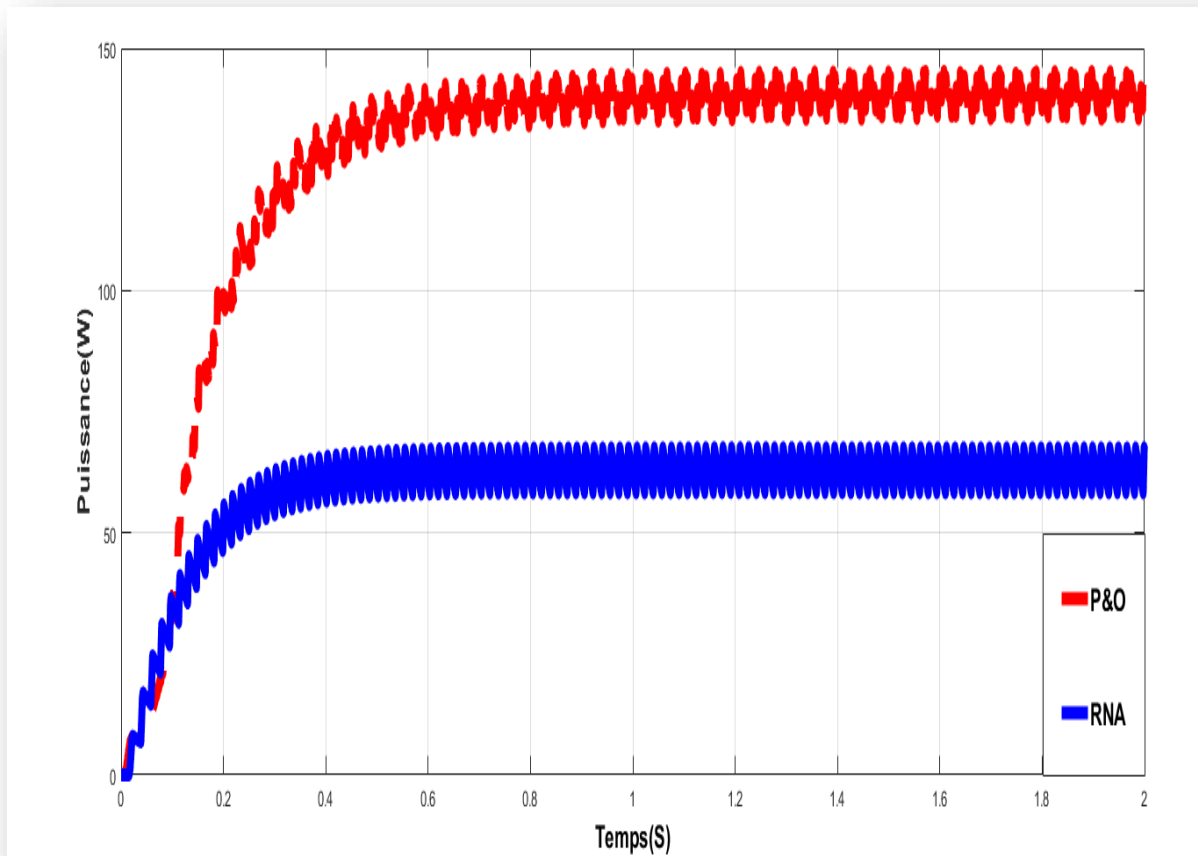


Figure IV.34 : Variation de puissance de sortie de (P&O) et (RNA) dans le cas de (800 W/m^2).

D'après les courbes de simulation et les résultats obtenus entre MPPT (ARN) et MPPT (P&O), en modifiant les valeurs d'éclairement et en fixant la valeur de température, on constate que dans les deux méthodes il existe une relation directe entre les valeurs d'éclairement et les valeurs de puissance. Par conséquent, nous concluons que nous avons un effet de l'éclairement sur la puissance, car elle augmente avec l'augmentation de l'éclairement.

IV.5.Conclusion

Le générateur photovoltaïque doit utiliser des contrôleurs MPPT afin de s'assurer qu'il fonctionne à son point de puissance maximum.

Dans ce chapitre nous avons présenté dans l'environnement MATLAB/SIMULINK la simulation et le fonctionnement du système PV, Qui se compose d'un générateur PV et d'un convertisseur DC-DC (hacheur boost). Qui régulé par une commande MPPT. Pour commander le point de puissance maximale (MPPT) d'un système photovoltaïque. On a présenté la méthode de Perturbation & Observation (P&O) et réseaux de neurones artificiels (RNA). Les résultats de simulation prouvent que ce système est capable d'adapter le point de fonctionnement maximal aux changements de perturbation Externe.

Au final, à partir de ces résultats et simulations, nous concluons que la méthode P&O a de meilleures performances et donne de meilleurs résultats par rapport à la méthode RNA.

Conclusion Générale

L'objectif de ce travail est d'améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques avec la commande MPPT, Ce travail est une contribution pour la compréhension de l'importance de la poursuite de point maximum de puissance avec telle technique des techniques MPPT (P&O et RNA).

Donc pour cet objectif nous avons commencé dans le premier chapitre par des généralités sur les systèmes photovoltaïques en rappelant quelque notion sur le rayonnement solaire. Nous avons ensuite expliqué le fonctionnement de la cellule photovoltaïque après il y a une description des systèmes photovoltaïques et leurs différents types et à la fin un aperçu sur les avantages et les inconvénients de cette énergie photovoltaïque.

Précédemment, dans le deuxième chapitre, nous avons présenté le modèle mathématique de la cellule photovoltaïque, qui est un composant clé d'un générateur photovoltaïque. Nous avons ensuite examiné le modèle de convertisseur Boost, qui est une étape d'adaptation entre le générateur PV et la charge

Dans le troisième chapitre, nous allons parler des réseaux de neurones artificiel, nous présenterons les différents types de réseaux de neurones existants, leurs principes de fonctionnement, leur architecture, ainsi que les types d'apprentissage utilisés par ces réseaux de neurones et les règles d'apprentissage existants et Enfin, nous avons évoqué les avantages et les inconvénients des réseaux de neurones artificiels.

Le dernier chapitre traitait de la mise en place de simulations, de la présentation des résultats, des discussions et des comparaisons. Cette dernière collecte toutes les simulations créées dans l'environnement Matlab/Simulink, l'une pour la mise en place du système photovoltaïque et l'autre pour valider et comparer les commandes MPPT qui font l'objet de cette étude. Nous avons développé les algorithmes les plus utilisés, tels que la méthode P&O et la méthode RNA , qui ont été soumis à plusieurs tests avec des paramètres atmosphériques variables (température et irradiation).

Selon les résultats obtenus, on peut conclure que le système P&O fait apparaître un bon compromis entre la caractérisation et l'efficacité des calculs.

Référence bibliographique

[1] Hadjam Ilyas / Cherchali Mohamed Abdelbadie “Optimisation du fonctionnement d’un générateur photovoltaïque par l’algorithme ABC-artificial beecolony “ Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2021.

[2] TIHAR RAZKI/ KHALFALLAH ALI “Etude comparative par simulation des différents algorithmes de commande MPPT dans une chaine de conversion PV” UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M’SILA, 2021/2022.

[3] Meghellet Hanine/Hocine Lynda “Contribution à l’étude d’un système photovoltaïque” ‘Université Colonel Akli Mohand-OulhadjBouira2018.

[4] ALLAGUI SALIM/ LABIOD SALAH EDDINE “Etude et simulation d’un système photovoltaïque” UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA, 2021.

[5] Mr. MABREK Farouk/Mr. BERRABIA Lyes’ ‘Commande et poursuite de la puissance maximale d’un système photovoltaïque à base des techniques d’intelligences artificielles’ ‘UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2017/2018.

[6] <https://attaqa.net/>.

[7] Algeria press service <https://www.aps.dz,economi>.

[8] Azzi omar/ Ben bahanyoucef”Réalisation d’un système de Suiveur à base arduino” Université Mohamed Khider de Biskra, 2020.

[9] BELKADI Nora/AKLI Karima “ Contrôle indirect d’un panneau solaire isolé du réseau”

'Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 2018.

[10] Gohmes Abdennour/ Gherara Nasreddine''Etude du Stockage de l'Energie Solaire photovoltaïque sous forme d'air comprimé' 'Université KasdiMerbah Ouargla, 2021/2022.

[11] BOUZEGANE Mhenna/ GAOUAOUI Ferhat ' ' Alimentation d'un moteur à courant continu par une source photovoltaïque'' Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 2018.

[12] MISSOUM MOHAMMED ' 'Contribution de l'énergie photovoltaïque dans la performance énergétique de l'habitat à haute qualité énergétique en Algérie'' UNIVERSITE HASSIBA BENBOUALI DE CHLEF, 2011.

[13] [https:// lenergie-solaire.net /](https://lenergie-solaire.net/).

[14] https://wwwprecis_mecanique.com.

[15] AZOUAGH Lynda/ ZIDI Djamilia / DAHMANI Madiha'' Etude d'un système de pompage photovoltaïque' 'UNIVERSITEMOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU, 2012/2013.

[16] <https://wwwphotowatt.watt.com>.

[17] Aicha DJALAB, ' 'Diagnostic des défauts d'un système d'énergie Renouvelable basée sur les techniques d'intelligence artificielle : Application sur un système photovoltaïque' 'UniversitéZiane Achour de Djelfa, 2020.

[18] MOUACI Manel, ' 'AMÉLIORATION DE PERFORMENCES DU SYSTEME PV-CV-MADA PAR DES TECHNIQUES DE L'INTELLIGENCES ARTIFICIELLE (LA LOGIQUE FLOUE)'' UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2019-2020.

[19] BERREGUI ABDELFETTAH/ ABSA AMJED, " Etude technico-économique d'une installation photovoltaïque pour application dans la région de Ouargla" UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2019/2020.

[20] AHMOUDA Taha/ MAAMRI Chouaib /ABADLI Hamza, "Modélisation et commande MPPT d'un système photovoltaïque autonome" Université Echahid Hamma Lakhdar - El Oued, 2020.

[21] RAIS Takieddine/ BOUAISSA Sofiane " Chaîne de conversion photovoltaïque à base des convertisseurs à sources et onduleur multi niveaux " UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2020.

[22] Gherdaoui Loukmane/ Belkacemi Med el amine " ETUDE ET SIMULATION DE LA POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE D'UN GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE BASE SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE " UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2017 - 2018.

[23] NDIAYE Papa Amadou / KAWTHER Achari " Production d'énergie électrique à partir d'un système photovoltaïque " Université 8 Mai 1945 – Guelma, 2019.

[24] Bacem GAIED CHORTANE " Amélioration de l'algorithme MPPT pour un système PV par l'intégration des nouvelles techniques basées sur l'intelligence artificielle" ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC, 2022.

[25] RAMDANI Iles/ SADOK Yanis "Commande MPPT basée sur le contrôleur flou de type 2 sur un système de conversion d'énergie photovoltaïque autonome " Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2021/2022.

[26] OUABDELKADER Katia /MERSEL Houria '' Modélisation et Contrôle d'un Système Photovoltaïque Connecté au Réseau'' Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2014/2015.

[27] benatallah Ahmed / Said Khaled '' Modélisation et commande d'un système De pompage à l'aide des techniques de l'intelligence artificielle '' UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, 2019/2020.

[28] KorichiTaki Eddine '' Modélisation et commande d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique '' UNIVERSITE Mohamed Boudiaf-M'SILA.

[29] KameIMokhtari / Youcef Larabi '' Etude et simulation d'un système photovoltaïque'' UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZO, 2018.

[30] FETITI Fadalallah''ETUDE, CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT ET REALISATION PRATIQUE D'UN HACHEUR PARALLELE POUR UNE SOURCE PHOTOVOLTAIQUE'' Université Mohamed Khider de Biskra, 2018.

[31] ZennatiCylia / ZaknouneAssia '' Etude et modélisation d'un algorithme MPPT pour un générateur photovoltaïque'' Université Akli Mohand-Oulhadj Bouira, 2019/2020.

[32] MEHIDI EL kaissa / HAMZA Farid '' Commande directe par la méthode ''perturb and Observe'' (P &O) d'un système photovoltaïque'' UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU, 2018.

[33] CHEDDADI-Fatima / BOUMHIDI Ismail & SEFRITI SELMA. '' Comparaison entre la Commande MPPT par mode glissant et la Perturbation et Observation pour les systèmes Photovoltaïques'' UNIVERSITE Sidi Mohammed ben Abdallah, 2018.

- [34] MERZOUKA NOURESSADAT'' Etude des performances des réseaux de neurones Dynamiques à représenter des systèmes réels une approche dans l'espace d'état ''UNIVERSITE DE SETIF 1 ALGERIE, 2009.
- [35] HARENDI Amine. /ARBAOUI Ali. ''Calcul de l'MPPT par réseaux de neurone pour un système Photovoltaïque'' UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA ,2015.
- [36] Sediri Bachir Abderezak''Commande MPPT à base d'un réseau de neurone artificiel Pour un système photovoltaïque' 'UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA'', 2019.
- [37] <https://goekeries.org/2016/5/jouer-avec-vos-reseaux-de-neurones>.
- [38] Mlle. RABIAMolkhir / Mlle. SAIDANI Siham '' Réseaux de neurones pour les jeux de plateau'' UNIVERSITE AKLI MOUHAND OULHADJ-BOUIRA, 2019/2020.
- [39] GANA Massine '' Implémentation d'un réseau de neurones dans un microcontrôleur'' UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI TIZI-OUZOU, 2015/2016.
- [40] BENCHIA HAMZA '' Modélisation d'un module photovoltaïque par les réseaux de neurones artificiels '' UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI D'OUM EL BOUAGHI, 2017.'
- [41] Ali DJAIDJA '' Intitulé : Etude de la classification supervisée des Données environnementales à l'aide de réseaux de neurones défonctions à base radiales'' UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2016.
- [42]https://www.researchgate.net/figure/Architecture-dune-carte-auto-organisatrice-de-Kohonen_fig1_228790563.

[43] Torche Saber “Modélisation par les réseaux de neurones et simulation d’un biocapteur à base deFET” Université de Batna, 2008.

[44] BOUFALA Nabil ”Implémentation matérielle de réseau de neurones probabiliste pour une interface myo-électrique embarquée” Université ABDERRAHMANE MIRA Bejaia Le 2012/2013.

[45] Mr Idir MELLAL “ Implémentation d’un réseau de neurones d’un micro capteur sur un FPGA” Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[46] MALKI NARIMENE “ Classification automatique des textes par Les réseaux de neurones à convolution” Université LARBI ben M’HIDI d’Oum El Bouagh, 2018/2019.

[47] <file:///C:/Users/net/Downloads/Projets-raliss-dans-le-cadre-du-programme-national-des-nergies-renouvelables-.pdf>.

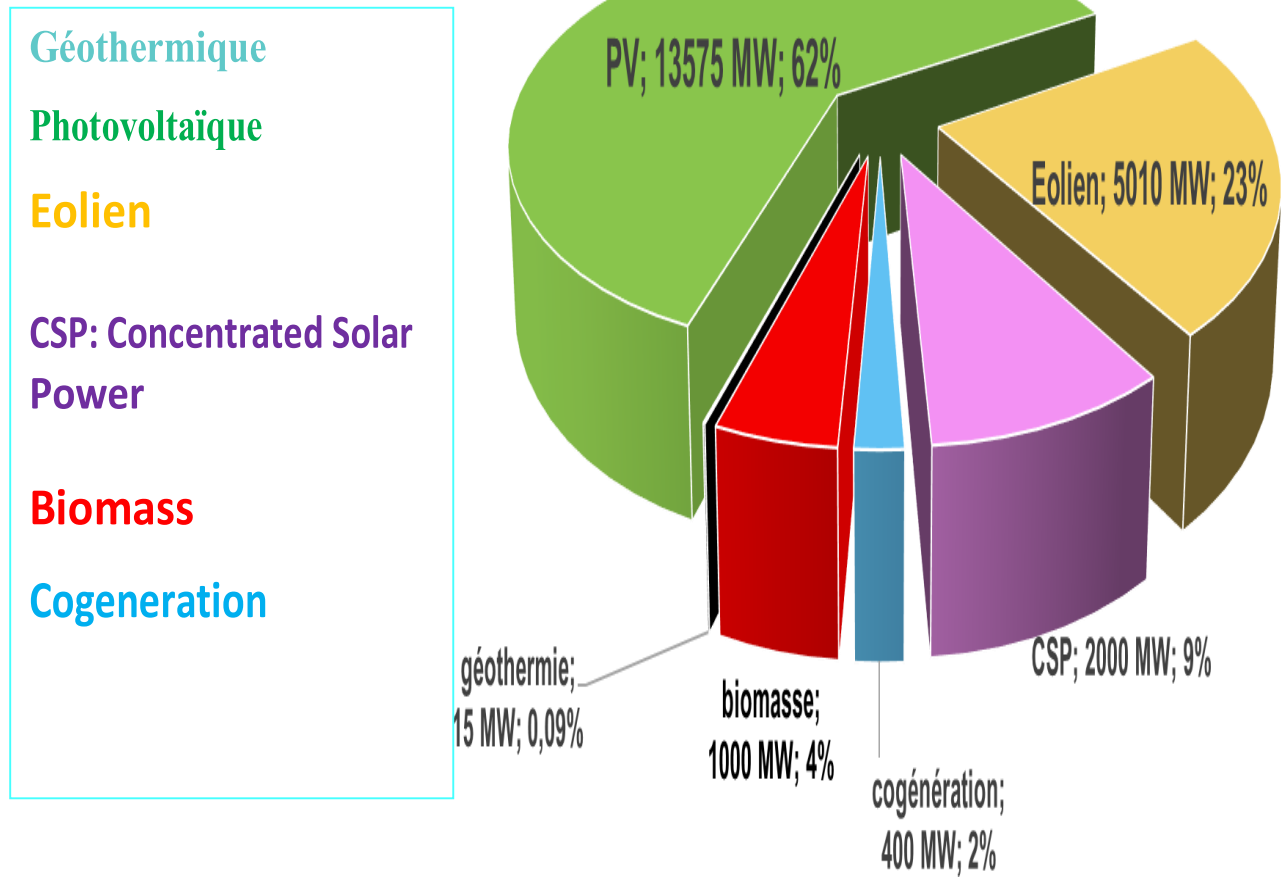


Figure : Consistance, par technologie, du programme national des énergies renouvelables à l'horizon 2030. [47]

المخلص :

تعتمد الطاقة خارج المولد الضوئي GPV على عدة عوامل، بما في ذلك شدة الإشعاع الشمسي، و الخلايا، الخ. نظرا للخصائص الكهربائية غير الخطية القوية للخلايا الكهروضوئية وترابطها، يمكن تحسين كفاءة النظام من خلال الحلول القائمة على MPPT. هناك طرق MPPT التقليدية التي يتم استخدامها غالبًا وهي طريقة الاضطراب والمراقبة (P&O) وما يسمى لطرق المتقدمة الشبكات العصبية الاصطناعية، مثل. تقدم هذه الأطروحة دراسة مقارنة بين تقنيات MPPT المختلفة من أجل التحليل ومحاكاة وتقييم نظام الطاقة الكهروضوئية في ظل ظروف التشغيل القياسية والمتغيرة للقيام بذلك، تم تطوير نماذج رياضية لمكونات النظام الكهروضوئي (GPV, DC/DC, convertisseur, MPPT(P&O,RNA)) تم الحصول على نتائج المحاكاة باستخدام أداة MATLAB SIMULINK.

الكلمات المفتاحية: المولد الكهروضوئي، محول DC / DC، طريقة الاضطراب والمراقبة، MPPT بالشبكات العصبية الاصطناعية.

Résumé :

La puissance de sortie du GPV dépend de plusieurs paramètres, notamment l'intensité du rayonnement solaire, les cellules, etc. En raison des fortes caractéristiques électriques non linéaires des PV et de leurs interconnexions, l'efficacité du système peut être améliorée par des solutions basées sur MPPT. Il existe des méthodes MPPT conventionnelles souvent utilisées, à savoir la méthode de perturbation et d'observation (P&O) et les méthodes dites avancées, telle que MPPT par le Réseaux de neurones artificiels. Ce mémoire présente une étude comparative entre ces différentes techniques MPPT afin d'analyser, simuler, et évaluer le système global d'alimentation PV sous des conditions de fonctionnement standard et variables. Pour ce faire des modèles mathématiques des composants du système PV (GPV, convertisseur DC/DC, MPPT (RNA) ont été développés. Les résultats de simulation, obtenus à l'aide de l'outil MATLAB Simulink.

Mots-clés: PV, convertisseur DC-DC, MPPT (P&O), MPPT (RNA)

Abstract:

The output power of the GPV depends on several parameters, including the intensity of solar radiation, cells, etc. Due to the strong nonlinear electrical characteristics of PVs and their interconnections, system efficiency can be improved by MPPT based solutions. There are conventional MPPT methods that are often used, namely the perturbation and observation

method (P&O) and the so-called advanced methods, such as MPPT (ANR). This thesis presents a comparative study between these different MPPT techniques in order to analyze, simulate, and evaluate the global PV power system under standard and variable operating conditions. To do this, mathematical models of the components of the PV system (GPV, DC / DC converter, MPPT (PSO)) have been developed. Simulation results, obtained using the MATLAB Simulink tool.

Keywords: PV, DC-DC Converter, MPPT (P&O), MPPT (ANR).