

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique Et D'informatique
Département D'Electrotechnique

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER ACADEMIQUE**
Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Electrotechnique
Spécialité : Machines Electriques

Présenté par
MEHIDI EL kaissa
HAMZA Farid

Mémoire dirigé par **M. BECHOUCHE Ali**

Thème

**Commande directe par la méthode
"Perturb and Observe" (P&O) d'un
système photovoltaïque**

Mémoire soutenu publiquement le 23/09/2018 devant le jury composé de :

M. SEDDIKI Hamid
Professeur, UMMTO, Président

M. BECHOUCHE Ali
MCA, UMMTO, Encadreur

M. RAHOUI Adel
MAB, ENSTP Alger, Examineur

M. TRIKI Yacine
Doctorant, UMMTO, Examineur

Remerciement

En premier lieu, nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadreur M^r BECHOUCHE ALI pour ses conseils judicieux, son suivi attentif et sa confiance qui nous a été très précieuse. De plus, nous tenons à le remercier pour nous avoir assuré l'encadrement et la documentation nécessaire pour l'élaboration de ce mémoire.

Nous remercions toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Nous remercions l'ensemble des enseignants et les membres du personnel pour leurs aides et leurs disponibilités tout au long de cette période passée à l'UMMTO.

Sans oublier les membres de jury qui nous feront l'honneur d'examiner notre travail.

Merci

Liste des symboles

PV: Photovoltaïque.

GPV: Générateur Photovoltaïque.

P&O: Perturbation et Observation.

DC: Courant Continu (Direct Current).

E : Energie de chaque photon.

I_{cc} : Courant de court-circuit d'une cellule ou d'un module solaire (A).

V_{co} : Tension du circuit ouvert (V).

n : Facteur d'idéalité.

G : Eclairement (W/m²).

P_{max}: Puissance maximale mesurée aux bornes de la cellule PV.

MPPT: Maximum Power Point Tracking.

I_{ph} : Photo-courant (A).

N_s : Nombre de cellule en série dans le panneau.

R_{sh} : Résistances parallèle shunt (Ω).

R_s: Résistance série (Ω).

V_{opt} : Tension optimale (V).

I_{opt} : Courant optimum (A).

T_c : Température de jonction ($^{\circ}\text{K}$).

I_s : Courant de saturation en Ampère.

K : Constante de Boltzmann, 1.38×10^{-23} J/K.

q : Charge de l'électron ($1.6 \cdot 10^{-19}$ C).

I_{pv} : Courant générer par la cellule photovoltaïque.

V_{pv} : Tension de sortie d'un panneau photovoltaïque.

P : Zone p de la jonction.

n : Zone n de la jonction.

SOMMAIRE

Introduction général.....	1
----------------------------------	----------

Chapitre I: Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1.Introduction.....	2
I.2.Généralités sur le photovoltaïque.....	2
I.3.Avantages et inconvénients de l'énergie solaire.....	3
I.3.1. Avantages.....	3
I.3.2.Inconvénients.....	3
I.4.Principe de Fonctionnement d'une cellule solaire PV.....	4
I.5.Modèle de la cellule photovoltaïque	5
I.6.Systèmes photovoltaïques autonomes.....	6
I.6.1.Topologie type1.....	7
I.6.2.Topologie type2.....	7
I.6.3.Topologie type3.....	8
I.7.Conclusion.....	9

Chapitre II : Modélisation d'une cellule photovoltaïque

II.1.Introduction.....	10
II.2. Modélisation et simulation d'une cellule photovoltaïque.....	10
II.2.1.Cas d'une cellule idéale.....	10
II.2.2.Cas d'une cellule réelle.....	11
II.3.Constitution d'un panneau photovoltaïque.....	13
II.4.Caractéristique d'un générateur photovoltaïque (GPV).....	13

II.5.Modélisation du module photovoltaïque.....	14
II.6.Influence de l'éclairement et de la température.....	14
II.7.Etude et réalisation du convertisseur.....	18
II.7.1.Convertisseur boost.....	18
II.7.2.Fonctionnement de hacheur boost.....	18
II.7.3.Principe de fonctionnement.....	19
II.7.4.Dimensionnement du convertisseur.....	24
II.7.5.Calcul de l'inductance de lissage L_1	24
II.7.6.Calcul du condensateur de filtrage de bus.....	26
II.8.Conclusion.....	26

Chapitre III : Commande MPPT

III.1.Introduction.....	27
III.2.Commande MPPT.....	27
III.3.Méthode perturbation et observation (P&O).....	29
III.4. Principe de recherche de point de puissance maximale(MPPT).....	32
III.5.Classification des méthodes de MPPT.....	32
III.6.Conclusion.....	33

Chapitre IV : Résultats de simulation

IV.1. Introduction.....	34
IV.2. Description de la norme EN 50530.....	34
VI.3. Système globale.....	34

VI.4. Variation de l'éclairement.....	35
VI.5. Variation de la température.....	44
VI.6. Variation d'alpha.....	54
VI.7.conclusion.....	61
Conclusion générale.....	62

Introduction générale

L'énergie photovoltaïque provient de la transformation directe des rayonnements solaires en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque *PV* basé sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice, lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. L'association de plusieurs cellules en série/parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque *GPV* qui a une caractéristique courant-tension (*I-V*) non linéaire présentant un point de puissance maximale.

La caractéristique *I-V* d'un panneau photovoltaïque dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. De plus, le point de fonctionnement de ce dernier dépend directement de la charge qu'il alimente.

Certains régulateurs recherchent le point de puissance maximale *PPM* qui correspond à une tension et un courant de panneau *PV* optimaux pour lesquels la puissance maximale dépend d'un certain nombre des paramètres météorologiques, tel que le niveau d'irradiation solaire et la température.

Au début de ce présent mémoire, nous présenterons des généralités sur les photovoltaïques ainsi les différents types de solution des systèmes photovoltaïques autonomes. Nous passerons ensuite à la modélisation et la simulation d'une cellule photovoltaïque ainsi le dimensionnement du convertisseur. Dans le troisième chapitre nous présentons la commande MPPT et la méthode perturbation et observation (P&O). Finalement, nous présenterons, des résultats de modélisation et de simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT numérique « perturbation et observation ».

Chapitre I

Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1. Introduction

L'énergie photovoltaïque est l'une des sources les plus importantes d'énergie renouvelable qui suscitait un intérêt croissant ces dernières années. Les principaux avantages de l'énergie photovoltaïque sont les suivants : propre, plus de disponibilité par rapport à d'autres sources d'énergie, capacité de puissance élevée par unité de poids, très modulaires, et peu d'entretien.

En raison du coût initial élevé du panneau photovoltaïque, il est important de les utiliser efficacement et d'en extraire le maximum de puissance possible. La caractéristique $I = f(V)$ des cellules solaires est affectée par les conditions de rayonnement et de température. L'extraction de la puissance maximale se fait par le contrôle de la tension et du courant, des techniques dit « *MPPT* » sont utilisées pour atteindre cet objectif. Beaucoup de techniques de contrôle *MPPT* ont été discutées dans la littérature. La technique de la conductance incrémentielle est la *MPPT* la plus couramment utilisé pour les systèmes photovoltaïques [01].

I.2. Généralités sur le photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou recouverts d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure : c'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique l'électricité produite est disponible sous forme d'électricité directe ou stockée en batteries (*énergie électrique décentralisée*) ou en électricité injectée dans le réseau. Un générateur solaire photovoltaïque est composé de modules photovoltaïques eux-mêmes composés de cellules photovoltaïques connectées entre elles. Les performances d'une installation photovoltaïque dépendent de l'orientation des panneaux solaires et des zones d'ensoleillement dans lesquelles ils se trouvent, à travers l'irradiation auxquels ils sont soumis. [01]

I.3. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire

I.3.1. Avantages

Les avantages de l'énergie solaire dépendent de différents facteurs. Selon les caractéristiques de l'installation solaire, certains avantages peuvent être observés par rapport à d'autres sources d'énergie. L'énergie solaire est une énergie renouvelable et, par conséquent, elle est inépuisable. Bien que le soleil ait une durée de vie limitée, à l'échelle humaine, il est considéré comme une source d'énergie inépuisable [02].

- Faible pollution et respect de l'environnement. la production d'électricité dans le cas de l'énergie photovoltaïque ou de l'eau chaude dans l'énergie solaire thermique est propre et la serre de causes.
- Installations avec un cout d'installation et de maintenance réduit. Le cout d'une installation solaire par rapport à d'autres types d'installations telles qu'une centrale nucléaire est très faible. de même, la maintenance d'une installation solaire n'est pas très coûteuse.
- C'est favorable pour les sites isolés. Dans les cas où l'accès au réseau électrique est difficile, l'énergie solaire est une très bonne option.

I.3.2. Inconvénients

- Selon les caractéristiques de l'installation solaire, les inconvénients de l'énergie solaire seront plus ou moins importants. Malgré tous les avantages, il convient d'analyser soigneusement les inconvénients. Certains inconvénients de l'énergie solaire peuvent impliquer qu'une installation solaire soit inefficace. Les aspects à considérer sont les suivants :
- L'efficacité énergétique est faible par rapport à d'autres sources d'énergie. Le rapport de la quantité d'énergie reçue dans un panneau solaire à la quantité d'énergie électrique est faible par rapport à d'autres sources d'énergie telles que l'énergie nucléaire.

- La performance est fonction de la météo. La dépendance à la climatologie fait de cette source d'énergie une option irréalisable dans les zones où le ciel est habituellement nuageux.
 - Des limitations sur le temps solaire. Gardez à l'esprit que dans certaines régions, le nombre d'heures de soleil est plus limité. Les pays nordiques, par exemple, pendant les jours d'hiver les heures solaires sont très peu. De plus, l'inclinaison du soleil par rapport à la surface varie au cours des différents jours de l'année. La variation de l'inclinaison de la radiation influence la performance des panneaux solaires.
 - Des limitations pour stocker l'énergie générée. Parce que les heures où l'énergie électrique peut être obtenue ne coïncident pas toujours avec les heures où il est nécessaire de stocker l'énergie. Pour cela, il y a des batteries solaires et des réservoirs d'eau chaude pour stocker l'énergie thermique, mais l'efficacité est encore très faible.
- [02]

I.4.Principe de Fonctionnement d'une cellule solaire PV

La cellule solaire est une photodiode à jonction PN de grande surface qui génère un signal électrique sans l'aide d'une source d'énergie auxiliaire. Lorsque les photons issus du soleil frappent la cellule, certains sont réfléchis et d'autres sont transmis ou absorbés dans la cellule solaire, seuls les photons absorbés participent à l'effet photoélectrique. La conversion photovoltaïque met en jeu trois phénomènes physiques, intimement liés et simultanés :

- L'absorption de la lumière dans le matériau,
- Le transfert d'énergie des photons aux charges électriques,
- La collecte des charges.

Il est donc clair que les matériaux constituant une cellule solaire doivent avoir des propriétés optiques et électriques spécifiques pour permettre la conversion photovoltaïque. Dans le but de collecter les paires électron-trou générées, un champ électrique permettant de dissocier les paires électrons /trou créés est nécessaire. Pour cela on utilise le plus souvent une jonction PN [03].

I.5. Modèle de la cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est assimilable à une diode photosensible, son fonctionnement est basé sur les propriétés des matériaux semi conducteurs. Cette cellule est constituée d'un matériau semi-conducteur de *type P-N*, la taille de chaque cellule va de quelque centimètres carrés jusqu'à 100 cm^2 ou plus. Sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries [4].

Les cellules se branchent en série, ce qui permet aux électrons générés par une cellule d'être repris par la suivante. Une cellule élémentaire peut être représentée par le schéma électrique équivalent suivant :

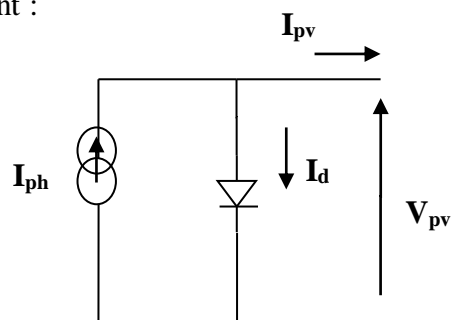


Figure I.1. Schéma équivalent électrique d'une cellule PV idéale.

La cellule photovoltaïque est équivalente à un générateur de courant I_{ph} induit par le flux lumineux, shunté par une diode représentant la jonction P-N du semi-conducteur.

Un modèle *PV* peut être exprimé par le circuit équivalent représenté par la **figure I.2**, ce modèle est également connu comme modèle d'une simple diode. Dans ce modèle le courant du court-circuit et la tension du circuit ouvert sont les paramètres principaux.

Le courant du court-circuit dépend de l'éclairement, alors que la tension du circuit ouvert est affectée par la qualité du matériau utilisé et dépend aussi de la température. Lorsque les résistances de contact et les pertes ohmiques ne peuvent être considérées comme négligeables par rapport à la résistance de charge, on doit associer au schéma équivalent une résistance série R_s et une résistance shunt R_{sh} .

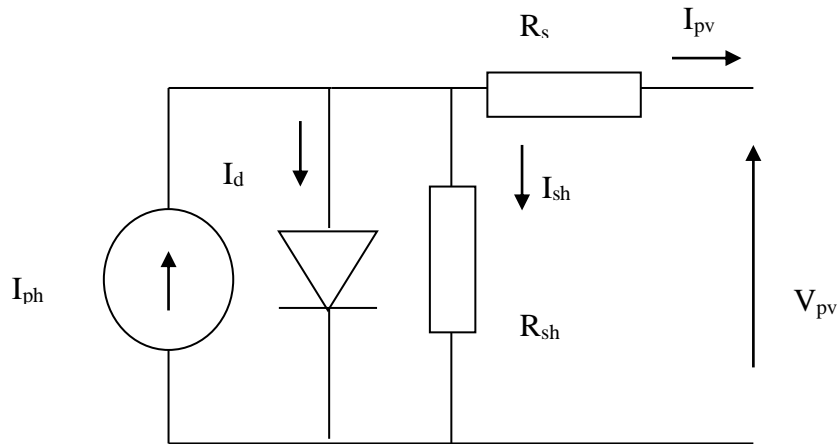


Figure I.2. Schéma équivalent électrique d'une cellule PV

I.6. Systèmes photovoltaïques autonomes

Les systèmes photovoltaïques autonomes sont équipés en plus du système d'extraction de la puissance maximale, d'un dispositif de stockage. Ce dernier est muni à son tour d'un gestionnaire de la puissance, quand la puissance disponible au panneau *PV* est inférieure à celle requise par la charge, ce dispositif doit fournir cette différence de puissance. Quand la puissance disponible au panneau *PV* est supérieure à la puissance exigée par la charge, l'excès devrait être employé pour charger le dispositif de stockage. Il existe plusieurs topologies, nous citons quelque unes :

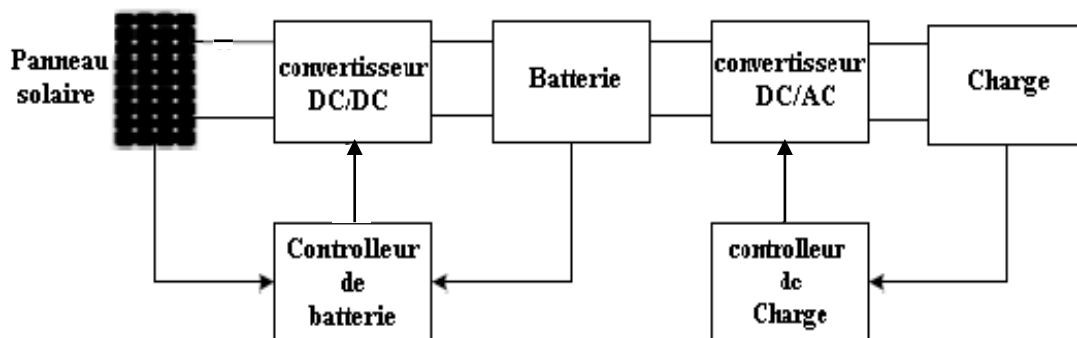


Figure I.3. Connexion PV-batterie (type 1)[5]

I.6.1 .Topologie type 1

Une topologie du raccordement du (*PV-batterie*) est montrée sur le schéma de la **figure I.3**, dans cette dernière, le convertisseur *DC/DC* est employé pour capturer toute la puissance disponible au *PV*. La batterie agit en tant qu'amortisseur d'énergie, cette énergie est transférée vers la charge par le biais d'un convertisseur *DC/AC*. Le contrôleur de la batterie détermine l'état de cette batterie selon le *PPM* des panneaux solaires. Quand il n'y'a aucun rayonnement solaire, le débranchement du convertisseur *DC/DC* est nécessaire, dans ce cas l'énergie emmagasinée dans la batterie va être transférée automatiquement vers la charge. La taille de la batterie devrait être choisie de sorte qu'elle puisse satisfaire toutes les demandes de puissance pendant une période sans aucune rupture [05].

I.6.2. Topologie type 2

Dans la topologie du raccordement représentée sur la **figure I.4**, la batterie est reliée en parallèle au panneau solaire au lieu d'un raccordement en cascade, dans cette topologie, les deux convertisseurs *DC/DC* et *DC/AC* jouent le rôle de contrôleurs de la demande de puissance de la charge et la capture de puissance disponible à la sortie du panneau solaire. Cette topologie exige une stratégie plus compliquée du point de vue commande en comparaison à la topologie de type I, puisque elle exige l'opération synchronisée des convertisseurs.

Dans le cas ou la puissance débitée par le panneau solaire est supérieur à celle consommée par la charge, le convertisseur *DC/DC* devrait charger la batterie. Le panneau solaire devrait assurer le transfert d'énergie vers la charge par l'intermédiaire du convertisseur *DC/AC*, dans le cas ou la puissance est insuffisante, l'énergie stockée dans la batterie ne devrait être transférer à la charge qu'à travers le convertisseur *DC/AC*. Cette topologie exige un *DC/DC* bidirectionnel pour la charge et la décharge de la batterie [05].

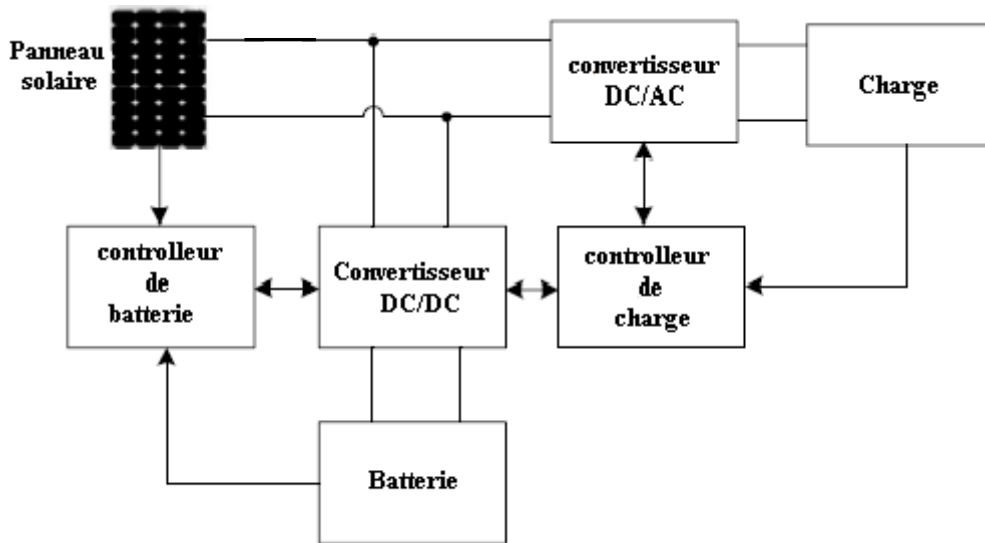


Figure I.4. Connexion PV-batterie (type 2)[5]

I.6.3. Topologie type 3

Dans cette représentation, la batterie est reliée au bus continu par un convertisseur bidirectionnel AC/DC. Dans ce type de topologie, le convertisseur DC/AC devrait contrôler la puissance du panneau et son transfert vers la charge. [05]

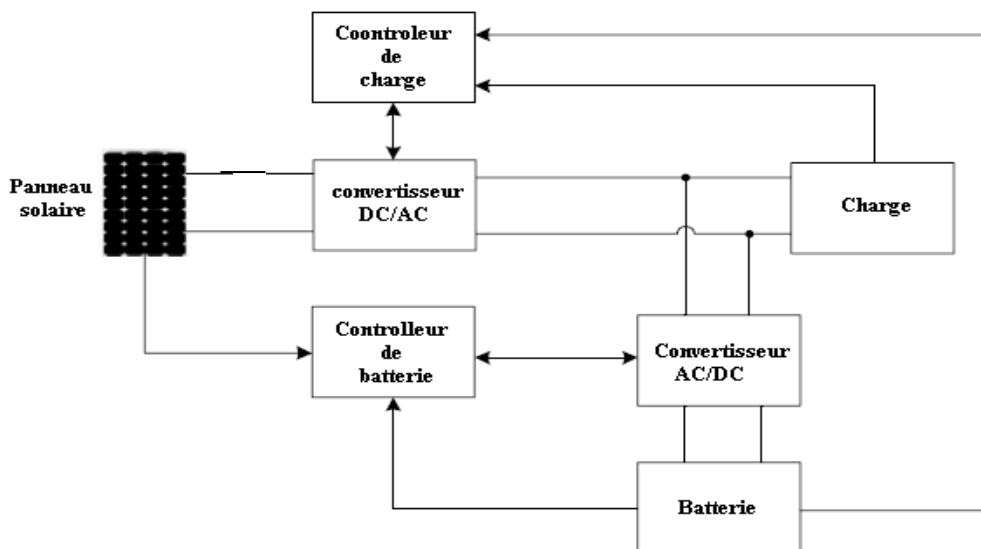


Figure I.5. Connexion PV-batterie (type 3)[5]

I.7. Conclusion

Dans ce chapitre, les topologies des systèmes autonomes photovoltaïques ont été présentées. Les différentes structures basées sur les techniques MPPT des systèmes photovoltaïques sont aussi énumérées dans cette partie.

II.1.Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie dont la disponibilité varie considérablement dans la Journée. L'objectif de ce travail est de présenter une conception d'un convertisseur boost capable de rechercher la puissance maximale quelles que soient les variations de l'ensoleillement.

Afin de juger de l'efficacité du convertisseur boost proposé, nous avons d'abord modélisé et simulé sous Simulink la cellule photovoltaïque (PV) directement connecté à une charge.

Ensuite la modélisation et la simulation ont été effectuées avec le champ PV connecté à une charge par l'interface du boost.

II.2. Modélisation et simulation d'une cellule photovoltaïque

II.2.1. Cas d'une cellule idéale

La cellule photovoltaïque est équivalente à un générateur de courant I_{ph} induit par le flux lumineux, shunté par une diode représentant la jonction P-N du semi-conducteur, qui peut être représentée par le schéma électrique équivalent suivant :

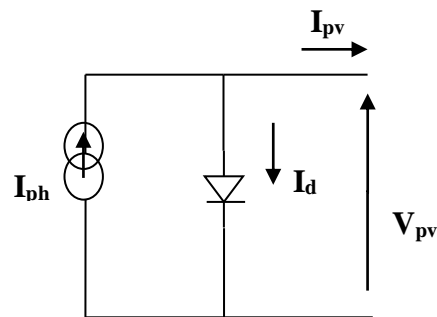


Figure II.1.Schéma équivalent électrique d'une cellule PV idéale

L'équation caractéristique d'une cellule idéale est de la forme :

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_{sat} \left(e^{qV/nKT} - 1 \right) \quad (II.1)$$

$$I_D = I_{sat} \left(e^{qV/nKT} - 1 \right) \quad (II.2)$$

II.2.2. Cas d'une cellule réelle

Le circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque est présenté dans la **Figure. II.2** Il inclut une source de courant, une diode, une résistance série et une résistance shunt.

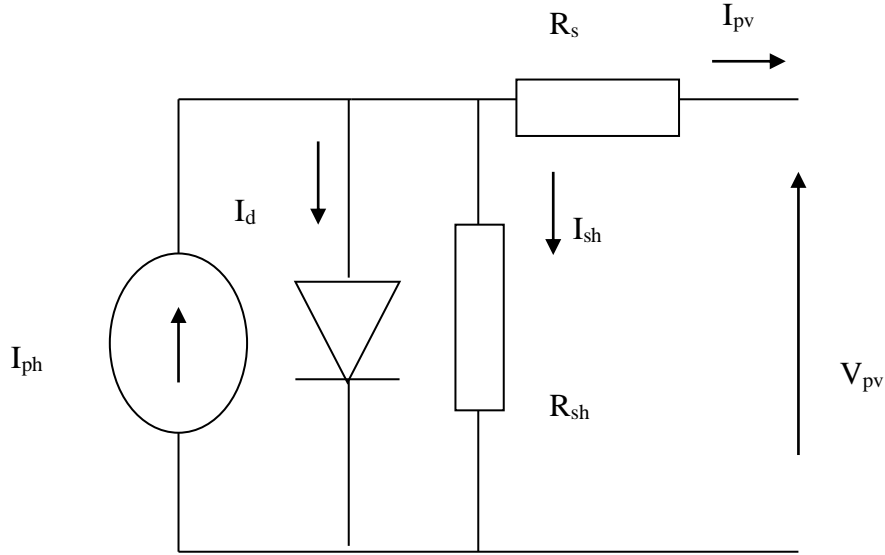


Figure II.2. Schéma équivalent électrique d'une cellule PV réelle

En appliquant la loi de Kirchhoff aux nœuds, le courant débité par la cellule peut être représenté par l'équation suivante :

$$I_{PV} = I_{ph} - I_D - I_{R_{sh}} \quad \text{(II.3)}$$

I_{ph} : courant généré par les photons ou photo-généré.

$I_{R_{sh}}$: courant traversant la résistance shunt, si cette résistance est très grande, le courant devient très faible et est indépendant de la tension.

$$I_{R_{sh}} = \frac{V_D}{R_{sh}} = \frac{V + R_s \cdot I_{PV}}{R_{sh}} \quad \text{(II.4)}$$

$$V_D = R_{sh} \cdot I_{R_{sh}} = V + R_s \cdot I_{PV} \quad \text{(II.5)}$$

$$I_{PV} = \left[I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{q \left(V + \frac{R_s I_{PV}}{N_s} \right)}{n K T} \right) - 1 \right] - \frac{V + \frac{R_s I_{PV}}{N_s}}{R_{sh}} \right] N_p \quad \text{(II.6)}$$

Tel que n est le facteur d'idéalité, pour les cellules actuellement commercialisées au silicium, on prend $n=1$.

Si l'on suppose R_{sh} infini ($R_{sh} = \infty$) l'équation précédente devient :

$$I_{PV} = \left[I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \left(\frac{q \left(V + \frac{R_s I_{PV}}{N_s} \right)}{n K T} \right) - 1 \right] \right] N_p \quad (\text{II.7})$$

Le courant de court-circuit est obtenu pour une tension de sortie nulle, le courant de court-circuit est donné par l'équation suivante :

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \frac{q R_s I_{cc}}{K T} - 1 \right] - \frac{R_s I_{cc}}{R_{sh}} \quad (\text{II.8})$$

La tension à circuit ouvert est obtenue pour un courant de sortie nul, la tension de circuit ouvert est donnée par l'équation suivante :

$$0 = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp \frac{q V_{co}}{n K T} - 1 \right] - \frac{V_{co}}{R_{sh}} \quad (\text{II.9})$$

La **figure II.3** montre la caractéristique $I = f(V)$ du générateur photovoltaïque, pour un éclairage donné est une température constante. Les paramètres fondamentaux suivants : le courant du court-circuit, la tension du circuit ouvert et la puissance maximale peuvent être déterminés à partir de la caractéristique.

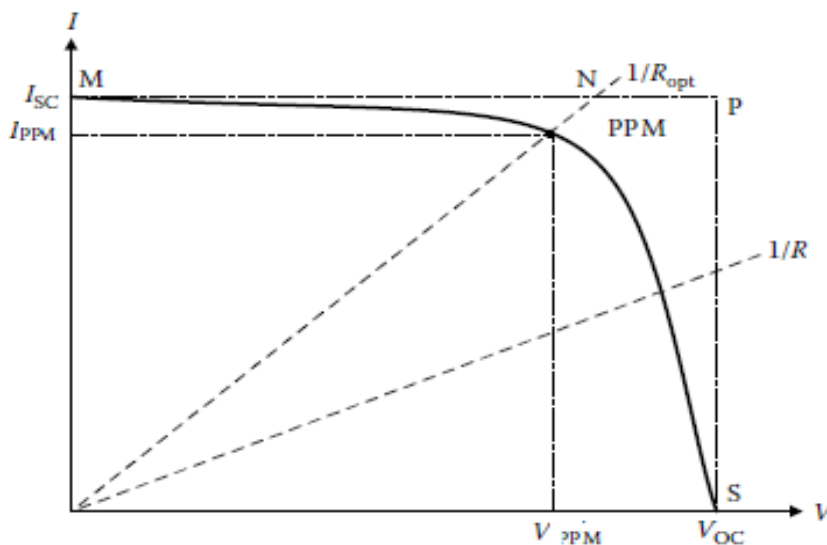


Figure II.3. Caractéristique $I = f(V)$ du générateur photovoltaïque [6]

Si une charge résistive variable R est alimentée par le panneau, le point de fonctionnement se détermine par l'intersection de la caractéristique $I = f(V)$ et la caractéristique de charge. La caractéristique de charge est une ligne droite avec une pente de $(I/V = I/R)$. La puissance fournie à la charge dépend de la valeur de la résistance de charge. Cependant, si la résistance de charge est faible, la cellule se comporte comme une source de courant constant donc il est au voisinage du courant du court-circuit. D'autre part si la résistance de charge est plus importante, la cellule se comporte comme une source de tension constante, elle est au voisinage de la tension du circuit ouvert. [6]

II.3. Constitution d'un panneau photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque seule est souvent peu utilisable parce qu'elle produit une très faible puissance de l'ordre de 1 à 3 W, avec une tension de moins de 1V. Alors pour augmenter la puissance, on assemble ces cellules soit en série ou en parallèle.

Les cellules sont assemblées pour former un GPV élémentaire.

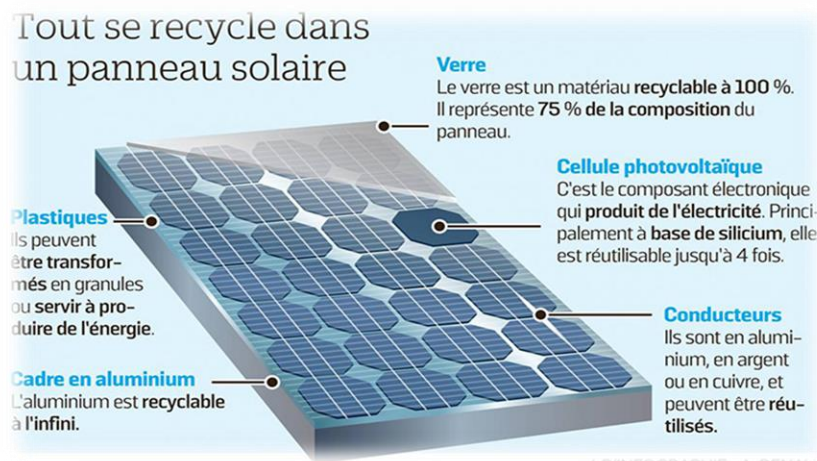


Figure II.4. Constitution d'un panneau photovoltaïque [7]

II.4. Caractéristique d'un générateur photovoltaïque (GPV)

On décrit un GPV élémentaire par les paramètres suivants :

La puissance de crête P_c : puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m^2).

La tension à vide V_{oc} : tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour un éclairement "plein soleil".

Le courant de court-circuit I_{cc} : courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement "plein soleil".

Chapitre II Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Le point de fonctionnement optimum (V_{pm}, I_{pm}) : lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil $P_{max} = V_{pm} * I_{pm}$

Le rendement : rapport de la puissance électrique optimale à la puissance d'irradiation incidente qui est donné par la relation suivante :

Le rendement = la puissance de sortie / la puissance d'entrée

[Puissance d'entrée] = [l'irradiation(G)] * [surface(S)]

Alors : Le rendement = $\frac{P_{pv}}{G * S}$

Le facteur de forme : rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule.

- **Choix du module photovoltaïque**

Dans notre travail, nous avons choisis le module photovoltaïque Du type **IFRI 260-60**. Il est constitué d'une mise en série de 60 cellules photovoltaïques. Ainsi nous donnons les caractéristiques électriques de ce module photovoltaïque mesurées dans les conditions standard (éclairage de 1000 W/m^2 , Température de la cellule : 25°C) utilisées dans cette étude.

Tableau 1. Caractéristiques électriques du module **IFRI 260-60** choisi pour la modélisation :

Grandeurs	Valeurs
Nombre de cellule en série (N_s)	60
Puissance maximale (P_{max})	260 W
Courant de court-circuit (I_{cc})	8.65 A
Tension du circuit ouvert (V_{co})	38.1 V
Courant au point de MPP (I_{mp})	8.1 A
Tension au point de MPP (V_{mp})	32.05 V

II.5. Modélisation du module photovoltaïque

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur électrique de très faible puissance.

Le générateur photovoltaïque est un ensemble de cellules connectés série/parallèle afin d'obtenir une tension et une puissance désirées. ces cellules sont commercialisées sous la forme de modules photovoltaïque sont associées généralement en série pour augmenter la tension, ces modules sont ensuite associés en réseau série parallèle pour obtenir la tension et le courant désirés.[8]

$$I_{PV} = \left[I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q \left(V + \frac{R_s I_{PV}}{N_s} \right)}{aKT} \right) - 1 \right] - \frac{V + \frac{R_s I_{PV}}{N_s}}{R_{sh}} \right] N_p \quad (\text{II.10})$$

II.6. Influence de l'éclairement et de la température

Premièrement, on va effectuer une simulation où nous avons maintenu la température constante à 25°C pour les différents éclairagements, on remarque l'accroissement du courant de court-circuit est beaucoup plus important que l'augmentation de la tension de circuit ouvert, car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement et la tension du circuit ouvert est une fonction logarithmique

Et pour les résultats de simulation on voit aussi que la tension diminue légèrement avec la diminution de l'éclairement.

Qui va influencer sur la puissance de panneau où on a obtenue une puissance de 256W pour un rayonnement de 1000W/m² qu'est diminuée jusqu'à moins de 25W pour un rayonnement de 100W/m².

Les **figures (II.5, II.6)** présentent une simulation du modèle du panneau photovoltaïque pour différents niveaux de rayonnement à une température constante.

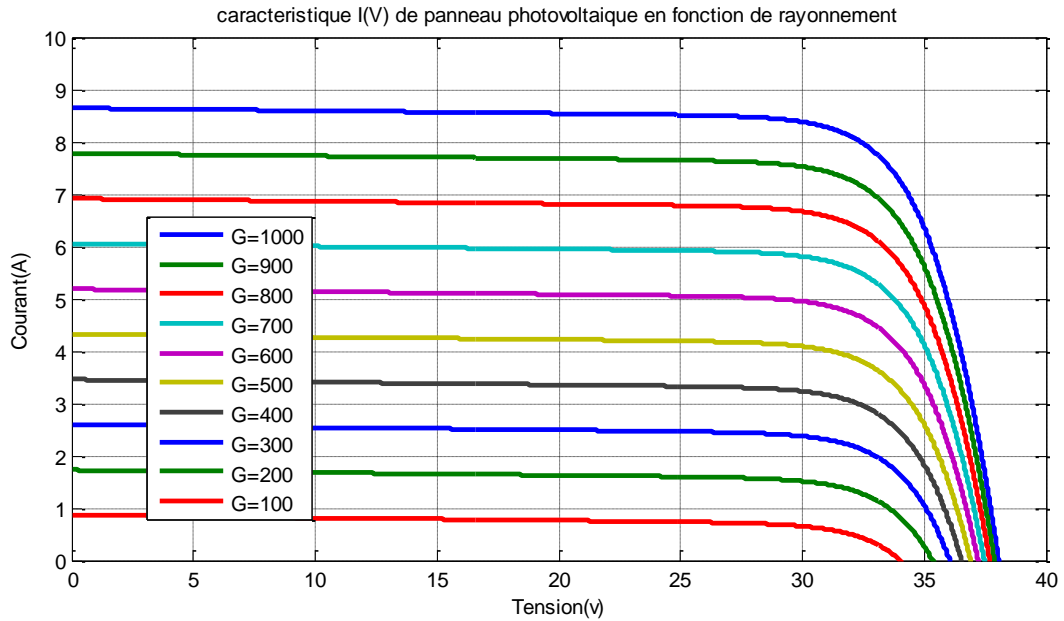


Figure II.5. Influence de la variation de l'éclairement sur la Caractéristique I(V) de panneau photovoltaïque

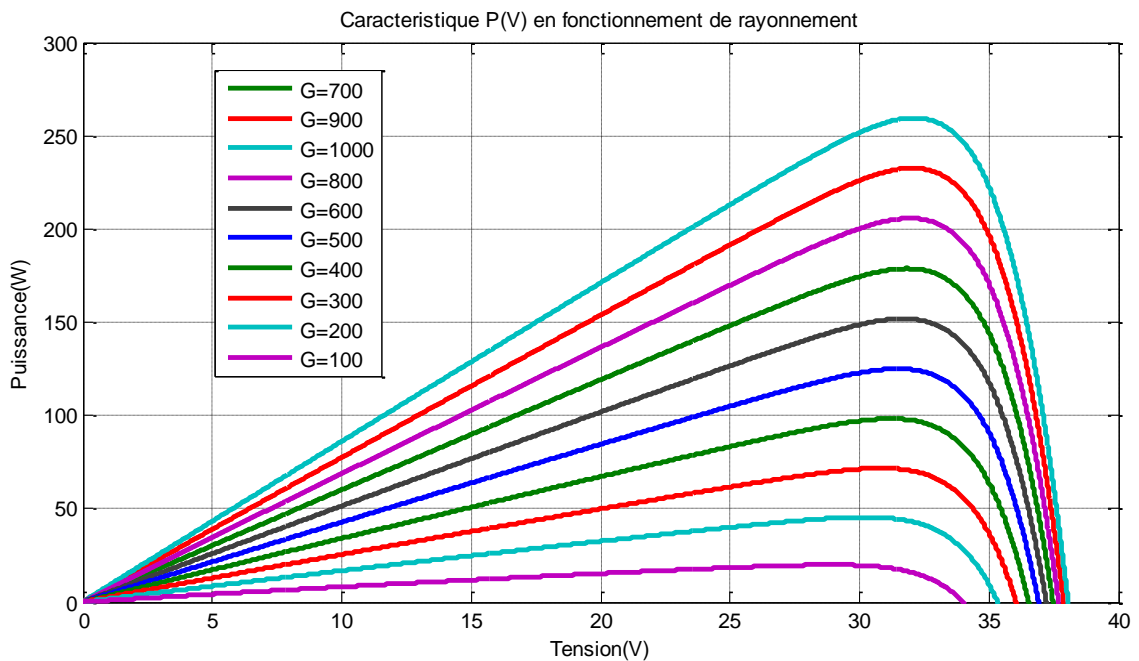


Figure II.6. Influence de la variation de l'éclairement sur la Caractéristique P(V) de panneau photovoltaïque.

Deuxièmement nous avons effectué une simulation où on a maintenu un rayonnement constant est de 1000W/m^2 pour différentes températures.

On voit que la tension à vide baisse fortement avec la diminution de la température tel qu'on obtient plus de 40V pour une température de 0°C et une tension de 20V pour une température de 80°C alors une grande diminution de tension à l'intervalle de 0°C à 80°C , par contre le courant de court-circuit qui augmente légèrement avec l'augmentation de la température tel qu'on obtient un courant de court-circuit du 8.5A pour une température de 0°C et un courant de 9A pour une température de 80°C .

Alors on peut conclure que la température influe directement sur la tension de panneau photovoltaïque.

Et on voit que la variation de la température engendre une grande influence sur la puissance tel qu'on obtient une puissance de 325W pour une température de 0°C et une puissance de 120W pour une température de 80°C .

Les figures (II.7, II.8) présentent une simulation du modèle du panneau photovoltaïque pour différentes températures de fonctionnement des cellules photovoltaïques à un éclairement constant :

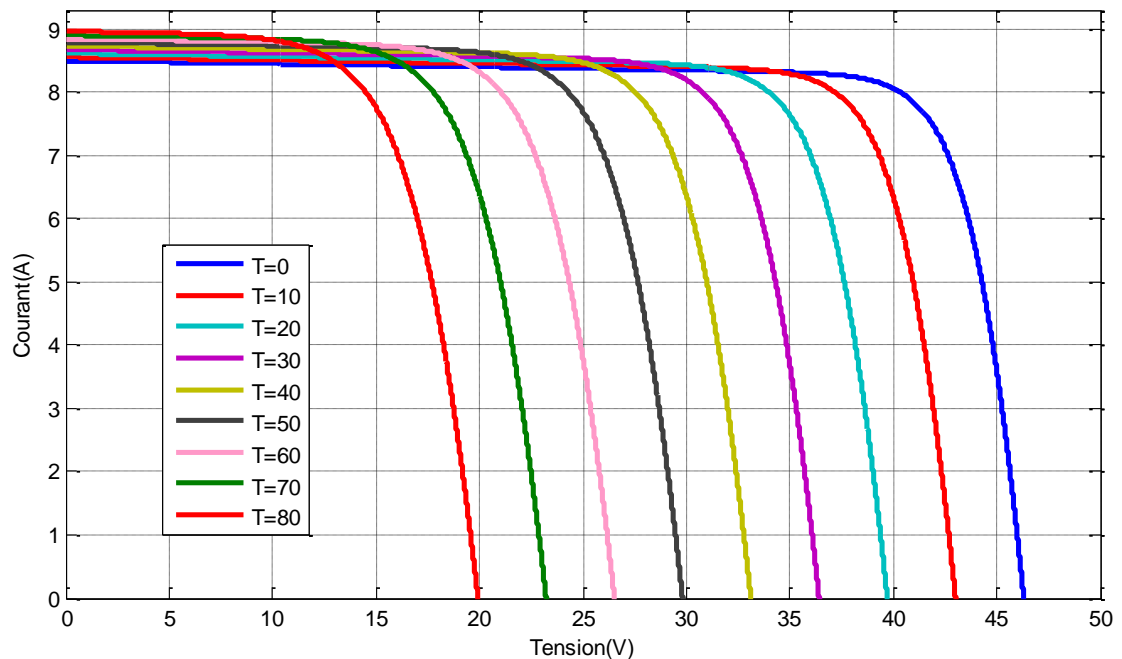


Figure II.7. Influence de la variation de la température sur la Caractéristique I(V) de panneau photovoltaïque

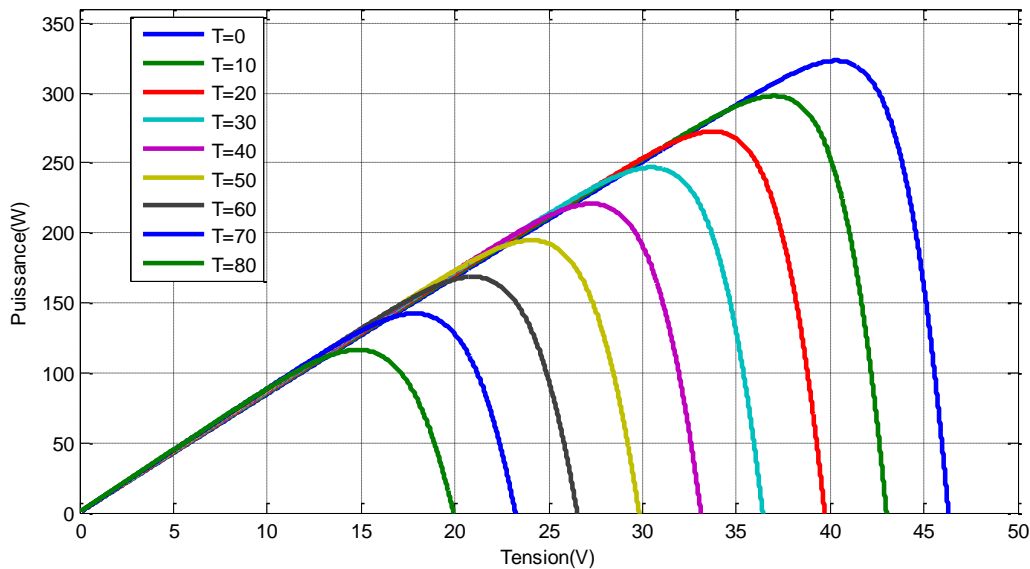


Figure II.8. Influence de la variation de la température sur la Caractéristique P(V) de panneau photovoltaïque

II.7. Etude et réalisation du convertisseur

L'objectif principal de notre présent travail est le développement d'un étage d'adaptation à base d'un hacheur survolteur (Boost) muni d'une commande MPPT à faible coût, par conséquent, le système de stockage ne sera pas abordé. [9]

II.7.1. Convertisseur boost

Certaines applications peuvent nécessiter une tension à délivrer à une charge supérieure à la tension d'alimentation du système il est alors nécessaire d'élever la tension en utilisant un hacheur élévateur ou hacheur parallèle qui permet de réaliser cette fonction. Ce type de convertisseur statique permet de convertir une tension continue en une autre tension continue plus élevée. [9]

Premièrement, on va étudier le fonctionnement de cette structure pour déterminer les relations entre les différents signaux électriques

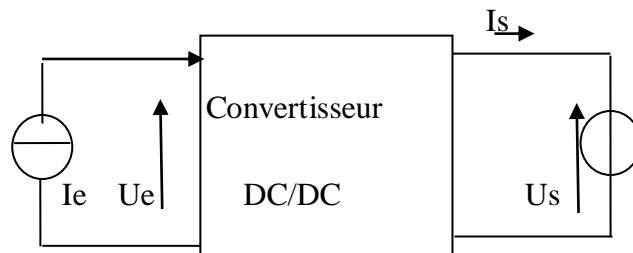


Figure II.9. Convertisseur DC/DC

II.7.2. Fonctionnement de hacheur boost

a. Hypothèses simplificatrices

Dans ce hacheur la tension d'alimentation V_{pv} est continue et constante. Un interrupteur K à deux états qui sera piloté à l'amorçage et au découpage avec un rapport cyclique α et une fréquence de découpage f . L'inductance L permet de laisser le courant. La valeur de condensateur C est suffisamment grande.

Nous supposons que le courant traversant l'inductance ne s'annule jamais (mode de conduction continue). Les composants sont supposés idéaux.

La **figure II.9** montre le schéma électrique de convertisseur boost proposé

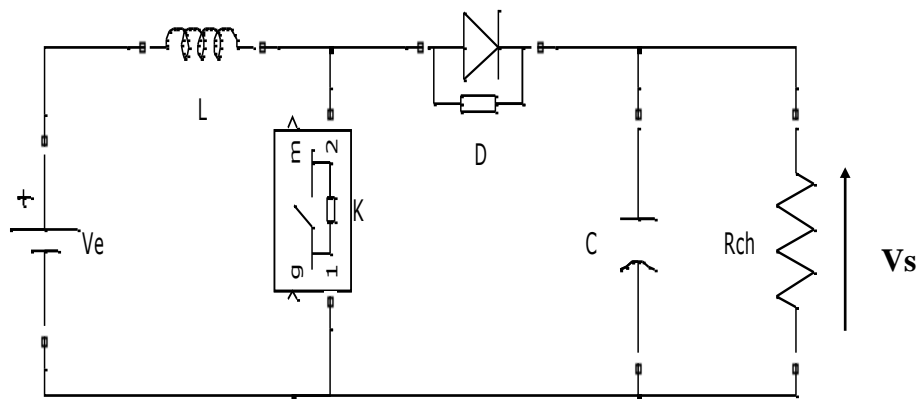


Figure II.10. Schéma équivalent d'un convertisseur Boost.

II.7.3.Principe de fonctionnement

Le principe de ce convertisseur est d'assurer le transfert d'énergie entre une source de courant continue et une source de tension continue, son fonctionnement peut être divisé en deux parties selon l'état de l'interrupteur K [9]

a. Quand K conduit D bloquée

Première partie à gauche : la source charge l'inductance

Deuxième partie à droite : la capacité maintient la tension de sortie utilisant l'énergie précédemment stockée

Le schéma équivalent alors le suivant :



Figure II.11. Schéma équivalent de convertisseur boost K

b. K bloqué D conduit

Quand l'interrupteur K est bloqué et se comporte comme un interrupteur ouvert et la diode D conduit, la source de tension DC et l'énergie stockée dans l'inductance vont ensemble alimenter le circuit à droite (R et C) d'où une augmentation de la tension de sortie le schéma équivalent est alors le suivant :

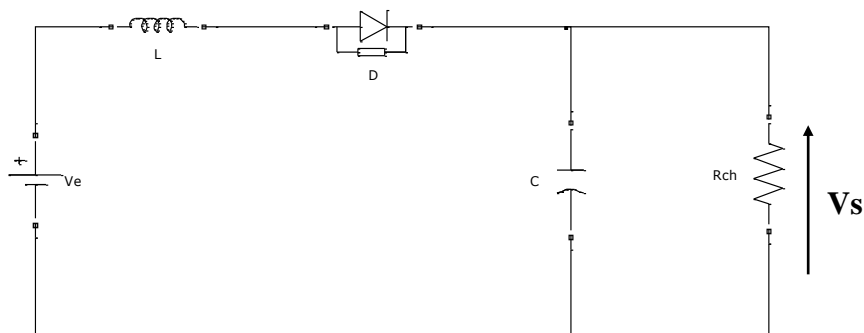
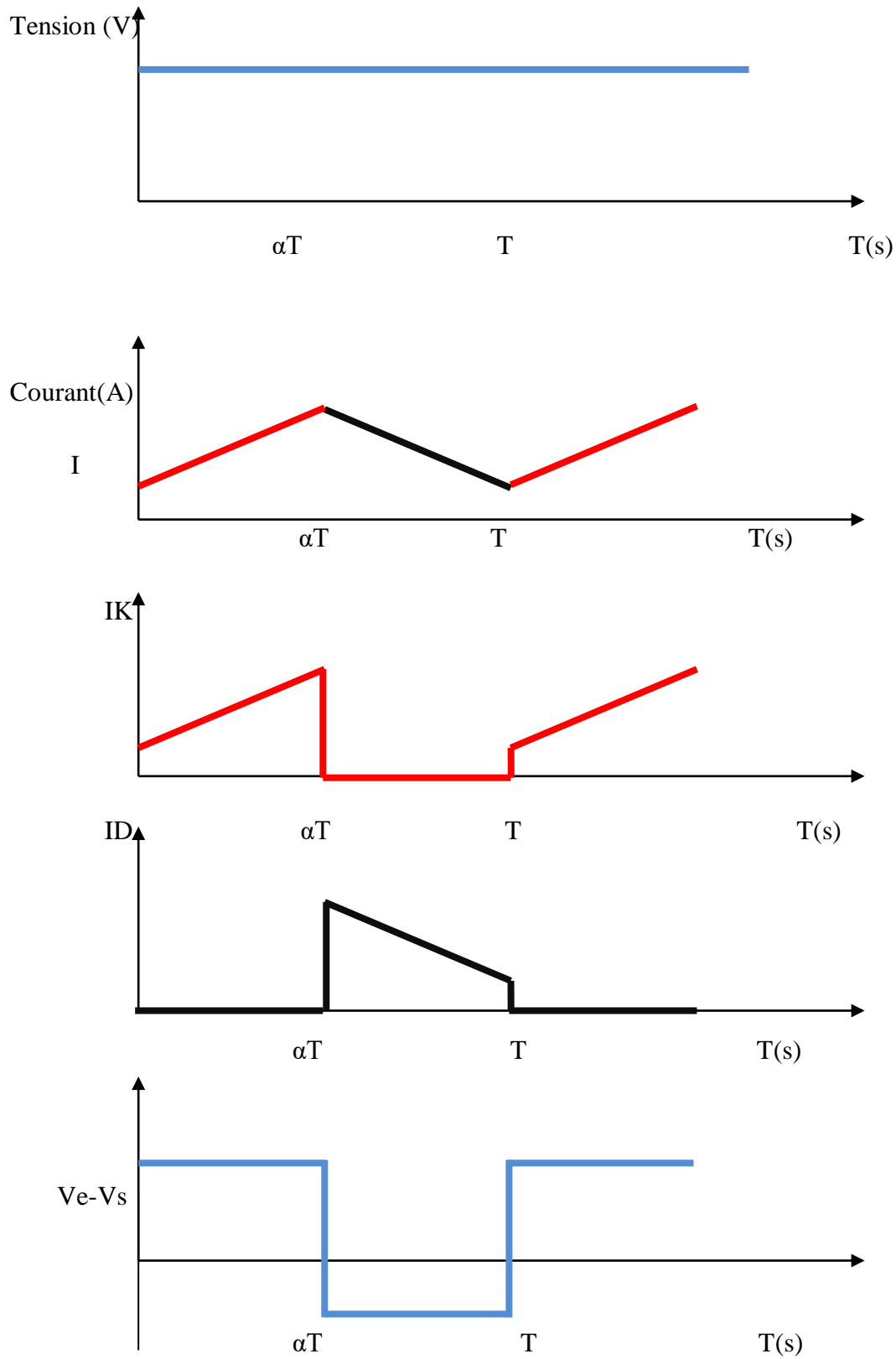


Figure II.12. Schéma équivalent quand D conduit



F Figure II.13 .Courbes de tension, courant de la diode, courant de la charge et l'interpréteur

Etude de fonctionnement

De $[0, \alpha T]$ l'interrupteur K est fermé, entraînant l'augmentation de la tension suivant la relation suivante :

$$V_{pv} = V_l = \frac{L \cdot di}{dt}$$

On intégrant, on obtient l'expression de l'évolution du courant traversant l'inductance.

$$i(t) = \left(\frac{V_{pv}}{L} \right) * t + i_0$$

D'après cette expression on trouve que le courant est une droite de pente V_{pv}/L et un courant de démarrage de i_0 :

De $[\alpha T, T]$, l'interrupteur K ouvert et la diode conduit (phase de roue libre)

$$V_l = \frac{L \cdot di}{dt} = V_{pv} - V_d - V_s = V_{pv} - V_s < 0$$

On intégrant, on obtient l'expression de l'évolution du courant traversant l'inductance :

$$i(t) = \left(\frac{V_{pv} - V_s}{L} \right) * (t - \alpha T) + i_{max}$$

Expression de V_l moyenne

$$\langle V_l \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T V_l \cdot dt = \frac{1}{T} \left(\int_0^{\alpha T} V_{pv} \cdot dt + \int_{\alpha T}^T (V_{pv} - V_s) \cdot dt \right)$$

On sait que la valeur moyenne aux bornes de l'inductance au régime permanent est nulle

Alors :

$$\langle V_l \rangle = \alpha \cdot V_{pv} + (V_{pv} - V_s)(1 - \alpha) = 0$$

Finalement, on simplifiant cette relation obtient la valeur moyenne de la tension de sortie :

$$\langle V_s \rangle \geq \frac{V_{pv}}{(1 - \alpha)}$$

Et comme on a le rapport cyclique compris entre 0 et 1, alors la valeur de la tension moyenne de sortie V_s est supérieure à la tension d'entrée V_{pv} .

Et pour calculer la valeur moyenne de courant de sortie on a la relation suivante :

$$I_s = \langle i_s(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T I_{pv} \cdot dt$$

Et dans l'intervalle $[0 \alpha T]$ c'est le transistor qui conduit alors la tension de sortie $V_s=0$

Alors on calcule sa valeur moyenne de $[\alpha T T]$:

$$I_s = \langle i_s(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_{\alpha T}^T I_{pv} \cdot dt$$

Alors :

$$I_s = \langle i_s(t) \rangle = I_{pv}(1 - \alpha)$$

D'après cette relation on peut conclure alors que le hacheur boost est abaisseur de courant.

Le transfert moyen de la puissance alors :

$$P = \langle P \rangle = (1 - \alpha) V_s \cdot I_{pv}$$

D'après cette relation on voit alors qu'il est possible de régler le transfert moyen de la puissance entre l'entrée et la sortie de ce convertisseur à partir du rapport cyclique α .

Le dimensionnement de chaque élément a été dicté par le choix de faire fonctionner le convertisseur élévateur en mode de conduction continue, sur la plage de fonctionnement la plus grande possible. Dans ce mode de fonctionnement, l'énergie emmagasinée dans l'inductance « L » est transférée partiellement et le courant dans celle-ci ne s'annule jamais.

Les relations utilisées pour le dimensionnement sont les relations classiques entre la tension de sortie et celle d'entrée et le rapport cyclique :

$$V_s = \frac{1}{1-\alpha} \cdot V_{pv}$$

Une relation analogue lie la valeur moyenne du courant dans l'inductance au courant de sortie :

$$I_{Lmoy} = I_{pv} = \frac{I_s}{1-\alpha}$$

II.7.4. Dimensionnement du convertisseur

L'inductance de lissage L est utilisée pour limiter l'ondulation du courant dans le convertisseur et dans la source V_{pv} . Le condensateur de filtrage permet de limiter les ondulations de tension dues au découpage en sortie du convertisseur [9].

II.7.5. Calcul de l'inductance de lissage L

L'ondulation de courant dans l'inductance est calculée en considérant la tension de sortie continue, c.-à-d en négligeant l'ondulation de la tension vis-à-vis de sa valeur moyenne

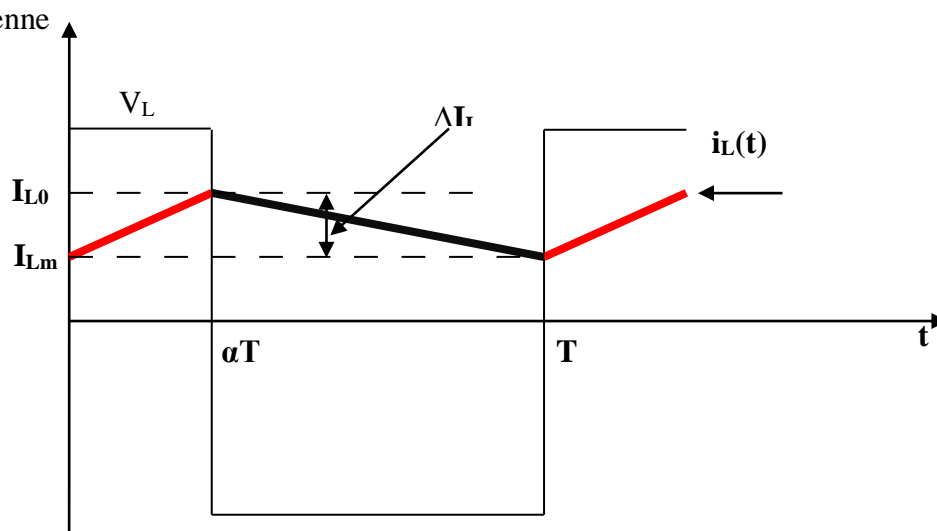


Figure.II.14.Ondulation de courant

Pour $0 < t < \alpha T$:

$$i_L(t) = \frac{V_{pv}}{L} t + I_{L0}$$

A $t = \alpha T$:

$$i_L(t) = \frac{V_{pv}}{L} \cdot \alpha T + I_{L0}$$

D'où:

$$\Delta I_L = I_{Lmax} - I_{L0} = \frac{\alpha V_{pv}}{L \cdot f_p}$$

Or:

$$V_s = \frac{V_{pv}}{1-\alpha}$$

Nous pouvons donc écrire:

$$\Delta I_L = \frac{\alpha(1-\alpha)V_s}{L \cdot f_p}$$

Tel que :

$$T = \frac{1}{f_p}$$

L'inductance de lissage est calculée en fonction de l'ondulation du courant souhaitée. L'ondulation maximale est obtenue pour un rapport cyclique de 0.5. L'ondulation maximale est donc :

$$\Delta I_{LMax} = \frac{V_s}{4 \cdot L \cdot f_p}$$

Par conséquent, l'inductance minimale pour un hacheur survolteur est donnée par la relation suivante :

$$L = \frac{V_s}{4 \cdot f_p \cdot \Delta I_{Lmax}}$$

II.7.6. Calcul du condensateur de filtrage de bus

Ce condensateur doit pouvoir tenir le courant à fournir lors des pics de puissance. L'ondulation de tension en sortie résulte du courant alternatif dans le condensateur

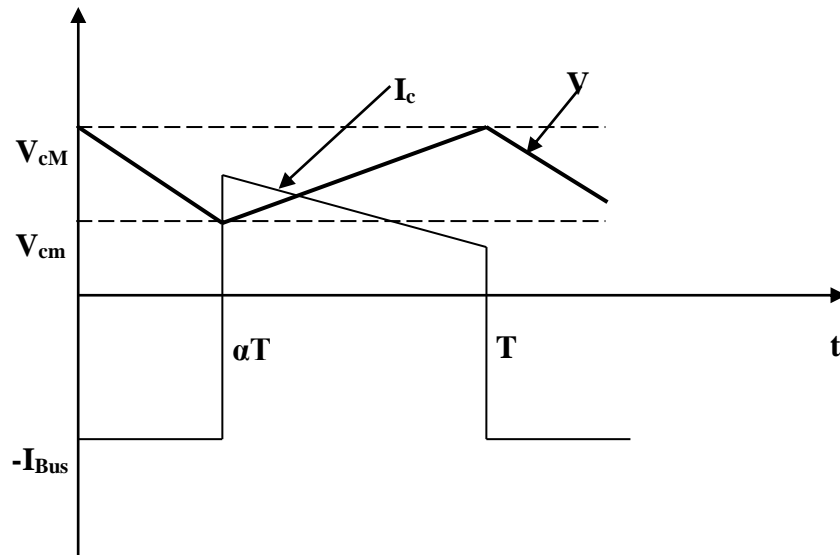


Figure II.15. Ondulation de tension

II.8. Conclusion

Dans cette étude nous avons utilisé le modèle à une seule diode pour simuler le fonctionnement du module PV pour différents niveaux d'ensoleillement et de température. Par la suite, nous avons donné la structure du hacheur survolteur à réaliser et le dimensionnement de ses paramètres.

III.1.Introduction

De nombreuses méthodes de poursuite de point de puissance maximale MPPT ont été développées pour permettre au système d'extraire le maximum de puissance du générateur photovoltaïque. Le principe de ces méthodes est de déplacer le point de fonctionnement en augmentant V_{PV} , lorsque dP_{PV}/dV_{PV} est positif ou en diminuant V_{PV} , lorsque dP_{PV}/dV_{PV} est négatif.

Lors du régime transitoire ou permanent, ces commandes doivent estimer et comparer la puissance avec celle de l'instant précédent les performances de celles-ci sont liées a la rapidité avec laquelle le point MPP est atteint, a la manière d'oscille autour de ce même point, mais aussi a la robustesse pour éviter une divergence. Lors de changements brutaux d'ensoleillement ou de charge. Parmi les techniques, on a: Méthode perturbation et observation (P&O)[6]

III.2. Commande MPPT

La puissance maximale que peut fournir un GPV ainsi que sa tension optimale n'est pas connue à l'avance. Pour extraire le maximum de puissance du GPV, des lois de commandes permettant de trouver le point maximum existant. Appelées MPPT pour Maximum Power Point Tracking, elles permettent de contrôler le convertisseur de puissance afin qu'il assure la meilleure adaptation possible entre le GPV et sa charge voir la **figure III.1**

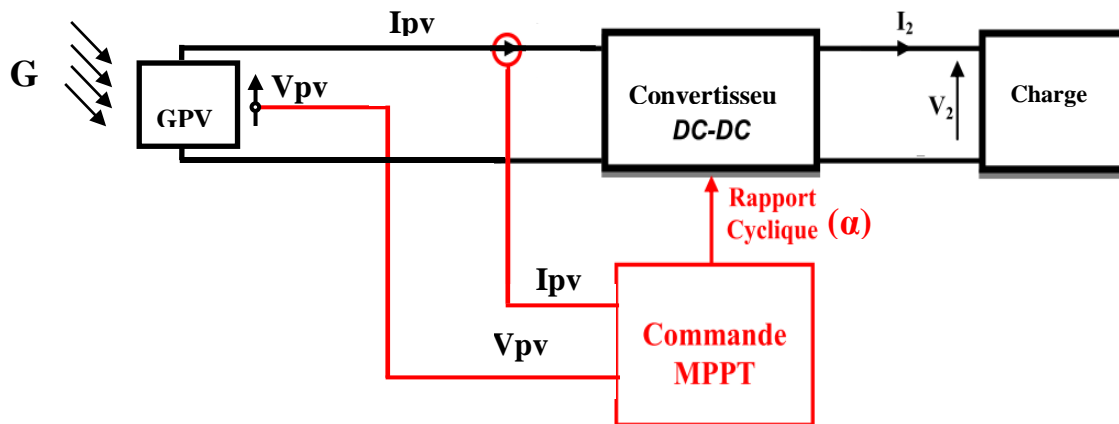


Figure III.1. Chaîne de conversion photovoltaïque avec convertisseur DC/DC contrôlé par une commande MPPT sur charge DC

Différents types de méthodes peuvent être employées, Une des méthodes les plus couramment utilisée est la méthode nommée « Perturb and Observ » (P&O). Cette commande est de type extrémale, c'est-à-dire qu'il est possible de connaître l'évolution d'un paramètre ou d'une variable physique à l'aide d'une perturbation du paramètre d'entrée quand toutes les autres méthodes ne sont pas applicables en termes de prévisions.

Le point de puissance maximale *PPM* est habituellement contrôlé par deux variables de commandes : La tension et la puissance qu'on mesure à chaque instant. Ces dernières sont employées à nouveau dans une boucle pour déterminer si le module est au point de puissance maximale. L'algorithme de recherche *MPPT* peut être plus au moins complexe en fonction du type d'implantation choisie et des performances recherchées. Cependant, tous les algorithmes performants doivent agir sur la variation du rapport cyclique du convertisseur de puissance associé. De nombreuses recherches sur les commandes *MPPT* ont été effectuées afin de trouver un système optimal permettant une recherche du *PPM* selon l'évolution de la puissance fournie par le générateur photovoltaïque. Ces techniques servent à obtenir un meilleur rendement dans le fonctionnement des générateurs *PV*.

III.3.Méthode perturbation et observation (P&O)

La méthode perturbation et observation ‘P&O’, est la plus répandue dans le milieu industriel, car son algorithme est facile à implémenter. Ce processus fonctionne par une perturbation du système en augmentant ou en diminuant la tension de fonctionnement du module et observer son effet sur la puissance de sortie de la rangée.[6]

La méthode P&O consiste à perturber la tension VPV du GPV avec l’ajout d’un signal de faible amplitude positif ou négatif, puis d’analyser la variation de puissance (noté dP) correspondante à cette perturbation. Il est alors possible de savoir où se situe le PPM par rapport au point de fonctionnement actuel. Par exemple, si la perturbation est de nature à augmenter la tension VPV, et que la puissance augmente également, c’est que le PPM se situe à droite du point de fonctionnement actuel. Cette information permet de déplacer le point de fonctionnement jusqu’au PPM, en contrôlant le rapport cyclique du convertisseur DC/DC. Une fois le PPM atteint, le point de fonctionnement oscille autour de celui-ci voir la **figure III.2**

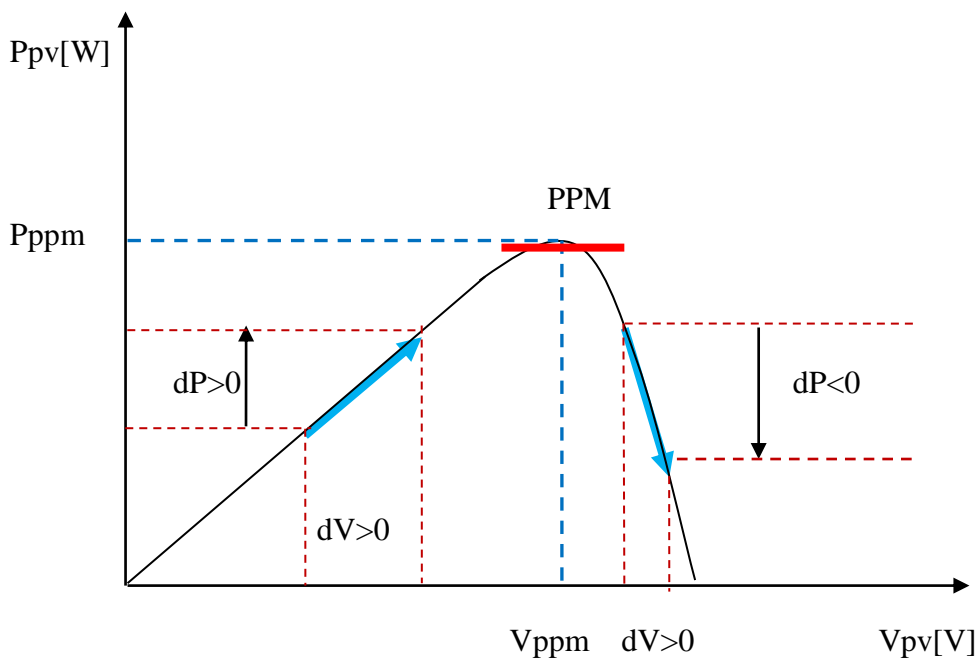


Figure III.2. Principe de fonctionnement de la MPPT P&O

La **figure III.3** montre l'organigramme de l'algorithme de la méthode 'P&O', tel qu'il doit être implémenté dans le microprocesseur de contrôle. D'après la **figure III.3**, la tension et le courant V et I , sont mesurés pour calculer la puissance de sortie courante $P(k)$ de la rangée. Cette valeur $P(k)$ est comparée à la valeur $P(k-1)$ de la dernière mesure. Si la puissance de sortie a augmenté, la perturbation continuera dans la même direction. Si la puissance a diminué depuis la dernière mesure, la perturbation de la tension de sortie sera renversée en direction opposée du dernier cycle [0].

Avec cet algorithme, la tension de fonctionnement V est perturbée à chaque cycle du MPPT. Dès que le MPP sera atteint, V oscillera autour de la tension idéale de fonctionnement. Ceci cause une perte de puissance qui dépend de la largeur du pas d'une perturbation [00].

- Si la largeur du pas d'une perturbation est grande, l'algorithme du MPPT répondra rapidement aux changements soudains des conditions de fonctionnement, mais les pertes seront accrues dans les conditions stables ou légèrement changeantes.
- Si la largeur du pas d'une perturbation est très petite, les pertes dans les conditions stables ou lentement changeantes seront réduites, mais le système ne pourra plus suivre les changements rapides de la température ou de l'insolation.

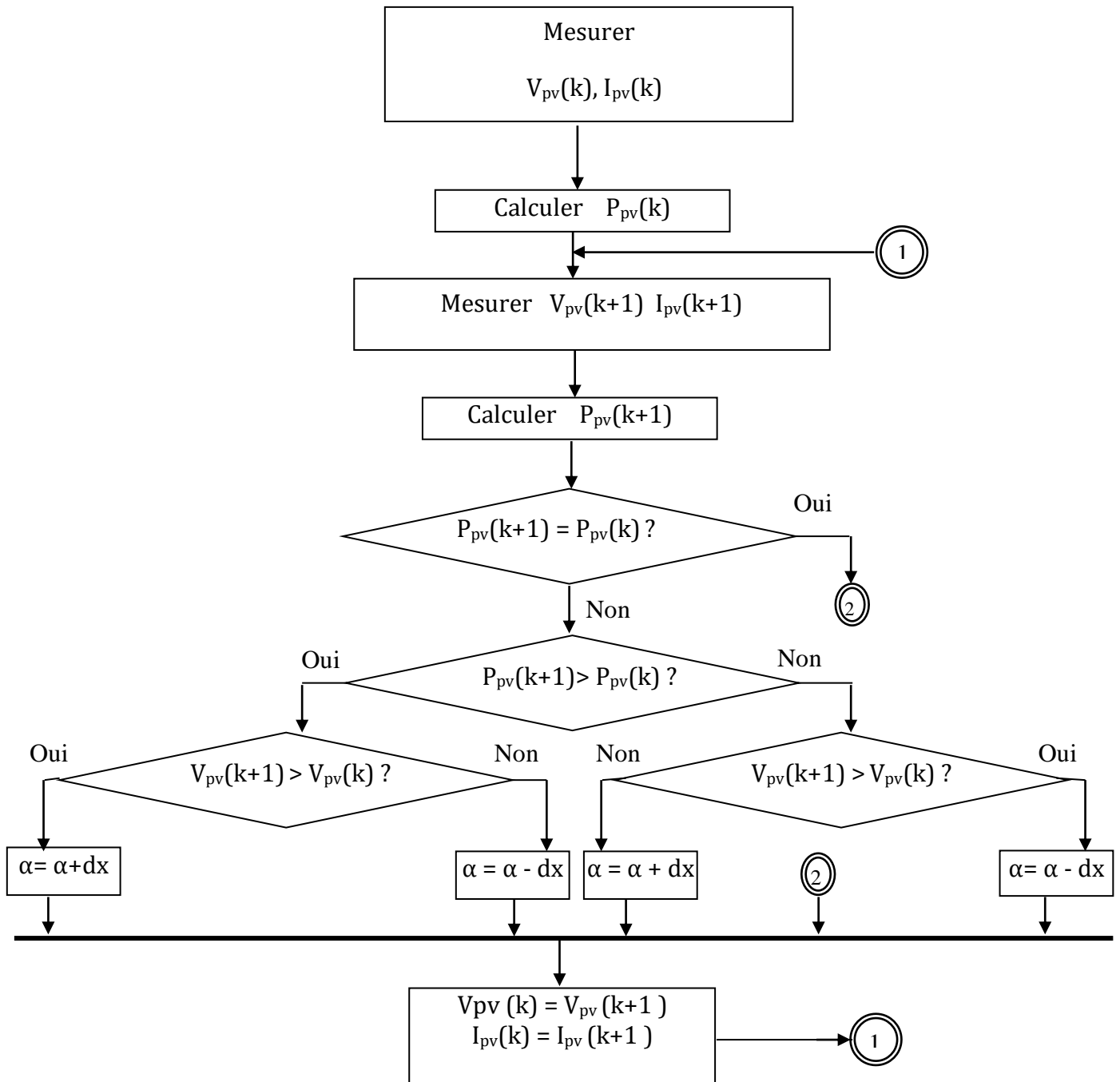


Figure III.3. Organigramme de l'algorithme de la méthode P & O

III.4. Principe de recherche de point de puissance maximale(MPPT)

Pour avoir un générateur photovoltaïque fonctionne a des point de puissance maximums, on applique des commandes spécifiques pour répondre à ce besoin. Cette commande est nommée dans la littérature « recherche de point de puissance maximum » en Anglais « maximum power point tracking ».cette commande consiste à agir sur le rapport cyclique α de manière automatique pour amener le GPV à sa valeur optimale de fonctionnement qu'elles que soient les perturbations tel que :

La variation de l'ensoleillement.

La variation de la charge.

La variation de la température.

III.5.Classification des méthodes de MPPT

Ils existent plusieurs méthodes pour effectuer cette commande telle que les méthodes directes et indirectes.

Les méthodes indirectes utilisent des bases de données regroupent les caractéristiques des panneaux dans les différentes conditions climatiques. Mais en aussi les équations empiriques :

Méthode de la tension de circuit ouvert du générateur.

Méthode de court-circuit.

Méthode d'ajustement de courbe.

Méthode « look-up table ».

Les méthodes directes sont des méthodes qui consistent à utiliser les mesures des tensions et des courants dont l'algorithme est basé sur la variation de ses mesures. Sont les plus utiliser parce qu'elles sont simples à réaliser et elles ne nécessitent pas la connaissance des caractéristiques des panneaux.

Parmi ces méthodes :

La méthode de « Hill Climbing ».

Méthode incrémentation de conductance.

Méthode de Perturbation et observation.

III.6.Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présente une meilleure conception d'un convertisseur boost capable de rechercher la puissance maximale pour tout variation d'ensoleillement grâce à sa commande MPPT.

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, on présentera des résultats de modélisation et de simulation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT numérique « perturbation et observation ».

La modélisation et la simulation des résultats ont été effectuées sous le logiciel MATLAB/Simulink

IV.2. Description de la norme EN 50530

Cette description est pour la norme EN 50530 cette norme européenne fournit une procédure pour la mesure de l'efficacité du suivi de point de puissance maximale (MPPT) des onduleurs, qui sont utilisés dans les systèmes photovoltaïques connectés au réseau. Dans ce cas, l'onduleur active un réseau basse tension avec une tension alternative nominale et une fréquence nominale. L'efficacité MPPT statique et dynamique est prise en compte. Sur la base de l'efficacité MPPT statique et de l'efficacité de conversion, l'efficacité globale de l'onduleur est calculée. L'efficacité MPPT dynamique est indiquée séparément [10].

VI.3. Système globale

La figure (VI.1) illustre le bloc schématique de Simulink du système photovoltaïque adapté par la commande MPPT « perturbation et observation »:

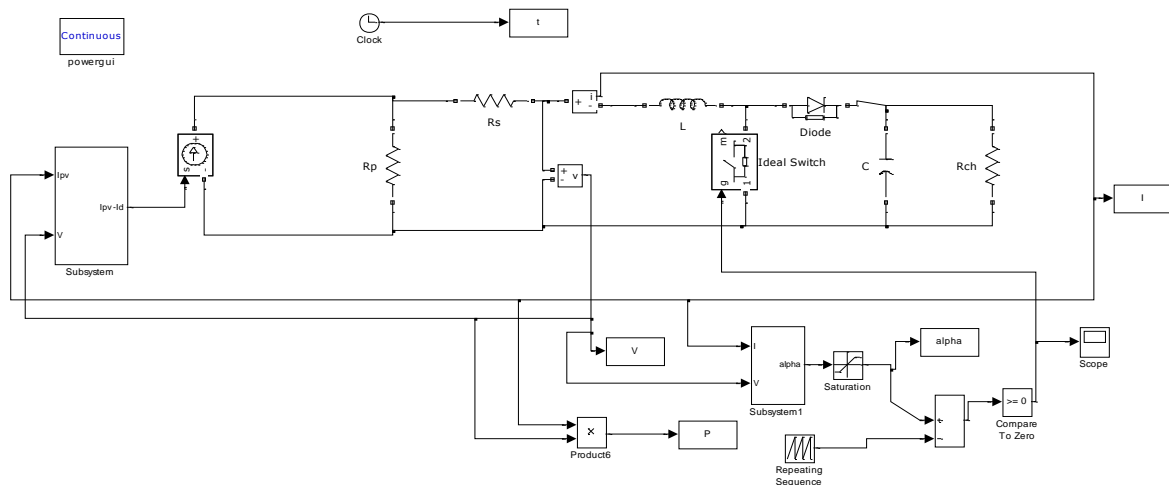


Figure.VI.1. Schéma MATLAB SIMULINK d'un système photovoltaïque globale.

VI.4. Variation de l'éclairement

a. Essai bas rapide

Pour cette simulation, la température est maintenue constante à 25°C avec une variation de l'éclairement où il est maintenu à 100 W/m² de 0s à 2s et une augmentation linéaire jusqu'à 500W/m² de 2s à 4s et puis il se stabilise jusqu'à 6s et puis une diminution linéaire et rapide pour atteindre 100W/m² à 8s.

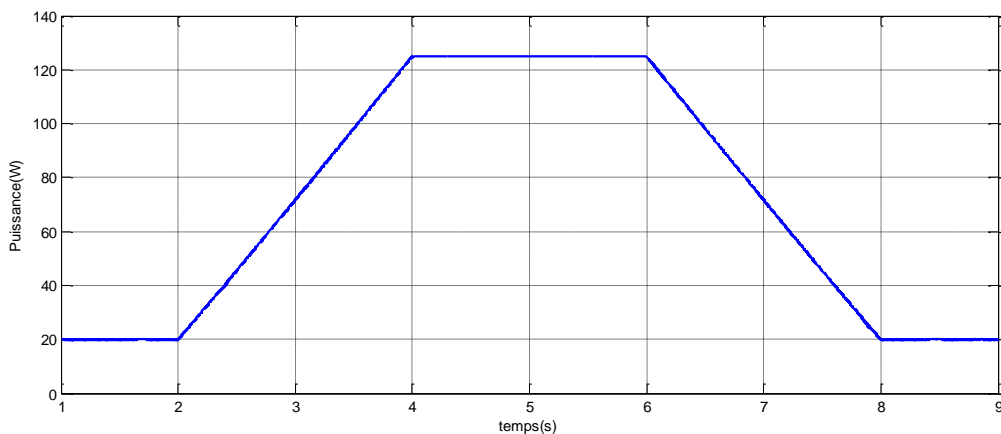


Figure.VI.2. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas rapide

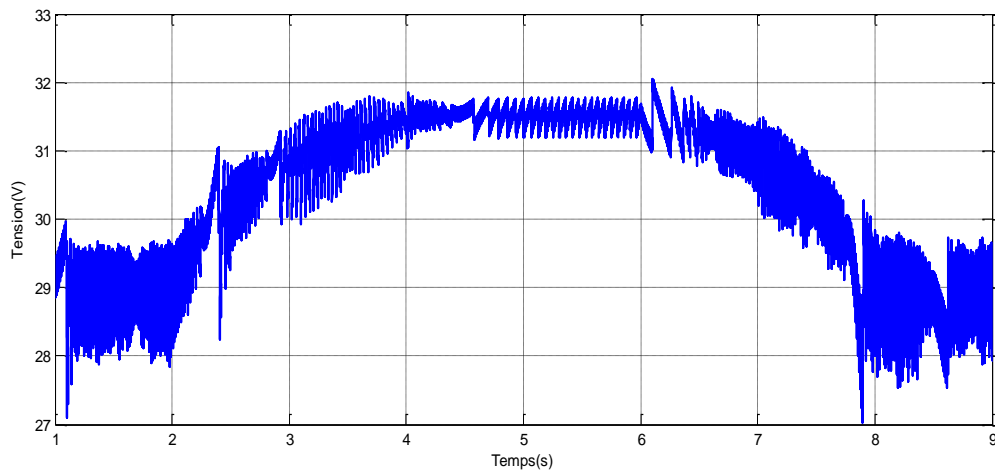


Figure.VI.3. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas rapide

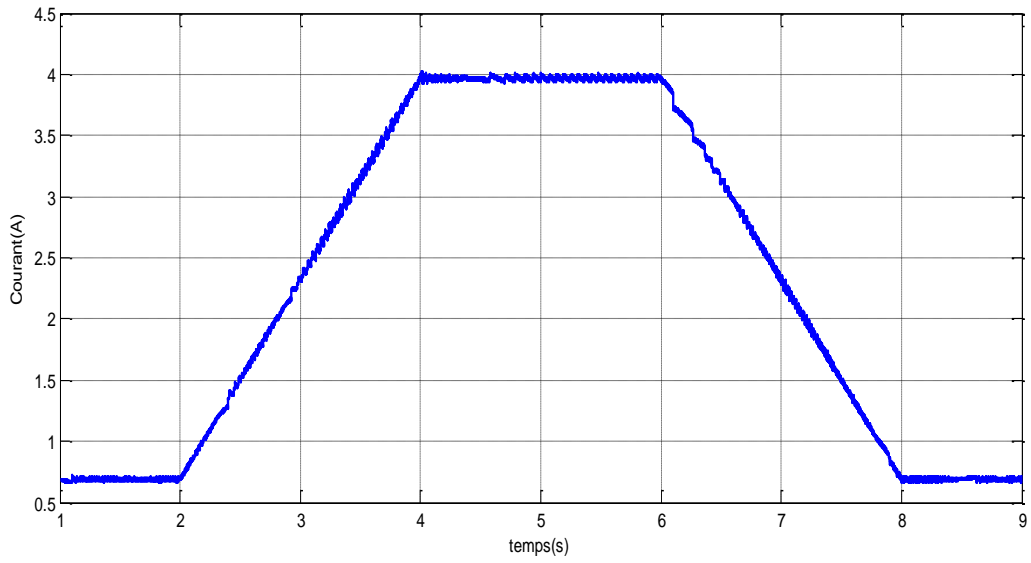


Figure.VI.4. Forme de courant obtenu par la méthode P&O pour l'essai bas rapide

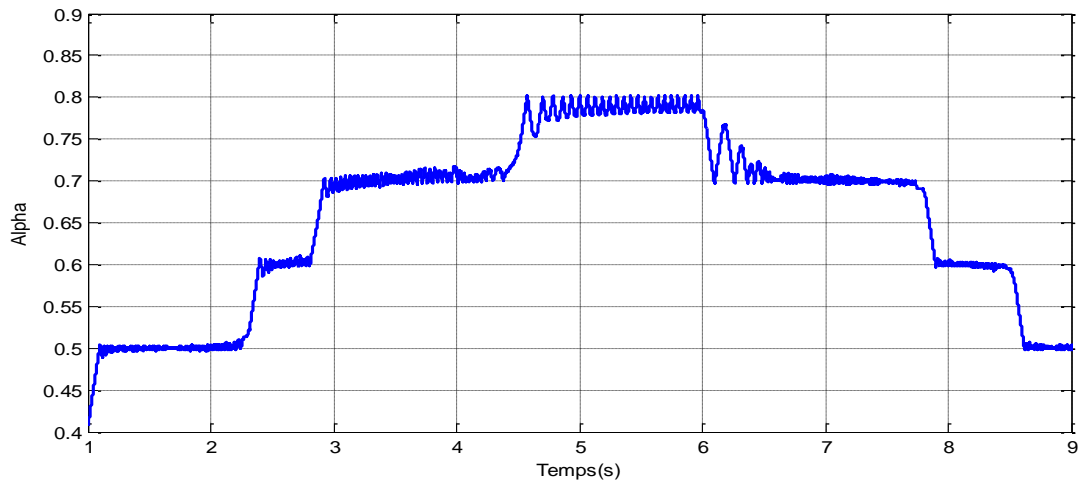


Figure.VI.5. Forme de rapport cyclique alpha obtenu par la méthode P&O pour l'essai bas rapide

Interprétations des résultats

D'après les résultats de simulation on voit que les réponses des signaux ainsi que les réponses du rapport cyclique suivent la variation de l'éclairement G avec une fluctuation autour de point de puissance max, et le système converge vers les valeurs optimales lors de la perturbation.

b.Essai bas lent

Pour cette simulation, la température est maintenue constante à 25°C avec une variation de l'éclairement où il est maintenu à 100 W/m^2 de 0s à 10s et une augmentation linéaire jusqu'à 500 W/m^2 de 10s à 20s et puis il se stabilise jusqu'à 30s et puis une diminution linéaire et rapide pour atteindre 100 W/m^2 à 40s.

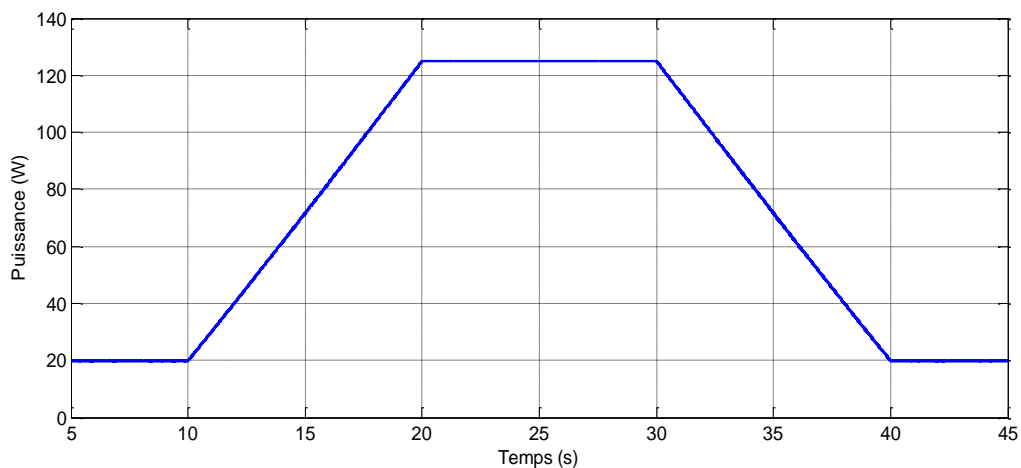


Figure.VI.6. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas lent

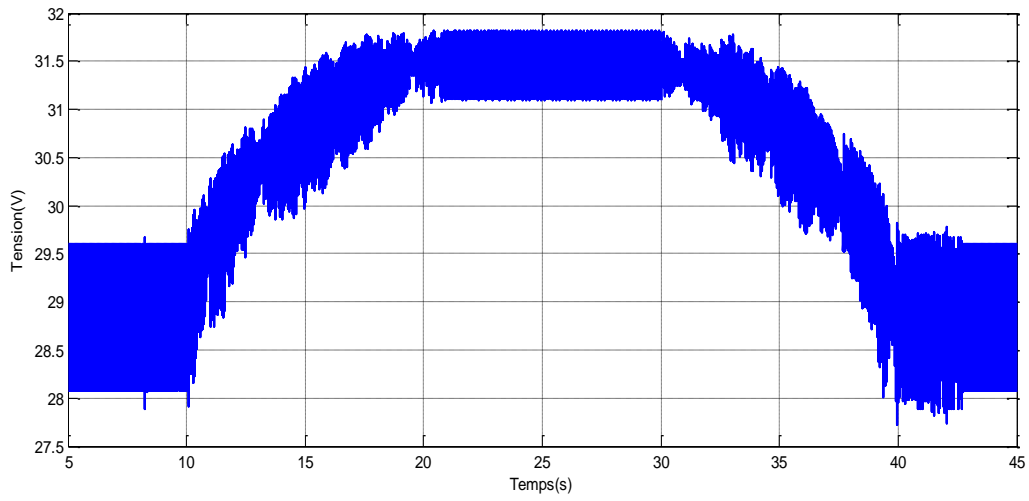


Figure.VI.7. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas lent

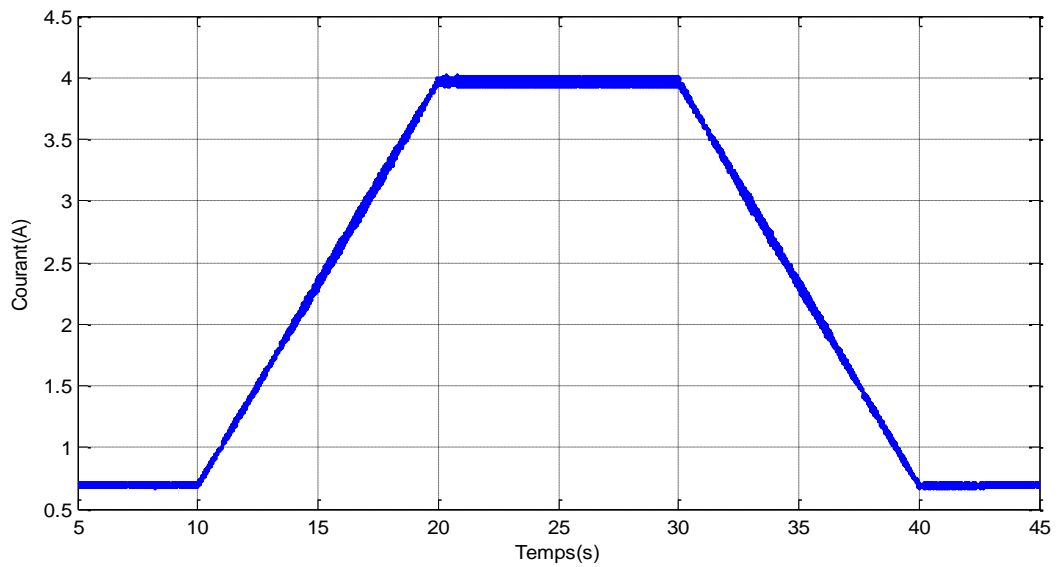


Figure.VI.8. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas lent

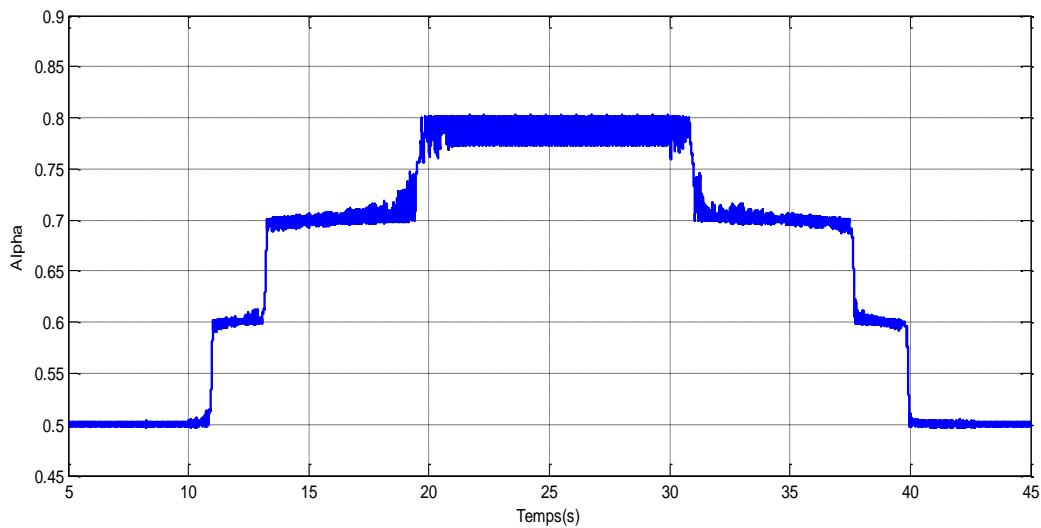


Figure.VI.9. Forme de rapport cyclique alpha obtenu par la méthode P&O pour l'essai bas lent

Interprétations des résultats

D'après les résultats de simulation on voit que les réponses des signaux ainsi que les réponses du rapport cyclique suivent la variation de l'éclairement G avec une fluctuation autour de point de puissance max, et le système converge vers les valeurs optimales lors de la perturbation.

c. Essai haut rapide

Pour cette simulation, la température est maintenue constante à 25°C avec une variation de l'éclairement où il est maintenu à 300 W/m^2 de 0s à 2s et une augmentation linéaire jusqu'à 1000 W/m^2 de 2s à 4s et puis il se stabilise jusqu'à 6s et puis une diminution linéaire et rapide pour atteindre 300 W/m^2 à 8s.

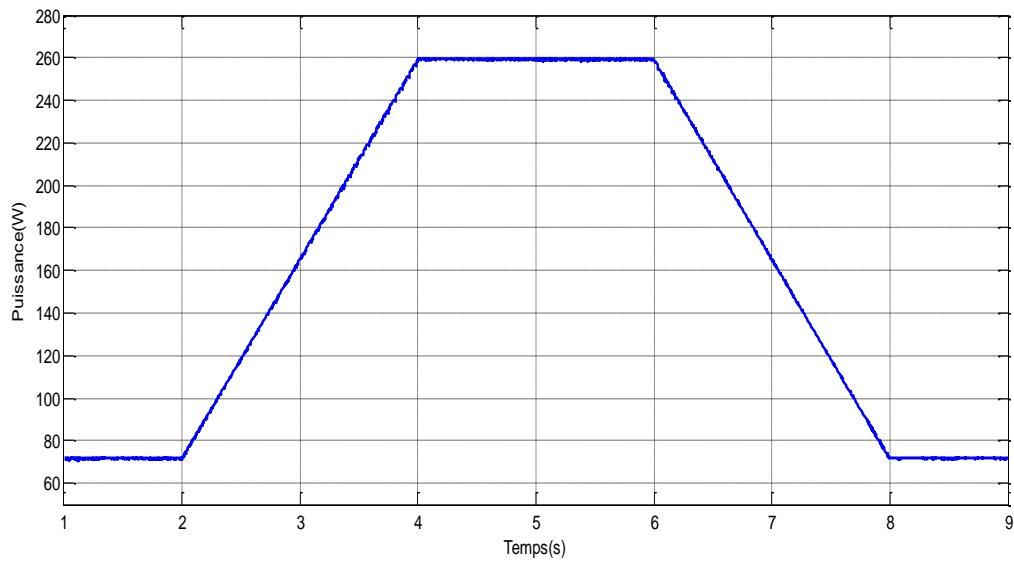


Figure.VI.10. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut rapide

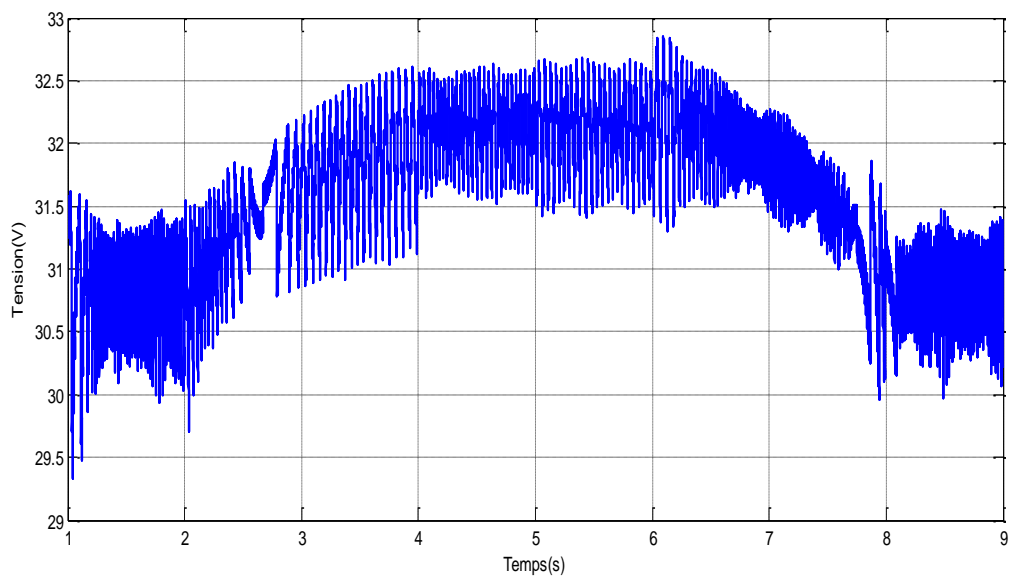


Figure.VI.11. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut rapide

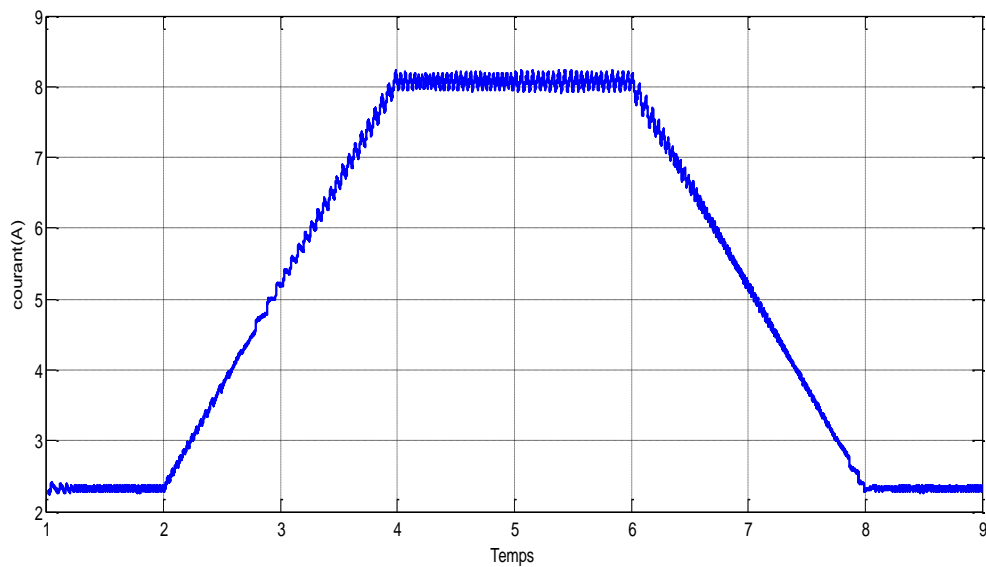


Figure.VI.12. Forme de courant obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut rapide

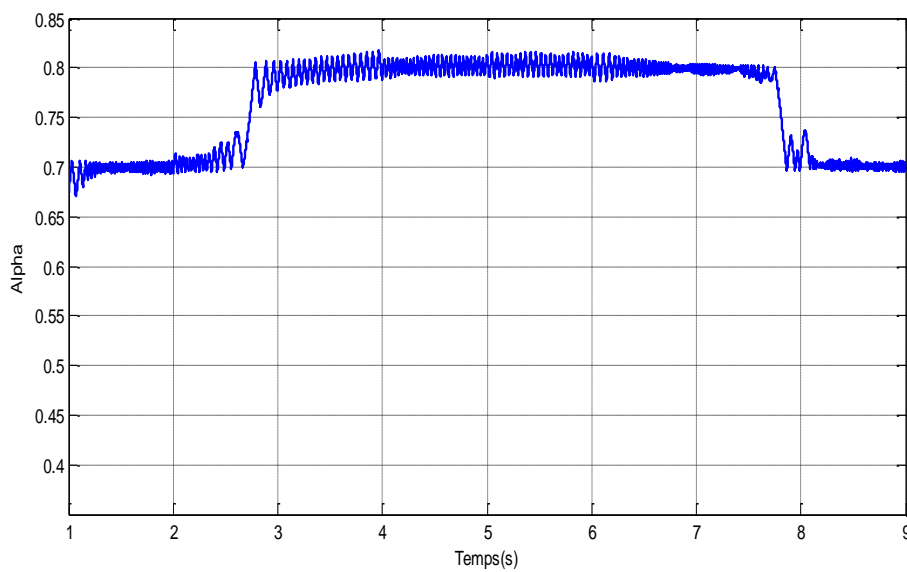


Figure.VI.13. Forme de rapport cyclique alpha obtenu par méthode P&O pour l'essai haut rapide.

Interprétations des résultats

Après les résultats de simulation de cette essaie on remarque qu'il y a un retard entre la réponse du système par rapport au changement rapide de l'ensoleillement G , mais sans qu'il y ait de chute de puissance, mais leurs variations ne suivent pas fidèlement le changement rapide de l'ensoleillement.

d.Essai haut lent

Pour cette simulation, la température est maintenue constante à 25°C avec une variation de l'éclairement où il est maintenu à 300 W/m^2 de 0s à 10s et une augmentation linéaire jusqu'à 1000 W/m^2 de 10s à 20s et puis il se stabilise jusqu'à 30s et puis une diminution linéaire et rapide pour atteindre 300 W/m^2 à 40s.

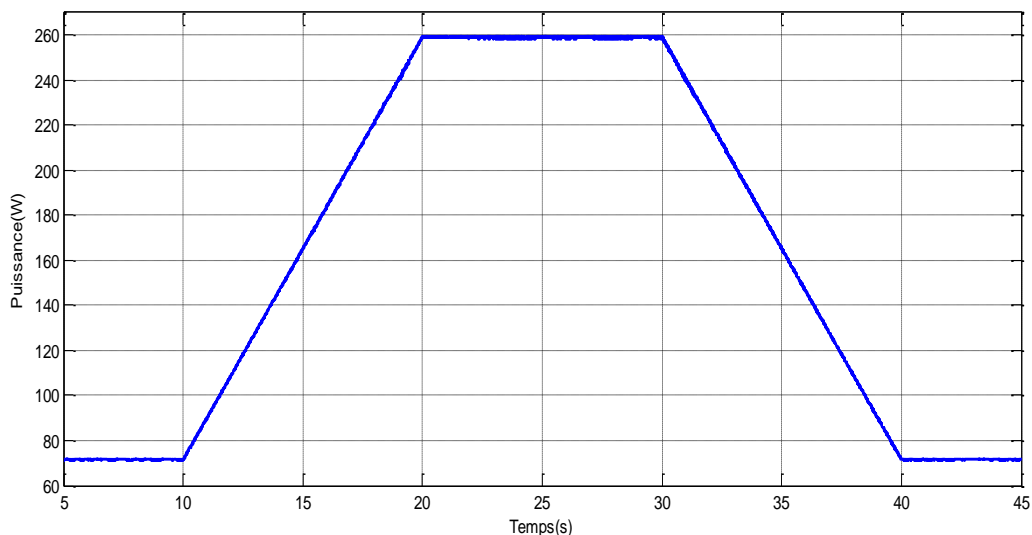


Figure.VI.14. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut lent

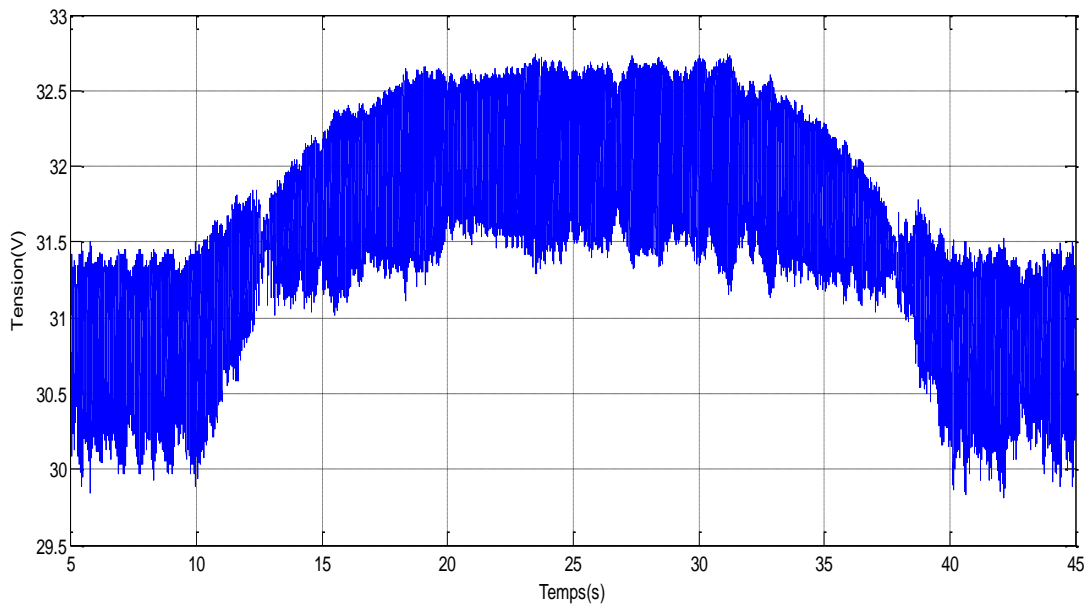


Figure.VI.15. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut lent

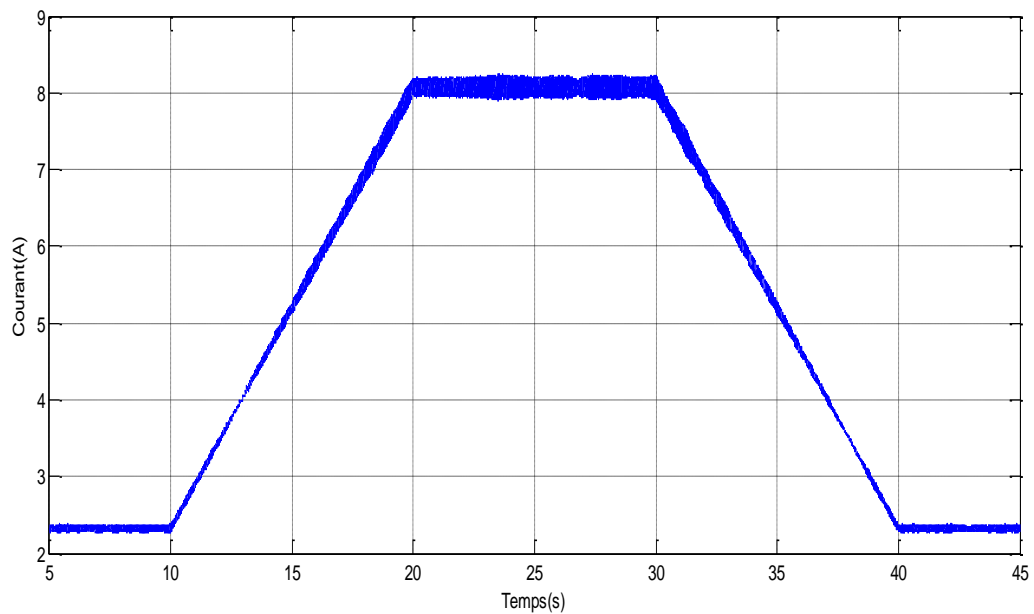


Figure.VI.16. Forme de courant obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut lent

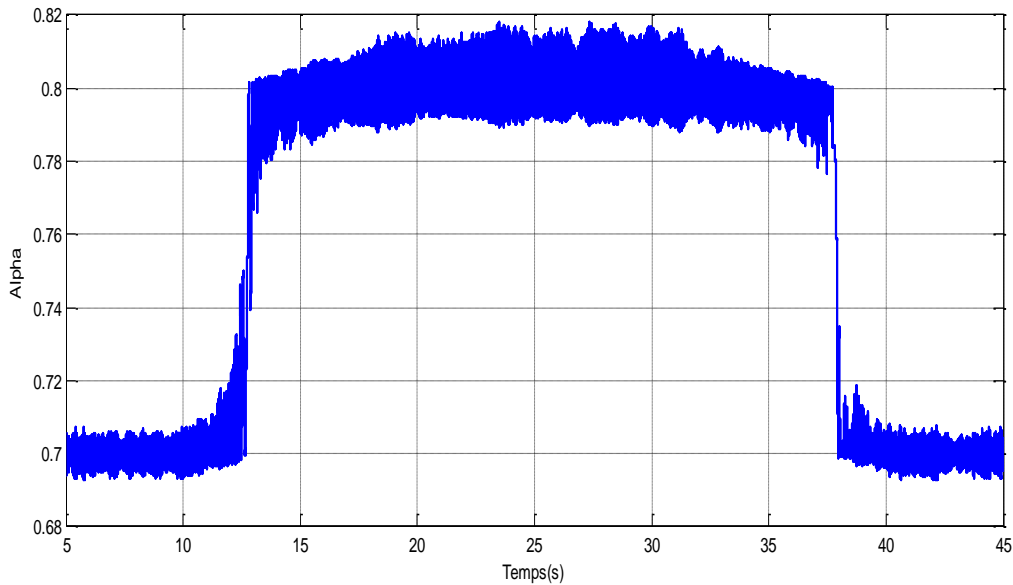


Figure.VI.17. Forme de rapport cyclique alpha obtenu par la méthode P&O pour l'essai haut lent

Interprétations des résultats

Après les résultats de simulation de cette essai on remarque qu'il y a un retard entre la réponse du système par rapport au changement rapide de l'ensoleillement G , mais sans qu'il y ait de chute de puissance, mais leurs variations ne suivent pas fidèlement le changement rapide de l'ensoleillement.

VI.5. Variation de la température

a. Essai bas rapide

Pour voir l'influence de la température nous avons tracés les courbes de courant, tension, puissance et le rapport cyclique pour une irradiation constante $G=1000\text{w/m}^2$, et on appliquant une variation de température.

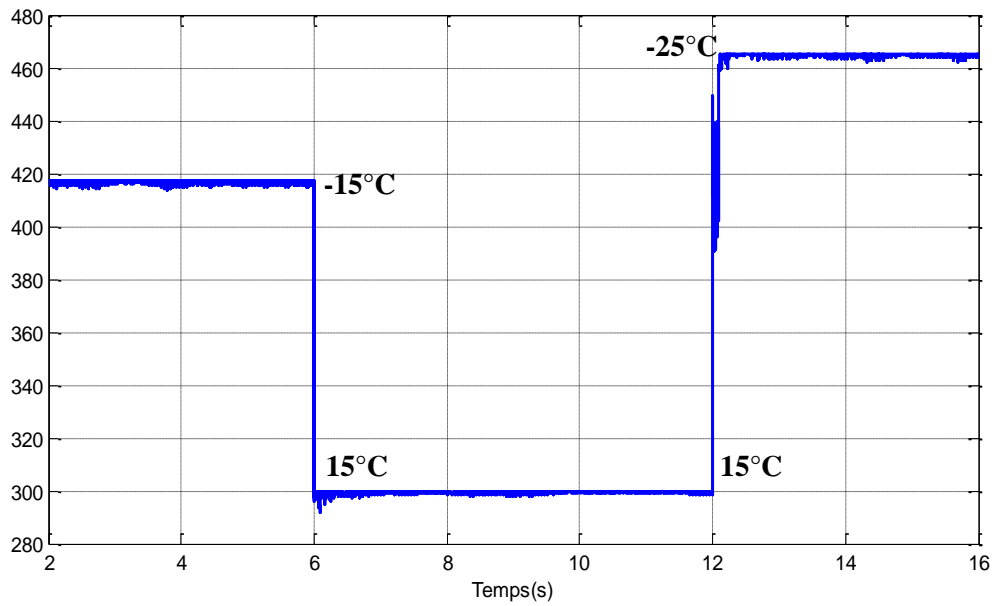


Figure.VI.18. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas rapide avec variation de température

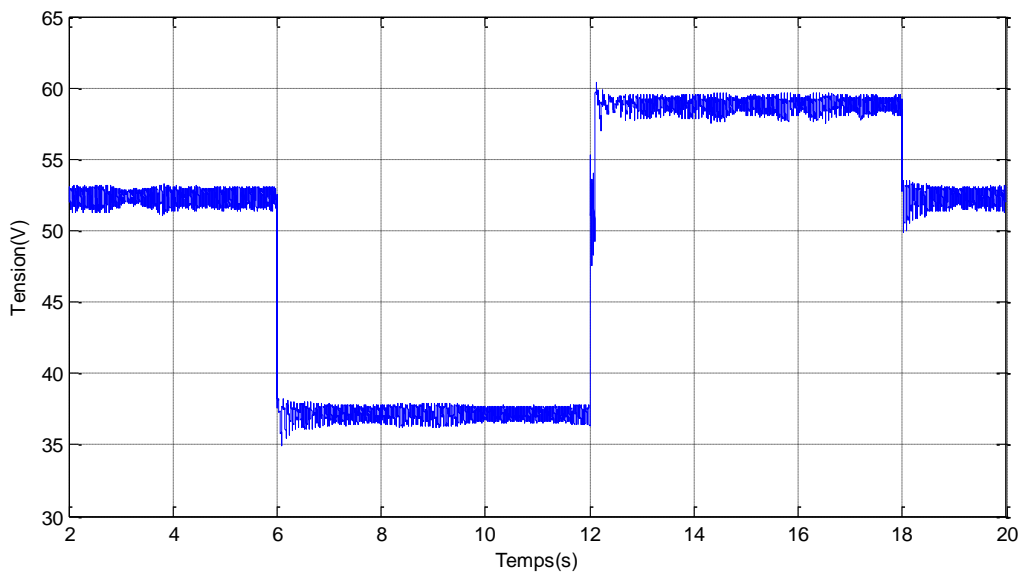


Figure.VI.19. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas rapide avec variation de température

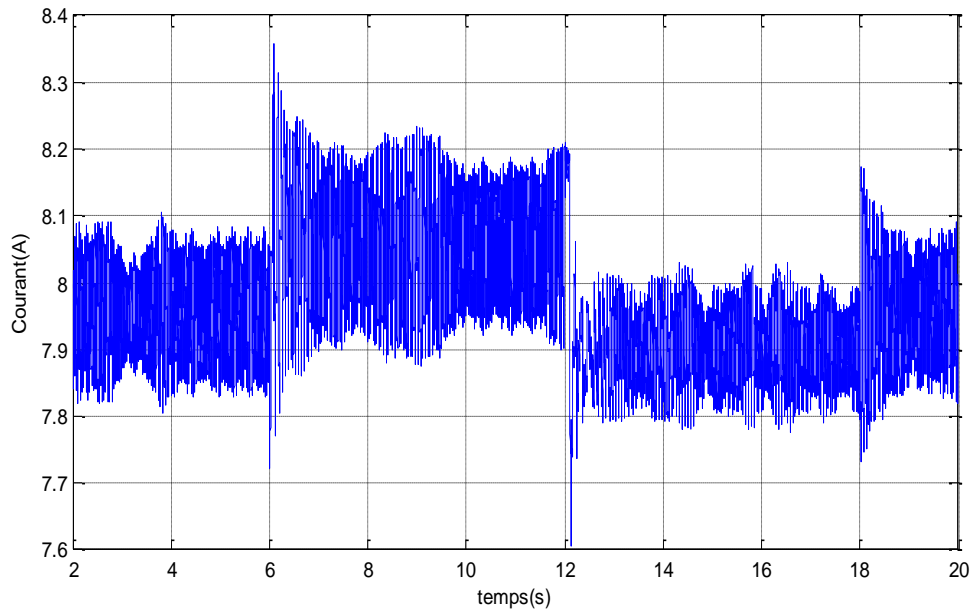


Figure.VI.20. Forme de courant obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas rapide avec variation de température

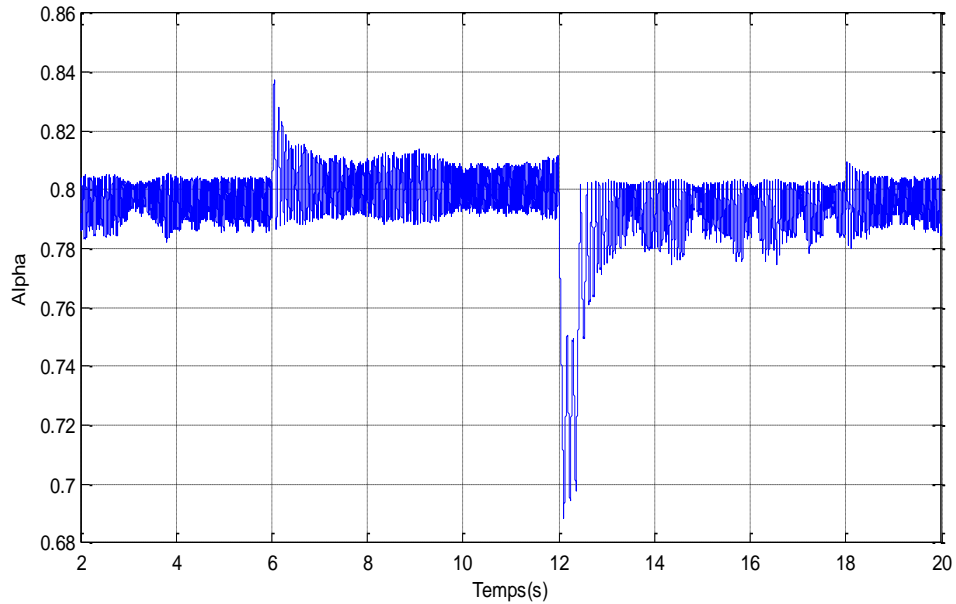


Figure.VI.21. Forme de rapport cyclique alpha obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas rapide avec variation de température

Interprétations des résultats

Dans ce cas, l'ensoleillement est maintenu constant à 1000W/m^2 en changeons la température dans un profil bien défini on remarque que le système répond convenablement au changement de la température T , sans qu'il y ait de chute de puissance ou de retard, le rapport cyclique alpha présente des fluctuations, qui ont l'effet sur l'apparition des ondulations dans le signal de courant, la tension et la puissance.

Et on voit que la tension décroît lorsque la température augmente. Il en est de même pour la puissance maximale qui décroît avec la température.

b.Essai bas lent

Pour voir l'influence de la température nous avons tracés les courbes de courant, tension, puissance et le rapport cyclique pour une irradiation constante $G=1000\text{w/m}^2$, et on appliquant une variation de température.

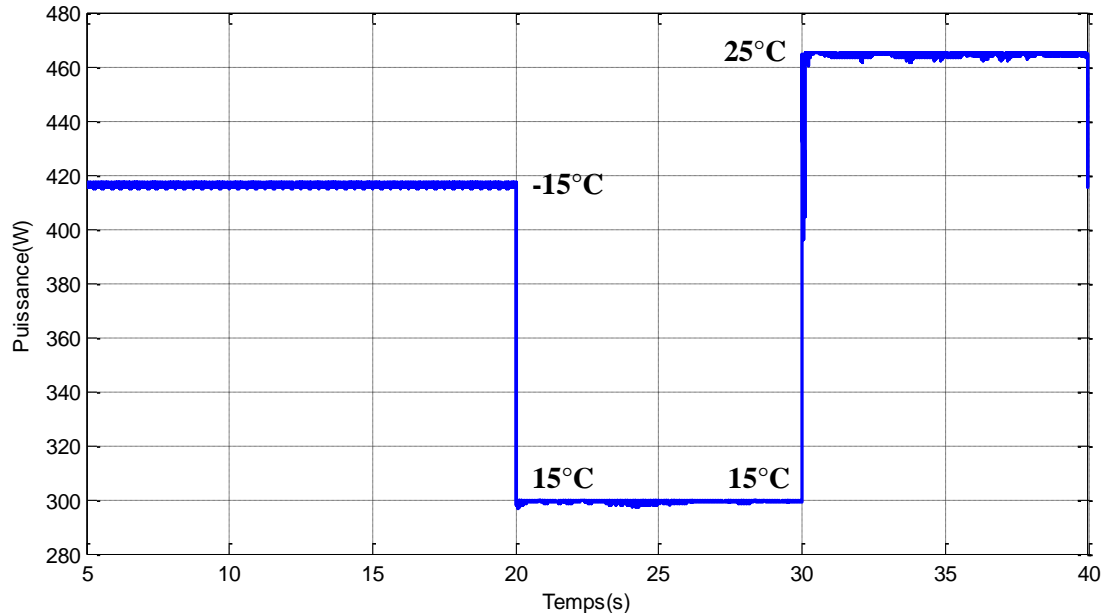


Figure.VI.22. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas lent avec variation de température

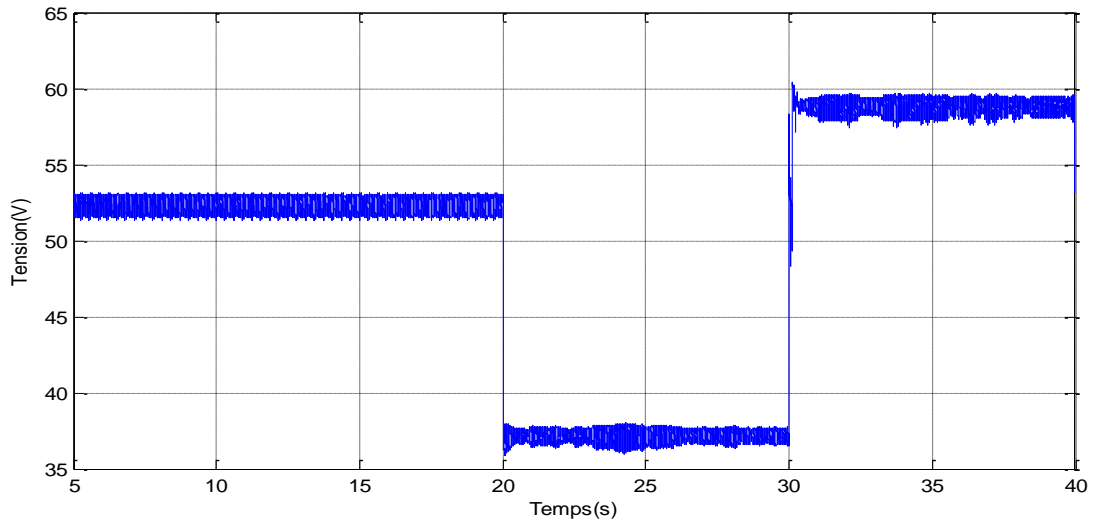


Figure.VI.23. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas lent avec variation de température

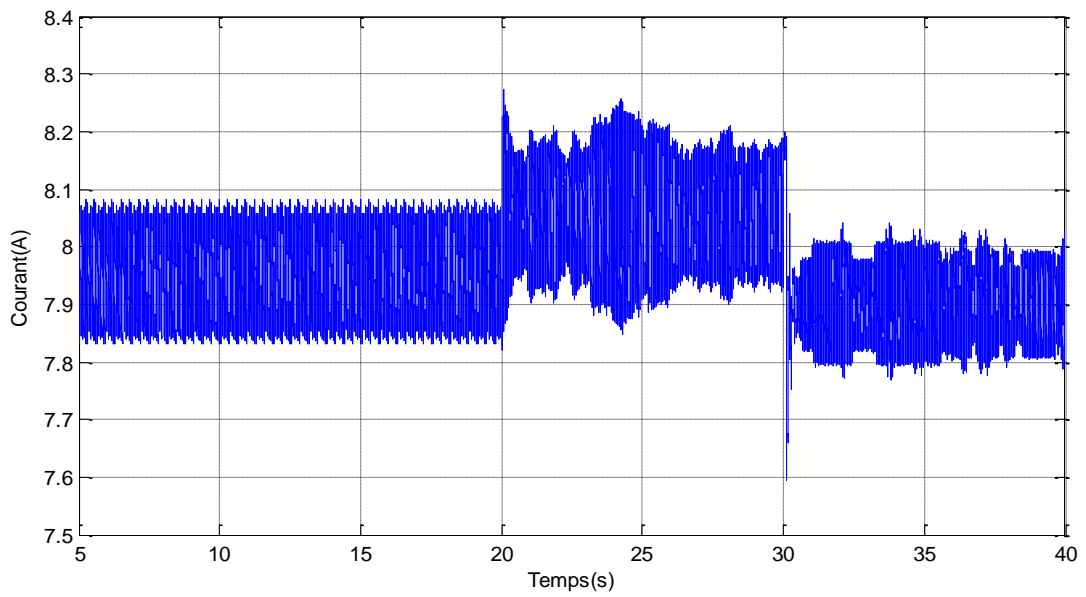


Figure.VI.24. Forme de courant obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas lent avec variation de température

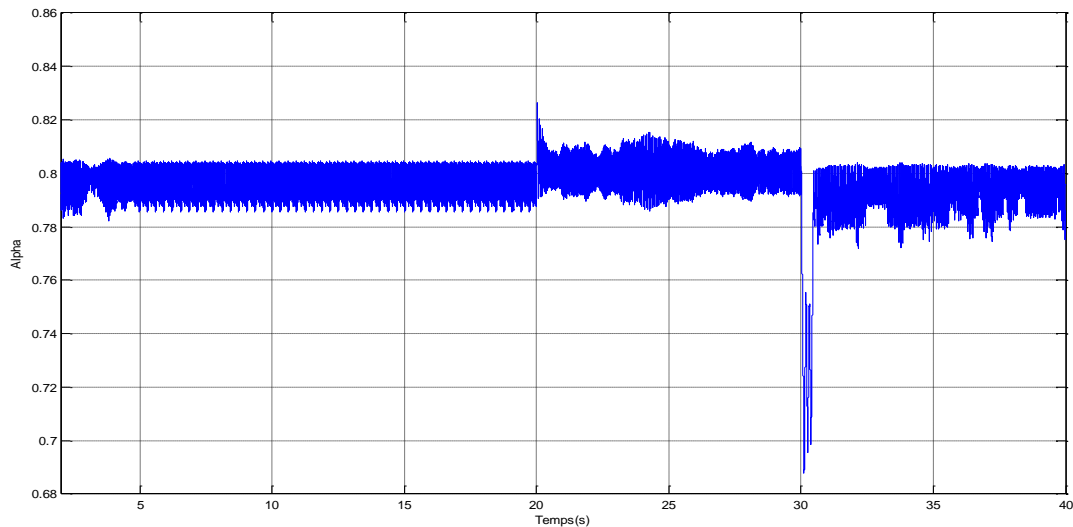


Figure.VI.25. Forme de rapport cyclique alpha obtenue par la méthode P&O pour l'essai bas lent avec variation de température

Interprétations des résultats

Dans ce cas, l'ensoleillement est maintenu constant à 1000W/m^2 en changeons la température dans un profil bien défini on remarque que le système répond convenablement au changement de la température T , sans qu'il y ait de chute de puissance ou de retard, le rapport cyclique alpha présente des fluctuations, qui ont l'effet sur l'apparition des ondulations dans le signal de courant, la tension et la puissance.

Et on voit que la tension décroît lorsque la température augmente. Il en est de même pour la puissance maximale qui décroît avec la température.

c. Essai haut rapide

Pour voir l'influence de la température nous avons tracés les courbes de courant, tension, puissance et le rapport cyclique pour une irradiation constante $G=1000\text{w/m}^2$, et on appliquant une variation de température.

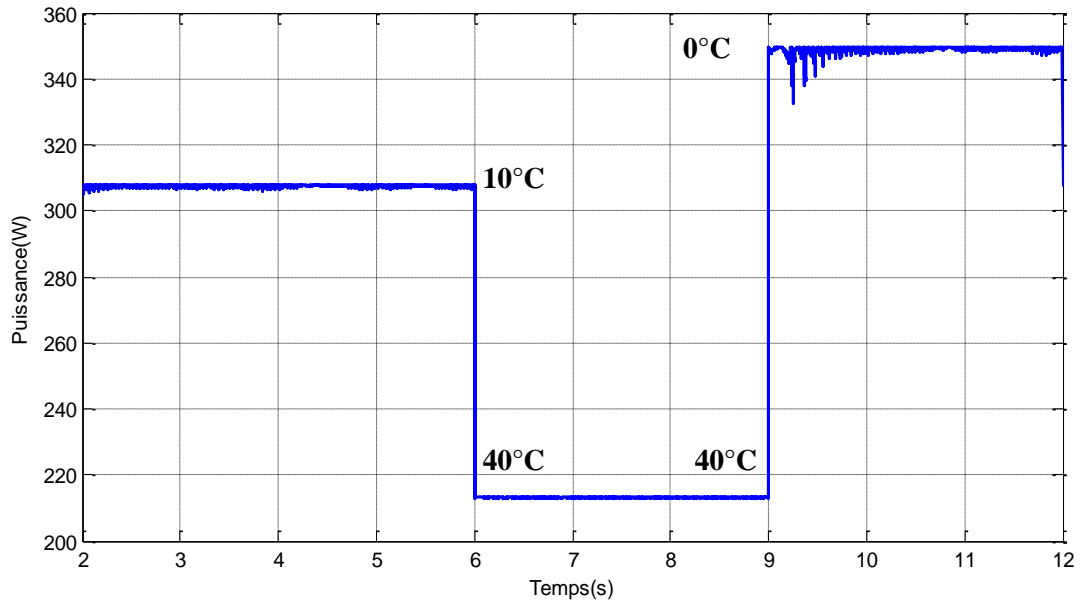


Figure.VI.26. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut rapide avec variation de température

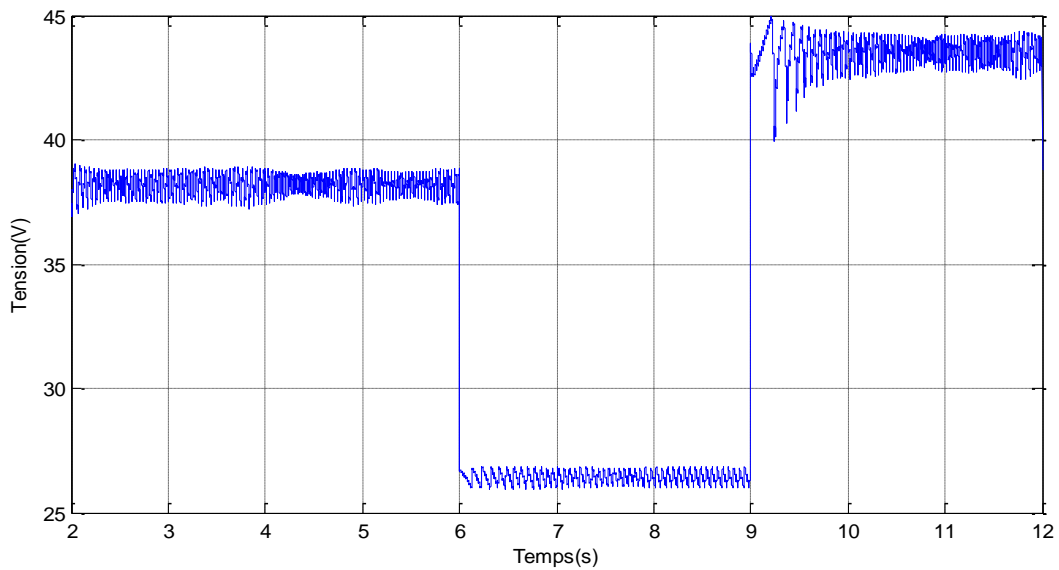


Figure.VI.27. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut rapide avec variation de température

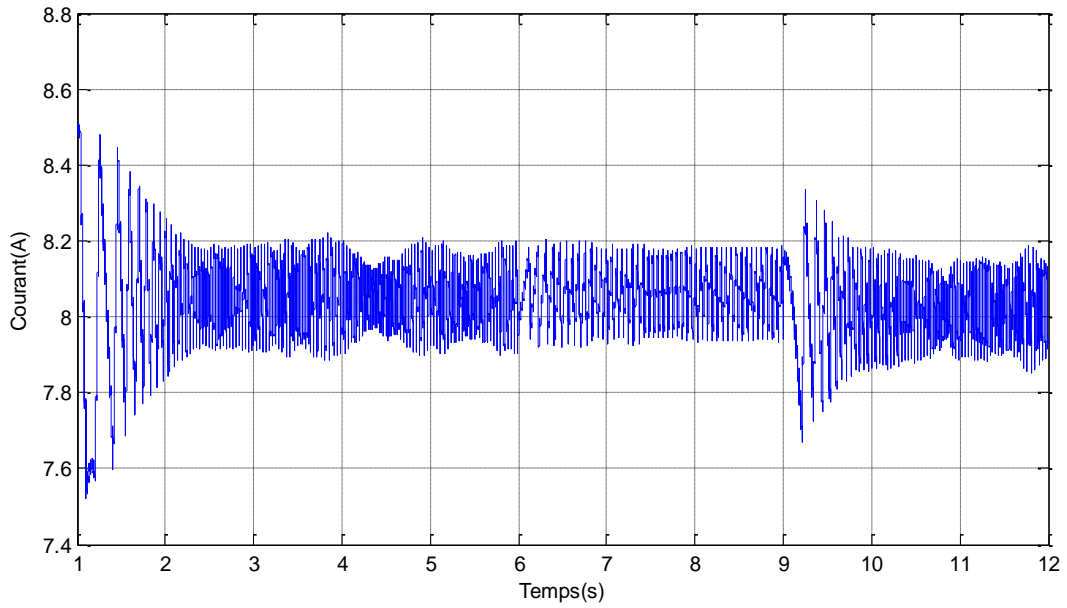


Figure.VI.28. Forme de courant obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut rapide avec variation de température

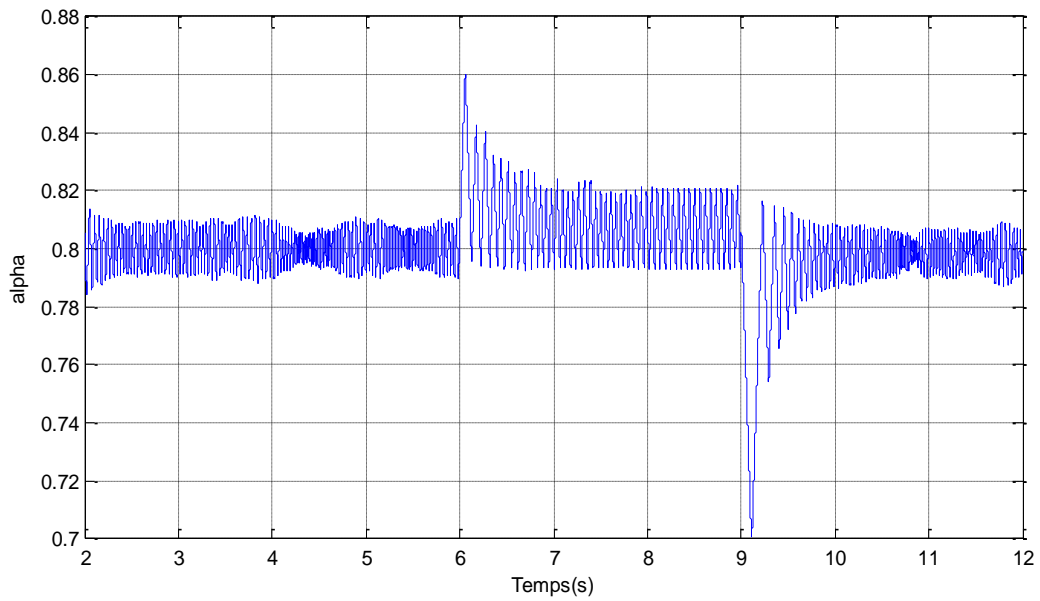


Figure.VI.29. Forme de rapport cyclique alpha obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut rapide avec variation de température

Interprétations des résultats

Dans ce cas, l'ensoleillement est maintenu constant à 1000W/m^2 en changeons la température dans un profil bien défini on remarque que le système répond convenablement au changement de la température T , sans qu'il y ait de chute de puissance ou de retard, le rapport cyclique alpha présente des fluctuations, qui ont l'effet sur l'apparition des ondulations dans le signal de courant, la tension et la puissance.

Et on voit que la tension décroît lorsque la température augmente. Il en est de même pour la puissance maximale qui décroît avec la température.

d.Essai haut lent

Pour voir l'influence de la température nous avons tracés les courbes de courant, tension, puissance et le rapport cyclique pour une irradiation constante $G=1000\text{w/m}^2$, et on appliquant une variation de température.

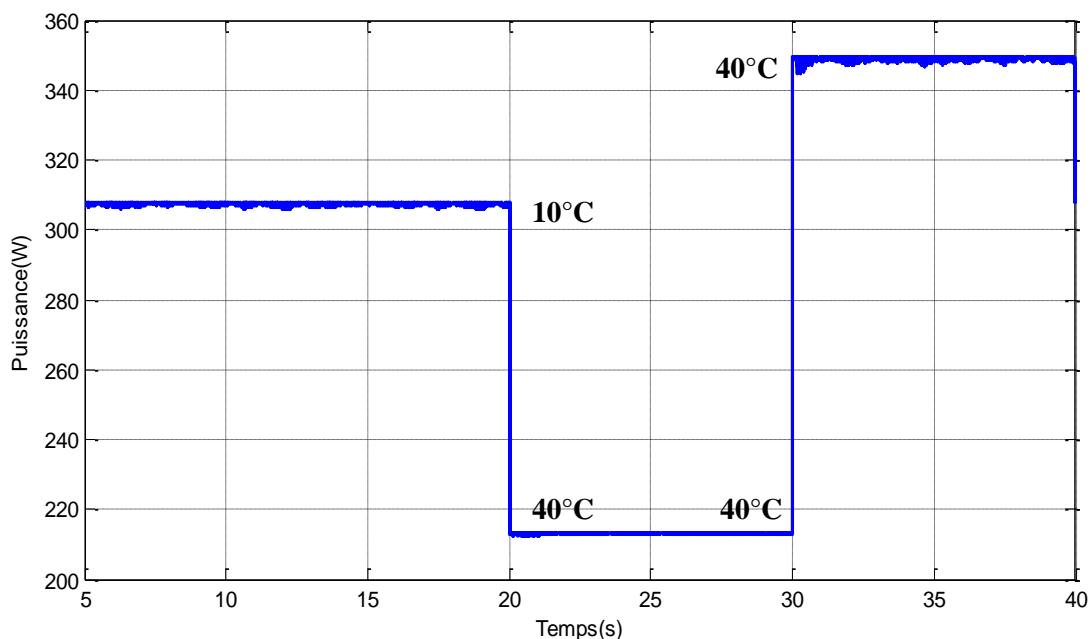


Figure.VI.30. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut lent avec variation de température

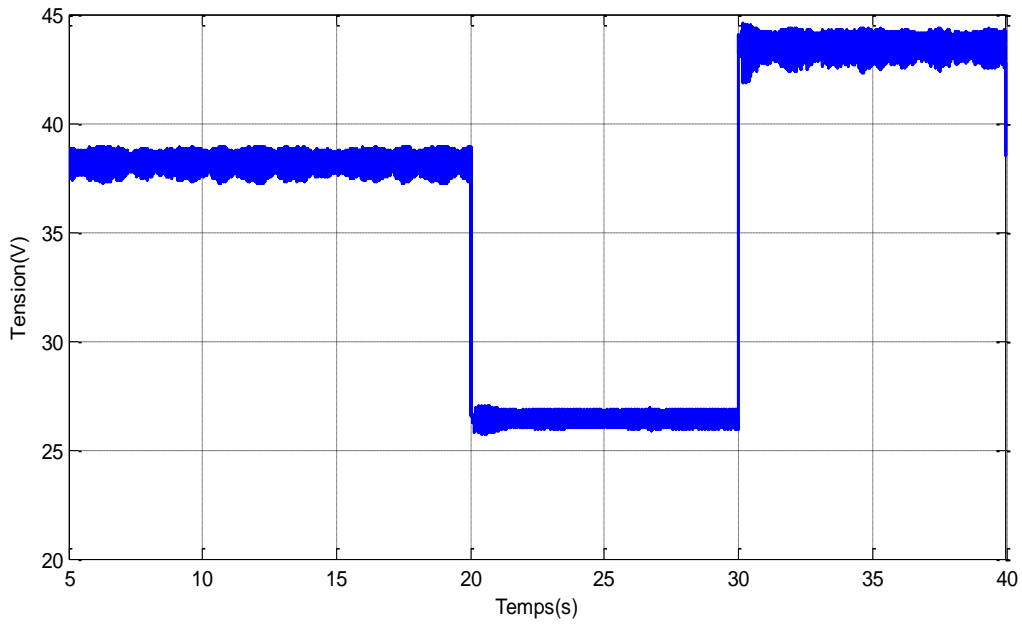


Figure.VI.31. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut lent avec variation de température

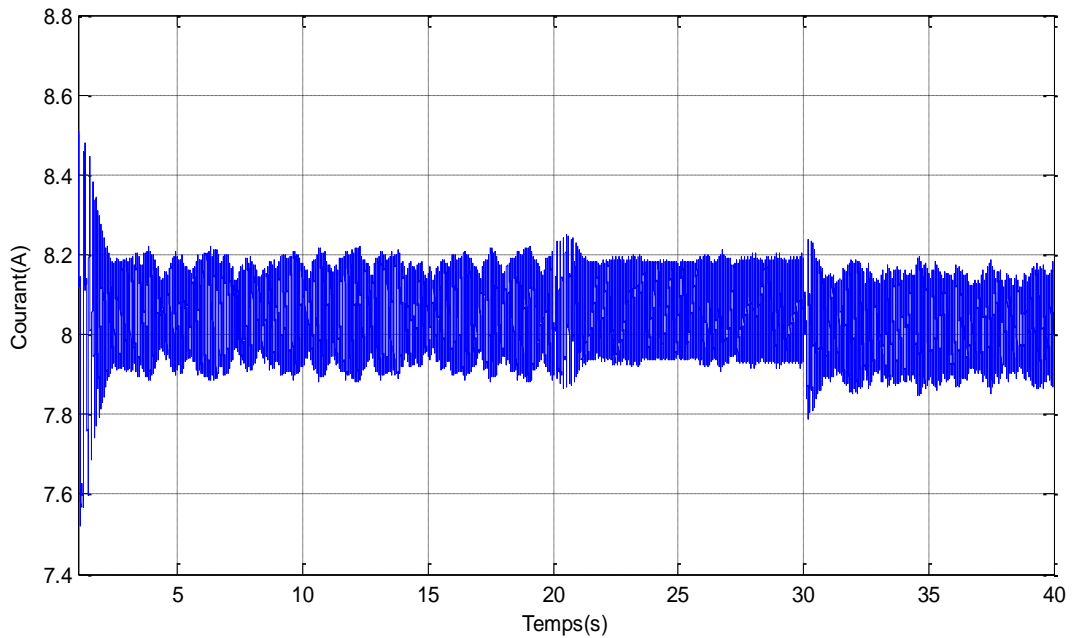


Figure.VI.32. Forme de tension obtenue par la méthode P&O pour l'essai haut lent avec variation de température

Interprétations des résultats

Dans ce cas, l'ensoleillement est maintenu constant à 1000W/m^2 en changeons la température dans un profil bien défini on remarque que le système répond convenablement au changement de la température T , sans qu'il y ait de chute de puissance ou de retard, le rapport cyclique α présente des fluctuations, qui ont l'effet sur l'apparition des ondulations dans le signal de courant, la tension et la puissance.

Et on voit que la tension décroît lorsque la température augmente. Il en est de même pour la puissance maximale qui décroît avec la température.

VI.6. Variation de delta alpha

Pour voir l'influence de pas d'incrémentation nous avons effectués une simulation avec différentes pas tel que 0.0002, 0.001 et 0.1, et une température de 25°C , et un éclairnement de 1000W/m^2 on obtient les résultants suivants :

- Pour delta alpha =0.0002

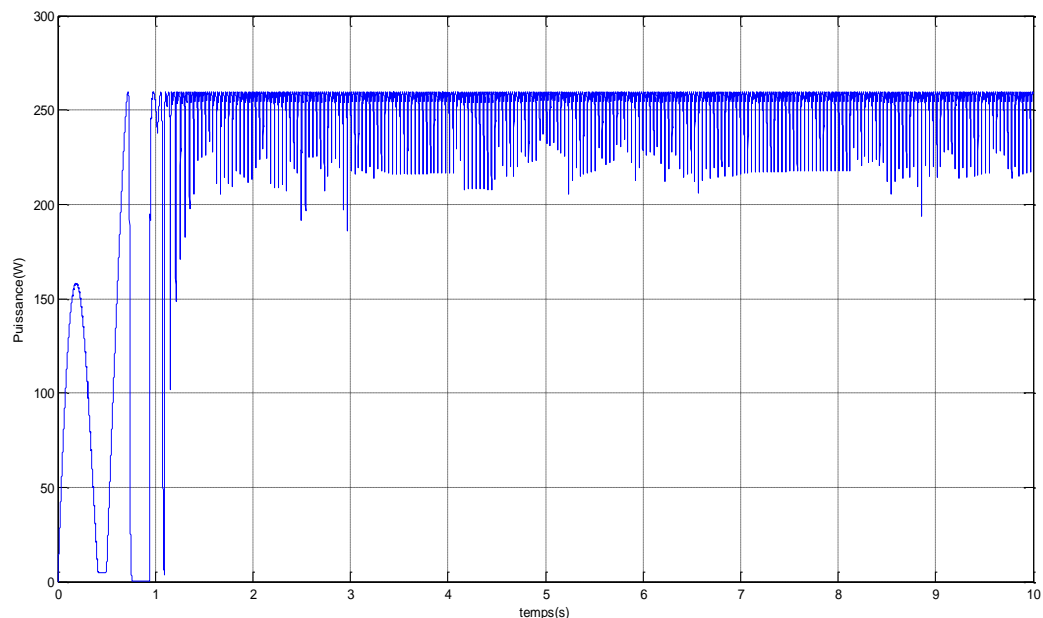


Figure.VI.33. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O

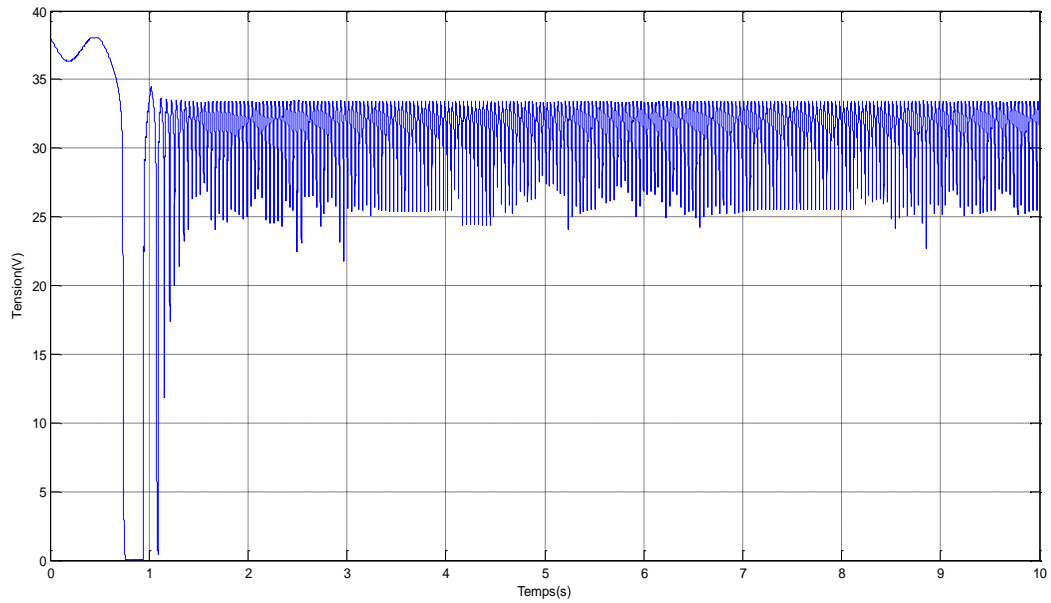


Figure.VI.34. Forme de tension obtenue par la méthode P&O

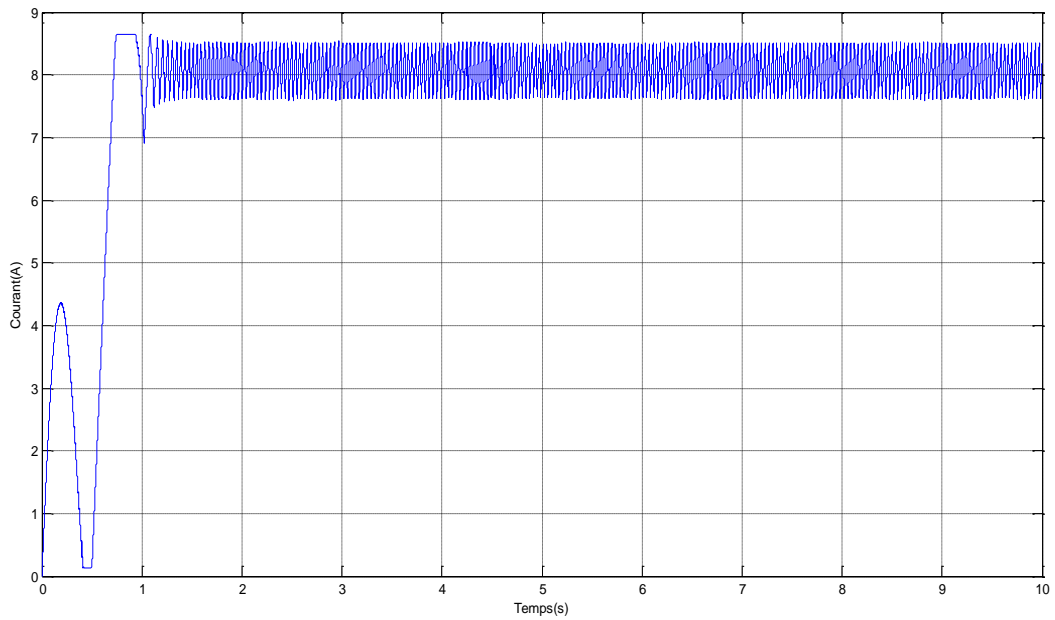


Figure.VI.35. Forme de courant obtenue par la méthode P&O

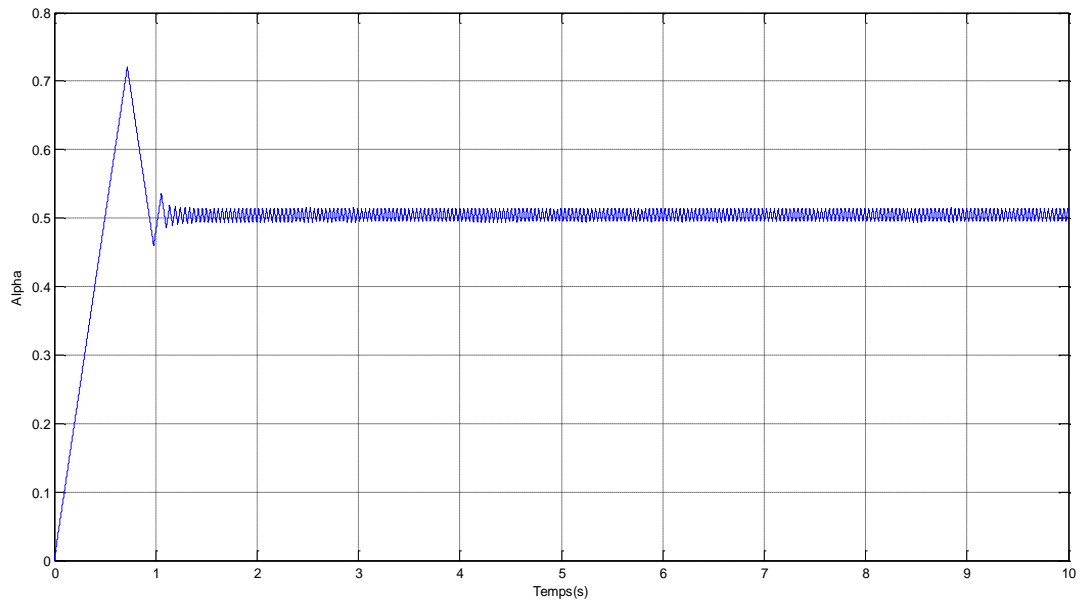


Figure.VI.36. Forme de rapport cyclique alpha obtenue par la méthode P&O

- Pour $\Delta \alpha = 0.001$

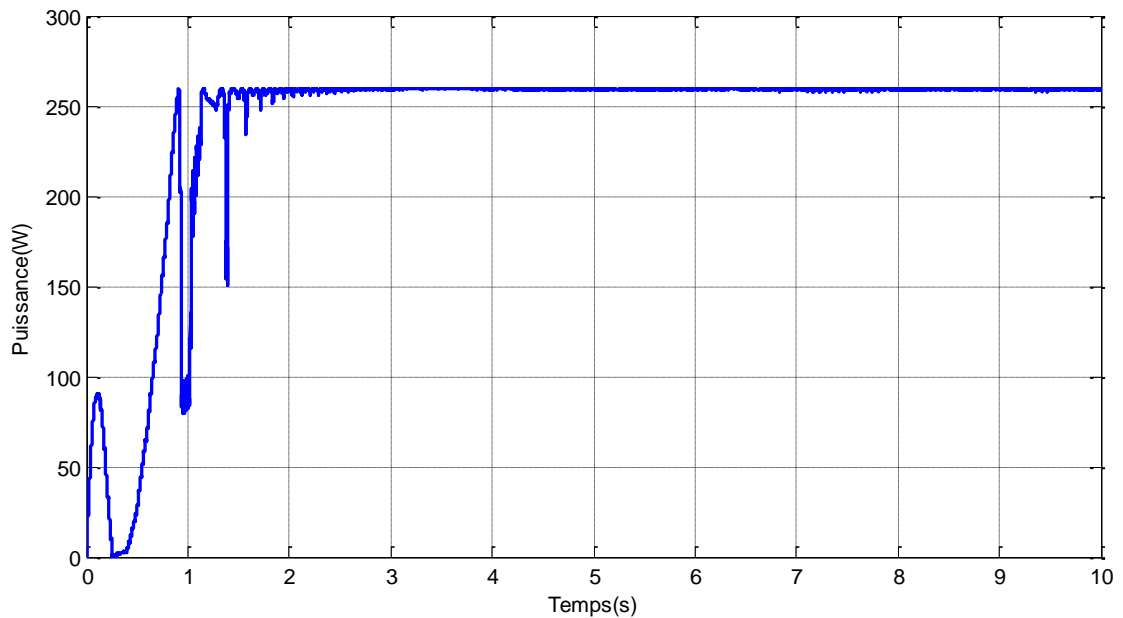


Figure.VI.37. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O

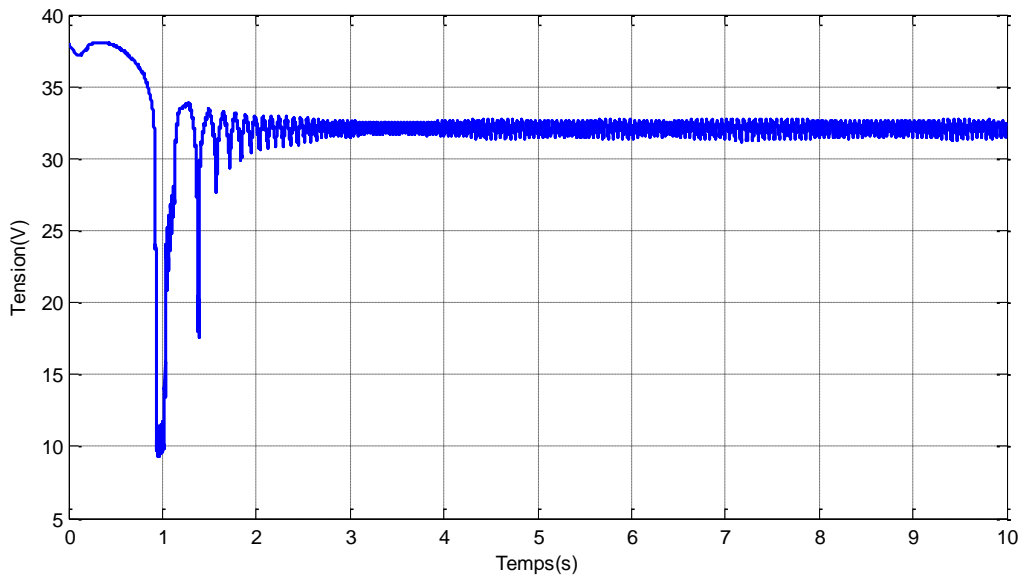


Figure.VI.38. Forme de tension obtenue par la méthode P&O

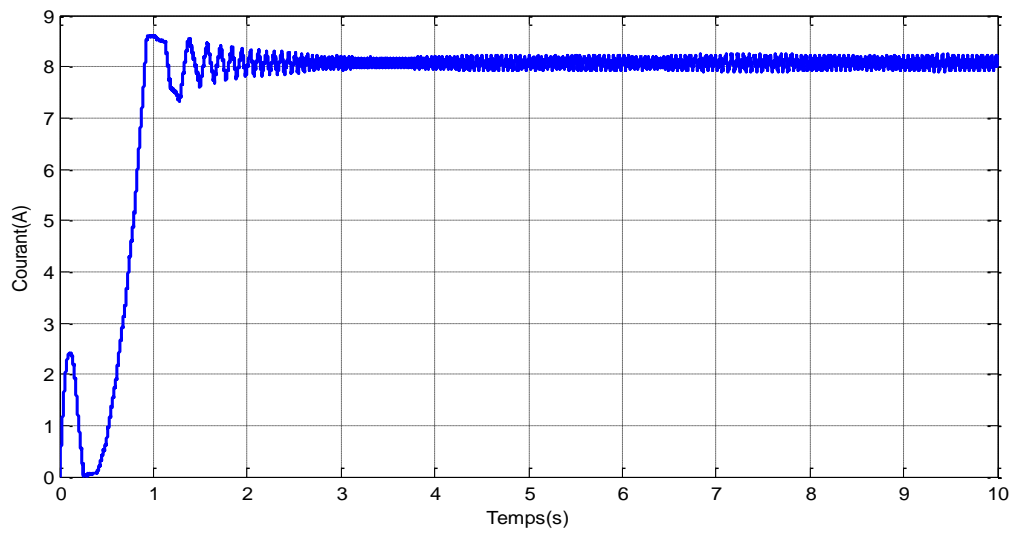


Figure.VI.39. Forme de courant obtenue par la méthode P&O

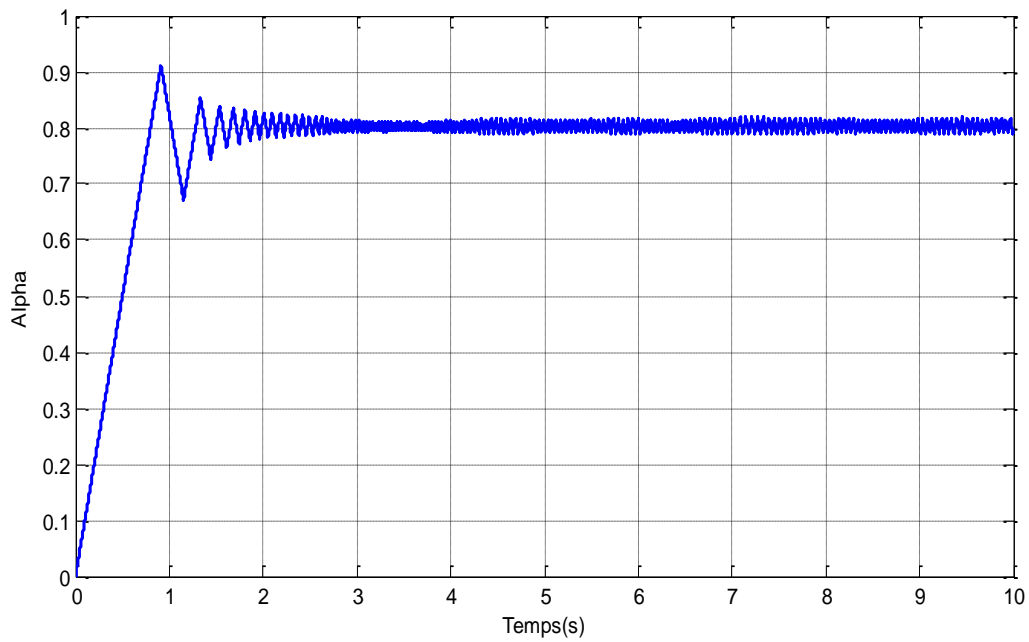


Figure.VI.40. Forme de rapport cyclique alpha obtenue par la méthode P&O

- Pour $\Delta\alpha=0.01$

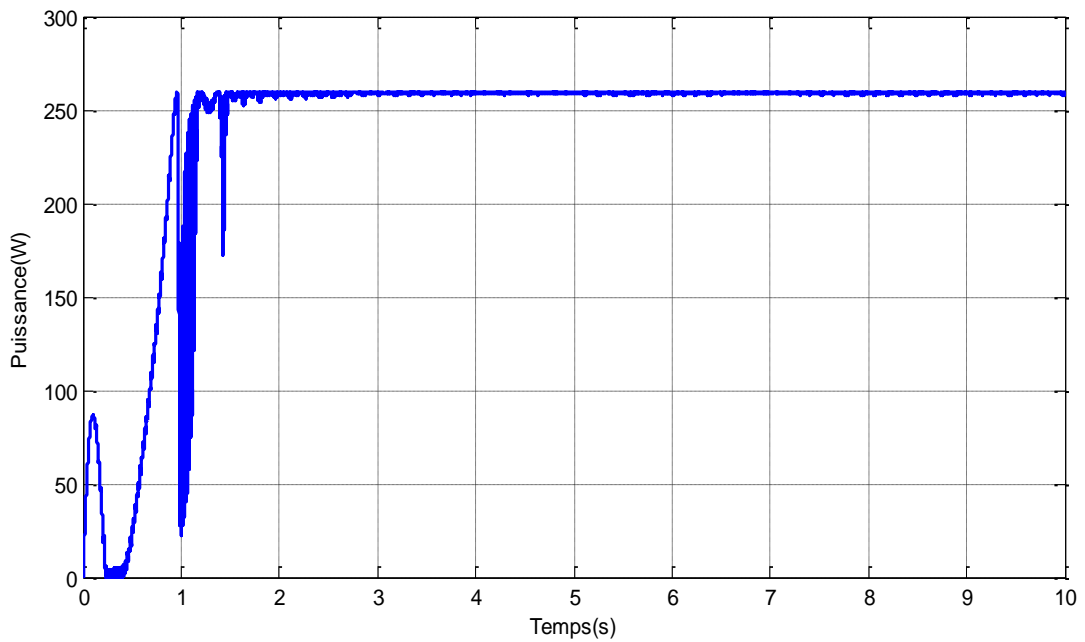


Figure.VI.41. Forme de puissance obtenue par la méthode P&O

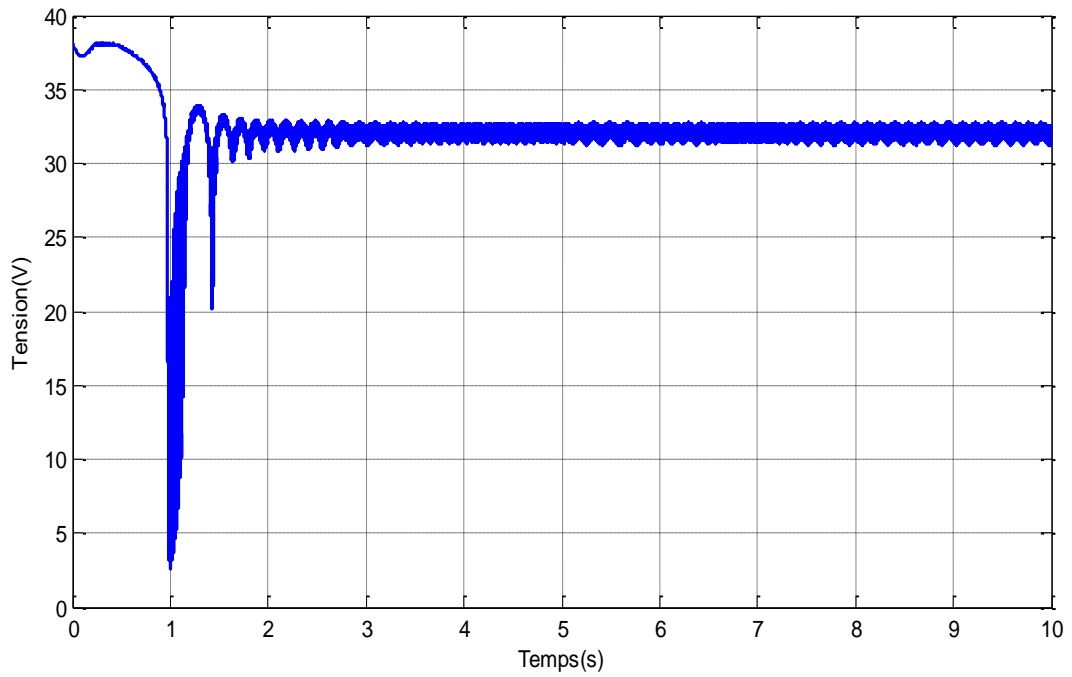


Figure.VI.42. Forme de tension obtenue par la méthode P&O

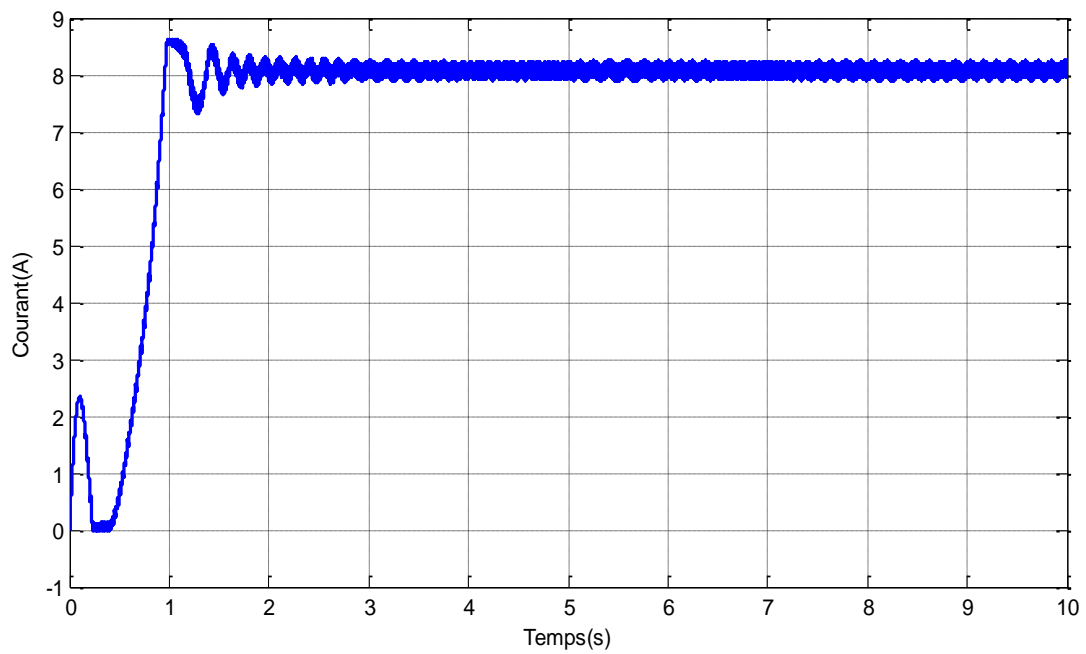


Figure.VI.43. Forme de courant obtenue par la méthode P&O

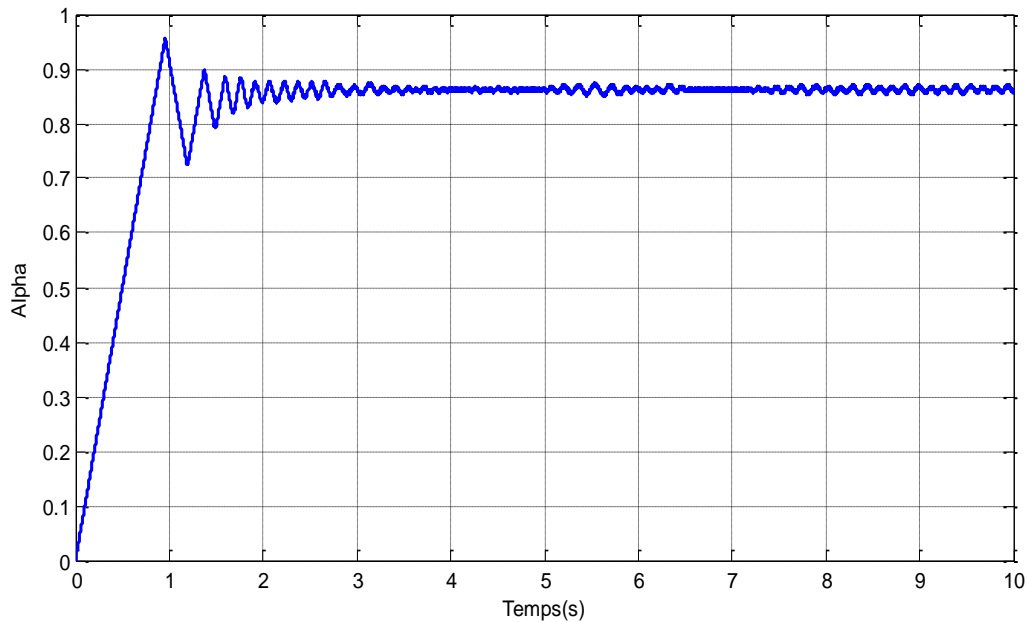


Figure.VI.44. Forme de rapport cyclique alpha obtenue par la méthode P&O

Interprétations des résultats

D'après les résultats on remarque que le pas d'incrément alpha dépend de régime transitoire de système.

Alpha augmente le contrôleur converge plus vite vers le PPM et un régime transitoire plus long et une grande amplitude des oscillations autour de PPM ce qui engendre une grande perte de puissance.

Alpha diminue le contrôleur converge lentement vers le PPM mais par contre le régime transitoire diminue et moins d'oscillations autour le PPM par rapport au premier cas alors une faible perte de puissance et un meilleur rendement.

VI.7.conclusion

dans ce chapitre nous avons effectués une simulation du convertisseur MPPT sous simulink, en tenant compte des effets des paramètres physiques et environnementaux tels que le rayonnement, la température et le pas d'incrémentation.

En utilisant la méthode de perturbation et observation qui utilise la tension et le courant du panneau photovoltaïque pour chercher le point de fonctionnement correspondant à la puissance maximale.

Les résultats de simulation montrent que ce système peut s'adapter aux incertitudes et donner une réponse rapide et une bonne performance avec une erreur de 0.003% prêt. Et un régime transitoire peu sensible aux variations des perturbations externes.

Mais nous avons constatés que le défaut principal de l'algorithme PO est sa mauvaise interprétation de la localisation du MPP lors d'un changement brusque des conditions climatiques.

Conclusion générale

Le générateur photovoltaïque est un convertisseur d'énergie caractérisé par un point de fonctionnement où la puissance générée est maximale. Ce point se déplace en fonction des conditions atmosphériques. Un mécanisme de poursuite s'avère alors indispensable pour que le générateur photovoltaïque puisse fonctionner avec efficacité. Grâce à la présence d'un processus de poursuite de point de puissance maximale, connu sous le nom de contrôleur MPPT, une adaptation source/charge est réalisée, permettant un transfert maximal de puissance.

Dans un premier temps, nous avons montré l'effet de l'irradiation solaire et de la température sur les caractéristiques de base du modèle mathématique d'une cellule photovoltaïque. Nous terminons cette partie par le dimensionnement du convertisseur à réaliser.

Dans le dernier chapitre nous avons effectués une simulation du convertisseur MPPT sous simulink, en tenant compte des effets des paramètres physiques et environnementaux tels que le rayonnement, la température et le PAS d'incrémentations.

En utilisant la méthode de perturbation et observation qui utilise la tension et le courant du panneau photovoltaïque pour chercher le point de fonctionnement correspondant à la puissance maximale.

Les résultats de simulation montrent que ce système peut s'adapter aux incertitudes et donner une réponse rapide et une bonne performance avec une erreur de 0.003% en régime transitoire peu sensible aux variations des perturbations externes.

Mais nous avons constatés que le défaut principal de l'algorithme P-O est sa mauvaise interprétation de la localisation de MPP lors d'un changement brusque des conditions climatiques.

Comme perspective nous proposons :

- Dans cette étude, les pertes lors l'augmentation de pas d'incrémentations n'ont pas été prises en compte. Une étude plus rigoureuse peut être faite pour suivre le changement de pas d'incrémentations et l'influence de ces pertes sur le rendement du système.

Bibliographie

- [1] A. Labouret, M.villoz« Energie solaire photovoltaïque ». Dunod. 3ème édition. 2006
 - [2] N.Debili. « Etude et optimisation en environnement Matlab/Simulink d'un système de pompage Photovoltaïque ». Année 2014/2015
 - [3] Site : https://www.univ-saida.dz/busc/doc_num.php
 - [4] M. Z. F.Z. Zerhouni. « Optimisation d'un système à énergie verte avec validation pratique».Revue des Energies Renouvelables.2008.
 - [5] Alireza Khaligh, Omer C.Onar, « Energy harvesting: Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems », Taylor and Francis Group, 2010.
 - [6] Article, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00357487>, Cedric Cabal, Submitted on 30 Jan 2009
 - [7] Site :https://fr.wikipedia.org/wiki/Panneau_solaire
 - [8] Article, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01351493/> Saad Motahhir ,Submitted on 19 Apr 2018
 - [9] Article, Cours d'électronique de puissance Conversion DC/DC , Professeur A. Rufer, P. Barrade
 - [10] R. Bründlinger: prEN 50530 – The new european standard for performance characterisation of PVinverters. Article, Germany.2009.
-

Résumé

Ce mémoire met en œuvre par simulation le contrôle direct de l'énergie solaire extraite du panneau photovoltaïque isolé du réseau électrique, à travers l'utilisation d'une commande numérique « perturbation et observation » assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PV (IFRIT 260-60). Dans un premier temps, on a présenté dans ce mémoire une étude sur le convertisseur DC/DC Boost. Puis on a effectué Une approche de commande qui fait appel à une commande P&O qui permet de contrôler la tension photovoltaïque, Cette stratégie assure un bon compromis. Le montage global est alors réalisé via le logiciel Matlab/Simulink. Plusieurs simulations sont effectuées à chaque effectuation d'un changement, soit dans l'éclairement ou dans la température ou le pas d'incrémentation. Les résultats de simulation obtenus montrent la performance du contrôle dans le comportement dynamique du système photovoltaïque, l'efficacité de la MPPT (P&O), sa robustesse, sa rapidité et de la diminution les perturbations vis-à-vis les variations climatiques ainsi que des paramètres du système.

Mots clés : Panneau photovoltaïque, algorithme MPPT (P&O), convertisseur DC/DC Boost, contrôle direct.
