

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البلدية
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Projet de Fin d'Études

présenté par

BOUAMRA ASMA

HAMIDI OUSSAMA

Pour l'obtention du diplôme MASTER en Électronique option system de vision et
robotique

Thème

Etude de la comparaison des performances entre convertisseur CUK et SEPIC pour et implémentation l'MPPT sur FPGA

Proposé par : Mr. TADRIST R

Année Universitaire 2014-2015

ملخص:

وحدات الطاقة الشمسية (PV) هي واحدة من موارد الطاقة الأكثر أهمية لأنها نظيفة، وبلا نهاية خالية من التلوث. يتم استخدام تتبع أقصى نقطة للطاقة (MPPT) في الوحدات الضوئية (PV) لتعظيم إنتاج الطاقة من خلال الألواح الشمسية لمختلف تغيرات في درجات الحرارة والإشعاع.

في هذا العمل نقوم بدراسة ومقارنة الأداء بين محولين SEPIC و CUK من أجل تتبع نقطة الطاقة القصوى (MPPT) لنظام (PV). وسيتم وصف مزايا وعيوب كل من المحولات بمحاكاة النظام باستخدام السيمبولينك. من أجل تنفيذ خوارزمية InCn على الهدف FPGA نستخدم نظام XILINX SYSTEM GENETAROR (XSG).

كلمات البحث: محولين CUK و SEPIC. ماتلاب / السيمبولينك. FPGA.

Résumé :

L'énergie Photovoltaïque (PV) est l'une des ressources les plus importantes d'énergie car il est propre, sans pollution et sans fin. Le Maximum Power Point Tracking (MPPT) est utilisé dans le Photovoltaïque (PV) afin de maximiser la puissance à la sortie des panneaux solaires pour des variations météorologiques de la température et du rayonnement.

Dans ce travail on étudie la comparaison des performances entre deux convertisseurs CUK et SEPIC pour le suivi du point de puissance maximal (MPPT) du system (PV). Les avantages et les inconvénients des deux convertisseurs seront décrits. Pour la simulation du system, nous utilisons l'environnement SIMULINK. Dans le but d'implémenter l'algorithme incrémentale de la conductance sur cible FPGA, XILINX SYSTEM GENETAROR (XSG) est utilisé.

Mots clés : convertisseurs CUK et SEPIC ; Matlab/Simulink ; FPGA.

Abstract :

Energy Photovoltaics (PV) is one of the most important energy resources because it is clean, pollution-free and without end. The Maximum Power Point Tracking (MPPT) is used in the Photovoltaic (PV) to maximize the power output of solar panels to weather variations of temperature and radiation.

In this work we study the performance comparison between two SEPIC and CUK converters to track the maximum power point (MPPT) of system (PV). The advantages and disadvantages of both converters will be described. For the simulation of the system, we use the Simulink environment. In order to implement the algorithm incremental conductance on target FPGA XILINX SYSTEM GENETAROR (XSG) is used.

Keywords: CUK and SEPIC converter; Matlab / Simulink; FPGA.



Dedicace

Avec une immense joie, que je dédie mon travail à :

Mes chers parents qui m'ont donné tout leur amour et soutien.

Mes frères : M^{rs} Riad, Rafik et Ossama.

Mes sœurs : Meriem, Sihem, Nesrine, Imene et Narimène.

Mes anges : Maya Ranime et Mohamed Racime.

Ma nièce adorée : Malak Rahma.

Mes amis et collègues d'études.

Bouamra Asma



Remerciements

*Nous sommes heureux de pouvoir exprimer notre
profonde gratitude envers notre encadreur*

*Mr Tadriss pour sa compréhension et ses conseils et toute
l'aide qu'il nous a rapporté.*

*Nous tenons à remercier tous les membres du jury pour
avoir accepté de juger notre travail.*

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la mise
en œuvre de ce travail.*

Bouamra Asma



REMERCEMENT

Je remercie en premier lieu Dieu qui m'a donné ce bien là et pour que je vive ce jour et la force et la patience pour terminer ce travail.

Je tiens à exprimer mes remerciements à mon encadreur Prof.

R. Tadrist qui a proposé et a dirigé ce travail.

Je remercie monsieur le président de jury, ainsi que les membres de jury d'avoir accepté de juger ce travail.

Je tiens à remercier les responsables et tout le personnel du département d'Electronique de Blida pour les facilités qu'ils m'ont accordés pour terminer ce travail.

Le travail de mémoire que j'ai effectué doit beaucoup à certaines personnes que je tiens à les remercier sincèrement.

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à l'élaboration de ce modeste mémoire.



OUSSAMA HAMDI

Taleb de matière

Introduction générale	01
Chapitre 01 Généralité sur l'énergie Solaire et Système PV	
1.1 Introduction	05
1.2 L'énergie solaire	06
1.3 Le gisement solaire en Algérie	07
1.4 Avantages et Inconvénients de l'énergie Photovoltaïque	07
1.5 Cellule photovoltaïque	08
1.5.1 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque réelle	08
1.5.2 Paramètres d'une cellule photovoltaïque	10
1.6 Générateur photovoltaïque	11
1.6.1 Constitution d'un générateur photovoltaïque	11
1.6.2 Caractéristique Courant-Tension	11
1.6.3 Influence de l'éclairement et de la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$	12
1.7 Introduction d'un étage d'adaptation	15
1.8 conclusion	16
Chapitre 02 Les convertisseurs et la commande MPPT	
2.1 Introduction	17
2.2 Convertisseurs DC-DC pour les systèmes d'énergie solaire	17
2.2.1 Topologie de convertisseurs DC/DC	18
2.2.2 Convertisseur SEPIC	19
2.2.2.1 Synoptique d'hacheur SEPIC	20
2.2.2.2 Principe de fonctionnement	21
2.3 Dimensionnement d'un convertisseur SEPIC	23
2.3.1 Le rapport cyclique	23
2.3.2 Les inductances	24
2.3.3 Le condensateur de couplage	24
2.3.4 Condensateur de filtrage	24
2.3.5 Choix du MOSFET(Transistor)	24

2.3.6	Choix de la diode de sortie	25
2.3.7	Application numérique	25
2-4	Convertisseur CUK	26
2.4.1	Principe de fonctionnement	26
2.4.2	Dimensionnement des composants	28
2.4.3	Application numérique	29
2.5	commande MPPT	30
2.5.1	Introduction	30
2.5.2	Algorithme de perturbation et d'observation	30
2.5.3	Algorithme de l'Incrémentatation de la Conductance (InCn)	32
2.6	conclusion	34
Chapitre 3 Simulation et implémentation sous SIMULINK et XSG		
3.1	Introduction	35
3.2	Implémentation du système dans l'environnement SIMULINK	35
3.2.1	Introduction	35
3.2.2	Valeurs des composants adoptées pour la simulation	35
3.2.2.1	Valeurs des composants adoptées pour la simulation de SEPIC	35
3.2.2.2	Valeurs des composants adoptées pour la simulation de CUK	36
3.2.3	Simulation sous SIMULINK	36
3.2.1	Architectures adaptées dans l'espace SIMULINK	36
3.2.1.1	Etage d'adaptation convertisseur SEPIC	36
3.2.3.1.2	Etage d'adaptation convertisseur CUK	38
3.2.3.2	Comparaison des deux Algorithmes MPPT pour les deux convertisseurs	39
3.2.3.2.1	Algorithme P&O (perturb and observe) appliqué au convertisseur Cúk	39
3.2.3.2.2	Algorithme incrémental conductance (InCn) appliqué	39
3.2.3.2.3	La comparaison des deux algorithmes pour le convertisseur Cúk	40
3.2.3.2.4	La comparaison des deux algorithmes pour le convertisseur SEPIC	42
3.2.3.3	Comparaison des deux convertisseurs contrôlés par les deux Algorithmes MPPT	45
3.2.3.3.1	Comparaison des deux convertisseurs contrôlés par InCn	45
3.2.3.3.2	comparaison des deux convertisseurs contrôlés par P&O	48
3.3	Implémentation du système sur XSG	50

3.3.1INTRODUCTION	50
3.3.2 system generator XSG	50
3.3.2.1 Définition de XSG	50
3.3.2.2 Description XSG du l’algorithme MPPT incrémentale conductance « InCn »	51
3.3.3Conclusion	58
Conclusion générale	59
Annexes	60
bibliographie	63

Le travail présenté dans ce mémoire est consacré à l'étude et la comparaison des performances entre deux convertisseurs CUK et SEPIC contrôlés par deux MPPT "Maximum Power Point Tracking" à savoir perturb and observe et incrémentale conductance.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté les différentes parties constituant un système photovoltaïque : le générateur photovoltaïque, l'étage d'adaptation et le bloc MPPT.

Dans le deuxième chapitre, nous avons étudié les différentes caractéristiques de chaque convertisseur, et on a présenté le rôle des Algorithmes de bloc de contrôle MPPT.

Le troisième chapitre est le plus important dans notre travail. Nous avons fait une simulation de notre système photovoltaïque (le générateur photovoltaïque, l'étage d'adaptation et le bloc MPPT) sur SIMULINK MATLAB pour comparer entre les performances des deux convertisseurs, nous avons trouvé que le convertisseur CUK est le meilleur convertisseur entre les deux, car la puissance de sortie de CUK est plus grande par rapport à la puissance de SEPIC ainsi que les ondulations sont très limitées et le temps de régime transitoire est plus petit.

Notre deuxième but de ce chapitre est l'implémentation de l'algorithme InCn sur un circuit FPGA pour le contrôle des deux convertisseurs. Pour cela nous avons adopté une architecture sous XSG. Les résultats obtenus sont comparables aux résultats obtenus sous SIMULINK. Le choix de nombres des bits est très important pour obtenir les meilleurs résultats, nous avons augmenté les nombres des bits de la partie fractionnelle et nous remarquons que les ondulations sont diminuées avec prendre en considération l'espace utilisé sur la cible FPGA. Cette architecture nécessite une bonne optimisation afin de faciliter son implémentation sur cible FPGA. L'estimation de ressources de notre circuit adopté (Tableau III.3) montre une utilisation des ressources acceptable.

1.1 Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, cette énergie solaire est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, et malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore assez importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 10 000 w/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 14 000 W/m² lorsque l'atmosphère est faiblement polluée. Malheureusement, toute cette énergie optique n'est pas convertible en énergie électrique: en laboratoire, les meilleurs rendements de conversion atteints par des cellules solaires (multicouches en l'occurrence) ne dépassent pas 40%.

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel, en effet le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque.

L'énergie photovoltaïque consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule. L'association de plusieurs cellules PV en série/parallèle donnent lieu à un générateur photovoltaïque (GPV) qui a une caractéristique courant-tension (I-V) non linéaire présentant un point de puissance maximale (MPPT) [8] dépendant du niveau d'éclairement, de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. Pour pouvoir « récolter » et utiliser cette énergie, la connexion à une charge est nécessaire. Il en résulte un point de fonctionnement correspondant au point d'intersection des caractéristiques électriques du GPV et de la charge. Selon les choix des charges envisagées, le régime de fonctionnement obtenu est optimisé ou non.

Ce chapitre sera consacré au rappel du principe et la performance de l'effet photovoltaïque sur la cellule photovoltaïque, dans le but de comprendre le fonctionnement et la production de l'énergie par le générateur photovoltaïque et les principes de son optimisation.

1.2 L'énergie solaire

L'énergie du Soleil est transmise sous forme de rayonnement dans l'espace de manière uniforme et dans toutes les directions. En une heure, la terre reçoit suffisamment d'énergie du soleil ($1,2 \cdot 10^{17}$ watts) pour combler ses besoins pour presque une année.

Le flux solaire reçu au niveau du sol terrestre dépend ainsi de plusieurs paramètres comme :

- l'orientation, la nature et l'inclinaison de la surface terrestre.
- la latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi que de son altitude.
- la période de l'année.
- l'instant considéré dans la journée.
- la nature des couches nuageuses.

L'irradiance est la mesure de la densité de puissance de la lumière du soleil, elle est mesurée en W/m². L'irradiance est ainsi, une quantité instantanée. La constante solaire correspond à l'irradiance venant du soleil et reçue par la terre au-dessus de l'atmosphère. L'irradiation est la mesure de la densité d'énergie de la lumière du soleil, elle est mesurée en kWh/m². L'irradiation est souvent exprimée en «heures de puissance crête», qui correspond à la durée en heures, à un niveau d'irradiance constant de 1kW/m², nécessaire pour produire l'irradiation quotidienne[9].

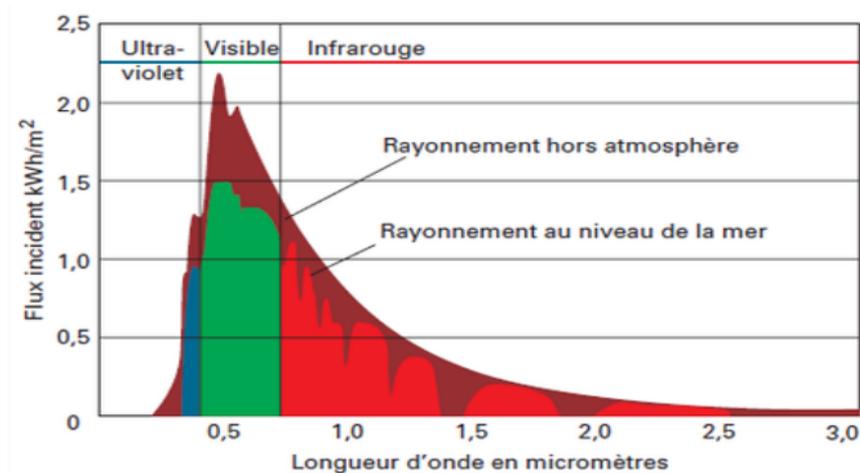


Figure1.1 Rayonnement solaire incident hors atmosphère et au niveau de la surface terrestre

Le nombre d'heures de puissance crête est obtenu par intégration de l'irradiance sur toutes les heures de clarté (figure 1.1) ci-dessus.

La connaissance de cette valeur permet de quantifier rapidement les possibilités offertes par le générateur solaire. Un module de 50W fournira 150WhH dans un site correspondant à un ensoleillement de 3 heures de puissance crête [9][10][11].

1.3 Le gisement solaire en Algérie

L'Algérie amorce une dynamique d'énergie verte en lançant un programme ambitieux de développement des énergies renouvelables (ENR) et d'efficacité énergétique. Cette vision du gouvernement Algérien s'appuie sur une stratégie axée sur la mise en valeur des ressources inépuisables comme le solaire et leur utilisation pour diversifier les sources d'énergie et préparer l'Algérie de demain car, aujourd'hui, les besoins énergétiques de l'Algérie sont satisfaits, presque exclusivement, par les ressources fossiles (énergie la plus disponible: Pétrole et gaz) et à long terme, la reconduction du modèle national de consommation énergétique actuel peut rendre problématique l'équilibre offre-demande pour cette source d'énergie. Donc l'intégration massive du renouvelable dans le mix énergétique constitue en ce sens un enjeu majeur en vue de préserver, de diversifier les filières de production de l'électricité et de contribuer au développement durable[13]. Cette diversification nécessite une prise en charge totale de l'étude et de mise en valeur du réseau d'énergie de demain. Les réseaux de distribution de cette énergie est en plein développement, on entend par cela les (SMART GRID) ou réseaux intelligents. La maîtrise totale d'injection, d'interconnexion et de distribution de l'énergie exigent des simulateurs temps réel complètement numérique ou hybride [14]. Le programme consiste à installer une puissance d'origine renouvelable de près de 22000 MW entre 2011 et 2030 dont 12 000 MW seront dédiés à couvrir la demande nationale en électricité et 10 000 MW à l'exportation. En effet, l'Algérie compte se positionner comme un acteur majeur dans la production de l'électricité à partir du solaire photovoltaïque et du solaire thermique qui seront les moteurs d'un développement économique durable à même d'impulser un nouveau modèle de croissance. Le programme inclut la réalisation, d'ici 2020, d'une soixantaine de centrales solaires photovoltaïques et solaires thermiques [13].

1.4 Avantages et inconvénients de l'énergie photovoltaïque

- Les principaux avantages de l'énergie photovoltaïque sont:
 - Sa gratuité.
 - Pas de pollution.
 - Sa fiabilité et la longue vie de l'installation.

- Sa structure fixe.
- Son coup de maintenance bas.
- Sa flexibilité (dimensionnement selon les besoins, modularité).
- L'installation ne produit aucun bruit.
- Son potentiel illimité, 5% de la surface des déserts suffiraient pour alimenter la planète entière.
- Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque sont :
 - Le coût élevé de l'installation.
 - Le rendement relativement bas de l'effet photovoltaïque.
 - La puissance est réduite lorsque les conditions climatiques sont défavorables (nuages).
 - Le stockage de l'énergie électrique sous forme chimique (batterie) est nécessaire pour une installation autonome.
 - Même si l'électricité produite par une installation photovoltaïque est sans pollution, la fabrication, l'installation et l'élimination des panneaux ont un impact sur l'environnement.

1.5 Cellule photovoltaïque

1.5.1 Caractéristiques électriques d'une cellule photovoltaïque réelle

La figure (1.2) présente le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque sous éclairage. Il correspond à un générateur de courant I_{ph} monté en parallèle avec une diode. Deux résistances parasites sont introduites dans ce schéma.

Ces résistances ont une certaine influence sur la caractéristique $I = f(V)$ de la cellule:

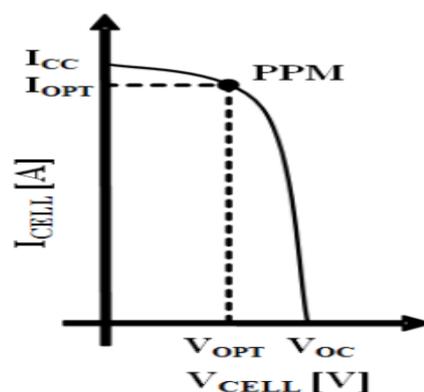


Figure 1.2 Caractéristique $I(V)$ d'une cellule photovoltaïque pour un éclairage et une température donnés

Les résistances R_s et R_{sh} permettent de tenir en compte des pertes liées aux défauts de fabrication.

- La résistance série (R_s) est la résistance interne de la cellule ; elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur utilisé, de la résistance de contact des grilles collectrices et de la résistivité de ces grilles.
- La résistance shunt (R_{sh}) est due à un courant de fuite au niveau de la jonction; elle dépend de la façon dont celle-ci a été réalisée.

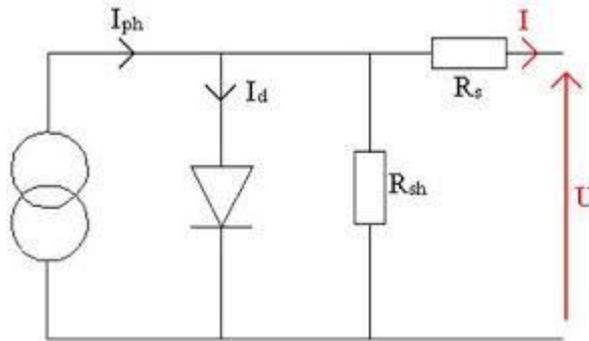


Figure 1.3 Schéma équivalent électrique de la cellule PV réelle

$$I = I_{ph} - I_{sat} - I_{rsh} \quad (I.1)$$

$$I_{rsh} = \frac{V_{pv} + (I_{pv} \cdot R_s)}{R_{sh}} \quad (I.2)$$

$$I_d = I_0 * \left[\exp\left(\frac{e(V_{pv} + (I_{pv} \cdot R_s))}{nKT}\right) - 1 \right] \quad (I.3)$$

Le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension d'une cellule PV est donné par :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{e(V_{pv} + (I_{pv} \cdot R_s))}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + (I_{pv} \cdot R_s)}{R_{sh}} \quad (I.4)$$

Où :

I_{pv} : (A) le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur ;

I_{ph} : le photo-courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court-circuit) (A) ;

I_{sat} : est le courant de saturation de diode(A) ;

K : est la constante de Boltzmann ($1,381 \cdot 10^{-23}$ J/K) ;

T : est la température effective des cellules en Kelvin(K) ;

e : est la charge de l'électron ($e=1,6 \cdot 10^{-19}$ C) ;

n : est le facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 3$) ;

V_{pv} : est la tension aux bornes de cette même cellule (V) ;

R_{sh} : est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction (Ω) ;

R_s : est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions (Ω) [16].

1.5.2 Paramètres d'une cellule photovoltaïque

Ces paramètres peuvent être déterminés à partir des courbes courant-tension, ou de l'équation caractéristique :

A- Courant de court-circuit (I_{cc})

C'est le courant pour lequel la tension aux bornes de la cellule ou du générateur PV est nulle. Dans le cas idéal (R_s nulle et R_{sh} infinie), ce courant se confond avec le photo-courant I_{ph} dans le cas contraire, en annulant la tension V dans l'équation (I.5) on obtient:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{e(I_{cc}R_s)}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{(I_{cc}R_s)}{R_s} \quad (I.5)$$

Pour la plupart des cellules (dont la résistance série est faible), on peut négliger le terme $I_{sat} \left[\exp\left(\frac{e(I_{cc}R_s)}{nKT}\right) - 1 \right]$ devant I_{ph} . L'expression approchée du courant de court-circuit est alors:

$$I_{cc} \cong \frac{I_{ph}}{\left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}}\right)} \quad (I.6)$$

Quantitativement, il a la plus grande valeur du courant généré par la cellule (pratiquement $I_{CC} = I_{ph}$).

B- Tension de circuit-ouvert (V_{co})

C'est la tension V_{co} pour laquelle le courant débité par le générateur photovoltaïque est nul (c'est la tension maximale d'une photopile ou d'un générateur photovoltaïque).

$$0 = I_{cc} - I_{sat} \left[\exp\left(\frac{eV_{pv}}{nKT}\right) - 1 \right] - \frac{(V_{pv})}{R_s} \quad (I.7)$$

Dans le cas idéal, sa valeur est légèrement inférieure à:

$$V_{CO} = \frac{nKT}{e} \ln \left[\frac{I_{ph}}{I_{sat}} + 1 \right] \quad (I.8)$$

1.6 Générateur photovoltaïque

1.6.1 Constitution d'un générateur photovoltaïque

La cellule photovoltaïque élémentaire constitue un générateur de très faible puissance vis-à-vis des besoins de la plupart des applications domestiques ou industrielles. Une cellule élémentaire de quelques dizaines de centimètres carrés délivre, au maximum, quelques watts sous une tension inférieure au volt (tension de jonction PN). Pour produire plus de puissance, plusieurs cellules doivent être assemblées afin de créer un module ou un panneau photovoltaïque. La connexion en série des cellules permet d'augmenter facilement la tension de l'ensemble, tandis que la mise en parallèle permet d'accroître le courant. Le câblage série/parallèle est donc utilisé pour obtenir globalement un générateur PV aux caractéristiques souhaitées, l'énergie fournie par le champ peut être utilisée pour charger des batteries qui fourniront l'électricité au moment voulu.

Un générateur photovoltaïque est constitué d'un ou plusieurs modules PV en série et / ou en parallèle pour obtenir une puissance, un I_{cc} et un V_{co} désirés.

1.6.2 Caractéristique Courant-Tension

La figure (1.4) représente la courbe $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température. L'irradiation standard adoptée pour mesurer la réponse des modules photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de 25° C . La caractéristique électrique $I(V)$ de ce type de GPV s'avère proche de celle d'une cellule PV aux rapports de proportionnalités près. Ces rapports dépendent du nombre de cellules connectées en série et du nombre de branches de cellules associées en parallèle. Cette caractéristique est également non linéaire et présente un point de puissance maximal (PPM) caractérisé par un courant et une tension nommés respectivement, comme pour la cellule, I_{opt} et V_{opt} .

Electrical Parametre Electrique	Valeur
Puissance Maximale (Pmax)	142 w
Tension à Pmax (Vmp)	23.2V
Courant à Pmax (Imp)	6.13 A
Tension de Circuit-Ouvert (Voc)	29.9 V
Courant de Court-Circuit (Isc)	6.62 A

TABLEAU 1.1 : Caractéristique électrique d'un module photovoltaïque KC200GT

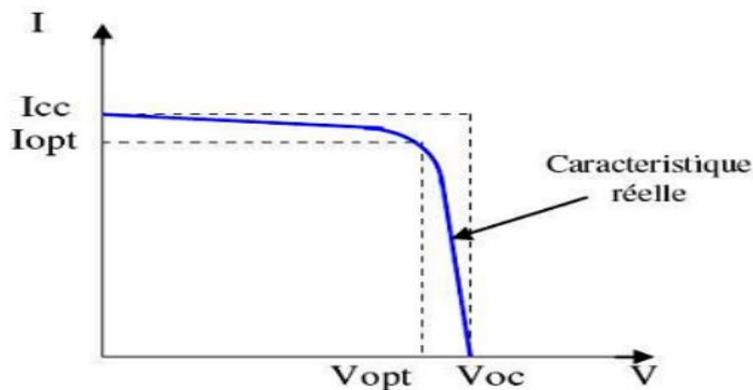


Figure 1.4 Caractéristique $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque

1.6.3 Influence de l'éclairement et la température sur les courbes $I=f(V)$ et $P=f(V)$

La figure (1.5) montre l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$. A une température constante, on constate que le courant subit une variation importante, mais par contre la tension varie légèrement. Car le courant de court-circuit est une fonction linéaire de l'éclairement alors que la tension de circuit ouvert est une fonction logarithmique [17][18][19][20] Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une augmentation car le courant de court-circuit a augmenté.

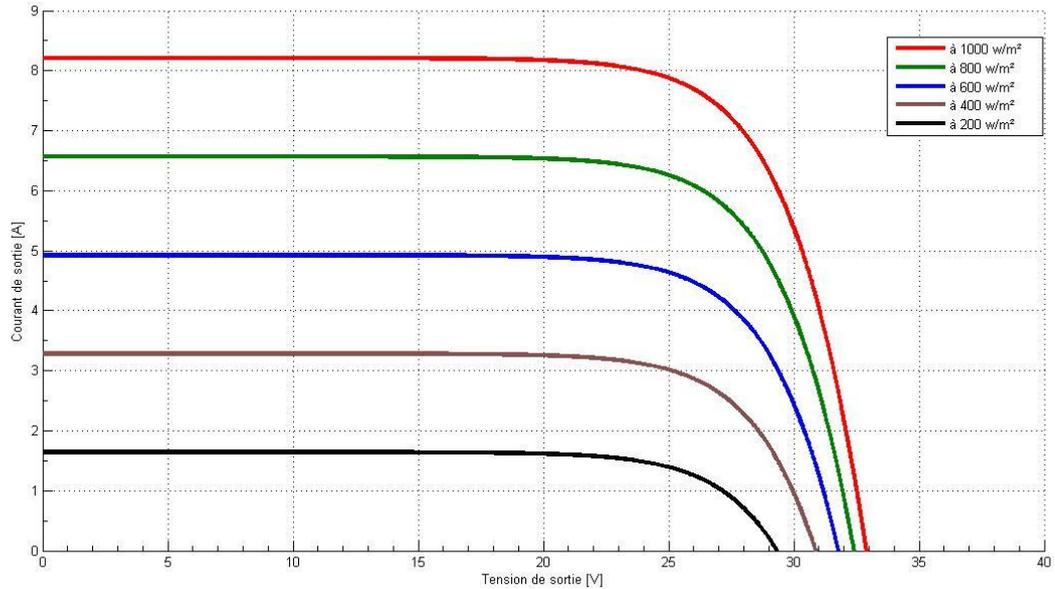


Figure 1.5 L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$

La figure (1.6) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs d'éclairement, ce qui nous permet de déduire l'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P(V)$.

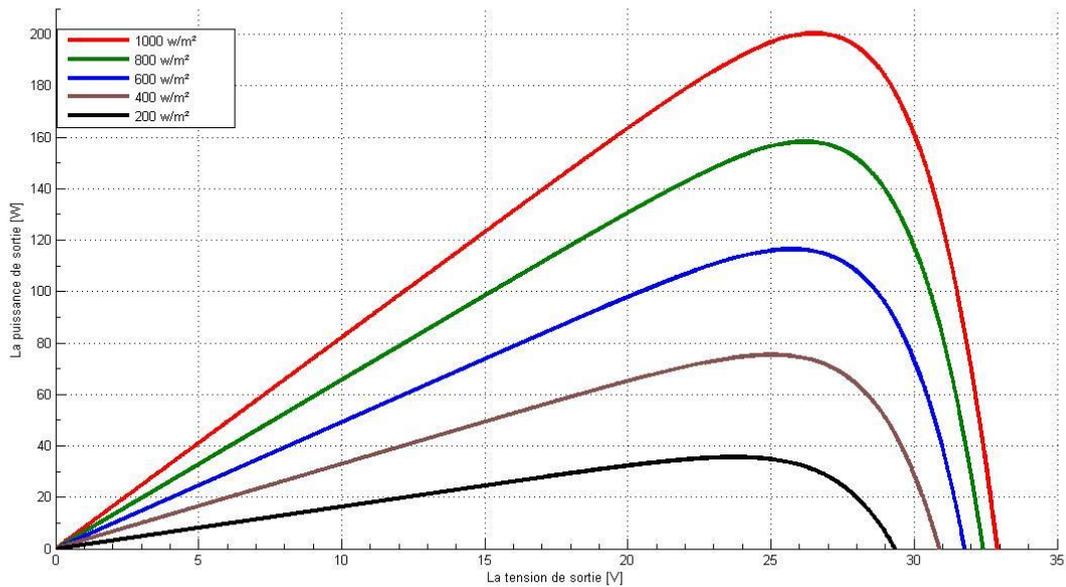


Figure 1.6 L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$

La figure (1.7) montre l'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$. Il est essentiel de comprendre l'effet de changement de la température d'une cellule solaire sur la caractéristique $I=f(V)$. Le courant dépend de la température puisque le courant augmente légèrement à mesure que la température augmente, mais la température influence négativement sur

la tension de circuit ouvert. Quand la température augmente la tension de circuit ouvert diminue. Par conséquent la puissance maximale du générateur subit une diminution [18].

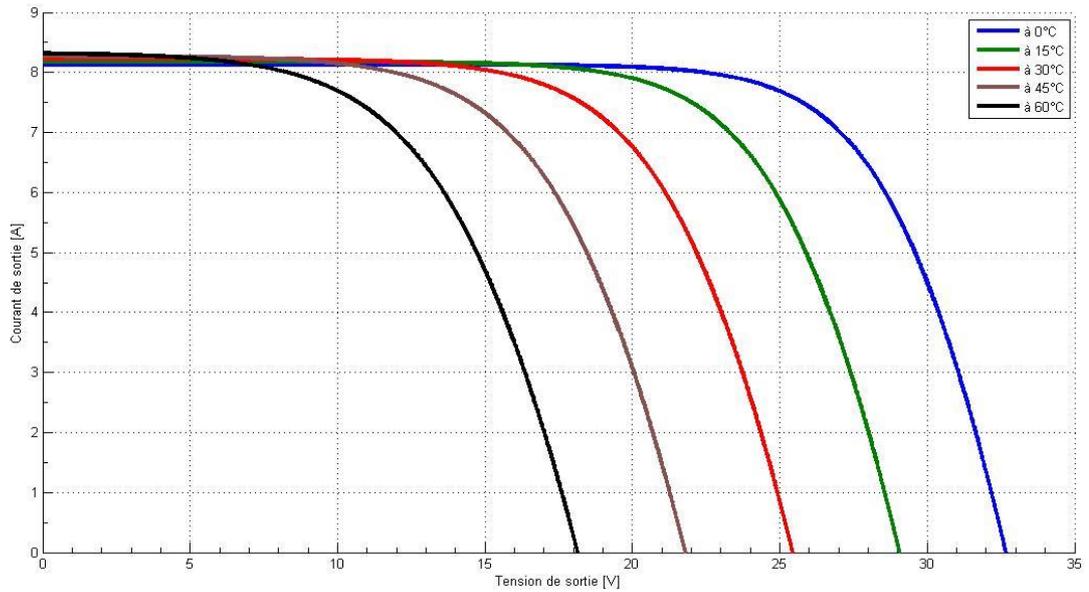


Figure 1.7 Influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$

La figure (1.8) illustre la variation de la puissance délivrée par le générateur en fonction de la tension pour différentes valeurs de la température, ce qui nous permet de déduire l'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$ [19].

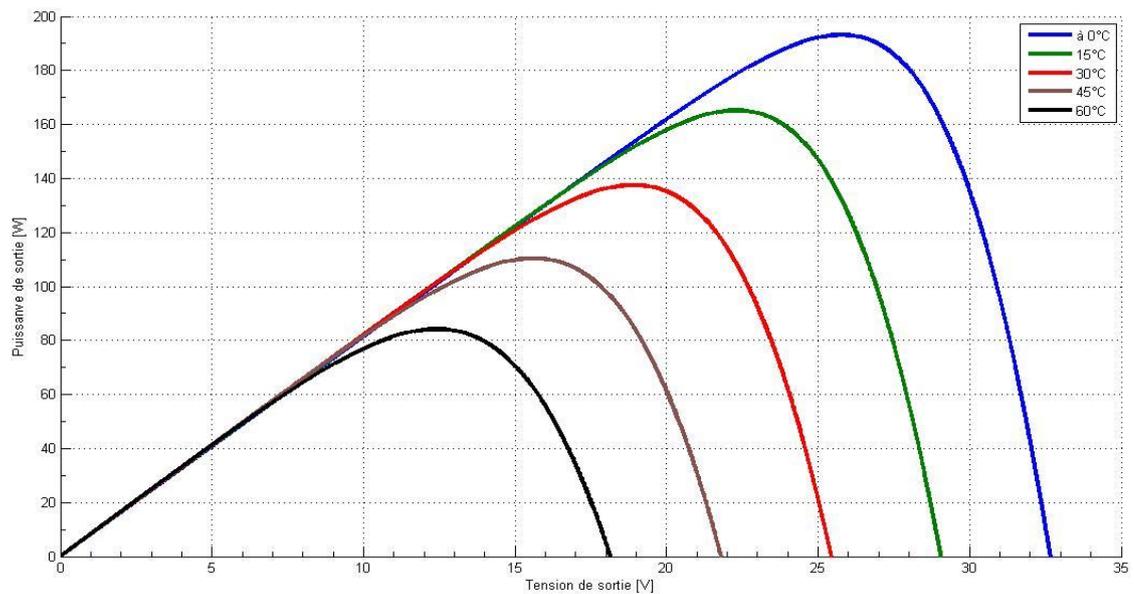


Figure 1.8 Influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$

1.7 Introduction d'un étage d'adaptation

Comme illustré précédemment, le point de fonctionnement peut se trouver plus ou moins éloigné du PPM, voir ne pas exister. Ce dernier cas se produit par exemple, lorsqu'une batterie connectée à un GPV, présente une tension de batterie systématiquement supérieure à la tension de circuit ouvert du générateur photovoltaïque (V_{OC}). Alors, aucun transfert de puissance ne peut avoir lieu. Ainsi, l'un des intérêts à introduire un étage d'adaptation comme indiqué sur la figure (1.9), est d'assurer que le transfert d'énergie est toujours possible et qu'il peut s'effectuer dans des conditions de fonctionnement optimales pour la source PV et la charge. Pour cela, il suffit d'effectuer un choix sur l'étage d'adaptation selon ses propriétés de conversion de puissance et la présence d'au moins un degré de liberté lui permettant d'adapter les tensions et les courants autant en valeur qu'en forme entre son port d'entrée et son port de sortie pour respecter au mieux les contraintes d'une part du GPV et d'autre part, de la charge. L'électronique de puissance largement utilisée dans divers domaines de la conversion d'énergie offre plusieurs solutions potentielles sous forme de convertisseurs statiques (CS).

En résumé, selon l'application et le degré d'optimisation de production souhaités, l'étage d'adaptation entre le GPV et la charge peut être constitué d'un ou plusieurs convertisseurs statiques et permet d'assurer les fonctions suivantes:

- adapter les niveaux de tensions entre la source et la charge dans de grandes proportions si nécessaire (convertisseur Buck, Boost,...),
- introduire une isolation galvanique (convertisseur Flyback, Forward,...),
- connecter une charge avec des besoins d'alimentation de type alternative (onduleur).

Il est à remarquer que l'étage d'adaptation ne remplace pas forcément les protections électriques, pour que le GPV fonctionne dans des bonnes conditions et ait une durée de vie importante. Ainsi, dans la plupart des cas, les protections initiales de diodes by-pass et de diodes anti-retour sont également indispensables lors d'une connexion à l'aide d'un étage d'adaptation[21].

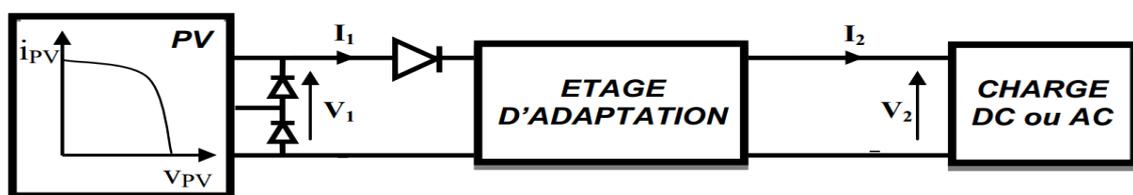


Figure 1.9 Connexion d'un GPV à une charge à travers un étage d'adaptation

1.8 Conclusion

Ce chapitre s'est consacré à présenter les différents composants d'un système photovoltaïque, l'étude du principe de l'effet photovoltaïque, la cellule PV. Le rappel sur les systèmes PV et leurs performances basés sur le modèle électrique équivalent ainsi les différents facteurs associés à la production et à l'adaptation d'énergie produite sont étudiés pour différents variations météorologique.

2.1 Introduction

Comme on a vu dans le chapitre précédent, les caractéristiques d'un module solaire montrent bien que la puissance maximale générée dépend fortement de l'intensité des radiations solaires ainsi que de la température. En plus de ces dépendances, le module solaire (GPV) ne peut générer sa puissance maximale que pour une certaine tension et courant de fonctionnement, la position de ce point de fonctionnement dépendant à son tour de l'ensoleillement et de la température ainsi que de la charge. Pour que le module fournisse sa puissance maximale disponible il faut une adaptation permanente de la charge avec le générateur photovoltaïque.

Cette adaptation pourra être réalisée par l'insertion d'un convertisseur DC-DC (hacheur) contrôlé par un mécanisme de poursuite «Maximum Power Point Tracking» (MPPT) [22][23] [24].

Le problème du couplage parfait entre un générateur photovoltaïque et une charge (surtout de type continue) n'est pas encore réellement résolu. Un des verrous technologiques qui existe dans ce type de couplage est le transfert de la puissance maximale du GPV à la charge qui souffre souvent d'une mauvaise adaptation. Le point de fonctionnement qui en découle est alors parfois très éloigné du point de puissance maximale PPM [25].

Le but de ce chapitre est l'étude des deux convertisseurs Ćuk et SEPIC qui sont utilisées dans les systèmes photovoltaïques, on décrit aussi la commande MPPT de ces deux convertisseurs on spécifie les deux algorithmes (perturbation et observation (P&O) et incrémentation de l'inductance).

La conversion DC/DC (continue-continue) a pour but de contrôler l'écoulement de l'énergie entre le panneau solaire et la charge. Pour ce type de convertisseur, la gamme de puissance que l'on peut traiter s'étend de quelques watts, à des centaines de kilowatts. Cependant, l'apparition de composants de puissance sans cesse plus performants, permet d'envisager le traitement de puissances plus élevées.

2.2 Convertisseurs DC-DC pour les systèmes d'énergie solaire

Les hacheurs sont des convertisseurs du type continu-continu permettant de contrôler la puissance électrique dans des circuits fonctionnant en courant continu avec une très grande souplesse et un rendement élevé.

Le hacheur se compose de condensateurs, d'inductance et de commutateurs. Dans le cas idéal, tous ces dispositifs ne consomment aucune puissance active, c'est la raison pour laquelle on a de bons rendements dans les hacheurs [23].

La technique du découpage, apparue environ dans les années soixante, a apporté une solution au problème du mauvais rendement et de l'encombrement des alimentations séries. Dans une alimentation à découpage, la tension d'entrée est "hachée" à une fréquence donnée par un transistor alternativement passant et bloqué que l'on appelle MOSFET.

Il en résulte une onde carrée de tension qu'il suffit de lisser pour obtenir finalement une tension continue [23].

2.2.1 Topologie des convertisseurs DC/DC

Il existe différentes topologies des convertisseurs à courant continu. Ils sont classés par catégorie isolées ou non isolées.

Les topologies isolées utilisent un transformateur d'isolement électrique à haute fréquence de petite taille pour assurer l'isolement entre l'entrée et la sortie, et on peut augmenter ou diminuer la tension de sortie par le changement du rapport du transformateur. Elles sont très employées dans les blocs d'alimentation à courant continu. Dans les applications PV, les systèmes de réseau-attachés emploient souvent ces types de topologie quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sécurité [26].

Les topologies non isolées n'ont pas des transformateurs d'isolement. Ces topologies sont encore classées par catégorie dans trois types : dévolteur, survolteur, dévolteur-survolteur. La topologie dévolteur est utilisée pour diminuer la tension. Dans les applications PV, la topologie survolteur est utilisée pour augmenter la tension. Les systèmes en réseau emploient un convertisseur de type survolteur pour amplifier la tension de sortie au niveau souhaité avant de l'onduler. Puis il y a des topologies capables de dévolter ou survolter la tension comme : buck-boost, Ćuk, et SEPIC pour le système PV avec batterie, le PPM de panneau PV commercial est placé au-dessus de la tension de charge des batteries pour la plupart des combinaisons d'irradiation et de température. Un convertisseur dévolteur au PPM sous la plupart des conditions atmosphériques, mais il ne peut pas le faire quand le PPM délivré par le panneau PV devient inférieur à la tension de charge de la batterie sous une condition de bas-irradiation et haute température. Également, la possibilité d'insérer un survolteur peut légèrement augmenter la performance globale [27].

Le tableau (II.1) résume les principaux rapports de transformation en fonction du rapport cyclique pour les différentes structures de convertisseurs statiques avec et sans isolement galvanique. Où D désigne le rapport cyclique du convertisseur et K le rapport de transformation du transformateur d'isolement.

Convertisseur	Rapport de transformation en fonction de (α)	Isolement Galvanique
Buck	α	NON
Boost	$\frac{1}{1 - \alpha}$	NON
Buck-Boost	$\frac{-\alpha}{1 - \alpha}$	NON
Ćuk	$\frac{-\alpha}{1 - \alpha}$	NON
SEPIC	$\frac{\alpha}{1 - \alpha}$	NON
Flyback	$K \frac{\alpha}{1 - \alpha}$	OUI
Push-pull	$K \alpha$	OUI
Forward	$K \alpha$	OUI

Tableau II.1 Rapport de transformation des principaux convertisseurs DC-DC

2.2.2 Convertisseur SEPIC

Un convertisseur SEPIC de l'acronyme de (single ended primary inductor converter), ce montage a été mis au point par Slobodan Ćuk à la fin des années 1970. Il est habituellement utilisé pour la charge des accumulateurs. C'est une alimentation à découpage convertissant une tension continue en une autre tension continue, de valeur différente (plus faible ou plus grande). La valeur de la tension de sortie dépend du rapport cyclique de fermeture de l'interrupteur (transistor).

À la différence du convertisseur Ćuk qui est alimenté par une source de courant et qui alimente une source de courant, le convertisseur SEPIC est alimenté par une source de tension mais, grâce à l'inversion de l'inductance de sortie et de la diode, peut alimenter une source de tension, Il présente des caractéristiques similaires à celle du hacheur Ćuk, à l'exception qu'il est non inverseur de tension [28].

Le convertisseur SEPIC est comparable au BUCK-BOOST puisqu'ils présentent la même fonction de transfert. Cependant le BUCK-BOOST est un inverseur de tension. Un

avantage du SEPIC est l'emplacement de l'interrupteur de puissance qui est relié au zéro de tension, contrairement au BUCK-BOOST ce qui facilite ainsi sa commande. Ce convertisseur est compact puisqu'il réunit un hacheur série et survolteur sur la même structure, en cas de variation de la tension d'entrée, cela permet de garder le même convertisseur. Le convertisseur SEPIC est constitué d'une cellule de commutation, de deux condensateurs et de deux inductances (Figure 2.1). Dans notre cas la charge est résistive [29].

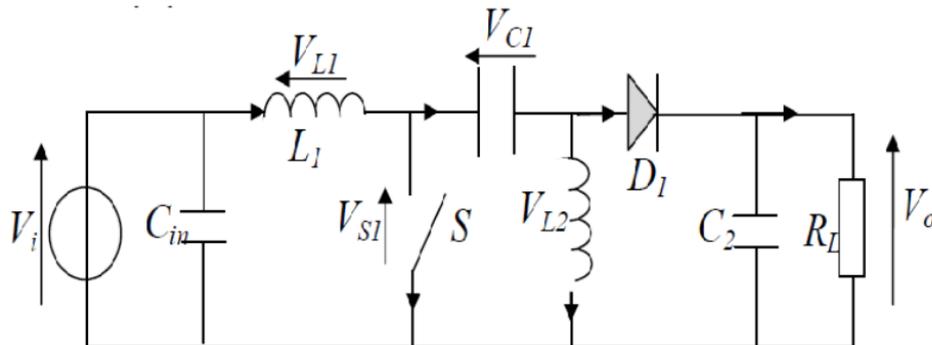


Figure2.1 Schéma du convertisseur SEPIC

2.2.2.1 Synoptique du hacheur SEPIC

Le convertisseur SEPIC peut être réalisé de diverse manière. La Figure 2.2 montre le couplage des inductances L_1 et L_2 et la Figure2.3, la version isolée du SEPIC en remplaçant l'inductance L_2 par un transformateur.

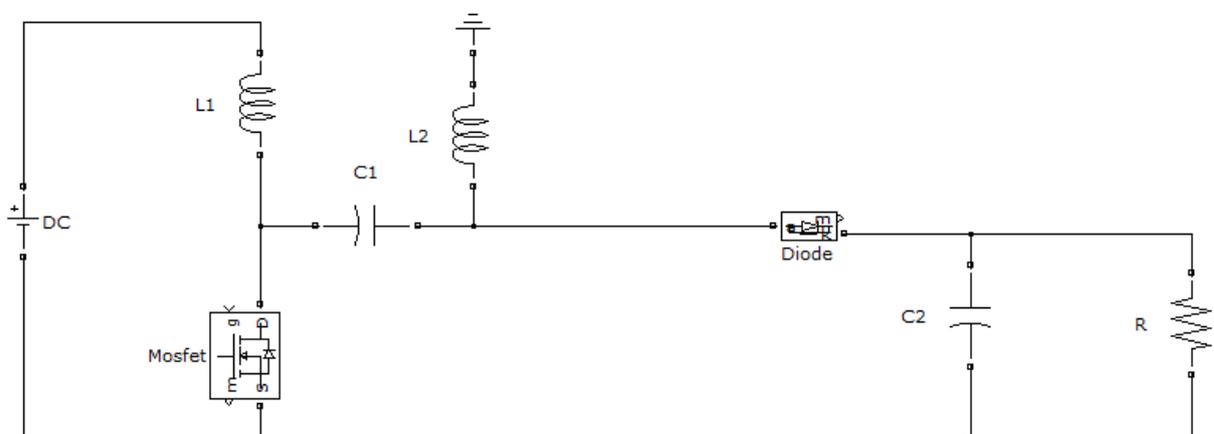


Figure 2.2 Convertisseur SEPIC avec couplage des inductances

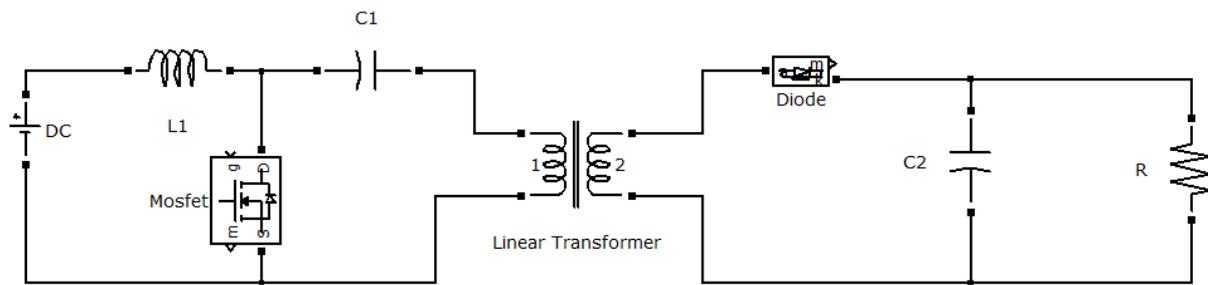


Figure 2.3 Convertisseur SEPIC isolé

2.2.2.2 Principe de fonctionnement

L'étude se fait en deux parties selon l'état de conduction de l'interrupteur S

a- De 0 à αT : Phase de conduction

Pendant la phase de conduction, S est en état passant (ON), la tension aux bornes de l'inductance L1 est égale à V_{in} , le condensateur C1 est connecté en parallèle avec L2 et la tension aux bornes de L2 est la même que la tension du condensateur = $-V_{in}$. Voir Figure 2.4. La diode D est en polarisation inverse donc bloquée. Le courant de la charge est fourni par le condensateur C2. Pendant cette période le courant est stocké en L1 par l'entrée et en L2 par C1.

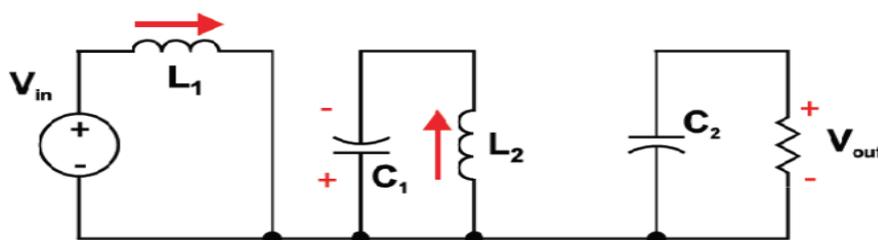


Figure 2.4 SEPIC avec interrupteur S fermé

b- De αT à T :

État de récupération lors de l'ouverture de l'interrupteur S, la diode D se met à conduire. Pendant la phase de récupération, S est en état bloqué (OFF), le courant dans L1 continue à circuler à travers C1 et la diode D puis dans le condensateur C2, durant cet intervalle le condensateur C1 est chargé et prêt pour le prochain cycle. Aussi le courant emmagasiné dans L2 circule dans C2 et la charge, rendant C2 prêt pour le prochain cycle Figure 2.5 [12].

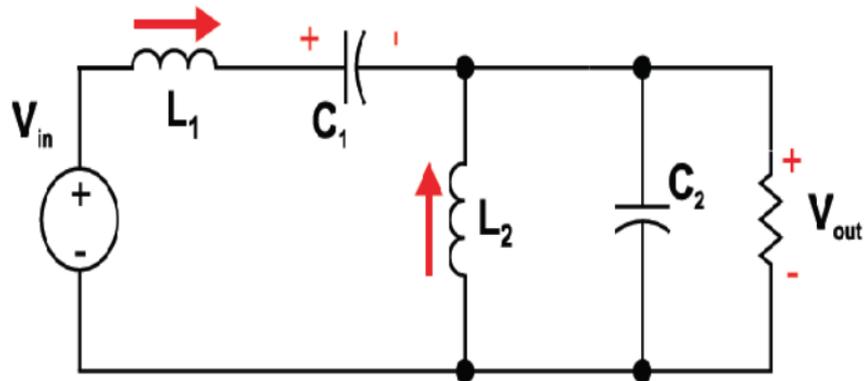


Figure 2.5 SEPIC avec interrupteur S ouvert

Les formes d'ondes de tensions et de courants du convertisseur SEPIC sont montrées aux figures 2.6 et 2.7, respectivement [30].

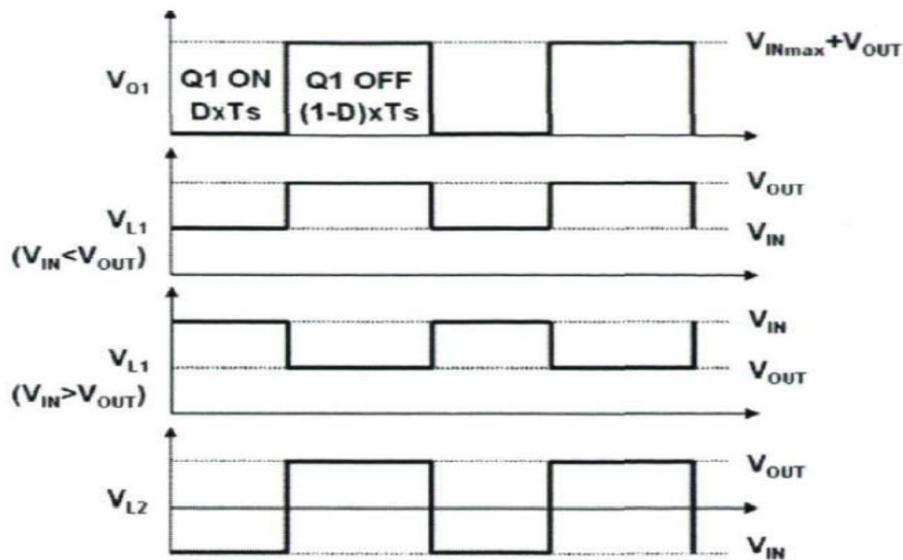


Figure 2.6 Formes d'ondes de tensions d'un convertisseur SEPIC

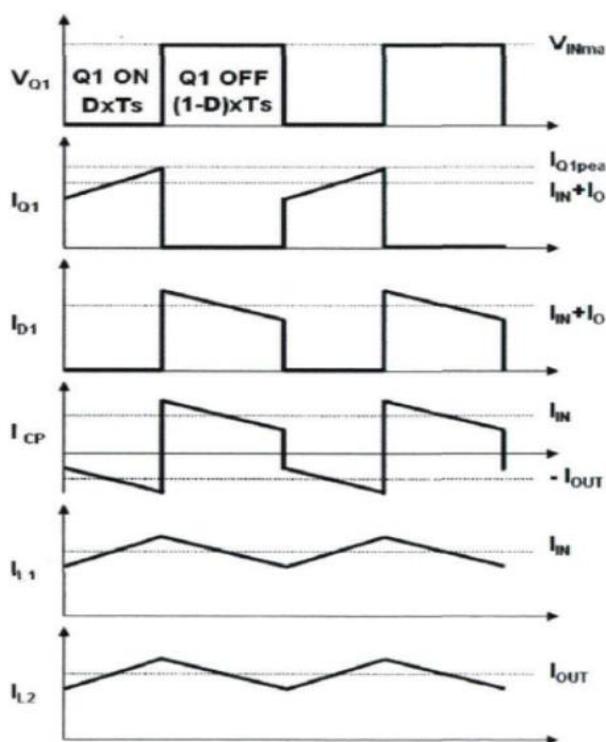


Figure 2.7 Formes d'ondes de courants d'un convertisseur SEPIC

2.3 Dimensionnement d'un convertisseur SEPIC

Seule le fonctionnement en conduction continue du convertisseur est étudié, c'est-à-dire que le courant dans l'inductance ne s'annule jamais avant la fin d'un cycle de fonctionnement. D'autre part, vu à la complexité de ce hacheur, seules les équations de celui-ci seront exploitées pour le dimensionnement des différents composants de ce dernier [29].

2.3.1 Le rapport cyclique

Le rapport cyclique est un coefficient important lors du dimensionnement des éléments de n'importe quel convertisseur sa relation est donné par l'équation:

$$\alpha = \frac{V_{out} + V_D}{V_{IN} + V_{out} + V_D} \quad (\text{II.1})$$

Avec : V_{IN} est la tension d'entrée, V_{out} est la tension de sortie et V_D la tension de seuil de la diode. Avec un rapport cyclique proche de 50%, la tension d'entrée est égale à la tension de sortie, le gain est unitaire. Le rapport cyclique varie en fonction de la tension d'entrée appliquée afin d'avoir une tension de sortie constante. Ainsi le rapport cyclique maximal est:

$$\alpha_{\max} = \frac{V_{out} + V_D}{V_{IN(\min)} + V_{out} + V_D} \quad (\text{II.2})$$

2.3.2 Les inductances

Les valeurs des deux inductances sont déterminées principalement par l'ondulation de courant acceptée. Généralement, on autorise une ondulation de 10% du courant d'entrée maximal pour la tension d'entrée minimale. L'ondulation de courant est définie par l'équation suivante:

$$\Delta I_L = I_{IN} \times 10\% = I_{OUT} \times \frac{V_{out}}{V_{IN(min)}} \times 10\% \quad (II.3)$$

Soit les valeurs des deux inductances calculées par:

$$L1 = L2 = L = \frac{V_{IN(min)}}{\Delta I_L * f} \times \alpha_{max} \quad (II.4)$$

Avec f la fréquence de découpage.

2.3.3 Le condensateur de couplage

Le condensateur du couplage C1 vu son emplacement dans le circuit, il doit être capable de laisser passer le courant efficace de la source vers la charge, l'équation (II.5) donne son expression:

$$I_{C1(rms)} = I_{out} \times \sqrt{\frac{V_{out} + V_D}{V_{IN(min)}}} \quad (II.5)$$

Le condensateur est dimensionné à partir de l'ondulation de tension crête à crête imposée par le cahier des charges, son expression est définie par la formule suivante :

$$\Delta V_{C1} = \frac{I_{out} \times \alpha_{max}}{C1 \times f} \quad (II.6)$$

2.3.4 Condensateur de filtrage

Le condensateur C2 à la sortie du convertisseur SEPIC permet de filtrer la tension et de maintenir celle-ci constante. La formule permettant de dimensionner le condensateur est donnée par:

$$C2 = \frac{I_{out} \times \alpha_{max}}{V_{ripple} \times 0.5 \times f} \quad (II.7)$$

Avec I_{out} est le courant dans la charge, V_{ripple} est l'ondulation de la tension de sortie.

2.3.5 Choix du MOSFET(Transistor)

Le transistor est l'élément principale dans les convertisseurs de puissance, son apparition sur le marché a beaucoup évolué, son introduction dans les circuits de puissance à apporter des solutions très bénéfiques dans le domaine de l'énergie, grâce à sa fréquence de travail allant de l'ordre de Kiloherz jusqu'à Mégahertz et sa faible résistance drain source qui est de l'ordre de milliwatt à quelques watt assure une faible perte de puissance. Le transistor doit être capable de

supporter une tension $V_S = V_{IN} + V_{OUT}$, et doit supporter un courant crête égal à $I_{S(\text{peak})} = I_{L1(\text{peak})} + I_{L2(\text{peak})}$.

$$I_{S(\text{rms})} = I_{\text{out}} \times \sqrt{\frac{(V_{\text{out}} + V_{IN(\text{min})} + V_D) \times (V_{\text{out}} + V_D)}{V_{IN(\text{min})}^2}} \quad (\text{II.8})$$

2.3.6 Choix de la diode de sortie

La diode de puissance aussi joue un rôle important dans le circuit, en effet elle n'est pas réversible en tension et ne supporte qu'une tension anode-cathode négative à l'état bloqué. Elle n'est pas réversible en courant et ne supporte qu'un courant dans le sens anode-cathode positif à l'état passant. La diode possède les mêmes contraintes que le transistor, elle doit supporter un courant $I_{D(\text{peak})} = I_{S(\text{peak})}$. Elle doit résister à une tension inverse de :

$V_D = V_{IN(\text{max})} + V_{\text{out}(\text{max})}$ égale à 74.3V. Le courant moyen dans la diode est égal au courant de sortie I_{out} égale à 3.125A.

2.3.7 Application numérique

$$V_{IN} = 26.3 \text{ V}$$

$$I_{OUT} = 3.125 \text{ A}$$

$$R_{\text{load}} = 15.5 \Omega$$

$$F = 100 \text{ KHZ}$$

A- Rapport cyclique

En négligeant la chute de tension aux bornes de la diode.

$$\alpha = \frac{V_{\text{out}} + V_D}{V_{IN} + V_{\text{out}} + V_D} = \frac{48 + V_D}{26.3 + 48} = 0.646$$

B- Les inductances

On autorise une ondulation de 10% le courant d'entrée maximal pour la tension d'entrée minimale.

$$\Delta I_L = I_{OUT} \times \frac{V_{\text{out}}}{V_{IN(\text{min})}} \times 10\% = 3.125 \times \frac{48}{26.3} \times 10\% = 0.57$$

Enfin les valeurs d'inductances sont calculées par :

$$L1 = L2 = L = \frac{V_{IN(\text{min})}}{\Delta I_L * f} \times \alpha_{\text{max}} = \frac{26.3}{0.57 * 10^5} \times 0.646 = 0.298 \text{ mH}$$

C- Le condensateur de couplage

Le courant efficace dans C1 sera calculé par :

$$I_{C1(\text{rms})} = I_{\text{out}} \times \sqrt{\frac{V_{\text{out}} + V_D}{V_{\text{IN}(\text{min})}}} = 3.125 \times \sqrt{\frac{48}{26.3}} = 2.29\text{A}$$

En prenant une ondulation de tension 0.19, la valeur du condensateur de couplage s'obtient par:

$$C1 = \frac{I_{\text{out}} \times \alpha_{\text{max}}}{\Delta V_{C1} \times f} = \frac{3.125 \times 0.646}{0.19 \times 10^5} = 106.25 \mu\text{F}$$

D- Le condensateur de filtrage

La tension de sortie accepte une ondulation de 1V.

$$C2 = \frac{I_{\text{out}} \times \alpha_{\text{max}}}{V_{\text{ripple}} \times 0.5 \times f} = \frac{3.125 \times 0.646}{1 \times 0.5 \times 10^5} = 40.37 \mu\text{f}$$

2-4 Convertisseur Ćuk

Un convertisseur Ćuk utilise un condensateur pour stocker l'énergie. Le convertisseur Ćuk tient son nom de son inventeur; et le premier à décrire cette topologie dans un article.

Le Ćuk est constitué de deux inductances, de deux condensateurs, d'un interrupteur (généralement un transistor) et d'une diode. Le schéma de base d'un convertisseur Ćuk est représenté par la figure (2-8). Un inconvénient subsiste concernant l'inversion du signe de la tension de sortie par rapport à celle de l'entrée. Par sa structure, le convertisseur Ćuk peut travailler avec des tensions de sortie plus petites ou plus grandes que la tension d'entrée.

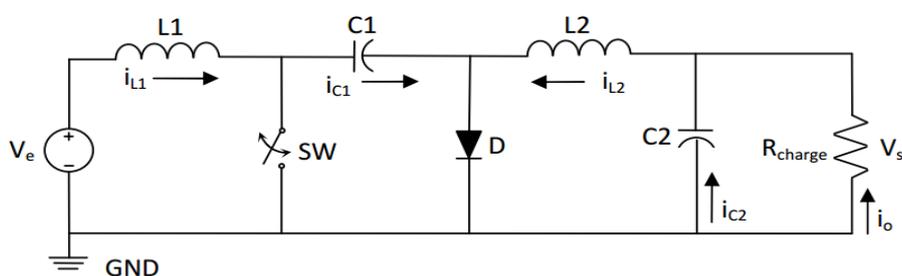


Figure 2.8 Schéma de principe de convertisseur Ćuk

2.4.1 Principe de fonctionnement

Durant chaque période de commutation, le convertisseur Ćuk opère dans deux modes de fonctionnement :

Mode 1 pendant la fermeture de l'interrupteur S(MOSFET), nous avons:

- stockage d'énergie dans L1.
- transfert d'énergie du condensateur C1 vers l'inductance L2 et vers la charge R et le condensateur C2.

En conduction continue, la tension VC1 ne s'annule pas. La diode D est bloquée pendant cette phase.

$$-I_{C1} = I_{L2} \quad (\text{II.9})$$

Mode 2 le blocage de l'interrupteur SW entraîne la conduction de la diode de roue libre D et la charge du condensateur C1.

Le condensateur (C1) se charge par la tension d'entrée (V) à travers l'inductance (L1). L'énergie stockée dans l'inductance (L1) est transférée à la charge par la boucle constituée par α , C₂, L₂, I_{L2} et R [4]. On peut écrire donc :

$$I_{C1} = I_{L1} = I \quad (\text{II.10})$$

Comme le phénomène est périodique, le courant moyen du condensateur C₁ est nul, de l'équation (2.9) et (2.10):

$$I_{C1(S.ON)} \times \alpha T + I_{C1(S.OFF)} \times (1 - \alpha) T = 0 \quad (\text{II.11})$$

$$-I_{L2} \times \alpha T + I_{L1} \times (1 - \alpha) T = 0 \quad (\text{II.12})$$

$$\frac{I_{L1}}{I_{L2}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (\text{II.13})$$

Si le convertisseur est idéal :

$$P_{in} = P_{OUT} \quad (\text{II.14})$$

$$V_{in} \cdot I_{L1} = V_{OUT} \times I_{L2} \quad (\text{II.15})$$

$$\frac{V_{IN}}{V_{OUT}} = \frac{I_{L1}}{I_{L2}} \quad (\text{II.16})$$

D'après (2.13) et (2.16) :

$$\frac{V_{IN}}{V_{OUT}} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (\text{II.17})$$

Sa relation avec le rapport cyclique (α) est :

- $0 < \alpha < 0.5 \quad V_{OUT} < V_{in}$

$$\bullet \alpha=0.5 \quad V_{OUT} = V_{IN}$$

$$\bullet 0.5 < \alpha < 1 \quad V_{OUT} > V_{IN}$$

2.4.2 Dimensionnement des composants

La figure II.11 représente le schéma d'un convertisseur Ćuk relié à la sortie du panneau photovoltaïque (PV) dont le point de puissance maximale est défini par :

$$V_{IN}=26.3 \text{ V}$$

$$I_{IN}=7.61 \text{ A}$$

$$V_{out}=48 \text{ V}$$

$$P=150\text{W}$$

$$I_{OUT}= 8.2 \text{ A}$$

$$R_{load} = 15.36 \Omega$$

a- Rapport cyclique

$$\frac{V_{in}}{V_{OUT}} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \text{ Donc : } \alpha = \frac{V_{OUT}}{V_{OUT}+V_{IN}}$$

b- Les inductances

Les valeurs des inductances sont choisies de telles sorte que Δ_{IL1} n'est pas supérieur à 5% de I_{IN} et Δ_{IL2} n'est pas supérieur à 5% de I_{L2} .

On calcule L par la relation :

$$\Delta_{I_{L1}}=0.05 \times I_{L1}=0.05 \times 7.61=0.3805 \text{ A}$$

$$\Delta_{I_{L2}}=0.05 \times I_{L2}=0.05 \times 8.2=0.41 \text{ A}$$

$$\text{Donc : } L_1 = \frac{V_{in} \times \alpha}{\Delta_{I_{L1}} \times f} \quad (\text{II.18})$$

$$L_2 = \frac{V_{in} \times \alpha}{\Delta_{I_{L2}} \times f} \quad (\text{II.19})$$

c- Les condensateurs

Le critère de choix des condensateurs est que la tension d'oscillation à travers eux doit être moins de 5%. La tension moyenne à travers le condensateur (C1) :

$$V_{C1} = V_{in} + V_{OUT} = 26.3 + 48 = 74.3V$$

Et

$$\Delta V_{C1} = 0.05 \times V_{C1} = 0.05 \times 74.3 = 3.715$$

$$C_1 = \frac{V_{OUT} \times \alpha}{\Delta V_{C1} \times R_{load} \times f} \quad (II.20)$$

Condensateur de la sortie C_2 est calculé par l'équation d'oscillation de la tension de sortie

$$\frac{\Delta V_{OUT}}{V_{OUT}} = \frac{1 - \alpha}{8 \times L_2 \times C_2 \times f^2}$$

DONC :

$$C_2 = \frac{1 - \alpha}{8 \times \left(\frac{\Delta V_{OUT}}{V_{OUT}}\right) L_2 f^2} \quad (II.21)$$

2.4.3 Application numérique

a- rapport cyclique

$$\alpha = \frac{48}{48 + 26.3} = 0.646$$

b- les inductances

$$L_1 = \frac{V_{in} \times \alpha}{\Delta I_{L1} \times f} = L_1 = \frac{26.3 \times 0.646}{0.3805 \times 10^5} = 0.44 \text{ mH}$$

$$L_2 = \frac{V_{in} \times \alpha}{\Delta I_{L2} \times f} = \frac{26.3 \times 0.646}{0.41 \times 10^5} = 0.41 \text{ mH}$$

c- les condensateurs

$$C_1 = \frac{V_{OUT} \times \alpha}{\Delta V_{C1} \times R_{load} \times f} = \frac{48 \times 0.646}{3.715 \times 15.36 \times 10^5} = 5.434 \mu F$$

$$C_2 = \frac{1 - \alpha}{8 \times \left(\frac{\Delta V_{OUT}}{V_{OUT}}\right) L_2 f^2} = \frac{1 - 0.646}{8 \times \left(\frac{0.05}{48}\right) \times 0.41 \times 10^{-3} \times (10^5)^2} = 10.36 \mu F$$

d- choix de diode

Dans ce cas, nous choisissons une diode de faible seuil à l'état passant pour minimiser la perte de puissance par conduction et faible temps de commutation (en général 5 à 10 ns), la tension inverse maximale de la diode est la même que la tension moyenne de condensateur V_{C1} égale à 74.3V, le courant direct moyen de la diode est la combinaison des courants de sortie et d'entrée lorsque le Transistor de commutation est fermé, alors il est :

$$I_D = I_{L1} + I_{L1} \quad (II.22)$$

e- choix du Transistor de commutation

Les transistors MOSFET sont les plus utilisés pour les domaines de faible et moyenne puissance. La tension crête à du commutateur (S) est obtenue par l'application de la loi de Kirchhoff lorsque le commutateur est fermé :

$$V_{OUT} = I_{IN} - \frac{dI_{L1}}{dt} \quad (\text{II.23})$$

Donc la tension de Transistor atteint 48V.

2.5 Commande MPPT

2.5.1 Introduction

Les cellules photovoltaïques sont utilisées pour fournir de l'énergie dans de nombreuses applications électriques. Pour obtenir la puissance maximale du panneau solaire, l'algorithme de MPPT (Maximum Power Point Tracking : MPPT) est utilisé pour contrôler les variations de la caractéristique courant-tension des cellules. A noter que la caractéristique d'une cellule est affectée par l'éclairement et la température. Notre système doit donc pouvoir évoluer, rapidement et efficacement, en fonction des changements d'illuminations et variation du point de puissance maximale (Maximum Power Point : MPP) [31]. Une possibilité aurait été de fixer un point de fonctionnement, en abaissant la tension du panneau et dans un même temps en augmentant le courant. Or ceci n'est plus valable lorsque le point de puissance maximale change. Ainsi le système MPPT doit suivre le point de fonctionnement optimal du panneau [32]. Dans le domaine de la conversion d'énergie, la commande MPPT contrôle le convertisseur DC-DC assurant l'interface de puissance du générateur photovoltaïque et la charge. Cette commande permet au générateur d'énergie de fournir une puissance maximale [33]. Dans ce contexte plusieurs méthodes de poursuite et algorithmes ont été mises en application, chacune présente des avantages et des inconvénients. Ce chapitre donne une présentation générale des deux méthodes de poursuite du point de puissance maximale les plus répandues.

2.5.2 Algorithme de perturbation et d'observation

C'est l'algorithme de poursuite du PPM le plus utilisé, et comme son nom l'indique, il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de V_{ref} ou en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC(D), puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie du panneau. Si la valeur de la puissance actuelle $P(k)$ du panneau est supérieure à la valeur précédente $P(k-1)$ alors on garde la même direction de la perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent. Avec cet algorithme la tension de fonctionnement est perturbée à chaque cycle du MPPT. Dès que le MPP sera atteint, V oscillera

autour de la tension idéale V_{mp} de fonctionnement. Ceci cause une perte de puissance qui dépend de la largeur du pas d'une perturbation simple. Le processus est répété périodiquement jusqu'à ce que le MPP soit atteint. Le système oscille alors autour du MPP, ce qui provoque des pertes de puissance. L'oscillation peut être minimisée en diminuant la taille de la perturbation. Cependant, une taille de perturbation trop petite ralentit considérablement la poursuite du MPP. Il existe alors un compromis entre précision et rapidité [34].

Si la largeur du pas est grande, l'algorithme MPPT répondra rapidement aux changements soudains des conditions de fonctionnement, mais les pertes seront accrues dans les conditions stables ou lentement changeantes [35].

Si la largeur du pas 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.

L'inconvénient de la méthode P&O est lorsqu'une augmentation brutale de l'ensoleillement est produite on aura une augmentation de la puissance du panneau, l'algorithme précédent réagit comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, alors il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qu'il éloigne du vrai point de puissance maximale.

Ce processus continu jusqu'à la stabilité de l'ensoleillement où il revient au vrai point de puissance maximale. Ceci cause un retard de réponse lors des changements soudains des conditions de fonctionnement et des pertes de puissance.

A- Commande directe de la sortie

Nous utilisons dans notre travail la méthode de (CDS: Commande Directe de Sortie) cette méthode est une variante de la commande directe exigeant uniquement deux capteurs l'un pour la tension et l'autre pour le courant de sortie. Les deux méthodes mentionnées ci-dessus emploient des capteurs d'entrée ce qui permet d'avoir une commande précise du point de fonctionnement du module. Cependant, elles exigent habituellement d'autres capteurs pour détecter l'état de surtension et de surintensité de la charge. La nécessité de quatre capteurs rend difficile la réduction du coût du système. Cette méthode détecte la variation de puissance du PV côté sortie du convertisseur et utilise le rapport cyclique comme variable de contrôle. La figure 2.9 montre l'organigramme de l'algorithme en question. Il perturbe le rapport cyclique et mesure la

puissance de sortie du convertisseur. Si la puissance augmente, le rapport cyclique est encore perturbé dans la même direction; dans le cas contraire la direction sera renversée [37].

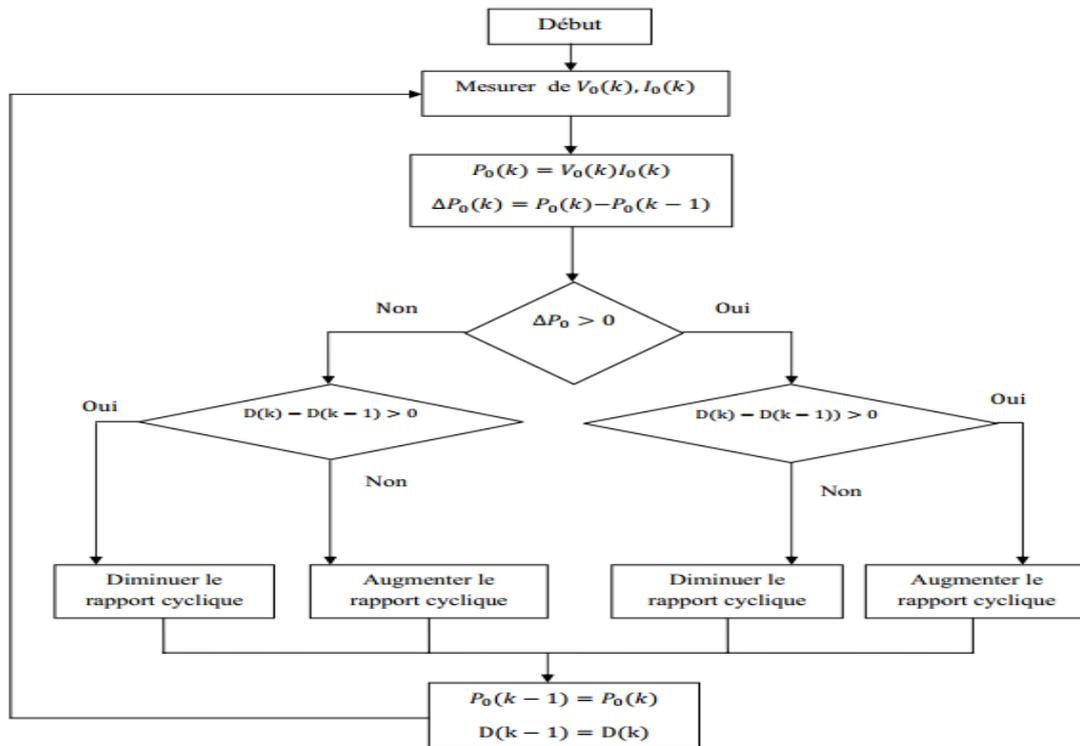


Figure 2.9 Organigramme de l'algorithme perturbation et observation à contrôle direct

B- Limitations de la méthode Commande directe de la sortie

L'inconvénient principal du MPPT(CDS) est qu'il n'y a aucun contrôle de la sortie tandis qu'il dépiste un point de puissance maximum. Il ne peut pas régler l'entrée et la sortie en même temps. En réalité le convertisseur DC-DC utilisé dans le MPPT n'est pas 100% efficace. Le gain d'efficacité du MPPT est grand, mais le système doit tenir compte des pertes d'efficacité du convertisseur DC-DC. Il y a un compromis à tenir en compte entre l'efficacité et le coût.

2.5.3 Algorithme de l'Incrémentatation de la Conductance (InCn)

Cette méthode est basée sur le fait que la pente de la courbe caractéristique de puissance du panneau est nulle au MPP, positive à gauche et négative à droite.

$$dP/dV=0 \quad \text{au MMP}$$

$$dP/dV>0 \quad \text{à Gauche de MPP}$$

$$dP/dv < 0 \quad \text{à droite du MPP}$$

$$\text{Puisque } \frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \simeq I + V \frac{\Delta I}{\Delta V}$$

Alors:

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \quad \text{au MPP}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \quad \text{à Gauche de MPP}$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \quad \text{à droite de MPP}$$

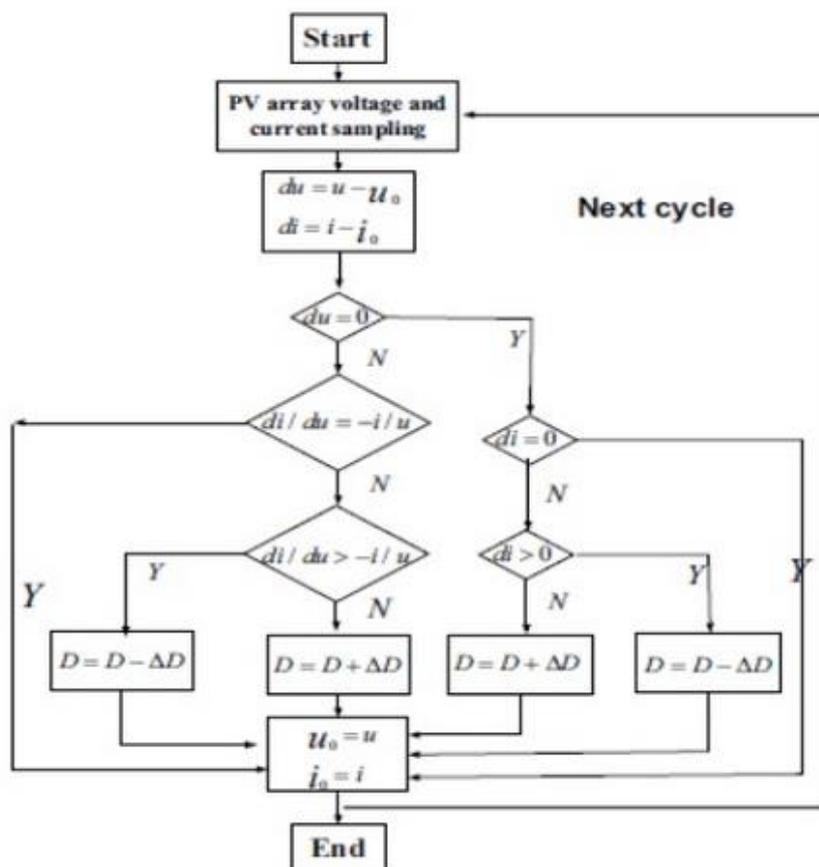


Figure 2.10 Organigramme de la méthode InCn

Le MPP peut donc être poursuivi en comparant la conductance instantanée (I/V) à l'incrément de la conductance ($\frac{\Delta I}{\Delta V}$), au MPP, $V_{ref} = V_{MPP}$, une fois que le MPP est atteint, le point de fonctionnement correspondant est maintenu, à moins qu'un changement dans ΔI est noté, indiquant un changement des conditions atmosphériques et donc du MPP. L'algorithme augmente ou diminue V_{ref} pour suivre le nouveau MPP.

La taille de l'incrément détermine la rapidité de la poursuite du MPP. Une poursuite rapide peut être obtenue avec un incrément plus grand, mais le système ne pourrait pas fonctionner exactement au MPP et oscille autour de celui-ci. Il y a donc, comme pour la méthode P&O, un compromis entre rapidité et précision. Cette méthode peut être améliorée en amenant le point de

fonctionnement près du MPP dans une première étape, puis d'utiliser l'algorithme conductance incrémentale pour suivre exactement le MPP dans une deuxième étape.

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre l'étude et le dimensionnement du convertisseur SEPIC et CUK, leurs fonctionnements et ses performances ont été présentés. Les directives d'optimisation de la conception, nous ont aidés à donner un bon dimensionnement aux convertisseurs.

Nous avons aussi présenté deux méthodes de la commande MPPT pour les deux convertisseurs SEPIC et CUK pour la recherche du point maximale de puissance du générateur photovoltaïque, à savoir la méthode perturbe et observe et l'incrémentale conductance.

3.1 Introduction

Dans ce chapitre nous abordons deux parties distinctes, la première partie sera consacrée à la simulation des deux convertisseurs SEPIC et CUK adapté par deux commandes MPPT numérique «Perturbation et Observation, Incrémentale Conductance» appliquées à un système photovoltaïque. Dans le but de comparer les performances de ces deux convertisseurs contrôlés chacun par les deux algorithmes développés dans le chapitre précédent, les architectures sont implémentées dans l'environnement SIMULINK. Puis les performances des deux convertisseurs contrôlés par un seul MPPT, à savoir Incrémentale Conductance sera implémenté sur cible FPGA en utilisant XILINX System Generator. Et enfin une comparaison des deux performances pour les deux environnements sera discutée.

3.2 Implémentation du système dans l'environnement SIMULINK :

3.2.1. Introduction :

MATLAB fait partie d'un ensemble d'outils intégrés dédiés au traitement du Signal. En complément du noyau de calcul Matlab, l'environnement comprend des modules optionnels qui sont parfaitement intégrés à l'ensemble :

- Une vaste gamme de bibliothèques de fonctions spécialisées (Toolboxes).
- Simulink, est un environnement puissant de modélisation basée sur les schémas-blocs et de simulation des systèmes dynamiques linéaires et non linéaires.
- Des bibliothèques de blocs Simulation spécialisés (Blocksets).
- D'autres modules dont un Compilateur, un générateur de code C, un accélérateur.
- Un ensemble d'outils intégrés dédiés au Traitement du Signal : le DSP Workshop [33].

3.2.2. Valeurs des composants adoptées pour la simulation :

On se réfère au chapitre précédent les valeurs adoptées pour la simulation des convertisseurs SEPIC et Cuk sont dressés dans les deux tableaux ci-dessous.

3.2.2.1 Valeurs des composants adoptées pour la simulation de SEPIC :

Description	Estimation
Inductance(L1)	298 μ H
Inductance(L2)	298 μ H
Condensateur(C1)	106.25 μ F
Condensateur(C2)	47 μ F
MOSFET(S)	STW40NF20
Charge Résistive (R_{load})	15.5 Ω
Diode de puissance	BYT30-1000
Fréquence de coupure	100 khz
Rapport cyclique α	0.646

Tableau III.1 Valeur des composants pour convertisseur SEPIC

3.2.2.2 Valeurs des composants adoptées pour la simulation de Ćuk :

Description	Estimation
Inductance(L1)	440 μ H
Inductance(L2)	410 μ H
Condensateur(C1)	5.434 μ F
Condensateur(C2)	10.36 μ F
MOSFET (S)	STW40NF20
Charge Résistive (R_{load})	15.36 Ω
Diode de puissance	BYT30-1000
Fréquence de coupure	100 khz
Rapport cyclique α	0.646

Tableau III.2 Valeur des composants pour convertisseur ĆUK

3.2.3 Simulation sous SIMULINK

3.2.3.1 Architectures adaptées dans l'espace SIMULINK

3.2.3.1.1 Etage d'adaptation convertisseur SEPIC

Le système photovoltaïque composé de panneau photovoltaïque, un MPPT, et un étage d'adaptation représentée par un convertisseur SEPIC.

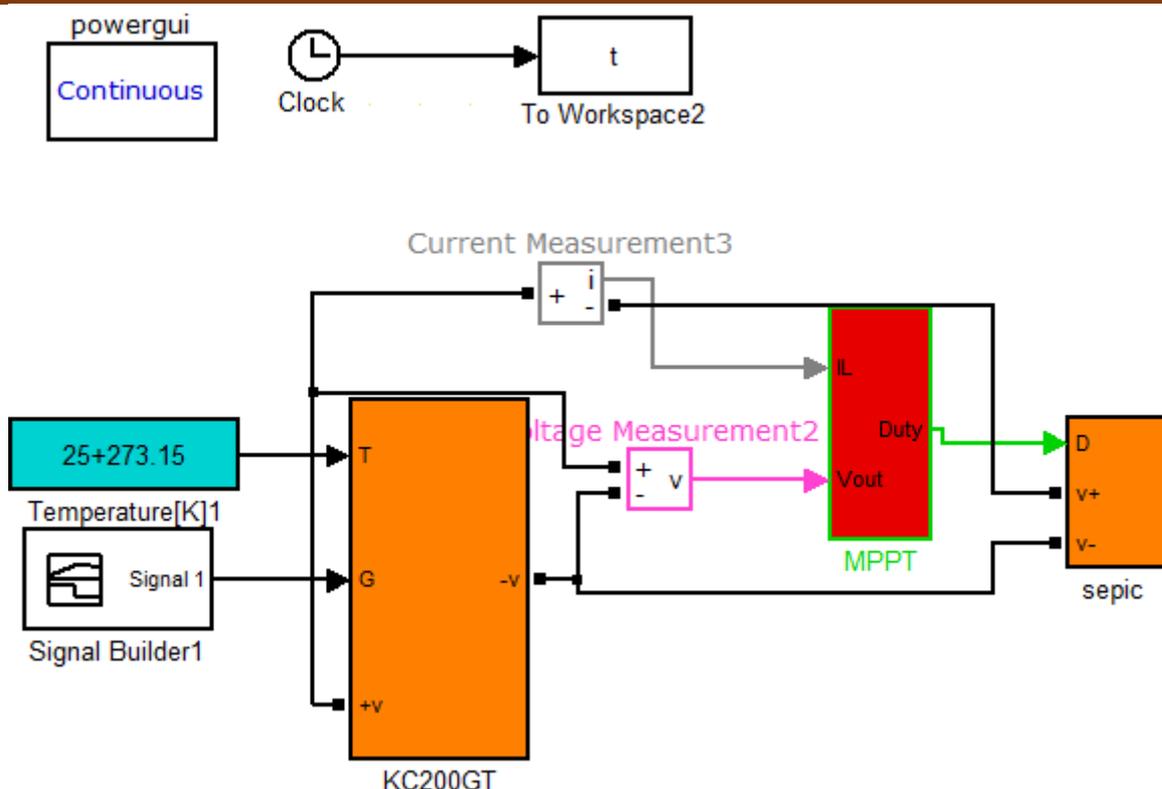


Figure3.1 Système photovoltaïque avec convertisseur SEPIC sous SIMULINK

Le schéma ci-dessous représente le modèle électrique de convertisseur SEPIC, il est composé de 2 bobines (L1 et L2), 2 condensateurs C1 de couplage doit être capable de laisser passer le courant efficace de la source vers la charge, et C2 de filtrage à la sortie du convertisseur SEPIC permet de filtrer la tension et de maintenir celle-ci constante, un interrupteur MOSFET, un diode. Ce circuit est alimenté par une source de courant continue de tension optimale égale à 26.3V (un générateur GPV).

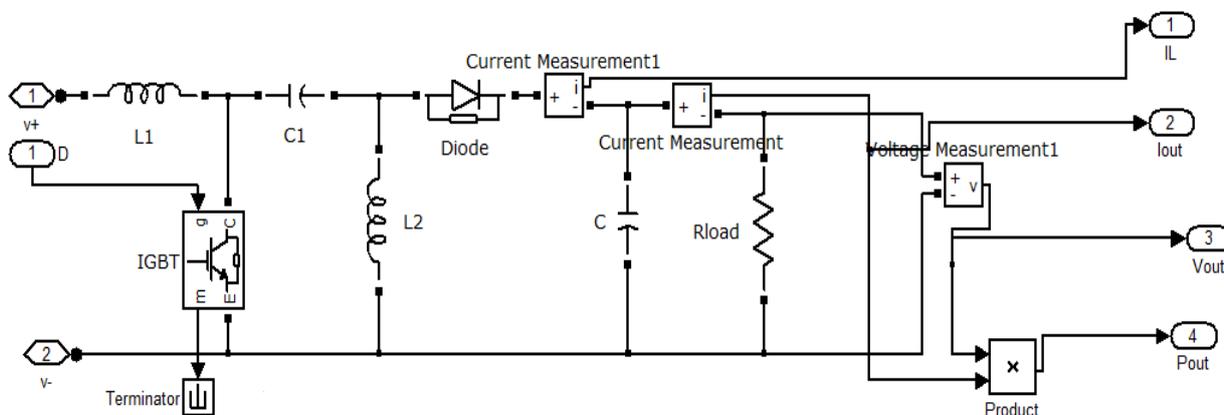


Figure3.2 Schéma de convertisseur SEPIC sous SIMULINK

3.2.3.1.2 Etage d'adaptation convertisseur CUK

Le système photovoltaïque composé de panneau photovoltaïque, un MPPT, et un étage d'adaptation représentée par un convertisseur CUK.

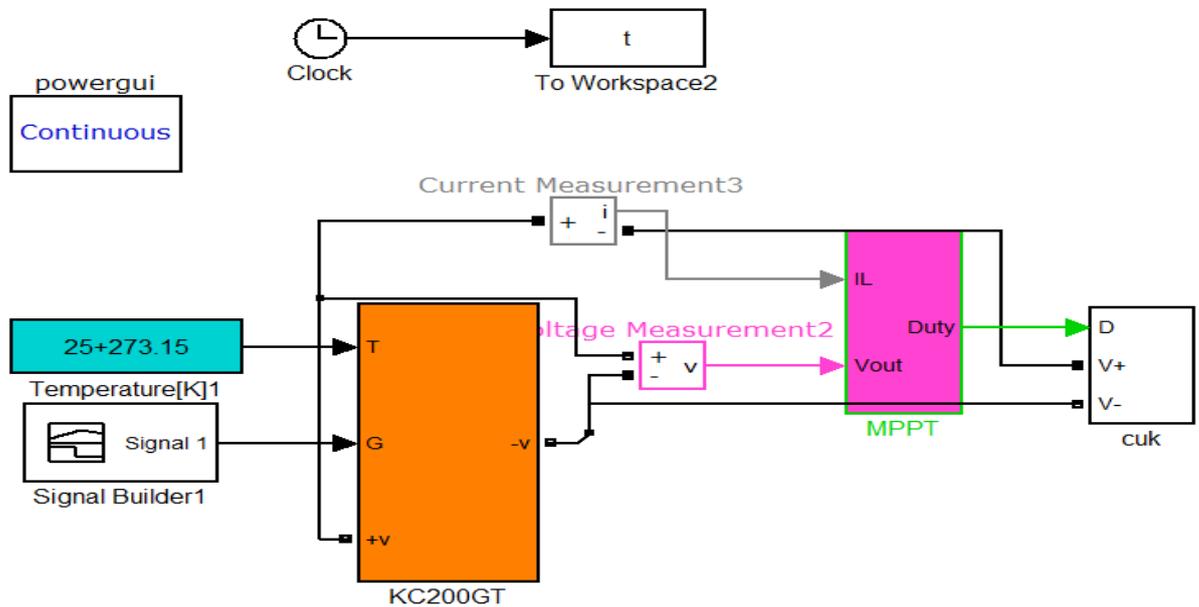


Figure3.3 Système photovoltaïque avec convertisseur Cuk sous SIMULINK

Le schéma ci-dessous représente le modèle électrique de convertisseur laisser passer le courant efficace de la source vers la charge, et C2 de filtrage à la sortie du convertisseur Cuk, il est composé de 2 bobines (L1et L2),2 condensateurs C1 de couplage doit être capable de SEPIC permet de filtrer la tension et de maintenir celle-ci constante, un interrupteur MOSFET, un diode. Ce circuit est alimenté par une source de courant continu de tension optimale égale à 26.3V (un générateur GPV).

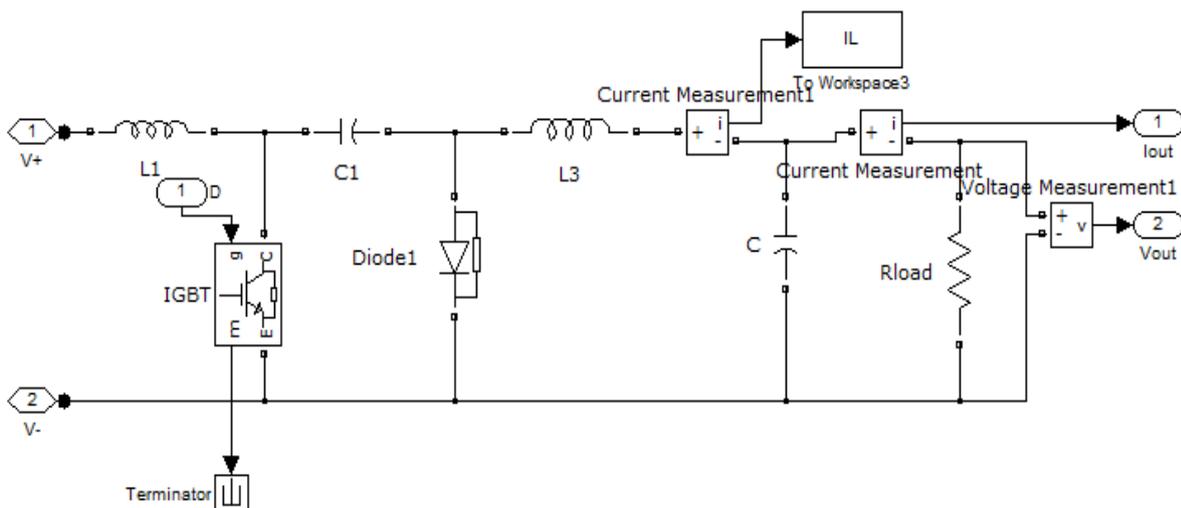


Figure3.4 Schéma de convertisseur Cuk sous SIMULINK

3.2.3.2 La comparaison des deux Algorithmes MPPT pour les deux convertisseurs

On a écrit les deux Algorithmes dans Embedded Matlab Function BLOC comme suit (voir annexe I) :

3.2.3.2.1 Algorithme P&O (perturb and observe) appliqué au convertisseur Ćuk

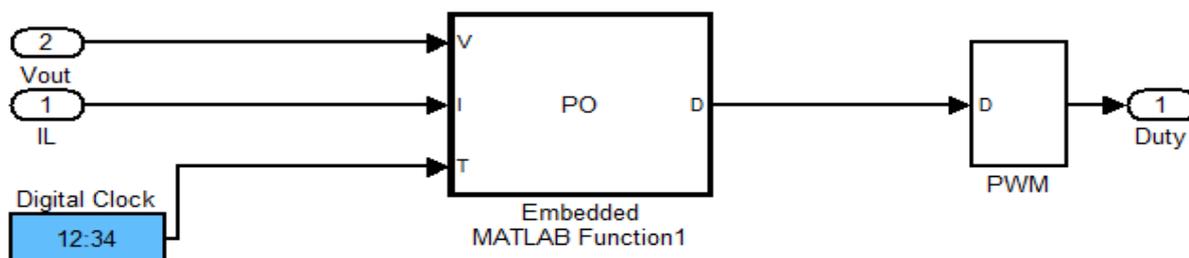


Figure3.5 Schéma de MPPT perturb&observ (P&O)

La figure (3.5) représente la commande MPPT perturbe et observe et la PWM. Le bloc Embedded Matlab Function (PO) représente l'algorithme perturb and observ sous forme de code matlab qui donne à sa sortie le rapport cyclique α ; et un bloc PWM.

3.2.3.2.2 Algorithme incrémental conductance (InCn) appliqué

(Voir annexe II) pour le code d'algorithme InCn

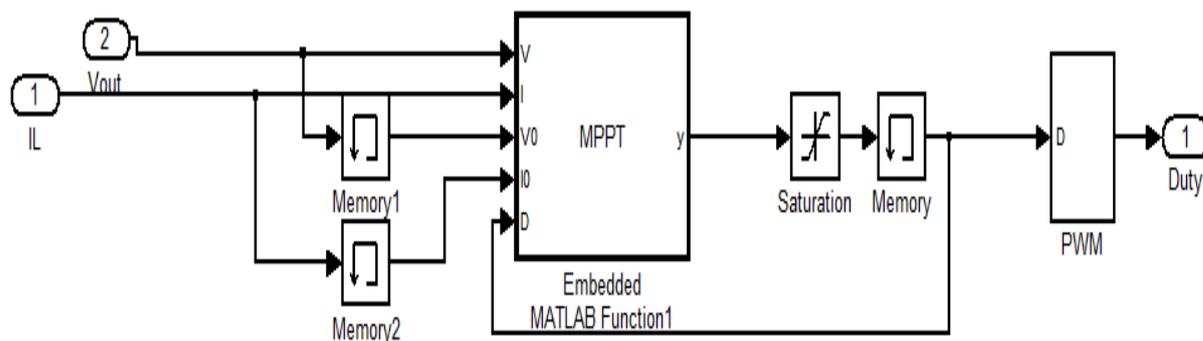


Figure3.6 Schéma de MPPT Conductance Incrémentale

La figure(3.6) représente la commande MPPT Conductance Incrémentale et la PWM. Le bloc Embedded Matlab Function (InCn) représente l'algorithme Conductance Incrémentale sous forme

de code matlab qui donne a sa sortie le rapport cyclique α ;et un bloc PWM, nous intéresse de rapport α qui soit injectée directement au interrupteur (MOSFET) de convertisseur SEPIC

3.2.3.2.3 La comparaison des deux algorithmes pour le convertisseur Ćuk

Dans ce cas on a choisit le convertisseur Ćuk qui est présente dans la figure avec les deux Algorithmes P&O et InCn et un générateur GPV KC200GT, est on obtient le graphe comme suit:

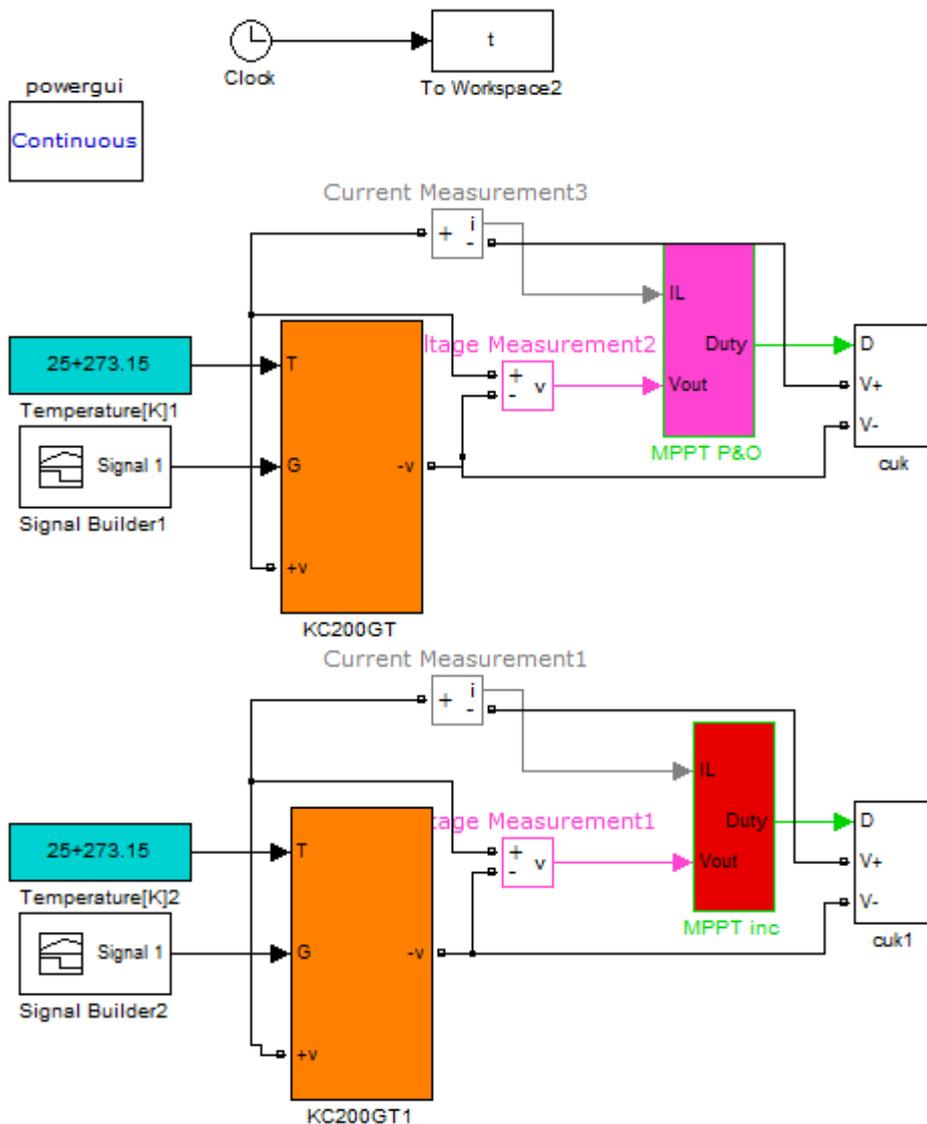


Figure3.7 Système photovoltaïque avec convertisseur Ćuk contrôlé par deux algorithmes MPPT sous SIMULINK

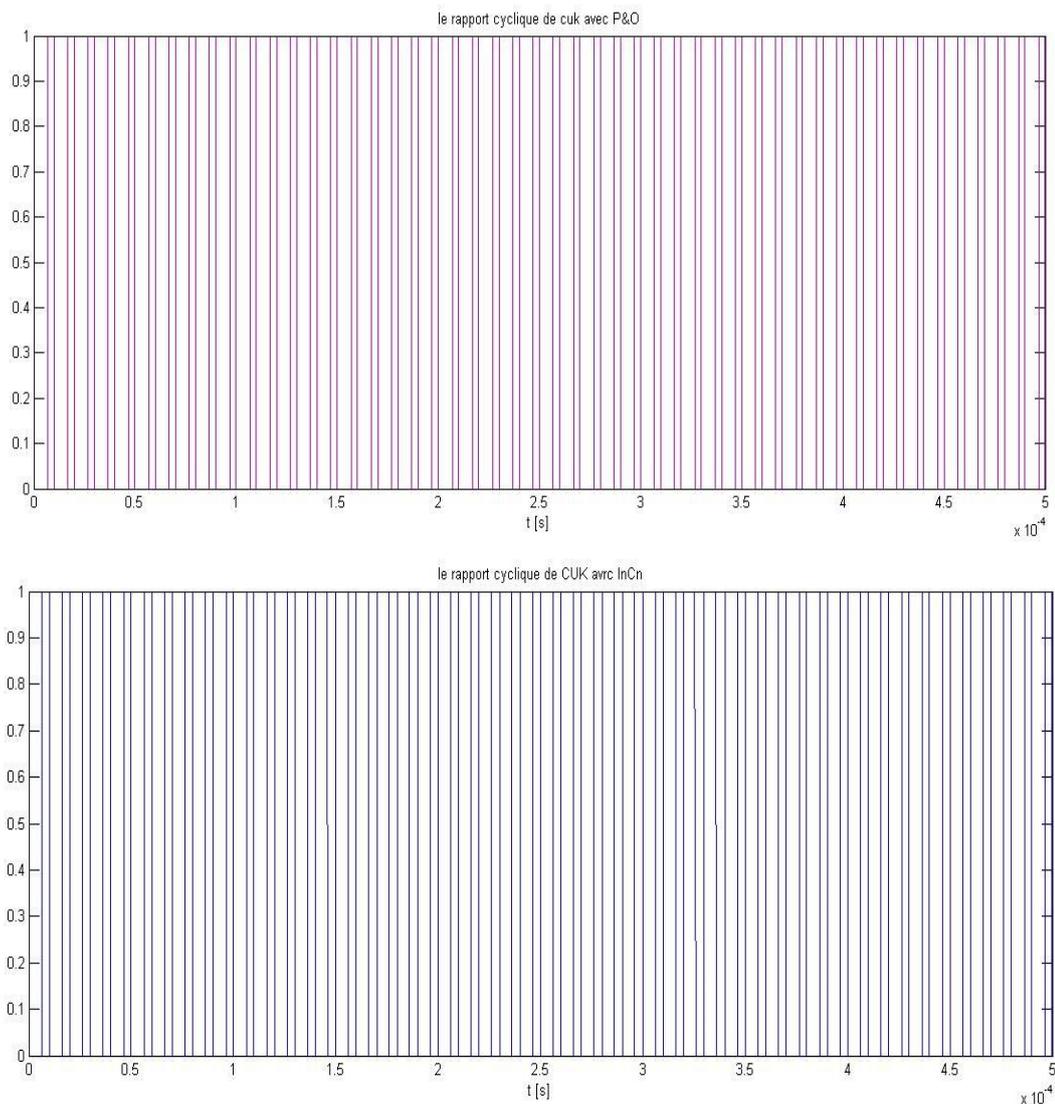


Figure 3.8 Rapport cyclique des deux MPPT pour convertisseur Ćuk

Les deux figures A et B présentent la variation de rapport cyclique des deux Algorithmes

A présente le rapport cyclique de MPPT perturbé and observe.

B présente le rapport cyclique de MPPT conductance incrémentale.

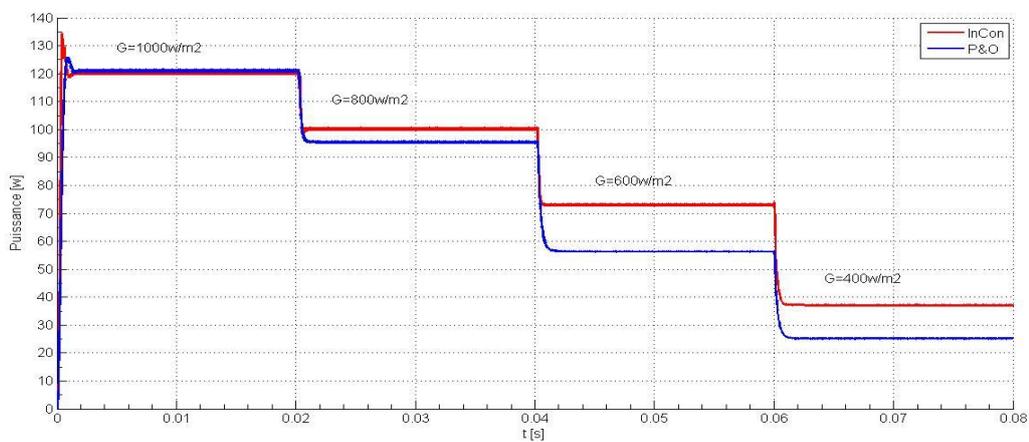


Figure3.9 Puissance à la sortie de convertisseur Ćuk contrôlé par deux algorithmes (P&O et InCn)

Les deux graphes de figure (3.9) présentent les résultats de la simulation.

On remarque qu'avec l'MPPT P&O les ondulations de puissance dans l'état transitoire est inférieure par rapport à l'MPPT de InCn, par contre les puissances de sortie à partir de l'instant $t=0.02$ S devient légèrement différente pour les deux algorithmes, il est clair que la puissance pour le cas de InCn est supérieure à celle de cas P&O.

3.2.3.2.4 La comparaison des deux algorithmes pour le convertisseur SEPIC

Dans ce cas on a choisit le convertisseur SEPIC qui est présenté dans la figure 3.10 avec les deux Algorithmes P&O et InCn et un générateur électrique GPV catégorie KC200GT qui donne à sa sortie une tension de 26.3V, est on obtient les résultats ci-dessous:

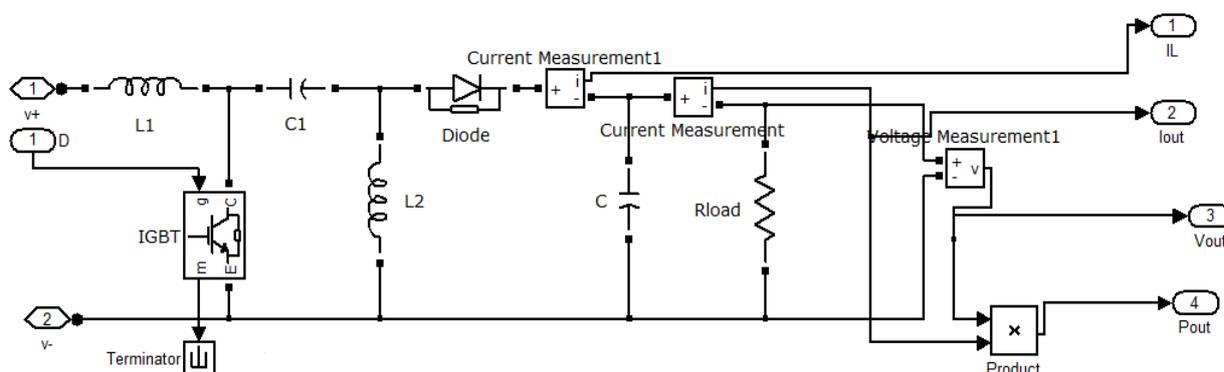


Figure 3.10 Schéma de convertisseur SEPIC sous SIMULINK

La figure (3.11) présente le convertisseur SEPIC avec MPPT. Le système photovoltaïque composé de panneau photovoltaïque, un MPPT, et un étage d'adaptation représenté par un convertisseur SEPIC.

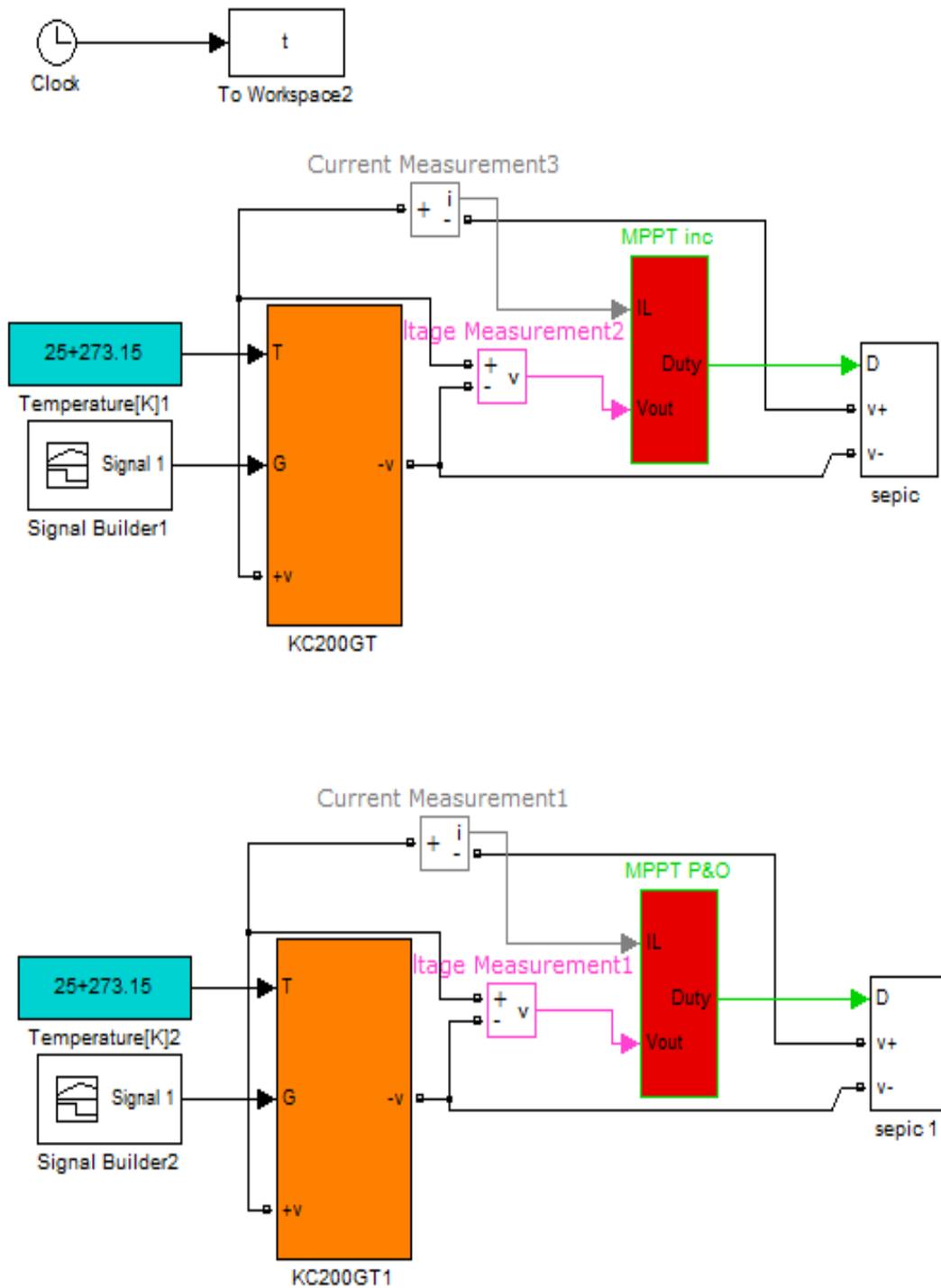


Figure 3.11 Système photovoltaïque avec convertisseur SEPIC contrôlé par deux algorithmes MPPT sous SIMULINK

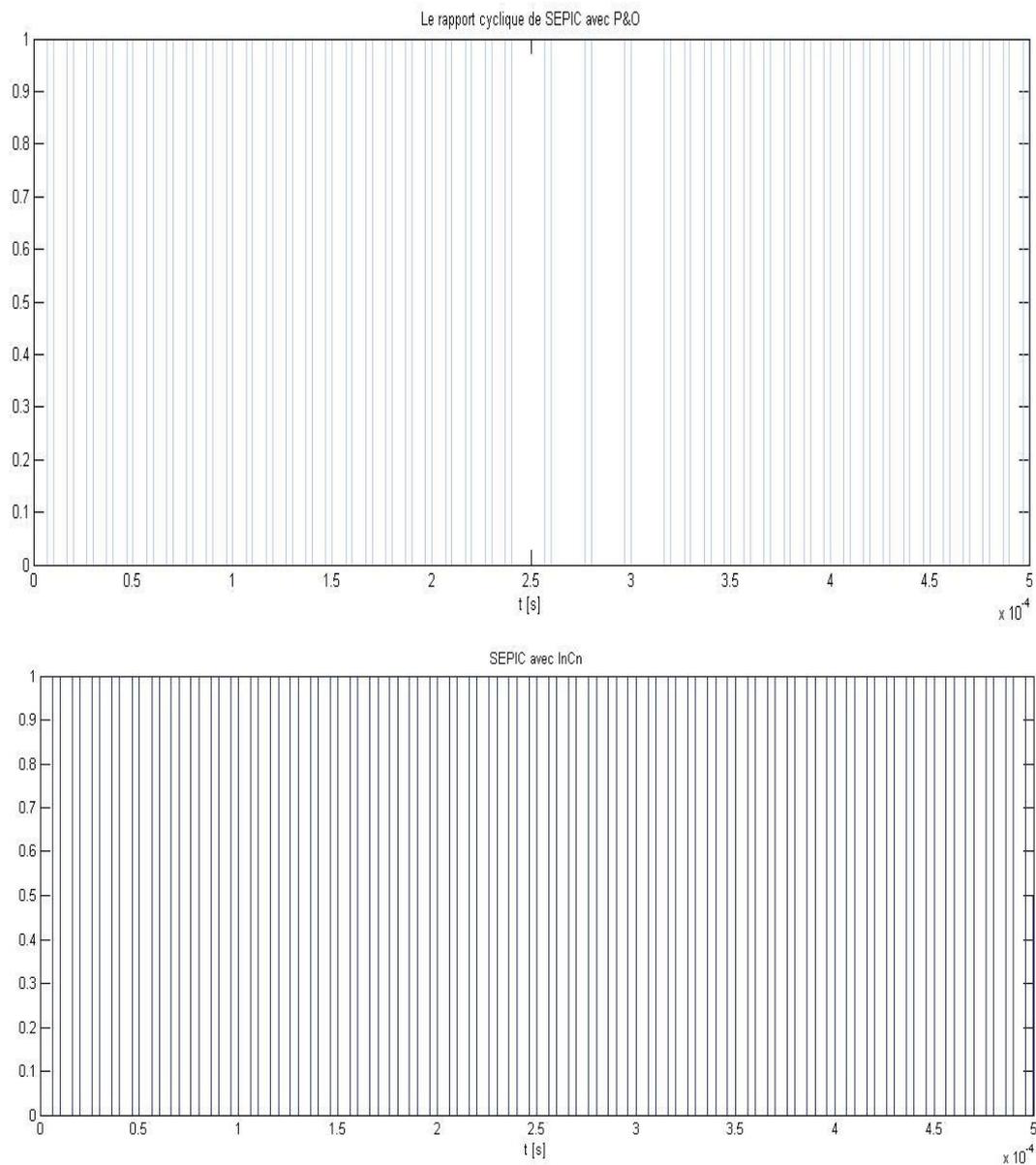


Figure 3.12 Rapport cyclique des deux MPPT pour le convertisseur SEPIC

Les deux figures A et B présentent la variation de rapport cyclique des 2 Algorithmes pour un convertisseur SEPIC

- La figure A présente le rapport cyclique de MPPT Conductance Incrémentale.
- La figure B présente le rapport cyclique de MPPT Perturb and Observ.

Après la simulation on obtient le graphe suivant :

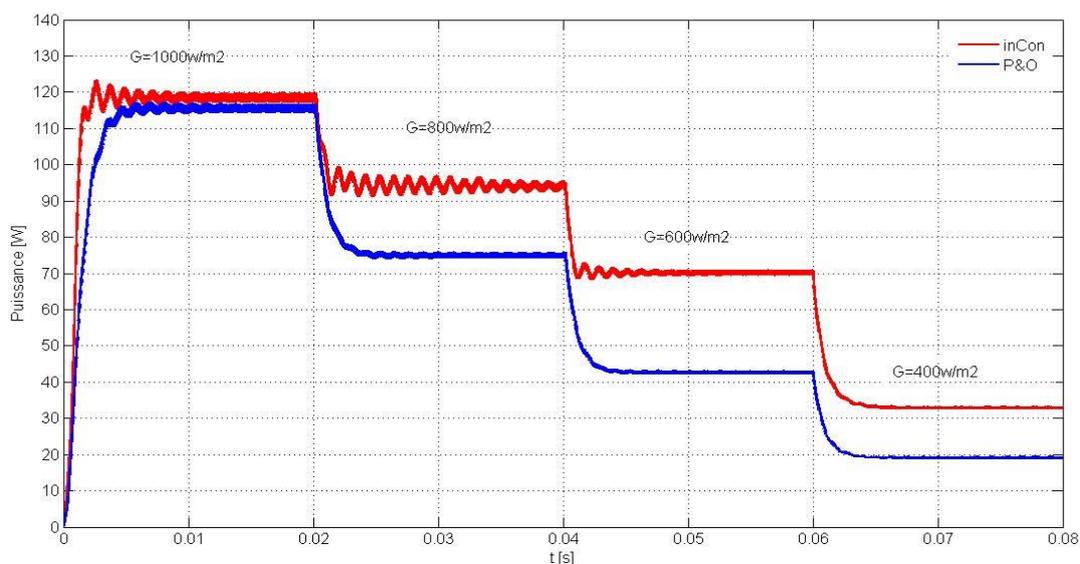


Figure3.13 Puissance à la sortie de convertisseur SEPIC contrôlé par deux algorithmes (P&O et InCn)

On remarque que les ondulations dans l'algorithme MPPT P&O sont inférieures par rapport au MPPT InCn, on remarque aussi que la puissance délivrée avec l'Algorithme InCn est plus grande.

Jusqu'à $t=0,02s$ les deux puissances sont presque les mêmes, à partir de l'instant $t=0,02$ la puissance devient légèrement différente pour les deux algorithmes, il est clair que la puissance pour le cas de InCn est supérieure à celle du cas P&O.

Dans ce cas on peut dire que le meilleur Algorithme de MPPT pour notre système est l'algorithme InCn (conductance incrémentale), parce qu'il nous donne une puissance optimale.

3.2.3.3 Comparaison des deux convertisseurs contrôlés par les deux Algorithmes MPPT

3.2.3.3.1 Comparaison des deux convertisseurs contrôlés par InCn

Dans ce cas on a choisit un MPPT avec l'Algorithme InCn (Conductance Incrémentale) qui est représenté dans la figure suivante avec les deux convertisseurs comme illustré ci-dessous. La figure (3.14) représente un système photovoltaïque composé de panneau photovoltaïque, un MPPT InCn, et un étage d'adaptation représenté par deux convertisseurs SEPIC et Ćuk :

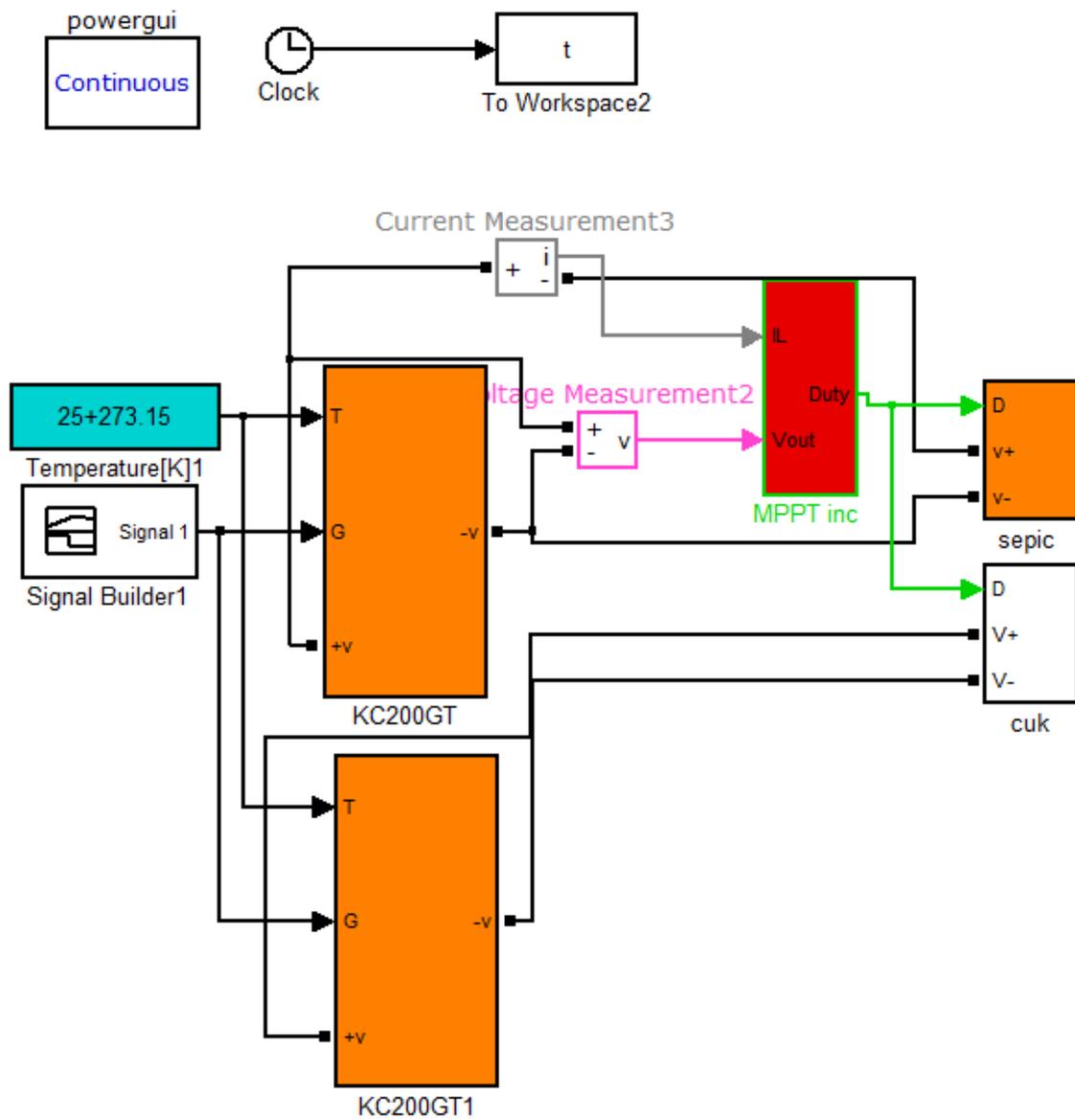


Figure 3.14 Convertisseurs SEPIC et Ćuk contrôlé par l’algorithme InCn sous SIMULINK

Les résultats de simulation obtenues sont représentés par les figures suivantes:

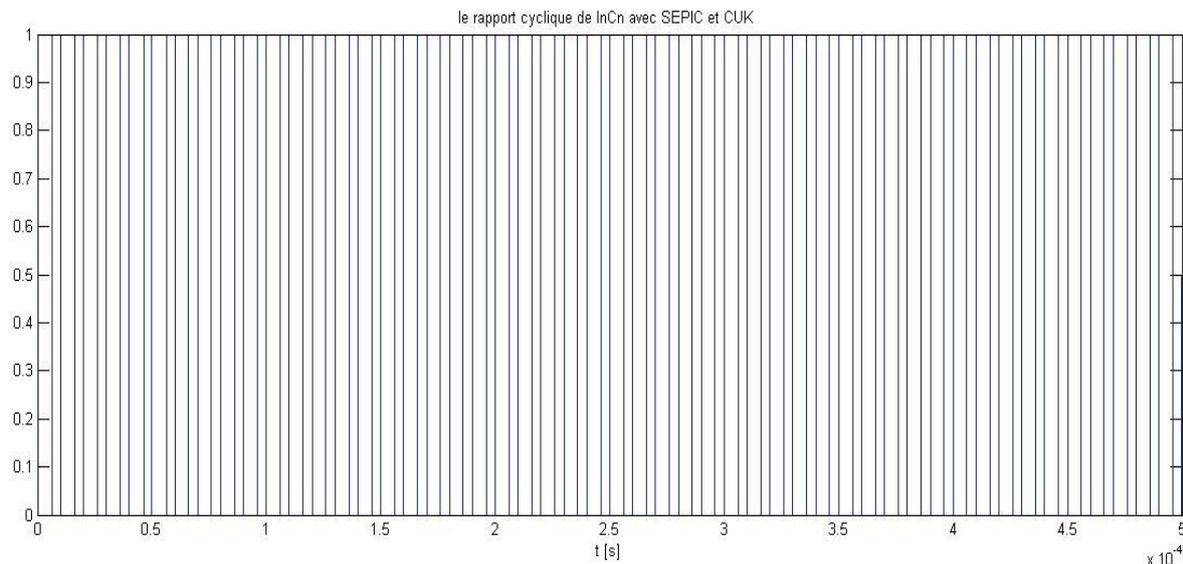


Figure 3.15 Rapport cyclique de l'algorithme InCn pour les deux convertisseurs

La figure suivante représente la puissance à la sortie des deux convertisseurs:

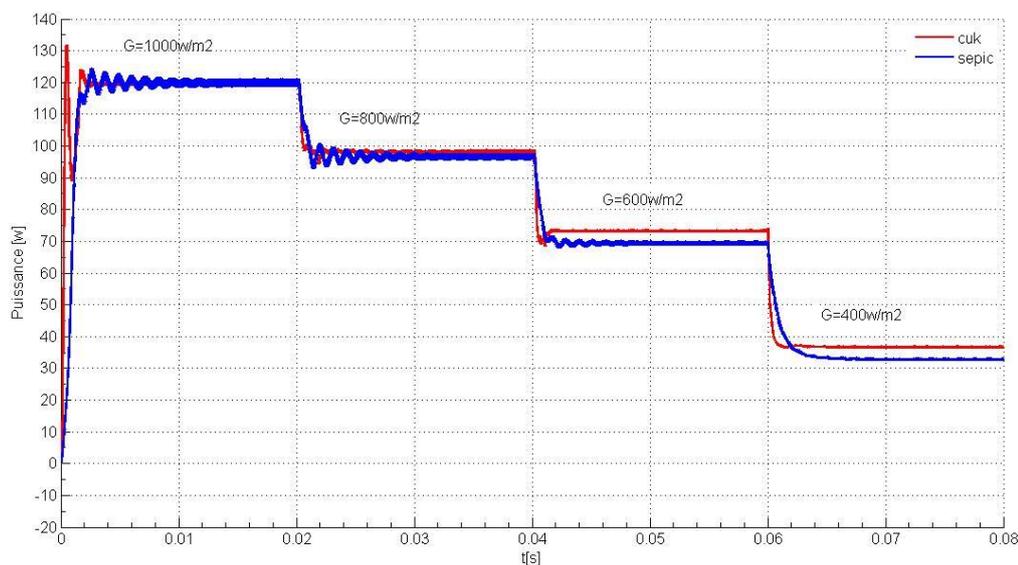


Figure 3.16 Puissances à la sortie des convertisseurs Cuk et SEPIC contrôlés par l'algorithme InCn

Les figures présentent la puissance à la sortie des deux convertisseurs. En remarque que :

- les ondulations dans le cas de convertisseur Cuk sont plus atténuées que dans le cas de SEPIC .

- Les deux puissances à la sortie des convertisseurs Cuk et SEPIC sont presque les mêmes

- l'état transitoire dans le cas de convertisseur Cuk atteint son régime de stabilisation après celui de convertisseur SEPIC. Le convertisseur Cuk se stabilise entre 0.002 S jusqu'à 0.003 S par contre le convertisseur SEPIC se stabilise après 0.01 S.

Dans ce cas on peut dire que le convertisseur Cuk est meilleur que le convertisseur SEPIC.

3.2.3.3.2 Comparaison des deux convertisseurs contrôlés par P&O

Dans ce cas on a choisit un MPPT avec l'Algorithme P&O (perturb and observ) qui est représenté dans la figure ci-dessous avec les deux convertisseurs

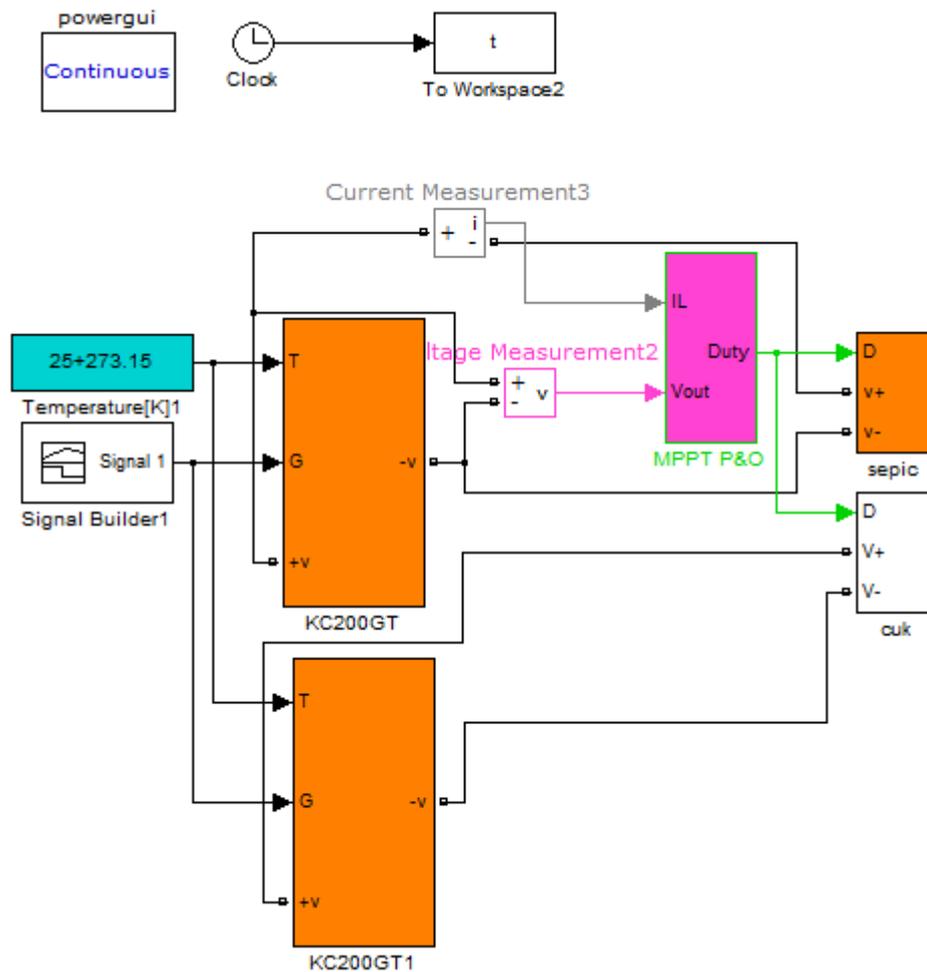


Figure 3.17 Convertisseurs SEPIC et Ćuk contrôlés par l'algorithme P&O sous SIMULINK

Après la simulation on obtient le graphe représentant le rapport cyclique de notre MPPT.

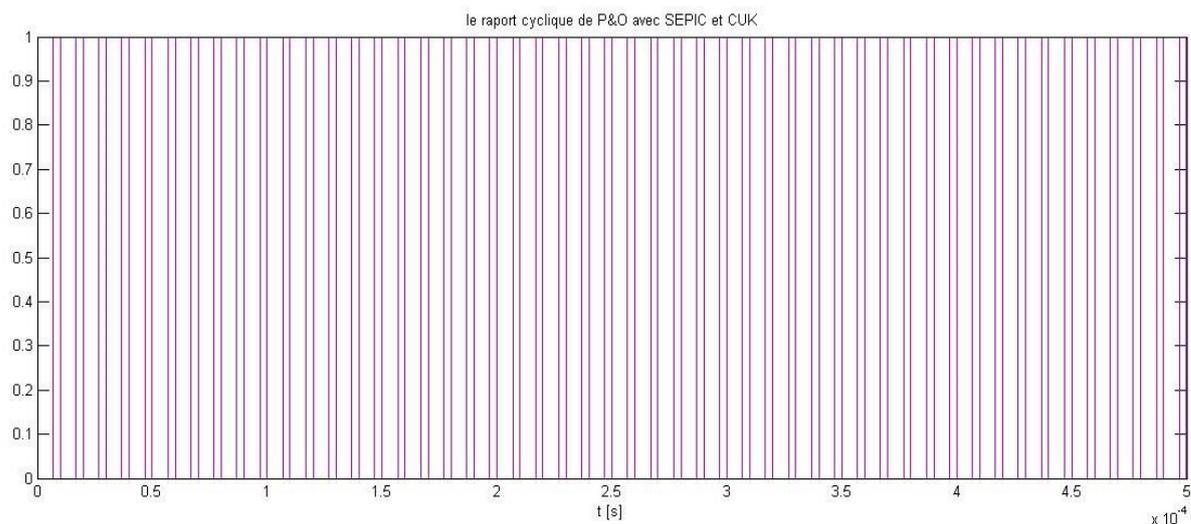


Figure 3.18 Rapport cyclique de MPPT P&O

La figure suivante représente les variations de la puissance à la sortie des deux convertisseurs :

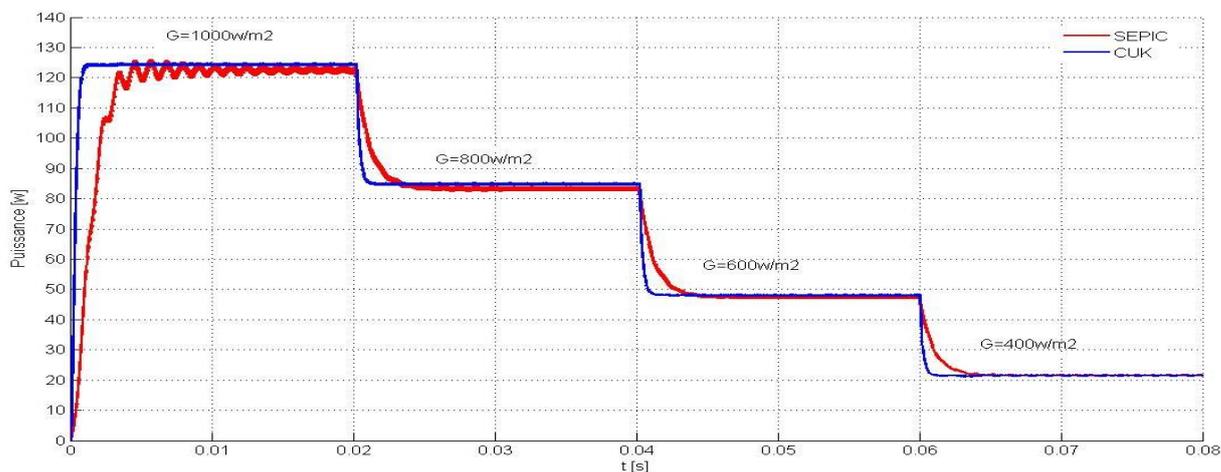


Figure 3.19 Puissance à la sortie des deux convertisseurs contrôlés par l'algorithme P&O

Les graphes présentent la puissance à la sortie des deux convertisseurs. En remarque que :

- les ondulations dans le cas du convertisseur SEPIC sont importants par rapport au cas du convertisseur Cuk.

- La valeur de la puissance délivrée par le convertisseur Cuk dépasse légèrement celle délivrée par le convertisseur SEPIC dans l'intervalle 0.01s jusqu'à 0.06s.

- l'état transitoire de convertisseur Cuk est inférieur à celui du convertisseur (SEPIC), le convertisseur Cuk atteint la stabilité après un temps max de 0.002s, par contre le convertisseur SEPIC dépasse un temps de 0.01s pour être stable.

Dans ce cas on confirme que le convertisseur CUK est meilleur que convertisseur SEPIC.

3.3 Implémentation du système sur XSG :

3.3.1 INTRODUCTION

FPGA (field-programmable gatearray, réseau de portes programmables in situ) est un circuit logique programmable, ou réseau logique programmable, est un circuit intégré logique qui peut être reprogrammé après sa fabrication. Notons qu'il serait impropre de parler de programmation au sens logiciel (contrairement à un microprocesseur, il n'exécute aucune ligne de code). Ici, mieux vaudrait parler de « reconfiguration » plutôt que de reprogrammation (on modifie des connexions ou le comportement du composant, on connecte des portes logiques entre elles, *etc.*). Le verbe programmer est toutefois le plus fréquent, mais au sens de personnaliser. Il s'agit bel et bien de réseaux logiques reconfigurables et modifiables.

Il est composé de nombreuses cellules logiques élémentaires et bascules logiques librement connectables (c'est justement la reconfiguration, ou programmation, du composant qui définit les connexions faites entre portes logiques)[38].

3.3.2 Le system Generator XSG:

La librairie XSG Outils contient les fonctions essentielles, généralement utilisées dans le cadre de la programmation sur cible FPGA, sous la forme de blocs Simulink® standards. Ces blocs de fonctions de haute qualité sont prêts à l'emploi, simples à adapter à votre projet, et facilitent ainsi considérablement la programmation de votre FPGA. Parmi les fonctions disponibles, citons des fonctions E/S améliorées, des oscilloscopes, des tables d'interpolation mais également un calculateur de moyennes, un générateur de fonctions sinus et un codeur de forme d'onde.

Afin que vous puissiez n'acheter que le jeu de fonctions dont vous avez besoin pour votre propre application FPGA, dSPACE offre la XSG Utils Library comme sous-ensemble de fonctions avec la XSG Electric Components Library ou la XSG ACMC Library. Différentes versions de toutes ces librairies sont disponibles, selon que vous soyez développeur ou utilisateur d'applications FPGA.

La XSG Utils Library présente des instruments personnalisables préconçus qui permettent un accès rapide aux fonctions les plus utilisées en dehors de ControlDesk® NextGeneration[39].

3.3.2.1 Définition de XSG :

Le bloc System Generator permet de contrôler les paramètres du système et la simulation, et est utilisé pour appeler le générateur de code. Tous les modèles Simulink contenant les blocs de Xilinx doit contenir au moins un bloc SG. Une fois ce dernier ajouté à un modèle, il est possible de

spécifier la manière dont la génération de code et de simulation doivent être manipulées figure 4.16 [44].



Figure3.20 bloc de XSG

La précision et les passerelles Xilinx SG fonctionne avec les modèles Simulink standard. Deux blocs appelés "Gateway In" et "Gateway Out" définissent la limite du FPGA du modèle simulé en Simulink voir la figure 4.17. La passerelle dans le bloc convertit l'entrée à un nombre à virgule fixe [40].

- « Gateway In » block est utilisé pour définir la limite d'entrée FPGA et convertit la virgule flottante à pointfixe.
- Le « Gateway Out » block est utilisé pour définir la limite de sortie FPGA et convertit à la double précision.



Figure 3.21 Les blocs « Gateway In » et « Gateway Out ».

3.3.2.2 Description XSG du MPPT incrémental conductance « InCn »

Le système générateur de Xilinx fournit un ensemble de blocs de Simulink (modèles) pour plusieurs opérations de matériel qui pourraient être mises en application sur divers XilinxFPGAs. Ces blocs peuvent être employés pour simuler la fonctionnalité du système de matériel utilisé dans l'environnement de Simulink. L'objectif de cette partie est de simuler le bloc MPPT étudié dans la partie précédant en exploitant les fonctionnalités du XSG. Une comparaison des résultats obtenus par les deux simulateurs Simulink et XSG seront comparés et discutés, notre objectif est d'assurer la fiabilité de l'architecture adoptée dans l'environnement XSG afin de faire une implémentation réduite sur cible FPGA.

L'implémentation du MPPT Incrémental Conductance « InCn » sous XSG est faite à partir d'un Algorithme établi dans la première partie de ce chapitre. La figure ci-dessous illustre l'architecture du MPPT InCn sous XSG.

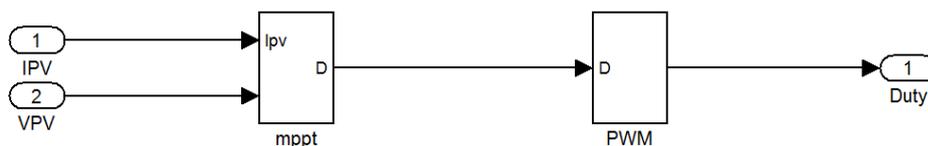


Figure3.22 Les entrées/sorties de MPPT InCn avec PWM.

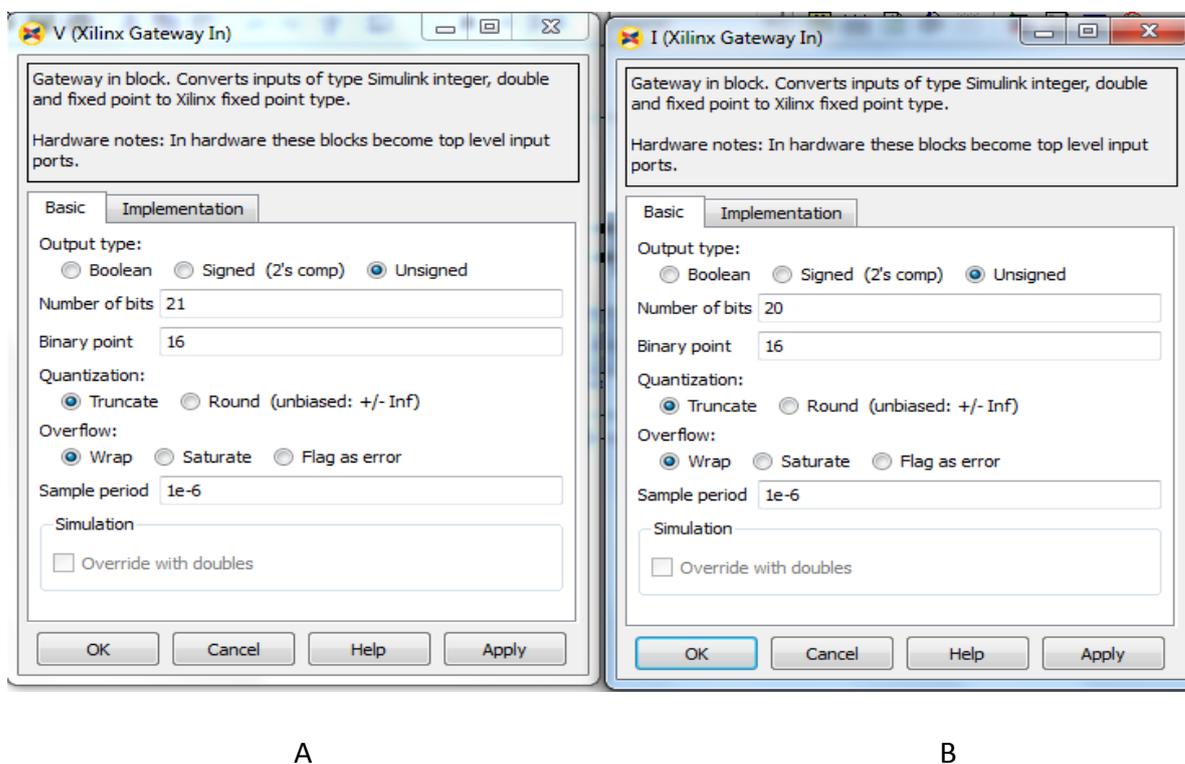


Figure3.23 Tableaux du Choix de nombre de bit de V_{pv} et I_{pv}

La figure présente le choix des nombres de bits pour les entrées I et V de notre MPPT.

On a choisit un nombre de bit dans les deux tableaux A et B

Dans le tableau A on a une valeur de tension $V=32.9$ V lorsqu'on a convertit en binaire on trouve $2^5=32$ pour la partie entière ça veut dire qu'on doit réserver 5 bits pour cette partie, la partie fractionnelle doit être la plus précise possible à 0.9 donc on a choisit un nombre de bit de 16 bits, par ce que la valeur de la partie fractionnelle doit être la plus proche possible de la valeur calculée précédemment.

Dans le tableau B on a une valeur de courant $I=8.2$ A lorsqu'on a convertit en binaire on trouve $2^4=8$ pour la partie entière ça veut dire qu'on doit réserver 4 bits pour cette partie, la partie fractionnelle doit être la plus précise possible à 0.2 donc on a choisit un nombre de bit de 16 bits, par ce que la valeur de la partie fractionnelle doit être la plus proche possible que valeur calculée.

La figure suivante illustre L'architecture de l'algorithme InCn sous XSG.

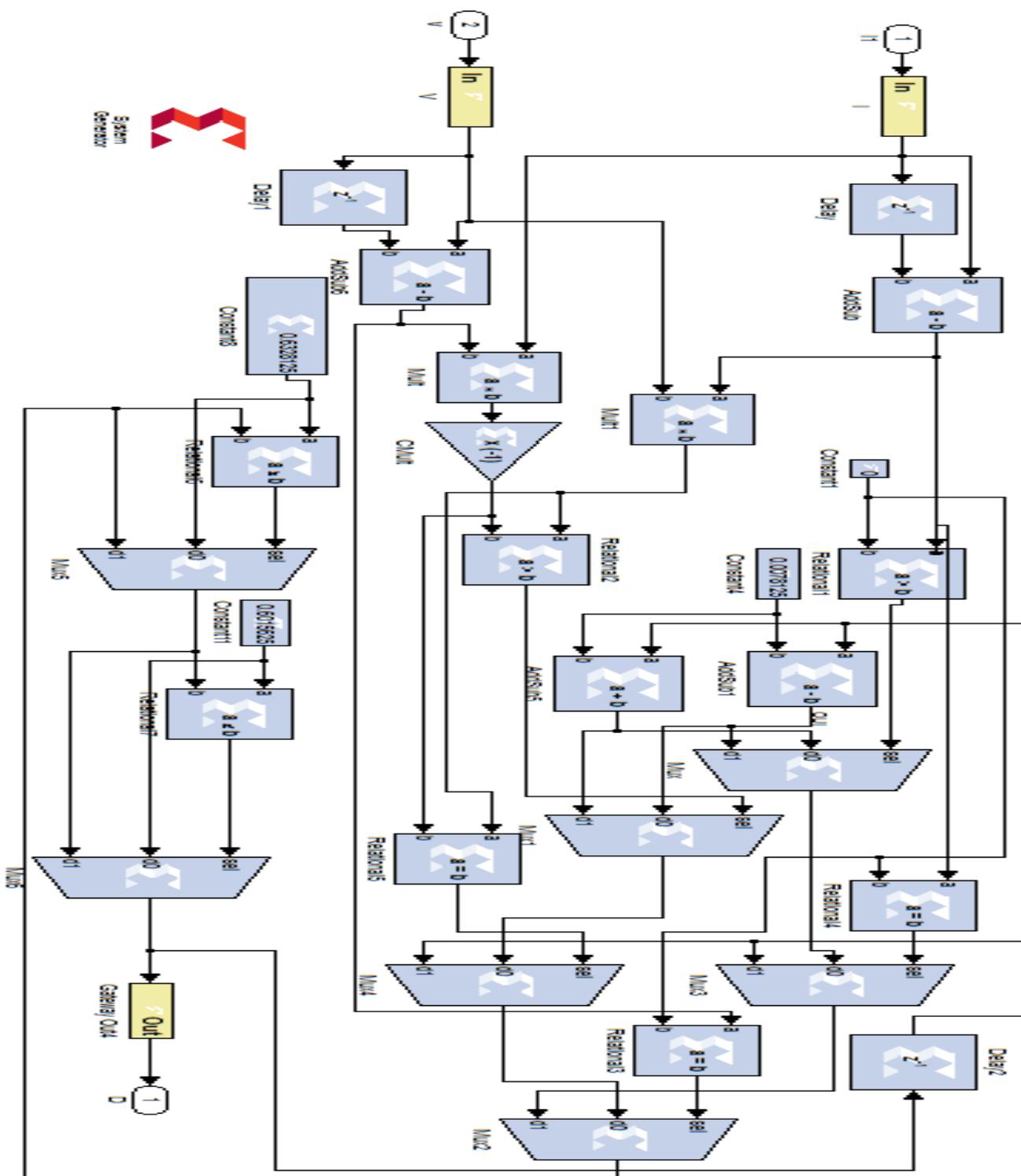
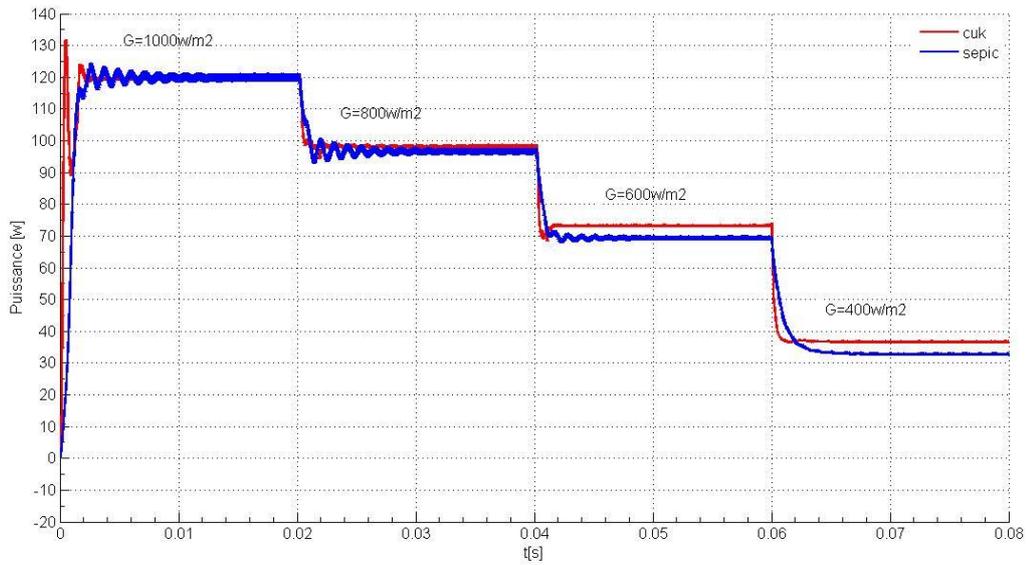


Figure 3.24 Architecture de l'algorithme InCn sous XSG

A



B

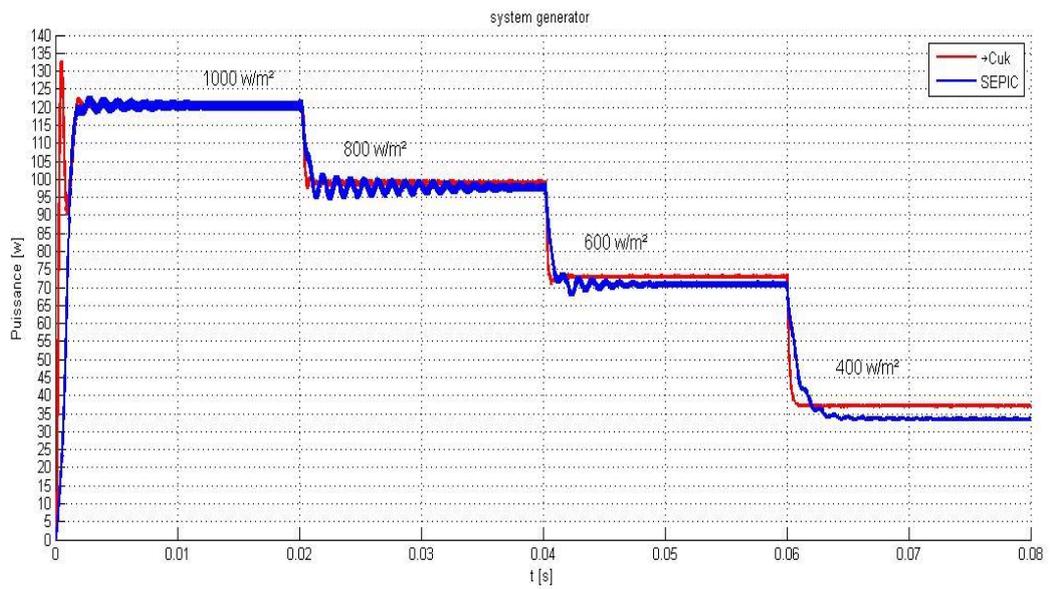


Figure 3.25 Comparaison de la puissance de sortie P_{OUT} pour les deux convertisseurs contrôlés par un MPPT InCn sous XSG et Simulink

Le graphe A représente les résultats obtenus sous XSG et le graphe B ceux obtenus sous SIMULINK. On analyse ces résultats on constate une bonne concordance entre les deux cas pour différents niveaux d'irradiation. Ceci justifie amplement le bon choix de notre architecture sous XSG. En conséquence la matérialisation de la commande devient plus aisée en ciblant une carte FPGA.

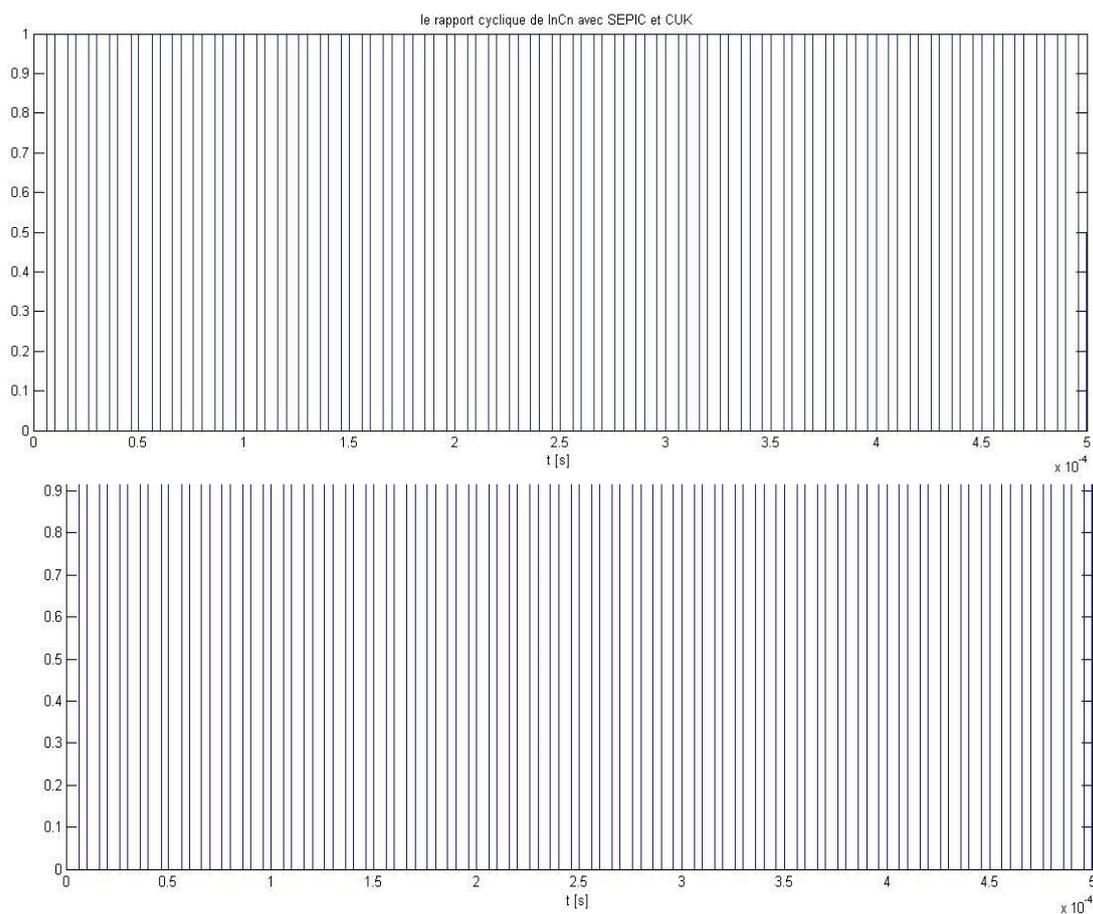


Figure 3.26 Rapport cyclique pour XSG et SIMULINK

Le tableau suivant représente les informations de notre implémentation XSG.

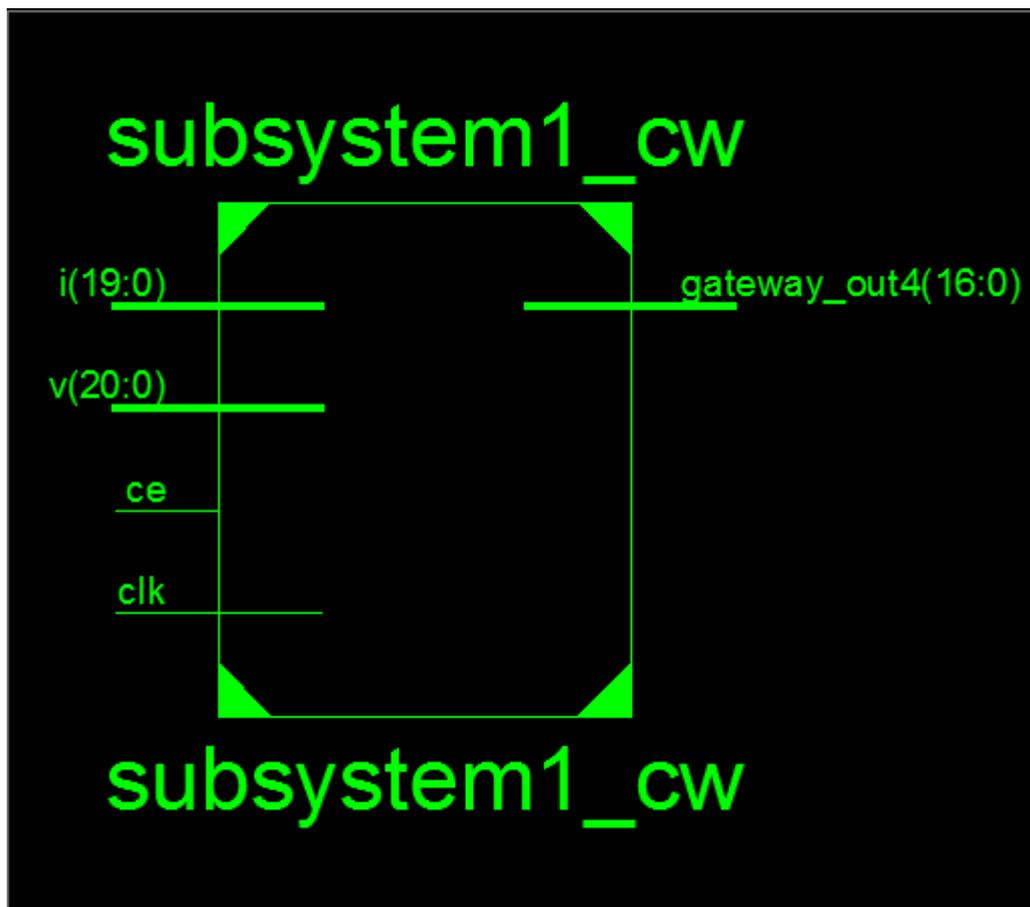
subsystem1_cw Project Status (06/21/2015 - 05:09:43)			
Project File:	subsystem1_cw.xise	Parser Errors:	No Errors
Module Name:	subsystem1_cw	Implementation State:	Synthesized
Target Device:	xc3s500e-4cp132	• Errors:	No Errors
Product Version:	ISE 12.3	• Warnings:	164 Warnings (9 new)
Design Goal:	Balanced	• Routing Results:	
Design Strategy:	Xilinx Default (unlocked)	• Timing Constraints:	
Environment:	System Settings	• Final Timing Score:	

Device Utilization Summary (estimated values)			
Logic Utilization	Used	Available	Utilization
Number of Slices	291	4656	6%
Number of Slice Flip Flops	71	9312	0%
Number of 4 input LUTs	504	9312	5%
Number of bonded IOBs	59	92	64%
Number of MULT18X18SIOs	13	20	65%
Number of GCLKs	1	24	4%

Disponible	Utilisation	Utilisé
------------	-------------	---------

Tableau III.3 Tableaux d'Utilisation de périphériques Sommaire (valeurs estimées)

- Nombre des tranches utilisé 6%
- Nombre de Slice flip Flops utilisé 0%.
- Nombre de 4 entréesLUTsutilisé 5%.
- Nombre de servitude IOBsutilisé 64%.
- Nombre de GCLKsutilisé 4%.



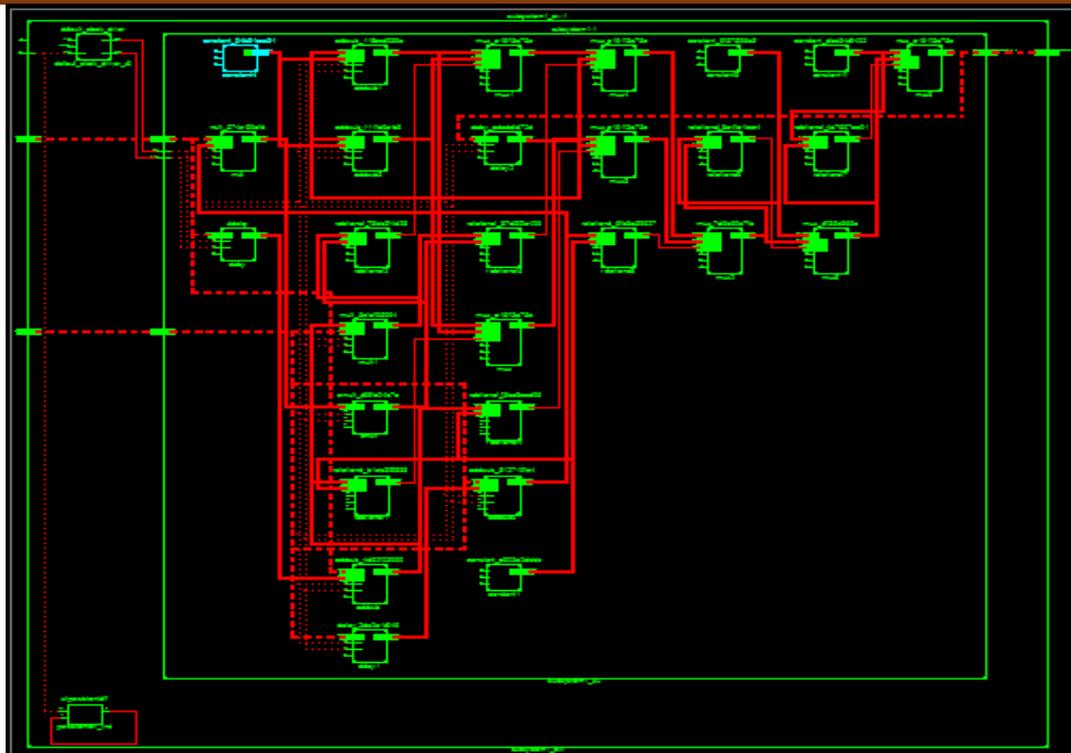


Figure3.28 Schémas RTL et RTL détaillée de MPPTInCn

Les deux figures représentent le circuit de connexion de notre MPPT sur FPGA.

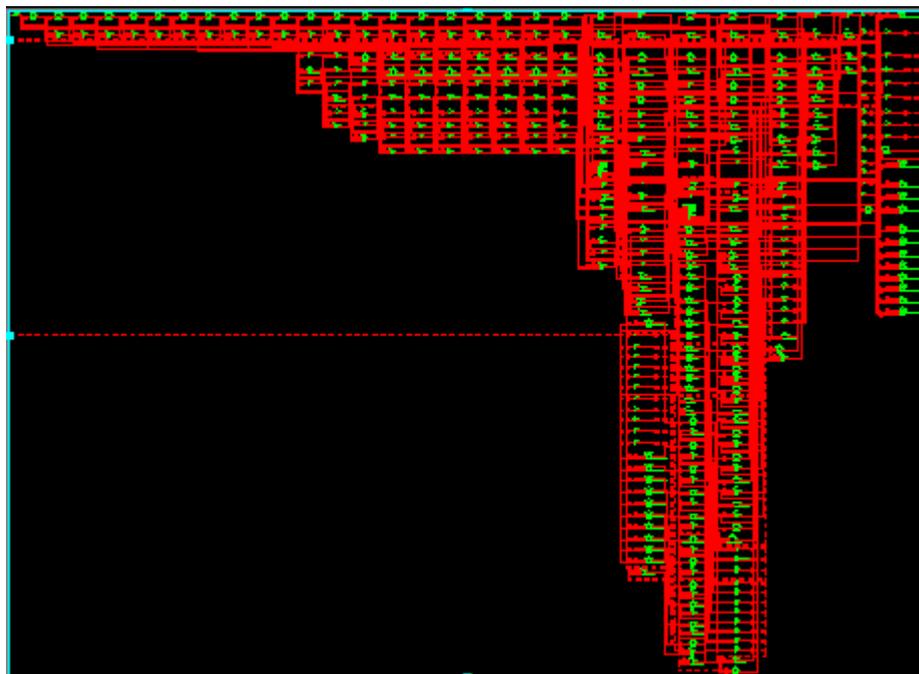


Figure 3.29 Schématique de RTL de MPPT InCn

3.3.3 Conclusion :

Dans la première partie de ce chapitre nous avons simulé notre MPPT sous Simulink/MATLAB pour différents niveaux d'irradiation avec deux convertisseurs. Les résultats obtenus sont acceptables.

Cette étude présente une comparaison de deux MPPT plus populaires : le contrôleur perturb and Observ Contrôleur avec l'incrémental conductance Controller. Cette orientation du papier sur la comparaison des deux convertisseurs différents qui sera relié avec le dispositif de commande. Un panneau solaire simple qui a la norme la valeur de l'insolation et la température a été inclus dans la simulation circuit. De tous les cas, le meilleur contrôleur de MPPT est l'incrémental contrôleur de conductance. Ce contrôleur donne une meilleure valeur de sortie pour son argent, stimuler et les deux convertisseurs Cuk et SEPIC. Ainsi ce contrôleur donnera genre différent de courbes pour l'ensemble des convertisseurs.

Les résultats montrent que tous les systèmes détectent la puissance maximale. Bien que le SEPIC est moins stable avec moins d'entraînement de puissance par rapport au convertisseur Cuk à la puissance maximale. D'autre part, l'avantage du convertisseur Cuk est la réduction des paramètres de circuit (inductance et de condensateurs) par rapport au convertisseur SEPIC et le coût réduit le rendement. La sélection de l'un des deux convertisseurs dépend de l'exigence du système et du budget. Pour une bonne qualité de la production de la puissance, le convertisseur Cuk est favorable.

Dans la deuxième partie la description et la simulation sous XSG du MPPT InCn. Nous avons simulé l'algorithme InCn sous MATLAB, Simulink, puis généré du code pour l' FPGA Xilinx. Nous avons utilisé des blocs spécifiques. Les résultats obtenus sont comparables avec ceux obtenus par Simulink/Matlab ceci assure une implémentation aisée sur la cible FPGA.

Liste des tableaux :

TABLEAU1.1	Caractéristique électrique d'un module photovoltaïque KC200GT	Page 1é
Tableau II.1	Rapport de transformation des principaux convertisseurs DC-DC	Page 19
Tableau III.1	valeur des composants pour convertisseur SEPIC	Page 36
Tableau III.2	valeur des composants pour convertisseur CUK	Page 36
Tableau III.3	Tableaux d'Utilisation de périphériques Sommaire (valeurs estimées)	Page 56

Liste des figures :

Figure 1.1	Rayonnement solaire incident hors atmosphère et au niveau de la surface terrestre	6
Figure 1.2	Caractéristique $I(V)$ d'une cellule photovoltaïque pour un éclairement et une température donnés	8
Figure 1.3	Schéma équivalent électrique de la cellule PV réel	9
Figure 1.4	Caractéristique $I = f(V)$ d'un module photovoltaïque	12
Figure 1.5	L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $I=f(V)$	13
Figure 1.6	L'influence de l'éclairement sur la caractéristique $P=f(V)$	13
Figure 1.7	L'influence de la température sur la caractéristique $I=f(V)$	14
Figure 1.8	L'influence de la température sur la caractéristique $P=f(V)$	14
Figure 1.9	Connexion d'un GPV à une charge à travers un étage d'adaptation	15
Figure 2.1	schéma du convertisseur SEPIC	20
Figure 2.2	convertisseur SEPIC avec couplage des inductances	20
Figure 2.3	convertisseur SEPIC isolé	21
Figure 2.4	SEPIC avec interrupteur S fermé	21
Figure 2.5	SEPIC avec interrupteur S ouvert	22
Figure 2.6	Formes d'ondes de tensions d'un convertisseur SEPIC	22
Figure 2.7	Formes d'ondes de courants d'un convertisseur SEPIC	23
Figure 2.8	Schéma de principe de convertisseur Ćuk	26
Figure 2.9	Organigramme de l'algorithme perturbation et observation à contrôle direct	32
Figure 2.10	Organigramme de la méthode InCn	33
Figure 3.1	Système photovoltaïque avec convertisseur SEPIC sous SIMULINK	37
Figure 3.2	Schéma de convertisseur SEPIC sous SIMULINK	37
Figure 3.3	Système photovoltaïque avec convertisseur CUK sous SIMULINK	38
Figure 3.4	Schéma de convertisseur Ćuk sous SIMULINK	38
Figure 3.5	Schéma de MPPT perturbe et observe (P&O)	39
Figure 3.6	Schéma de MPPT Conductance Incrémentale	39
Figure 3.7	Système photovoltaïque avec convertisseur Ćuk contrôlé par deux algorithmes MPPT sous SIMULINK	40
Figure 3.8	Rapport cyclique des deux MPPT pour convertisseur CUK	41
Figure 3.9	Puissance à la sortie de convertisseur Ćuk contrôlé par deux algorithmes (P&O et InCn)	41
Figure 3.10	Schéma de convertisseur SEPIC sous SIMULINK	42
Figure 3.11	Système photovoltaïque avec convertisseur SEPIC contrôlé par deux algorithmes MPPT sous SIMULINK	43
Figure 3.12	Rapport cyclique des deux MPPT pour le convertisseur SEPIC	44
Figure 3.13	Puissance à la sortie de convertisseur SEPIC contrôlé par deux algorithmes	45

Liste des figures :

	(P&O et InCn)	
Figure 3.14	Convertisseurs SEPIC et Ćuk contrôlé par l'algorithme InCn sous SIMULINK	46
Figure 3.15	Rapport cyclique de l'algorithme InCn pour les deux convertisseurs	47
Figure 3.16	Puissances à la sortie des convertisseurs Ćuk et SEPIC contrôlé par l'algorithme InCn	47
Figure 3.17	Convertisseurs SEPIC et Ćuk contrôlé par l'algorithme P&O sous SIMULINK	48
Figure 3.18	Rapport cyclique de MPPT P&O	49
Figure 3.19	Puissance à la sortie des deux convertisseurs contrôlés par l'algorithme P&O	49
Figure3.20	Bloc de XSG	51
Figure 3.21	Les blocs « Gateway In » et « Gateway Out ».	51
Figure3.22	Les entrées/sorties de MPPT InCn avec PWM.	52
Figure3.23	Tableaux des entrées/sorties de Tension et Courant	52
Figure 3.24	Architecture de l'algorithme InCn sous XSG	53
Figure 3.25	Comparaison de la puissance de sortie POUT pour les deux convertisseurs et MPPT InCn sous XSG et Simulink	54
Figure 3.26	Rapport cyclique pour XSG et SIMULINK	56
Figure3.28	Schémas RTL et RTL détaillée de MPPT InCn	57
Figure 3.29	Schématique de RTL de MPPT InCn	57

Liste des figures :

La plus grande partie de l'énergie consommée actuellement provient de l'utilisation des combustibles fossiles comme le pétrole, le charbon, le gaz naturel ou encore l'énergie nucléaire. Ces ressources deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement. Il est estimé que les réserves mondiales seront épuisées vers 2030 si la consommation n'est pas radicalement modifiée, et au maximum vers 2100 si des efforts sont produits sur la production et la consommation [1].

L'énergie électrique fournie par les combustibles fossiles ne suffit pas à répondre à toute la demande, alors que tous les êtres humains ont besoin d'électricité pour le développement durable. La demande d'énergie primaire mondiale devrait augmenter de 1,7% par an à partir de l'année 2002 et l'expansion à plus de 50% en 2030.

Le développement et l'exploitation des énergies renouvelables ont connu une forte croissance ces dernières années. D'ici 20-30 ans, tout système énergétique durable sera basé sur l'utilisation rationnelle des sources traditionnelles et sur un recours accru aux énergies renouvelables. Naturellement décentralisées, il est intéressant de les mettre en œuvre sur les lieux de consommation en les transformant directement, soit en chaleur, soit en électricité, selon les besoins [2].

L'énergie photovoltaïque est une possibilité de développement efficace et durable tant que le soleil brille encore, c'est pour cela que les recherches scientifiques se développent dans le sens de généraliser, améliorer et optimiser l'exploitation des systèmes solaires.

L'optimisation des systèmes solaires est basé sur des critères de dimensionnement et de maximisation de la puissance générée pour avoir un bon rendement sachant que le but essentiel de toutes les recherches est l'amélioration globale des performances des systèmes de conversion photovoltaïque (PV), lorsqu'un générateur photovoltaïque alimente une charge, quelle que soit sa nature, ceci n'implique pas forcément une mauvaise rentabilité du système global, mais l'équivalence entre le rendement admissible et le coût moyen d'exploitation détermine le degré d'efficacité d'utilisation de l'énergie solaire [3].

Pour réduire la consommation d'énergie conventionnelle, alors le système PV doit être connecté au réseau, que ce soit directement ou par l'intermédiaire des systèmes de stockage. Cependant, le système PV a une faible efficacité en raison de l'électricité produite à partir des systèmes photovoltaïques qui dépend de la variation de l'irradiation et de la température.

L'amélioration de l'efficacité du système PV, nécessite des applications dites de recherche du Maximum Power Point tracker (MPPT). Il existe de nombreux algorithmes MPPT tels que perturb and Observ, méthode incrémentale conductance, à Fractionnel courant en court-circuit, Fractionnel tension en circuit ouvert, de réseaux de neurones et logique floue. La méthode Perturb and observ a un problème pour déterminer le point de fonctionnement optimal dans les changements rapides d'irradiance solaire, mais il est plus facile et très fiable en condition normale [4]. L'avantage de la méthode incrémentale conductance est la vitesse de recherche du point de puissance maximale quand les conditions atmosphériques changent rapidement.

Les charges sont couplées aux GPV à travers un convertisseur DC-DC statique, les convertisseurs DC-DC ont donc un rôle très important dans les systèmes de conversion d'énergie. Pour ce type de fonction, plusieurs topologies de circuits sont proposées, elles sont classées généralement par les topologies simples, qui sont les convertisseurs DC-DC de second ordre du point de vue de la modélisation mathématique, et les topologies complexes, qui sont ceux d'ordre plus élevé. Pour les topologies simples nous citons les convertisseurs de second ordre de type Buck (abaisseur), Boost (élevateur) et Buck-Boost (inverseur). Pour ceux d'ordre élevé, nous citons les convertisseurs Ćuk et SEPIC (de l'anglais : Single-Ended Primary Inductor Converter) de quatrième ordre. Du point de vue de l'électronique de puissance, chacun de ces convertisseurs a des avantages et des inconvénients.

Pour ces types de convertisseur, la gamme de puissance que l'on peut traiter s'étend de quelques watts, à des centaines de kilowatts. Cependant, l'apparition de composants de puissance sans cesse plus performants, permet d'envisager le traitement de puissances plus élevées.

Un hacheur peut être réalisé à l'aide d'interrupteur électronique commandables à l'ouverture et à la fermeture tels que les thyristors GTO ou les transistors bipolaire ou à effet de champ à grille isolée fonctionnant en régime de commutation (tout ou rien). Le principe du hacheur consiste à établir puis interrompre périodiquement la liaison source-charge à l'aide de l'interrupteur électronique. Celui-ci doit pouvoir être fermé ou ouvert à volonté afin d'avoir une tension de sortie continue réglable. Les convertisseurs DC-DC (ou hacheurs) sont utilisés dans les systèmes d'énergie solaire pour adapter la source DC variable (panneau PV) à la charge qui demande en général une tension DC constante [12].

Le convertisseur SEPIC présente beaucoup d'avantages et très peu d'inconvénients par rapport aux autres. En effet, cette topologie SEPIC présente plusieurs éléments intéressants.

Le premier et le plus important, c'est le fonctionnement abaisseur-élevateur avec une tension de sortie ayant la même polarité que la tension d'entrée. Ensuite, la commande de l'interrupteur est référencée par rapport à la masse, ce qui simplifie l'électronique de commande rapprochée du MOSFET (interrupteur).

Tandis que le convertisseur Ćuk est constitué de deux inductances, de deux condensateurs, d'un interrupteur (généralement un transistor) et d'une diode, il est recommandé pour les applications de correction du facteur de puissance pour la famille des convertisseurs alternatif-continu [5].

Dans notre travail, il nous a été demandé d'étudier et d'implémenter un algorithme de commande MPPT(Incrémentale Conductance), sur cible FPGA appliqué aux systèmes photovoltaïques et précisément sur les deux convertisseurs SEPIC et CUK.

La numérisation de la commande permet de gagner du temps en simulation, la réponse dynamique à grand vitesse et la programmabilité de celle-ci. L'application de cette dernière pour les deux convertisseurs cités ci-dessus et la comparaison entre eux afin d'obtenir une meilleure optimisation de la puissance à la sortie des deux convertisseurs.

Les circuits FPGA (Field Programmable Gate Arrey), sont des circuits programmables standards, ils permettent d'être adaptés à des besoins divers, ils deviennent alors incontournables dans les applications nécessitant un temps de développement rapide et une modularité garantie [6]. Ils permettent aussi de réduire les couts, augmenter les performances et la fiabilité d'un circuit, diminuer les détails de mise en place d'un prototype opérationnel, maintenabilité et réduire l'encombrement des composants sur circuit. Tous ces atouts justifient le succès de ces composants dans tous les domaines d'applications de l'électronique, L'aéronautique, l'aérospatial, l'industrie, les télécommunications, les appareils médicaux, l'électroménager...etc; tous les domaines trouvent le bon compromis en intégrant les circuits FPGAs [7].

Le travail décrit dans ce présent mémoire est organisé comme suit:

Dans le premier chapitre, des généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque seront développées.

Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude des principes de fonctionnement des convertisseurs continue-continue SEPIC et CUK, l'étude détaillée et le dimensionnement des convertisseurs SEPIC et CUK seront développées ainsi que les principes de fonctionnement des deux commandes MPPT (P&o, conductance incrémentale).

Dans le troisième chapitre, la simulation du MPPT conçu sous Simulink/Matlab sera présentée pour confirmer son bon fonctionnement et l'appliquer sur nos convertisseurs.

Après avoir abordé l'intérêt des circuits FPGA et leur langage de description (VHDL) ainsi l'implémentation de l'algorithme « MPPT » dans l'environnement Xilinx System Generator (XSG). Les résultats obtenus seront comparés avec ceux obtenus sous SIMULINK. Nous terminerons ce travail avec une conclusion générale et des perspectives.

Bibliographie

- [1] K. Kassmi et M. Hamdaoui et F. Olivie "Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique", université de Maroc, pp 451 – 462, 2007.
- [2] O. Gergaud, "Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur".
- [3]BOUKHERS Djamil ,"OPTIMISATION D'UN SYSTEME D'ENERGIE PHOTOVOLTAIQUE APPLICATION AU POMPAGE".
- [4] Performance Comparison between ĆUK and SEPIC Converters for Maximum Power Point Tracking Using Incremental Conductance Technique in Solar Power Applications.page1.
- [5] Ali JAAFAR : "Contribution à la modélisation, l'analyse et l'optimisation de lois de commande pour convertisseurs DC-DC de puissance", thèse de doctorat en Physique, école d'doctorat STITS, 2011-17-TH.
- [6] BENMOSBAH Amine MECHERAOUI Choukri Adel : "Implémentation sur FPGA des méthodes MPPT : "P&O" et "floue optimisée par les Algorithmes Génétiques", Mémoire d'ingénieur en électronique de l'école Nationale Polytechnique, Algérie, 2006.
- [7] NACHEF Toufik : "Implémentation d'une instrumentation sur un FPGA", mémoire magister en Micro-électronique, Université de MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [8] MEHIMMEDETSI Boudjemâa : "Application du formalisme Bond Graph à une chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque", magister en ELECTROTECHNIQUE, Université MENTOURI de CONSTANTINE.
- [9] R.A. Messenger, J. Ventre, "Photovoltaic Systems Engineering (Second Edition)", CRC Press,2004.
- [10]Tom Markvart& Luis Castaner, "Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications", ELSEVIER, 2003.
- [11] F.A. Farret, M. Godoy Simoes, "Integration of Alternative Sources of Energy", John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [12] S.ABADA: "Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic", Mémoire Maître des Sciences, Université laval, 2011.
- [13] Programme Algérien de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables et de l'efficacité Énergétique-Portail Algérien des ÉNERGIES RENOUVELABLES, avril 2011.
<http://www.mem-Algeria.org/français/index.php?page=enr>.

Bibliographie

- [14] Bahrame Khadabakkchian, Fouis.A Dessaint et Michel lavoie, "simulation en temps réel complément numérique de grand raison de transport EHT, en vue d'analyse et de tester leurs circuits de commande et de protection", IEE Canadian preview-summer/été 1999.
- [15] C. Lerouge, et al.. "Recherche & Industrie Photovoltaïque (PV) aux Etats-Unis 2006", SCIENCES PHYSIQUES ETATS-UNIS.
- [16] MULLER, J.-C., "Électricité photovoltaïque, in BE 8578. 2007", Techniques d'ingenieurs.
- [17] Antonio Luque and Steven Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [18] W.Xiao, "A Modiffied Adaptative Hill Climbing Maximum Power Point Tracking (MPPT) Control Method For Photovoltaic Power Systems", The University of British Columbia, 2003.
- [19] Akihiro Oi, "Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System", Faculty of California Polytechnic State University, 2005.
- [20] S. Issaadi, "Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones ", Mémoire de magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2006.
- [21] M. Adouane, "Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique", Mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2008.
- [22] S. Bellakehal, "Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables", thèse de Doctorat, Université de Constantine, Algérie, 2010.
- [23] M. Makhlof, "Etude et optimisation d'un modèle de conversion d'énergie photovoltaïque application au pompage", mémoire de magister, université Mentouri Constantine, Algérie, 2006.
- [24] Cedric Cabal, " Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque.", UNIVERSITE TOULOUSE III –juin 2008.
- [25] S. M. Ait-Cheikh, "Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques", Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2007.
- [26] N. Abouchabana, " Etude d'une nouvelle topologie buck-boost appliquée à un MPPT ", Mémoire de Magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, Algérie, 2009.
- [27] M. Moulay-Amar et M. Loghouini, "Etude et réalisation d'un système de poursuite de point de puissance maximale à base de microcontrôleur destiné a une installation photovoltaïque ", Mémoire d'ingénieur, université de Ouargla, Algérie, 2005.

Bibliographie

- [28] Angel Cid Pastor, "Conception et Réalisation de Modules Photovoltaïques Electroniques, thèse de doctorat, soutenue le 29 septembre 2006.
- [29] Fang Lin Luo, Hong Ye , Muhammad Rashid . "Digital Power Electronics and Applications" ,Elsevier Academic press,2005.
- [30] Muckund R,Ph.D.,P.E. "Wind AND Solar Power Systems".CRC Press LLC,1999.
- [31] http://fr.wikipedia.org/wiki/Convertisseur_SEPIC.
- [32] Joris Pallier, 'Dimensionnement des composants pour convertisseur SEPIC', Projet Polytech-Clermont-Ferrand.
- [33] M. Djarallah : 'contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couples au réseau électrique', Thèse de doctorat université de Batna 2008.
- [34] L. Protin et al., Convertisseurs photovoltaïques, Technique de l'ingénieur, traité génie électrique, pp 3-360, 1992.
- [35] S. Masoum et al., Microprocessor-controlled new class of optimal battery chargers for photovoltaic application, Vol. 19, September 2004.
- [36] F. Chekired, Etude et implémentation d'une commande MPPT neuro-floue sur FPGA, Mémoire de Magister de l'Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2008.
- [37] Trishan Eram, Student Member, IEEE, and Patrick L. Chapman, Senior Member, IEEE, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, 2006.
- [38] J. Fadat, "Chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque, Commande MPPT", La Revue 3EI n° 43 – Décembre 2005, ESIEE-Amiens 14 Quai de la Somme – BP 100 – 80 082 Amiens.
- [39] A. Oi, "Design and simulation of photovoltaïque water pumping système", Thèse de Magister de l'université California, USA, Septembre 2005.
- [40] A. Meflah, « Modélisation et commande d'une chine de pompage photovoltaïque», Mémoire de Magistère, Université de Tlemcen, Algérie, 2011.
- [41] http://fr.wikipedia.org/wiki/Circuit_logique_programmable.
- [42] <http://xilinx.com> system generator and HDL coder-FPGA.
- [43] JEAN-GABRIEL MAILLOUX, ' PROTOTYPAGE RAPIDE DE LA COMMANDE VECTORIELLE SUR FPGA À L'AIDE DES OUTILS SIMULINK - SYSTEM GENERATOR', Mémoire dans le cadre du programme de maîtrise d'ingénierie, l'université du QUÉBEC à CHICOUTIMI, MARS 2008.

Photovoltaic Module KC200GT

Specifications

Electrical Performance under Standard Test Conditions (*STC)	
Maximum Power (P _{max})	200W (+10%/−5%)
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	26.3V
Maximum Power Current (I _{mp})	7.61A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	32.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.21A
Max System Voltage	600V
Temperature Coefficient of V _{oc}	−1.23×10 ⁻¹ V/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	3.18×10 ⁻³ A/°C

*STC : Irradiance 1000W/m², AM1.5 spectrum, module temperature 25°C

Electrical Performance at 800W/m ² , NOCT, AM1.5	
Maximum Power (P _{max})	142W
Maximum Power Voltage (V _{mpp})	23.2V
Maximum Power Current (I _{mp})	6.13A
Open Circuit Voltage (V _{oc})	29.9V
Short Circuit Current (I _{sc})	6.62A

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) : 47°C

Cells	
Number per Module	54

Module Characteristics	
Length × Width × Depth	1425mm(56.2in)×990mm(39.0in)×36mm(1.4in)
Weight	18.5kg(40.7lbs.)
Cable	(+)720mm(28.3in), (-)1800mm(70.9in)

Junction Box Characteristics	
Length × Width × Depth	113.6mm(4.5in)×76mm(3.0in)×9mm(0.4in)
IP Code	IP65

Reduction of Efficiency under Low Irradiance	
Reduction	7.8%

Reduction of efficiency from an irradiance of 1000W/m² to 200W/m² (module temperature 25°C)

Le panneau photovoltaïque

function $i = fcn(v, t, g, ns)$

$i=15;$

$tn=298;$

$gn=1000;$

$ki=0.0032;$

$ipvn=8.214;$

$k=1.380 \cdot 10^{-23};$

$q=1.602 \cdot 10^{-19};$

$kv=-0.1230;$

$vocn=32.9;$

$a=1.3;$

$rs=0.221;$

$rp=412.405;$

$iscn=8.21;$

$ipv=(g/gn) \cdot (ipvn + (ki \cdot (t - tn)));$

$vt=(ns \cdot k \cdot t)/q;$

$i0=(iscn + (ki \cdot (t - tn)))/(exp((vocn + (kv \cdot (t - tn)))/(vt \cdot a)) - 1);$

$i=ipv - (i0 \cdot (exp((v + rs \cdot i)/(vt \cdot a)) - 1)) - ((v + rs \cdot i)/rp);$

3.2.1 Algorithme P&O(perturbe and observe)

```
function D = PO(V,I,T)
persistent P2 P1 dP d dd n;
if isempty(V)
    V=29.53; %V=30;
end
if isempty(I)
    I=0;
end
if isempty(P2)
    P2=0;
end
if isempty(P1)
    P1=0;
end
if isempty(dP)
    dP=0;
end
if isempty(d)
    d=1;
end
if isempty(dd)
    dd=0;
end
if isempty(n)
    n=1;
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if (T > n*0.02) %chu ki lay mau 0.02s
    n = n + 1;
    P1=P2;
    P2=V*I;
    dP=P2-P1;
    if (dd==0)
        if dP>1
            dd=0.01;
            d=d+dd;
        else
            if dP<-1
                dd=-0.01;
                d=d+dd;
            else
                dd=0;
            end
        end
    end
end
end
```

```
    end
  end
else
  if ((dP<1)&&(dP>-1))
    dd=0;
    d=d+dd;
  else
    if ((dP/dd)>0)
      dd=0.01;
      d=d+dd;
    else
      dd=-0.01;
      d=d+dd;
    end
  end
end
end
end
D=d;
if D~0.68
  d=0.68;
end
end
```

3.2.2 Algorithme incremental conductance (InCn)

```
function y= MPPT(V,I,V0,I0,D)
m=0;
dV=V-V0;dl=I-I0;
if dV==0
  if dl==0,m=D;
  else
    if dl>0,m=D-0.01;
    else
      m=D+0.01;
    end
  end
end
else if dl/dV==-(I/V)
  else
    if dl/dV>-(I/V),m=D-0.01;
    else
      m=D+0.01;
    end
  end
end
end
y=m;
```