

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**  
**Université Echahid Hamma Lakdhar- EL Oued**

Faculté de la Technologie  
Département de Génie Electrique

## **MÉMOIRE**

**Présenté en vue de l'obtention du diplôme de**

## **MASTER**

**Spécialité : Réseaux Electrique**

**Présenté par :**

- Heniat Mohammed Salah
- Ben Aoun Ilies

**Contribution à l'approche de suivi du point de puissance maximale des système photovoltaïques pour des conditions uniform**

Soutenue le :17/06 /2021

Devant le jury composé de :

**Dr : Mamri Oussama**

Président

**Dr : Berka Nour Eddine**

Examineur

**Dr : Labbi Yacine**

Encadreur

**Année universitaire 2020/2021**

# Dédicace

*Ma Mère, Mon Père*

*Affable, honorable, aimable : vous représentez pour moi*

*Le symbole de la bonté par excellence, la source de*

*tendresse*

*et l'exemple du*

*dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier*

*pour moi.*

*Soyez sûrs que je continuerai mon chemin.*

*Je vous dédie ce travail en témoignage de mon profond*

*amour.*

*Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous*

*accorder santé,*

*longue vie et bonheur.*

*à mes sœurs*

*à mes frères*

*En témoignage de l'attachement, de l'amour et de*

*L'affection que je porte pour vous.*

*à tous les membres de ma famille, petits et grands*

*à tous mes amis de proches :*

*Veillez trouver dans ce modeste travail l'expression de*

*mon*

*Affection*

**HENIAT Mohammed Salah**

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents*

*Qui n'ont jamais cessé d'être à l'écoute et pour tous leurs  
sacrifices*

*A mes sœurs*

*Vous avez de près ou de loin contribué à ma formation.*

*Affectueuse reconnaissance Meilleurs vœux de succès dans  
vos études et dans votre vie.*

*A mes oncles, tantes, cousins, cousines et à toute ma  
famille.*

*Vous m'avez encouragée et aidée quand j'avais besoin de  
vous. Je n'aurais jamais pu le faire sans vous. Mes sincères  
remerciements.*

*A tous mes enseignants, du primaire à l'université.*

*A tous mes amis et collègues de cette promotion*

*A tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour la  
réalisation de ce travail et ceux qui m'espèrent la réussite.*

*Et à tous ceux qui leurs revient du droit*

**BEN Aoun Ilies**

## Remerciements

*Avant tout, nous remercions Dieu le tout puissant de nous  
avoir donné le courage, la volonté, la patience, et la santé  
durant toutes ces longues années d'étude.*

*Nous adressons nos sincères remerciements à tous nos  
enseignants de l'université d'EL OUED, notamment à notre  
encadreur Dr:Obeidi Nabil et Labbi Yacine  
d'avoir proposé le sujet sur lequel nous avons travaillé, et qui a  
assuré la direction et l'encadrement du travail présenté dans ce  
Enfin, mes remerciements vont à tous ceux qui m'ont soutenu  
de près ou de loin à réussir ce travail.*

**Nos vives salutations.**

### ملخص

في السنوات الأخيرة ، كان هناك اهتمام كبير بالطاقات المتجددة وبشكل أكثر تحديداً الطاقة الكهروضوئية. يتعلق هذا المشروع بتصميم وإنجاز محول DC / DC من نوع Buck-Boost في سلسلة كهروضوئية يتم التحكم فيها بواسطة تقنية INC-MPPT لضمان السعي للحصول على أقصى طاقة يوفرها مولد PV على أساس متحكم Arduino UNO. يتم التحقق من فعالية الضوابط المقترحة من خلال النتائج التجريبية.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة الكهروضوئية ، محول Buck-Boost ، تحكم MPPT.

### Résumé

Durant ces dernières années, il y a eu un intérêt considérable pour les énergies renouvelables et plus particulièrement l'énergie photovoltaïque.

Ce projet porte sur la conception et la réalisation du convertisseur DC/DC de type Buck-Boost dans une chaîne Photovoltaïque commandé par INC-MPPT technique pour assurer la poursuite de la puissance maximale fournie par un générateur PV à base de microcontrôleur Arduino UNO.

L'efficacité des de control proposés est vérifiée par des résultats expérimentaux.

**Mots clés :** Photovoltaïque , Convertisseur Buck-Boost , Commande MPPT.

### Summary

In recent years, there has been considerable interest in renewable energies and more specifically photovoltaic energy.

This project concerns the design and realization of the Buck-Boost type DC / DC converter in a photovoltaic chain controlled by technical INC-MPPT to ensure the pursuit of the maximum power supplied by a PV generator based on an Arduino UNO microcontroller.

The effectiveness of the proposed controls is verified by experimental results.

**Keywords:** Photovoltaic, Buck-Boost converter, MPPT control.

## LISTE DES FIGURES

| <b>Figure</b> | <b>Désignation</b>                                                                          | <b>Page</b> |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Figure I.1    | Principe de fonctionnement des panneaux.                                                    | 4           |
| Figure I.2    | Pratique de diode unique idéal.                                                             | 6           |
| Figure I.3    | Pratique à diode unique modèle.                                                             | 6           |
| Figure I.4    | Organigramme pour trouver le courant de cellule d'un modèle à diode simple et diode double. | 10          |
| Figure I.5    | Simulation d'un panneau solaire avec MATLAB.                                                | 10          |
| Figure I.6    | I-V caractéristique d'une diode unique pour varier l'irradiance $G$ ( $W/m^2$ ).            | 11          |
| Figure I.7    | I-V Caractéristique d'une diode unique pour varier température $T$ ( $^{\circ}C$ ).         | 11          |
| Figure I.8    | P-V Caractéristique d'une diode unique pour varier l'irradiance $G$ ( $W/m^2$ ).            | 12          |
| Figure I.9    | P-V Caractéristique d'une diode unique pour varier température $T$ ( $^{\circ}C$ ).         | 12          |
| Figure II.1   | Système de conversion photovoltaïque.                                                       | 14          |
| Figure II.2   | Symbole d'un hacheur DC/DC.                                                                 | 15          |
| Figure II.3   | Circuit électrique de Hacheur abaisseur.                                                    | 17          |
| Figure II.4   | Circuit de convertisseur Buck sur SimPowerSystem.                                           | 21          |
| Figure II.5   | Tension de sortie Buck.                                                                     | 22          |
| Figure II.6   | Courant de sortie Buck.                                                                     | 22          |
| Figure II.7   | Système photovoltaïque suivi par un hacheur de type Boost.                                  | 23          |
| Figure II.8   | Circuit de convertisseur Boost sur SimPowerSystem.                                          | 27          |
| Figure II.9   | Tension de sortie boost.                                                                    | 27          |
| Figure II.10  | Courant de sortie boost.                                                                    | 28          |

## LISTE DES FIGURES

|               |                                                                                                                                         |    |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure II.11  | Circuit équivalent du convertisseur Buck-Boost.                                                                                         | 28 |
| Figure II.12  | Circuit de convertisseur Buck-Boost sur SimPowerSystem.                                                                                 | 33 |
| Figure II.13  | Tension de sortie Buck Boost.                                                                                                           | 33 |
| Figure II.14  | Courant de sortie buck boost.                                                                                                           | 34 |
| Figure III.1  | Algorithme de la Tension Constante (FCO).                                                                                               | 37 |
| Figure III.2  | Algorithme du constant courant (FCC).                                                                                                   | 38 |
| Figure III.3  | Recherche du PPM par la méthode (P&O).                                                                                                  | 39 |
| Figure III.4  | l'algorithme de P&O classique.                                                                                                          | 40 |
| Figure III.5  | Programme et schéma block de la technique P&O.                                                                                          | 41 |
| Figure III.6  | caractéristique de tension-puissance du panneau.                                                                                        | 41 |
| Figure III.7  | L'algorithme IncCond classique.                                                                                                         | 43 |
| Figure III.8  | Programme et schéma bloc de la technique INC.                                                                                           | 44 |
| Figure III.9  | Stateflow de la technique INC.                                                                                                          | 44 |
| Figure III.10 | Simulation du system photovoltaïque avec technique INC-MPPT.                                                                            | 45 |
| Figure III.11 | Résultat de la simulation du suivi des formes d'onde pour les deux algorithmes INC-MPPT : (a) puissance PV et (b) tension du module PV. | 47 |
| Figure IV.1   | Carte arduino.                                                                                                                          | 50 |
| Figure IV.2   | photo de microcontrôleur.                                                                                                               | 52 |
| Figure IV.3   | Arduino DUE.                                                                                                                            | 53 |
| Figure IV.4   | Arduino MEGA.                                                                                                                           | 54 |
| Figure IV.5   | Arduino NANO.                                                                                                                           | 55 |
| Figure IV.6   | Les entrées / sorties numeriques.                                                                                                       | 57 |
| Figure IV.7   | Les entrées analogique.                                                                                                                 | 58 |

## LISTE DES FIGURES

|              |                                                                                                                                                                              |    |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure IV.8  | Les sorties analogique.                                                                                                                                                      | 58 |
| Figure IV.9  | Les tensions de references.                                                                                                                                                  | 58 |
| Figure IV.10 | L'écran de démarrage Arduino.                                                                                                                                                | 60 |
| Figure IV.11 | L'interface de logiciel.                                                                                                                                                     | 60 |
| Figure IV.12 | La barre d'outils.                                                                                                                                                           | 61 |
| Figure IV.13 | Interface IDE Arduino.                                                                                                                                                       | 61 |
| Figure IV.14 | Recommended LED Drive and Application Circuit.                                                                                                                               | 62 |
| Figure IV.15 | Diagramme de bloc de compteur Timer2.                                                                                                                                        | 64 |
| Figure IV.16 | Mode PWM rapide, diagramme de synchronisation.                                                                                                                               | 65 |
| Figure IV.17 | Prescaler pour Timer / Counter2.                                                                                                                                             | 66 |
| Figure IV.18 | Experimental test de INC-MPPT algorithm programme par stateflow/Matlab/Similink avec 2 enter analogique, en plus le ploque de generateur de MLI rapide (S-Function Builder). | 70 |
| Figure IV.19 | contrôle de la tension du convertisseur élévateur DC / DC Buck -Boost de la carte arduino.                                                                                   | 70 |
| Figure IV.20 | Photo réel de véhicule.                                                                                                                                                      | 71 |
| Figure IV.21 | Suivi des performances sous les changements d'irradiance : formes d'onde expérimentales de INC-MPPT,(A) voltage de panneau,(B) courent de panneau,(C) puissance de panneau.  | 71 |

**LISTE DES TABLEAUX**

| <b>Tableau</b> | <b>Désignation</b>                                                | <b>Page</b> |
|----------------|-------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tableau.I.1    | Caractéristiques électriques du module PV.                        | 9           |
| Tableau.III.1  | Tableau de vérité de l'algorithme « perturbation & observation ». | 40          |
| Tableau.II.2   | Caractéristiques électriques du module PV.                        | 46          |
| Tableau.III.2  | Comparaison des techniques MPPT.                                  | 48          |
| Tableau.IV.1   | La carte arduino UNO.                                             | 53          |
| Tableau.IV.2   | La carte arduino DUE.                                             | 54          |
| Tableau.IV.3   | La carte arduino MEGA.                                            | 55          |
| Tableau.IV.4   | La carte arduino NANO.                                            | 56          |
| Tableau.IV.5   | Comparer le mode de sortie, mode non PWM.                         | 67          |
| Tableau.IV.6   | Comparer le mode de sortie, le mode PWM rapide.                   | 67          |
| Tableau.IV.7   | Description du bit du mode de génération de forme d'onde.         | 68          |
| Tableau.IV.8   | Description du bit de sélection de l'horloge.                     | 69          |

### **Liste des abréviations et Nomenclature**

GTO : Gate-Turn-Off thyristor.

MOSFETS : Transistors à effet de champ d'oxyde de métal.

IGBT : Insulated-Gate-Bipolar-Transistor.

GPV : générateur photovoltaïque.

MPPT : Maximum power point tracker.

DC-DC : Direct Current-Direct Current.

BJT b : Power bipolar junction transistor.

PV : Photovoltaïque.

IC : conductance Incrémentale.

PSO : Particle Swarm Optimization.

P&O : perturbation et observation.

PWM : Pulse with modulation.

MLI : Modulation de Largeur d'Impulsion.

FF : Facteur de forme.

### **Nomenclature**

$I_0$  : Courant de sortie [A].

$I_d$  : Courant de la diode.

$I_{ph}$  : le photo-courant.

$I_{SC}$  : le courant de court-circuit de la cellule [A].

$V_{ph}$  : Tension de sortie de la cellule(V).

$V_0$  : Tension de sortie [V].

$V_L$  : Tension aux bornes de l'inductance [V].

$V_{OC}$  : La tension du circuit-ouvert.

$R_{ph}$  : la résistance de photovoltaïque.

$R_s$  : Résistance série.

## **LISTE DES ABREVIATIONS ET NOMENCLATURE**

$T_1$  : est une température standard normale.

$I_{ref}$  : courant de reference.

$V_{ref}$  : tension de reference.

$P_{MAX}$  :Puissance maximale [W].

$n_p$  : Nombre de particules dans l'espace de recherche .

## **SOMMAIRE**

|                                                    |          |
|----------------------------------------------------|----------|
| <b>Résume .....</b>                                | <b>A</b> |
| <b>Liste des figures.....</b>                      | <b>B</b> |
| <b>Liste des tableaux.....</b>                     | <b>E</b> |
| <b>Liste des abréviations et nomenclature.....</b> | <b>I</b> |
| <b>Sommaire.....</b>                               | <b>i</b> |
| <b>Introduction générale.....</b>                  | <b>1</b> |

### **CHAPITRE I : LES SYSTEM PHOTOVOLTAIQUE**

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I.1 INTRODUCTION .....</b>                                               | <b>3</b>  |
| <b>I.2 L'ENERGIE SOLAIRE :.....</b>                                         | <b>3</b>  |
| I.2.1 SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE :.....                                         | 3         |
| • Production d'énergie : .....                                              | 3         |
| • Contrôle d'énergie .....                                                  | 3         |
| • La partie utilisation: .....                                              | 3         |
| <b>I.3 LES PANNEAUX SOLAIRES :.....</b>                                     | <b>4</b>  |
| I.3.1 LE FONCTIONNEMENT DES PANNEAUX SOLAIRES :.....                        | 4         |
| I.3.2 LES DIFFERENTS TYPES DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES :.....              | 4         |
| • I.3.2.1 Les Panneaux PV Avec Des Cellules Monocristallines : .....        | 4         |
| • I.3.2.2 Les panneaux PV Avec Des Cellules Poly-cristallines : .....       | 4         |
| • I.3.2.3 Les Modules Photovoltaïques Amorphes : .....                      | 5         |
| <b>I.4 LA CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE : .....</b>                                | <b>5</b>  |
| I.4.1 FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PV : .....                               | 5         |
| I.4.2 CIRCUIT PV ELECTRIQUE EQUIVALENT : .....                              | 6         |
| • A. Pratique de diode unique idéal : .....                                 | 6         |
| • B. Pratique à diode unique modèle : .....                                 | 6         |
| <b>I.5 EQUATIONS MATHEMATIQUES POUR LE TRACE DES COURBES I-V ET P-V : 7</b> |           |
| <b>I.6. MODELISATION DU MODULE PV :.....</b>                                | <b>9</b>  |
| <b>I.7.LA SIMULATION DE PHOTOVOLTAÏQUE MODULE :.....</b>                    | <b>10</b> |
| <b>I.8. RESULTATS ET DISCUSSIONS : .....</b>                                | <b>11</b> |
| <b>I.10 CONCLUSION :.....</b>                                               | <b>12</b> |

**CHAPITRE II : LES SYSTEM PHOTOVOLTAIQUE**

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>II.1 INTRODUCTION :</b>                                        | <b>14</b> |
| <b>II.2 ETUDE DES CONVERTISSEURS DC-DC :</b>                      | <b>14</b> |
| II.2.1 CONVERTISSEUR DC/DC (HACHEUR) :                            | 14        |
| II.2.2 TYPE DES HACHEURS :                                        | 15        |
| II.2.3 APPLICATIONS DES CONVERTISSEURS DC-DC :                    | 16        |
| II.2.4 CONSIDERATION DE COMMUTATION DES CONVERTISSEURS DC-DC:     | 16        |
| <b>II.3 CONVERTISSEUR ABAISSEUR (BUCK) :</b>                      | <b>16</b> |
| II.3.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :                               | 17        |
| • II.3.1.2 Modélisation du circuit:                               | 17        |
| • II.3.1.3 Representation d'etat:                                 | 18        |
| <b>II.4. DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DU CONVERTISSEUR BUCK :</b> | <b>20</b> |
| II.4.1 LE CAHIER DE CHARGE :                                      | 20        |
| II.4.2 CALCUL ET CHOIX DES ELEMENTS :                             | 20        |
| II.4.3 SIMULATION :                                               | 21        |
| • II.4.3.1 Les Resultas de Simulink :                             | 21        |
| <b>II.5 CONVERTISSEUR ELEVATEUR (BOOST) :</b>                     | <b>22</b> |
| II.5.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :                               | 23        |
| • II.5.1.1 Modélisation du circuit:                               | 23        |
| • II.5.1.2 Representation d'état :                                | 24        |
| • II.5.1.3 Dimensionnement des Eléments du Convertisseur BOOST :  | 26        |
| • III.5.1.4 le Cahier de Charge :                                 | 26        |
| • III.5.1.5 Calcul et Choix des Eléments :                        | 26        |
| II.5.2 SIMULATION:                                                | 27        |
| II.5.3 LES RESULTAS DE SIMULINK:                                  | 27        |
| <b>II.6 CONVERTISSEUR BUCK-BOOST :</b>                            | <b>28</b> |
| II.6.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT :                               | 28        |
| • II.6.1.1Modélisation du circuit:                                | 29        |
| • II.6.1.2 Representation d'état:                                 | 29        |
| II.6.2 DIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS DU CONVERTISSEUR BUCK-BOOST : | 31        |
| • II.6.2.1 le Cahier de Charge :                                  | 31        |
| • II.6.2.2 Calcul et Choix des Eléments :                         | 31        |
| II.6.3 SIMULATION :                                               | 33        |
| II.6.4 LES RESULTAS DE SIMULINK:                                  | 33        |
| <b>II.7 CONCLUSION :</b>                                          | <b>34</b> |

**CHAPITRE III : LES ALGORITHMES MPPT**

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>III. INTRODUCTION :</b>                                                  | <b>36</b> |
| <b>III.1 LES ALGORITHMES MPPT :</b>                                         | <b>36</b> |
| <b>III.2 APPROCHE DE LA TENSION CONSTANTE (CV, CONSTANT VOLTAGE) :.....</b> | <b>36</b> |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>III.3 APPROCHE DU COURANT CONSTANT (CONSTANT CURRENT) :.....</b>             | <b>37</b> |
| <b>III.4 PERTURBATION ET OBSERVATION (P&amp;O, PERTURB AND OBSERVE) : .....</b> | <b>39</b> |
| <b>III.5 CONDUCTANCE INCREMENTALE (INC, INCREMENTAL CONDUCTANCE) :41</b>        |           |
| III.5.1 LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS.....                                 | 45        |
| • a.Avantage : .....                                                            | 45        |
| • b.Inconvénients : .....                                                       | 45        |
| <b>III.6 RESULTATS DE SIMULATION : .....</b>                                    | <b>45</b> |
| <b>III.7 DISCUSSION.....</b>                                                    | <b>47</b> |
| <b>TABLEAU III.3.COMPARAISON DES TECHNIQUES MPPT. ....</b>                      | <b>48</b> |
| <b>III.8 CONCLUSION :.....</b>                                                  | <b>48</b> |

## CHAPITRE IV : EXPERIMENTAL TEST DE SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>IV.1.INTRODUCTION : .....</b>                         | <b>50</b> |
| <b>IV.1 DEFINITION DE LA CARTE ARDUINO :.....</b>        | <b>50</b> |
| IV .2.1. POURQUOI ARDUINO UNO : .....                    | 50        |
| • Le Prix (Réduits) : .....                              | 50        |
| IV .2. 2 LA CONSTITUTION DE LA CARTE ARDUINO UNO : ..... | 51        |
| IV .2.3 PARTIE MATERIELLE :.....                         | 51        |
| IV .2.4 LE MICROCONTROLEUR ATMEGA328 :.....              | 51        |
| • La mémoire Flash: .....                                | 51        |
| • RAM.....                                               | 51        |
| • EEPROM : .....                                         | 51        |
| • Registres: .....                                       | 51        |
| • Le processeur :.....                                   | 51        |
| IV .2.5 LES DIFFERENTES CARTES ARDUINO : .....           | 52        |
| • IV.2.5.1 Arduino UNO: .....                            | 52        |
| • IV.2.5.2 Arduino Due : .....                           | 53        |
| • IV.2.5.3 Arduino Mega 2560 : .....                     | 54        |
| • IV.2.5.4. Arduino Nano: .....                          | 55        |
| IV.2.6 LES ENTREES / SORTIES : .....                     | 56        |
| • IV.2.6.1 Les entrées / sorties numeriques :.....       | 56        |
| • IV.2.6.2 Les sorties numeriques : .....                | 57        |
| • IV.2.6.3.Les entrées numeriques : .....                | 57        |
| • IV.2.6.4 Les entrées analogique : .....                | 57        |
| • IV.2.6.5 Les sorties analogique : .....                | 58        |
| • IV.2.6.6 Les tensions de references : .....            | 58        |
| IV 2.7 LE PORTE USB :.....                               | 59        |
| IV.2.8 LES PORTS DE COMMUNICATIONS : .....               | 59        |
| IV.2.9 PARTIE PROGRAMME : .....                          | 59        |
| IV.2.10 L'ENVIRONNEMENT DE LA PROGRAMMATION :.....       | 59        |
| • IV.2.10.1 Le logiciel : .....                          | 59        |

|                                                                              |           |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| • IV 2.10.2 L'interface de logiciel : .....                                  | 59        |
| • IV 2.10.3 Lancement du logiciel : .....                                    | 59        |
| • IV.2.10.4 Les boutons : .....                                              | 60        |
| IV.2.11 STRUCTURE GENERALE DU PROGRAMME (IDE ARDUINO):.....                  | 61        |
| <b>IV.3 LES ELIMENT DU SYSTEM PHOTOVOLTAIQUE:.....</b>                       | <b>61</b> |
| IV.3.1 GATE DRIVER: .....                                                    | 61        |
| IV.3.2 LES CONPOSENT ETULISE SUR LE SYSTEM PHOTOVOLTAIQUE : .....            | 62        |
| <b>VI.4 PWM (MLI) DANS UN TIMER 2: .....</b>                                 | <b>63</b> |
| VI.4.1 ILLUSTRE UN SCHEMA DE PRINCIPE DU COMPTEUR ET DE SES ENVIRONS : ..... | 63        |
| <b>VI.5 SOURCES DES HORLOGES DE MINUTERIE / COMPTEUR : .....</b>             | <b>64</b> |
| <b>IV.6 MODES DE FONCTIONNEMENT : .....</b>                                  | <b>64</b> |
| IV.6.1 MODE PWM (PLUS RAPIDE) : .....                                        | 64        |
| IV.6.2 MINUTERIE / COMPTEUR PRESCALER : .....                                | 66        |
| IV.6.3: COMPARER LE MODE DE SORTIE B DE CORRESPONDANCE : .....               | 67        |
| IV.6.4: WGM21: 0: MODE DE GENERATION DE FORME D'ONDE : .....                 | 68        |
| IV.6.5 : TCCR2B - REGISTRE DE CONTROLE DE LA MINUTERIE / COMPTEUR B : .....  | 68        |
| IV.6.6: CS22: 0: SELECTION DE L'HORLOGE : .....                              | 68        |
| IV.6.7: CS22: 0: SELECTION DE L'HORLOGE : .....                              | 69        |
| IV.6.8 : TCNT2 - REGISTRE DE MINUTERIE / COMPTEUR : .....                    | 69        |
| IV.6.9 : OCR2B - REGISTRE DE COMPARAISON DE SORTIE B : .....                 | 69        |
| IV.6.9 : EXPERIMENTAL TEST: .....                                            | 70        |

# **Introduction générale**

## Introduction générale

La consommation mondiale d'électricité observée durant ces dernières décennies est fortement liée au développement de l'industrie, du transport et des moyens de communications. De nos jours, une grande partie de la production électrique est produite à partir de ressources non renouvelables comme le charbon, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Leur vitesse de régénération est extrêmement lente à l'échelle humaine. Ce qui entrainera à plus ou moins courte échéance un risque non nul d'épuisement de ces ressources.

D'autant plus que la demande ne cesse de croître et dès à présent à être supérieure à l'offre, se traduisant par exemple par une forte fluctuation du prix mondial du pétrole.

On distingue plusieurs types de sources d'énergies renouvelables : l'énergie hydroélectrique, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie de la biomasse et l'énergie photovoltaïque.

Aujourd'hui, les énergies renouvelables deviennent progressivement des énergies à part entière, rivalisant avec des énergies fossiles du point de vue coût et performance de production. Cependant, leur système de conversion de l'énergie en électricité souffre souvent d'un manque d'optimisation qui en fait encore des systèmes trop chers, et présentant des déficiences importantes en rendement et en fiabilité. Pour cela, bien qu'il existe de plus en plus de travaux de recherches prouvant la viabilité de sources comme, par exemple, l'énergie photovoltaïque (PV) ou l'énergie éolienne, beaucoup de réticences existent encore pour installer ces systèmes à grande échelle, autant en production de masse que chez des particuliers.

A cause de la nature non linéaire du système photovoltaïque, il est difficile et compliqué de commander ce système par les régulateurs standard ; ces derniers nécessitent plusieurs simplifications et linéarisations du système, ce qui nous mène loin de la réalité de notre vrai système.

Dans ce mémoire, nous avons proposé la conception et la réalisation d'un convertisseur Buck-Boost fonctionnant en mode optimisation MPPT avec une technique de modulation de largeur d'impulsion rapide pilotée par Arduino Uno.

- le premier chapitre présente l'état de l'art, La caractérisation du modèle de la photopile paraît intéressant. L'influence des différents paramètres climatiques et autres sur les caractéristiques  $I(V)$  et  $P(V)$  a été abordée.
- Le deuxième chapitre est consacré à la présentation de différents hacheurs et la leur modélisation, avec présentation de résultats de simulation.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation de la définition de quelques algorithmes de MPPT qui ont été proposés dans la littérature.
- Le quatrième chapitre est consacré à des mesures expérimentales du test réel, avec création C-code Assembleur pour générer modulation de largeur d'impulsion rapide.

# Chapitre I

## **I.1 Introduction**

L'approche courante consiste à utiliser le circuit électrique équivalent, qui est principalement basé sur une source de courant généré par la lumière connectée en parallèle à une diode à jonction p-n, un modèle de diode unique idéal. De nombreux modèles ont été proposés pour la simulation d'une cellule solaire ou pour un système photovoltaïque (PV) complet à diverses intensités solaires et conditions de température.

## **I.2 L'énergie Solaire :**

Le soleil est assimilé à un corps noir rayonnant à une température de 6000 ° K. il est composé de 70% d'hydrogène et de 28% d'hélium, les 2% restants étant du carbone, de l'azote et d'autres éléments. Avec un diamètre de 1 391 000 km, le soleil est situé à 150 000 000 km de la terre. Cette énergie rayonnée par le soleil est due à des réactions thermonucléaires. En effet, il est désormais admis que le soleil est un hydrogène thermonucléaire

Le système solaire émet en permanence une énorme quantité d'énergie radiante et la terre reçoit une petite partie de cette énergie en moyenne, 1367 watts atteignent chaque mètre carré de la couche atmosphérique externe.

Le rayonnement normal au sol est de l'ordre de 1000. En effet, en traversant les différentes couches de l'atmosphère, une partie de l'énergie solaire est atténuée jusqu'à 51%. Le principe de ce travail est de transformer cette partie de l'énergie solaire en énergie électrique ou en toute forme d'énergie qui nous servira[1].

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité dans un matériau semi-conducteur tel que le silicium, ce matériau photosensible a la propriété de libérer des électrons sous l'influence d'énergie extérieure. Cette énergie fournie par les photons arrache les électrons et introduit un courant électrique: c'est le système photovoltaïque[2].

### **I.2.1 Système Photovoltaïque :**

Un système photovoltaïque se compose de trois parties principales. La première partie est consacrée à la production d'énergie électrique, la deuxième partie est le contrôle de l'énergie et dirige cette énergie au besoin, et la troisième partie est l'alimentation des différents récepteurs

- **Production d'énergie :** la partie production d'énergie est essentiellement composée d'un ou plusieurs modules, qui transforment l'énergie solaire en électricité. Un panneau photovoltaïque est constitué de petites cellules qui génèrent une très faible puissance électrique (1 à 3 W) avec une tension continue inférieure à 1V. Pour générer plus d'électricité, ces cellules sont connectées en série pour former un module ou une colonne. Enfin, les panneaux sont jumelés.

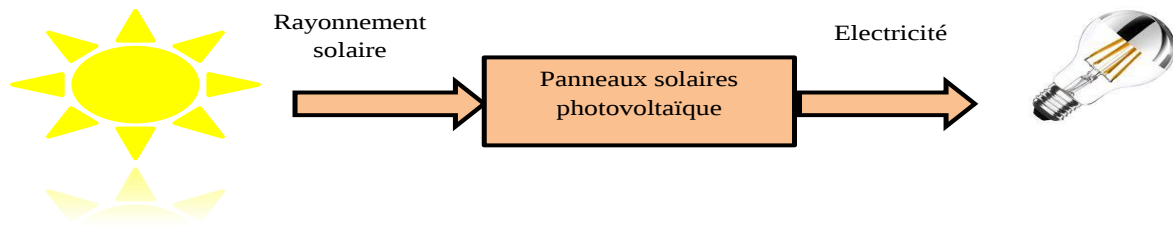
- **Contrôle d'énergie :** Un dispositif de stockage avec ou sans régulation, ainsi que les câbles de liaison, constituent la partie contrôle d'énergie.

- **La partie utilisation:** c'est constituée de plusieurs récepteurs (exemple: éclairage, pompage, etc)[3].

### I.3 Les Panneaux Solaires :

#### I.3.1 Le Fonctionnement Des Panneaux Solaires :

Les cellules photovoltaïques, qui sont des composants électroniques capables de générer de l'électricité à partir du rayonnement solaire grâce à l'effet photo, constituent les panneaux solaires[3].



**Figure I.1** principe de fonctionnement des panneaux photovoltaïques.

#### I.3.2 Les Différents Types Des Panneaux Photovoltaïques :

##### I.3.2.1 Les Panneaux PV Avec Des Cellules Monocristallines :

Les panneaux photovoltaïques à cellules monocristallines sont la première génération de cellules solaires, construites à partir d'un seul bloc cristallisé de silicium.

Son processus de fabrication est long et énergivore, ainsi que plus coûteux; cependant, il est plus compétitif que le silicium polycristallin. Pour fabriquer une barre, du silicium brut est fondu. Un monocristal se forme lorsque le silicium est refroidi lentement et soigneusement.

La barre de silicium est ensuite découpée en plaquette (substrat de silicium). La plaquette devient une cellule après différents traitements (traitement de surface acide, dopage et formation de la jonction p-n, dépôt d'une couche antireflet et mise en place de collecteurs). Les cellules sont de forme rectangulaire ou presque carrée et ont une couleur uniforme lorsqu'elles sont vues de près. Ils ont un rendement de 12 à 18 pour cent, mais la méthode de traitement demande beaucoup de travail[4].

##### I.3.2.2 Les panneaux PV Avec Des Cellules Poly-cristallines :

Les panneaux photovoltaïques à cellules polycristallines sont constitués d'un bloc de silicium cristallisé sous forme de cristaux multiples. Vu de près, on peut voir les différentes orientations des cristaux (différents tons).

Elles ont une efficacité de 11 à 15%, mais elles sont moins coûteuses à produire que les cellules monocristallines. Ces cellules se sont maintenant développées en raison de leur capacité à augmenter la productivité[5].

### **I.3.2.3 Les Modules Photovoltaïques Amorphes :**

Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien inférieur, mais malheureusement leur efficacité n'est que de 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet l'utilisation de très fines couches de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. L'efficacité de ces panneaux est inférieure à celle des technologies polycristallines ou monocristallines[6]. Le silicium amorphe, quant à lui, permet la production à faible coût de panneaux de grande surface avec peu de matière première.

### **I.4 La Cellule Photovoltaïque :**

L'effet PV, qui est utilisé dans les cellules solaires, permet de transformer directement l'énergie lumineuse des rayons du soleil en électricité en produisant et en transportant des charges électriques positives et négatives dans un semi-conducteur sous l'influence de la lumière. Ce matériau est divisé en deux parties, l'une avec une abondance d'électrons et l'autre avec un déficit d'électrons, respectivement appelées dopées de type n et dopées de type p.

Lorsque le premier entre en contact avec le second, les électrons en excès dans le matériau n se dispersent dans le matériau p. La zone dopée n devient chargée positivement, tandis que la zone dopée p devient chargée négativement. Les électrons sont repoussés dans la zone n, tandis que les trous sont repoussés dans la zone p, créant un champ électrique entre eux. En conséquence, une jonction p-n est formée. Une diode est réalisée en connectant les zones n et p avec des contacts métalliques.

Lorsque la jonction est éclairée, les photons avec une énergie égale ou supérieure à la largeur de la bande interdite communiquent leur énergie aux atomes, ce qui entraîne la formation d'une paire électron-trou. Lorsqu'une charge est appliquée aux bornes de la cellule, les électrons de la zone n pénètrent dans les trous de la zone p via la liaison externe, provoquant la circulation d'une différence de potentiel et d'un courant.

En conséquence, l'effet dépend des propriétés semi-conductrices du matériau et du dopage pour améliorer la conductivité. La présence de quatre électrons de valence sur la coque périphérique du silicium utilisé dans la plupart des cellules modernes a été choisie. Chaque atome tétravalent du silicium solide est connecté à quatre voisins et tous les électrons de la couche périphérique participent aux liaisons[7].

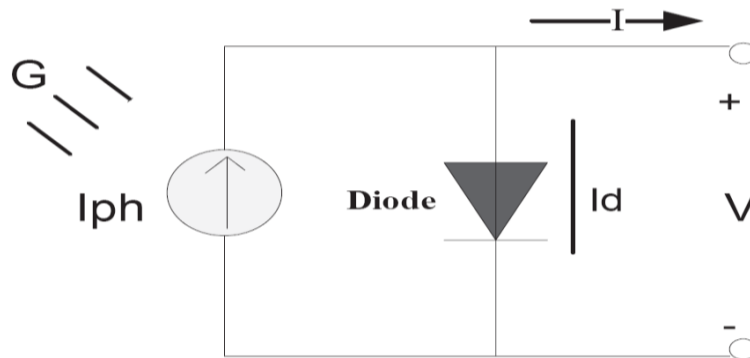
#### **I.4.1 Fonctionnement D'une Cellule PV :**

Pour être en mesure d'expliquer le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, vous devez d'abord passer en revue certaines notions de physique du solide.

En physique du solide, la théorie des bandes peut être utilisée pour modéliser les niveaux d'énergie que les électrons d'un atome peuvent occuper[5].

### I.4.2 Circuit PV Electrique Equivalent :

#### A. Pratique de diode unique idéal :



**Figure.I.2** pratique de diode unique ideal.

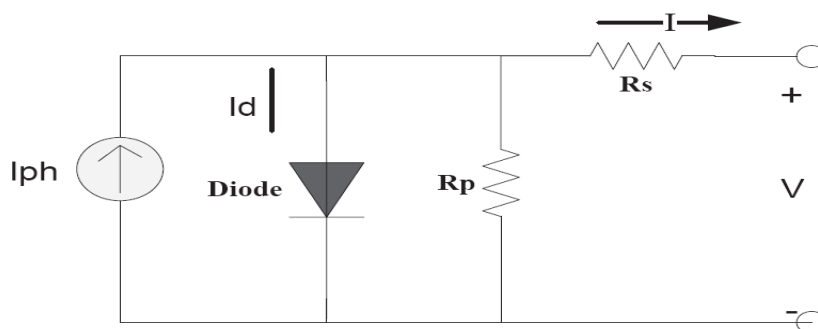
C'est l'une des formes les plus simplifiées d'une cellule PV idéale à travers laquelle la tension de sortie et les relations de courant se révèlent être mais ce modèle ne donne pas des caractéristiques précises des courbes I-V et P-V.

$$I_o = I_{ph} - I_d \quad (\text{I.1})$$

$$I_d = I_o \left( e^{\frac{v}{n_s V_t}} - 1 \right) \quad (\text{I.2})$$

$$v_r = \frac{nkt}{q} \quad (\text{I.3})$$

#### B. Pratique à diode unique modèle :



**Figure I.3** pratique a diode unique modèle.

Celui-ci est un circuit équivalent d'une cellule PV pratique. Dans de nombreuses littératures, il est également appelé modèle à cinq paramètres ( $I_o, n, R_s, R_{ph}, I_{ph}$ ). Il prend en compte différentes propriétés de la cellule solaire comme :

- $R_s$  est introduit de manière à prendre en compte les chutes de tension et les pertes internes dues au flux de courant.
- $R_{ph}$  prend en compte le courant de fuite vers la terre lorsque la diode est polarisée en inverse.

Mais ce modèle a négligé l'effet de recombinaison de la diode, c'est pourquoi ce n'est toujours pas le modèle le plus précis

$$I = I_{ph} - I_o \left( e^{\frac{V + IR_s}{n_s V_T}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (I.4)$$

Il s'agit de la forme modifiée du circuit à diode unique qui prend en compte l'effet de la recombinaison en introduisant une autre diode en parallèle

$$I = I_{o1} - I_{ph} \left( e^{\frac{V + IR_s}{n_{s1} V_{T1}}} \right) - I_{o2} \left( e^{\frac{V + IR_s}{n_{s2} V_{T2}}} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (I.5)$$

### I.5 Equations Mathématiques Pour Le Tracé Des Courbes I-V et P-V :

Comme le courant traversant  $R_p$  est très inférieur à celui d'autres courants, la valeur de  $R_p$  a été supposée négligeable par souci de simplicité de calcul.

Maintenant, le photo-courant et le courant de saturation inverse sont des paramètres dépendant de la température comme,

$$I_{ph} = (I_{ph})_{T1} + k_o (T - T1) \quad (I.6)$$

Où,  $T1$  est une température standard normale .

$$(I_{ph})_{T1} = (I_{sc})_{T1} \frac{G}{G_{STC}} \quad (I.7)$$

$$K_o = \frac{(I_{sc})_{T2} - (I_{sc})_{T1}}{T_2 - T_1} \quad (I.8)$$

Le photo-courant de la cellule est directement proportionnel à l'irradiance. Bien que les performances des cellules ne se dégradent pas de manière significative, l'efficacité des cellules PV dépend de l'énergie solaire incidente.

$$I_o = (I_o)_{T1} * \left( \frac{T}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} * e^{\frac{q(Eg)T_1}{nk} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)} \quad (I.9)$$

$$(I_o)_{T1} = \frac{(I_{sc})T_1}{\left( e^{\frac{q(V_{oc})_{T1}}{nk_{T1}-1}} \right)} \quad (I.10)$$

La valeur de la résistance série peut être estimée par.

$$Rs = - \left( \frac{dV}{dI} \right)_{V_{oc}} - \frac{1}{X_v} \quad (I.11)$$

$$X_v = (I_o)_{T1} \frac{q}{nkT_1} e^{\frac{q(V_{oc})_{T1}}{nkT_1}} - \frac{1}{X_v} \quad (I.12)$$

L'organigramme pour l'estimation du courant de la cellule avec l'irradiance, la température et la tension de la cellule comme paramètres d'entrée est comme indiqué sur la figure 4. La tension de la cellule doit être une matrice de vecteur de ligne dont la plage doit couvrir toutes les valeurs possibles que la cellule PV est capable de produire dans des conditions spécifiées des fabricants

Le rapport entre la puissance maximale pouvant être fournie à la charge et le produit de  $I_{sc}$ ,  $V_{oc}$  est appelé facteur de remplissage. C'est une mesure des caractéristiques réelles I-V. Pour une valeur de 0,7 ou plus, sont considérées comme de bonnes cellules. FF augmente avec la diminution de la température

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (I.13)$$

À partir des caractéristiques I-V de la cellule PV, par rapport au circuit équivalent à une diode unique, sont résolues à des points extrêmes, il devient, en condition de circuit ouvert :

$$0 = I_{ph} - I_o \left( e^{\frac{V_{oc} + IR_s}{n_s V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc} + IR_s}{R_p} \quad (I.14)$$

En condition de court-circuit :

$$I_{sc} = I_{ph} - I_o \left( e^{\frac{I_{sc} R_s}{n_s V_T}} - 1 \right) - \frac{I_{sc} R_s}{R_p} \quad (I.15)$$

En condition de point de puissance maximale :

$$I_{m,p} = I_{ph} - I_o \left( e^{\frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{n_s V_T}} - 1 \right) - \frac{V_{mp} + I_{mp} R_s}{R_p} \quad (I.16)$$

En utilisant les équations ci-dessus, les caractéristiques des cellules solaires photovoltaïques peuvent être produites. Et une fois que les courbes caractéristiques I-V et P-V.

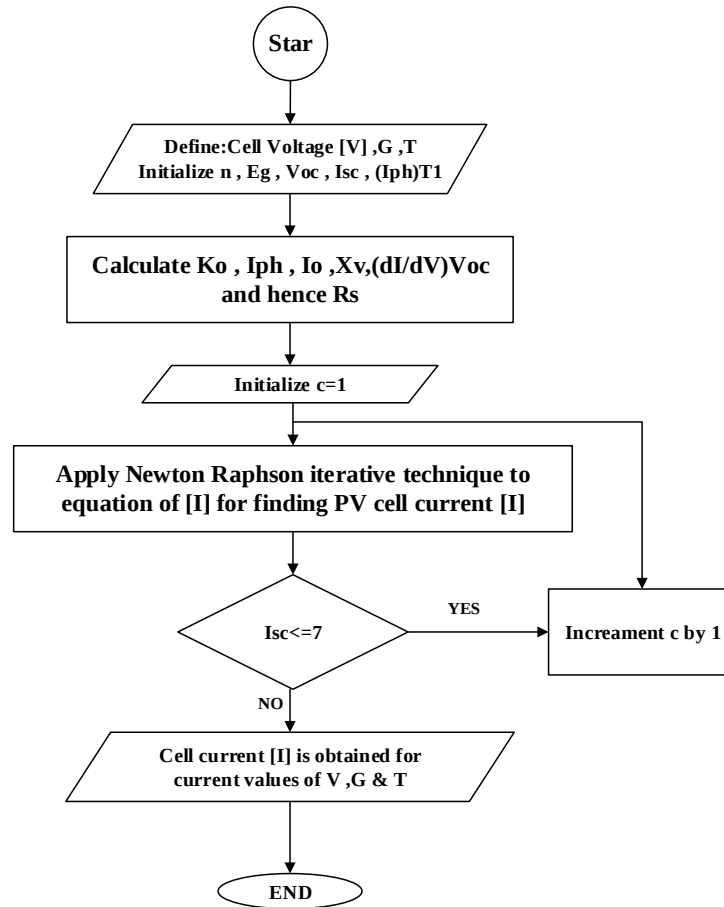
## I.6. Modélisation Du Module PV :

Spécifications du module PV multicristallin Dimel-85 est choisi pour la modélisation. Il fournit 85 watts de puissance nominale maximale et se compose de 36 cellules Ses spécifications sont présentées dans le tableau 1.

**Tableau I.1 Caractéristiques électriques du module PV.**

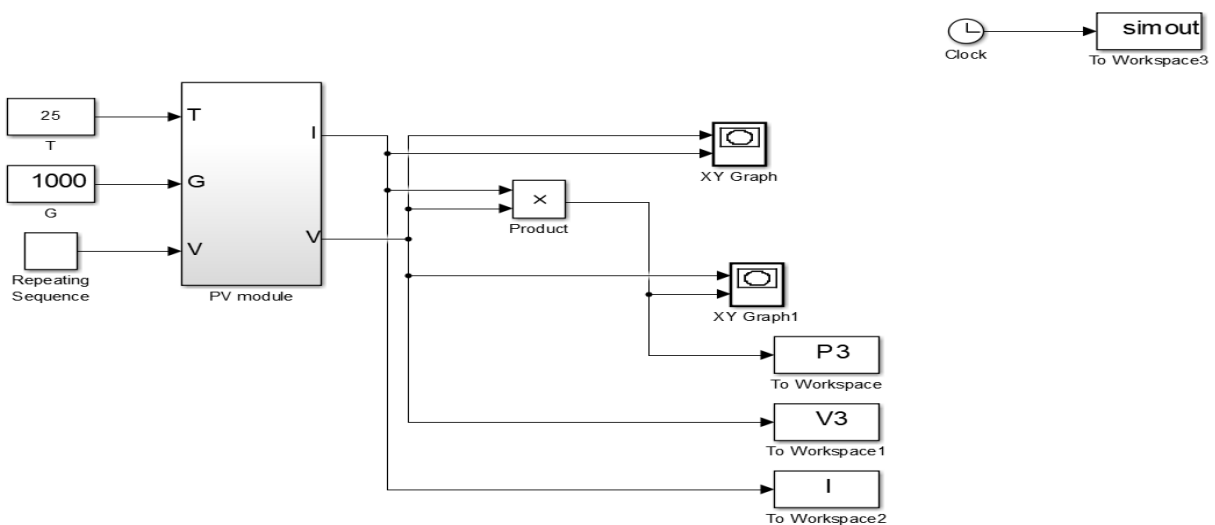
| Paramètre Electrique        | Dimel-85 |
|-----------------------------|----------|
| Puissance max (PM)          | 85W      |
| V <sub>mpp</sub>            | 17.85 V  |
| I <sub>mpp</sub>            | 4.77 A   |
| I <sub>sc</sub>             | 5.15 A   |
| V <sub>oc</sub>             | 21.8V    |
| Nombre de cellules en série | 36       |

En utilisant le programme Matlab, le module PV a été implémenté en utilisant un organigramme pour les modèles de circuits à une diode. Pour simplifier,  $R_p$  a été considéré comme infini. Les paramètres nécessaires sont évalués et des hypothèses ont été faites lors de l'exécution des équations listées dans la section précédente. Ce programme prend l'irradiance, la température de la cellule et la tension du module PV comme entrées et à l'aide d'équations, il renvoie la valeur du courant de sortie du module PV pour toutes les valeurs du vecteur de tension ainsi appliqué dans le programme.



**Figure I.4** Organigramme pour trouver le courant de cellule d'un modele a diode simple et diode double.

### I.7.La Simulation De Photovoltaïque module :

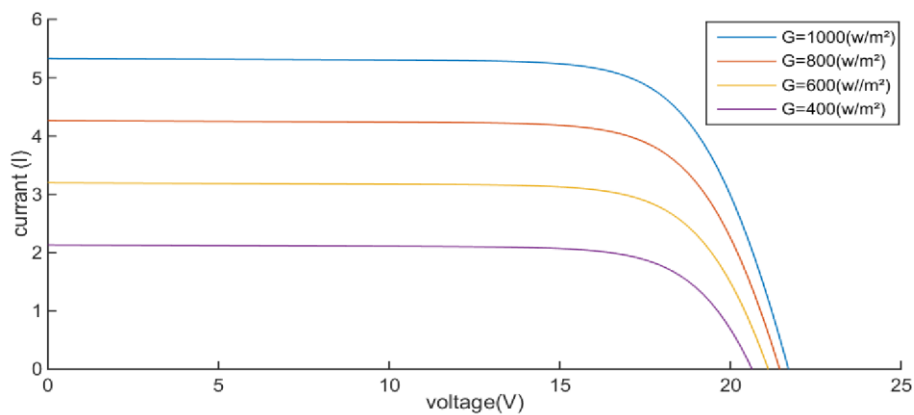


**Figure I.5** Simulation d'un panneau solaire avec MATLAB.

## I.8. Résultats Et Discussions :

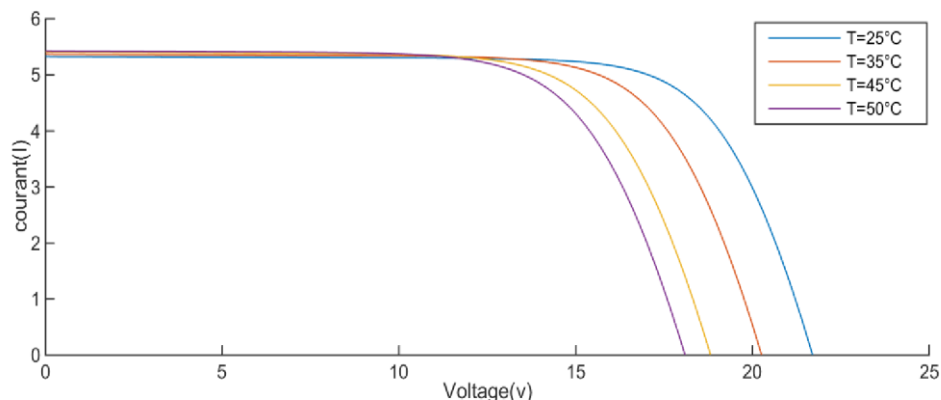
Les tracés des courbes caractéristiques I-V et P-V ont été produits en faisant varier certains paramètres un par un en maintenant les autres paramètres constants à STC. Dans le fichier de script Matlab, l'organigramme spécifié est implémenté.

La figure I.7 décrit les caractéristiques I-V du modèle à diode unique la valeur d'irradiance solaire  $G$  (à STC est de  $1000\text{w/m}^2$ ,  $800\text{w/m}^2$ ,  $600\text{w/m}^2$ , et  $400\text{w/m}^2$ ) respectivement. En observant la courbe, nous voyons qu'avec l'augmentation des valeurs d'irradiance, la valeur du courant de cellule augmente également proportionnellement mais la tension de cellule augmente très moins. En observant attentivement courbe, la courbe I-V du modèle unique diode Fig. 7.



**Figure I.6** I-V Caractéristique d'une diode unique pour varier l'irradiance  $G$  ( $\text{W/m}^2$ ).

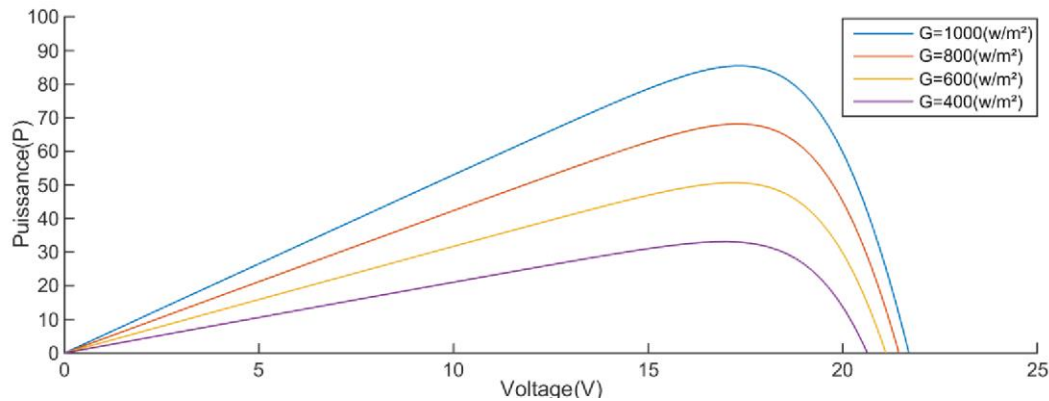
Dans cette courbe, nous remarquons les changements de courant et de tension lorsque l'irradiance augmente, mais on observe le changement de tension était faible et le changement de courant était remarquable, est l'augmentation de tension s'accorder avec l'augmentation de courant.



**Figure I.7** I-V Caractéristique d'une diode unique pour varier température  $T$  (°C).

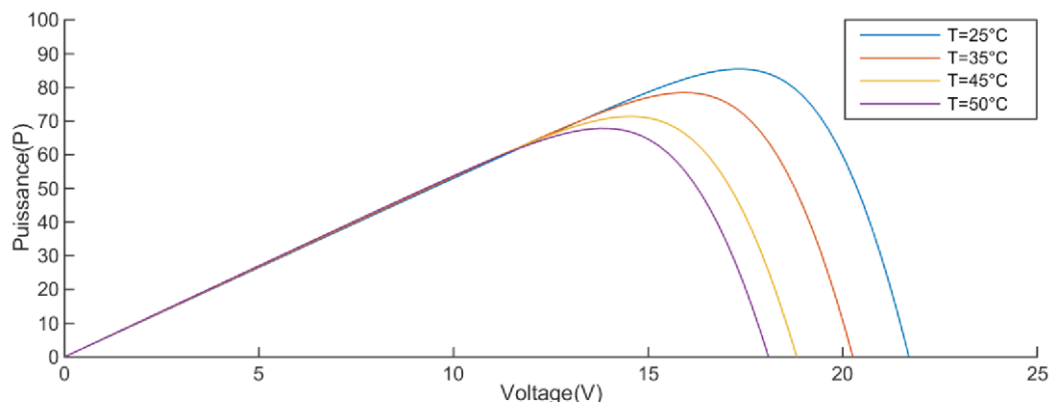
Dans cette courbe, à mesure que la température augmente, nous suivons une légère augmentation de la valeur de courant, et une diminution de la valeur de tension.

Par conséquent, en observant toutes les caractéristiques du module PV multicristallin Dieml-85 tout en modélisant le circuit équivalent électrique à simple diode, la conclusion est obtenue en considérant tous les aspects possibles dans toutes les conditions météorologiques.



**Figure I.8** P\_V caractéristique d'une diode unique pour varier l'irradiance  $G$  (W/m<sup>2</sup>).

Dans cette courbe, On remarque que l'irradiance est diminuée, plus la puissance diminuée et aussi la tension diminue également.



**Figure I.9** P-V Caractéristique d'une diode unique pour varier température  $T$  (°C).

La figure.10 montre la caractéristique  $P - V$  d'une diode unique pour varier température. Dans cette courbe l'augmentation de température conduit à diminution de puissance.

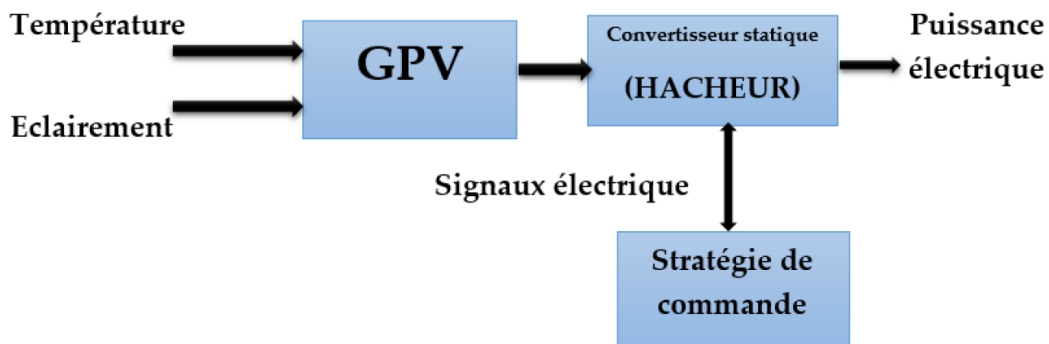
### I.10 Conclusion :

L'objectif principal de ce chapitre était de montrer la différence dans les caractéristiques I-V et P-V des circuits électriques équivalents de cellules photovoltaïques solaires , des circuits équivalents à une diode.

# Chapitre II

## II.1 Introduction :

Les stratégies de gestion de l'énergie photovoltaïque et du système de conversion d'énergie est un élément très important dans l'amélioration de l'efficacité. Parmi les stratégies, la méthode pour suivre la puissance maximale du GPV dite. Méthode de suivi du Point de Puissance Maximale (MPPT) et amplement utilisée. Elle permet de trouver automatiquement la tension maximale ou le courant maximal du module PV au cours de lesquelles il fonctionnera pour atteindre le maximum de puissance quel que soit les conditions météorologiques (température et irradiation). On distingue de MPPT classiques et intelligents[13][14]. Dont généralement, la structure du système de conversion photovoltaïque est basée sur des blocs modulaires, comme le montre ci-dessous :



**Figure.II.1** Système de conversion photovoltaïque.

## II.2 Etude des convertisseurs DC-DC :

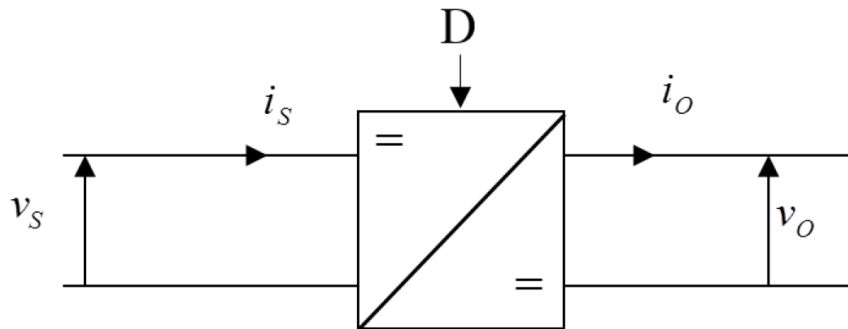
Il existe une variété de convertisseurs DC-DC possibles, mais dans la liste des convertisseurs, seuls les trois premiers convertisseurs doivent être décrits, qui sont essentiellement des bornes de sortie d'entrée non isolées.

### II.2.1 Convertisseur DC/DC (hacheur) :

Les dispositifs électroniques de technologie nouvelle doivent satisfaire certains critères tels que la haute qualité, la fiabilité, la dimension, le poids et le coût réduit [1]. Les régulateurs de puissance linéaire, dont le principe de fonctionnement est basé sur un diviseur de courant ou de tension, peuvent fournir une tension de sortie de très haute qualité [15][16]. Cependant, ce type de régulateurs restent inefficaces du fait que leur domaine principal d'application est à des niveaux de puissance faibles [17].

Les régulateurs de commutation appelés convertisseurs DC/DC utilisent des interrupteurs électroniques, à base de semi-conducteurs tels que : le thyristor, transistor de puissance ou l'IGBT...etc, parce qu'ils engendrent une faible perte de puissance lors de basculement d'un état à un autre [4]. Ces convertisseurs assurent des rendements élevés de conversion d'énergie et ils peuvent fonctionner à des fréquences élevées. Les caractéristiques dynamiques des convertisseurs DC/DC s'améliorent avec l'augmentation des fréquences de fonctionnement.

Les fréquences de fonctionnement élevées permettent donc de parvenir à une réponse dynamique plus rapide aux changements rapides dans le courant de charge ou de la tension d'entrée [17].



**Figure.II.2** Symbole d'un hacheur DC/DC.

### II.2.2 Type des hacheurs :

Les hacheurs sont des convertisseurs continu/continu qui ont pour but de contrôler le transfert et l'écoulement de l'énergie entre les panneaux solaires et la charge. Ils permettent de convertir une énergie continue à un niveau donné de tension (ou de courant) en une énergie continue à un autre niveau de tension (ou de courant). Ils sont souvent utilisés comme une interface d'adaptation qui assure la poursuite du point de puissance maximale selon des stratégies de contrôle spécifiques.

Les panneaux solaires et la charge peuvent être soit de nature capacitive (source de tension), soit de nature inductive (source de courant). La charge peut être de nature résistive aussi. Les convertisseurs DC-DC sont classés en deux types : les convertisseurs non isolés et les convertisseurs isolés de la source [18].

#### a) Non isolés de la source :

Trois configurations de base sont :

- Convertisseur abaisseur « Buck »
- Convertisseur élévateur « Boost »
- Convertisseur abaisseur- élévateur « Buck-Boost »

#### b) Isolés de la source : Comme le convertisseur « Flyback »

La topologie Buck est employée pour les faibles tensions et la topologie Boost est employée pour augmenter la tension. Les systèmes de production de l'énergie emploient un convertisseur Boost pour augmenter la tension de sortie au niveau du service avant l'étage de l'onduleur. Puis, il y a des topologies capables d'augmenter et de diminuer la tension telles que le Buck-Boost. Les convertisseurs DC-DC peuvent être vus comme des transformateurs DC-DC [18].

### II.2.3 Applications des convertisseurs DC-DC :

1. Les convertisseurs CC peuvent être utilisés dans le freinage régénératif des moteurs DC pour renvoyer l'énergie dans l'alimentation et cette caractéristique se traduit par des économies d'énergie pour le système de transport avec des arrêts fréquents. Comme par exemple :

- a) Commande de moteur de traction dans les automobiles électriques
- b) Chariots roulants
- c) Palans marins
- d) Chariots élévateurs
- e) Transporteurs de mines

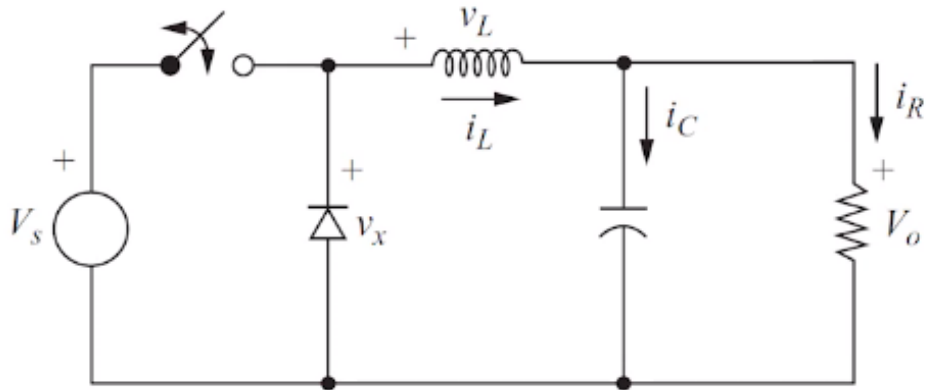
2. Également utilisés dans les régulateurs de tension CC et sont également utilisés en conjonction avec un inducteur pour générer une source de courant CC, en particulier pour l'onduleur de source de courant.

### II.2.4 Considération de commutation des convertisseurs DC-DC:

Le commutateur de convertisseur peut être implémenté en utilisant a) Transistor de jonction bipolaire de puissance (BJT) b) Transistor à effet de champ semi-conducteur à oxyde métallique de puissance (MOSFET) c) Thyristor d'arrêt de porte (GTO) d) Transistor bipolaire à grille isolée (IGBT) Les appareils pratiques ont une chute de tension finie allant de 0,5V à 2V mais lors des calculs par souci de simplicité de compréhension, ces interrupteurs sont considérés comme sans perte.

### II.3 Convertisseur abaisseur (Buck) :

Le convertisseur DC/DC abaisseur, montré dans la Fig 3, convertit la tension de la source  $V_s$  en une tension plus basse  $V_o$  [19][20]. Ce convertisseur est constitué d'un commutateur  $S$ , de la diode  $D$ , qui protège  $S$ , et du filtre inductif  $L$ . Lorsque l'interrupteur  $S$  est fermé, le courant  $i(t)$  circule vers la charge à travers l'inductance  $L$  qui se charge au fur et à mesure que le courant  $i(t)$  augmente durant  $T_e[0,DT_s]$ , lorsque l'interrupteur  $S$  s'ouvre, l'inductance  $L$  libère l'énergie emmagasinée sous forme magnétique à la charge et la diode  $D$  est en état de conduction afin de protéger l'interrupteur, ce durant  $T_e[DT_s,T_s]$ . La tension et le courant de sortie sont en fonction du rapport cyclique et de la fréquence [21][22][23].



**Figure.II.3** Circuit électrique de Hacheur abaisseur.

### II.3.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur Buck peut être divisé en deux configurations suivant l'état de l'interrupteur S:

- Dans l'état passant, l'interrupteur S est fermé, la tension aux bornes de l'inductance vaut.
- Le courant traversant l'inductance augmente linéairement. La tension aux bornes de la diode étant négative, aucun courant ne la traverse.
- Dans l'état bloqué, l'interrupteur est ouvert. La diode devient passante afin d'assurer
- Continuité du courant dans l'inductance. La tension aux bornes de l'inductance vaut.
- Le courant traversant l'inductance décroît.

#### II.3.1.2 Modélisation du circuit:

$$V_o = V_A = DV_s \quad (\text{II.1})$$

$$D_{iL} = \frac{1}{L}(V_s - V_o)DT_s = \frac{1}{L}V_o(1-D)T_s \quad (\text{II.2})$$

$$I_L + I_o = \frac{V_o}{R} \quad (\text{II.3})$$

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \quad (\text{II.4})$$

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad (\text{II.5})$$

### II.3.1.3 Representation d'etat:

Dans la plus part des cas, l'évolution en fonction du temps du système peut être décrite par les deux équations suivantes qui constituent la représentation d'état.

$$\begin{cases} \dot{X} = F(x, u, t); \text{équation d'état} \\ Y = G(x, u, t); \text{équation de sortie} \end{cases}$$

Dans le cas où le système considéré est linéaire, la représentation d'état se met sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{X} = A_1 X + B_1 u \\ Y = C_1 X \end{cases}$$

$$X = \begin{bmatrix} I_L \\ V_C \end{bmatrix}$$

avec :  $U = V_o$

$X$  : vecteur d'état,  $Y$  : vecteur de sortie,  $u$  : vecteur de commande et  $A$  : matrice d'état.

Pour étudier le convertisseur abaisseur et extraire son modèle mathématique, on analyse le fonctionnement du circuit équivalent pour  $S$  ouvert et fermé.

- Pour  $T \in [0 \quad DT_s]$ ,  $S$  est fermé

$$i_{C1}(t) = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) - i_L(t) \quad (\text{II.6})$$

$$i_{C2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \quad (\text{II.7})$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s - V_o(t) \quad (\text{II.8})$$

$$\begin{cases} L \frac{di_L}{dt} = V_o - V_C \\ C \frac{dV_C}{dt} = i_L - \frac{V_C}{R} \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

- Pour  $T \in [DT_s, T_s]$ ,  $S$  est ouvert

$$i_{C1}(t) = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) \quad (\text{II.9})$$

$$i_{C2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \quad (9)$$

$$V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = -V_o(t) \quad (9)$$

Donc:

$$\begin{cases} L \frac{di_L}{dt} = -V_o \\ C \frac{dV_c}{dt} = i_L - \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

- Donc le système sous forme matricielle devient:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

La tension moyenne d'inductance est égale à zéro en régime permanent :

$$V_L(t) = D(V_s - V_o) + (1-D)(-V_o) = 0 \quad (\text{II.10})$$

La relation de la tension d'entrée  $V_s$  et de sortie  $V_o$  en fonction du rapport cyclique  $D$  est donnée par l'équation

$$(V_L - V_o)DT_s = V_o(1-D)T_s \quad (10)$$

A partir de l'équation, le rapport de conversion du hacheur dévolteur est donné par la forme suivant :

$$M(D) = \frac{V_o}{V_s} = D \quad (10)$$

Le rapport de conversion  $M(D)$  varie proportionnellement avec le rapport cyclique de commutation  $D$ .

## II.4. Dimensionnement des Eléments du Convertisseur Buck :

### II.4.1 le Cahier de Charge :

Nous allons faire le dimensionnement des éléments du convertisseur Buck en mode de conduction continu ayant les caractéristiques définies par le cahier des charges suivant:

- Tension d'entrée :  $V_s = 48 \text{ V}$  .
- Tension de sortie :  $V_o = 18 \text{ V}$  .
- Fréquence de découpage :  $f = 40\text{kHz}$
- Ondulation relative de la tension de sortie :  $\Delta V_o = 0.5 \%$  de  $V_o$  .
- Courant de sortie :  $I_o = 1.8 \text{ A}$  .

### II.4.2 Calcul et Choix des Eléments :

D'après le cahier des charges , nous allons calculer les paramètres suivants :

- Rapport cyclique  $D$  :

$$V_o = DV_s \Rightarrow D = \frac{V_o}{V_s} = \frac{18}{48} = 0.375 \quad (\text{II.11})$$

- La résistance de charge :

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{18}{1.8} = 10\Omega \quad (\text{II.12})$$

- La période de fonctionnement :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{40 \times 10^3} = 25 \mu\text{s} \quad (\text{II.13})$$

- Les temps de conduction  $t_{on}$  :

$$t_{on} = DT = 0.375 \times 25 \times 10^{-6} = 9.375 \mu\text{s} \quad (\text{II.14})$$

- La valeur min de l'inductance : d'après l'équation III.9 :

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2.F} = \frac{(1-0.375) \times 10}{2 \times 40 \times 10^3} = 78 \mu\text{H} \quad (\text{II.15})$$

- La valeur du 25% pour min inductance :

$$L = 1.25L_{\min} = (1.25)(78 \times 10^{-6}) = 97.5 \mu H \quad (\text{II.16})$$

- La valeur max du courant de l'inductance : après l'équation III.7 on a

$$I_{L_{\max}} = \frac{V_o}{R} + \frac{V_o}{2L} (1-D)T = \frac{18}{10} + \frac{18}{2 \times 97.5 \times 10^{-6}} (1-0.375) \times 25 \times 10^{-6} = 3.25 \text{ A} \quad (\text{II.17})$$

- Calcule min de capacité:

$$C = \frac{1-D}{8L(\frac{\Delta V_o}{V_o})f^2} = \frac{1-0.375}{8(97.5)(10^{-6})(0.005)(40000)^2} = 100 \mu F \quad (\text{II.18})$$

### II.4.3 Simulation :

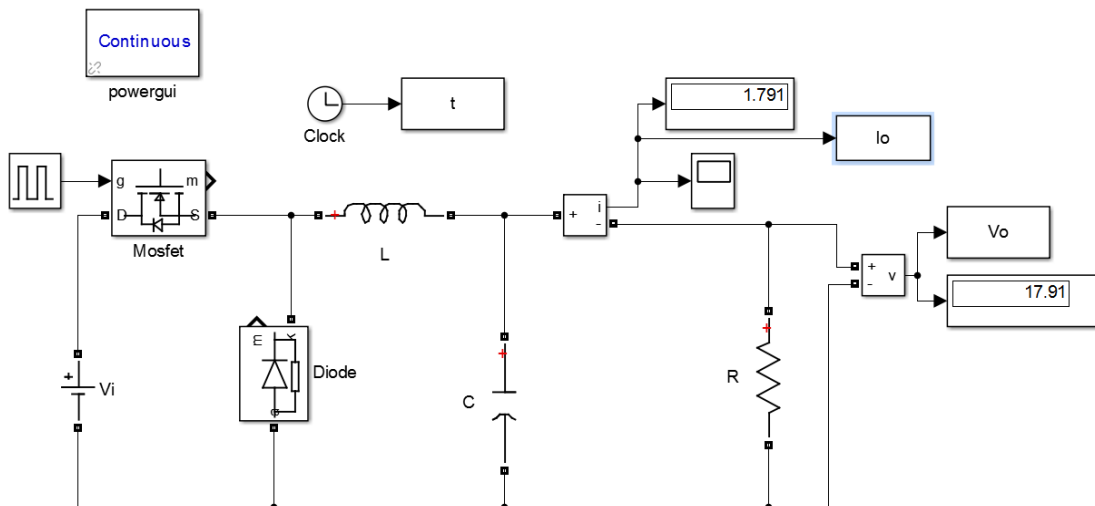


Figure.II.4 Circuit de convertisseur Buck sur SimPowerSystem.

#### II.4.3.1 Les Resultas de Simulink :

A l'issue de la modélisation dont les détails ont été faits précédemment simulation sous le logiciel Matlab Simulink. Puis, la figure.II.5 , montre l'évolution de la tension et le figure.II.6 montre l'évolution de le courant de sortie du convertisseur buck.

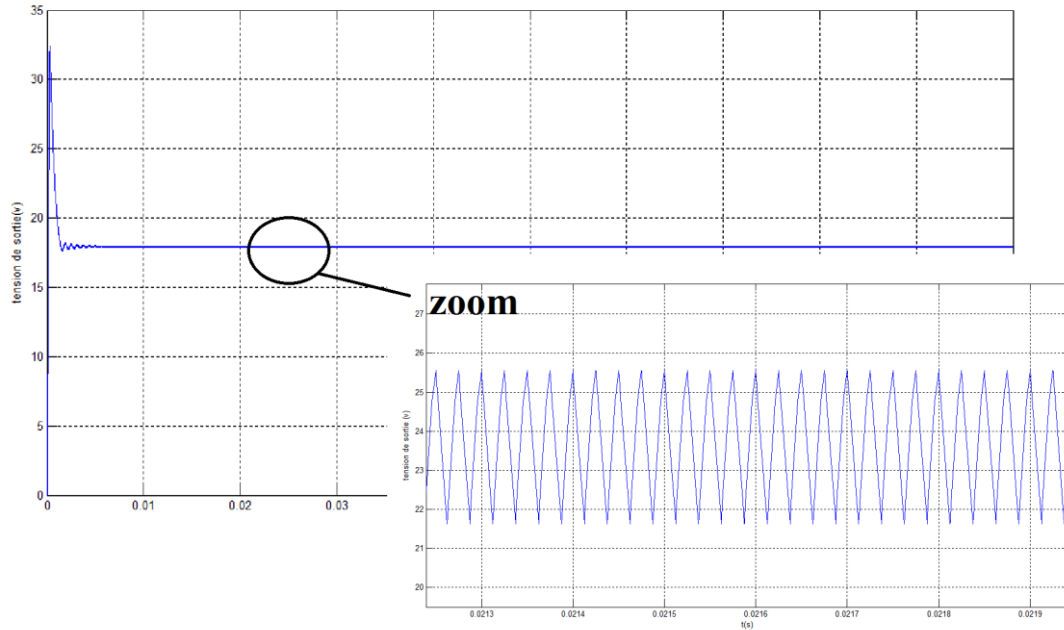


Figure.II.5 Tension de sortie convertisseur buck.

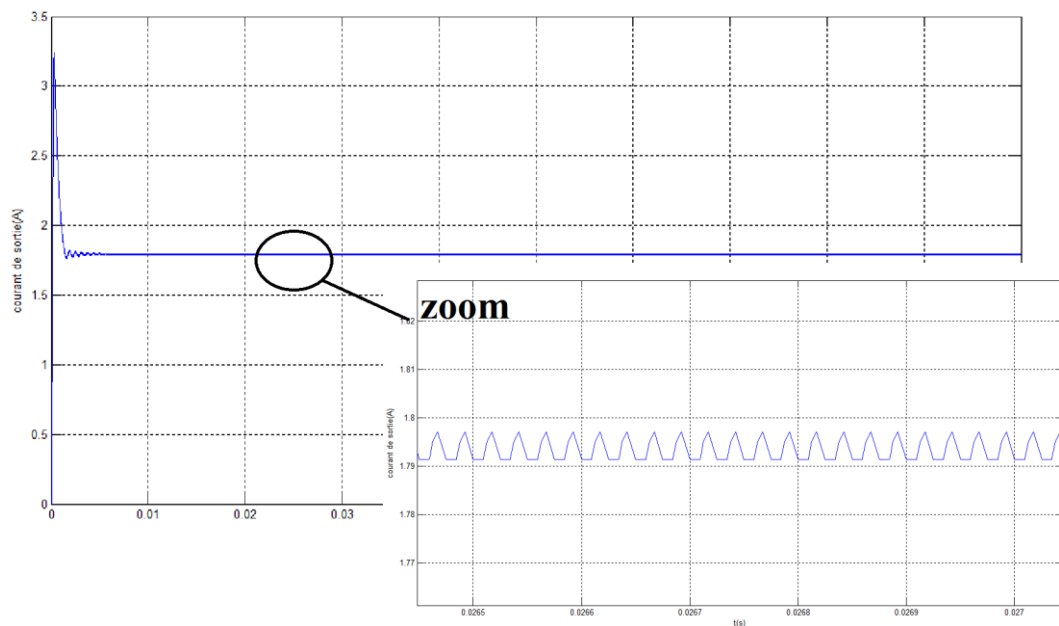
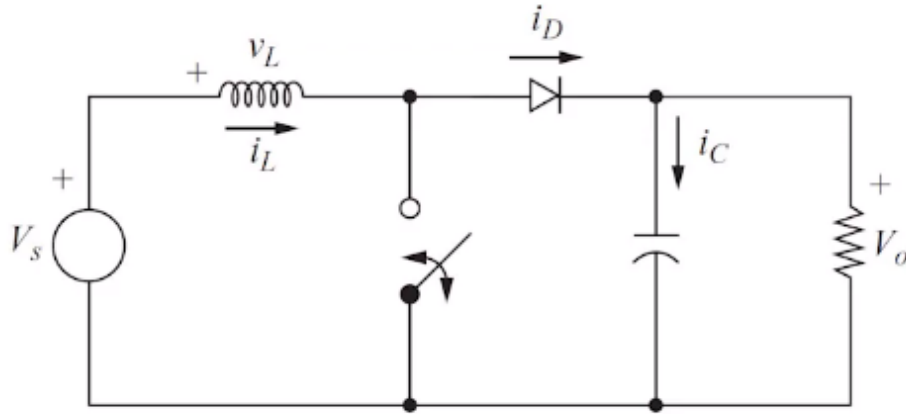


Figure.II.6 Courant de sortie de convertisseur buck.

## II.5 Convertisseur Elévateur (Boost) :

Un convertisseur Boost, ou hacheur parallèle, convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. Ce convertisseur comprend l'interrupteur (S), l'inductance (L), la diode qui protège S en empêchant le retour du courant et le condensateur C qui sert à lisser la tension de sortie [24][24]. Ce type de convertisseur peut être utilisé comme adaptateur source-charge, lorsque le point de fonctionnement en couplage direct est à droite du MPP..



**Figure.II.7** Système photovoltaïque suivi par un hacheur de type Boost.

### II.5.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur Boost peut être divisé en deux phases distinctes selon l'état de l'interrupteur S :

- Une phase d'accumulation d'énergie : lorsque l'interrupteur S est fermé (état passant), cela entraîne l'augmentation du courant dans l'inductance donc le stockage d'une quantité d'énergie sous forme d'énergie magnétique. La diode D est alors bloquée et la charge est alors déconnectée de l'alimentation.
- Lorsque l'interrupteur est ouvert, l'inductance se trouve alors en série avec le générateur et sa f.é.m. s'additionne à celle du générateur (effet survolteur). Le courant traversant l'inductance traverse ensuite la diode D, le condensateur C et la charge R. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité.

#### II.5.1.1 Modélisation du circuit:

$$E = \frac{1}{2} L I_L^2 \quad (\text{II.19})$$

$$\Delta I_{L_{on}} + \Delta I_{L_{off}} = 0 \quad (\text{II.20})$$

$$\Delta I_{L_{on}} + \Delta I_{L_{off}} = \frac{V_s D T}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} = 0 \quad (\text{II.21})$$

$$R = \frac{V_c}{I_o} \quad (\text{II.22})$$

### II.5.1.2 Représentation d'état :

Dans le cas où le système considéré est linéaire, la représentation d'état se met sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{X} = A_2 X + B_2 \mu \\ Y = C_2 X \end{cases}$$

avec :  $X = \begin{bmatrix} I_o \\ V_o \end{bmatrix}$

Pour étudier le convertisseur élévateur et extraire son modèle mathématique, on analyse le fonctionnement du circuit équivalent pour S ouvert et fermé.

- Pour  $T \in [0 \quad DT_s]$ , S est fermé

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = C_1 \frac{dV_L(t)}{dt} = i(t) - i_L(t) \\ i_{C2}(t) = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s(t) \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} V_o - L \frac{di_o}{dt} - Ri_o = 0 \\ \dot{V}_c = \frac{1}{C} \times \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

Donc:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{R}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{RC} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

- Pour  $T \in [DT_s \quad T_s]$ , S est ouvert

$$\begin{cases} i_{C1}(t) = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) - i_L(t) \\ i_{C2}(t) = C_2 \frac{dV_o}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s(t) - V_o(t) \end{cases}$$

Donc:

$$\begin{cases} V_o - L \frac{di_o}{dt} - Ri_o - V_c = 0 \\ C \frac{dV_c}{dt} = I_o - \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

- Donc le système sous forme matricielle devient:

$$\begin{cases} \dot{X} = (A_1 X + B_1 V_o) D + (A_2 X + B_2 V_o) (1-D) \\ V_o = C_1 D + C_2 (1-D) X \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} \dot{X}_1 = \frac{1-D}{L} X_2 + \frac{1}{L} V_o \\ \dot{X}_2 = \frac{1-D}{L} X_1 - \frac{1}{RC} X_2 \end{cases}$$

Alors: le module globale

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1-D}{L} \\ \frac{1-D}{L} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

A partir des équations, on peut écrire l'équation suivante :

$$(V_s) D T_s = (V_o - V_s) \times (1-D) \times T_s \quad (\text{II.23})$$

Le rapport de conversion  $M(D)$  s'écrit sous la forme suivante :

$$M(D) = \frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D} \quad (\text{II.24})$$

le rapport cyclique de commutation  $D$  :

$$D = 1 - \frac{V_s}{V_o} \quad (\text{II.25})$$

### II.5.1.3 Dimensionnement des Eléments du Convertisseur BOOST :

#### III.5.1.4 le Cahier de Charge :

Nous allons faire le dimensionnement des éléments du convertisseur Boost en mode de conduction continu ayant les caractéristiques définies par le cahier des charges suivant:

- Tension d'entrée :  $V_s = 12 \text{ V}$ .
- Tension de sortie :  $V_o = 25.5 \text{ V}$ .
- Fréquence de découpage :  $f = 40\text{kHz}$
- Courant de sortie :  $I_o = 8.5 \text{ A}$ .

#### III.5.1.5 Calcul et Choix des Eléments :

D'après le cahier des charges , nous allons calculer les paramètres suivants :

- Rapport cyclique  $D$  :

$$D = 1 - \frac{V_s}{V_o} = 1 - \frac{12}{25.5} = 0.5 \quad (\text{II.26})$$

- La période de fonctionnement :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{40 \times 10^3} = 25 \mu\text{s} \quad (\text{II.27})$$

- La résistance de charge :

$$R = \frac{V_o}{I_o} = \frac{25.5}{8.5} = 3\Omega \quad (\text{II.28})$$

- Les temps de conduction  $t_{on}$  :

$$t_{on} = DT = 0.5 \times 25 \times 10^{-6} = 12.5 \mu\text{s} \quad (\text{II.29})$$

- La valeur min de l'inductance :

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} = \frac{0.5(1-0.5) \times 10}{2 \times 40 \times 10^3} = 15.625 \mu\text{H} \quad (\text{II.30})$$

- La valeur du 25% pour min inductance :

$$L = 1.25L_{\min} = (1.25)(15.625 \times 10^{-6}) = 19.53 \mu H \quad (\text{II.31})$$

Calcule min de capacité:

$$C = \frac{D}{Rr_f} = \frac{0.5}{(10)(0.05)(40000)} = 25 \mu F \quad (\text{II.32})$$

### II.5.2 Simulation:

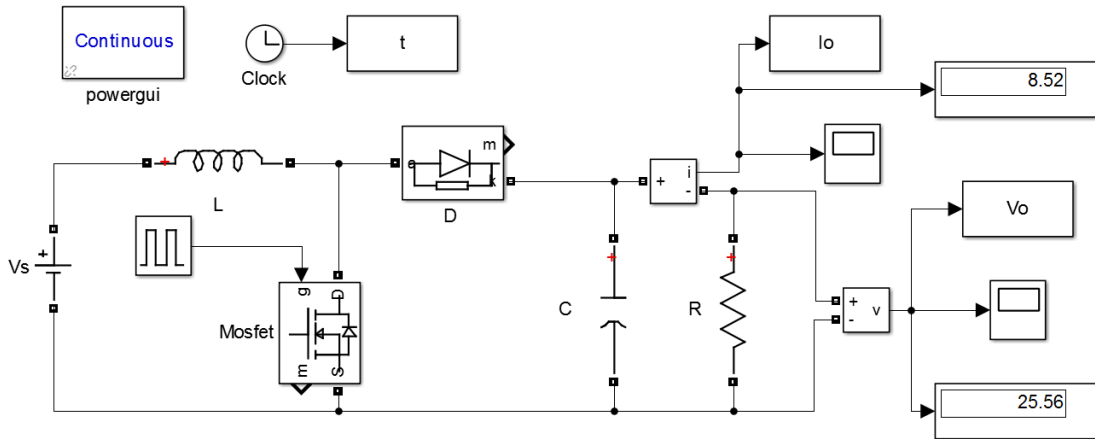


Figure.II.8 Circuit de convertisseur Boost sur SimPowerSystem.

### II.5.3 Les Resultas de Simulink:

A l'issue de la modélisation dont les détails ont été faits précédemment simulation sous le logiciel Matlab Simulink. Puis, la figure II.9 , montre l'évolution de la tension et le figure II.10 montre l'evolution de le courant de sortie du convertisseur boost.

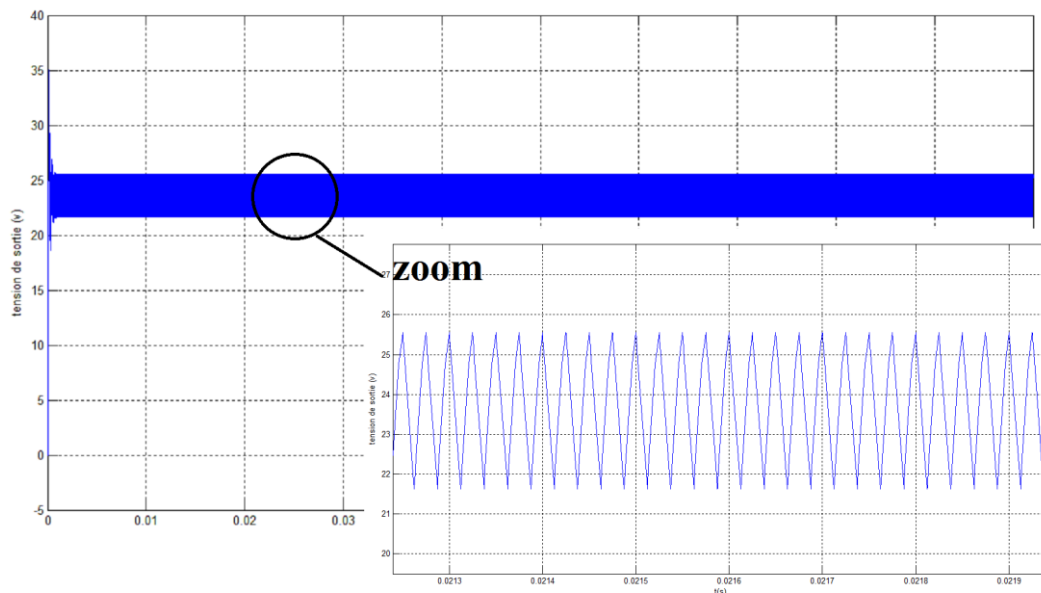


Figure.II.9 Tension de Sortie Boost.

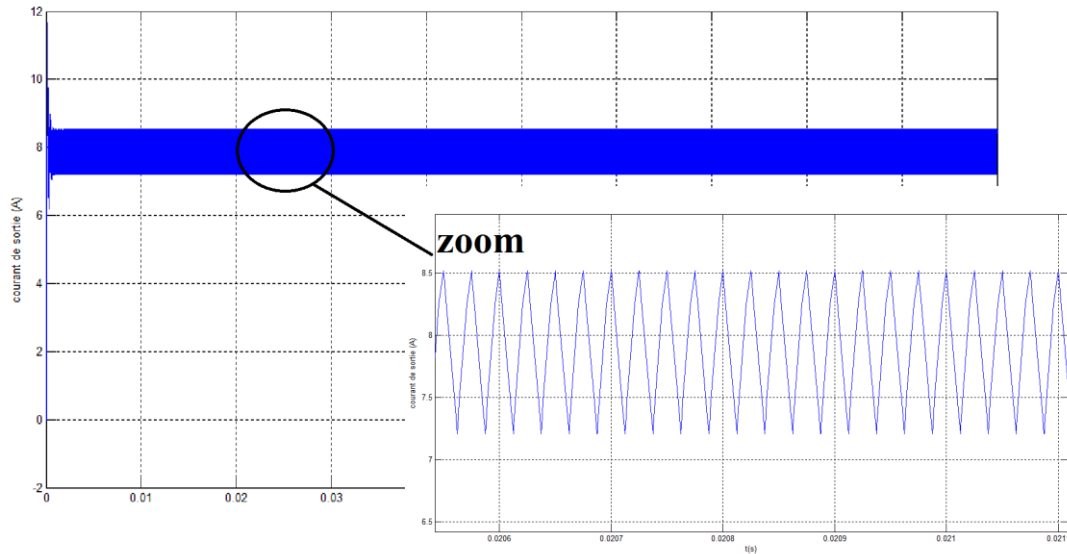


Figure.II.10 Courant de Sortie Boost.

## II.6 Convertisseur Buck-Boost :

Un autre convertisseur de mode commuté de base est le convertisseur buck-boost. La sortie du convertisseur abaisseur-élévateur peut être supérieure ou inférieure à la tension d'entrée. L'hypothèse faite sur le fonctionnement de ce circuit est la même que pour les circuits convertisseurs précédents. combine les propriétés des deux convertisseurs précédents pour convertir une tension continue d'entrée à une tension de sortie de valeur souhaitée [7][25].

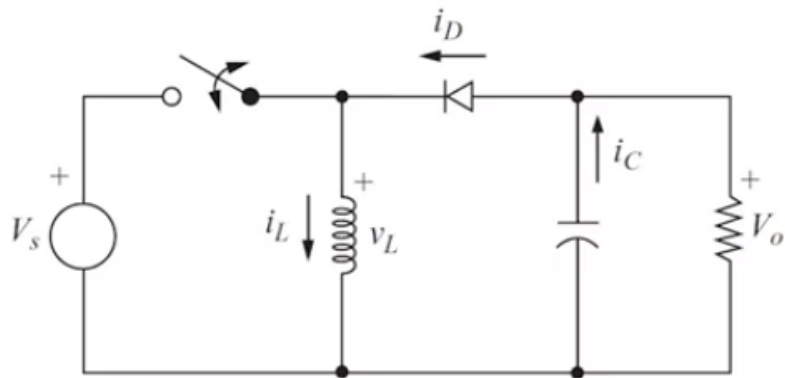


Figure.II.11 Circuit équivalent du convertisseur Buck-Boost.

### II.6.1 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement d'un convertisseur Buck-Boost peut être divisé en deux configurations suivant l'état de l'interrupteur S :

- Dans l'état passant, l'interrupteur S est fermé, conduisant ainsi à une augmentation de l'énergie stockée dans l'inductance.
- Dans l'état bloqué, l'interrupteur S est ouvert. L'inductance est reliée à la charge et à la capacité. Il en résulte un transfert de l'énergie accumulée dans l'inductance vers la capacité et la charge. Comparé aux convertisseurs Buck et Boost, les principales différences sont :

- La tension de sortie est de polarité inverse de celle d'entrée
- La tension de sortie peut varier de 0 à (pour un convertisseur idéal).

### II.6.1.1 Modélisation du circuit:

$$\Delta I_{L_{On}} = \int_0^{DT} dI_L = \int_0^{DT} \frac{V_s}{L} dt = \frac{V_s DT}{L} \quad (\text{II.32})$$

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_i}{L} \quad (\text{II.33})$$

### II.6.1.2 Représentation d'état:

Dans le cas où le système considéré est linéaire, la représentation d'état se met sous la forme :

$$\begin{cases} \dot{X} = A_3 X + B_3 u \\ Y = C_3 X \end{cases}$$

avec :  $X = \begin{bmatrix} I_o \\ V_o \end{bmatrix}$

Pour étudier le convertisseur abaisseur-élevateur et extraire son modèle mathématique, on analyse le fonctionnement du circuit équivalent pour S ouvert et fermé.

- Pour  $T \in [0 \quad DT_s]$ , S est fermé

$$\begin{cases} i_{C1} = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) - i_L(t) \\ i_{C2} = C_2 \frac{dV_o(t)}{dt} = -i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_s(t) \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} L \frac{di_o}{dt} = DV_o + V_c (1-D) \\ C \frac{dV_c}{dt} = -i_L (1-D) - \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

$$\begin{cases} L \frac{di_o}{dt} = DV_o \\ C \frac{dV_c}{dt} = -\frac{V_c}{R} \end{cases}$$

- Pour  $T \in [DT_s, T_s]$ ,  $S$  est ouvert

$$\begin{cases} i_{c1}(t) = C_1 \frac{dV_s(t)}{dt} = i(t) \\ i_{c2}(t) = C_2 \frac{dV_o}{dt} = i_L(t) - i_o(t) \\ V_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} = V_o(t) \end{cases}$$

Et

$$\begin{cases} L \frac{di_o}{dt} = V_c \\ C \frac{dV_c}{dt} = -i_L - \frac{V_c}{R} \end{cases}$$

- Donc le système sous forme matricielle devient:

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1-D}{T} \\ \frac{1-D}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{D}{L} \\ 0 \end{bmatrix} V_o$$

A partir des équations, on peut écrire l'équation suivante :

$$V_s \times DT_s = V_o \times (1-D) \times T_s \quad (\text{II.34})$$

Le rapport de conversion  $M(D)$  s'écrit sous la forme suivante :

$$M(D) = \frac{V_o}{V_s} = \left( \frac{-D}{1-D} \right) \quad (\text{II.35})$$

Cela donne en retour que:

$$D = \frac{V_o}{V_o - V_i} \quad (\text{II.36})$$

## II.6.2 Dimensionnement des Eléments du Convertisseur BUCK-BOOST :

### II.6.2.1 le Cahier de Charge :

Nous allons faire le dimensionnement des éléments du convertisseur Buck-Boost en mode de conduction continu ayant les caractéristiques définies par le cahier des charges suivant:

- Tension d'entrée :  $V_s = 18V$ .
- Tension de sortie :  $V_o = |-12| V$ .
- Fréquence de découpage :  $f = 40kHz$ .
- Courant de sortie :  $I_o = |-1.2| A$ .

### II.6.2.2 Calcul et Choix des Eléments :

D'après le cahier des charges, nous allons calculer les paramètres suivants :

- Rapport cyclique  $D$  :

$$D = \frac{V_o}{V_o + V_s} = \frac{|-12|}{|-12| + 18} = 0.4 \quad (\text{II.37})$$

- La période de fonctionnement :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{40 \times 10^3} = 25 \mu s \quad (\text{II.38})$$

- Les temps de conduction  $t_{on}$  :

$$t_{on} = DT = 0.5 \times 25 \times 10^{-6} = 12.5 \mu s \quad (\text{II.39})$$

- La résistance de charge :

$$R = \frac{|V_o|}{|I_o|} = \frac{|-12|}{|-1.2|} = 10 \Omega \quad (\text{II.40})$$

- La valeur min de l'inductance :

$$L_{\min} = \frac{R(1-D)^2}{2.F} = \frac{10 \times (1-0.4)^2}{2 \times 40 \times 10^3} = 45 \mu H \quad (\text{II.41})$$

- La valeur du 25% pour min inductance :

$$L = 1.25L_{\min} = (1.25)(45 \times 10^{-6}) = 56.25 \mu H \quad (\text{II.42})$$

- La valeur du courant de l'inductance :

$$I_L = \frac{V_s D}{R(1-D)^2} = \frac{18 \times 0.4}{10(1-0.4)^2} = 2A \quad (\text{II.43})$$

- Calcule taux de variation du courant d'inductance:

$$\Delta I_L = \frac{V_o D T}{L} = \frac{12 \times 0.4 \times 25 \times 10^{-6}}{45 \times 10^{-6}} = 2.67A \quad (\text{II.44})$$

- Calcule min de courant d'inductance :

$$I_{L_{\min}} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = 2 - \frac{2.67}{2} = 0.67A \quad (\text{II.45})$$

- Calcule min de capacité:

$$C = \frac{D}{Rr f} = \frac{0.4}{(10)(0.01)(40000)} = 100 \mu F \quad (\text{II.46})$$

### II.6.3 Simulation :

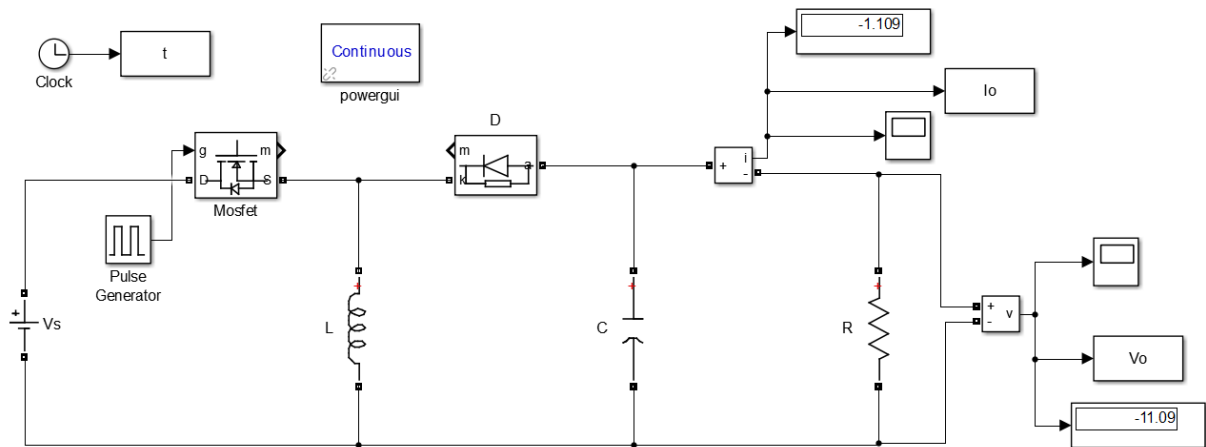


Figure.II.12 Circuit de convertisseur Buck-Boost sur SimPowerSystem.

### II.6.4 Les Resultas de Simulink:

A l'issue de la modélisation dont les détails ont été faits précédemment simulation sous le logiciel Matlab Simulink. Puis, la figure II.13, montre l'évolution de la tension et le figure II.14, montre l'évolution de le courant de sortie du convertisseur buck-boost.

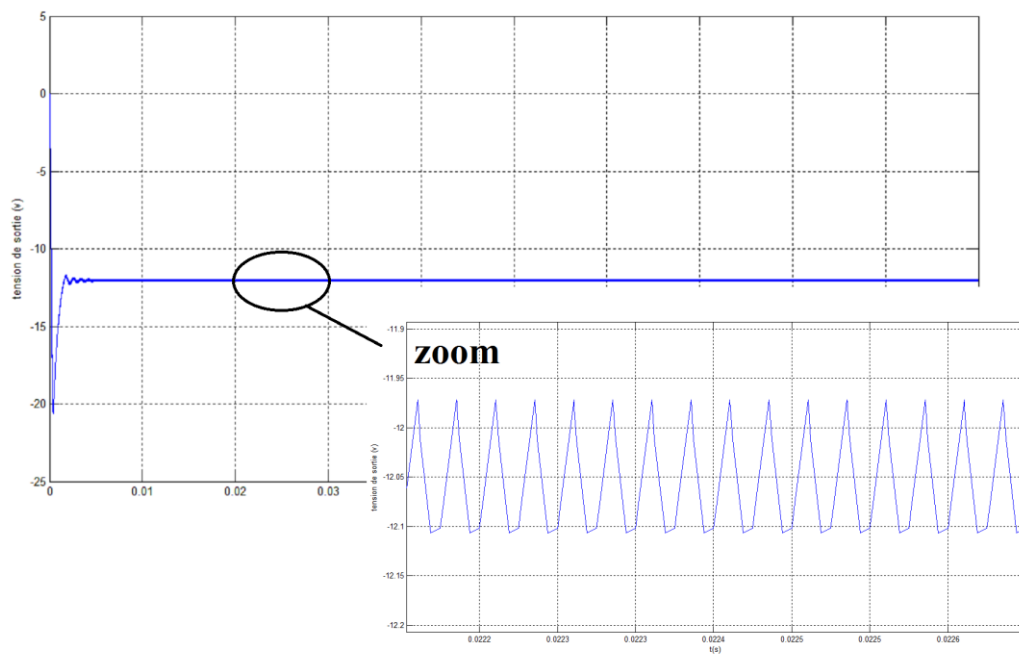
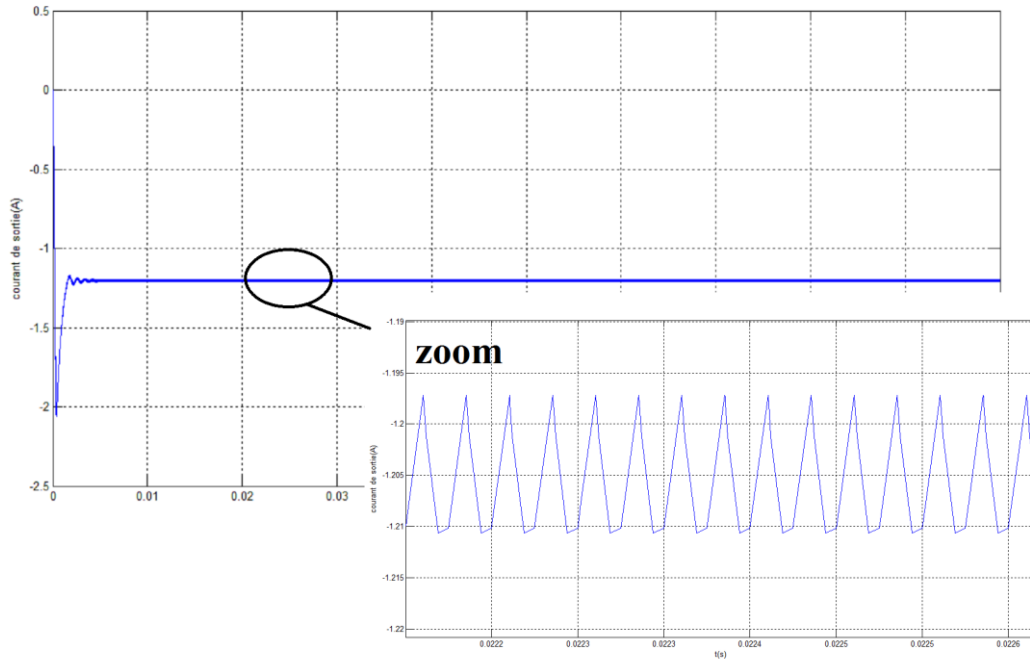


Figure.II.13 Tention de sortie convertisseur buck-boost.



**Figure.II.14** Tention de sortie convertisseur buck-boost.

## II.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la modélisation des trois convertisseurs DC-DC (Buck, Boost et le Buck-Boost), ainsi que leurs principes de fonctionnement, une analyse du convertisseur DC-DC utiliser comme interface entre la charge est le générateur photovoltaïque pour que celui-ci fonctionne à un rendement optimal L'étude du régime établi, a permet d'établir les fonctions de transfert statiques des convertisseurs, et de comprendre leurs relations entrée-sortie. On a présenté aussi les trois modèles des hacheurs dans l'environnement Matlab/Simulink.

# Chapitre III

### III. Introduction :

Des lois de commandes spécifiques existent pour amener des dispositifs à fonctionner à des points maximums de leurs caractéristiques sans qu'a priori ces points soient connus à l'avance, ni sans que l'on sache à quel moment ils ont été modifiés ni qu'elles sont les raisons de ce changement. Pour le cas de sources énergétiques, cela se traduit par des points de puissance maximum. Ce type de commande est souvent nommé dans la littérature « Recherche du Point de Puissance Maximum » ou bien

« Maximum Power Point Tracking » en anglo-saxon (MPPT). Le principe de ces commandes est d'effectuer une recherche du point de puissance maximal (PPM) tout en assurant une parfaite adaptation entre le générateur et sa charge de façon à transférer le maximum de puissance.

#### III.1 Les Algorithmes MPPT :

Il existe plusieurs principes de fonctionnement des commandes MPPT plus ou moins performantes basées sur les propriétés du GPV. Une synthèse des principaux modes de recherche du PPM existants dans ce chapitre nous a permis de bien identifier l'existant et les points qu'il restait à améliorer.

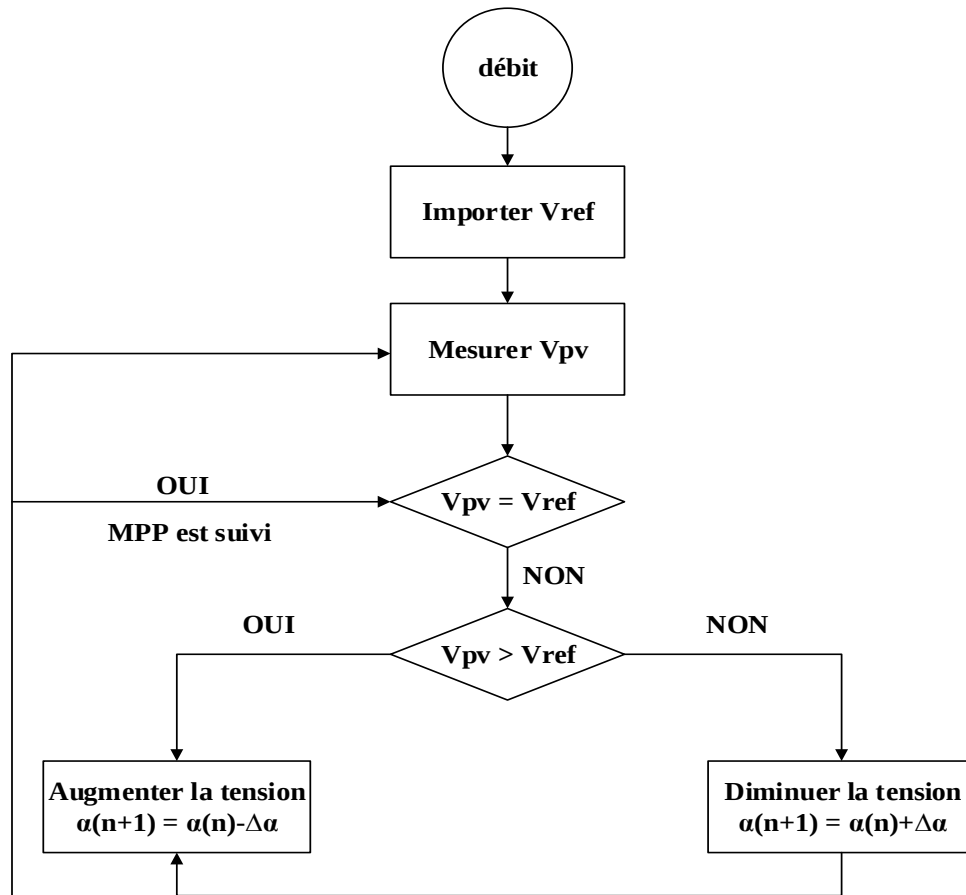
#### III.2 Approche de la Tension Constante (CV, Constant Voltage) :

La méthode de tension constante également appelée la méthode de circuit ouvert (open circuit voltage) est basée sur la mesure en temps réel de la tension de circuit ouvert  $V_{OC}$  et la relation linéaire approximative (I-1) liant cette tension avec la tension de point maximal  $V_{MPP}$  du GPV[1-2]:

$$V_{MPP} = K_1 \times V_{OC} \quad (I-1)$$

Où  $k_1$  est une constante de proportionnalité, il est généralement compris entre 0.71 et 0.86. Une fois que  $k_1$  est déterminé, le  $V_{MPP}$  peut être calculé à l'aide de l'expression précédente (I-1) avec  $V_{OC}$  mesurée périodiquement en ouvrant momentanément le convertisseur de puissance (circuit ouvert). La tension  $V_{MPP}$  est alors prise comme tension de référence.

Le principe de cette méthode est basé sur la comparaison entre la tension du panneau photovoltaïque réelle  $V_{PV}$  et la tension de référence  $V_{ref}$  ( $V_{MPP}$ ). Le signal d'erreur est traité pour rendre  $V = V_{ref}$ . (Figure III.1)



**Figure.III.1** Algorithme de la Tension Constante(FCO).

Cette méthode présente deux avantages : la rapidité de la réponse aux fluctuations et l'absence de variations (même infimes) en état stationnaire[26]. Cependant, ces points forts ne peuvent cacher leurs défauts, à cause de la dépendance de la tension du panneau avec l'ensoleillement et la température, la tension de puissance maximale est déviée, alors la tension de référence doit être corrigée pour différents ensoleillements et températures au long des périodes de l'année. Aussi, le MPP n'est pas toujours entre 71% et 78% de la tension  $V_{oc}$  et ne oubliez pas la perte de la puissance disponible lors de la déconnection de la charge du GPV[28] .

### III.3 Approche Du Courant Constant (Constant Current) :

La méthode du Courant constant également appelée la méthode de court-circuit est basée sur la mesure en temps réel du courant de court-circuit  $I_{sc}$  (short-circuit current) et la relation linéaire approximative (I-2) liant ce courant avec le courant de point maximal  $I_{MPP}$  du GPV[27] :

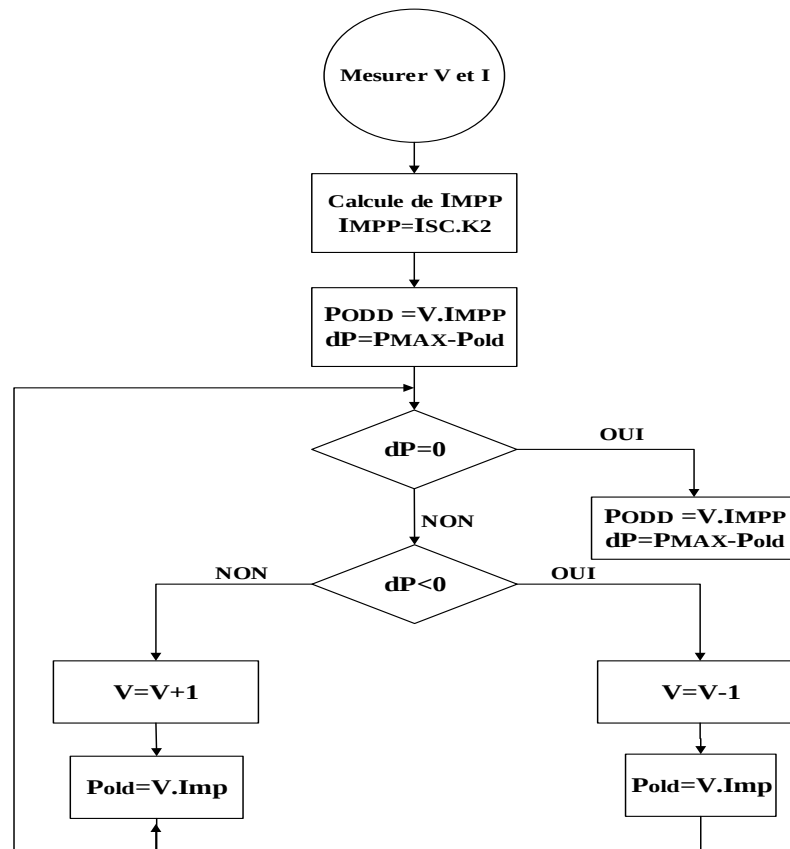
$$I_{MPP} = K_2 \times I_{SC} \quad (I-2)$$

Avec  $k_2$  constante de proportionnalité. Comme pour la méthode CV,  $K_2$  est déterminée pour le GPV utilisé. La constante  $K_2$  est généralement comprise entre 0.78 et 0.92[29].

La mesure du courant  $I_{sc}$  durant le fonctionnement est problématique. Un commutateur est généralement ajouté au convertisseur de puissance pour court-circuiter le panneau et mesurer le courant  $I_{sc}$  à l'aide d'un capteur de courant.

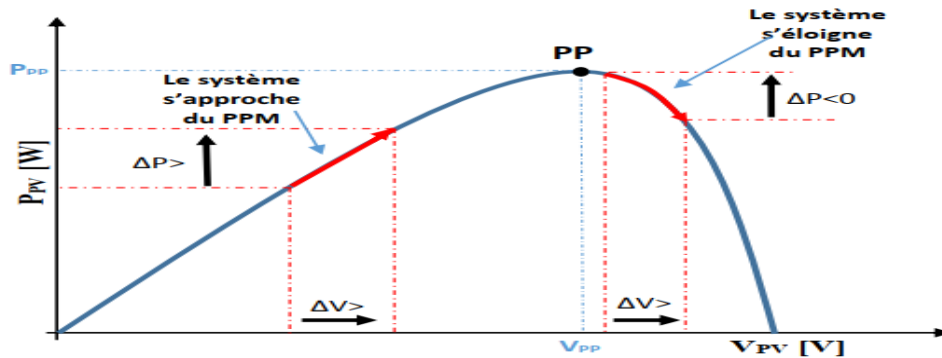
Pour cette valeur constante du courant, la puissance est calculée pour des tensions différentes. Si la différence entre la puissance calculée et la puissance de crête est supérieure à la valeur de tolérance, alors la valeur de la tension est soit incrémenté ou décrémenté en fonction de la puissance obtenue. Pour que la tension et le courant MPP ( $I_{MPP}$ ) correspondant, ce procédé est répété jusqu'à ce que la différence se situe dans la plage de tolérance.

Pour cette valeur constante du courant, la puissance est calculée pour des tensions différentes. Si la différence entre la puissance calculée et la puissance de crête est supérieure à la valeur de tolérance, alors la valeur de la tension est soit incrémenté ou décrémenté en fonction de la puissance obtenue. Pour que la tension et le courant MPP ( $I_{MPP}$ ) correspondant, ce procédé est répété jusqu'à ce que la différence se situe dans la plage de tolérance [26]. Figure III.2



**Figure.III.2** Algorithme du constant courant (FCC).

### III.4 Perturbation Et Observation (P&O, Perturb And Observe) :



**Figure.III.3** Recherche du PPM par laméthode (P&O).

La méthode P&O est généralement la plus utilisée en raison de sa simplicité et sa facilité deréalisation. Comme son nom l'indique, cette méthode repose sur la perturbation (une augmentation ou une diminution) de la tension Vref, ou du courant Iref, et l'observation de la conséquence de cette perturbation sur la puissance mesurée ( $P=VI$ )[30]. Cependant, la variable idéale quicaractérise le MPP est celle qui varie peu lors d'un changement climatique. La variation durayonnement affecte davantage le courant que la tension photovoltaïque. Par contre, la variation de la température modifie plus la tension du GPV. Néanmoins, la dynamique de la température est lente et varie sur une plage réduite. Par conséquent, il est préférable de contrôler la tension du GPV[31].

Le principe de commande P&O consiste à provoquer une perturbation de faible valeur surla tension  $V_{pv}$ , ce qui engendre une variation de la puissance[32].Figure I.3 montre qu'on peut déduire que si une incrémentation positive de la tension  $V_{pv}$  engendre un accroissement de la puissance  $P_{pv}$ , cela signifie que le point de fonctionnement se trouve à gauche du PPM. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le PPM. Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît. A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique  $P(V)$ , il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique  $p(v)$ , il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié.Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du GPV à chaque instant L'utilisation d'un microprocesseur est plus appropriée pour la réalisation de la méthode P&O, même si des circuits analogiques peuvent être utilisés [29]. L'algorithme peut être représenté mathématiquement par l'expression :

$$V (K ) =V (K -1) + \Delta V .sign(\frac{dP}{dV} \Big|_{v=v_{n-1}})$$

Tableau III.1. Tableau de vérité de l'algorithme « perturbation &amp; observation ».

| Perturbation de la puissance | observation de la puissance | Prochain de la puissance |
|------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Positive (+)                 | Positive (+)                | Positive (+)             |
| Positive (+)                 | Négative (-)                | Négative (-)             |
| Négative (-)                 | Positive (+)                | Négative (-)             |
| Négative (-)                 | Négative (-)                | Positive (+)             |

Apartir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique  $p(v)$ , il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au PPM, et de faire converger ce dernier vers le maximum de puissance à travers un ordre de commande approprié. Pour ce type de commande, deux capteurs (courant et tension du GPV) sont nécessaires pour déterminer la puissance du GPV à chaque instant. L'utilisation d'un microprocesseur est plus appropriée pour la réalisation de la méthode P&O, même si des circuits analogiques peuvent être utilisés.

La Figure III.4 représente l'algorithme classique d'une commande MPPT de type P&O, où l'évolution de la puissance est analysée après chaque perturbation de tension.

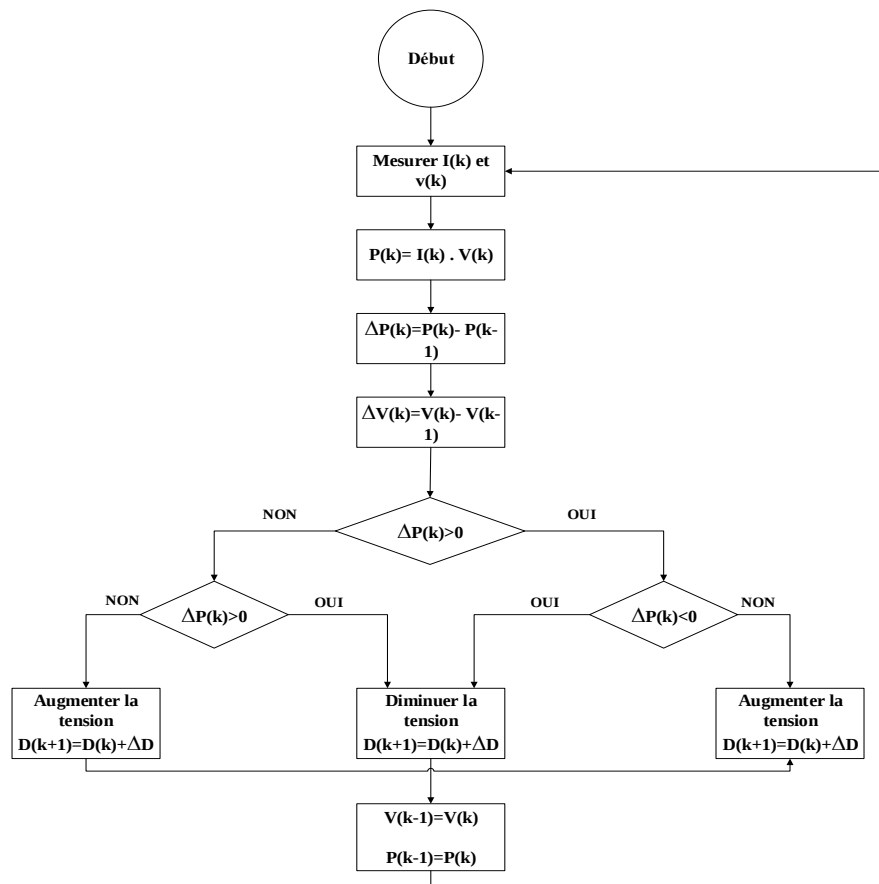
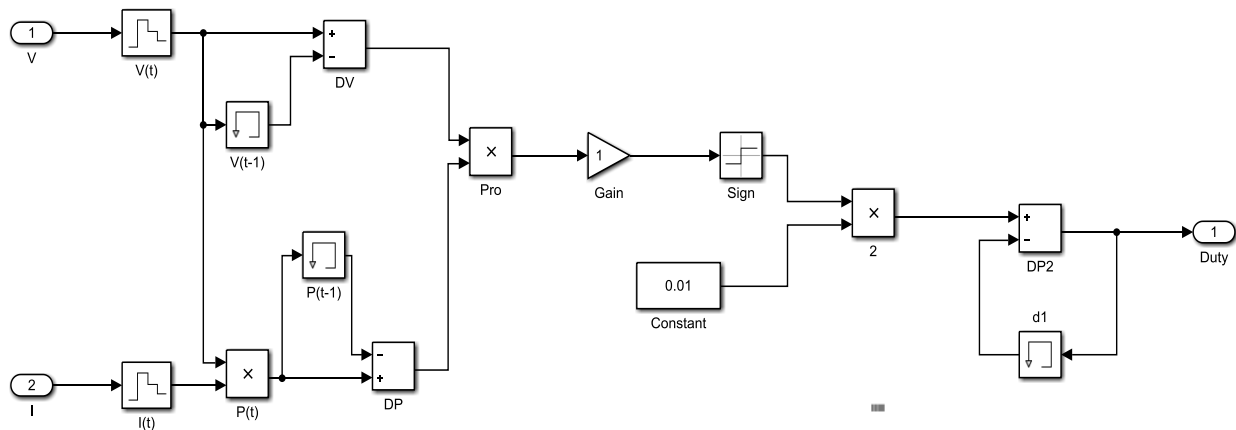


Figure III.4 l'algorithme de P&amp;O classique.

D'après l'organigramme de la Figure précédente, on a réalisé le schéma block suivant :



**Figure III.5** Programme et schéma block de la technique PO.

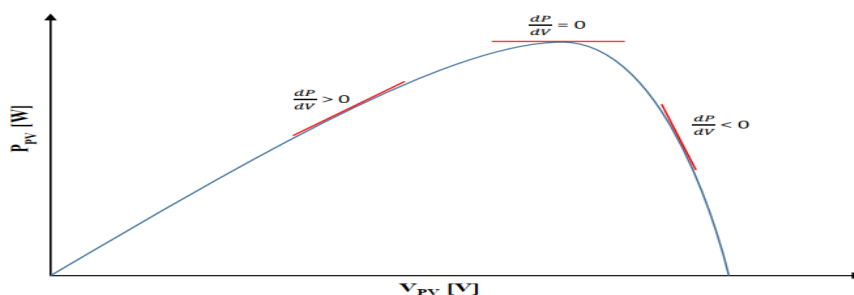
UN inconvénient de la méthode de PO est décrit par l'échec lors d'un changement rapide des conditions atmosphériques. Si l'ensoleillement augmente on aura une augmentation de la puissance du panneau, alors que le système va réagit comme si cette augmentation est produite par l'effet de perturbation précédente, il continue dans la même direction qui est une mauvaise direction, ce qui fait qu'il s'éloigne du vrai point de puissance maximale.

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

Ces oscillations qui peuvent être minimisées lors de réduire les valeurs de la variable de perturbation[33].

### III.5 Conductance Incrémentale (INC, Incremental Conductance) :

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. Figure III.6



**Figure III.6** caractéristique de tension-puissance du panneau.

On observe que:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP}{dV} = 0 \text{ au PMM} \\ \frac{dP}{dV} > 0 \text{ à gauche du PMM} \\ \frac{dP}{dV} < 0 \text{ à droite du PMM} \end{array} \right\} \quad (\text{I-4})$$

La puissance du panneau solaire est donnée par :

$$P = V \times I \quad (\text{I-4})$$

Et sa dérivée partielle est donnée par :

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (\text{I-5})$$

Donc, l'équation (I-4) peut être écrite comme suit :

$$\begin{array}{ll} \frac{dP}{dV} = 0 & \frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \text{ (a) Au point du MPP} \\ \frac{dP}{dV} > 0 & \text{ ou } \frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \text{ (b) A gauche du MPP} \\ \frac{dP}{dV} < 0 & \frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \text{ (c) A droite du MPP} \end{array} \quad (\text{I-6})$$

Les deux équations (b) et (c) sont employées pour déterminer la direction du déplacement de point de fonctionnement MPP dans laquelle la perturbation se produit, elle se répète jusqu'à ce que l'équation (a) soit satisfaite.

Le PPM peut être atteint en comparant à chaque instant la valeur de la conductance ( $IPV/VPV$ ) avec celle de l'incrément de conductance ( $dIPV/dVPV$ ). Si l'incrément de conductance ( $dG$ ) est supérieur à l'opposé de la conductance ( $-G$ ), on diminue le rapport cyclique. Par contre, si l'incrément de conductance est inférieur à l'opposé de la conductance, on augmente le rapport cyclique. Ce processus est répété jusqu'à atteindre le PPM. La Figure III.7 montre l'algorithme de cette méthode.

Pratiquement, comme la méthode P&O, cette technique présente des oscillations autour du MPP car il est difficile de remplir la condition  $dP/dv = 0$ , ce qui fait que le système reste toujours en train de la chercher. L'algorithme INC est plus complexe que celui du P&O, ce qui engendre un temps d'exécution plus long.

Cette méthode peut être améliorée en amenant le point de fonctionnement près du MPP dans une première étape, puis d'utiliser l'algorithme INC pour suivre exactement le MPP dans une deuxième étape. Généralement, le point de fonctionnement initial est réglé pour

correspondre à une charge résistive proportionnelle au rapport de la tension de circuit ouvert  $V_{oc}$  sur le courant de court-circuit  $I_{sc}$ . Ces deux solutions assurent que le vrai MPP est poursuivi s'il existe plusieurs maxima locaux. Une manière moins évidente pour effectuer la méthode INC est d'utiliser la conductance instantanée et l'incrément de la conductance pour générer un signal d'erreur[29].

$$e = \frac{I}{V} + \frac{dI}{dV} \quad (I-7)$$

D'après l'équation(I-7), l'erreur est nulle au MPP. Un régulateur PI peut donc être utilisé pour annuler cette erreur. La mesure de la tension et du courant instantanés du panneau PV nécessite deux capteurs. La méthode INC se prête parfaitement à la commande par DSP ou microcontrôleur, qui peut garder en mémoire les valeurs précédentes de la tension et du courant.

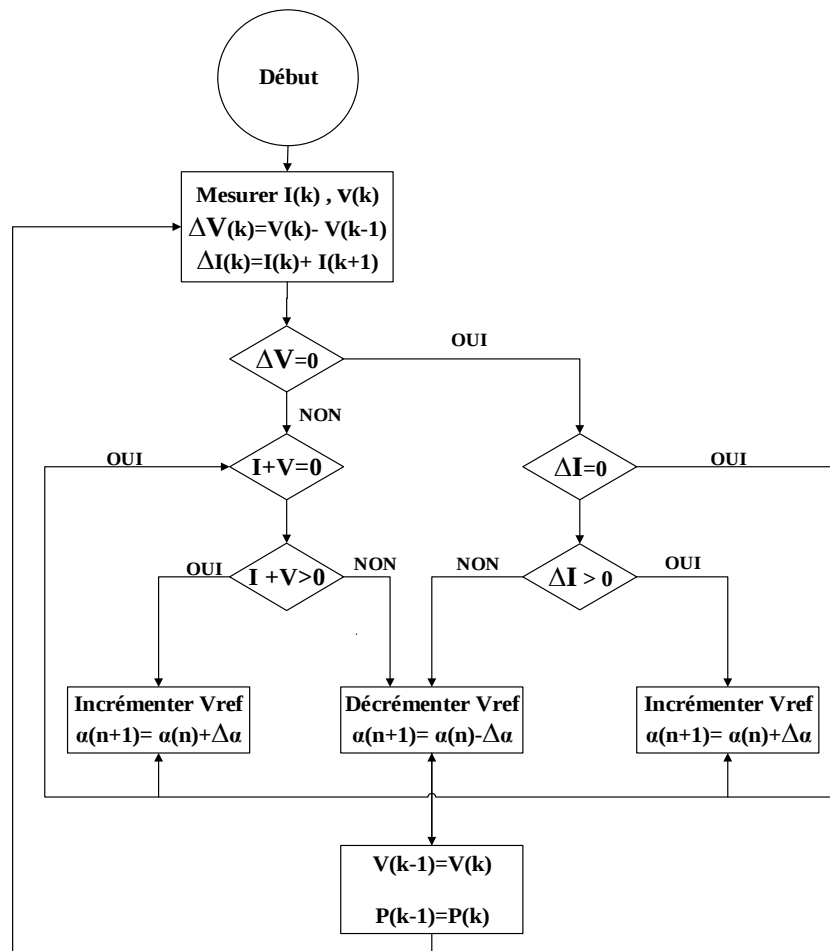
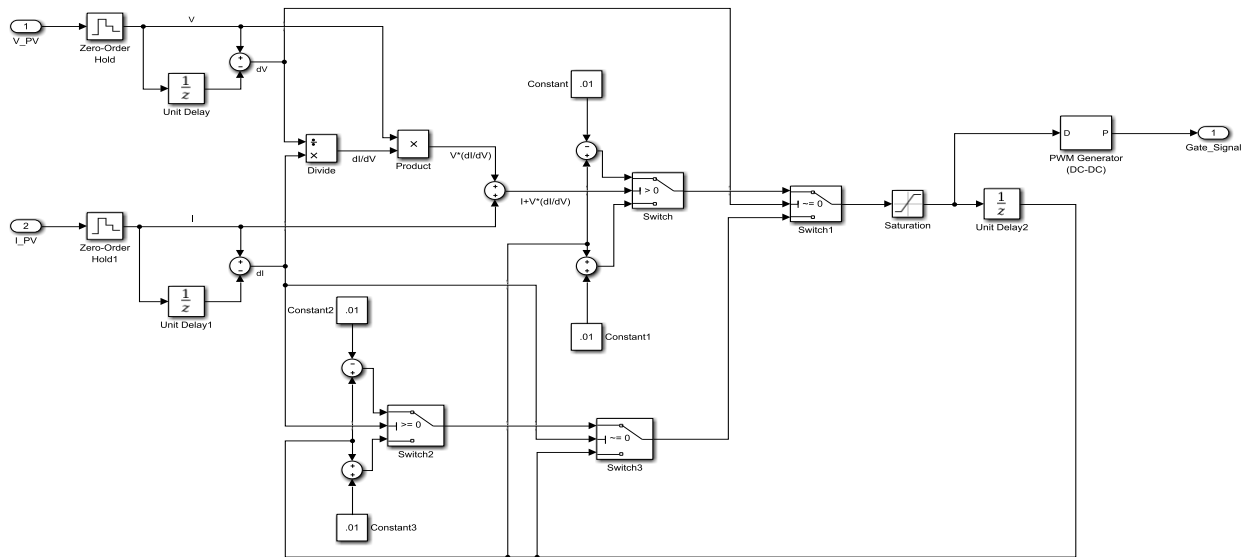
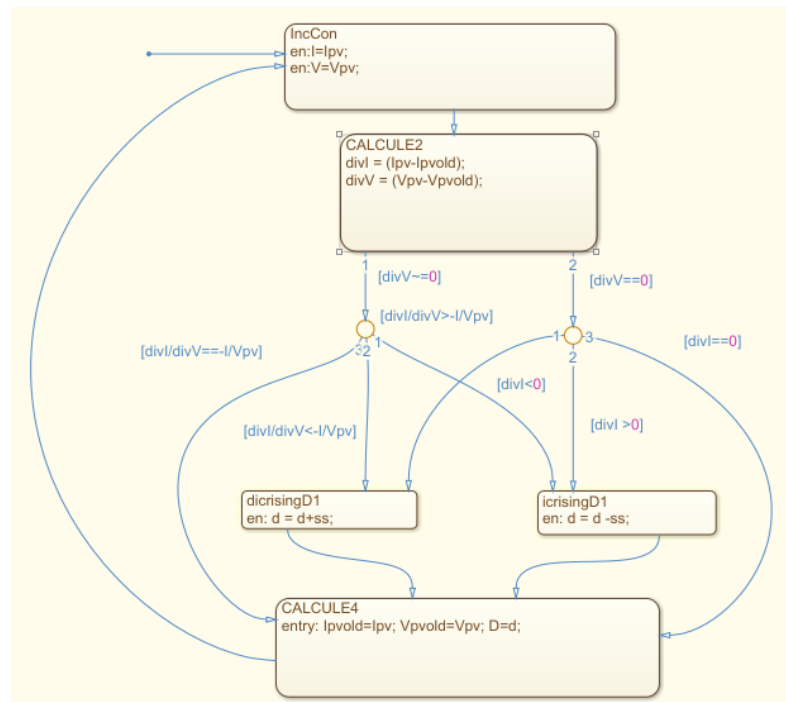


Figure III.7 l'algorithme IncCond classique.

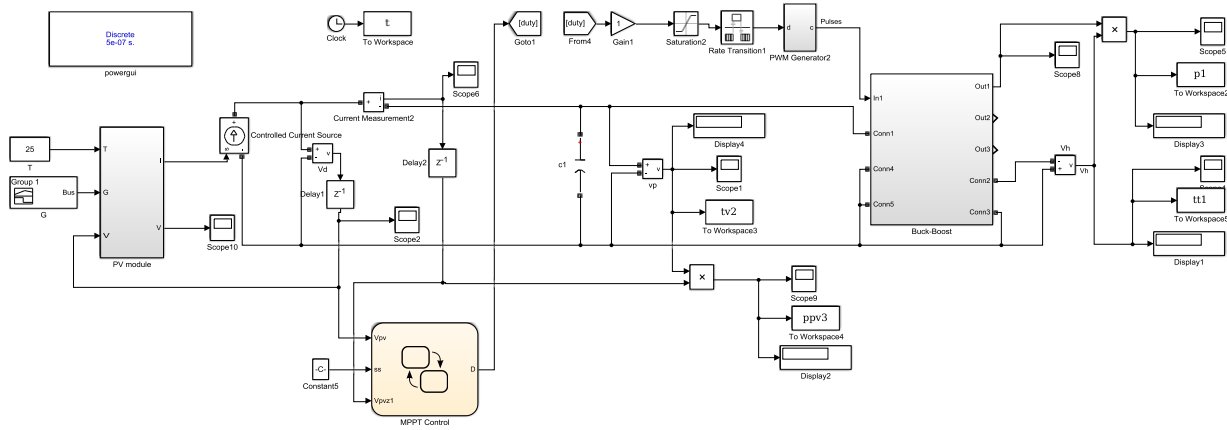
On a réalisé le schéma block suivant :



**Figure III.8** Programme et schéma bloc de la technique INC.



**Figure III.9** Stateflow de la technique INC.



**Figure III.10** Simulation du system photovoltaïque avec technique INC-MPPT.

### III.5.1 Les avantages et les inconvénients

#### a. Avantage :

Parlant de la méthode INC, parmi les avantages que l'on peut citer c'est la structure de régulation simple ainsi que le nombre des paramètres mesurés réduit.

Pour la méthode INC l'avantage principal de cet algorithme est qu'il offre un bon rendement même sous un changement rapide des conditions atmosphériques. En revanche, les rendements de MPPT de la conductance par incrémentation et de l'algorithme P&O sont essentiellement identiques.

#### b. Inconvénients :

Pour la méthode INC il existe un dépassement du point maximum optimal en cas de changement rapide des conditions atmosphériques.

Néanmoins, l'inconvénient d'INC est que le circuit de commande est complexe et très coûteux[33].

### III.6 Résultats de Simulation :

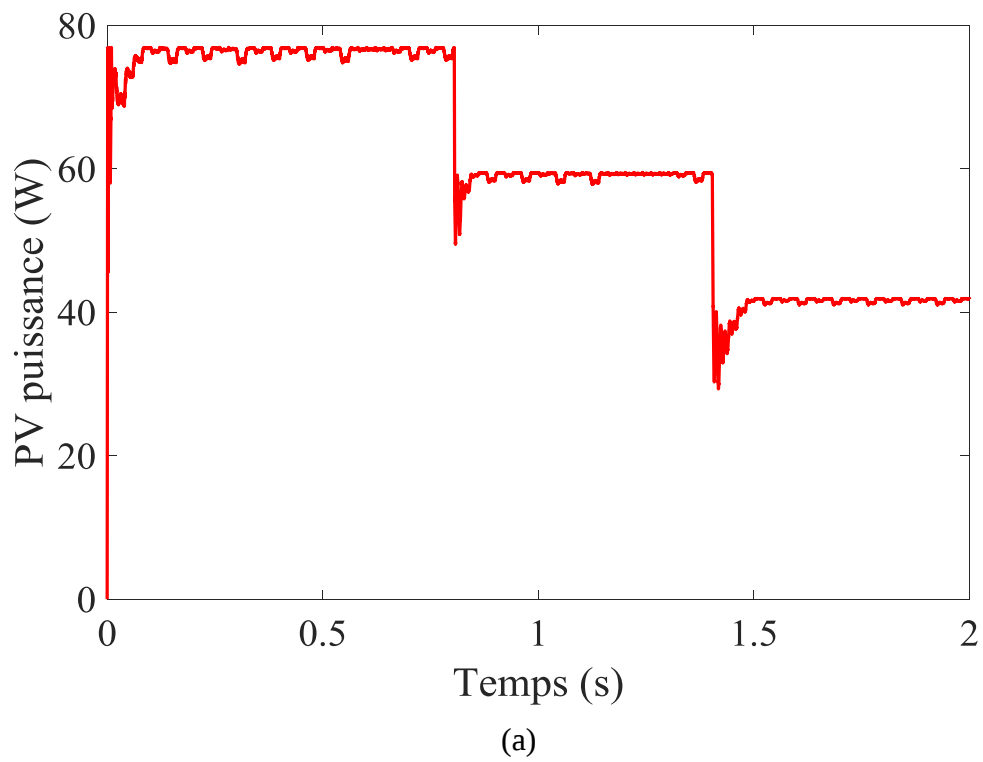
L'objectif traité dans ce chapitre est de concevoir une commande MPPT basée sur INC algorithme qui fait face aux différents changements atmosphériques. Vu l'impact de l'éclairement, ce chapitre propose d'analyser les méthodes MPPT sélectionnées (INC) et d'évaluer leurs comportements dynamiques en termes de stabilité rapidité et efficacité. La simulation est effectuée pour trois cas qui sont :

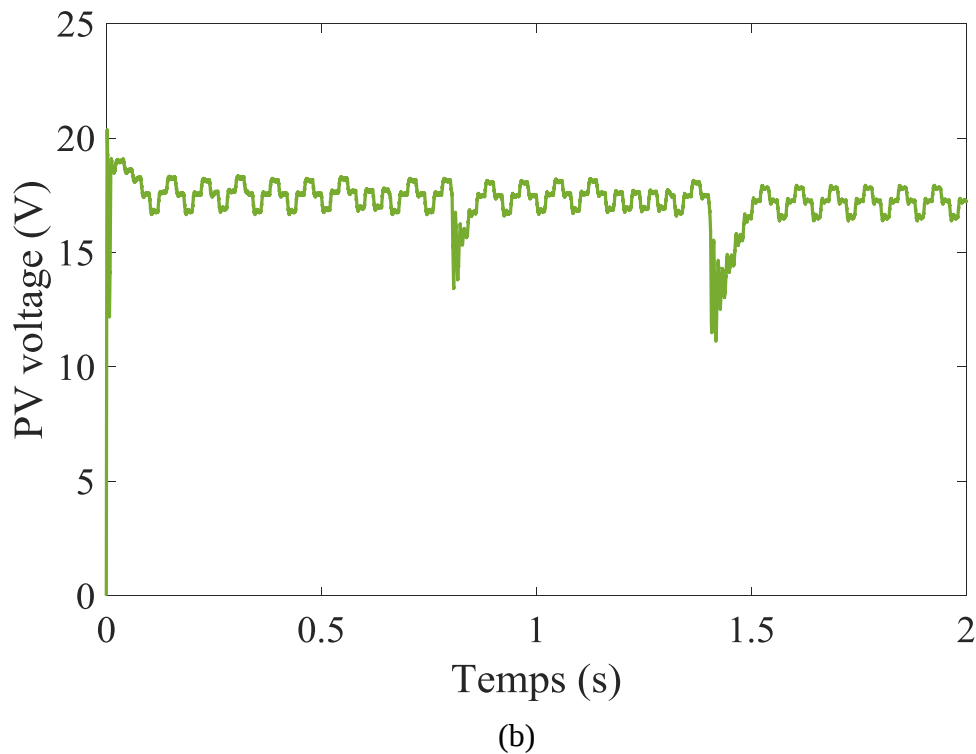
- Conditions d'éclairement uniforme.
- Variation d'éclairement ( $900\text{W/m}^2$ ,  $700\text{W/m}^2$ , et  $500\text{W/m}^2$  avec  $v$  25 C°).

Spécifications du module PV multicristallin Dimel-85 est choisi pour la modélisation. Il fournit 85 watts de puissance nominale maximale et se compose de 36 cellules Ses spécifications sont présentées dans le tableau 1.

Tableau III.2 Caractéristiques électriques du module PV.

| Paramètre Electrique        | Dimel-85 |
|-----------------------------|----------|
| Puissance max (PM)          | 85W      |
| Vmpp                        | 17.85 V  |
| Impp                        | 4.77 A   |
| Isc                         | 5.15 A   |
| Voc                         | 21.8V    |
| Nombre de cellules en série | 36       |





**Figure III.11** Résultat de la simulation du suivi des formes d'onde pour les deux algorithmes INC-MPPT : (a) puissance PV et (b) tension du module PV.

### III.7 Discussion

L'algorithme INC est un algorithme classique et simple. En général, cet algorithme dépend fortement des conditions initiales et il présente des oscillations autour de la valeur optimale. L'inconvénient majeur de cet algorithme est son mauvais comportement suite à un changement brusque de l'éclairement (nuages).

L'algorithme INC semble une amélioration de l'algorithme P&O. En effet, il se comporte mieux lors d'un changement rapide des conditions météorologiques. Cependant, c'est un algorithme un peu plus complexe que le précédent.

Les algorithmes basés sur la mesure d'une fraction de tension du circuit ouvert ou d'une fraction de courant de court-circuit sont très simples et faciles à implémenter. L'inconvénient majeur est les pertes d'énergie et l'arrêt de transfert de puissance lorsqu'on mesure les grandeurs  $V_{oc}$  et  $I_{cc}$ . Pour surmonter ce problème, on utilise une cellule pilote de même nature que les cellules du panneau. De plus, la détermination de la valeur optimale du paramètre  $k$  est très difficile. C'est pourquoi, ces méthodes semblent juste une approximation et elles ne présentent pas assez de précision et par conséquent le système ne fonctionne pas toujours au point optimal.

Le tableau suivant résume les principales spécifications des différents algorithmes MPPT précédemment étudiés. Nous avons évalué et comparé ces algorithmes en termes de connaissance technique des paramètres du panneau PV, complexité, rapidité et précision.

Tableau III.3.Comparaison Des Techniques MPPT.

| Algorithmes MPPT                            | P&O                    | INC                    | FCO            | FCC            |
|---------------------------------------------|------------------------|------------------------|----------------|----------------|
| Type de Capteurs utilisés                   | 1 Tension<br>1 courant | 1 Tension<br>1 courant | 1 Tension      | 1 courant      |
| Identification des paramètres du panneau PV | Non nécessaire         | Non nécessaire         | Oui nécessaire | Oui nécessaire |
| Complexité                                  | Basse                  | Moyenne                | Très Basse     | Très Basse     |
| Nombre d'itérations                         | 45                     | 48                     | 35             | 41             |
| Précision                                   | 95%                    | 98%                    | 94%            | 94%            |

### III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons modélisé mathématiquement le panneau solaire et le Buck-Boost. Pour obtenir un modèle exploitable sur Simulink, les équations développées ont été réalisées dans des schémas blocs. Ensuite nous avons présentés Stateflow/simulink techniques pour la poursuite du point de fonctionnement à puissance maximale. Nous avons commencé par les méthodes classiques (INC); on a présenté les organigrammes ensuite le schéma bloc réalisé sous le Simulink.

Dans ce chapitre, nous avons entamé la partie la plus importante et la plus délicate de cette étude. Il s'agit de présenter le principe de la recherche du point de puissance maximale MPP tout en donnant la différente irradiation solaire  $G$ .

# Chapitre IV

## IV.1.Introduction :

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses.

De plus, l'Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme).

Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quarte 16MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise le logiciel IDE Arduino[39].



Figure IV.1 Carte arduino.

## IV.1 Définition de la carte Arduino :

### IV .2.1. Pourquoi Arduino UNO :

Il y a de nombreuses cartes électroniques qui possèdent des plateformes basées sur des microcontrôleurs disponibles pour l'électronique programmée. Tous ces outils prennent en charge les détails compliqués de la programmation et les intègrent dans une présentation facile à utiliser. De la même façon, le système Arduino simplifie la façon de travailler avec les microcontrôleurs tout en offrant à personnes intéressées plusieurs avantages cités comme suit:

**Le Prix (Réduits) :** les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses comparativement aux autres plates-formes. La moins chère des versions du module Arduino peut être assemblée à la main, (les cartes Arduino pré-assemblées coûtent moins de 2500 Dinars).

## IV .2. 2 La constitution de la carte Arduino UNO :

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur **ATMELAVR**, et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage d'autres circuits.

Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.

## IV .2.3 Partie matérielle :

Généralement tout module électronique qui possède une interface de programmation est basé toujours dans sa construction sur un circuit programmable ou plus.

## IV .2.4 Le Microcontrôleur ATMega328 :

Un microcontrôleur ATMega328 est un circuit intégré qui rassemble sur une puce plusieurs éléments complexes dans un espace réduit au temps des pionniers de l'électronique. Aujourd'hui, en soudant un grand nombre de composants encombrants ; tels que les transistors; les résistances et les condensateurs tout peut être logé dans un petit boîtier en plastique noir muni d'un certain nombre de broches dont la programmation peut être réalisée en langage C. la figure IV.2 montre un microcontrôleur ATmega 328, qu'on trouve sur la carte Arduino [40].

Le microcontrôleur ATMega328 est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur. Globalement, l'architecture interne de ce circuit programmable se compose essentiellement sur :

- **La mémoire Flash:** C'est celle qui contiendra le programme à exécuter. Cette mémoire est effaçable et réinscriptible mémoire programme de 32Ko (dont bootloader de 0.5 ko).
- **RAM :** c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables du programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur. Sa capacité est 2 ko.
- **EEPROM :** C'est le disque dur du microcontrôleur. On y enregistre des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme.
- **Registres:** il s'agit d'une forme de mémoire utilisée par le processeur.
- **Le processeur :** C'est le composant principal du microcontrôleur. C'est lui qui exécutera le programme que nous lui avons donné. Le CPU est un terme souvent utilisé.

Une alimentation électrique est nécessaire pour que le microcontrôleur fonctionne. Ceci est généralement accompli avec une alimentation + 5V. D'autres auraient besoin d'un stress plus faible, tel que + 3,3V. En plus d'une alimentation, il a besoin d'un signal d'horloge. C'est en fait une succession de 0 et de 1 ou plutôt une succession de tension 0V et 5V. Elle permet en outre de cadencer le fonctionnement du microcontrôleur à un rythme régulier. Grâce à elle, il peut introduire la notion de temps en programmation[13].



**Figure.IV.2** photo de microcontrôleur ATmel328.

## IV .2.5 Les différentes cartes Arduino :

Le système Arduino est une plateforme open source basée sur une carte programmée par microcontrôleur et un environnement de développement (SDK) permettant d'écrire, compiler et tester d'un programme.

Les cartes et modules Arduino sont pourvus d'entrées-sorties qui peuvent recevoir des signaux de capteurs ou interrupteurs et peuvent commander des moteurs, éclairages, etc.

Le terme «Arduino» ne fait pas référence à un type spécifique de carte ou de microcontrôleur. Arduino est un terme qui englobe toute la famille Arduino. Choisir le bon pour votre projet n'est pas une tâche facile et il est important de réfléchir à celui que vous utiliserez. Dans cet article, nous en apprendrons plus sur les différents types de cartes Arduino disponibles et comment les utiliser.

- Arduino Uno
- Arduino Nano
- Arduino Due
- Arduino Mega
- Arduino Leonardo

### IV.2.5.1 Arduino UNO:

Sans aucun doute, l'Arduino le plus courant est LUNO. Il est alimenté par un processeur Atmega328 16 MHz avec 32 kilo-octets de mémoire programme, 1 kilo-octet d'EEPROM, 2 kilo-octets de RAM, 14 entrées numériques E / S, 6 entrées analogiques et un rail d'alimentation 5V et 3V.

Tableau.IV.1 la carte arduino UNO.

| Categorie                      | Valeur                         |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Microcontrôleur                | Atmega 328                     |
| Frequence d'horloge            | 16MHZ                          |
| Tension de service             | 5V                             |
| Tension d'entrées(recommandee) | 7-12V                          |
| Tension d'entrées(limites)     | 6-20V                          |
| Portes numeriques              | 14 entrées et sortie           |
| Portes analogiques             | 6 entrées analogique           |
| Courant maxi.par broche d'E/S  | 40mA                           |
| Courant maxi.par broche3.3V    | 50mA                           |
| Mémoire                        | 32KO flash,2ko SRAM,1ko EEPROM |
| Chargeur d'amorçage            | 0.5 KO(en mémoire flash)       |
| Interface                      | USB                            |
| Dimensions                     | 6.86 cm*5.3cm                  |
| prix                           | 24\$                           |

#### IV.2.5.2 Arduino Due :

L'Arduino Due est l'une des cartes Arduino les plus puissantes et les premières à être alimentée par un processeur ARM.

Alors que l'UNO et le Nano fonctionnent à 5V, le DUO fonctionne à 3,3V - il est important de se rappeler qu'une surcharge endommagera irréversiblement la carte. Le Due est alimenté par un processeur Cortex-M3 ATSAM3X8E de 84 MHz avec 512 Ko de ROM et 96 Ko de RAM, 54 commutateurs numériques E / S, 12 canaux PWM, 12 entrées analogiques et 2 sorties analogiques.

La DUE est l'une des cartes Arduino les plus chères car elle manque de mémoire EEPROM. Malgré le fait que le Due dispose d'un grand nombre d'en-têtes de broches pour se connecter à une variété de numériques E / S, il est également compatible avec les broches Arduino régulières.

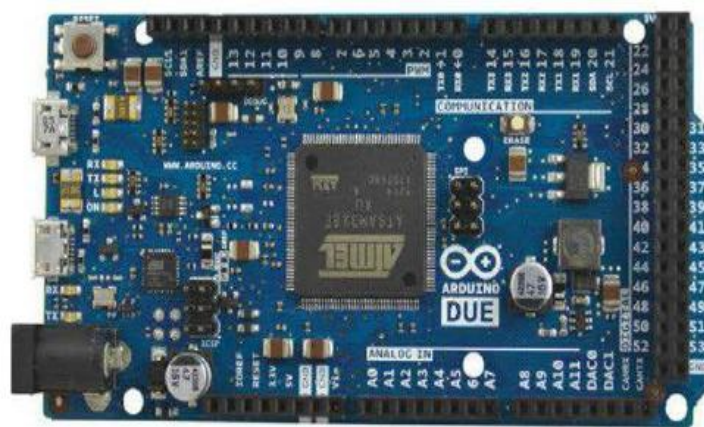


Figure.IV.3 Arduino DUE.

Tableau IV.2 la carte arduino DUE .

| Categorie                       | Valeur                                                          |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Microcontrôleur                 | Atmega SAM 3*8E base sur une architecture ARM cortex M3 a 32bit |
| Frequence d'horloge             | 84MHZ                                                           |
| Tension de service              | 3.3V                                                            |
| Tension d'entrées (recommandee) | 7-12V                                                           |
| Tension d'entrées (limites)     | 6-20V                                                           |
| Portes numeriques               | 54 entrées et sortie                                            |
| Portes analogiques              | 12 entrées analogiques                                          |
| Courant maxi.par broche 5V      | 800mA                                                           |
| Courant maxi.par broche 3.3V    | 800mA                                                           |
| Mémoire                         | 512KO flash, 94 ko SRAM(2banes:64ko+32ko)<br>512octets EEPROM   |
| Dimensions                      | 10.2 cm*5.3cm                                                   |
| Prix                            | 47\$                                                            |

#### IV.2.5.3 Arduino Mega 2560 :

À cet égard, l'Arduino Mega est similaire au Due en ce sens qu'il possède 54 broches E / S. Cependant, au lieu d'être alimenté par un processeur ARM, il est alimenté par un ATmega2560.

Le processeur fonctionne à 16 MHz et dispose de 256 kilo-octets de ROM, 8 kilo-octets de RAM, 4 kilo-octets d'EEPROM et fonctionne à 5 volts, ce qui le rend compatible avec la plupart des produits électroniques grand public.

L'Arduino Mega possède 16 entrées analogiques, 15 sorties PWM, un brochage similaire au Due et un matériel compatible avec les blindages Arduino. La compatibilité logicielle avec Mega, comme avec Due, ne peut pas toujours être garantie.

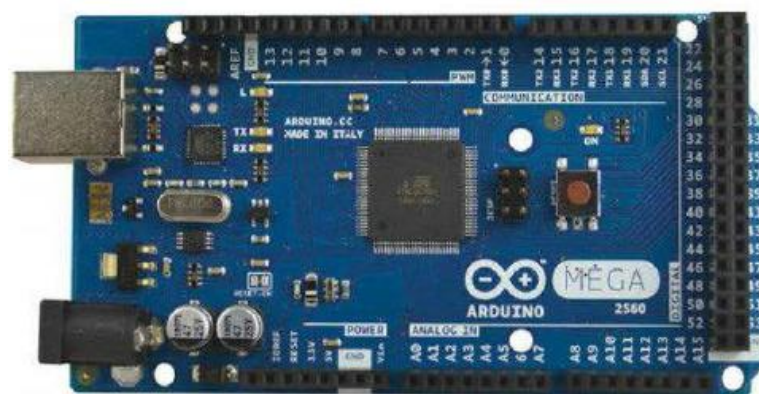


Figure.IV.4 Arduino MEGA.

Tableau IV.3 la carte arduino MEGA.

| Categorie                       | Valeur                            |
|---------------------------------|-----------------------------------|
| Microcontrôleur                 | Atmega 2560                       |
| Frequence d'horloge             | 16MHZ                             |
| Tension de service              | 5V                                |
| Tension d'entrées (recommandee) | 7-12V                             |
| Tension d'entrées (limites)     | 6-20V                             |
| Portes numeriques               | 54 entrées et sortie              |
| Portes analogiques              | 16 entrées analogiques            |
| Courant maxi.par broche d'E/S   | 40mA                              |
| Courant maxi.par broche 3.3V    | 50mA                              |
| Mémoire                         | 256KO flash, 8ko SRAM, 4ko EEPROM |
| Chargeur d'amorçage             | 8 KO(en mémoire flash)            |
| Interface                       | USB                               |
| Dimensions                      | 10.16 cm*5.3cm                    |
| prix                            | 47\$                              |

#### IV.2.5.4. Arduino Nano:

L'Arduino Nano est essentiellement un Arduino UNO réduit, ce qui le rend idéal pour les espaces restreints et les projets qui nécessitent une réduction de poids chaque fois que possible, tels que la modélisation ou les projets de bricolage compacts.

Le Nano, comme l'UNO, est alimenté par un processeur Atmega328 fonctionnant à 16 MHz, avec 32 kilo-octets de mémoire programme, 1 kilo-octet d'EEPROM, 2 kilo-octets de RAM, 14 sorties numériques, 6 entrées analogiques et des rails d'alimentation de 5 et 3 volts.

(Remarque - Les cartes Arduino Nano antérieures à la V3.0 utilisaient l'ATmega168, qui correspondent essentiellement à la moitié des spécifications.)

Contrairement au système UNO, le Nano ne peut pas se connecter aux platines de prototypages. Les cartes Arduino Nano sont souvent l'option de carte Arduino la moins chère, ce qui les rend rentables pour les grands projets.

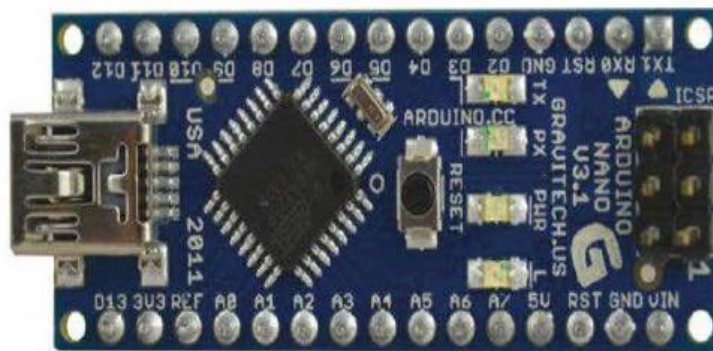


Figure.IV.5 Arduino NANO.

Tableau IV.4 la carte arduino NANO.

| Categorie                       | Valeur                                                                                                                 |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Microcontrôleur                 | Atmega 168 OU 328                                                                                                      |
| Frequence d'horloge             | 16MHZ                                                                                                                  |
| Tension de service              | 5V                                                                                                                     |
| Tension d'entrées (recommandee) | 7-12V                                                                                                                  |
| Tension d'entrées (limites)     | 6-20V                                                                                                                  |
| Portes numeriques               | 14 entrées et sortie                                                                                                   |
| Portes analogiques              | 8 entrées analogiques                                                                                                  |
| Courant maxi.par broche d'E/S   | 40mA                                                                                                                   |
| Mémoire                         | Atmega328:<br>32ko memoire flash , 2ko SRAM<br>1ko EEPROM<br>Atmega168:16ko memoire flash,1ko SRAM<br>512Octets EEPROM |
| Chargeur d'amorçage             | 2 KO(en mémoire flash)                                                                                                 |
| Interface                       | USB                                                                                                                    |
| Dimensions                      | 1.9 cm*5.3cm                                                                                                           |
| prix                            | 40\$                                                                                                                   |

Parmi ces types, nous avons choisi la carte Arduino UNO (carte Basique). L'intérêt principal de cette carte est de faciliter la mise en oeuvre d'une telle commande qui sera détaillée par la suite. L'Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils « *open source* » comme interface de programmation. L'injection du programme déjà converti par l'environnement sous forme d'un code « HEX » dans la mémoire du microcontrôleur se fait d'une façon très simple par la liaison USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties. Cette carte est basée sur un microcontrôleur ATmega328 et des composants complémentaires. La carte Arduino contient une mémoire morte de 1 kilo. Elle est dotée de 14 entrées/sorties digitales (dont 6 peuvent être utilisées en tant que sortie PWM), 6 entrées analogiques et un cristal à 16 MHz, une connexion USB et Possède un bouton de remise à zéro (*Reset*) et une prise Jack d'alimentation. La carte est illustrée dans la figure IV.1 [13].

## IV.2.6 Les entrées / sorties :

Les broches d'E / S (entrée / sortie) sur la carte Arduino indiquent un moyen pour la carte de communiquer avec le monde extérieur. Les sorties sont régulées par la carte, ce qui permet au logiciel du microcontrôleur de désactiver ces activités (par exemple, allumer ou éteindre une lumière, allumer ou éteindre un ventilateur, allumer ou éteindre un moteur).Le microcontrôleur lit les entrées, lui permettant de déterminer l'état de l'appareil auquel il est lié.

Il existe deux types d'E / S: les E / S numériques et les E / S analogues.

### IV.2.6.1 Les entrées / sorties numeriques :

Les entrees / sorties numeriques ne peuvent prendre que deux valeurs, la valeur LOW (~ GND, 0 V), et la valeur HIGH (~ 5 V). La valeur d'un port numerique peut donc etre codee sur un bit, 0 ou 1, true ou false.



**Figure.IV.6** Les entrees / sorties numeriques.

La carte arduino comporte 14 I/O numeriques (appelees DIGITAL sur la carte), numerotees de 0 a 13 (voir le schema ci-dessus), et appelees D0, D1, D2, ... D13. Chacun de ces ports peut-etre declare comme etant une entree ou comme une sortie dans le programme du microcontroleur. Les deux premiers ports (D0 et D1) sont reserves a la communication serie, il ne faut pas les utiliser. Le dernier port, D13, possede un indicateur lumineux, une LED qui s'allume quand le port est HIGH, et qui s'eteint quand le port est LOW. Le port GND est la masse de la carte (0 V).

#### IV.2.6.2 Les sorties numeriques :

Chacun des 14 ports numeriques de la carte peut être utilisé pour le départ. Si un port est désigné comme sortie, la valeur de ce port est contrôlée par le microcontrôleur.

Attention: le courant maximum qu'un port de sortie numérique peut fournir est de 40 mA; demander plus que cela peut endommager la carte! Ce type de situation se produira si un port déclare un départ.est directement connecté à la masse (port GND) avec une très faible résistance (un fil), et le programme règle la sortie sur HIGH (5 V). Le contraire est tout aussi dangereux (une sortie numérique soulagée au port 5 V et basculee sur la valeur LOW).

Les sorties numériques sont incapables de fournir une puissance électrique suffisante (40 mA max sur 5 V). Ils sont utilisés pour échanger des informations (par exemple, les ports D0 et D1 sont utilisés pour la communication série avec l'ordinateur) ou pour désactiver le comportement (par exemple, allumer une lumière).

#### IV.2.6.3.Les entrées numeriques :

Chacun des 14 ports numeriques de la carte peut être utilisé comme entrée. Si un port est désigné comme point d'entrée, l'état du port sera lu par Arduino (HIGH ou LOW), et cette valeur sera utilisée dans le programme pour déterminer l'action à entreprendre.

Déclaré comme une entrée, un numéro de port est classé HAUT ou BAS selon la tension mesurée par la carte.. En général, les tensions inférieures à 1 V seront étiquetées comme BAS, et les tensions supérieures à 4 V seront étiquetées comme ÉLEVÉES. Il est important d'éviter les tensions intermédiaires, qui peuvent conduire à un résultat imprévisible. Attention: une tension supérieure à 5,5 V endommagera la carte Arduino.

#### IV.2.6.4 Les entrées analogique :

Une entrée analogique est similaire à un voltmètre: la carte représente la tension appliquée au port. Cependant, comme le microcontrôleur ne fonctionne qu'avec des nombres, la contrainte appliquée doit être convertie en une valeur numérique. C'est le travail du convertisseur analogique / numérique, également appelé CAO.



**Figure.IV.7** Les entrées analogique.

#### IV.2.6.5 Les sorties analogique :

La carte Arduino ne dispose pas d'une véritable sortie analogique capable de produire une tension à une valeur spécifiée par l'utilisateur. Cependant, certains ports numériques peuvent être utilisés comme sorties analogiques en utilisant la technologie PWM (Pulse Width Modulation): ce sont les ports 3,5,6,9,10 et 11 (signaux par un sur la carte). Ces ports peuvent simuler une tension entre 0 et 5V en commutant rapidement entre leurs états BAS (OV) et HAUT (H V) (5 V). Si le port passe le même temps dans un état que dans l'autre, la tension moyenne est de 2,5 V; cependant, en modifiant ce rapport, la tension moyenne peut être réglée entre 0 et 5 V.



**FigureIV.8** Les sorties analogique.

#### IV.2.6.6 Les tensions de references :

La carte Arduino comprend des ports qui permettent d'accéder à certaines tensions de référence..



**Figure.IV.9** Les tensions de references.

GND est la carte de référence Arduino par rapport à laquelle toutes les différences de tension sont mesurées. Si la carte est connectée à l'ordinateur via un câble USB, la contrainte est celle de la terre. Les ports 5V et 3V3 permettent d'accéder respectivement à des tensions 5 V et 3,3 V. Ces contraintes sont généralement contrôlées et exactes. Une exception: lorsque la carte est connectée à un port USB sans alimentation externe, le port 5 V n'est plus alimenté par la carte Arduino mais plutôt par le câble USB, donc la tension de référence 5 V n'est plus aussi bien maîtrisée. Lorsqu'il y en a un, VIN est la tension d'alimentation externe.

Attention: si vous connectez le port 5 V au port GND (ou le port 3V3 au port GND, ou le port 5V au port 3V3), vous provoquerez un court-circuit qui endommagera la carte

## **IV 2.7 Le porte USB :**

Le port USB permet à la fois d'alimenter la carte Arduino et de communiquer en série entre la carte et l'ordinateur. Une fois connectée, la carte Arduino apparaîtra dans le gestionnaire de matériel de votre ordinateur, connectée à l'un des ports série (COM1, COM4, etc.). Vous devez vous assurer que l'IDE (logiciel Arduino) est correctement configuré pour communiquer avec le bon port COM (et le bon type de carte Arduino !). L'IDE vous permet de scanner le port COM et de récupérer tous les messages qui peuvent avoir été laissés sur la carte. Utilisez toujours cet outil pour déboguer votre logiciel tant qu'il y a des informations circulant sur le port série: Outils / Moniteur série.

## **IV.2.8 Les ports de communications :**

La carte Arduino UNO a de nombreuses possibilités de communications avec l'extérieur. L'Atmega328 possède une communication série UART TTL (5V), grâce aux broches numériques 0 (RX) et 1 (TX).

On utilise (RX) pour recevoir et (TX) transmettre (les données séries de niveau TTL). Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega328 programmé en convertisseur USB – vers – série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur. Comme un port de communication virtuel pour le logiciel sur l'ordinateur, La connexion série de l'Arduino est très pratique pour communiquer avec un PC, mais son inconvénient est le câble USB, pour éviter cela, il existe différentes méthodes pour utiliser ce dernier sans fil:

## **IV.2.9 Partie programme :**

Une telle carte d'acquisition qui se base sur sa construction sur un microcontrôleur doit être dotée d'une interface de programmation comme est le cas de notre carte. L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux).

## **IV.2.10 L'environnement de la programmation :**

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino[41].

### **IV.2.10.1 Le logiciel :**

Les appareils électroniques sont de plus en plus remplacés par des appareils électroniques programmés. Il est également connu sous le nom d'électronique embarquée ou de technologie de l'information embarquée.

### **IV 2.10.2 L'interface de logiciel :**

L'interface graphique du logiciel Arduino présente les caractéristiques suivantes:

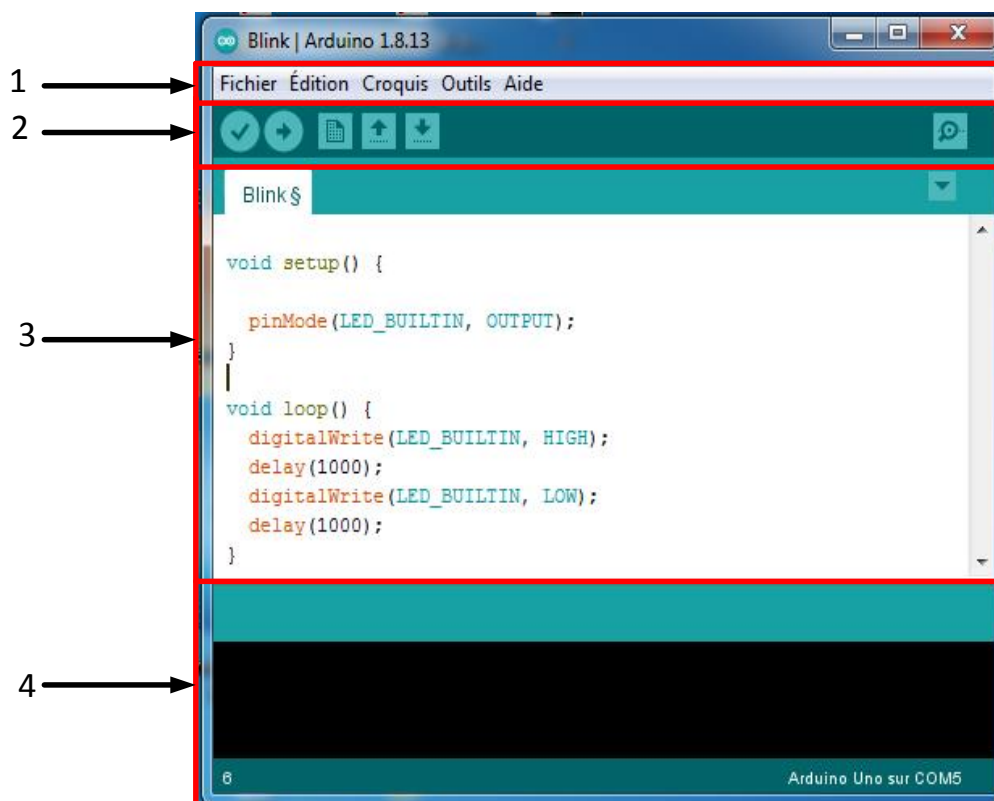
### **IV 2.10.3 Lancement du logiciel :**

Démarrez le programme en double-cliquant sur l'icône avec le symbole vert "infini". Il s'agit de l'exécutable du logiciel. Après un bref moment de réflexion, l'image suivante apparaît:



**Figure.IV.10** L'écran de démarrage Arduino software.

L'interface du logiciel Arduino se presente de la facon suivante :



**Figure.IV.11** L'interface arduino IDE de logiciel.

1. Options de configuration du logiciel
2. Boutons pour la programmation des cartes
3. Programme à créer
4. Débogueur (affichage des erreurs de programmation)

#### IV.2.10.4 Les boutons :

Regardez ce que les boutons, qui sont enfermés en rouge et numérotés avec un 2 servent en ce moment.

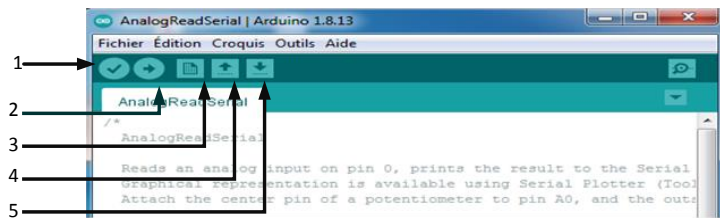


Figure.IV.12 La barre d'outils.

**Bouton 1 :** Ce bouton vous permet de vérifier votre programme; il lance un module qui recherche les erreurs dans votre code.

**Bouton 2 :** chargez (transférez) le programme sur la carte Arduino.

**Bouton 3 :** créer un nouveau fichier

**Bouton 4 :** Ouvrez un document.

**Bouton 5 :** Enregistre le fichier.

**Bouton 6 :** Ouvrez le moniteur de la série (nous verrons de quoi il s'agit plus tard).

#### IV.2.11 Structure générale du programme (IDE Arduino):

Commen'importequellangage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.

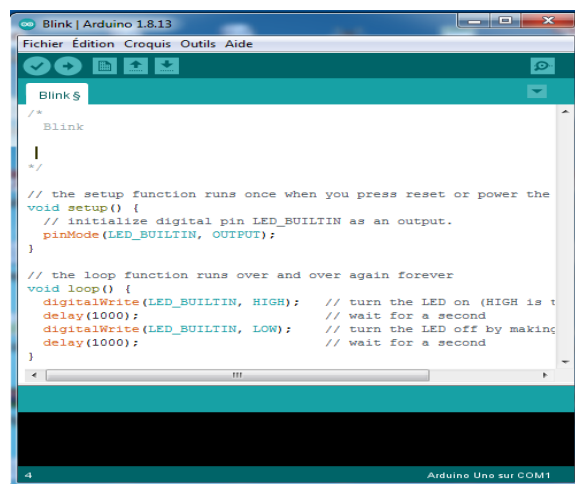


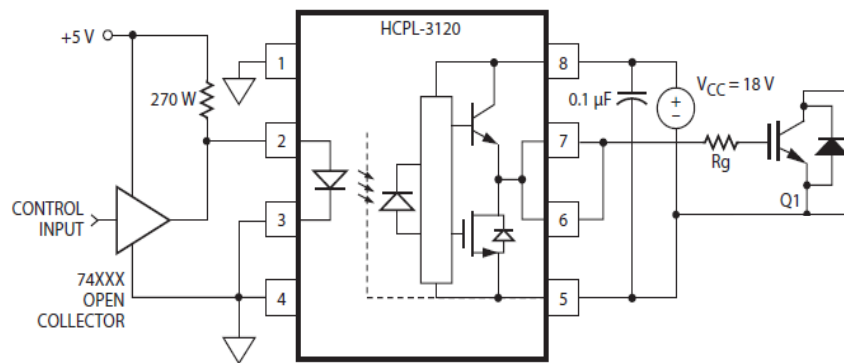
Figure.IV.13 Interface IDE Arduino.

### IV.3 Les élément du system photovoltaïque:

#### IV.3.1 Gate driver:

Un pilote de grille est un amplificateur de puissance qui accepte une entrée de faible puissance d'un circuit intégré de contrôleur et produit une entrée de commande de courant élevé pour la grille d'un transistor de haute puissance tel qu'un IGBT ou un MOSFET de puissance. Les commandes de porte peuvent être fournies soit dans la puce, soit sous la forme d'un module discret. Essentiellement, une commande de porte consiste en un décaleur de niveau en

combinaison avec un amplificateur. Un circuit intégré de commande de porte sert d'interface entre les signaux de commande (contrôleurs numériques ou analogiques) et les commutateurs d'alimentation (IGBT, MOSFET, SiC MOSFET et GaN HEMT) Une solution de commande de porte intégrée réduit la complexité de la conception, le temps de développement, la nomenclature (BOM) et de l'espace sur la carte tout en améliorant la fiabilité par rapport à une solution d'entraînement de porte discrètement mise en œuvre.



**Figure.IV.14** Recommended LED Drive and Application Circuit.

### IV.3.2 Les composant étulisé sur le system photovoltaïque :

Contrairement aux transistors bipolaires, les MOSFET n'ont pas besoin d'une alimentation continue lorsqu'ils ne sont pas allumés et éteints. L'électrode de grille isolée du MOSFET forme un condensateur (condensateur de grille) qui doit être chargé ou déchargé à chaque fois que le MOSFET est activé ou désactivé. Comme un transistor nécessite une tension de grille particulière pour passer, le condensateur de grille doit être chargé au moins à la tension de grille requise pour que le transistor soit enclenché. De même, pour désactiver le transistor, cette charge doit être dissipée, c'est-à-dire que le condensateur de grille doit être déchargé.

Lorsqu'un transistor est activé ou désactivé, il ne passe pas automatiquement d'un état non conducteur à un état conducteur, et il peut supporter à la fois une tension élevée et un courant élevé de manière transitoire. En conséquence, lorsqu'un courant de grille est appliqué à un transistor pour le faire tourner, de la chaleur est produite, ce qui peut suffire à tuer le transistor dans certains cas. En conséquence, afin d'éviter une perte de commutation, le temps de commutation doit être aussi court que possible. Les temps de commutation sont généralement mesurés en microsecondes. La quantité de courant utilisée pour charger la grille est inversement proportionnelle au temps de commutation d'un transistor. En conséquence, des courants de commutation de l'ordre de centaines de milliampères, voire de milliers d'ampères, sont fréquemment nécessaires. Avec des tensions de grille moyennes d'environ 10-15V, L'interrupteur nécessitera plusieurs watts de puissance pour fonctionner. Plusieurs transistors sont souvent utilisés en parallèle pour fournir des courants de commutation et une puissance de commutation suffisamment élevés lorsque des courants importants sont commutés à des fréquences élevées, comme dans les convertisseurs DC-DC ou les gros moteurs électriques. Par conséquent, un transistor qui est directement entraîné par un tel signal commuterait très

lentement, avec une perte de puissance proportionnellement élevée. Lors de la commutation, le condensateur de grille du transistor peut tirer du courant si rapidement qu'il provoque un surintensité de courant dans le circuit logique ou microcontrôleur, provoquant une surchauffe qui conduit à un endommagement permanent voire à une destruction complète de la puce. Pour éviter que cela ne se produise, un pilote de grille est prévu entre le signal de sortie du microcontrôleur et le transistor de puissance. Les pompes de charge sont souvent utilisées dans les ponts en H dans les pilotes de haut niveau pour la commande de grille des MOSFET et IGBT de puissance à canal n du côté haut. Ces appareils sont utilisés en raison de leurs bonnes performances, mais nécessitent une tension de commande de grille à quelques volts au-dessus du rail d'alimentation. Lorsque le centre d'un demi-pont devient bas, le condensateur est chargé via une diode, et cette charge est utilisée pour piloter plus tard la grille de la porte FET côté haut quelques volts au-dessus de la tension de la source ou de la broche de l'émetteur afin de l'allumer. Cette stratégie fonctionne bien à condition que le pont soit régulièrement commuté et évite la complexité d'avoir à faire fonctionner une alimentation séparée et permet aux dispositifs à canal n plus efficaces d'être utilisés pour les commutateurs haut et bas.

**Eauqtions:**

$$V_0 = -\frac{V_s D}{1-D}$$

$$V_0 = \frac{V_s D}{1-D}$$
(IV.1)

**Valeur de l'inductance:**

$$L_{\min} = \frac{(1-D)^2 R}{2f}$$
(IV.2)

**La valeur du condensateur:**

$$r = \frac{DV_0}{V_0} = \frac{D}{RCf}$$

$$C = \frac{D}{rRf}$$
(IV.3)

## VI.4 PWM (MLI) dans un Timer 2:

### VI.4.1 Illustre un schéma de principe du compteur et de ses environs :

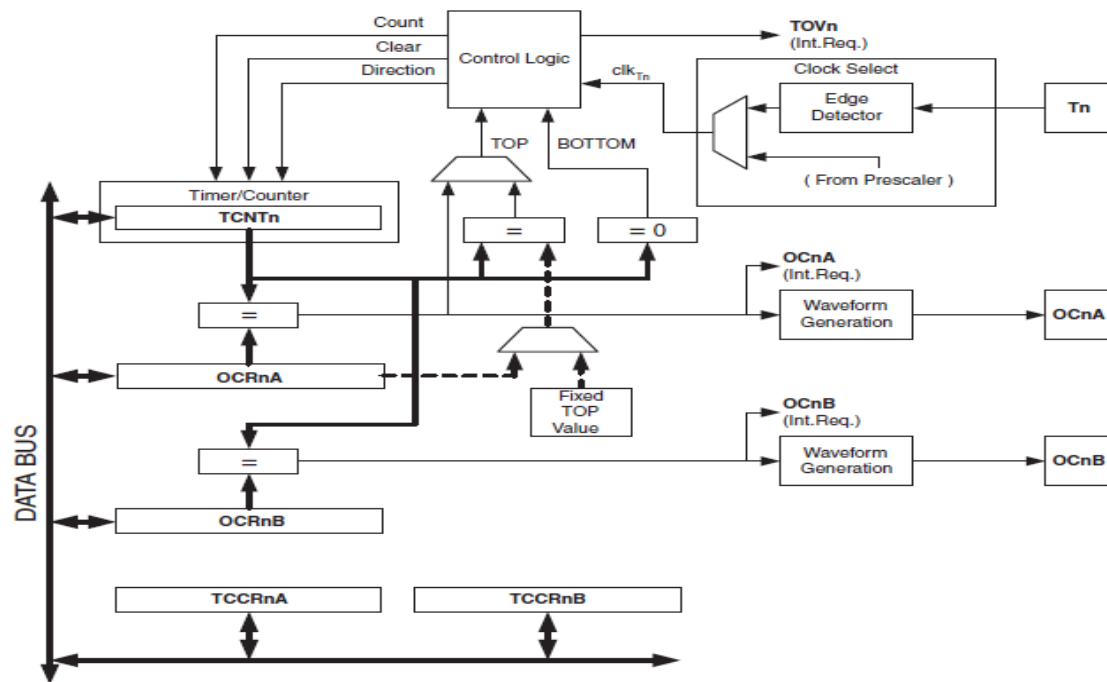


Figure.IV.15 Diagramme de bloc de compteur Timer2.

## VI.5 Sources des horloges de minuterie / compteur :

Une source d'horloge synchrone interne ou asynchrone externe peut être utilisée pour cadencer le temporisateur / compteur. La source d'horloge  $clk_{T2}$  est définie sur l'horloge MCU,  $clk_I / O$ , par défaut. La source d'horloge est tirée du temporisateur / oscillateur de compteur connecté à TOSC1 et TOSC2 lorsque le bit AS2 dans le registre ASSR est mis à un logique. Pour plus d'informations sur l'activité asynchrone, cliquez ici.

## IV.6 Modes de fonctionnement :

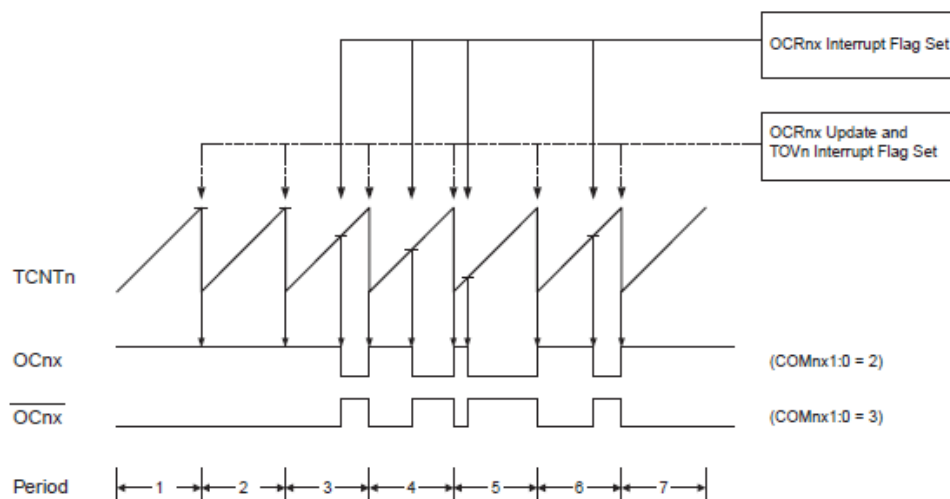
Les bits du mode de génération de forme d'onde (WGM22: 0) et du mode de comparaison de sortie (COM2x1: 0) décrivent ensemble le mode de fonctionnement, c'est-à-dire le comportement des broches Timer / Counter et Output Compare. Les bits du mode de sortie de comparaison n'ont aucun effet sur la série de comptage. Les éléments du mode Waveform Generation, par contre, ne le font pas. Les bits COM2x1: 0 déterminent si la sortie PWM produite doit être inversée ou non (PWM inversé ou non inversé). Les bits COM2x1: 0 déterminent si la sortie doit être définie, effacée ou basculée lors d'une correspondance de comparaison dans les modes non PWM.

### IV.6.1 Mode PWM (plus rapide) :

Une forme d'onde PWM haute fréquence peut être générée en utilisant la modulation de largeur d'impulsion rapide ou le mode PWM rapide (WGM22: 0 = 3 ou 7). Le fonctionnement à une seule pente du PWM rapide le distingue des autres options PWM. Le compteur compte de bas en haut, puis se remet à zéro. Lorsque WGM2: 0 = 3 et MGM2: 0 = 7, TOP est spécifié comme 0xFF et OCR2A, respectivement. La comparaison de sortie (OC2x) est effacée sur la correspondance de comparaison entre TCNT2 et OCR2x en mode de sortie de comparaison non

inverseur et définie sur BOTTOM. La sortie est définie sur la correspondance de comparaison et effacée en BAS en mode de sortie de comparaison inversée. La fréquence de fonctionnement du mode PWM rapide peut être deux fois plus élevée que le mode PWM à phase correcte qui utilise un fonctionnement à double pente en raison du fonctionnement à une seule pente. Le mode PWM rapide est bien adapté aux applications de contrôle de puissance, de redressement et de DAC en raison de sa haute fréquence. La haute fréquence permet aux composants externes (bobines, condensateurs) d'être physiquement petits, ce qui réduit le coût global de l'appareil.

Le compteur est incrémenté en mode PWM rapide jusqu'à ce que la valeur du compteur corresponde à la valeur TOP. À la prochaine période d'horloge de la minuterie, le compteur est remis à zéro. La figure 21 représente le chronogramme du mode PWM rapide. La valeur TCNT2 est représentée sous forme d'histogramme dans le chronogramme pour illustrer le fonctionnement à une seule pente. Les sorties PWM non inversées et inversées sont représentées dans le diagramme. Sur les pentes TCNT2, les petites lignes horizontales reflètent les correspondances de comparaison entre OCR2x et TCNT2.



**Figure.IV.16** Mode PWM rapide, diagramme de synchronisation.

Lorsque le compteur atteint TOP, l'indicateur de dépassement de la minuterie / compteur (TOV2) est activé. La routine du gestionnaire d'interruption peut être utilisée pour mettre à jour la valeur de comparaison si l'interruption est autorisée.

L'unité de comparaison générera des formes d'onde PWM sur la broche OC2x en mode PWM rapide. Le réglage des bits COM2x1: 0 à deux produit un PWM non inversé, ainsi le réglage des bits COM2x1: 0 à trois produit un PWM inversé. Lorsque WGM2: 0 = 3 et MGM2: 0 = 7, TOP est spécifié comme 0xFF et OCR2A, respectivement. Si le chemin de données de la broche du port est défini sur la sortie, la valeur OC2x réelle sera visible sur la broche du port. Le réglage (ou l'effacement) du registre OC2x lors de la correspondance de comparaison entre OCR2x et TCNT2 génère la forme d'onde PWM, et l'effacement (ou le réglage) du registre OC2x au cycle d'horloge efface le compteur (passe de HAUT à BAS).

L'équation suivante peut être utilisée pour mesurer la fréquence PWM de sortie:

$$f_{ocnxPWM} = \frac{f_{clk-I/O}}{N \cdot 256} \quad (IV.4)$$

Le facteur de pré-échelle est représenté par la variable N (1, 8, 32, 64, 128, 256 ou 1024).

Lors de la génération d'une sortie de forme d'onde PWM en mode PWM rapide, les valeurs extrêmes du registre OCR2A reflètent des cas particuliers. La sortie serait un pic étroit pour chaque boucle d'horloge de minuterie MAX + 1 si l'OCR2A est réglé sur BOTTOM. Lorsque vous réglez l'OCR2A sur MAX, vous obtiendrez des performances élevées ou faibles constantes (en fonction de la polarité de la sortie définie par le COM2A1: 0 bits.)

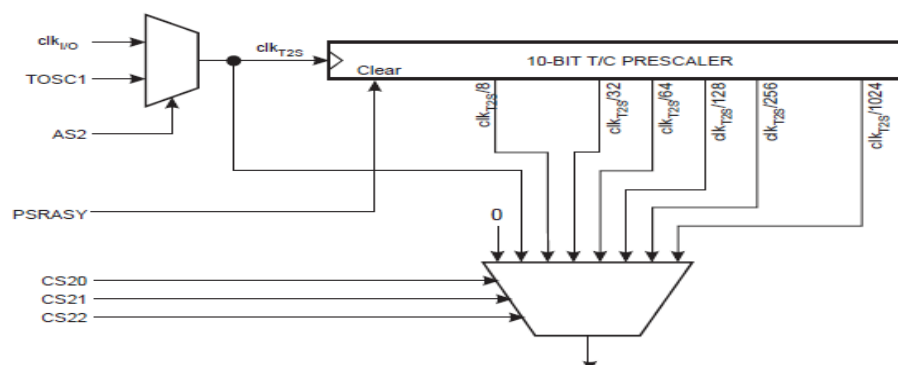
Le réglage d'OC2x pour faire basculer son niveau logique à chaque correspondance de comparaison (COM2x1: 0 = 1) entraîne une sortie de forme d'onde de fréquence (50% du cycle de service) en mode PWM rapide. Lorsque OCR2A est mis à zéro, la forme d'onde produite aura une fréquence maximale de  $f_{oc2} = f_{clk} I / O / 2$ . Cette fonction est identique à la bascule OC2A en mode CTC, à l'exception qu'en mode PWM rapide, la fonction de double tampon de l'unité de comparaison de sortie est autorisée.

Même s'il n'y a pas de correspondance de comparaison, OCnx a une transition de haut en bas au début de la période 2 dans la figure 22. Le but de cette transformation est d'assurer une symétrie au voisinage de BOTTOM. Il existe deux situations dans lesquelles une transformation est effectuée sans utiliser Compare Match.

La Figure 22 montre comment OCR2A change sa valeur de MAX. La valeur de la broche OCn est la même que le résultat d'une correspondance de comparaison avec décomptage lorsque la valeur OCR2A est MAX. La valeur OCn à MAX doit correspondre au résultat d'une correspondance de comparaison avec comptage pour garantir la symétrie autour de BOTTOM.

Puisque le temporisateur commence à compter à partir d'une valeur supérieure à OCR2A, il ignore la correspondance de comparaison et donc le décalage OCn qui se serait produit en montant.

#### IV.6.2 Minuterie / compteur Prescaler :



**Figure.IV.17** Prescaler pour Timer / Counter2.

clkT2S est la source d'horloge pour Timer / Counter2. Par défaut, clkT2S est lié à clkIO, l'horloge d'E / S de la machine principale. Timer / Counter2 est synchronisé de manière

asynchrone à partir de la broche TOSC1 en définissant le bit AS2 dans ASSR. Cela permet à Timer / Counter2 d'être utilisé comme compteur en temps réel (RTC).ne sont plus liés au port B. Pour servir de source d'horloge indépendante pour Timer / Counter2, un cristal peut être connecté entre les broches TOSC1 et TOSC2. L'oscillateur est conçu pour fonctionner avec une fréquence de cristal de 32,768 kHz.

clkT2S / 8, clkT2S / 32, clkT2S / 64, clkT2S / 128, clkT2S / 256 et clkT2S / 1024 sont les options prédéfinies pour Timer / Counter2. De plus, clkT2S et 0 (stop) peuvent être sélectionnés. Le prescaler est réinitialisé en définissant le bit PSRASY dans GTCCR. Cela aide le consommateur à travailler avec un prescaler prévisible.

### IV.6.3: Comparer le mode de sortie B de correspondance :

Ces bits contrôlent le comportement de la broche de comparaison de sortie (OC2B). Si un ou les deux bits COM2B1: 0 sont définis, la sortie OC2B remplace la fonctionnalité de port normale de la broche d'E / S à laquelle elle est connectée. Cependant, gardez à l'esprit que les données Pour autoriser le pilote de sortie, le bit de registre de direction (DDR) correspondant à la broche OC2B doit être défini. Lorsque l'OC2B est connecté à la broche, le fonctionnement des bits COM2B1: 0 dépend de l'environnement WGM22: 0 bits. Lorsque les bits WGM22: 0 sont définis sur le mode normal ou CTC, la fonctionnalité COM2B1: 0 bit est affichée (non PWM).

**Tableau IV.5 Comparer le mode de sortie, mode non PWM:**

| COM2B1 | COM2B0 | La description                                  |
|--------|--------|-------------------------------------------------|
| 0      | 0      | Fonctionnement normal du port, OC2B déconnecté. |
| 0      | 1      | Basculer OC2B sur Compare Match                 |
| 1      | 0      | Effacer OC2B sur Compare Match                  |
| 1      | 1      | Définir OC2B sur Compare Match                  |

**Tableau IV.6 Comparer le mode de sortie, le mode PWM rapide:**

| COM2B1 | COM2B0 | La description                                                               |
|--------|--------|------------------------------------------------------------------------------|
| 0      | 0      | Fonctionnement normal du port, OC2B déconnecté                               |
| 0      | 1      | Réservé                                                                      |
| 1      | 0      | Effacez OC2B sur Compare Match, réglez OC2B sur BOTTOM,(mode non inverseur). |
| 1      | 1      | Réglez OC2B sur Compare Match, effacez OC2B en BAS,(mode d'inversion).       |

#### IV.6.4: WGM21: 0: mode de génération de forme d'onde :

Ces bits, lorsqu'ils sont combinés avec le bit WGM22 dans le registre TCCR2B, régulent la séquence de comptage du compteur, la source de la valeur maximale du compteur (TOP) et le type de génération de forme d'onde à utiliser. **Tableau 7.** Le mode normal (compteur), le mode Clear Timer on Compare Match (CTC) et deux formes de modes de modulation de largeur d'impulsion (PWM) sont tous pris en charge par l'unité Timer / Counter.

**Tableau IV.7 Description du bit du mode de génération de forme d'onde:**

| Mode | WGM22 | WGM21 | WGM20 | Minuterie /<br>compteur<br>Mode de<br>Opération | TOP      | Mise à<br>jour de<br>OCRx à | Drapeau TOV<br>Mettre sur |
|------|-------|-------|-------|-------------------------------------------------|----------|-----------------------------|---------------------------|
| 0    | 0     | 0     | 0     | NORMAL                                          | 0xFF     |                             | MAX                       |
| 1    | 0     | 0     | 0     | PWM,<br>phase<br>Corriger                       | 0xFF     | TOP                         | BOTTOM                    |
| 2    | 0     | 1     | 1     | CTC                                             | OCR<br>A |                             | MAX                       |
| 3    | 0     | 1     | 1     | PWM<br>rapide                                   | 0xFF     | BOTTOM                      | MAX                       |
| 4    | 1     | 0     | 0     | Réservés                                        | -        | -                           | -                         |
| 5    | 1     | 0     | 0     | PWM,<br>phase<br>Corriger                       | OCR<br>A | TOP                         | BOTTOM                    |
| 6    | 1     | 1     | 1     | Réservés                                        | -        | -                           | -                         |
| 7    | 1     | 1     | 1     | PWM rapide                                      | OCRA     | BOTTOM                      | TOP                       |

#### IV.6.5 : TCCR2B - Registre de contrôle de la minuterie / compteur B :

|               |       |       |   |   |       |      |      |      |        |
|---------------|-------|-------|---|---|-------|------|------|------|--------|
| Bit           | 7     | 6     | 5 | 4 | 3     | 2    | 1    | 0    |        |
| (0xB1)        | FOC2A | FOC2B | - | - | WGM22 | CS22 | CS21 | CS20 | TCCR2B |
| Read/Write    | W     | W     | R | R | R/W   | R/W  | R/W  | R/W  |        |
| Initial Value | 0     | 0     | 0 | 0 | 0     | 0    | 0    | 0    |        |

#### IV.6.6: CS22: 0: Sélection de l'horloge :

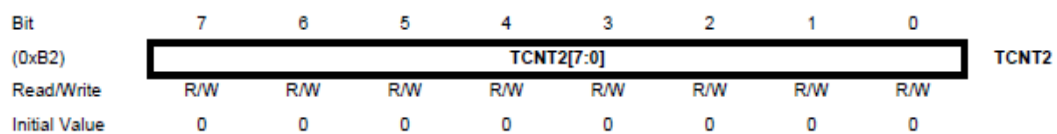
Les trois bits de sélection d'horloge sélectionnent la source d'horloge à utiliser par la minuterie / compteur

### IV.6.7: CS22: 0: Sélection de l'horloge :

Tableau IV.8 Description du bit de sélection de l'horloge:

| CS22 | CS21 | CS20 |                                                        |
|------|------|------|--------------------------------------------------------|
| 0    | 0    | 0    | Aucune source d'horloge (minuterie / compteur arrêté). |
| 0    | 0    | 1    | clkT2S / (pas de pré-mise à l'échelle)                 |
| 0    | 1    | 0    | clkT2S / 8 (à partir du prescaler)                     |
| 0    | 1    | 1    | clkT2S / 32 (à partir du prescaler)                    |
| 1    | 0    | 0    | clkT2S / 64 (à partir du prescaler)                    |

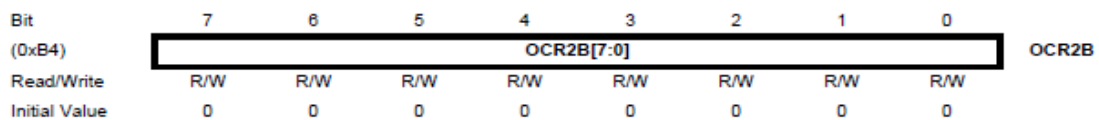
### IV.6.8 : TCNT2 - Registre de minuterie / compteur :



Le registre Timer / Counter donne un accès direct, à la fois pour les opérations de lecture et d'écriture, au compteur 8 bits de l'unité Timer / Counter. La correspondance de comparaison sur l'horloge de minuterie suivante est bloquée (supprimée) lors de l'écriture dans le registre TCNT2.

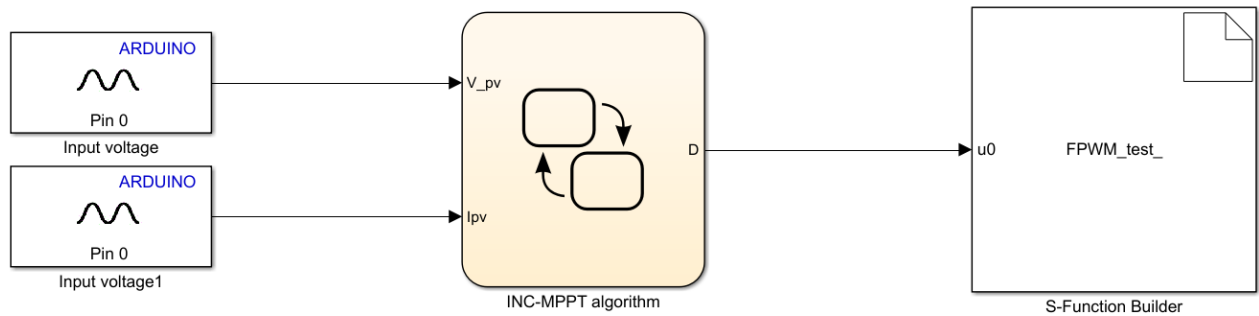
Lorsque vous modifiez le compteur (TCNT2) pendant son exécution, il est possible que vous manquiez une correspondance de comparaison entre TCNT2 et les registres OCR2x.

### IV.6.9 : OCR2B - Registre de comparaison de sortie B :

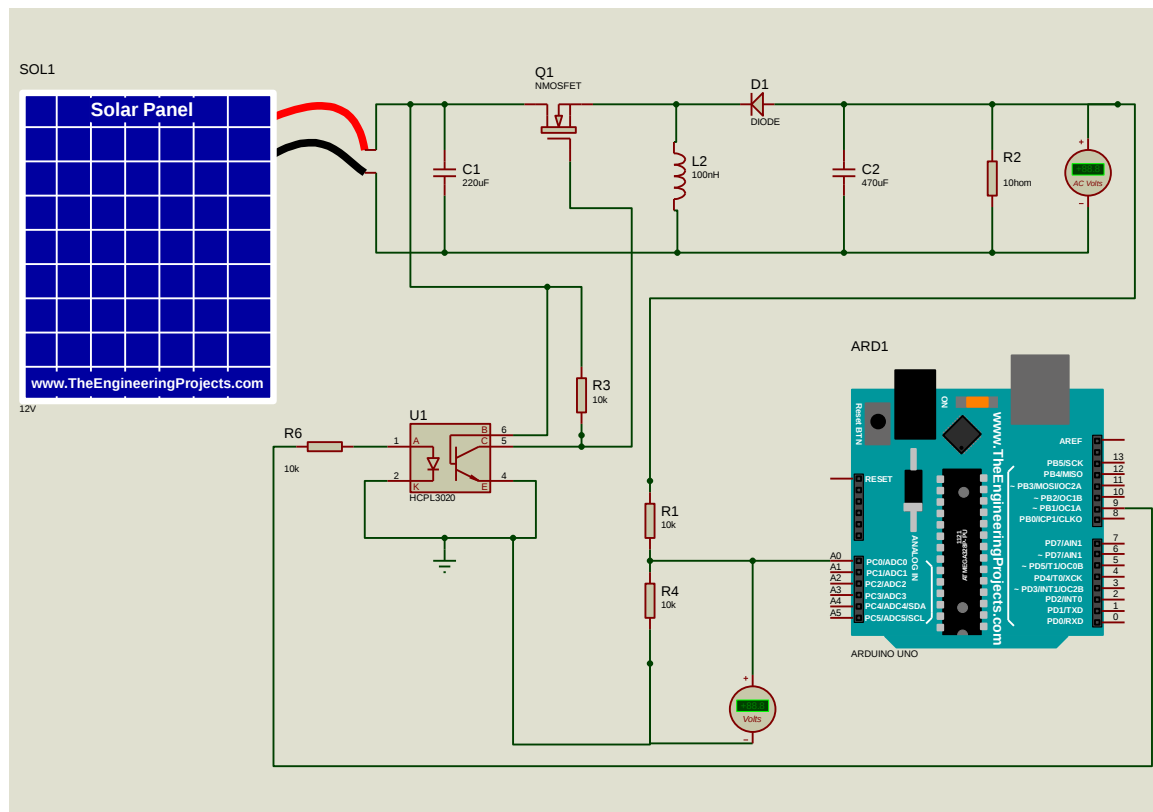


Le registre de comparaison de sortie B comprend une valeur de 8 bits qui est régulièrement comparée à la valeur du compteur (TCNT2). Une correspondance peut être utilisée pour créer une interruption de comparaison de sortie ou une sortie de forme d'onde sur un ordinateur. OC2B (OC2B) est un verrou sur l'OC2B.

## IV.6.9 : Experimental test:



**Figure.IV.18** Experimental test de INC-MPPT algorithm programme par stateflow/Matlab/Similink avec 2 enter analogique, en plus le plogue de generateur de MLI rapide (S-Function Builder).



**Figure.IV.19** Contrôle de la MPPT du convertisseur DC / DC Buck -Boost pilote par la carte arduino Uno.



Figure.IV.20 Photo réel de system photovoltaïque étudiée.

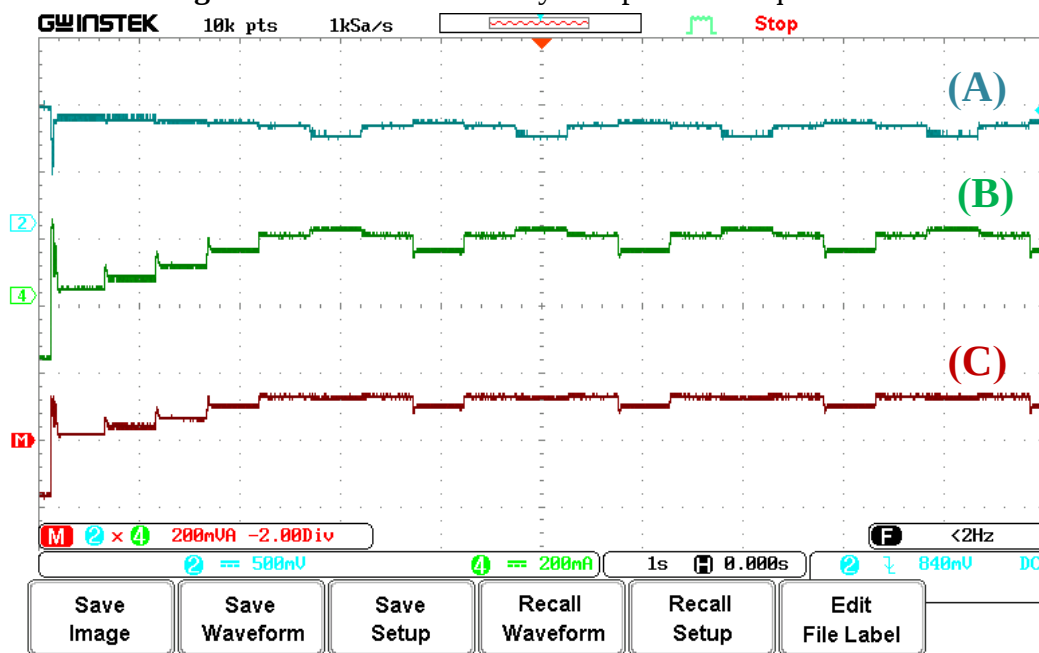


Figure.IV.21 Suivi des performances sous les changements d'irradiance : formes d'onde expérimentales de INC-MPPT, (A) voltage de panneau, (B) courant de panneau, (C) puissance de panneau.

Figure.IV. montre les résultats expérimentaux de l'étude réalisée pour vérifier l'efficacité de l'algorithme et du système, comme elle montre les point (A) voltage de panneau, (B) courant de panneau et (C) puissance de panneau.

Pour atteindre le point maximum de puissance se fait par étapes; d'abord la tension et le courant sont vérifiés à travers les capteurs puis envoyés à l'Arduino (algorithme : dans lequel se situe ce point) et la valeur de la tension sur lequel le panneau solaire doit fonctionner est déterminé pour obtenir le point de puissance maximale.

### Conclusion General :

Ce mémoire est consacré à l'étude et la réalisation du convertisseur DC/DC abaisseur de tension type Buck-Boost dans une chaîne Photovoltaïque commandé par mode de commande MPPT assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par un générateur GPV.

Dans un premier temps, nous avons donné un aperçu général sur l'énergie solaire photovoltaïque. Puis nous avons présenté la trajectoire apparente du soleil, une description du système PV, de la cellule PV, du générateur photovoltaïque et ses performances.

Nous avons étudié, dans un deuxième temps, quelques types de convertisseurs DC-DC, utilisés dans les systèmes photovoltaïques comme le Buck, Boost et Buck-Boost. Puis nous avons présenté les algorithmes MPPT, comme l'algorithme de la méthode incrémentation conductance (INC).

Ensuite, Nous avons simulé en MATLAB r2016b trois convertisseurs DC-DC pour montrer leurs rôles puis tracer la caractéristique I-V et P-V de notre module PV, par la suite nous avons créé le algorithme INC par StateFlow/SiMILINK environnement.

L'algorithme testé par (variation de l'éclairement), à la fin du chapitre trois nous avons simulé le fonctionnement du mode d'optimisation de puissance par une commande MPPT (INC), pour différents niveaux d'éclairement.

Finalement, nous avons réalisés et testé le convertisseur associé avec une carte Arduino Uno dans laquelle nous avons implémenté l'INC algorithme.

.

# ANNEXE



## STPS20H100C

100 V power Schottky rectifier

### Features

- Negligible switching losses
- High junction temperature capability
- Good trade off between leakage current and forward voltage drop
- Low leakage current
- Avalanche rated
- Insulated package: TO-220FPAB
  - Insulating voltage = 2000 V DC
  - Capacitance = 45 pF
- Avalanche capability specified

### Description

Dual center tap Schottky rectifier designed for high frequency miniature switched mode power supplies such as adaptators and on board DC/DC converters.

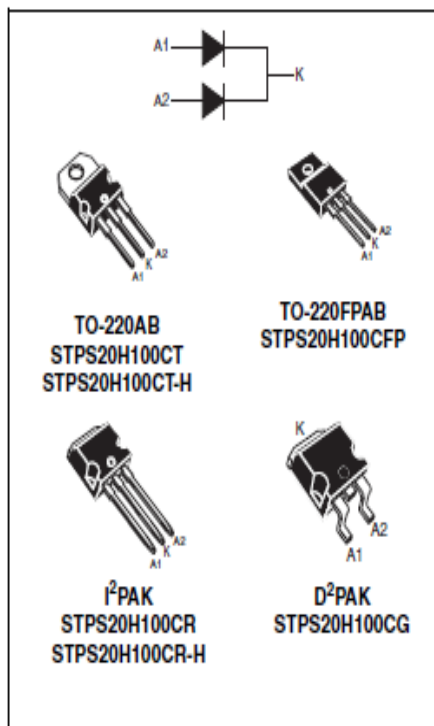


Table 1. Device summary

| Symbol      | Value    |
|-------------|----------|
| $I_{F(AV)}$ | 2 x 10 A |
| $V_{RRM}$   | 100 V    |
| $T_J(max)$  | 175 °C   |
| $V_F(max)$  | 0.64 V   |

Fiche technique de diode STPS20H100C

## Nell High Power Products

## N-Channel Power MOSFET

### 20A, 500Volts

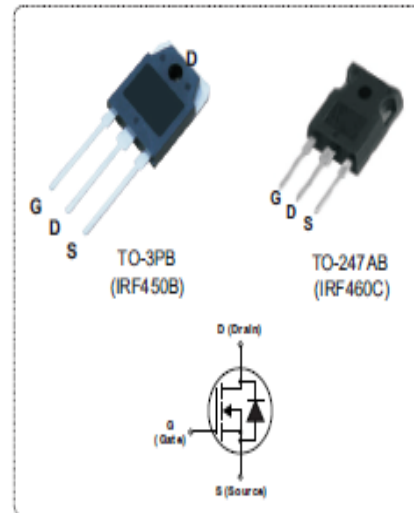
#### DESCRIPTION

The Nell **IRF460** is a three-terminal silicon device with current conduction capability of 20A, fast switching speed, low on-state resistance, breakdown voltage rating of 500V, and max. threshold voltage of 4 volts.

They are designed for use in applications such as switched mode power supplies, DC to DC converters, motor control circuits UPS and general purpose switching applications.

#### FEATURES

- $R_{DS(ON)} = 0.27\Omega$  @  $V_{GS} = 10V$
- Ultra low gate charge(210nC Max.)
- Low reverse transfer capacitance ( $C_{RSS} = 350pF$  typical)
- Fast switching capability
- 100% avalanche energy specified
- Improved dv/dt capability
- 150°C operation temperature



#### PRODUCT SUMMARY

|                           |                       |
|---------------------------|-----------------------|
| $I_D$ (A)                 | 20                    |
| $V_{DSS}$ (V)             | 500                   |
| $R_{DS(ON)}$ ( $\Omega$ ) | 0.27 @ $V_{GS} = 10V$ |
| $Q_G$ (nC) max.           | 210                   |

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ( $T_C = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

| SYMBOL    | PARAMETER                                   | TEST CONDITIONS                                 | VALUE    | UNIT |
|-----------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------|------|
| $V_{DSS}$ | Drain to Source voltage                     | $T_J = 25^\circ C$ to $150^\circ C$             | 500      | V    |
| $V_{DGR}$ | Drain to Gate voltage                       | $R_{GS} = 20K\Omega$                            | 500      |      |
| $V_{GS}$  | Gate to Source voltage                      |                                                 | $\pm 20$ |      |
| $I_D$     | Continuous Drain Current ( $V_{GS} = 10V$ ) | $T_C = 25^\circ C$                              | 20       | A    |
|           |                                             | $T_C = 100^\circ C$                             | 13       |      |
| $I_{DM}$  | Pulsed Drain current (Note 1)               |                                                 | 80       |      |
| $I_{AR}$  | Avalanche current (Note 1)                  |                                                 | 20       | mJ   |
| $E_{AR}$  | Repetitive avalanche energy (Note 1)        | $I_{AR} = 20A, R_{GS} = 50\Omega, V_{GS} = 10V$ | 28       |      |
| $E_{AS}$  | Single pulse avalanche energy (Note 2)      | $I_{AS} = 20A, L = 4.3mH$                       | 960      |      |
| dv/dt     | Peak diode recovery dv/dt (Note 3)          |                                                 | 3.5      | V/ns |
| $P_D$     | Total power dissipation                     | $T_C = 25^\circ C$                              | 280      | W    |
|           | Derate above $25^\circ C$                   |                                                 | 2.2      | W/°C |

#### Fiche technique de transistor irf460n



## Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic separation between the primary circuit and the secondary circuit.

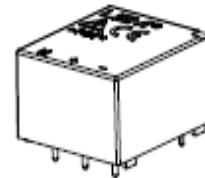


RoHS



$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{PN} = 10 \dots 500 \text{ V}$$



### Electrical data

|          |                                  |                                        |                  |
|----------|----------------------------------|----------------------------------------|------------------|
| $I_{PN}$ | Primary nominal rms current      | 10                                     | mA               |
| $I_{PM}$ | Primary current, measuring range | 0 .. $\pm 14$                          | mA               |
| $R_M$    | Measuring resistance             | $R_{M \min}$ $R_{M \max}$              |                  |
|          | with $\pm 12 \text{ V}$          | @ $\pm 10 \text{ mA}$ $R_{M \max}$     | 30 190 $\Omega$  |
|          |                                  | @ $\pm 14 \text{ mA}$ $R_{M \max}$     | 30 100 $\Omega$  |
|          | with $\pm 15 \text{ V}$          | @ $\pm 10 \text{ mA}$ $R_{M \max}$     | 100 350 $\Omega$ |
|          |                                  | @ $\pm 14 \text{ mA}$ $R_{M \max}$     | 100 190 $\Omega$ |
| $I_{SN}$ | Secondary nominal rms current    | 25                                     | mA               |
| $K_N$    | Conversion ratio                 | 2500 : 1000                            |                  |
| $U_C$    | Supply voltage ( $\pm 5\%$ )     | $\pm 12 \dots 15$                      | V                |
| $I_C$    | Current consumption              | 10 (@ $\pm 15 \text{ V}$ ) + $I_{S_0}$ | mA               |

### Accuracy - Dynamic performance data

|              |                                                                                      |                                              |                        |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|
| $X_0$        | Overall accuracy @ $I_{PN}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ @ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$ | $\pm 0.9$                                    | %                      |
|              | @ $\pm 15 \text{ V}$ ( $\pm 5\%$ )                                                   | $\pm 0.8$                                    | %                      |
| $\epsilon_L$ | Linearity error                                                                      | $< 0.2$                                      | %                      |
| $I_0$        | Offset current @ $I_p = 0$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$                                | Typ Max                                      | $\pm 0.15$ mA          |
| $I_{OT}$     | Temperature variation of $I_0$                                                       | 0 $^\circ\text{C} \dots +25^\circ\text{C}$   | $\pm 0.06 \pm 0.25$ mA |
|              |                                                                                      | +25 $^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$ | $\pm 0.10 \pm 0.35$ mA |
| $t_r$        | Step response time <sup>1)</sup> to 90 % of $I_{PN}$                                 | 40                                           | $\mu\text{s}$          |

### General data

|       |                                                            |                                |                  |
|-------|------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------|
| $T_A$ | Ambient operating temperature                              | 0 .. +70                       | $^\circ\text{C}$ |
| $T_S$ | Ambient storage temperature                                | -25 .. +85                     | $^\circ\text{C}$ |
| $R_p$ | Resistance of primary winding @ $T_A = 70^\circ\text{C}$   | 250                            | $\Omega$         |
| $R_s$ | Resistance of secondary winding @ $T_A = 70^\circ\text{C}$ | 110                            | $\Omega$         |
| $m$   | Mass                                                       | 22                             | g                |
|       | Standards                                                  | EN 50178: 1997<br>UL 508: 2010 |                  |

### Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Insulating plastic case recognized according to UL 94-V0.

### Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor  $R_i$  which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

### Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

### Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor

## Data sheet cpteur de tension LV25-P



## Current Transducer LA 25-NP/SP25

For the electronic measurement of currents: DC, AC, pulsed..., with galvanic isolation between the primary circuit and the secondary circuit.

$I_{PN} = 5-6-8-12-25 \text{ At}$



16154



### Electrical data

|          |                                                 |                           |          |
|----------|-------------------------------------------------|---------------------------|----------|
| $I_{PN}$ | Primary nominal current rms                     | 25                        | At       |
| $I_{PM}$ | Primary current, measuring range                | 0 .. $\pm 36$             | At       |
| $R_M$    | Measuring resistance<br>with $\pm 15 \text{ V}$ | $R_{M \min}$ $R_{M \max}$ |          |
|          | @ $\pm 25 \text{ At}$                           | 150 325                   | $\Omega$ |
|          | @ $\pm 36 \text{ At}_{\max}$                    | 150 190                   | $\Omega$ |
| $I_{SN}$ | Secondary nominal current rms                   | 25                        | mA       |
| $K_N$    | Conversion ratio                                | 1-2-3-4-5 : 1000          |          |
| $V_C$    | Supply voltage ( $\pm 5 \%$ )                   | $\pm 15$                  | V        |
| $I_C$    | Current consumption                             | $10 + I_B$                | mA       |

### Accuracy - Dynamic performance data

|              |                                                                                                                   |                       |                  |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------|
| $X_G$        | Overall accuracy @ $I_{PN}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$                                                            | $\pm 0.9$             | %                |
| $\epsilon_L$ | Linearity error                                                                                                   | $< 0.2$               | %                |
| $I_0$        | Offset current <sup>1)</sup> @ $I_p = 0$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$                                               | Typ Max               |                  |
| $I_{OM}$     | Magnetic offset current <sup>2)</sup> @ $I_p = 0$ and specified $R_M$ ,<br>after an overload of $3 \times I_{PN}$ | $\pm 0.05$ $\pm 0.15$ | mA               |
| $I_{OT}$     | Temperature variation of $I_0$ - $40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$                                       | $\pm 0.25$ $\pm 0.70$ | mA               |
| $t_f$        | Response time <sup>3)</sup> to 90 % of $I_{PN}$ step                                                              | $< 1$                 | $\mu\text{s}$    |
| $di/dt$      | $di/dt$ accurately followed                                                                                       | $> 50$                | A/ $\mu\text{s}$ |
| BW           | Frequency bandwidth (-1 dB)                                                                                       | DC .. 150             | kHz              |

### General data

|       |                                                             |             |                  |
|-------|-------------------------------------------------------------|-------------|------------------|
| $T_A$ | Ambient operating temperature                               | -40 .. +85  | $^\circ\text{C}$ |
| $T_S$ | Ambient storage temperature                                 | -50 .. +100 | $^\circ\text{C}$ |
| $R_p$ | Primary coil resistance per turn @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ | $< 1.25$    | m $\Omega$       |

### Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Isolated plastic case recognized according to UL 94-V0.

### Special features

- $V_d = 2.5 \text{ kV}$  (4 kV DC/5 mn)
- $T_A = -40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$ .

### Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

### Applications

- Single or three phase inverters
- Propulsion and braking chopper
- Propulsion converter
- Auxiliary converter
- Battery charger.

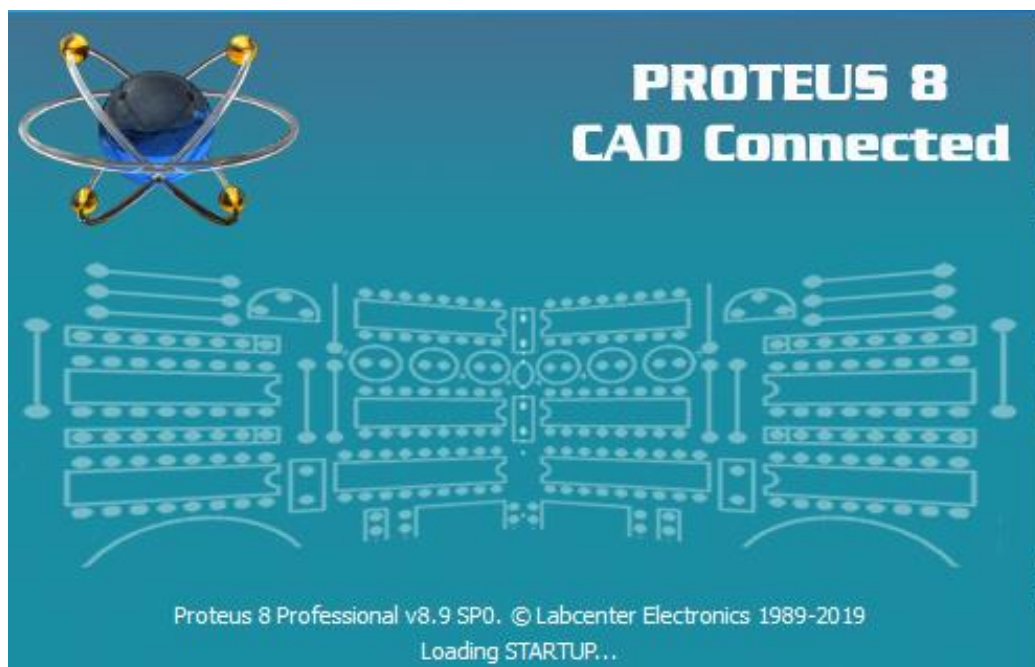
Data sheet capteur de courant LA25-NP

**Les Logiciels Utilisés :**

**Pour Programmer Arduino :**



**Pour Programmer ISIS proteus**



# **Bibliographie**

**Bibliographie**

- [1] J.-P. Colinge, "Physique des dispositifs semi-conducteurs," 1996.
- [2] S. Mouhamed, "Djediai Lazhari Mémoire de fin d'étude «,» *Optim. d'un Syst. poursuit Sol. appliquée au champ photovoltaïque*» Univ. Ouargla, 2011.
- [3] M. Capderou, "Atlas Solaire de l'Algérie, modèles théoriques et expérimentaux," Vol. 1, T1, *Off. des Publ. Univ. Algérie*, 1987.
- [4] R. M'HAMMEDI, C. BEN AMRANI, and B. E. N. ATAÏLLAH, "ÉTUDE TECHNO-ÉCONOMIQUE D'UN SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE (MAISON SOLAIRE) SUR LE SITE D'ADRAR." UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR, 2020.
- [5] B. L. Sofia, "Cours Energie Solaire Photovoltaïque," Univ. A. MIRA BEJAIA, *Année Univ. 2014*, 2015.
- [6] A. BENMIR and F. KHELFAOUI, "Simulation d'une cellule solaire photovoltaïque en couche mince à hétérojonction: CdS/CIGS et CdS/CZTS." .
- [7] A. Amaoui and O. Guenounou, "Optimisation d'une commande MPPT floue par essais particulière." Université abderrahmane mira béjaia, 2015.
- [8] H. SIOUANE, "INSERTION DE L'ARCHITECTURE ECOLOGIQUE DANS UN MILIEU RURAL," 2017.
- [9] E. Karatepe, M. Boztepe, and M. Colak, "Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded solar cells," *Sol. energy*, vol. 81, no. 8, pp. 977–992, 2007.
- [10] J. W. Bishop, "Computer simulation of the effects of electrical mismatches in photovoltaic cell interconnection circuits," *Sol. cells*, vol. 25, no. 1, pp. 73–89, 1988.
- [11] H. Kawamura *et al.*, "Simulation of I–V characteristics of a PV module with shaded PV cells," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 75, no. 3–4, pp. 613–621, 2003.
- [12] H. Oldenkamp, I. de Jong, N. van der Borg, B. de Boer, H. de Moor, and W. C. Sinke, "PV-Wirefree versus conventional PV-systems: detailed analysis of difference in energy yield between series and parallel connected PV-modules," *Power [W]*, vol. 150, no. 300, p. 450, 2004.
- [13] M. Noredinne and G. Abdarrazzak, "Réalisation d'une Carte d'acquisition et supervision en utilisant un module GSM." UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2019.
- [14] V. Salas, E. Olias, A. Barrado, and A. Lazaro, "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems," *Sol. energy Mater. Sol. cells*, vol. 90, no. 11, pp. 1555–1578, 2006.
- [15] E. Babaei and M. E. S. Mahmoodieh, "Systematical method of designing the elements of the Cuk converter," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 55, pp. 351–361, 2014.
- [16] J. M. Enrique, E. Duran, M. Sidrach-de-Cardona, and J. M. Andujar, "Theoretical assessment of the maximum power point tracking efficiency of photovoltaic facilities with different converter topologies," *Sol. Energy*, vol. 81, no. 1, pp. 31–38, 2007.

- [17] J. D. Irwin, *Control in power electronics: selected problems*. Elsevier, 2002.
- [18] R. Andoulsi, “Etude d’une classe de systèmes photovoltaïques par une approche bond graph: modélisation, analyse et commande.” Lille 1, 2001.
- [19] H. N. Zainudin and S. Mekhilef, “Comparison study of maximum power point tracker techniques for PV systems,” 2010.
- [20] M. A. Farahat, H. M. B. Metwally, and A. A.-E. Mohamed, “Optimal choice and design of different topologies of DC–DC converter used in PV systems, at different climatic conditions in Egypt,” *Renew. Energy*, vol. 43, pp. 393–402, 2012.
- [21] W. Hui and X. Fangqiu, “Flexible global carbon pricing study: A new method to establish the international cooperation on reducing carbon emission,” in *2012 10th International Power & Energy Conference (IPEC)*, 2012, pp. 300–304.
- [22] N. Aouchiche, “Conception d ’ une commande MPPT optimale à base d ’ intelligence artificielle d ’ un système photovoltaïque . Nedjma Aouchiche To cite this version : HAL Id : tel-02902953,” 2020.
- [23] M. H. Anowar and P. Roy, “A modified incremental conductance based photovoltaic MPPT charge controller,” in *2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)*, 2019, pp. 1–5.
- [24] A. Ballouti, F. Djahli, A. Bendjadou, N. Belhaouchet, and A. Benhamadouche, “MPPT system for photovoltaic module connected to battery adapted for unstable atmospheric conditions using VHDL-AMS,” *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 3, pp. 2021–2031, 2014.
- [25] K. M. Tsang and W. L. Chan, “Model based rapid maximum power point tracking for photovoltaic systems,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 70, pp. 83–89, 2013.
- [26] R. Kiranmayi, “Investigation on potential photovoltaic power modules for higher electrical output,” 2013.
- [27] A. Zbeeb, “A new microcontroller-based MPPT algorithm for photovoltaic applications.” Concordia University, 2009.
- [28] D.-Y. Lee, H.-J. Noh, D.-S. Hyun, and I. Choy, “An improved MPPT converter using current compensation method for small scaled PV-applications,” in *Eighteenth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2003. APEC’03.*, 2003, vol. 1, pp. 540–545.
- [29] A. Oi, “Design and simulation of photovoltaic water pumping system,” *Calif. Polytech. State Univ.*, 2005.
- [30] H. B. Tolabi, *Advances in Electric Power Engineering*. Lulu. com.
- [31] A. HAKOUMI, A. BENAMAR, and T. GHITAOU, “Commande MPPT et contrôle d’un systemephotovoltaique 3KW par la logique floue.” Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019.
- [32] S. FERDJANI, O. MAATALLAH, and S. MAKHLOUFI, “Etude et Réalisation d’un Hacheur Boost Commandé par le  $\mu$ C ARDUINO en vue d’Implémenter des Commandes MPPT.” Université Ahmed Draia-ADRAR, 2019.

- [33] C. Hua, J. Lin, and C. Shen, "Implementation of a DSP-controlled photovoltaic system with peak power tracking," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 45, no. 1, pp. 99–107, 1998.
- [34] Z. Michalewicz, *Genetic algorithms+ data structures= evolution programs*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [35] F. MEDJILI, "Modélisation par Réseaux de Neurones Artificiels (RNA) et commande Prédictive non linéaire d'une station de production d'eau froide." Université Badji Mokhtar de Annaba, 2010.
- [36] S. E. GACEM, "IDENTIFICATION DES SYSTEMES NON LINEAIRES PAR RESEAUX DE NEURONES." Université Mohamed Khider–Biskra, 2015.
- [37] A. N. A. Ali, M. H. Saied, M. Z. Mostafa, and T. M. Abdel-Moneim, "A survey of maximum PPT techniques of PV systems," in *2012 IEEE Energytech*, 2012, pp. 1–17.
- [38] T. Eswam and P. L. Chapman, "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques," *IEEE Trans. energy Convers.*, vol. 22, no. 2, pp. 439–449, 2007.
- [39] عبدي, نبيل, and بوقطاية, "Commande d'un moteur à courant continu alimenté par un hacheur avec la carte Arduino," 2016.
- [40] A. khodja Nassim, "Etude et réalisation d'une alarme de température à base d'une carte arduino." Université Mouloud Mammeri, 2018.
- [41] B. Ahmed and M. Mouloud, "Etude et réalisation d'une carte de contrôle par Arduino via le système Android," 2018.