

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° :2019/INST 06



DOMAINE : SCIENCES ET
TECHNOLOGIE
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : INSTRUMENTATION

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par: ZIDELKHIL MERYEM

LASSELAT SOUMIA

Intitulé

**Conception d'une interface Labview dédiée à la
caractérisation des générateurs photovoltaïques**

Soutenu devant le jury composé de:

Dr. BOUCHELAGHEM Ahmed

Président

Dr. SAIGAA Djamel

Rapporteur

M. DRIF Mahmoud

Co-rapporteur

Dr. DJAZIA Kamel

Examineur

Année universitaire : 2018 /2019

Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordée la force et le courage afin de pouvoir accomplir ce travail.

*Nous remercions spécialement **Mr. AHMED AZI ALAZDDINE** pour sa disponibilité à toute épreuve, pour sa gentillesse et sa patience, pour ses orientations et ses remarques fructueuse, Tous nos respects et notre gratitude, merci.*

*Nous tenons à exprimer nos remerciements à nos encadrant Messieurs **D. SAIGAA et M. DRIF** ont proposé et dirigé ce travail. Nous remercions Monsieur le président du jury, ainsi que les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail. Le travail que nous avons réalisé doit beaucoup à certaines personnes que nous tenons à les remercier sincèrement.*

Enfin, merci à tous qui on contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

*Au terme de toutes ces longues périodes d'études, nous dédions
Ce modeste travail en titre de respect, de reconnaissance et de
Remerciement à :*

*Mes parents chers pour leurs sacrifices et qu'ils n'ont pas jamais
a passé de coup encourager, que dieu les gardes et les protèges pour
leur soutien moral et financier, pour leurs encouragements et les
sacrifices qu'ils ont endurés.*

A mes frères et mes sœurs et toute ma famille

A tous ce que j'aime et qui m'aiment

Tous mes collègues d'études surtout ceux D'électronique

RESUME

Résumé :

Dans ce travail nous présentons, une interface interactive qui sert au traitement, analyse et extraction des paramètres d'un générateur Photovoltaïque en utilisant la caractéristique I-V issue d'une mesure expérimentale. Nous sommes arrivées à identifier les fameux cinq paramètres inhérents aux modèles implicites à une diode, à savoir: *le courant photo-généré, le courant de saturation inverse, le facteur d'idéalité, la résistance série et la résistance parallèle.*

Nous nous sommes basées sur le langage G-Labview afin de développer cette interface. Les résultats sont affichés formes tabulée (les cinq paramètres) et sous forme graphique (courbes I-V et P-V aux conditions de mesures et STC).

Mots clés : photovoltaïque, module PV, I-V directe, extraction des paramètres, interface graphique sous Labview, modèle à une diode, modèle à deux diodes.

Abstract:

We are presenting in this work an interacting framework that is used to analyze, process and pick out parameters of the photoelectric generator using the special (I-V) which is concluded by the experimental measurement. We have identified the five famous standards in implicit diode models. Which is : Current of the image (I_{ph}), Current reverse saturation, ideal factor, chain resistance and parallel resistance.

We have relied on laboratory display language G-Labview for development of this interface, where the results are presented in regular formats (the fives parameters) and in the form graphs (curve I-V and P-V in measurement conditions and STC)

Keywords: photovoltaic , module PV, direct I-V ,Extraction of parameters, graphic interface under Labview, one diode model, two diode model

ملخص :

نقدم في هذا العمل ، واجهة تفاعلية تُستخدم لمعالجة وتحليل واستخراج خصائص للمولد الكهروضوئي باستخدام خاصية I-V الناتجة عن القياس التجريبي. لقد وصلنا إلى تحديد المعايير الخمسة الشهيرة المتأصلة في نماذج الصمام أحادي الضمني ، وهي: التيار المولد ، تيار التشبع العكسي ، عامل المثالية ، مقاومة السلسلة والمقاومة التفرع. اعتمدنا على لغة G-Labview لتطوير هذه الواجهة. حيث يتم عرض النتائج بأشكال جداول (الخصائص الخمسة) على شكل رسومات بيانية (منحنيات I-V و P-V في شروط القياس و STC).

الكلمات المفتاحية : الكهروضوئية ، وحدة الكهروضوئية ، I-V المباشر ، استخراج الخصائص، واجهة منحنيات Labview ، نموذج الصمام الثنائي ، نموذج صمام ثنائي الثنائي .

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction Générale	1
Introduction Générale	2
CHAPITRE 01 : GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE	
1.Introduction	3
2.Historique	3
3.L'énergie solaire photovoltaïque	4
3.1. Définition	4
3.2. Généralités sur rayonnement solaire	5
3.3. La constante solaire	5
4. Rayonnement solaire dans l'espace	6
5. Rayonnement solaire au sol	7
5.1. Rayonnement direct	7
5.2. Rayonnement diffus	7
5.3. Rayonnement réfléchi	7
5.4. Rayonnement global	7
6. Avantage et inconvénients d'énergie solaire photovoltaïque	8
6.1. Avantages	8
6.2. Inconvénients	9
7. Système photovoltaïque	9
7.1. Cellule photovoltaïque	10
7.1.1. Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	11
7.2. Module photovoltaïque	12
7.3. Champ photovoltaïque	12
8. Principe de la conversion photovoltaïque	13
9. Le modèle mathématique	13
10. Influence des conditions atmosphériques	14
10.1. Influence de l'éclairement	14
10.2. Influence de la température	15
11. Les différents types de matériaux de fabrications des cellules photovoltaïques	15
11.1. Silicium monocristallin	15
11.2. Silicium poly cristallin (multi cristallin)	16

SOMMAIRE

11.3. Silicium amorphe	16
12. Caractéristique d'une cellule solaire	17
12.1. Tension en circuit ouvert V_{oc}	17
12.2. Courant de court circuit I_{sc}	17
12.3. Point du fonctionnement $P_m (I_m, V_m)$	17
12.4. Facteur de forme FF	18
12.5. Rendement η	18
13. Association des cellules (Série parallèle notion de branche)	18
13.1. Association des cellules en série	19
13.2. Association des cellules en parallèle	20
14. Conclusion	21

CHAPITRE 02 : PROCÉDÉE DES CARACTERISATIONS ET MÉTHODES D'EXTRACTION

1. Introduction	22
2. Différentes techniques	22
2.1. Résistance variable	22
2.2. Charge capacitive	23
2.3. Charge électronique	24
2.4. Charge de quatre quadrants	25
2.5. Charges à base de convertisseurs DC/DC	26
a. Convertisseur DC-DC abaisseur (Buck)	27
b. Convertisseur DC-DC élévateur (boost)	27
c. Convertisseur DC-DC abaisseur-élévateur (buck-boost)	28
3. Extraction des paramètres photovoltaïques d'une cellule solaire	28
3.1. Modèles électriques d'une cellule solaire	28
3.1.1. Modèle cellule à une diode	28
a. Cas d'une cellule idéale	29
b. Modèle à cinq paramètres	30
c. Modèle à quatre paramètres	31
d. Cas d'une cellule photovoltaïque réelle	31
3.1.2. Modèle cellule à deux diodes	33
a. Modèle à 7 paramètres	33
b. Modèle à 6 paramètres	34
4. Les méthodes des caractérisation	34
4.1. Méthode d'extraction	34
4.1.1. Méthode d'extraction à 5 paramètres	35
a. La méthode Newton-Raphson	35

SOMMAIRE

b.Nouvelle méthode analytique-----	35
4.1.2.Méthodes d'extraction à quatre paramètres -----	36
a.Méthode explicite simplifiée -----	36
b.Méthode de la pente au point ($V_{co}, 0$) -----	37
5. Corrections à d'autres conditions de température et d'éclairement -----	37
5.1. Méthode du facteur de forme constant (FF cst) -----	37
5.2. Translation des paramètres des modèles implicites -----	38
6.La méthode utilisée -----	39
7.Conclusion -----	41
CHAPITRE 03 : INTERFACE DE CARACTERISATION ET D'EXTRACTION DES PARAMETRES DU GPV	
1.Introduction -----	42
2.Schéma Bloc -----	42
3.Description des différents blocs du programme -----	44
3.1. Lecture et stockage des données -----	44
3.2. Traitement des données -----	46
3.2.1. Détermination des paramètres explicite $I_{sc}, V_{oc}, [I_{mp}, V_{mp}, P]_{mp}, FF, \eta$ aux conditions de mesure -----	46
3.2.2. Translation des paramètres explicite $I_{sc}, V_{oc}, [I_{mp}, V_{mp}, P]_{mp}, FF, \eta$ aux conditions de standard STC -----	47
3.2.3. Translation de la caractéristique I-V aux conditions de standard STC-----	48
3.2.4. Affichage des résultats de traitement-----	48
3.3. Calcul des paramètres implicite $I_{ph}, I_0, [A, R_s, R]_{sh}$ du modèle a une diode -----	48
3.4. Translation des paramètres implicite $I_{ph}, I_0, [A, R_s, R]_{sh}$ aux conditions de standard STC -----	50
4. Reproduction de la caractéristique I-V selon le modèle calculé -----	51
5. Conclusion -----	52
CHAPITRE 04 : TEST ET RESULTATS	
1. Introduction -----	53
2. Fichier de données à traiter -----	53
3. Résultats de lecture, translation et affichage des données -----	54
4. Résultats d'extraction selon le modèle a une diode -----	55
5. Résultats de la reproduction de la caractéristique I-V selon le modèle a une diode calculé	56
6. Représentation de l'erreur entre la caracteristique mesurée et celle reproduit selon le modèle a une diode calculé -----	57
7. Interprétation des résultats -----	58
8. Conclusion -----	59
CONCLUSION GENERALE -----	60

SOMMAIRE

BIBLIOGRAPHIES	61
ANNEXES	63
1. Présentation	63
2. Barre d'outils de la face-avant	64
3. MSX60	67

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tab.1 Caractéristiques électriques du module MSX-60.-----53

Listes des figures

Liste des figures

Figure 1.1 Circuit électrique d'une conversion PV -----	5
Figure 1.2 Schéma de constante solaire -----	6
Figure 1.3 Rayonnement solaire incident hors atmosphère et au niveau de la surface terres --	6
Figure 1.4 Les composants de rayonnement solaire-----	8
Figure 1.5 Schéma de Système photovoltaïque -----	10
Figure 1.6 Schéma d'une cellule photovoltaïque. -----	11
Figure 1.7 Description d'une cellule photovoltaïque -----	11
Figure 1.8 Schéma d'un module photovoltaïque -----	12
Figure 1.9 Schéma d'un champ photovoltaïque -----	13
Figure 1.10 Courbe I-V d'une cellule photovoltaïque pour différents éclairnements-----	14
Figure 1.11 Courbes I-V d'une cellule photovoltaïque en fonction de la température -----	15
Figure 1.12 Photos d'une cellule monocristalline -----	15
Figure 1.13 Photo de cellule poly cristallin-----	16
Figure 1.14 Photo d'une cellule amorphe -----	16
Figure 1.15 Caractéristiques résultantes d'un groupement de N_s cellules en série -----	19
Figure 1.16 Caractéristiques résultant d'un groupement N_p de cellules en parallèle-----	20
Figure 2.1 Schéma électrique d'un convertisseur buck -----	23
Figure 2.2 Convertisseur DC-DC boost -----	24
Figure 2.3 Convertisseur DC-DC buck-boost -----	25
Figure 2.4 Circuit équivalent d'une cellule solaire(modèle à une diode) -----	25
Figure 2.5 Schéma équivalent d'une cellule idéale-----	26
Figure 2.6 Circuit équivalent au modèle à 5 paramètres -----	27
Figure 2.7 Circuit équivalent au modèle à 4 paramètres -----	27
Figure 2.8 Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle-----	28
Figure 2.9 Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle a deux diodes-----	29
Figure 2.10 Circuit équivalent au modèle à six paramètres-----	29
Figure 2.11 Caractérisation à l'aide d'une charge résistive -----	30
Figure 2.12 Caractérisation à l'aide d'une charge capacitive -----	31
Figure 2.13 Caractérisation à l'aide d'une charge électronique-----	32
Figure 2.14 Courbe I-V dans les quadrants I, II et IV -----	33
Figure 2.15 Schéma fonctionnel d'une charge de quatre quadrants-----	34
Figure 2.16 Variation de la résistance shunt en fonction de l'éclairnement -----	39
Figure 2.17 Les cinq points sur la courbe I-V utilisés pour calculer les paramètres du module PV par la méthode itérative à cinq points -----	40
Figure 3.1 Schéma bloc de la structure générale de l'interface -----	43

Listes des figures

Figure 3.2 Interface utilisateur (Face avant)-----	44
Figure 3.3 Importation du fichier (Face avant)-----	45
Figure 3.4 Diagramme bloc Importation et lecture du fichier-----	45
Figure 3.5 Diagramme bloc stockage des données -----	45
Figure 3.6 Diagramme bloc Extrapolation de I_{sc} et V_{oc} -----	46
Figure 3.7 Diagramme bloc Calcul de I_{mp} , V_{mp} et P_{mp} -----	47
Figure 3.8 Diagramme bloc Calcul de FF et n -----	47
Figure 3.9 Diagramme bloc Translation aux STC -----	47
Figure 3.10 Diagramme bloc Translation de la caractéristique $I-V$ aux STC -----	48
Figure 3.11 Construction du système d'équations non linéaires -----	49
Figure 3.12 Résolution du système d'équations non linéaires-----	49
Figure 3.13 Translation des paramètres implicites aux STC -----	50
Figure 3.14 Extraction des paramètres implicites (Face avant)-----	50
Figure 3.15 Diagramme bloc de la reproduction de la caractéristique $I-V$ -----	51
Figure 3.16 Reproduction de la caractéristique $I-V$ et comparaison avec celle mesurée -----	52
Figure 4.1 Exemple de fichier de données exploité -----	53
Figure 4.2 Resultats de traitement sous la forme numérique -----	54
Figure 4.3 Resultats de traitement sous la forme graphique -----	55
Figure 4.4 Resultats d'extraction des paramètres implicites -----	56
Figure 4.5 Resultats de reproduction de la caractéristique $I-V$ $P-V$ selon le modèle a une diode calculé -----	57
Figure 4.6 Ecart entre la caractéristique mesurée et celle reproduite -----	58

Liste des symboles et abréviations

• Liste des symboles et abréviations

PPM : Point de puissance maximale.

GPV : Générateur photovoltaïque.

PV : Photovoltaïques.

AM : nombre de masse d'air.

I : Courant délivré par la cellule ou module PV (A).

I₀ : Courant de saturation de la diode (A).

I₀₁ : Courant de saturation dû à la diffusion (A).

I₀₂ : Courant de saturation dû à la recombinaison (A).

I_d : Courant de diode (A).

I_{mp} : Courant au point de puissance maximale (A).

I_{obs} : Courant d'obscurité (A).

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

I_{sc} : Courant de court circuit (A).

K : Constante de Boltzmann.

K₁ : Facteur de correction.

A, *A₁*, *A₂* : Facteurs d'idéalité.

N_s : Nombre de modules en série.

NOCT : Température de fonctionnement normal de la cellule (°C).

p_c : Puissance crête (W).

p_{mp} : Puissance maximale (W).

q : Charge élémentaire ($1.602 \cdot 10^{-19}$) (Coulomb)

R_s : Résistance série d'un module PV.

Liste des symboles et abréviations

R_{sh} : Résistance shunt d'un module PV.

STC : Conditions standards de test.

E_g : Energie de gap pour le silicium cristalline 1.12 eV.

V_t : Tension thermique : $V_t = k \cdot T_c / q$.

T_c : Température absolue de la cellule.

G : étant l'éclairement incident global (W/m^2)

S : la surface active de la cellule (m^2).

ZCE : Zone de charge d'espace

v_{inv} : Tension aux bornes de la cellule en polarisation inverse (V).

V_i : Instrument virtuel (programme Labview).

FF : Facteur de forme.

η : Rendement de conversion.

C_{e1} Et C_{e2} : Coefficients du modèle explicite.

V_{br} : Tension d'avalanche (V).

V_x, I_x : Tension (V) à $\frac{1}{2} V_{oc}$ et courant (A) correspondant dans la courbe I-V.

V_{xx}, I_{xx} : Tension (V) à $\frac{1}{2} (V_{oc} - V_{mp})$ courant (A) correspondant dans la courbe I-V.

α_{Isc} : Coefficient de température du courant de court circuit ($A/^\circ C$).

β_{Voc} : Coefficient de température de la tension de circuit ouvert ($V/^\circ C$).

T_a : Température ambiante (K).

T_c : Température de la cellule (K).

$R_{sh}(0), R_{sh_exp}$: Termes d'obscurité et exponentiel de Mermoud.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'énergie est la complication essentielle pour l'homme dans le monde actuel. L'exploitation de toute ses sources est la question que le futur va poser à l'homme. Cependant l'histoire réserve parfois des surprises. Avec la diminution du stock mondial d'hydrocarbures d'origine fossile (pétrole, gaz et charbon), la demande énergétique sans cesse croissante, la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante, les énergies renouvelables (solaire, marine, éolienne, etc.) reviennent au premier plan de l'actualité; leur exploitation arrange beaucoup l'environnement [1].

L'énergie solaire photovoltaïque est l'une des énergies renouvelables et la plus utilisée. Elle consiste à convertir directement le rayonnement électromagnétique (solaire ou autre) en électricité. Elle utilise pour ce faire des convertisseurs photovoltaïques cellules solaires qui représentent l'élément de base dans la conversion photovoltaïque [1].

L'utilisation des cellules solaires comme convertisseurs d'énergie solaire a fait apparaître le besoin d'étudier ces systèmes afin de les optimiser, et par conséquence développer l'exploitation de cette nouvelle source d'énergie renouvelable propre et qui n'émet pas de gaz à effet de serre, pour ces derniers raisons la branche solaire photovoltaïque mérite vraiment d'être mise à contribution.

L'expérience montre que le fonctionnement des cellules solaires dépend fortement de plusieurs paramètres; internes et externes (liés à l'environnement du fonctionnement: éclairement, concentration, température, etc.). L'étude de l'influence de ces différents paramètres sur le fonctionnement de ces générateurs nous ramènent a observer le comportement qui se traduit par une caractéristique $I-V$.

Le travail, présenté dans ce mémoire, est l'identification paramétrique de ces générateurs en utilisant une caractéristique $I-V$ donnée dans des conditions de mesure réelles.

Pour ce faire nous avons présenté ce manuscrit de la façon suivante : Dans le premier chapitre, nous avons décrit des généralités sur la source de l'énergie solaire (le soleil) et les types de l'énergie solaire, le pouvoir énergétique du soleil et son rayonnement.

INTRODUCTION GENERALE

Dans le second chapitre, nous présentons les techniques de caractérisation ainsi que les méthodes d'extraction des paramètres des modèles à une diode et à deux diodes aux conditions de mesures et aux conditions STC.

Dans le troisième chapitre nous présenterons le programme d'extraction des paramètres des modules photovoltaïques (l'interface utilisateur) qui a pour fonction : la lecture, le traitement, l'analyse des données et l'identification paramétrique.

Le quatrième chapitre sera consacré à la partie des tests de validation pratique. Enfin, une conclusion générale couronne ce mémoire pour récapituler nos analyses, nos résultats et nos commentaires.

CHAPITRE 01

GENERALITES SUR L'ENERGIE

SOLAIRE PHOTOVOLAIQUE

1.1 Introduction

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. Excepté l'énergie géothermique qui provient de la chaleur des profondeurs de la terre, ces sources d'énergie proviennent directement ou indirectement du soleil. Elles sont donc disponibles indéfiniment tant que celui-ci brillera. L'énergie photovoltaïque est la plus jeune des énergies renouvelables, elle a l'avantage d'être non polluante, souple et fiable [2].

Dans ce chapitre, nous présentons des généralités sur la conversion photovoltaïque à savoir : les différents types de matériaux de fabrication des cellules et les influence des conditions atmosphériques, éléments du rayonnement solaire et le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

1.2. Historique

On peut citer quelques dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque :

- 1839: le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.
- 1875: Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
- 1954: trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.
- 1958: une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
- 1973: la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
- 1983: la première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux Etats-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des "impuretés". C'est une technique appelée le "dopage"

qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires. En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tout site isolé [3].

1.3. L'énergie solaire photovoltaïque

1.3.1. Définition

Le terme « photovoltaïque » désigne le processus physique qui consiste à transformer l'énergie lumineuse en énergie électrique par le transfert de l'énergie des photons aux électrons d'un matériau [4]. La clé pour produire un courant électrique utile est d'arriver à extraire ces électrons libérés. Un procédé pour faire cela est d'introduire dans le matériau semi-conducteur des éléments chimiques qui contribuent à produire un excès d'électrons et de trous [5]. Ces éléments qui altèrent notablement les propriétés intrinsèques du semi-conducteur, s'appellent les dopants et le matériau est dit dopé lorsque le processus d'incorporation au semi-conducteur est achevé. Un dopant approprié pour le silicium est le bore. La structure créée s'appelle un semi-conducteur de type P (positif). Un autre dopant possible pour le silicium est le phosphore. Le semi-conducteur est dit de type N (négatif). Si les photons de la lumière incidente communiquent de l'énergie aux électrons du semi-conducteur, quelques électrons peuvent traverser la barrière de potentiel, en étant expulsés hors du semi-conducteur dans un circuit extérieur, ceci génère un courant électrique. Les électrons, après avoir parcouru le circuit externe, retournent dans le semi conducteur par la face opposée. Le matériau semi-conducteur ne stocke donc pas d'énergie électrique mais la génère, en transformant l'énergie incidente [6].

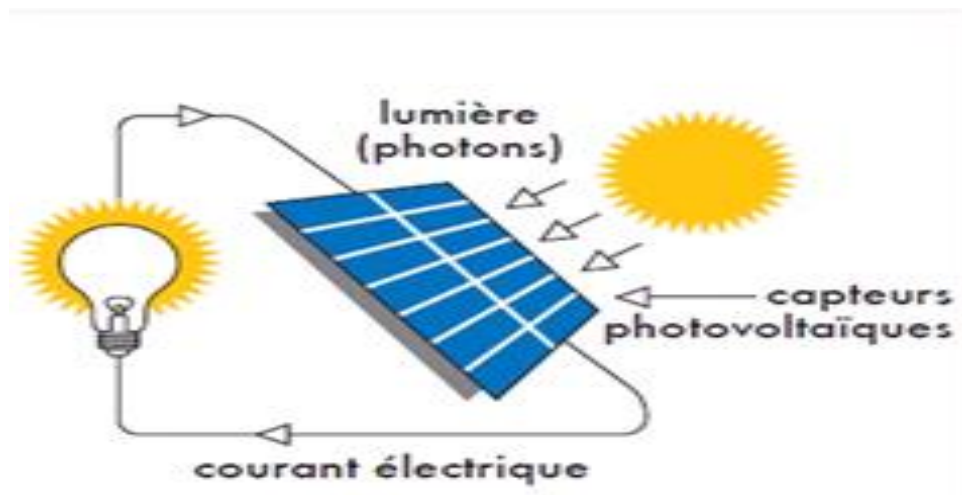


Figure 1.1 Circuit électrique d'une conversion PV.

1.3.2. Généralités sur rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est une variable climatique importante qui rend la vie sur Terre possible en apportant de la chaleur et de la lumière. Abondant, renouvelable et disponible au sol, il est constitué de rayons lumineux transportant de l'énergie provenant du soleil dans toutes les longueurs d'onde [7]. La distance de la Terre au Soleil est d'environ 150 millions de kilomètres et la vitesse de la lumière est d'un peu plus de 300 000 km/s, les rayons du soleil mettent donc environ 8 min à nous parvenir. [8]

1.3.3. La constante solaire

La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au Soleil. Sa valeur est communément prise égale à $1\,367\text{ W/m}^2$ (bien qu'elle varie de quelques % dans l'année à cause des légères variations de la distance Terre-Soleil). [8]

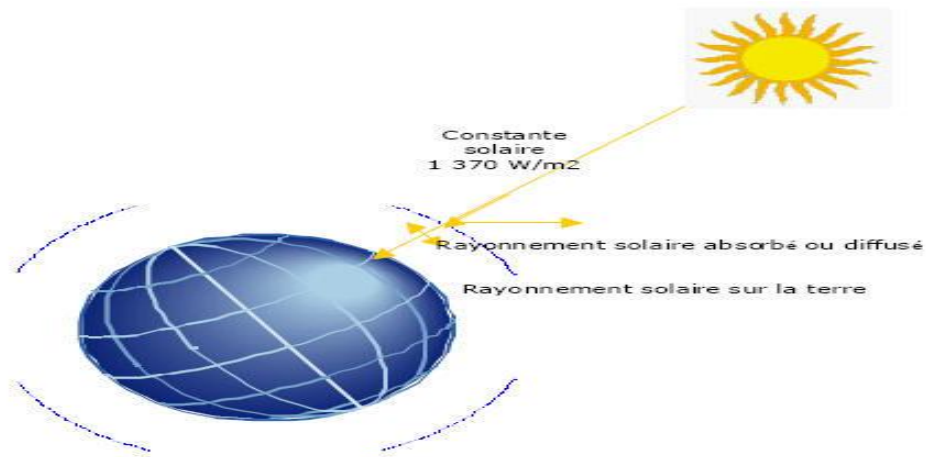


Figure 1.2 Schéma de constante solaire.

1.4. Rayonnement solaire dans l'espace

Sur Terre le rayonnement solaire est reçu de façon intermittente. Les rayons du soleil sont occultés par les différentes couches constitutives de l'atmosphère, ainsi que par les nuages, de plus la géométrie pseudo-sphérique de notre planète induit une différence d'ensoleillement selon la localisation considérée. Son mouvement, à l'origine du phénomène de jour et de nuit, réduit de moitié le flux solaire perçu [9].

La figure (1.3) représenté le flux incident du rayonnement solaire hors atmosphère au niveau de la surface terrestre.

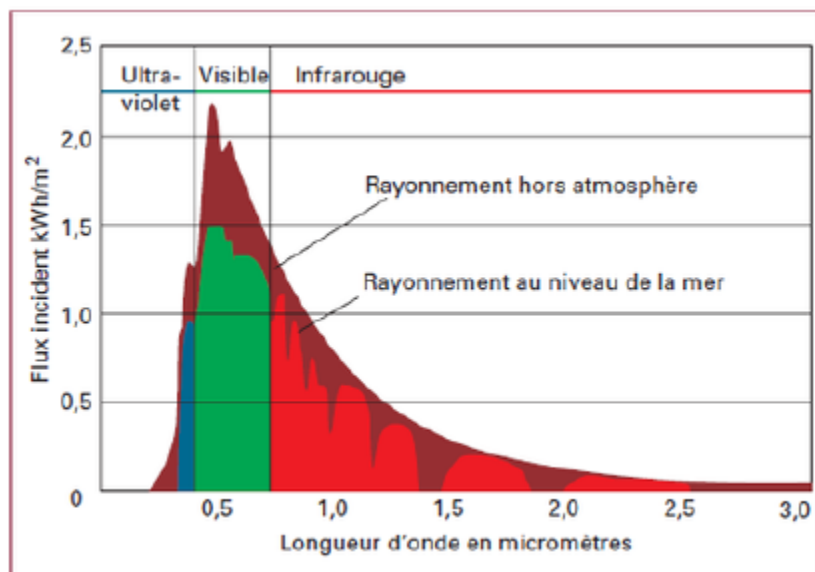


Figure1.3 Rayonnement solaire incident hors atmosphère et au niveau de la surface. terres

1.5. Rayonnement solaire au sol

Le rayonnement solaire sur une surface au sol est composé comme suit :

1.5.1. Rayonnement direct

Le rayonnement direct est le rayonnement solaire incident sur un plan donné et provenant d'un angle solide centré sur le disque solaire. [10] [11].

1.5.2. Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est le rayonnement émis par des obstacles (nuages, sol, bâtiments) et provient de toutes les directions. La conversion photovoltaïque utilisant les modules utilise aussi bien le rayonnement direct que le rayonnement diffus. [10] [11].

1.5.3. Rayonnement réfléchi

C'est la fraction d'un rayonnement incident diffusée ou réfléchi par un obstacle. Ce terme étant généralement réservé au sol aux nuages, c'est une valeur moyenne de leur réflecteur pour le rayonnement considérée et pour tous les angles d'incidences possible. Par définition, le corps noir possède un albédo nul. [10] [11].

1.5.4. Rayonnement global

Dans le cas d'une surface horizontale, C'est l'ensemble du rayonnement d'origine solaire qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre. Il comprend donc la composante verticale du rayonnement solaire direct et rayonnement solaire diffus. Dans le cas d'une surface incliné, C'est la somme des rayonnements: Direct, Diffus et Réfléchi. figure (1.4)

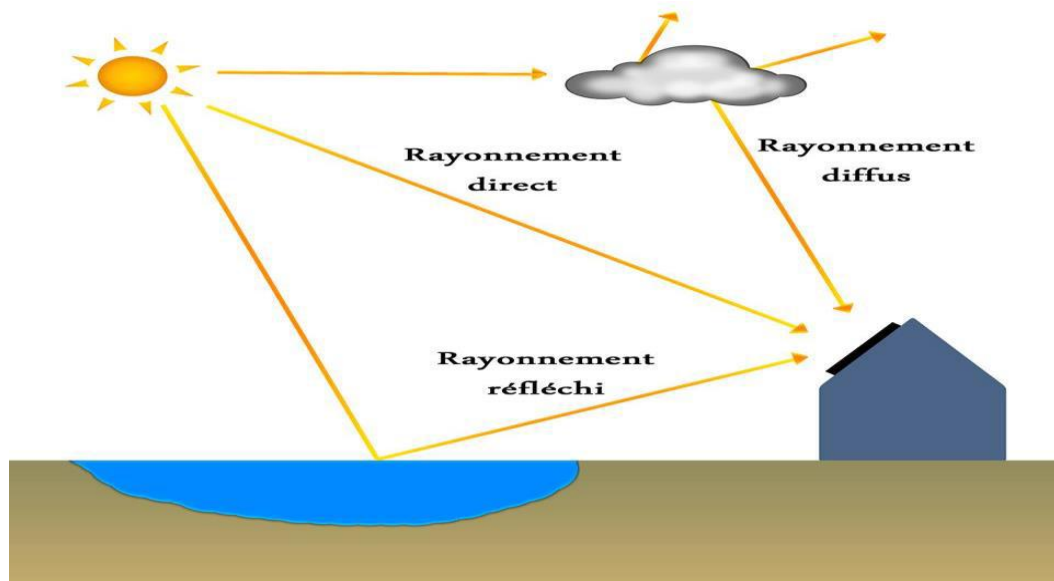


Figure 1.4 Les composants de rayonnement solaire.

1.6. Avantage et inconvénients d'énergie solaire photovoltaïque

1.6.1. Avantages [12]

Les avantages de l'électricité solaire photovoltaïque sont multiples :

- La production de cette électricité renouvelable est propre, n'est pas toxique.
- Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.
- L'énergie photovoltaïque Particulièrement attractive pour les sites urbains dus à leur petite relative taille, et leur opération silencieuse.
- La lumière du soleil étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montagne dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville.
- L'électricité photovoltaïque est produite au plus près de son lieu de consommation, de manière décentralisée, directement chez l'utilisateur.
- Modulaires, ses composants se prêtent à une utilisation innovante et esthétique en matière d'intégration architecturale (implantés sur ou en éléments de toiture ou de façade, sous forme de brise-soleil, en verrière...).
- L'électricité solaire photovoltaïque a pour qualité sa fiabilité, la durée de vie des capteurs, son autonomie, son faible impact sur l'environnement.
- Technologie encore émergente, son coût lui permet d'être souvent compétitif par rapport aux solutions classiques dans les sites éloignés du réseau électrique ne

demandant pas de très grosse quantité d'électricité fournie, ou dans des sites urbains lorsqu'elle évite des coûts de raccordement au réseau électrique public .

- Le coût de fonctionnement des panneaux photovoltaïques est très faible car leur entretien est très réduit, et ils ne nécessitent ni combustible, ni transport, ni personnel hautement spécialisé.
- Les systèmes photovoltaïques sont fiables : aucune pièce employée n'est en mouvement.
- Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes.

1.6.2. Inconvénients [12]

Production d'énergie qui dépend de l'ensoleillement, toujours variable.

- Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques et des capteurs est élevé.
- S'il faut stocker l'énergie avec des batteries, le coût de l'installation augmente.
- Le rendement réel de conversion d'un module est faible.
- Le rendement électrique diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans).
- Pollution à la fabrication.

1.7. Système photovoltaïque

Photovoltaïque signifie électricité à partir de la lumière. Les systèmes photovoltaïques emploient la lumière du jour pour actionner des appareils électriques, comme par exemple les appareils électroménagers, ordinateurs ou éclairage. Le phénomène photovoltaïque (PV) convertit l'énergie solaire libre, la source d'énergie la plus abondante sur la planète, directement en électricité, construire généralement de:

- Générateur photovoltaïque (GPV).
- Système de stockage (batteries électrique..).
- Régulateurs (Les convecteurs de puissance).
- Les charges (charges DC, charges AC).

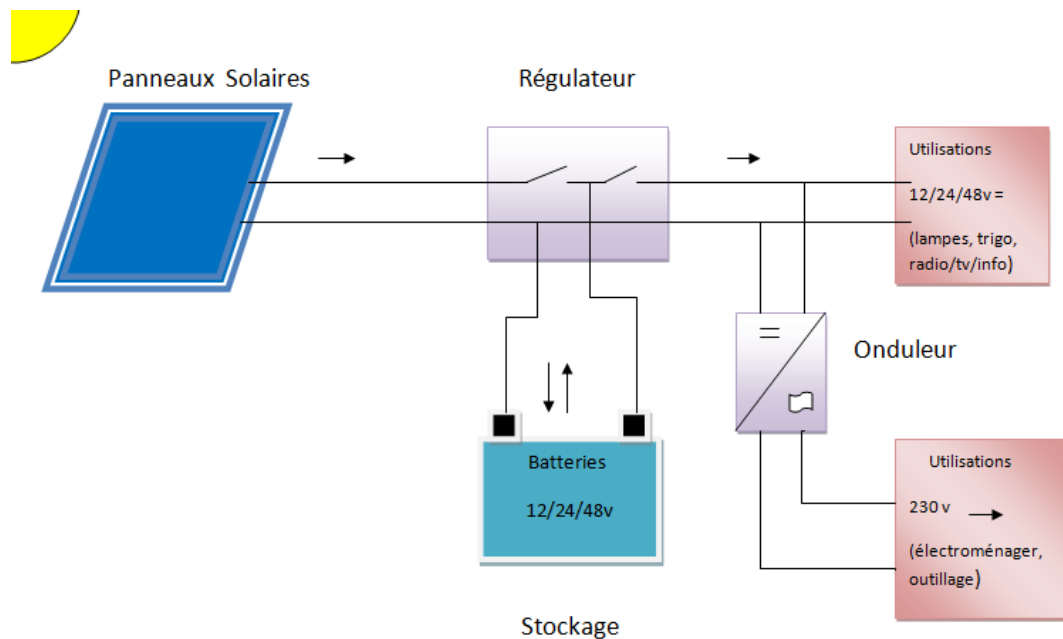


Figure 1.5 Schéma de Système photovoltaïque.

Le système photovoltaïque est un ensemble d'équipements mis en place pour exploiter l'énergie photovoltaïque afin de satisfaire les besoins en charge. En fonction de la puissance désirée, les modules peuvent être assemblés en panneaux pour constituer un "champ photovoltaïque". Relié au récepteur sans autre élément, le panneau solaire fonctionne "au fil du soleil", c'est-à-dire que la puissance électrique fournie au récepteur est fonction de la puissance d'ensoleillement. Elle est donc à son maximum lorsque le soleil est au zénith et nulle la nuit.

1.7.1. Cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est une composante optoélectronique qui transforme directement la lumière solaire en électricité, a été découverte par E. Becquerel en 1839. Une cellule photovoltaïque est constituée par un matériau semi-conducteur de type P-N. La taille de chaque cellule va de quelques centimètres carrés jusqu'à 100 ou plus sa forme est circulaire, carrée ou dérivée des deux géométries [13]. La figure (1.6) représente un échantillon schématique d'une configuration de la cellule photovoltaïque.



Figure 1.6 Schéma d'une cellule photovoltaïque.

1.7.1.1. Fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif qui permet de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. Cette transformation est basée sur les trois mécanismes suivants :

- Absorption des photons (dont l'énergie est supérieure au gap) par le matériau constituant le dispositif.
- Conversion de l'énergie du photon en énergie électrique, ce qui correspond à la création de paires électron / trou dans le matériau semi-conducteur ;
- Collecte des particules générées dans le dispositif [14]

Comme montre la figure (1.7) suivante :

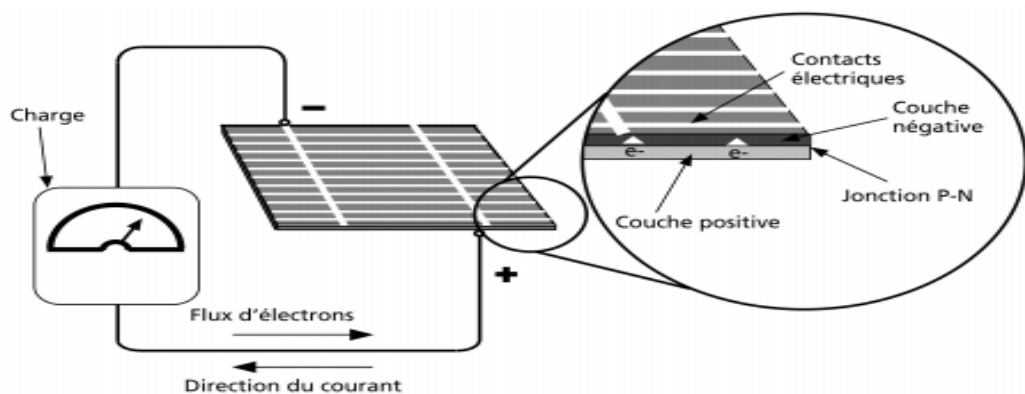


Figure 1.7 Description d'une cellule photovoltaïque.

1.7.2. Module photovoltaïque

Le composant le plus crucial de toute installation PV est le module photovoltaïque, qui se compose de cellules solaires interconnectées. Ces modules sont raccordés entre eux pour former des champs de manière à pouvoir satisfaire différents niveaux de besoins en énergie.

La figure (1.8) représente un module photovoltaïque.

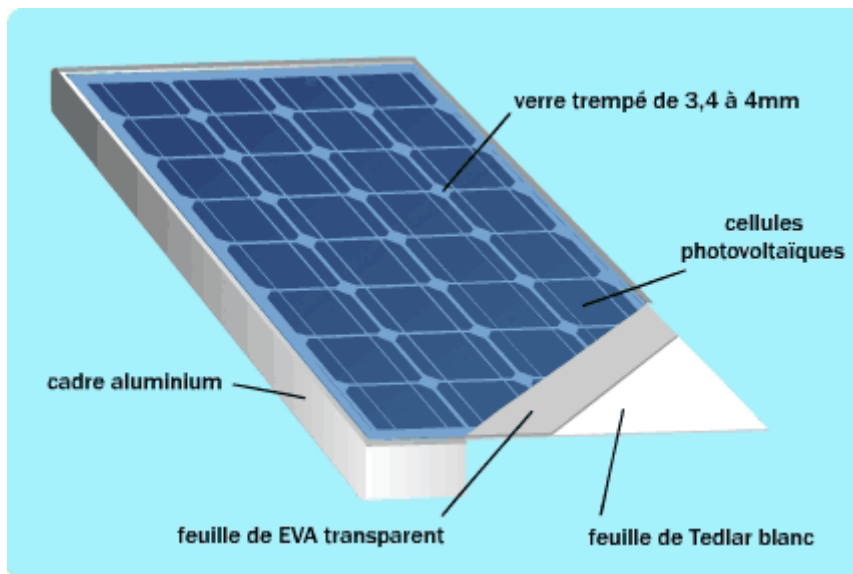


Figure 1.8 Schéma d'un module photovoltaïque.

1.7.3. Champ photovoltaïque

Le champ photovoltaïque se compose de modules photovoltaïques interconnectés en série et/ou en parallèle afin de produire la puissance requise. Ces modules sont montés sur une armature métallique qui permet de supporter le champ solaire avec un angle d'inclinaison spécifique. La figure (1.9) représente un champ photovoltaïque.



Figure 1.9 Schéma d'un champ photovoltaïque.

1.8. Principe de la conversion photovoltaïque

La conversion photovoltaïque c'est de transformer l'énergie solaire en énergie électrique. La possibilité de transformer directement l'énergie lumineuse, et en particulier le rayonnement solaire en énergie électrique est apparue en 1954 avec la découverte de l'effet photovoltaïque. L'élément de base de conversion photovoltaïque est utilise les propriétés quantiques de la lumière et Permet la transformation de l'énergie incidente en courant électrique dont la cellule solaire ou photopile.

1.9. Le modèle mathématique

Le modèle mathématique relatif au circuit électrique équivalent simple diode d'une cellule solaire peut être décrit par l'équation suivante :

$$I = I_{ph} - I_S \left[\exp \left(\frac{V + I * R_S}{A * \left(K * \frac{T}{q} \right)} \right) - 1 \right] - \frac{V + I * R_S}{R_{Sh}} \quad (1.1)$$

Où :

I_{ph} est le courant photo généré ou photo-courant, I_0 est le courant de saturation de la diode.

A est le facteur d'idéalité de la diode.

R_S et R_{Sh} sont respectivement la résistance série et la résistance parallèle.

T est la température absolue en Kelvin.

L'équation contient également la charge élémentaire constant $q = 1.6 * 10^{-19} C$ ainsi que la constante de Boltzmann $K = 1.38 * 10^{-23} J/K$.

Quant au circuit électrique équivalent double diode d'une cellule solaire, on peut utiliser la même équation 1.1 en rajoutant le second terme de la deuxième diode:

$$I = I_{ph} - I_{01} \left[\exp \left(\frac{V + I * R_S}{A1 * \left(K * \frac{T}{q} \right)} \right) - 1 \right] - I_{02} \left[\exp \left(\frac{V + I * R_S}{A2 * \left(K * \frac{T}{q} \right)} \right) - 1 \right] - \frac{V + I * R_S}{R_{Sh}} \quad (1.2)$$

1.10. Influence des conditions atmosphériques

1.10.1. Influence de l'éclairement

A une température constante, la caractéristique $I = f(V)$ dépend fortement de l'éclairement :

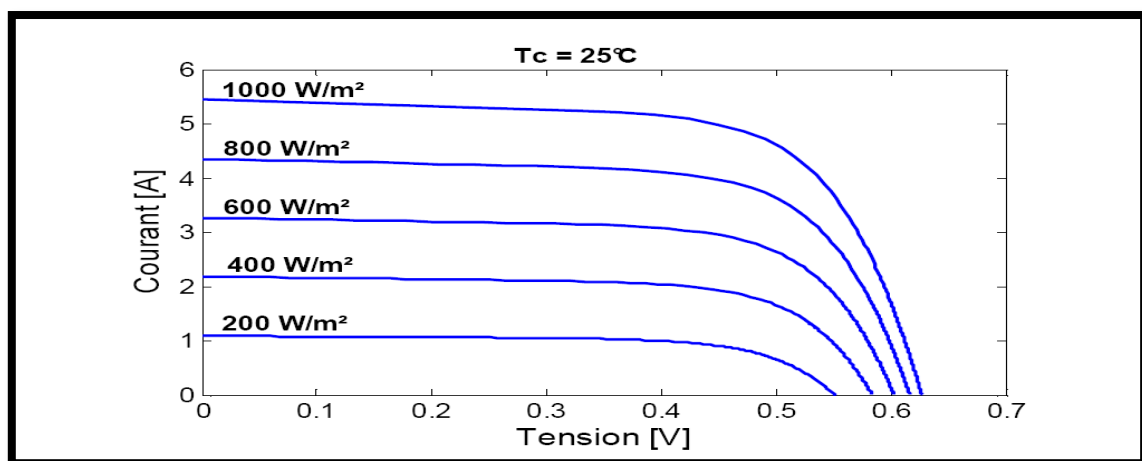


Figure 1.10 Courbe I-V d'une cellule photovoltaïque pour différents éclairements.

Sur ces courbes, on remarque que la puissance maximum délivrée par la cellule augmente avec l'éclairement.

1.10.2. Influence de la température

Pour un éclairement fixé, les caractéristiques $I = f(V)$ et $P = f(V)$ varient avec la température de la cellule photovoltaïque:

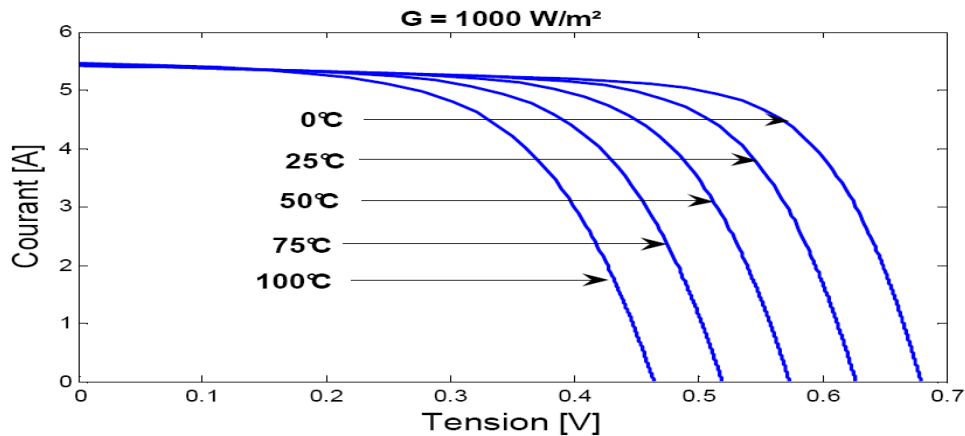


Figure 1.11 Courbes I-V d'une cellule photovoltaïque en fonction de la température.

1.11. Les différents types de matériaux de fabrications des cellules photovoltaïques

1.11.1. Silicium monocristallin

Les cellules en silicium monocristallin représentent la première génération des générateurs photovoltaïques. Pour les fabriquer, on fond du silicium en forme de barreau. Lors d'un refroidissement lent et maîtrisé, le silicium se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension [15].

On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Durée de vie : 20 à 30 ans.



Figure 1.12 Photos d'une cellule monocristalline.

1.11.2. Silicium poly cristallin (multi cristallin)

Pendant le refroidissement du silicium dans une lingotière, il se forme plusieurs cristaux. La cellule photovoltaïque est d'aspect bleuté, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux.



Figure 1.13 Photo de cellule poly cristallin.

1.11.3. Silicium amorphe

Le silicium est déposé en couche mince sur une plaque de verre ou un autre support souple. L'organisation irrégulière de ses atomes lui confère en partie une mauvaise semi conduction. Les cellules amorphes sont utilisées partout où une solution économique est recherchée ou lorsque très peu d'électricité est nécessaire, par exemple pour l'alimentation des montres, des calculatrices, ou des luminaires de secours. Elles se caractérisent par un fort coefficient d'absorption, ce qui autorise de très faibles épaisseurs, de l'ordre du micron. Par contre, son rendement de conversion est faible (de 7 à 10%) .



Figure 1.14 Photo d'une cellule amorphe.

1.12. Caractéristique d'une cellule solaire

Les caractéristiques d'une cellule solaire photovoltaïque sont caractérisées par un certain nombre de paramètres extraits de la caractéristique courant-tension [16] :

1.12.1. Tension en circuit ouvert (V_{oc})

C'est la tension mesurée aux bornes de la cellule et pour laquelle le courant débité par la cellule solaire est nul, elle est donnée par la relation :

$$V_{oc} = n * V_{Th} * \log \left(1 + \left(\frac{I_{ph}}{I_s} \right) \right) \quad (1.3)$$

1.12.2. Courant de court circuit (I_{sc})

En court circuit $V=0$

D'où

$$I_{sc} = I_{ph} \quad (1.4)$$

1.12.3. Point de fonctionnement P_m (I_m , V_m)

La puissance maximale d'une cellule photovoltaïque éclairée est la grandeur essentielle pour évaluer sa performance; elle est donnée par la relation :

$$P_m = V_m * I_m \quad (1.5)$$

Elle traduit sur la caractéristique I-V le point de fonctionnement P_m (V_m , I_m) qui est situé au coude de la caractéristique I-V et dit point de puissance maximale où les valeurs de tension V_m et du courant I_m appelées également tension et courant maximums respectivement [16].

1.12.4. Facteur de forme (FF)

Il est donné par la relation :

$$FF = \frac{P_m}{I_{sc} * V_{oc}} = \frac{I_m * V_m}{I_{sc} * V_{oc}} \quad (1.6)$$

Ce paramètre compris entre 0 et 1, on l'exprime en % qualifie la forme plus ou moins rectangulaire de la caractéristique I-V de la cellule solaire. Si celle-ci était carrée le facteur de forme serait égal à 1. Mais, généralement le facteur de forme prend des valeurs entre 0.6 et 0.85. [16].

1.12.5. Rendement (η)

Il est défini comme le rapport entre la puissance maximale produite par la cellule et la puissance du rayonnement solaire qui arrive sur la cellule. Si S est la surface de la cellule (en m²) et E est l'éclairement-irradiante (en W/m²). Le rendement énergétique s'écrit [17].

$$\eta = \frac{P_m}{P_{inc} * S} \quad (1.7)$$

P_{inc} : Puissance incident.

S : surface de la cellule photovoltaïque Ou d'après :

$$P_m = FF * I_{sc} * V_{oc} \quad (1.8)$$

$$\eta = \frac{FF * I_{sc} * V_{oc}}{P_{inc} * S} \quad (1.9)$$

1.13. Association des cellules (Série parallèle notion de branche)

Nombre total de cellules soit en série ou parallèle sont module photovoltaïque. Le module photovoltaïque est par définition un ensemble de cellules photovoltaïques assemblées pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière. En effet, une

cellule photovoltaïque élémentaire ne génère pas suffisamment de tension : entre 0.5 et 1.5V selon les technologies.

1.13.1. Association des cellules en série

L'association des cellules photovoltaïques en série permet d'atteindre une tension du générateur photovoltaïque (GPV). Le courant de la branche reste le même, mais la tension augmente proportionnellement selon le nombre de cellules mises en série. Les fabricants trient les cellules de même courant pour les mettre en série parce que si une d'elles était d'un faible courant elle imposerait son courant aux autres. Cette technique est appelée l'appairage en courant.

$$V_{ocNs} = N_S * V_{oc} \quad (1.10)$$

Avec :

$$I_{sc} = I_{scNs} \quad (1.11)$$

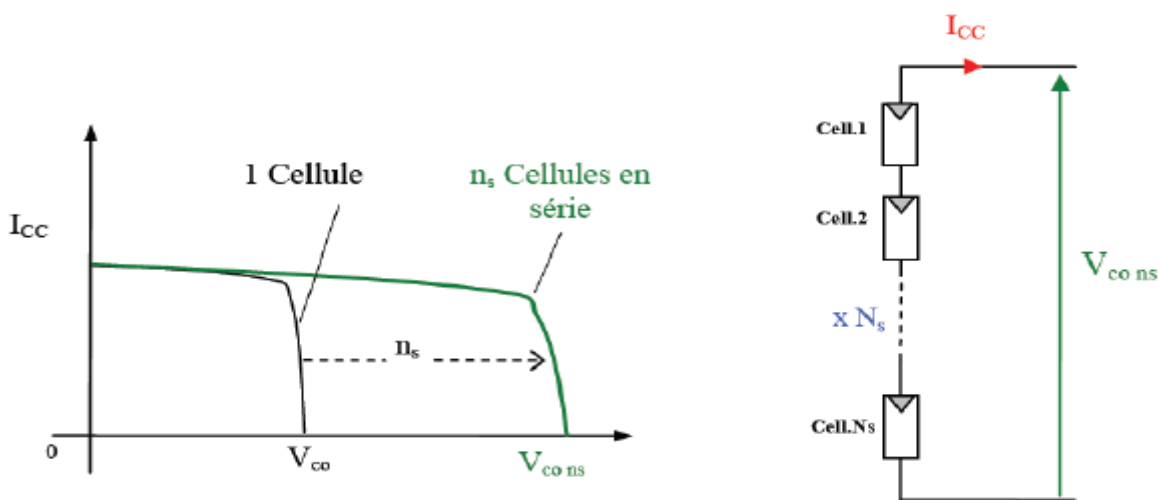


Figure 1.15 Caractéristiques résultantes d'un groupement de ns cellules en série.

L'association en série est généralement la plus communément utilisée pour les modules photovoltaïques du commerce. Comme la surface des cellules devient de plus en plus importante, le courant produit par une seule cellule augmente régulièrement au fur et à mesure de l'évolution technologique alors que sa tension reste toujours très faible. L'association série permet ainsi d'augmenter la tension de l'ensemble et donc d'accroître la puissance de l'ensemble. Les panneaux commerciaux constitués de cellules de première génération sont

habituellement réalisés en associant 36 cellules en série $V_{cons} = 0.6 * 36 = 21.6 V$ afin d'obtenir une tension optimale du panneau V_{opt} proche de celle d'une tension de batterie de 12V (à puissance maximale). Les modules en série sont souvent appelés des strings. Malheureusement, les cellules ou modules ne sont pas tous absolument identiques. Le courant total s'oriente alors à la cellule ou au module le plus faible. Ce phénomène est appelé mismatching.

1.13.2. Association des cellules en parallèle

L'association des N_p cellules photovoltaïques en parallèle permet d'avoir le courant voulu. La tension de la branche est égale à la tension de chaque cellule et l'intensité augmente proportionnellement au nombre de cellules en parallèle. La figure (1.12) montre la caractéristique résultante (I_{ccNp}, V_{coNp}) obtenue en associant en parallèle (indice p) n_p cellules identiques (I_{cc}, V_{co})

$$I_{ccNp} = N_p * I_{cc} \tag{1.12}$$

Avec :

$$I_{ccNp} = N_p * I_{cc} \tag{1.13}$$

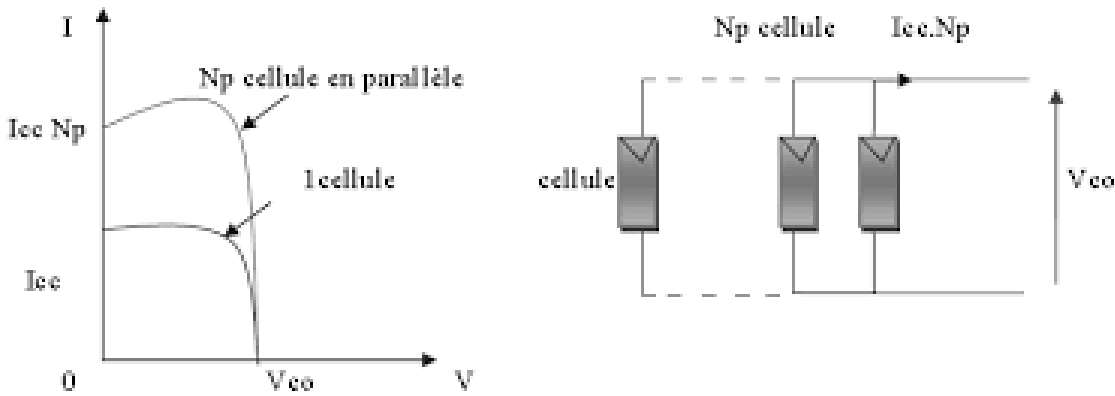


Figure 1.16 Caractéristiques résultant d'un groupement N_p de cellules en parallèle.

1.14. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre quelques notions sur le rayonnement solaire, et nous avons expliqué sur le fonctionnement de la cellule photovoltaïque, à savoir les différents types de matériaux de fabrications des cellules photovoltaïques et étudié la technologie photovoltaïque, l'influence des conditions atmosphériques et de certains paramètres sur le comportement de la cellule PV et aperçus sur l'architecture d'un générateur photovoltaïque (l'association de la cellule série et parallèle).

CHAPITRE 02

PROCÉDÉE DES

CARACTERISATIONS ET

MÉTHODES D'EXTRACTION

2.1. Introduction

Pour mieux comprendre les mécanismes physiques agissant à l'intérieur de la cellule solaire, et par conséquent les différents paramètres qui affectent ses caractéristiques, plusieurs méthodes ont été proposées pour l'identification de ses paramètres, non seulement pour l'augmentation du rendement de la cellule photovoltaïque, mais aussi pour pouvoir simuler son comportement, et optimiser ses différentes caractéristiques. [18].

On rencontre dans la littérature plusieurs modèles que leurs précisions restent tributaire à la modélisation mathématiques des différents phénomènes physiques intrinsèques intervenant dans le processus de production d'électricité. On trouve plusieurs modèles de quatre (04) jusqu'à sept (07) paramètres basés sur la modélisation mathématique de la courbe courant-tension (I-V). Dans la plupart des travaux de la littérature, on trouve principalement les modèles équivalent à quatre et Cinque paramètres. Dans le modèle à quatre paramètres, l'effet de la résistance shunt (parallèle) est négligé du fait que sa valeur importante.

* Le modèle à Cinque paramètres fait intervenir :

I_{ph} (le photo-courant), I_s (le courant de saturation), A (le facteur d'idéalité), R_s (la résistance série) et R_{sh} (la résistance parallèle).

* Le modèle à quatre paramètres fait intervenir :

I_{ph} (le photo courant), I_s (le courant de saturation), A (le facteur d'idéalité) et R_s (la résistance série).

Ces paramètres ne sont pas généralement des quantités mesurables ou incluses dans les données du fabricant. En conséquence, ils doivent être déterminés à partir des systèmes d'équations (I-V) à divers points de fonctionnement donnés par le constructeur ou tirés des essais expérimentaux. [19].

2.2. Différentes techniques

Il existe différentes méthodes pour effectuer pour relever la courbe I-V est basé sur le contrôle du courant fourni par le générateur PV entre le point de circuit-ouvert ($V=V_{oc}$, $I=0$) et le point de court-circuit ($V=0$, $I=I_{sc}$)

2.2.1. Résistance variable

La méthode la plus simple et la plus connue dans la caractérisation des modules PV ou est l'utilisation d'une charge résistive pure R comme le montre la figure 2.1 La variation de cette

résistance R se fait par étapes ; de zéro à l'infini (de 0 à ∞) avec un pas régulier ou irrégulier afin de parcourir toute la courbe I-V du court-circuit au circuit ouvert, en relevant la tension et le courant dans chaque étape. Cette méthode n'est applicable qu'aux GPV de faible puissance, à cause de l'indisponibilité des résistances pour une puissance plus élevée [28]. De plus, la variation résistance de charge se fait par étape et manuellement, ce qui rend le processus très lent de sorte que le rayonnement solaire et les conditions thermiques pourraient être modifiées pendant la mesure [29].

La mesure de la tension et du courant se réalise à l'aide d'une paire de multimètre numérique par chaque étape. Par ailleurs, sur le plan pratique, on utilise un ensemble de résistances comme charge. Un tableau de relais contrôlé par ordinateur, est utilisé pour sélectionner la combinaison de résistances pour obtenir une résistance bien spécifique [30] [31].

Les résistances sont choisies de telle sorte que la diffusion des points soit autour du 'coude' de la courbe I-V. Deux canaux A/D de la carte d'ordinateur sont utilisés afin de mesurer chaque Paire I-V. Avec cette approche, le fonctionnement manuel sur la résistance est évité et le temps d'acquisition est amélioré.

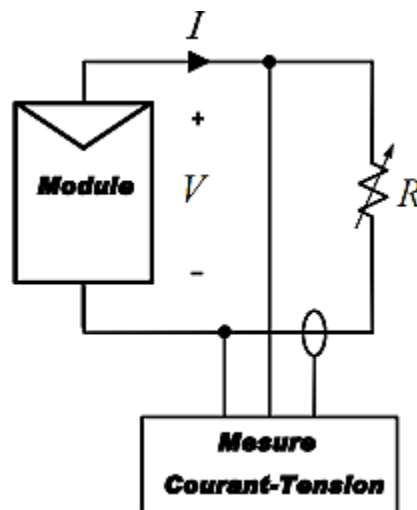


Figure 2.1 Caractérisation à l'aide d'une charge résistive.

2.2.2. Charge capacitive

Cette technique mesure la caractéristique I-V d'un dispositif photovoltaïque (module ou GPV) se base sur l'utilisation d'une charge capacitive, i.e. la polarisation du dispositif par un grand condensateur, initialement déchargé. Le condensateur commence à se charger dès

l'ouverture des deux switches S2 et S3, avec une tension croissante et un courant décroissant qui s'annulera en fin de charge correspondant ainsi la condition de circuit-ouvert ($V=V_{oc}$).

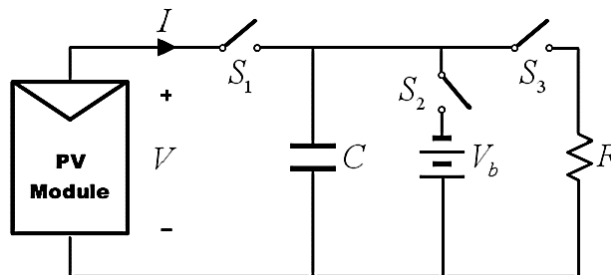


Figure 2.2 Caractérisation à l'aide d'une charge capacitive.

Au lieu de commencer la deuxième charge avec le courant de court-circuit, nous pourrions commencer avec S2 fermé, de sorte que le condensateur serait initialement chargé à une tension négative et le balayage de la courbe I-V se ferait à partir du 2ème quadrant afin d'obtenir le courant de court-circuit I_{sc} . Par ailleurs, pour effectuer une nouvelle mesure, le condensateur doit se décharger préalablement à travers la résistance R par le biais de la fermeture de l'interrupteur S3. Il est à noter que les trois interrupteurs doivent être activés avec une séquence appropriée. Le temps de charge du condensateur est directement proportionnel à la valeur de C et la tension de circuit-ouvert du module ou GPV à caractériser et inversement proportionnel au courant de court-circuit [32]

En se basant sur cette techniques, deux variantes ont été proposées sont rapportées dans la littérature [33]

***Variante 1 :** la tension et le courant sont mesurés à l'aide d'une carte d'acquisition pilotée par ordinateur. La mesure commence quand la carte envoie un signal de déclenchement à l'interrupteur qui connecte le condensateur au dispositif PV.

***Variante 2 :** Il s'agit d'une charge capacitive portable à base de transistors bipolaires grilles isolées (IGBT) permettant la mesure la caractéristique I-V des champs PV en conditions réelles du site. Les interrupteurs de la figure 2.2 sont substitués par des IGBT et le condensateur est une association en parallèle des capacités et des résistances.

2.2.3. Charge électronique

La méthode de charge électronique (figure 2.3) utilise un transistor (habituellement un MOSFET) en tant que charge. En variant la tension grille-source, la résistance entre drain et la source est et par conséquent le de courant fourni par le module l'est aussi [34]

Lorsque le balayage de la courbe I-V est réalisé, le MOSFET doit fonctionner dans ses trois régimes de fonctionnement (coupure, linéaire ou triode et saturation). En conséquence, la plus grande partie de l'énergie fournie par Le module devra être dissipé par cet appareil, qui limite son application à la puissance moyenne **[35] [36]**.

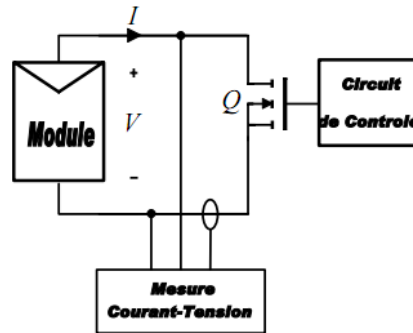


Figure 2.3 Caractérisation à l'aide d'une charge électronique.

2.2.4. Charge de quatre quadrants

Une charge de quatre quadrants fonctionner comme source ou générateur de courant bidirectionnel et appliquer une tension positive ou négative, ce qui permet son utilisation comme charge réglable en d'autres termes une alimentation capable de délivrer et de dissiper de l'énergie ; En figure 2.4 est illustrée la courbe I-V qui peut générer une charge de quatre quadrants et en figure 2.5 est illustré le schéma fonctionnel du circuit qu'on peut implémenter pour réaliser une charge de quatre quadrants.

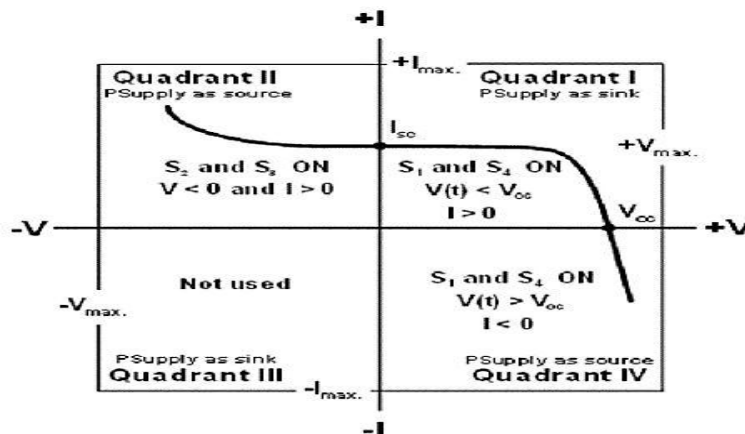


Figure 2.4 Courbe I-V dans les quadrants I, II et IV.

Pour un module photovoltaïque, l'intérêt principal est d'obtenir la courbe I-V dans le premier quadrant. Mais, l'exploration des points situés dans le 2ème et 4ème quadrant pourraient servir comme outil de diagnostic important afin de détecter la désadaptation dans le fonctionnement du module PV tels que : l'ombrage, le mis match, le hot-spot, ... etc. [37]

Le principe de fonctionnement d'une charge de quatre quadrants se base sur une alimentation où sa tension de sortie dépendant d'un signal de référence. Ce peut être modifié par une autre référence extérieure ou programmée, pour pouvoir réaliser un balayage de différentes valeurs [38].

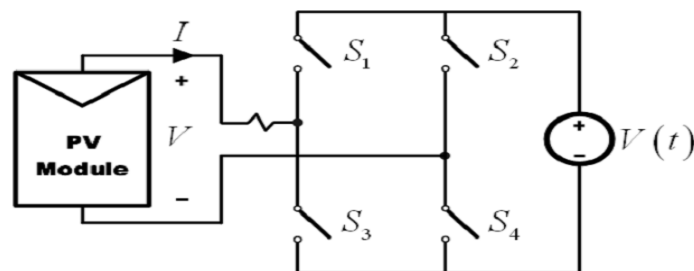


Figure 2.5 Schéma fonctionnel d'une charge de quatre quadrants.

2.2.5. Charges à base de convertisseurs DC/DC

Il y a un plusieurs topologies des convertisseurs DC-DC. Ils sont classés par catégorie selon que la topologie isolée ou non isolée. Les topologies isolées emploient un transformateur d'isolement fonctionnant à haute fréquence, elles sont très employées souvent dans les alimentations à découpage. Les topologies les plus connues dans la majorité des applications sont le Flyback, en demi-pont et en pont complet. Dans les applications photovoltaïques (PV), les systèmes de couplage avec le réseau électrique emploient souvent ces types de topologies quand l'isolement électrique est préféré pour des raisons de sûreté [31].

Les topologies non isolées ne comportent pas de transformateurs d'isolement. Elles sont généralement utilisées dans l'entraînement des moteurs à courant continu [31]. Ces topologies sont encore classées en trois catégories :

- Abaisseurs (Buck);
- Elévateurs (Boost);
- Elévateurs - Abaisseurs (Buck-Boost).

a. Convertisseur DC-DC abaisseur (Buck)

Un convertisseur Buck, ou hacheur série, est une alimentation à découpage convertit une tension continue en une autre tension continue de plus faible valeur. Il est utilisé pour deux types d'application :

*Les applications visant à obtenir une tension continue fixe à partir d'un générateur de tension continue.

*Les applications permettant d'obtenir une tension réglable mais toujours inférieure à celle présente à l'entrée **[35]**.

La figure 2.6 illustre le schéma électrique d'un convertisseur BUCK :

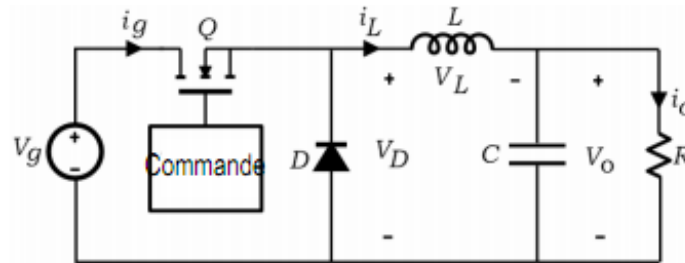


Figure 2.6 Schéma électrique d'un convertisseur buck.

b. Convertisseur DC-DC élévateur (boost)

Un hacheur parallèle (convertisseur BOOST) est une alimentation à découpage qui convertit une tension continue en une autre tension continue de plus forte valeur. On utilise un convertisseur BOOST lorsqu'on désire augmenter la tension disponible d'une source continue.

La figure 2.7 illustre le schéma électrique d'un BOOST :

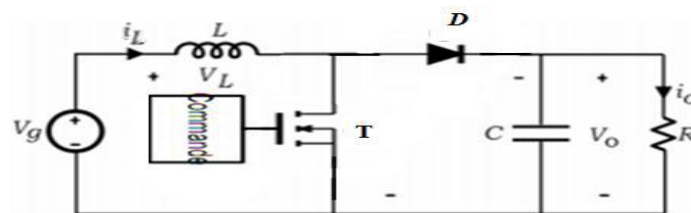


Figure 2.7 Convertisseur DC-DC boost .

c. Convertisseur DC-DC abaisseur-élevateur (buck-boost)

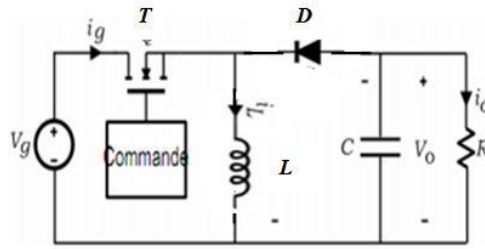


Figure 2.8 Convertisseur DC-DC buck-boost.

2.3.Extraction des paramètres photovoltaïques d’une cellule solaire

La représentation des cellules solaires nécessite l’utilisation de plusieurs modèles non linéaires ; Ces modèles diffèrent en précision et fiabilité. En effet chacun de ces modèles est différent par la précision qu’il offre et ce en regard des différents paramètres mis en jeu (résistance série, résistance shunt, facteur d’idéalité ...).

On rencontre dans la littérature plusieurs méthodes d’extraction et estimation des paramètres qui décrivent le modèle électrique non linéaire des cellules solaires. Ces paramètres sont généralement le photo courant I_{ph} , le courant de saturation I_0 , la résistance série R_s , le facteur d’idéalité A et la résistance parallèle R_{sh} . En effet, plusieurs modèles électriques ont été proposés pour la représentation de la cellule solaire.

2.3.1. Modèles électriques d’une cellule solaire

Il y a une diversification dans les modèles électriques proposé par les chercheurs. Une cellule solaire est représentée, dans la littérature, par plusieurs modèles, chacun d’eux est régi par une expression mathématique en fonction des paramètres technologiques de la cellule solaire (courant et tension). Les modèles électriques utilisés dans l’étude et la modélisation des cellules solaires sont divers:

- *Modèle à une diode.
- *Modèle à deux diodes.

2.3.1.1. Modèle cellule à une diode

C’est le modèle sur lequel s’appuient les constructeurs en donnant les caractéristiques techniques de leurs cellules solaires. Il est aussi considéré satisfaisant et même une référence pour les constructeurs pour cataloguer typiquement les modules solaires. Il tient compte non seulement des pertes en tension exprimées par la résistance série R_s , mais aussi des fuites de courants exprimées par une résistance parallèle R_{sh} (Fig. 2.9) [20].

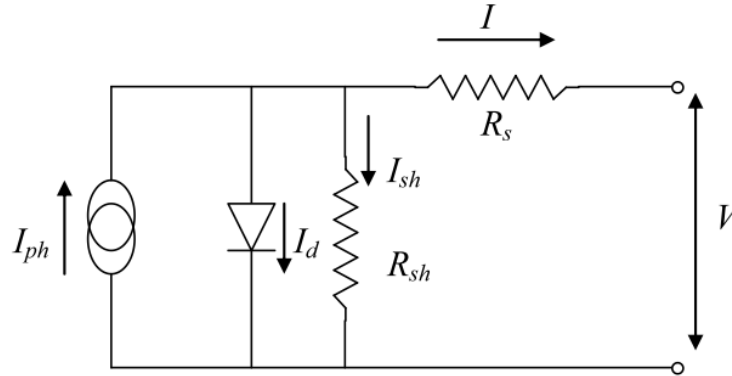


Figure 2.9 Circuit équivalent d'une cellule solaire (modèle à une diode).

a. Cas d'une cellule idéale

C'est le modèle le plus simple pour représenter la cellule solaire, car il ne tient compte que du phénomène de diffusion. Le circuit équivalent simplifié d'une cellule solaire se compose d'une diode et d'une source de courant montés en parallèle. La source de courant produit le photocourant I_{ph} . [20].

La figure(2.10) représente le circuit équivalent d'une cellule PV idéale

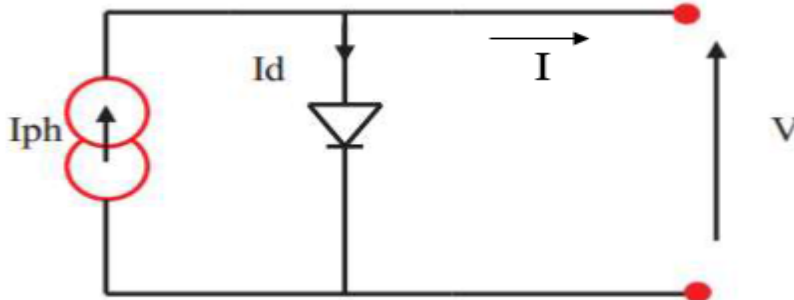


Figure 2.10 Schéma équivalent d'une cellule idéale.

Les équations régissant ce modèle sont :

$$I = I_{ph} - I_d \tag{2.1}$$

Avec :

$$I_d = I_s \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{A \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] \tag{2.2}$$

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(\frac{q \cdot V}{A \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

Où :

I : Courant de sortie (A).

I_d : Courant de diode (A).

I_s : Courant de saturation inverse de la diode (A).

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

V : Tension de sortie (V).

k: Constante de Boltzman ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K).

A : Facteur d'idéalité de la diode.

q : Charge de l'électron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C).

T : Température de la cellule en (K).

b. Modèle à cinq paramètres

La jonction PN soumise à l'éclairement est connectée à une charge résistive, et est schématisée par un générateur de courant en parallèle avec une diode, et délivre un courant I_{ph} . La cellule solaire possède les avantages combinés d'un générateur de courant et d'un générateur de tension. Le circuit équivalent est illustré comme suit :

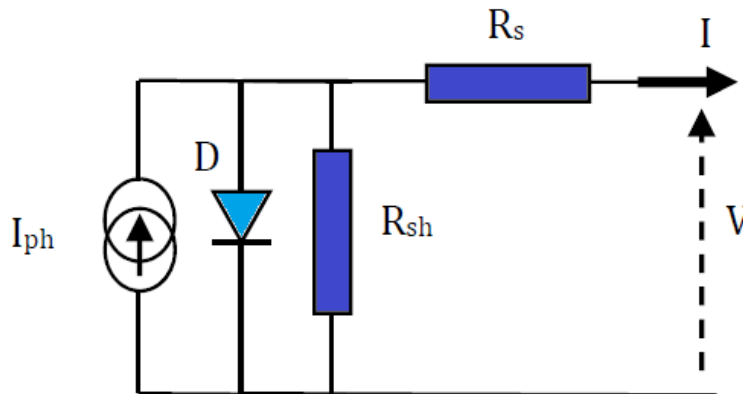


Figure 2.11 Circuit équivalent au modèle à 5 paramètres.

L'équation qui régit ce modèle, est donnée par :

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(q \cdot \frac{V + R_s \cdot I}{A \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (2.4)$$

Les paramètres de ce modèle sont : le photo courant I_{ph} , le courant de saturation I_0 , la Résistance série R_s , la résistance shunt R_{sh} et le facteur d'idéalité de la diode A .

c. Modèle a quatre paramètres

Dans ce modèle, la valeur de la résistance shunt est supposé infinie. Donc les quatre paramètres apparaissant dans l'équation de la caractéristique $I(V)$ sont : I_{ph} , I_0 , R_s et A . Ce modèle est illustré sur la figure suivante :

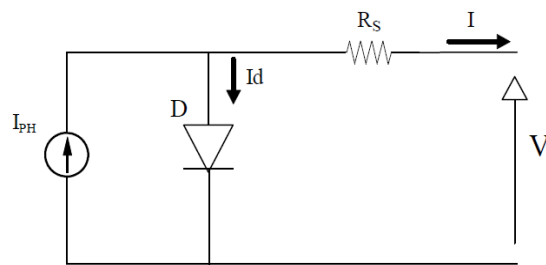


Figure 2.12 Circuit équivalent au modèle à 4 paramètres.

Le courant fournit par la cellule dans ce cas est donné par la formule :

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q(V + R_s \cdot I)}{A \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right] \quad (2.5)$$

Cependant ; ce modèle est peu utilisé car les résultats obtenus en l'utilisant sont moins précis.

d. Cas d'une cellule photovoltaïque réelle

Dans le cas d'une cellule photovoltaïque réelle, d'autres paramètres doivent être pris en considération. Le modèle mathématique du générateur photovoltaïque est basé sur le circuit équivalent qui est représenté sur la figure suivant par un générateur de courant I_{ph} , une diode et deux résistances R_s et R_{sh} . [21].

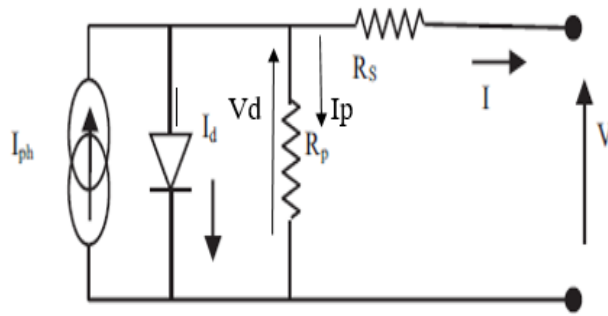


Figure 2.13 Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle.

Lorsque les résistances de contacts et les pertes ohmiques sont prises en compte comme dans le cas réel, nous devons associer au schéma équivalent une résistance série (R_s).

Il y a aussi le courant de fuite qui apparaît à travers la cellule, qui est symbolisé par une résistance parallèle ou shunt (R_{sh}), telle que R_{sh} tende vers l'infini lorsque ces courants de fuite I_p sont négligeables.

La tension V à travers la cellule est réduite à :

$$V = V_d - I \cdot R_s \quad (2.6)$$

Avec :

V_d : Tension aux bornes de la diode (V).

R_s : Résistance série (Ω).

Les équations régissent ce modèle sont :

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (2.7)$$

$$I_d = I_s \left[\exp\left(q \cdot \frac{V_d}{A \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] = I_s \left[\exp\left(q \cdot \frac{V + R_s \cdot I}{A \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] \quad (2.8)$$

Avec:

$$I_p = \frac{V_d}{R_{sh}} = \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (2.9)$$

Donc:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp\left(q \cdot \frac{V + R_s \cdot I}{A \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (2.10)$$

2.3.1.2. Modèle cellule à deux diodes

Ce modèle a en plus une deuxième diode attachée en parallèle à la source de courant. Cette diode est utilisée pour améliorer la précision des caractéristiques de la cellule PV. Ce modèle est représenté par la figure (2.14) :

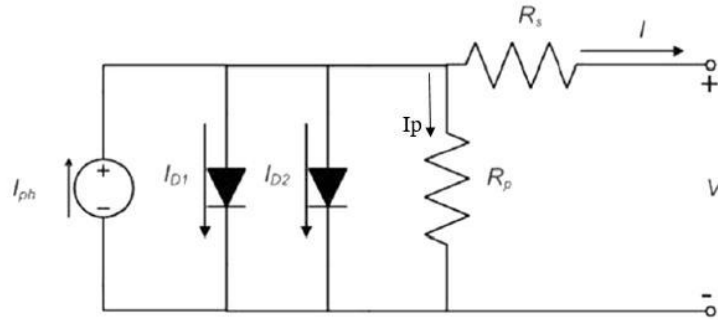


Figure 2.14 Circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle à deux diodes.

L'équation caractéristique de ce modèle est la suivante :

$$I = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_p \quad (2.11)$$

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left[\exp\left(q \frac{V + R_s \cdot I}{K \cdot T \cdot A_1}\right) - 1 \right] - I_{s2} \left[\exp\left(q \frac{V + R_s \cdot I}{K \cdot T \cdot A_2}\right) - 1 \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (2.12)$$

Où:

I_{s1} : Courant de saturation inverse de la diode D1 (A).

I_{s2} : Courant de saturation inverse de la diode D2 (A).

A_1 et A_2 : Facteur de idéalité des diodes D1 et D2.

Dans le modèle à deux diodes on distingue les trois modèles suivants:

a. Modèle à 7 paramètres

Ce modèle est dit le plus proche du comportement réel de la cellule solaire, du fait qu'il tient compte du mécanisme de transport des charges électriques à l'intérieur de la cellule solaire.

L'expression de la caractéristique courant-tension, selon T. Back, F. Hoffmeister, s'écrit

[22]:

$$I = I_{ph} - I_{s1} \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V + R_s \cdot I)}{A_1 \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] - I_{s2} \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V + R_s \cdot I)}{A_2 \cdot K \cdot T}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \right) \quad (2.13)$$

Les deux termes exponentiels représentent, séparément, le courant saturation de diffusion (I_{s1}) et de saturation de génération-recombinaison (I_{s2}). Les paramètres sont R_{sh} , I_{ph} , I_{s1} , I_{s2} , R_s , A_1 et A_2 .

b. Modèle à 6 paramètres

Ce modèle est schématisé dans la figure (2.15) suivante:

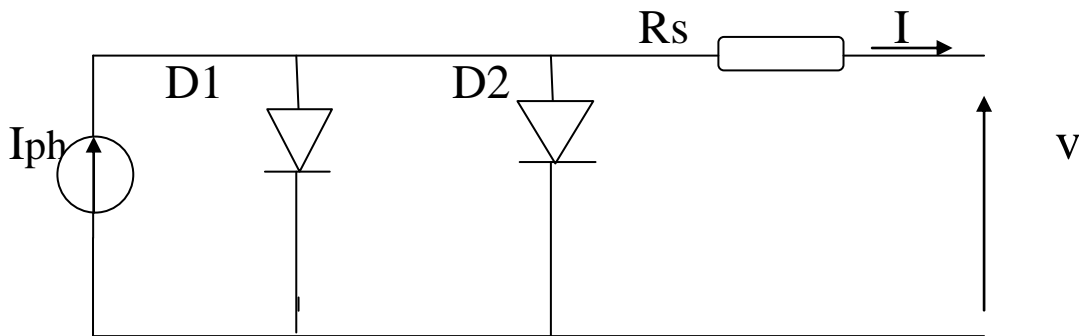


Figure 2.15 Circuit équivalent au modèle à six paramètres.

Dans ce modèle la résistance shunt a été omise ou mise à l'infini ce qui donne un courant de fuite nul. La relation $I(V)$ de ce circuit est donnée par la formule :

$$I = I_{ph} - I_{01} \left[\exp\left(\frac{q(V + R_s \cdot I)}{K \cdot T \cdot A_1}\right) - 1 \right] - I_{02} \left[\exp\left(\frac{q(V + R_s \cdot I)}{K \cdot T \cdot A_2}\right) - 1 \right] \quad (2.14)$$

2.4. Les méthodes de caractérisation

2.4.1. Méthode d'extraction

Plusieurs méthodes ont été développées afin d'extraire les différents paramètres de la cellule photovoltaïque. Nous avons exploité le modèle à Cinq paramètres aussi la méthode d'optimisation verticale (modèle à une seule diode).

➤ Les méthodes à Quatre paramètres :

- * La Méthode explicite simplifiée
- * La Méthode de la pente au point ($V_{OC}, 0$).

➤ Les méthodes à Cinq paramètres :

- * La méthode Newton-Raphson
- * La Nouvelle méthode analytique

2.4.1.1. Méthode d'extraction à 5 paramètres

Dans ces méthodes on prend compte de la résistance parallèle. Alors l'équation caractérisant le modèle à cinq paramètres est la suivante :

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(q \cdot \frac{V + R_s \cdot I}{N_s \cdot A \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (2.15)$$

Les cinq paramètres inconnus dans ce modèle sont :

I_{ph} : le photo- courant [A]

I_s : le courant de saturation [A]

A : le facteur d'idéalité,

R_s : la résistance série [Ω].

R_{sh} : la résistance parallèle [Ω].

a. La méthode Newton-Raphson

La méthode itérative de Newton-Raphson est exploitée parce qu'elle converge rapidement, particulièrement si l'itération commence suffisamment près de la racine désirée. [23].

L'équation (2.15) en soit ne laissent pas dessiner la courbe (I-V), la dépendance de la température du photo-courant, la connaissance de la résistance série, la résistance parallèle, le facteur d'idéalité, et du courant de saturation est obligatoire pour accomplir le modèle [23].

Avec :

$$I_{ph}(T) = I_{ph}(T_{ref}) + \alpha (T - T_{ref}) \quad (2.16)$$

$$I_{ph}(T_{ref}) = I_{sc}(T_{ref}) \frac{G}{G_{ref}} \quad (2.17)$$

b. Nouvelle méthode analytique

Cette nouvelle méthode analytique calcule facilement les paramètres du circuit équivalent en se basant sur des données que les fabricants fournissent habituellement. L'approximation analytique est basée sur une nouvelle méthodologie, puisque les méthodes développées jusqu'ici pour obtenir les paramètres mentionnés sur la (fig. 2.9) du circuit équivalent, et les données du fabricant ont toujours été numériques ou heuristiques. Les résultats de la méthode

actuelle sont aussi précis que ceux qui résultent d'autres méthodes existantes (numériques) plus complexes en termes de processus et ressources de calcul. [24].

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{(V + R_s \cdot I)}{N_s \cdot A \cdot V_T} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (2.18)$$

2.4.1.2. Méthodes d'extraction à quatre paramètres

On néglige l'effet de la résistance parallèle car sa valeur est importante.

Alors l'équation caractérisant le modèle à quatre paramètres est la suivante : [25] [26].

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(q \frac{(V + R_s \cdot I)}{N_s \cdot A \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right] \quad (2.19)$$

K : la constante du Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K)

q : la charge d'électron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C)

Les quatre paramètres inconnus dans ce modèle sont :

I_{ph} : le photo- courant [A]

I_s : le courant de saturation [A]

A : le facteur d'idéalité.

R_s : la résistance série [Ω]

a. Méthode explicite simplifiée

Pour calculer les paramètres du panneau, quelques simplifications ont été faites sur l'équation (2.20). Car le courant de saturation dans des dispositifs de silicium (comparés à la limite exponentielle) est très petit, le terme '- 1' peut être négligé [27]. Une autre simplification, qui a été faite afin d'obtenir des équations relativement simples et traitables rapproche le photocourant produit I_{ph} avec ($I_{ph} \approx I_{cc}$). Il est dans des habitudes courantes d'ignorer la différence entre le photocourant produit et le courant de court-circuit, car elle est généralement négligeable [27].

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(q \cdot \frac{(V + R_s \cdot I)}{A \cdot K \cdot T} - 1 \right) \right] - \frac{V}{R_{sh}} \quad (2.20)$$

Donc:

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(q \cdot \frac{V + R_s \cdot I}{N_s \cdot A \cdot K \cdot T} \right) \right] \quad (2.21)$$

b. Méthode de la pente au point ($V_{co}, 0$)

La différence apportée par cette méthode par rapport la méthode précédente est principalement dans la manière de calcul de la résistance série R_s [27]. Elle est basée sur le fait que la résistance série influe remarquablement sur la pente de la courbe caractéristique (I-V) au voisinage du point ($V_{co}, 0$). Donc afin de calculer R_s .

$$\frac{dI}{dV} = -I_s \left[\exp \left(q \cdot \frac{V + R_s \cdot I}{N_s \cdot A \cdot K \cdot T} \right) - 1 \right] \frac{q}{N_s \cdot A \cdot K \cdot T} \left(1 + R_s \cdot \frac{dI}{dV} \right) \quad (2.22)$$

2.5. Corrections à d'autres conditions de température et d'éclairement

Les constructeurs de modules photovoltaïques fournissent les caractéristiques mesurées sous les conditions de test standards (STC) qui sont : Eclairement de 1000 W/m², température de cellule : 25°C et une masse d'aire AM1.5. Dans le cas où la mesure de la caractéristique I-V est faite sur site sous les conditions atmosphériques réelles, on est amené à utiliser des méthodes d'extrapolations vers d'autres conditions telles que les conditions STC afin de comparer les performances du module PV à celles données par le constructeur dans sa fiche technique. Aussi, une correction des valeurs des paramètres des modèles extraits pour une certaine valeur d'éclairement et de température vers les conditions STC, permet de compléter cette fiche technique par les autres paramètres que les constructeurs ne donnent généralement pas, tel que la résistance série, la résistance shunt, le facteur d'idéalité ou le courant de saturation.

2.5.1. Méthode du facteur de forme constant (FF cst)

En suivant les étapes comme suit :

1. Détermination des paramètres des cellules en condition de mesure .

$$I_{sc} = \frac{I_{sc,Mod}}{N_{cp}} \quad (2.23)$$

$$V_{oc} = \frac{V_{oc,Mod}}{N_{cs}} \quad (2.24)$$

$$P_{Max} = \frac{P_{Max,Mod}}{N_{cp} * N_{cs}} \quad (2.25)$$

2. Détermination du FF de la cellule en condition de mesure .

$$FF = \frac{P_{Max}}{I_{sc} * V_{oc}} \quad (2.26)$$

3. Détermination des paramètres caractéristiques des cellules en STC.

$$I_{sc}^* = I_{sc,mes} * \frac{G^*}{G} \quad (2.27)$$

Avec $G^* = 1000 \text{ W/m}^2$

$$V_{oc,1} = [V_{oc} + 0,0023(T_c - 25)] \quad (2.28)$$

$$V_{oc}^* = V_{oc,1} * N_{cs} \quad (2.29)$$

4. Détermination de la puissance maximum de la cellule en STC.

On considère que le $FF^* = FF$ (cst).

$$P_{Max}^* = FF^* * V_{oc}^* * I_{sc} \quad (2.30)$$

5. Détermination de la puissance maximum du module PV en STC.

$$P_{Mod}^* = P_{Max}^* * N_{cp} * N_{cs} \quad (2.31)$$

2.5.2. Translation des paramètres des modèles implicites

Nous présenteront ici les expressions utilisées pour la correction des paramètres des modèles à une diode et à deux diodes extraits d'une courbe mesurée sous certaines conditions atmosphériques vers d'autres conditions telles que les conditions STC. Pour le photo-courant, le courant de saturation et la résistance shunt, les expressions sont [39].

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} * \frac{M}{M_{ref}} [I_{ph_{ref}} + \alpha_{ISC} (T_c - T_{cref})] \quad (2.32)$$

Avec $\frac{M}{M_{Ref}} \cong 1$.

$$I_0 = I_{0ref} \left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 * \exp \left[\frac{qE_g}{mk} \left(\frac{1}{T_{cref}} - \frac{1}{T_c} \right) \right] \quad (2.33)$$

Avec aussi $\left(\frac{T_c}{T_{cref}} \right)^3 \cong 1$.

$$\frac{R_{sh}}{R_{shref}} = \frac{G_{ref}}{G} \quad (2.34)$$

On peut considérer la résistance shunt comme fonction linéaire de l'éclairement pour les grandes valeurs de ce dernier (>500 W/m² dans cet exemple).

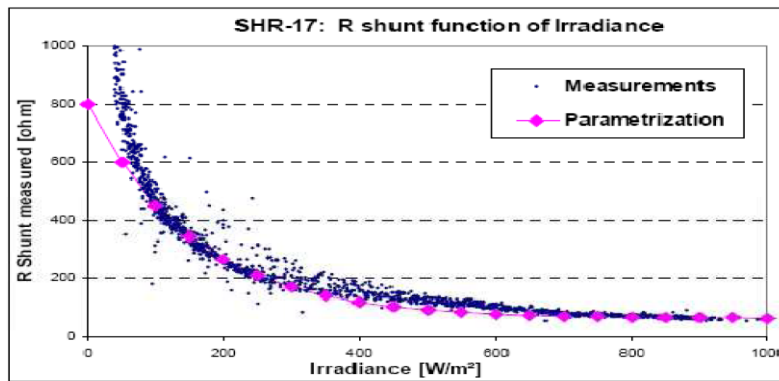


Figure 2.16 Variation de la résistance shunt en fonction de l'éclairement.

Il nous reste deux paramètres à traduire : la résistance série R_s et le facteur d'idéalité A. Considérant que la variation de la résistance série en fonction de la température n'est pas significative pour induire une erreur importante sur le point de puissance maximale, on admet qu'elle reste constante, soit $R_s = R_{sRef}$. On considère aussi que le facteur d'idéalité A reste constant [39]

2.6. Méthode utilisée

Nous avons exploité dans notre travail le modèle de la cellule à une diode régissant par l'équation 2.4 qui est un modèle d'une cellule réelle représentée par cinq paramètres. Cette méthode consiste à construire un système d'équations non linéaires et procéder par la suite à le résoudre.

En appliquant l'équation 2-4 en cinq points bien choisis sur La courbe I-V mesurée pour un éclairage et une température donnés, on obtiendra un Système de cinq équations non linéaires à cinq inconnues qui représentent les cinq paramètres qu'on peut déterminer par la résolution numérique du système. Ces cinq points doivent être : le point de court-circuit $(0, I_{sc})$, le point de circuit ouvert $(V_{oc}, 0)$, le point de puissance maximale (V_{mp}, I_{mp}) et deux autres points (V_x, I_x) et (V_{xx}, I_{xx}) comme le montre la figure 2.17. V_x n'est aux environs de $\frac{1}{2} V_{oc}$ et V_{xx} aux environs de $\frac{1}{2} (V_{oc} + V_{mp})$ [40].

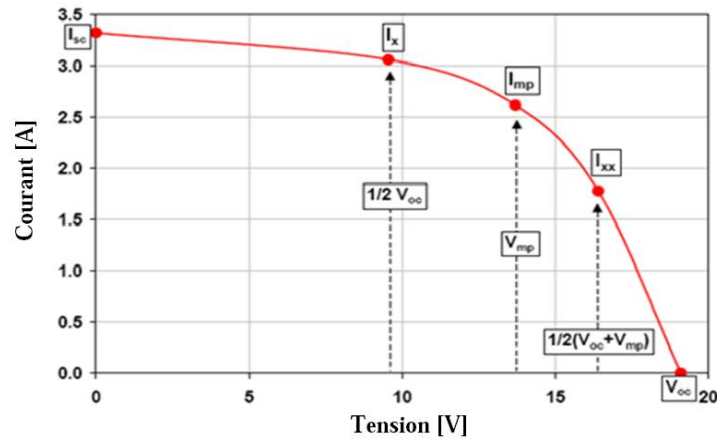


Figure 2.17 Les cinq points sur la courbe I-V utilisés pour calculer les paramètres du module PV par la méthode itérative à cinq points.

Donc, en réécrivant l'équation 2.4 sous la forme $F(I, V)=0$, aux cinq points considérés, les cinq équations du système sont les suivantes :

$$I_{sc} - I_{ph} + I_0 * \exp \left[\left(\frac{q * I_{sc} * R_s}{A * N_s * k * T} \right) - 1 \right] + \frac{I_{sc} * R_s}{R_{sh}} = 0 \quad (2.35)$$

$$I_{ph} - I_0 * \exp \left[\left(\frac{V_{oc}}{A * N_s * K * T} \right) - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} = 0 \quad (2.36)$$

$$I_{mp} - I_{ph} + I_0 * \exp \left[\left(\frac{q * (V_{mp} + I_{mp} * R_s)}{A * N_s * k * T} \right) - 1 \right] + \frac{(V_{mp} + I_{mp} * R_s)}{R_{sh}} = 0 \quad (2.37)$$

$$I_x - I_{ph} + I_0 * \exp \left[\left(\frac{q * (V_x + I_x + R_S)}{A * N_s * K * T} \right) - 1 \right] + \frac{(V_{xx} + I_{xx} * R_S)}{R_{sh}} = 0 \quad (2.38)$$

$$I_{xx} - I_{ph} + I_0 * \exp \left[\left(\frac{q * (V_{xx} + I_{xx} + R_S)}{A * N_s * K * T} \right) - 1 \right] + \frac{(V_{xx} + I_{xx} * R_S)}{R_{sh}} = 0 \quad (2.39)$$

Les équations allant de (2.35) à (2.39) constituent donc un système non linéaire qu'on peut résoudre avec des méthodes itératives connues telle que celle de Newton-Raphson ou la méthode des approximations successives [41].

Sauf que dans notre cas et comme nous avons travaillé avec le fameux LABVIEW, nous avons constatés qu'il existe un VI inclus dans sa bibliothèque nommé : **nD System Solver** et qui sert à résoudre n systèmes d'équations non linéaires a n variables.

Ce VI peut optimiser la fonction $f(I_{ph}, I_0, A, R_s, R_{sh}) = 0$ avec une erreur qui peut atteindre $1E^{-8}$.

Cette méthode sera montrée en diagramme bloc et expliquée dans le chapitre 03.

2.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté des méthodes pour l'extraction des paramètres de ces modèles à partir d'une courbe I-V sous éclairément et présenté des méthodes les plus utilisées dans la caractérisation des modules PV. Ensuite, nous avons présenté des méthodes pour la translation de la courbe I-V et des paramètres des modèles vers d'autres conditions d'éclairément et de température.

Nous avons aussi donné un aperçu sur la méthode utilisée. Nous avons également décrit les méthodes appliquées pour l'extraction des paramètres photovoltaïques des cellules solaires qui nous ont semblé les plus importantes et les plus utilisées.

CHAPITRE 03

INTERFACE DE

CARACTERISATION ET

D'EXTRACTION DES

PARAMETRES DU GPV

3.1. Introduction

Nous présentons dans ce chapitre une interface que nous avons développée sous Labview pour le traitement, l'analyse et l'extraction de paramètres physiques d'un GPV. Les paramètres extraits sont issues de la caractéristique I-V directe mesurée dans des conditions climatiques bien spécifiées.

Nous avons utilisés Labview pour la raison de sa simplicité, son mode graphique de programmation. Aussi, étant donné que l'objectif est de contribuer à la mise au point d'un banc de caractérisation pour GPV, Labview se caractérise par sa compatibilité a interagir avec plusieurs de types de cartes électroniques afin d'effectuer un passage depuis les phénomènes physiques a un ensemble de données exploitables dans les deux sens (acquisition ou commande).

Labview est un logiciel graphique développé par National Instrument. Il contient une interface utilisateur interactive appelée « face avant » dans laquelle on introduit les données et on affiche les résultats. L'architecture du programme est contenue dans une autre fenêtre qu'on appelle diagramme. Un programme Labview est appelé instrument virtuel (VI) [42] [43].

Ce qui suit ; l'illustration de la structure de l'interface développée ainsi que ses différentes étapes.

3.2. Schéma Bloc de la structure générale de l'interface

Nous avons vu, précédemment, les paramètres électriques et les différents modèles mathématiques décrivant le fonctionnement d'un GPV. Les modèles implicites nécessitent des paramètres qui ne sont généralement pas donnés par les constructeurs de modules PV. Pour cela, des techniques d'extraction à partir de courbes I-V expérimentales ont été présentées ainsi que les méthodes de translation vers d'autres conditions de température et d'éclairement. L'interface que nous avons développée soit un moyen de calcul et de présentation de résultats fiable. Elle est conçue de manière interactive qui ne nécessite aucune connaissance du logiciel Labview par l'utilisateur.

A partir de cette interface, on peut avoir toutes les informations indispensables à l'exploitation d'un GPV sous forme graphique et numérique.

La méthode implémentée pour le calcul des paramètres des modèles à une diode se résulte par l'utilisation du VI dit ; nD System Solver.

Pour l'estimation des valeurs initiales des paramètres du modèle, nous avons utilisé des intervalles de début et fin dont la solution peut se situer dedans, il s'agit d'un des bienfaits du VI cité précédemment car ce composant se charge fixé la valeur initiale.

Trois autres sous programmes ont été réalisés : le sous programme qui construit le système des cinq équations utilisé pour calculer les paramètres du modèle, celui qui s'en charge de la translation aux conditions STC et celui qui reproduit la caractéristique I-V depuis le modèle calculé. La structure générale du programme suit schéma bloc de la figure (3.1).

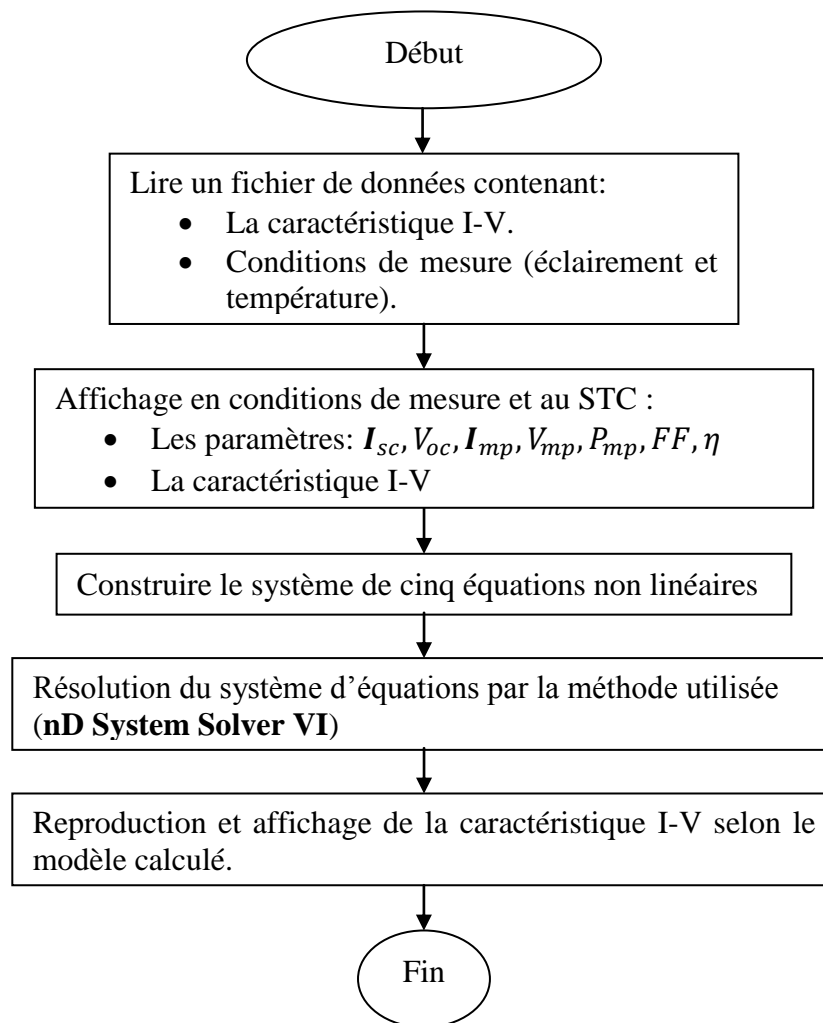


Figure 3.1 Schéma bloc de la structure générale de l'interface.

L'interface utilisateur finale (face avant) est montrée dans figure 3.2 :

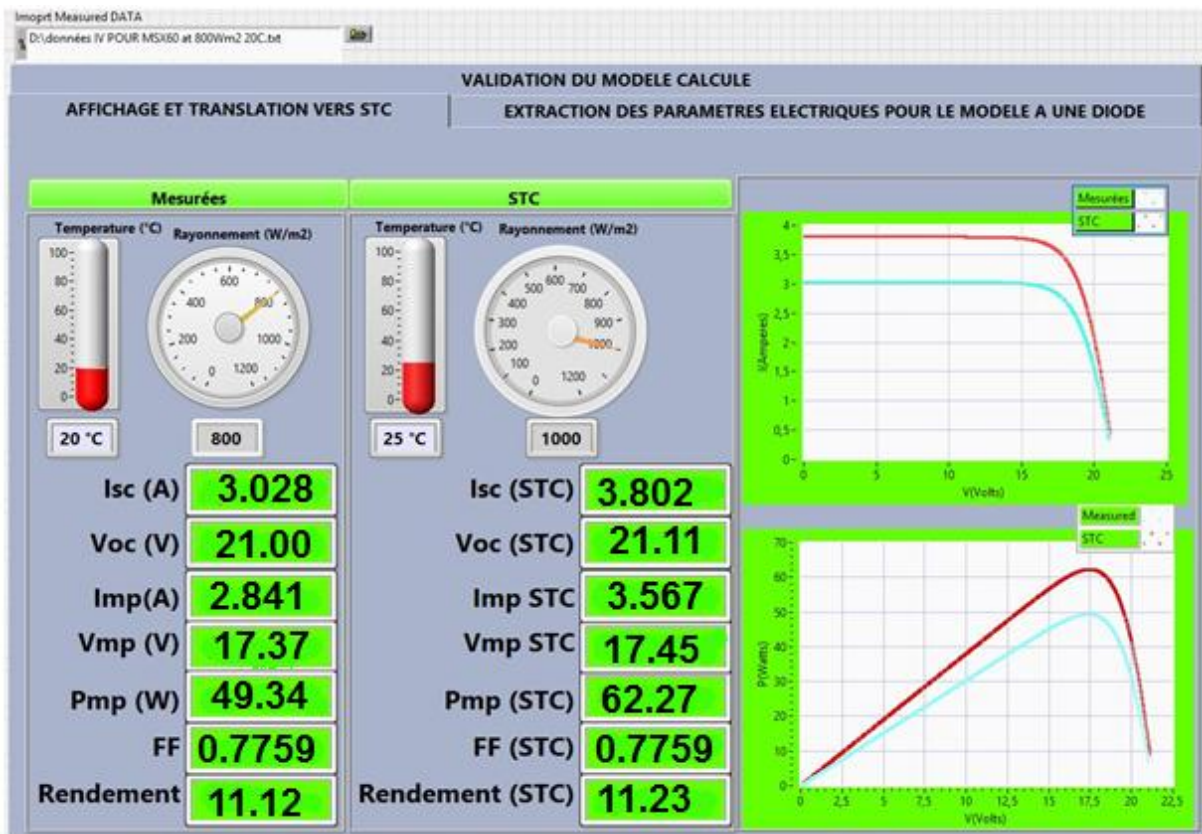


Figure 3.2 Interface utilisateur (Face avant).

Cette interface comporte trois onglets de type Tab Control :

- Un Tab Control pour l'affichage des données lus et translattées nommé '**AFFICHAGE ET TRANSLATION VERS STC**'
- Un Tab Control pour l'extraction des paramètres explicites du modèle a une diode nommé '**EXTRACTION DES PARAMETRES ELECTRIQUES POUR LE MODELE A UNE DIODE**'
- Un Tab Control pour la validation du modèle calculé nommé '**VALIDATION DU MODELE CALCULE**'

3.3. Description des différents blocs du programme

3.3.1. Lecture et stockage des données

Les données à traiter sont stockées dans un fichier de type tableur (Excel par exemple). Afin de pouvoir les exploiter, nous avons commencé par lire ce fichier comme montrées dans la figure 3.3, la figure 3.4.

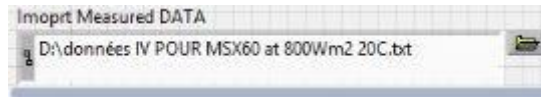


Figure 3.3 Importation du fichier (Face avant).

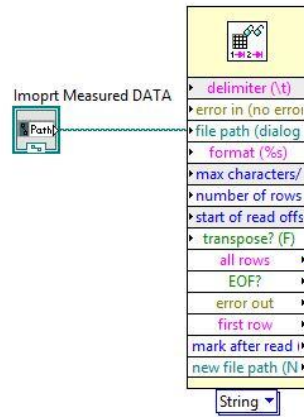


Figure 3.4 Diagramme bloc Importation et lecture du fichier.

Le fichier de la caractéristique I-V directe comporte l'ensemble des points du courant et de la tension mesurés du GPV à étudier, ainsi que les valeurs des paramètres climatiques qui sont la température de cellule et l'éclairement. Nous avons stocké ces points dans quatre vecteurs afin de pouvoir les indexer comme montrées dans la figure 3.5.

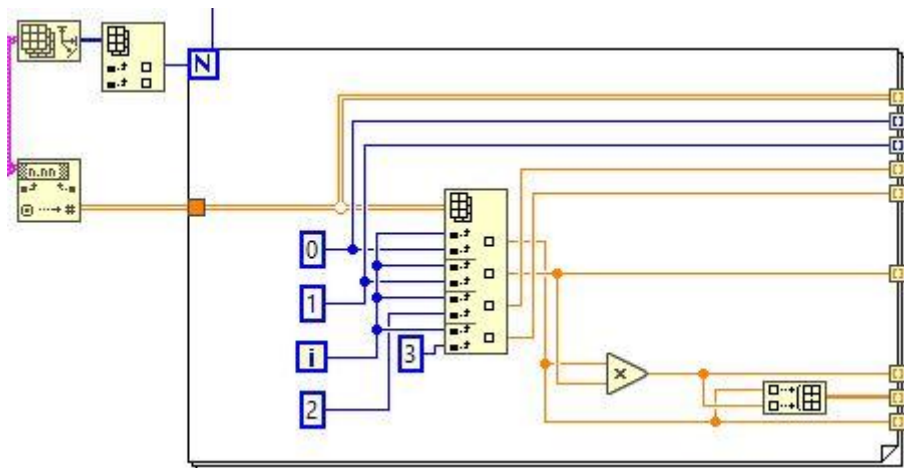


Figure 3.5 Diagramme bloc stockage des données.

Les spécifications technologiques du module PV (nombre de cellules en série, nombre de branches parallèles et surface active du module) sont introduites directement.

3.3.2. Traitement des données

Le traitement des données consiste en :

- Détermination des paramètres explicite $I_{sc}, V_{oc}, I_{mp}, V_{mp}, P_{mp}, FF, \eta$ et affichage de la caractéristique I-V aux conditions de mesure.
- La translation aux conditions STC de la caractéristique I-V y compris les paramètres explicites.
- Affichage des courbes I-V et P-V sur la face avant avec les valeurs de l'éclairement et de la température aux conditions de mesure et aux STC.

3.3.2.1 Détermination des paramètres explicite $I_{sc}, V_{oc}, I_{mp}, V_{mp}, P_{mp}, FF, \eta$ aux conditions de mesure

Comme nous avons déjà stocké les données dans des vecteurs, nous avons utilisé un VI qui peut extraire le maximum et le minimum d'un vecteur donné comme montrée dans figure 3.6

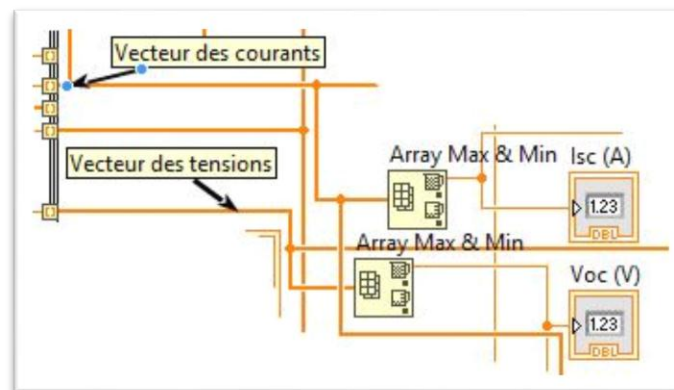


Figure 3.6 Diagramme bloc Extrapolation de I_{sc} et V_{oc} .

Pour I_{mp} , V_{mp} et P_{mp} nous avons procédé comme suit :

- Construire un vecteur P.
- Extraire le maximum et par la suite avoir le P_{mp} et son indexe.
- Indexer les vecteurs des courants et tensions pour avoir I_{mp} et V_{mp} .

La figure 3.7 montre le calcul de I_{mp} , V_{mp} et P_{mp}

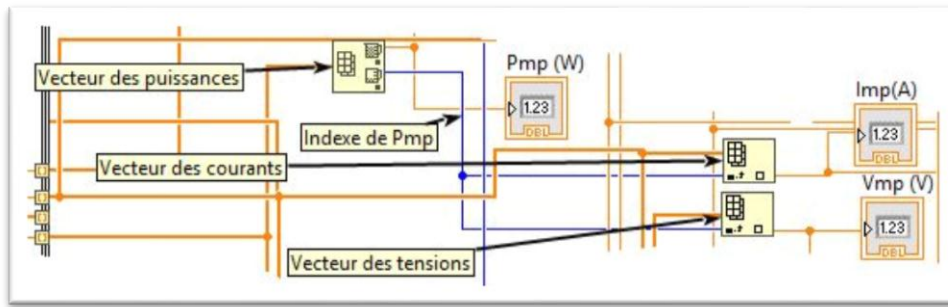


Figure 3.7 Diagramme bloc Calcul de Imp, Vmp et Pmp.

Le facteur de forme ainsi que le rendement son calculés par le diagramme montré dans la figure 3.8.

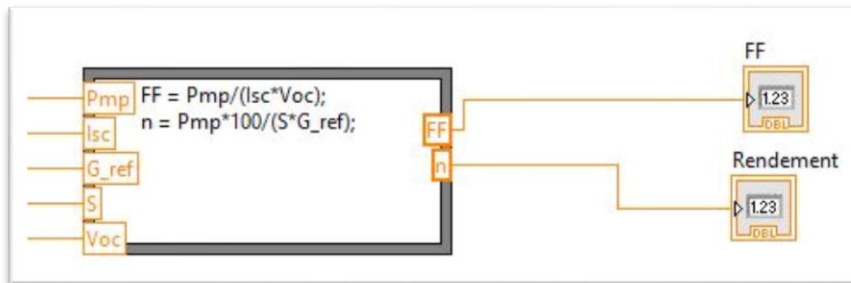


Figure 3.8 Diagramme bloc Calcul de FF et η .

La translation des paramètres calculés vers les conditions standards suit l'organigramme montré dans la figure 3.9

3.3.2.2 Translation des paramètres explicite I_{sc} , V_{oc} , I_{mp} , V_{mp} , P_{mp} , FF, η aux conditions de standard STC

La translation vers les conditions standards comme montrées dans la figure 3.9.

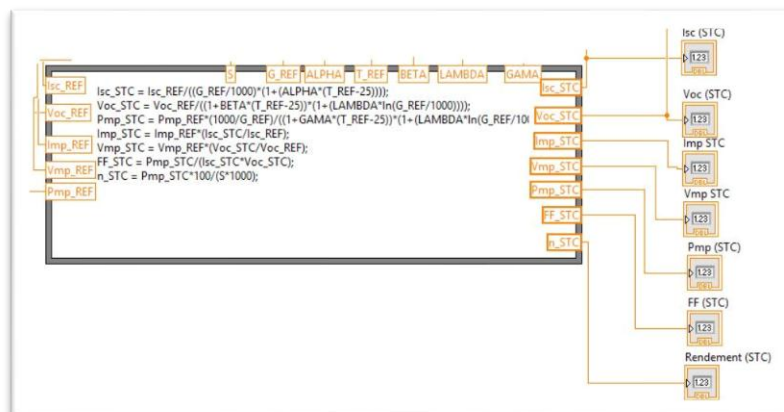


Figure 3.9 Diagramme bloc Translation aux STC.

3.3.2.3 Translation de la caractéristique I-V aux conditions de standard STC

La translation des paramètres I_{SC} , V_{OC} aux conditions standards nous a permis de faire translater par la suite toute la caractéristique I-V selon le diagramme bloc montré dans la figure 3.10.

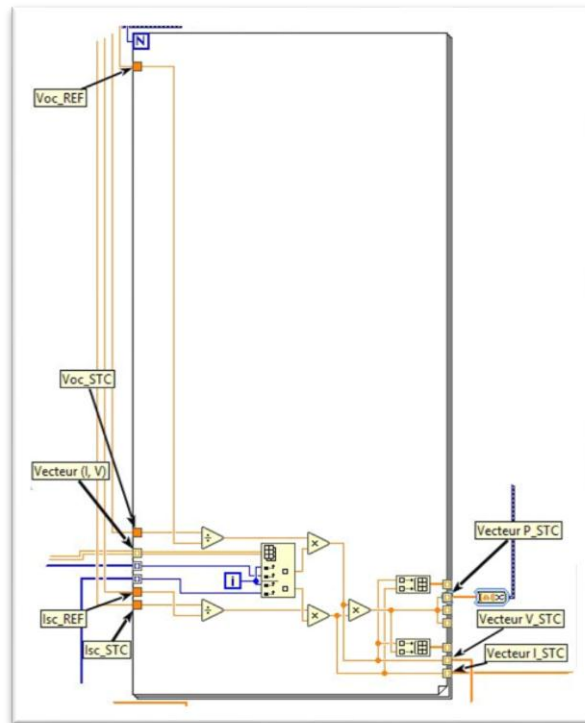


Figure 3.10 Diagramme bloc Translation de la caractéristique I-V aux STC.

3.3.2.4 Affichage des résultats de traitement

Nous avons présentés les résultats de traitement dans la face avant de l'interface sous forme numérique ainsi que la caractéristique I-V sous forme graphique comme montré dans la figure 3.2.

3.3.3 Calcul des paramètres implicites I_{ph} , I_0 , A , R_s , R_{sh} du modèle à une diode

Cette partie du programme commence par la construction du système d'équations non linéaire par extrapolation des cinq points et l'application des équations 2.35 à 2.39 citées dans le chapitre 02. Cette première partie est montrée dans la figure 3.11.

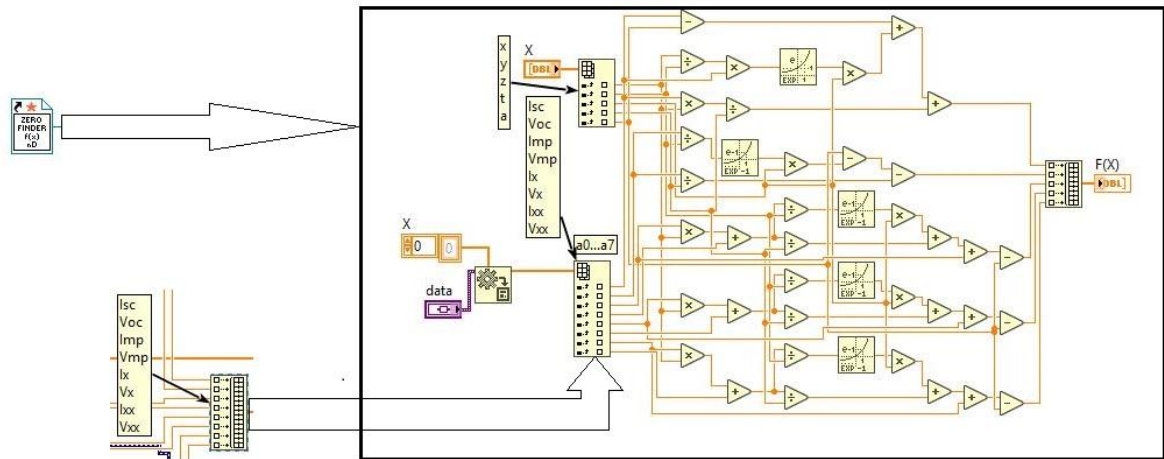


Figure 3.11 Construction du système d'équations non linéaires.

Pour résoudre ce système nous avons fait appel à un VI faisant objet d'un outil de résolution des systèmes de n équations non linéaires à n variables. Partant du principe que les valeurs à extraire sont positives et comme ce système propose plusieurs solutions, alors nous l'avons conditionnés de telle façon à éviter les valeurs négatives et avoir la solution optimale comme montrée dans la figure 3.12.

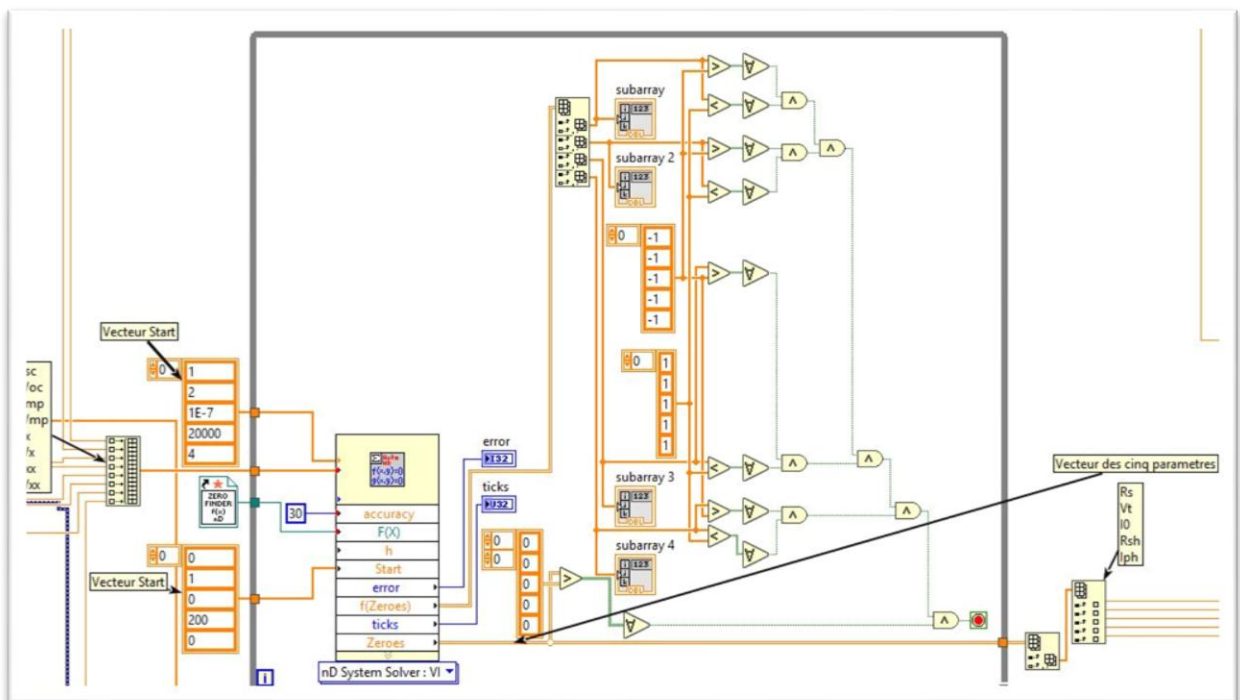


Figure 3.12 Résolution du système d'équations non linéaires.

3.3.4. Translation des paramètres implicite I_{ph} , I_0 , A , R_s , R_{sh} aux conditions de standard STC

Le diagramme bloc montrée dans la figure 3.13 est conçu pour calculer les valeurs de I_{ph} , I_0 , A , R_s , R_{sh} aux conditions standards.

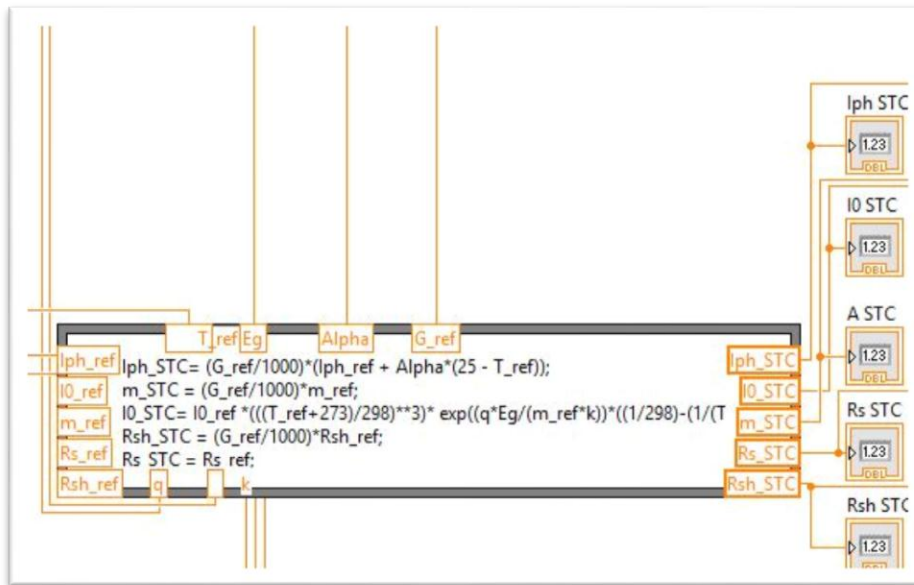


Figure 3.13 Translation des paramètres implicites aux STC.

Les résultats de l'extraction son illustrés sur l'interface sous le Control Tab nommé : 'EXTRACTION DES PARAMETRES ELECTRIQUES POUR LE MODELE A UNE DIODE' comme montrée dans la figure 3.14.

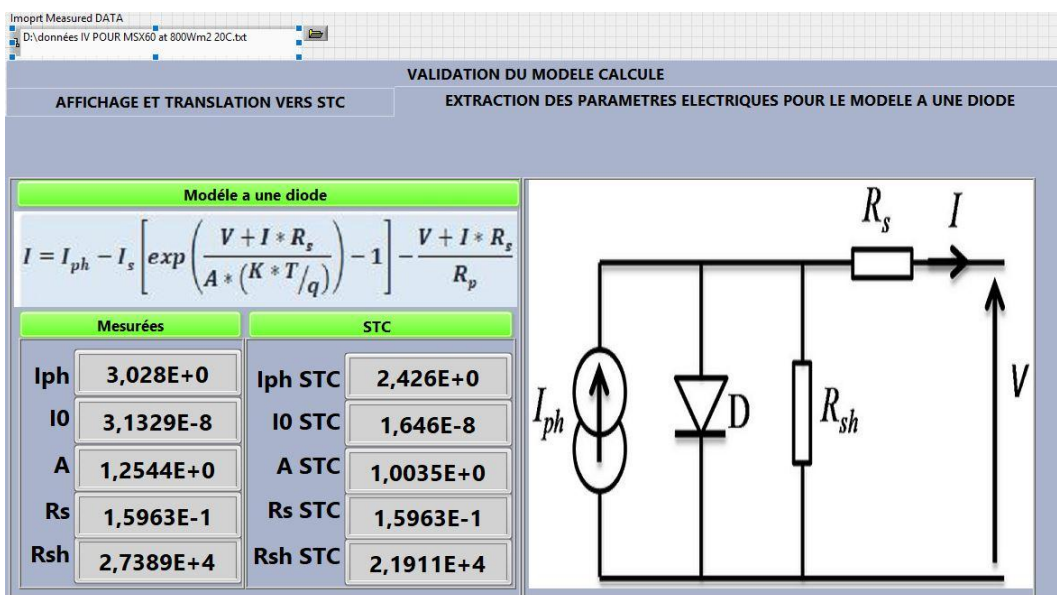


Figure 3.14 Extraction des paramètres implicites (Face avant).

3.4. Reproduction de la caractéristique I-V selon le modèle calculé

Le dernier Tab Control que nous avons conçu consiste à reproduire la caractéristique I-V selon le modèle calculé en utilisant les paramètres implicites issues de la partie extraction. La figure 3.15 montre le diagramme bloc de la reproduction.

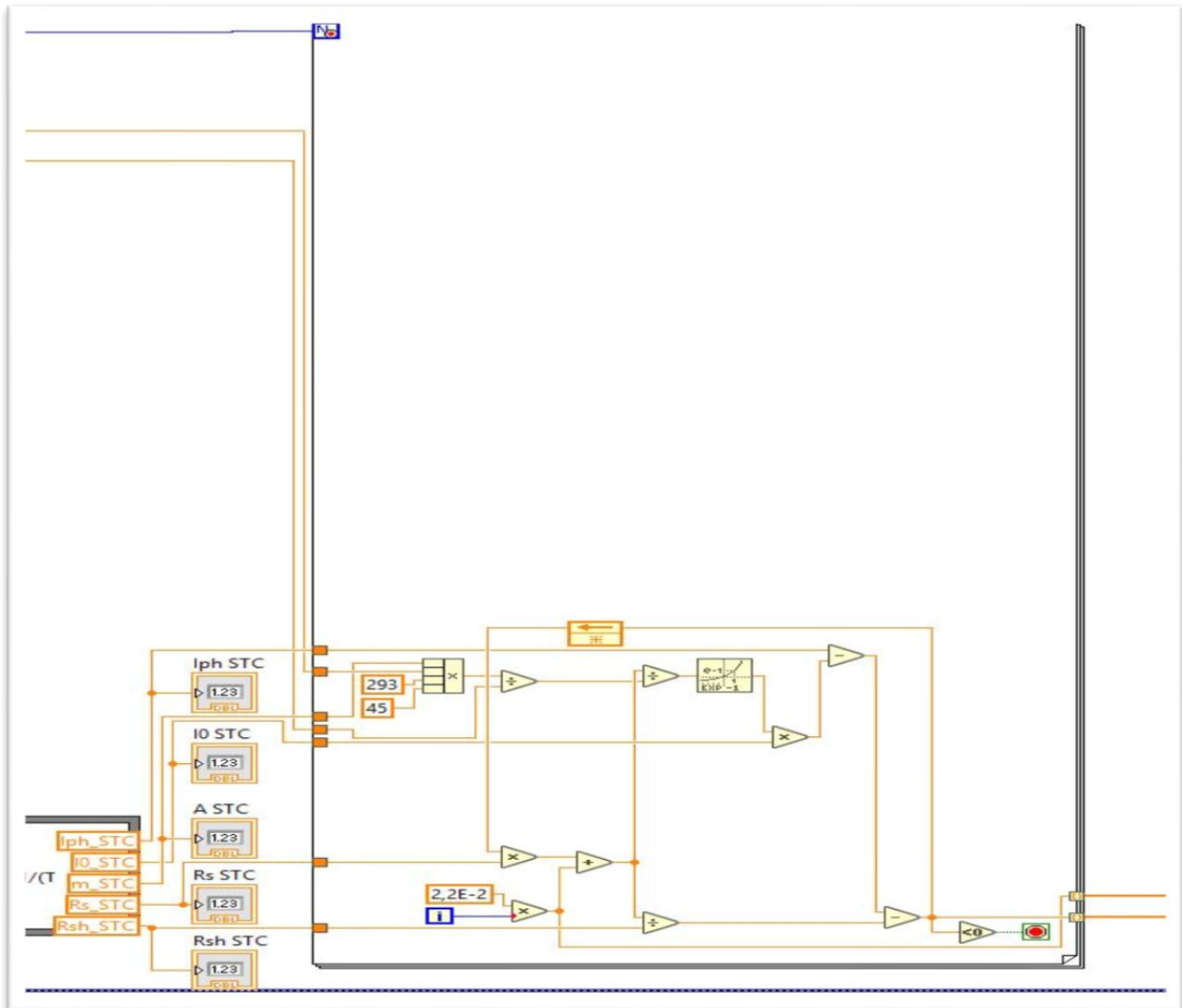


Figure 3.15 Diagramme bloc de la reproduction de la caractéristique I-V.

La face avant de cette partie comporte un affichage de la caractéristique I-V pour les valeurs mesurées en superposition avec celle reproduit depuis le modèle calculé en représentant l'erreur point par point entre les deux.

La figure 3.16 montre la face avant de la validation.

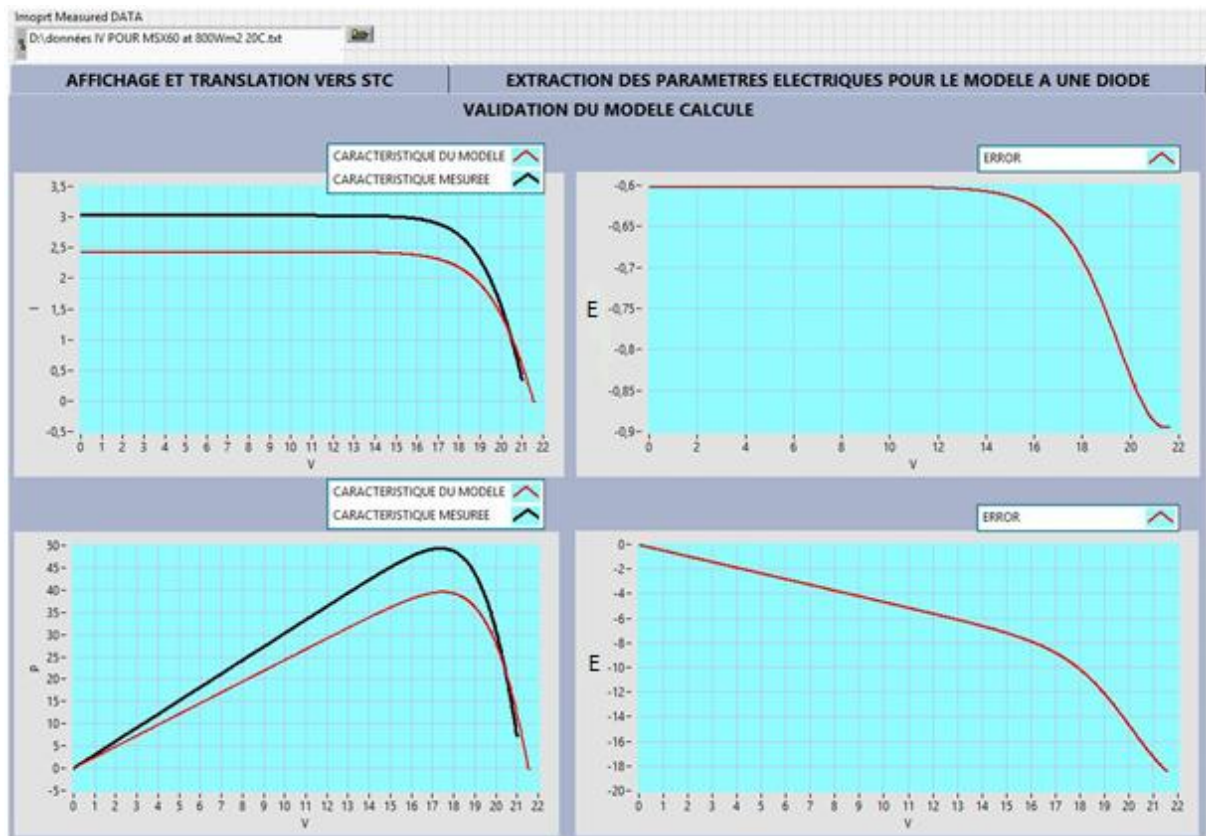


Figure 3.16 Reproduction de la caractéristique I-V et comparaison avec celle mesurée.

La reproduction de la caractéristique I-V est effectuée en respectant les mêmes valeurs des conditions climatiques de celle mesurées afin que ce soit la comparaison voir le calcul de l'erreur plus au moins crédibles.

3.5. Conclusion

Nous avons présentés dans cette partie, l'interface de traitement, d'analyse et d'extraction des divers paramètres issus des caractéristiques I-V d'un dispositif photovoltaïque développé sous langage graphique G « labview », du modèle à une diode aux conditions de mesure et aux conditions STC.

Les résultats sont représentés d'une manière graphique sous forme de courbes I-V et P-V aux conditions de mesures ainsi qu'aux conditions standards.

CHAPITRE 04

TEST ET RESULTATS

4.1. Introduction

Afin de valider les résultats obtenus par l'interface développée et expliquée dans le chapitre précédent, nous avons effectué un test sur le module MSX-60 qui est un module du fabricant BP-SOLAR et qui est composé de 36 cellules poly cristallines de Silicium avec les caractéristiques électriques montrées dans le tableau ci-dessous.

Maximum power Pmp	60 W
Voltage at Pmp	17,1 V
Current at Pmp	3,5 A
Short-circuit current Isc	3,8 A
Open-circuit voltage Voc	21,1 V

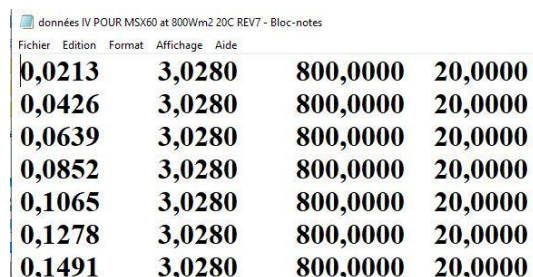
Tableau 1 Caractéristiques électriques du module MSX-60.

L'interface nous donnera la possibilité d'effectuer le traitement, d'analyse et d'extraction afin d'obtenir tous les paramètres nécessaires pour établir un modèle mathématique du module selon le modèle à une diode.

- Dans une première étape, nous commençons par lire les données mesurées - courants et tensions.
- Puis, dans une deuxième étape nous calculons les paramètres du modèle à une diode aux conditions de mesure et aux conditions STC avec l'affichage des courbes I-V et P-V.

4.2. Fichier de données à traiter

Le fichier que nous avons utilisé contient des données relatives à la caractéristique I-V mesurées dans des conditions climatiques bien définies. Un aperçu de ce fichier est montré dans la figure 4.1.



Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
0,0213	3,0280	800,0000	20,0000	
0,0426	3,0280	800,0000	20,0000	
0,0639	3,0280	800,0000	20,0000	
0,0852	3,0280	800,0000	20,0000	
0,1065	3,0280	800,0000	20,0000	
0,1278	3,0280	800,0000	20,0000	
0,1491	3,0280	800,0000	20,0000	

Figure 4.1 Exemple de fichier de données exploitées.

4.3. Résultats de lecture, translation et affichage des données

Comme nous avons cité auparavant, les résultats à afficher suite a lecture du fichier de données seront représentés sous forme numérique pour le cas des paramètres électriques tel que I_{sc} , V_{oc} , I_{mp} , V_{mp} , P_{mp} , FF et η .

Pour ce qui de la caractéristique I-V P-V, l'affichage sera sous forme d'un graphe contenant les deux cas il s'agit de la caractéristique dans les conditions mesurées et celles dans les conditions standards suite a l'opération de translation. Les figures 4.2 et 4.3 montrent respectivement les resultats obtenues sur l'interface sous la forme numérique et graphique.

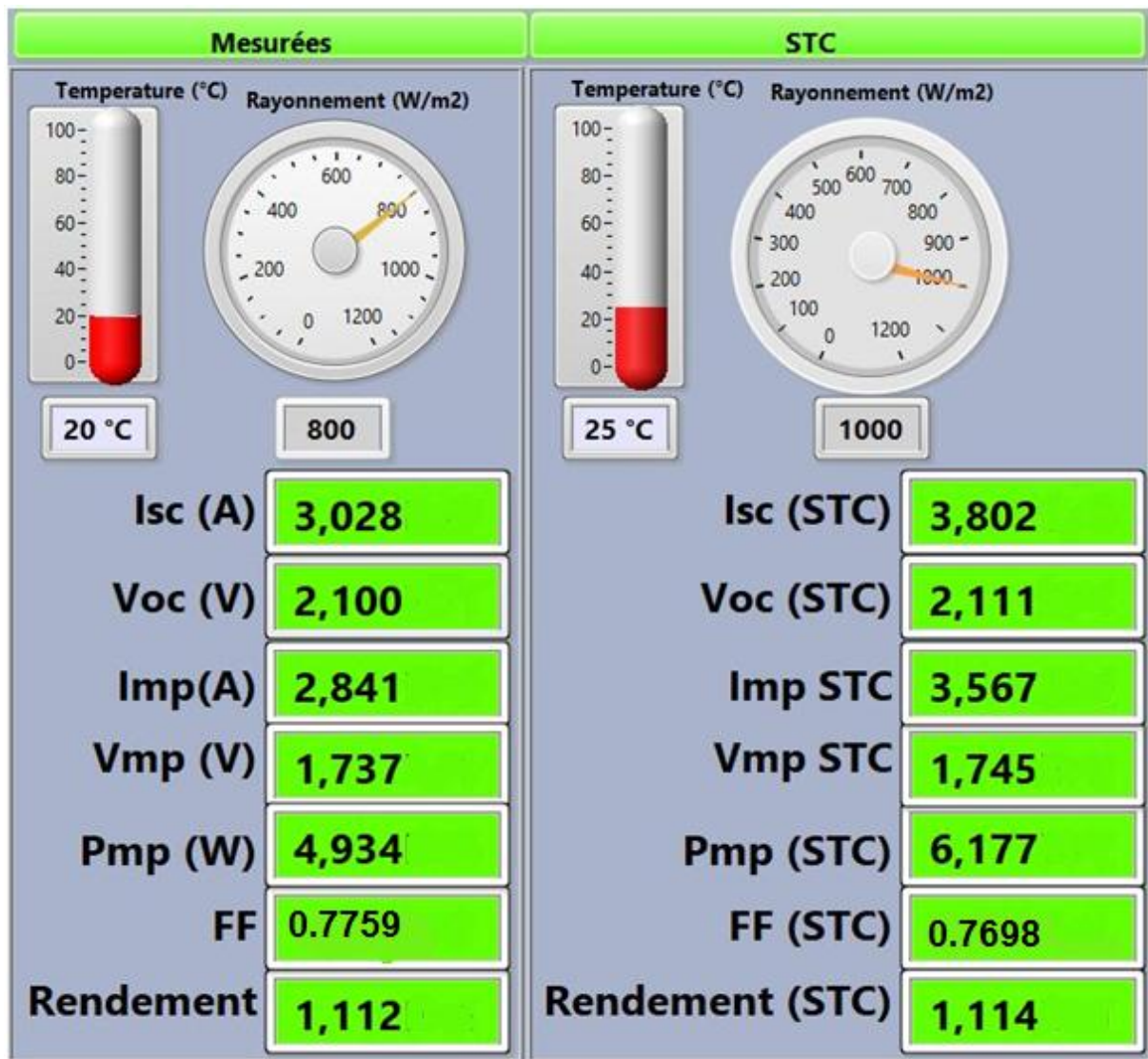


Figure 4.2 Résultats de traitement sous la forme numérique.

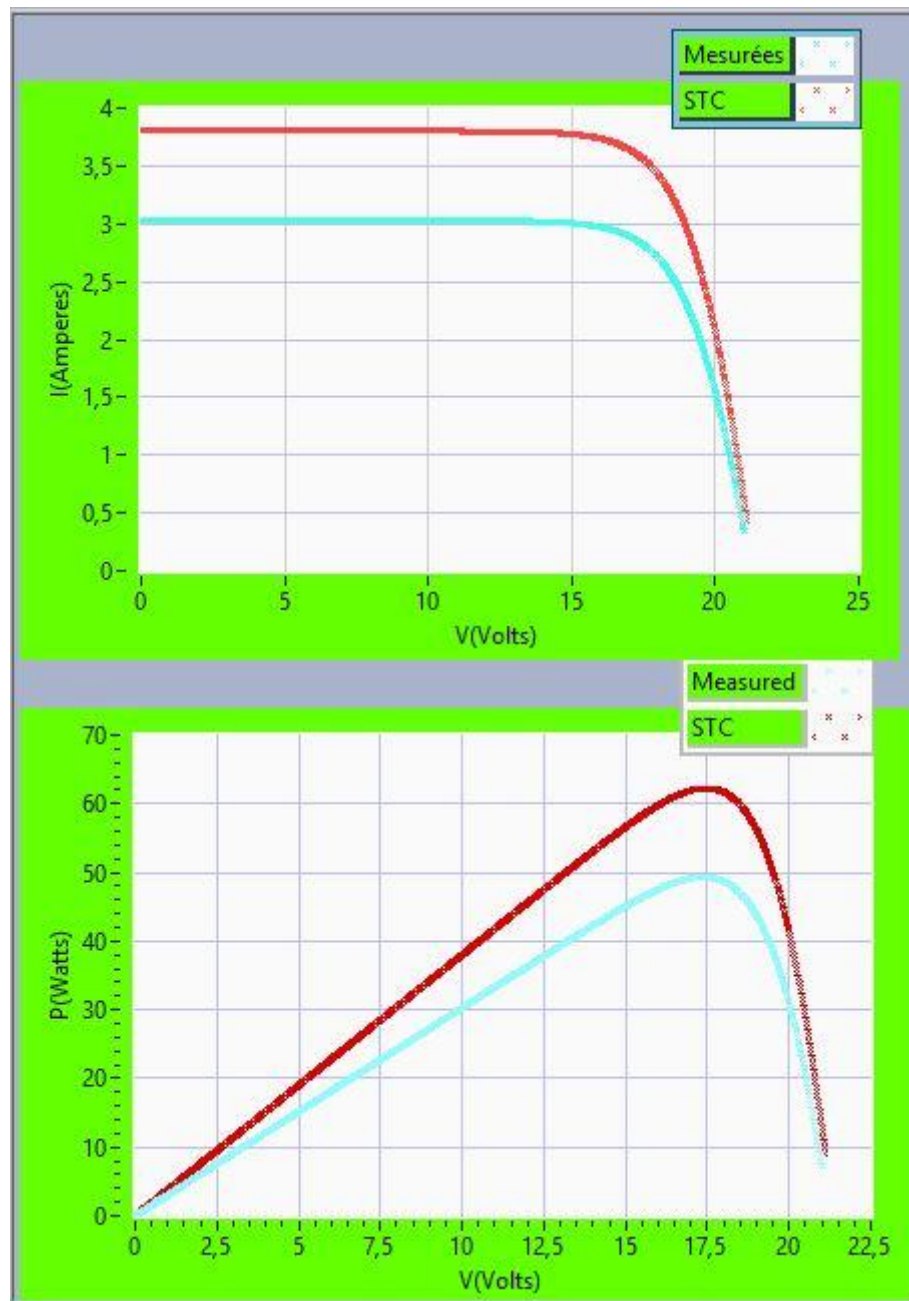


Figure 4.3 Résultats de traitement sous la forme graphique.

Le module étudié fonctionné sous les conditions climatique d'une temperature de 20°C et un rayonnement de $800\text{W}/\text{m}^2$.

4.4. Résultats d'extraction selon le modèle a une diode

L'application de la méthode numérique de calcul des paramètres implicites se résulte avec les valeurs affichée sur l'interface développée dans le Tab Control nommé '*EXTRACTION DES PARAMETRES ELECTRIQUES POUR LE MODELE A UNE DIODE*'.

Ces résultats sont montrés dans figure 4.4

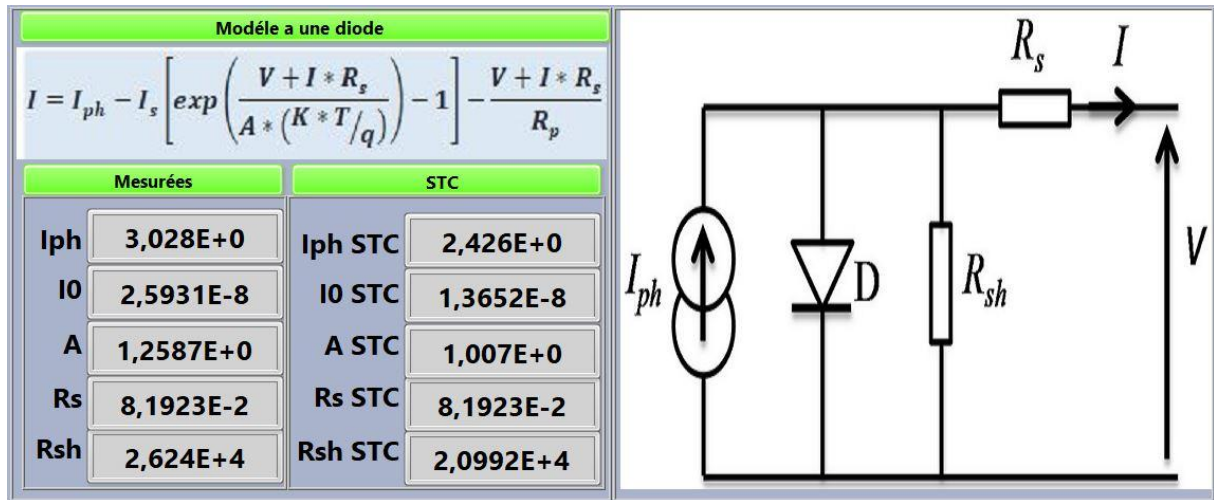


Figure 4.4 Résultats d'extraction des paramètres implicites.

4.5. Résultats de la reproduction de la caractéristique I-V selon le modèle à une diode

La figure 4.5 montre la superposition de deux caractéristiques I-V P-V, il s'agit de la caractéristique issue de la Translation aux STC suite à la mesure sous les conditions climatiques de 20°C et 800W/m² et celle obtenue par reproduction selon le modèle à une diode.

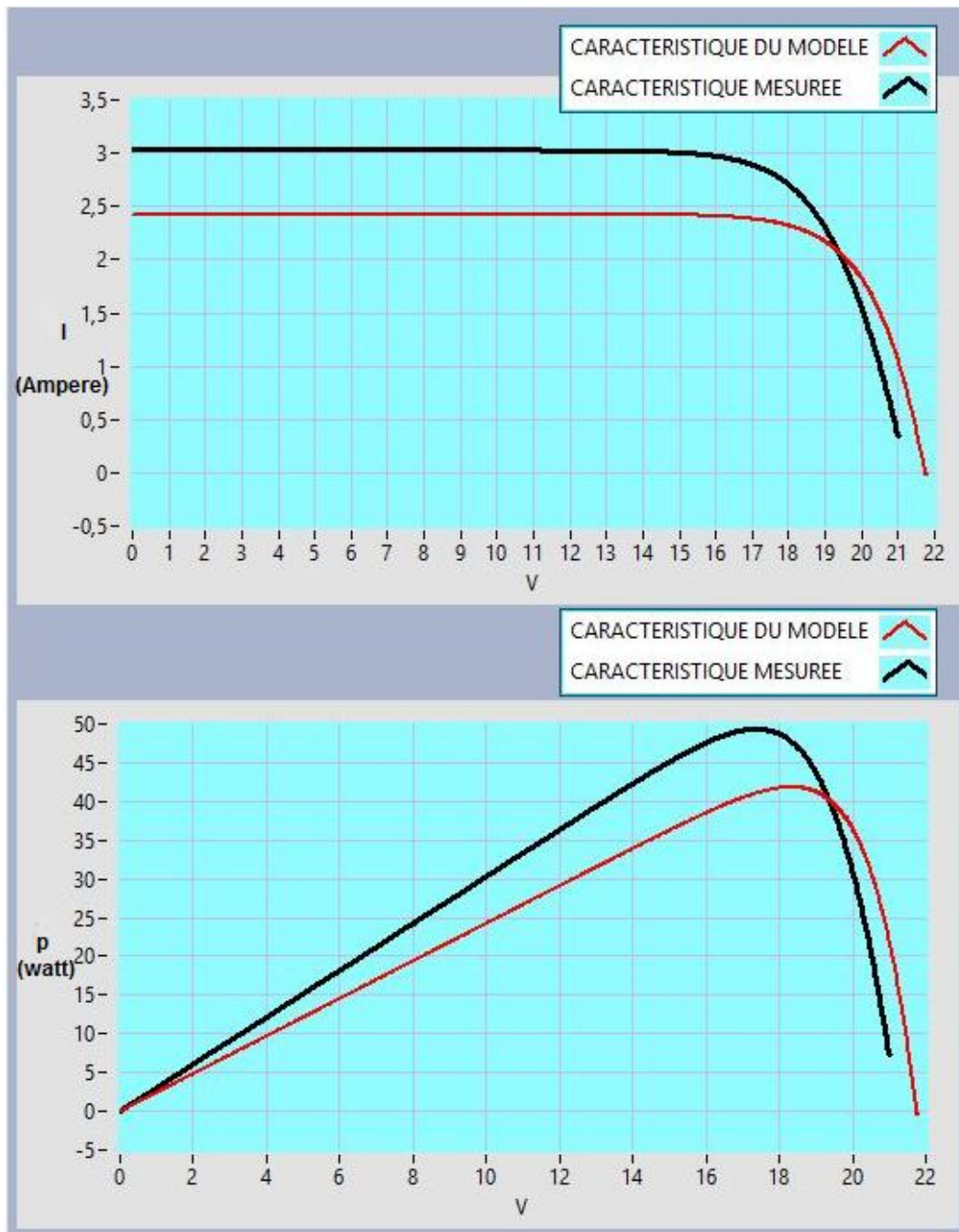


Figure 4.5 Résultats de reproduction de la caractéristique I-V P-V selon le modèle à une diode.

4.6. Représentation de l'erreur entre la caractéristique mesurée et celle reproduit selon le modèle à une diode

La figure 4.6 montre l'écart point par point entre la caractéristique mesurée et exploitée depuis le fichier de données lus et celle reproduite selon le modèle à une diode.

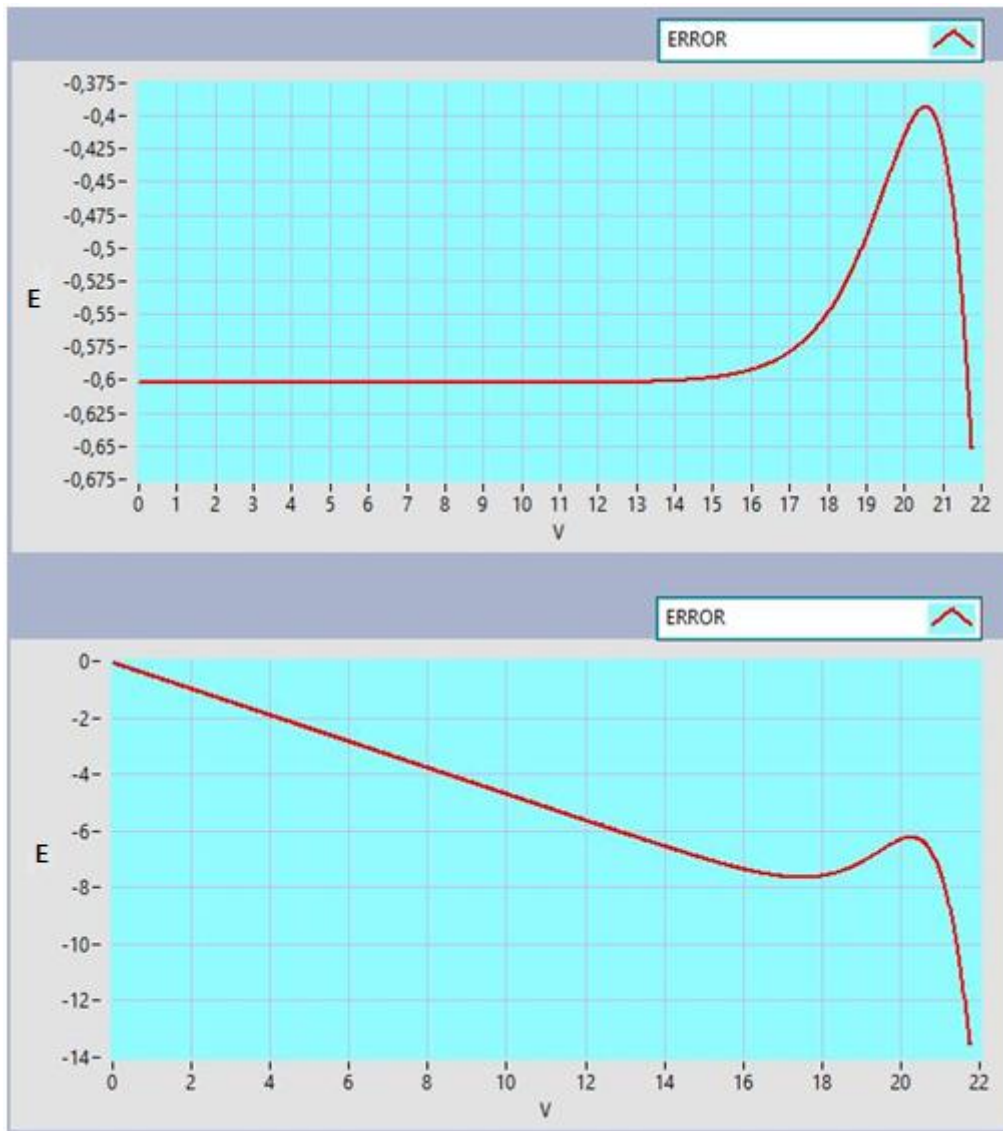


Figure 4.6 Ecart entre la caractéristique mesurée et celle reproduite.

4.7. Interprétation des résultats

Pour le module en silicium poly cristallin MSX-60 les résultats sont satisfaisants car les valeurs obtenues pour la caractéristique I-V P-V par mesure expérimentale sont très proches de celles obtenues par reproduction selon le modèle à une diode.

Nous pouvons conclure que notre modèle mathématique qui suit le modèle à une seule diode peut être exploité comme une référence pour représenté le comportement physique du module MSX-60.

8. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons d'abord vérifié que les différents paramètres en polarisation direct mesurés et calculés par l'interface de caractérisation et d'extraction sont proches suite aux résultats obtenus du module PV MSX-60.

Nous avons ensuite comparé les résultats obtenus pour les valeurs mesurées et reproduites du module PV étudié.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans ce travail, nous avons proposé une interface interactive qui permet le calcul de l'ensemble des paramètres d'un module PV et de les afficher sur une interface graphique. Ces paramètres sont extraits de la caractéristique I-V du module PV sous éclairement (I-V directe).

Les valeurs des paramètres de la caractéristique I-V mesurées sont par la suite translatées aux conditions STC et par la suite affichées sous forme numérique et graphique.

Nous avons procédé a un calcul des paramètres implicites selon le modèle à une diode en appliquant un VI inclus dans la bibliothèque du logiciel LABVIEW suite a la construction du système d'équations non linéaires.

Nous avons exploités par la suite ses résultats de calcul pour construire le modèle à une diode correspondant au module étudié et reproduire la caractéristique I-V appropriée.

Nous avons également effectué une validation du modèle calculé par comparaison avec celui issu de la mesure.

Comme perspectives, il conviendrait de compléter l'interface graphique pour exécuter les deux taches : mesure des caractéristiques I-V et extraction des paramètres en temps réel et construire le modèle à deux diodes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] BERREZZOUG Hanane. 'Principe de fonctionnement et mesure des caractéristiques d'une cellule photovoltaïque '. UNIVERSITE DE SAIDA, 09 Juin 2016.
- [2] A. Zerga, 'Optimisation du rendement d'une cellule solaire à base de silicium monocristallin de type n+p', Mémoire de Magistère Tlemcen-1998.
- [3] Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07.
- [4] Anne Labouret, Michel Villos, énergie solaire photovoltaïque, 3^{eme} édition 2006.
- [5] Dariga Meekhun, Réalisation d'un système de conversion et de gestion de l'énergie d'un système photovoltaïque pour l'alimentation des réseaux de capteurs sans fil autonomes pour l'application aéronautique, thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, Janvier 2011
- [6] Bendjellouli Zakaria, Contribution à la modélisation d'une cellule solaire, mémoire magistère d'Université de Bachar, 2009.
- [7] William WANDJI NYAMSI, Vers une méthode automatique d'estimation de la distribution spectrale du rayonnement solaire. Cas du ciel clair. Applications à la lumière du jour, photo synthèse et ultraviolet, Doctorat Paris Tech, l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2015.
- [8] Anne Labouret , « Cellules solaires Les bases de l'énergie photovoltaïque », 5 édition, 2010.
- [9] Le photovoltaïque pour satellite, L'encyclopédie des énergies solaires, <http://fr.solarpedia.net/wiki/index.php>
- [10] A. Lauger.J.A.Roger « Les photopiles solaire» technique et documentation ,1981.
- [11] G.Bonnet « Rapport interne ENS de Lyon » 2002.
- [12] www.greenpeace.ca
- [13] R. Touahir et M. A. K. Ben Zahia, « contrôleur neuronal pour la poursuite du point de puissance maximale d'un système photovoltaïque », Mémoire master, Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie, 2015.
- [14] GreeNMA. «Solar cells Ed.university of new south Wales ». 336P.1992.
- [15] STI ELT Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07.
- [16] Medjelled Yamina (Effet de la Résistance Série sur les Performances d'une Cellule Photovoltaïque à Multi jonction sous concentration solaire. Approximation de forte injection) Mémoire de Magister, 2012.
- [17] Nichapour OleKsiy (simulation, fabrication et analyse de cellule photovoltaïque à contacte arrières interdigités), Thèse de doctorat. L'institut national des sciences appliquées de Lyon 2005.
- [18] MAOUCHA Abdelhak , Etude et Identification paramétrique d'une cellule photovoltaïque organique » mémoire de magister ,*Université de Batna, 2011.*
- [19] J.H. Smith and L.R. Reiter, 'An In-Depth Review of Photovoltaic System Performance Models', The American Society of Mechanical Engineers, 84-WA/Sol-12, 8 p., 1984.
- [20] Mohamedi Bilal, Le pompage photovoltaïque, Direction de Eric Schiller.
- [21] Site web: [google.fr/ Keithley \(SMU\).tm](http://google.fr/Keithley(SMU).tm)
- [22] T. Back, F. Hoffmeister, « Global optimization by means of evolutionary algorithms»,Divnogorsk, EX-URSS, 1991, p.17.
- [23] Fundamental and Applied metrology. september 6-112009, Lisbon, Portugal. ISBN 978-963-88410-0-1, 2009 IMEKO
- [24] W. Shocley, "The Theory of p-n Junctions in Semiconductors and p-n Junction Transistors.,"*Bell System TechnicalJournal*, vol.28, Issue: 3 , July 1949.

BIBLIOGRAPHIE

- [25] W.L. De Soto, 'Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance', MS Thesis, Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison, 2004.
- [26] J.M. Enrique, E. Duran, M. Sidrach de Cardona, J.M. Andujar, M.A. Bohorquez and J.Carratero, 'A New Approach to Obtain I-V and P-V Curves of Photovoltaic Modules by Using DC/DC Converters', Rec. IEEE Photovoltaic Specialist Conference, pp. 1769 - 1722, 2005.
- [27] G. Walker, "Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model," Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia, IEAust, vol.21, No. 1, 2001, pp.49- 56.
- [28] R. Jimmy et al., Le pompage photovoltaïque, Édition Multi mondes, 1999.
- [29] B. Flèche & D. Delagnes, Energie solaire photovoltaïque, juin 2007.
- [30] S. Masoum et al., Microprocessor-controlled new class of optimal battery chargers for photovoltaic application, Vol. 19, September 2004.
- [31] A. Oi, Design and simulation of photovoltaïque water pumping système, Thèse de Magister de l'université California, USA, Septembre 2005.
- [32] A. Fortin, Analyse numérique pour ingénieurs, 2^{eme} édition, Presses internationales polytechnique, 1996.
- [33] S. M. Ait-Cheikh, «Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques», Thèse de Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2007.
- [34] M. Adouane, «Etude et conception d'une stratégie de commande d'un onduleur connecté au réseau électrique», Mémoire de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2008.
- [35] A. Cid Pastor, "conception et réalisation de modules photovoltaïques électrique", thèse de doctorat, institut national des sciences appliquées, Toulouse, 2006.
- [36] Weidog .Xiao, A novel modeling method for photovoltaic cells, 35th annual IEEE Power Electronics Specialists conference, Aachen, Germany 2004, pp 1950-1956.
- [37] Weiner.D An optimal design of a photovoltaic D.C motor coupled water pumping system. IEEE, conférence, 1990, pp 268-274.
- [38] A.Q. Malik, S.J. Bin Haji Damit, "Outdoor testing of single crystal silicon solar cells ", Renewable Energy, 28, 2003, pp. 1433-1445
- [39] W. De Soto, S.A. Klein, W.A. Beckman, Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. Solar Energy (2006)..
- [40] E. Karatepe, M. Boztepe, M. Çolak, Development of a suitable model for characterizing photovoltaic arrays with shaded solar cells. Solar Energy (2007).
- [41] B. Demitovitch et I. Maron, Traduit du Russe par V. Polonsky, Eléments de calcul numérique. Edition MIR, Moscou 1979.
- [42] Francis Cottet, Labview, Programmation et Application. Dunod (2001).
- [43] Nicolas POUSSET, Cours d'initiation au logiciel Labview. Site de National Instrument (www.ni.com)(2007).

1. présentation du Logiciel utilisé pour la modélisation et la simulation « LabVIEW »

a. Définition

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) est un logiciel de développement d'applications, comparable à la plupart des systèmes de développement en langage C ou BASIC disponibles sur le marché, ou encore à LabWindows de National Instruments. Cependant, LabVIEW se distingue des autres logiciels sur au moins un point important. En effet, la majorité d'entre eux s'articulent autour de langages à base de texte dont la programmation consiste à empiler des lignes de code, tandis que LabVIEW utilise un langage de programmation graphique, le langage G, pour créer un programme sous forme de diagramme. Inutile d'être expert en programmation pour pouvoir utiliser LabVIEW. La terminologie, les icônes et les principes inhérents à LabVIEW, tous familiers aux ingénieurs et aux scientifiques, font appel à des symboles graphiques pour décrire les opérations de programmation.

LabVIEW offre des bibliothèques étendues de fonctions et de routines (blocs préprogrammés) capables de répondre à la plupart des besoins en programmation. En ce qui concerne les plates-formes Windows, Macintosh et Sun, LabVIEW comprend également des bibliothèques de fonctions spécifiques à l'acquisition de données et au pilotage d'instruments VXI et GPIB, ou encore d'instruments connectés sur une simple liaison série. Il existe aussi des bibliothèques dédiées à la présentation, à l'analyse et au stockage des données. LabVIEW intègre une panoplie complète d'outils de développement de programme conventionnels, de sorte que vous pouvez définir des points d'arrêt, animer l'exécution du programme en mettant en évidence le cheminement des données et exécuter pas à pas votre programme.

Logiciel utilisé pour la modélisation et la simulation LabVIEW








- fonction. Cette face-avant, personnalisable à loisir, est composée d'objets graphiques comme des interrupteurs, des potentiomètres, des zones de graphismes, etc...


- Un *diagramme (Block-Diagram)* : cette partie décrit le fonctionnement interne du VI. On utilise donc le langage G pour décrire ce fonctionnement. Destiné à être utilisé par des ingénieurs et des scientifiques, non informaticiens de formation, LabVIEW utilise un langage de programmation graphique G (pour Graphique) afin de décrire les programmes dictant le comportement de l'application. Ainsi l'utilisateur est affranchi de la lourde syntaxe des langages de programmation textuels tels que C, Basic, etc..
- Une *icône (Icon)* : c'est la symbolisation de l'instrument virtuel qui permettra de faire appel à un instrument virtuel déjà créé à l'intérieur d'un autre instrument virtuel, c'est un principe de structure hiérarchique et de modularité. C'est par ce biais que nous définirons les points d'entrées et de sorties globaux de notre fonction.


2. Barre d'outils de la face-avant




   Bouton Exécution du programme (VI).   Bouton Exécution continue.



 Bouton d'Arrêt d'exécution.

 Bouton Pause/ Animer l'exécution : pour animer le diagramme et voir les données évoluées en fonction de l'exécution du code.

-  Exécuter de façon détailler : exécute le programme de la façon la plus détaillée possible action par action.

-  Configuration du format du texte (taille, style, couleur,...).

-  Aligner les objets.  Égalisation de l'espace entre les objets.

-  Plan de l'objet (premier ou arrière plan,...).  Redimensionner les objets de la face avant.

➤ Barre d'outils du diagramme



Exécuter sans détailler : exécute le programme nœud

- ✓ par nœud sans rentrer dans le détail de leur exécution interne.



Terminer l'exécution : poursuivre l'exécution du programme jusqu'à son terme.


➤ Palette d'outils


- Utilisée pour agir sur les objets de la face avant et du diagramme (disponible dans la barre des menus : " Fenêtre"). Possibilité de changer d'outils à l'aide de la touche tabulation du clavier de l'ordinateur lorsque la sélection automatique de Outil déplacement.

✓



- ✓ Outil sélection automatique (actif lorsque la LED verte est allumée).








- ✓  Outil d'action sur la face avant.

 Outil déplacement.



Outil d'arrêt.

ANNEXES

- ✓
- ✓  Outil sonde.  Outil déplacement et taille.  Outil texte.
-  Outil copie couleur.  Outil coloriage.  Outil connexion par fils.
- ✓  Outil raccourci menu.

-La réalisation de la « **face-avant** » ou interface utilisateur du programme se fait à partir de la fenêtre ou palette des objets appelée « Commandes » qui sont uniquement accessible dans la fenêtre « **face-avant** ».

Elle permet d'accéder à l'ensemble des objets représentant les entrées/sorties du programme.

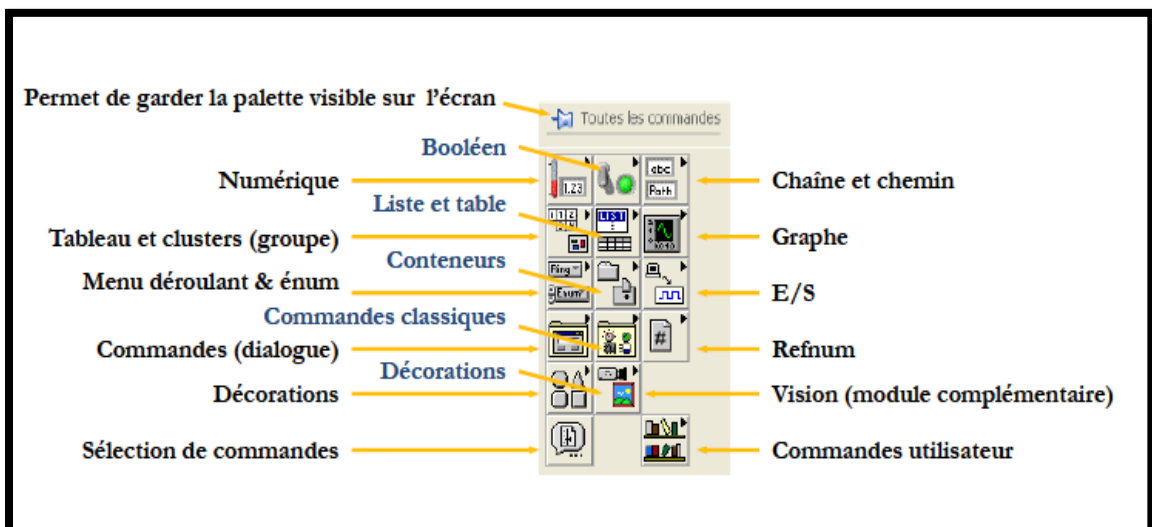


Figure. A1 .1 Palette des objets d'entrées /sorties disponibles dans la fenêtre « face avant »d'un VI LABVIEW.

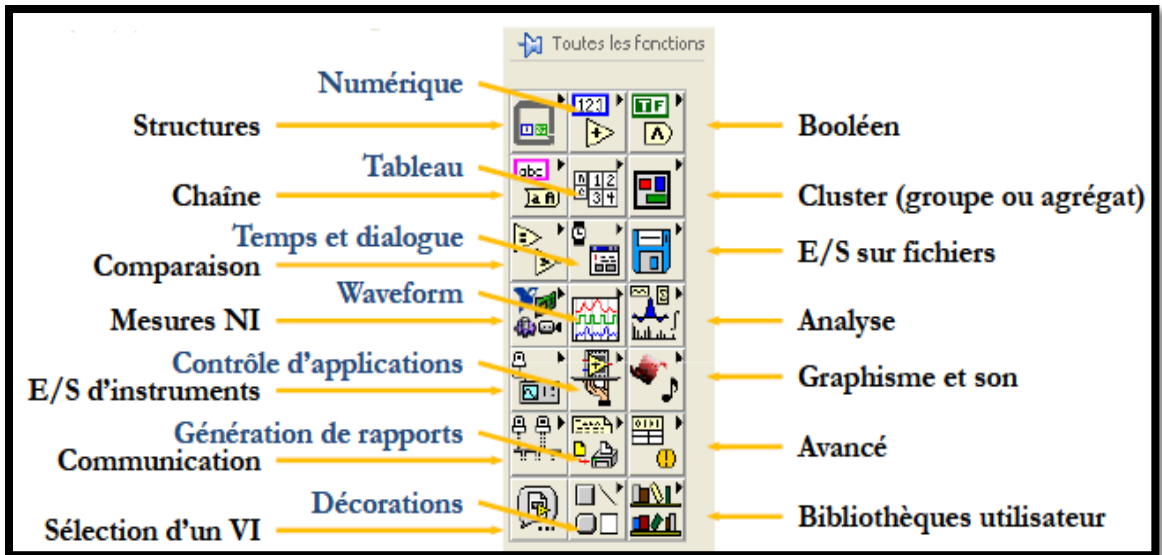


Figure A1.2 palette des fonctions disponibles dans la fenêtre « diagramme » d'un VI LABVIEW.

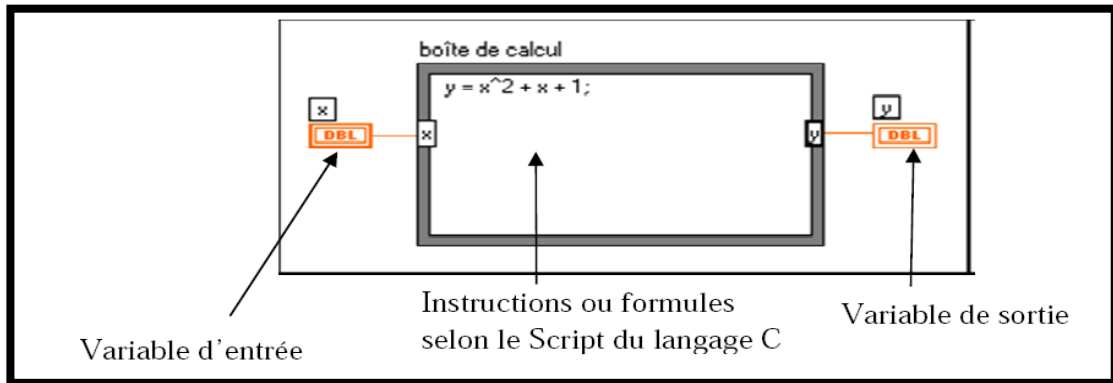


Figure A1.3: Exemple d'une Structure Boite de calcul dans Labview.

2. MSX 60

Le générateur PV (MSX60) est en silicium monocristallin est constitué de 36 cellules photovoltaïques élémentaires. Il peut délivrer dans les conditions standards de test (CST) une puissance de 60 W, un courant de 3.5A sous une tension optimale de 17.1V.



Figure B :MSX 60

Spécifications du module PV dans les conditions de test standard (STC):

Puissance maximale, P_{max}	60 W
Tension de P_{max} , V_{mp}	17.1V
Courant de P_{max} , I_{mp}	3.5A
Courant de court-circuit, I_{sc}	3.8A
Tension de circuit-ouvert, V_{co}	21.1V
Coefficient de température en circuit-ouvert V_{oc} , K_v	-80mV/°C
Coefficient de température en court-circuit I_{sc} , K_i	2.4mA/°C
Nombre de cellules	36

Tableau B : Spécifications du module PV Solarex MSX-60