

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira-Bejaia
Faculté de la Technologie
Département de Génie Electrique

Projet de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme Master en Génie *Electrique*

Option : Énergie renouvelable

Thème

Identification et Caractérisation

D'un

Systeme Photovoltaïque

Promoteur:

M^{me}.Dj.REKIOUA

Mr.B.METIDJI

Réalisé par:

AISSOU Said

ZINET Maci

Soutenu le 18 juin 2012 devant le jury :

K.IDJEDARENE : Président

S.BELAID : Examineur

2011/2012

Remerciement

Nous louons Dieu pour nous avoir prêtés la vie, aide et patience tout le long de ce cycle universitaire.

Nous tenons vivement à exprimer toute notre reconnaissance à

✓ *Nos deux promoteurs M^{me} DJ.Rekioua et M^r B.Metidji*

D'avoir accepté de diriger ce travail, pour leurs confiances et leurs disponibilités qu'ils nous ont attribué.

✓ *Aux membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.*

✓ *Tout le groupe avec lequel on a partagé de très bons moments au laboratoire LTII ou notre projet a été réalisé.*

✓ *Toutes les personnes qui ont contribué de prêt ou de loin à ce que nous sommes aujourd'hui, merci à tous.*

Dédicace

*Je dédie ce manuscrit à mes chers parents qui m'ont
Encouragé à donner le meilleur de moi-même, et qui m'ont
fourni Les moyens d'être ce que je suis aujourd'hui.
Je le dédie aussi à mes sœurs, à mes frères et à toute la
famille. Je leurs souhaite Une vie pleine de succès. Que
dieu les garde tous.*

*Et surtout à ma femme qui ma soutenus dans mes études je lui
souhaite une très belle vie et beaucoup de réussite.*

*À tous les êtres chers à mon
cœur. Aissou. Said*

Dédicace

*Je dédie ce manuscrit à mes chers parents qui m'ont
Encouragé à donner le meilleur de moi-même, et qui m'ont
fourni Les moyens d'être ce que je suis aujourd'hui.
Je le dédie aussi à mes sœurs, à mes frères et à toute la
famille. Je leurs souhaite Une vie pleine de succès. Que
dieu les garde tous.*

*A tous les êtres chers à mon cœur.
Zinet. Maci*

NOMENCLATURE

q : Charge d'électrons	[C]
K : Constante de Boltzmann	[J/K]
E : Ensoleillement	[W/m ²]
E_{ref} : Ensoleillement de référence	[W/m ²]
I_e : courant d'émetteur	[A]
I_c : courant du collecteur	[A]
I_b : courant de base	[A]
I : courant a la sortie d'une cellule photovoltaïque	[A]
I_{ph} : Photo-courant	[A]
I_s : courant de saturation	[A]
I_{cc} : courant de court circuit	[A]
I_d : courant de diode	[A]
I_{pv} : courant du panneau photovoltaïque	[A]
I_m : courant au point de puissance maximale	[A]
ΔI_{pv} : variation de courant	[A]
T : température absolue	[K]
ΔT_c : variation de la température	[K]
V : Tension a la sortie d'une cellule photovoltaïque	[V]
V_{co} : tension du circuit ouvert	[V]
V_{pv} : Tension du panneau photovoltaïque	[V]
V_m : Tension au point de puissance maximale	[V]
ΔV_{pv} : variation de la tension	[V]
V_T : Tension thermique	[J/C]
α_{cc} : Coefficient de température d'incrémentaion du courant	[A/°C]
β_{oc} : Coefficient de température d'incrémentaion de tension	[V/°C]
R_s : Résistance série	[Ω]
R_p : Résistance shunt	[Ω]
ns : Nombre de cellules en série	
np : Nombre de cellules en série	
A : coefficient d'idéalité de la cellule	

G : Gain d'amplificateur

VI : Instrument virtuelle

β : Gain des transistors

Liste des figures

N°	Titre	Pages
Fig. I.1	Coupe transversale d'une cellule PV typique.	8
Fig. I.2	Caractéristique courant-tension.	10
Fig. I.3	Caractéristique I-V dans le nouveau repère.	10
Fig. I.4	Cellules photovoltaïques monocristallines.	11
Fig. I.5	Cellules photovoltaïques poly cristallines.	12
Fig. I.6	Cellules photovoltaïques amorphe.	12
Fig. I.7	Exemples d'installations photovoltaïques intégrées.	14
Fig. I.8	Courbe $I = f(V)$ d'un panneau photovoltaïque.	15
Fig. I.9	Caractéristique d'un générateur photovoltaïque pour différents éclairagements.	16
Fig.I.10	Influence de la température sur la caractéristique électrique.	16
Fig.I.11	Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques	17
Fig.I.12	Caractéristique résultante d'un groupement constitué de N_p cellules identiques en parallèle.	18
Fig.I.13	Caractéristique résultante d'un groupement hybride de $(np+ ns)$ cellules identiques.	18
Fig.I.14	Schéma équivalent électrique d'une cellule photovoltaïque.	20
Fig.I.15	Circuit équivalent d'une cellule solaire, modèle avec R_s .	21
Fig.I.16	Circuit équivalent d'une cellule solaire, modèle à une diode.	21
Fig.I.17	Schéma du modèle équivalent à deux diodes d'une cellule photovoltaïque.	22 25
Fig.I.18	Montage Volt-Ampère-métrique.	
Fig.I.19	Caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ par le montage Volt-Ampère-métrique.	26
Fig.I.20	Caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ par simulation sous Matlab/Simulink.	26
Fig.I.21	Thermistance.	27
Fig.I.22	Transistors.	27
Fig.I.23	LM35 circuit intégré spécialisé.	28
Fig.I.24	Thermocouple.	28
Fig.I.25	Photorésistance.	28
Fig.I.26	Photodiode.	29
Fig.I.27	Phototransistor.	29
Fig.I.28	Mesure de tension aux bornes d'un shunt.	30
Fig.I.29	Capteur a effet Hall.	30
Fig.I.29	Diviseur de tension.	31
Fig.II.1	Carte d'acquisition	33
Fig.II.2	La grandeur physique à l'instrument réel	34
Fig.II.3	La grandeur physique à l'instrument virtuel.	35
Fig.II.4	Ecran d'accueil de LabVIEW.	36
Fig.II.5	Un VI LabVIEW est composé d'un diagramme (<i>fenêtre blanche</i>) et d'une face avant (<i>fenêtre grise</i>) et représenté par une icône.	37
Fig.II.6	Palettes de commande.	38
Fig.II.7	Deux commandes et un indicateur numériques	40
Fig.II.8	La palette d'outils permet de choisir la fonctionnalité de la souris.	40
Fig.II.9	Etapes de la construction du diagramme.	42
Fig.II.10	Aide contextuelle.	42
Fig.II.11	Exemple d'un graphe déroulant.	43
Fig.II.12	Exemple d'un graphe.	44

Liste des figures

Fig.II.13	Exemple d'un graphe XY.	44
Fig.II.14	Assistant DAQ.	45
Fig.II.15	Configuration d'une tâche avec l'Assistant DAQ.	46
Fig.II.16	Instrument de traitement	46
Fig.II.17	Filtre de traitement.	46
Fig.II.18	Fichier de mesure.	47
Fig.III.1	Schéma bloc du système de caractérisation.	49
Fig.III.2	Schéma bloc de la carte de mesure.	49
Fig.III.3	Schéma électronique de la carte de mesure.	50
Fig.III.4	Schéma bloc d'un circuit de mesure.	51
Fig.III.5	Diviseur de tension.	52
Fig.III.6	Shunt mesure de courant.	53
Fig.III.7	Boucle de régulation type proportionnel (P).	53
Fig.III.8	charge variable.	54
Fig.III.9	Programme LabVIEW.	56
Fig.IV.1	Système de caractérisation sous LabVIEW au laboratoire LTII.	57
Fig.IV.2	Test N°01 sous LabVIEW.	59
Fig.IV.3	Test N°02 sous LabVIEW.	59
Fig.IV.4	Test N°03 sous LabVIEW.	59
Fig.IV.5	Bloc Simulink du panneau photovoltaïque.	60
Fig.IV.6	Test N°1 sous Matlab/Simulink.	61
Fig.IV.7	Test N°2 sous Matlab/Simulink.	61
Fig.IV.8	Test N°3 sous Matlab/Simulink.	61
Fig.IV.9	Test N°1 avec la méthode Volt-Ampère-métrique.	62
Fig.IV.10	Test N°2 avec la méthode Volt-Ampère-métrique.	62
Fig.IV.11	Test N°3 avec la méthode Volt-Ampère-métrique.	62

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Notions générale sur les systèmes photovoltaïques	
I.1. Energies renouvelables	3
I.1.1. Généralités sur les énergies renouvelables.....	3
I.1.2. Différentes sortes d'énergies renouvelables	3
I.1.3. Énergie solaire	4
I.1.4. Intensité d'énergie solaire sur la terre	4
I.1.5. Exploitations de l'énergie solaire	5
I.1.6. Les moyens de captage solaire	5
I.2. L'énergie solaire photovoltaïque	6
I.2.1. Historique	6
I.2.2. Dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque	7
I.2.3. Définition	7
I.2.4. La jonction P-N	8
I.2.5. Les différentes technologies des cellules solaires	10
I.2.6. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque	13
I.3. Caractéristique courant-tension	15
I.3.1. Influence de l'éclairement	15
I.3.2. Influence de la température	16
I.3.3. Association de cellules photovoltaïques en série	17
I.3.4. Association de cellules photovoltaïques en parallèle	17
I.3.5. Association hybride	18
I.4. La modélisations d'une cellule photovoltaïque	19
I.4.1. Introduction	19
I.4.2. Modèle idéal	19
I.4.3. Modèle avec pertes ohmiques	20
I.4.4. Modèle à une diode	21

I.4.5. Modèle à deux diodes	22
I.4.6. Modèle simplifié du modèle à une diode	23
I.4.7. Modèle explicite	24
I.5. Méthode Volt-Ampère-métrique	25
I.6. Résultats obtenus	25
I.7. Les capteurs	27
I.7.1. Capteur de température	27
I.7.2. Capteur d'ensoleillement	28
I.7.3. Capteur de courant	29
I.7.4. Capteur de tension	30
Conclusion.....	31

Chapitre II : Description du système de caractérisation

Introduction	32
II.1 Description de la carte d'acquisition	32
II.1.1. Caractéristique de la carte	32
II.2. Software de la carte	33
II.2.1. Le concept d'instrument virtuel	34
II.2.2. Différentes étapes de création d'un projet sous Labview	35
II.2.3 Acquisition de données et communication avec des instruments	44
II.2.3.1. Acquisition d'un signal	44
II.2.3.2. Systèmes d'analyse et d'enregistrement d'un signal	46
Conclusion.....	47

Chapitre III : Réalisation des capteurs et programme d'acquisition

Introduction	48
III.1. Présentation du projet	48
III.2. Identification des paramètres climatiques du site	49
III.2.1. Carte de mesure des paramètres du site	49
III.3. Identification des paramètres électriques du panneau photovoltaïque	51
III.3.1. Carte de mesure des paramètres du panneau solaire	51
III.4. Unité d'acquisition des données	55

III.4.1. Programme Labview	55
Conclusion	56

Chapitre IV : Essais expérimentaux

Introduction	57
IV.1. Caractérisation sous Labview	57
IV.2. Résultats par simulation sous Matlab/Simulink	60
IV.3. Résultats de la méthode Volt-Ampère-métrique	61
IV.4. Interprétation des résultats	63
Conclusion	63
Conclusion générale	64

Annexe

Bibliographie

Introduction générale

L'énergie a toujours constitué un enjeu vital pour l'homme et les sociétés humaines. Les comportements humains sont fortement induits par sa disponibilité ou sa non-disponibilité, son abondance ou sa pénurie. De ces comportements vont découler de nouveaux enjeux, en particulier pour l'environnement et les équilibres socio-économiques.

Face aux risques mal maîtrisés de l'énergie nucléaire et aux mauvais effets causés par la combustion des hydrocarbures, sans oublier l'épuisement des ces énergies fossiles, ainsi *la crise pétrolière de 1973* a par l'augmentation brutale du prix du pétrole ; et aussi la lutte contre les changements climatiques (réchauffement par effet de serre), avec la signature du *protocole de Kyoto* par 160 pays, en 1997, conduit l'homme à s'intéresser à d'autres sources *d'énergie renouvelable*, au premier rang desquelles figure *l'énergie solaire* [1].

Les énergies renouvelables constituent une source d'énergie inépuisable pour l'homme. Elles sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (rayonnement), le vent (énergie éolien) mais aussi la Lune (marée) et la Terre (énergie géothermique).

Parmi ces différents moyens de générer de l'électricité, **l'énergie solaire photovoltaïque** est la plus élégante. Silencieuse et discrète, elle présente l'avantage de s'intégrer facilement à l'habitat (façades de bâtiments, toits). L'absence de pièces mécaniques mouvantes réduit l'entretien de ces systèmes à un minimum et leur fiabilité a rapidement favorisé leur utilisation dans le domaine des applications spatiales et en sites isolés (station de télécommunication, systèmes de navigation en mer) [2].

Les systèmes photovoltaïques ne nécessitent aucun apport extérieur de combustible; de plus, le générateur lui-même ne contient aucune pièce mobile et ne requiert donc pratiquement pas d'entretien. Par conséquent, les coûts récurrents d'opération et de maintenance sont relativement faibles. Pour ces raisons, cette source d'énergie convient particulièrement bien pour les utilisations en milieu rural où les populations sont réparties dans de petites communautés et où la demande énergétique est relativement faible.

Dans le cadre de ce mémoire, la caractérisation électriques des panneaux photovoltaïques est étudiée en utilisant le logiciel LabVIEW, disponible au laboratoire L.T.I.I du l'Université de Bejaia. Pour cela, notre mémoire sera subdivisé en quatre chapitres.

- Dans le **premier chapitre**, nous décrivons le principe de conversion de l'énergie lumineuse en énergie électrique par la cellule photovoltaïque, ainsi que la description générale d'un système photovoltaïque.
- **Le deuxième chapitre** : est une description générale du système de caractérisation : software **LABVIEW** et la carte d'acquisition **NI PCI-6259**.
- **Le troisième chapitre** : Nous présentons la réalisation des capteurs utilisés ainsi que le programme LabVIEW.
- **Le quatrième chapitre** : est dédié aux différents essais expérimentaux effectués.

Introduction

Nous vous proposons dans ce premier chapitre, quelques généralités et définitions sur les énergies renouvelables, particulièrement sur l'énergie solaire photovoltaïque, qui est le fondement de notre mémoire. Nous présentons ensuite la modélisation d'une cellule photovoltaïque (PV). Nous étudions plusieurs modèles mathématiques, qui après résolution permettent chacun d'obtenir la caractéristique électrique $I=f(V)$. Les différents capteurs (température, ensoleillement, courant et tension) qu'on utilisera dans la suite du travail sont présentés.

I.1. Energies renouvelables

I.1.1. Généralités sur les énergies renouvelables

Une énergie renouvelable (**ER**) est une source d'énergie se renouvelant assez rapidement pour être considérée comme inépuisable à échelle humaine de temps. Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers ou constants provoqués par les astres, principalement le Soleil (*rayonnement*), la Lune (*marée*), mais aussi le vent (*éolien*) et la Terre (*énergie géothermique*). Elles sont issues du Soleil, du vent, de la chaleur de la Terre, des chutes d'eau, des marées ou encore des végétaux. Leur exploitation engendre très peu de déchets et d'émissions polluantes. Toutes ces ressources peuvent être transformées en énergie directement utile à l'homme sous forme de chaleur, d'électricité ou de force mécanique. Elles contribuent au développement durable et à la protection de l'environnement. La croissance des énergies renouvelables a été forte au cours des vingt dernières années. En effet, les opinions publiques et la volonté politique des États, d'autres facteurs concourent à cette croissance, notamment la réduction des coûts qui permet la compétitivité des énergies renouvelables, et leurs évolutions du cadre réglementaire de l'énergie.

La production mondiale d'énergie est dominée par les centrales classiques avec plus de 80% tandis que les énergies renouvelables n'assurent que moins 20%, conscient de la réserve limitée des combustibles (*pétrole*), les politiques ont prôné le développement des énergies renouvelables sachant qu'elles constituent la principale alternative pour assurer la relève dans le domaine de la production de l'énergie [3].

I.1.2. Différentes sortes d'énergies renouvelables

On peut rencontrer plusieurs types des énergies renouvelables, telle que l'énergie hydraulique, géothermique, marémotrice, mais les principales énergies renouvelables pouvant

produire les quantités nécessaires d'énergies électriques et pouvant contribuer à subvenir en besoin énergétique sont les éoliennes et en grande partie l'énergie solaire.

I.1.3. Énergie solaire

Le soleil reste jusqu'à présent la plus importante source d'énergie malgré la distance considérable qui le sépare de la terre. La puissance émise par le soleil sous forme de rayonnement est estimée à $90 \cdot 10^{15}$ GW, alors que la couche terrestre n'arrive à recevoir que $18 \cdot 10^6$ GW. Avant d'arriver à la terre, le rayonnement solaire subit de considérables modifications, dues principalement aux phénomènes d'absorption et de diffusion. Aussi, on introduit la notion de l'éclairement qui est la densité de puissance reçue par une surface soumise à un flux lumineux, dans les conditions atmosphériques optimales, cette densité de puissance atteint 1000 W/m^2 pour un site situé au niveau de la mer. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre, malgré une atténuation importante à la traversée de l'atmosphère; la quantité qui reste est encore assez importante, quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m^2 crête dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m^2 lorsque l'atmosphère est faiblement polluée. L'Algérie dispose d'environ 3200 heures d'ensoleillement par an, bénéficiant d'une situation climatique favorable à l'application des techniques solaires [4].

I.1.4. Intensité d'énergie solaire sur la terre

Le flux d'énergie solaire qui atteint le sol terrestre est de 1000 W/m^2 [4], mais différents facteurs vont rendre la répartition de l'énergie solaire très inégale à la surface de la terre, ainsi les régions tropicales et les déserts reçoivent globalement plus d'énergie que les pôles. La première cause de cette inégalité de répartition est liée à la rotondité de la surface terrestre. Dans les régions proches de l'équateur, le soleil éclaire la surface terrestre presque perpendiculairement, ce qui a deux conséquences, tout d'abord chaque mètre carré de surface au sol intercepte pratiquement la totalité du flux solaire. Ensuite, l'épaisseur de l'atmosphère que doit traverser la lumière solaire pour arriver au sol est très faible.

Dans les régions polaires, les conditions d'éclairement sont beaucoup moins favorables, la lumière solaire arrive suivant un angle rasant par rapport à la surface, la même quantité d'énergie se répartit sur une plus grande surface. C'est pourquoi le rayonnement solaire reçu par unité de surface diminue de l'équateur vers les pôles. De plus, la lumière doit

faire un plus grand trajet à travers l'atmosphère dans les régions polaires, ce qui contribue encore à diminuer l'intensité du rayonnement qui arrive au niveau du sol.

Ce déséquilibre fondamental de la répartition de l'énergie à la surface de la terre est le moteur qui anime la gigantesque machinerie climatique de la planète. Tous les mouvements du climat les dépressions, les orages, les courants marins, ne sont que la tentative perpétuelle de l'atmosphère et des océans pour essayer de rééquilibrer le déficit de chaleur des régions polaires. Les nuages sont une des conséquences de ces mouvements de l'atmosphère, vont être la seconde cause d'inégalité du rayonnement solaire à la surface de la terre. On interceptant régulièrement la quasi-totalité du rayonnement dans certaines régions, ils vont encore réduire la durée d'ensoleillement annuelle. Il en résulte que l'énergie solaire exploitable peut varier du l'endroit dans laquelle la planète est considéré.

I.1.5. Exploitations de l'énergie solaire

Du fait de sa nature et de sa puissance très variable à la surface de la terre en un point donné, il est difficile d'exploiter l'énergie solaire. Pour cela on utilise l'effet de serre, ou aussi les capteurs solaires, les fours solaires et les photopiles. Dans les procédés thermiques la puissance solaire sert à chauffer un gaz ou un liquide dans les dispositifs photovoltaïques, elle est directement convertie en énergie électrique sans mécanisme intermédiaire.

I.1.6. Les moyens de captage de l'énergie solaire

Le captage de l'énergie solaire se diffère suivant que l'on souhaite : produire de la chaleur ou de l'électricité. En effet, les deux technologies solaires, thermiques et photovoltaïques font appel à des approches techniques totalement différentes. Ce sont deux filières d'énergie renouvelable distinctes, faisant appel à des compétences et des matériels différents.

- *Produire de la chaleur :*

Grâce à des panneaux solaires thermiques, il est possible de convertir le rayonnement du soleil pour produire de l'eau chaude. Le principe utilisé est celui du tuyau d'arrosage qui est resté au soleil.

- *Produire de l'électricité :*

Il est possible de produire de l'électricité à partir de la lumière du soleil grâce à des panneaux solaires photovoltaïques. Les modules solaires photovoltaïques sont constitués, dans

la plupart des cas, d'un assemblage de cellules photovoltaïques en silicium. Le silicium est fabriqué à partir de la silice (notamment présente dans le sable), une matière abondante sur toute la Terre. Mais, il faut rendre ce silicium très pur ce qui nécessite un apport important d'énergie.

I.2. L'énergie solaire photovoltaïque

L'électricité est une des formes d'énergie qui s'adapte au mieux à chaque nécessité. Son utilisation est si étendue, qu'aujourd'hui on pourrait difficilement concevoir une société techniquement avancée qui n'en fasse pas usage.

Des milliers d'appareils sont dessinés pour fonctionner grâce à l'énergie électrique, soit sous forme de courant continu, soit à partir d'un courant alternatif. Il est très intéressant de produire de l'électricité avec une source d'énergie sûre et pas polluante, comme l'énergie solaire. Il existe deux méthodes pour pouvoir convertir l'énergie solaire en électricité, selon qu'on utilise l'énergie cinétique comme forme intermédiaire du procès de conversion :

- ✓ Systèmes de conversion thermodynamique.
- ✓ Systèmes directs, fondés sur les interactions physiques entre les photons de la radiation incidente et les électrons du matériau, l'effet photovoltaïque.

Les premières applications pratiques de l'électricité photovoltaïque se furent dans les véhicules spatiaux, permettant l'alimentation des équipements de commande, de mesure, ou de retransmission de données. Ensuite, la production industrielle de premiers panneaux ayant des applications terrestres domestiques a débuté. Bien qu'au début des années 80 ces panneaux n'aient pas été suffisamment compétitifs pour la production à grande échelle, ils ont tout de même permis l'électrification de logements isolés [4].

I.2.1. Historique

Nous allons maintenant aborder le cœur du phénomène photovoltaïque : la conversion de la lumière en électricité. Le mot « *Photovoltaïque* » vient du grec « *Photo* » qui signifie lumière et de « *Volta* » du nom du physicien italien, en 1800, découvrit la pile électrique. Mais c'est le savant français *Becquerel* qui le premier, 1839, mit en évidence cette conversion particulière de l'énergie : la variation de la conductivité d'un matériau sous l'effet de la lumière.

C'est dans les appareils photos que les premières « *cellules* » furent utilisées, pour mesurer le taux de lumière, avant l'arrivée du silicium, elles étaient à base de sélénium [5].

I.2.2. 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, Chaplin, 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 [5].

I.2.3. 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 [5].

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 [6].

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 [7].

La figure (I.1) montre la coupe transversale d'une cellule PV typique :

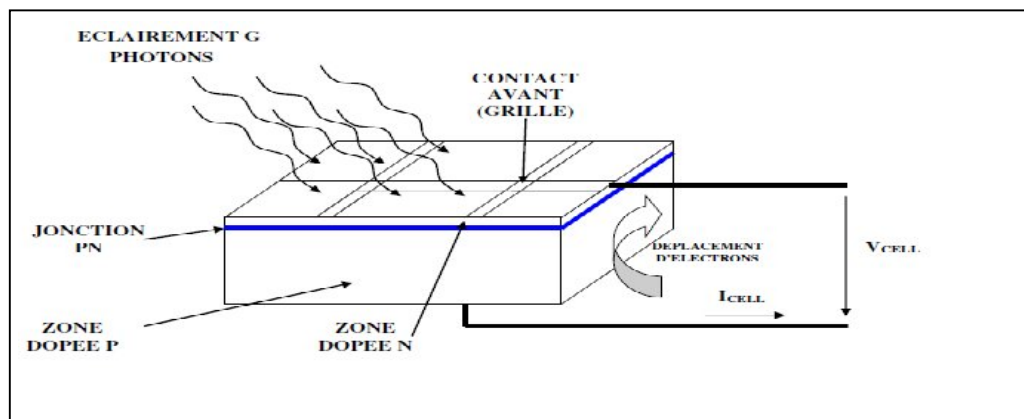


Fig. I.1 : Coupe transversale d'une cellule PV typique.

I.2.4. La Jonction P-N

La jonction P-N est un dispositif semi-conducteur constitué d'un cristal dont une partie a été dopée N et l'autre dopée P, les deux parties étant séparées par un plan dit de jonction. Examinons le fonctionnement d'un tel dispositif. Imaginons que l'on sépare la jonction en deux parties et qu'on relie la région N au pôle négatif d'un générateur et la région P au pôle positif (polarisation directe). Les électrons libres de la région N, ainsi que les trous libres de la

région P, vont vers la jonction, vu le sens de polarisation. Si les deux parties sont en contact, un courant passe. Les électrons sont injectés dans la région P et les trous dans la région N. On dit qu'il y a injection de porteurs minoritaires. Si l'on polarise la jonction en sens inverse, les électrons allant vers le pôle (+) et les trous vers le pôle (-), ils s'éloignent de la jonction, laissant au voisinage de celle-ci des charges dues aux impuretés ionisées. Mais ces impuretés sont des atomes rigidement liés au réseau cristallin, qui ne peuvent se déplacer. Si l'on met les deux parties en contact, on a au voisinage une région isolante, et la résistance du dispositif en polarisation inverse sera donc très élevée.

La jonction P-N joue donc le rôle d'un redresseur laissant passer le courant électrique en polarisation directe et présentant une très forte résistance en polarisation inverse. Si la polarisation est directe, il y a injection de porteurs minoritaires, par exemple des électrons dans la région P ; ces électrons ont tendance à se recombiner avec les trous présents en grand nombre dans cette région P ; ils le font au bout d'un temps t appelé durée de vie des porteurs minoritaires.

Cette durée de vie est l'un des paramètres fondamentaux qui détermine la qualité de la jonction. Plus t est grand, plus l'effet redresseur est marqué. Le silicium est à ce sujet le meilleur semi-conducteur connu (peut atteindre la valeur d'une milliseconde, alors qu'il est de l'ordre de la microseconde pour la plupart des autres semi-conducteurs). Un autre paramètre important est la longueur de diffusion : l'électron injecté dans la région P diffuse sur une certaine distance L avant de disparaître au bout du temps t ; c'est cette longueur moyenne parcourue par les électrons dans la région P qui est appelée longueur de diffusion. Elle est de l'ordre de plusieurs micromètres pour le silicium.

Si l'on soumet une jonction P-N de faible épaisseur à un flux lumineux, des paires électron-trou sont créées par les photons dont l'énergie est supérieure à la largeur de la bande interdite du matériau. Il en résulte une augmentation du courant inverse de saturation proportionnelle au flux lumineux. Physiquement, cet effet se traduit de deux manières selon le quadrant de fonctionnement du dispositif : dans le 3^{ème} quadrant, le système fonctionne en récepteur dont la résistance varie fortement avec l'éclairement, c'est la photorésistance ; dans le 4^{ème} quadrant, le système fonctionne en générateur dont le courant de court-circuit est proportionnel à l'éclairement et dont la tension à vide est celle de la diode en polarisation directe (0.5 à 0.8 Volts pour Si) ; c'est la cellule photovoltaïque à jonction P-N [7].

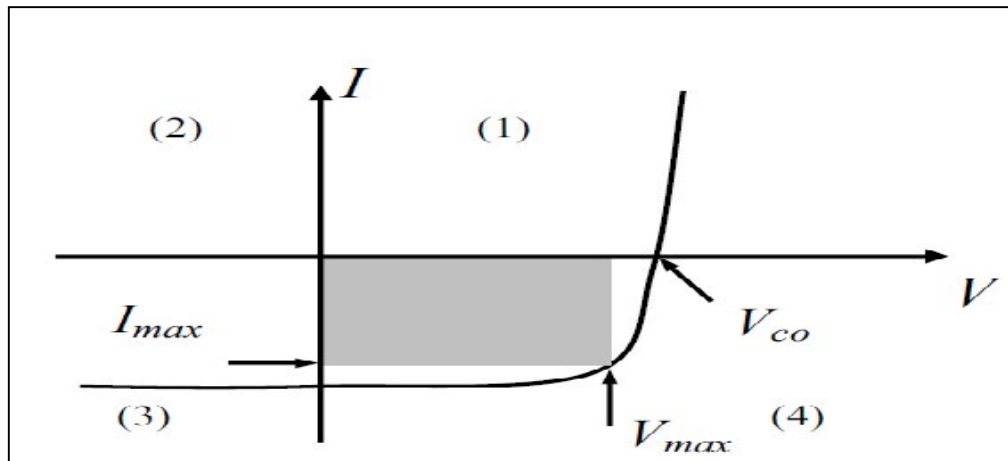


Fig. I.2 : Caractéristique courant-tension.

Nous allons maintenant nous intéresser uniquement au quadrant (4), pour la réalisation de générateurs photovoltaïques à partir de cellules photovoltaïques. Pour cela, nous allons représenter les caractéristiques dans un nouveau repère $I = f(V)$ donné par la figure (I.3) où le courant de saturation inverse est compté positivement. I_{cc} représente le courant de court-circuit et V_{co} la tension en circuit ouvert de la cellule photovoltaïque.

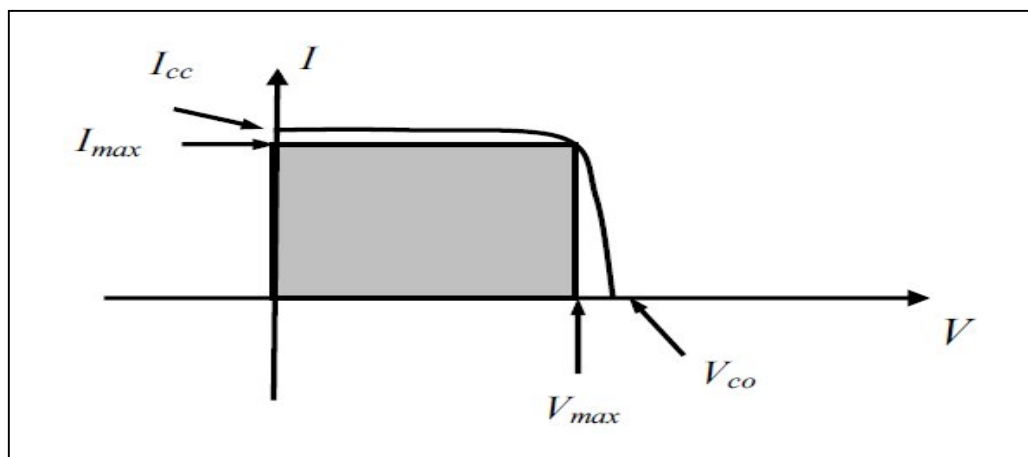


Fig. I.3 : Caractéristique I-V dans le nouveau repère.

I.2.5. Les différentes technologies des cellules solaires

De nos jours, il existe plusieurs types de cellule ayant des caractéristiques divers et variées, appropriée à une fonction ciblée. Nous allons donc cité les différentes technologies de fabrication de ces cellules [8].

➤ **Les cellules monocristallines :**

Les cellules monocristallines sont les photopiles de la première génération. Elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Elles ont un bon rendement, mais la méthode de production est laborieuse.



Fig. I.4 : Cellules photovoltaïques monocristallines.

- **Avantage :**

- ✓ très bon rendement.

- **Inconvénients:**

- ✓ Coût élevé, Rendement faible sous un faible éclairement.

➤ **Les cellules poly cristallines :**

Les cellules poly cristallines sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vues de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (tonalités différentes). Elles ont un rendement de 11 à 13%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est bleu, mais n'est pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux [8].

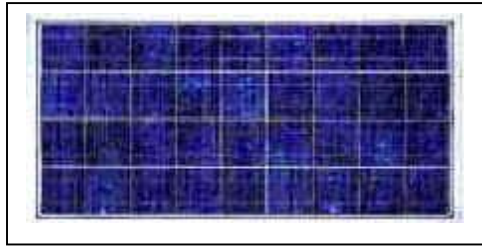


Fig. I.5 : Cellules photovoltaïques poly cristallines.

- **Avantages :**

- ✓ Bon rendement 13%, mais cependant moins bon que le monocristallin.
- ✓ Moins cher que le monocristallin
- ✓ Meilleur rapport qualité/prix.

- **Inconvénient :**

- ✓ Rendement faible sous un faible éclairage

- **Les cellules amorphes :**

Ces cellules sont composées d'un support en verre ou en matière synthétique sur lequel est disposé une fine couche de silicium (l'organisation des atomes n'est plus régulière comme dans un cristal). Leur rendement est de l'ordre de 5 à 10%, plus bas que celui des cellules cristallines. Elles sont appliquées dans les petits produits de consommation (montres, calculatrices) mais sont peu utilisées dans le cadre des installations solaires [8].



Fig. I.6: Cellules photovoltaïques amorphe.

- **Avantages :**

- ✓ Fonctionnent avec un éclairage faible (même par temps couvert ou à l'intérieur d'un bâtiment).

✓ Moins chères que les autres.

- **Inconvénients :**

- ✓ Rendement faible en plein soleil (environ 6%).

- ✓ Performances qui diminuent sensiblement avec le temps.

- **Cellule Tandem:**

Empilement monolithique de deux cellules simples. En combinant deux cellules (couche mince de silicium amorphe sur silicium cristallin par exemple) absorbant dans des domaines spectraux se chevauchant, on améliore le rendement théorique par rapport à des cellules simples distinctes, qu'elles soient amorphes, cristallines ou microcristallines [8].

- **Avantage :**

- ✓ sensibilité élevée sur une large plage de longueur d'onde.

- **Inconvénient :**

- ✓ coût élevé dû à la superposition de deux cellules.

- **Cellule multi-jonction:**

Des cellules ayant une grande efficacité ont été développées pour des applications spatiales. Les cellules multi-jonctions sont constituées de plusieurs couches minces. Chaque type de semi-conducteur est caractérisé par une longueur d'onde maximale au-delà de laquelle il est incapable de convertir le photon en énergie électrique. D'un autre côté, en deçà de cette longueur d'onde, le surplus d'énergie véhiculé par le photon est perdu. D'où l'intérêt de choisir des matériaux avec des longueurs aussi proches les unes des autres que possible (en multipliant leur nombre d'autant) de manière à ce qu'une majorité du spectre solaire soit absorbé, ce qui génère un maximum d'électricité à partir du flux solaire [8].

I.2.6. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

a) Avantages [9]

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...).



Structure en brise soleil



Modules bi-verre intégrés



Structure en façade

Fig. I.7 : Exemples d'installations photovoltaïques intégrées.

- 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.

b) Inconvénients [9]

- 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.

Malgré les inconvénients, le marché photovoltaïque ne cesse pas de trouver des applications et de s'agrandir. En plus, la technologie photovoltaïque est dans un processus de maturation dans laquelle les inconvénients pourraient s'atténuer, surtout à ce qui concerne les coûts de fabrication.

I.3. Caractéristique courant-tension

La figure ci-dessous représente la courbe $I = f(V)$ d'un panneau photovoltaïque Typique dans des conditions constantes d'irradiation et de température [10]:

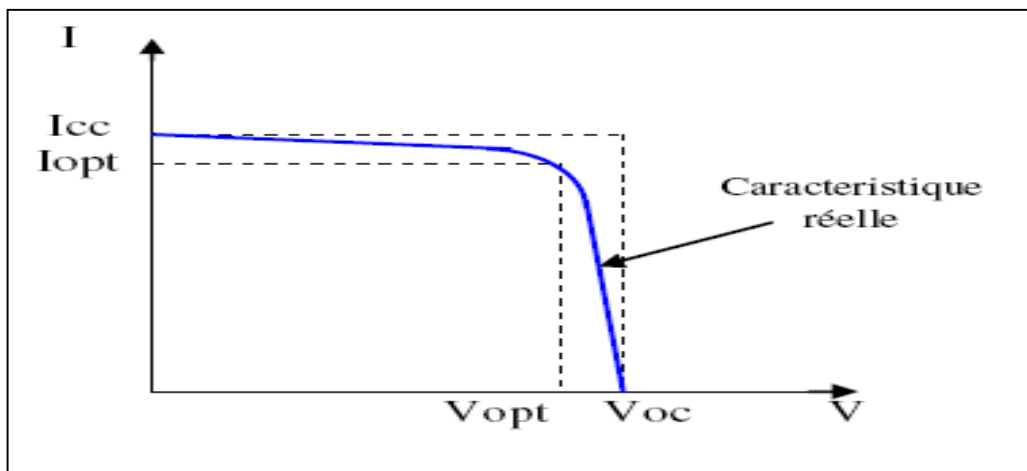


Fig. I.8 : Courbe $I = f(V)$ d'un panneau photovoltaïque.

I.3.1. Influence de l'éclairement

La figure (I.9) présente un exemple des courbes pour différents niveaux de rayonnement :

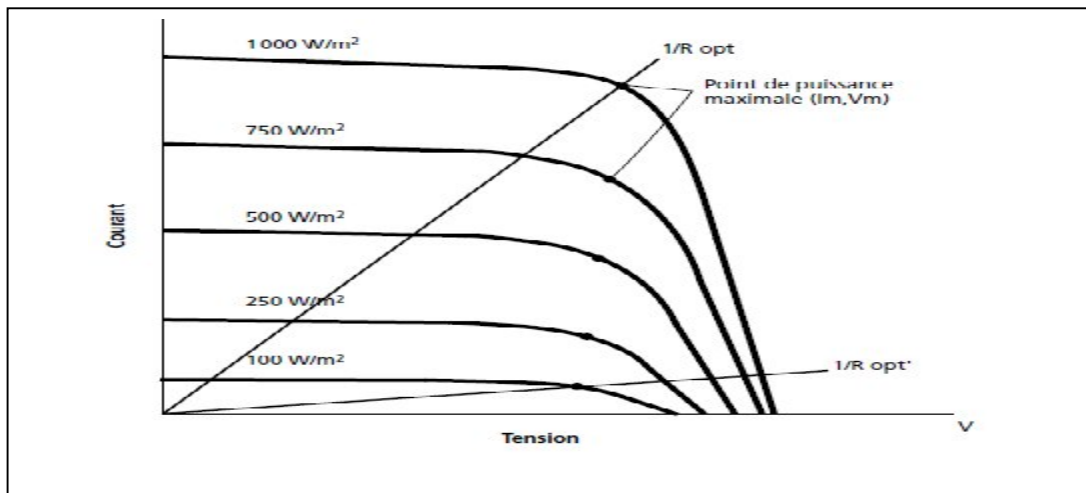


Fig. I.9 : Caractéristique d'un générateur photovoltaïque pour différents éclairages.

On remarque que la valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions, elle reste quasiment identique même à faible éclairement. L'irradiation standard, internationalement acceptée, pour mesurer la réponse des panneaux photovoltaïques est une intensité rayonnante de 1000 W/m^2 et une température de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ [10].

I.3.2 : Influence de la température

La figure (I.10) présente des courbes courant-tension pour différentes températures de fonctionnement de la cellule photovoltaïque:

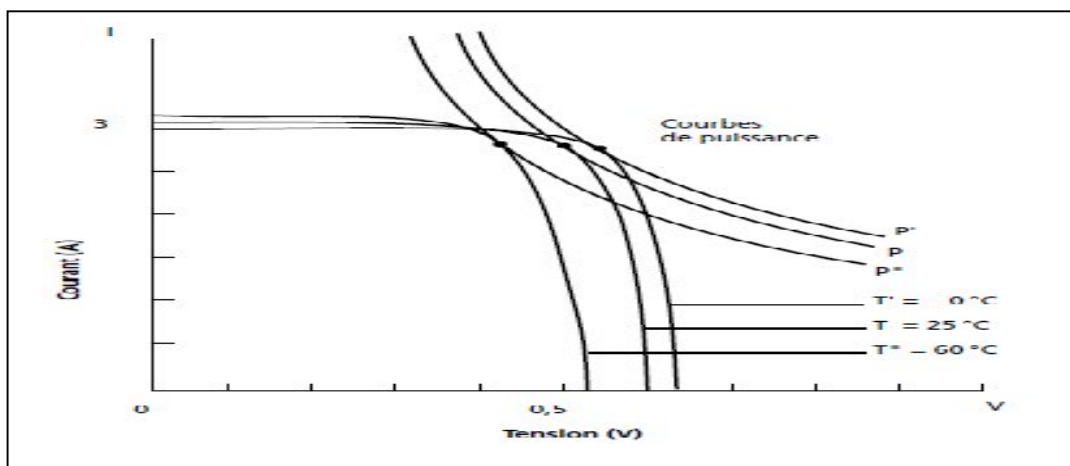


Fig. I.10 : Influence de la température sur la caractéristique électrique.

On remarque que la température a une influence négligeable sur la valeur du courant de court-circuit. Par contre, la tension en circuit ouvert baisse assez fortement lorsque la

température augmente, par conséquent la puissance extractible diminue. Lors du Dimensionnement d'une installation, la variation de la température du site sera impérativement à prendre en compte. Il est important de savoir que la puissance du panneau diminue environ de 0,5% par chaque degré d'augmentation de la température de la cellule au dessus de 25 °C [10].

I.3.3. Association de cellules photovoltaïques en série

Dans un groupement en série, les cellules sont traversées par le même courant et la caractéristique résultante du groupement en série (indice s) est obtenue par addition des tensions à courant donné. La figure montre la caractéristique résultante (I_{scs} , V_{soc}) obtenue en associant en série ns cellules identiques (I_{cc} , V_{co}) [10] :

$$I_{scs} = I_{cc} \text{ et } V_{sco} = n_s V_{co}$$

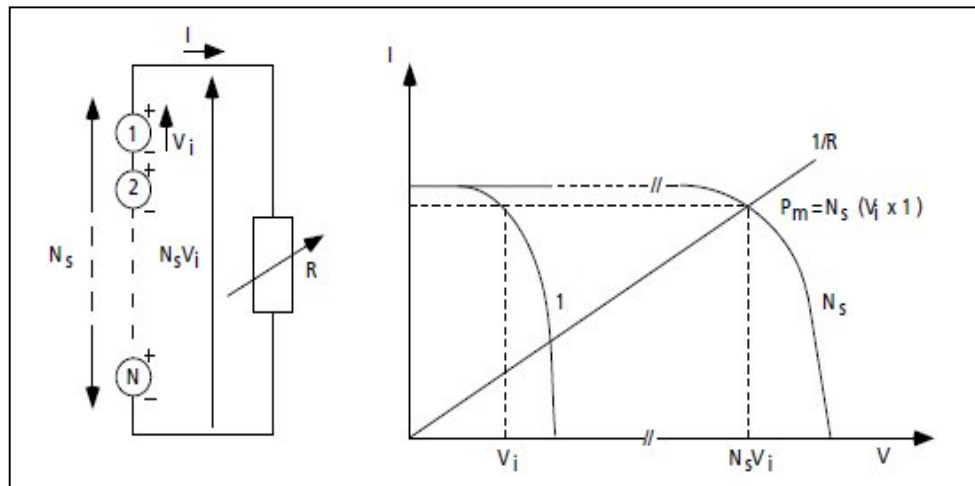


Fig. I.11 : Caractéristique résultante d'un groupement en série de ns cellules identiques.

I.3.4 : Association de cellules photovoltaïques en parallèle

Les propriétés du groupement en parallèle des cellules sont duales de celles du groupement en série. Ainsi, dans un groupement de cellules connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultante du groupement est obtenue par addition des courants à tension donnée. La figure (I.12) montre la caractéristique résultante (I_{pcc} , V_{pco}) obtenue en associant en parallèle (indice p) np cellules identiques (I_{cc} , V_{co}) [10].

$$I_{pcc} = np \cdot I_{cc} \text{ et } V_{pco} = V_{co}$$

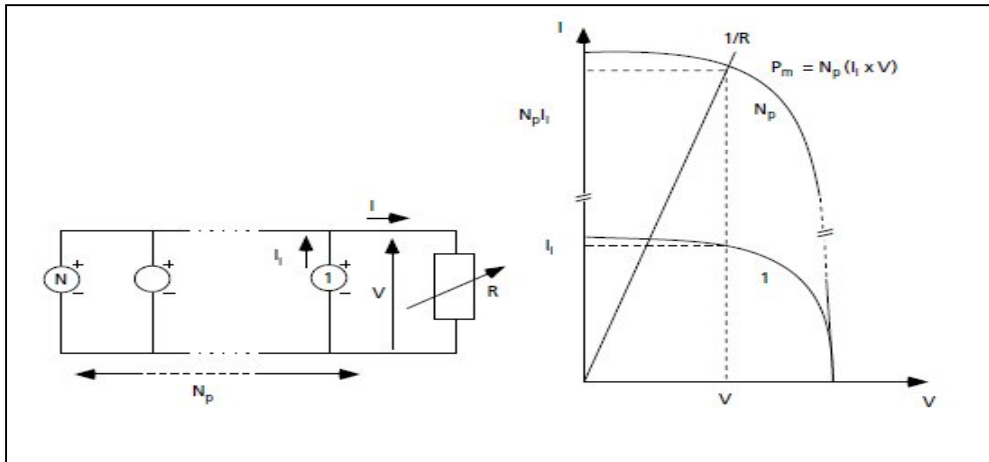


Fig. I.12 : Caractéristique résultante d'un groupement constitué de N_p cellules identiques en parallèle.

I.3.5. Association hybride (en série et en parallèle)

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit total et de la tension à vide totale sont données par les relations :

$$I_{cc}^t = n_p \cdot I_{cc}$$

$$V_{co}^t = n_s \cdot V_{co}$$

Avec :

n_p : nombre des cellules en parallèle,

n_s : nombre des cellules en série.

La figure (I.13) montre la caractéristique résultante obtenue en associant, en série n_s et en parallèle n_p , cellules identiques.

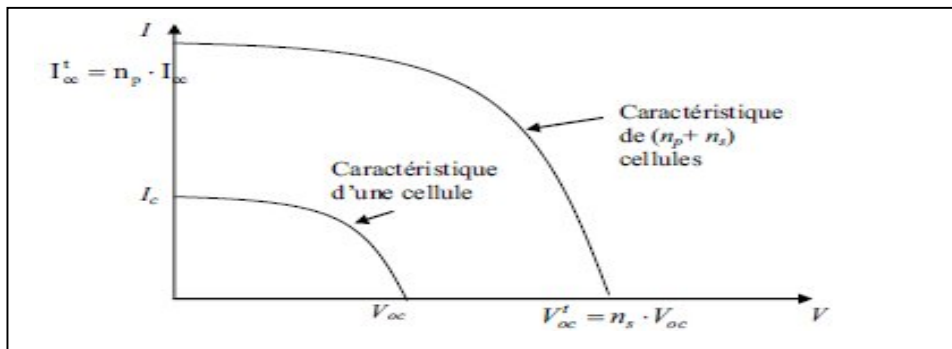


Fig. I.13 : Caractéristique résultante d'un groupement hybride de $(n_p + n_s)$ cellules identiques.

Selon l'association en série et/ou parallèle de ces cellules, les valeurs du courant de court-circuit I_{cc} et de la tension à vide V_{co} sont plus ou moins importantes (Fig. I.13). La caractéristique d'un générateur photovoltaïque constitué de plusieurs cellules a une allure générale assimilable à celle d'une cellule élémentaire, sous réserve qu'il n'y ait pas de déséquilibre entre les caractéristiques de chaque cellule (irradiation et température uniformes) [10].

I.4. La modélisation d'une cellule photovoltaïque

I.4.1 : Introduction

La modélisation d'un système physique conduit à des équations mathématiques régissant la dynamique de ce système, d'où un modèle est la représentation mathématique d'une entité réelle et de son fonctionnement : quand on dispose d'un modèle, on peut simuler le comportement de cette entité.

L'objectif de cette étude consiste à obtenir les caractéristiques dynamiques de la cellule photovoltaïque en utilisant le software Labview version 2010. La cellule solaire est un dispositif semi-conducteur dont le modèle mathématique est toujours lié à ce qu'on veut en faire, mais reste toujours basé sur un circuit électrique avec différents paramètres.

Une cellule solaire est représentée (dans la littérature) par plusieurs modèles, chacun d'eux est régi par une expression mathématique (analytique) en fonction des paramètres technologiques de la cellule tels que le courant et la tension. Ce qui nous ramène à écrire les algorithmes appropriés pour représenter initialement la caractéristique courant tension puis puissance tension ... etc. Parmi ces modèles on peut citer les suivants:

I.4.2. Modèle idéal

C'est le modèle le plus simple pour représenter la cellule solaire, car il ne tient compte que du phénomène de diffusion (Fig. I.14). 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 photo-courant I_{ph} , qui est directement proportionnel à l'éclairement solaire E . [11] L'équation courant tension I-V du circuit équivalent simplifié est déduite à partir de la loi de Kirchhoff (première loi de Kirchhoff : la somme de tous les courants entrant et sortant d'un point est égale à zéro):

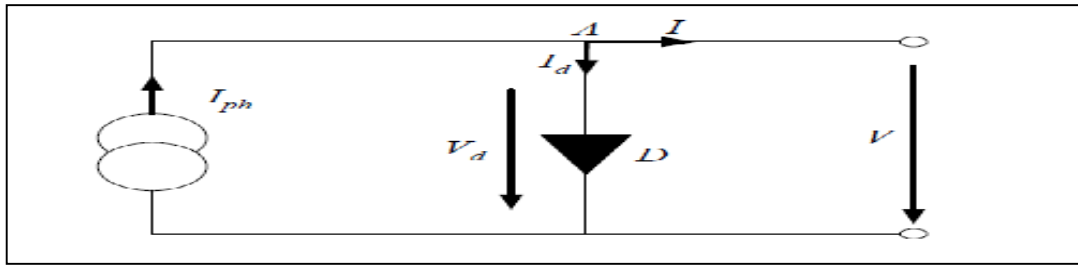


Fig. I.14 : Schéma équivalent électrique d'une cellule photovoltaïque.

A partir du nœud A on a :

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

$$\text{Avec: } I_d = I_s \cdot (e^{(V/V_T)} - 1) \quad (I.2)$$

$$\text{D'où: } I = I_{ph} - I_s \cdot (e^{(V/V_T)} - 1) \quad (I.3)$$

Avec :

I_{ph} : photo courant.

I_d : courant de diode.

I_s : courant inverse de saturation de la diode.

$V_T = (A \cdot K \cdot T) / q$: Tension thermique.

A : coefficient d'idéalité de la cellule.

$K = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/k}$: constante de Boltzmann.

T : température absolue, $[T] = \text{k}$ (kelvin).

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

En circuit ouvert, le courant $I=0$ et $V \rightarrow V_{co}$, qui est la tension en circuit ouvert $I_{ph} - I_d = 0$.

$$I_{ph} - (e^{(V_{co}/V_T)} - 1) I_s = 0, \text{ donc : } V_{co} = V_T \cdot \log((I_{ph} / I_s) + 1) \quad (I.4)$$

I.4.3. Modèle avec pertes ohmiques

Le deuxième modèle, tient compte de la résistivité du matériau et des pertes ohmiques dues aux niveaux des contacts, ce qui permet une meilleure représentation du comportement

électrique de la cellule par rapport au modèle idéal. Ces pertes sont représentées par une résistance série R_s dans le circuit équivalent représenté ci dessous [11] :

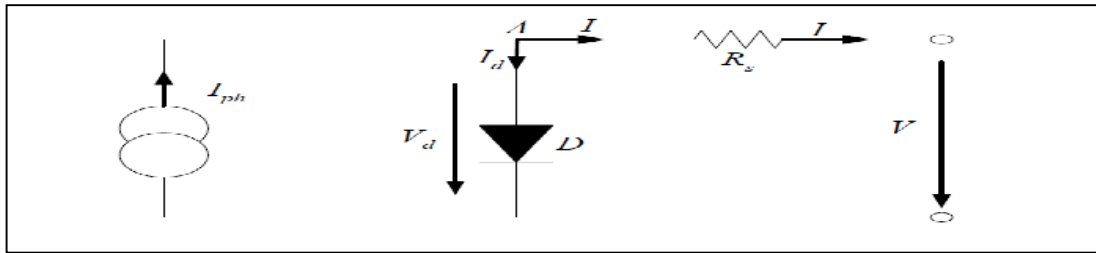


Fig. I.15: Circuit équivalent d'une cellule solaire, modèle avec R_s .

Après analyse du circuit, l'équation courant tension est donnée comme suit :

$$I = I_{ph} - I_s \cdot (e^{(V + I \cdot R_s) / V_T} - 1) \quad (I.5)$$

Avec :

- R_s : résistance série qui tient compte des pertes en tension dues aux contacts externes.

I.4.4. Modèle 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_p (voir Fig. I.16) [11].

Remarque : La résistance parallèle R_p est en générale très élevée, et lorsqu'elle est trop faible, la cellule solaire ne donnera plus de tension sous faible éclairement.

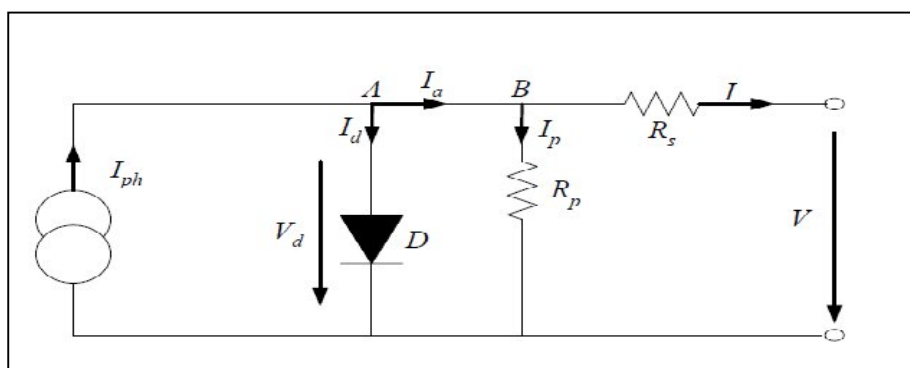


Fig. I.16 : Circuit équivalent d'une cellule solaire, modèle à une diode.

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (I.6)$$

$$I = I_s \cdot (e^{(V+I \cdot R_s)/V_T} - 1) \quad (I.7)$$

$$I_p = V_d / R_p = (V + I \cdot R_s) / R_p \quad (I.8)$$

$$I = I_{ph} - I_s \cdot (e^{(V+I \cdot R_s)/V_T} - 1) - ((V + I \cdot R_s) / R_p) \quad (I.9)$$

Avec:

- R_p : résistance parallèle simulant les pertes en courant de la cellule solaire.

L'équation (I.9) en termes de I et V n'est pas tellement facile à résoudre comparativement à l'équation du circuit équivalent simplifié.

I.4.5. Modèle à deux diodes

Le schéma du circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque qui est largement utilisé, est représenté sur la figure (I.17) :

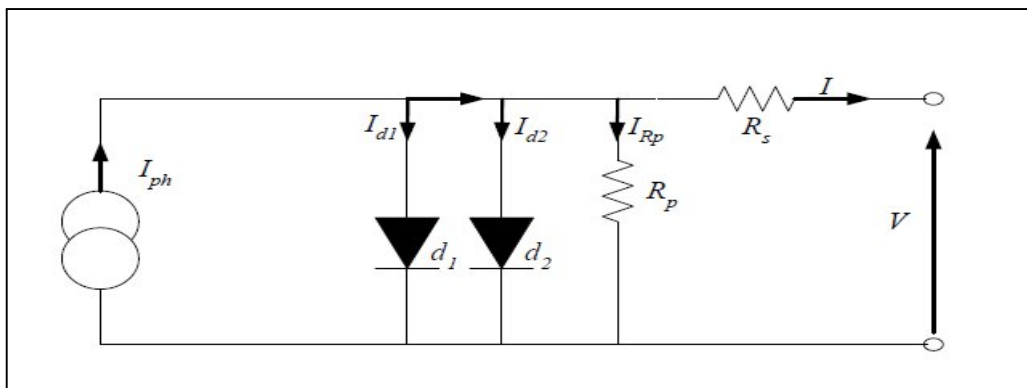


Fig. I.17 : Schéma du modèle équivalent à deux diodes d'une cellule photovoltaïque.

Comme la montre le schéma de la figure (I.17) une photopile comporte une résistance série R_s et une résistance en dérivation ou shunt R_p . Ces résistances auront une certaine influence sur la caractéristique I-V de la photopile [12] :

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

D'après la figure (I.17) le modèle mathématique pour la caractéristique courant-tension est donnée par :

$$I = I_{ph} - I_{s1} \cdot (e^{q(V+I \cdot R_s)/(n_1 \cdot K \cdot T)} - 1) - I_{s2} \cdot (e^{q(V+I \cdot R_s)/(n_2 \cdot K \cdot T)} - 1) - ((V + I \cdot R_s) / R_p) \quad (I.10)$$

Ou :

- I et V : Courant et tension de sortie de la cellule photovoltaïque.
- I_{ph} : Photo-courant produit.
- I_{s1} et I_{s2} : Les courants de saturation des diodes.
- n_1 et n_2 : les facteurs de pureté de la diode.
- R_s et R_p : Respectivement la résistance série et la résistance parallèle.
- T : Température absolue en Kelvin.
- q : Charge élémentaire constante ($1,602 \cdot 10^{-19}$ C).
- K : Constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K).

1.4.6. Modèle simplifié du modèle à une diode

Ce modèle est plus simplifié exigeant peu de paramètres à estimer, c'est un modèle uniquement avec une diode. L'expression du courant photovoltaïque est donné par :

$$I_{pv} = I_{cc} \left(1 - K_1 e^{(K_2 V_{pv}^{m-1})} \right) \quad (I.10)$$

Où les coefficients K_1 , K_2 , K_3 , K_4 et m sont des constantes calculées indépendamment à partir des conditions Standard test météorologiques (STC). Ils sont donnés par les formules suivantes:

$$K_1 = 0.01175 \quad (I.11)$$

$$K_2 = \frac{K_4}{V_{oc}^m} \quad (I.12)$$

$$K_3 = \ln \left[\frac{I_{cc}(1 + K_1) - I_m}{K_1 I_{cc}} \right] \quad (I.13)$$

$$K_4 = \ln \left[\frac{1 + K_1}{K_1} \right] \quad (I.14)$$

$$m = \frac{\ln \left[\frac{K_3}{K_4} \right]}{\ln \left[\frac{V_m}{V_{oc}} \right]} \quad (I.15)$$

Où :

I_m : Courant au point de puissance maximale appelé aussi courant optimum (i_{opt}).

V_m : Tension au point de puissance maximale appelé aussi tension optimale (v_{opt}).

I_{cc} : Courant en court-circuit.

V_{co} : Tension en circuit ouvert.

Il est à noter que l'équation (I.19) est applicable que pour un niveau d'insolation E et de température particuliers, relatif aux conditions standard de fonctionnement. Quand l'insolation et la température varient, le courant I_{pv} et la tension V_{pv} changent suivant les équations suivantes :

$$\Delta T_c = T_c - T_{cref} \quad (I.16)$$

$$\Delta I_{pv} = \alpha_{cc} \left(\frac{E}{E_{ref}} \right) \Delta T_c + \left(\frac{E}{E_{ref}} - 1 \right) I_{cc,ref} \quad (I.17)$$

$$\Delta V_{pv} = -\beta_{oc} \Delta T_c - R_s \Delta I_{pv} \quad (I.18)$$

Avec :

ΔT_c : Représente la variation de la température.

ΔI_{pv} : Représente la variation du courant par rapport à l'insolation et à la température.

ΔV_{pv} : Représente la variation de la tension par rapport à l'insolation et à la température.

α_{cc} : Représente un coefficient de température, d'incrément de courant I_{cc} quand la température de la surface augmente de un degré Celsius ($A/^{\circ}C$) (sous les conditions standard de fonctionnement).

β_{oc} : Représente un coefficient de température, d'incrément de la tension V_{oc} quand la température de la surface augmente de un degré Celsius ($V/^{\circ}C$) (sous les conditions standard de fonctionnement)

α_{cc} et β_{oc} sont appelés coefficients de température.

Les nouvelles valeurs de la tension et du courant photovoltaïque sont donnés par :

$$V_{pv,nouv} = V_{pv} + \Delta V_{pv} \quad (I.19)$$

$$I_{pv,nouv} = I_{pv} + \Delta I_{pv} \quad (I.20)$$

1.4.7. Modèle explicite

Ce modèle suivant est développé par Borowy et Salameh en (1996). Ce modèle explicite se caractérise par sa résolution très simple. Il nécessite seulement quatre paramètres (I_{cc} , V_{co} , I_m , V_m).

$$I = I' + \Delta I \quad (I.21)$$

$$I = I_{cc} \left[1 - C_1 e^{\left(\frac{n_s V}{C_2 V_{oc}} \right) - 1} \right] - \Delta I \quad (I.22)$$

Avec :

$$C_1 = \left(1 - \frac{I_m}{I_{cc}}\right) e^{\left(\frac{V_m}{C_2 V_{oc}}\right)} \quad (I.23)$$

$$C_2 = \frac{\frac{V_m}{V_{oc}} - 1}{\ln\left(1 - \frac{I_m}{I_{cc}}\right)} \quad (I.24)$$

$$\Delta I = \alpha_{ref} \left(\frac{E}{E_{ref}}\right) (T_c - T_{cref}) + \left(\frac{E}{E_{ref}} - 1\right) I_{cc} \quad (I.25)$$

$$V = V' + \Delta V \quad (I.26)$$

Avec :

$$\Delta V = \beta_{ref} (T_c - T_{cref}) + R_s \Delta I \quad (I.27)$$

I.5. Méthode Volt-Ampère-métrique

La méthode classique utilisée pour caractériser le panneau photovoltaïque est la méthode volt-ampérométrique (montage aval). Le principe de cette méthode est de mesurer la tension et le courant tout en variant la charge (rhéostat).



Fig. I.18 : Montage Volt-Ampère-métrique.

I.6 Résultats obtenus :

a) Résultats pratiques

Pour obtenir des couplets éclairement-température de valeur croissante (faible, moyenne et forte), nous avons effectué des mesures tout au long d'une journée bien ensoleillée (12/06/12) et à différents instants.

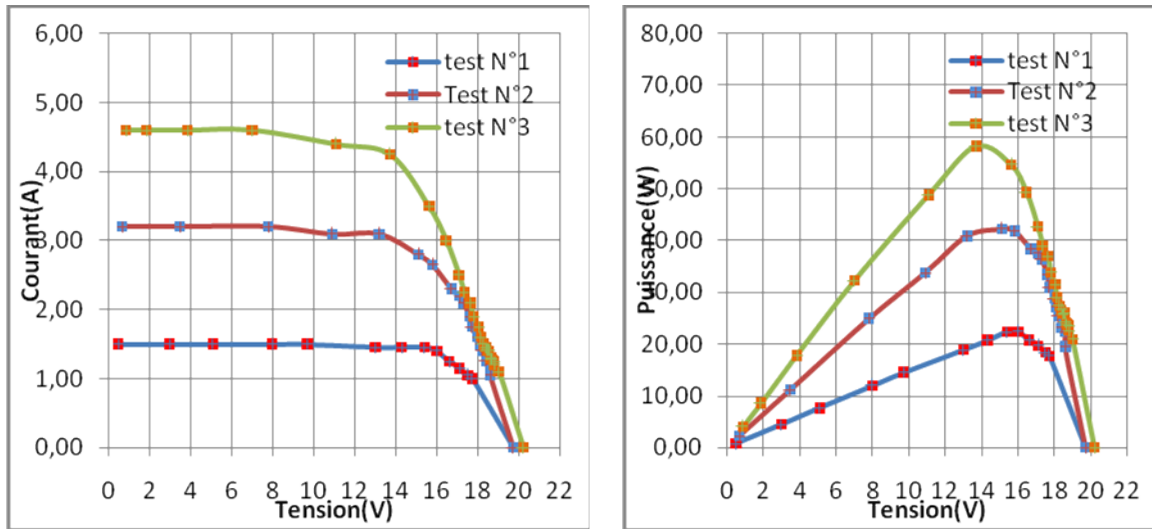


Fig I.19 : Caractéristique I(V) et P(V) par le montage Volt-Ampère-métrique.

b) Résultats de simulation

Afin de valider les résultats expérimentaux, nous avons effectué des simulations sous Matlab/Simulink dans les mêmes conditions. Nous avons choisi le modèle à une diode dans la modélisation, vu sa simplicité et son rapprochement le plus des résultats pratiques . Nous obtenons les résultats suivants :

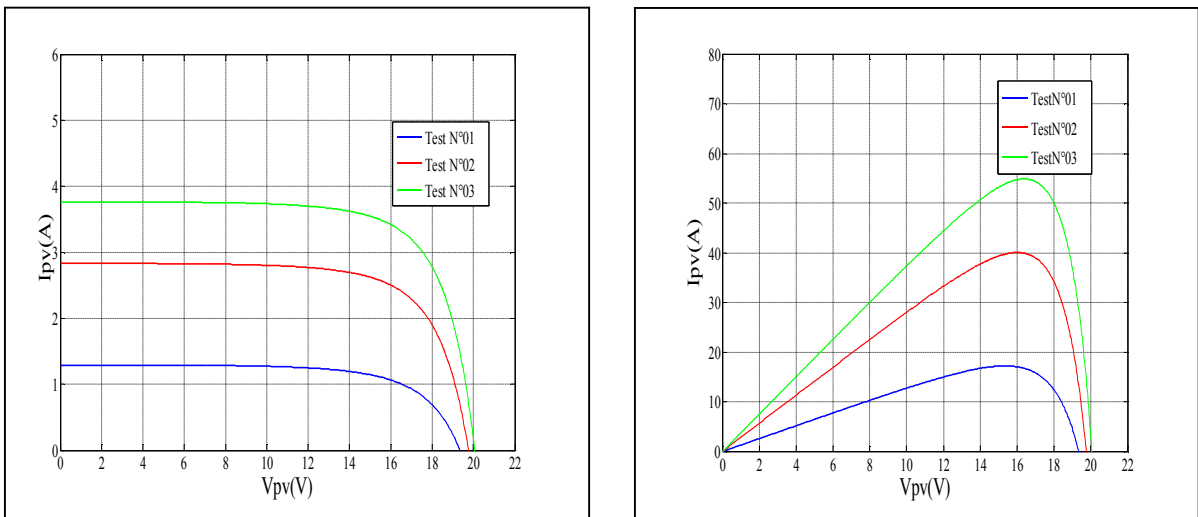


Fig I.20 : Caractéristique I(V) et P(V) par simulation sous Matlab/Simulink.

Nous remarquons une bonne concordance entre les résultats par simulation et ceux obtenus expérimentalement.

1.7. Les capteurs

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable exemple : une tension électrique en peut trouver plusieurs types selon l'utilisation, le besoin, capteur de température, capteur d'ensoleillement, capteur de tension et courant...etc.

I.7.1 : Capteur de température

Les capteurs de températures sont des composants dont une caractéristique de sortie varie proportionnellement à la température. Cette caractéristique de sortie peut être une variation de résistance, de courant, de tension, il existe beaucoup de composant parmi cela en trouve [12]:

- ✓ **La thermistance, CTP ou CTN** : Ce composant est une résistance dont la valeur ohmique varie en fonction de sa température.

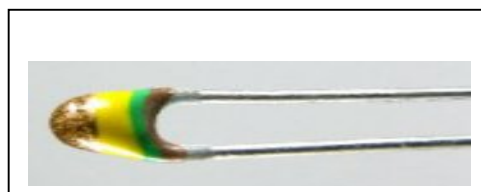


Fig. I.21 : Thermistance.

- ✓ **La diode et le transistor** : La diode et le transistor peuvent être utilisés comme capteur de température. La tension présente aux bornes d'une jonction PN, sous un courant constant, est en effet dépendante de la température. La variation de la tension est de l'ordre de $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.

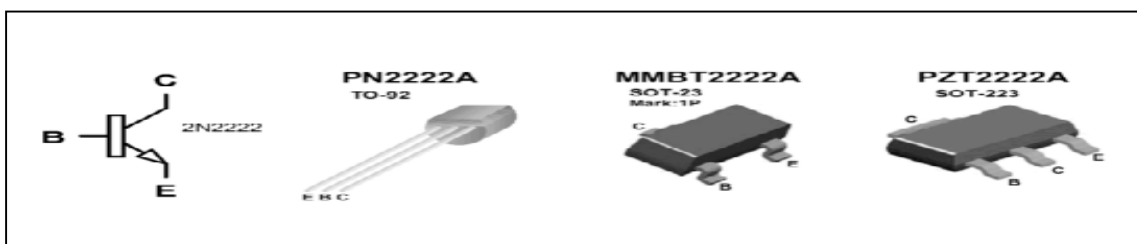


Fig. I.22 : Transistors.

- ✓ **La photodiode :** Une photodiode est un composant semi-conducteur ayant la capacité de détecter un rayonnement du domaine optique et de le transformer en signal électrique.

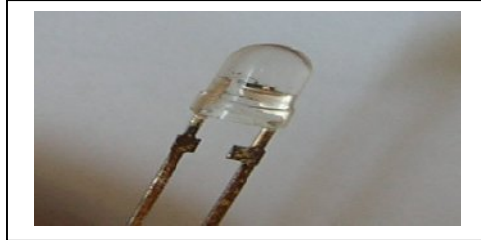


Fig. I.26 : Photodiode.

- ✓ **Le phototransistor :** Un phototransistor est un transistor bipolaire dont la base est sensible au rayonnement lumineux ; la base est alors dite flottante puisqu'elle est dépourvue de connexion. Lorsque la base n'est pas éclairée, le transistor est parcouru par le courant de fuite. L'éclairage de la base conduit à un photo-courant I_{ph} que l'on peut nommer courant de commande du transistor.



Fig. I.27 : Phototransistor.

I.7.3 : Capteur de courant

Dans le but de mesurer la puissance de sortie de générateur photovoltaïque, deux paramètres sont mesurés instantanément : le courant de sortie avec ou sans isolation galvanique ainsi que la tension de sortie. L'isolation galvanique représente l'absence de circulation de courant entre deux circuits. Parmi les capteurs de courant traditionnels [12]:

- ✓ **Shunt :**

La mesure du courant à l'aide d'un shunt est une méthode très classique. En branchant un voltmètre en parallèle sur un shunt, nous pouvons mesurer la

chute de tension créée par celui ci, et par suite calculer l'intensité du courant en utilisant la loi d'Ohm.

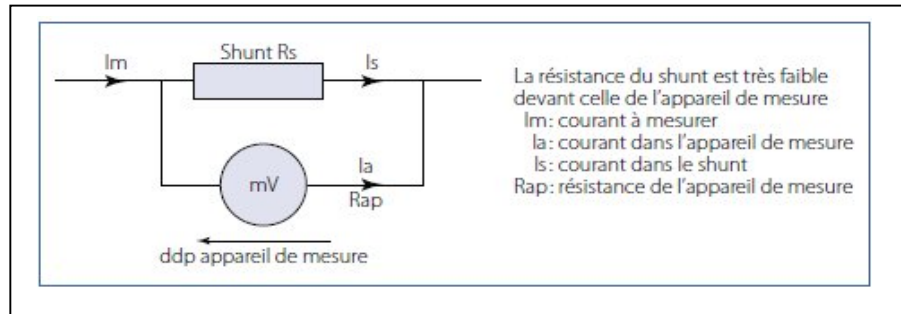


Fig. I.28 : Mesure de tension aux bornes d'un shunt.

✓ **Capteur de courant à effet Hall :**

Le capteur de courant à effet Hall est type de capteur de courant exploitant l'effet Hall pour produire une tension qui est l'image exacte (avec un facteur de proportionnalité connu) du courant à mesurer ou à visualiser.

▪ **Effet Hall :**

L'effet Hall dit « classique »: un courant électrique traversant un matériau baignant dans un champ magnétique engendre une tension perpendiculaire à ce dernier.

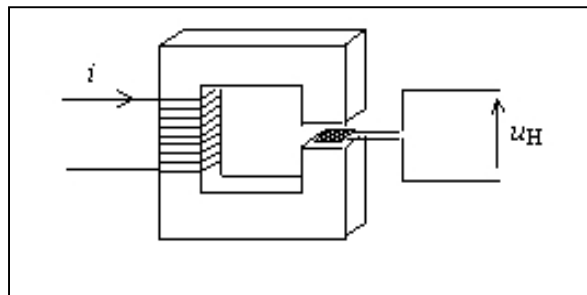


Fig. I.29 : Capteur a effet Hall.

I.7.4 : Capteur de tension:

Le générateur photovoltaïque délivre une tension de sortie important. Afin de diminuer cette dernière on utilise une série de résistances en parallèle avec le générateur pour obtenir un diviseur de tension qui va nous permettre d'avoir une tension réduite. [12]

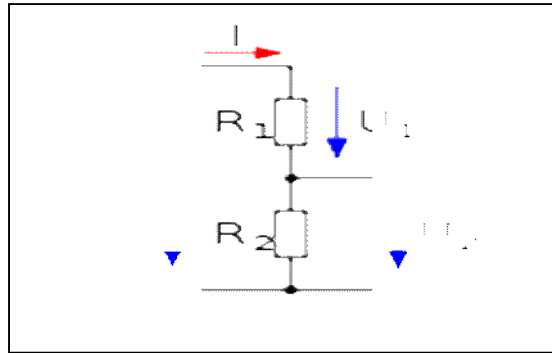


Fig. I.30 : Diviseur de tension.

Conclusion :

Nous avons présenté dans ce chapitre le moyen de conversion de la lumière en électricité à travers la cellule photovoltaïque ainsi sa caractéristique $I(V)$ qui varie en fonction de la température et d'ensoleillement d'où on a conclu que :

- La tension de circuit ouvert V_{co} diminue avec l'augmentation de la température. Par contre, la variation du courant de court circuit est négligeable.
- La valeur du courant de court-circuit est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement. Par contre, la tension en circuit ouvert ne varie pas dans les mêmes proportions.

Afin d'obtenir les caractéristiques électriques $I(V)$ et $P(V)$, nous allons utiliser le logiciel LabVIEW que nous allons présenter dans le chapitre suivant.

Introduction

Pour le système d'acquisition nous utiliserons une carte de type PCI référence NI-6259 et le logiciel Labview. Ce chapitre sera consacré à la description du système d'acquisition.

II.1. Description de la carte d'acquisition

Comme nous l'avons déjà cité, la carte choisie est une **NI-PCI-6259** de National Instruments. Cette dernière est une carte d'acquisition de données multifonction haute vitesse de la Série « **M** », optimisée pour une excellente précision aux fréquences d'échantillonnage élevées. « **NI** » représente le nom du constructeur national instrument, « **PCI** » c'est le port de communication avec le micro-ordinateur et « **6259** » est le numéro (classement) de la carte [13].

II.1.1. Caractéristique de la carte

La figure (II.1) montre la carte d'acquisition utilisé pour le travail a effectué, cette carte comporte :

- 32 entrées analogiques 16 bits, 1 Méch./s (multivoie), 1,25 Méch./s (monovoie).
- 4 sorties analogiques 16 bits, 2,8 Méch./s ; 48 E/S numériques ; compteurs 32 bits.
- Certificat d'étalonnage du NIST (National Institute of Standards and Technology) et plus de 70 options de conditionnement de signaux.
- Technologie d'étalonnage NI-MCal, pour une précision de mesure accrue E/S numériques corrélées (32 voies cadencées, 10 MHz) ; déclenchement analogique et numérique.
- Précision de mesure, une résolution et une sensibilité accrues.
- Elle est accompagné par son propre logiciel interactif d'enregistrement de données NI LabVIEW.

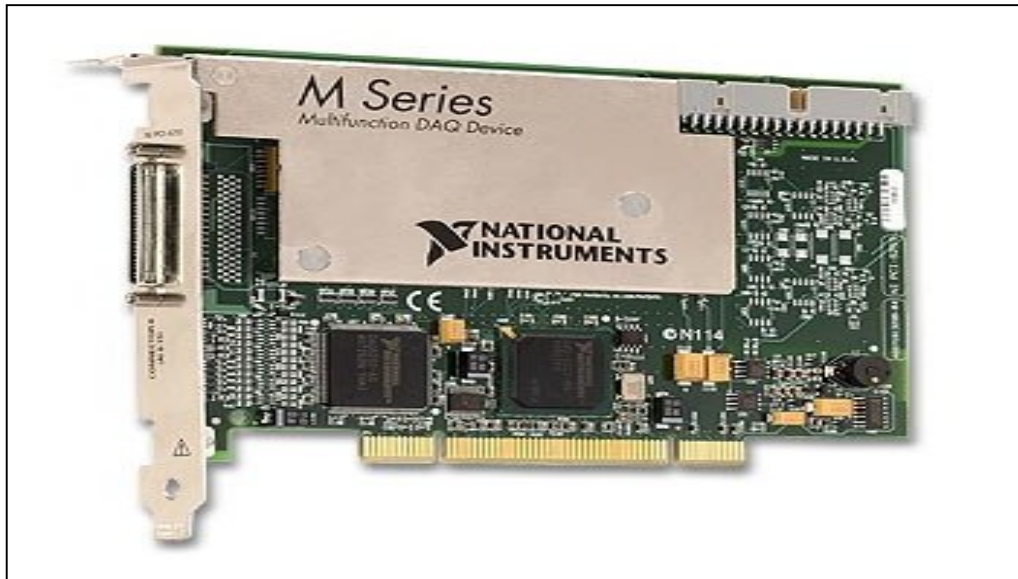


Fig. II.1 : Carte d'acquisition [13].

II.2. logiciel de la carte

Pour pouvoir acquérir les différentes données et les traiter sur micro ordinateur, nous faisons appel au logiciel qui gère cette carte qui est le LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), ce dernier est un environnement de développement en langage G. Il a été créé en 1986, initialement pour Apple Macintosh, qui était à l'époque l'un des seuls ordinateurs proposant une interface graphique native. L'histoire de Labview explique un vocabulaire spécifique, et explique encore certaines actions. A l'origine, Labview s'exécute sur des écrans noir et blancs, puis sur des écrans 16 couleurs, 256 couleurs, etc. [14].

LabVIEW est un environnement de développement propriétaire (*par opposition à un environnement ouvert, permettant à plusieurs personnes de développer des compilateurs compatibles, comme pour C/C++, Ada, Java, Fortran, etc.*) développé et vendu par la société national Instruments (NI). Le premier métier de NI est de fabriquer du matériel d'acquisition rapidement destiné au marché des micro-ordinateurs (*IBM PC, Apple Macintosh*). Ainsi, la première version de Labview s'attache à offrir un environnement de développement dont le rôle est de permettre simplement à l'utilisateur de créer des instruments virtuels (*Virtual instrument, ou VI*) utilisant le matériel d'acquisition NI pour reproduire sur un micro-ordinateur le comportement d'un instrument personnalisé et personnalisable à volonté.

II.2.1 Le concept d'instrument virtuel

L'idée de base est d'utiliser une carte d'acquisition ou un périphérique d'acquisition, dont le rôle est d'acquérir un signal électrique provenant de l'extérieur, généralement un capteur (*thermocouple, débitmètre, voltmètre, etc.*) ou un ensemble de capteurs, effectuer un traitement, un enregistrement dans un fichier ou une base de données, une restitution à l'écran via une interface graphique, et éventuellement effectuer un ensemble d'actions sur le monde extérieur à l'aide d'actionneurs (*électrovanne, moteur, etc.*). Les variations possibles sont infinies en fonction des besoins et de leurs évolutions.

L'avantage de l'instrument virtuel sur l'instrument réel est indéniable, puisqu'il est du ressort du programmeur de l'instrument virtuel (*par conséquent... vous...*) de faire évoluer l'instrument virtuel en fonction des besoins (*interrogation via le réseau, tolérance aux pannes, gestion de différentes vues, calculs, etc.*).

La figure (II.2) présente les étapes classiques du phénomène physique à sa visualisation sur un instrument réel.

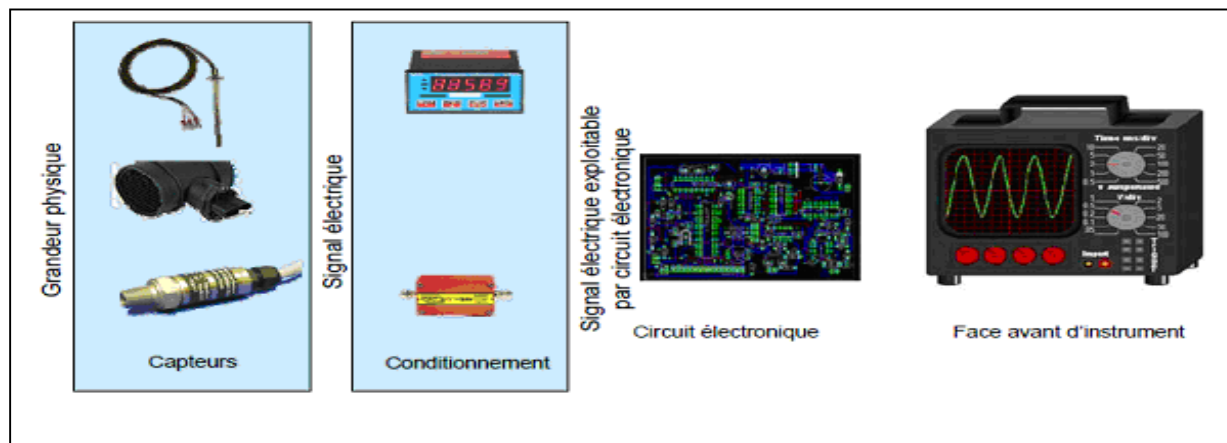


Fig. II.2 : La grandeur physique à l'instrument réel [14].

La figure (II.3) montre que l'instrument virtuel diffère dans les dernières étapes : en effet, un dispositif d'acquisition (*carte d'acquisition, périphérique*) permet au micro-ordinateur d'acquérir le signal. En LabVIEW, nous verrons que deux parties sont utilisées lorsque l'on programme : le programme (*diagramme dans la terminologie LabVIEW*), qui représente le traitement qui sur un instrument réel est pris en charge par un circuit électronique, et l'interface graphique (*face avant pour LabVIEW*) qui, à l'instar de la face avant d'un instrument réel, permet d'afficher à l'utilisateur et d'interagir avec lui. (*de l'enregistrement, à l'utilisation d'un réseau, en passant par la commande*).

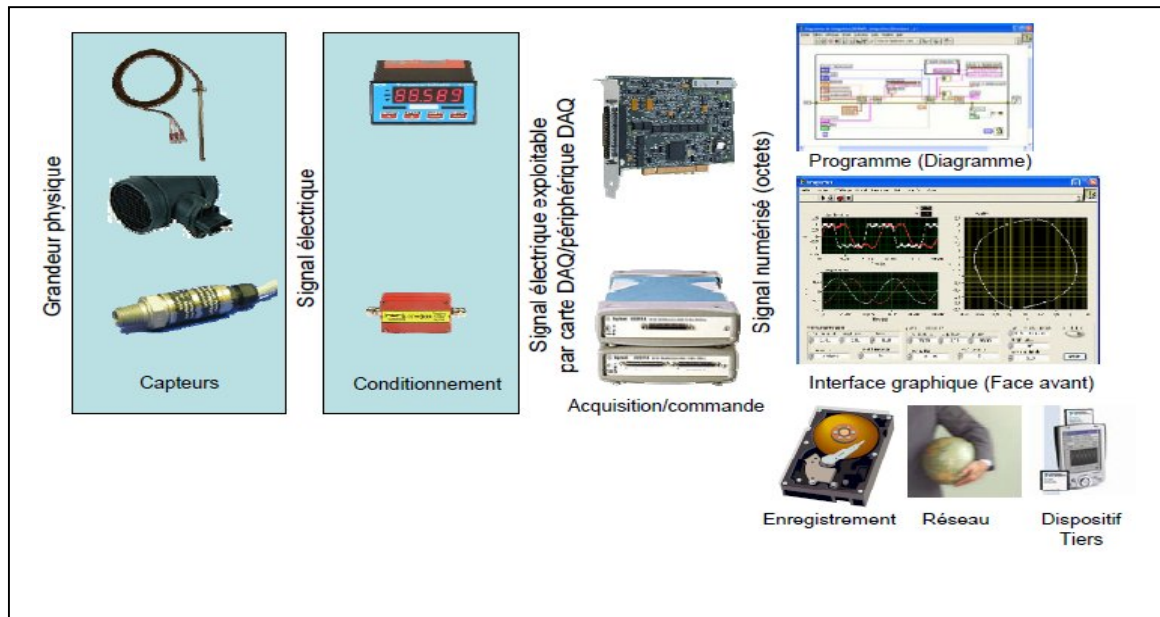



Fig. II.3 : La grandeur physique à l'instrument virtuel.

II.2.2. Différentes étapes de création d'un projet sous Labview

Dans cette partie qui suit nous allons essayer d'expliquer avec illustration les différentes étapes que nous devons suivre pour pouvoir mettre en place un nouveau projet sous le logiciel Labview. Ce logiciel nous permettra d'utiliser les données acquises via la carte et les utiliser dans des programmes de calcul ainsi pour tracer les courbes [14].

Pour se faire, nous devant suivre les étapes suivantes :

1. Etape I

Lorsqu'on lance LabVIEW  l'écran de démarrage permet de démarrer toutes les opérations proposées par cet environnement de développement (voir Fig. II.4). Pour créer un nouveau programme on sélectionnera « VI vide ». LabVIEW utilise le nom de VI (*Virtual instrument*), à prononcer à l'anglaise, « vi-äie » pour les programmes et sous-programmes.

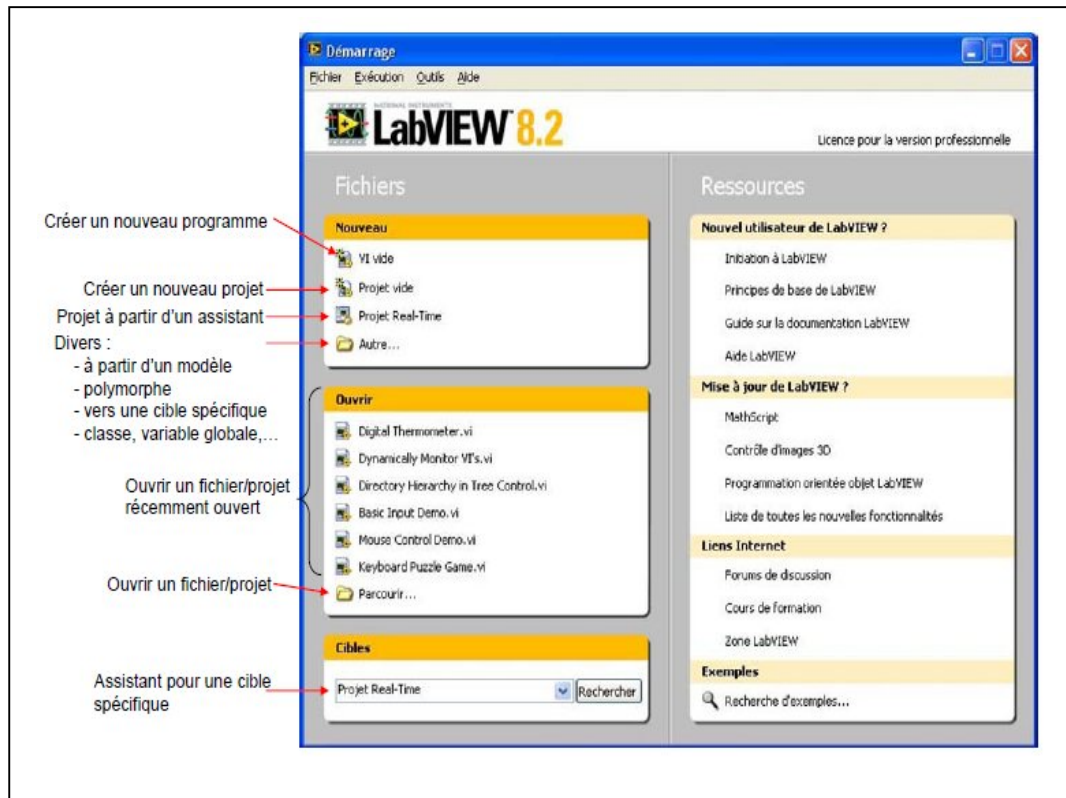


Fig. II.4 : Ecran d'accueil de LabVIEW.

Les programmes ou sous-programmes auront l'extension « **.VI** » et seront donc nommés **VI**. Nous verrons qu'il y a peu de différences entre un programme et un sous programme, on pourra donc parfois utiliser spécifiquement le terme de « **sous VI** » pour sous programme, mais cela ne sera pas toujours le cas.

Sur l'écran de démarrage, la partie gauche permet de créer ou d'ouvrir un **VI** ou un projet, la partie droite, sur laquelle nous reviendrons bientôt, permet d'accéder à la documentation extrêmement riche, incluant notamment divers tutoriaux. De plus, elle donne un pointeur vers les nouveautés de la version courante par rapport à la version précédente, ainsi que vers des sites internet (*ainsi Zone LabVIEW est une zone d'échange d'expérience très active*) [14].

Enfin, cet écran donne un lien vers un outil de recherche d'exemples très variés. Nous aurons l'occasion d'utiliser cet outil indispensable dès que l'on souhaite s'atteler à un type de problème nouveau.

2. Etape II

Que l'on souhaite créer un programme ou un sous-programme, on crée un **VI**. Pour LabVIEW tout **VI** est considéré comme un instrument virtuel. Par conséquent il a un

comportement (voir Fig. II.5) donné sur le diagramme (fenêtre blanche) et une interface utilisateur nommée face-avant (fenêtre grise). De plus, un VI sera symbolisé par son icône. Il est important de retenir qu'un *vi* est stocké dans un unique fichier **.VI** : 2 fenêtres, mais 1 seul fichier.

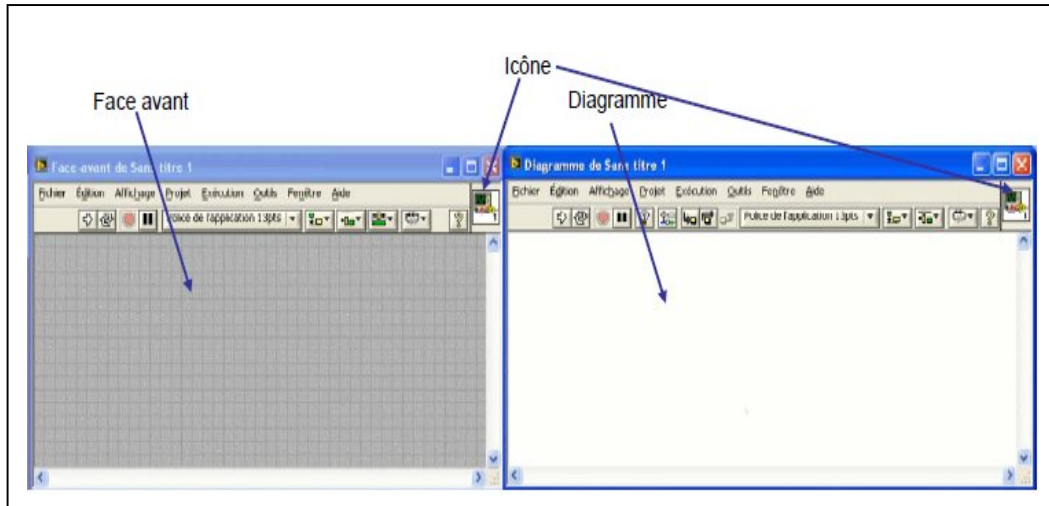


Fig. II.5 : Un VI LabVIEW est composé d'un diagramme (*fenêtre blanche*) et d'une face avant (*fenêtre grise*) et représenté par une icône.

Sur la face-avant, nous serons donc amenés à placer des éléments graphiques (*entrées du programme, à l'instar des boutons d'un instrument, sorties à l'instar des éléments affichés sur un instrument,...*), alors que sur le diagramme nous placerons la logique du programme, en général logique qui relie les entrées aux sorties : comment calculer les sorties à partir des entrées.

3. Etape III (Les palettes)

En LabVIEW, toute la programmation se passe de façon graphique, il n'y a pas de syntaxe à connaître (*pas de begin, end, for, etc.*). Quand on débute, on commence souvent par créer la face-avant, puis on passe au diagramme pour représenter la logique du programme.

Nous allons illustrer deux types de palettes, à savoir les palettes de commande et les palettes d'outils.

A. Palettes de commande

Nous verrons par la suite qu'il est souvent plus rapide de faire l'inverse (*sauf pour le VI correspondant à ce qui sera montré finalement à l'utilisateur*).

Commençons donc comme tout débutant par créer l'interface graphique : supposons que le programme prenne deux numériques en entrée, et calcule un résultat sous forme d'un numérique [14].

Il nous faudra donc créer deux entrées numériques, et une sortie numérique (*affichage*). Dans LabVIEW, les entrées s'appellent des commandes et les sorties des indicateurs (*toujours par analogie avec un instrument*).

Les commandes, indicateurs et décoration sont disponibles à partir de la palette de commandes (voir Fig. II.6) de LabVIEW. Il y a plusieurs façons d'afficher la palette de commandes :

- ✓ Faire un click droit sur la face-avant (*attention, un click droit sur le diagramme affiche la palette de fonctions dont nous discuterons après*).

Remarquer la punaise en haut à gauche de la palette qui apparaît sous la forme d'un menu : en cliquant sur celle-ci, la palette reste affichée sous forme d'une fenêtre.

- ✓ Dans le menu déroulant de la face-avant, cliquer sur « **Affichage** », puis sélectionner « **Palettes des commandes** ». Cela a pour effet d'afficher la palette sous forme d'une fenêtre (équivalent à utiliser la punaise).

Remarquer que même si elle est affichée, la palette de commandes devient invisible lorsque la fenêtre de la face-avant n'est pas active.

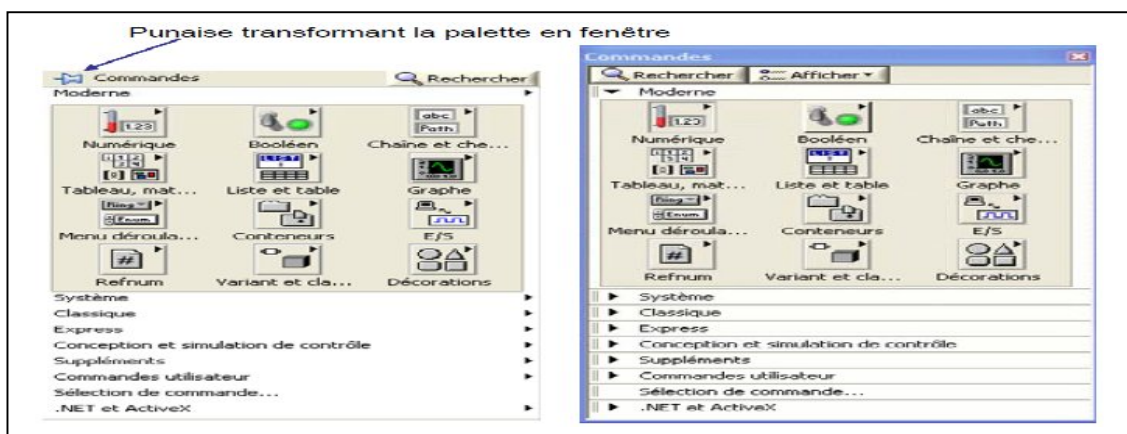


Fig. II.6 : Palettes de commande.

- à gauche sous forme de menu (*click droit sur la face-avant*).
- à droite sous forme de fenêtre (*via menu déroulant de la face avant, ou bien à l'aide de la punaise*).

Plusieurs palettes existent : « **Moderne** », « **Système** », « **Classique** », « **Express** », « **Commandes utilisateur** », « **NET et ActiveX** », les autres palettes dépendant des modules supplémentaires installés). La plupart du temps nous utiliserons la palette « **Moderne** ».

Cette palette organise les éléments par catégorie :

- ❖ « **Numérique** » : offre des commandes et indicateurs permettant de saisir ou afficher un numérique. Noter que par défaut, ce numérique est en général un nombre réel (*par opposition à un nombre entier*).
- ❖ « **Booléen** » : commandes et indicateurs booléens (*l'algèbre de Boole, dite algèbre booléenne est l'algèbre de la logique, dans laquelle les variables peuvent prendre la valeur vrai ou la valeur faux*). Les booléens correspondent aux boutons à deux états et aux indicateurs à deux états (*LED, etc.*).
- ❖ « **Chaîne et chemin** » : commandes et indicateurs permettant de saisir ou d'afficher des chaînes de caractères (*par chaîne de caractères, on entend des mots ou phrases*). De même, on trouve ici ce qui permet de saisir ou afficher un nom de fichier ou de répertoire (*chemin*).
- ❖ « **Graphe** » : propose différents indicateurs de graphes.

Ces quatre sous-palettes sont les plus fréquemment utilisées.

La figure (II.7) montre le **VI** après création de deux commandes numériques (« **Numérique** » et « **Bouton rotatif** ») et d'un indicateur numérique « **vumètre** » sur la face-avant.

On peut voir qu'à chaque commande ou indicateur de la face-avant correspond une représentation logique sur le diagramme.

La différence entre une commande et un indicateur est fondamentale : la commande fournit une donnée au diagramme. Noter sur l'icône de la commande dans le diagramme la flèche à droite allant vers l'extérieur et représentant le cheminement de la donnée (*de la commande vers le programme*).

L'indicateur, quant à lui, permet d'afficher une donnée, qui lui est fournie par le programme : noter sur son icône la flèche à gauche de l'extérieur vers l'icône (*du programme vers l'indicateur*). Une autre différence graphique utile dans les versions plus anciennes de LabVIEW.

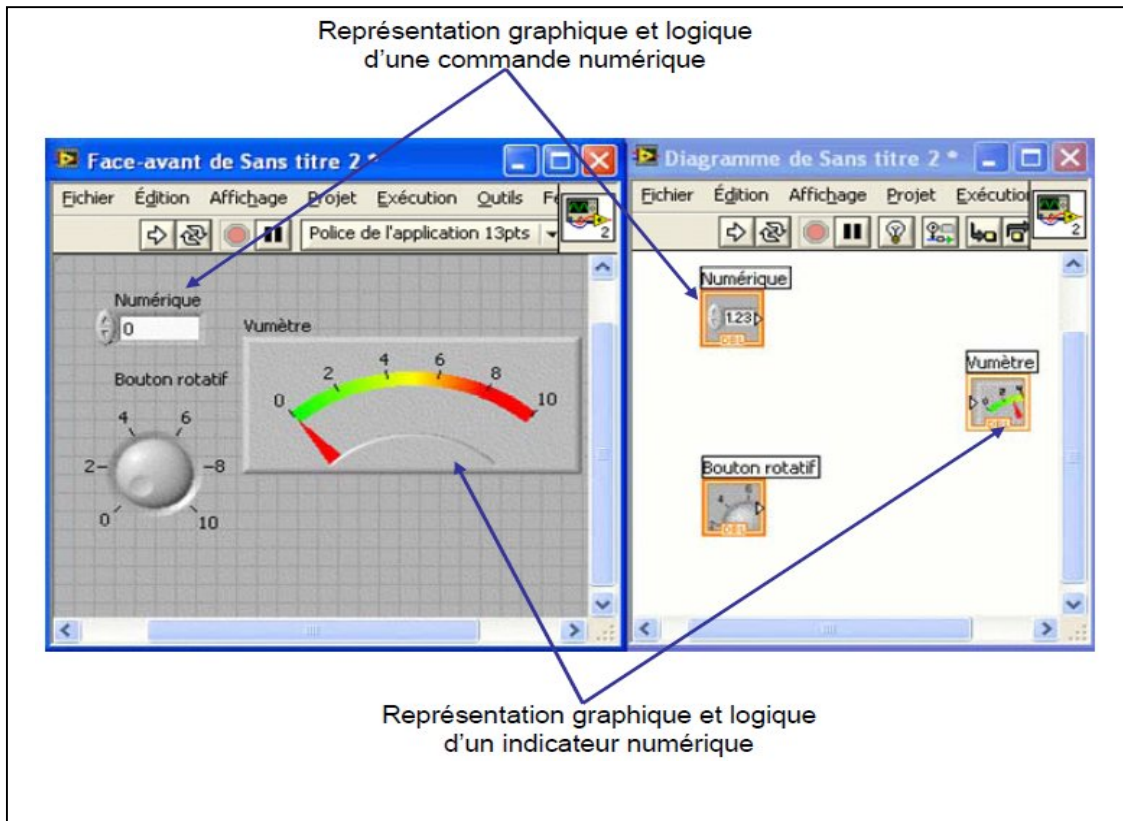


Fig. II.7 : Deux commandes et un indicateur numériques [14].

B. Palette d'outils

On fait apparaître la boîte à outils permettant de manipuler les objets graphiques, en suivant la séquence de menu Windows >> **Show Tools Palette** ou bien en ouvrant un menu local dans la fenêtre avec la touche **SHIFT** enfoncée. Une fois apparue, la boîte à outils est toujours visible. On sélectionne l'outil désiré en cliquant dessus. Il est à noter que la touche de tabulation permet une sélection rapide des outils les plus utilisés.

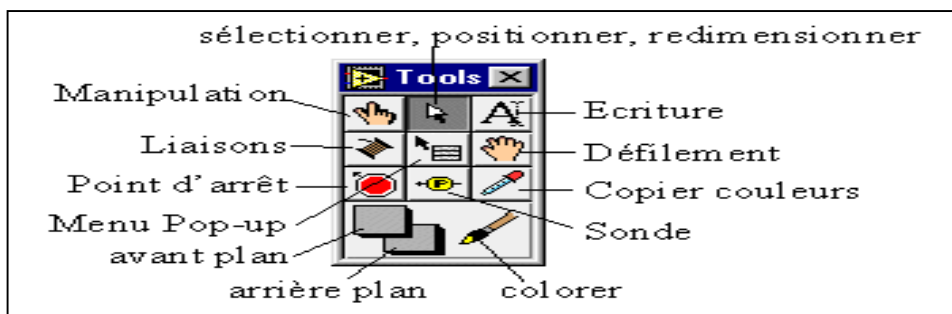


Fig. II.8 : La palette d'outils permet de choisir la fonctionnalité de la souris.

- outil Doigt : permet de positionner des éléments des palettes **Contrôles** et **Fonctions** sur la face-avant du diagramme.
- outil Flèche : permet de positionner, redimensionner et sélectionner les objets.
- outil Texte : permet de modifier du texte et d'en créer.
- outil Bobine : permet de câbler des objets entre eux dans le diagramme.
- outil Menu local : fait apparaître un menu local dans un objet.
- outil Main : fait défiler toute la fenêtre sans avoir recours aux barres de défilement.
- outil Point d'arrêt : permet de définir des points d'arrêt dans les **VI**s, les fonctions, les séquences et les structures.
- outil Sonde : permet de créer des sondes sur les fils.
- outil Pipette : copie les couleurs pour les coller à l'aide de l'outil Pinceau.
- outil Pinceau : permet de définir la couleur de l'arrière-plan et du premier plan.

4. Etape IV : Création du diagramme

Supposons que nous souhaitions réaliser un convertisseur d'unité de température de °C vers °F en utilisant la formule $F=1,8*C+32$.

Il nous faut commencer, pour le convertisseur, à placer les fonctions nécessaires : une addition, et une multiplication. Toutes les deux sont dans la palette « **Numérique** » (étape 1 de la figure II.9). Ensuite, on utilise l'outil bobine pour câbler. L'entrée (*la commande*) « °C » à une entrée de la fonction multiplication (*étape 2*). Il nous faut alors multiplier cela à la constante (1,8).

Il y a différents moyens de créer une constante, mais le plus simple, est de faire un click droit sur l'entrée, puis de choisir « **Créer** » → « **Constante** ». Une constante, du bon type, est alors créée et reliée à cette entrée.

Le diagramme est enfin complété comme à l'étape 3. Pour exécuter le **VI**, il faut cliquer sur le bouton « **Exécuter** ». Certains utiliseront « **Exécuter en continu** », qui a pour effet d'exécuter le **VI** sans arrêt jusqu'à l'appui sur le bouton « **Abandonner l'exécution** ». Cependant, je déconseille de prendre cette habitude : un programme bien fait contient une boucle d'exécution au niveau le plus haut, et son propre bouton d'arrêt sur la face-avant [14].

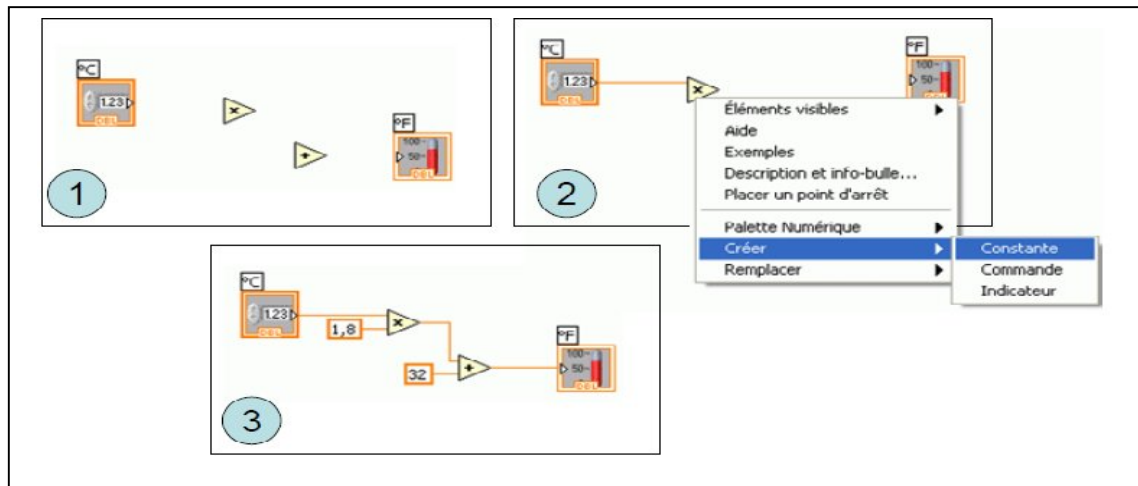


Fig. II.9 : Etapes de la construction du diagramme.

A partir d'ici, il convient d'utiliser la fenêtre d'**aide contextuelle** (menu déroulant « Aide », « Afficher l'aide contextuelle » ou raccourci clavier **Ctrl+H**) afin d'obtenir des descriptions rapides des fonctions, ou bien savoir quel type de données passe sur un fil. Le contenu de l'aide est mis à jour en fonction de l'élément se trouvant sous le curseur de la souris. Ainsi, si l'on place la souris sur le noeud « x » de la figure (II.9), on obtient l'aide contextuelle donnée sur la figure (II.10).

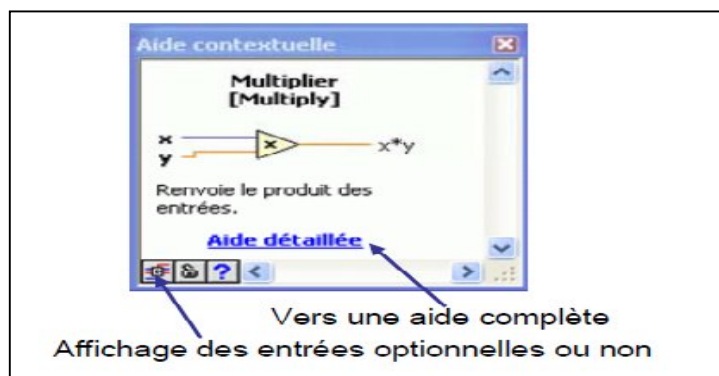


Fig. II.10 : Aide contextuelle.

✓ **Utilisation avancée :**

Nous avons maintenant vu les éléments de base de la programmation LabVIEW. Cette partie propose de voir quelques graphes proposés par LabVIEW, et surtout la façon dont on peut créer une interface graphique.

✓ **Utilisation de graphes :**

Les trois principaux types de graphe proposés par LabVIEW sont le graphe déroulant (*Affiche des courbes point par point*), le graphe (*affiche les courbes à partir du/des tableaux Contenant tous les points*), et le graphe XY (*courbes paramétriques*).

✓ **Graphe déroulant:**

Le **graphe déroulant** est un indicateur 2D représentant une courbe ou plusieurs Courbes dont les points sont donnés point par point.

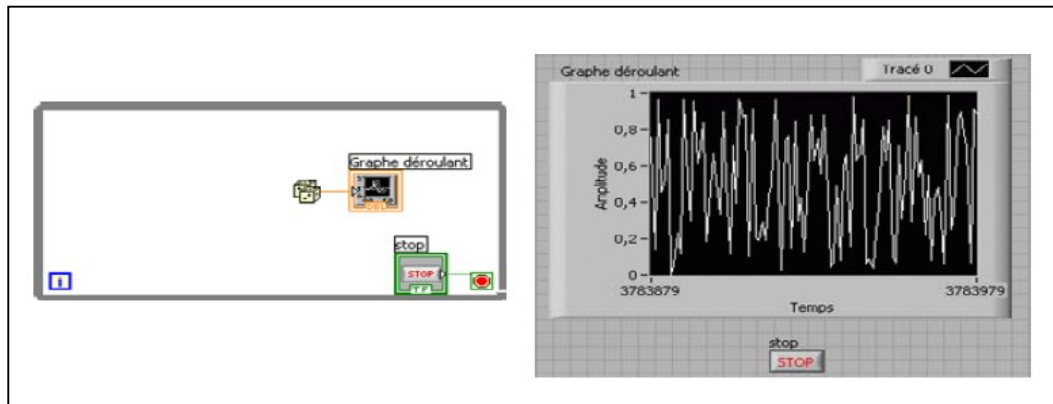


Fig. II.11 : Exemple d'un graphe déroulant.

La figure II.11 représente un graphe déroulant : en abscisse le temps (*par défaut, mais tous les éléments peuvent être édités*), en ordonnée, l'amplitude.

Le nom d'une courbe par défaut est « **Tracé 0** », 1, 2, etc. Mais bien entendu tout ceci peut être modifié. Pour modifier l'apparence et le comportement d'un graphe, on fait un click droit sur le graphe, ou sur le tracé concerné.

Ainsi, par exemple, on peut mettre une barre de défilement (*attention, on ne peut défiler que sur la longueur de l'historique que l'on a définie*), le graphe peut se mettre à l'échelle automatiquement (*pour les X et les Y*), etc.

Etant donné qu'un graphe déroulant conserve son contenu, on peut l'effacer en faisant click droit sur le graphe → « **Opérations sur les données** » → « **Effacer le graphe déroulant** » [14].

✓ **Graphe :**

Un graphe nécessite un tableau de points ou un waveform par courbe affichée. Sur la figure (II.12), on utilise un VI de la palette « **Traitement du signal** » → « **Génération de signaux** » qui donne un tableau de flottants en sortie.

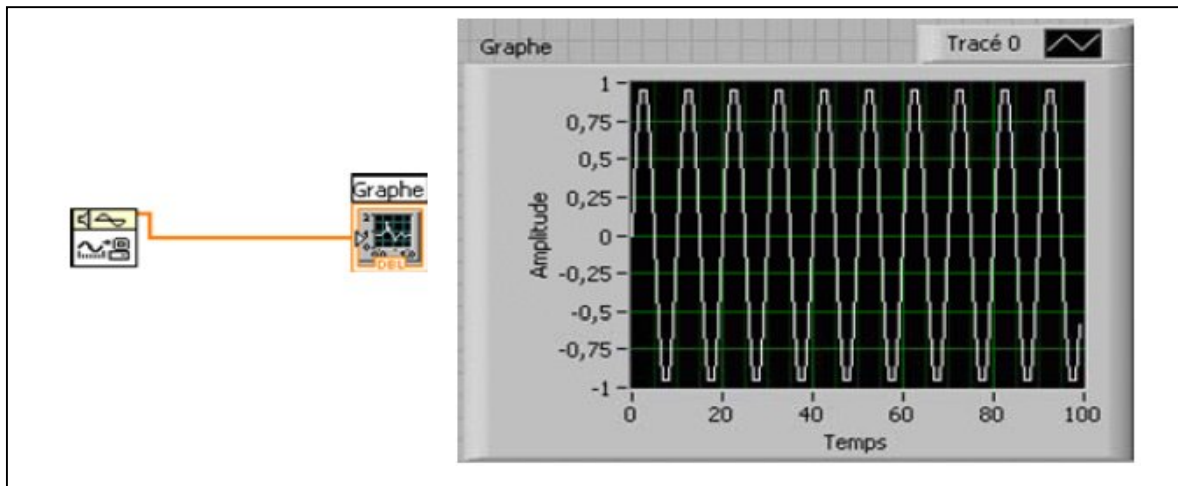


Fig. II.12 : Exemple d'un graphe.

✓ Graphe XY :

Le graphe XY permet de tracer des courbes paramétriques. Pour ce faire, il faut envoyer un cluster contenant les points pour X, et les points pour Y sur chaque composante du cluster en entrée du graphe (voir Fig. 13).

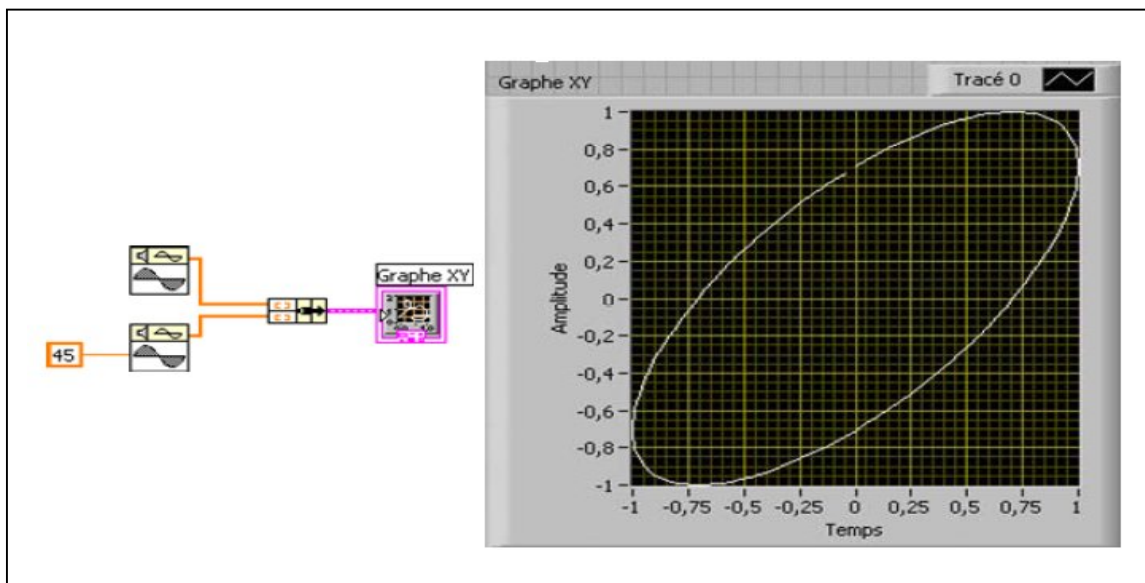


Fig. II.13 : Exemple d'un graphe XY.

II.2.3 Acquisition de données et communication avec des instruments

Ce passage présente les VI express que vous pouvez utiliser pour acquérir des données et communiquer avec des instruments sous Windows.

II.2.3.1. Acquisition d'un signal

En peut créer une tâche pour mesurer une grandeur physique tel que une tension un courant ou une température sur une ou plusieurs voies d'un périphérique DAQ, pour cela en

doit suivre les étapes ci-après pour créer et configurer une tâche qui lit cette dernière sur un périphérique **DAQ**.

- a. Ouvrez un nouveau VI vide :

Sur le diagramme, affichez la palette **Fonctions** et sélectionnez « **Express** », entrée pour afficher la palette **Entrée**.

- b. Sélectionnez le **VI Express Assistant DAQ**, illustré à gauche, sur la palette entrée et placez-le sur le diagramme. L'Assistant DAQ se lance et la boîte de dialogue **Créer un nouvel objet Tâche Express** apparaît.



Fig. II.14 : Assistant DAQ.

- c. Cliquez sur Acquérir des « signaux », entrée analogique pour afficher les options d'Entrée analogique.
- d. Sélectionnez **Tension** pour créer une nouvelle tâche d'acquisition analogique de tension.

La boîte de dialogue affiche la liste des voies sur chaque périphérique DAQ installé. Le nombre de voies affichées dépend du nombre de voies dont dispose votre périphérique DAQ. Dans la liste de **Voies physiques supportées**, sélectionnez la voie physique à laquelle l'instrument connecte le signal comme, par exemple, **ai0**, puis cliquez sur le bouton **Terminer**. L'Assistant **DAQ** ouvre une nouvelle boîte de dialogue, représentée par la figure (II.15), qui affiche les options de configuration pour la voie que vous avez sélectionnée pour la tâche.

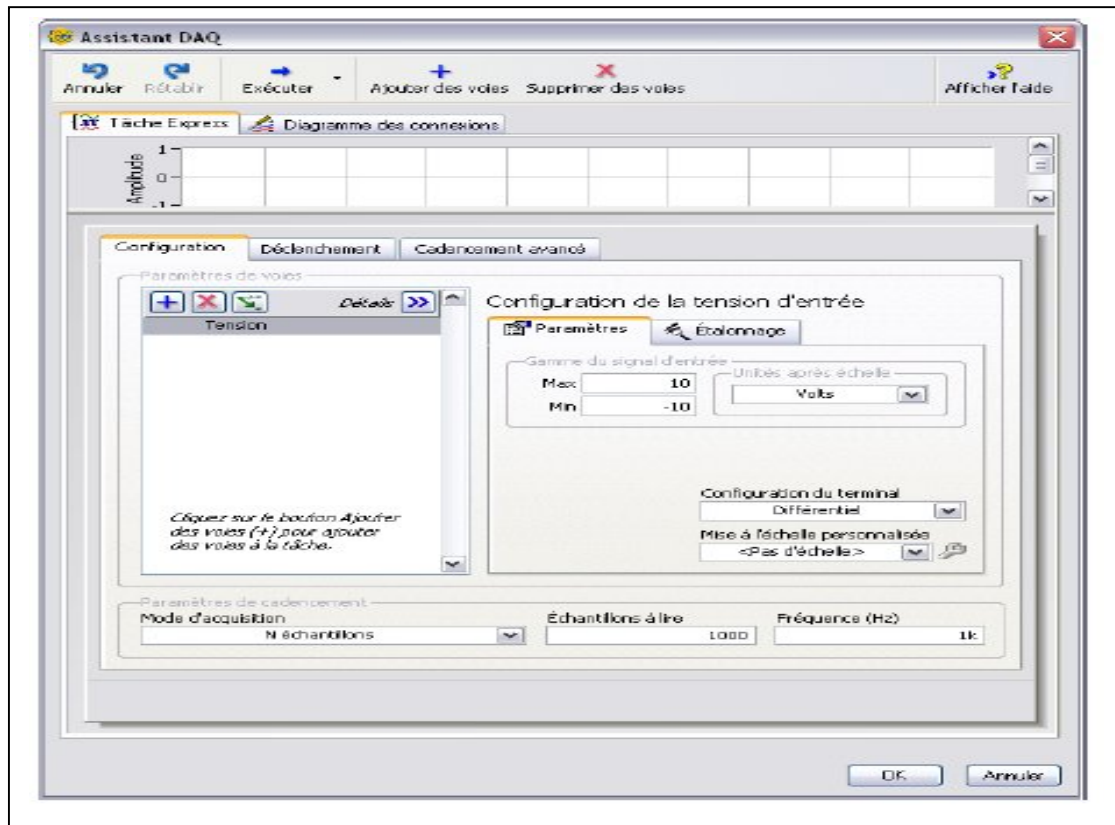


Fig. II.15 : Configuration d'une tâche avec l'Assistant DAQ.

II.2.3.2. Systèmes d'Analyse et d'enregistrement d'un signal

Labview contient un ensemble de VIs Express qui facilitent l'analyse de vos signaux. Ce passage vous montre comment utiliser LabVIEW pour effectuer une analyse élémentaire d'un signal et comment enregistrer les données analysées dans un fichier.

Par défaut, le VI Express Simuler un signal simule sinusoïdal. Vous pouvez personnaliser le signal simulé en changeant les options de la boîte de dialogue Configurer Simuler un signal. C'est en veux faire la valeur efficace ou la valeur moyenne de se signal en peut le faire grâce au bloc qui ce nom mesure d'amplitude et de niveaux (Fig II.16) a partir de la bibliothèque traitement de signal. La bibliothèque traitement de signal contient plus de 50 modèles de traitement des signaux filtre passe bas, passe-haut.



Fig. II.16 : Instrument de traitement.



Fig. II.17 : Filtre de traitement.

Pour enregistrer des informations sur les données générées par un VI, utilisez le VI Express Écrire dans un fichier de mesures (Fig. II.18).

Si vous ne voulez enregistrer que certains points de données, vous pouvez configurer le virtuel instrument express écrire dans un fichier de mesures pour n'enregistrer les valeurs pic à pic que si l'utilisateur appuie sur un bouton.

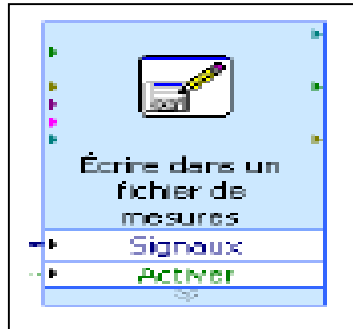


Fig. II.18 : Fichier de mesure.

Le tableau qui suit montre les instruments virtuels utilisés dans notre cas pratique [14].

VIS	Fonction
acquisition de données (DAQ)	Acquisition et mesure de signaux électriques numériques ou analogiques en provenance de capteurs, ou autres équipements. Génération analogique ou numérique de signaux électriques.
Assistant DAQ	Une interface graphique pour configurer les tâches de mesure, les voies et les échelles.(face avant)
Graphe	Affichage 2D d'au moins un tracé. Un graphe reçoit des données et les trace en bloc.

Tab. II.1 : Description du Vis utiliser.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le système de caractérisation. Ce dernier permet une acquisition en temps réel des caractéristiques du générateur photovoltaïque utilisé. Comme on la déjà mentionné dans les paragraphes précédent, la carte NI-PCI 6259 possède une précision de mesure, une résolution et une sensibilité accrues. Elle possède des entrées analogiques et numériques, pour notre cas, on utilisera les entrées et les sorties analogiques, et aussi son logiciel interactive LabVIEW.

Cette carte a été choisie pour générer un signal de commande, effectuer une acquisition de température, d'ensoleillement, de tension et de courant et les faire afficher grâce a LabVIEW sur l'écran d'un ordinateur. A son tour, Labview traite les signaux et affiche les caractéristiques attendues.

Afin de réaliser tout ceci, on est amené à créer les différents capteurs à utiliser, c'est ce qu'on va présenter dans le prochain chapitre.

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, on présentera les différents circuits utilisés pour réaliser des capteurs de température et d'ensoleillement, ainsi que une charge variable automatique capable d'absorber la puissance du panneau photovoltaïque.

III.1. Présentation du projet

Ce travail consiste à identifier et caractériser un système photovoltaïque. Le système de caractérisation doit être équipé de quelques capteurs pour mesurer et observer les différentes perturbations créés par la température et l'irradiation sur le système.

Ainsi, on doit capter la tension et le courant pour tracer les différentes caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$. Pour atteindre ces caractéristique, on doit insérer au système étudié une charge variable qui pourra à sont tour absorber les courants à la sortie du système photovoltaïque.

Ces capteurs sont :

- Capteur de température.
- Capteur d'ensoleillement.
- Capteur de courant.
- Capteur de tension.

Les capteurs de température et d'ensoleillement seront reliés à la carte d'acquisition afin de capter la température et l'ensoleillement journalier, ils seront alimentés avec une source de tension externe.

La charge sera branchée directement à la sortie du panneau solaire afin d'absorber les courants de ce dernier.

L'idée est de tracer la caractéristique (courant, tension) ainsi que (puissance, tension) à chaque variation de température et d'ensoleillement, un programme LabVIEW va permettre de capté et d'analysé ces caractéristique et d'enregistré les points de variation.

L'objectif de cette partie est de mettre en place un système économique et complet de mesure des caractéristiques $I(V)$ et $P(V)$ des panneaux solaires en conditions ambiantes et à différentes températures (Fig. III.1).

Le système de mesure de caractéristiques doit pouvoir être contrôlable par ordinateur et les résultats visibles en temps réel. C'est pour ces raisons que **LabVIEW** a été choisi pour piloter les phases de test via une carte d'acquisition **NI PCI 6259**.

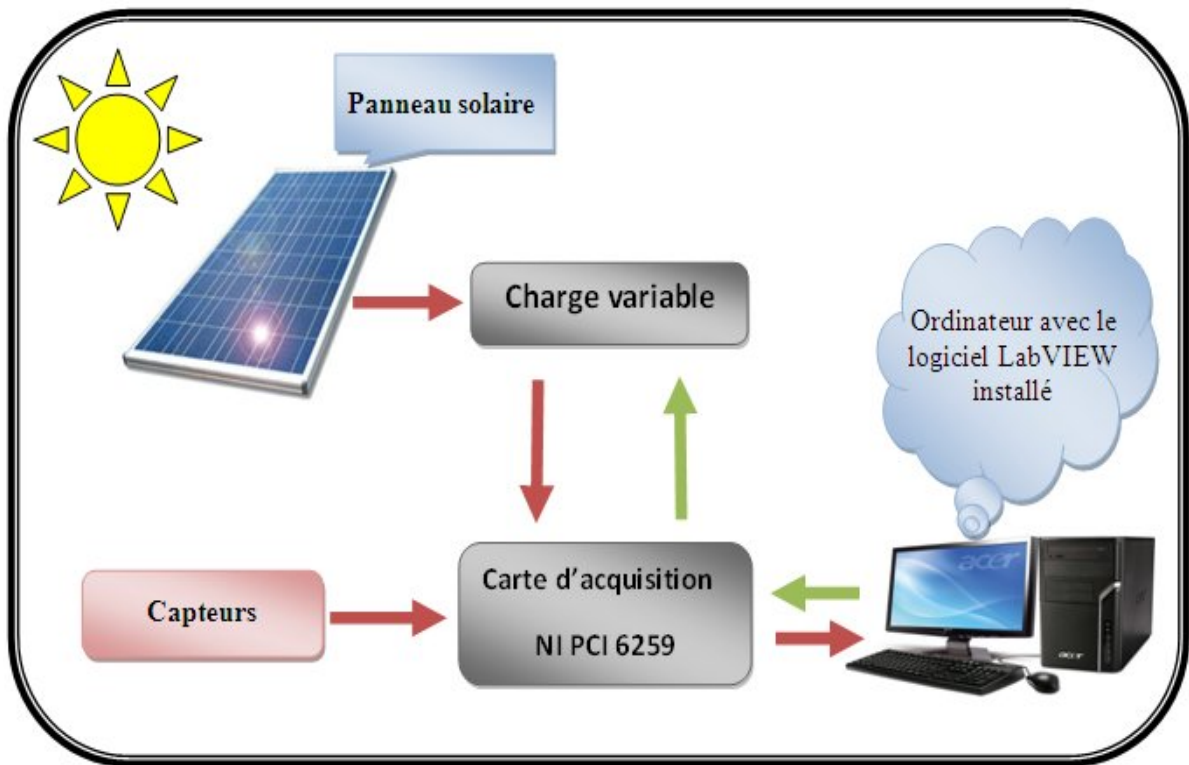


Fig. III.1: Schéma bloc du système de caractérisation.

III.2. Identification des paramètres climatiques du site

Pour étudier l'influence des différents paramètres climatiques (température et irradiation) sur le système photovoltaïque, on a été contraint à réaliser une carte de mesures.

III.2.1. Carte de mesure des paramètres du site

Le schéma bloc de la carte de mesure (Fig.III.2) se compose de trois éléments :

- Capteur d'ensoleillement.
- Capteur de température
- Alimentation symétrique.

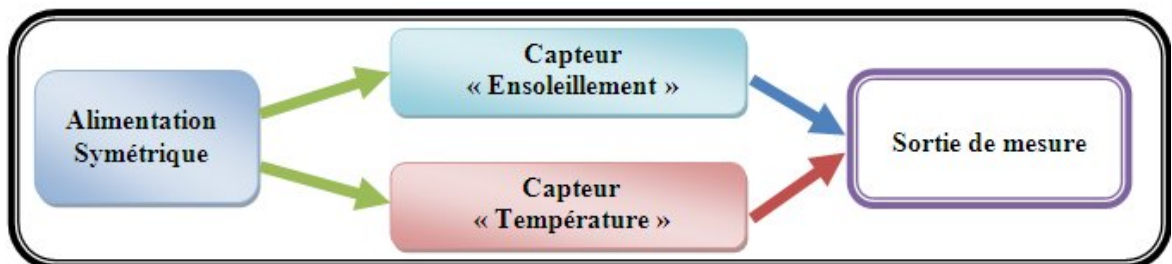


Fig. III.2: Schéma bloc de la carte de mesure.

A partir du schéma électronique global de la carte de mesure d'ensoleillement et de température (Fig.III.3), on va détailler chaque élément.

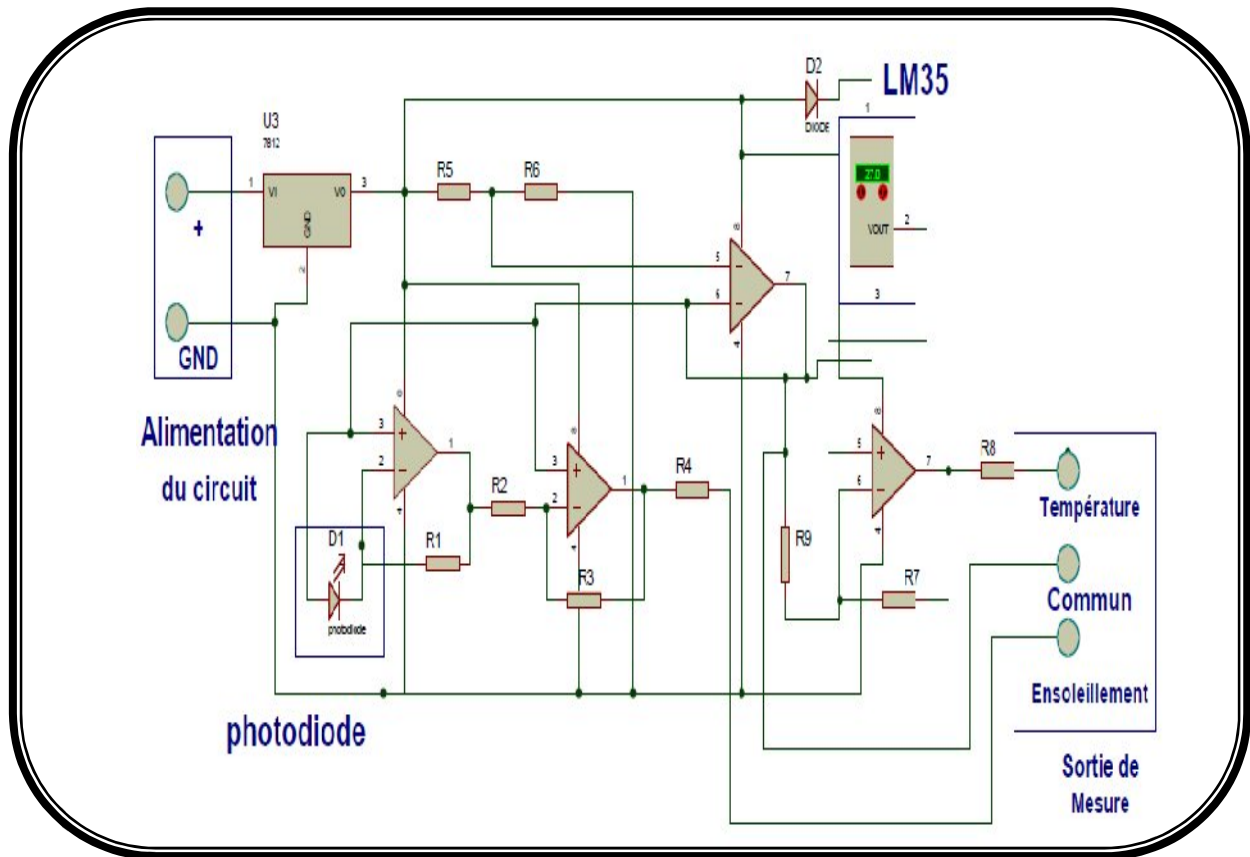


Fig. III.3.: Schéma électronique de la carte de mesure.

✓ **Capteur de température :**

Nous avons opté pour un capteur de température à semi-conducteur type LM35, ce capteur possède une sensibilité de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Afin d'éviter les pertes de transport, on a proposé d'amplifier la tension de sortie par un amplificateur monté en non inverseur.

✓ **Capteur d'ensoleillement :**

Le composant clé de ce circuit électronique est la photodiode car sous l'effet de la lumière la photodiode génère un courant très faible de l'ordre du micro. De là, on était obligé de convertir ce courant en tension, on utilisant un amplificateur LM358 monter en convertisseur courant-tension.

✓ **Alimentation de circuit**

Afin d'alimenter les circuits de température et d'ensoleillement, on a réalisé une alimentation symétrique en partant d'une alimentation de (14.5V a 24V) continu (DC) à

travers un régulateur **LM7812**, on aura une tension de 12V(DC). Cette tension est divisée avec un diviseur de tension. La sortie donne naissance à ce qu'on appelle une masse flottante.

III.3. Identification des paramètres électriques du panneau photovoltaïque

Dans cette partie, on va s'intéresser à la réalisation d'un système de mesure des paramètres électriques du panneau photovoltaïques. Ces paramètres sont le courant, la tension ainsi que la puissance. Pour mesurer ces paramètres, on doit insérer à notre système une charge variable pour absorber le courant du panneau photovoltaïque.

III.3.1. Carte de mesure des paramètres du panneau solaire

Le schéma bloc de la figure III.4 montre l'idée de base de la carte de mesure réalisé pour effectuer les mesures désirées. Cette carte de mesure contient un ensemble de blocs présentés comme suit :

- Capteur de tension
- Capteur du courant
- Charge variable
- Boucle de régulation

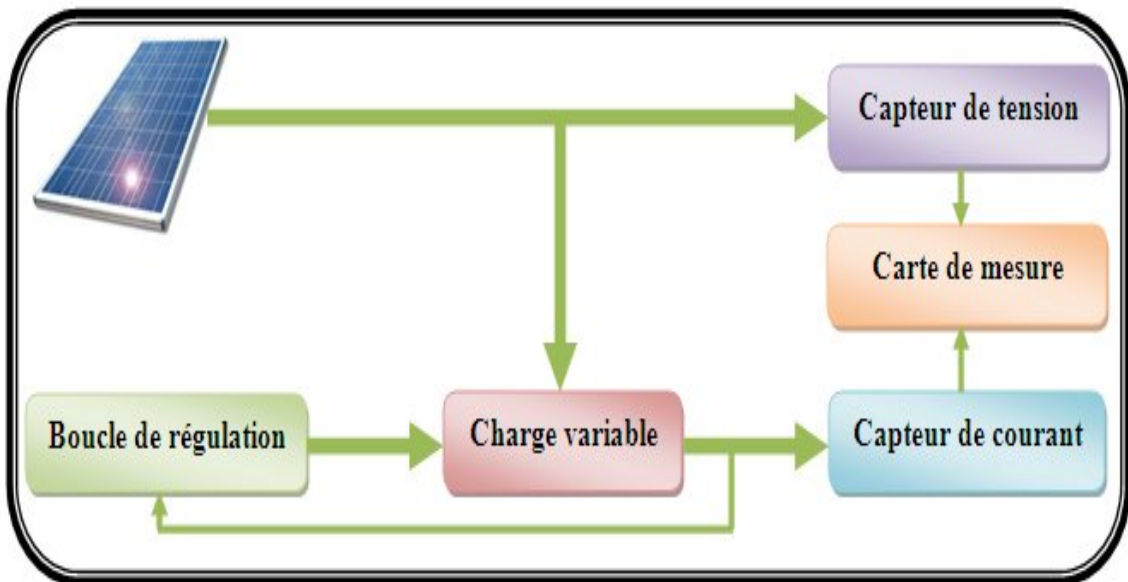


Fig. III.4.: Schéma bloc d'un circuit de mesure.

A partir de ce schéma bloc (Fig III.4), on a réalisé un circuit électronique qui intègre toutes les fonctions désirées.

✓ capteur de tension

Le capteur de tension choisi est un simple diviseur de tension. Il sert à diviser la tension du panneau photovoltaïque par une valeur car la carte d'acquisition supporte jusqu'à 10V maximum.

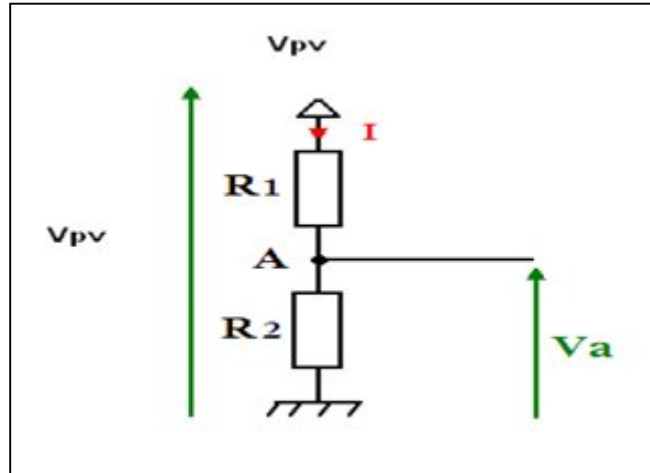


Fig. III.5 : Diviseur de tension.

Equation de fonctionnement :

$$V_a = R_2 * I \quad (III.1)$$

$$I = V_{pv} / (R_1 + R_2) \quad (III.2)$$

On remplace l'équation (III.2) dans l'équation (III.1) on aura :

$$V_a = (R_2 / (R_1 + R_2)) * V_{pv} \quad (III.3)$$

La formule (III.3) devient :

$$V_a = k * V_{pv} \quad (III.4)$$

✓ capteur de courant

Le capteur de courant est un capteur type shunt, c'est une résistance de petite valeur, elle absorbe un courant important, on mesure à ses bornes une tension qui sera divisé par la valeur de cette résistance, on obtient le courant absorbé.

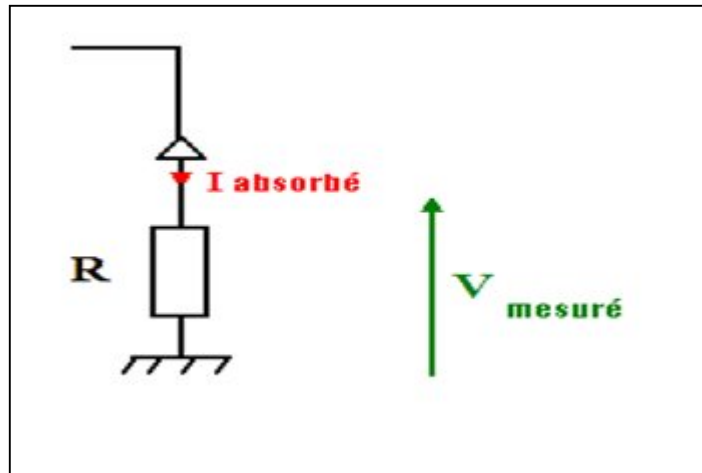


Fig. III.6: Shunt mesure de courant.

Equation de fonctionnement :

$$V_{\text{mesuré}} = R \cdot I_{\text{absorbé}} \quad \text{donc} \quad I_{\text{absorbé}} = V_{\text{mesuré}} / R \quad (\text{III.5})$$

✓ Boucle de régulation

L'amplificateur opérationnel **LM358** est un composant primordial dans cette réalisation il permet le réglage de courant par rapport à une référence il est monté en comparateur. Ce comparateur réalise une boucle de régulation type proportionnel entre la sortie et la référence imposé. Cette référence est envoyée par la carte d'acquisition et représente l'image du courant. La sortie de ce comparateur va directement attaquer la base du transistor **TIP111**.

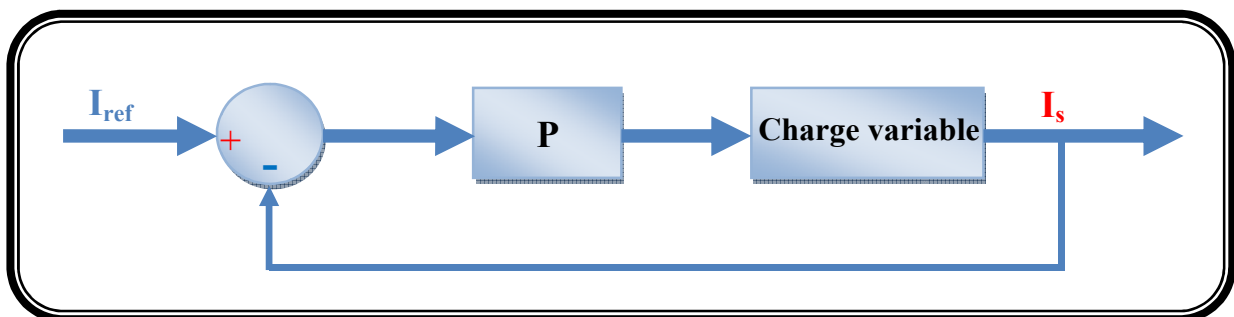


Fig. III.7: Boucle de régulation type proportionnel (P).

✓ Charge variable

La charge variable est basé sur deux transistors de puissance .Un bipolaire type NPN 2N3055 et un Darlington de type NPN TIP111. La figure (III.8) représente le montage des deux transistors fonctionnant en charge variable.

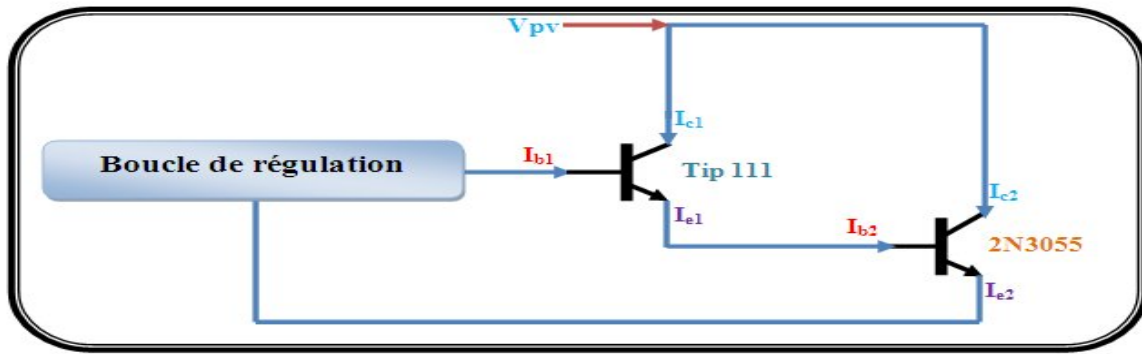


Fig. III.8: charge variable.

Quand ces derniers seront amorcés, on peut avoir un courant variable selon le courant injecté à la base. Les transistors de puissance émettant directement à partir de l'émetteur et le courant d'émetteur dépendent de deux courants celui de la base ainsi que celui du collecteur.

Equation de fonctionnement :

➤ **Le Darlington NPN TIP 111**

$$I_{e1} = I_{c1} + I_{b1} \quad (III.6)$$

$$I_{c1} = \beta_1 * I_{b1} \text{ (avec } \beta_1 \text{ Gain en courant des transistors TIP111)} \quad (III.7)$$

En remplace l'équation (III.6) dans (III.7) on obtient :

$$I_{e1} = (1 + \beta_1) * I_{b1} \quad (III.8)$$

L'équation (III.8) montre que le courant de l'émetteur est multiplié par un gain de $(G=1+\beta_1)$.

Avec :

1. I_{e1} le courant a l'émetteur.
2. I_{c1} le courant du collecteur.
3. I_{b1} le courant de base.

➤ **Le bipolaire NPN 2N3055**

On a:

$$I_{b2} = I_{e1} = (1 + \beta_1) * I_{b1} \quad (III.9)$$

$$I_{e2} = I_{c2} + I_{b2} \quad (III.10)$$

$$I_{c2} = \beta_2 * I_{b2} \text{ (avec } \beta_2 \text{ Gain en courant des transistors 2N3055)} \quad (III.11)$$

On remplace l'équation (III.9) et (III.11) dans (III.10) on obtient

$$I_{e2} = (1 + \beta_2) * (1 + \beta_1) * I_{b1} \quad (\text{III.12})$$

Avec :

1. I_{e2} le courant d'émetteur.
2. I_{c2} le courant du collecteur.
3. I_{b2} le courant de base.

A partir de l'équation III.12, on remarque que le courant de l'émetteur varie proportionnellement avec celui de la base, et le transistor NPN 2N3055 émet directement vers deux points :

- ✓ le shunt du courant c est de la on obtient les mesures de courant absorbé.
- ✓ La boucle de régulation permettant une régulation de courant.

III.4. Unité d'acquisition des données

Pour le pilotage de la carte d'acquisition et la capture des différents paramètres climatiques et électriques, un programme LabVIEW à été mis en oeuvre.

III.4.1. Programme Labview

La Figure (Fig.III.9) montre le programme labview qui se compose de quatre étapes :

➤ **Etape 1**

Cette étape est mise en place pour envoyer depuis la carte d'acquisition un signal de commande triangulaire qui représentant l'image de courant.

➤ **Etape 2**

Après avoir envoyé le signal de commande, vient l'étape d'acquisition des signaux à la sortie des capteurs de mesure.

➤ **Etape 3**

Cette étape est faite pour le traitement de donnée acquise par le DAQ. Elle est constituée d'un filtre et d'un instrument mesurant la valeur moyenne.

➤ **Etape 4**

Après acquisition et filtrage de données, il est maintenant temps d'afficher les résultats.

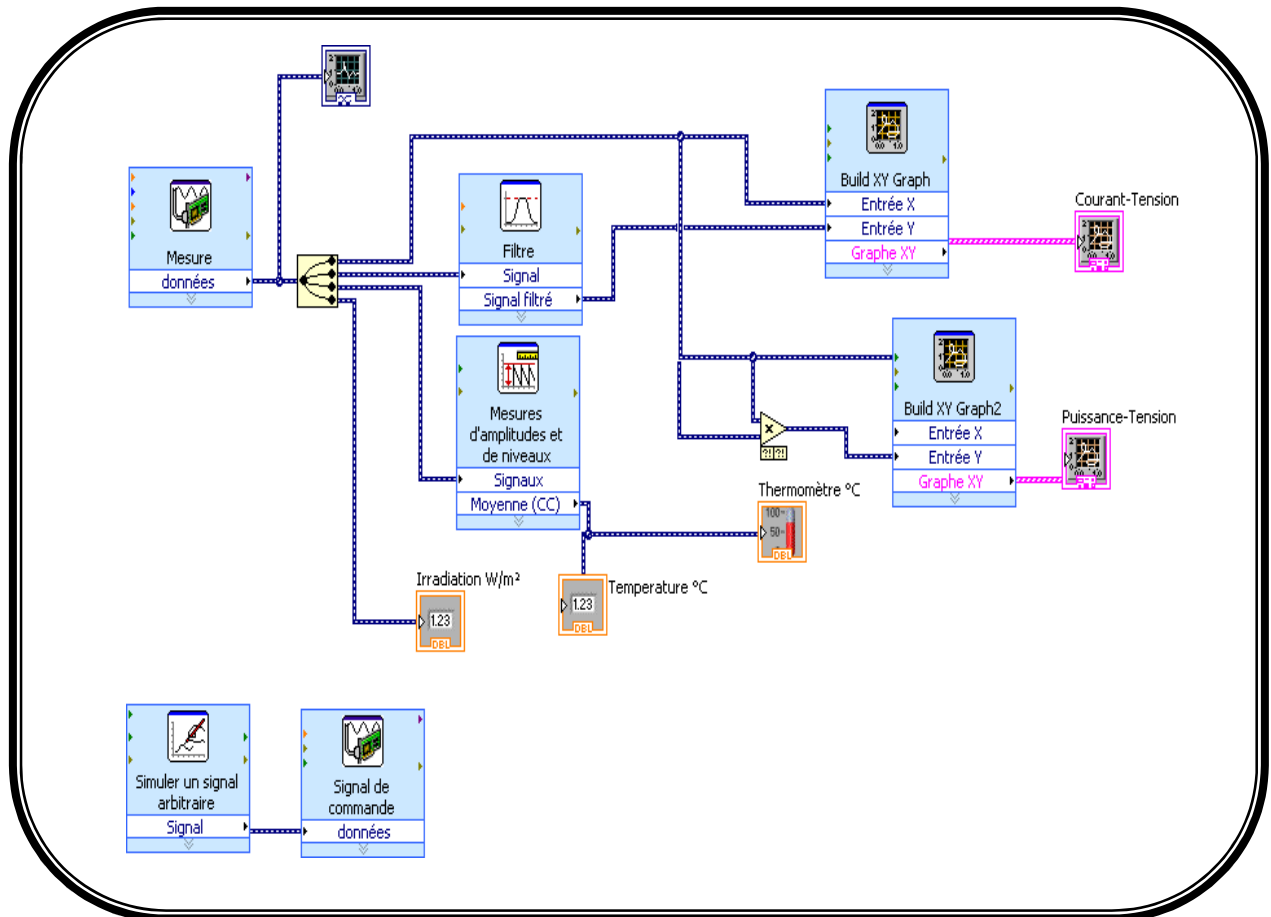


Fig. III.9 : Programme LabVIEW

Conclusion :

Ce chapitre comprend une réalisation des différents capteurs de température, d'ensoleillement, de courant ainsi que celui de tension et de la charge variable. Ces capteurs ont un rôle très important dans notre travail car ils permettent de capter les différents éléments nécessaires pour la caractérisation $I(V)$. Une fois tous les capteurs réalisés, nous allons faire la caractéristique $I(V)$ et $P(V)$ sous LabVIEW dans le chapitre suivant.

Introduction

Nous présentons dans ce chapitre, les différents résultats pratiques et par simulation obtenus. Les résultats présentés sont courant en fonction de la tension $I=f(V)$, et la puissance absorbée en fonction de la tension appliquée $P=f(V)$.

IV.1. Caractérisation sous Labview

Plusieurs essais ont été effectués avec le système réel de la figure IV.1 dans différents conditions.

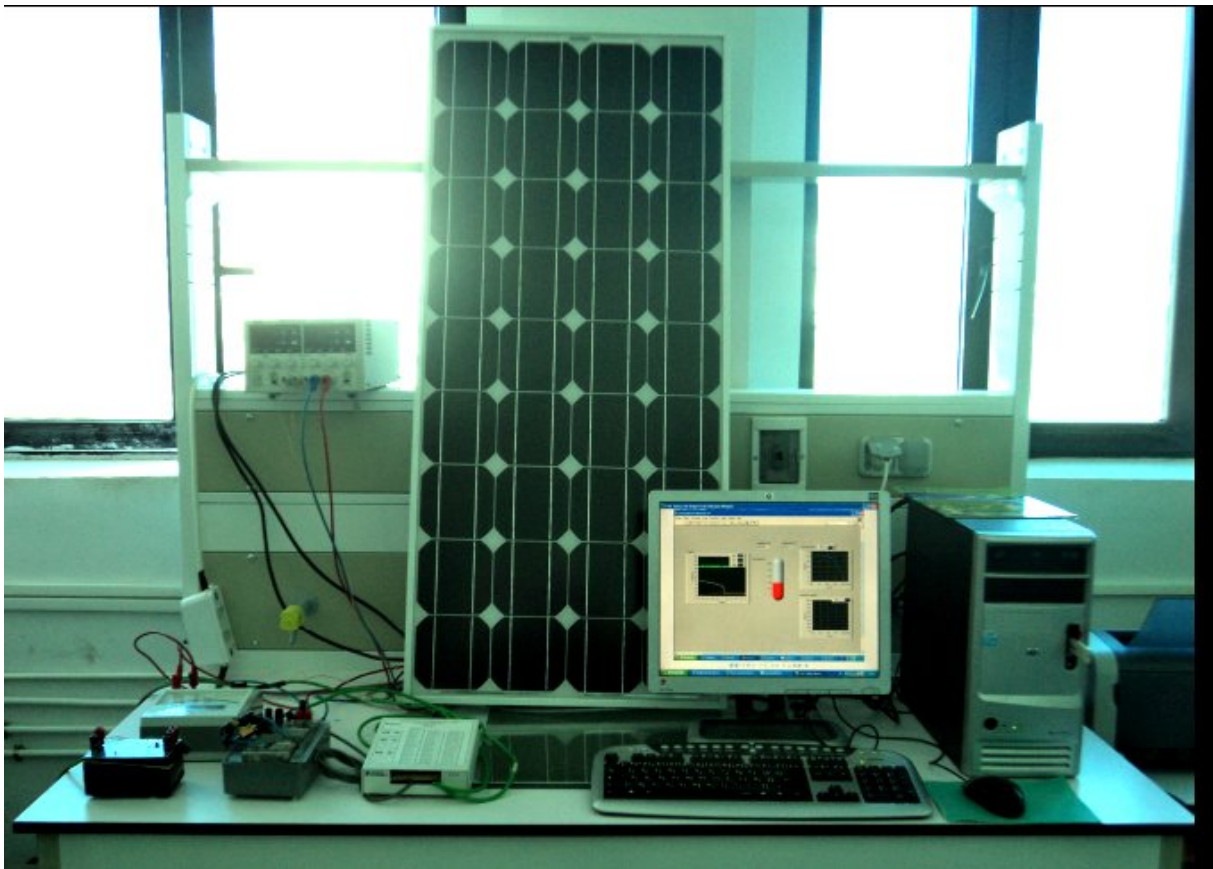


Fig. IV.1 : Système de caractérisation sous LabVIEW au laboratoire LTII.

On a effectué différents tests qui sont les suivants :

-Test N°1 :

Cet essai a été effectué dans **le nouveau laboratoire L.T.I.I le 12/06/2012 à 8h30**. le panneau a été exposé directement à la lumière du jour.

- Les capteurs de température et d'ensoleillement indiquent :
 - Une température **31,79°C**.
 - Un ensoleillement **201.9 W/m²**.

Comme le montre la FigIV.2, la tension du circuit ouvert du panneau photovoltaïque a été constante durant le test, on a $V_{co}=18.9\text{ V}$ et le courant de court circuit délivré $I_{cc}=1.5\text{ A}$.

De là, on a obtenu un point de puissance maximal $P_{pvmax}=19.6\text{ W}$ qui correspond à une tension de $V_{pv}=14.9\text{ V}$ et un courant de $I_{pv}=1.3\text{ A}$.

-Test N°2 :

Dans cet essai, on a relevé **au nouveau laboratoire L.T.I.I le 12/06/2012 à 12h30:**

- une température de **35.60°C** e
- un ensoleillement de **530.42 W/m²**.

A partir de la figure IV.3, on peut voir que la tension maximale de circuit ouvert est $V_{co}=19.2\text{ V}$ ainsi que le courant maximal dans ces condition $I_{cc}=3.1\text{ A}$. La puissance maximale observée est $P_{pvmax}=38.6\text{ W}$, et correspond à une tension $V_{pv}=14.2\text{ V}$ et un courant $I_{pv}=2.7\text{ A}$.

-Test N°3 :

La figure IV.4 montre une caractéristique courant-tension du panneau photovoltaïque exposé aux conditions suivantes et relevé **au nouveau laboratoire L.T.I.I le 12/06/2012 à 14h30 :**

- une température de **34.40°C** e
- un ensoleillement de **729.61 W/m²**.

On peut voir que la tension maximale du circuit ouvert $V_{co}=19.4\text{ V}$ et un courant de court circuit maximal de $I_{cc}=4.6\text{ A}$. La puissance maximale de fonctionnement est $P_{pvmax}=53.2\text{ W}$, ce point correspond à une tension $V_{pv}=13.2\text{ V}$ et un courant $I_{pv}=4\text{ A}$.

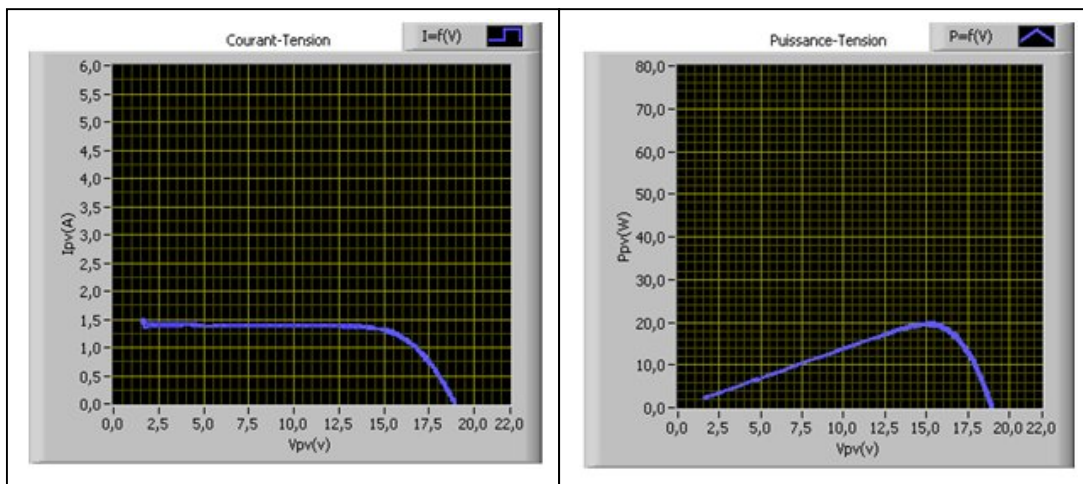


Fig. IV.2. Test N°01 sous LabVIEW.

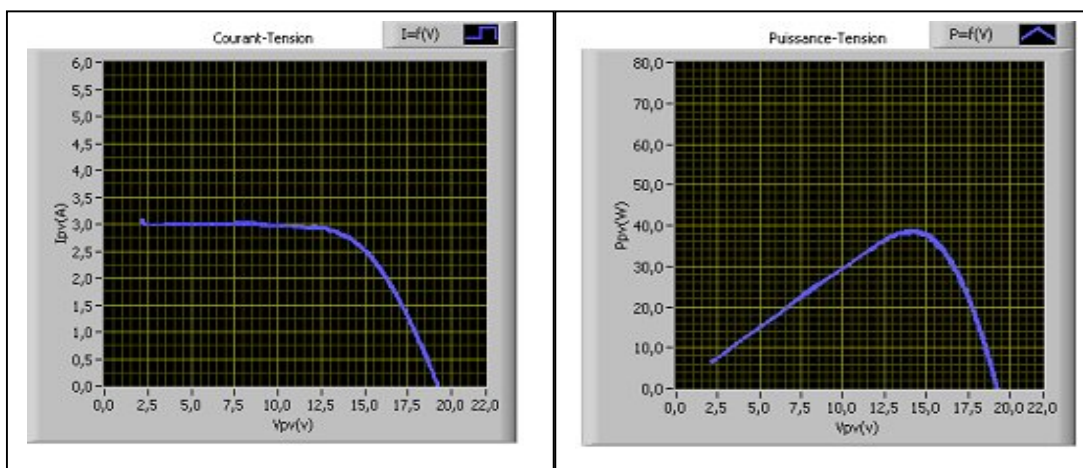


Fig. IV.3. Test N°02 sous LabVIEW.

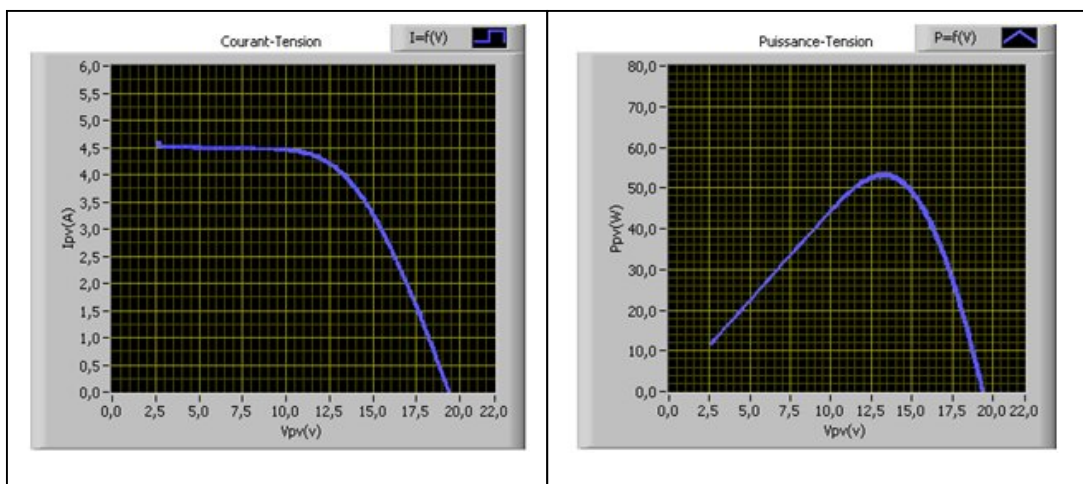


Fig. IV.4. Test N°03 sous LabVIEW.

IV.2. Résultats par simulation sous Matlab/Simulink

Nous faisons la simulation sous Matlab/Simulink du panneau photovoltaïque **Suntech** de puissance $P_{pvmax} = 80W$ (voir annexe) dans les mêmes conditions que les mesures expérimentales effectués sous Labview. Le modèle choisi est le modèle à une diode qui se rapproche des résultats expérimentaux obtenus par la méthode volt Ampère-métrique. Le schéma bloc du panneau photovoltaïque sous Matlab Simulink est représenté sur la figure IV.5.

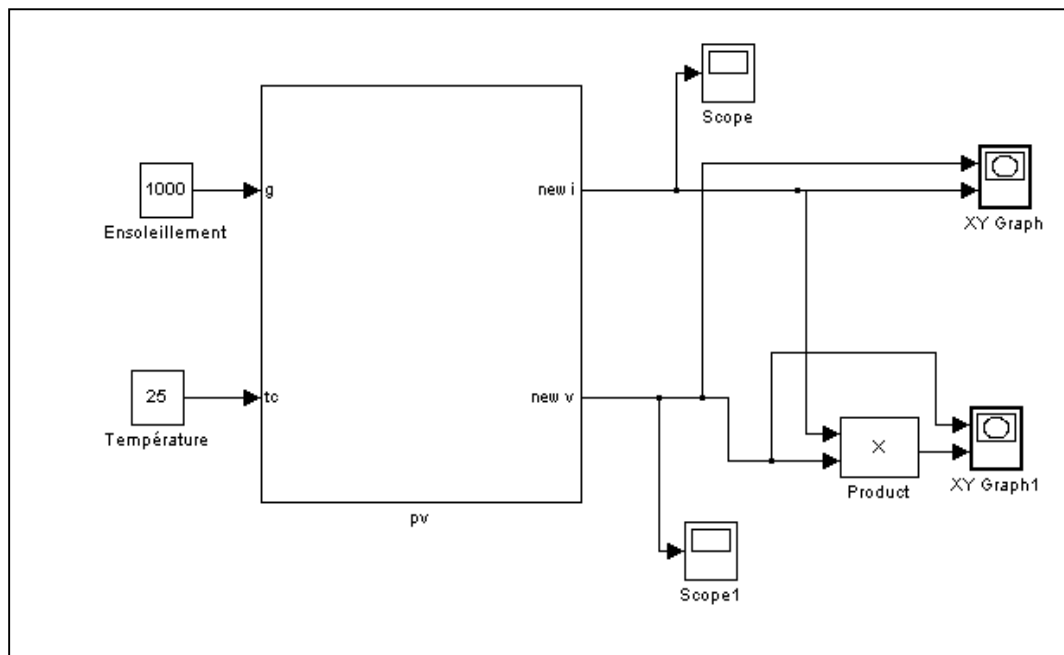


Fig. IV.5 : Bloc Simulink du panneau photovoltaïque.

Les différents tests de simulation sont :

- **Test N°1** : Température $T = 31,79^{\circ}C$, Ensoleillement $E = 201.9 W/m^2$.
- **Test N°2** : Température $T = 35.60^{\circ}C$, ensoleillement $E = 530.41 W/m^2$.
- **Test N°3** : Température $T = 34.40^{\circ}C$, Ensoleillement $E = 729.61 W/m^2$.

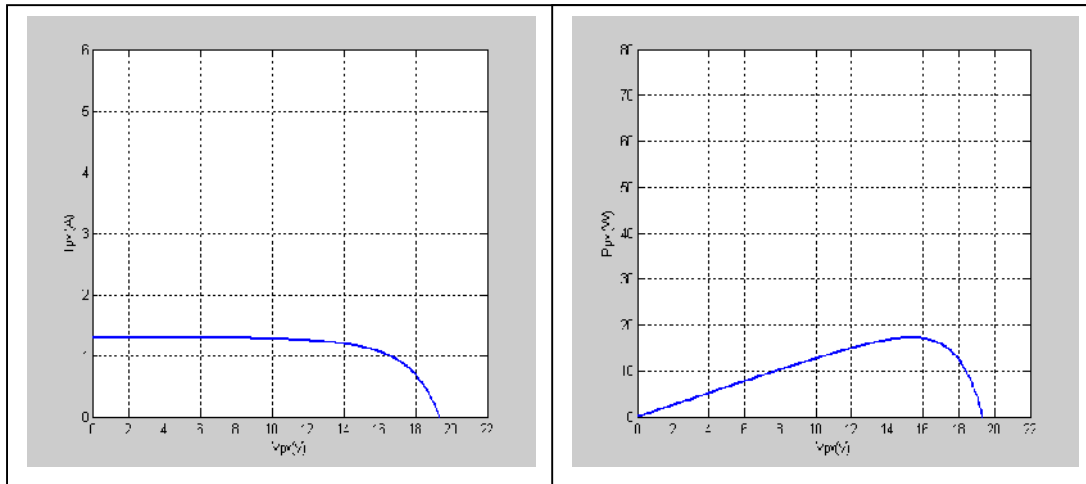


Fig.IV.6. Test N°1 sous Matlab/Simulink.

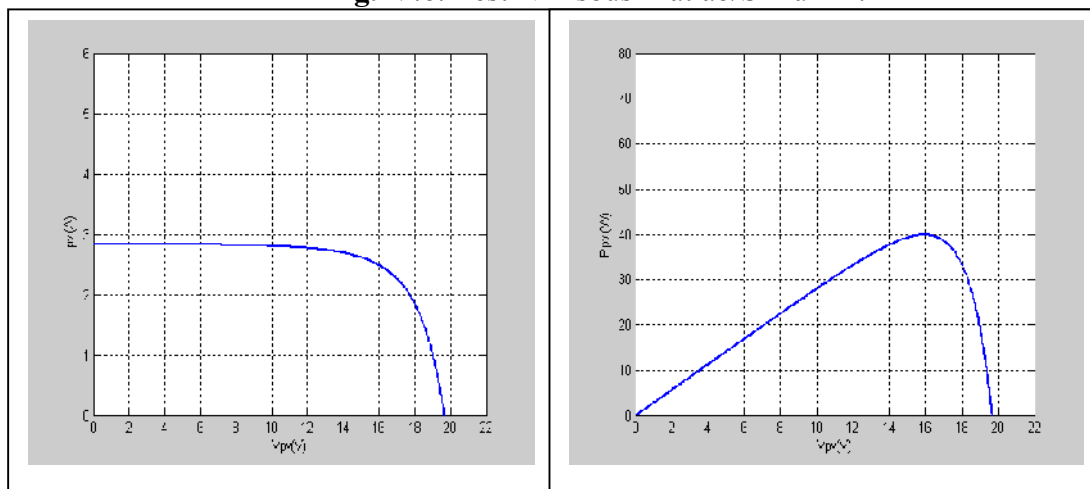


Fig. IV.7. Test N°2 sous Matlab/Simulink

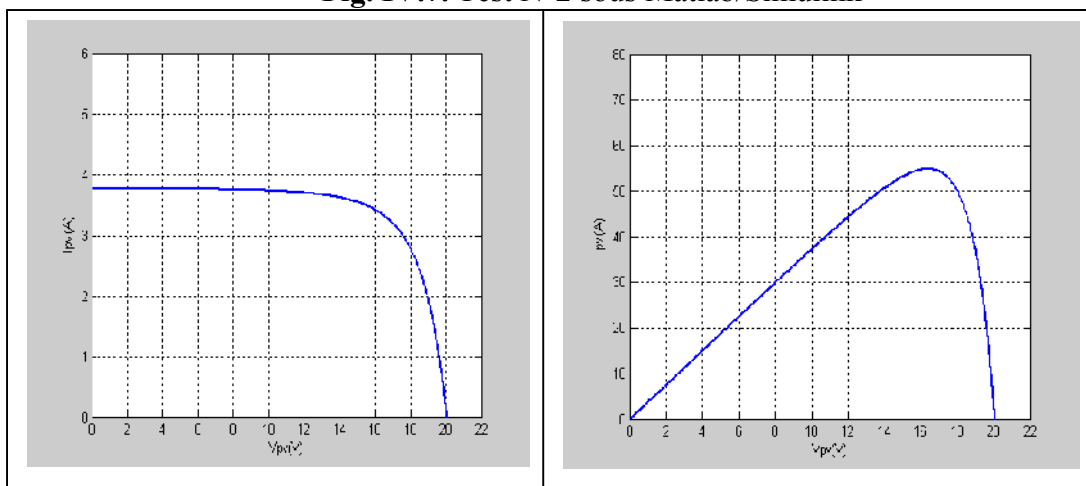


Fig. IV.8. Test N°3 sous Matlab/Simulink

IV.3. Résultats de la méthode Volt-Ampère-métrique

On utilise le montage (Fig. I.18) vu au chapitre 1, en utilisant les mêmes conditions utilisés dans le cas la simulation sous Matlab/Simulink et ceux utilisés en expérimental sous Labview.

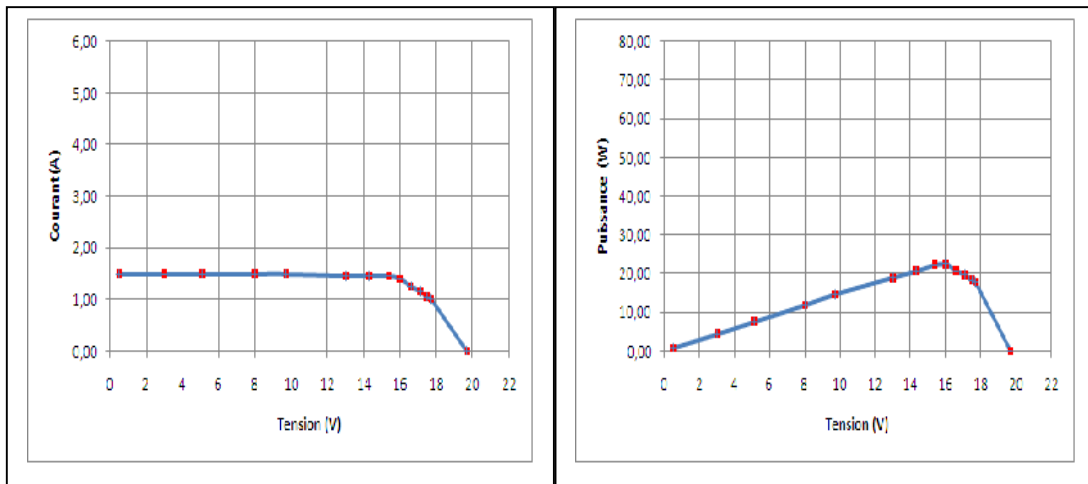


Fig. IV.9. Test N°1 avec la méthode Volt-Ampère-métrique.

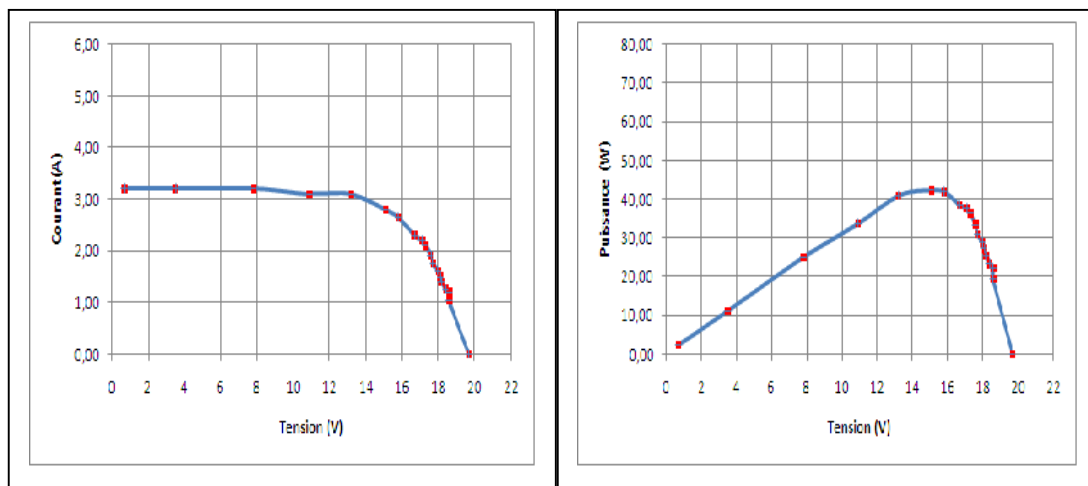


Fig. IV.10. Test N°2 avec la méthode Volt-Ampère-métrique.

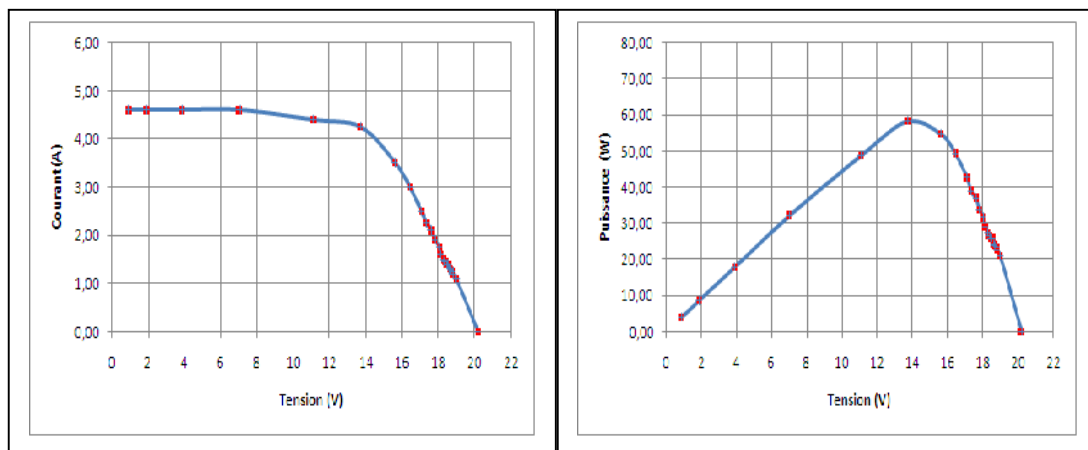


Fig. IV.11. Test N°3 avec la méthode Volt-Ampère-métrique.

IV.4. Interprétation des résultats

Nous comparons les résultats des trois méthodes présentées. Nous constatons que les trois résultats concordent avec quelques erreurs surtout aux faibles ensoleillements nous pensons que ceci est dû aux erreurs de mesure par les capteurs de température et d'ensoleillement. Par ailleurs, si on compare les résultats obtenus avec la méthode Volt-Ampère-métrique classique à ceux de la méthode pratique sous Labview, on constate qu'avec cette dernière méthode on obtient des résultats avec une précision de mesure et un nombre de points plus important sur une échelle de temps définie. Et si on compare les trois essais effectués à temps réel, on remarque deux points importants gouvernant le fonctionnement d'un panneau photovoltaïque :

- ✓ La tension de circuit ouvert V_{co} diminue avec l'augmentation de la température et inversement.
- ✓ Le courant de court-circuit I_{cc} diminue en fonction de l'ensoleillement, si l'ensoleillement diminue le courant diminue et si l'ensoleillement augmente le courant augmente.

Conclusion :

Dans ce chapitre on a présenté les différents résultats expérimentaux obtenus sous LabVIEW et ceux obtenus par la méthode Volt-Ampère-métrique, ainsi que ceux obtenus par simulation numérique sous Matlab/Simulink. Une bonne concordance des résultats a été remarquée sur les différentes caractéristiques électriques obtenues $I(V)$ et $P(V)$.

Conclusion générale

Aujourd'hui, l'énergie photovoltaïque devient progressivement une source d'énergie à part entière, de plus en plus sollicitée pour produire de l'énergie électrique allant du domestique à de grandes centrales connectées au réseau. Cependant, il reste encore pas mal de freins à son développement en termes de manques de production, ou bien même de coûts prohibitifs rendant cette source d'énergie chère et peu fiable tout au long de la durée de vie du générateur.

Le travail présenté dans ce mémoire concerne la caractérisation d'un système photovoltaïque.

Avant d'aborder les objectifs de cette étude, nous avons jugé utile en premier lieu de faire le point sur l'état de l'art de l'énergie photovoltaïque. De même, un bref rappel est consacré aux différents capteurs de mesure utilisés.

Nous avons commencé dans la seconde partie par la présentation du matériel d'acquisition, les caractéristiques de la carte de national instrument **NI-PCI 6259** et le logiciel qui l'accompagne LabVIEW.

Nous sommes ensuite passé à la réalisation d'un banc d'essais et un programme labview permettant une acquisition de donnée a temps réel afin de tracer les différentes caractéristiques du panneau photovoltaïque.

Le dernier chapitre, nous l'avons consacré aux différents résultats pratique acquis durant les testes effectués.

Ce travail a donné naissance à une nouvelle méthode de caractérisation à haut précision (nombre d'échantillon par seconde) grâce a la carte d'acquisition NI PCI 6259.

Nous suggérons comme perspective d'augmenté les capacités de la charge variables pour pouvoir caractériser des champs photovoltaïques a grande puissance.

Annexe

Annexe

Panneau photovoltaïque STP080S-12BP.



Electrical Characteristics

Model	STP080S-12/Bb
Open-circuit voltage (V _{oc})	21.9V
Optimum operating voltage (V _{mp})	17.5V
Short-circuit current (I _{sc})	4.95A
Optimum operating current (I _{mp})	4.58A
Maximum power at STC (P _{max})	80W _p
Operating temperature	-40°C to +85°C
Maximum system voltage	715V DC

STC: Irradiance 1000W/m², Module temperature 25°C, AM=1.5

Coefficient d'incrémentation du courant I_{sc} (α_{sc})

3.00 mA/°C

Coefficient d'incrémentation de la tension V_{oc} (β_{oc})

-150.00 mV/°C

Paramètres

SUNTECH STPO80S-12/Bb

C₁

2.14*10⁻⁶

C₂

0.0766

Charge variable.



Capteurs de température et d'ensoleillement.



Datasheet transistor 2N3055.



2N3055
MJ2955

COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS

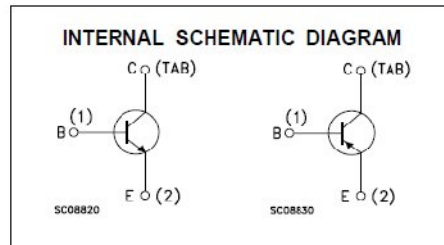
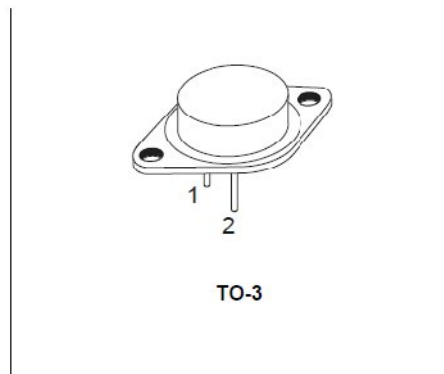
- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES
- COMPLEMENTARY NPN-PNP DEVICES

DESCRIPTION

The 2N3055 is a silicon Epitaxial-Base Planar NPN transistor mounted in Jedec TO-3 metal case.

It is intended for power switching circuits, series and shunt regulators, output stages and high fidelity amplifiers.

The complementary PNP type is MJ2955.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		NPN	2N3055	
		PNP	MJ2955	
V_{CBO}	Collector-Base Voltage ($I_E = 0$)		100	V
V_{CER}	Collector-Emitter Voltage ($R_{BE} \leq 100\Omega$)		70	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage ($I_B = 0$)		60	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage ($I_C = 0$)		7	V
I_C	Collector Current		15	A
I_B	Base Current		7	A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25^\circ\text{C}$		115	W
T_{stg}	Storage Temperature		-55 to 200	$^\circ\text{C}$
T_j	Max. Operating Junction Temperature		200	$^\circ\text{C}$

For PNP types voltage and current values are negative.

Annexe

THERMAL DATA

$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	1.5	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
----------------	----------------------------------	-----	-----	-----------------------------

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{case} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CEX}	Collector Cut-off Current ($V_{BE} = -1.5\text{V}$)	$V_{CE} = 100\text{V}$			1	mA
		$V_{CE} = 100\text{V}$ $T_j = 150^{\circ}\text{C}$			5	mA
I_{CEO}	Collector Cut-off Current ($I_B = 0$)	$V_{CE} = 30\text{V}$			0.7	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current ($I_C = 0$)	$V_{EB} = 7\text{V}$			5	mA
$V_{CEO(sus)*}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($I_B = 0$)	$I_C = 200\text{mA}$	60			V
$V_{CER(sus)*}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage ($R_{BE} = 100\ \Omega$)	$I_C = 200\text{mA}$	70			V
$V_{CE(sat)*}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 4\text{A}$ $I_B = 400\text{mA}$			1	V
		$I_C = 10\text{A}$ $I_B = 3.3\text{A}$			3	V
V_{BE*}	Base-Emitter Voltage	$I_C = 4\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{A}$			1.8	V
η_{FE*}	DC Current Gain	$I_C = 4\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{A}$	20		70	
		$I_C = 10\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{A}$	5			
f_T	Transition frequency	$I_C = 0.5\text{A}$ $V_{CE} = 10\text{V}$	3			MHz
$I_{s/b*}$	Second Breakdown Collector Current	$V_{CE} = 40\text{V}$	2.87			A

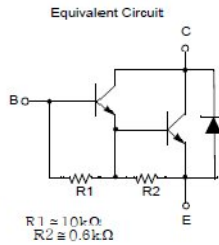
* Pulsed: Pulse duration = 300 μs , duty cycle 1.5 %
For PNF types voltage and current values are negative.

Datasheet transistor TIP111.



TIP110/TIP111/TIP112 NPN Epitaxial Silicon Darlington Transistor

- Monolithic Construction With Built In Base-Emitter Shunt Resistors
- Complementary to TIP115/116/117
- High DC Current Gain : $h_{FE}=1000$ @ $V_{CE}=4V, I_C=1A$ (Min.)
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage
- Industrial Use



Absolute Maximum Ratings* $T_a = 25^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Ratings	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : TIP110	60	V
	: TIP111	80	V
	: TIP112	100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : TIP110	60	V
	: TIP111	80	V
	: TIP112	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	2	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	4	A
I_B	Base Current (DC)	50	mA
P_C	Collector Dissipation ($T_c=25^\circ C$)	2	W
	Collector Dissipation ($T_c=25^\circ C$)	50	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ C$

* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

Annexe

TIP110/TIP111/TIP112 — NPN Epitaxial Silicon Darlington Transistor

Electrical Characteristics* $T_s=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
$V_{CE0}(\text{sus})$	Collector-Emitter Sustaining Voltage : TIP110 : TIP111 : TIP112	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$	60 80 100			V V V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current : TIP110 : TIP111 : TIP112	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = 40\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = 50\text{V}, I_B = 0$			2 2 2	mA mA mA
I_{CDO}	Collector Cut-off Current : TIP110 : TIP111 : TIP112	$V_{CB} = 60\text{V}, I_E = 0$ $V_{CB} = 80\text{V}, I_E = 0$ $V_{CB} = 100\text{V}, I_E = 0$			1 1 1	mA mA mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{BE} = 5\text{V}, I_C = 0$			2	mA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 1\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 2\text{A}$	1000 500			
$V_{CE}(\text{sat})$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 2\text{A}, I_B = 8\text{mA}$			2.5	V
$V_{BE}(\text{on})$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 2\text{A}$			2.8	V
C_{OB}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{V}, I_E = 0, f = 0.1\text{MHz}$			100	pF

* Pulse Test, Pulse Width $\leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$

Annexe

Datasheet amplificateur LM358.



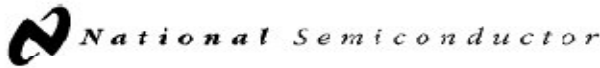
LM358

electrical characteristics at specified free-air temperature, $V_{CC} = 5\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS*		LM358			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX,}$ $V_{IC} = V_{ICR\text{ min,}}$ $V_O = 1.4\text{ V}$	25 °C		3	7	mV
		Full range			9	
αV_{IO} Average temperature coefficient of input offset voltage		Full range		7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25 °C		2	50	nA
		Full range			150	
αI_{IO} Average temperature coefficient of input offset current		Full range		10		$\text{pA}/^\circ\text{C}$
I_{IB} Input bias current	$V_O = 1.4\text{ V}$	25 °C		-20	-250	nA
		Full range			-500	
V_{ICR} Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$	25 °C	0 to $V_{CC} - 1.5$			V
		Full range	0 to $V_{CC} - 2$			
V_{OH} High-level output voltage	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25 °C	$V_{CC} - 1.5$			V
	$V_{CC} = \text{MAX, } R_L = 2\text{ k}\Omega$	Full range	26			
	$V_{CC} = \text{MAX, } R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range	27	28		
V_{OL} Low-level output voltage	$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range		5	20	mV
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_{CC} = 15\text{ V,}$ $V_O = 1\text{ V to } 11\text{ V,}$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25 °C	25	100		V/mV
		Full range	15			
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX,}$ $V_{IC} = V_{ICR\text{ min}}$	25 °C	65	80		dB
k_{SVR} Supply voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = 5\text{ V to MAX}$	25 °C	65	100		dB
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$f = 1\text{ kHz to } 20\text{ kHz}$	25 °C		120		dB
I_O Output current	$V_{CC} = 15\text{ V,}$ $V_{ID} = 1\text{ V, } V_O = 0$	25 °C	-20	-30		mA
		Full range	-10			
	$V_{CC} = 15\text{ V,}$ $V_{ID} = -1\text{ V, } V_O = 15\text{ V}$	25 °C	10	20		
		Full range	5			
I_{OS} Short-circuit output current	V_{CC} at 5 V, GND at -5 V, $V_O = 0$	25 °C		± 40	± 60	mA
I_{CC} Supply current (two amplifiers)	$V_O = 2.5\text{ V, No load}$	Full range		0.7	1.2	mA
	$V_{CC} = \text{MAX,}$ $V_O = 0.5V_{CC, No load}$	Full range		1	2	

* All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. «MAX» V_{CC} for testing purposes is 30 V. Full range is 0 °C to 70 °C.

Datasheet LM35.



December 1994

LM35/LM35A/LM35C/LM35CA/LM35D
Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/2^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is

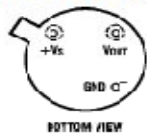
available packaged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-202 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+ 10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable ($\pm 25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/2^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for 1 mA load

Connection Diagrams

TO-46 Metal Can Package*

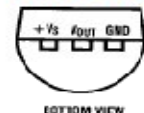


TL/H/5516-1

*Capacitor connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH
 See NS Package Number H03H

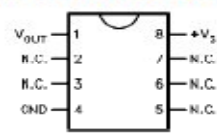
TO-92 Plastic Package



TL/H/5516-2

Order Number LM35CZ, LM35CAZ or LM35DZ
 See NS Package Number Z03A

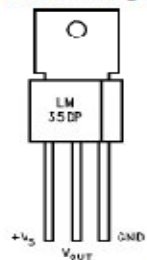
SO-8 Small Outline Molded Package



TL/H/5516-3

Top View
 N.C. = No Connection
 Order Number LM35DM
 See NS Package Number M08A

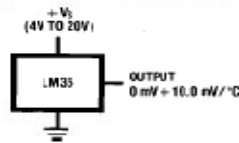
TO-202 Plastic Package



TL/H/5516-4

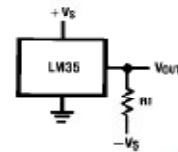
Order Number LM35DP
 See NS Package Number P03A

Typical Applications



TL/H/5516-3

FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor ($+ 2^\circ\text{C}$ to $+ 150^\circ\text{C}$)



TL/H/5516-4

Choose $H_1 = -V_S/20\ \mu\text{A}$

$V_{OUT} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 $= +250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 $= -500\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

Precision Centigrade Temperature Sensors

Annexe

Absolute Maximum Ratings (Note 10)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage	+35V to -0.2V
Output Voltage	+6V to -1.0V
Output Current	10 mA
Storage Temp., TO-46 Package,	-60°C to +180°C
TO-92 Package,	-60°C to +150°C
SO-8 Package,	-65°C to +150°C
TO-202 Package,	-65°C to +150°C
Lead Temp.:	
TO-46 Package, (Soldering, 10 seconds)	300°C
TO-92 Package, (Soldering, 10 seconds)	260°C
TO-202 Package, (Soldering, 10 seconds)	+230°C

SO Package (Note 12):

Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 11)	2500V
Specified Operating Temperature Range: T_{MIN} to T_{MAX}	
(Note 2)	
LM35, LM35A	-55°C to +150°C
LM35C, LM35CA	-40°C to +110°C
LM35D	0°C to +100°C


Electrical Characteristics (Note 1) (Note 6)

Parameter	Conditions	LM35A			LM35CA			Units (Max.)
		Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	Typical	Tested Limit (Note 4)	Design Limit (Note 5)	
Accuracy (Note 7)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.2	± 0.5		± 0.2	± 0.5	± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = -10^\circ\text{C}$	± 0.3			± 0.3		± 1.0	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MAX}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0	± 1.5	$^\circ\text{C}$
	$T_A = T_{MIN}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4		± 1.5	$^\circ\text{C}$
Nonlinearity (Note 8)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.18		± 0.35	± 0.15		± 0.3	$^\circ\text{C}$
Sensor Gain (Average Slope)	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	+ 10.0	+ 9.9, + 10.1		+ 10.0		+ 9.9, + 10.1	mV/ $^\circ\text{C}$
Load Regulation (Note 3) $0 \leq I_L \leq 1 \text{ mA}$	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.4	± 1.0		± 0.4	± 1.0		mV/mA
	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$	± 0.5		± 3.0	± 0.5		± 3.0	mV/mA
Line Regulation (Note 3)	$T_A = +25^\circ\text{C}$	± 0.01	± 0.05		± 0.01	± 0.05		mV/V
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	± 0.02		± 0.1	± 0.02		± 0.1	mV/V
Quiescent Current (Note 9)	$V_S = +5\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56	67		56	67	114	μA
	$V_S = +5\text{V}$	105		131	91		114	μA
	$V_S = +30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	56.2	68		56.2	68		μA
	$V_S = +30\text{V}$	105.5		133	91.5		116	μA
Change of Quiescent Current (Note 3)	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}, +25^\circ\text{C}$	0.2	1.0		0.2	1.0		μA
	$4\text{V} \leq V_S \leq 30\text{V}$	0.5		2.0	0.5		2.0	μA
Temperature Coefficient of Quiescent Current		+ 0.39		+ 0.5	+ 0.39		+ 0.5	$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
Minimum Temperature for Rated Accuracy	In circuit of Figure 1, $I_L = 0$	+1.5		+2.0	+1.5		+2.0	$^\circ\text{C}$
Long Term Stability	$T_J = T_{MAX}$, for 1000 hours	± 0.08			± 0.08			$^\circ\text{C}$


Note 1: Unless otherwise noted, these specifications apply: $-55^\circ\text{C} \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ for the LM35 and LM35A; $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +110^\circ\text{C}$ for the LM35C and LM35CA; and $0^\circ\text{C} \leq T_J \leq +100^\circ\text{C}$ for the LM35D. $V_S = +5\text{Vdc}$ and $I_{LOAD} = 50 \mu\text{A}$, in the circuit of Figure 2. These specifications also apply from $+2^\circ\text{C}$ to T_{MAX} in the circuit of Figure 7. Specifications in **boldface** apply over the full rated temperature range.

Note 2: Thermal resistance of the TO-46 package is $40^\circ\text{C}/\text{W}$, junction to ambient, and $24^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to case. Thermal resistance of the TO-92 package is $180^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the small outline molded package is $220^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. Thermal resistance of the TO-202 package is $85^\circ\text{C}/\text{W}$ junction to ambient. For additional thermal resistance information see table in the Applications section.

Datasheet photodiode.



FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR



July 2010

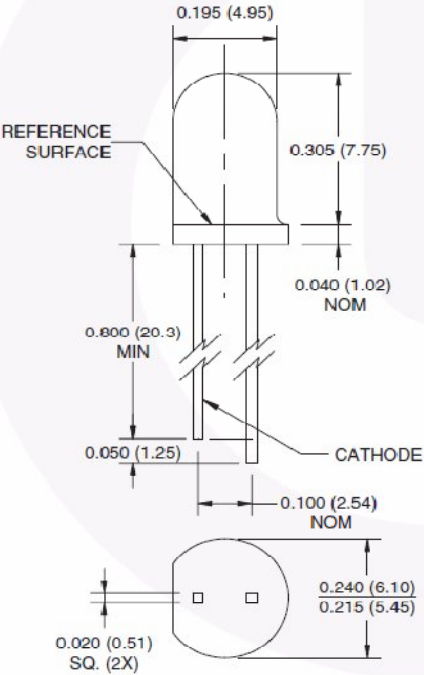
QSD2030F


Plastic Silicon Photodiode

Features

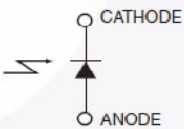
- PIN photodiode
- Package type: T-1 3/4 (5mm lens diameter)
- Wide reception angle, 40°
- Daylight filter
- Package material and color: black epoxy
- High sensitivity
- Peak sensitivity $\lambda = 880\text{nm}$
- Radiant sensitive area: 1.245mm x 1.245mm

Package Dimensions





Schematic



Notes:

1. Dimensions for all drawings are in inches (mm).
2. Tolerance of ± 0.010 (0.25) on all non-nominal dimensions unless otherwise specified.

©2010 Fairchild Semiconductor Corporation
QSD2030F Rev. 1.1.1

www.fairchildsemi.com

QSD2030F — Plastic Silicon Photodiode

Absolute Maximum Ratings ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only.

Symbol	Parameter	Rating	Unit
T_{OPR}	Operating Temperature	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
T_{SOL-I}	Soldering Temperature (Iron) ^(2,3,4)	240 for 5 sec	$^\circ\text{C}$
T_{SOL-F}	Soldering Temperature (Flow) ^(2,3)	260 for 10 sec	$^\circ\text{C}$
V_{BR}	Reverse Breakdown Voltage	50	V
P_D	Power Dissipation ⁽¹⁾	100	mW

Notes:

- Derate power dissipation linearly 1.33mW/ $^\circ\text{C}$ above 25 $^\circ\text{C}$.
- RMA flux is recommended.
- Methanol or isopropyl alcohols are recommended as cleaning agents.
- Soldering iron 1/16" (1.6mm) minimum from housing.

Electrical/Optical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
λ_{PS}	Peak Sensitivity Wavelength			880		nm
λ_{SR}	Wavelength Sensitivity Range		700		1100	nm
θ	Reception Angle			± 20		$^\circ$
V_F	Forward Voltage	$I_F = 80\text{mA}$		1.3		V
I_D	Reverse Dark Current	$V_R = 10\text{V}, E_e = 0$			10	nA
I_L	Reverse Light Current	$E_e = 0.5\text{mW}/\text{cm}^2, V_R = 5\text{V}, \lambda = 950\text{nm}$	15	25		μA
V_O	Open Circuit Voltage	$E_e = 0.5\text{mW}/\text{cm}^2, \lambda = 880\text{nm}$		420		mV
TC_V	Temperature Coefficient of V_O			+0.6		mV / K
I_{SC}	Short Circuit Current	$E_e = 0.5\text{mW}/\text{cm}^2, \lambda = 880\text{nm}$		50		μA
TC_I	Temperature Coefficient of I_{SC}			+0.3		% / K
C	Capacitance	$V_R = 0, f = 1\text{MHz}, E_e = 0$		60		pF
t_r	Rise Time	$V_R = 5\text{V}, R_L = 50\Omega, \lambda = 950\text{nm}$		5		ns
t_f	Fall Time			5		

BIBLIOGRAPHIE

- [1] : **Abdellah Benyoucef**, optimisation développement de surfaces a base de dioxyde de titane par pvd pour une application aux cellules solaires, thèse université de Abou-Bekr Belkaïd , Tlemcen 2008.
- [2]: **J.A. Duffie, and J.W.Beckman**, Solar Engineering of Thermal Processes, 2^{ème} edition, Inc, 1991.
- [3] : **Gustave Sow**, énergie renouvelable, Ndangane 2007.
- [4] : **Salah Mohamed Ait-cheikh**, Etude, Investigation et conception d'algorithmes de commande appliqués aux systèmes photovoltaïques, thèse doctorat d'état, Décembre 2007.
- [5] : **Anne Labouret**, Michel Villoz, énergie solaire photovoltaïque, 3^{ème} édition 2006.
- [6] : **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
- [7] : **Bendjellouli Zakaria**, Contribution a la modélisation d'une cellule solaire, mémoire magistère d'Université de Bachar, 2009
- [8] : Jacques Bernard, énergie solaire, calculs et optimisation, édition 2004.
- [9] : www.greenpeace.ca
- [10] : **Jimmy Royar, Thomas Djiako, Eric Schiller Bocar sada Sy**, Le pompage photovoltaïque, Direction de Eric Schiller.
- [11] : **Mohamedi Bilal**, Le pompage photovoltaïque, Direction de Eric Schiller.
- [12] : **Aline Maroun msaed**, micro capteur magnétique de mesure du courant et traitement intègre, thèse institut polytechnique de Grenoble, Grenoble 2009.
- [13] : <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fr/nid/14128>
- [14] : Francis Cottet, labview, programmation et application, édition 2001.

