

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

FACULTE de Technologie
DEPARTEMENT d'Electronique
N° : 2018/INST15/87



DOMAINE : Sciences et Technologie
FILIERE : ELECTRONIQUE
OPTION : INSTRUMENTATION

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

Par: - MOUNIR Yasser
- SENOUSSI Imane

Intitulé

**Monitoring d'un système photovoltaïque
autonome à base de LabVIEW**

Soutenu devant le jury composé de:

BENTOUMI Miloud	Université M'sila	Président
KAHLOUCHE Ahmed	Université M'sila	Encadreur
CHOUDER Aissa	Université M'sila	Co-Encadreur
BOUANAKA Fouzi	Université M'sila	Examineur

Année universitaire : 2017 /2018

Remerciements

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

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

Mes vifs remerciements vont à Mr kahlouch Ahmed, d'avoir accepté notre encadrement, ainsi pour leurs conseils fructueux et leurs encouragements.

Merci à l'ensemble de nos enseignants.

Merci à tous qui on contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Avant tout, je remercie Allah le tout puissant de
m'avoir donné le courage et la patience pour réaliser
ce travail

Je dédie ce modeste travail :

A mes chères parents (à toute ma reconnaissance
et ma gratitude).

A mes frères et mes sœurs

A tout familles Mounir, Abdedaim

A Senoussi Imane

A Hamza khalil et tout chers amis

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

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la
réalisation de ce travail.

M.Yasser

Avant tous, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir
donné le courage et la patience pour réaliser

Ce travail malgré toutes les difficultés rencontrées.

Je dédie ce modeste travail à mes parents chers pour
leurs sacrifices et qu'ils n'ont pas jamais a passé de
coup encourager, que dieu les gardes et les protèges
pour leur soutien moral et financier, pour leurs
encouragements et les sacrifices qu'ils ont endurés.

A mes frères et mes sœurs et toute ma famille

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

Tous mes collègues d'études surtout ceux

D'électronique

S. Imane

Table des matières	i
Liste des abréviations et des acronymes	iv
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Introduction générale	1
Chapitre I	
Généralités sur les systèmes photovoltaïques	
I.1 Introduction	3
I.2 Historique	3
I.2.1 Dates importantes dans l’histoire du photovoltaïque	3
I.3 Rayonnement solaire	5
I.3.1 Spectre du rayonnement	5
I.4 Principe du photovoltaïque	6
I.5 Composants et systèmes existants	7
I.5.1 Types de cellules	7
I.5.1.1 Silicium Monocristallin	8
I.5.1.2 Silicium Polycristallin	8
I.5.1.3 Silicium Amorphe	9
I.5.2 Types des systèmes existants	10
I.5.2.1 Systèmes autonome	10
I.5.2.2 Systèmes connectée au réseau	11
I.5.2.3 Systèmes de pompage	12
I.6 Stockage	13
I.6.1 Types d’accumulateurs	15
I.6.1.1 Accumulateurs au plomb acide	15
I.6.1.2 Accumulateurs au Nickel-cadmium	18

I.7 Système de régulation	18
I.7.1 Régulation de décharge	19
I.7.2 Régulation de la charge	19
I.8 Système de conversion	21
I.8.1 Convertisseur continu –continu	21
I.8.1 Convertisseur continu – alternatif	22
I.9 Conclusion	22
 Chapitre II	
Modélisation d'un système photovoltaïque	
II.1 Introduction	23
II.2 Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque	23
II.2.1 Modèle à une diode	23
II.2.2 Modèle à deux diodes	25
II.3 Caractéristiques I-V d'un module	26
II.4 Modélisation de stockage	27
II.5 Modèle de la température	32
II.6 Modélisation du système de conversion	33
II.7 Conclusion	35
 Chapitre III	
Système d'acquisition	
III.1 Introduction	36
III.2 Système d'acquisition	36
III.2.1 La carte d'interface de mesure	37
III.2.1.1 Atténuateur / Transducteur	37
III.2.1.2 Amplificateur différentiel	38

III.2.1.3 Filtre passe bas	38
III.2.1.4 Mise à l'échelle et décalage DC	39
III.2.1.5 Protection de survoltage	39
III.2.2 ARDUINO	42
III.2.2.1 Description du Matériel	43
III.2.2.2 Avantages	43
III.2.2.3 Arduino Uno	44
III.3 Conception assistée par ordinateur « PROTEUS»	46
III.4 LABVIEW	48
III.4.1 Programmeur de la carte Arduino Uno « environnement LABVIEW.....	48
III.4.2 Communication LIFA	50
III.4.3 LabVIEW interface avec le Proteus	50
III.5 Conclusions	52
Chapitre IV	
Résultats de simulations	
IV.1 Introduction	53
IV.2 Analyse les résultats de la simulation du système PV	53
IV.3 Conclusion	63
Conclusion Générale	64
Annexe	
Bibliographie	

Liste des abréviations et des acronymes

V_{oc} : tension à vide (V).

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

V_{op} : tension optimaux.

I_{op} : courant optimaux.

I_{ph} : Photo courant (A).

R_s : Résistance en série de la cellule photovoltaïque (Ω).

R_{sh} : Résistance shunt (Ω).

V_{co} : tension ouvert (V).

I_{co} : courant ouvert (A).

I_{cc} : le courant de court-circuit (A).

V_{oc} : tension à vide (V).

G : L'éclairement de référence (1000 W/m^2).

E : Eclairement (W/m^2).

$C_{Bat \min}$: La capacité minimale.

$C_{Bat \max}$: La capacité maximale.

C_{bat} : La capacité de stockage de la batterie (Ah).

V_{bat} : La tension aux bornes de la batterie (V).

VF : La force électromotrice (V).

R_{bat} : La résistance interne de batterie (Ω).

I_{bat} : Courant de charge de batterie (A).

ANALOG : Analogique.

DIGITAL : Numérique.

Liste des abréviations et des acronymes

ICSP : Abréviaton pour In Circuit Serial Programmions, programmation série sur circuit.

ADC : Analog-to-Digital Converter : un convertisseur analogique-numérique.

UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) : est un émetteur-récepteur asynchrone universel.

Liste des figures

Figure	Nom de figure	Numéro de page
Figure 1.1	spectre solaire hors atmosphère.	6
Figure 1.2	structure de la cellule photovoltaïque	7
Figure 1.3	Cellule monocristalline.	8
Figure 1.4	Cellule poly-cristalline.	9
Figure 1.5	Cellule amorphe.	10
Figure 1.6	Système photovoltaïque autonome	10
Figure 1.7	Système hybride solaire / éolien.	11
Figure 1.8	Types des systèmes connectés au réseau	12
Figure 1.9	Schéma général d'un système de pompage photovoltaïque	13
Figure 1.10	Construction d'une batterie monobloc	15
Figure 1.11	Conception de batterie au plomb	18
Figure 1.12	Schéma de principe d'un régulateur de charge série	20
Figure 1.13	Schéma de principe d'un régulateur de charge à découpage	20
Figure 1.14	Schéma de principe d'un régulateur de charge parallèle	21
Figure 2.1	schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à une diode	23
Figure 2.2	schéma équivalent d'une cellule PV Modèle à deux diodes	25
Figure 2.3	Caractéristiques I-U d'un module PW 6-110 pour différentes irradiations solaires, à 25 °C	26
Figure 2.4	Caractéristiques I-U d'un module PW 6-110 pour différentes températures	27
Figure 2.5	Schéma électrique de batterie.	29
Figure 2.6	Variation de tension en mode de charge en fonction de l'état de charge.	30
Figure 2.7	Rendement de l'onduleur	35
Figure 3.1	Capteurs et système d'acquisition pour surveiller le système PV	36
Figure 3.2	étapes d'un circuit d'interface de mesure	37
Figure 3.3	Canal de mesure de courant.	40
Figure 3.4	Canal de mesure de tension.	41
Figure 3.5	VI développé pour obtenir gain de la carte d'interface de	42

	mesure.	
Figure 3.6	Carte ARDUINO.	43
Figure 3.7	Composant Arduino UNO	44
Figure 3.8	Branchage de la carte Arduino Uno	46
Figure 3.9	la modélisation réalisé dans le ISIS-PROTEUS	47
Figure 3.10	Le chemin du fichier de code HEX de notre programme	47
Figure 3.11	La palette Arduino sous LABVIEW.	49
Figure 3.12	Le package Arduino sous LABVIEW.	49
Figure 3.13	Fenêtre VSPE montrant les ports COM associés.	51
Figure 3.14	Connexion COMPIM et Arduino dans Proteus.	51
Figure 3.15	Configuration le COMPIM dans Proteus pour l'interface avec LabVIEW.	52
Figure 4.1	Panneau de visualisation des paramètres d'extraction du système PV.	53
Figure 4.2	VI développé pour obtenir les monitors data.	54
Figure 4.3	Caractéristiques I-V mesurées sur Proteus.	54
Figure 4.4	Evolution du rayonnement solaire.	55
Figure 4.5	Evolution de la tension à la sortie du PV	56
Figure 4.6	Evolution du courant à la sortie du PV.	56
Figure 4.7	Evolution de la puissance générée par le système PV.	56
Figure 4.8	la tension de charge et décharge de la batterie.	57
Figure 4.9	Courant en mode de charge la batterie	57
Figure 4.10	rapport Excel de la tension et du courant PV.	58
Figure 4.11	rapport Excel du rayonnement solaire.	59
Figure 4.12	la tension de charge et décharge de la batterie.	60
Figure 4.13	Tableaux de la base de données.	60
Figure 4.14	Tableaux de la tension et du courant à la sortie du PV dans la base de données	61
Figure 4.15	Rendement de référence du rayonnement solaire	61
Figure 4.16	Rendement de référence de courant PV	62
Figure 4.17	Rendement de référence de tension PV	62
Figure 4.18	Rendement de référence de tension de la batterie	62

Liste des tableaux

Tableau	Nom de tableau	Numéro de page
Tableau 1.1	Evénements notables dans l’histoire du photovoltaïques	4
Tableau 1.2	Rendement des différents types des cellules.	10
Tableau 2.1	Caractéristique de batterie plomb acide.	31
Tableau 3.1	Caractéristiques de la carte Arduino Uno	45
Tableau 4.1	Paramètres extraits pour le module PV Isofoton 106-12 à 1000W/ m ² et 25 °C.	53
Tableau 4.2	les canaux associés à chaque variable mesurée et sensibilité des capteurs utilisés.	54

Introduction Générale

Introduction générale

Depuis très longtemps, les humains ont profité d'énergie émise par le soleil. La plupart des utilisations sont directes comme en agriculture, à travers la photosynthèse et le séchage des cultures agricoles, dessalement de l'eau de mer ou dans les diverses applications de chauffage, ainsi que dans d'autres domaines, mais cette exploitation était limitée et avec le grand développement de la technologie et le progrès scientifique atteint par l'homme ouvert de nouveaux horizons scientifiques dans le domaine de l'exploitation de l'énergie solaire.

Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre et, ait pris une place importante dans les alternatives d'énergie renouvelable, son utilisation est associée à la présence de la rayonne solaire pendant toute la durée d'utilisation et, malgré une atténuation importante lors de la traversée de l'atmosphère, la quantité restante demeure encore importante quand elle arrive au sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m² crête dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m², lorsque l'atmosphère est faiblement polluée en poussière ou en eau . Le flux solaire reçu au niveau du sol dépend de [1] :

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

Les principaux phénomènes physiques évoqués sont des paramètres à prendre en compte pour l'installation et la maintenance de générateurs photovoltaïques.

En effet, le comportement de ces générateurs d'énergie s'avère plus ou moins aléatoire, en fonction du site de mise en fonctionnement. Ainsi, si l'on considère des zones à climat sec et possédant un taux d'ensoleillement important dans l'année, le flux solaire peut être facilement modélisable et prévisible en fonction des heures de la journée et des jours de l'année. Le fonctionnement des générateurs PV est alors souvent proche de celui estimé. Si, au contraire, on considère des zones plus défavorables, souvent ventées et présentant un temps nuageux alternant avec des périodes d'ensoleillement sur plusieurs journées par an, l'irradiation change rapidement et dans de larges proportions. Il est alors difficile de faire des prédictions fines sur le taux d'irradiation sur un lieu et une heure précise. Dans ce cas

très défavorable, l'exploitation du gisement solaire devient plus difficile par des générateurs PV, qui doivent tenir compte de cette réalité [2].

De même, prenons le cas d'un site présentant des zones d'ombres liées à des infrastructures ou des reliefs naturels. Le comportement du générateur PV ne va plus être homogène et va souvent présenter des comportements dégradés qu'il faudra soit éviter, soit prévenir. La production d'énergie est dans ce cas souvent bien dégradée. Enfin, il ne faudra pas négliger des changements brutaux de point de fonctionnement directement liés au comportement de la charge sur laquelle le générateur PV doit débiter. Ce dernier point peut en effet entraîner un fonctionnement du générateur PV bien en deçà de son point nominal si la charge est mal adaptée.

Ces premiers constats montrent que l'exploitation d'une énergie comme le photovoltaïque peut s'avérer complexe et inefficace sans une bonne connaissance des conditions d'exploitations. [1]

Le photovoltaïque connaît actuellement un fort développement. L'électricité produite par les rayonnements solaires reste onéreuse suite à de nombreuses modifications du tarif de rachat de l'électricité photovoltaïque. Par conséquent, le retour sur investissement devient de plus en plus long. Afin de l'améliorer, ou comme tout processus industriel, un système photovoltaïque peut être soumis, au cours de son fonctionnement, à différents défauts et anomalies conduisant à une baisse de performance du système.

Pour faire de la maintenance préventive et entretenir les installations photovoltaïques à temps, il faut avoir un système qui permet de mesurer, enregistrer et transférer les données obtenues par l'instrumentation, et être capable de traiter les données mesurées et détecter les pannes sur une installation photovoltaïque quelconque, c'est ce qu'on appelle un système de monitoring.

Chapitre I
Généralités sur les systèmes
photovoltaïques

Chapitre I

Généralités sur les systèmes photovoltaïques

I.1 Introduction

L'énergie photovoltaïque résulte de la transformation directe de la lumière du soleil en énergie électrique aux moyens des cellules généralement à base de silicium cristallin qui reste la filière la plus avancées sur le plan technologiques et industriel, en effet le silicium est l'un des éléments les plus abondants sur terre sous forme de silice non toxique.

En effet le mot " photovoltaïque " vient du grec " photo " qui signifie lumière et de " voltaïque " qui tire son origine du nom d'un physicien italien Alessandro Volta (1754 - 1827) qui a beaucoup contribué à la découverte de l'électricité, alors le photovoltaïque signifie littérairement la « lumière électricité »

I.2 Historique

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans soleil. [2]

I.2.1 Dates importantes dans l'histoire du photovoltaïque

Date	Événement
1839	le physicien français Edmond Becquerel découvre le processus de l'utilisation de l'ensoleillement pour produire du courant électrique dans un matériau solide. C'est l'effet photovoltaïque.
1875	Werner Von Siemens expose devant l'Académie des Sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs. Mais jusqu'à la Seconde Guerre Mondiale, le phénomène reste encore une curiosité de laboratoire.
1954	trois chercheurs américains, Chapin, Pearson et Prince, mettent au point une cellule photovoltaïque à haut rendement au moment où l'industrie spatiale naissante cherche des solutions nouvelles pour alimenter ses satellites.

1958	Une cellule avec un rendement de 9 % est mise au point. Les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
1973	la première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à l'Université de Delaware.
1983	la première voiture alimentée par énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 km en Australie.
1985	Les cellules à base de Si donnent un rendement > 20% sous le rayonnement solaire.
1994	Des rendements > 30 % avec des cellules à concentration multi jonctions à base de GaInP/GaAs (NREL, USA).
1996	Les cellules solaires hybrides à colorants atteignent un rendement de 11% (EPFL, Switzerland).
1998	Cellules couches minces Cu(InGa) Se ₂ atteignent un rendement de 19% (NREL, US).
2002	Le photovoltaïque installé mondial cumulatif atteint 2000 MW.
2007	Cellules solaires organiques en structure tandem avec un rendement de 6,5 % (UCSB, USA).
2008	Un rendement homologué de 5,9% sur une surface active de 2 cm ² obtenu par Heliatek, BASF et l'Institut de photovoltaïque appliquée (IAPP) de l'Université technique de Dresde (Allemagne).
2009	Cellule polymère simple jonction avec un rendement de 6,1 % à base de PCDTBT et PC70BM (UCSB, USA) Cellule polymère simple jonction avec un rendement de 7,4 % à base de PBDTTT-CF et PC70BM (Solarmer Energy Inc., University of California, University of Chicago, USA).

Tableau 1.1 : Evénements notables dans l'histoire du photovoltaïques [3]

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. [2]

I.3 Rayonnement solaire

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé à 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus depuis que Langevin et Perrin, s'appuyant sur la théorie de la relativité d'Einstein, ont émis l'idée il y a une soixantaine d'années que c'est l'énergie de fusion nucléaire qui fournit au soleil sa puissance, il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium; la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement. [4]

Sa lumière, à une vitesse de 300000km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre, sa distribution spectrale de l'atmosphère est présentée un maximum pour une longueur d'onde d'environ 0.5 μ m, la température de corps noir à la surface du soleil est d'environ 5780°k : [5]

- Diamètre de soleil $D_s = 1.39 \cdot 10^9$ m
- Diamètre de la terre $D_t = 1.27 \cdot 10^7$ m
- Distance moyenne soleil_ terre $L_{ts} = 1.5 \cdot 10^{11}$ m

I.3.1 Spectre du rayonnement

Le rayonnement électromagnétique est composé de «grains» de lumière appelés photons. L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ :

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c/\lambda \quad (1-1)$$

h : est la constante de planck.

C : étant la vitesse de propagation.

Le spectre du rayonnement extraterrestre correspond environ à l'émission d'un corps noir porté à 5800° K. Une courbe standard, compilée selon les données recueillies par les satellites, est désignée sous le nom de AM_0 . Sa distribution en énergie est répartie en [5] :

- 6.4% dans la bande des ultraviolets ($0.20 < \lambda < 0.38$ nm).
- 48.0% dans la bande visibles ($0.38 < \lambda < 0.78$ nm).
- 45.6% dans la bande des infrarouges ($0.78 < \lambda < 10$ nm).

La figure suivante représente le flux incident en fonction de longueur d'onde.

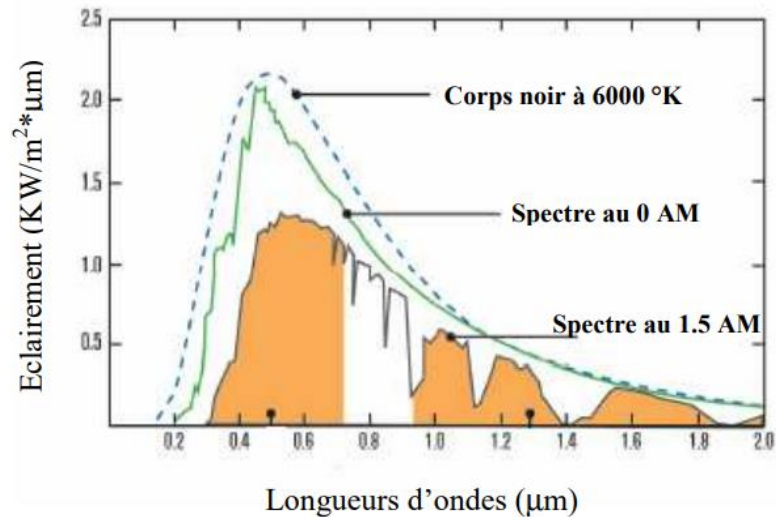


Figure 1.1 : Spectre solaire hors atmosphère [5]

I.4 Principe du photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type n et dopée de type p. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau n diffusent dans le matériau p. La zone initialement dopée n devient chargée positivement, et la zone initialement dopée p chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone n et les trous vers la zone p. Une jonction PN a été formée. [2]

Les cellules solaires (photopiles) sont des composants électroniques à semi-conducteur qui, lorsqu'ils sont éclairés par le rayonnement solaire, développent une force électromotrice capable de débiter un courant dans un circuit extérieur.

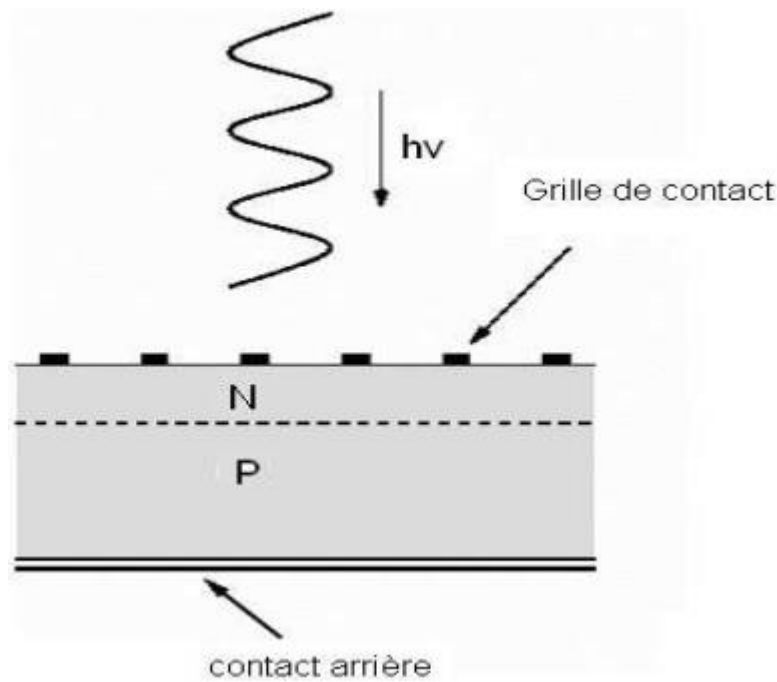


Figure 1.2: structure de la cellule photovoltaïque

La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment d'un même matériau (homojonction p-n), ou entre deux matériaux différents (hétérostructures), la moins épaisse étant soumise au flux lumineux. Chacune des régions est reliée à une électrode métallique au moyen d'un contact ohmique de faible résistance. Le principe de fonctionnement peut être décomposé en deux parties : l'absorption de photons et la collecte des porteurs de charges créés.

La première étape de la conversion de la lumière en courant électrique est la génération au sein du semi-conducteur des porteurs de charges que sont les électrons libres et les trous.

I.5 Composants et systèmes existants

I.5.1 Types de cellules

Il existe différents types de cellules photovoltaïques, et chaque type possède un rendement et un coût qui lui est propre. Cependant, quel que soit leur type, leur rendement reste assez faible : de 8 à 23% de l'énergie qu'elles reçoivent. Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle [6] :

I.5.1.1 Silicium Monocristallin

La cellule de silicium monocristallin est historiquement la plus largement utilisée et commercialisée. La fabrication de cellules de silicium commence avec l'extraction du cristal de dioxyde de silicium. Ce matériel est désoxydé dans de grands fours, purifié et solidifié. Ce processus a atteint une pureté de 98 et 99% ce qui permet un rendement énergétique fort (en effet, plus le revêtement de la cellule est pur, plus l'effet photovoltaïque est facilité). Le silicium est alors fusionné avec une petite quantité de dopant, normalement le bore qui est de type P puis coupé en fine tranches d'environ 300 μm . Après la coupe et le nettoyage des impuretés des tranches, des impuretés de type N sont introduites via un processus de diffusion contrôlée : les tranches de silicium sont exposées à des vapeurs de phosphore dans un four où la température varie de 800 à 1000 °C. Parmi les cellules photovoltaïques utilisant le silicium comme matériau de base, les monocristallins sont, en général, celles qui ont les meilleures performances. Ainsi, les cellules solaires commerciales obtenues avec le procédé décrit peuvent atteindre un rendement de 15 à 18%.



Figure 1.3 : Cellule monocristalline.

I.5.1.2 Silicium Polycristallin

Les cellules en silicium polycristallin sont moins coûteuses que celles en silicium monocristallin car les processus de préparation des cellules sont moins stricts. Leur efficacité est cependant plus faible. Le processus de production est semblable à celui présenté précédemment dans le cas de la fabrication de cellule en silicium mais avec un contrôle moins rigoureux. Il en résulte que les cellules obtenues sont moins coûteuses mais aussi moins efficaces.

Leur intérêt réside dans la multiplicité des formes sous laquelle le revêtement peut se présenter : lingots à découper, ruban ou fil à déposer, ... Chaque technique permet de produire des cristaux ayant des caractéristiques spécifiques, y compris la taille, la morphologie et la concentration des impuretés.



Figure 1.4 : Cellule poly-cristalline.

I.5.1.3 Silicium Amorphe

Les cellules de silicium amorphe diffèrent des cellules présentées précédemment puisque leur structure présente un haut degré de désordre dans la structure des atomes. L'utilisation de silicium amorphe pour les cellules solaires a montré de grands avantages à la fois au niveau des propriétés électriques et le processus de fabrication (processus simple, faiblement consommateur d'énergie, peu coûteux, possibilité de produire des cellules avec grands secteurs). Mais, même avec un coût réduit pour la production, l'utilisation du silicium amorphe a deux inconvénients: le premier est le rendement de conversion faible par rapport aux cellules de mono et polycristallin de silicium. Le deuxième est le fait que les cellules sont affectées par un processus de dégradation dans les premiers mois d'opération, réduisant ainsi leur durabilité.

En 1993, la production de cellules photovoltaïques a atteint un sommet à 60 MWp, et le silicium demeure le matériau le plus utilisé. Toutefois, la recherche de matériaux alternatifs est intense et concentrée dans le domaine des films minces, comme le silicium amorphe. La technologie des cellules de films minces n'est pas encore maîtrisée mais pourrait s'avérer intéressante car elle utilise moins de matériau que ceux en structure cristalline et elle nécessite moins d'énergie dans le processus de fabrication.



Figure 1.5 : Cellule amorphe.

Le tableau suivant présente les différents types de cellules avec leurs rendements [6].

Technologie de cellules	Rendement en Laboratoire	Rendement en production
Silicium Monocristallin	24,7%	13 à 17%
Silicium Polycristallin	19,8%	11 à 15%
Silicium Amorphe	13%	5-9%

Tableau 1.2 : Rendement des différents types des cellules.

I.5.2 Types des systèmes existants

I.5.2.1 Systèmes autonome

Un système photovoltaïque peut fonctionner hors du réseau d'électricité conventionnelle (Offerte par SONELGAZ). C'est un système autonome qui exige l'utilisation de batteries pour le stockage d'énergie.

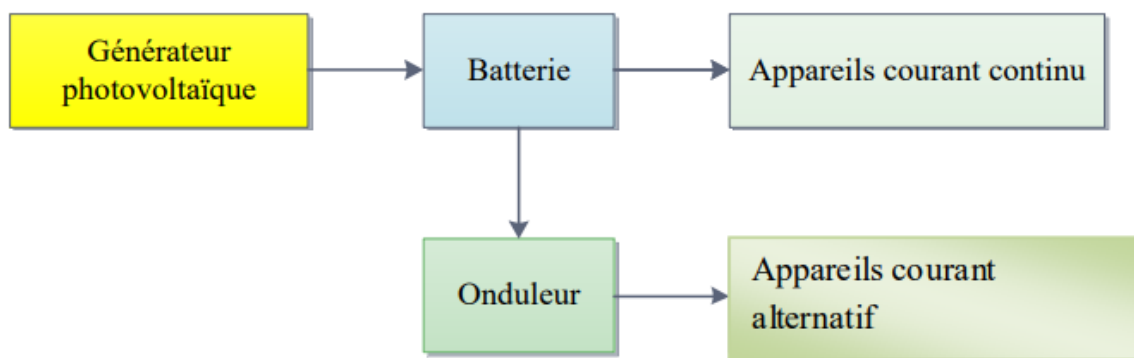


Figure 1.6 : Système photovoltaïque autonome

Diverses sources peuvent être combinées et complémentaires dans un tel système (système autonome hybride).

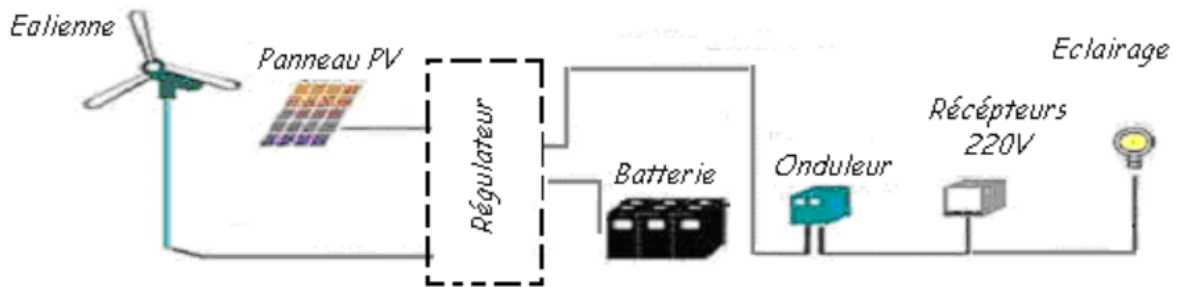


Figure 1.7 : Système hybride solaire / éolien.

I.5.2.2 Systèmes connectés au réseau

Les systèmes connectés au réseau sont aujourd'hui prisés sérieusement pour compléter la génération conventionnelle d'énergie dans plusieurs pays industrialisés [7, 8]. Il y a certainement plusieurs projets de démonstrations connectés aux réseaux qui étudient cette possibilité. Bien qu'ils sont devenus viables dans le développement économique, la participation des Photovoltaïques dans la génération d'énergie de grande échelle est augmentée à cause des effets environnementaux défavorables des sources conventionnelles d'énergie.

Les installations photovoltaïques peuvent être raccordées au réseau, ce qui représente une économie importante en investissement et en fonctionnement. Elles utilisent le réseau comme un stock, et transforment la totalité de l'électricité produite en courant alternatif de 220 V ou 380V, ainsi que le photovoltaïque est la seule filière qui peut être installée n'importe où. On distingue deux types d'installations connectées au réseau [9, 10, 11, 12]

- Installation centralisée : génération de la puissance Photovoltaïque à grand - échelle centralisée dans les stations de puissance Photovoltaïque.
- Installation décentralisée : forme alternative de génération de puissance distribuée dans les unités situées directement dans le lieu du consommateur.

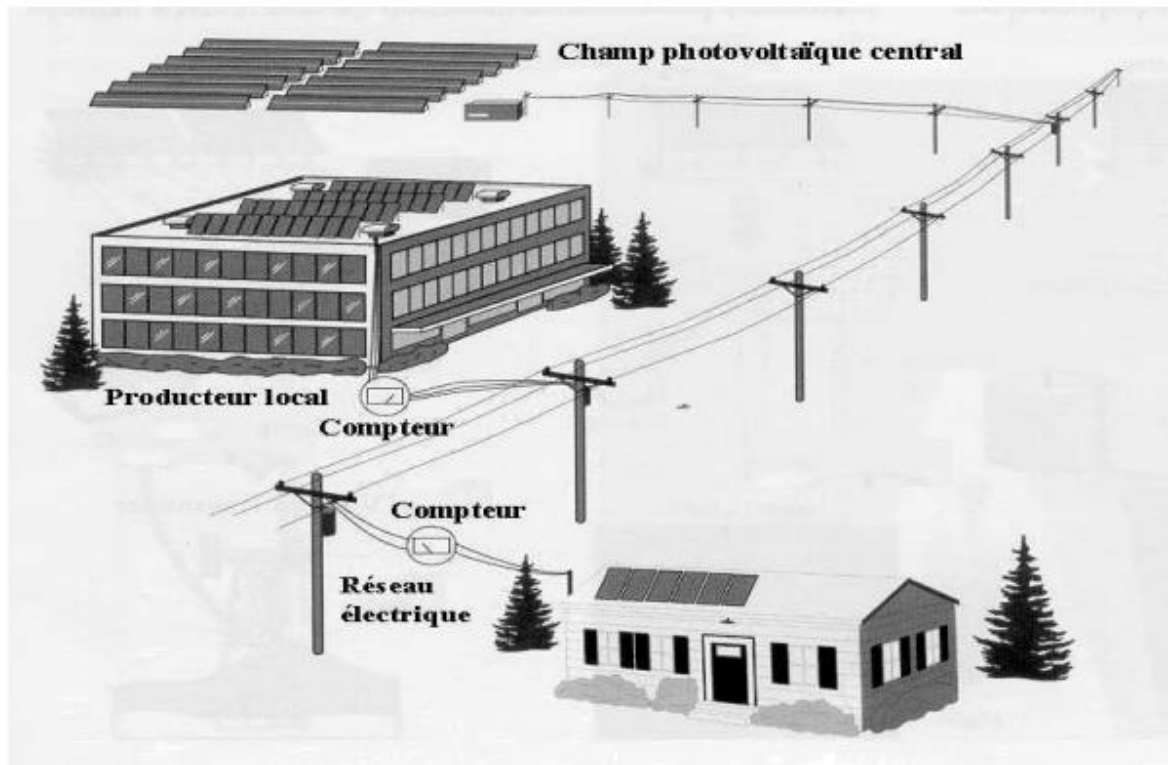


Figure 1.8 : Types des systèmes connectés au réseau

Éléments constitutifs d'une installation connectée au réseau [13] :

- ✓ Les panneaux photovoltaïques
- ✓ Un onduleur synchrone qui transforme le courant pour qu'il soit compatible avec les caractéristiques du réseau. C'est "l'interface" entre l'installation et la compagnie d'électricité.
- ✓ Un compteur d'énergie (en fait, en général, deux compteurs dans le cas des installations décentralisées).
- ✓ Accessoires.

I.5.2.3 Systèmes de pompage

Le pompage de l'eau est l'une des applications les plus courantes utilisant l'énergie solaire pour l'irrigation ou l'alimentation en eau potable ; ses performances dépendent des caractéristiques du site (ensoleillement, température ambiante, obstacles géographiques), du rendement des modules mais aussi des caractéristiques des autres équipements (onduleur, moteur, pompe, ...). D'autre part, l'énergie photovoltaïque ne présente aucun risque de pollution de l'eau, contrairement aux générateurs diesel où des écoulements de

combustible peuvent se produire.

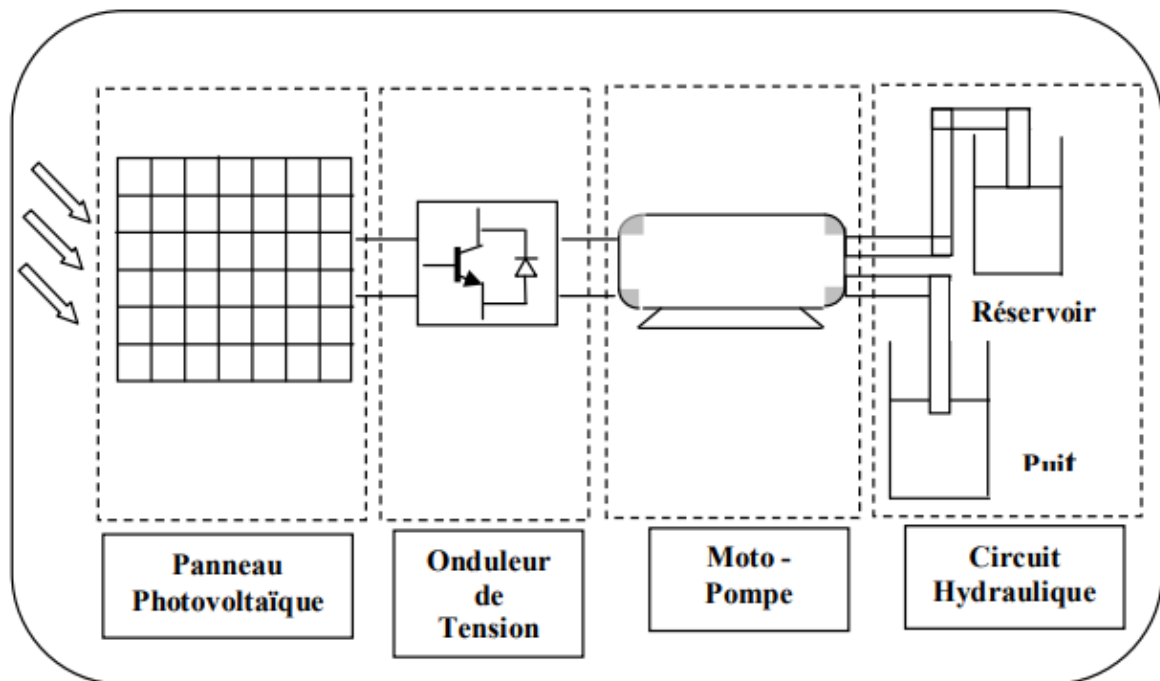


Figure 1.9 : Schéma général d'un système de pompage photovoltaïque

I.6 Stockage

Dans une installation PV, le stockage correspond à la conservation de l'énergie produite par le générateur PV, en attente pour une utilisation ultérieure. La gestion de l'énergie solaire nécessite s'envisager des stockages suivant les conductions météorologiques et qui vont répondre à deux fonction principales [14] :

- Fournir à l'installation de l'électricité lorsque le générateur PV n'en produit pas (la nuit ou par mauvais temps par exemple)
- Fournir à l'installation des puissances plus importantes que celles fournies par le générateur PV.

Les Caractéristiques principales d'une batterie sont :

Capacité en Ampère heure : Les Ampères heure d'une batterie sont simplement le nombre d'Ampères qu'elle fournit multiplié par le nombre d'heures pendant lesquelles circule ce courant.

Théoriquement, par exemple, une batterie de 200 Ah peut fournir 200 A pendant une heure, ou 50 A pendant 4 heures, ou 4 A pendant 50 heures.

Il existe des facteurs qui peuvent faire varier la capacité d'une batterie tels que : [14]

❖ Rapports de chargement et déchargement

Si la batterie est chargée ou est déchargée à un rythme différent que celui spécifié, la capacité disponible peut augmenter ou diminuer. Généralement, si la batterie est déchargée à un rythme plus lent, sa capacité augmentera légèrement. Si le rythme est plus rapide, la capacité sera réduite.

Température : Un autre facteur qui influence la capacité est la température de la batterie et celle de son atmosphère. Le comportement d'une batterie est spécifié à une température de 27 degrés. Des températures plus faibles réduisent leur capacité significativement. Des températures plus hautes produisent une légère augmentation de leur capacité, mais ceci peut augmenter la perte d'eau et diminuer la durée de vie de la batterie [14].

❖ La durée de vie

Un accumulateur peut être chargé puis déchargé complètement un certain nombre de fois avant que ces caractéristiques ne se détériorent. Par ailleurs, quel que soit le mode d'utilisation de l'accumulateur, il y'a une durée de vie totale exprimée en année (ou en nombre de cycles) [15].

❖ Profondeur de décharge

La profondeur de décharge est le pourcentage de la capacité totale de la batterie qui est utilisé pendant un cycle de charge/décharge.

Les batteries de "cycle peu profond" sont conçues pour des décharges de 10 à 25% de leur capacité totale dans chaque cycle. La majorité des batteries de "cycle profond" fabriquées pour les applications photovoltaïques sont conçues pour des décharges jusqu'à 80% de leur capacité, sans les endommager.

❖ La profondeur de décharge

Cependant, affecte même les batteries de cycle profond. plus la décharge est grande plus la durée de vie de la batterie est réduite.

❖ La tension d'utilisation

C'est la tension à laquelle l'énergie stockée est restituée normalement à la charge.

❖ Le rendement

C'est le rapport entre l'énergie électrique restituée par l'accumulateur et l'énergie fournie à l'accumulateur.

❖ Le taux d'autodécharge

L'autodécharge est la perte de capacité en laissant l'accumulateur au repos (sans charge) pendant un temps donné.

I.6.1 Types d'accumulateurs

Il existe plusieurs types de stockage dans le système PV, les puissances rencontrées sont inférieures au MW, le seul stockage d'énergie électrique possible est le stockage électrochimique. Les deux principaux types d'accumulateurs utilisés actuellement dans le système photovoltaïque sont [16].

I.6.1.1 Accumulateurs au plomb acide

La batterie au plomb acide est la forme de stockage de l'énergie électrique la plus courante, en raison de son coût qui est relativement faible et d'une large disponibilité. Par contre, les batteries nickel-cadmium sont plus chères, elles sont utilisées dans les applications où la fiabilité est vitale [17].

a- Composition d'une batterie solaire plomb- Acide [18]

Ces batteries sont composées de plusieurs plaques de plomb dans une solution d'acide sulfurique. La plaque consiste en une grille d'alliage de Plomb avec une pâte d'oxyde de plomb marquée sur la grille. La solution acide sulfurique et l'eau est appelée électrolyte.

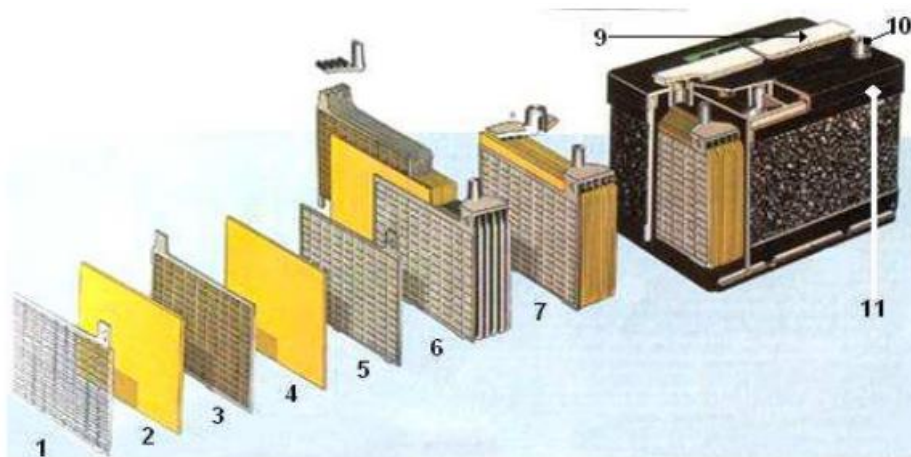


Figure 1.10: Construction d'une batterie monobloc [18]

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1 : Grille. | 7 : Élément complet |
| 2 : Séparateur. | 8 : Pont |
| 3 : Plaque positive. | 9 : Rampe de bouchons. |
| 4 : Plaque négative. | 10 : Borne. |
| 5 : Barrette. | 11 : Bac. |
| 6 : Faisceau négatif. | |

Le matériel de la grille est un alliage de plomb parce que le plomb pur est un matériel physiquement faible, et pourrait se casser pendant le transport et le service de la batterie. [18]

L'alliage en question est en plomb avec 2-6% d'Antimoine. Moins la contenance en Antimoine sera grande, moins résistante sera la batterie pendant le processus de charge. Une petite quantité d'Antimoine réduit la production d'hydrogène et d'oxygène pendant la charge, et par conséquent la consommation d'eau. D'autre part, une plus grande proportion d'Antimoine permet des décharges plus profondes sans endommager les plaques, ce qui implique une plus grande durée de vie des batteries. Ces batteries plomb- Antimoine sont de type de "cycle profond".

Le Cadmium et le Strontium sont utilisés à la place de l'Antimoine pour fortifier la grille. Ceux-ci offrent les mêmes avantages et inconvénients que l'Antimoine, mais réduisent en outre le pourcentage d'autodécharge quand la batterie n'est pas en utilisation.

Le Calcium fortifie aussi la grille et réduit l'autodécharge. Toutefois, le Calcium réduit la profondeur de décharge recommandée dans non plus de 25%. D'autre part, les batteries de plomb- Calcium sont de type "cycle peu profond".

Les plaques sont alternées dans la batterie, avec des séparateurs entre elles, qui sont fabriqués d'un matériel poreux qui permet le flux de l'électrolyte. Ils sont électriquement non conducteurs, ils peuvent être des mélanges de silice et de matières plastiques ou gommes.

Les séparateurs peuvent être des feuilles individuelles ou des "enveloppes". Les enveloppes sont des manchons, ouverts par en haut, qui sont uniquement placés sur les plaques positives.

Un groupe de plaques positives et négatives, avec des séparateurs, constituent un "élément". Un élément dans un container plongé dans un électrolyte constitue une "cellule" de batterie. Des plaques plus grandes, ou en plus grand nombre, entraînent une plus grande quantité d'ampères heure que la batterie peut fournir. Indépendamment de la taille des plaques, une cellule fournira une tension qui varie entre 1,7 et 2 volts suivant l'état de charge en conductions nominales de fonctionnement, et un rendement énergétique de l'ordre de 70% à 85%. (Pour plomb- Acide).

Une batterie est constituée par plusieurs cellules ou des éléments reliés en série, interne ou externe, pour augmenter le voltage à des valeurs normales aux applications électriques. Pour cette raison, une batterie de 6 V est composée de trois cellules, et une de 12 V de 6.

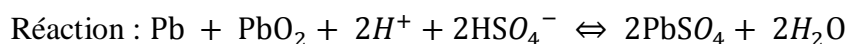
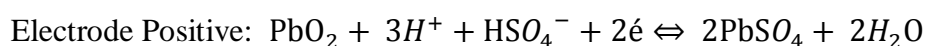
Les plaques positives d'une part, et les négatives de l'autre, sont interconnectées au moyen de terminaux externes dans la partie supérieure de la batterie.

Les éléments des batteries sont souvent montés dans des bacs isolés du sol pour éviter le refroidissement de l'électrolyte par l'intermédiaire de support de bois, ces bacs sont réalisés en plastique transparent afin de bien visualiser le repérage de niveau de l'électrolyte.

Les liaisons entre les éléments doivent être dimensionnés de manière à avoir une chute de tension très faible quel que soit le régime [14].

b- Principe de fonctionnement

Une réaction chimique intervient lorsque la batterie alimente une charge connectée à ces deux électrodes. Pendant la décharge, il y a une oxydation à la plaque négative qui se traduit par une perte d'électrons et réduction à la plaque positive ou gain d'électrons. L'électrolyte en présence dans la batterie facilite le déplacement des charges électrochimiques sous forme d'ions. Le processus inverse se produit quand la batterie se recharge on voit apparaître immédiatement une force électromotrice entre les deux électrodes. Les équations des réactions suivantes décrivent la réaction principale :



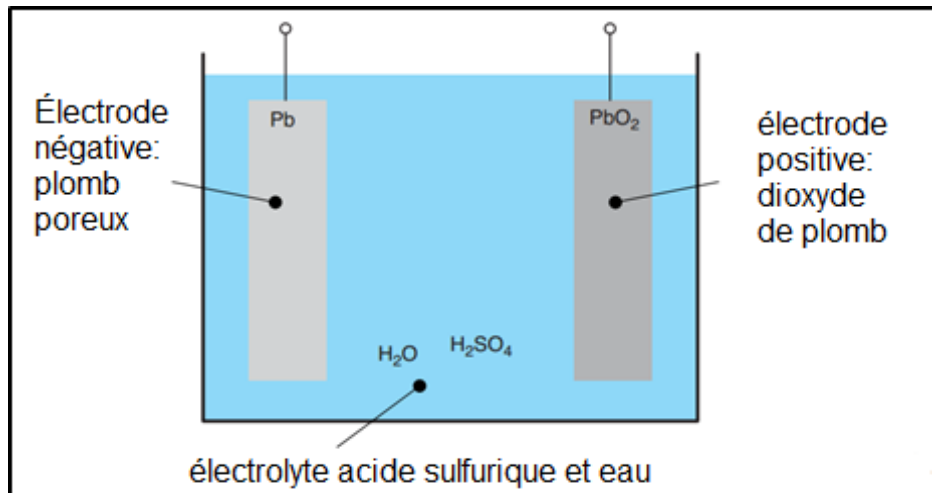


Figure 1.11: Conception de batterie au plomb.

I.6.1.2 Accumulateurs au Nickel-cadmium [18]

Les batteries de nickel- Cadmium ont une structure physique semblable à celles du plomb- Acide. Au lieu du Plomb, elles utilisent de l'hydroxyde de Nickel pour les plaques positives et de l'oxyde de Cadmium pour les plaques négatives. L'électrolyte est de l'hydroxyde de Potassium.

La tension de ce type d'accumulateur varie entre 1,15 et 1,17 Volts, par élément suivant l'état de charge. Le rendement énergétique est de l'ordre de 70%. En dépit d'un prix encore prohibitif, ce type d'accumulateur présente beaucoup d'avantages :

- Très bonne résistance mécanique.
- Possibilité de supporter des décharges profondes.
- Pas d'émanations toxique à partir de l'électrolyte.
- Ne craint pas de gel.

I.7 Système de régulation

Les systèmes de régulation de charge sont des éléments d'un système photovoltaïque qui ont pour but de contrôler la charge et la décharge d'une batterie afin d'en maximiser la durée de vie. Son rôle principal est de réduire le courant lorsque la batterie est presque entièrement chargée. Lorsqu'une batterie se rapproche d'un état de charge complète, de petites bulles commencent à se former sur les électrodes positives. A partir de ce moment, il vaut mieux réduire le courant de charge non seulement pour éviter des dégâts mais aussi afin de mieux atteindre l'état de charge complète. Un courant trop

élevé peut provoquer une déformation des électrodes à l'intérieur, ce qui pourrait créer un court-circuit.

Le régulateur de charge assure deux fonctions principales :

- La protection des batteries contre les surcharges et les décharges profondes.
- L'optimisation du transfert d'énergie du champ PV à l'utilisation.

La tension aux bornes de la batterie est l'indication sur laquelle s'appliquera le régulateur pour assurer sa fonction. Le régulateur mesure en permanence cette tension et la compare à deux seuils de tension préétablis : seuil haut et seuil bas. Il existe plusieurs types de régulateurs :

I.7.1 Régulation de décharge

La régulation de décharge s'effectue par un comparateur qui compare la tension de la batterie à un seuil de tension préétabli bas et transmet l'information à un circuit de commande. Ce dernier arrête de décharger lorsque la tension par élément dépasse la tension de seuil.

I.7.2 Régulation de la charge

La régulation de la charge s'effectue par une réduction de courant lorsque la batterie est chargée, on évite la charge lorsque la tension par élément dépasse la tension de surcharge. Il existe plusieurs types de montage de régulation de charge pour les batteries au plomb.

a) Régulations de charge série

Le principe consiste à intercaler entre le panneau PV et la batterie un dispositif qui module le courant. Le dispositif fonctionne de la manière suivante :

Tant que la tension U_{bat} aux bornes de la batterie est inférieure à la tension de la diode Zener U_Z , le courant délivré par le panneau charge la batterie à travers un transistor se bloque, et le courant ne passe qu'à travers la résistance.

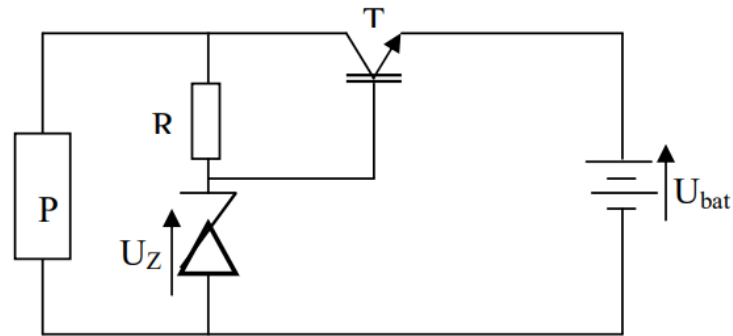


Figure 1.12 : Schéma de principe d'un régulateur de charge série [19].

b) Régulateur de charge de coupure

Ce régulateur comporte un relais qui connecte et déconnecte le générateur PV à deux seuils différents et qui sont commandés par une unité de contrôle. Ils mesurent en permanence la tension aux bornes de la batterie.

c) Régulateur de charge à découpage

Ce type de régulateur utilise un convertisseur continu - continu qui délivre à la tension de la batterie qu'atteint le seuil haut.

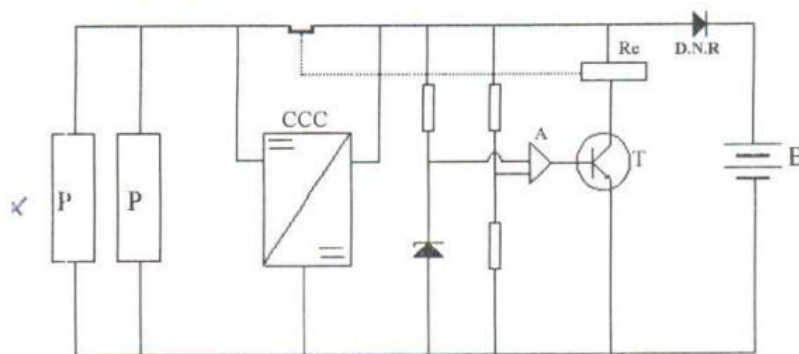


Figure 1.13 : Schéma de principe d'un régulateur de charge à découpage [19]

d) Régulateur de charge série à coupure partielle

Ce type de régulateur permet de fractionner le panneau PV en deux parties. Chacune délivrer une même tension selon le principe suivant : une partie du panneau charge la batterie à travers un régulateur de charge série à coupure tant que l'autre partie est branchée directement pour la charge de la batterie en permanence.

e) Régulateur de charge parallèle

Ce type de régulateur est utilisé en dérivation sur le panneau solaire. Il permet de dissiper l'énergie excédentaire sous forme calorifique grâce à des composants de puissances selon le principe suivant [19]:

Lorsque la tension de la batterie est faible, le transistor T est bloqué, le courant et la tension aux bornes de la résistance est faible alors tout le courant délivré par le générateur charge la batterie. Si la tension aux bornes de la diode Zener atteint la valeur de référence, le courant I augmente brusquement, le transistor T devient passant et il délivre une partie du courant de charge.

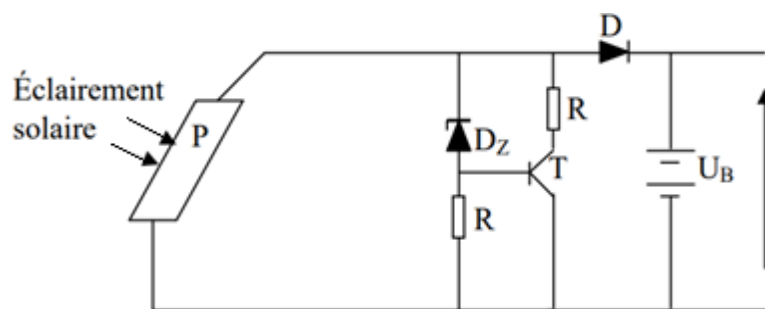


Figure 1.14 : Schéma de principe d'un régulateur de charge parallèle [19].

I.8 Système de conversion

Un convertisseur d'énergie est un équipement que l'on dispose généralement soit entre le champ PV et la charge (sans stockage avec charge en continu, il portera le nom de convertisseur continu continue), soit entre la batterie et la charge (il sera alors appelé onduleur ou convertisseur continu alternatif). A l'onduleur est généralement associé un redresseur qui réalise la transformation du courant alternatif en courant continu et dont le rôle sera de charger les batteries et d'alimenter le circuit en continu de l'installation en cas de longue période sans soleil [17].

I.8.1 Convertisseur continu -continu

Ce type de convertisseur est destiné à adapter à chaque instant l'impédance apparente de la charge à l'impédance du champ PV correspondant au point de puissance maximal [17]. Ce système d'adaptation est couramment appelé MPPT (maximum power point tracking). Son rendement se situe entre 90 et 95%.

Ce système présente deux inconvénients pour un PV de faible puissance :

- Prix élevé.
- Le gain énergétique annuel par rapport à un système moins complexe (cas d'une régulation de la tension) n'est pas important.

I.8.2 Convertisseur continu- alternatif

C'est un dispositif destiné à convertir le courant continu en courant alternatif. La formation de l'ordre de sortie peut être assurée par deux dispositifs :

-Rotatif : C'est un moteur à courant continu couplé à un alternateur, son rendement varie de 50% à 60% pour 1kW jusqu'à atteindre 90% pour 50kW.

Ses avantages sont : simplicité, onde sinusoïdale, bonne fiabilité.

Ses inconvénients sont : cherté, faible rendement (surtout pour les faibles puissances).

- Statique : On le désigne sous le nom d'onduleur. C'est un dispositif utilisant des transistors de puissance ou des thyristors. L'onde de sortie présente, dans le plus simple des cas, une forme carrée qui peut s'adapter à quelques types de charges, des pertes à vide considérables surtout pour des faibles puissances. Les onduleurs peuvent être améliorés à l'aide d'un filtrage ou par utilisation des systèmes en PWM (Pulse Width Modulation) qui permettent grâce à la modulation de la longueur des impulsions d'obtenir une onde de sortie sinusoïdale [17]. Avec ce système, on obtient :

- Un rendement élevé sur une plage du taux de charge.
- De faibles pertes à vide.

I.9 Conclusions

Dans ce chapitre nous avons présenté : principe de conversion de l'énergie solaire en énergie électrique par cellule photovoltaïque, ainsi que les différentes configurations des systèmes photovoltaïques.

Chapitre II
Modélisation d'un système
photovoltaïque

Chapitre II

Modélisation d'un système photovoltaïque

II.1 Introduction

Dans ce chapitre on va présenter la modélisation de chaque composante du système photovoltaïque complet et on été élaborée à partir de modèles de la littérature (convertisseurs, stockage batteries).

La modélisation nécessite et une ensemble d'équations caractérisés avec tous les éléments du système étudié. A ce niveau, la condition qui s'impose c'est de connaître les critères d'entrées (donnée de base) c'est-à-dire les données météorologiques au site, les données relatives aux utilisateurs, et les données relatives aux équipements.

II.2 Modèle électrique d'un générateur photovoltaïque

Pour trouver le modèle du générateur photovoltaïque, il faut tout d'abord retrouver le circuit électrique équivalent à cette source. De nombreux modèles mathématiques, ont été développés pour représenter leur comportement très fortement non linéaire qui résulte de celui des jonctions semi-conductrices qui sont à la base de leurs réalisations. On présentera deux modèles du générateur photovoltaïque

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

II.2.1 Modèle à une diode

Le fonctionnement d'un module photovoltaïque est décrit par le modèle « standard » à une diode, établi par « Shokley » pour une seule cellule photovoltaïque, est généralisé à un module photovoltaïque en le considérant comme un ensemble de cellules identiques branchées en série ou bien en parallèle [2].

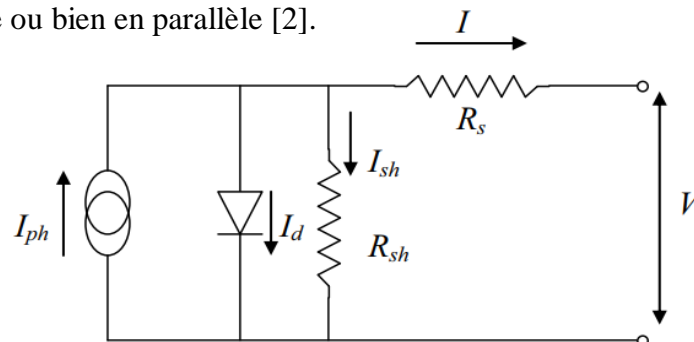


Figure 2.1 : Modèle à une diode d'un schéma équivalent pour une cellule photovoltaïque.

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation (2-1)

$$I = I_{ph} - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} - I_s \left[\exp \left\{ \frac{q(V - R_s I)}{AKT} \right\} + 1 \right] \quad (2-1)$$

Où :

I : Courant fourni par la cellule [A]

V : Tension à la borne de la cellule [V]

I_{ph} : Photocourant [A], proportionnel à l'irradiance F, avec correction selon T

I_s : Courant de saturation de la diode [A], dépendant de la température [A]

R_s : Résistance série [Ω].

R_{sh} : Résistance shunt (ou parallèle) [Ω].

q : Charge de l'électron = $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulomb

K : Constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K

A : Facteur de qualité de la diode, normalement compris entre 1 et 2.

T : Température effective de la cellule [Kelvin].

Il faut noter que ces deux résistances sont liées à la technologie d'élaboration des électrodes. Il faut minimiser R_s de telle sorte que R_{sh} soit très important.

Le photo-courant I_{ph} varie avec l'irradiance, il est déterminé par rapport à des valeurs données aux conditions de référence:

$$I_{ph} = \frac{\phi}{\phi_{ref}} \left[I_{phref} + \mu_{Ics} (T - T_{ref}) \right] \quad (2-2)$$

Où :

ϕ et ϕ_{ref} : Irradiance effective et de référence [W/m^2].

T et T_{ref} : Température effective et de référence [K].

μ_{Ics} : coefficient de température du photo-courant (ou courant de court-circuit), il est souvent donné par le fabricant, il est en général positif mais très faible. Le courant de saturation de la diode est supposé variable avec la température selon l'expression

$$I_s = I_{s\ ref} \cdot \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \cdot \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_g}{A \cdot K}\right) \left(\frac{1}{T_{ref}}\right) \left(\frac{1}{T}\right) \right] \quad (2-3)$$

Où :

E_g : Energie de Gap de la cellule. (Silicium cristallin $E_g = 1,12$ eV, Silicium amorphe $E_g = 1,7$ eV, CIS = 1,03 eV, CdTe = 1,5 eV).

Les conditions de référence ϕ et ϕ_{ref} sont les conditions extérieures pour lesquelles sont spécifiées les données de base utilisées pour l'établissement du modèle ($V_{co}, I_{co}, V_{max}, I_{max}$), se sont soit les spécifications du fabricant, toujours données aux STC (Standard Test Conditions, 1000 W/m², 25°C, spectre AM1,5), soit des valeurs issues d'une mesure du module.

II.2.2 Modèle à deux diodes

Nous avons, cette fois-ci, deux diodes pour représenter les phénomènes de polarisation de la jonction PN. Ces diodes symbolisent la recombinaison des porteurs minoritaires, d'une part en surface du matériau et d'autre part dans le volume du matériau. Le schéma du générateur photovoltaïque devient dans le cas de la figure (2.2)

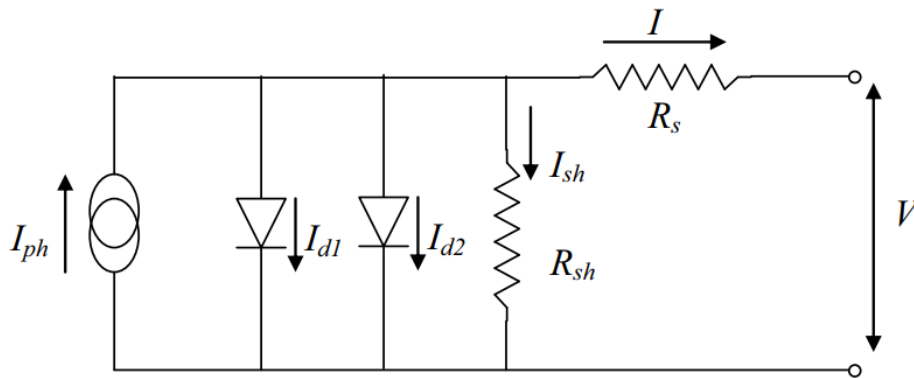


Figure 2.2: Modèle à deux diodes d'un schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque.

Le courant fourni par la cellule est donné par la relation (2-4)

$$I = I_{ph} - \frac{V - R_s I}{R_{sh}} - I_{s1} \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{AKT} \right\} - 1 \right] - I_{s2} \left[\exp \left\{ \frac{q(V + R_s I)}{2AKT} \right\} - 1 \right] \quad (2-4)$$

II.3 Caractéristiques I-V d'un module

La figure (2.3) présente la courbe I-V d'un module typique de $125 W_{\text{crête}}$ en fonction de l'irradiation solaire. La valeur de $125 W_{\text{crête}}$ est une mesure sous une irradiation de 1 kW/m^2 , spectre AM 1.5 et de température de 25°C . Ces valeurs sont appelées STC (Standard Test Conditions) et elles sont utilisées par tous les fabricants pour définir leurs produits. Mais ces conditions sont rarement rencontrées dans la réalité (sauf en hiver) parce que la température d'un module au soleil est en général plus élevée que 25°C [27]. Pour tenir compte de conditions plus réalistes et habituelles, les fabricants donnent une valeur de température typique des cellules lorsque la température ambiante est de 20°C , l'irradiation de 800 W/m^2 et le vent de 1m/sec . Cette valeur est appelée NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)

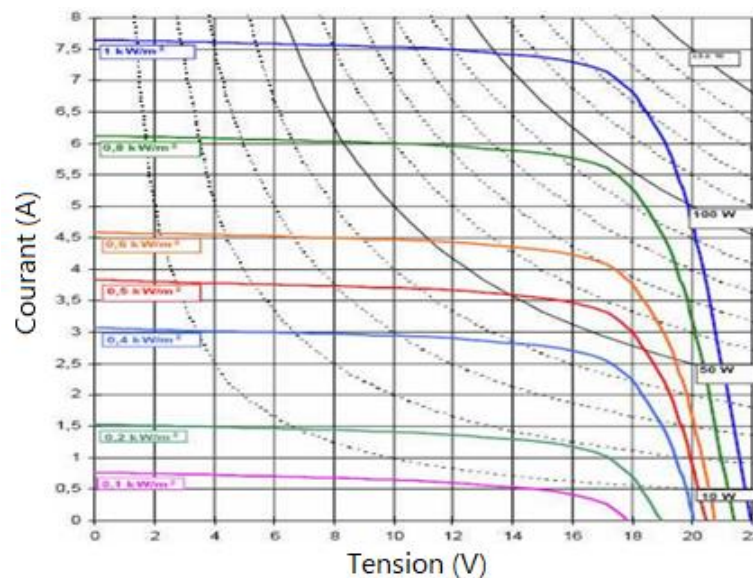


Figure 2.3: Caractéristiques I-V d'un module PW 6-110 pour différentes irradiances solaires, à 25°C .

Pour différents niveaux d'éclairement figure (2.3), on remarque que le courant est directement proportionnel à l'irradiation à ces niveaux d'éclairement. La tension par contre n'est pas très dégradée lorsque l'irradiation baisse.

La figure (2.4) présente le comportement du même module sous une lumière de 1 kW/m^2 et à des températures entre 0 et 60°C . On remarque l'importance des variations de la tension, et le courant gagne un petit peu d'intensité lorsque la température augmente; ceci peut être expliqué par une meilleure absorption de la lumière, le gap baissant lorsque la température augmente. L'accroissement du courant peut être négligé au point de puissance maximale et le comportement global de la cellule.

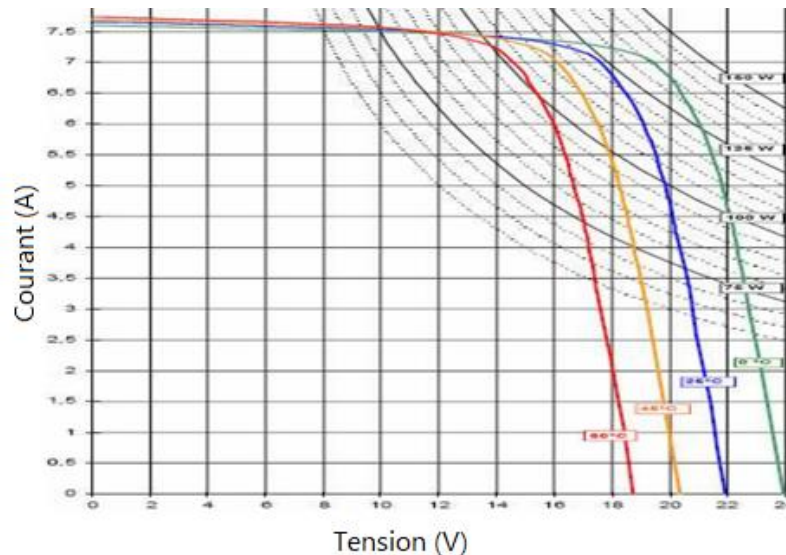


Figure 2.4 : Caractéristiques I-V d'un module PW 6-110 pour différentes températures

a) Point de fonctionnement optimal

Un générateur délivre une puissance $P=I.V$ qui varie avec la charge à alimenter par le système. Cette puissance passe par un point maximum pour une seule valeur de la résistance chargée. Le point optimal varie avec le flux et la température au point maximum. En ce point la dérivée de la puissance est nulle :

$$\partial P = I \cdot \partial I + V \cdot \partial V$$

b) Rendement énergétique maximum

Le rendement énergétique maximum d'un générateur photovoltaïque est le rapport de la puissance P_m maximale dissipée dans la charge et la puissance du rayonnement solaire incident.

$$\eta_{pv} = \frac{P_m}{\phi_G \cdot S} \quad (2.5)$$

ϕ_G : Flux globale [W/m^2].

S: Surface de générateur [m^2].

II.4 Modélisation de stockage

Vue la grande diversité de type d'éléments de batterie ainsi le nombre très varié de paramètres qui interviennent, une représentation très empirique du comportement de la batterie peut être établie. Le système de stockage utilisé dans une installation

photovoltaïque est une batterie d'accumulateur au plomb. Jusqu'à maintenant, il existe plusieurs modèles de la charge de batterie ont été proposés.

Dans cette étude, nous avons utilisé un modèle peut être décrit par (Bogdan et Salameh, 1996) qui permet de calculer la capacité de stockage en fonction de la puissance produite par le générateur photovoltaïque et la charge demandée.

a) Modèle la charge de la batterie

Quand la puissance de générateur PV est plus grande que la charge, les batteries sont à l'état de charge, la capacité des batteries au temps t peut être décrite par [20]

$$C_{Bat}(t) = C_{Bat}(t - 1) \cdot (1 - \sigma) + \frac{P_{pv}(t) - P_L(t)}{\eta_{inv}} \cdot \eta_{Bat} \quad (2-6)$$

Où :

$C_{Bat}(t)$ et $C_{Bat}(t - 1)$: sont les quantités de la charge et la décharge des batteries au temps (t) et (t-1) respectivement.

σ : Le taux horaire de la charge spontanée.

P_{pv} : La puissance du générateur PV.

P_L : La charge demandée au temps t.

η_{Bat} : Le rendement de l'onduleur et de la batterie successivement

Pendant la charge de la batterie, le rendement est 0.65–0.85 selon le chargeant courant), par contre pendant le processus de décharge, le rendement de batterie a été mis égal à 1

b) Modèle de la décharge de la batterie

Quand la demande de charge est plus grande que la puissance produite, la capacité des batteries au temps t peut être exprimé comme suite [20]

$$C_{Bat}(t) = C_{Bat}(t - 1) \cdot (1 - \sigma) + \frac{P_L(t)}{\eta_{inv} - P_{pv}(t)} \quad (2-7)$$

A tout moment, la quantité de charge des batteries est sujette aux contraintes suivantes :

$$C_{Bat\ min} \leq C_{Bat}(t) \leq C_{Bat\ max}$$

Ici, la capacité de la batterie maximale prend la valeur de la capacité nominale de la batterie ($C_{Bat\ min} = C_{Bat\ max}$), et la capacité minimum est déterminée par le profondeur de la charge (DOD) [22]

$$C_{Bat\ min} = DOD \cdot C_{Bat} \cdot N$$

La valeur maximale de l'état de charge (SOC) est égale à 1, et le minimum est déterminé par le maximum de profondeur de décharge, $SOC_{min} = 1 - DOD$

Selon les caractéristiques des fabricants, la durée de vie des batteries peut être prolongée au maximum si DOD prend les valeurs de 30-50% [21].

La capacité de stockage est une fonction de la charge demandée et de son autonomie. Elle peut être estimée par la relation suivante :

$$C_{Bat} = \frac{E_L \cdot N_a}{\eta_{Bat} \cdot F_{déch} \cdot DOD} \text{ [Wh]} \tag{2-8}$$

$$C_{Bat} \text{ [Ah]} = \frac{C_{Bat}}{V_b} \text{ [Wh]}$$

C_{Bat} : La capacité de stockage de la batterie.

N_a : Le nombre de jours d'autonomie.

V_b : La tension du système.

DOD : Le profondeur de décharge.

c) La tension de la batterie

Le modèle suivant, décrit la relation entre le voltage, courant et l'état de charge [23].

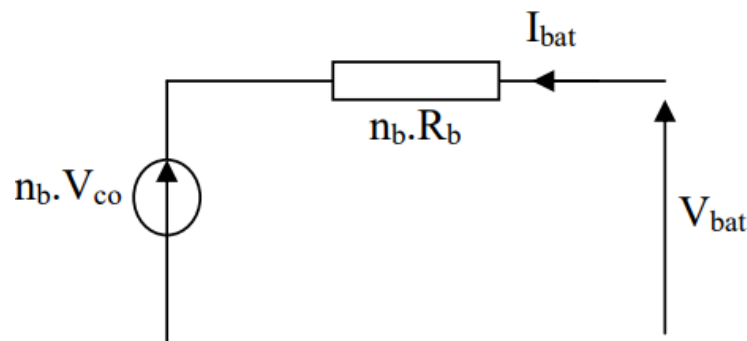


Figure 2.5 : Schéma électrique de batterie.

Pour n batteries en séries, nous pouvons écrire l'équation [23]

$$V_{Bat} = n_b \cdot V_{co}(t) + n_b \cdot I_{Bat}(t) \cdot R_{Bat}(t) \quad (2-9)$$

Où :

V_{Bat} : la tension de circuit ouvert au temps t [V].

$R_{Bat}(t)$: la résistance interne de batterie [Ω].

La tension de circuit ouvert est exprimée comme un logarithme de la fonction de l'état de charge.

$$V_{co}(t) = VF + b \log(SOC(t)) \quad (2-10)$$

Où :

VF : est la force électromotrice.

b : est un constant empirique.

La variation de V_{co} en fonction de l'état de charge (SOC) est représentée par la figure suivante:

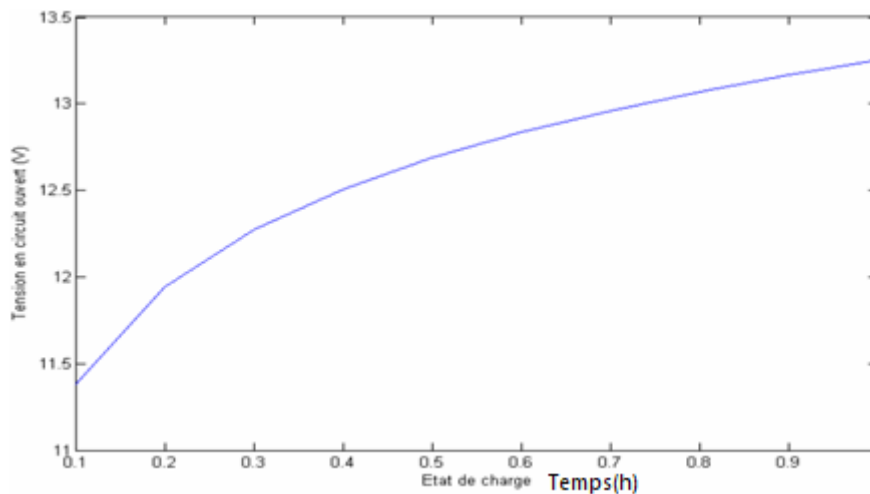


Figure 2.6 : la Variation de la tension en mode de charge en fonction de l'état de charge.

La variation de la résistance interne d'une batterie, $R_{bat}(t)$, est principalement dû à deux composants, à savoir, la résistance de électrode, $R_{électrode}$, et la résistance de électrolyte, $R_{électrolyte}$.

$$R_{bat}(t) = R_{électrode} + R_{électrolyte}$$

La variation de $R_{\text{électrode}}$ et $R_{\text{électrolyte}}$ en fonction de l'état de charge SOC peut être exprimée par :

$$R_{\text{électrode}} = r_1 + r_2 \cdot (SOC(t)) \text{ et } R_{\text{électrolyte}} = [r_3 + r_4 \cdot (SOC(t))]^{-1} \quad (2-11)$$

Où r_1 r_2 r_3 , et r_4 sont des constants empiriques, ces constantes ont des valeurs différentes pour le mode de charge et décharge. Pour une batterie de plomb acide, les paramètres sont regroupés dans le tableau suivant [23]

Paramètres	Mode de charge	Mode de décharge
VF	13.250 V	12.662 V
B	0.810	0.724
r_1	0.062 Ohms	0.055 Ohms
r_2	0.046 Ohms	-0.010 Ohms
r_3	95.638 Ohms ⁻¹	4.270 Ohms ⁻¹
r_4	52.671 Ohms ⁻¹	-100.730 Ohms ⁻¹

Tableau 2.1 : Caractéristique de batterie plomb acide.

d) Courant de batterie

Quand la puissance du générateur PV est plus grande que la charge, les batteries sont à l'état de charge, le courant de charge des batteries au temps t peut être décrit par [24]

$$I_{\text{bat}} = \frac{P_{\text{pv}}(t)}{V_{\text{bat}}} - \frac{E_L(t)/\eta_{\text{inv}}}{V_{\text{bat}}} \quad (2-12)$$

Quand la puissance du générateur PV ne peut pas rencontrer la demande de la charge, le courant de décharge des batteries est [24]

$$I_{\text{bat}} = \frac{E_L(t)/\eta_{\text{inv}}}{V_{\text{bat}}} - \frac{P_{\text{pv}}(t)}{V_{\text{bat}}} \quad (2-13)$$

e) Rendement de la Batterie

Le rendement de la batterie se calcule par la relation suivante

$$\eta_{\text{bat}} = \frac{P_{\text{fourni}}}{P_{\text{incid}}} \quad (2-14)$$

En pratique, le rendement est considéré constant égale à 85%, la tension nominale est de 2V et la capacité de l'ordre de 100A/h. donc la puissance fournie par une batterie peut s'écrire comme suit :

$$P_{\text{fourni}} = \eta_{\text{bat}} \cdot P_{\text{incid}}$$

Où P_{incid} : Puissance du générateur

II.5 Modèle de la température

a) Température de jonction

La température de la jonction T_c d'une cellule est donnée par la relation suivant [25]

$$T_c = T_a + \frac{\text{NOCT}-20}{800} \cdot E_g \quad (2-15)$$

Avec NOCT (Nominal Operating Cell Température), (Température nominale de la cellule de fonctionnement) : la température nominale de fonctionnement de la cellule solaire (Température nominale de la cellule opératoire) et T_a est La température ambiante.

b) Température ambiante

Le modèle de la température ambiante est représenté grâce aux données de température maximale et minimale de la journée. Nous supposons que la température maximale se produit toujours deux heures après midi et la température minimale quand il commence à faire jour (levé de soleil). Entre ces deux points extrêmes, une fonction a été utilisée pour caractériser la variation de cette température.

Le profil journalier de température ambiante est déterminé à partir des températures minimale et maximale de la journée, cette température s'exprime à une heure TL de la journée par l'équation suivante [26] :

$$T_a = \frac{T_{\text{max}}-T_{\text{min}}}{2} \cdot \cos\left(\frac{14-TL}{14-TL_L} \pi\right) + T_{\text{moy}} \quad (2-16)$$

TL_L : l'heure du lever de soleil et T_{moy} : la température moyenne journalière T_{max} : la température maximale journalière et T_{min} : la température minimale journalière cette relation valable avec les grandeurs moyennes mensuelles d'un site.

c) Variation du courant de saturation

Le courant de saturation I_0 dépend de la température de jonction et peut être exprimé par la relation suivant [26].

$$I_0 = A_0 \cdot T_c^3 \cdot \exp\left(\frac{-E_g}{K \cdot T_c}\right) \quad (2-17)$$

Pour le silicium monocristallin $A_0 = 2110 \cdot 10^3$

d) Variation du courant court-circuit

La variation de courant de court-circuit I_{cc} dépend de la température de jonction, de ce fait elle est représentée par la relation empirique suivante [26]

$$I_{cc} = K_1 \cdot G [1 + K_2 (G - G_0) + K_3 (T_c - T_0)] \quad (2-18)$$

Où :

G_0 : l'éclairement de référence (1000 w/m^2).

T_0 : la température de référence (298 K).

K_1 , K_2 et K_3 sont des constantes dépendant de la nature de matériau de la cellule et déterminées expérimentalement par le constructeur.

e) Variation de la tension à circuit ouvert

La variation de la tension de circuit ouvert dépend de la température du module et de l'éclairement, elle donnée par l'équation suivant [26] :

$$V_{CO} = V_{CO0} + \beta \cdot \Delta T \quad (2-19)$$

Où :

V_{CO0} : la tension à circuit ouvert de référence [V].

α : coefficient de variation de courant à circuit ouvert en fonction de la température [$A/^\circ C$].

β : coefficient de variation de la tension de court-circuit en fonction de la température [$V/^\circ C$].

ΔT : la variation de la température [$^\circ C$].

II.6 Modélisation du système de conversion

L'onduleur est un dispositif de conversion, il est important de connaître la relation liant la puissance à la l'onduleur à celle entrante.

Cette caractéristique est représentée par la fonction [24]

$$\eta_0 = f(P_{ch}) \text{ ou encore } \eta_0 = f(\text{taux de charge})$$

La charge étant alimentée en courant alternatif, un onduleur est donc présent entre le bus continu et la charge (voir Figure 2.7). Il existe diverses équations pour définir le rendement d'un onduleur en fonction de la puissance délivrée.

L'onduleur est considéré comme un dispositif de transformation en énergie alternative, d'une énergie de type continu provenant soit du système de stockage, soit directement de champ PV. De tels dispositifs devraient délivrer une tension alternative à fréquence déterminée c'est-à-dire le signal généré par ce dernier doit être le plus sinusoïdal possible.

Ces onduleurs sont largement utilisés, mais les appareils existants ont l'inconvénient majeur de présenter des pertes, à vide ou à faible charge, très élevées, leur rendement n'est donc acceptable qu'à pleine charge.

L'onduleur monophasé est caractérisé par son rendement en fonction de la puissance fournie à l'utilisation. Le modèle de rendement se traduit par la relation empirique suivante [16]

$$\eta_0 = a \cdot (1 - \exp(b \cdot \tau)) \quad (2-20)$$

Où :

a et b sont des constantes (a = 0,9559 ; b = -609164).

τ : Taux de charge, donnée par : $\tau = \frac{P_{ch}}{P_n}$.

P_n : puissance nominale de l'onduleur.

P_{ch} : puissance à la sortie de l'onduleur.

La variation du rendement de l'onduleur en fonction de taux de charge est représentée sur la figure suivante :

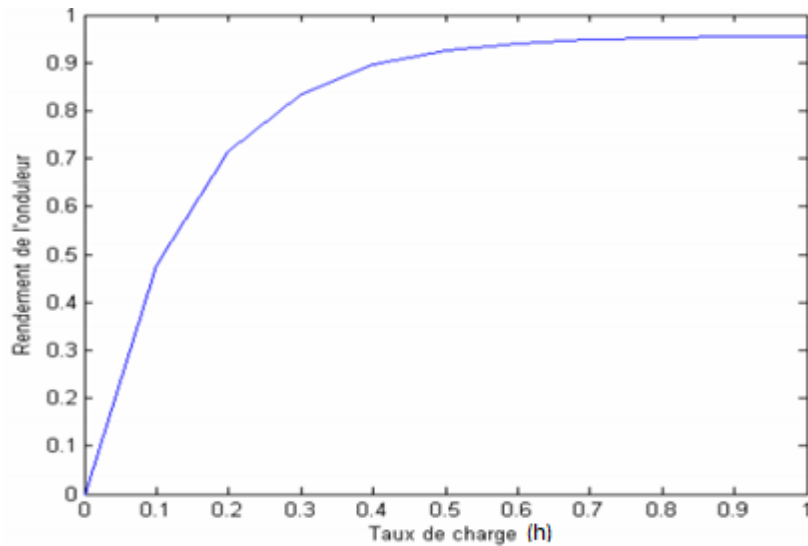


Figure 2.7 : Rendement de l'onduleur

Nous verrons par la suite que le choix de la puissance nominale de l'onduleur en fonction de son application est primordial si l'on veut éviter des pertes énergétiques importantes.

II.7 Conclusions

La modélisation de chaque composant du système photovoltaïque complet a été élaborée à partir de modèles de la littérature (champ PV, convertisseurs, stockage batteries), cette modélisation est une étape essentielle permet d'introduire un certain nombre de modèles puis évaluer la caractéristique de chaque élément de l'installation ainsi les paramètres constitutifs.

L'implémentation de ces modèles dans un environnement de simulation adapté permettra d'étudier le comportement des composants en fonction de certains paramètres.

L'outil ainsi réalisé sera utilisé pour déterminer le dimensionnement optimal d'un tel système pour des cas d'applications définis dans les chapitres suivants.

Chapitre III

Systeme d'acquisition

Chapitre III

Système d'acquisition

III.1 Introduction

La figure (3.1) montre un diagramme schématique des capteurs et des données d'acquisition du système de surveillance mis en œuvre dans le système PV. Différents capteurs sont inclus pour mesurer le rayonnement solaire, ainsi que le courant et les tensions aux côtés DC et AC du système.

L'acquisition des données est réalisée à l'aide d'une carte Arduino. Communication de données entre PC et LabVIEW.

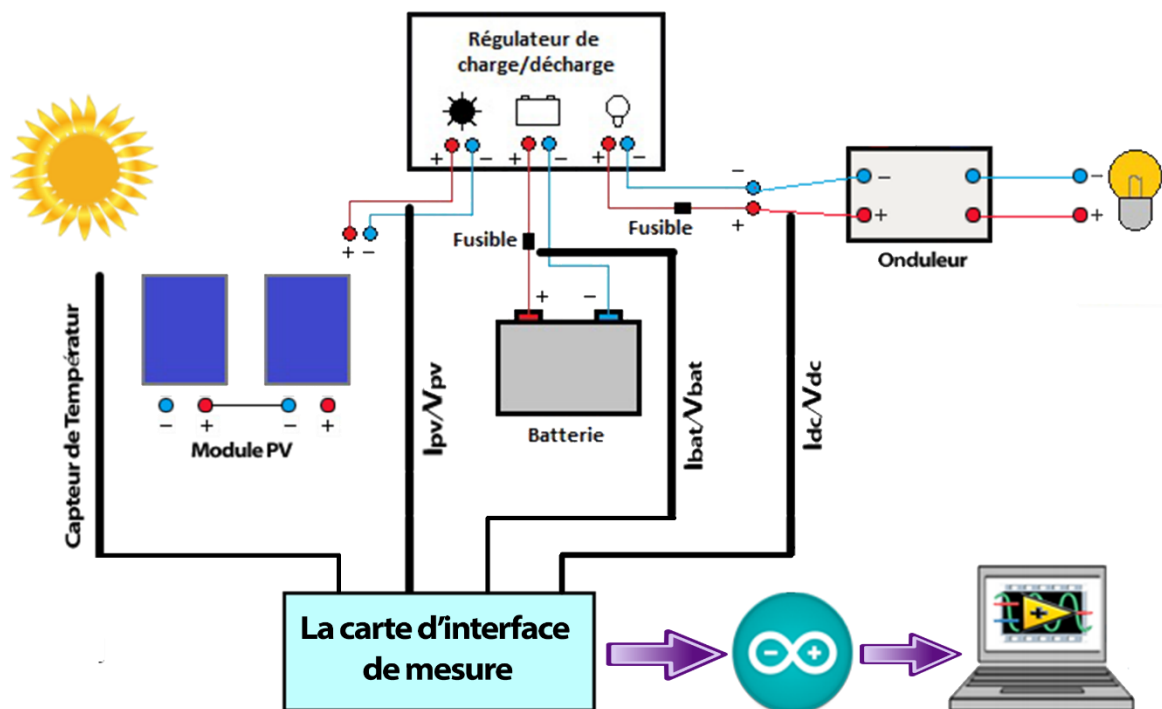


Figure 3.1 : Capteurs et système d'acquisition pour surveiller le système PV.

III.2 Système d'acquisition

La chaîne d'acquisition de données est l'ensemble des éléments nécessaires à l'obtention des données (analogiques ou numériques) à leur transmission jusqu'au récepteur et à l'utilisateur des données capturées. Cet utilisateur peut utiliser ces données immédiatement ou les stocker pour les utiliser ultérieurement.

Les chaînes d'acquisition de données ont pour objectif l'acheminement d'informations entre différents éléments du système.

La communication qui nous intéresse est de nature monodirectionnelle et se fait d'un ensemble de producteurs de données (Système photovoltaïque) vers les applications de monitoring (LabVIEW).

III.2.1 La carte d'interface de mesure

La carte d'interface de mesure, comme son nom l'indique, est l'interface entre divers signaux de courant et de tension utilisés à des fins de contrôle et l'Arduino. L'entrée analogique de l'Arduino choisie pour cette application est limitée à 0 à 5 V. Par conséquent, les signaux de puissance doivent être mis à l'échelle et conditionnés de manière appropriée pour générer des signaux unipolaires de variation d'amplitude entre 0 et 5 V.

Les blocs fonctionnels impliqués dans la conception de chaque canal d'interface de mesure peuvent être vues dans la figure 3.2. Le but de chaque étape est expliqué en détail.



Figure 3.2 : blocs fonctionnels d'un circuit d'interface de mesure

III.2.1.1 Atténuateur / Transducteur

Les signaux de tension (AC ou DC) sont détectés et passés à travers un réseau résistif approprié où ils sont atténués à un niveau inférieur. Le point «vivant» ou positif et le point «neutre» ou négatif des tensions sont mesurés différemment. Par conséquent, le même réseau résistif existe sur les deux terminaux. Il a été décidé de construire des atténuateurs de tension résistifs simples plutôt que des atténuateurs de tension de transformateur volumineux et coûteux. La précision de la mesure dépend de la précision des résistances. Par conséquent, des résistances de 1% sont choisies à cet effet. Le signal de courant passe à travers un transducteur de courant (CLSM-50, Datasheet fournie à l'annexe A.1) et un signal de tension proportionnel au courant est obtenu dans l'étage atténuateur / transducteur.

III.2.1.2 Amplificateur différentiel

La différence des signaux (direct / positif et neutre / négatif) aux entrées est amplifiée à ce stade. La propriété CMR (Common Mode Rejection) de cette étape permet de réduire le bruit entrant et offre un meilleur rapport signal sur bruit à la sortie [27]. Le circuit est construit avec ampli-op TL084 et 1% de résistances.

III.2.1.3 Filtre passe bas

L'étage de filtre passe-bas est appliqué pour éliminer le bruit haute fréquence couplé aux signaux d'entrée et de tension d'entrée. Idéalement, la fréquence de coupure de ce filtre doit être la moitié de la fréquence d'échantillonnage de l'entrée analogique afin de filtrer les composantes de fréquence, ce qui peut provoquer un effet de repliement. Cependant, un filtre avec une fréquence de coupure basse pour éliminer le bruit peut provoquer un retard de phase sur les composantes de signal d'intérêt et entraîner une mauvaise réponse dynamique de la commande. En particulier, lorsqu'un contrôleur de courant à hystérésis est appliqué, il est nécessaire de «détecter» le signal de courant tel qu'il est sans provoquer de déphasage vers l'ondulation du courant triangulaire. Le déphasage provoqué par le filtre dépendra de la fréquence. Et par conséquent, la compensation de phase des signaux pendant une application de contrôle peut également être une tâche difficile. Les composantes de bruit, qui sont proéminentes, peuvent apparaître à la fréquence de commutation et prédominer au moment de la commutation des appareils. Par conséquent, une technique d'échantillonnage synchrone appropriée adoptée comme dans [28] permet d'appliquer un filtre de fréquence de coupure plus élevée. Dans cette méthode, l'échantillonnage des données ne se produit jamais pendant la commutation des appareils.

Dans le présent travail, un troisième ordre et un cinquième filtres Butterworth ont été conçus pour les signaux de tension et de courant respectivement. Il a été décidé de construire des filtres Butterworth en raison de leur réponse douce dans la bande passante. Le filtre du troisième ordre a été conçu pour transmettre un signal de 2,5 kHz avec une erreur d'amplitude de 0,04% et une erreur de phase de $3,96^\circ$ pour les canaux de mesure de tension. Un filtre de cinquième ordre a été conçu pour transmettre un signal de 20 kHz avec une erreur d'amplitude de 6% et une erreur de phase de 27° pour les canaux de mesure actuels. Un filtre de cinquième ordre avec une fréquence de coupure élevée est nécessaire pour mesurer et reproduire les formes d'onde de courant résultant d'un contrôleur de courant à hystérésis. Les circuits sont construits avec des amplificateurs opérationnels

TL084, 1% de résistances 49 et 5% de condensateurs. Le dernier étage RC des filtres passe-bas du troisième et du cinquième ordre est placé à proximité des filtres Butterworth d'entrée analogique pour supprimer le bruit haute fréquence qui aurait pu être couplé au signal.

III.2.1.4 Mise à l'échelle et décalage DC

C'est une étape d'amplification de sommation et d'échelle. L'entrée AC est mise à l'échelle de manière appropriée pour varier entre +/- 1,5 V. Un décalage CC de 1,5 V est ajouté à l'aide de l'amplificateur de sommation non inverseur. Une référence de tension de précision (LM4041-ADJ) est appliquée dans le circuit pour obtenir une alimentation stable de 1,5 V à partir de +15 V. Par conséquent, la tension de sortie de cet étage varie entre 0 et +3 V. Le circuit est construit avec un amplificateur opérationnel TL084 et 1% de résistances.

III.2.1.5 Protection de survoltage

L'entrée analogique de l'Arduino est très sensible à l'entrée de tension autre que le niveau spécifié (0-5 V). Par conséquent, il est nécessaire d'ajouter un étage de serrage de tension à l'entrée analogique à des fins de protection. Un circuit de protection basé sur un transistor (BC178), une résistance (1%) et une diode Zener (BAT85) est le dernier étage de chaque canal de mesure, ce qui empêche la tension à la sortie de la carte de dépasser 5 V.

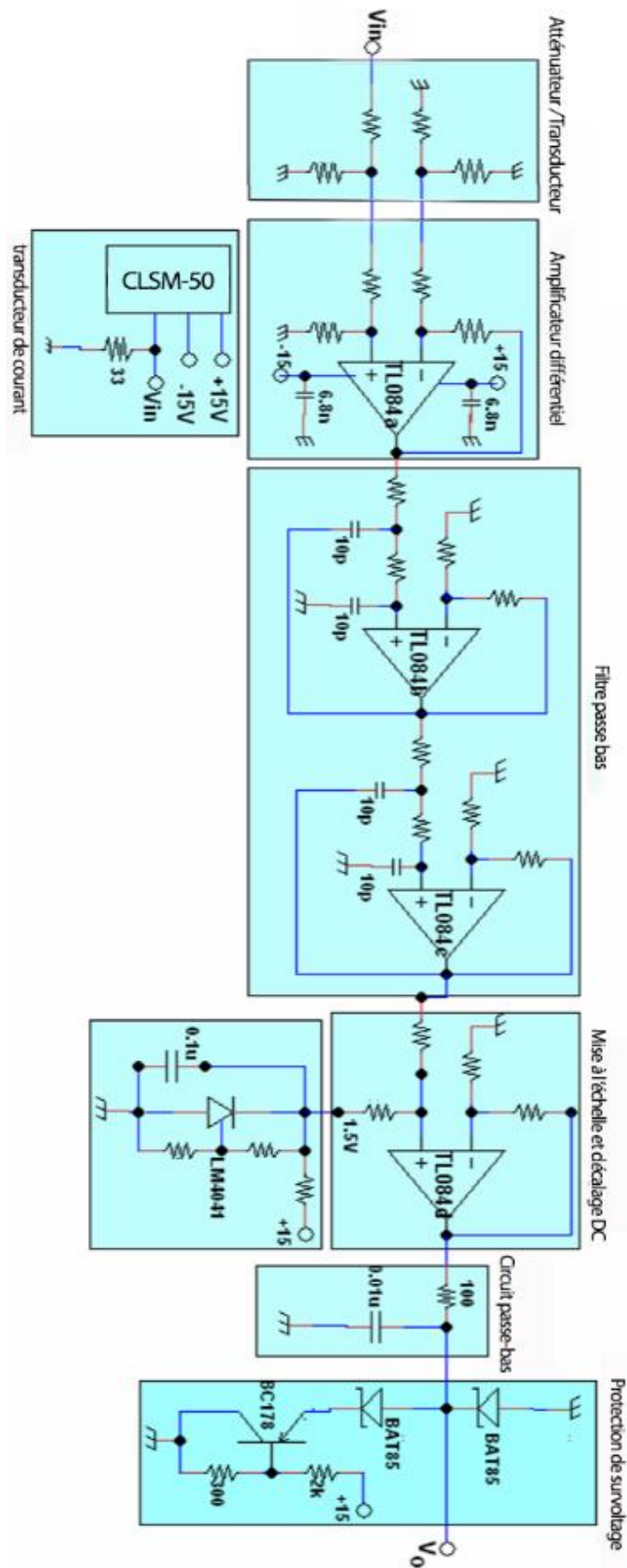


Figure 3.3 : Canal de mesure de courant.

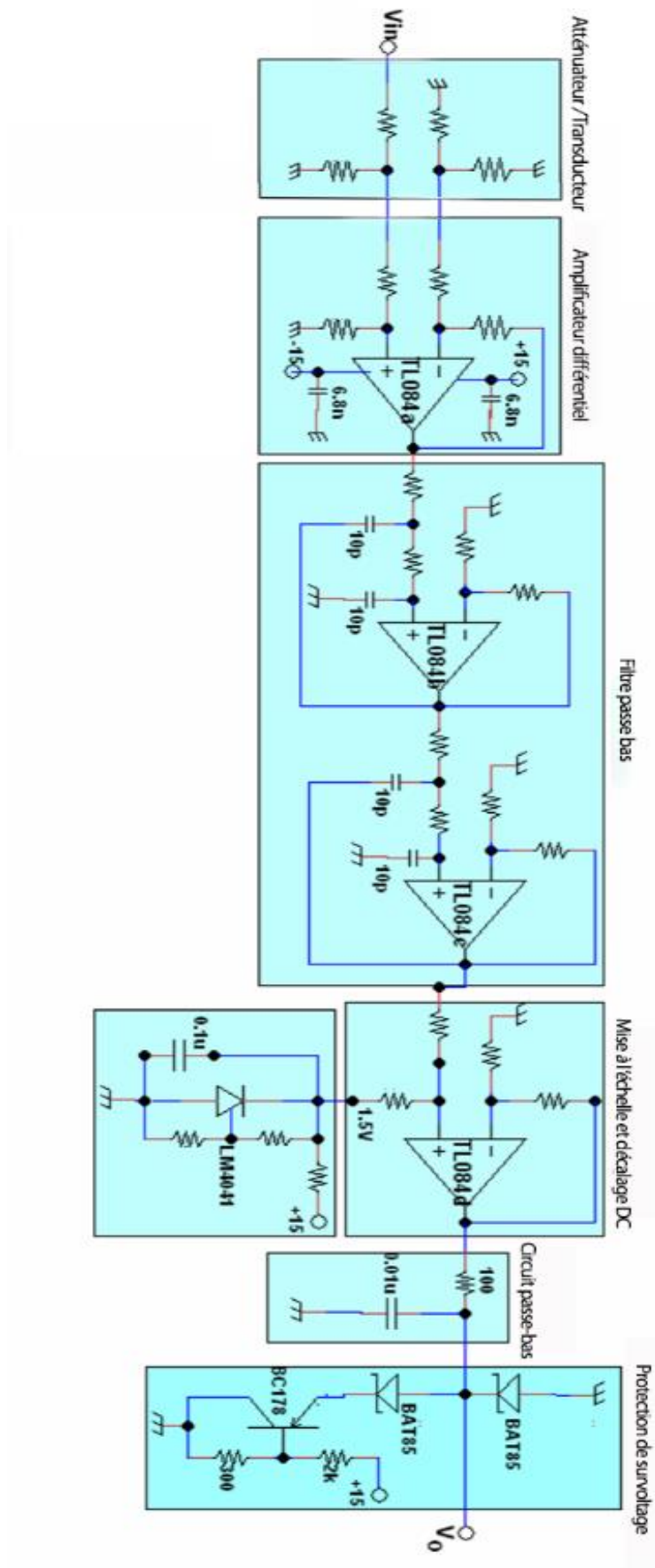


Figure 3.4 : Canal de mesure de tension.

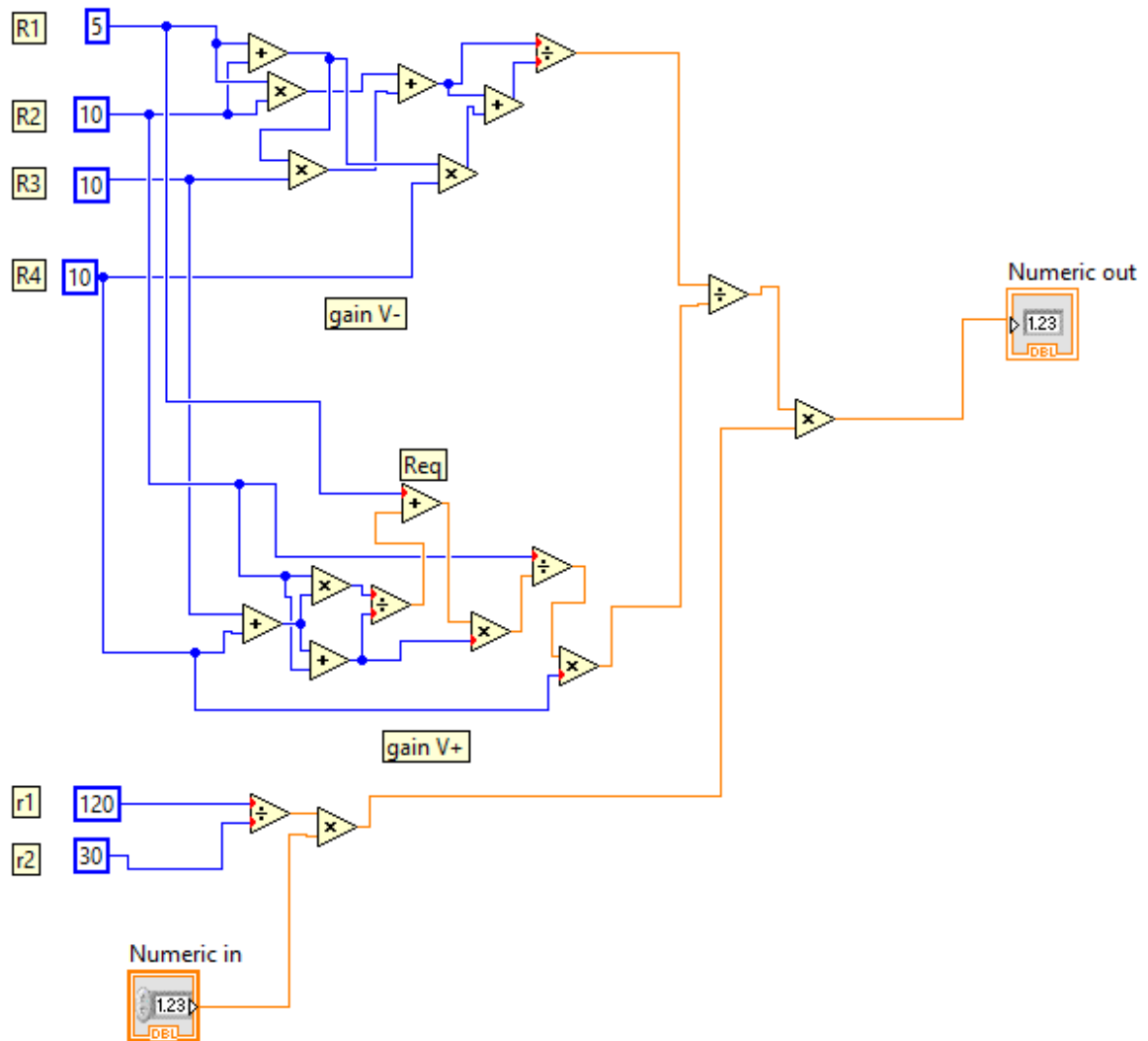


Figure 3.5 : VI développé pour obtenir le gain de la carte d'interface de mesure.

III.2.2 ARDUINO

Arduino est une plateforme de prototypage à bas coût sous licence Creative Commons. Basée sur les microcontrôleurs ATMEL, elle permet de réaliser rapidement des projets électroniques sur les trois plateformes Linux, Mac et Windows. Il peut-être utilisé pour construire des objets interactifs indépendants (prototypage rapide), ou bien peut être connecté à un ordinateur pour communiquer avec ses logiciels (ex. : Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Usine Hollyhock, Pure Data, SuperCollider ...). En 2011, les versions vendues sont préassemblées. Des informations sont fournies pour ceux qui souhaitent assembler l'Arduino eux-mêmes.

« Le projet Arduino a reçu un titre honorifique à l'Ars Electronica 2006, dans la catégorie Digital Communities » [29].



Figure 3.6 : Carte ARDUINO.

III.2.2.1 Description du Matériel

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (ATmega328 ou ATmega2560 pour les versions récentes, ATmega168 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.

Les modules sont programmés au travers d'une connexion série RS-232, mais les connexions permettant cette programmation diffèrent selon les modèles. Les premiers Arduino possédaient un port série, puis l'USB est apparu sur les modèles UNO, tandis que certains modules destinés à une utilisation portable se sont affranchis de l'interface de programmation, relocalisée sur un module USB-série dédié (sous forme de carte ou de câble).

L'Arduino utilise la plupart des entrées/sorties du microcontrôleur pour l'interfaçage avec les autres circuits.

III.2.2.2 Avantages

- Pas cher !
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multiplateforme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.

- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site perso etc...)
- Existence de « shield » (boucliers en français) : ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent sur le module Arduino pour augmenter les possibilités comme par exemple : afficheur graphique couleur, XBEE, GPS, etc..

Par sa simplicité d'utilisation, Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électronique industrielle et embarquée...

III.2.2.3 Arduino Uno

La carte Arduino Uno est une carte à microcontrôleur basée sur ATmega328. Elle dispose:

- de 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)),
- de 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques),
- d'un quartz 16Mhz,
- d'une connexion USB,
- d'un connecteur d'alimentation jack,
- d'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit"),
- et d'un bouton de réinitialisation (reset). [29]

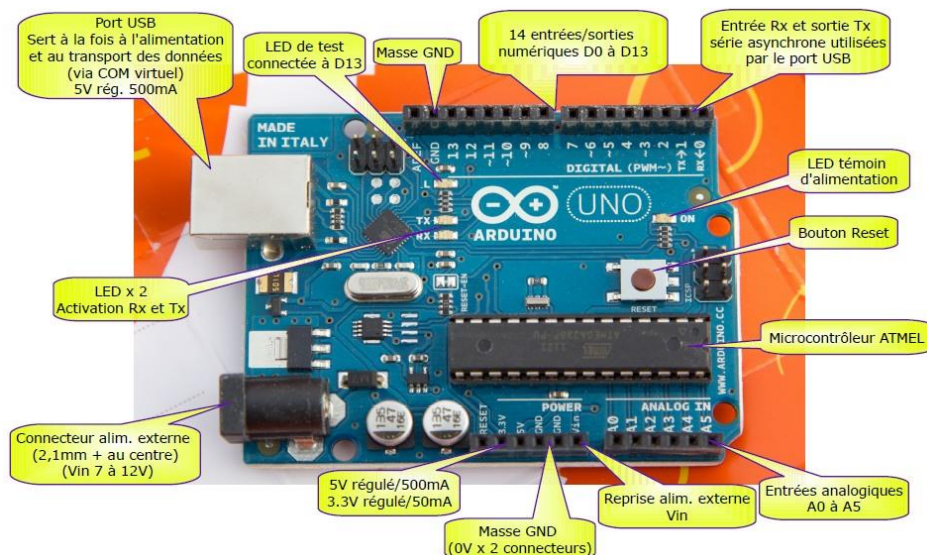


Figure 3.7 : Composant Arduino UNO

Il contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur. Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

La carte Arduino Uno diffère de toutes les cartes précédentes car elle n'utilise pas le circuit intégré FTDI usb-vers-série. A la place, elle utilise un Atmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série.

La carte UNO et la version 1.0 du logiciel seront la référence des versions Arduino à venir. La carte Uno est la dernière d'une série de carte USB Arduino, et le modèle de référence des plateformes Arduino; pour une comparaison avec les versions précédentes [29].

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 MA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (ATmega328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

Tableau 3.1 : Caractéristiques de la carte Arduino Uno

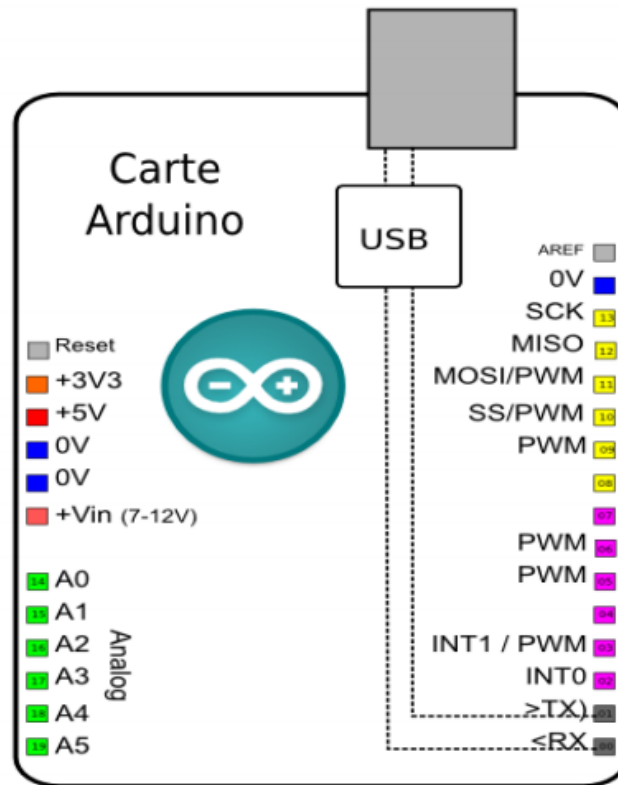


Figure 3.8 : Ports de la carte Arduino Uno

III.3 Conception assistée par ordinateur « PROTEUS »

Avant de passer à la réalisation pratique, nous avons utilisé un CAO: il s'agit de ISIS PROTEUS, c'est un CAO électronique perfectionné conçu par Labcenter Electronics qui permet de dessiner des schémas électroniques, de les simuler et de réaliser le circuit imprimé correspondant. Le CAO électronique « PROTEUS » se compose de nombreux outils regroupés en modules au sein d'une interface unique.

Ce dernier nous permet de schématiser notre carte électrique et la simuler virtuellement comme le montre la figure suivante :

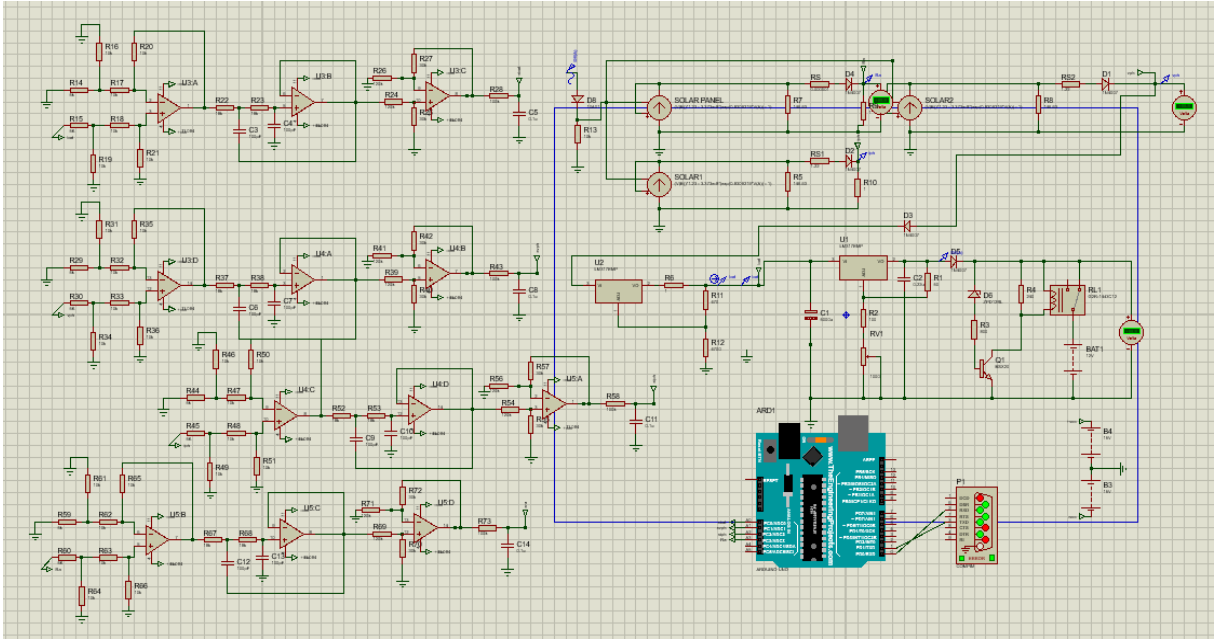


Figure 3.9 : la modélisation réalisé dans le ISIS-PROTEUS

Ce CAO « ISIS PROTEUS » a la possibilité d’exporter même des codes hexadécimaux pour les réalisations qui contiennent des composants programmables ou des cartes programmables «Arduino» comme dans notre réalisation.

Compilation terminée

```

D:\Users\AB9DC0-1.KBA\AppData\Local\Temp\build8553737194277380637\tmp\sketch_may23a.cpp.elf
D:\Users\AB9DC0-1.KBA\AppData\Local\Temp\build8553737194277380637\tmp\sketch_may23a.cpp.hex
Taille binaire du croquis : 2 838 octets (d'un max de 32 256

```

Chemins du code HEX

Paramétrage de la carte Arduino sous ISIS

ARD1
Part Reference: ARD1
Part Value: ARDUINO UNO R3
Element: [New]
UNO: [Default] Hide All
Program File: D:\Users\AB9DC0-1.KBA\AppData\Local\Temp\build8553737194277380637\tmp\sketch_may23a.cpp.hex Hide All
RSTDISBL (Disable reset) [1] Unprogrammed Hide All
WDTON (Enable watchdog) [1] Unprogrammed Hide All
BOOTRST (Select Reset Vector) [1] Unprogrammed Hide All
CKSEL Fuses: [0000] Ext. Clock Hide All
Boot Loader Size: [00] 1024 words: Starts at 0x1C1 Hide All
SUT Fuses: [10] Hide All
Clock Frequency: 16MHz Hide All
NAME: ARDUINO UNO REV3 Hide All
CLKDIV8 (Divide clock by 8) [1] Unprogrammed Hide All
CKDUT (Clock output) [1] Unprogrammed Hide All
Advanced Properties: Disassemble Binary Code No Hide All
Other Properties: [Empty]
 Exclude from Simulation Attach hierarchy module
 Exclude from PCB Layout Hide common pins
 Exclude from Bill of Materials Edit all properties as text

Figure 3.10 : Le chemin du fichier de code HEX de notre programme

III.4 LABVIEW

LABVIEW pour **L**aboratory **V**irtual **I**nstrumentation **E**ngineering **W**orkbench est un environnement de développement en langage G. Notons que l'on écrit LabVIEW et non pas LabView ou Labview, etc. 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 noirs et blancs puis sur des écrans 16 couleurs, 256, etc.

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 (notamment sur le protocole GPIB au début des années 80) 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.

III.4.1 Programmeur de la carte Arduino Uno « environnement LABVIEW »

Pour la deuxième carte Arduino nous avons préféré de la programmer à l'aide d'un autre environnement ; ce dernier présente des techniques d'interfaçage pour les cartes Arduino ; il s'agit de l'environnement LABVIEW.

Lorsque le module Arduino est installé sous LABVIEW (voir figure 3.11) la palette Arduino est disponible.

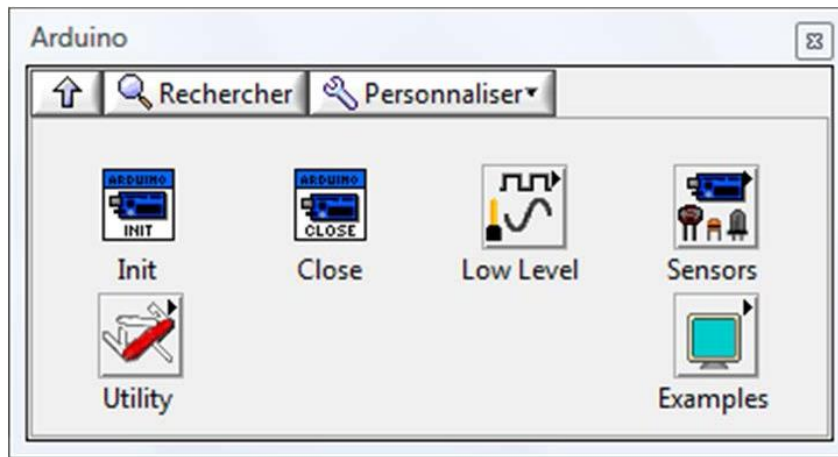


Figure 3.11 : La palette Arduino sous LABVIEW.

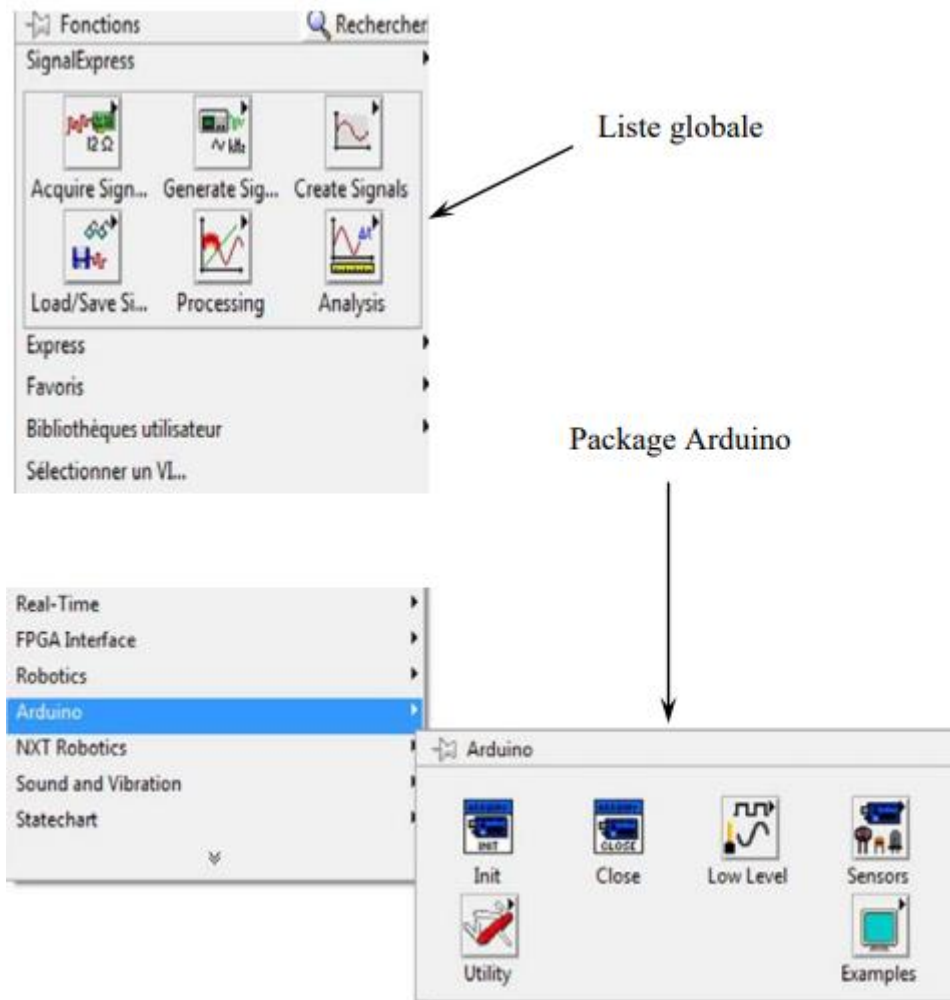


Figure 3.12 : Le package Arduino sous LABVIEW.

III.4.2 Communication LIFA

LIFA signifie (LABVIEW Interface For Arduino). C'est une extension de LABVIEW (compatible à partir de la version 2009) qui permet de piloter une carte compatible Arduino depuis LABVIEW. Dans ce chapitre on va proposer d'expliquer comment installer le firmware LIFA sur notre carte ARDUINO.

III.4.3 LabVIEW interface avec le Proteus

Avant d'implémenter le système conçu sur le matériel réel et de l'interfacer avec LabVIEW, il est préférable de vérifier le modèle Proteus avec LabVIEW. S'il y a une erreur, elle peut être résolue uniquement au niveau du logiciel. Pour interfacer LabVIEW avec le logiciel Proteus, un émulateur de port série virtuel (VSPE) doit être installé. VSPE crée le pont virtuel entre le port série du logiciel Proteus et le simulateur LabVIEW.

Le système est d'abord conçu sur la simulation Proteus, puis interfacé avec LabVIEW via VSPE pour vérifier sa faisabilité.

a) Virtual Serial Port Emulator

On a installé le logiciel VSPE et sélectionnez "pair" comme type de périphérique, alors affecter le COM de COMPIM de Proteus et COM dans LABVIEW comme indiqué dans Figure 3.13 qui montre la configuration de COMPIM dans le Proteus pour s'interfacer avec le LABVIEW. La figure 3.15 montre le Connexion COMPIM et Arduino dans le Proteus.

Le modèle COMPIM est un modèle d'interface physique (PIM) d'un port série. Il reçoit des données série (9600-8-N-1) dans le tampon et transmet au circuit en tant que signal d'entrée. Les données de la CPU ou de l'UART apparaissent sur le PC physique Port COM

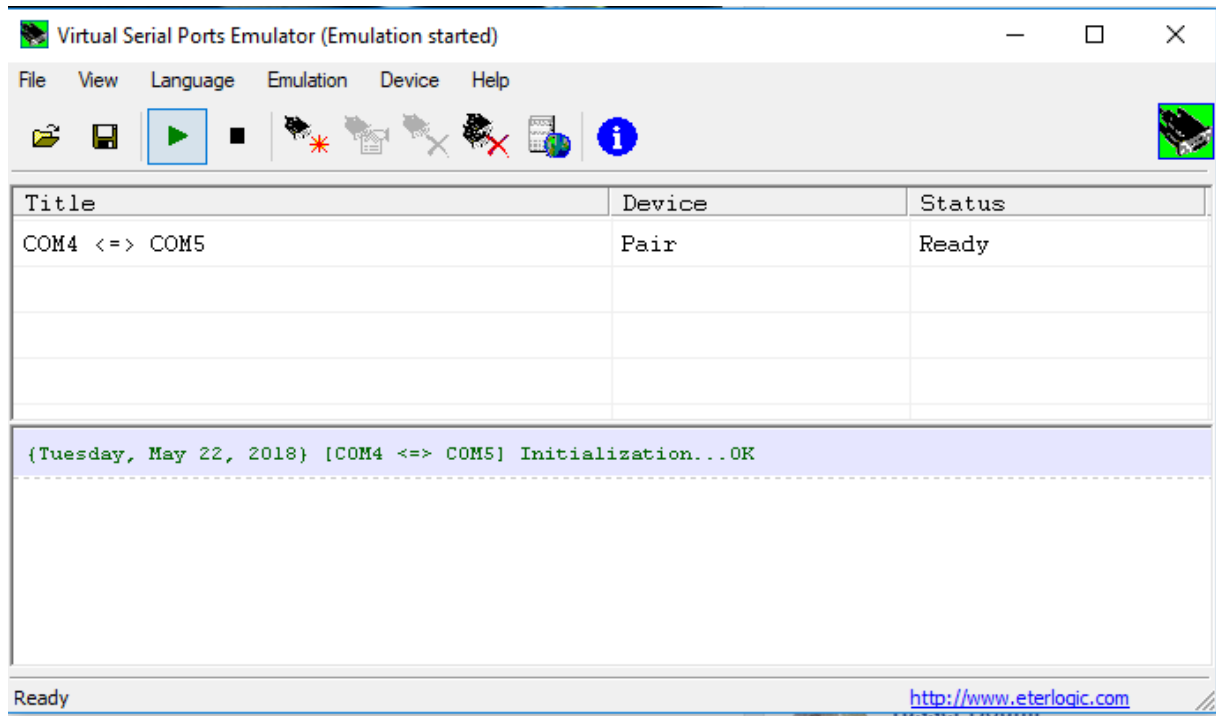


Figure 3.13 : Fenêtre VSPE montrant les ports COM associés.

La figure 3.15 montre comment interfacer COMPIM avec le contrôleur dans le modèle Proteus.

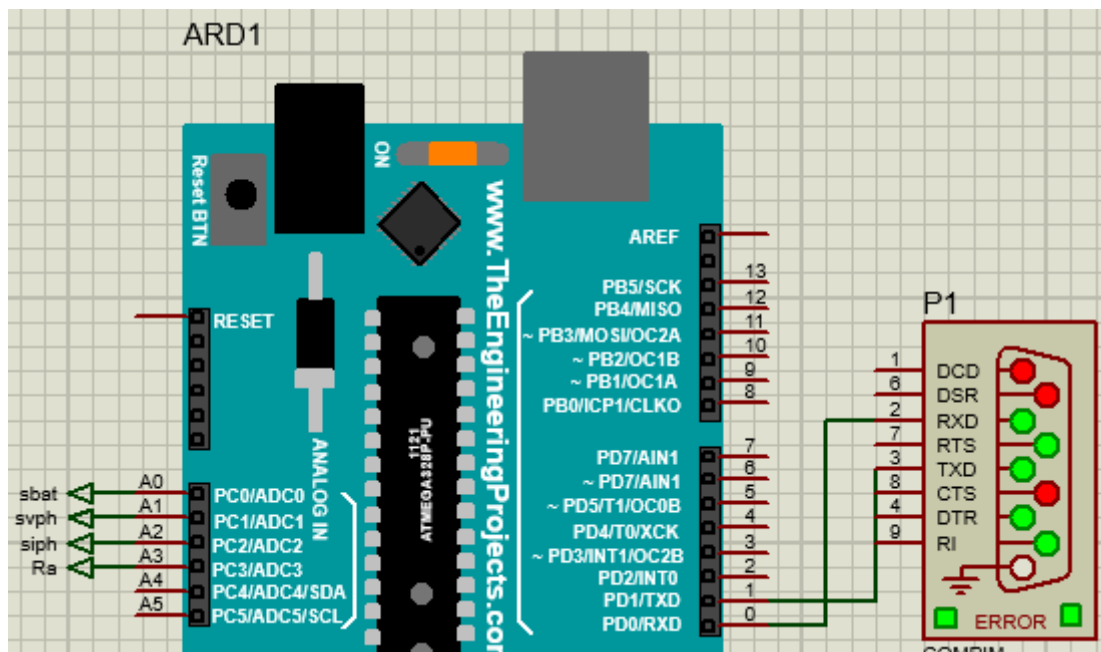


Figure 3.14 : Connexion COMPIM et Arduino dans Proteus.

La Figure 3.15 montre comment configurer le COMPIM dans le modèle Proteus.

Le composant d'édition POP-up apparaît sur un clic droit sur le port COM dans le modèle.

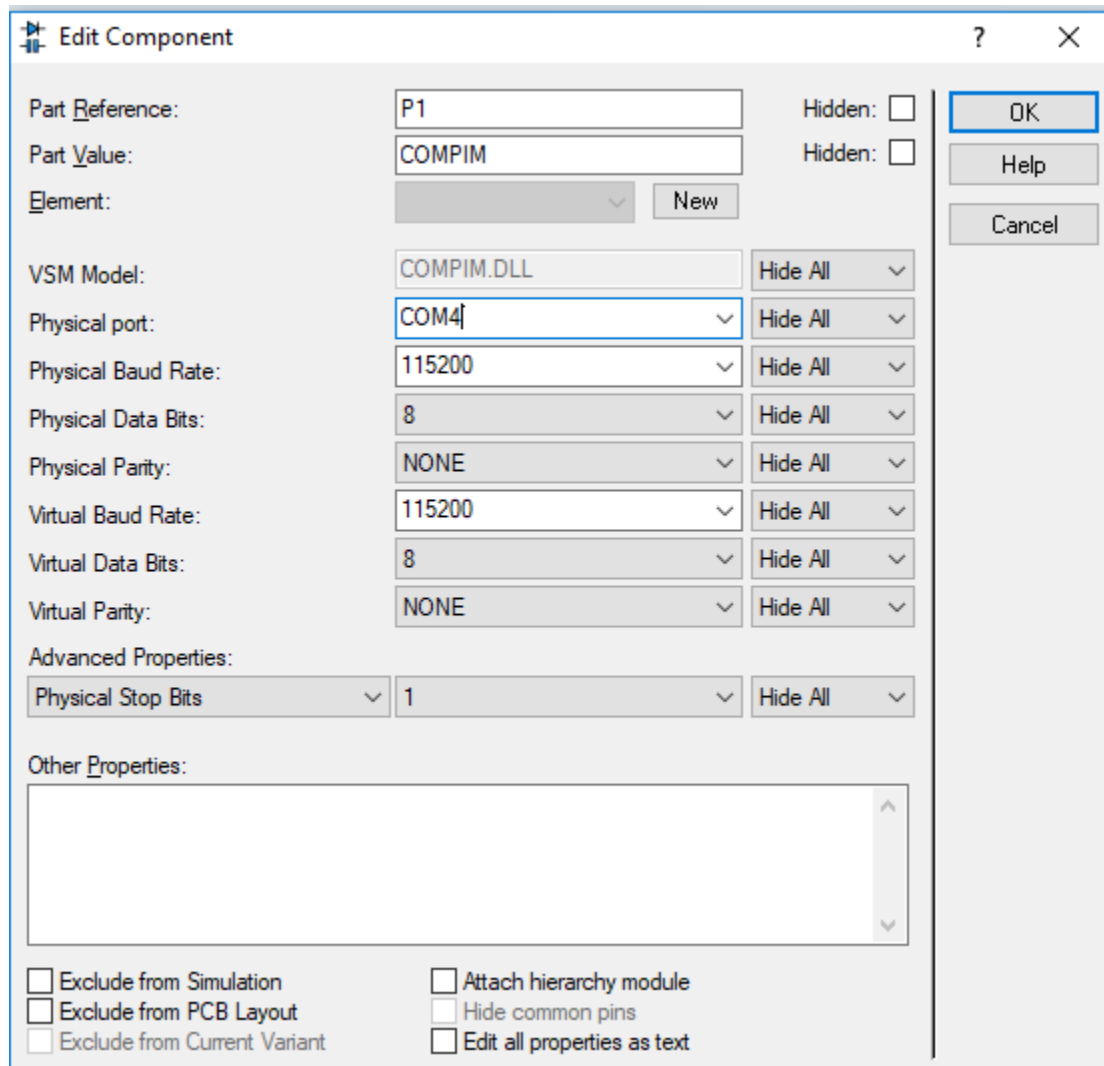


Figure 3.15 : Configuration le COMPIM dans Proteus pour l'interface avec LabVIEW.

III.5 Conclusion

Dans ce chapitre, les détails des différents composants d'un Arduino sont fournis. La spécification des composants et les critères de sélection des composants d'un Arduino sont expliqués.

Une carte d'interface de mesure analogique appropriée pour le prototype Arduino a été

L'implémentation de ces modèles (générateur PV, stockage batteries... etc) dans ISIS PROTEUS pour simulation adapté, et comment faire LabVIEW interface avec le Proteus

Chapitre IV

Résultats de simulation

Chapitre IV

Résultats de simulation

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, on utilise le programme du LabVIEW pour simuler les résultats obtenus et créer des fichiers de rapport Excel et HTML avec insérer les données à la base de données, et visualiser toutes ces données et le comportement dynamique du système en temps réel.

IV.2 Analyse les résultats de la simulation du système PV

Les principaux résultats obtenus, en appliquant la procédure d'extraction des paramètres, sont résumés dans le tableau 4.1. Le panneau de visualisation effectuant cette tâche est représenté sur la figure 4.1. La validation de la procédure est réalisée en comparant la mesure réelle des caractéristiques I-V mesurées sur la figure 4.3.

Paramètre	$V_{co}(v)$	$I_{sc}(A)$	$P_m(W)$	$V_m(V)$	$I_m(A)$	$R_s(Ohm)$	$R_{sh}(Ohm)$
Valeur	21.740	2.076	33.281	18.334	1.815	1.22	146.63

Tableau 4.1 : Paramètres extraits pour le module Photovoltaïque Isofoton 106-12 à $1000W / m^2$ et 25 °C.

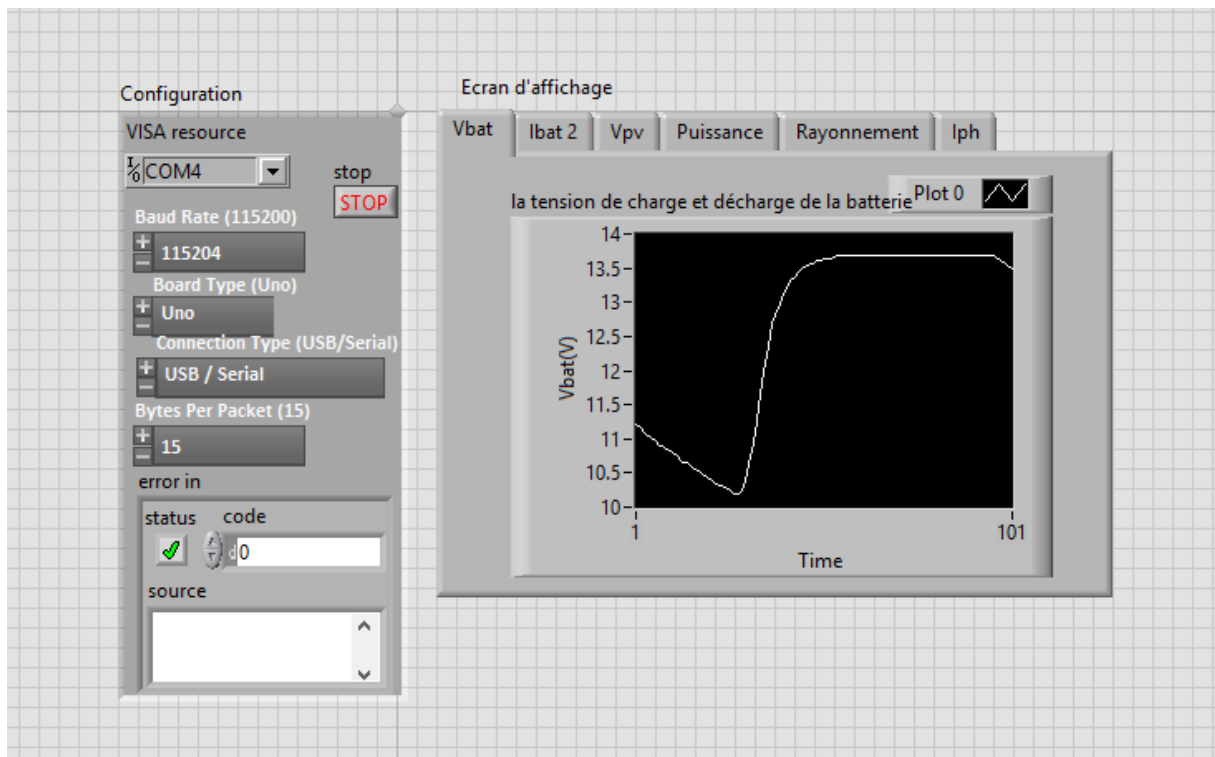


Figure 4.1 : Panneau de visualisation des paramètres d'extraction du système photovoltaïque.

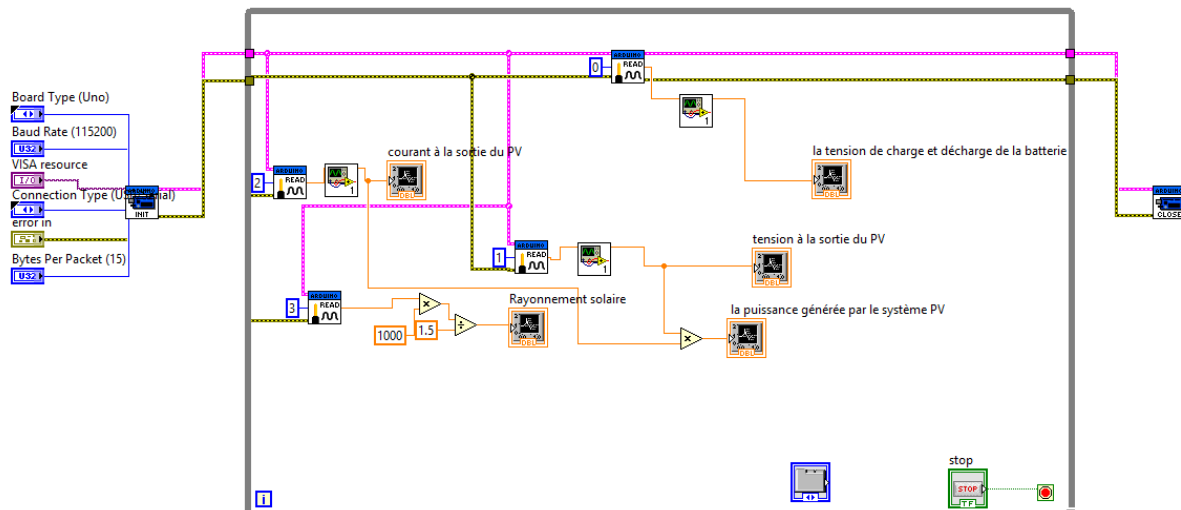


Figure 4.2 : VI développé pour obtenir les mesurées data.

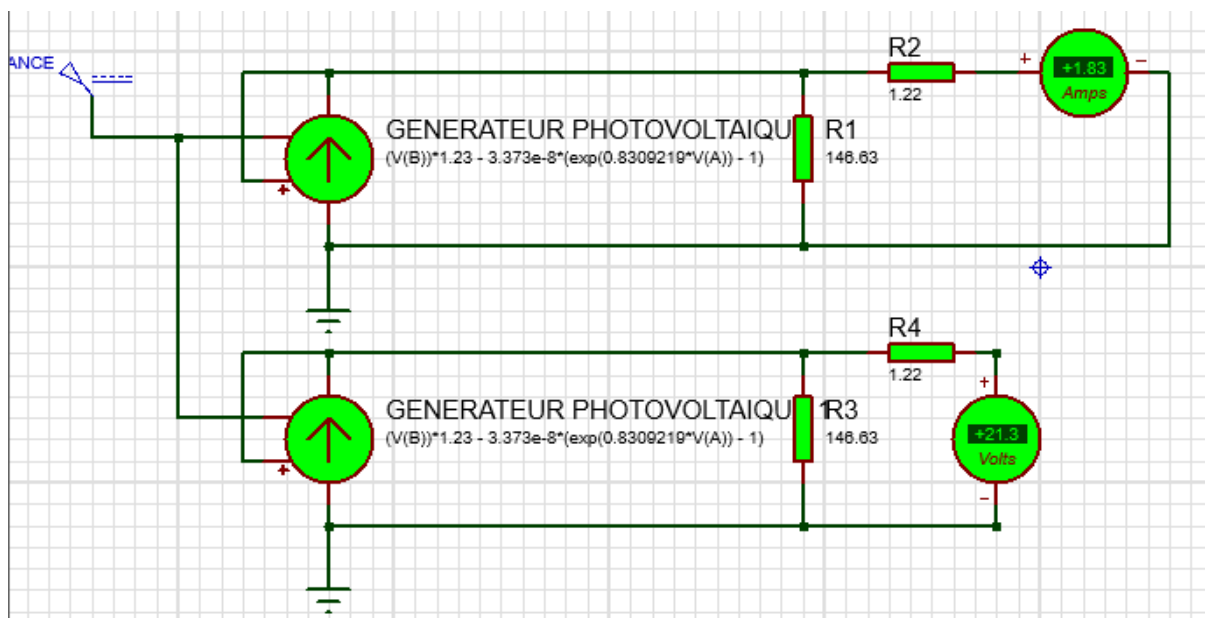


Figure 4.3 : Caractéristiques I-V mesurées sur Proteus.

Le tableau 4.2 les canaux associés à chaque variable mesurée ainsi que la sensibilité des capteurs utilisés.

Variables mesurées	Le numéro de canal	Capteurs
G_{rs}	3	cellule de référence $R_{sh} = 0.037 \Omega$
$V_{ph} V_{bat}$	1,0	Canal de mesure de tension.
$I_{ph} I_{bat}$	2,4	Canal de mesure de courant.

Tableau 4.2 : les canaux associés à chaque variable mesurée et sensibilité des capteurs utilisés.

Les modèles sont appliqués au système à la température de la cellule $T=25^{\circ}\text{C}$, avec 1.35 min représente 24h est prise une valeur à chaque 1 secondes sur LabVIEW.

Généré par le système PV, donnant une bonne approche de la précision de la procédure de simulation. Les erreurs quadratiques moyennes inférieures à 4% sont obtenues pour la puissance et l'énergie délivrées par le PV.

Rayonnements solaire obtenues à partir du système de monitoring montré à la Figure 4.4. Les échantillons ont été mesurés avec un pas de temps de 1s.

La simulation du comportement du système PV, a été effectuée en temps réel. Les principaux résultats obtenus pour la tension et le courant à la sortie du générateur photovoltaïque sont indiqués sur la figure 4.6 et la figure 4.5 Comme on peut le voir, les résultats obtenus de la simulation sont vraiment les résultats souhaités.

Les résultats obtenus pour la puissance générée au niveau du système sont représentés sur la figure 4.7.

Les résultats obtenus pour la tension et le courant de charge et décharge de la batterie sont représentés sur la figure 4.8 et la figure 4.9.

Nous utilisons le tableau 4.1 pour valider tous les résultats obtenus.

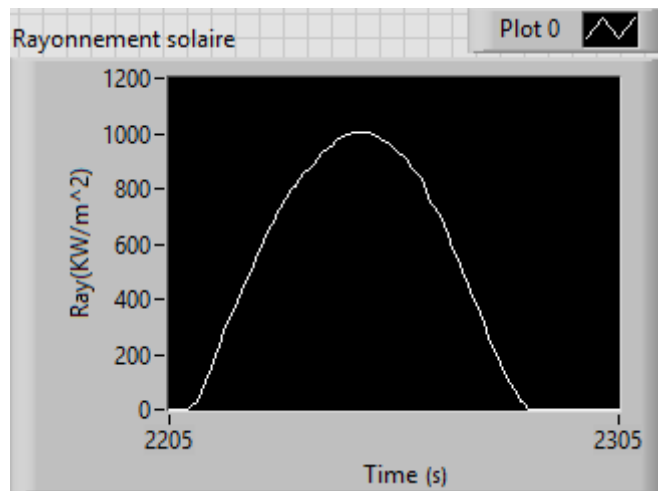


Figure 4.4 : Evolution du rayonnement solaire.

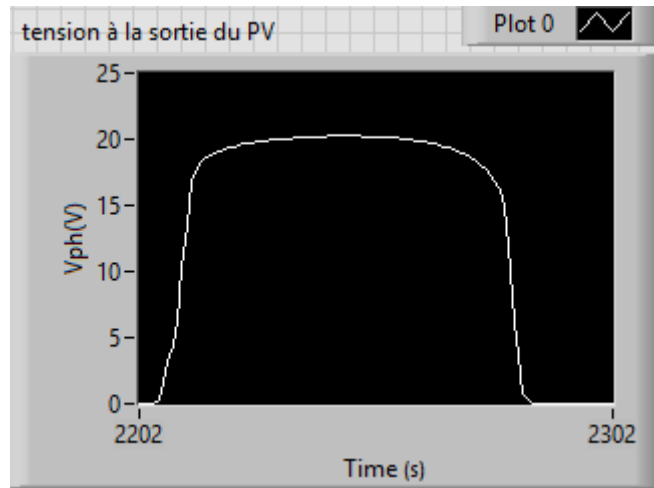


Figure 4.5 : Evolution de la tension à la sortie du PV.

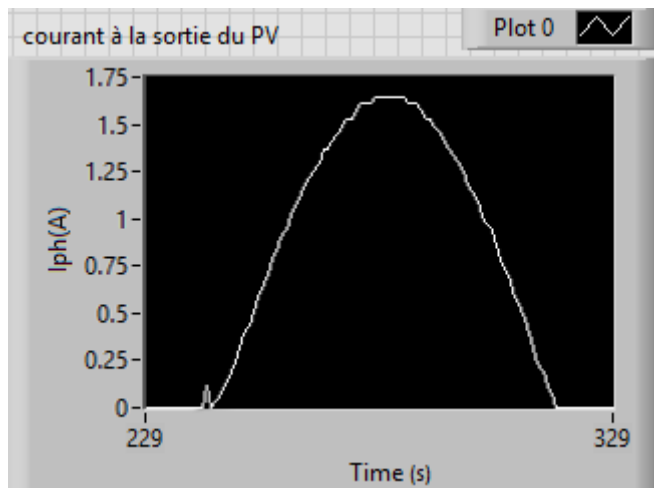


Figure 4.6 : Evolution du courant à la sortie du PV.

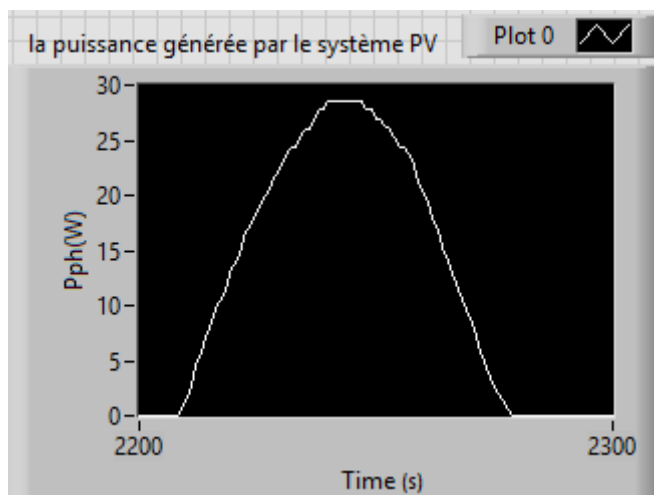


Figure 4.7 : Evolution de la puissance générée par le système PV.

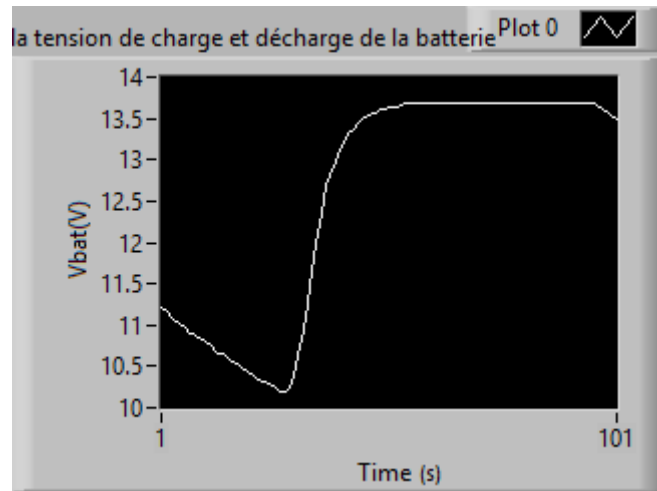


Figure 4.8 : la tension de charge et décharge de la batterie.

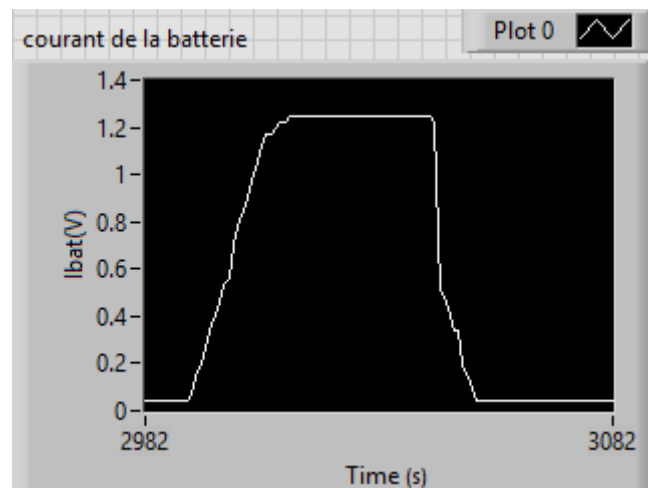


Figure 4.9 : Courant en mode de charge la batterie.

Créer des fichiers de rapport HTML et Excel et visualiser toutes ces données et le comportement dynamique du système en temps réel. Cette boîte à outils se traduit par une modélisation robuste, une simulation avancée incorporant des prédictions de sortie du système en ce qui concerne la ressource solaire, la météo locale

	A	B		A	B	C	D
1		Iph(A) - Plot 0	1		Ivph(V) - Plot 0		
2	7:54	0	2	35:14:00	0		
3	7:55	0	3	35:15:00	0		
4	7:56	0	4	35:16:00	0		
5	7:57	0	5	35:17:00	0		
6	7:58	0	6	35:18:00	0		
7	7:59	0	7	35:19:00	0		
8	8:00	0	8	35:20:00	0		
9	8:01	0	9	35:21:00	0		
10	8:02	0	10	35:22:00	0		
11	8:03	0	11	35:23:00	0		
12	8:04	0	12	35:24:00	0		
13	8:05	0	13	35:25:00	0		
14	8:06	0	14	35:26:00	4.1552		
15	8:07	0	15	35:27:00	11.1328		
16	8:08	0	16	35:28:00	16.3072		
17	8:09	0	17	35:29:00	17.6792		
18	8:10	0	18	35:30:00	18.228		
19	8:11	0	19	35:31:00	18.5808		
20	8:12	0	20	35:32:00	18.7376		
21	8:13	0	21	35:33:00	18.9336		
22	8:14	0	22	35:34:00	19.1688		
23	8:15	0	23	35:35:00	19.3648		
24	8:16	0.0392	24	35:36:00	19.5608		
25	8:17	0.0784	25	35:37:00	19.7176		
26	8:18	0.1568	26	35:38:00	19.796		
27	8:19	0.2352	27	35:39:00	19.9528		
28	8:20	0.3136	28	35:40:00	20.0312		
29	8:21	0.4312	29	35:41:00	20.0704		
30	8:22	0.4704	30	35:42:00	20.1096		
31	8:23	0.5488	31	35:43:00	20.1096		
32	8:24	0.6664	32	35:44:00	20.188		
33	8:25	0.7448	33	35:45:00	20.2272		
34	8:26	0.8232	34	35:46:00	20.2664		

Figure 4.10 : rapport Excel de la tension et du courant PV.

	A	B	C
1		Ray(KW/m^2) - Plot 0	
2	7:57	0	
3	7:58	0	
4	7:59	0	
5	8:00	0	
6	8:01	0	
7	8:02	0	
8	8:03	0	
9	8:04	0	
10	8:05	0	
11	8:06	0	
12	8:07	0	
13	8:08	0	
14	8:09	0	
15	8:10	0	
16	8:11	0	
17	8:12	0	
18	8:13	0	
19	8:14	0	
20	8:15	0	
21	8:16	0	
22	8:17	13.0667	
23	8:18	49	
24	8:19	101.267	
25	8:20	140.467	
26	8:21	192.733	
27	8:22	245	
28	8:23	300.533	
29	8:24	356.067	
30	8:25	395.267	
31	8:26	457.333	
32	8:27	522.667	
33	8:28	578.2	
34	8:29	630.167	

Figure 4.11 : rapport Excel du rayonnement solaire.

	A	B	C
1		Vbat(V) - Plot 0	
2	7:58	10.4272	
3	7:59	10.3488	
4	8:00	10.3488	
5	8:01	10.2704	
6	8:02	10.2312	
7	8:03	10.192	
8	8:04	10.1136	
9	8:05	10.0744	
10	8:06	10.0352	
11	8:07	9.9568	
12	8:08	9.9176	
13	8:09	9.8392	
14	8:10	9.8	
15	8:11	9.7608	
16	8:12	9.6824	
17	8:13	9.6432	
18	8:14	9.604	
19	8:15	9.5648	
20	8:16	9.4864	
21	8:17	9.4864	
22	8:18	9.408	
23	8:19	9.408	
24	8:20	9.5256	
25	8:21	9.8	
26	8:22	10.2704	
27	8:23	10.9368	
28	8:24	11.8776	
29	8:25	12.4656	
30	8:26	12.74	
31	8:27	12.8184	
32	8:28	12.8576	
33	8:29	12.8576	

Figure 4.12 : la tension de charge et décharge de la batterie.

Il peut également être stocké dans la base de données, pour une visualisation ultérieure en tant que page HTML

Nous créons d'abord des tables pour chaque courbe (générateur photovoltaïque, stockage batteries), comme la figure 4.13.

Nous importons les données nécessaires à l'intérieur de la table, pour être exporter plus tard comme des pages HTML

Table	Action	Enregistrements	Type	Interclassement	Taille	Perte
<input type="checkbox"/> ipv	[Icons]	100	MyISAM	utf8_general_ci	4,0 Kio	-
<input type="checkbox"/> r_solaire	[Icons]	100	MyISAM	utf8_general_ci	4,1 Kio	-
<input type="checkbox"/> vbat	[Icons]	100	MyISAM	utf8_general_ci	4,3 Kio	-
<input type="checkbox"/> vph	[Icons]	100	MyISAM	utf8_general_ci	4,3 Kio	-

Figure 4.13 : Tableaux de la base de données.

←T→			id_lph	n_time	n_courant	←T→			id_Vph	n_time	n_tension
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	1	7:54	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	1	35:14:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2	7:55	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2	35:15:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	3	7:56	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	3	35:16:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	4	7:57	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	4	35:17:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	5	7:58	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	5	35:18:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	6	7:59	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	6	35:19:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	7	8:00	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	7	35:20:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	8	8:01	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	8	35:21:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	9	8:02	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	9	35:22:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	10	8:03	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	10	35:23:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	11	8:04	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	11	35:24:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	12	8:05	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	12	35:25:00	0
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	13	8:06	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	13	35:26:00	4.1552
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	14	8:07	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	14	35:27:00	11.1328
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	15	8:08	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	15	35:28:00	16.3072
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	16	8:09	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	16	35:29:00	17.6792
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	17	8:10	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	17	35:30:00	18.228
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	18	8:11	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	18	35:31:00	18.5808
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	19	8:12	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	19	35:32:00	18.7376
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	20	8:13	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	20	35:33:00	18.9336
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	21	8:14	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	21	35:34:00	19.1688
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	22	8:15	0	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	22	35:35:00	19.3648
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	23	8:16	0.0392	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	23	35:36:00	19.5608
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	24	8:17	0.0784	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	24	35:37:00	19.7176
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	25	8:18	0.1568	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	25	35:38:00	19.796
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	26	8:19	0.2352	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	26	35:39:00	19.9528
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	27	8:20	0.3136	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	27	35:40:00	20.0312
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	28	8:21	0.4312	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	28	35:41:00	20.0704
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	29	8:22	0.4704	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	29	35:42:00	20.1096
<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	30	8:23	0.5488	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	30	35:43:00	20.1096

Figure 4.14 : Tableaux de la tension et du courant à la sortie du PV dans la base de données

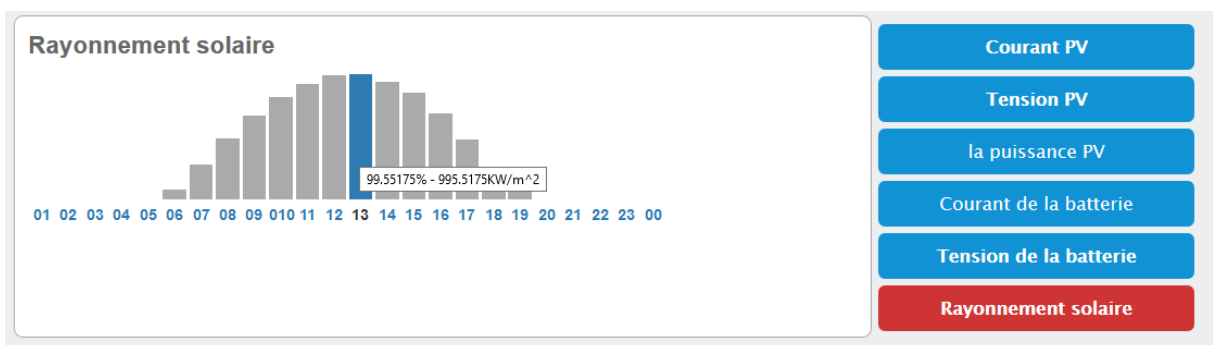


Figure 4.15 : Rendement de référence du rayonnement solaire.

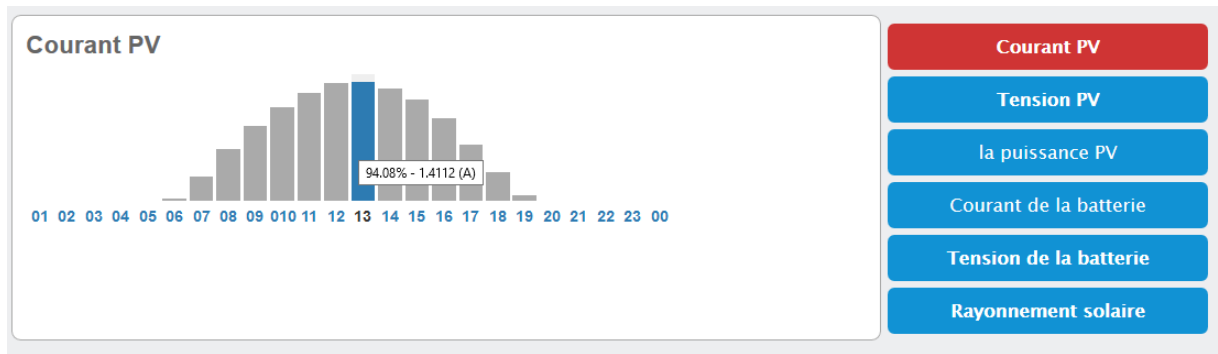


Figure 4.16 : Rendement de référence de courant PV.

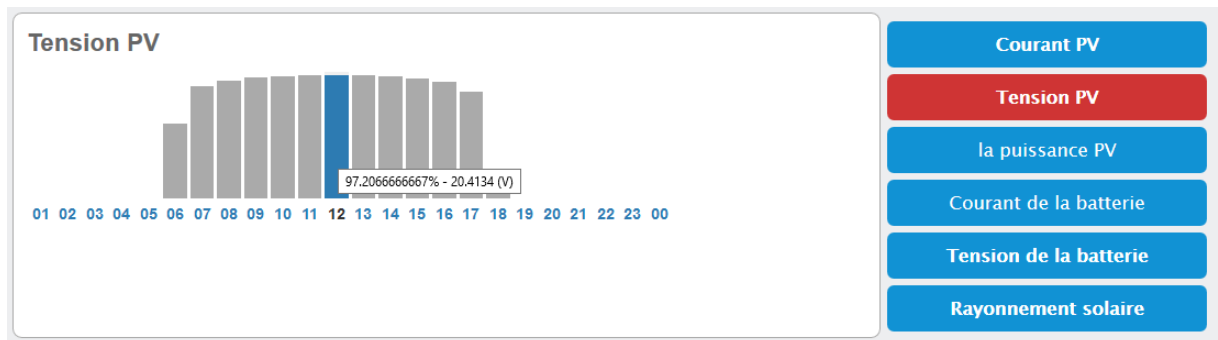


Figure 4.17 : Rendement de référence de tension PV.

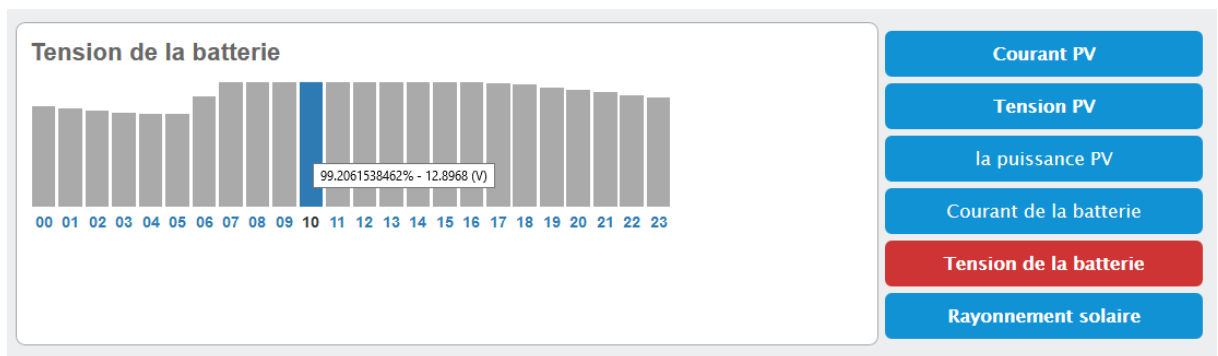


Figure 4.18 : Rendement de référence de tension de la batterie.

IV.3 Conclusion :

Ce travail présente une plate-forme intégrale LabVIEW de surveillance, de simulation tous les composants du système photovoltaïque autonome. La procédure de modélisation et d'extraction des composants PV a été validée avec succès expérimentation. La procédure de modélisation et d'extraction les composant PV a été validée avec succès expérimentalement.

La plate-forme développée permet l'acquisition et le monitoring de toutes les données nécessaires du système PV, la simulation en temps réel de l'ensemble du système PV

Les données ont été bien utilisées pour créer des fichiers de rapport HTML et Excel, ce qui aide à son tour à analyser les résultats.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Ce travail contribue à monitoring les erreurs qu'un un système photovoltaïque autonome peut subir lors de son fonctionnement.

Ces études sont effectuées sur paramètres extraits pour le module PV Isofoton 106-12 à 1000W/ m² et 25 °C.

En première partie, nous avons étudié généralités sur les systèmes photovoltaïques, puis on à présenter les modèles de littérature de composant nécessaire dans notre étude tel que (le champs PV, régulateur, batterie et le convertisseur).

Nous avons expliqué en détail le rôle important de système d'acquisition et choix la carte Arduino UNO.

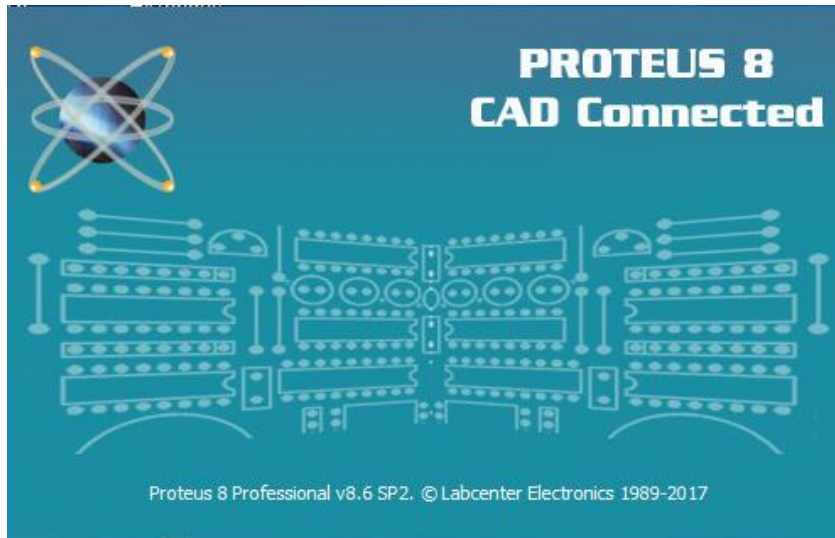
Dans la partie de résultats de simulations du système PV on a présente une plateforme intégrale LabVIEW de surveillance, de modélisation et de simulation tous les composants du système photovoltaïque autonome. La procédure de modélisation et d'extraction les composant PV a été validée avec succès expérimentalement. D'après les résultats obtenus, On remarque que les mesures acquises par les différents capteurs des paramètres météorologiques, ainsi que les grandeurs électriques sont vraiment les résultats souhaités.

L'utilisation de l'interface développée sous LabVIEW est extensible à l'analyse des performances et à l'intégration des algorithmes intelligents qui sert pour le diagnostic des pannes et la détection des anomalies d'un système PV. Nous avons également réussi à créer des fichiers de rapport HTML et Excel et visualiser toutes ces données et le comportement dynamique du système en temps réel, ce qui aide à son tour à analyser les résultats et pour effectuer des travaux de maintenance et de prévention en temps opportun afin de maintenir les systèmes photovoltaïques.

A.1 Les logiciels utilisés pour la modélisation et la simulation

(1) Proteus

Pour la simulation virtuelle de notre carte



A.2.1 : Proteus.

(2) LabVIEW

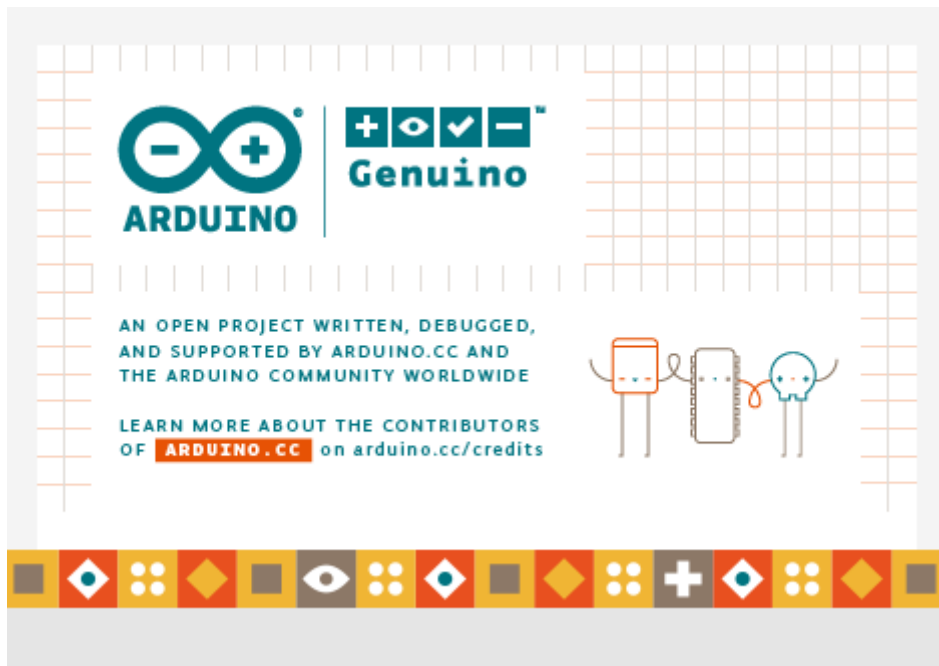
Pour la l'affichage en temps réel des grandeurs mesurées



A.2.2 : LabVIEW.

(3) Arduino

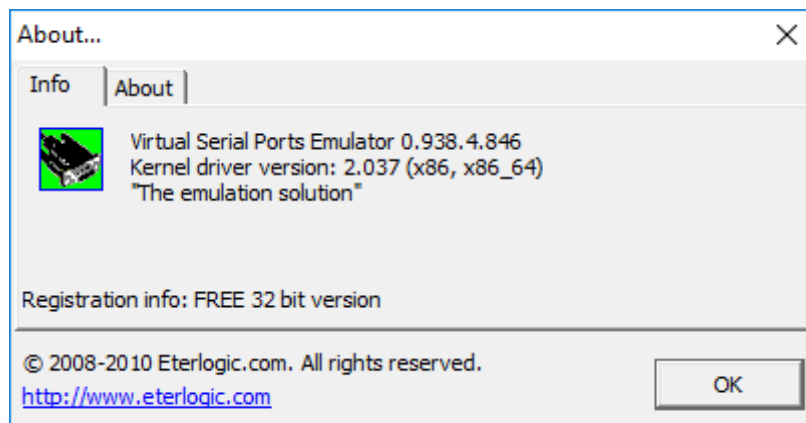
Pour programmer arduino



A.2.3 : Arduino.

(4) VSPE

Pour créer un COM Port virtuel



A.2.4 : VSPE.

Bibliographie

- [1] Corinne ALONSO. 'Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie'. UNIVERSITÉ PAUL SABATIER – TOULOUSE III, 12 Décembre 2003.
- [2] Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07.
- [3] Dang Minh Trung "élaboration de cellules solaire photovoltaïque à base de polymères conjugués, études des systèmes", thèse de Doctorat, université de Bordeaux 26/11/2009
- [4]: R.P. Mukund, « Wind and solar Power Systems »,Ph.D,P.e U.S merchant Marine Academy,Kings Point, New York, CRC Press LLC 1999.
- [5] : M. Dahbi « Etude et optimisation d'une installation Hybride PV-Eolienne Autonome », mémoire de magister, option physique énergétique 2007.
- [6] : Djarallah, Mohamed, "Contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couples au réseau électrique," université de Batna, Thèse de Doctorat en Science, 2008.
- [7] T. Senju and K. Uezato "Maximum Power Point Tracker Using Fuzzy Control for Photovoltaic Arrays" IEEE Int. Conf. On Tech. 1994 pp : 143-147.
- [8] M. G. Simoes, N.N.France schetti and M.Fried hofer "A Fuzzy logic based Photovoltaic Peak Power tracking Controller" IEEE Energy Convers. Mgmt 1998 pp : 300-305.
- [9] Betka Achour "Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque au fil du soleil" Thèse de Magister, université de Biskra.
- [10] W. Maranda, G. De Mey and A. Evost "Optimisation of the Master –Slave inverter System for Grid-Connected Photovoltaic Plants" Energy convers. Mgmt Vol. 39, No. 12, pp : 1239-1246, 1998.
- [11] H. S. Kim, N. Okada and K. Takigawa "A Study on Utility InteractivePV System in Harmony with Utility" IEEE Transactions on Conversion Energy 2000 pp : 1179-1184.
- [12] H. S. Kim, N. Okada and K. takigawa "Advanced grid-connected system with functions to suppress disturbance by PV output variation and customer load change" Solar Energy Materials and Solar cells 67 (2001) pp : 560-569.
- [13] M. Ohnishi and A. Takeoka "Advanced photovoltaic Technologies and Residential Applications" Renewable Energy, Vol. 6, No. 3 (1995) pp : 275-282.
- [14] : N. Achaibou,A Malek , N Bacha « Modèle de vieillissement des batteries plomb acide dans l'installation PV » ; N. spécial (CHEMSS), pp 61-66,2000.
- [15]: I. Tsuda, K . Kurokawa ,K.Nozaki, «Annual simulation results of photovoltaic system with redox flow battery », solar Energy Materials and solar cells 35,pp 503 – 508,1994.
- [16]: A. Zerga, F. Benyarou et B. Benyousef « Optimisation du rendement d'une cellule solaire NP au silicium monocristallin »Rev .Energ. Ren : physique Energétique (1998pp.95-100).

- [17]: D.Thévenard, and M.Ross « validation and Verification of Component Models and System Models for the PV », CETC-internal report 2003-035, Canada,2003
- [18]: Dirk Uwe Sauer, «Electrochemical Storage for Photovoltaics», Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, Freiburg, Germany, 2004
- [19]: Z.Bachi, S.Elfodil, « Conception et réalisation d'un système de régulation de charge semi statique a sortie fixe pour installation photovoltaïque », université de Blida
- [20]: The Bogdan, S.B., Salameh, Z.M., 1996. « Methodology for optimally sizing the combination of a battery bank and PV array in a wind/PV hybrid system ». IEEE Transactions on Energy Conversion 11 (2), 367–375.
- [21]: Bin, A., Hongxing, Y., Shen, H., Xianbo, L., 2003. «Computer aided design for PV/Wind hybrid system ». Renewable Energy 28, 1491–1512.
- [22] : M.Chikh, « Étude analytique conceptuelle des systèmes PV de puissance adopté aux site isolés de L'Algérie », thèse de magister, CDER, 1994.
- [23]: Chaurey, C and S Deambi. 1992, « Battery storage Power systems: an verview ».Renewable Energy 2 (3):227-235.
- [24]: H.X.Yong,LU,J.Burnett, « Weather data and probability analysis of hibrid PVwind power generation systems in Hong Kong ». Rnewable Energy 28 (2003) :1813-1824
- [25]: Chedid, R., Saliba, Y., 1996. «Optimization and control of autonomous renewable energy systems ». International Journal of Energy Research 20, 609–624.
- [26] : F.Benyarou, « Conception Assistée Par Ordinateur des Système PV Modélisation, dimensionnement et simulation », thèse de doctoral en physique énergétique, Tlemcen, 2004.
- [27]: P. Horowitz and W. hill, The art of electronics, Second Edition, Cambridge University Press, 1989.
- [28]: P. Jintakosonwit, H. Fujita and H. Akagi, “Control and performance of a fullydigital-controlled shunt active filter for installation on a power distribution system”, IEEE transactions on Power Electronics, Vol. 17, Jan 2002, pp. 132-140.
- [29] Le grand livre d'Arduino – 2eme édition _2013_

Résumé

Résumé :

Nous présentons dans ce travail un monitoring, une supervision d'un système photovoltaïque (PV) autonome basé sur des mesures en temps réel.

L'interface graphique du système est réalisée à l'aide de l'environnement de programmation LabVIEW. L'extraction des paramètres pour chaque composant du système a été effectuée afin de faire une comparaison en temps réel les données obtenues. Le système permet de déployer des données au format Execl ou HTML pour une analyse plus poussée et un partage Internet.

Mots clefs : système photovoltaïque, monitoring.

Abstract:

We present in this work a monitoring, a supervision of a photovoltaic system (PV) autonomous based on real time measurements.

The GUI interface of the system is performed using the LabVIEW programming environment. The extraction of the parameters for each component of the system has been carried out in order to make a real-time comparison of the data obtained. The system allows you to deploy Execl or HTML format data for further analysis and Internet sharing.

Keywords: photovoltaic system, monitoring.

ملخص:

تقدم في هذا العمل مراقبة، رصد نظام كهروضوئي ذاتي (PV) يعتمد على قياسات في الوقت الحقيقي.

يتم تنفيذ الواجهة الرسومية للنظام باستخدام بيئة برمجة LabVIEW. وقد تم استخراج المعلمات لكل عنصر من عناصر النظام من أجل إجراء مقارنة في الوقت الحقيقي للبيانات التي تم الحصول عليها. يتيح لك النظام نشر بيانات تنسيق Execl أو HTML لمزيد من التحليل والمشاركة في الإنترنت.

الكلمات الرئيسية: نظام كهروضوئي، رصد.