

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2017

Faculté: Sciences de l'Ingéniorat
Département: Electronique

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de : MASTER

Intitulé Conception et Réalisation d'une Installation Photovoltaïque Autonome

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Génie Electrique

Spécialité: Instrumentation et Contrôle industriel

Par : BELLILI WAHIBA

DEVANT Le JURY

Président : GUERSI NOUREDDINEPR.U.B.M.A.

Directeur de mémoire : BENOURETH MOHAMEDPR.U.B.M.A.

Examineur :KHERFANE HAMID M.C.A.U.B.M.A.

Examineur :SAADI MED.NACER M.C.B. U.B.M.A.

Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce modeste travail

À ma mère qui m'a encouragé beaucoup durant toutes mes études

À mes chères frères et sœurs

À tout ma famille

À tous mes proches

À tous ceux qui m'ont aidé de loin ou de près durant les moments difficiles

Pendant les études et pendant ce travail

Remerciements

Avant tout, je remercie ALLAH, le tout puissant, de m'avoir donné le courage et la volonté pour accomplir ce travail

En guise de reconnaissance, je tiens à témoigner mes sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin au bon de ce modeste travail.

*Mes remerciements les plus sincères à Monsieur « **Benouareth.Med** » mon directeur de mémoire, pour sa grande disponibilité et ses encouragements tout au long de la réalisation de ce projet et pour la qualité de son enseignement, ses conseils et ses motivations.*

Je tiens à remercier l'ensemble du personnel du département d'électronique pour leur patience, leurs conseils pleins de sens et leur bonne humeur à toute épreuve.

Introduction générale 1

***Chapitre 1 : GENERALITES SUR LES
SYST7MES PV.***

1.1. Introduction2

1.2. La cellule photovoltaïque4

1.2.1. Historique5

1.2.2. Principe de fonctionnement5

1.2.3. Description.....6

1.2.4-Modélisation d'une cellule photovoltaïque.....7

1.2.5 - Technologies des cellules photovoltaïques7

1.3- Le Système photovoltaïque8

1.3.1-Production d'énergie8

1.3.2-Contrôle d'énergie8

1.3.4-La partie utilisation8

1.4. Type de système photovoltaïque9

1.4.1. Système photovoltaïque autonome.....9

1.4.2. Installation photovoltaïque autonome10

1.4.3. Composants du système photovoltaïque autonome10

1.4.3.1. Modules et Panneau10

1.4.3.2. Les Batterie au plomb.....11

1.4.3.3. Régulateur11

1.4.3.4. Onduleur12

1.4.4. Critère de choix d'un onduleur13

1.5. Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques.....13

1.5.1 Avantages13

1.5.2 Inconvénients	14
Conclusion.....	14

Chapitre 2 : conception et réalisation

2.1. Introduction	15
2.2. Le convertisseur DC-AC	15
2.2.1. Caractéristiques propres d'un onduleur pour systèmes photovoltaïques.....	16
2.2.2-Principe de fonctionnement d'un onduleur	16
2.2.3.Évolution des onduleurs photovoltaïques	16
2.2.3.1. Les avantages d'un onduleur avec transformateur	19
2.2.3.2. Les avantages d'un onduleur sans transformateur	19
2.3 Classification des convertisseurs selon les ondes délivrés.....	19
2.3.1. Onduleur à onde sinusoïdale (pure sine wave inverter).....	19
2.3.2. Onduleur à onde carrée (Square wave inverter)	19
2.3.3. Onduleur à onde sinusoïdale modifiée (Modified sine wave).....	20
2.4-principe MLI	20
2.4.1 Utilisation des MOSFET en PWM	21
.5. Architecture et approche du projet à réaliser	22
2.5.1. Block de commande	22
2.5.1.1. Le microcontrôleur (pic 16F877A)	22
2.5.1.2. Structure interne et configuration du pic 16F877A	23
2.5.1.3. Structure interne	23
2.5.1.4. Principe de génération de la PWM	25
2.5.1.5. Simulation du bloc de commande sur Proteus (ISIS)	26

2.5.1.6. Programme et implantation	28
2.5.1.7. Etat machine du programme (flowchart)	29
2.5.2. Le block H-bridge (circuit de puissance)	29
2.5.2.1. Rôle des Optocoupleurs dans les H-Bridge	30
2.5.2.2. Principe de fonctionnement d'un H-bridge	30
2.5.2.3. Domaine d'utilisation des H-bridge.....	30
2.5.2.4. Simulation du circuit de puissance sous Proteus ISIS	31
2.5.2.5. Block diagramme qui résume la conception	31
2.6. Le contrôleur de charge solaire avec arduino	32
2.6.1 Description	32
2.6.2. Arduino	32
2.6.2.1. Description de la carte.....	33
2.6.2.1. Description de la carte	24
2.6.2.2. Vue ensemble	35
2.6.2.3. Synthèse des caractéristiques.....	35
2.6.2.4. Simulation de circuit sous ISIS Proteus	35
2.6.2.5. Langage de programmation	35
2.6.2.6. L’Afficheur LCD	36
2.6.3. Partie Software	37
2.6.3.1. Simulation d’afficheur LCD sous Proteus	38
2.6.4. Explication des différentes parties du contrôleur à réaliser	38
2.6.4.1. Explication du circuit:.....	39
2.6.4.2. Description du circuit	39
2.7. Construction et essais	40
2.7.1. Rôle du 7805 dans le circuit	
2.7.2. Principales caractéristiques	41
2.7.3. Le capteur de courant (ACS712)	43
Conclusion	44

Chapitre 3 : Résultat et discussion.

3.1. Introduction	45
3.2. Sortie de microcontrôleur	45
3.2.1. Ondes carrées de 50Hz	45
3.2.2. Signaux modulés en largeur d'impulsion	47
3.3. Résultat expérimental	47
3.4. Des Difficultés	49
3.4.1. Caractéristiques du convertisseur.....	49
3.4.2. Sortie d'onde sinusoïdale	49
Conclusion générale	50

Introduction générale

La production d'énergie est un défi de grande importance pour les années à venir, en effet les besoins énergétiques des pays industrialisés ne cessent d'augmenter, par ailleurs les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement.

une grande partie de la production mondiale d'énergie est assurée à partir des énergies fossiles, la consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc une augmentation de la pollution. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

Les énergies renouvelables telles que l'énergie éolienne, l'énergie solaire, l'énergie biomasse et l'énergie hydroélectrique sont des solutions prometteuses pour concurrencer les énergies de masse telle que l'énergie fossile et nucléaire.

Le rayonnement solaire est répartie sur toute la surface de la terre, sa densité n'est pas grande et ne cause aucun conflit entre les pays enterrément au pétrole. Les systèmes photovoltaïques semblent bien s'imposés comme moyen de conversion d'énergie solaire en énergie électrique. Un tel système se compose d'un champ de module et d'un ensemble de composants qui adaptent l'électricité produite par les modules aux spécifications des récepteurs

Au début, je cherchais un projet en rapport avec l'énergie renouvelable, car ce domaine m'intéresse beaucoup et je pense que les nouvelles énergies se développent de plus en plus. Donc, je me suis renseignée sur les projets disponibles, ce projet qui m'a attiré, c'était pour moi une opportunité d'apprendre et, donc de mieux comprendre ce domaine. De plus, réaliser un convertisseur DC-AC moi-même comme ceux vendus sur le marché qui est composé d'une carte de commande à base du pic16f877A et un H-Bridge et un contrôleur de charge à base d'arduino et d'un écran LCD.

Le projet comporte une étape simulation et programmation ensuite la réalisation pratique qui me faisait, au début, un peu peur mais je me suis dit c'est l'occasion de me perfectionner un peu plus sur ce sujet.

Ce projet à la fois une mixture entre le domaine électronique et programmation mais aussi de l'électrotechnique qui n'est pas ma spécialité, mais je trouve que c'est un bon challenge à

relever d'autant plus que je risque de retrouver ce domaine plus tard dans l'énergie renouvelable.

Le mémoire est constitué de trois chapitres et d'une introduction générale qui donne une perspective générale du sujet envisagé :

Le premier chapitre est consacré à des généralités sur les systèmes photovoltaïques : principe de la conversion photovoltaïque, modélisation du module photovoltaïque qui permet la détermination de la caractéristique et l'influence des différents paramètres : éclairage, température, résistance série, les différentes technologies des modules photovoltaïques et aussi les avantages et les inconvénients d'énergie solaire.

le deuxième chapitre, est constitué de trois parties : conception de partie de commande qui fonctionne à base d'un PIC 16F877A afin de générer le signal de commande « PWM » nécessaire au pilotage de l'élément de puissance, puis la partie puissance qui contient le H-Bridge et finalement la partie de contrôle de charge à base d'arduino. et aussi la simulation de chaque partie sous la plateforme ISIS Proteus.

Le troisième chapitre, est consacré aux résultats de simulation et de la réalisation des prototypes..

Dans la conclusion générale, nous présentons un résumé de l'objectif du projet, les difficultés rencontrées lors du dimensionnement et la réalisation du dispositif expérimental.

Objectif

Le système à réaliser est constitué d'un convertisseur DC-AC commandé par un signal *PWM* généré par le microcontrôleur « PIC16F877A » et une partie de puissance ' H-Bridge ' à base des Mosfet.

Réalisation d'un contrôleur de charge solaire qui permet le contrôle continu de l'état de charge d'une batterie afin d'augmenter sa vie. Cela est équivalent à une exploitation à moindre coût de l'énergie solaire en garantissant une plus grande fiabilité des panneaux et des batteries.

La réalisation expérimentale a été effectuée au niveau du département d'électronique d'université Badji Mokhtar Annaba.

1. Généralités sur les systèmes photovoltaïques

Introduction :

1.1- L'énergie solaire photovoltaïque :

Depuis des siècles, l'humanité a vécu selon le rythme du soleil et de la nuit. Avec l'évolution de la technologie, l'homme a amélioré son mode de vie en transformant des structures principalement naturelles, gratuites et surtout inépuisables pour la production de l'énergie électrique notamment l'eau, le vent, le soleil,... etc.

Le soleil fournit de l'énergie à la Terre tous les jours, donc L'homme peut utiliser cette énergie gratuite grâce à une technologie appelée photovoltaïque, qui transforme l'énergie solaire en électricité. Les modules ou panneaux photovoltaïques sont composés de semi-conducteurs qui permettent de transformer directement la lumière du soleil en électricité. Ces modules peuvent s'avérer une source d'énergie qui est sûre, fiable, sans entretien et non polluante pendant très longtemps. La majorité des modules sur le marché aujourd'hui sont pourvus de garanties de plus de 20 ans, et ils fonctionneront bien au-delà de cette période. Des millions de systèmes ont été installés dans le monde entier, de puissances différentes allant d'une fraction d'un watt à plusieurs mégawatts. Pour de nombreuses applications, les systèmes solaires électriques sont non seulement rentables, mais ils peuvent aussi représenter l'option la moins coûteuse.

Une installation photovoltaïque se compose des éléments suivants :

- Les capteurs (appelés modules ou panneaux) reliés entre eux en série et/ou en parallèle
- L'onduleur convertissant le courant continu généré par les modules en courant alternatif (12 DC-220 AC).
- Les protections (parafoudres & sectionneurs)
- Le compteur de production.

1.2-la cellule photovoltaïque :

1.2.1-Historique :

Découvert en 1839 par Antoine Becquerel, l'effet photovoltaïque permet la transformation de l'énergie lumineuse en électricité. Ce principe repose sur la technologie des semi-conducteurs. Il consiste à utiliser les photons pour libérer les électrons et créer une différence de potentiel entre les bornes de la cellule qui génère un courant électrique continu.

A la différence des autres énergies renouvelables, l'énergie solaire est disponible partout sur la terre. L'Europe reçoit en moyenne chaque jour 3kWh par mètre carré même si les déserts les plus ensoleillés recueillent 7kWh. Il n'y a donc pas de problème de gisement pour cette source.

Les premières applications ont lieu dès les années 60 avec l'équipement de satellites spatiaux. Puis à partir de 1970, les premières utilisations terrestres ont concerné l'électrification des sites isolés.

La conversion photovoltaïque de l'énergie solaire est apte à répondre à une demande croissante d'énergie renouvelable. Elle est considérée comme devant prendre une part significative dans l'approvisionnement énergétique mondial. Celle-ci sera d'autant plus grande et d'autant plus rapide que des méthodes permettant de produire de l'électricité solaire à moindre coût seront utilisées.

- La puissance des installations est exprimée en Watt crête (W_c). Le W_c est la puissance fournie par un module photovoltaïque pour un ensoleillement normalisé de 1000W par m^2 , à une température de 25°C. Le rendement électrique est le rapport puissance lumineuse incidente sur puissance électrique fournie. Les modules existants permettent des rendements électriques compris entre 5 et 15%.
- Actuellement le matériau semi-conducteur le plus utilisé est le silicium, sous forme de plaquettes, offrant le meilleur rendement de conversion de l'énergie solaire en électricité. Cependant, sa purification et son traitement conduisent à des coûts très élevés qui constituent un frein important au développement du photovoltaïque.

1.2.2- principe de fonctionnement :

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique, quand il est exposé à la lumière (photons) il génère une tension électrique (volt) d'où vient l'effet photovoltaïque.

La structure la plus simple d'une cellule photovoltaïque comporte une jonction entre deux zones dopées différemment d'un même matériau (homo jonction P-N) ou entre deux matériaux différents (hétéro structures), la moins épaisse étant soumise au flux lumineux.

Chacune des régions est reliée à une électrode métallique au moyen d'un contact chimique de faible résistance. Le principe de fonctionnement peut être décomposé en deux parties : l'absorption des 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 qui sont les électrons libres et les trous.

La production d'électricité est proportionnelle à la surface des modules photovoltaïque exposés au soleil et à l'intensité lumineuse. Dépendante des conditions météorologiques, la production est donc aléatoire. L'énergie peut être utilisée en directe ou stockée dans des batteries pour une utilisation ultérieure.

1.2.3-Description :

Les cellules photovoltaïques sont constituées de semi-conducteurs à base de silicium(Si), de sulfure de cadmium(CdS) ou de tellure de cadmium (CdTe).Elles se présentent sous la forme de deux fines plaques en contact étroit. Un autre nom est « photo-galvanique ».

Ce semi-conducteur est pris en sandwich entre deux électrodes métalliques et le tout est protégé par une vitre.

Le silicium est le plus utilisé pour réaliser les cellules solaires photovoltaïque pour ses propriétés électroniques. Le schéma ci-dessous montre l'illustration d'une cellule photovoltaïque.

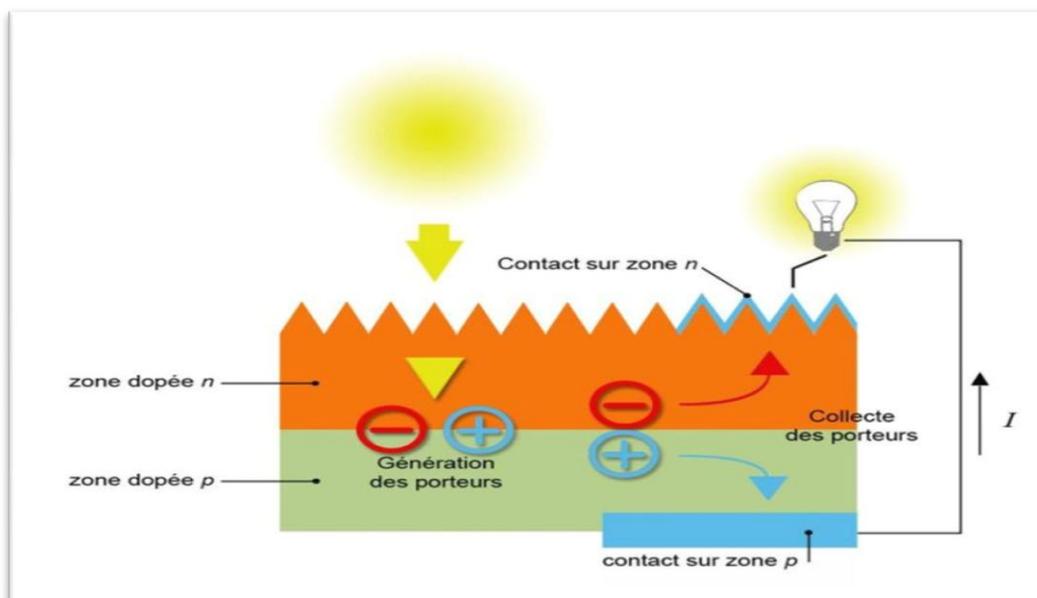


Figure1.1 : vue en coupe d'une cellule photovoltaïque

1.2.4-Modélisation d'une cellule photovoltaïque :

Pour développer un circuit équivalent précis pour une cellule PV, il est nécessaire de comprendre la configuration physique des éléments de la cellule aussi bien que les caractéristiques électriques de chaque élément. Selon cette philosophie plusieurs modèles électriques ont été proposés pour représenter la cellule photovoltaïque.

1.2.5 - Technologies des cellules photovoltaïques :

Type de cellule	Rendement	Avantage	Inconvénient	Image
Silicium monocristalline	13-17%	Bon rendement pour une cellule	Cout de fabrication élevé, perte de matière en cours de fabrication	
Silicium poly-cristallin	11-15%	Bon rendement pour un module	Cout de fabrication élevé, perte de matière en cours de fabrication	
Silicium amorphe	5-9%	Facile à fabriquer	Mauvais rendement	
CdTe	7-11%	Absorbe 90% des photons incidents	Cadmium très polluant	
CIGS	20%	Energie de gap ajustable, 99% des photons absorbés	Manque de matière première	
Cellules organiques	≤ 5%	Faible cout de fabrication, flexible	Rendement encore trop bas	

Tableau 1.2 Performance des différentes technologies des cellules photovoltaïques

1.3- LE Système photovoltaïque :

Tout système photovoltaïque peut se composer, comme il est montré sur la figure (2) en trois parties:

- Une partie de production d'énergie;
- Une partie de contrôle de cette énergie;
- Une partie d'utilisation de l'énergie produite.

On peut ajouter encore des moyens d'entretiens du système photovoltaïque comme outils de nettoyages des modules.

1.3.1- Production d'énergie :

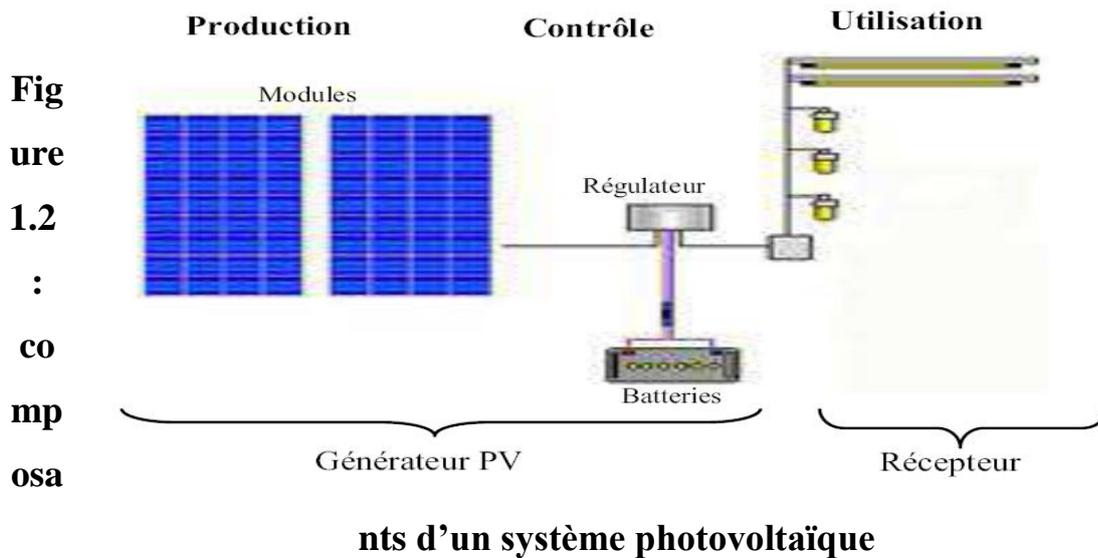
La partie production d'énergie est composée essentiellement d'un ou plusieurs modules, qui réalisent la conversion d'énergie solaire en électricité. Un panneau photovoltaïque se compose de petites cellules qui produisent une très faible puissance électrique (1 à 3W) avec une tension continue de moins de 1V. Ces cellules sont disposées en série pour former un module ou panneau permettant de produire une puissance plus élevée. Les panneaux sont finalement interconnectés entre eux (en série et/ou en parallèle) pour obtenir un champ photovoltaïque. Dans notre étude on se base sur l'élément de base du système photovoltaïque qui est la cellule solaire.

1.3.2- Contrôle d'énergie :

La partie contrôle d'énergie est composée d'un système de stockage avec ou sans régulation, plus les câbles de connexions.

1.3.4- La partie utilisation :

La partie utilisation se compose de plusieurs récepteurs (utilisateurs), (exemple: éclairage, pompage, ...etc.).



1.4. Type de système photovoltaïque :

Nous distinguons deux types de systèmes photovoltaïques à savoir :

- " Autonome, pour un site isolé ;
- " Connecté au réseau de distribution électrique.

1.4.1. Système photovoltaïque autonome :

C'est un système dont l'énergie produite est utilisée dans un site isolé et ayant un système de stockage d'énergie. L'énergie produite par les modules est en courant continu et comme on touche à l'habitat où la plus part d'appareils fonctionnent en courant alternatif, il y a nécessité de la convertir.

La batterie servant de stockage, se charge le jour. L'alimentation des applications par la batterie se fait par l'intermédiaire d'un régulateur de charge pour éviter qu'elle souffre de surcharge et d'un onduleur (convertisseur du courant continu à celui alternatif).

- Augmentation du coût et l'encombrement de l'installation
- Réduction du rendement énergétique;
- Augmentation du coût et l'encombrement de l'installation ;
- Réduction du rendement énergétique;
- Risque de panne complète en cas de problème sur l'onduleur.
-

1.4.2. Installation photovoltaïque autonome :

Les installations photovoltaïques autonomes ont pour rôle d'alimenter des récepteurs électriques de façon fiable. Compte-tenu du caractère fluctuant du rayonnement solaire, il est nécessaire de mettre en place une batterie assurant la continuité de l'alimentation électrique (notamment la nuit). Ainsi, une installation photovoltaïque autonome est composée des éléments suivants :

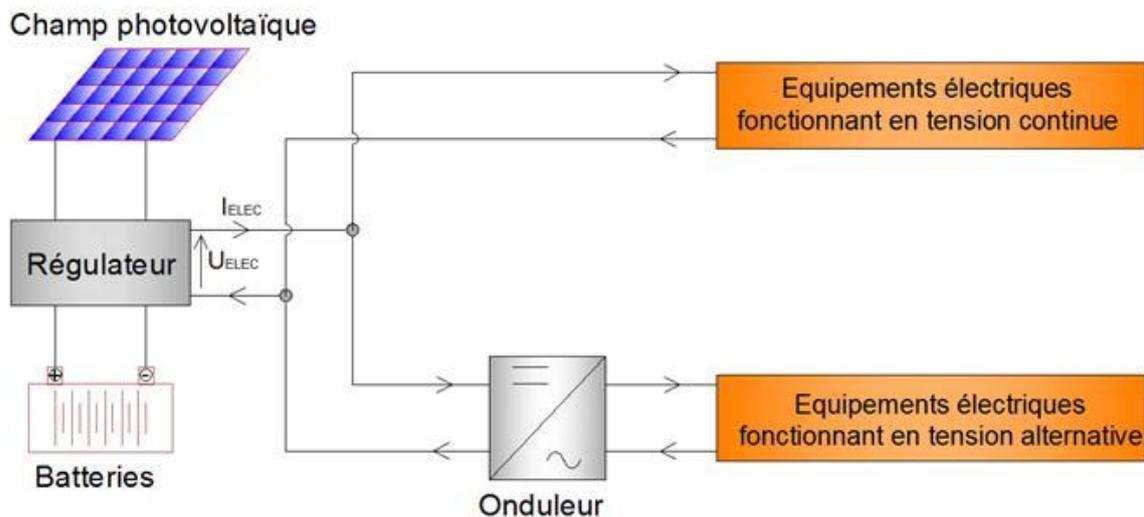


Figure1.3 : installation photovoltaïque autonome

1.4.3. Composants du système photovoltaïque autonome :

1.4.3.1. Modules et Panneau :

Les modules sont obtenus en assemblant les cellules pour générer une puissance exploitable lors de l'exposition à la lumière puisqu'une cellule élémentaire ne génère qu'une tension allant de 0.5 à 1.5 Volt. Il faut donc plusieurs cellules pour générer une tension utilisable. Montage des cellules. Pour obtenir une tension utilisable, il est indispensable de faire la mise en série des cellules (photopiles).

Lorsque les cellules sont en série, les tensions de toutes les cellules s'ajoutent alors que le courant lui, reste le même que celui d'une seule cellule. Il faut donc des cellules de même courant pour les mettre en série.

On réalise donc des modules de diverse puissance selon la surface mise en œuvre, capable de générer du courant continu en basse tension lorsqu'ils sont exposés à la lumière. En conclusion le montage des cellules en série constitue le module.

Le stockage d'énergie dans les systèmes photovoltaïques autonomes est assuré par des batteries. Les batteries les plus utilisées pour des générateurs autonomes sont en générale de type au plomb-acide (Pb). Celles de type au nickel-Cadmium (NiCd) sont parfois préférées pour les petites applications.

1.4.3.2. Les Batterie au plomb :

Ce composant a une électrode de plomb et celle d'oxyde de plomb, toutes plongées dans un électrolyse composé d'acide sulfurique dilué en reliant les deux électrodes à un récepteur externe consommant du courant . Une électrode se transforme en sulfate de plomb et l'acide se dilue, phénomène qui permet d'évaluer l'état de charge de la batterie en mesurant la densité d'acide. En fournissant un courant opposé au système, l'acide se concentre et les deux électrodes retrouvent leurs états initiaux, la tension nominale est la somme des équilibres aux deux électrodes soit 2.08 volts.

Cependant cette batterie a une durée de vie variant entre 10 à 15 ans si elle est entretenue régulièrement.



Figure 1.4 :Batterie au plomb

Montage : Le montage en série de plusieurs batteries est fréquent pour augmenter la tension, mais le couplage de des batteries en parallèle augmente la capacité de stockage, ce qui est délicat.

1.4.3.3. Régulateur :

La batterie est l'élément le plus délicat du système et la qualité de son contrôle et son entretien influent grandement sa durée de vie d'où le rôle du régulateur.

Le régulateur est l'élément central d'un système photovoltaïque autonome car contrôlant les flux d'énergie et protège la batterie contre les surcharges et décharges profondes dues à l'utilisation.

Dans les systèmes plus élaborés, il commande la recharge de la batterie d'autres sources d'énergie et accessoirement il affichera les indications concernant l'état de la charge des batteries et les paramètres de fonctionnement du système.

Pour les systèmes photovoltaïques, on distingue :

- **Les régulateurs Série** : qui incorporent un interrupteur entre le générateur et l'accumulateur pour arrêter la charge
- **Les régulateurs Shunt** : dont l'interrupteur court-circuite le générateur solaire en fin de décharge ; Les régulateurs à recherche de point de puissance maximale qui utilise un circuit électronique spécial permettant de soutirer en permanence du champ des capteurs.



Figure 1.5 : Régulateur PV

1.4.3.4. Onduleur :

Les onduleurs sont des appareils servant à convertir la tension continue fournie par les panneaux ou batteries pour l'adapter à des récepteurs fonctionnant avec une tension alternative.

Il existe des onduleurs dits à :

- **Onde sinusoïdale**
- **Onde carrée**

➤ **Onde pseudo-sinusoidale**



Figure1.6 : Onduleur PV

1.4.4. Critère de choix d'un onduleur :

Avant de faire le choix d'un onduleur, Il faut **s'assurer** queL'onduleur peut démarrer le récepteur (seul un essai est vraiment relevant), Son rendement est suffisant au point de fonctionnement de la charge ;

- La charge tolère la distorsion de l'onduleur (forme de l'onde)
- Les variations de la tension de sortie sont acceptées par la charge (récepteur)
- L'onduleur protège contre la surcharge
- L'onduleur coupe l'utilisateur en cas de basse tension (protection de la batterie).

1.5. Avantages et inconvénients des systèmes photovoltaïques :

1.5.1 Avantages :

- Le soleil est une source d'énergie propre et renouvelable, qui ne produit ni le gaz ni le déchet toxique par son utilisation.
- Le processus photovoltaïque est complètement à semi-conducteurs et d'un seul bloc. Il n'y a aucune pièce mobile et aucun matériau n'est consommé ou émis.

- Les systèmes photovoltaïques ont les avantages suivants par rapport aux options de concurrence de puissance:
- ils ne font pas de pollution, sans émissions ou odeurs discernables. Modélisation et commande d'un système de pompage photovoltaïque
- ils peuvent être des systèmes autonomes qui actionnent sûrement sans surveillance pendant de longues périodes.
- ils ne consomment aucun carburant, leur carburant est abondant et libre.
- ils peuvent être combinés avec d'autres sources d'énergie pour augmenter la fiabilité de système.
- ils n'exigent aucun raccordement à une source d'énergie ou à un approvisionnement en carburant existant.

1.5.2 Inconvénients :

- prix: les cellules solaires sont encore lointaines pour produire une fraction significative de l'énergie du monde requise en raison de la charge de placement initiale.
- rayonnement du soleil: l'intensité d'irradiante du rayonnement du soleil en un jour, toujours, change et flotte.
- le rendement réel d'un module photovoltaïque est de l'ordre de 10 à 15 %,
- ils sont tributaires des conditions météorologiques.
- l'énergie issue du générateur photovoltaïque est continue et de faible voltage (< à 30V) donc il doit être transformé par l'intermédiaire d'un onduleur.
- beaucoup des appareils vendus sur le marché fonctionnent avec du 230 V alternatif.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu général sur les systèmes photovoltaïques. Nous avons vu aussi les types des systèmes photovoltaïques autonomes connectés au réseau de distribution électrique. Ainsi les composants d'une installation autonome et enfin les avantages et les inconvénients des installations PV.

2. conception et réalisation

2.1. Introduction :

Le but de ce projet est de concevoir et implémenter un onduleur monophasé capable de convertir la tension continue en courant alternatif à haute efficacité et à faible coût. La production d'électricité solaire est favorisée de nos jours, car le monde se concentre de plus en plus sur les préoccupations environnementales. Les onduleurs, qui convertissent l'énergie solaire DC en AC à usage domestique. Parce que l'énergie solaire est fournie en tant que source DC, elle nécessite un onduleur avant qu'elle puisse être utilisée comme puissance générale et avant sa réalisation, nous avons entamé une étude suivie par la réalisation de la maquette. Ainsi on va réaliser un contrôleur de charge solaire à base d'arduino C'est de cette façon, le système charge et protège la batterie pour augmenter sa durée de vie.

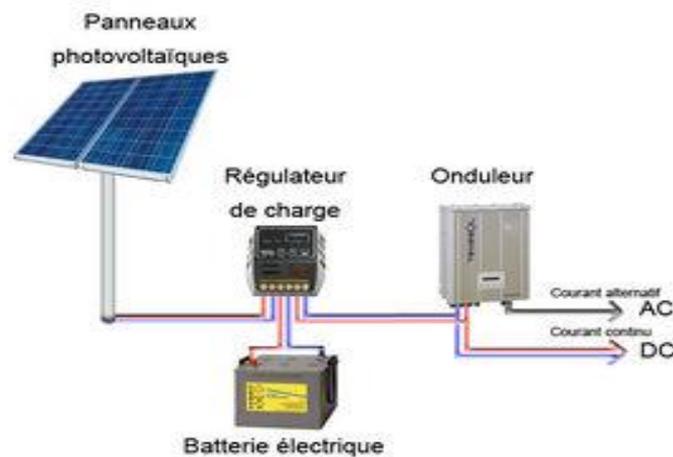


Figure2.1 : représentation simplifiée d'une installationPV

2.2. Le convertisseur DC-AC :

Le convertisseur est l'élément le plus vulnérable dans les systèmes photovoltaïques. Cependant, dans les zones isolées, c'est un dispositif qui convertit l'énergie électrique de la forme DC à la forme AC en utilisant des circuits électroniques. Son application typique est de convertir la tension de la batterie en conventionnelle tension AC pour utiliser des appareils électroniques lorsqu'une alimentation secteur n'est pas disponible. Les onduleurs sont devenus de plus en plus fréquents au cours des dernières années, car le soutien de l'énergie solaire autonome a augmenté.

2.2.1. Caractéristiques propres d'un onduleur pour systèmes photovoltaïques

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques diffèrent quelque peu des onduleurs classiques en électrotechnique, mais l'objectif de conversion DC/AC est le même. La principale caractéristique de l'onduleur PV réside dans la recherche du point de fonctionnement maximal ou MPPT en anglais (« Maximum Power Point Tracking ») car le générateur PV a une caractéristique courant/tension non-linéaire.

2.2.2-Principe de fonctionnement d'un onduleur :

Sur le plan électrique, un système photovoltaïque est caractérisé par une tension de circuit ouvert à peu près constante sur un intervalle de température, qui décroît avec l'augmentation de la température, et un courant de court-circuit proportionnel à l'éclairement.

L'onduleur de tension délivre une tension en créneaux modulée en largeur d'impulsions MLI ou Modulation par Longueur d'Impulsion (PWM Pulse Width Modulation en anglais). Ces créneaux sont incompatibles avec les tensions sinusoïdales du réseau de distribution. On place alors entre chaque sortie de l'onduleur et chaque phase du réseau (onduleur monophasé ou triphasé) une inductance, qui joue le rôle de filtre et qui permet à l'onduleur de fournir au réseau des courants quasi sinusoïdaux : l'onduleur de tension devient alors un onduleur de courant.

La plupart des onduleurs sont des structures en pont constituées le plus souvent d'interrupteurs électroniques comme des IGBT (InsulatedGateBipolar Transistor) et d'un régulateur. Grâce à un jeu de commutation approprié, réalisé souvent par MLI, l'énergie électrique continue est modulée afin d'obtenir un signal alternatif à la fréquence du réseau.

Le circuit électrique le plus utilisé est composé d'un pont de transistors commandé par MLI. Le signal alternatif obtenu est ensuite filtré par une inductance située avant un transformateur afin d'obtenir un signal sinusoïdal à la fréquence du réseau. Le transformateur ajuste la tension du signal à celle du réseau et réalise une isolation galvanique du circuit PV avec celui du réseau de distribution, c'est-à-dire que le courant ne circule pas directement entre les 2 circuits électriques pour éviter les problèmes d'incompatibilités électromagnétiques.

2.2.3.Évolution des onduleurs photovoltaïques :

La production d'électricité photovoltaïque PV est une technique de conversion du rayonnement solaire ou l'énergie des photons en électricité courant continu en utilisant un matériau semi-conducteur qui présente l'effet photovoltaïque. L'Agence internationale de l'énergie a classé les applications photovoltaïques en quatre catégories, à savoir :

- a) L'application domestique hors réseau.
- b) L'application non domestique hors réseau.
- c) L'application connectée au réseau de distribution sans charge.
- d) L'application connectée au réseau de distribution avec une charge.

La connexion au réseau des systèmes centralisés a reporté la philosophie du système d'alimentation classique centralisée ou généralement installé pour renforcer le système de distribution publique, tandis que le système connecté au réseau de distribution est relativement une application récente où un système PV est installé pour alimenter un bâtiment ou autre charge qui est également reliée au réseau électrique.

Avec le concept futur du bâtiment intelligent, les unités photovoltaïques deviendront un composant standard intégré dans les systèmes électriques des bâtiments résidentiels et commerciaux. Comme le système PV a une structure très modulaire, donc de nombreuses configurations possibles sont disponibles dans lequel l'onduleur PV peut être connecté.

Les onduleurs ont beaucoup évolué depuis les années 1980 grâce à des innovations des fabricants et des améliorations technologiques.

Voici quelques dates donnant un aperçu sur l'historique des onduleurs PV :

- a) **Dans les années 1980** : Les onduleurs étaient encombrants, lourds, difficiles à installer, fiables, et leur rendement était de l'ordre de 85-90%. Ils étaient strictement les dispositifs de conversion continu-alternatif.
- b) **Les années 1990** : ont vu la production première série à grande échelle de onduleurs photovoltaïques (PV SMA-WR).
- c) **En 1995** : apparition du premier onduleur PV mono corde (String Inverter : SMA SB 700). Il permet la connexion de plusieurs modules en série. Ces onduleurs ont un rendement supérieur et ils sont fiables.

d) Fin des années 1990 :

- Système avec acquisition de base de données, installation "plug-and-play".
- Conception d'onduleurs avec transformateur à haute fréquence (HF) et ceux sans transformateurs conçoit dont les rendements peuvent atteindre 95%.

e) Actuellement : Le marché des onduleurs marque le pas en 2011. Selon Digitimes Research, le marché mondial des onduleurs marquerait le pas en augmentant de quelques 20% en 2011, à 24,5 GWc en termes de livraisons, après une hausse de 132% à 19,8 GWc l'an 2010. La Figure (2.2) montre l'évolution des différents types d'onduleurs depuis 2008 jusqu'à 2012.

Onduleur central (centralized inverter)
<ul style="list-style-type: none"> - Application dans les systèmes photovoltaïques triphasés. - Puissance ≥ 10 kW. - Raccordement des modules à un bus de courant continu. - Pertes de forte puissance. - Tension suffisamment élevée pour éviter l'utilisation de transformateurs ou convertisseurs DC/DC. - Pour les applications de forte puissance (quelques MW) plusieurs onduleurs sont mis en dérivation. - Facteur de puissance entre 0.6 et 0.7 [10]
Onduleur mono-chaîne (String inverter)
<ul style="list-style-type: none"> - Petites applications domestiques. - Puissance allant de 0,5 kW à 1 kW. - version réduite de l'onduleur central avec une chaîne reliée à un onduleur, ce qui facilite le MPPT. - Configuration très flexible. - Chaque groupe a une orientation différente de l'espace. - Travail en parallèle de plusieurs onduleurs augmente la fiabilité du système.
Onduleur multi-chaîne (Multi string inverter)
<ul style="list-style-type: none"> - La poursuite du développement de l'onduleur mono-chaîne - Chaque chaîne de modules PV est interfacée par son propre convertisseur DC/DC et ensuite connectée à un onduleur. - D'autres élargissements de l'installation photovoltaïque sont faciles à faire. - Pertes de puissance réduite. - Le manque de redondance et d'évolutivité pour connexion au réseau.
Onduleur modulaire (Module inverter)
<ul style="list-style-type: none"> - Topologie simple. - Applications résidentielles à petite échelle. - Modules avec convertisseur DC / DC et onduleurs individuels. - Chaque unité de module a des fonctions indépendantes. - Haut rendement. - Conception flexible.

Figure2.2 : Évolution des tendances d'expédition des différents types

2.2.3.1. Les avantages d'un onduleur avec transformateur :

- Isolation galvanique
- Universalité des produits (membrane, couche mince...). Certains types de modules doivent impérativement être associés à des onduleurs disposant d'une isolation galvanique

- Evite les problèmes de courant de fuite qui peuvent, avec les onduleurs sans transformateurs (cas très rare), traverser l'onduleur et faire sauter les disjoncteurs différentiels.

2.2.3.2. Les avantages d'un onduleur sans transformateur :

La suppression du transformateur implique :

- Des produits plus légers, donc plus facile à installer et manipuler.
- De meilleurs rendements (moins de pertes liées au transformateur).

2.3 Classification des convertisseurs selon les ondes délivrés:

Il y a plusieurs type d'onduleur qui peut installer avec un réseau, sont caractérisés par leur technologie et par la forme d'onde qu'ils génèrent :

- a- convertisseur à onde sinusoïdale
- b- convertisseur à onde carrée
- c- convertisseur à onde sinusoïdale modifiée

On va choisir dans ce travail l'onduleur à onde sinusoïdale commandé par MLI.

2.3.1. Onduleur à onde sinusoïdale (pure sine wave inverter) :

L'onduleur sinusoïdal pur simule précisément le courant alternatif fourni par une prise murale. Il introduit la moindre quantité d'harmoniques dans un appareil électrique mais c'est aussi le plus Méthode coûteuse en raison des composants supplémentaires et de la conception nécessaires pour produire sortie. Son principal avantage est qu'il peut alimenter tous les appareils.

2.3.2. Onduleur à onde carrée (Square wave inverter) :

L'onduleur à onde carrée produit une onde carrée en commutant la source DC à une grandeur égale dans une direction opposée à travers une charge à des fréquences réglées. Ils sont rarement utilisés car de nombreux appareils utilisent des circuits de chronométrage rarement sur la forme d'onde d'alimentation d'entrée pour une minuterie d'horloge

2.3.3. Onduleur à onde sinusoïdale modifiée (Modified sine wave) :

Émule une sinusoïde. Il introduit un temps mort dans une sortie d'onde carrée normale. L'onde est produite en commutant la source DC entre trois valeurs aux fréquences définies, il produit moins d'harmoniques que les ondes carrées. Il fournit une solution peu coûteuse et simple d'alimentation des périphériques qui nécessitent une alimentation secteur. Ses principaux inconvénients sont que non Tous les périphériques qui ne résistent pas à la distorsion du signal, comme les équipements médicaux et les ordinateurs fonctionnent correctement, Il convient de noter que les onduleurs à onde sinusoïdale modifiée ne sont pas évalués pour la distorsion harmonique totale (THD).

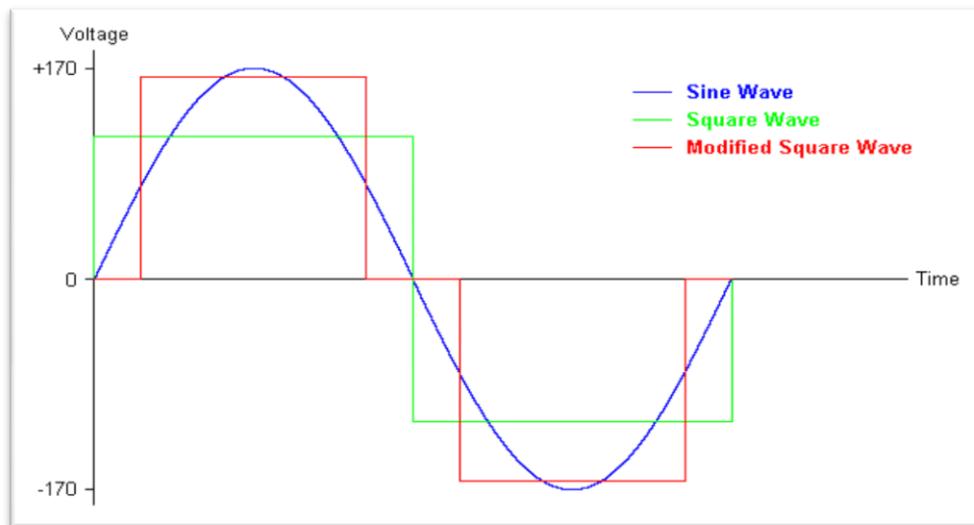
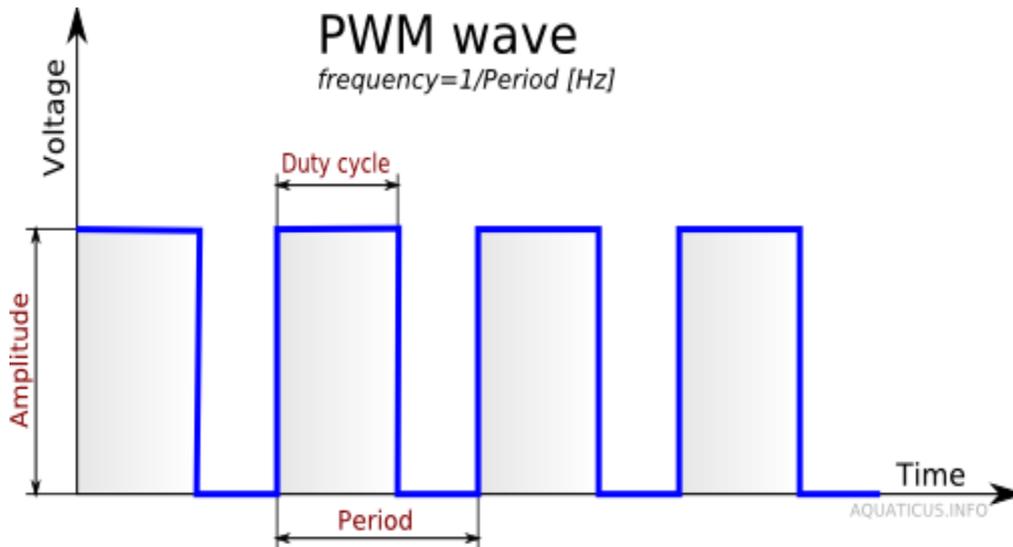


Figure 2.3 :types des convertisseurs

2.4-principe MLI :

La modulation de largeur d'impulsion, ou PWM, est devenue une méthode acceptée pour générer des signaux uniques, grâce à l'avancement des microcontrôleurs et à son efficacité énergétique. Pour créer un Signal sinusoïdal, PWM utilise des ondes carrées à haute fréquence avec des périodes d'impulsions variés. La période d'impulsion ou duty cycle est le pourcentage de temps pendant lequel le signal est en fonction de la période. Cela signifie que si le duty cycle augmente on a plus de puissance est transmise.



2.4.1 Utilisation des MOSFET en PWM :

- Le PWM nécessite des signaux d'activation et de désactivation rapides, qui peuvent être obtenus à l'aide de MOSFET haute puissance.
- Les MOSFET sont des commutateurs idéaux en raison de la faible perte de courant lorsque l'appareil est activé. Il convient toutefois de noter que lorsqu'un MOSFET est en transition entre on et off, la perte de puissance peut être significative. Pour cette raison, les temps de transition et la fréquence devraient être conçus pour être aussi courts que possible. Cela peut être réalisé en minimisant l'amplitude Entre les étapes d'ouverture et de départ et l'abaissement de la fréquence PWM; Cependant, comme la fréquence diminue, la

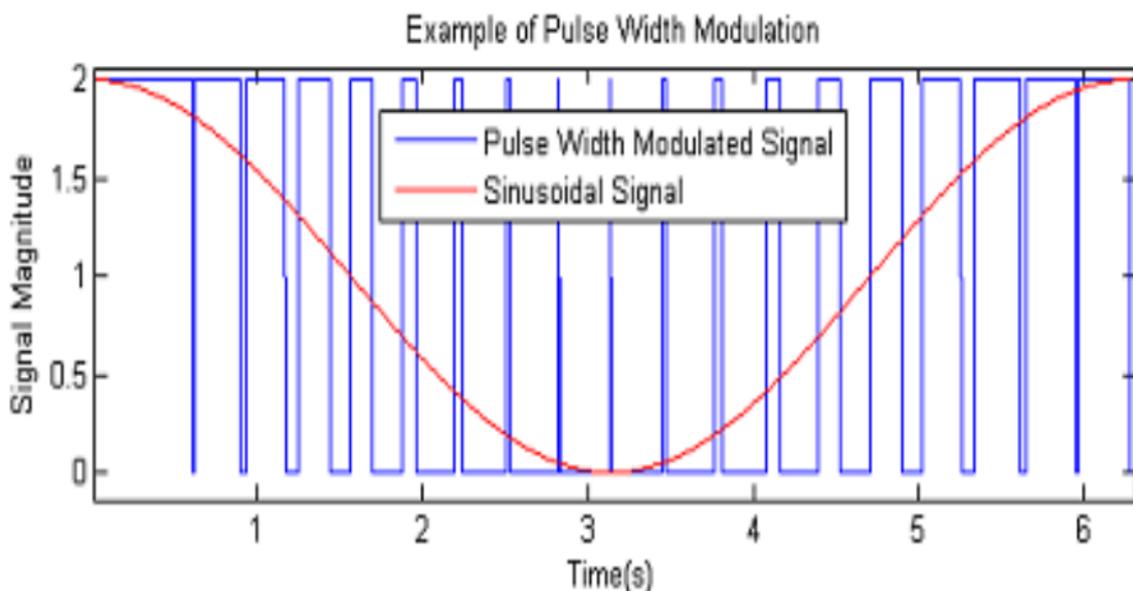
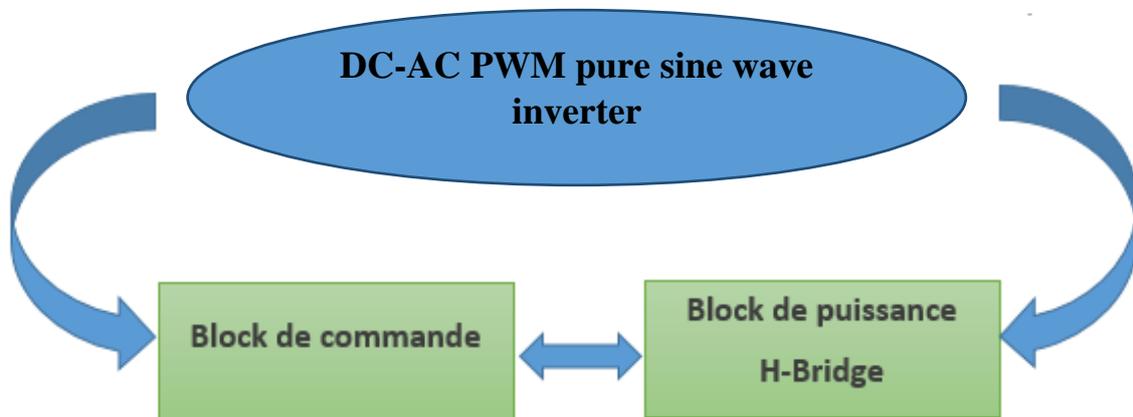


Figure2.5: Pulse Width Modulation of a Sinusoidal

qualité du signal est également élevée.

2.5. Architecture et approche du projet à réaliser :



Tout en concevant un onduleur peut être complexe mais il devient plus facile lorsqu'il est décomposé en deux parties. Les sections suivantes détaillent chaque composant du projet, ainsi que la façon dont chaque section est construite et interagit avec d'autres blocs pour produire la production d'un onduleur à onde sinusoïdale pure de 240 V.

Notre convertisseur est constitué de deux blocks :

2.5.1. Block de commande :

Le but de la commande de l'onduleur est de permettre la production d'une tension ou un courant alternatif, à travers les ordres de commande appliqués aux drivers interrupteurs de puissance.

Dans notre cas, le cœur de la commande de l'onduleur est basé sur un microcontrôleur (16F876A) très puissant de la famille de Microchip. Ce microcontrôleur est responsable de la génération de l'onde sinusoïdale en temps réel.

2.5.1.1. Le microcontrôleur (pic 16F877A) :

Le microcontrôleur est un composant numérique qui peut accepter des données sous forme analogiques et numériques.

Pour l'utiliser on doit déterminer comment les broches (pins) du microcontrôleur seront utilisées entrées ou sorties dans notre cas il sert à générer des signaux de contrôle.

La théorie de l'encodage d'une onde sinusoïdale avec un signal PWM est relativement simple. Une sinusoïde est nécessaire pour la référence qui dictera la sortie, et une onde triangulaire de supérieure fréquence est nécessaire pour échantillonner la référence et activer les commutateurs

2.5.1.2. Structure interne et configuration du pic 16F877A :

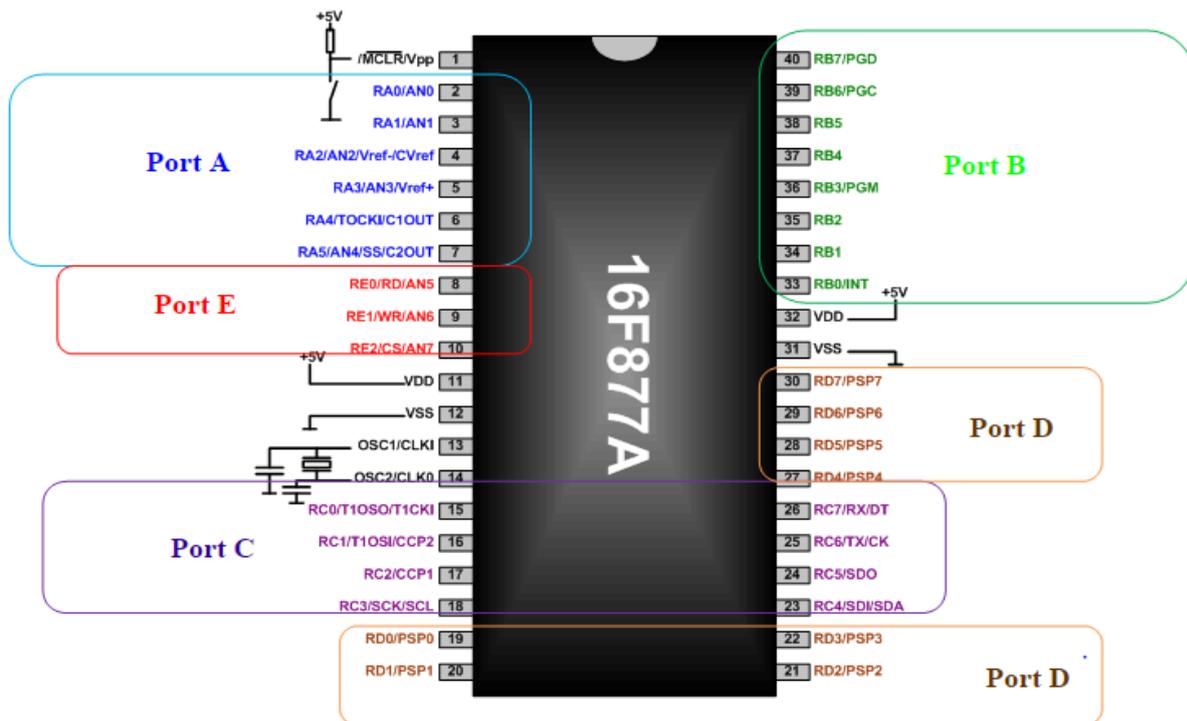


Figure2.6 : différents ports du pic 16F877A

Ce microcontrôleur est spécialement développé pour la génération d'un signal Sinusoïdal PWM (SPWM) et programmer pour générer deux signaux PWM et deux impulsions rectangulaires. Les broches RC1, RC2 sont des broches de sortie pour la modulation de largeur d'impulsion sinusoïdale et RA1, RA2 sont des broches de sortie pour signaux impulsionnels rectangulaires.

2.5.1.3. Structure interne :

Ce microcontrôleur composé de CPU, RAM, ROM, minuteries et compteurs, etc. De même, l'architecture microcontrôleur PIC se compose de RAM, ROM, CPU, minuteries, compteurs et prend en charge les protocoles tels que SPI, CAN et UART pour l'interfaçage avec d'autres périphériques. À l'heure actuelle, les microcontrôleurs PIC sont largement utilisés à des fins industrielles en raison de la faible consommation d'énergie, de la capacité de haute

performance et de la disponibilité facile de ses outils matériels et logiciels, comme les compilateurs, les débogueurs et les simulateurs.

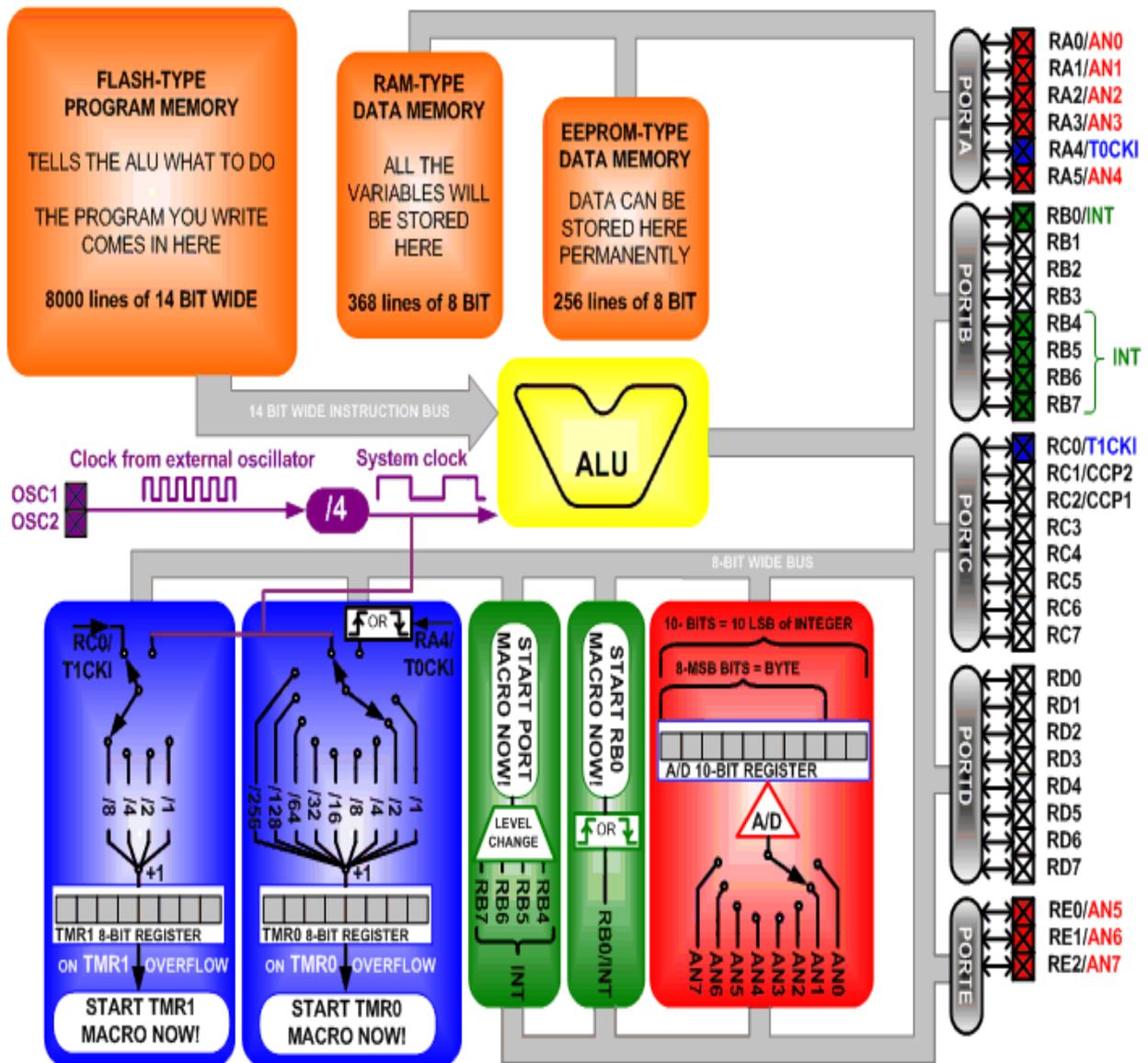


Figure2.7 : Schéma bloc présente la structure interne du pic 16F877A

2.5.1.4. Principe de génération de la PWM :

L'onduleur délivre plusieurs créneaux positifs et négatifs (Fig.2.7), ce qui permet de diminuer l'importance du filtre et d'avoir un régulateur de tension plus rapide. En modulant les temps relatifs de conduction et de déblocage, il est possible de répartir la tension au cours de la période de façon à ce que pratiquement le temps de conduction d'un interrupteur soit proportionnel à la valeur instantanée du fondamental. C'est ce principe qui est appelé Modulation de Largeur d'Impulsion

La tension de sortie de l'onduleur est une onde sinusoïdale pure, produite grâce au module PWM du PIC avec un oscillateur de 8 kHz. Donc A chaque impulsion de 10ms de l'horloge Le microcontrôleur exécute une instruction La rapidité d'exécution du programme dépend de la fréquence de l'horloge. Généralement on utilise un Quartz ou un montage RC pour générer ce signal

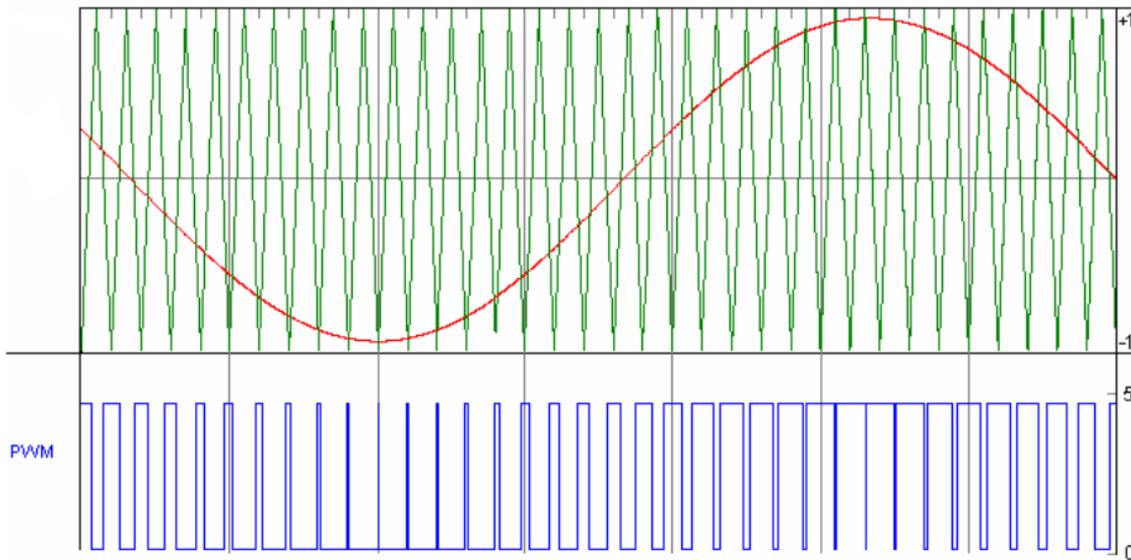


Figure 2.8: Génération de l'MLI.

2.5.1.5. Simulation du bloc de commande sur Proteus (ISIS) :

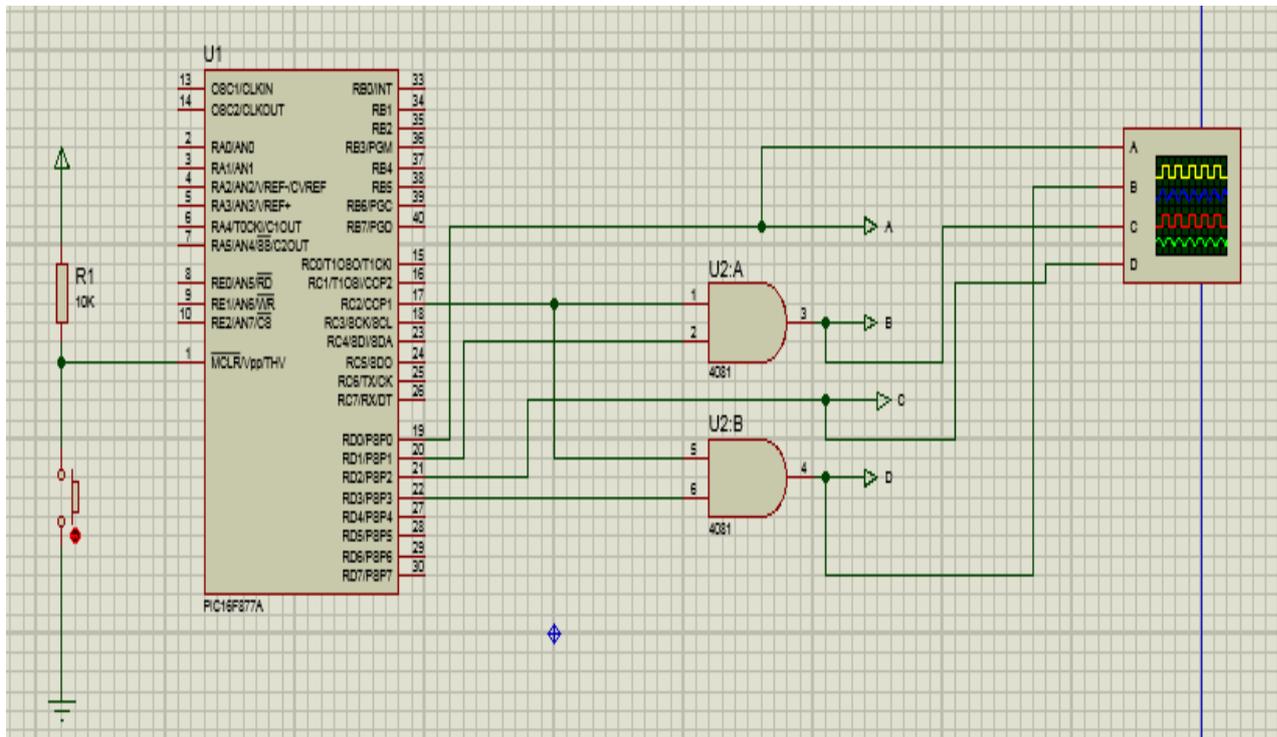
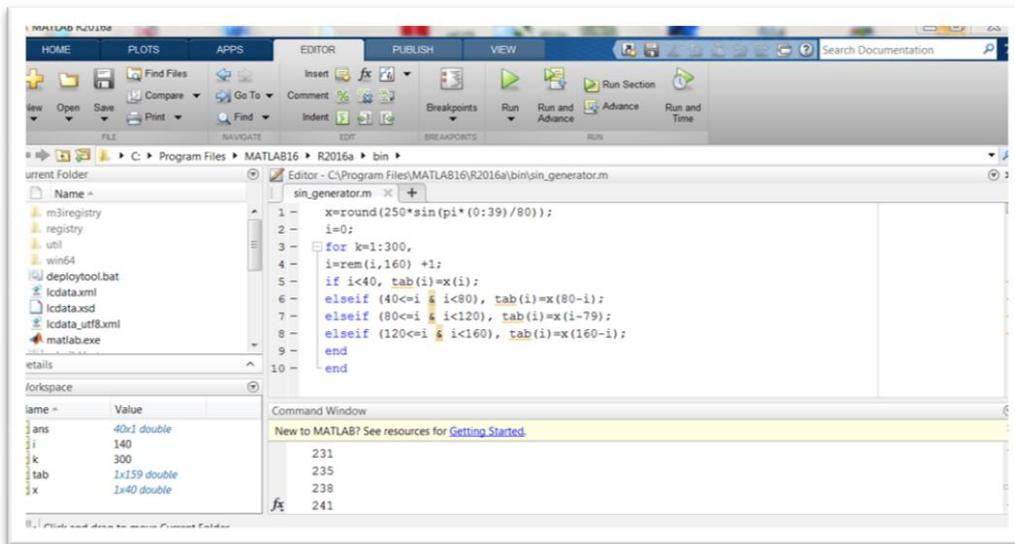


Figure2.10 : compilation du programme sous l'interface MicroC for Pic



Et en ce qui concerne le calcul des périodes d'impulsion (duty cycle) on a fait un petit programme "Matlab"

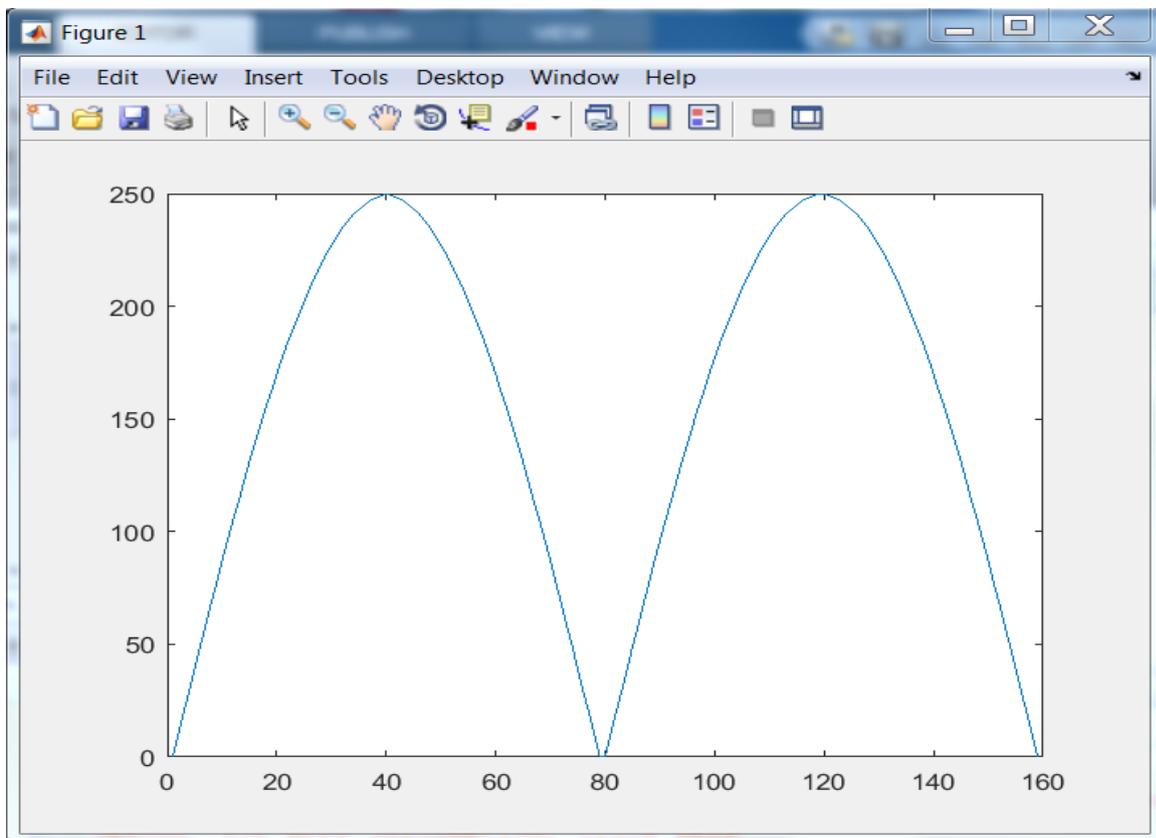
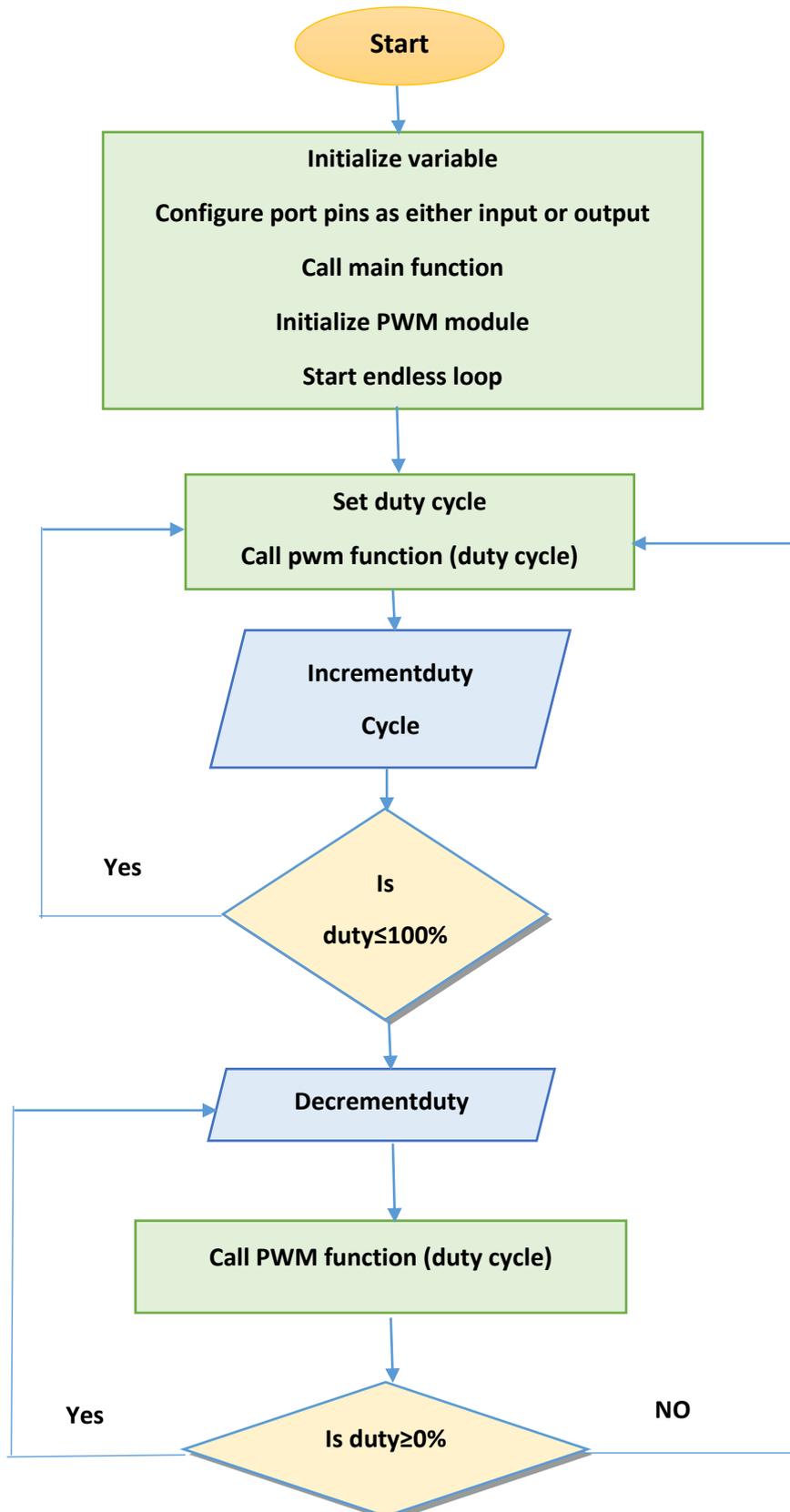


Figure2.11 : Plot du résultat de tableau

2.5.1.7. Etat machine du programme (flowchart) :



2.5.2. Le block H-bridge (circuit de puissance) :

Le pont en H est une structure électronique servant à contrôler la polarité aux bornes d'un dipôle. Il est composé de quatre éléments de commutation généralement disposés schématiquement en une forme de H d'où le nom. Les commutateurs peuvent être des relais, des transistors, ou autres éléments de commutation en fonction de l'application visée.

Cette structure se retrouve dans plusieurs applications de l'électronique de puissance incluant le contrôle des moteurs, les convertisseurs et hacheurs, ainsi que les onduleurs. Il se présente sous différentes formes passant par les circuits intégrés pour les applications de faibles et moyennes puissances, les circuits discrets ainsi que les modules intégrés pour les moyennes et hautes puissances.

Pour illustrer le concept de base d'un circuit inverseur DC-to-AC, nous considérons un circuit inverseur de tension-source demi-pont sous charge résistive comme indiqué sur la Figure.2.10

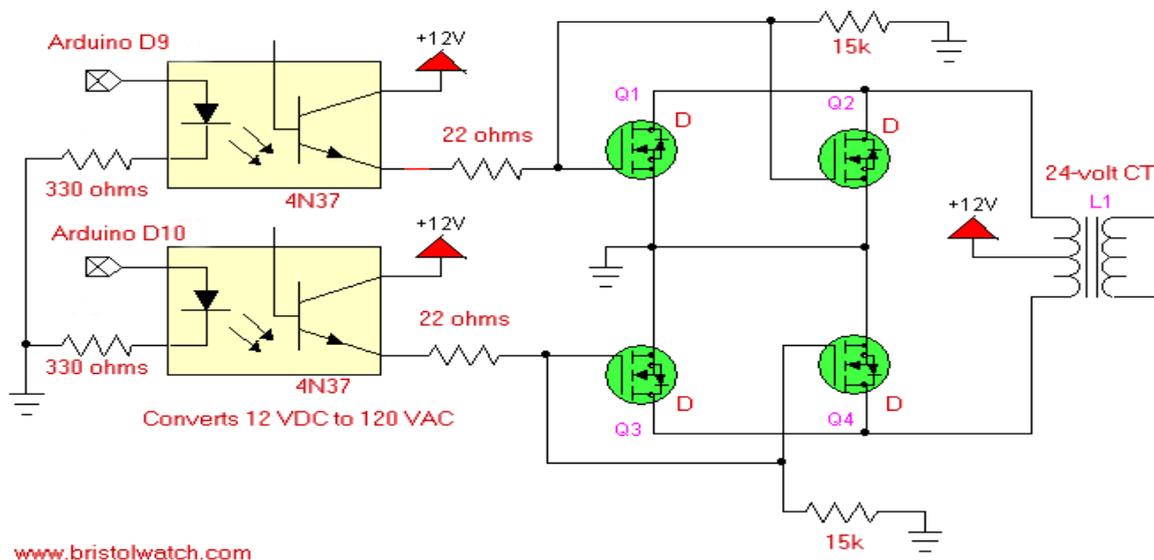


Figure2.12 : H-Bridge d'un convertisseur DC-AC

2.5.2.1. Rôle des Optocoupleurs dans les H-Bridge :

Leurs applications sont innombrables. Mais Celle qui vient immédiatement à l'esprit est le couplage de deux circuits qui ont des alimentations distinctes, sans aucun contact électrique

entre eux, ce qui évite les boucles de masse, mais sert aussi de protection des circuits à basse tension, comme les microprocesseurs, ou les humains à l'égard de tensions dangereuses, comme celle du secteur de distribution électrique. Ils font alors office de relais entre le circuit de commande et les circuits de puissance. Donc c'est un composant électronique capable de transmettre un signal d'un circuit électrique à un autre, sans qu'il y ait de contact galvanique entre eux.

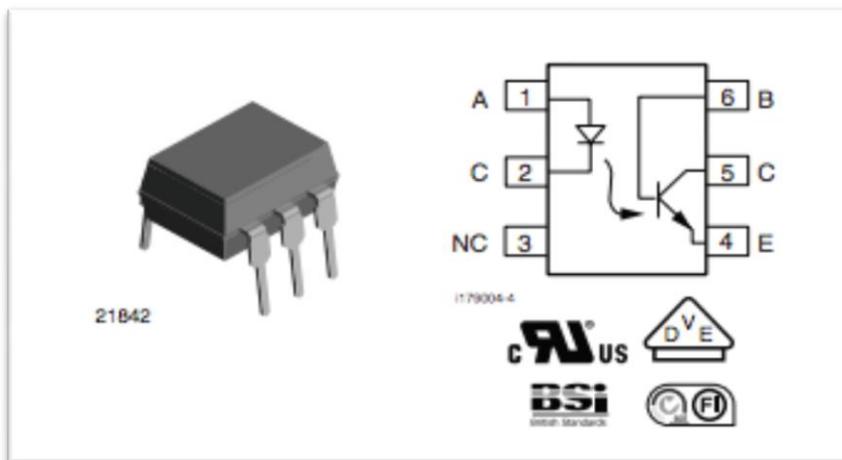


Figure 2.13 : schéma démonstratif d'un optocoupleur

2.5.2.2. Principe de fonctionnement d'un H-bridge :

Dans notre maquette à réaliser on a utilisé des MOSFET de puissance là que La source liée à la source, le drain avec le drain, et la gâchette avec la gâchette pour les courants plus élevés et la puissance de sortie. On peut utiliser aussi des résistances pour purger les charges des portes MOSFET pour éteindre l'appareil.

Ceci produit deux impulsions d'onde carrée pour conduire des circuits inverseurs à l'aide de MOSFETS conduisant le transformateur de produire un courant de 220 volts alternatif

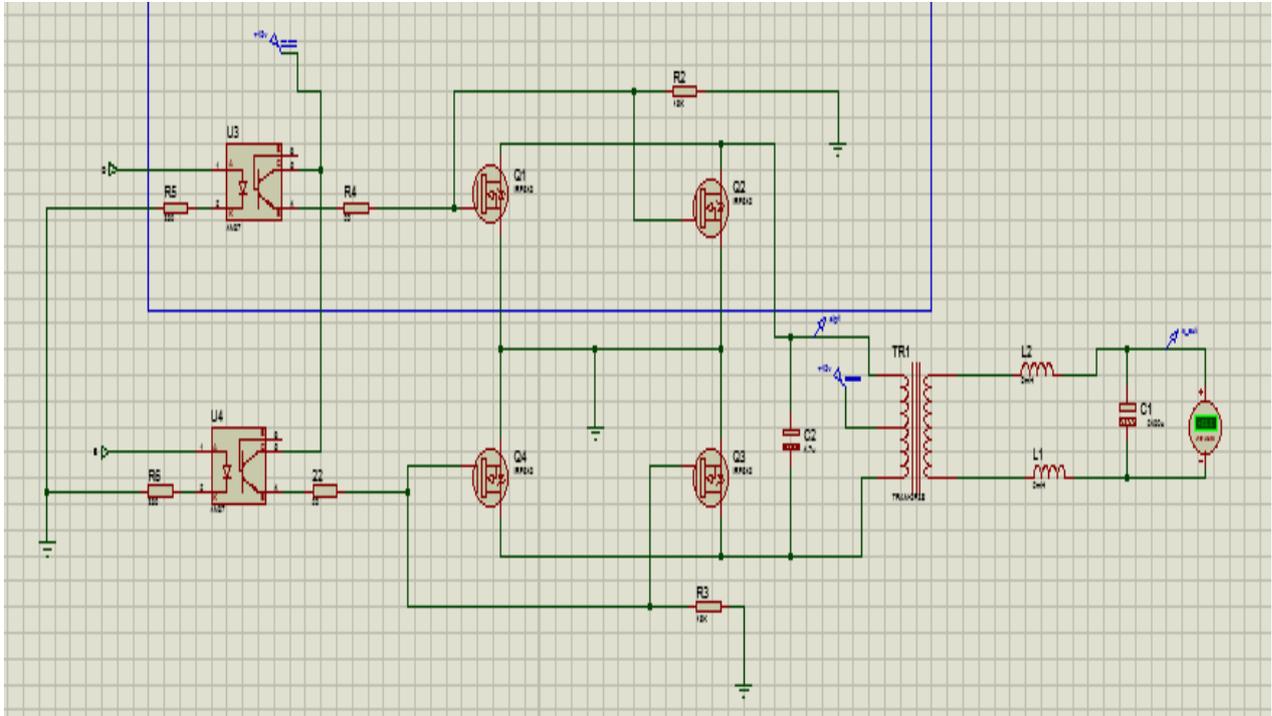
Les H-Bridge sont disponible aussi en tant que circuits intégrés ms généralement de faibles Ampérage donc dans notre cas on est besoin de puissance. Pourcette raison je préférais de faire mon propre h-bridge à base des Mosfet canal-N « IRF1010E » qui peuvent atteindre jusqu'à 81A et 170 watt.

2.5.2.3. Domaine d'utilisation desH-bridge

Le pont en H peut être commandé avec des signaux modulés en largeur d'impulsion. Lorsqu'un tel signal est appliqué à un des commutateurs inférieurs tandis que le commutateur supérieur opposé est en conduction, le pont devient effectivement un hacheur permettant de faire varier la puissance moyenne transmise à la charge. Dans un autre type d'application, le

Le pont peut être commuté de manière à faire varier la polarité de la tension de charge de façon cyclique pour en faire un onduleur. Il peut être utilisé aussi avec les moteurs à courant continu.

2.5.2.4. Simulation du circuit de puissance sous Proteus ISIS :



La figure 2.14 : structure de pont H à réaliser

2.5.2.5. Block diagramme qui résume la conception :

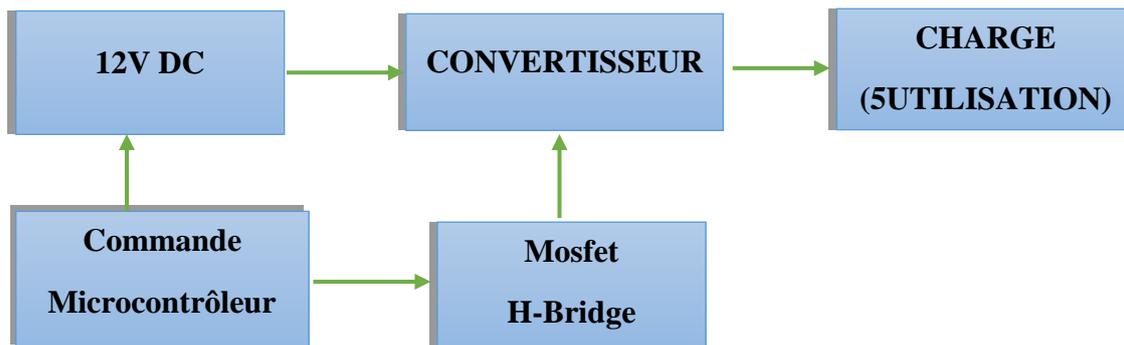


Figure 2.13 : Conception du système de l'onduleur

2.6. Le contrôleur de charge solaire avec arduino :

2.6.1 Description :

Le régulateur de charge/décharge est associé à un générateur photovoltaïque, il a pour rôle, entre autres, de contrôler la charge de la batterie et de limiter sa décharge. Sa fonction est primordiale car elle a un impact direct sur la durée de vie de la batterie.

On trouve sur les installations plusieurs technologies de contrôleur de charge :

- Régulation tout ou rien (TOR) par coupure électromécanique. Ce type de régulateur n'est plus commercialisé et est amené à disparaître.
- Régulation MLI (à modulation de largeurs d'impulsions) avec deux types de couplage sur la batterie.
 - Couplage direct appelé PWM (Pulse Width Modulation).
 - Couplage par adaptateur d'impédance appelé MPPT (Multi Power Point Tracking).

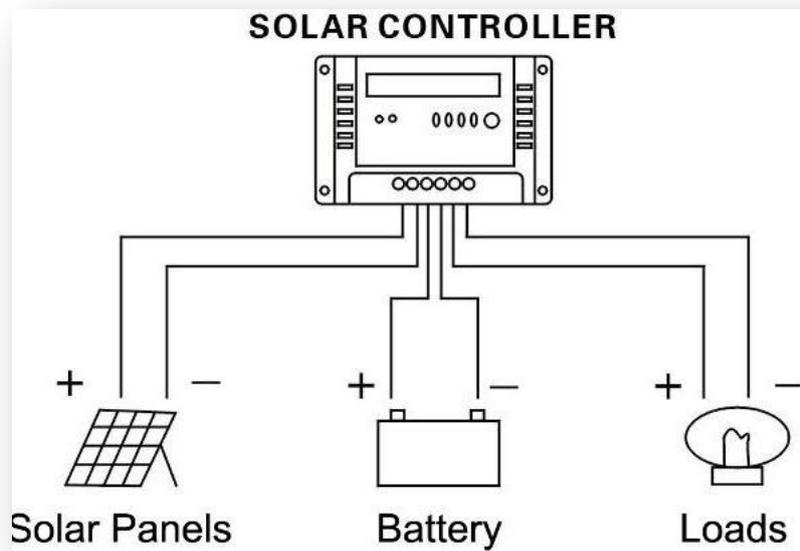


Figure 2.15 : Fonctionnement du circuit de contrôleur de charge solaire

2.6.2. Arduino :

Les cartes Arduino sont conçues pour réaliser des prototypes et des maquettes des cartes électroniques pour l'informatique embarquée. Ces cartes permettent un accès simple et peu coûteux à l'informatique embarquée. De plus, elles sont entièrement libres de droit, autant sur

l'aspect du code source (Open Source) que sur l'aspect matériel (Open Hardware). Ainsi, il est possible de refaire sa propre carte Arduino dans le but de l'améliorer ou d'enlever des fonctionnalités inutiles au projet. Le langage Arduino se distingue des langages utilisés dans l'industrie de l'informatique embarquée par sa simplicité. En effet, beaucoup de bibliothèques et de fonctionnalités de base occulte certains aspects de la programmation de logiciel embarquée afin de gagner en simplicité.

Dans notre contrôleur on va utiliser un arduino Uno R3

2.6.2.1. Description de la carte :

L'Arduino est une famille de cartes électronique à microcontrôleur open-source née en Italie en 2005. Ces cartes basées sur une interface entrée/sortie simple et sur un environnement de développement proche du langage C. La carte Arduino uno est la première version stable de carte Arduino. Elle possède toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique en plus de sa simplicité d'utilisation. Elle utilise une puce ATmega328P cadencée à 16 Mhz. Elle possède 32ko de mémoire flash destinée à recevoir le programme, 2ko de SRAM (mémoire vive) et 1 ko d'EEPROM (mémoire morte destinée aux données) [3]. Elle offre 14 pins (broches) d'entrée/sortie numérique (donnée acceptée 0 et 1) dont 6 pouvant générer des PWM (Pulse width Modulation). Elle permet aussi de mesurer des grandeurs analogiques grâce à ces 6 entrées analogiques. Chaque broche est capable de délivrer un courant de 40 mA pour une tension de 5V. Cette carte Arduino peut aussi s'alimenter et communiquer avec un ordinateur grâce à son port USB. On peut aussi l'alimenter avec une alimentation comprise en 7V et 12V grâce à son connecteur Power Jack.

2.6.2.2. Vue ensemble :

La carte est une carte à microcontrôleur l'ATmega328



Arduino Uno basée sur Elle dispose :

- de 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur de pulse variable) et 6 en entrées/sorties numériques),
- de 6 entrées/sorties analogiques (broches A0 à A5),
- 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).

Figure 2.16 : Carte arduino Uno R3

2.6.2.3. Synthèse des caractéristiques

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 boot loader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (ATmega328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

Tableau 2.1 : Caractéristique d'un arduino Atmega328

Elle 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."Uno" signifie un en Italien et ce nom marque la venue prochaine de la version 1.0 du logiciel Arduino. 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

2.6.2.4. Simulation de circuit sous ISIS Proteus :

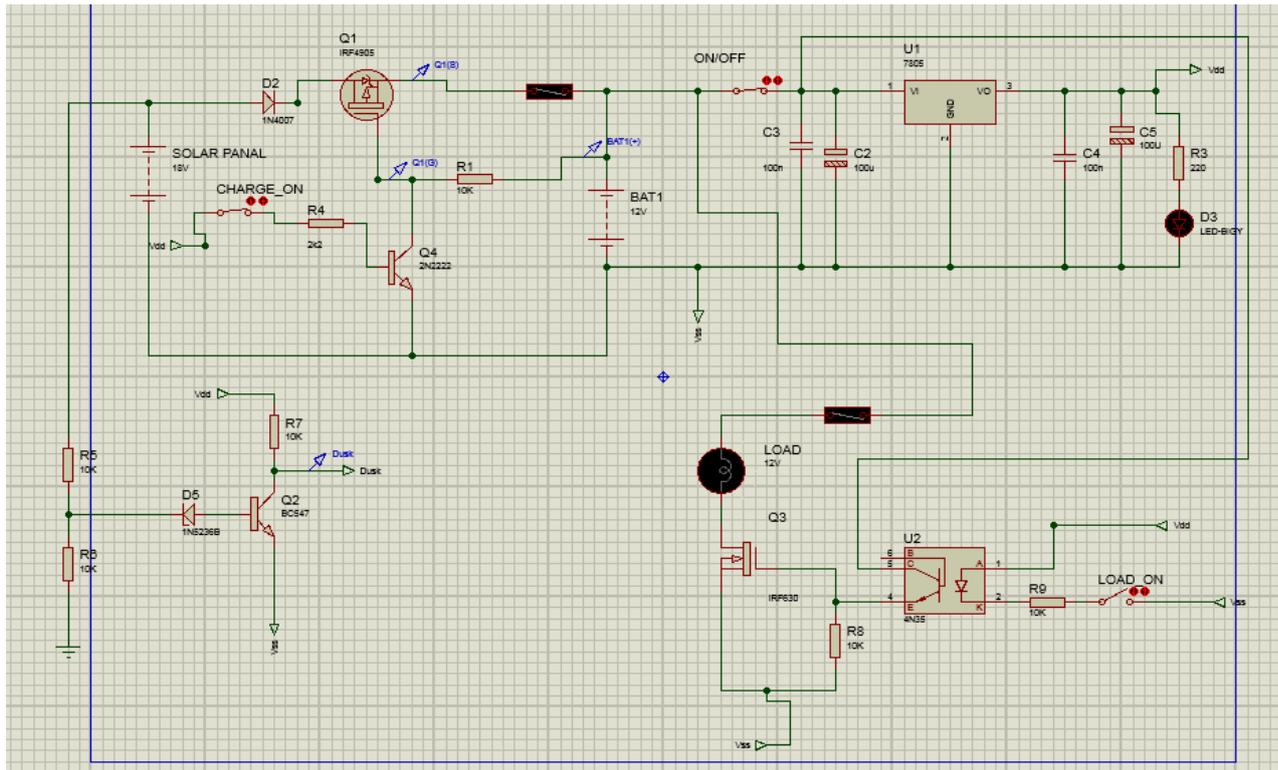


Figure 2.17 : simulation de la partie charge et contrôle de charge

2.6.2.5. Langage de programmation :

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Proceession. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée. La fonction setup contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de Communications série, etc.). La fonction loop est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction setup. Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu'ils n'ont pas de système d'exploitation. En effet, si l'on

omettait cette boucle, à la fin du code produit, il sera impossible de reprendre la main sur la carte Arduino qui exécuterait alors du code aléatoire.



```

1 |
2 # include <LiquidCrystal.h>
3 LiquidCrystal lcd(8,9,10,11,12,13); // (RS,E,D4,D5,D6,D7)
4
5 #define Dusk_PIN 2 // Dusk pin zener diod
6 #define PWM_PIN 5 //PWM pin charge On
7 #define Current_SENSOR A0 //Analog ADC_Current sensor
8 #define Batt_PIN A1
9 #define Load_PIN 7
10 unsigned int Vbat=0;
11 unsigned int Current=0;
12 bool Dusk;
13 void setup() {
14   pinMode(Dusk_PIN, OUTPUT);
15   pinMode(Load_PIN, OUTPUT);
16   pinMode(PWM_PIN, OUTPUT);
17   pinMode(Current_SENSOR, INPUT);
18   pinMode(Batt_PIN, INPUT);
19   TIMSK2 &= ~(1<<TOIE2); // disable interrupt
--

```

Figure 2.18 : Compilation du programme sous plateforme arduino

2.6.2.6. L’Afficheur LCD :

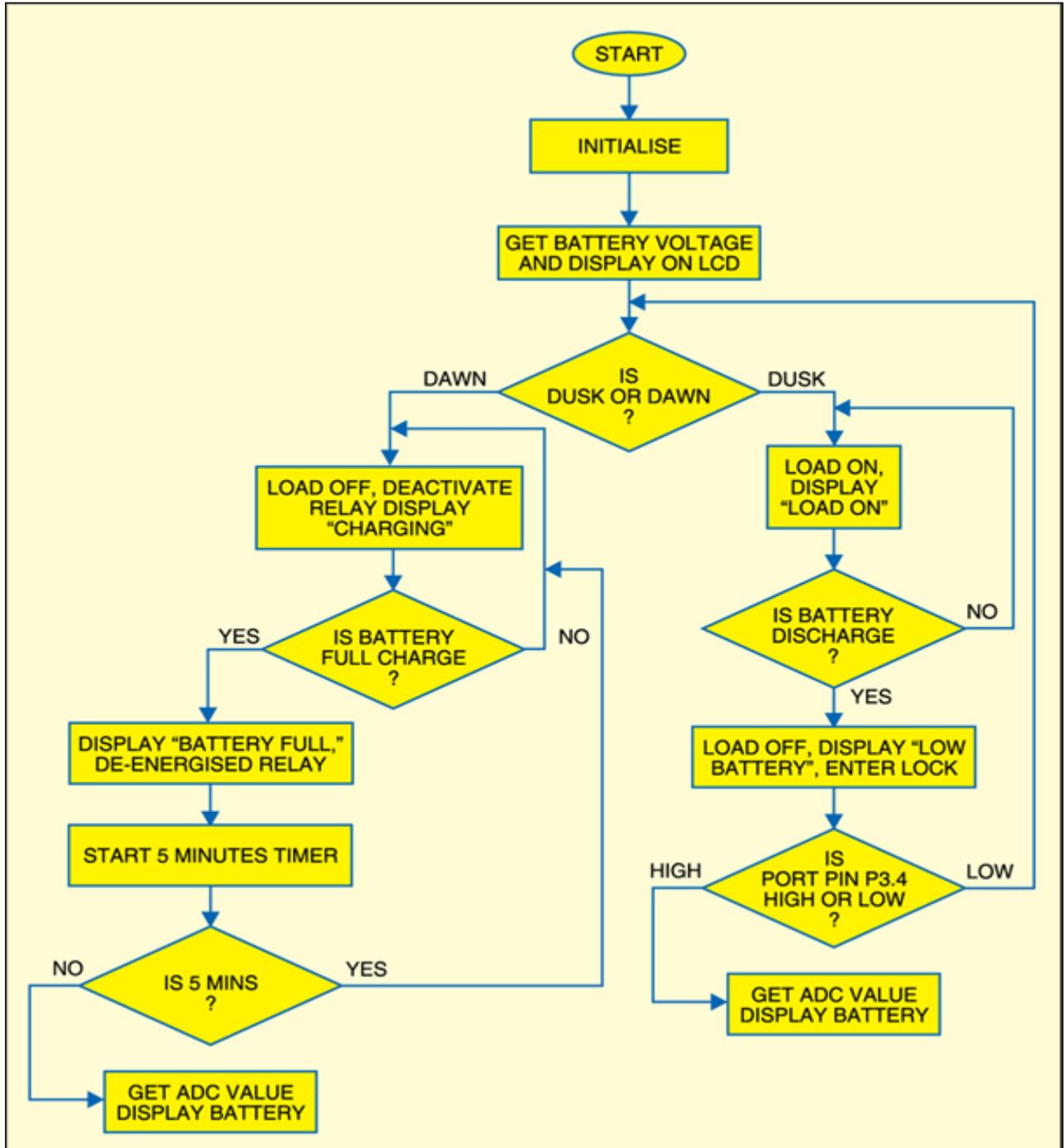
Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions, (de 1 à 4 lignes de 6 à 80



Figure2.19 : afficheur LCD (4x20)

2.6.3.PartieSoftware :

Le programme source pour le projet est écrit en langage c et assemblé sous plateforme arduino, il disponible gratuitement sur Internet pour téléchargement. Il est bien commenté pour une compréhension facile et fonctionne selon le diagramme illustré à la figure 5. Le fichier hexadécimal doit être implanté dans le microcontrôleur.



2.6.3.1. Simulation d'afficheur LCD sous Proteus :

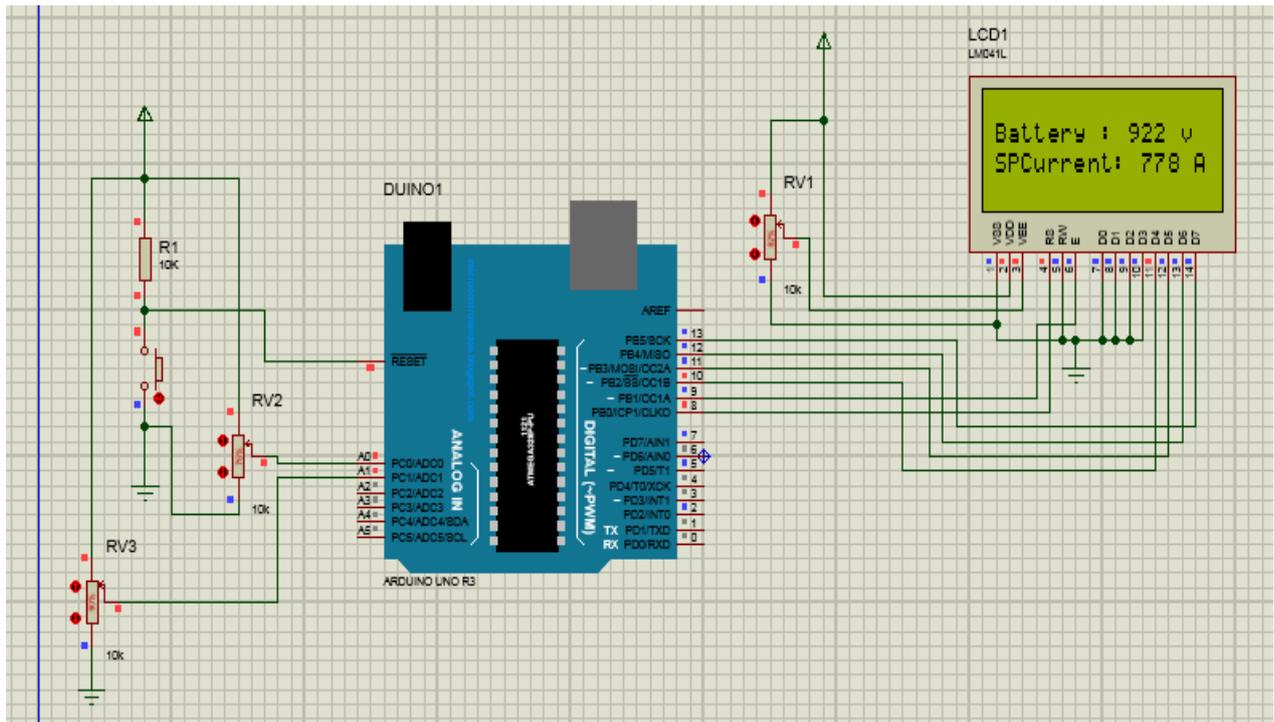


Figure 2.20 : brochage d'afficheur LCD avec arduino

2.6.4. Explication des différentes parties du contrôleur à réaliser :

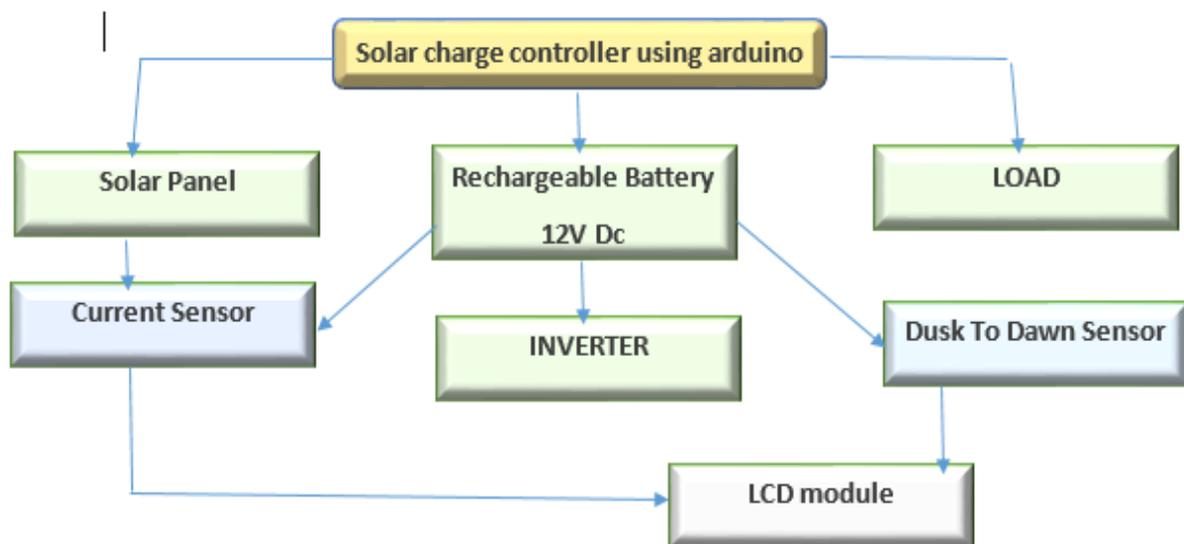


Figure 2.21 : Architecture et composants du contrôleur

2.6.4.1. Explication du circuit:

Capteur de lumière: généralement dans un système d'éclairage solaire ou des lampadaires solaires, après le coucher de soleil, les interrupteurs de lumière doivent être allumés et

éteints lorsque le soleil se lève. Pendant l'aube, la charge est déconnectée de la batterie et la batterie est rechargée à l'aide du courant du panneau solaire. Un simple capteur de lumière est construit en utilisant un diviseur de potentiel formé autour d'une diode Zener deux résistances et un transistor pour connaître la tension du panneau solaire. Par l'intervention d'arduino qui joue le rôle du microcontrôleur on décide si la batterie doit être en mode charge ou décharge ou si la charge doit être connectée ou déconnectée de la batterie.

Panneaux solaires: dans ce projet, un panneau solaire de 100 watt est utilisé pour charger la batterie. Il existe sur marché des panneaux de puissance supérieure sont également recommandés, mais des modifications doivent être apportées au circuit de contrôleur de charge.

La Batterie: une batterie au plomb 12V et 5A utilisée pour stocker l'énergie électrique provient des panneaux solaires. La capacité de courant en ampère-heure est de 5Ah.

Le module LCD: l'affichage LCD (4x16) sert à afficher la tension de la batterie et l'état du système. Dans ce projet, un écran LCD 4 bits est utilisé pour sauvegarder les broches du microcontrôleur. En mode 4 bits, l'écran LCD est interfacé avec l'arduino en utilisant 7 broches.

2.6.4.2. Description du circuit :

Description du circuit Fondamentalement, il existe deux méthodes de contrôle du courant de charge: la régulation en série et la régulation parallèle (shunt). Un régulateur série est inséré entre le panneau solaire et la batterie.

La régulation de type série "gaspille" beaucoup d'énergie lors de la charge de la batterie car les circuits de commande sont toujours actifs et le régulateur en série nécessite une tension d'entrée de 3-4 volts supérieure à la tension de sortie.

La sortie de courant et de tension d'un panneau solaire est régie par l'angle d'incidence de la lumière, qui continue de varier. La régulation parallèle est préférée dans le domaine solaire. En régulation parallèle, le circuit de commande permet au courant de charge (même en mA) de s'écouler dans la batterie et d'arrêter le chargement une fois que la batterie est complètement chargée.

À ce stade, le courant de charge est gaspillé en se transformant en chaleur (le courant passe par une résistance à faible valeur et à grande puissance); Cette partie de la réglementation dissipe beaucoup de chaleur.

Dans ce mode, le microcontrôleur surveille la batterie faible. Lorsque la tension de la batterie tombe en dessous de 10 volts, le microcontrôleur éteint la charge en coupant le MOSFET et le message "batterie à faible charge" s'affiche.

Normalement, lorsque la charge est éteinte, la tension de la batterie tend à remonter et la charge oscille entre les états 'on' et 'off'. Pour éviter cela, le microcontrôleur utilise une commande d'hystérésis en entrant en mode 'verrouillage' en état de batterie faible et sort du mode de verrouillage lorsque le capteur du crépuscule à l'aube reçoit la tension du panneau (le lendemain matin).

En mode verrouillage, le microcontrôleur continue de convertir la valeur ADC et affiche la tension de la batterie sur l'écran LCD.

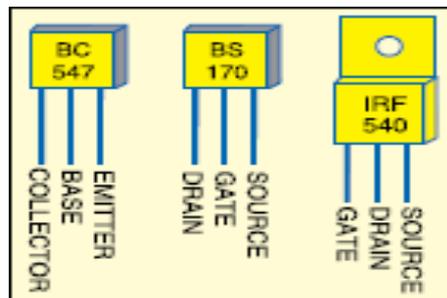


Figure2.22 : Les Mosfet et le transistor utilisé

2.7. Construction et essais :

Les configurations des broches du transistor BC547, MOSFET IRF4905 et MOSFET IRF630 sont représentées sur la figure ci-dessous. Une carte perforée double faces est utilisée pour implanter le chargeur solaire à base d'arduino.

Avant d'insérer l'arduino programmé dans la PCB, on vérifie les erreurs de soudure pour les connexions appropriées à l'aide d'un multimètre. Le MOSFET de puissance IRF540 doit être monté sur un dissipateur de chaleur approprié. Avant d'allumer l'unité de commande, la connexion des fils de la batterie doit être effectuée, ainsi que la charge et du panneau solaire.

Si l'unité est allumée sans que le panneau solaire soit connecté, le message "BatteryLow-Load Off" s'affiche indépendamment de la tension de la batterie. L'affichage passe à "charger" dès que le panneau est connecté.

Il y aura une légère variation de la tension affichée en raison des niveaux de tolérance des résistances de diviseur de potentiel dans la section ADC et V_{ref} de l'ADC étant directement

connecté à VCC (la sortie de 7805 a une précision de 2-5 %) Au lieu de la référence de tension à compensation de température dédiée.

2.7.1. Rôle du 7805 dans le circuit :

Un régulateur de tension est un composant dont le rôle consiste à rendre quasi continue une tension qui présente une ondulation (issue d'un pont redresseur par exemple) et à stabiliser sa valeur.

Cette régulation s'opère en amont et en aval :

- En amont car la tension d'entrée V_{in} peut fluctuer.
- En aval car la charge branchée aux bornes de V_{out} peut elle aussi varier dans ses caractéristiques (variation du courant débit).

Il existe pour l'essentiel deux grandes familles de régulateurs de tension : à tension de sortie V_{out} variable. Dans chacune de ces familles. On trouve des modèles « faible courant » et des modèles plus puissants. Capables de débiter de 1A à 2A voire davantage.

On trouve également des régulateurs fournissant des tensions positives. Ajoutons que certains modèles, comme le L200 permettent en outre une régulation de courant.

2.7.2. Principales caractéristiques :

- tension de sortie V_{out} : C'est le principale critère de choix, puisqu'il correspond à la tension désirée. Ainsi, pour une tension de 5V. On choisira un 7805 ou 78L05, selon le courant nécessaire. Si on désire une tension variable. De 3 à 12V dans ce cas on s'orientera vers un LM317 ou un L200.

La tension d'entrée V_{in} doit toujours être supérieur de 2 à 3 V à la tension de sortie V_{out} : 7V pour un 7805, 27V pour un 7824. Donc la différence correspond à la chute de tension interne (V_{drop}). Quant à la tension maximale en entrée, elle va jusqu'à 25V pour un 7805 et 38v pour un 7824.

- courant de sortie : un 78 LO5 peut débiter 100mA, tandis qu'un 7805 est capable de fournir 1A en permanence.
- Tolérance indiquée par une lettre ('c' le plus souvent), elle est en générale meilleur que 5%.

Soit pour un 7805 une tension de sortie comprise entre 4.75V et 5.25V. Dans la pratique on observera que la tension délivrée est souvent très proche de la valeur nominale (4.97V pour un 7805 lorsque le courant débit n'est pas très élevé)

Tant que la valeur nominale est vérifiée à 25°C et qu'une élévation de température dégrade les performances du régulateur (-1mV/°C typique). C'est pourquoi un radiateur vissé sur le boîtier est recommandé. Chaque fois qu'il y a risque d'échauffement important.

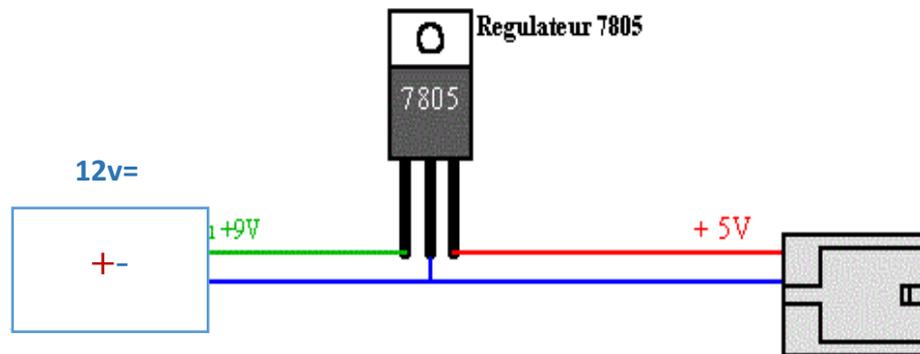


Figure 2.23 : Description simplifiée du régulateur de courant 7805

2.7.3. Le capteur de courant (ACS712) :

Le dispositif ACS712 Allegro (voir ANNEXE D) offre un moyen économique et précis de détection de courants AC et DC. Ce capteur de courant Allegro ACS712 est basé sur le principe de l'effet Hall, qui a été découvert par le Dr Edwin Hall en 1879 selon ce principe, quand un conducteur de courant est placé dans un champ magnétique déposé, une tension est générée sur ses bords perpendiculaires à la direction à la fois du courant et du champ magnétique. La figure (3.8) représente le schéma d'un capteur de courant ACS712 utilisé dans notre travail.

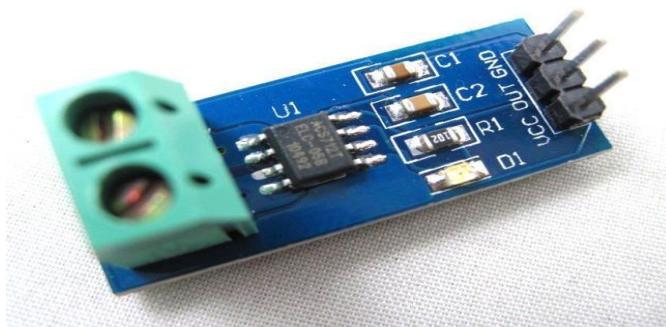


Figure 2.24 : Capteur de courant ACS712

La sortie du dispositif a une pente positive lorsqu'un courant augmentant circule à travers le chemin de conduction de cuivre. Le ACS712-30B peut mesurer le courant jusqu'à $\pm 30A$ et fournit la sensibilité de sortie de 66 mV/A (à +5V), qui signifie que pour chaque augmentation de 1A dans le courant à travers les bornes de conduction dans le sens positif, la tension de sortie augmente aussi par 66 mV. Au zéro de courant, la tension de sortie est

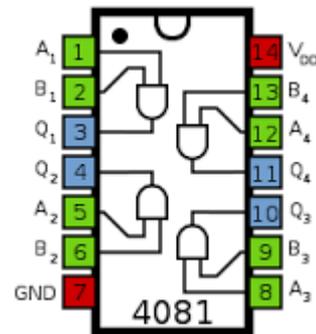
lamoitié de la tension d'alimentation ($V_{cc} / 2$). Il est à noter que la sortie fournit ACS712 ratio métrique, ce qui signifie que le courant de sortie de zéro et la sensibilité de l'appareil sont à la fois proportionnel à la tension d'alimentation VCC. Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour l'utilisation de la ACS712 avec un convertisseur analogique-numérique.

2.7.4.Choix de composants principaux dans la réalisation:

Les Transistor : Le transistor doit être dimensionné pour supporter le courant maximal délivré à la charge. Nous choisissons un MOSFET canal-N « IRF1010E ». Ce MOSFET peut fonctionner avec une tension VDSS jusqu'à 60V, et un courant ID allant jusqu'à 81A. Il peut aussi fonctionner 170 watt de puissance.

Le Microcontrôleur : on a bien expliqué notre choix en ce qui concerne le pic16F877A au-dessous.

Le circuit intégré 4081 : Le 4081 est un membre de la gamme CMOS de la série 4000 et contient quatre portes CMOS AND indépendantes, chacune avec deux entrées. Le diagramme de brochage, indiqué sur la droite, est la disposition IC de la passerelle logique standard à deux entrées:



La broche 7 est l'alimentation négative. La broche 14 est l'offre positive. Les broches 1 et 2, 5 et 6, 8 et 9, 12 et 13 sont des entrées de grille. Les broches 3, 4, 10, 11 sont des sorties de porte.

Le transformateur : Afin d'éviter des courants parasites provenant du réseau vers le champ photovoltaïque, il est de coutume d'utiliser un transformateur intégré dans l'onduleur jouant le rôle d'isolation galvanique.

Ce transformateur présente un rendement interne qui diminue le rendement global de l'onduleur. De plus, à partir d'une certaine puissance de l'onduleur, le transformateur devient encombrant et lourd. Les fabricants préfèrent donc supprimer le transformateur ce qui a pour effet directe d'améliorer le rendement de l'onduleur. Cependant, en enlevant le transformateur, on a enlevé l'isolation galvanique. Par conséquent, un courant résiduel pourrait traverser l'onduleur de manière indésirable. L'idée est donc de rajouter (lorsqu'il n'y pas de transformateur) un dispositif différentiel qui détecte ce courant résiduel. Il est à noter que certaines technologies de modules photovoltaïques nécessitent qu'une polarité soit reliée à la terre. Dans ce cas, une isolation galvanique entre la partie CC et la partie CA est exigée.

Les optocoupleurs (4N35): Il s'agit d'un composant qui permet de transmettre une information sans contact électrique entre deux circuits. Il y a une led d'un côté, qui éclaire une "cible", un phototransistor.

Quand la led est alimentée, cela sature le transistor de l'autre côté qui ferme un circuit

La led et la cible sont enfermées dans un boîtier hermétique de manière à ne pas être dérangés par la luminosité ambiante.

En fait, un optocoupleur, c'est un relais sans mécanique et de petite puissance.

Le condensateur : Pour les applications en Electronique de puissance, trois grandes familles sont utilisées : les condensateurs électrolytiques à l'Aluminium. Les condensateurs céramiques, Le condensateur films utilisé Pour le filtrage de la tension continue, on utilise les condensateurs électrolytiques. Avec les progrès réalisés pour augmenter la durée de vie permettent leur emploi dans les appareillages de moyenne puissance . $P > 10 \text{ KW}$; $U < 1000 \text{ V}$.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons expliqué l'intérêt des onduleurs dans les installations photovoltaïques ces caractéristiques et une classification selon les types trouvés sur le marché et selon les ondes données ensuite une présentation des différentes parties à réaliser, la simulation étape par étape de chaque partie, ensuite un bref aperçu sur le choix des différents composants utilisés tel que le module PV de 100w, le convertisseur survolteur, le capteur de courant, le capteur de tension, la carte Arduino uno, l'afficheur LCD et les programmes à implémenter sous la plateforme MicroC et Arduino.

3. résultat et discussion

3.1. Introduction :

Ce dernier chapitre sera consacré aux résultats de réalisation des maquettes d'un système photovoltaïque. Nous présentons en premier temps la carte de commande à base du pic 16F877A utilisées pour commander les systèmes PV et les résultats de simulation et de test avec l'oscilloscope. Ensuite, on présente la carte de puissance (H-bridge) et le transformateur utiliser. Après en passe à la deuxième maquette ce qui est le contrôleur de charge on intégrant le capteur de courant, la carte Arduino Uno, l'afficheur LCD. Enfin, les tests pratiques du système PV ainsi de ses composants.

3.2. SORTIES DE MICROCONTROLLER

3.2.1. Ondes carrées de 50Hz :

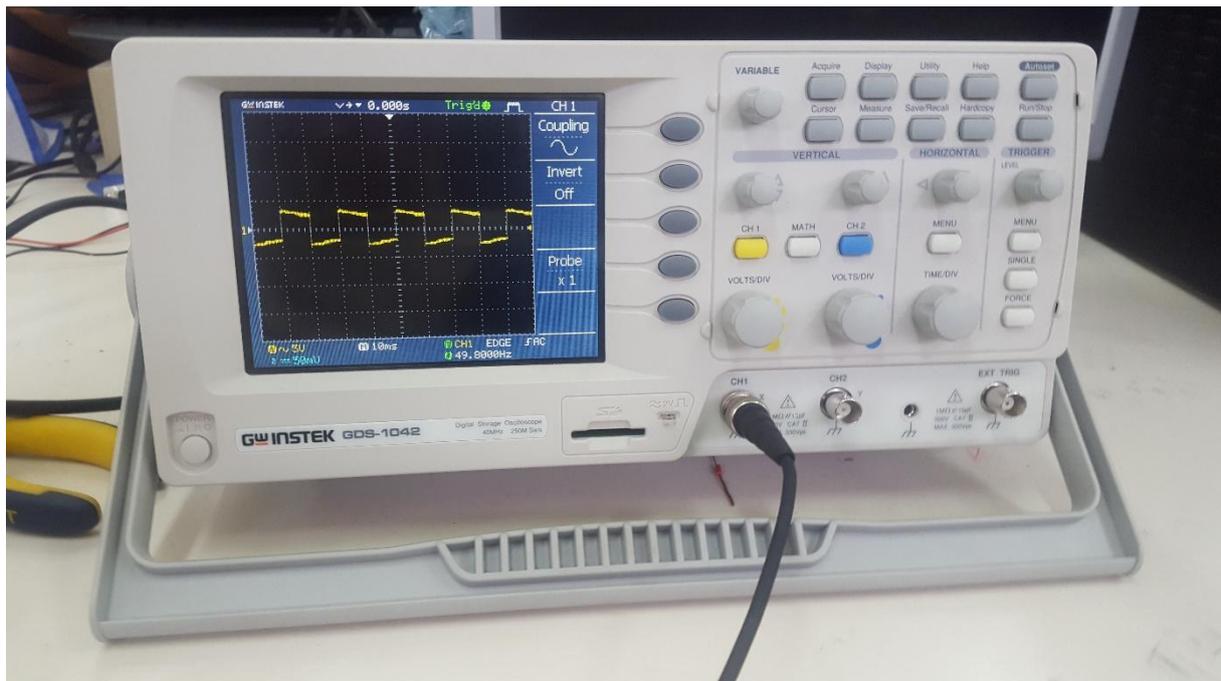


Figure 3.1 : ondes carrées du microcontrôleur

L'oscilloscope de laboratoire a été utilisé pour observer la forme d'onde de sortie et les résultats étaient comme indiqué ci-dessous :

3.2.2. Signaux modulés en largeur d'impulsion :

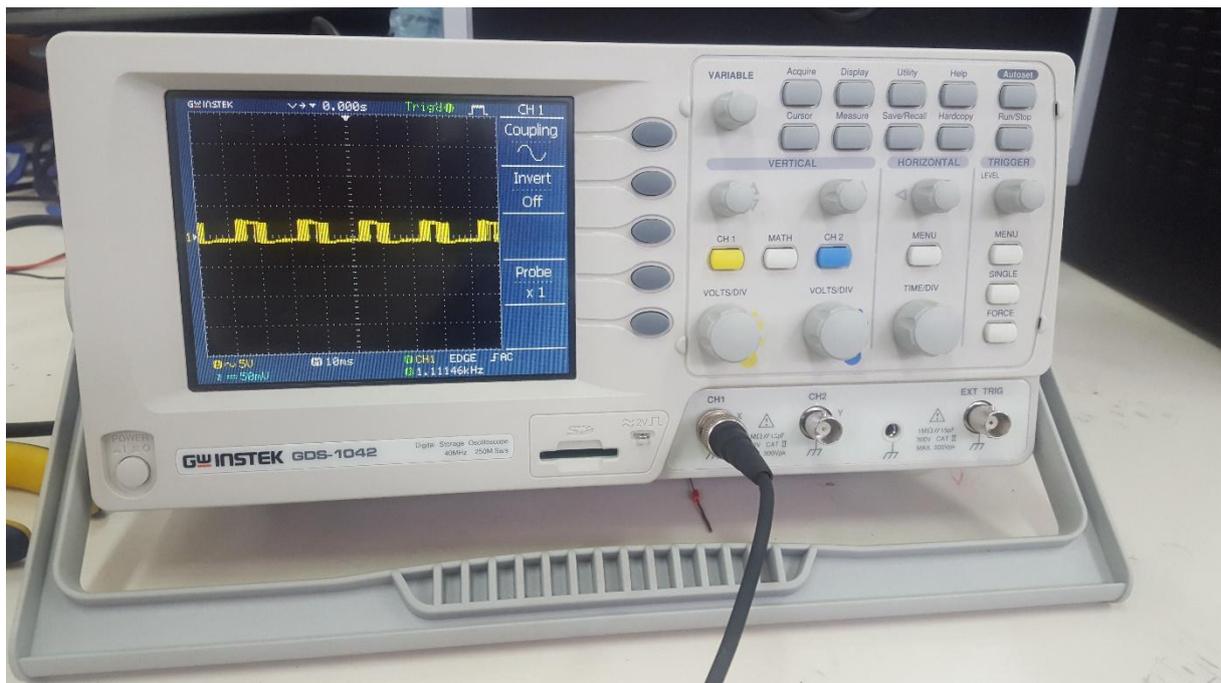


Figure 3.2 : Signaux PWM générés par un microcontrôleur

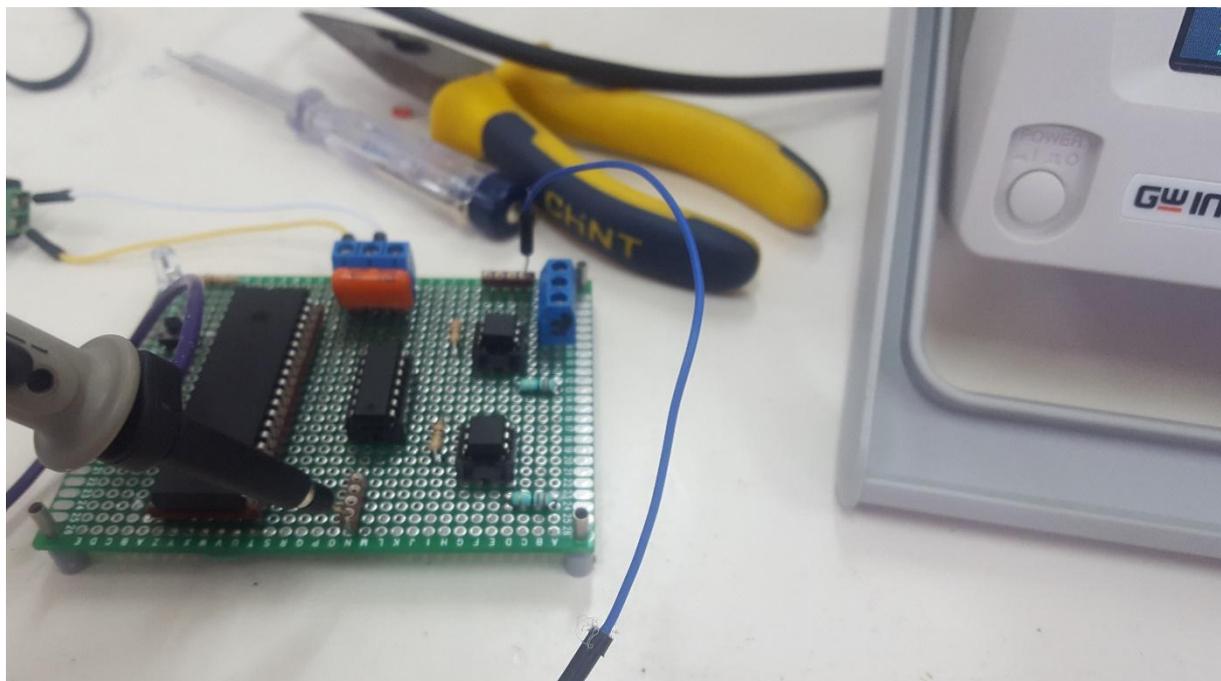


Figure 3.3 : Lors de test de la carte

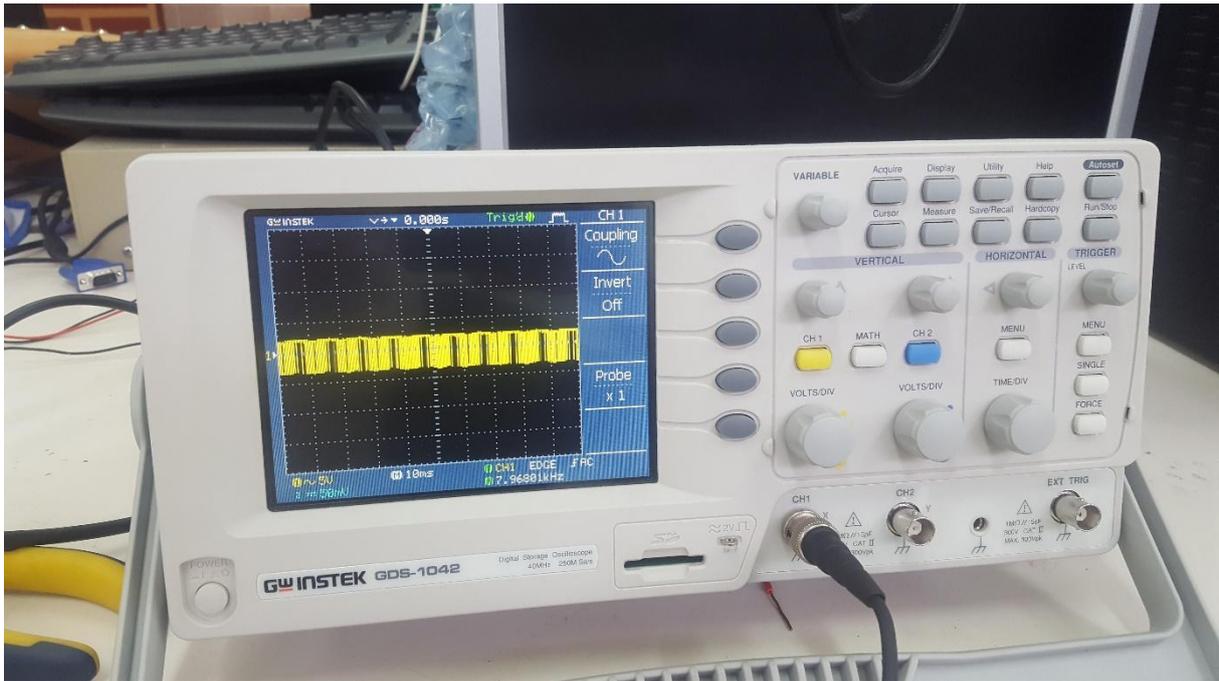


Figure3.4 : Signal de sortie des optocoupleur vers H-bridge

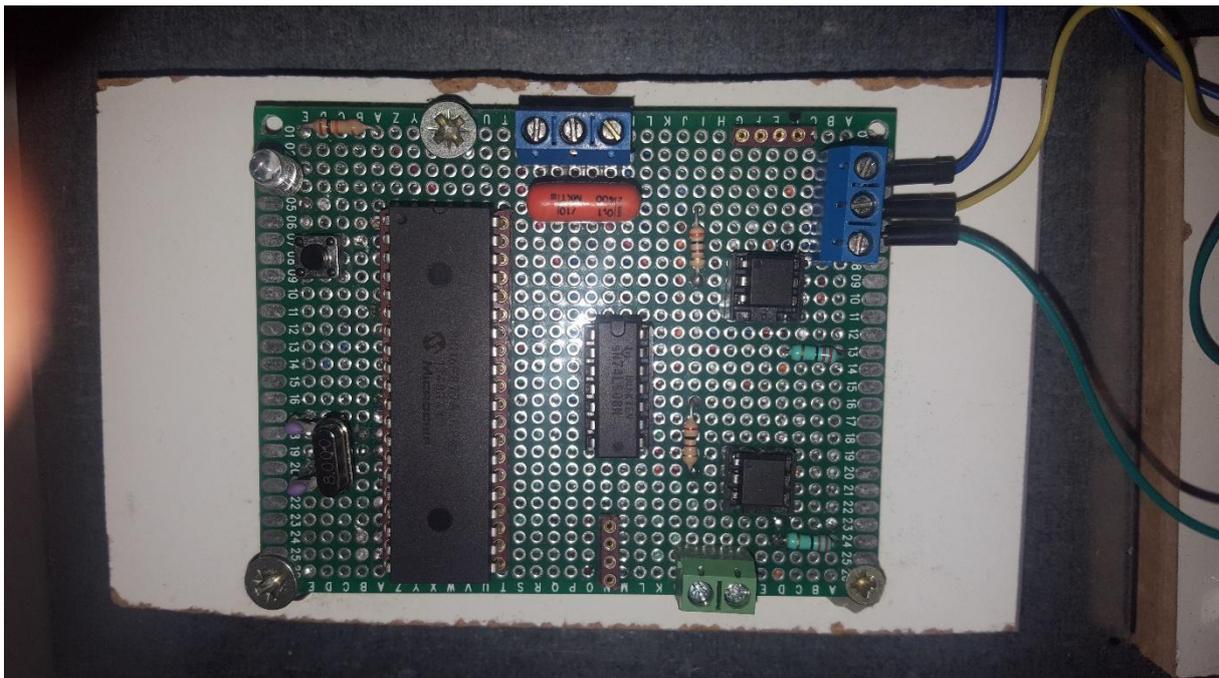


Figure3.5 : la carte de commande réalisée

3.3.RÉSULTAT EXPÉRIMENTEL :

Après la simulation et la détermination des spécifications de la conception globale, un prototype est constitué du circuit final comme indiqué ci-dessous dans la figure3.4. D'abord, un prototype préliminaire a été construit sur un platane pour tester les composants avant d'être soudé permanent sur une PCB, mais en raison du rail à haute tension du pont H, le test sur la

platane était limité à l'état sans charge qui rend le courant nul. Les MOSFET sont attachés aux dissipateurs de chaleur en raison de Leur nature à produire de la chaleur, en particulier à une fréquence de commutation élevée. En raison de l'incapacité d'obtenir une tension élevée, une tension de 240V a été utilisée comme tension de rail qui était là. Le maximum d'alimentation en laboratoire peut être délivré. Aussi, une deuxième alimentation a été utilisée pour fournir une équivalence de 12 V à ce que la batterie 12V aurait fourni avant Dc à Dc.

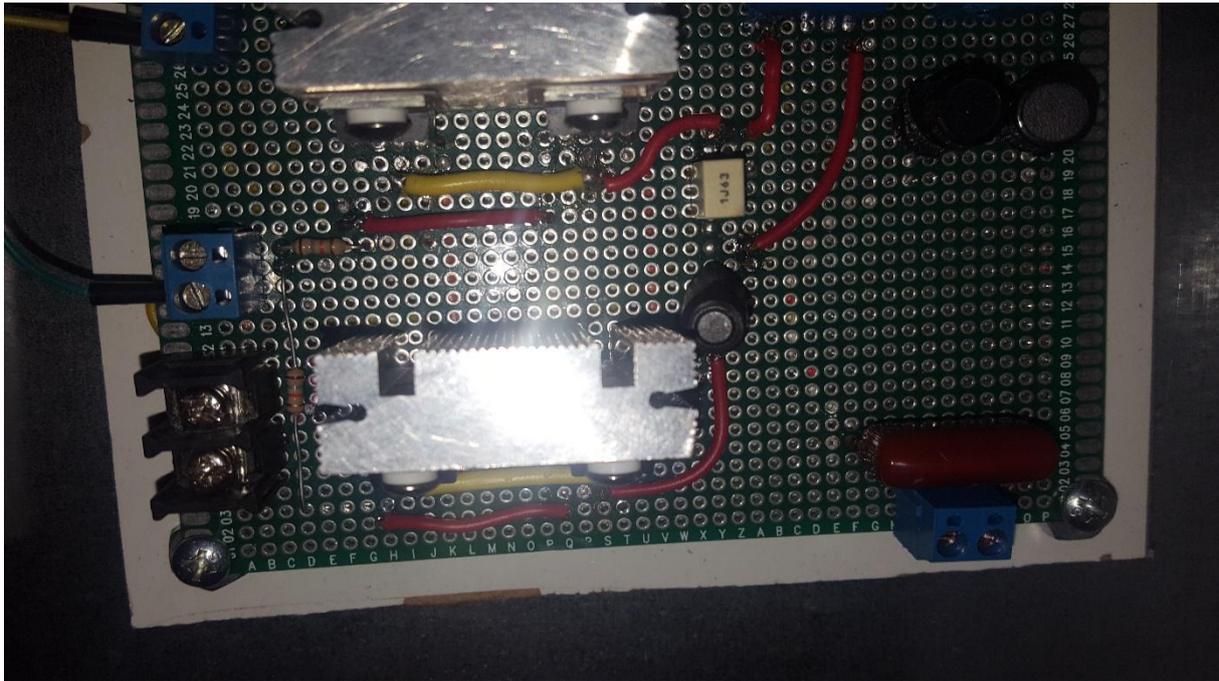


Figure 3.6: prototype de la carte de puissance(H-Bridge).

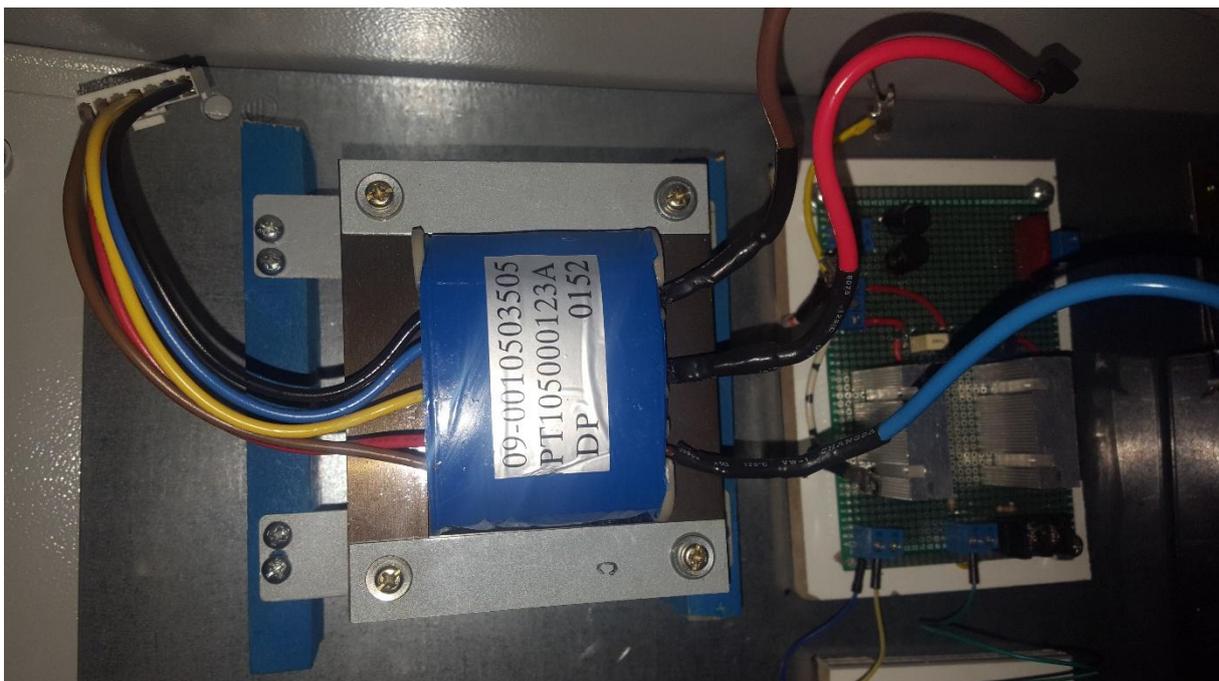


Figure3.7: Le transformateur utilisé

3.4. Des Difficultés :

La partie la plus difficile a été de concevoir le H-bridge car le grand souci c'est de trouver des Mosfets de puissance tel que l'IGBT mais dommage il y a un grand manque dans la disponibilité des composants ainsi le filtre LC puisque le type d'inducteur utilisé n'est pas disponible dans les magasins. J'ai dû improviser et essayer d'enrouler un mais je ne pouvais pas obtenir un fer Core qui aurait permis de concevoir une inductance 1H. Finalement, j'ai décidé d'utiliser un transformateur comme inducteur. Celui utilisé a une inductance de 6.55H, mais le problème réside dans le classement du courant. Il présente une haute résistance interne en courant continu qui limite l'écoulement du courant. Un autre problème était la tension du rail que je ne pouvais pas distinguer de tester la sortie. La forme d'onde qui illustre essentiellement la fréquence, la caractéristique réelle de l'onduleur n'a jamais été testée lorsqu'elle est chargée avec différents types de charge.

3.4.1. Caractéristiques du convertisseur

3.4.2. Sortie d'onde sinusoïdale :

Comme expliqué au chapitre 2, la plupart des onduleurs DC-AC fournissent une tension de sortie sinusoïdale modifiée car il est peu coûteux à produire et il a une efficacité de conversion élevée, mais le problème est que les impulsions alternées sont une forme d'onde de sortie relativement peu connue. En raison de ce problème Certains appareils ne peuvent pas utiliser ce type de forme d'onde de l'onduleur, d'où le besoin d'un onduleur à ondes de pure sine comme celui conçu dans ce rapport. Il est donc recommandé à tous appareils électroménagers

En ce qui concerne le contrôleur de charge 80% de la maquette été réalisé comme présenter ci-dessous donc il nous manque la finition et le montage d'installation complète dans l'armoire de commande, donc si on a plus de temps tout va être bien fini sur une carte.

Figure 2.8 : la partie contrôleur a base d'arduino sur plaque d'essai

3.5 Armoire de commande :

3.6. Le panneau solaire utilisé :

Conclusion générale :

L'objectif de ce projet est de réaliser une installation photovoltaïque avec un panneau solaire de 100w le premier circuit était dans le but d'inverser l'alimentation des sources DC à haute tension ou une tension de sortie de DC à DC en puissance CA similaire à celle disponible dans nos prises murales pour tout Dont la charge a été partiellement satisfaite. Cette sortie de puissance de l'onduleur est utilisable pour toute charge, mais pas pratiquement testé. Près de 90% du projet a été achevé dans les délais Donné et au moment où ce rapport a été soumis. Le fait que j'ai pu intégrer l'ensemble du système et obtenir une sortie souhaitée à la fois de la fréquence et de la tension avec respect à la tension du rail fournie montre que beaucoup de parties clés de ce projet sont pratiquement réalisables et avec une tension continue requise,

Un onduleur de travail complet peut être réalisé. Certaines des conclusions importantes qui peuvent être tirées de ce travail sont:

- La fréquence de la forme d'onde de sortie s'est révélée satisfaisante à 50 Hz équivalent de Système d'alimentation standard du Kenya.
- La pulsation sinusoïdale avec circuit de modulation est très simplifiée par l'utilisation PIC16F877A Microcontrôleur.
- En plus de la flexibilité de programmation élevée, la conception des impulsions de commutation Peuvent être modifiés sans modifications supplémentaires sur le matériel. Il y a quelques changements qui doivent être traités pour les travaux futurs. Comme mentionné précédemment, le L'inducteur utilisé dans le filtre est une bobine de transformateur et ne convient donc pas à la quantité de Puissance nécessaire. Une inductance appropriée est recommandée, une inductance à base de fer qui a une faible résistance au cuivre qui augmentera l'efficacité de l'onduleur. De plus, je recommanderais Loger même les panneaux prototypes dans les enceintes pour éviter les contacts indésirables avec les sources de puissance élevées. Aussi le matériel conçu qui isole la charge de l'approvisionnement en cas de dépassement Les tensions, les tensions et les sorties d'élimination seraient d'une grande importance si ce projet devait être commercialisé à grande échelle.

Je conclurai ce projet en tirant les deux principales choses qu'il m'a apporté. Tout d'abord sur le point technique il m'a permis de mieux comprendre les énergies photovoltaïques et

surtout de quoi ces installations sont composées. Il m'a permis également sur le point personnel de développer Je conclurai ce projet en tirant les deux principales choses qu'il m'a également sur le point personnel de développer mon autonomie,

Je suis ravi que l'on ait réussi à réaliser et surtout à finir ce projet en effet, ce projet m'a forcé à chercher et trouver des informations qu'elles soient dans le domaine de l'électronique ou de la programmation, dans lesquelles je peinais beaucoup au début du projet.

Annexe A Code C du microcontrôleur utilisant le compilateur MicroC pro.

Liste de figures

Chapitre1

Figure1.1 : vue en coupe d'une cellule photovoltaïque.....	6
Figure 1.2 : composants d'un système photovoltaïque.....	9
Figure1.3 : installation photovoltaïque autonome.....	10
Figure1.4 : Batterie PV.....	11
Figure1.5 : Régulateur PV.....	12
Figure1.6 : Onduleur PV.....	13

Chapitre2

Figure2.1 : représentation simplifiée d'une installation PV.....	15
Figure2.2 : Évolution des tendances d'expédition des différents types du convertisseur.....	18
Figure 2.3 : types des convertisseurs.....	20
Figure2.4 : démonstration PWM.....	22
Figure2.5: Pulse Width Modulation of a Sinusoidal.....	21
Figure2.6 : différents ports du pic 16F877A.....	23
Figure2.7 : Schéma bloc présente la structure interne du pic 16F877A.....	24
Figure 2.8: Génération de l'MLI.....	25
Figure 2. 9 : simulation de la partie commande.....	25
Figure2.10 : compilation du programme sous l'interface MicroC for Pic.....	26
Figure2.11 : Plot du résultat de tableau.....	27
Figure2.12 : H-Bridge d'un convertisseur DC-AC.....	29
Figure 2.13 : schéma démonstratif d'un optocoupleur	30
Figure 2.14 : structure de pont H à réalisé.....	31
Figure 2.13 :Conception du système de l'onduleur.....	31
Figure2.15 : Fonctionnement du circuit de contrôleur de charge solaire.....	32
Figure2.16 : Carte arduino Uno R3.....	33

Figure 2.17 : simulation de la partie charge et contrôle de charge.....	35
Figure 2.18 : Compilation du programme sous plateforme arduino.....	36
Figure2.19 : afficheur LCD (4x20).....	36
Figure 2.20 : brochage d'afficher LCD avec arduino.....	38
Figure 2.21 : Architecture et composants du contrôleur.....	38.
Figure2.22 : Les Mosfet et le transistor utilisé.....	40
Figure 2.23 : Description simplifiée du régulateur de courant 7805.....	42.
Figure 2.24 : Capteur de courant ACS712.....	42

Chapitre3

Figure 3.1 : ondes carrées du microcontrôleur.....	45
Figure 3.2 :Signaux PWM générés par un microcontrôleur.....	46
Figure3.3 : Lors de test de la carte.....	46
Figure3.4 : Signal de sortie des optocoupleur vers H-bridge.....	47
Figure3.5 : la carte de commande réalisée.....	47
Figure 3.6: prototype de la carte de puissance (H-Bridge).....	48
Figure3.7: Le transformateur utilisé.....	48

