

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GENIE ÉLECTRIQUE
N° : CE-



DOMAINE : SCIENCES
TECHNIQUES
FILIERE : ÉLECTROTECHNIQUE
OPTION : COMANDE ÉLECTRIQUE

Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master Académique

Présenté Par :

FERHATI HICHAM

Intitulé :

**Commande Programmée d'un Dispositif Travaillant en
Energie Solaire Thermique et Photovoltaïque**

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Benyounes Abdelhafid	MCB	Univ. de M'sila	Président
Bedboudi Mohamed	MCB	Univ. de M'sila	Encadreur
Benslimane Tarek	Professeur	Univ. de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2023 /2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

Je dédie cet humble travail à :

Ma mère et mon père avant tout, qu'ALLAH les protège et prolonge leur vie et leur procure santé et bien-être, qui m'ont aidé tout au long de cette longue étude.

À mes frères et sœurs, ma famille, mes amis et tous ceux qui me sont chers pour m'avoir soutenu.

Pour chaque âme, que Dieu ait pitié d'elle, qui n'a pas été écrit pour son âge, de se tenir avec moi jusqu'à ces moments.

Merci pour tout le soutien que vous m'avez apporté.

Ferhati Hicham

Remerciements

*Nous remercions Allah, qui nous a aidés à accomplir cet humble travail, et nous adressons toute notre reconnaissance et notre sincère gratitude au Monsieur **BEDBOUDI MOHAMMED**, Maître de Conférences à l'université de M'sila, qui n'a pas lésiné des conseils, des instructions et une bonne orientation tout au long de la période de préparation de ce travail.*

Nous adressons également nos sincères remerciements et notre gratitude aux membres jurys pour nous avoir donné part de leur temps et accepté l'étude et la discussion de notre mémoire à bras ouverts.

Nous remercions tous ceux qui nous ont soutenus dans la préparation de ce mémoire, que ce soit par la prière ou par l'information, que Dieu les récompense et les bénisse.

Résumé

Ce projet vise à concevoir et mettre en œuvre un système de commande programmé avec un microcontrôleur PIC 16F876, destiné à gérer une installation hybride combinant l'énergie solaire thermique et photovoltaïque. Le microcontrôleur PIC 16F876 est choisi pour ses fonctionnalités techniques avancées, telles que des convertisseurs analogique-numérique (ADC), un module PWM et une mémoire suffisante pour des programmes complexes, ce qui le rend idéal pour des applications de commande dans des systèmes solaires .

Mots clés :

Énergie solaire, Cellules photovoltaïques, MPPT, Pic 16F876, Proteus , P&O.

المخلص:

يهدف هذا المشروع إلى تصميم وتنفيذ نظام تحكم مبرمج باستخدام متحكم دقيق PIC 16F876، يهدف إلى إدارة تركيب هجين يجمع بين الطاقة الشمسية الحرارية والطاقة الكهروضوئية. تم اختيار المتحكم الدقيق PIC 16F876 لمميزاته التقنية المتقدمة، مثل المحولات التماثلية إلى الرقمية (ADCs)، ووحدة PWM والذاكرة الكافية للبرامج المعقدة، مما يجعله مثاليًا لتطبيقات التحكم في الأنظمة الشمسية.

الكلمات الدالة :

الطاقة الشمسية , الخلايا الكهروضوئية,خوارزمية P&O متحكم دقيق PIC 16F876,MPPT

Sommaire

Introduction générale	1
I Chapitre : Généralités sur les énergies renouvelables	4
I.1 Introduction	4
I.2 Les différents types d'énergies renouvelables.....	4
I.2.1 Solaire	4
I.2.2 Biomasse	5
I.2.3 Eolienne	5
I.2.4 Géothermique	5
I.3 Potentiel national en énergies renouvelables.....	6
I.3.1 Potentiel solaire en Algérie	6
I.3.2 Potentiel de la biomasse	8
I.3.3 Potentiel éolien	9
I.3.4 Le potentiel géothermique.....	9
I.4 Energie solaire.....	10
I.4.1 Introduction	10
I.4.2 Energie solaire Photovoltaïque.....	11
I.4.2.1 Rayonnement solaire	11
I.4.2.2 La cellule solaire	12
I.4.2.3 Rendement photovoltaïque	12
I.4.2.4 Paramètres d'un module photovoltaïque	13
I.4.2.5 Energie solaire thermique.....	13
I.4.2.6 Les utilisations de l'énergie solaire thermique	14
I.5 Conclusion	14
II Chapitre : Le microcontrôleur PIC 16F876	16
II.1 Introduction	16
II.2 Les microcontrôleurs	16
II.3 Caractéristiques générales du PIC 16F876A.....	17
II.3.1 Mémoire	17
II.3.2 Registres	18
II.4 Caractéristiques principales du PIC 16F876A	18
II.4.1 Description des broches	19
II.4.2 Organisation de la mémoire.....	20
II.5 Convertisseur Analogique-Numérique	22
II.5.1 Fonctionnement du convertisseur	22

II.5.2	Justification à droite	23
II.5.3	Justification à gauche	23
II.5.4	Registre ADCON0 (1Fh).....	24
II.5.5	Registre ADCON1 (9Fh).....	25
II.6	Le module CCP (P=PWM)	25
II.7	Temps d'acquisition (T _{acq})	26
II.8	Temps de conversion	27
II.9	Conclusion	27
III	Chapitre : Généralités sur les capteurs solaires thermiques	29
III.1	Introduction	30
III.2	Conversion thermique.....	30
III.3	Les capteurs solaires thermiques	30
III.4	Principe de fonctionnement des capteurs solaires thermique.....	30
III.5	Les différents capteurs solaires thermiques	31
III.5.1	Capteur plan vitré.....	31
III.5.2	Capteur non vitré « dit capteur moquette »	32
III.5.3	Capteurs à tube sous vide	32
III.5.3.1	Capteur à tube vide à circulation directe	33
III.5.3.2	Capteurs a tube sous vide a "Caloduc"	34
III.5.3.3	Les capteurs à tube sous vide à effet "thermos".....	35
III.5.3.4	Les capteurs à tube sous vide "Schott".....	35
III.6	Eléments de constructions d'un capteur plan.....	36
III.6.1	Absorbeur	36
III.6.2	Couverture transparente	36
III.6.3	Le fluide caloporteur	36
III.7	L'orientation et l'inclinaison du capteur	37
III.8	Fiabilité d'un capteur	37
III.9	Les capteurs solaires par concentration	38
III.9.1	Capteur solaire parabolique.....	38
III.9.2	Capteur solaire cylindro-parabolique.....	39
III.10	Chauffe-eau solaire.....	39
III.10.1	Différents types de chauffe-eau solaire	39
III.10.1.1.1	Le chauffe-eau solaire monobloc.....	39
III.10.1.1.2	Les chauffe-eau solaire à éléments séparés	40
III.10.1.1.3	Chauffe-eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon)	40
III.10.1.1.4	Chauffe-eau solaire à circulation forcée.....	41

III.10.1.2	L'effet de serre.....	43
III.10.1.3	Effet thermosiphon.....	44
III.10.1.4	Energie d'appoint.....	44
III.11	Conclusion.....	44
IV	Chapitre : Simulation de système étudié.....	46
IV.1	Schéma global de système à contrôler.....	46
IV.2	Simulation du GPV.....	46
IV.2.1	Modèle du GPV.....	46
IV.2.2	Influence de la température et de l'éclairement.....	48
IV.2.3	Algorithme MPPT.....	49
IV.3	Simulation en proteus.....	50
IV.3.1	Schéma global de simulation.....	50
IV.3.2	Défferents étape de simulation.....	51
IV.3.2.1	Capteur de courant.....	51
IV.3.2.2	Capteur de tension.....	52
IV.3.2.3	Capteur de température.....	53
IV.3.2.4	Pompe de circulation.....	55
IV.3.2.5	Chaudière de secours.....	55
IV.3.2.6	Afficheur LCD.....	55
IV.3.2.7	Signal PWM généré par la MPPT en proteus.....	56
IV.3.2.8	Régulation à hystérésis.....	56
IV.3.3	Organigramme de commande.....	57
IV.4	Conclusion.....	59
	Conclusion générale.....	60

Liste des figures :

Figure I 1	Le soleil.....	4
Figure I 2	Le potentiel solaire en Algerie.....	7
Figure I 3	Carte du relief de l'Algérie. Source CDER.....	9
Figure I 4	Carte géothermique de l'Algérie. Source CDER.....	10
Figure I 5	Réponse spectrale d'une cellule (PV).....	11

Figure I 6 Cellule, module et panneau photovoltaïque	12
Figure I 7 Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque	12
Figure I 8 Caracteristiques electrique dun cellile PV	13
Figure II 1 Brochage du 16F876	19
Figure II 2 Plan Memoire	21
Figure III 1 Composants d'un capteur plan avec vitrage.....	31
Figure III 2 Domaines d'application de capteur plan vitré.....	31
Figure III 3 Capteur non vitré.....	32
Figure III 4 Capteur solaire a tube sous vide	33
Figure III 5 Capteur à tube vide à circulation directe.....	34
Figure III 6 Capteurs a tube sous vide a "Caloduc"	34
Figure III 7 Les capteurs à tube sous vide à effet "thermos"	35
Figure III 8 Principe de fonctionnement d'un capteur à miroirs paraboliques.....	38
Figure III 9 Système à réflecteur Capteurs cylindro-paraboliques	39
Figure III 10 Chauffe-eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon)	41
Figure III 11 Chauffe-eau solaire à circulation forcée	43
Figure IV 1 Schéma global du système à contrôler	46
Figure IV 2 Modèle d'une cellule photovoltaïque	46
Figure IV 3 Schéma de simulation en matlab du panneau photovoltaïque.....	47
Figure IV 4 Caractéristique P-V d'un PV	48
Figure IV 5 Caractéristique I-V d'un PV	48
Figure IV 6 Influence de la température sur GPV	48
Figure IV 7 Influence de l'éclairement sur la puissance et courant du GPV	49
Figure IV 8 Schéma bloc du système photovoltaïque dans SIMULINK/MATLAB	49
Figure IV 9 Tension de sortie du GPV.....	50
Figure IV 10 Courant de sortie du GPV	50
Figure IV 11 Puissance de sortie du GPV	50
Figure IV 12 Schéma global du system étudié en proteus	51
Figure IV 13 photo réelle du ACS712.....	51
Figure IV 14 ACS712 en Proteus	51
Figure IV 15 L'allure de la tension de sortie du capteur ACS712ELC-30A. [42].....	52
Figure IV 16 Diviseur de tension	53
Figure IV 17 Diviseur de tension dans Proteus.....	53
Figure IV 18 pt100 réelle.....	54
Figure IV 19 pt100 4 fils en Proteus.....	54
Figure IV 20 Résistance électrique R d'une sonde platine 100 Ω	54
Figure IV 21 Pompe de circulation réelle	55
Figure IV 22 Pompe de circulation en Proteus	55
Figure IV 23 Photo de Chaudière de secours	55
Figure IV 24 Résistance en proteus	55
Figure IV 25 LCD Réel	56
Figure IV 26 LCD en Proteus connecté en PortB.....	56
Figure IV 27 Signal PWM généré par la MPPT en Proteus.....	56
Figure IV 28 Organigramme de la commande du système par microcontrôleur	58

Notation

MPPT	Maximum Power Point Tracking
PV	Photovoltaïque
GPV	Générateur Photovoltaïque
P&O	Perturbation et observation
MPP	Point de puissance maximale
MOSFET	Métal Oxide Field Effet Transistors

Symbole

I_{cell}	Courant générer par la cellule photovoltaïque (A)
I_{ph_cell}	Le photo-courant de la cellule (A)
I_{d_cell}	Courant circulant dans la diode(A)
I_{Rp_cell}	Courant circulant dans la résistance R_{p_cell} (A)
I_0	Courant de saturation inverse d'une diode (A)
I_{cc}	Courant de court- circuit (A)
I_{pv_cell}	Courant généré par la cellule photovoltaïque (A)
I_{0r} éclairage de référence (A)	Courant de court-circuit de la cellule à la température et
I_{mpp}	Courant maximal (A)
N_s	Cellules en série
N_p	Cellules en parallèle
K	Constante de Boltzmann ($1,38 * 10^{-23}$ J/ K)
q	Charge de l'électron ($1,16 * 10^{-19}$ C)
T	Température de référence des cellules PV [°C]
T_n	Température de la jonction des cellules PV [298°K]

Introduction générale

L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable et inépuisable qui joue un rôle crucial dans la transition énergétique mondiale. Exploiter cette énergie de manière efficace est devenu un objectif majeur pour réduire la dépendance aux combustibles fossiles et minimiser les impacts environnementaux. Deux technologies principales émergent dans ce domaine : l'énergie solaire thermique et l'énergie photovoltaïque [1][2].

L'énergie solaire thermique utilise la chaleur du soleil pour produire de l'énergie, souvent sous forme de chaleur pour le chauffage de l'eau ou pour des applications industrielles. L'énergie photovoltaïque convertit directement la lumière du soleil en électricité à l'aide de cellules solaires [3].

Ce projet se concentre sur la conception et la mise en œuvre d'un système de commande programmée utilisant un microcontrôleur PIC 16F876. Ce système est destiné à gérer une installation hybride combinant l'énergie solaire thermique et photovoltaïque,

Le microcontrôleur PIC 16F876 a été choisi pour ce projet en raison de ses caractéristiques techniques et de sa polyvalence. Ce microcontrôleur est équipé de fonctionnalités avancées telles que des convertisseurs analogique-numérique (ADC), module PWM et une mémoire suffisante pour héberger des programmes complexes. Ces caractéristiques le rendent particulièrement adapté pour des applications de commande et de régulation dans des systèmes énergétiques solaires.

Le mémoire est organisé comme suite:

- Dans le premier chapitre, nous fournirons une définition générale des énergies renouvelables et leurs différents types. Nous présenterons également des informations sur le potentiel de l'Algérie en matière d'énergies renouvelables, avec un accent particulier sur l'énergie solaire en fin du chapitre.
- Le deuxième chapitre sera entièrement dédié à l'étude de la structure du microcontrôleur 16F876A, en détaillant ses différentes caractéristiques pour une meilleure exploitation.

- Le troisième chapitre sera consacré à l'étude de la structure des capteurs solaires et des chauffe-eau, en détaillant leurs différentes caractéristiques pour une meilleure utilisation.
- Dans le dernier chapitre, nous aborderons la simulation du système complet en logiciel proteus et en matlab (vu la difficulté de modéliser le panneau photovoltaïque en proteus).
- Ce mémoire sera clôturé par une conclusion générale et des perspectives à envisager.

Chapitre I :
Généralités sur les énergies
renouvelables

I Chapitre : Généralités sur les énergies renouvelables

I.1 Introduction

Ces dernières années, la production énergétique mondiale et la demande de ressources fossiles est un défi très important pour répondre à la population croissante et au niveau de confort croissant de notre société moderne et à la demande croissante de niveaux d'énergie dans les sociétés industrialisées. Sources d'énergie fossiles (pétrole, gaz, charbon et uranium...). D'autre part, la forte consommation de ces ressources non renouvelables entraîne des émissions de gaz à effet de serre, de sorte que l'augmentation de la pollution et de la terreur réduit la préservation de ces sources d'énergie pour les générations futures.

I.2 Les différents types d'énergies renouvelables

I.2.1 Solaire

Le soleil (figure I.1) est un moyen naturel inépuisable disponible presque toute l'année.



Figure I .1. Le soleil

Produire de l'électricité solaire n'est plus, depuis longtemps, une utopie.

Des toits solaires ayant une puissance de quelques kilowatts jusqu'aux centrales de quelques mégawatts, toutes ces installations contribuent à un approvisionnement en énergie respectueux de l'environnement et grâce à leur souplesse, recèlent d'énormes potentiels pour le secteur de l'énergie.

Aussi avec les centrales héliothermiques, il est possible d'utiliser l'énergie du soleil à l'échelle industrielle pour la production d'électricité (grâce à la transformation du rayonnement solaire en chaleur).

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

L'énergie solaire est inépuisable, gratuite et non polluante et même si l'énergie solaire reçue par la terre est d'intensité variable, intermittente et peu dense, son utilisation offre de nombreuses possibilités.

Parmi ses nombreuses applications, on distingue le solaire thermique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur et le solaire photovoltaïque qui convertit la lumière en électricité [4].

I.2.2 Biomasse

La biomasse représente l'ensemble de la matière organique, qu'elle soit d'origine végétale ou animale. Elle peut être issue de forêts, milieux marins et aquatiques, haies, parcs et jardins, industries générant des co-produits, des déchets organiques ou des effluents d'élevage. Elle est la source d'énergie principale pour cuisiner et se chauffer. Cette biomasse qui comprend tous les produits obtenus à partir de plantes ou de résidus de plantes, secs ou déshydratés comme le bois, la paille, les grignons d'olives, la bagasse de la canne à sucre, est exploitée par combustion ou métabolisation. Mais pour être une réelle énergie renouvelable, les quantités brûlées ne doivent pas excéder les quantités produites. En fonction des besoins, elle permet une production de chaleur ou d'électricité. De ce fait, sa participation à la production d'énergie mondiale est énorme par rapport aux autres énergies [5].

I.2.3 Eolienne

Une hélice entraînée en rotation par la force du vent permet la production d'énergie mécanique ou électrique en tout lieu suffisamment venté. Les applications de l'énergie éolienne sont variées mais la plus importante consiste à fournir de l'électricité. Ce sont des parcs d'aérogénérateurs ou «fermes» éoliennes. Ils mettent en œuvre des machines de moyenne et grande puissance (200 à 2 000 kW). Des systèmes autonomes, de 500 W à quelques dizaines de kW, sont intéressants pour électrifier des sites isolés du réseau électrique (îles, villages...), et récemment dans des buildings ultra modernes, citant ici les twin-towers du Bahreïn [6].

I.2.4 Géothermique

La chaleur naturellement présente dans le sous-sol de notre planète représente une formidable source d'énergie. Plus on creuse profondément, plus on atteint des températures élevées. La géothermie utilise cette chaleur pour le chauffage et la production d'électricité. Selon la température des différentes couches du sol, on qualifie la géothermie de « haute énergie

» (150 °C), « moyenne énergie » (entre 90 et 150 °C), « basse énergie » (entre 30 et 90 °C) et de « très basse énergie » (moins de 30 °C). Ainsi, plus on s'enfonce dans la terre, plus la température y est élevée et on pourra en faire des usages différents. L'énergie géothermique est une puissance développée par l'exploitation de la chaleur sous la surface de la terre. Des puits sont utilisés pour transporter la vapeur et l'eau chaude dans les profondeurs de la terre, jusqu'à la surface. L'eau chaude utilisée fait tourner les turbines afin de produire l'énergie électrique ou chauffer des locaux [7].

I.3 Potentiel national en énergies renouvelables

Le potentiel national en énergies renouvelables étant fortement dominé par le solaire, l'Algérie considère cette énergie comme une opportunité et un levier de développement économique et social, notamment à travers l'implantation d'industries créatrices de richesse et d'emplois. Cela n'exclut pas pour autant le lancement de nombreux projets de réalisation de fermes éoliennes et la mise en œuvre de projets en biomasse, en géothermie et en cogénération [8].

I.3.1 Potentiel solaire en Algérie

Grâce à sa situation géographique, l'Algérie possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde. Presque tous les territoires du pays bénéficient de plus de 2 000 heures d'ensoleillement par an, avec un maximum de 3 900 heures (Plateau et désert du Sahara).

Dans la plupart des régions du pays, l'énergie reçue par 1 mètre carré de niveau d'eau est d'environ 5 kWh par jour, c'est-à-dire que le nord est proche de 1700 kWh/mètre carré par an et le sud est proche de 2263 kWh/m²/an. Au Sahara, ce potentiel, s'il est exploité économiquement, pourrait être un facteur important de développement durable [9].

Le tableau (I-1) et la figure (I-2) suivants montrent le taux d'insolation dans différentes régions de l'Algérie, qui dispose d'une réserve d'énergie solaire de plus de 5 milliards de GWh/an

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

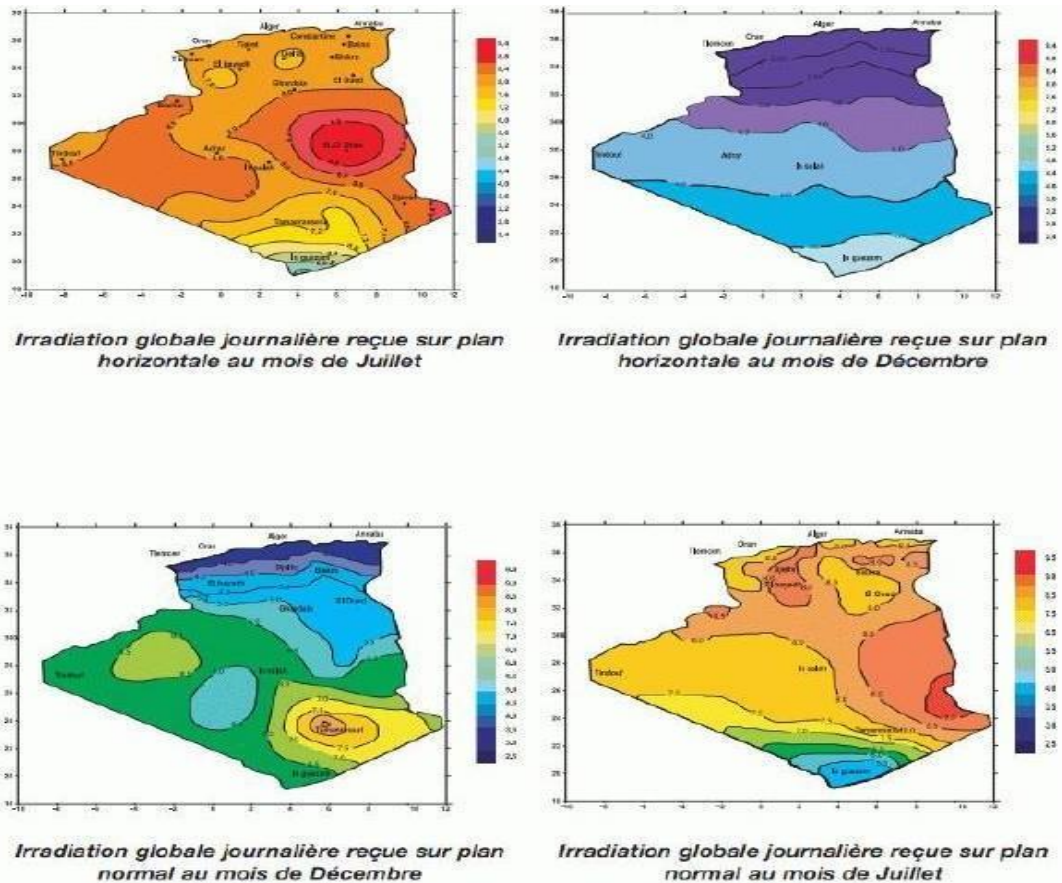


Figure I. 2. Le potentiel solaire en Algérie

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie	4%	10%	86%
Durée moyenne d'ensoleillement (Heures /an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m ² /an)	1700	1900	2650

Tableau I .1. Le taux d'ensoleillement pour chaque région de l'Algérie

Les projets des énergies renouvelables de production de l'électricité dédiés au marché national seront menés en deux étapes [10] :

Première phase 2015 - 2020 Cette phase présente la réalisation d'une puissance de 4000 MW, entre photovoltaïque et éolien avec une soixantaine de centrales, ainsi que 500 MW, entre biomasse, cogénération et géothermie.

Deuxième phase 2021 - 2030 Le développement de l'interconnexion électrique

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

entre le nord et le sud (Adrar), permettra l'installation de grandes centrales d'énergies renouvelables dans les régions d'In Salah, Adrar, Timimoun et Béchar et leur intégration dans le système énergétique national.

A cette échéance, le solaire thermique pourrait être économiquement viable.

La stratégie de l'Algérie en la matière vise à développer une véritable industrie des énergies renouvelables associée à un programme de formation et de recherche ainsi que l'acquisition de l'expérience nécessaire, qui permettra, à terme, d'employer le génie local algérien, pour toutes les phases de développement de ces domaines.

Le programme des énergies renouvelables, pour les besoins d'électricité du marché national, permettra la création de plusieurs dizaines de milliers d'emplois directs et indirects.

La production d'électricité est estimée atteindre 90 TWh en 2020 et à 170 TWh en 2030.

L'intégration du renouvelable dans le mix énergétique constitue un enjeu majeur en vue de préserver les ressources fossiles, de diversifier les filières de production de l'électricité et de contribuer au développement durable.

Toutes ces considérations justifient, dès aujourd'hui, la forte intégration des énergies renouvelables dans la stratégie d'offre énergétique à long terme, tout en accordant un rôle important à l'efficacité énergétique.

Associée au développement des énergies renouvelables, l'efficacité énergétique permet une réduction des investissements nécessaires à la satisfaction des besoins énergétiques, à travers une bonne maîtrise de la consommation et du rythme de croissance de la demande.

I.3.2 Potentiel de la biomasse

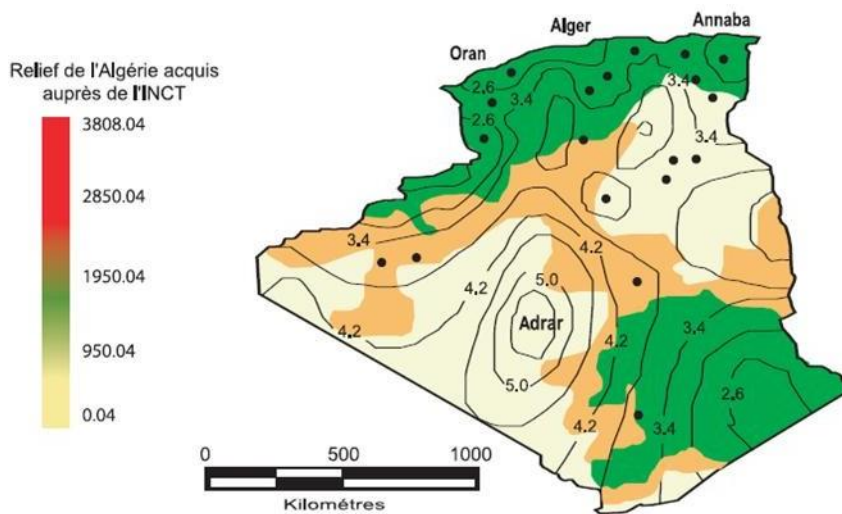
Géographiquement parlant, l'Algérie se subdivise en deux parties [11] :

- Les régions selvatiques qui occupent 25.000.000 hectares environ, soit un peu plus de 10% de la superficie totale du pays.
- Les régions sahariennes arides couvrant presque 90% du territoire. Dans le nord de l'Algérie, qui représente 10% de la surface du pays, soit 2.500.000 hectares, la forêt couvre 1 800 000 hectares et les formations forestières dégradées en maquis 1 900 000 hectares.

Le pin maritime et l'eucalyptus sont des plantes particulièrement intéressantes pour l'usage énergétique actuellement elles n'occupent que 5% de la forêt algérienne.

I.3.3 Potentiel éolien

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est dû principalement à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien. La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le sud-ouest, avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar. Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret ainsi que dans la région délimitée par Bejaïa au Nord et Biskra au Sud [12].



Tracé des vitesses moyennes du vent à 10 m du sol

Figure I.3. Carte du relief de l'Algérie. Source CDER

I.3.4 Le potentiel géothermique

Les calcaires jurassiques du Nord algérien qui constituent d'importants réservoirs géothermiques, donnant naissance à plus de 200 sources thermales localisées principalement dans les régions du Nord-est et Nord-Ouest du pays. Ces sources se trouvent à des températures souvent supérieures à 40°C, la plus chaude étant celle de Hammam

Chapitre I : Généralités sur les énergies renouvelables

Meskhoutine (96°C). Ces émergences naturelles qui sont généralement les fuites de réservoirs existants, débitent à elles seules plus de 2 m³/s d'eau chaude. Ceci ne représente qu'une infime partie des possibilités de production des réservoirs. Plus au Sud, la formation du continental intercalaire, constitue un vaste réservoir géothermique qui s'étend sur plusieurs milliers de Km². ce réservoir, appelé communément « nappe albienne » est exploité à travers des forages à plus de 4 m³/s. l'eau de cette nappe se trouve à une température moyenne de 57 °C. Si on associe le débit d'exploitation de la nappe albienne au débit total des sources thermales, cela représenterait, en termes de puissance, plus de 700 MW [13] .

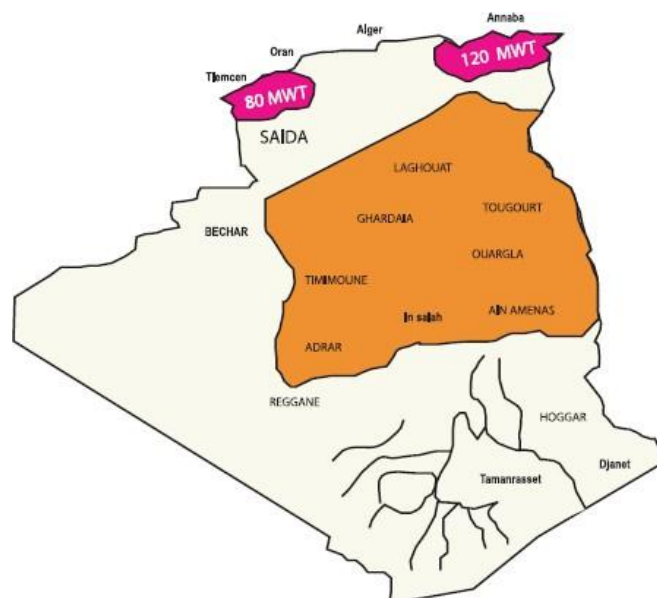


Figure I.4. Carte géothermique de l'Algérie. Source CDER

I.4 Energie solaire

I.4.1 Introduction

L'énergie solaire occupe une place très importante parmi les différentes sources d'énergies renouvelables. Un effort accru existe depuis ces dernières décennies pour développer l'utilisation directe de cette forme d'énergie afin de la transformer en chaleur, en électricité ou en une forme d'énergie chimique plus facilement stockable (hydrogène par exemple).

Une connaissance précise de la distribution de l'irradiation solaire sur un site géographique particulier est d'une grande importance pour le dimensionnement des

systèmes photo thermiques ou photovoltaïques.

Le manque de moyens de mesure et la non disponibilité de stations météorologiques à grande échelle, représentent des difficultés qui ont permis aux chercheurs d'établir des méthodes d'estimation du rayonnement solaire en se basant sur les données météorologiques. [14].

I.4.2 Energie solaire Photovoltaïque

Les générateurs photovoltaïques (GPV) offrent une avenue pour la conversion directe de l'énergie solaire en électricité grâce à l'utilisation de cellules solaires. Ces cellules sont typiquement fabriquées à partir de matériaux semi-conducteurs. Leur arrangement en configurations série ou parallèle forme un module PV.

Cette source d'énergie est non seulement sûre et fiable, mais aussi respectueuse de l'environnement et ne nécessite pas d'entretien. Elle est adaptée à une multitude d'applications, allant de fractions de watt à plusieurs mégawatts. La majorité des modules disponibles sur le marché aujourd'hui offrent une garantie de plus de 20 ans et ont la capacité de fonctionner au-delà de cette durée [15].

I.4.2.1 Rayonnement solaire

Même si la distance entre le Soleil et la Terre est de 150,106 kilomètres, les couches de la Terre reçoivent toujours une énergie massive de 180,106 GW. Cette énergie est émise par la surface du Soleil sous forme de rayonnement électromagnétique d'une longueur de 0,22 à 10 μm . L'énergie associée à ce rayonnement solaire se compose grosso modo comme suit [16] :

- 9% dans la bande des ultraviolets ($< 0.4 \mu\text{m}$).
- 47% dans la bande visible ($0.4 \text{ à } 0.8 \mu\text{m}$).
- 44% dans la bande des infrarouges ($> 0.8 \mu\text{m}$).

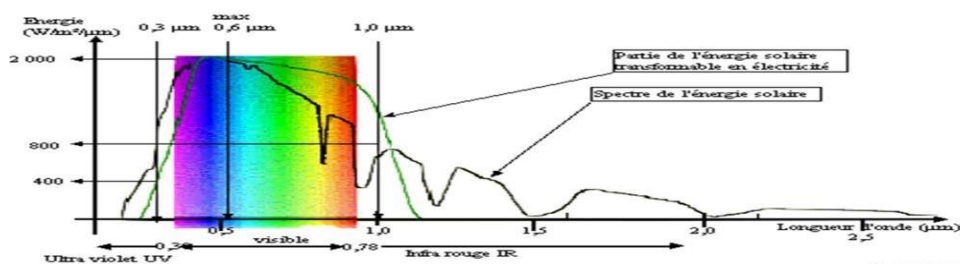


Figure I. 5. Réponse spectrale d'une cellule (PV)

I.4.2.2 La cellule solaire

Une cellule photovoltaïque, également appelée cellule solaire, est l'unité de base d'un système à courant continu qui convertit l'énergie solaire en courant continu ou alternatif. Il utilise le phénomène physique "effet photovoltaïque" dans lequel la force électromotrice est générée lorsque la lumière frappe la surface de la cellule. La tension résultante varie entre 0,3 V et 0,6 V, selon le matériau semi-conducteur utilisé et sa température. Cette tension est appelée tension en circuit ouvert (V_{co}) et dépend fortement de la température. Le courant maximal qui peut se produire lorsque les pôles de la batterie sont court-circuités est appelé courant de court-circuit (I_{cc}) et dépend fortement de l'intensité lumineuse (S) [17].



Figure I .6 .Cellule, module et panneau photovoltaïque

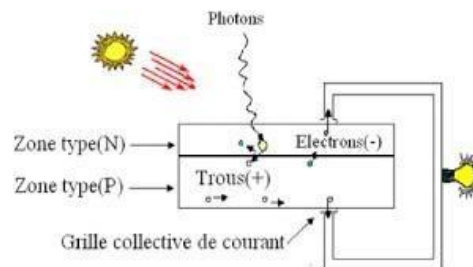


Figure I .7 .Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

I.4.2.3 Rendement photovoltaïque

L'efficacité photovoltaïque est un facteur très important pour les modules photovoltaïques et est définie comme le taux de conversion d'énergie d'une cellule solaire.

Les rendements commerciaux les plus élevés pour les cellules monocristallines se situent autour de 12 à 17 % [18].

I.4.2.4 Paramètres d'un module photovoltaïque

Cette caractéristique dépend de la puissance de rayonnement reçue par unité de surface (la grandeur est appelée éclairement (W/m^2). Ses principaux paramètres sont les suivants [19]

- **Courant de court-circuit (I_{cc})** Proportionnel à l'éclairement et à la surface de la cellule. Il est obtenu lorsque le module PV est en condition de court-circuit ($V_{oc} = 0$), ce qui représente le courant maximal produit par la cellule photovoltaïque.
- **Tension de circuit ouvert (V_{oc})** proportionnelle à la température. Il est généré en condition de circuit ouvert ($I_{cc} = 0$). Il représente la tension maximale générée par le panneau photovoltaïque.
- **Point de puissance maximale (P_{pm})** Indique le point où le produit $P \cdot I$ est maximal. Il se situe au coude de la courbe. La puissance maximale (P_{max}) correspond à la tension maximale (V_{mpp}) et au courant maximal (I_{mpp}).

$$P_{max} = V_{mpp} * I_{mpp} \dots\dots(I.1)$$

Par conséquent, chaque panneau est caractérisé par quatre valeurs (V_{oc} , I_{cc} , I_{mpp} et V_{mpp}), qui sont mesurées en STC (Standard Test Conditions), soit $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ d'éclairement et une température de 25°C .

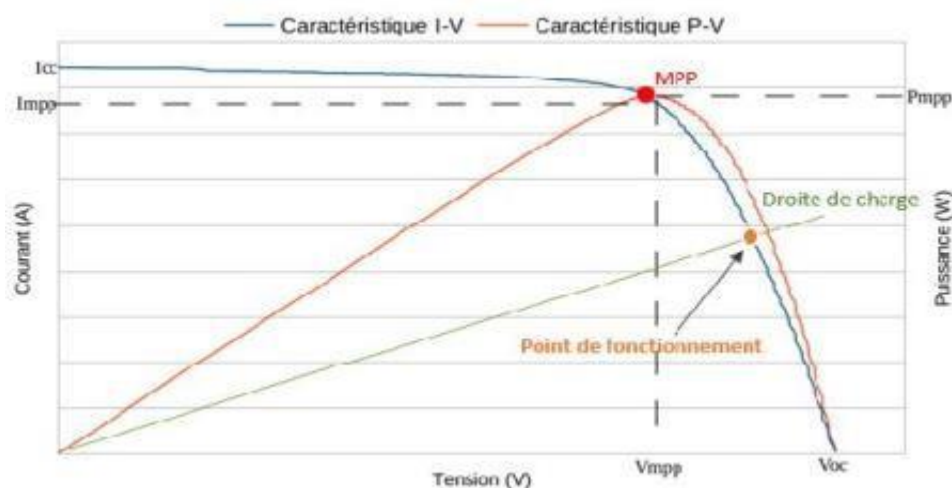


Figure I.8 .Caracteristiques électrique dun cellule PV

I.4.2.5 Energie solaire thermique

L'énergie solaire thermique est dérivée du rayonnement du soleil qui augmente la température d'un corps exposé sous ce rayonnement. Cette source d'énergie est connue depuis très longtemps et utilisée dans la vie quotidienne. L'énergie solaire est

essentiellement utilisée pour le chauffage de l'eau, de l'air, ou d'un bâtiment tout entier [20]

Côté technique, deux méthodes sont appliquées pour transformer le rayonnement solaire en énergie thermique

- Soit en concentrant et en collectant la chaleur grâce à des panneaux noirs.
- Soit en concentrant les rayons en un seul endroit.

Le principal intérêt de l'énergie solaire thermique, c'est sa simplicité les panneaux destinés au chauffage sont simples, solides, résistants et durables.

I.4.2.6 Les utilisations de l'énergie solaire thermique

- Cette énergie couvre en moyenne 50 % des besoins en chauffe-eau et autre complément de chauffage en France. L'installation se fait souvent sur la toiture d'une maison indépendante ou d'un bâtiment tout entier. Il s'agit de capteurs vitrés dans lesquels circule un liquide caloporteur réchauffé par le rayonnement du soleil.

- L'énergie solaire thermique est aussi utilisée pour les machines frigorifiques comme le réfrigérateur à absorption de gaz, les camping-cars et les caravanes.

- D'autres utilisations de l'énergie thermique telle les sècheurs solaires et les cuisinières sont en vogue en Chine et en Inde. On distingue plusieurs types de cuiseurs

- Le cuiseur boîte est composé d'un ou plusieurs panneaux solaires qui concentrent l'énergie sur une boîte vitrée.

- Le cuiseur à panneaux est doté de plusieurs panneaux qui concentrent la chaleur sur une cloche en verre dans laquelle sont placés les aliments.

- Le système parabolique qui est composé de disques concaves.

I.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté une définition générale des énergies renouvelables et de leurs types. Nous avons fourni des informations sur la capacité de l'Algérie en matière d'énergies renouvelables et nous nous sommes davantage concentrés sur l'énergie solaire à la fin du chapitre.

Chapitre II :
Le microcontrôleur PIC 16F876

II Chapitre : Le microcontrôleur PIC 16F876

II.1 Introduction

Comme nous l'avant mentionner dans l'introduction générale notre carte de commande est basé sur le microcontrôleur 16F876. Etant donné l'utilité de ce composant nous avons jugés nécessaire de consacré un chapitre qui décrit ce type de circuit intégré [21].

La connaissance des différentes caractéristiques de ce composant va nous aider à mieux concevoir notre montage.

L'avènement des microcontrôleurs, qui associent au microprocesseur de base un programme intégré au circuit, ainsi que des périphériques et de la mémoire, a permis de faire évoluer les montages vers encore plus de simplicité et de rapidité, les périphériques étant intégrés au circuit. Les microcontrôleurs sont aujourd'hui implantés dans la plupart des réalisations grand public ou professionnelles, ils gèrent au plus juste et au plus vite les applications. Il existe aujourd'hui de nombreuses familles de microcontrôleurs.

La société américaine Microchip Technologie a mis au point dans les années quatre-vingt-dix un microcontrôleurs CMOS (Complementary Metal-Oxide Semi-conducteur), le PIC. Ce composant, très utilisé à l'heure actuelle, est un compromis entre simplicité d'emploi, rapidité et prix de revient.

Les PIC font partie de la famille des microcontrôleurs, ils possèdent notamment un jeu d'instructions réduit, ce qui caractérise la famille des circuits RISC (Reduced Instruction Set Computer). Ils sont appréciés pour leur rapidité d'exécution et leur simplicité de mise en œuvre

II.2 Les microcontrôleurs

Un microcontrôleur se présente comme étant une unité de traitement de l'information de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, à savoir microprocesseur, des mémoires et des périphériques (ports, timers, convertisseurs...). Chaque fabricant a sa ou ses familles de microcontrôleur. Une famille se caractérise par un noyau commun (le microprocesseur, le jeu d'instruction...). Ainsi les fabricants peuvent présenter un grand nombre de pins qui s'adaptent plus au moins à certaines tâches. Mais un programmeur connaissant une famille n'a pas besoin d'apprendre à utiliser chaque membre, il lui faut connaître juste ces différences par rapport au père de la famille. Ces différences sont souvent, la taille des mémoires, la présence ou l'absence des périphériques et leurs nombres [22].

L'utilisation des microcontrôleurs pour les circuits programmables à plusieurs points forts et bien réels. Il suffit pour s'en persuader, d'examiner la spectaculaire évolution de l'offre des fabricants de circuits intégrés en ce domaine depuis quelques années.

Nous allons voir que le nombre d'entre eux découle du simple sens.

- Tout d'abord, un microcontrôleur intègre dans un seul et même boîtier ce qui, avant nécessitait une dizaine d'éléments séparés. Il résulte donc une diminution évidente de l'encombrement de matériel et de circuit imprimé.
- Cette intégration a aussi comme conséquence immédiate de simplifier le tracé du circuit imprimé puisqu'il n'est plus nécessaire de véhiculer des bus d'adresses et de donnée d'un composant à un autre.
- L'augmentation de la fiabilité du système puisque, le nombre des composants diminuant, le nombre des connexions composants/supports ou composants/circuits imprimés diminue.
- Le microcontrôleur contribue à réduire les coûts à plusieurs niveaux :
 - Moins cher que les autres composants qu'il remplace.
 - Diminuer les coûts de main d'œuvre.
- Réalisation des applications non réalisables avec d'autres composants.

II.3 Caractéristiques générales du PIC 16F876A

Le PIC 16F876 fait partie des sous-familles des PICs 16F87X. Leurs caractéristiques techniques sont les suivantes [21] :

II.3.1 Mémoire

Les mémoires du PIC 16F876 sont divisées en trois parties :

- **Mémoire Programmable**

Une mémoire contenant le programme à exécuter par le microcontrôleur. Cette mémoire a la particularité de sauvegarder en permanence les informations qu'elle contient même en absence de tension. La mémoire programme de notre PIC 16F876 est de type flash qu'on peut effacer électriquement, alors on peut la reprogrammer plusieurs fois. La capacité de cette mémoire est de 8 KO.

- **EEPROM**

La mémoire EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory) est

constituée de 256 octets, qu'on peut lire et écrire depuis notre programme. Ces octets sont conservés après une coupure de courant et sont très utiles pour conserver des paramètres semi-permanents. Leur utilisation implique une procédure spéciale, car ce n'est pas de la RAM, mais bien une ROM de type spéciale. Il est donc plus rapide de la lire que d'y écrire.

- **RAM :**

Une mémoire vive également appelée RAM (Random Access Memory). Cette mémoire permet de sauvegarder temporairement des informations. Il est à noter que le contenu d'une RAM n'est sauvegardé que pendant la phase d'alimentation du circuit. La mémoire RAM disponible du PIC 16F876 est de 368 octets. Elle est organisée en 4 banques, dans chacune des banques nous allons trouver des cases mémoires spéciales appelés **registres spéciaux** et des cases mémoires libres [21].

II.3.2 Registres

Il existe plusieurs types de registres. Parmi les registres les plus utilisés on peut citer [22] :

- Registre OPTION.
- Registre STATUS.
- Registre INTCON.

II.4 Caractéristiques principales du PIC 16F876A

Les caractéristiques principales du PIC16F876 sont les suivantes [23] :

- Fréquence de fonctionnement élevée : DC-20 MHz.
- Période d'exécution d'une instruction : DC-200 ns.
- De plus de mémoire de données RAM – 368 Octets (répartie sur 4 banques).
- De plus de mémoire de données FLASH – 8k mots de 14Bits.
- De plus de mémoire de données EEPROM – 256 Octets.
- De plus de ports d'entrée/sortie (22 E/S) : PORTA (6 lignes), PORTB (8 lignes), PORTC (8 lignes).
- Chaque sortie peut fournir un courant maximum de 25mA.
- Trois temporisateurs (Timers) :

Timer0(8bits)

Il peut être incrémenté par des impulsions extérieures via la broche (TOCKI/ RA4) ou par l'horloge interne ($F_{osc}/4$).

Timer1(16bits)

Chapitre II: Le microcontrôleur PIC 16F876

Il peut être incrémenté soit par l'horloge interne, par des impulsions sur la broche T1CKI/RC0 ou par un oscillateur (RC ou quartz) connecté sur les broches TOSO/RCO et TIOSI/RC1.

Timer2(8bits)

Il est incrémenté par l'horloge interne, celle qui peut être pré-divisé.

- De nouvelles fonctionnalités (port série MSSP ou USART).
- Module convertisseur analogique/numérique à plusieurs canaux (AN0 jusqu'à AN4) d'une résolution de 10 bits.

II.4.1 Description des broches

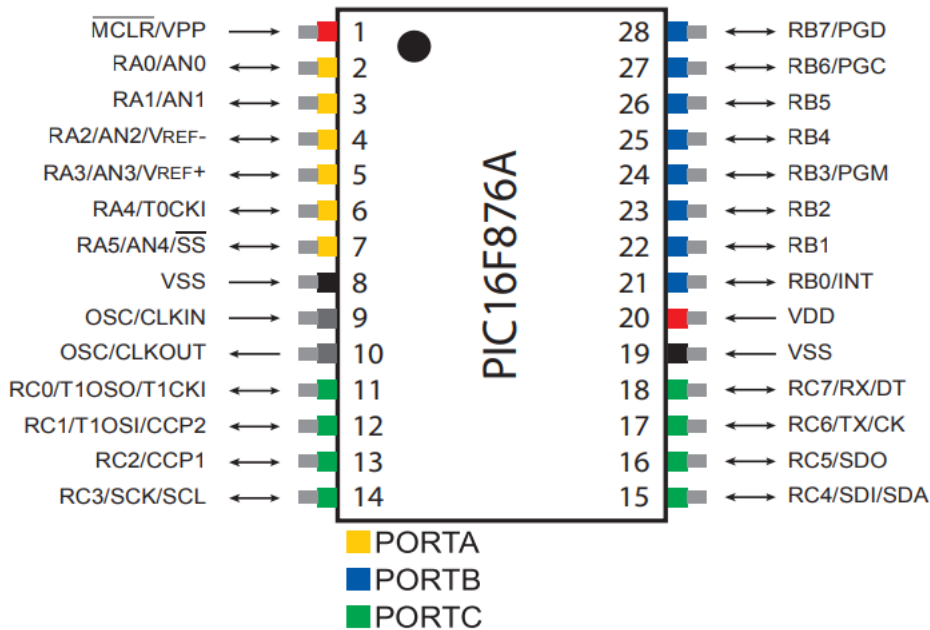


Figure II .1. Brochage du 16F876

PORTA (6 lignes) :

Le port A peut être configuré comme une Entrée/Sortie numérique bidirectionnelle ou bien :

- Comme des canaux d'entrées analogiques (AN0 à AN4).
- Comme entrées des tensions de références (RA2/AN2/V_{REF-}, RA3/AN3/V_{REF+}).
- Comme un sélecteur de port série synchrone (\overline{SS}).

PORTB (8 lignes) :

Le port B peut être configuré comme une Entrée/Sortie numérique bidirectionnelle ou bien :

- Comme une broche d'alimentation de programmeur (PGM).
- Comme une broche d'horloge de programmation (PGC).
- Comme une broche des données de programmeur (PGD).

Les lignes PGM, PGC, PGD permettent de programmer le PIC avec basse tension (5V).

PORTC (8 lignes) :

Le port C peut être configuré comme une Entrée/Sortie numérique bidirectionnelle ou bien :

- Comme sortie d'oscillateur, entrée d'horloge de TIMER1 (RC0/T10S0/T1CKI).
- Comme entrée oscillateur de TIMER1 ou entrée de capture 2 / sortie de comparateur 2 / sortie de PWM2 (RC1/T10SI/CCP2).
- Comme entrée/sortie de l'horloge de synchronisation série de module MSSP (SDA/SDO).
- Comme entrées/sortie de module de transmission série des données (RC6/TX/CK), (RC7/RX/DT).

II.4.2 Organisation de la mémoire

Le plan mémoire est linéaire, les adresses vont de 0000h à 1FFFh (8k mots de 14 bits), par page de 2K mots. On peut remarquer que le vecteur de reset est figé en 0000h [22].

Les PICs n'ont qu'un seul vecteur d'interruption en 0004h. Lors d'une interruption, le sous-programme associé devra déterminer quel périphérique a demandé une interruption.

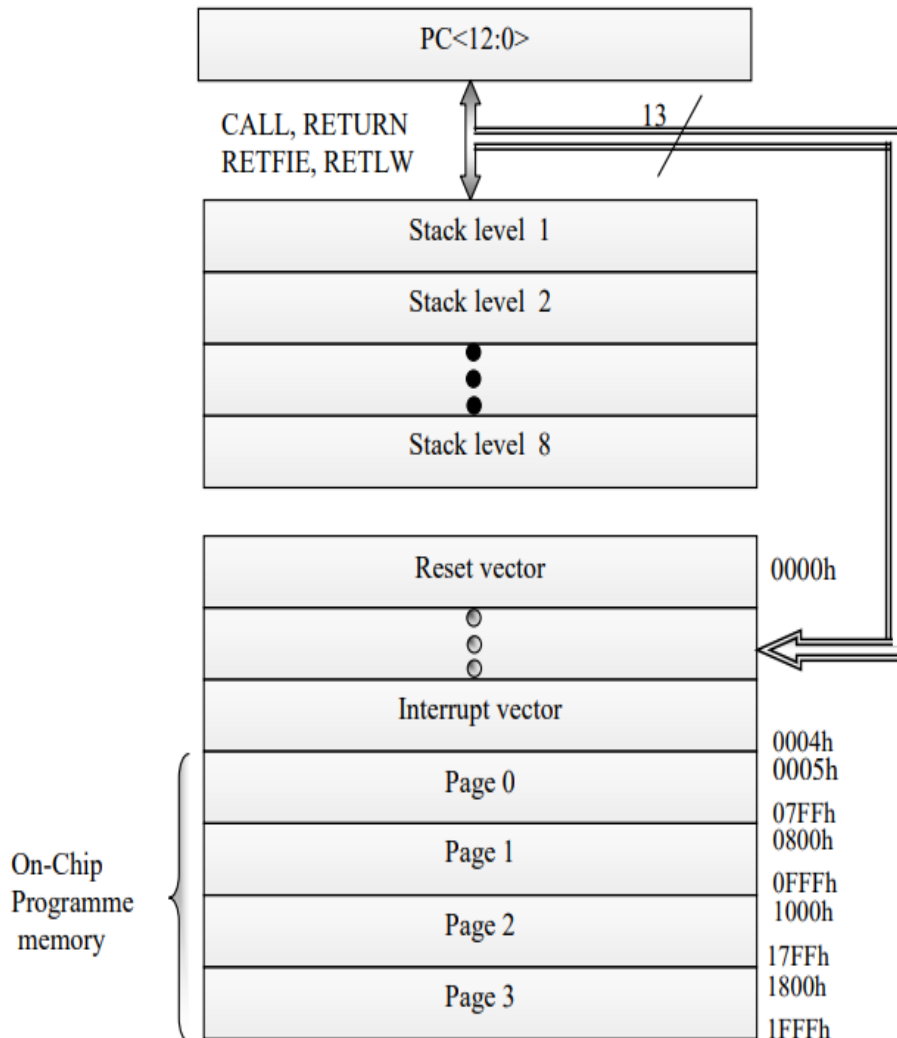


Figure I .2. Plan Memoire

La pile utilisée par les sous programmes n'est pas implantée en mémoire de données comme avec les microcontrôleurs classiques, mais dans la mémoire programme. Elle sont utilisée lors d'appels de sous programmes, on ne peut pas imbriquer plus de 8 sous programmes.

II.5 Convertisseur Analogique-Numérique

Le convertisseur Analogique-Numérique est à approximations successives et il possède une résolution de 10 bits. Il est composé de [24] :

- Multiplexeur analogique 5 voies (PIC16F876).
- Echantillonneur bloqueur.
- Convertisseur Analogique-Numérique de 10 bits.

II.5.1 Fonctionnement du convertisseur

La conversion se passe en deux temps :

- 1^{er} temps : le signal à convertir est appliqué sur l'entrée à convertir, ce signal doit être présent au moins pendant le temps T_{acq} (temps d'acquisition environ $20\mu S$ pour 5V).
- 2^{ème} temps : la conversion à approximations successives

Chapitre II: Le microcontrôleur PIC 16F876

Le temps de conversion minimum est de 12 TAD (TAD c'est le temps de conversion dépendant de l'horloge interne, typiquement 1.6 μ s). La conversion est terminée, GO/DONE repasse à 0. Donc pour pouvoir lire le résultat dans les registres ADRESL et ADRESH il suffit d'attendre que le bit GO/DONE passe à 0.

La valeur résultante N de la conversion ADRESH: ADRESL est égale à :

$$N (\text{valeurs numérisées}) = ((VIN - VREF-) / (VREF+ - VREF-)) * 1023$$

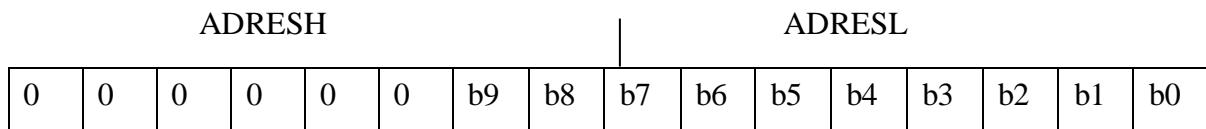
Si $VREF+ = VDD = 5V$ et $VREF- = VSS = 0V$

Alors :

$$N (\text{valeurs numérisées}) = 1023 * (VIN / 5)$$

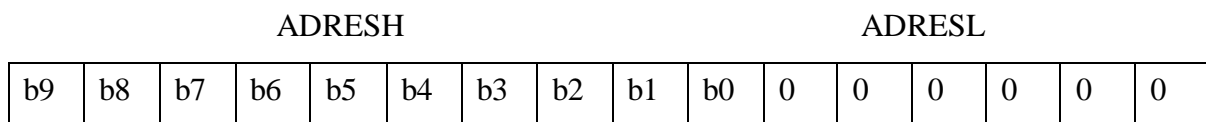
II.5.2 Justification à droite

Complète la partie gauche du résultat par des « 0 ». Le résultat sera donc de la forme : [21]



II.5.3 Justification à gauche

Procède bien évidemment de la méthode inverse.



La justification à droite sera principalement utilisée lorsque nous avons besoin de l'intégralité des 10 bits de résultat.

II.5.4 Registre ADCON0 (1Fh)

Ce registre est le dernier utilisé par le convertisseur Analogique-Numérique. Il contient les bits que nous allons manipuler lors de notre conversion. Sur les 8 bits de ce registre, 7 seront utilisés [21].

ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
-------	-------	------	------	------	---------	---	------

Bit 7-6 ADCS1, ADCS0 : (A/D Conversion Clock Select bits).

00 = $F_{osc}/2$, pour fréquence maximale 1,250 MHz.

01 = $F_{osc}/8$, pour fréquence maximale 5,000 MHz.

10 = $F_{osc}/32$, pour fréquence maximale 20,000 MHz.

11 = Osc RC, Si > 1MHz.

Elles configurent le facteur du diviseur, afin de déterminer l'horloge du convertisseur en fonction de la fréquence du quartz utilisé (F_{osc}).

Bit 5-3 CHS2, CHS0: (Analog Channel Select bits).

000 = canal analogique 0, (RA0/AN0).

001 = canal analogique 1, (RA1/AN1).

010 = canal analogique 2, (RA2/AN2).

011 = canal analogique 3, (RA3/AN3).

100 = canal analogique 4, (RA5/AN4).

A partir de ces bits, on peut sélectionner les canaux utilisés comme des entrées analogiques.

Bit 2 GO/DONE (A/D Conversion Status bit, DONE: fait la conversion).

1 = Conversion A/N en marche (commence la conversion A/N).

0 = Conversion A/N non en marche (ce bit est automatiquement libéré par le matériel quand la conversion A/N est complète).

Bit 1 Inutilisé (=0).

Bit 0 ADON : A/D On bit.

1 = Le module convertisseur A/N est actif.

0 = Le module convertisseur A/N non actif.

II.5.5 Registre ADCON1 (9Fh)

Il permet de déterminer le rôle de chacune des pins AN0 à AN4. Il permet donc de choisir si une broche sera utilisée comme entrée analogique, comme entrée/sortie standard (numérique), ou comme tension de référence. Il permet également de décider de la justification du résultat.

ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
------	---	---	---	-------	-------	-------	-------

Bit 7 ADFM (A/D Result **F**or**M**at select bit).

1 : Résultat de la conversion sera justifié à droite.

0 : Résultat de la conversion sera justifié à gauche.

Bit 4-6 Non utilisées (= 0).

Bit 0 à Bit 3 PCFG (**P**ort **C**on**F**i**G**uration control bit).

PCFG Bit3 à Bit0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	V _{ref+}	V _{ref-}	A/D/R ^(*)
0000	A	A	A	A	A	V _{DD}	V _{SS}	5/0/0
0001	A	V _{ref+}	A	A	A	RA3	V _{SS}	4/0/1

II.6 Le module CCP (P=PWM)

Deux modules (CCP1, CCP2) : Capture / Comparateur / PWM [24] :

- 1- Capture de 16-bit, résolution maximale : 12.5 ns.
- 2- Comparateur de 16-bit, résolution maximale : 200 ns.
- 3- PWM (Modulation de largeur d'impulsions), résolution maximale : 10 bit.
 - Utilisent une architecture RISC (Reduce Instruction Set Computer → Processeur à jeu d'instructions réduit). Haut performance du CPU (RISC CPU).
 - Option de sélection de l'Oscillateur plus facile (Oscillateur programmable).
 - Faible consommation, mémoire FLASH/EEPROM haute technologie CMOS.
2mA à 5V, pour : F_{quartz} = 4Mhz. 20 µA à 3V, pour : F_{quartz} = 32Khz.

II.7 Temps d'acquisition (Tacq)

C'est le temps qu'il faut pour que le condensateur interne atteigne une tension proche de la tension à convertir. Cette charge s'effectue à travers une résistance interne (R_{IC}) et la résistance de la source (R_S) connectée au pin. Ce temps est incrémenté du temps de réaction des circuits internes et d'un temps qui dépend de la température (coefficient de température). Il faut savoir en effet que les résistances augmentent avec la température, donc les temps de réaction des circuits également [25] [26].

On note :

R_S : Résistance de source ($<10k\Omega$).

C_{PIN} : Condensateur de pin d'entrée.

R_{IC} : Résistance interne.

SS: Interrupteur d'échantillonneur.

R_{SS} : Résistance de l'échantillonneur.

C_{hold} : Capacité de blocage.

Donc, si on pose :

Tacq : temps d'acquisition total.

Tamp : temps de réaction des circuits.

Tc : temps de charge du condensateur.

Tcoff : temps qui dépend du coefficient de température.

La formule est donc :

$$T_{acq} = T_{amp} + T_c + T_{coff}$$

Le temps de réaction Tamp est typiquement de $2\mu s$, pas donc de problème à ce niveau :

Donc, ce temps Tcoff sera au minimum de 0 (à moins de $25^\circ C$) et au maximum de $[(50(t^\circ_{max}) - 25^\circ C) \cdot 0,05\mu s/^\circ C]$, soit $1,25\mu s$. La température du PIC ne pouvant pas, en effet, excéder $50^\circ C$

$$0 < T_{coff_{max}} < 1,25\mu s$$

Sachant que le condensateur interne (C_{hold}) à une valeur de $120pF$ pour les versions actuelles du PIC16F876. La formule du temps de charge du condensateur est donnée par la relation suivante :

$$T_c = - C_{\text{hold}} \cdot (R_{\text{interne}} + R_{\text{source}}) \cdot \ln(1/2047)$$

Et sachant que : $R_{\text{source}} \approx 1\Omega$

$$R_{\text{interne}} = (R_{\text{IC}} + R_{\text{SS}}) = 1\text{ k}\Omega + 7\text{ k}\Omega = 8\text{ k}\Omega \text{ sous } (5\text{V}, 4\text{MHz})$$

Donc :

$$T_c = 0,914895 \cdot 10^{-9} \cdot (1 + 8 \cdot 10^3).$$

$$T_c = 7,32\ \mu\text{s}$$

A partir de ces valeurs, on peut calculer le temps d'acquisition (T_{acq}) :

$$T_{\text{acq}} = 2\mu\text{s} + 1,25\mu\text{s} + 7,32\mu\text{s} = 10,57\mu\text{s}.$$

Maintenant, pour nos utilisations classiques, sous 5V, nous aurons dans le pire des cas ($R_{\text{source}} = 10\text{ k}\Omega$) :

$$T_c \text{ (typique)} = 16,46\ \mu\text{s}.$$

$$T_{\text{acq}} \approx 20\ \mu\text{s}$$

Donc :

Donc, nous prendrons un T_{acq} de $20\mu\text{s}$ pour un PIC alimenté sous 5V. Si on travaille sous une tension différente, il nous faudra adapter ces valeurs.

II.8 Temps de conversion

Concernant notre PIC, il faut savoir qu'il nécessite, pour la conversion d'un bit, un temps qu'on va nommer T_{AD} . Ce temps est dérivé par division de l'horloge principale. Le diviseur peut prendre une valeur de 2, 8 ou 32 [21].

II.9 Conclusion

Ce chapitre a été totalement consacré à l'étude de la structure du microcontrôleur 16F876A, tout en illustrant ces différentes caractéristiques afin de mieux l'exploiter. On a montré durant ce chapitre que ce CI :

- Dispose d'une mémoire flash pour stocker le programme (donc il est possible de le reprogrammer en cas de bug ou d'évolution). La mémoire flash peut être programmée par le programme lui-même.
- Facile de fabriquer un programmeur et de nombreux outils sont disponibles.

Chapitre II: Le microcontrôleur PIC 16F876

- La mémoire RAM est de taille suffisante.
- Dispose d'un port série, d'un convertisseur analogique numérique et de timers.
- Ce microcontrôleur se trouve partout et est peu coûteux.

Chapitre III :

Généralités sur les capteurs solaires thermiques

III Chapitre : Généralités sur les capteurs solaires thermiques

III.1 Introduction

Vu la nécessité de l'homme pour l'énergie solaire, de jour en jour l'homme à chercher de développée des techniques pour l'exploitation de cette énergie.

Dans ce chapitre nous allons présenter les différents types des capteurs solaires qui sont les principaux organes pour la conversion de rayonnement solaire ainsi les chauffe-eau solaire qui sont servi pour la production de l'eau chaude.

III.2 Conversion thermique

Le solaire thermique est une technique utilisée pour produire de la chaleur à partir du rayonnement du soleil, Il se présente de différentes façons : centrales solaires thermodynamiques, chauffe-eau et chauffage solaires et sécheurs solaires.

La production de cette énergie peut être soit utilisée directement (pour chauffer un bâtiment par exemple) ou indirectement (comme la production de vapeur d'eau pour entraîner des alternateurs et ainsi d'obtenir une énergie électrique) [27].

III.3 Les capteurs solaires thermiques

On appelle un capteur solaire thermique un appareil susceptible de transformer l'énergie du rayonnement solaire en énergie thermique qui peut être utilisée après pour chauffer des locaux, fournir de l'eau chaude sanitaire, sécher les grains, faire fonctionner des moteurs thermiques.

Il existe toute une gamme de capteurs solaires qui permettent de répondre aux différents besoins, leur choix dépend de la température désirée de l'eau chaude et des conditions climatiques pendant la période d'utilisation du système. Il faut choisir le type de capteur qui correspond le mieux au niveau de température auquel on désire. Bien entendu, plus le niveau de température est élevé, plus les technologies mises en œuvre sont évoluées et plus les coûts de production sont élevés [27].

III.4 Principe de fonctionnement des capteurs solaires thermique

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage. La plupart des capteurs sont munis d'une

couverture transparente qui laisse passer la plus grande partie du rayonnement solaire et évite le refroidissement de l'absorbeur. Les échanges par convection entre celui-ci et la couverture transparente sont réduits, de même que l'émission du rayonnement infrarouge de l'absorbeur. C'est le principe de " l'effet de serre ", une isolation thermique est disposée à l'arrière du capteur pour limiter les déperditions thermiques [28].

III.5 Les différents capteurs solaires thermiques

III.5.1 Capteur plan vitré

Ils comprennent un caisson isolant au-dessus duquel est fixée une vitre en verre ou en plastique. A l'intérieur, une feuille métallique noire absorbe l'énergie rayonnée et qui est emprisonnée dans le caisson. Cette chaleur est transmise à un autre fluide caloporteur qui ne gèle pas en hiver. Ce fluide caloporteur circule librement dans des tuyaux vers le point d'utilisation. L'élévation de température par rapport à la température de l'air ambiant peut atteindre $+70^{\circ}\text{C}$. C'est l'idéal pour produire de l'eau chaude pour la maison ou pour le chauffage de tous les types de bâtiments [29].

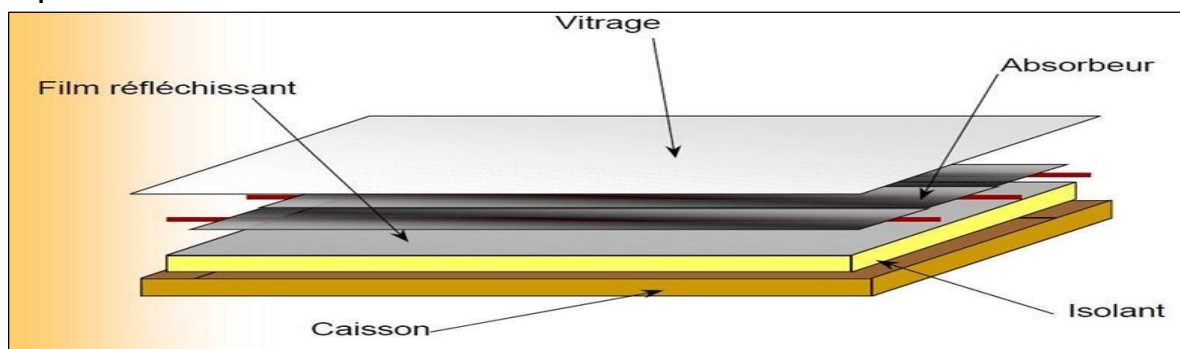


Figure III. 1. Composants d'un capteur plan avec vitrage

Application

Le capteur plan vitré est bien adapté aux besoins des habitations. Ses températures de

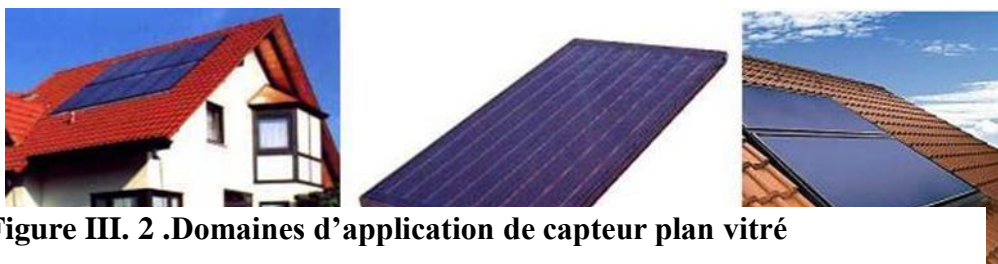


Figure III. 2 .Domaines d'application de capteur plan vitré

fonctionnement correspondent aux températures de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire.

III.5.2 Capteur non vitré « dit capteur moquette »

C'est le modèle le plus simple, le plus économique mais le moins performant. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) sur laquelle sont collés plusieurs tubes porteurs de fluide caloporteur.

Les capteurs plans non vitrés ne sont pas isolés sur la face avant, c'est pourquoi ils répondent mieux à des applications à basse températures (inférieure à 30°C). Le domaine d'utilisation principal de ce type de capteurs est le chauffage des piscines extérieures parce qu'ils n'ont pas de vitrage, ces capteurs absorbent une grande partie de l'énergie solaire. Toutefois, parce qu'ils ne sont pas isolés sur leur face avant, la grande partie de la chaleur absorbée est perdue lorsqu'il y a notamment du vent et que la température extérieure n'est pas assez élevée. Brassé par l'air chaud, ces capteurs absorbent la chaleur échangée en particulier au cours de la nuit lorsque la température est élevée en présence du vent à l'extérieur [30].

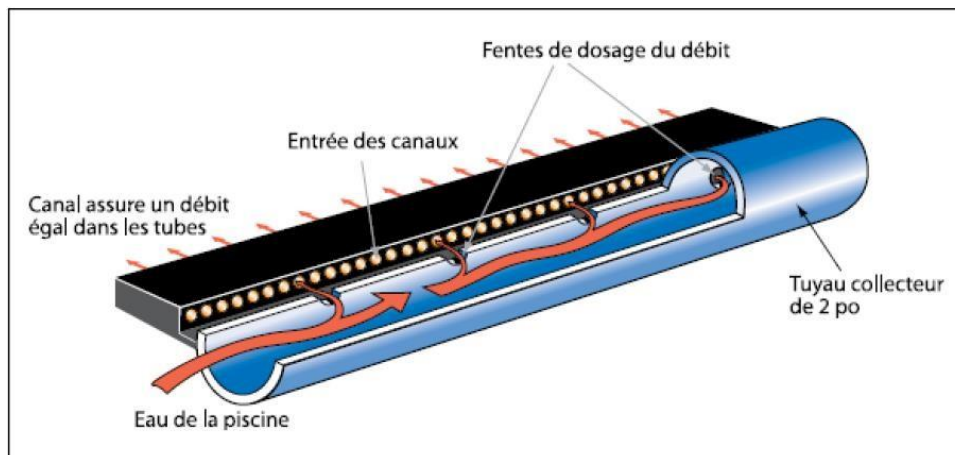


Figure III .3. Capteur non vitré

III.5.3 Capteurs à tube sous vide

Les capteurs solaires à tubes sous vide sont des capteurs solaires qui ont une meilleure performance que les capteurs plans pour un fonctionnement à haute température dans l'intervalle de 77 à 170 °C. Ils sont bien adaptés pour les applications de chauffage commercial et industriel [31].

Le capteur solaire à tubes sous vide est constitué des rangées de tubes de verre parallèles, reliées à un tuyau d'en-tête comme illustre à la figure (III-4). L'air à l'intérieur de chaque tube est retiré et atteint des pressions de vide autour de 10⁻³ mbar. Cela crée des conditions

d'isolation élevées pour éliminer les pertes de chaleur par convection et par rayonnement, pour atteindre des températures plus élevées. Ces capteurs sont classés en fonction de leurs nœuds de liaison- matériaux ; par exemple verre-métal ou verre-verre et par l'agencement des tubes (concentriques ou tube en U). A l'intérieur de chaque tube nous avons une ailette métallique plane ou incurvée, elle est attachée à un tube de cuivre. L'ailette est revêtue d'un film mince dont les propriétés optiques sélectives permettent d'atteindre une forte absorbance du rayonnement solaire et réduites les pertes de chaleur par rayonnement



Figure III. 4 .Capteur solaire a tube sous vide

Il existe 03 famille de capteurs a tube sous vide

III.5.3.1 Capteur à tube vide à circulation directe

Dans ce type de capteur, la conception de l'absorbeur et les tuyaux de circulation du fluide caloporteur sont comme un capteur plan sauf, l'ensemble est suffisamment étroit pour être glissé à l'intérieur d'un tube en verre. Un rendement élevé est obtenu par ce transfert thermique direct. On peut par ailleurs orienter l'absorbeur par rapport au soleil au moment de l'installation, ce qui en fait un très bon capteur pour les implantations en façades par exemple. Les tubes sous vide à flux direct ont un second avantage par rapport aux tubes sous vide classique : on peut les monter directement en toiture terrasse, mais seulement dans des régions à faible enneigement. Cela signifie que les coûts du support de fixation peuvent être réduits en

minimum [31].

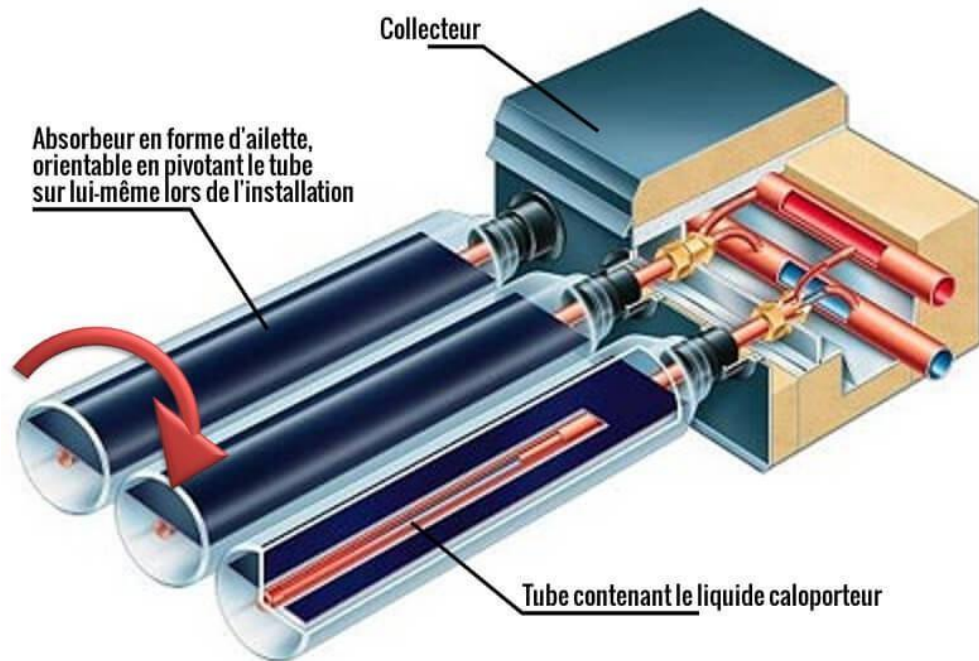


Figure III. 6. Capteur à tube vide à circulation directe

III.5.3.2 Capteurs a tube sous vide a "Caloduc"

Dans ces systèmes, la chaleur est transférée depuis l'ailette jusqu'à un collecteur situé en partie haute de capteur grâce à un caloduc. C'est un échangeur qui utilise les mécanismes de transfère de chaleur par évaporation et condensation d'un fluide placé dans un tube fermé, le fluide s'évapore en captant la chaleur fournit par l'ailette, s'élève jusqu'en partie haute, et retourne par gravité en bas du tube. Pour permettre ce retour, les tubes doivent être installer avec une inclinaison. Ce type de montage permet le remplacement d'un tube en cas de bris, sans devoir purger toute l'installation [31].

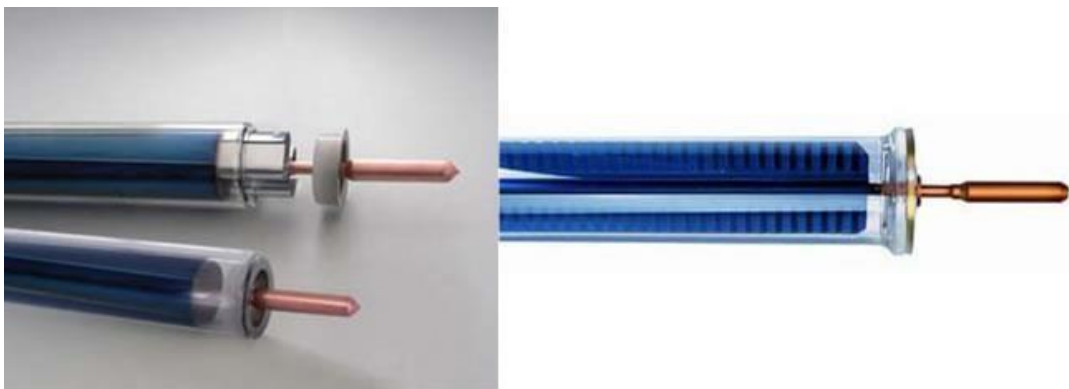


Figure III .7. Capteurs a tube sous vide a "Caloduc"

III.5.3.3 Les capteurs à tube sous vide à effet “thermos”

C'est le principe d'enveloppe sous vide utilisée pour garder les boissons chaudes dans une bouteille thermos. Le tube inférieur sert d'absorbeur car la surface est traitée pour être absorbante et sélective. Cela veut dire que cette surface capte le rayonnement solaire, mais en chauffant, elle émet très peu de rayonnement infrarouge. La chaleur est transmise hors de l'enveloppe sous vide du tube par la circulation d'un fluide en contact avec l'absorbeur ou par un caloduc.

Le principe est simple : l'eau contenue dans les tubes sous vide se réchauffe grâce au revêtement sélectif dont les tubes sont revêtus et vient remonter dans le ballon de stockage pour le chauffer. L'eau froide descend immédiatement pour se réchauffer à son tour [31] .



Figure III .8. Les capteurs à tube sous vide à effet “thermos”

III.5.3.4 Les capteurs à tube sous vide “Schott”

Le tube sous vide fabriqué par l'entreprise Schott-rohrglas en Allemagne utilise le principe “thermos” avec plusieurs perfectionnements techniques.

D'abord, une partie de la paroi intérieure du tube extérieur est un réflecteur cylindrique et ensuite, le tube intérieur sert comme absorbeur aussi bien qu'échangeur de chaleur avec le fluide caloporteur. L'utilisation des métaux est réduite à des traitements de surface du tube et les différentes pièces du collecteur. Cette technique peut servir pour plusieurs applications.

Avec un tube pour le retour du caloporteur enfilé dans le tube sous vide, chaque tube et l'ensemble du capteur peuvent fonctionner en thermosiphon. Et si le tube intérieur est traversant, ce capteur peut servir comme foyer d'un capteur à concentration à haute température

III.6 Eléments de constructions d'un capteur plan

III.6.1 Absorbeur

Assure trois fonctions : absorbe le rayonnement solaire, transformer ce rayonnement en chaleur, transmettre cette chaleur au fluide caloporteur.

L'éclairement de l'absorbeur dépend de l'inclinaison du capteur par rapport au soleil. Il faut donc l'orienter de façon à ce qu'il reçoive un rayonnement solaire optimale. L'absorbeur utilise le rayonnement directe (provenant du disque solaire) et diffus (provenant de la voute céleste), il n'est donc pas nécessaire de l'orienter en permanence en direction de soleil.

La fraction du rayonnement solaire incident qui est absorbée par le capteur est appelé facteur d'absorption solaire α^* (ou absorptivité) de la surface. L'absorbeur, en chauffant, va rayonner dans l'infrarouge. La fraction d'énergie effectivement rayonnée sur l'énergie que rayonnerait la surface considérée comme un corps noir est appelé facteur d'émission infrarouge ε ou émissivité [32].

III.6.2 Couverture transparente

Son rôle est de créer l'effet de serre, en laissant passer la plus grande partie du rayonnement solaire incident et en devenant opaque au rayonnement I.R qui provient de l'absorbeur. En effet ce dernier reçoit le rayonnement transmis par la vitre, s'échauffe et réémet du fait de sa propre température dans le grandes longueur d'onde (I.R).

Bekkouche a montré que sous l'effet de conditions climatiques constantes, le capteur va atteindre immédiatement l'équilibre thermique. L'influence de la température extérieure apparaît nettement sur le profil de la température de la vitre. Ceci peut être justifié par le fait que le vitrage est soumis à l'effet de différentes conditions climatiques, plus particulièrement, la vitesse du vent et la température ambiante, Une légère variation de celles-ci agit visiblement sur l'évolution de la température de la vitre.

Les couvertures transparentes habituelle sont pour la plut part en verre mais on peut trouver aussi des produits de synthèse tel que le polycarbonate, le poly méthacrylate ou bien le polyester armé [32].

III.6.3 Le fluide caloporteur

Le fluide caloporteur permet d'évacuer la chaleur emmagasinée par l'absorbeur et de la transmettre vers là où elle doit être consommée. Un bon fluide caloporteur doit prendre en compte les conditions suivantes [33] :

Chapitre III : Généralités sur les capteurs solaires thermiques

- Être chimiquement stable lorsqu'il atteint une forte température, en particulier lors de la stagnation du capteur.
- Posséder des propriétés antigel en corrélation avec les conditions météorologiques locales.

- Posséder des propriétés anticorrosives selon la nature des matériaux présents dans le circuit capteur.
- Posséder une chaleur spécifique et une conductivité thermique élevées afin de transporter efficacement la chaleur.
- Être non-toxique et avoir un faible impact sur l'environnement.
- Avoir une basse viscosité afin de faciliter la tâche de la pompe de circulation.
- Être facilement disponible et bon marché.

Le bon compromis par rapport à ces critères est un mélange d'eau et de glycol (utilisé dans le liquide de refroidissement des automobiles), même s'il n'est pas rare de trouver des systèmes fonctionnant à l'eau pure ou tout simplement à l'air selon l'utilisation.

III.7 L'orientation et l'inclinaison du capteur

L'influence de l'orientation d'un capteur et de son inclinaison avec l'horizontal est due au fait que ces deux dernières changent le rayonnement solaire atteignant la surface du capteur.

La meilleure orientation du capteur solaire est de l'orienter directement au sud. L'angle optimum d'inclinaison est appliqué à une variété de systèmes, tels que, les capteurs plans ou paraboliques, les panneaux photovoltaïques, maisons solaires et serres installées dans une position fixe. Cet angle joue un rôle important en augmentant la collection d'énergie par les capteurs solaires [33].

III.8 Fiabilité d'un capteur

Un capteur solaire sera soumis à de nombreuses contraintes climatiques et de fonctionnement tout au long de sa vie. Il est donc nécessaire que ces capteurs ne tombent pas en panne lorsqu'ils rencontrent ces types de contraintes. Les tests de fiabilité et de durabilité ont été conçus pour reproduire les conditions extrêmes les plus probables qu'un collecteur sera soumis. Pour chaque essai, les normes européennes décrivent d'une manière très simple les conditions qui sont destinées à être simulées par chaque test.

Il faut avoir ces conditions

- Résistance au haute température
- Résistance au gel
- Résistance aux chocs thermiques
- Bonne tenue de l'étanchéité
- Résistance à la charge

III.9 Les capteurs solaires par concentration

Les capteurs plans ne peuvent généralement pas porter les fluides caloporteurs à très hautes températures. En revanche, il est possible d'utiliser des capteurs par concentration, mais ils sont plus complexes [34].

Un capteur à concentration est un capteur solaire comportant un système optique (réflecteur, lentilles, ...) destiné à concentrer sur l'absorbeur le rayonnement reçu (d'où le nom de capteur à concentration).

On peut distinguer deux types de capteurs à concentration :

III.9.1 Capteur solaire parabolique

Ressemblant à des paraboles de réception satellite, le capteur solaire parabolique est un miroir qui concentre les rayons solaires dans un foyer ponctuel. Les progrès réalisés ont permis d'atteindre des rendements dépassant ceux des autres technologies thermo solaires [35].

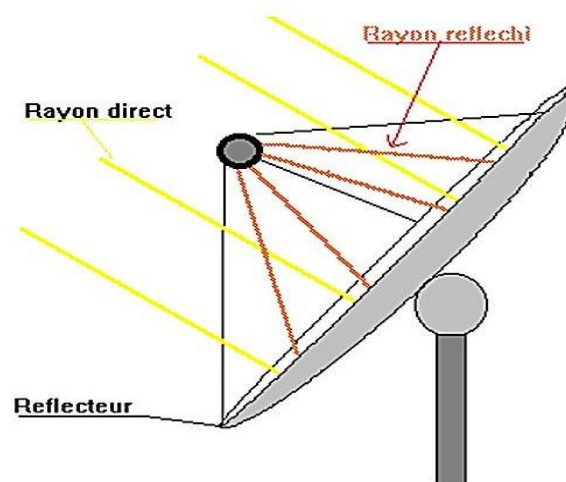


Figure III .9. Principe de fonctionnement d'un capteur à miroirs paraboliques.

III.9.2 Capteur solaire cylindro-parabolique

Un capteur cylindro-parabolique est un capteur à concentration à foyer linéaire utilisant un réflecteur cylindrique de section parabolique. Dans un concentrateur cylindro-parabolique, le fluide caloporteur (eau, huile thermique ou gaz) peut être porté à environ 400 °C [36].

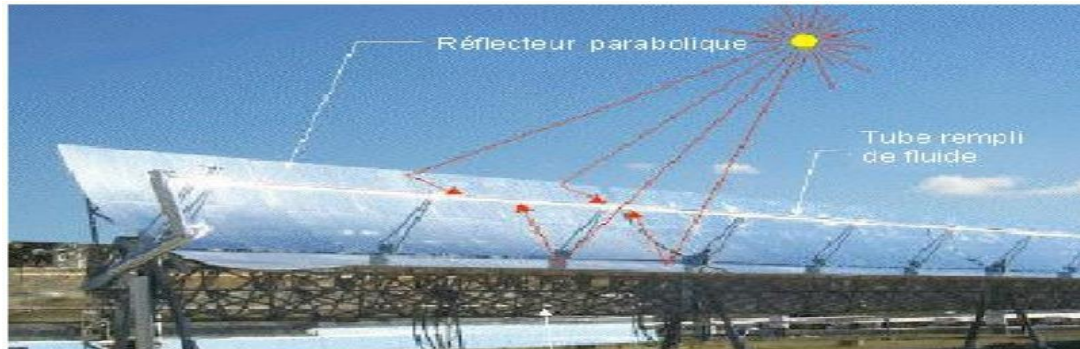


Figure III. 10. Système à réflecteur Capteurs cylindro

III.10 Chauffe-eau solaire

Un chauffe-eau solaire est un dispositif de captation de l'énergie solaire destiné pour fournir partiellement ou totalement de l'eau chaude sanitaire, il est constitué essentiellement d'un capteur plan thermique, un circuit de circulation et d'un réservoir souvent appelé ballon pour le stockage de l'eau [37].

En pratique, on prévoit 1 m² de capteur solaire thermique par personne et un volume de stockage d'environ 50 litres par 1 m² de capteur.

III.10.1 Différents types de chauffe-eau solaire

L'énergie interceptée par le capteur solaire et convertie en chaleur est transmise au fluide caloporteur et elle est transférée vers un réservoir de stockage. Ainsi, selon la nature de circulation du fluide et la disposition des éléments, on distingue plusieurs systèmes de chauffe-eau solaire.

III.10.1.1 Le chauffe-eau solaire monobloc

Les capteurs et le ballon sont groupés sur un même châssis rigide et sont placés à l'extérieur. Ce système a l'avantage d'être simple et peu coûteux. Il s'installe généralement sur une terrasse ou dans un jardin mais plus difficilement en toiture inclinée. Son inconvénient c'est que les pertes thermiques sont importantes même si le ballon est bien isolé. En outre, son intégration architecturale est plus difficile. Ce système est souvent pour un usage uniquement en été [38].

III.10.1.2 Les chauffe-eau solaire à éléments séparés

Dans ce cas, le ballon est à l'abri dans une pièce de la maison ou dans un bâtiment annexe. Il permet d'éviter les pertes thermiques et peut être efficace quasiment toute l'année. Il existe deux types de chauffe-eau solaire à éléments séparés

III.10.1.2.1 Chauffe-eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon)

Le capteur et le ballon de stockage forment un seul circuit, avec le ballon de stockage doit être obligatoirement placée plus haut que les capteurs [39].

Sous l'effet d'un rayonnement solaire, l'eau contenue dans le capteur s'échauffe et sa densité diminue, selon le principe de gravitation elle s'élève dans le circuit et elle est remplacée par de l'eau plus froide (et donc plus lourde) en provenance du ballon. C'est l'effet thermosiphon.

Avantages :

Il ne comporte pas des pompes ni de régulation, et ne nécessite pas de raccordement à un réseau électrique.

- Simplicité de réalisation
- Pas de pertes provoquées par l'adjonction d'un échangeur donc un bon rendement thermique
- Coût plus bas (dû à l'absence de l'échangeur de chaleur et de fluide anti gel).

Inconvénient :

- Risque de gèle dans le circuit (dû à l'absence de fluide antigel)
- Le débit du fluide caloporteur est autorégulé (circulation naturelle)
- Le capteur et le ballon doivent résister à des fortes pressions (en cas de fort ensoleillement)



Figure III. 13 .Chauffe-eau solaire à circulation naturelle (thermosiphon)

III.10.1.2.2 Chauffe-eau solaire à circulation forcée

Cette catégorie regroupe les chauffe-eau solaires qui font appel à un circulateur pour transférer l'eau chauffée dans le collecteur depuis le capteur solaire vers le ballon de stockage. Contrairement aux chauffe-eau fonctionnant par thermosiphon, la disposition relative du ballon et du capteur est totalement libre. Ce qui représente un des avantages d'un système de chauffe-eau-solaire à circulation forcée [40].

Sous les climats froids, ces systèmes donnent de meilleures performances. Par contre, sous les climats chauds, les chauffe-eau solaire à circulation naturelle seront plutôt conseillés pour leur prix plus faible, leur cout de fonctionnement.

Chapitre III : Généralités sur les capteurs solaires thermiques

Avantages :

- Réglage de débit du fluide caloporteur
- Possibilité d'arrêter la circulation du fluide caloporteur dans le capteur
- Possibilité d'utilisation de l'antigel (éviter le risque de gèle)
- Le capteur n'est pas soumis à des fortes pressions.

Inconvénients:

- Moins d'énergie transmis à l'eau (pertes dans les échangeurs)
- Les arrêts involontaires des pompes
- Besoin d'une alimentation électrique

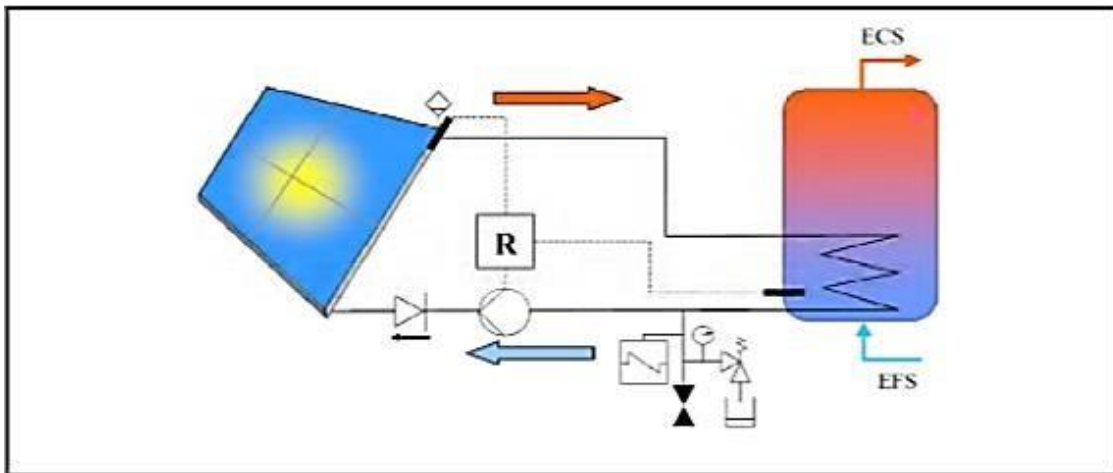


Figure III. 14. Chauffe-eau solaire à circulation forcée

III.10.2 L'effet de serre

Son principe réside dans le fait qu'un matériau transparent pour le rayonnement solaire peut être opaque au rayonnement infrarouge. Le rayonnement de courtes longueurs d'onde va traverser ces matériaux, échauffer la plaque absorbante qui va rayonner dans les grandes longueurs d'ondes, c'est-à-dire dans l'infrarouge [40].

Ce rayonnement infrarouge, ne peuvent s'échapper, va être en partie absorbé par la couverture qui s'échauffe et en partie réfléchi vers la plaque qui elle aussi s'échauffe.

Mais bien entendu si la puissance reçue par le capteur est constante, au bout d'un certain temps, un équilibre s'installe.

Les apports solaires sont alors égaux aux pertes thermiques. Ces dernières se font principalement par rayonnement et convection de la couverture avec l'extérieur

Quand le capteur a atteint son équilibre thermique, la température de la plaque est autant plus élevée que l'effet de serre est plus prononcé. On peut s'en rendre compte avec les capteurs à double vitrage qui permettent d'atteindre des températures d'équilibre plus grandes qu'avec un simple vitrage .

III.10.3 Effet thermosiphon

Un thermosiphon est le phénomène de circulation naturelle d'un liquide dans une installation du fait de la variation de sa masse volumique en fonction de la température, la partie de fluide chaud devient léger monte vers le haut et remplacée par le fluide froid qu'est lourde, ce qui crée une circulation naturelle du fluide [39].

III.10.4 Energie d'appoint

Energie nécessaire pour compléter la production solaire ou la relayer en cas d'ensoleillement insuffisant ou nul (ce peut être le gaz, le fioul, l'électricité ou le bois). Sous les latitudes européennes, pratiquement tous les systèmes solaires thermiques recourent à une énergie d'appoint [40].

III.11 Conclusion

Les chauffe-eau solaires sont des dispositifs qui sert à produire de l'eau chaude à partir du rayonnement solaire, le capteur solaire est l'un des composants essentiels de chauffe-eau solaire, son rôle principale est de capter le rayonnement solaire et le convertir sous forme de chaleur, dans le chapitre qui suit on procède à la commande du chauffe-eau solaire.

Chapitre III :

Simulation de système étudié

Chapitre VI : Simulation du système étudié

IV Chapitre : Simulation du système étudié

IV.1 Schéma global de système à contrôler

On présente sur la figure (IV.1) le schéma complet de la commande par microcontrôleur 16F876 le fonctionnement des deux panneaux photovoltaïque et thermique.

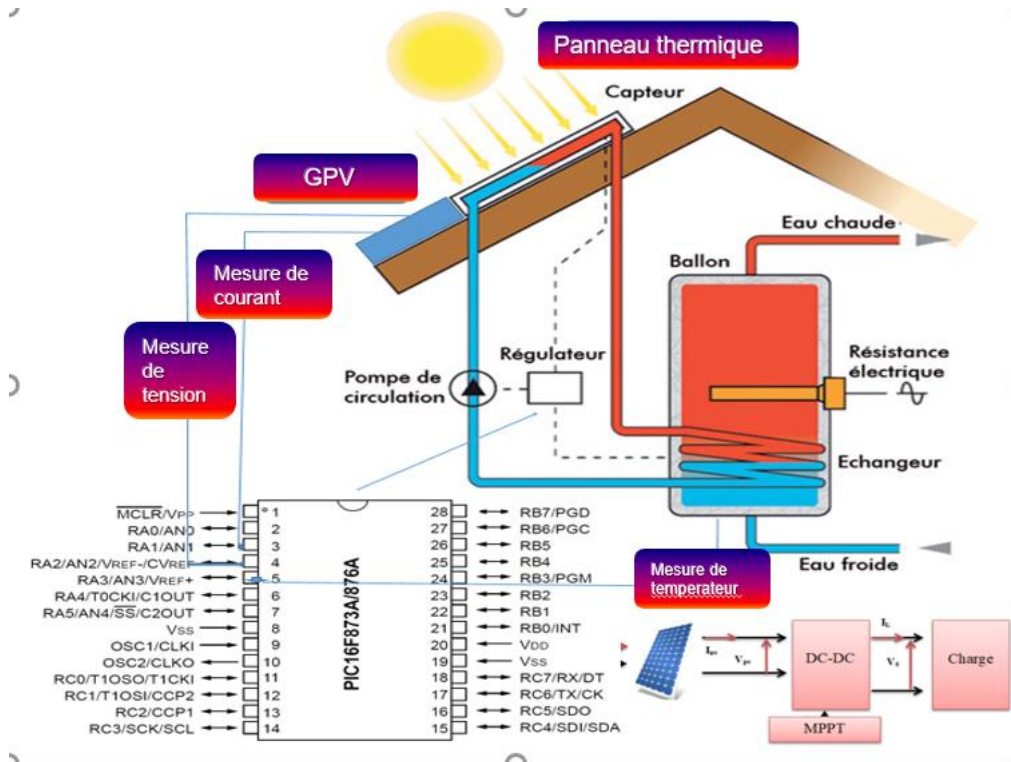


Figure IV .1. Schéma global du système à contrôler

IV.2 Simulation du GPV

IV.2.1 Modèle du GPV

On donne sur la figure (IV.2) le modèle d'une cellule photovoltaïque.

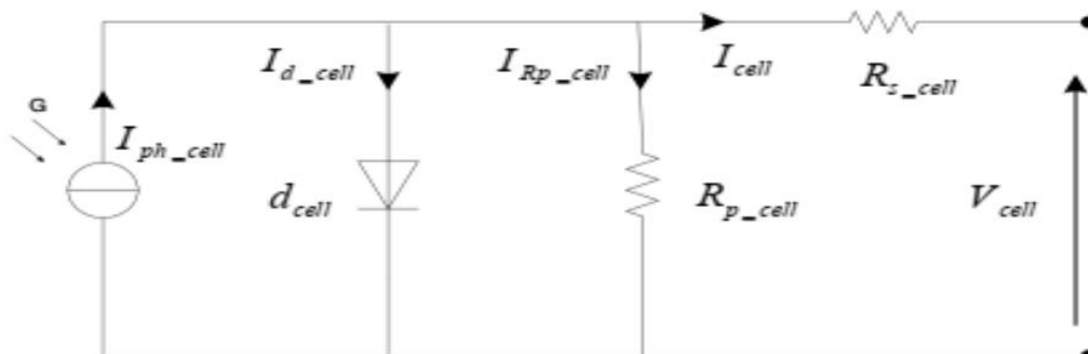


Figure IV. 2 .Modèle d'une cellule photovoltaïque

Chapitre VI : Simulation du système étudié

Le courant de sortie d'une cellule photovoltaïque se met sous la forme mathématique suivante [41]:

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i \cdot (T - 298)] \cdot \frac{G}{1000} \quad (IV.1)$$

$$I_0 = I_{rs} \cdot \left(\frac{T}{T_n}\right)^3 \cdot \exp\left[\frac{q \cdot E_{g0} \cdot (1/T_n - 1/T)}{n \cdot K}\right] \quad (IV.2)$$

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{e^{\left(\frac{q \cdot V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}\right) - 1}} \quad (IV.3)$$

$$I_{sh} = \left(\frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}}\right) \quad (IV.4)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot K \cdot N_s \cdot T}\right) - 1\right] - I_{sh} \quad (IV.5)$$

La figure (IV.3) présente le schéma de simulation du PV pour les conditions climatiques $T=25^\circ\text{C}$ et $G=1000 \text{ W/m}^2$.

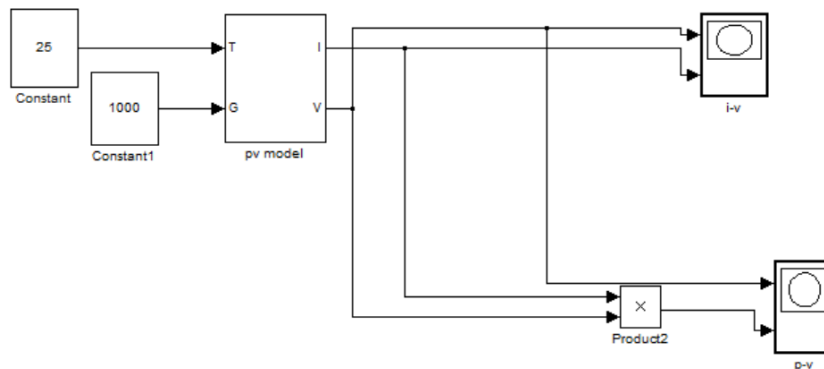
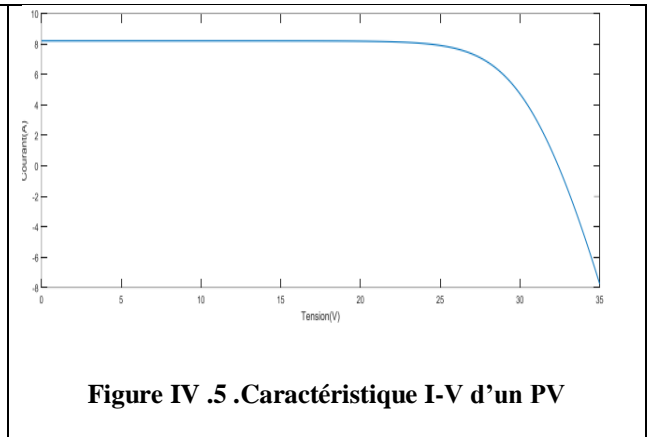
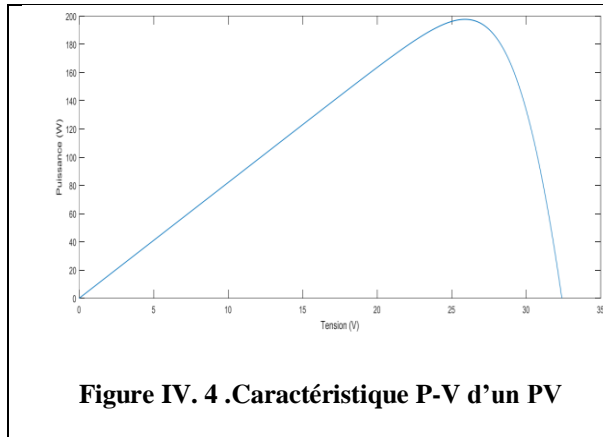


Figure IV. 3. Schéma de simulation en matlab du panneau photovoltaïque

Les figures (IV.4) et (IV.5) illustrent les caractéristiques non linéaires d'un panneau photovoltaïque pour un éclairement et une température donnée.

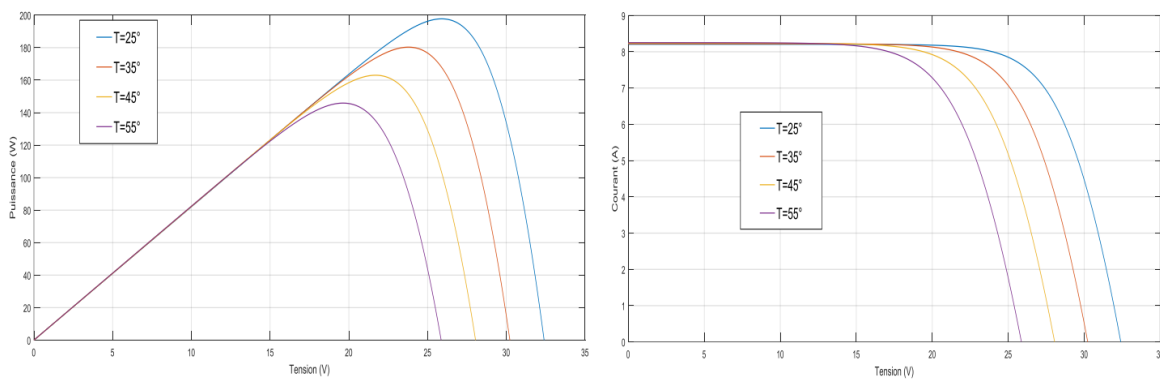
Chapitre VI : Simulation du système étudié



IV.2.2 Influence de la température et de l'éclairement

a- Influence de la température

Pour qu'un panneau solaire fonctionne, les cellules photovoltaïques doivent être exposées à un rayonnement solaire. Cela provoque un échauffement, la température agissant sur les différentes propriétés des cellules. On fixe l'ensoleillement à 1000 W/m^2 et on fait varier la température de 25°C jusqu'à 55°C , les allures obtenues sont présentées par la figure (IV.6).



On remarque que l'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension et de la puissance du GPV.

b- Influence de l'éclairement :

On applique une température $T=25^\circ\text{C}$ maintenue constante et on fait varier l'éclairement G de 200 W/m^2 jusqu'à 1000 W/m^2 . Les résultats obtenus sont illustrés par les figures suivantes

:

Chapitre VI : Simulation du système étudié

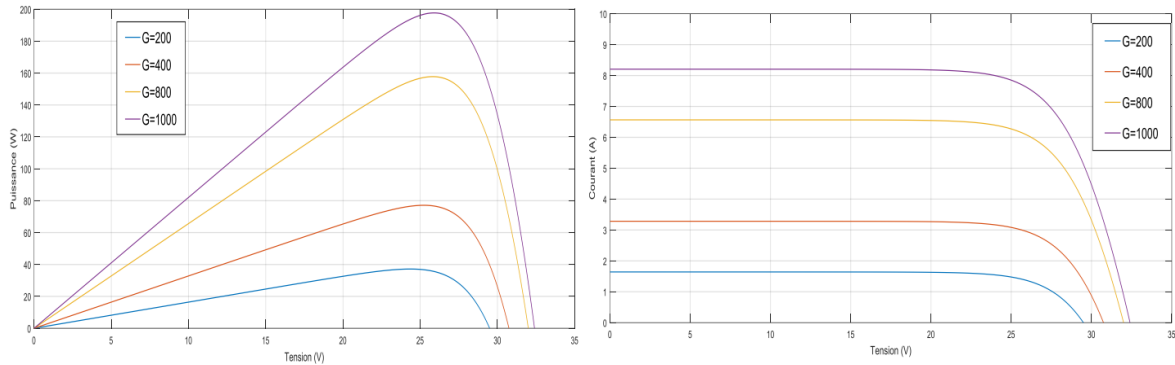


Figure IV.7. Influence de l'éclairement sur la puissance et courant du GPV

On remarque que l'augmentation de l'éclairement entraîne une augmentation de la puissance et courant du GPV.

IV.2.3 Algorithme MPPT

La commande MPPT fait varier le rapport cyclique du convertisseur statique (CS), à l'aide d'un signal électrique approprié, pour tirer le maximum de puissance que le GPV peut fournir. L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher le MPP. En général, il est basé sur la variation du rapport cyclique du Convertisseur continu en fonction de l'évolution des paramètres d'entrée de ce dernier (I et V et par conséquent de la puissance du GPV) jusqu'à se placer sur le MPP. La figure (IV-8) représente le schéma de simulation en matlab de l'association PV-Hacheur boost-Charge commandé par MPPT.

Paramètres	Valeurs
Inductance L	$2e^{-2} H$
Capacité C_{pv}	$5e^{-3} F$
Capacité C_{dc}	$2e^{-4} F$

Tableau III.1. Paramètres de hacheur boost.

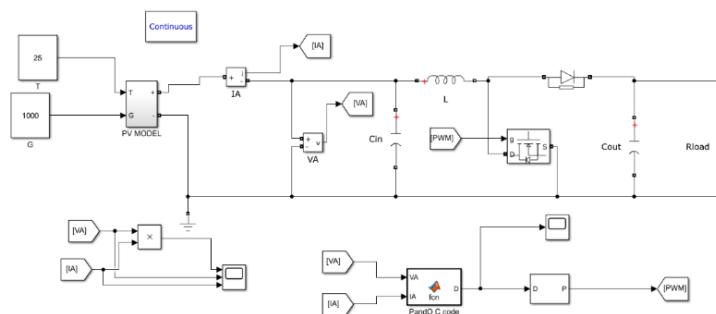


Figure IV.8. Schéma bloc du système photovoltaïque dans SIMULINK/MATLAB

Chapitre VI : Simulation du système étudié

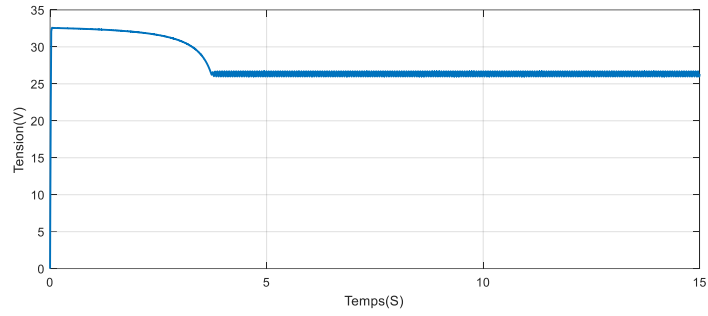


Figure IV .9 .Tension de sortie du GPV

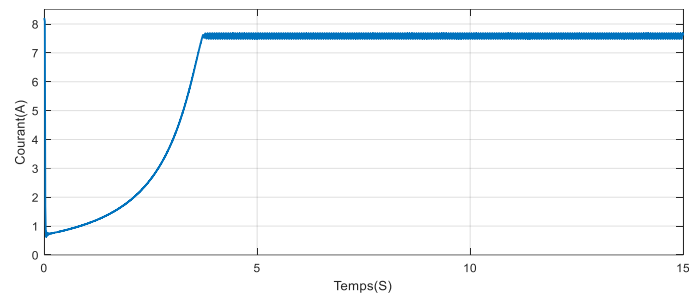


Figure IV .10 .Courant de sortie du GPV

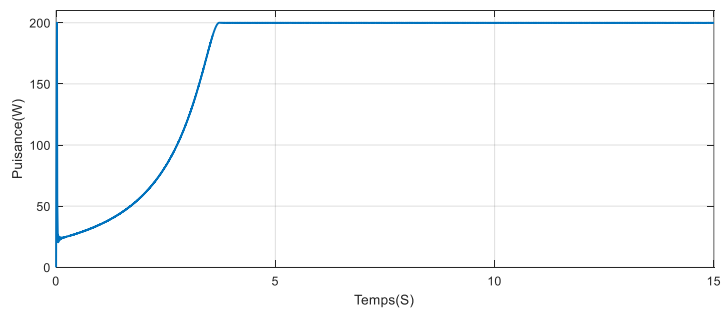


Figure IV .11. Puissance de sortie du GPV

IV.3 Simulation en proteus

IV.3.1 Schéma global de simulation

Le schéma global de commande est donné par la figure (IV.12).

Chapitre VI : Simulation du système étudié

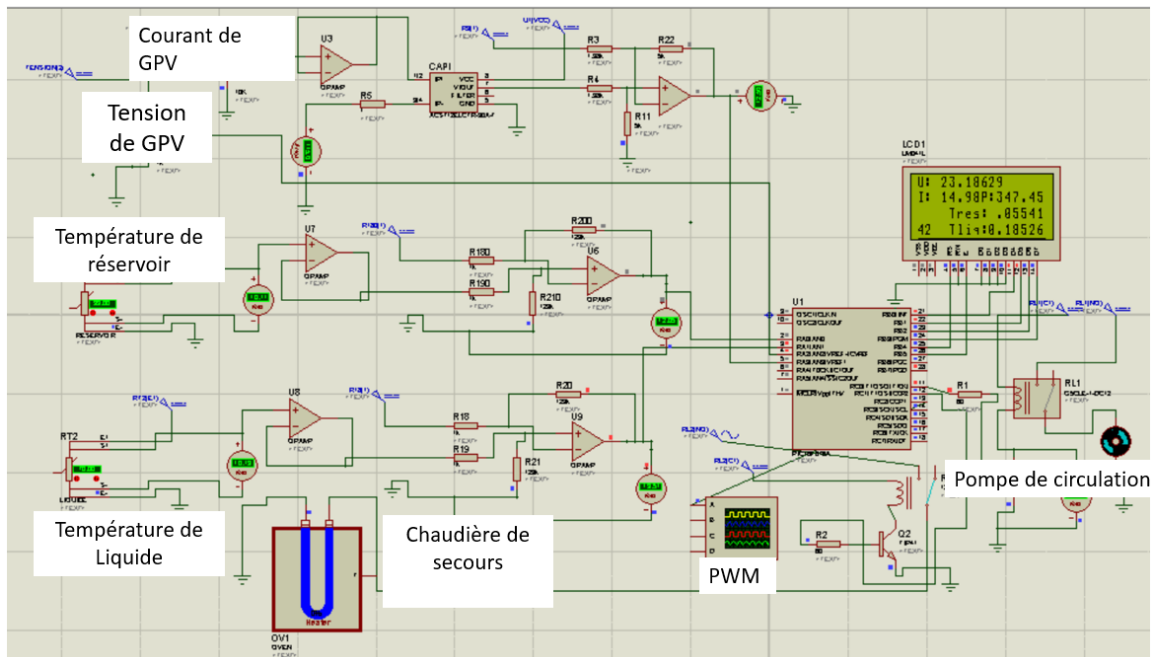


Figure IV. 12 .Schéma global du system étudié en proteus

IV.3.2 Défferents étape de simulation

IV.3.2.1 Capteur de courant

Le dispositif ACS712 Allegro offre un moyen économique et précis de détection de courants AC et DC. Ce capteur de courant Allergo ACS712 est basée 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. Les figure (IV.13) et (IV.14) représentent le capteur de courant ACS712 utilisé dans notre travail [42].



Figure IV. 13 .photo réelle du ACS712

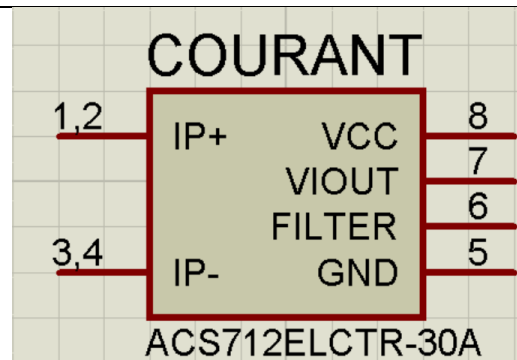


Figure IV .14. ACS712 en Proteus

La sortie du dispositif a une pente positive lorsqu'un courant augmentant circule à travers le chemin de conduction du cuivre. Le ACS712-30A 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

Chapitre VI : Simulation du système étudié

66 mV. Au zéro de courant, la tension de sortie est la moitié 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 V_{CC} . Cette fonctionnalité est particulièrement utile pour l'utilisation de la ACS712 avec un convertisseur analogique-numérique

- Sensibilité : 66 mv par ampère,
- Tension logique : 4.5V – 5.5V,
- Isolation 2.1Kv,
- Délai de répercussion sur la sortie : 5 μ s,
- Erreur : 1.5% à 25°C,
- Résistance interne de conduction : 1.2 mOhms,
- Tension de sortie stable,
- Presque pas d'hystérésis magnétique ,
- Poids : ~2gr,
- Bruit sur l'ACS712 – environ 130Ma avec la capacité de filtrage de 10Nf. Le bruit peut être significativement réduit en utilisant une capacité de 470Nf .

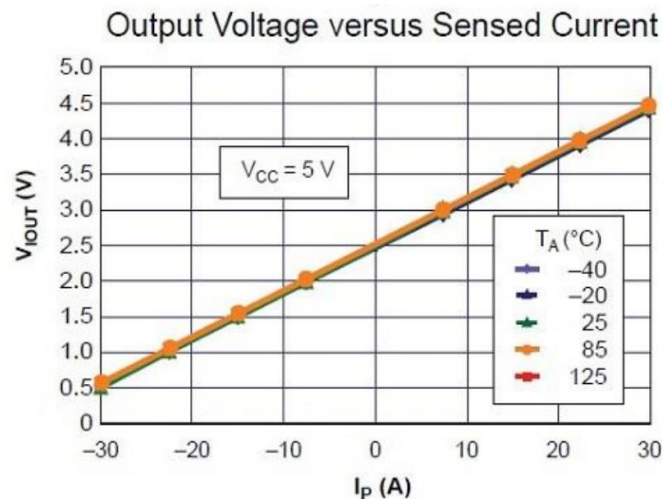


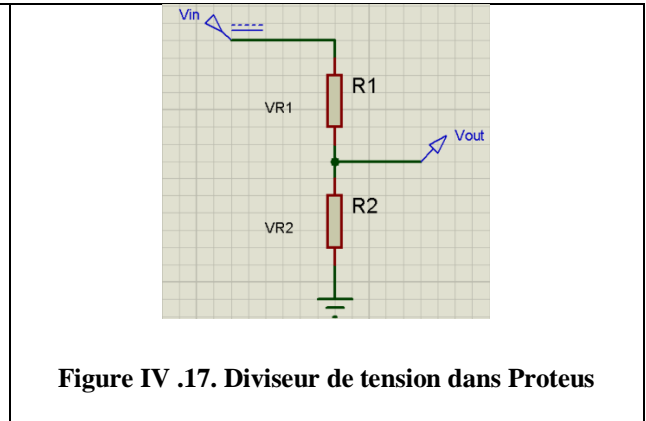
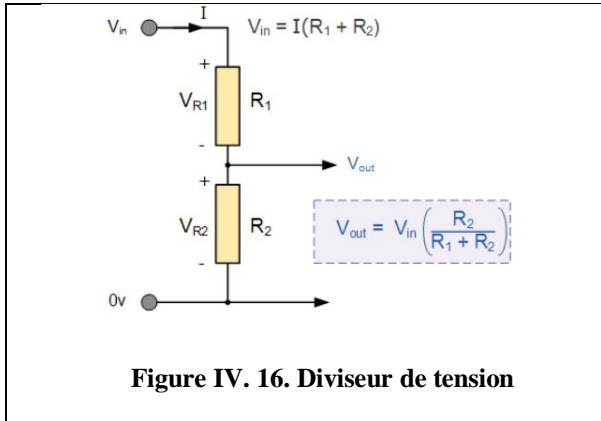
Figure IV .15. L'allure de la tension de sortie du capteur ACS712ELC-30A. [42]

IV.3.2.2 Capteur de tension

Ce circuit simple (Figure IV 16 et 17) répartit proportionnellement la tension d'alimentation à travers chaque résistance de la chaîne en série, la quantité de chute de tension étant déterminée par la valeur des résistances. Le courant traversant un circuit de résistances en série est commun à toutes les résistances. Ainsi, une résistance plus grande aura une chute de tension plus importante, tandis qu'une résistance plus petite aura une chute de tension plus faible. Le circuit montré se compose de seulement de deux résistances, R_1 et R_2 , connectées ensemble en série à travers la tension d'alimentation V_{in} . Une côté de la tension d'alimentation est connecté à la résistance R_1 , et la tension de sortie V_{out} est prélevée à partir de la résistance R_2 . La valeur de cette tension de sortie est donnée par la formule suivante :

Chapitre VI : Simulation du système étudié

$$R_2 = \frac{V_{out} \cdot R_1}{V_{in} - V_{out}}$$



IV.3.2.3 Capteur de température

La sonde Pt100 est un capteur de température qui est utilisé dans le domaine industriel (agroalimentaire, chimie, raffinerie...). Ce capteur est constitué d'une résistance en Platine. La valeur initiale de la Pt100 est de 100 ohms correspondant à une température de 0°C. La résistance électrique d'une sonde Pt100 varie (pratiquement) linéairement (Figure IV.20) avec la température selon la relation simplifiée suivante:

$$R_{\theta} \approx R_0 \times (1 + \alpha \times \theta)$$

La sonde PT100 permet de mesurer le changement de résistivité d'un filament de platine enroulé autour d'une tige de verre. En général, les sondes PT100 ont une valeur de résistivité de 100 ohms pour 0°C. La variation de résistivité est environ de 0.5 ohms/C°, avec une précision de +/- 0.3° [43].

Chapitre VI : Simulation du système étudié



Figure IV .18. pt100 réelle

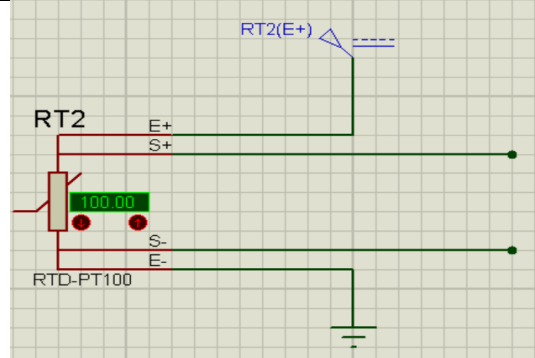


Figure IV. 19 .pt100 4 fils en Proteus

Le tableau (IV.1) donne les différents branchements d'un pt100 en 2, 3 et 4 fils.

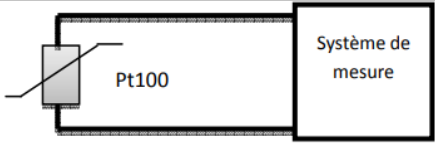
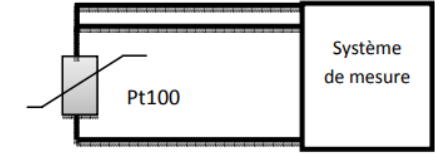
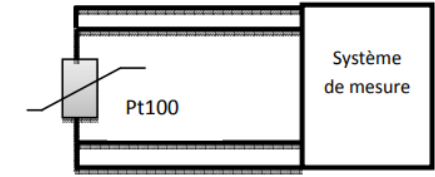
2 fils		<p>Il n'a pas de compensation de la résistance des fils. Utilisation pour de faible longueur</p>
3 fils		<p>Le système de mesure possède une compensation interne. Utilisation pour moyenne longueur</p>
4 fils		<p>Le système de mesure possède une compensation interne encore plus précise. Utilisation pour de grande longueur</p>

Tableau (IV 1) Les différents branchements d'une Pt100 [43]

Ainsi on donne sur la figure (IV.19) la variation de la résistance en fonction de la température pour une pt100 [43].

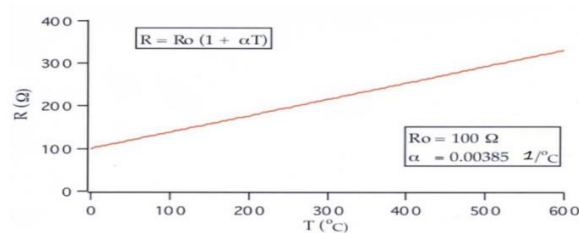
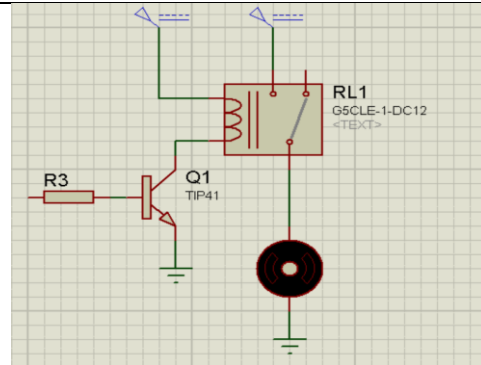


Figure IV .20. Résistance électrique R d'une sonde platine 100 Ω

Chapitre VI : Simulation du système étudié

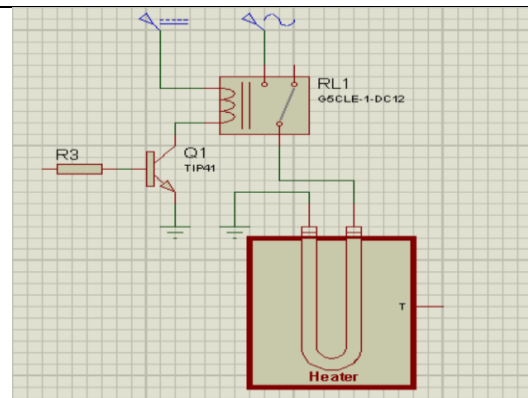
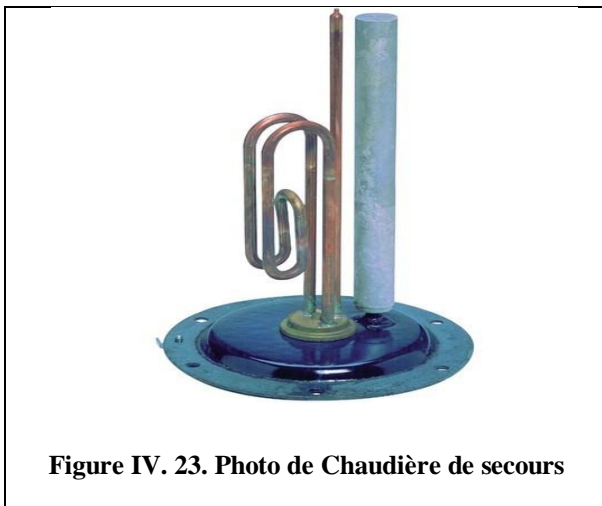
IV.3.2.4 Pompe de circulation

La pompe sert à faire circuler le liquide colapporteur du panneau thermique vers le réservoir. Le fonctionnement de la pompe est assisté par un relai contrôlé par un transistor. Dans ce travail de simulation on a choisi un relai type G5clé



IV.3.2.5 Chaudière de secours

La résistance du chauffe-eau est un élément crucial dans le fonctionnement du dispositif. Située au cœur de la cuve du chauffe-eau, sa principale fonction est de chauffer l'eau sanitaire. Cela se fait par le biais d'un courant électrique qui traverse la résistance, produisant ainsi de la chaleur. Les figure (IV.23 et 24) illustrent une chaudière et sa mise en œuvre en proteus.

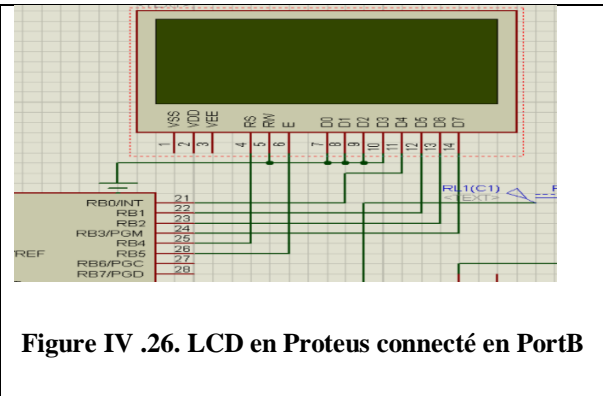
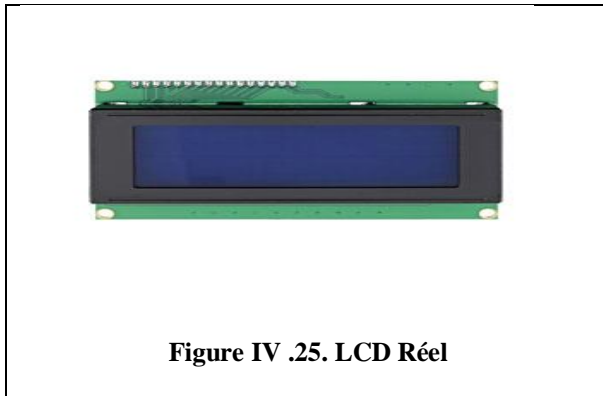


IV.3.2.6 Afficheur LCD

L'afficheur LCD sert principalement d'interface visuelle entre un système et l'utilisateur. Son rôle essentiel est de communiquer des informations du système à l'utilisateur, en affichant des données exploitables par ce dernier. Dans notre travail nous avons utilisé un LCD 20*4 connecté en PORTB. On affiche les informations nécessaires à savoir : La tension du GPV, le

Chapitre VI : Simulation du système étudié

courant du GPV, la température du liquide colporteur et la température du réservoir. Les figures (IV.25 et 26) présentent un LCD réel et son modèle en proteus



IV.3.2.7 Signal PWM généré par la MPPT en proteus

Le résultat de simulation du signal PWM généré par l'algorithme MPPT Perturb & Observ implémenté sur le PIC16F876 par le langage mikroC pour une augmentation du $\Delta p/\Delta v$ est illustré sur la figure (IV.27). On remarque bien la diminution du rapport cyclique pour rechercher le point PPM.

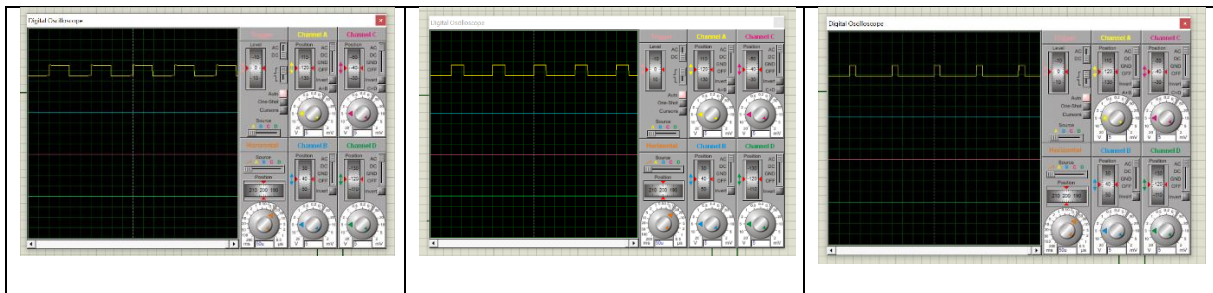


Figure IV .27 .Signal PWM généré par la MPPT en Proteus

IV.3.2.8 Régulation à hystérésis

L'hystérésis permet d'éviter les cycles de commutation trop fréquents (on/off) autour de la température de consigne, en définissant une bande de tolérance autour de cette consigne.

Pour notre travail :

Température en dessous de 48°C : chauffe-eau est activé.

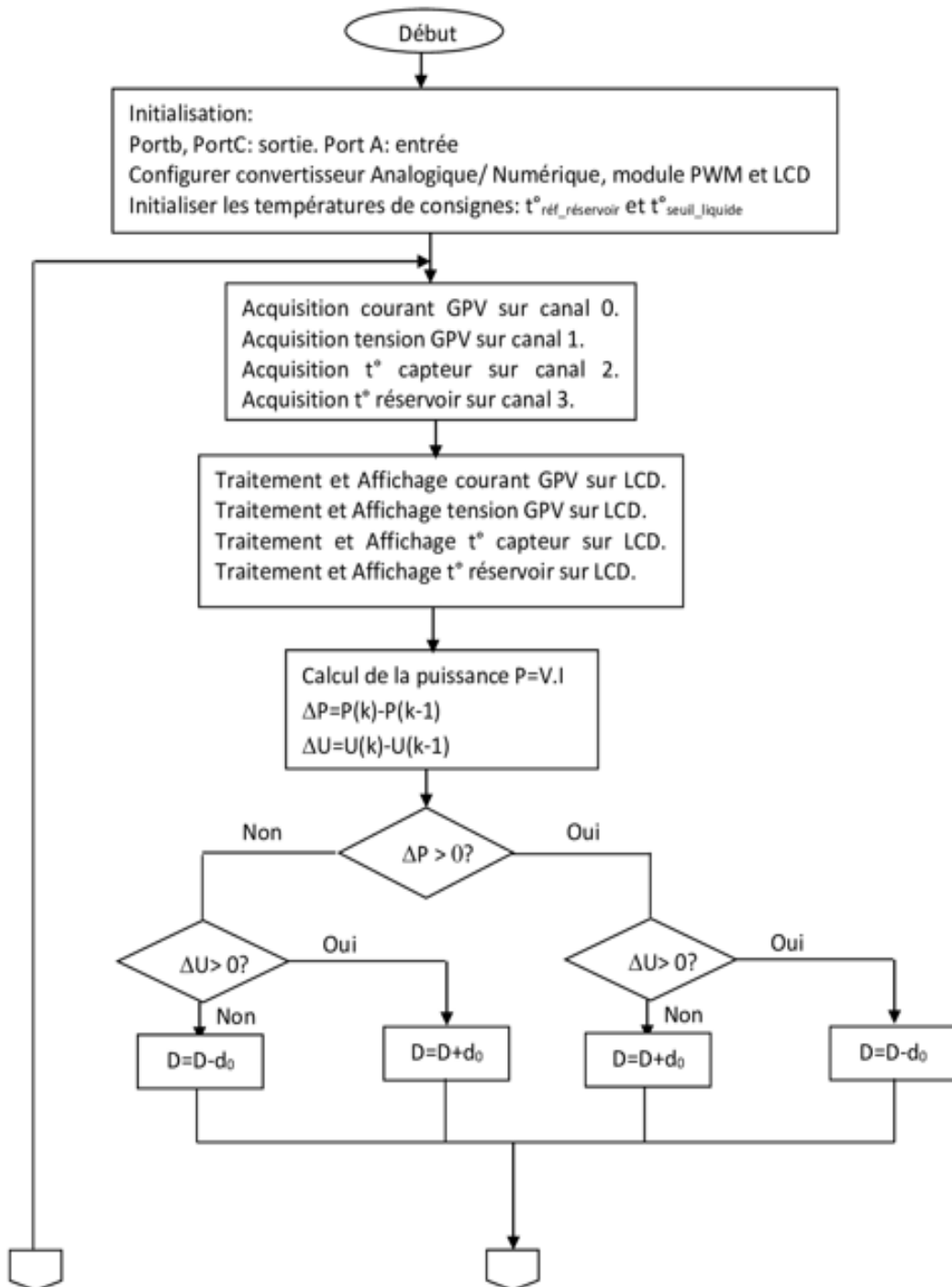
Température au-dessus de 52°C : chauffe-eau est désactivé.

Température entre 48°C et 52°C : le système maintient l'état actuel (reste activé ou désactivé jusqu'à ce qu'un des seuils soit atteint)

Chapitre VI : Simulation du système étudié

IV.3.3 Organigramme de commande

Le programme de commande de l'installation complète peut être représenté par l'organigramme donné par la figure (IV. 28) :



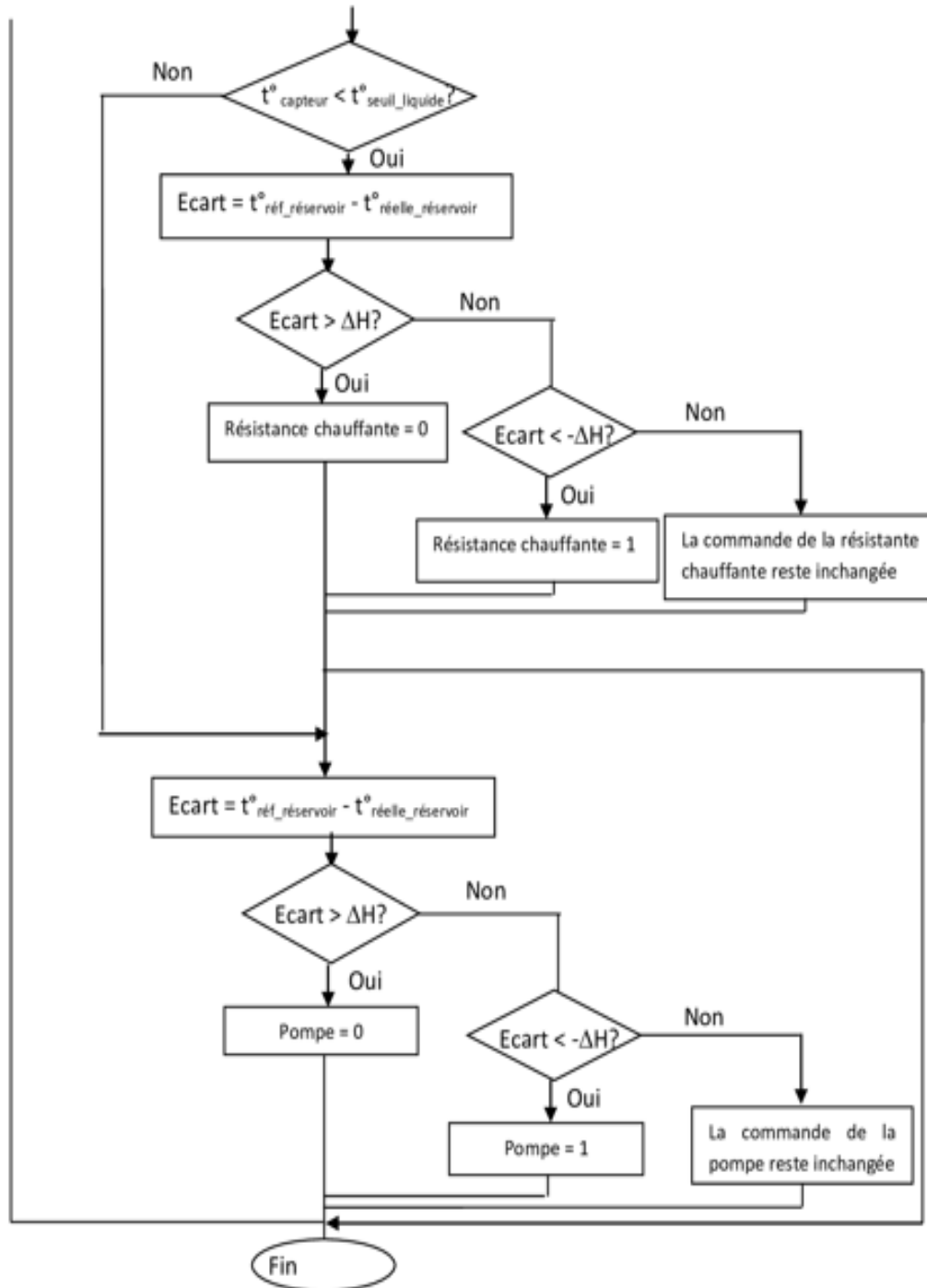


Figure IV .28. Organigramme de la commande du système par microcontrôleur

IV.4 Conclusion

Dans le dernier chapitre, nous traiterons de la simulation du système complet en utilisant les logiciels Proteus (les différents capteur et dispositif utilise) et Matlab (étant donné la complexité de modéliser le panneau photovoltaïque dans Proteus).

Conclusion générale

En conclusion, la commande programmée d'un dispositif utilisant à la fois l'énergie solaire thermique et photovoltaïque représente une avancée significative dans l'exploitation des énergies renouvelables. L'intégration de ces deux technologies permet d'optimiser l'efficacité énergétique et de maximiser la production d'énergie, répondant ainsi aux besoins croissants en matière de durabilité et de réduction de l'empreinte carbone.

La modélisation et la simulation du système complet, réalisées via les logiciels Proteus et Matlab, ont permis d'évaluer et de perfectionner la performance de ce dispositif hybride. La difficulté rencontrée dans la modélisation du panneau photovoltaïque en Proteus a été surmontée grâce à l'utilisation de Matlab, démontrant ainsi l'importance d'une approche polyvalente et adaptable pour la simulation de systèmes complexes.

Cette étude ouvre la voie à de nouvelles recherches et développements dans le domaine des systèmes énergétiques hybrides, offrant des perspectives prometteuses pour l'optimisation des ressources énergétiques renouvelables et la promotion d'une énergie propre et durable.

Dans ce travail plusieurs notions ont été acquises concernant l'utilisation de l'énergie solaire thermique et photovoltaïque. Ce travail nous a permis d'élargir nos connaissances théoriques et d'avoir une bonne connaissance sur le monde pratique. Comme perspectives, on peut proposer la continuité des travaux suivantes

- L'implémentation pratique de la commande des deux panneaux thermique et photovoltaïque
- Faire un dimensionnement sur un site isolé pour identifier la puissance nécessaire

Annexe :

Le panneau Kyocera Solar KC200GT a les caractéristiques électriques et présentées dans le tableau suivant :

Maximum power P_{\max}	200 W
Maximum power voltage V_{mp}	26.3 V
Maximum power current I_{mp}	7.61 A
Short circuit current I_{sc}	8.21 A
Open circuit voltage V_{oc}	32.9 V
Celles per module	54

Bibliographie

- [1] E. Saloux, «Optimisation structurelle des systèmes énergétiques. »' Ph.D. thesis École Polytechnique de Montréal, 2014.
- [2] S. Abada, «Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic. »these ' Université Laval, 2011.
- [3] S. Petibon, «Nouvelles architectures distribuées de gestion et conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques. »' Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2009.
- [4] G. des Energies Renouvelables, «Ministère de l'Energie et des Mines» République Algérienne Démocratique Pop., pp. 4–5, 2007.
- [5] A khelfa , «Etude Des Etapes Primaires De La Dégradation Thermique De La Biomasse Lignocellulosique» Université Paul Verlaine Metz (France) Thèse de Doctorat. 2006.
- [6] B. Beltran, «Contribution à la commande robuste des éoliennes à base de génératrices asynchrones double alimentation : du mode glissant classique au mode glissant d'ordre supérieur » Thèse de Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, Juillet 2010.
- [7] A. Ferkaoui, « La géothermie, une énergie d'avenir », Bulletin des énergies renouvelables, N°4, Décembre 2003.
- [8] B.B. Naima, « Potentiel et développement des énergies renouvelables en Algérie », Communication Science & technology, vol 19, 2017.
- [9] M. Brahim, «Situation des énergies renouvelables en Algérie» in Conférence sur la maîtrise de l'énergie et de l'environnement dans un contexte d'économie de marche, 2001, vol. 22.
- [10] Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, le ministère de l'énergie et des mines, Conception et réalisation SATINFO Société du Groupe Sonelgaz, 2011
- [11] M.S.A. Kechebar, «Economie du Bois en Algérie, Etat Actuel et Perspectives» Mémoire de Magister, Institut National d'Agronomie, 365 p., Alger, 2008.
- [12] P. M. Fellah, Z. Boudjema, « Etude et commande d'un système de production d'électricité renouvelable locale (énergie éolienne et photovoltaïque) », Thèse de Doctorat, Université Djillali Liabès, Sidi Bel- Abbès, Alger, 2015. », p. 255.
- [13] S OUALI «Etude géothermique du Sud de l'Algérie,»Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Magister, Université de Boumerdes 2006.
- [14] B. Mohammed, «Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome» Mémoire Magister Cent. Univ. Bechar, Inst. des Sci. Exactes, vol. 15, 2008.
- [15] Aicha rouabah, hananou, and Fatiha, «Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque» Mémoire master, Univ. Ouargla, 2014.
- [16] B. Equer, «le pompage photovoltaïque manuel de cours» énergie Sol. photovoltaïque ellipses, vol. 18, 1993.

- [17] M. Bouafia and L. Deblaoui, «Modélisation et simulation d'une cellule solaire en couche mince à base de diséléniure de Cuivre, d'Indium et de Gallium (CIGS) » Mémoire Master Prof. Univ. Kasdi Merbah. Ouargla, 2012.
- [18] A. C. Pastor, «Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques. » INSA de Toulouse, 2006.
- [19] L. Protin and S. Astier, “«Convertisseurs photovoltaïques» Tech. l'ingénieur. Génie électrique, vol. 5,
- [20] M. Tissot, «L'énergie solaire, thermique et photovoltaïque» Editions Eyrolles, 2012.
- [21] H. Chems eddine “«Conception d'une carte de commande à base de microcontrôleurs 16F876A pour la variation de vitesse d'un moteurDC »Mémoire Master Univ Msila 2012
- [22] B . Yacine «Conception et réalisation d'un système à microcontrôleur de mesure de CO avec une transmission ZigBee»Mémoire Master Univ UMMTO 2010
- [23] K . Taoues «Etude et Amélioration du Système d'Ensachage (à base du PIC 16F876)' Mémoire Master Univ UMMTO 2010
- [24] S. Sonia «Acquisition des données météorologiques en utilisant le réseau GSM de Mobilis de TIZI OUZOU. Application: cas de la température' Mémoire Master Univ UMMTO 2010
- [25] T. Toufik «Conception et réalisation d'un système d'acquisition et de commande d'un four de chimie avec une interface Labview»Mémoire Master Univ UMMTO 2011
- [26] Z. Lounis «Etude et realisation d'une chaine de mesure de CO₂ »Mémoire Master Univ UMMTO 2009
- [27] F. Chabane «Modélisation des paramètres de la conversion thermique de l'énergie solaire» Thèse doctorat 2015
- [28] F. Abbasi «Réalisation d'un capteur solaire thermique» Mémoire Master Univ ourgla
- [29] D. Sagna «Dimensionnement et étude de performance d'un chauffe-eau solaire à capteur plan vitré pour un usage domestique» Mémoire Master universite assane seck de ziguinchor
- [30] H. Belkacemi «Modélisation et Etude Expérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé» Mémoire Master univ tlemcen 2011
- [31] Y. Sid ali «Etude bidimensionnelle d'un capteur solaire à tube sous vide avec un échangeur en épingle» mémoire de magister 2011
- [32] H. Mezhoura «Etude comparative de la performance d'un capteur solaire cylindro-parabolique à stockage d'énergie avec et sans vitrage» Mémoire Master Univ UMMTO 2018
- [33] Y. Bellouffi «Etude théorique et expérimentale de l'exploitation de la géothermie dans le réchauffement ou le refroidissement d'un fluide caloporteur utilisé pour le confort thermique de l'habitat»these doctorat univ biskra 2017

- [34] O. Farges «Conception optimale de centrales solaires à concentration : application aux centrales à tour et aux installations »"beam down"»Hal Theses 2014
- [35] H Cherif1 , J Sghaier1 , H Mhiri1 «Etude numérique de l'effet de la configuration du récepteur sur les performances d'un capteur solaire parabolique» OpenScience 2024
- [36] N. Hamani 1 , A. Moummi 2* , N. Moummi 3 , A. Saadi 4 et Z. Mokhtari 5 «Simulation de la température de sortie de l'eau dans un capteur solaire cylindro-parabolique dans le site de Biskra »Revue des Energies Renouvelables 2007
- [37] K. Lamine «Etude paramétrique d'un chauffe- eau solaire plan» Mémoire Master Univ UMMTO 2019
- [38] D.Idir «Bilan thermique d'un chauffe-eau solaire» Mémoire Master Univ UMMTO 2013
- [39] B. Hamadouch «Etude d'un chauffe-eau solaire» Mémoire Master Univ Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent 2019
- [40] F. Yettou1*, A. Gama1 , C. Hamouda2 et A. Malek3 «Etude et réalisation d'un banc d'essai pour un chauffe-eau solaire à circulation forcée dans la région des Hauts Plateaux» Revue des Energies Renouvelables 2008
- [41] V. Quashning and R. Hanitsch, «Numerical Simulation of Current-Voltage Characteristics of Photovoltaic Systems with Shaded Solar Cells», Solar Energy,1996
- [42] M. Aghillas «Etude et réalisation d'un COMPTEUR électrique Connecté à base de cartes arduino» Mémoire Master Univ UMMTO 2018
- [43] F. Djafar «Régulation de température de séchage de carrelage avec l'automate LOGO OBA8 »Mémoire Master Univ UMMTO 2017