

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou
Faculté de Génie électrique et d'informatique
Département d'électronique



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en électronique
Option : instrumentation

THEME :

**Conception et réalisation d'une carte de commande
pour variateur de vitesse MICRO MASTER
Adapté à l'énergie photovoltaïque.**

Proposé et dirigé par :

OURABIA. N

Etudié par :

MAMI AZIZ

YAHATENE RAHIM RAMIS

-Promotion 2011-

Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné le courage et la volonté pour mener à bon escient notre projet.

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier notre promoteur monsieur OURABIA, qui n'a pas ménagé d'efforts pour nous encadrer dans notre projet de mémoire de fin d'études.

Nos remerciements s'adressent également à tout le personnel du CDER de Bouzareañ, qui a mis à notre disposition tout le matériel nécessaire durant notre stage pratique.

Un remerciement particulier aux laborantins monsieur Berchiche et monsieur Korsi ainsi que monsieur Azzam qui ont mis à notre disposition tous les moyens pédagogiques durant la finalisation de notre carte.

Nous profitons également de cette occasion, pour adresser nos sincères remerciements, à tous les enseignants ayant contribué à notre formation durant notre cursus universitaire.

Ramis

Aziz

« On ne peut mieux vivre qu'en cherchant à devenir meilleur, ni plus agréablement qu'en ayant la pleine conscience de son amélioration. »

Socrate.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ A toute ma famille : mes chers parents, mes frères, mes sœurs, mes oncles, mes tantes, mes cousins et cousines.*
- ❖ A tous mes amis.*
- ❖ A tous mes camarades de promotion.*
- ❖ A tous ceux qui me sont très chers.*

Aziz

« Il est bien plus beau de savoir quelque chose de tout, que de savoir tout d'une chose ; cette universalité est la plus belle. »

Blaise Pascal.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ A toute ma famille : mes chers parents, ma sœur, mes oncles et tantes.*
- ❖ A tous mes amis de la résidence universitaire Hasnaoua 1, et particulièrement à : Abd'ellah, Razik, Fawzi, et Mohamed Saïed*
- ❖ A mes compagnons de chambre : Hakim, Djebbar, et Lounes avec lesquels j'ai développé une sincère fraternité.*
- ❖ A mes amis : Aziz, Ahmed, Achour Hamdaoui, Mouloud, et Toufik.*
- ❖ A tous mes camarades de promotion.*
- ❖ A tous ceux qui me sont très chers.*

Ramis

Sommaire

Introduction générale -----	1
Chapitre 1	
1. Préambule -----	3
2. Le soleil -----	3
3. Le rayonnement solaire -----	3
4. Atlas solaire d'Algérie -----	5
5. Les cellules photovoltaïques -----	6
5.1 Introduction -----	6
5.2 Les différentes technologies -----	7
5.3 Processus de fabrication -----	7
5.4 Les modules photovoltaïques au silicium -----	8
5.5 Les panneaux PV avec des cellules monocristallines -----	8
5.6 Les panneaux PV avec des cellules poly cristallines -----	9
5.7 Les modules PV amorphes -----	9
5.8 Les autres modules photovoltaïques composites et organiques -----	9
5.9 Comparatif des différentes technologies au silicium -----	10
5.10 Les modules PV double face -----	11
6. Principe de fonctionnement -----	11
7. Modélisation mathématique -----	13
8. Modèle de la température -----	15
8.1 Température de la jonction -----	15
8.2 Variation du courant de saturation -----	16
8.3 Variation du courant de court circuit -----	16
8.4 Variation de la tension à circuit ouvert -----	16
9. Caractéristiques I-V -----	17
9.1 Point de fonctionnement optimal -----	18
9.2 Rendement énergétique maximum -----	18
9.3 Association des cellules en série -----	19
9.4 Association des cellules en parallèle -----	19
Chapitre 2	
1 Définition et description -----	22
2 Principe de fonctionnement -----	22
3 Technologie du moteur asynchrone -----	23
3.1 Le stator -----	23

3.2 Le rotor	24
3.3 Symboles électriques	25
4 Fonctionnement du moteur asynchrone	25
4.1 Glissement	25
4.2 Fonctionnement à vide	26
4.3 Fonctionnement en charge	26
4.3.1 Caractéristiques mécaniques	26
4.4 Bilan des puissances et des pertes	28
4.4.1 La puissance absorbée	29
4.4.2 Les pertes par effet Joule au stator p_{js}	29
4.4.3 Les pertes fer	29
4.4.4 La puissance transmise dans l'entrefer P_{tr}	29
4.4.5 Pertes Joule au rotor P_{jr}	30
4.4.6 Puissance électromagnétique P_{em} et moment du couple électromagnétique T_{em}	30
4.4.7 Pertes mécaniques rotationnelles	30
4.4.8 Puissance mécanique et couple utile P_u et T_u	30
4.4.9 Rendement	31
5 calculs des couples	31
5.1 Expression du couple électromagnétique	31
5.2 Expression du couple utile	31
6 Modélisation mathématique du moteur asynchrone triphasé	31
6.1 Moteur à l'arrêt, rotor bloqué, $g = 1$	33
6.2 Moteur en rotation $g \neq 1$	34
6.3 Schéma équivalent ramené au primaire	35
6.4 Signification physique de la résistance $\frac{R_R}{g}$	35
7 Démarrage du moteur	35
7.1 Démarrage direct	36
7.2 Pilotage de la vitesse de rotation	36
Chapitre 3	
1. Définition	38
2. Schéma synoptique d'un variateur de vitesse	38
3. Principe de fonctionnement	39
4. Organisation interne des variateurs de vitesse	39
4.1 Module de contrôle	40
4.2 Module de puissance	40
5. Variation de vitesse pour moteur asynchrone	40
5.1 Réglage par variation de tension	40
5.2 Réglage par variation de fréquence	41

Partie pratique

1. Le but du projet -----	42
2. Schéma synoptique du projet -----	42
3. Bloc d'alimentation -----	42
3.1 Type de panneaux solaires utilisés -----	42
3.2 Dimensionnement des panneaux solaires -----	44
4. Bloc de commande -----	44
4.1 Carte de pilotage de la vitesse -----	44
a) Description de la carte de pilotage-----	44
b) Schéma synoptique-----	45
4.2 Constituants de la carte de pilotage de la vitesse -----	45
4.2.1 Module d'acquisition de données -----	45
4.2.1.1 Schéma de conditionnement-----	45
4.2.1.2 Les capteurs utilisés -----	46
a) Le capteur de tension -----	46
b) Le capteur de courant -----	46
c) Le capteur de température-----	47
4.2.2 Module de traitement -----	48
a) Les différentes familles des PIC-----	48
b) Identification du Pic 16F877A-----	48
c) Caractéristiques du Pic 16F877A -----	49
d) Répartition des ports du Pic 16F877A -----	49
e) L'oscillateur utilisé -----	50
f) Le convertisseur analogique numérique du PIC 16F877A -----	50
4.2.3 Module d'affichage -----	51
4.2.4 Module de commande -----	52
4.2.5 Module de communication -----	54
a) Protocole de transmission -----	54
b) Paramètres mis en jeu -----	55
c) Principe d'adaptation PIC – RS 232 -----	56
d) Le circuit électrique de la liaison série -----	57
4.3 Réalisation de la carte de pilotage de la vitesse -----	58
a) Schéma électrique -----	58
b) Le circuit imprimé -----	59
c) Schéma d'implantation des composants-----	60
d) photo de la carte -----	61
4.4 Consignes et stockage d'informations -----	62
4.4.1 Les organigrammes -----	62
a) Organigramme du programme manuel -----	62
b) Organigramme du programme automatique -----	63

4.4.2	<u>Etapes de programmation du PIC 16F877A</u>	65
a)	Le CCS	65
b)	Chargement du programme avec <i>PIC START plus</i>	65
4.4.3	<u>Conception logicielle</u>	65
a)	Logiciel HyperTerminal	65
b)	Aperçu de l'interface graphique	66
5.	<u>Bloc de puissance</u>	66
5.1	<u>Variateur de vitesse MICRO MASTER</u>	67
5.1.1	<u>Schéma bloc du variateur de vitesse</u>	68
5.1.2	<u>Paramétrage du MICRO MASTER</u>	69
a)	Touches et fonctions du panneau de commande	69
b)	Paramètres de réglages	70
5.2	<u>Le moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil</u>	71
a)	Constitution du moteur asynchrone triphasé a cage d'écureuil	71
b)	Plaque signalétique du moteur	72
6.	<u>Valeurs obtenues</u>	72
	Conclusion générale	73

Introduction
générale

L'énergie électrique produite dans le monde représente un défi de grande importance. En effet, les besoins énergétiques des sociétés industrialisées ne cessent d'augmenter. Par ailleurs, les pays en voie de développement auront besoin de plus en plus d'énergie pour mener à bien leur développement.

une grande partie de la production mondiale d'énergie est actuellement produite à partir de sources fossiles. La consommation de ces sources donne lieu à des émissions de gaz à effet de serre et donc à une augmentation de la pollution.

La consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures.

A la différence des énergies fossiles, les énergies renouvelables sont des énergies propres, à ressource illimitée, offrant une indépendance de lieu.

L'intégration de ce type d'énergie dans le domaine industriel s'avère une solution économique et écologique.

De par sa superficie et sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire important, La durée annuelle d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national peut atteindre les 3900 heures.

Cependant, bien que les régions sud soient riches en ensoleillement, et face aux chaleurs infligées par les conditions météorologiques caractérisant ces régions, ces dernières se voient en une constante demande d'énergie électrique.

En effet, notre projet s'inspire d'une situation réelle rencontrée dans un milieu industriel, en utilisant l'énergie photovoltaïque pour alimenter une pompe à eau de manière continue.

Pour cela, nous avons utilisé un variateur de vitesse de référence MICRO MASTER commandé avec une carte de pilotage de vitesse, réalisée selon un cahier des charges.

Le principe de fonctionnement de notre conception est basé sur la poursuite du point de puissance maximale des panneaux solaires, auquel la vitesse du moteur est optimale.

La carte de commande aussi appelée carte de pilotage de la vitesse, intègre un microcontrôleur PIC 16F877A, dans lequel on a chargé deux programmes (automatique et manuel) selon notre besoin. La commande s'effectue à partir d'une interface graphique. De plus un afficheur LCD est préconisé à cet effet pour la visualisation des paramètres électriques des panneaux solaires.

Pour mener à bon escient notre mémoire, nous l'avons réparti en quatre chapitres.

Le premier chapitre nous l'avons consacré à une étude théorique des panneaux photovoltaïques.

Le deuxième chapitre, est dédié à l'étude théorique des moteurs asynchrones triphasés.

Le troisième chapitre est une synthèse théorique des variateurs de vitesse.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude pratique.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale.

Chapitre 1

1. Préambule

Dans ce premier chapitre, nous allons orienter nos travaux vers un transducteur d'énergie, c'est à dire un système qui transforme une énergie en général inexploitable directement, en une autre énergie que nous pouvons utiliser selon notre bon gré. Aussi, par pure curiosité ou intérêt d'applications, nous est-il paru nécessaire dans un premier temps de présenter notre soleil, source originelle d'alimentation de ce transducteur.

2. Le soleil

C'est une étoile de type naine jaune, gigantesque bombe thermonucléaire dont la puissance, émise sous forme de photons, représente un chiffre considérable: $3.82 * 10^{26} W$. C'est le résultat de la combustion de 596 millions de tonnes par seconde d'hydrogène convertis en 592 millions de tonnes par seconde d'hélium. Les pertes, 4 millions de tonnes/seconde, se traduit sous forme de rayonnement gamma. Chaque cm^2 de sa surface émet une énergie de 6 kilowatts. Mais il n'arrive sur Terre que 5 milliardièmes ($5 * 10^{-9}$) de cette puissance. Cette pile thermonucléaire fonctionne grâce à la transformation de 4 noyaux d'atomes d'hydrogène qui fusionnent pour fournir 1 noyau d'atome d'hélium avec la libération d'une énergie de 25 000 mégawatts par gramme et par seconde. L'énergie totale transportée par le rayonnement solaire sur une distance soleil-terre est de l'ordre de $1350 W/m^2$ (pour une distance moyenne Terre-soleil de 150 millions de km), l'énergie solaire reçue en un point du globe dépend de :

- l'énergie solaire envoyée par le Soleil (fluctuations décennales, saisonnières, et ponctuelles).
- la nébulosité (nuages, brouillards, etc.), qui est importante à l'équateur et plus faible en milieu intertropical.
- la latitude, la saison et l'heure, qui influent sur la hauteur du soleil et donc l'énergie par unité de surface au sol, ainsi que sur la nébulosité en fonction du climat local.

3. Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont la longueur d'onde s'étend de l'ultraviolet ($0.2\mu m$) à l'infrarouge lointain ($2.5 \mu m$).

On appelle masse d'air ou *air mass en anglais*, le rapport entre l'épaisseur d'atmosphère traversée par le rayonnement directe pour atteindre le sol, et l'épaisseur transverse à la verticale du lieu.

A l'aide des points O, A et M et l'angle h représenté à la (figure1), on écrit, la longueur du trajet du soleil à travers l'atmosphère :

$$OM = \frac{OA}{\sin(h)}$$

Donc, $AM = \frac{OM}{OA} = \frac{1}{\sin(h)}$

Dans l'expression AM_x , x désigne le rapport $\frac{OM}{OA}$

Exemple :

- Soleil au zénith (au niveau de la mer) : AM₁ ;
 - Soleil à 30° : AM₂ ;
 - Soleil à 41,8° : AM_{1,5}.
- Par convention, AM₀ désigne le rayonnement solaire hors atmosphère.

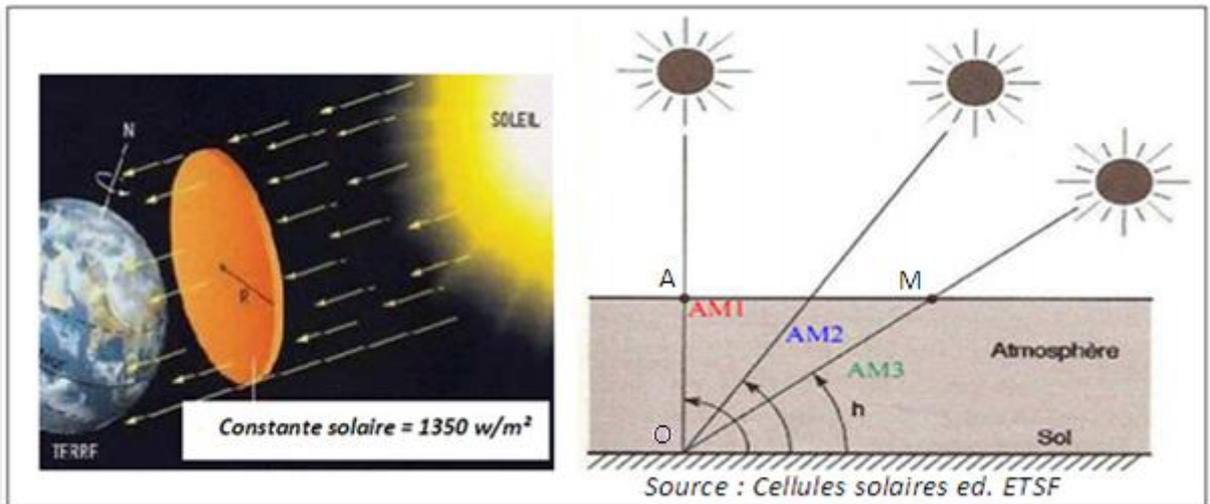


Figure 1

Unités utilisées :

L'éclairement : il est défini comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m² (Watt par mètre carré).

Le rayonnement : c'est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en J/m². D'autres unités plus courantes tels que le Wh/m², bien que ce dernier ne doit pas être utilisé puisque il n'appartient pas au système international d'unités (SI).

Unités	
Éclairement ou irradiance exprimé en W/m ²	Rayonnement, ou énergie incidente exprimé en Wh/m ² ou J/m ²

L'énergie d'un photon est donnée par la relation : $E = \frac{h c}{\lambda}$

Où h est la constante de Planck elle s'exprime en (m² kg /s), c la vitesse de la lumière exprimée en (m/s) et λ sa longueur d'onde exprimée en (m).

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est importante. Cette découverte value à Albert Einstein le prix Nobel en 1905.

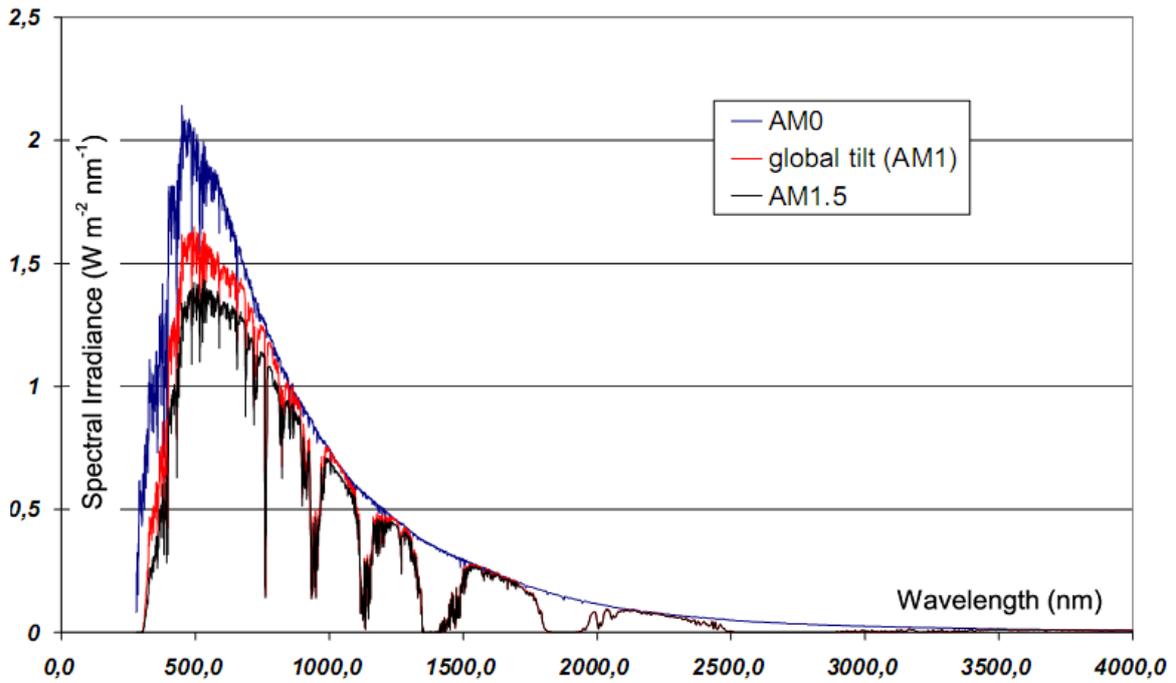


Figure 2 : Spectres extraterrestre AM0, terrestre AM1 et AM1.5 [1]

La (figure 2) représente l'irradiation du spectre solaire terrestre sur une surface orientée spécifiquement sous différentes conditions atmosphériques.

4. Atlas solaire d'Algérie

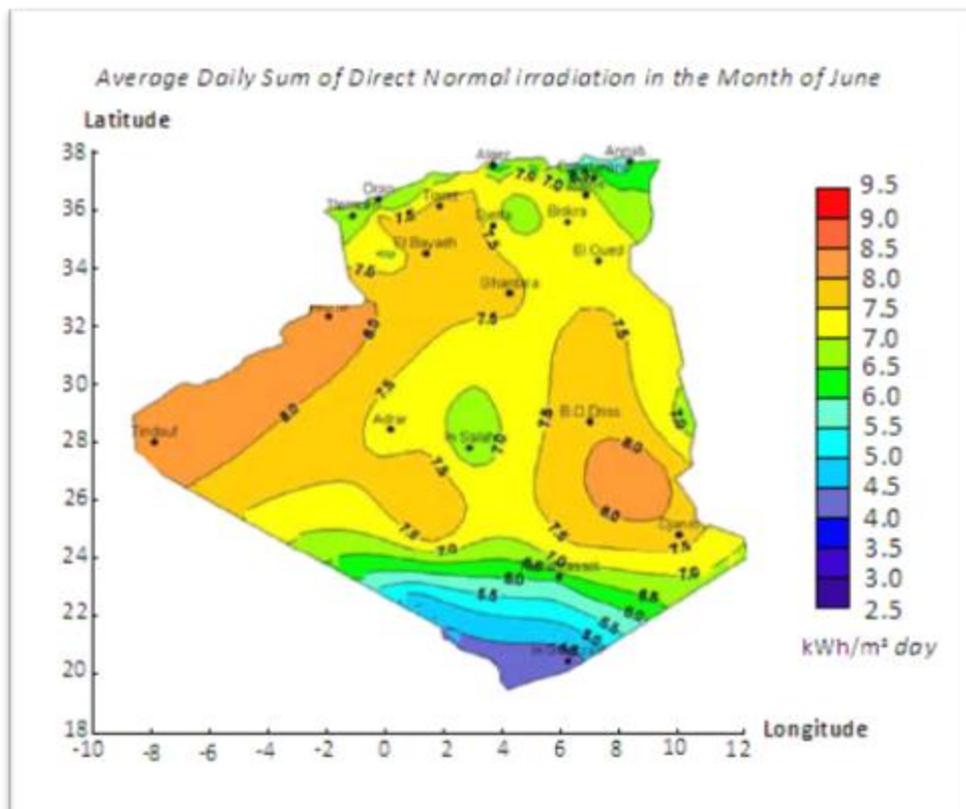


Figure 3

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme surtout dans le Sud du pays (figure 3), La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures [3].

Tableau 1: Irradiation et température mensuelle moyenne du site de Bouzareah. [4]

Mois	Rayonnement solaire quotidien horizontal (kWh/m ² /j)	Température moyenne de l'air (c°)
Janvier	2.20	12.2
Février	3.00	12.6
Mars	4.10	13.8
Avril	4.90	16.0
Mai	6.00	18.5
Juin	6.20	22.1
Juillet	7.00	24.3
Aout	6.40	25.2
Septembre	5.10	23.0
Octobre	3.30	20.0
Novembre	2.70	16.7
Décembre	2.00	13.9

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Son évolution peut se faire à partir des données de l'irradiation solaire globale. Elle est utilisée pour simuler le fonctionnement probable d'un système énergétique solaire et donc faire le dimensionnement le plus exact possible compte tenu des demandes à satisfaire.

5. [Les cellules photovoltaïques](#)

5.1 Introduction

La première cellule photovoltaïque (ou photopile) a été développée aux États-Unis en 1954 par les chercheurs des laboratoires Bell, qui ont découvert que la photosensibilité du silicium pouvait être augmentée en ajoutant des impuretés.

C'est une technique appelée dopage, qui est utilisée pour tous les semi-conducteurs. Mais en dépit de l'intérêt des scientifiques au cours des années, ce n'est que lors de la course vers l'espace que les cellules ont quitté les laboratoires.

En effet, les photopiles représentent la solution idéale pour satisfaire les besoins en électricité à bord des satellites, ainsi que dans tous les sites isolés.

5.2 Les différentes technologies

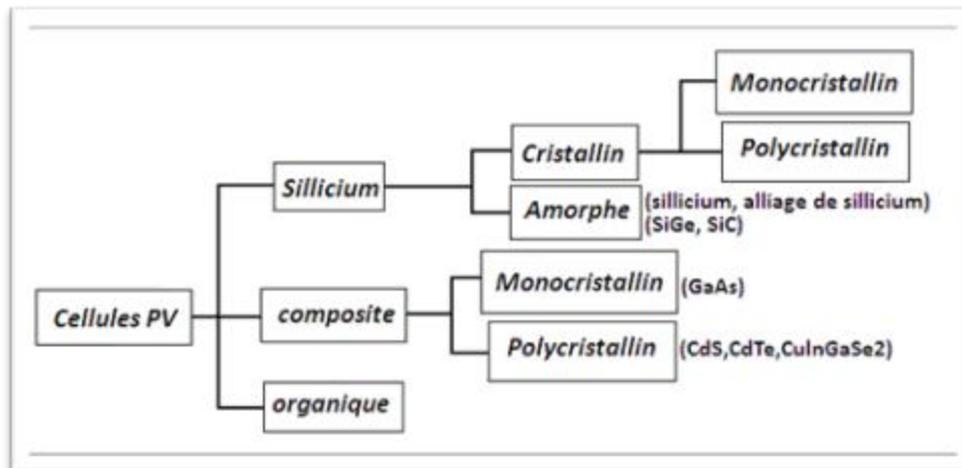


Figure 4

La (figure 4) donne un aperçu général du grand nombre de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Beaucoup sont encore en phase de recherche et de développement. Les principales technologies industrialisées en quantité à ce jour sont : le silicium mono et poly cristallin (plus de 80% de la production mondiale) et le silicium en couche mince à base de silicium amorphe ou CIS (Cuivre Indium Sélénium) [2].

5.3 Processus de fabrication

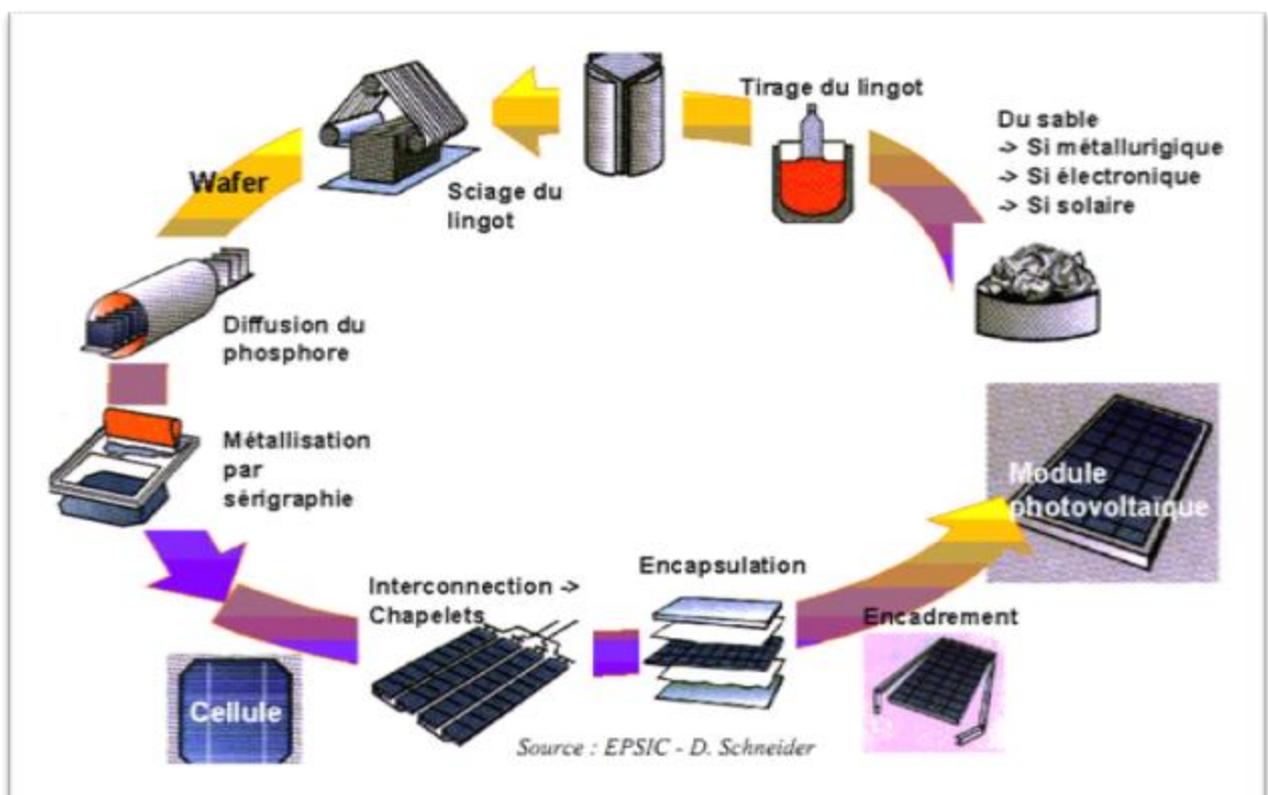


Figure 5

5.4 Les modules photovoltaïques au silicium

Le silicium, est actuellement le matériau le plus utilisé pour fabriquer les cellules photovoltaïques disponibles au niveau industriel (figure 6). Il est fabriqué à partir de sable quartzeux (dioxyde de silicium). Celui-ci est chauffé dans un four électrique à une température de 1700 °C. Divers traitements du sable permettent de purifier le silicium. Le produit obtenu est un silicium dit métallurgique, pur à 98% seulement. Ce silicium est ensuite purifié chimiquement et aboutit au silicium de qualité électronique qui se présente sous forme liquide, puis coulé sous forme de lingot suivant le processus pour la cristallisation du silicium, et découpé sous forme de fines plaquettes *wafers* (figure 7).

Par la suite, ce silicium pur va être enrichi en éléments dopants (P, A_s, S_b ou B) lors de l'étape de dopage, afin de pouvoir le transformer en semi-conducteur de type P ou N. La diffusion d'éléments dopants (bore, phosphore) modifie l'équilibre électronique de ces wafers, ce qui les transforme en cellules sensibles à la lumière.

La production des cellules photovoltaïques nécessite de l'énergie, et on estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner pendant plus de deux ans pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication.



Bloc de silicium

Figure 6



Wafers

Figure 7

Les cellules monocristallines et poly cristallines sont fragiles. Elles sont donc placées entre deux plaques de verre (encapsulation) afin de former un module. Le matériau de base est le silicium qui est très abondant, mais la qualité nécessaire pour réaliser les cellules doit être d'une très grande pureté et son coût intervient de façon importante dans le coût de revient total.

5.5 Les panneaux PV avec des cellules monocristallines

Ce sont les photopiles de la première génération (figure 8), elles sont élaborées à partir d'un bloc de silicium cristallisé en un seul cristal. Son procédé de fabrication est long et exigeant en énergie, il est cependant plus efficace que le silicium poly cristallin. Du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau. Lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, on obtient un monocristal. Un wafer est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N, dépôt de

couche antireflet, pose des collecteurs), le wafer devient cellule. Les cellules sont rondes ou presque carrées et, vues de près, elles ont une couleur uniforme. Elles ont un rendement de 12 à 18% [2], mais la méthode de production est laborieuse.

5.6 Les panneaux PV avec des cellules Poly cristallines

Ils sont élaborés à partir d'un bloc de silicium cristallisé en forme de cristaux multiples. Vus de près, on peut voir les orientations différentes des cristaux (figure 9). Ils ont un rendement de 11 à 15%, mais leur coût de production est moins élevé que les cellules monocristallines. Ces cellules, grâce à leur potentiel de gain de productivité, se sont aujourd'hui imposées. L'avantage de ces cellules par rapport au silicium monocristallin est qu'elles produisent peu de déchets de coupe et qu'elles nécessitent 2 à 3 fois moins d'énergie pour leur fabrication. Le wafer est scié dans un barreau de silicium dont le refroidissement forcé a créé une structure poly-cristalline. Durée de vie estimée à 30 ans.

5.7 Les modules PV amorphes

Ils ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement n'est que 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Le rendement de ces panneaux est moins bon que celui des technologies poly cristallines ou monocristallines. Cependant, le silicium amorphe permet de produire des panneaux de grande surface à bas coût en utilisant peu de matière première.

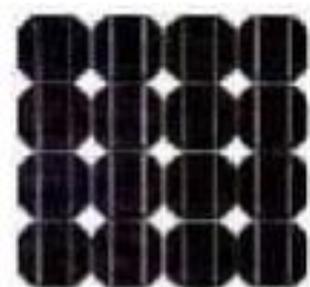


Figure 8

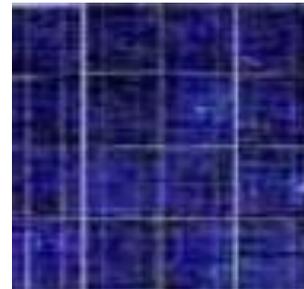


figure 9

5.8 Les autres modules photovoltaïques composites et organiques

Plusieurs technologies de cellules photovoltaïques autres que la technologie (silicium), existent mais ne sont pas représentatives de la production actuelle mais plutôt du domaine de la recherche. Voici quelques-unes d'entre-elles.

Couches minces au silicium amorphe ou CIS (cuivre-indium sélénium)

La couche mince utilise seulement 1% du silicium pour la fabrication de modules cristallins équivalents. Les cellules à couches minces sont plutôt utilisées pour des applications à courant faible.

Elles sont également souvent utilisées là où un fort échauffement des modules est à prévoir car le rendement ne chute pas avec la température. Cependant, le rendement est 2 fois plus inférieur à celui du silicium cristallin et nécessite donc plus de surface pour la même puissance installée. Il y a un risque de toxicité vis-à-vis de l'environnement pour les modules CIS qui présentent un meilleur rendement que l'amorphe pur.

5.9 Comparatif des différentes technologies au silicium

Tableau 2 : récapitulatif et comparatif des différentes technologies au silicium [2]

Matériau R	Rendement	Longévité	Caractéristiques	Principales utilisations
Silicium mono cristallin	12 à 18% (24,7% en laboratoire)	20 à 30 ans	* Très performant * Stabilité de production d'W * Méthode de production coûteuse et laborieuse	Aérospatiale, modules pour toits, façades,...
Silicium poly cristallin	11 à 15% (19,8% en laboratoire)	20 à 30 ans	* Adapté à la production à grande échelle. * Stabilité de production d'W. Plus de 50% du marché	mondial. Modules pour toits, façades, générateurs
Amorphe	5 à 8% (13% en laboratoire)		* Peut fonctionner sous la lumière fluorescente. * Fonctionnement à faible luminosité. * Fonctionnement par temps couvert. * Fonctionnement à ombrage partiel * La puissance de sortie varie dans le temps. En début de vie, la puissance délivrée est de 15 à 20% supérieure à la valeur nominale et se stabilise après quelques mois.	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment
Composite mono cristallin (GaAs)	18 à 20% (27.5% en laboratoire)		* Lourd, se fissure facilement	Systèmes de concentrateurs Aérospatiale (satellites)
Composite poly cristallin C_dS, C_dTe, $CuInGaSe_2$	8% (16% en laboratoire)		Nécessite peu de matériaux mais certains contiennent des substances polluantes	Appareils électroniques (montres, calculatrices...), intégration dans le bâtiment

5.10 Les modules PV double face

Certain fabricants proposent des panneaux solaires comportant des cellules solaires sur les deux faces (figure 10). Les cellules sont en général montées sur une vitre, encapsulées dans un cadre aluminium. Ces panneaux sont adaptés aux sites ayant des albédos importants, les surfaces enneigées. La puissance du module double face est le double de la puissance du même module simple face mais l'énergie moyenne annuelle produite par le module double face n'est supérieure que de 10 % à celle produite par le même module simple face (le coût d'investissement par contre a presque doublé).

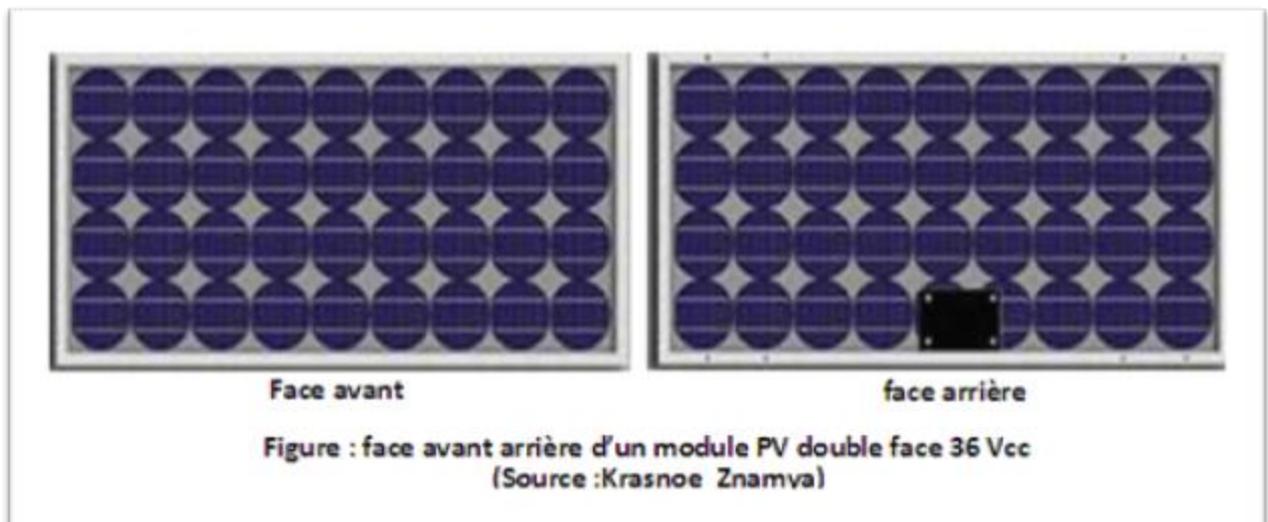


Figure 10

6. Principe de fonctionnement

Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont bombardés par les photons constituant la lumière, sous l'action de ce bombardement, les électrons de la couche de valence ont tendance à être (arrachés / décrochés), si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique (figure 11).

Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons décrochés créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique.

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires, permet de convertir directement l'énergie lumineuse des rayons solaires en électricité par le biais de la production, et du transport dans un matériau semi-conducteur, de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière (figure 12). Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P. La zone initialement dopée N devient

chargée positivement et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P. Une jonction PN est formée.

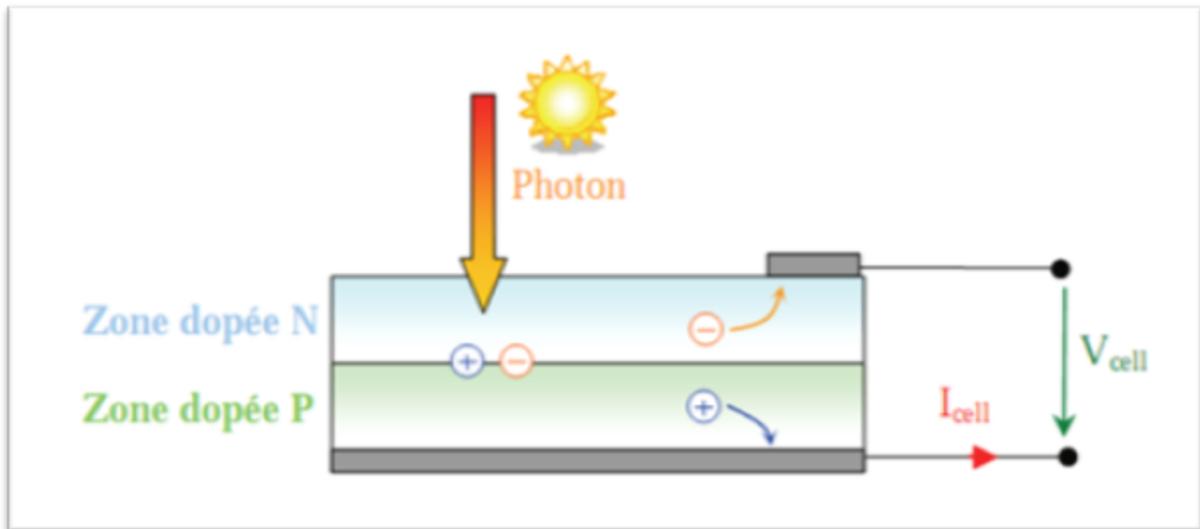


Figure 11. Schéma de principe de la conversion photoélectrique [5].

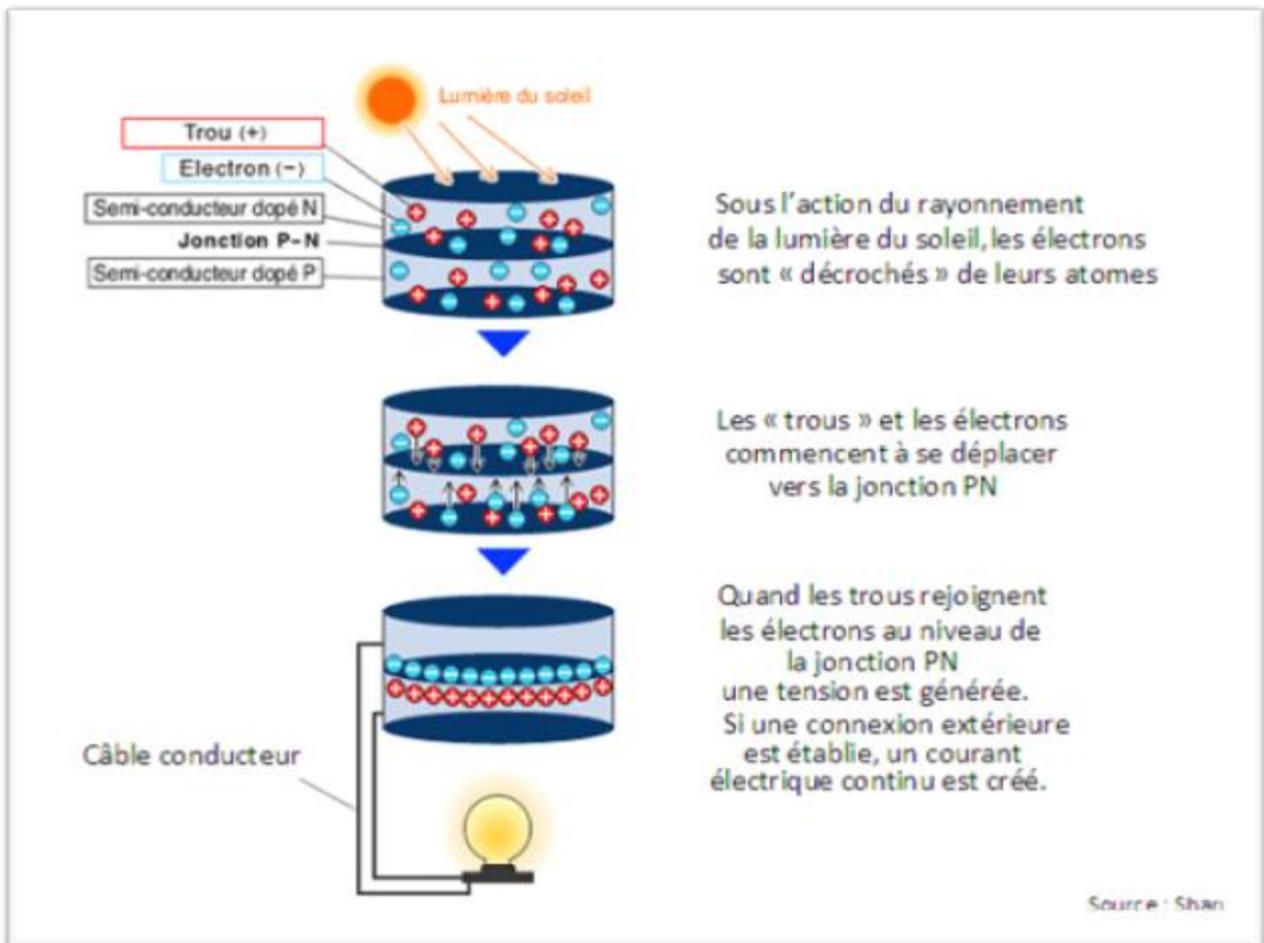


Figure 12

Les photons absorbés vont tout simplement transférer leur énergie aux électrons périphériques (les plus éloignés du noyau), leur permettant ainsi de se libérer de l'attraction de leur noyau. Ces électrons libérés sont susceptibles de libérer un courant électrique si on les attire ensuite vers l'extérieur.

En régime permanent, l'électron libéré laisse un trou qui se traduit par une charge positive. Si cet électron est attiré à l'extérieur, c'est l'électron d'un atome voisin qui va venir combler ce trou, laissant à nouveau un trou, lui-même comblé par un électron voisin et ainsi de suite. On génère ainsi une circulation de charges élémentaires, d'électron dans un sens, et de trous dans l'autre sens, ce qui donne un courant électrique.

7. Modélisation mathématique

La modélisation d'une cellule photovoltaïque peut être effectuée selon différents niveaux de complexité. Il s'agit d'obtenir un circuit électrique équivalent de la cellule photovoltaïque. Il existe plusieurs modèles parmi lesquels nous avons choisis celui d'une complexité moyenne (figure 13).

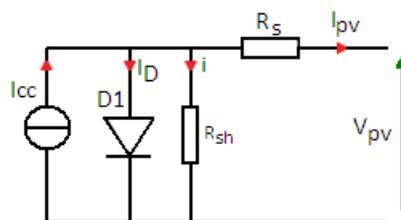


Figure 13

Ce modèle a une source de courant, i_{cc} qui dépend de la radiation solaire et de la température, une diode en parallèle dont l'intensité de saturation inverse dépend de la température, et une résistance en série R_s , laquelle représente l'effet de la résistance interne des contacts de la cellule [5].

On peut ajouter davantage de complexité dans le modèle en introduisant en outre une résistance en parallèle avec la diode R_{sh} , qui représenterait l'effet du courant qui traverse le cristal.

Le modèle à une diode (empirique) est actuellement le plus utilisé en raison de sa simplicité,

Il permet d'exprimer l'intensité de courant d'un module PV en fonction de la tension à ses bornes et des conditions climatiques (ensoleillement et température ambiante).

En appliquant le diviseur de courant sur le modèle précité on obtient :

$$I_{pv} = I_{cc} - I_D - i \quad \dots (1)$$

Connaissant l'équation d'une diode, on en déduit l'expression du courant fourni par une cellule PV.

$$I_{pv} = I_{cc} - I_s * [\exp\left(e * \frac{V_D}{n * K * T}\right) - 1] - i \quad \dots (2)$$

On exprime le potentiel thermodynamique à une température donnée par :

$$V_T = K * \frac{T}{e} = 25.88 \text{ mv (à } 300^\circ K) \quad [6]$$

L'équation 2 devient :

$$I_{pv} = I_{cc} - I_s * [\exp\left(\frac{V_D}{n * V_T}\right) - 1] - i \quad \dots (3)$$

Le courant i vaut :

$$i = \frac{V_D}{R_{sh}} \quad \rightarrow \quad i = \frac{V_{pv} + R_s * I_{pv}}{R_{sh}}$$

Alors :

$$I_{pv} = I_{cc} - I_{sat} * \left(\exp\left(\frac{V_{pv} + R_s * I_{pv}}{n * V_T}\right) - 1 \right) - \frac{V_{pv} + R_s * I_{pv}}{R_{sh}}$$

L'expression de la tension en circuit ouvert :

En circuit ouvert, la valeur de I_{pv} est nulle, la tension V_D est égale à V_{co} on peut donc extraire la tension V_D de l'équation 3,

On obtient ainsi :

$$V_{co} = n * V_T * \ln\left(\frac{I_{cc}}{I_s} + 1\right)$$

Avec :

I_{cc} : Photocourant créé par la cellule (proportionnel au rayonnement incident) ;

I_s : Courant de saturation (courant inverse de la jonction) ;

e : Charge de l'électron ($1.6 * 10^{-19} \text{ C}$) ;

V_{co} : Tension à vide aux bornes de la cellule PV ;

V_D : Tension aux bornes de la diode D1 ;

K : Constante de Boltzmann ($1.38 * 10^{-23} \text{ J/K}$) ;

T : Température (en °k) ;

n : Facteur d'idéalité de la jonction ($1 < n < 3$).

Le facteur d'idéalité est égal à 1 pour une diode idéale, mais peut varier jusqu'à 2, lors de la prise en compte du courant de génération – recombinaison [6].

La caractéristique d'une jonction PN non éclairée est celle d'une diode. En présence d'un éclairage, Cette caractéristique est décalée vers le bas d'un courant I_{cc} (courant de court-circuit). De même, elle coupe l'axe des abscisses en V_{co} (tension de circuit ouvert). La droite de charge indique le point de fonctionnement (figure 14).

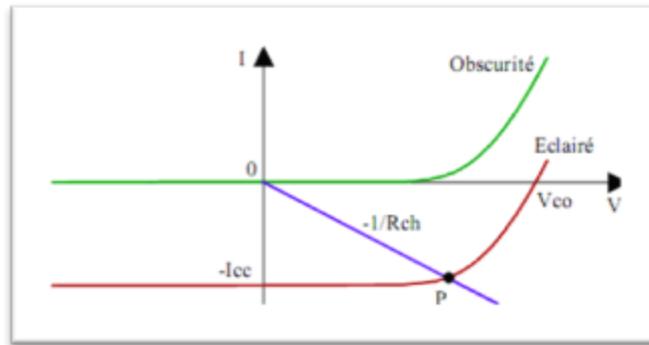


Figure 14

Le facteur de forme *fill factor*, est le rapport entre la puissance maximale P_m que peut fournir un module photovoltaïque et la puissance qu'il est théoriquement possible d'obtenir (puissance optimale)

$$FF = \frac{P_m}{V_{co} * I_{cc}} = \frac{V_m * I_m}{V_{co} * I_{cc}}$$

8. Modèle de la température

8.1 Température de la jonction

La température de la jonction T_c de la cellule est donnée par la relation suivante :

$$T_c = T_a + \frac{(NOCT - 20)}{800} * E_G$$

Avec :

T_c : température de la cellule ;

NOCT: *Nominal operating cell temperature*, température nominale de fonctionnement de la cellule solaire ;

T_a : température ambiante ;

E_g : éclairement solaire global du lieu considéré (W/m^2).

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

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

$$T_a = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} * \cos\left(\frac{14 - TL}{14 - TL} * \pi\right) + T_{moy}$$

Avec :

T_{LL} : l'heure du lever de soleil ;

T_{moy} : la température moyenne journalière ;

T_{max} : la température maximale journalière ;

T_{min} : la température minimale journalière cette relation valable avec les grandeurs moyennes mensuelles d'un site.

8.2 Variation du courant de saturation

Le courant de saturation I_{sat} dépend de la température de jonction et peut être exprimé par la relation suivant :

$$I_{sat} = A_0 * T_c^3 * \exp\left(-\frac{E_G}{k * T_c}\right)$$

Pour le silicium monocristallin $A_0 = 2.11 * 10^3$

8.3 Variation du courant de court circuit

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

$$I_{cc} = K_1 * G * [1 + K_2 * (G - G_0) + K_3 * (T_c - T_0)]$$

Avec :

G_0 : l'éclairement de référence (1000 w/m²) ;

T_0 : la température de référence (298 K) ;

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

8.4 Variation de la tension à circuit ouvert

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

$$V_{co} = V_{coo} + \beta * \Delta T + \alpha * (G - G_0) \quad [7]$$

Avec :

V_{coo} : la tension à circuit ouvert de référence (V) ;

α : coefficient de variation du courant de court circuit en fonction de la température (A/°C)

β : coefficient de variation de la tension à vide en fonction de la température (V/°C) ;

ΔT : la variation de la température (°C).

9. Caractéristiques I-V

La (figure 15) présente la courbe I-V d'un module typique de 125 W crête en fonction de l'irradiation solaire. La valeur de 125 W crête est une mesure sous une irradiation de 1 kW/m^2 , spectre

AM 1.5 et de température de 25°C . Ces valeurs sont appelées STC (Standard Test Conditions) et elles sont utilisées par tous les fabricants pour définir leurs produits. Mais ces conditions sont rarement rencontrées dans la réalité (sauf en hiver) parce que la température d'un module au soleil est en général plus élevée que 25°C . Pour tenir compte de conditions plus réalistes et habituelles, les fabricants donnent une valeur de température typique des cellules lorsque la température ambiante est de 20°C , l'irradiation de 800 W/m^2 et le vent de 1 m/sec . Cette valeur est appelée NOCT.

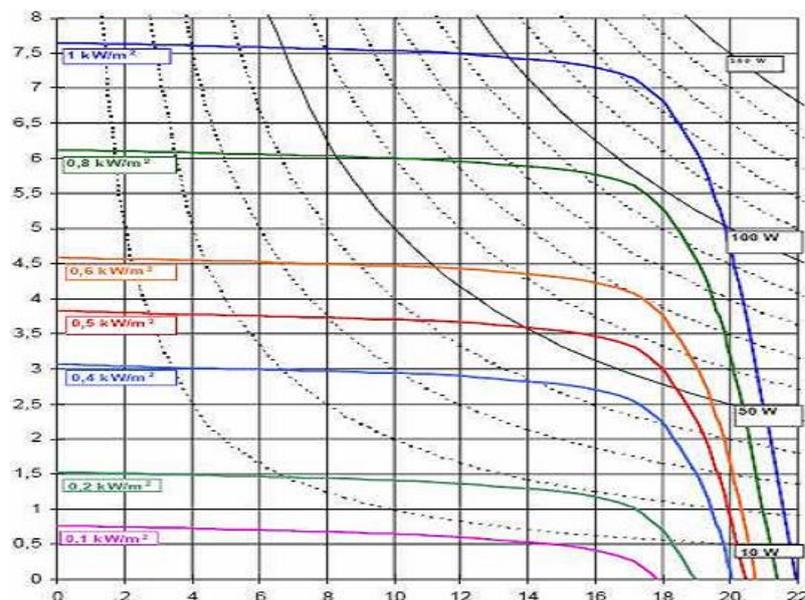


Figure 15 : Caractéristiques I-V d'un module Photowatt PW 6-110 pour différentes irradiances solaires, à 25°C . [7]

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

La (figure 16) présente le comportement du même module sous une lumière de 1 kW/m^2 et à des températures entre 0 et 60°C . On remarque l'importance des variations de la tension.

Le courant gagne un peu d'intensité lorsque la température augmente, ceci peut être expliqué par une meilleure absorption de la lumière, le gap baisse lorsque la température augmente. L'augmentation du courant peut être négligé au point de puissance maximale.

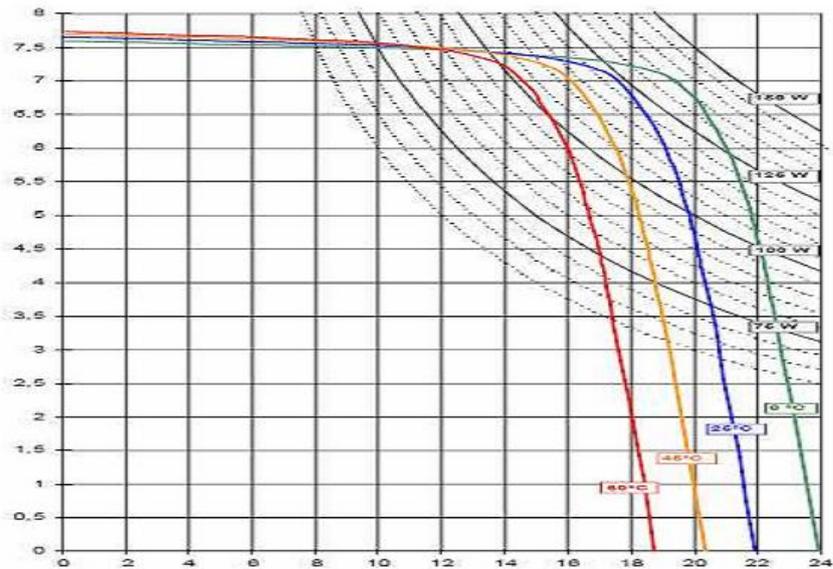


Figure 16: Caractéristiques I-V d'un module Photowatt PW 6-110 pour différentes températures [7].

9.1 Point de fonctionnement optimal

Un générateur délivre une puissance $P = I * V$ qui varie avec la charge à alimenter par le système.

Cette puissance passe par un point maximum pour une seule valeur de la résistance chargée, en ce point la dérivée de la puissance est nulle :

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

$$\partial P = 0 \rightarrow \begin{cases} I * \partial I = 0 \\ V * \partial V = 0 \end{cases}$$

9.2 Rendement énergétique maximum

Le rendement énergétique maximum d'un générateur photovoltaïque est le rapport de la puissance P_m maximale dissipée dans la charge et la puissance du rayonnement solaire incident [7].

$$\eta_{pv} = \frac{P_m}{\phi_G * S}$$

Avec :

ϕ : Flux globale (W/m²).

S : Surface de générateur (m²).

Ce rendement dépend de plusieurs facteurs :

- Réflexion à la surface ;
- Température de jonction des cellules ;
- Type de matériau utilisé et technique de fabrication ;
- La résistance série et parallèle responsables des pertes par effet Joule ;
- Absorption incomplète et excès d'énergie des photons absorbés.

9.3 Association des cellules en série

Une association de n_s cellules en série permet d'augmenter la tension du générateur photovoltaïque. Les cellules sont alors traversées par le même courant et la caractéristique résultant du groupement série est obtenue par addition des tensions élémentaires de chaque cellule, (figure 17).

L'équation 1 résume les caractéristiques électriques d'une association série de n_s cellules.

$$V_{co_{n_s}} = n_s * V_{co} \quad \text{avec} \quad I_{cc} = I_{cc_{n_s}} \dots (1)$$

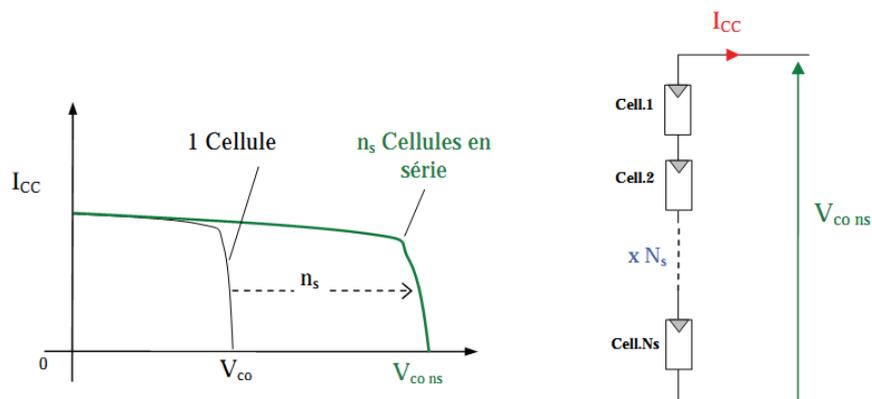


Figure 17

9.4 Association des cellules en parallèle

D'autre part, une association parallèle de n_p cellules est possible et permet d'accroître le courant de sortie du générateur ainsi créé. Dans un groupement de cellules identiques connectées en parallèle, les cellules sont soumises à la même tension et la caractéristique résultant du groupement est obtenue par addition des courants, (figure 18).

L'équation 2 résume à son tour les caractéristiques électriques d'une association parallèle de n_p cellules.

$$I_{sc_{n_p}} = n_p * I_{sc} \quad \text{Avec} \quad V_{co_{n_p}} = V_{co} \dots (2)$$

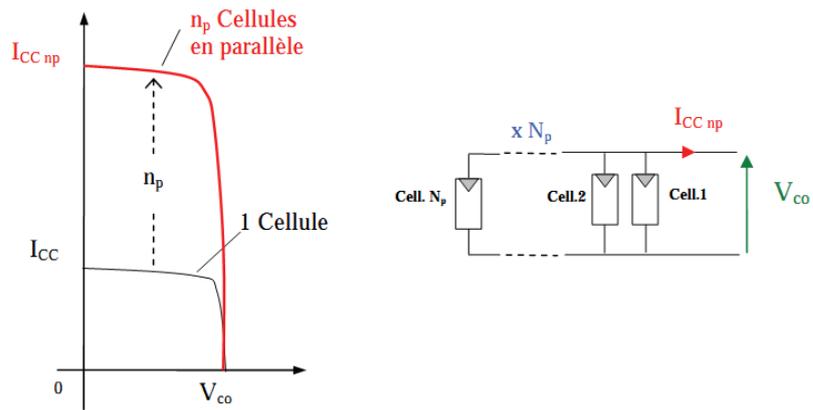


Figure 18

Dans certaines conditions d'éclairement non uniforme, et de fonctionnement proche du court-circuit, une cellule du groupement série, peut même être soumise à la tension des $(n_s - 1)$, dans ce cas elle devient réceptrice en dissipant une puissance importante qui peut la détruire si la contrainte thermique est trop forte ou si la tension d'avalanche est dépassée, dans ce cas la cellule défectueuse (condamne) toutes les autres cellule en série, ce qui annule le courant. Pour éviter cela, il faut disposer une diode D_p connectée en parallèle, appelée *diode by-pass*, aux bornes d'un groupement élémentaire de 30 à 40 cellules au silicium au maximum. L'amorçage spontané de cette diode parallèle se fait dès apparition d'une tension inverse aux bornes du groupement, cette dernière a une valeur de tension de conduction V_d et dissipe une puissance qui vaut $V_d * I_s$.

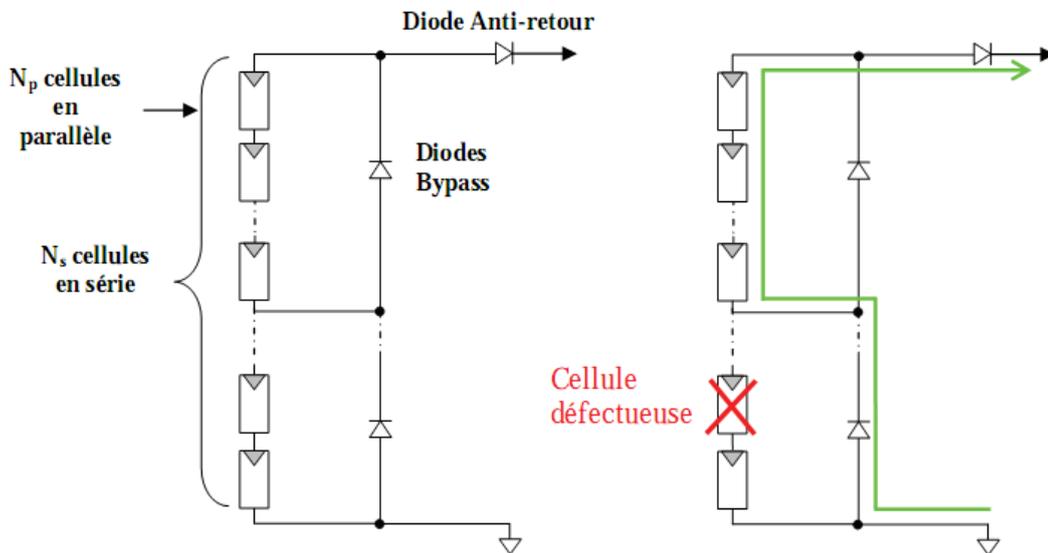


Figure 19

Les diodes anti-retour sont utilisées comment protection contre les polarisations inverses de tout un groupe de N_s cellule série.

La (figure 20) montre le câblage typique d'un réseau de cellules ou de modules photovoltaïques munis de diodes de protections.

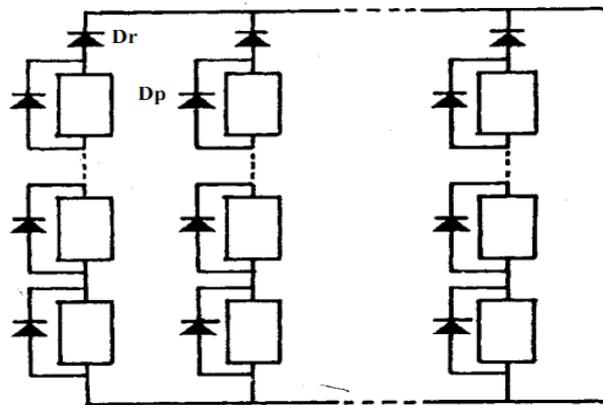


Figure 20

La caractéristique électrique globale courant / tension d'un générateur photovoltaïque, se déduit donc théoriquement, de la combinaison des caractéristiques des n_s et n_p cellules élémentaires qui le compose.

Bibliographie chapitre 1 :

- [1] thèse, universite de limoges école doctorale sciences – technologie – santé, faculte de sciences et technique de limoges thèse n° 54-2004, André MOLITON et Bernard Ratier, réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques organiques obtenues par dépôt physique.
- [2] document, électrotechnique, STI ELT, production d'énergie électrique : énergie solaire photovoltaïque, Energie solaire photovoltaïque.doc / B. Flèche - D. Delagnes / juin 07
- [3] site, www.atlas.solaire.dz
- [4] logiciel RETscreen by NASA et l'archive 2010 du CDER de Bouzareah.
- [5] thèse, Doctorat de l'université de Toulouse, Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques, M. PETIBON Stéphane, le 20 Janvier 2009.
- [6] documents, I.U.T. de Nîmes, Départ GE2I, giamarchi@iut-nimes.fr, fiche technique de cellule Solaire.
- [7] thèse, Centre Universitaire De Bechar, Institut des Sciences Exactes, mémoire de magister, Option, microélectronique –Photovoltaïque, Belhadj Mohammed, Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome, 2007-2008.

Chapitre 2

1 Définition et description

Le moteur asynchrone est une machine tournante, aussi appelé moteur à induction.

Il fonctionne en courant alternatif, sa particularité est de fonctionner avec un induit en court-circuit sur lequel il n'est donc pas nécessaire de faire des connexions électrique.

Ceci permet de s'affranchir des problèmes liés aux collecteurs et aux balais, rencontrés dans le moteur à courant continu.

Ce moteur peut selon sa construction, être relié par son circuit inducteur à un réseau électrique alternatif monophasé ou polyphasé. Nous étudierons pour notre part le cas où le moteur est alimenté par un réseau triphasé.

2 Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement des moteurs à courant alternatifs réside dans l'utilisation d'un champ magnétique tournant produit par des tensions alternatives. Une induction magnétique B est produite par la circulation du courant dans une bobine, ce champ est dans l'axe de la bobine, sa direction et son intensité sont fonction du courant i .

Si le courant est alternatif, le champ magnétique varie à la même fréquence et dans le même sens que le courant qui lui a donné naissance.

Considérons le montage de la (figure 1), lorsque deux bobines sont placées à proximité l'une de l'autre, le champ magnétique résultant est la somme vectorielle des deux autres.

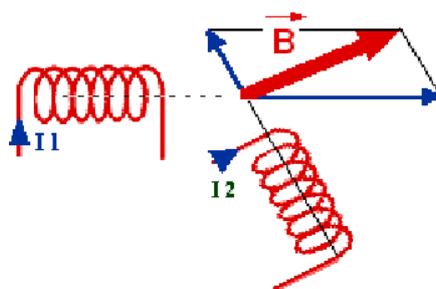


Figure1

Dans le cas du moteur triphasé, les trois bobines sont disposées dans le stator à 120° les unes des autres comme l'illustre la (figure 3). Trois champs magnétiques sont ainsi créés. Compte-tenu de la nature du courant sur le réseau triphasé, les trois champs sont déphasés en conséquence, (figure 2).

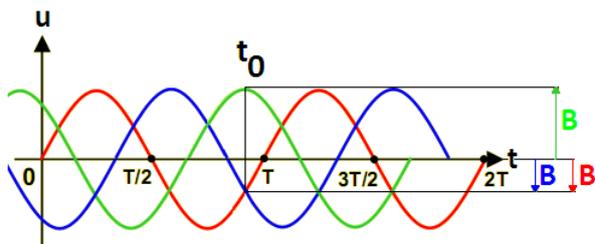


Figure 2

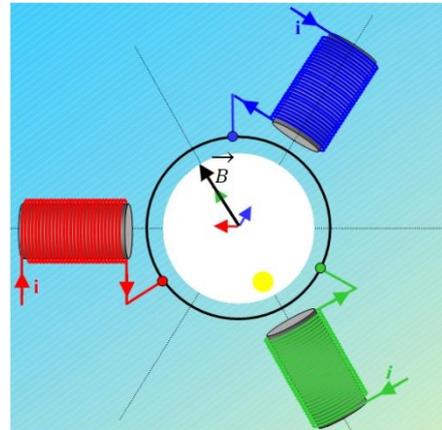


figure 3

3 Technologie du moteur asynchrone

3.1 Le stator

Il constitue l'inducteur du moteur asynchrone, c'est dans le stator que se situent les bobines inductrices décrites précédemment, et où le champ magnétique prendra naissance. Il est relié au réseau électrique triphasé.

Les courants du stator créent le champ magnétique tournant, à la vitesse angulaire ω , appelée vitesse de synchronisme, et donnée par la relation :

$$\Omega_s = \frac{\omega}{p}$$

On définit :

$$n_s = \frac{\Omega_s}{2\pi} = \frac{f}{p}$$

Avec :

- Ω_s : vitesse de synchronisme (rd/s) ;
- n_s : vitesse de synchronisme (tr/s) ;
- f : fréquence du courant alternatif (Hz) ;
- ω : pulsation des courants alternatifs (rd/s) ;
- p : nombre de paires de pôles.

Remarque :

En pratique, et par abus de langage, on parle de nombre de pôles monophasés, même lorsqu'il s'agit d'un moteur triphasé. Il est cependant plus logique de parler du nombre de (triplets) ou de (paires) de pôles. Par conséquent, il est plus logique de noter que p est le nombre de pôle par phase.

Tableau 1 : vitesse d'un moteur asynchrone en fonction du paramètre p . [3]

Nombre de pôles par phase	Nombre total de pôles triphasés	Nombre de pôles monophasés	n_s (tr/s)	n_s (tr/mn)
1	3	2	50	3000
2	6	4	25	1500
3	9	6	16.67	1000
4	12	8	12.5	750

3.2 Le rotor

Il est constitué de barres d'aluminium placées dans un circuit magnétique. Ces barres sont reliées à leur extrémité par deux anneaux conducteurs et constituent une cage d'écurie, cette dernière est en fait un bobinage à grosse section et très faible résistance, voir (figure 4). La cage d'écurie est balayée par le champ magnétique tournant. Les conducteurs sont alors traversés par des courants de Foucault induits.

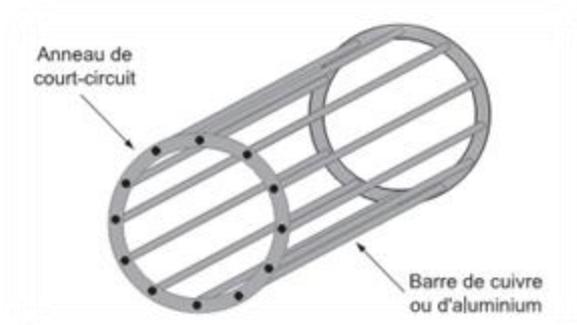


Figure 4

Des courants circulent dans les anneaux formés par la cage, les forces de Laplace qui en résultent exercent un couple sur le rotor, voir la (figure 5). Les courants induits s'opposent par leurs effets à la cause qui leur a donné naissance. Le rotor tourne alors dans le même sens que le champ magnétique mais avec une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de synchronisme de ce dernier. [2]

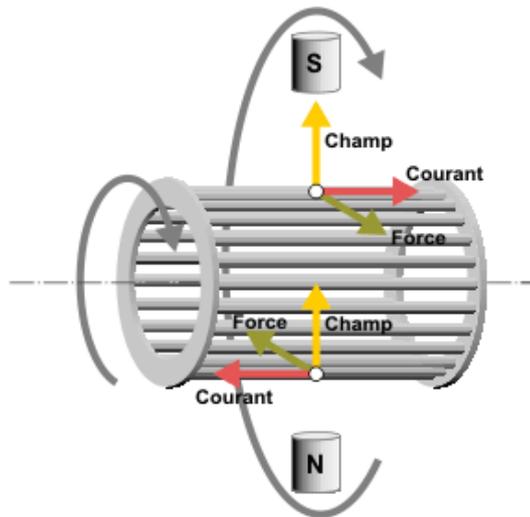


Figure 5

3.3 Symboles électriques

La (figure 6 a) illustre la représentation électrique d'un moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné, la (figure 6 b) quant à elle, symbolise la représentation d'un moteur asynchrone triphasé à rotor non bobiné, exemple moteur à cage d'écureuil.

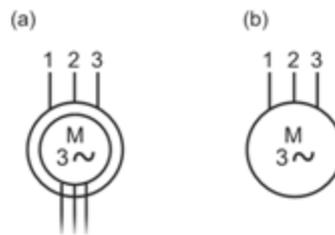


Figure 6

4 Fonctionnement du moteur asynchrone

4.1 Glissement

Le moteur est dit asynchrone car il est impossible au rotor d'atteindre la même vitesse que le champ statorique, le rotor a toujours un temps de retard sur les courants statoriques. Cela peut se comprendre de façon intuitive, puisque le champ tournant doit d'abord donner naissance aux courants rotoriques avant d'interagir avec eux.

Or, si le rotor arrivait à tourner à la même vitesse que le champ magnétique tournant, l'ensemble des conducteurs constituant le rotor seraient plongés dans un flux magnétique constant, dans ce cas la relation de Faraday $E = - \frac{\partial \Phi}{\partial t}$ ne serait plus vérifiée [1].

Par conséquent, les courants rotoriques ne seraient pas induits et ne pourraient pas produire de couple, le rotor du moteur ne serait alors plus entraîné.

Par conséquent, les courants rotoriques ne seraient pas induits et ne pourraient pas produire de couple, le rotor du moteur ne serait alors plus entraîné.

La différence de vitesse entre le rotor et le champ statorique est appelée glissement, nous la noterons g .

Le glissement dépend de la charge mécanique du moteur, plus le moteur doit délivrer un couple important, plus le rotor glisse.

En effet, on peut imaginer qu'un rotor ayant une charge plus importante ait plus de difficulté à suivre le champ magnétique.

Le glissement est défini par la vitesse de synchronisme et la vitesse du rotor selon la relation ci-dessous :

$$g(\%) = 100 * \frac{\Omega_s - \Omega}{\Omega_s} = 100 * \frac{n_s - n}{n_s}$$

Avec :

n : vitesse de rotation du rotor (tr/s)

4.2 Fonctionnement à vide

À vide, le rotor n'entraîne pas de charge. Par conséquent, le glissement est pratiquement nul et le rotor tourne quasiment à la vitesse de synchronisme.

A vide on supposera que :

$$g = 0 \text{ et } n = n_s$$

4.3 Fonctionnement en charge

Lorsque le moteur est chargé, c'est-à-dire, lorsqu'on lui demande de fournir un effort mécanique, la consommation de puissance active augmente et le stator absorbe un courant actif.

4.3.1 Caractéristiques mécaniques

La (figure 7) montre l'allure de la caractéristique du couple utile d'un moteur asynchrone, en fonction de la vitesse de rotation et du glissement.

$$T_u = f(n)$$

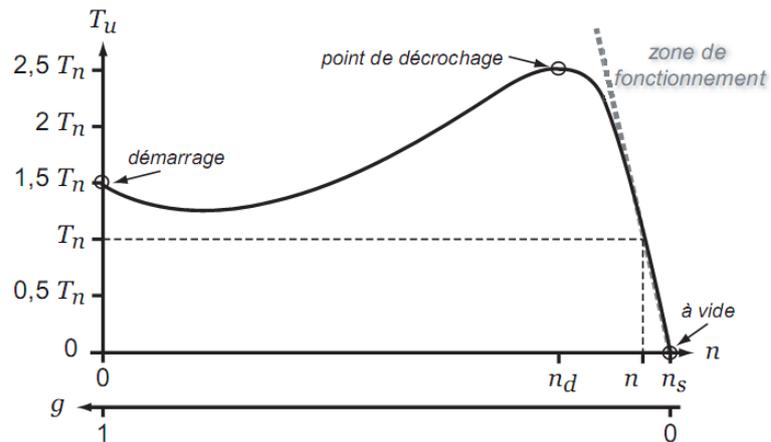


Figure 7

Avec :

T_u : le couple utile.

T_n : le couple nominal ;

Dans la zone de fonctionnement, la vitesse varie peu en fonction du couple T_u , la caractéristique $T_u(n)$ peut donc être approchée par une droite, de sorte que :

$$T_u = a * n + b$$

Où a et b sont des constantes caractérisant la droite de la zone de fonctionnement.

D'autre part, dans la zone de fonctionnement, le couple utile est proportionnel au glissement.

$$T_u = K * g$$

Avec :

k : pente de la droite, elle est en l'occurrence négative par rapport à a .

Si la charge amène la vitesse de rotation du moteur à descendre en dessous de la vitesse de décrochage n_d , alors le moteur cale.

Pratiquement on donne :

$$n_d = 0.8 * n_s \quad [1]$$

4.4 Bilan des puissances et des pertes

La (figure 8) représente le bilan des puissances et des pertes dans un moteur asynchrone.

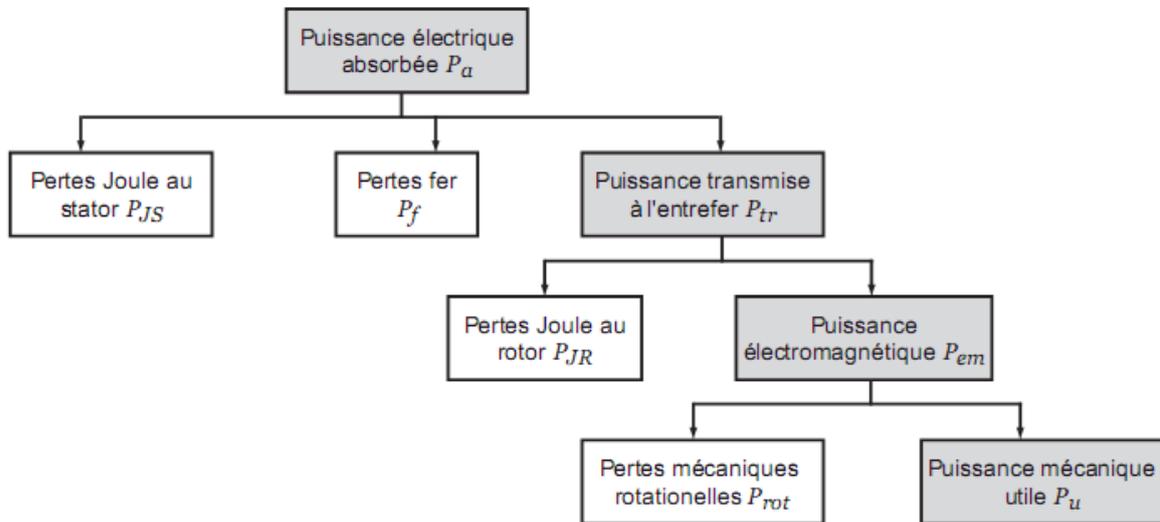


Figure 8 : Bilan des puissances dans un moteur asynchrone.

Le moteur asynchrone absorbe sur le réseau une puissance électrique active triphasée P_α .

Une partie de cette puissance P_{JS} est dissipée par effet Joule dans les enroulements du stator.

Par la suite, le champ magnétique inducteur entraîne des pertes dans le fer P_{fer} par hystérésis et par courant de Foucault. Le reste de la puissance P_{tr} est transmis au rotor à travers l'entrefer.

La majeure partie de cette puissance est alors utilisée pour produire une puissance électromagnétique P_{em} , tandis que la présence d'un courant induit dans le rotor provoque des pertes par effet Joule P_{jr} .

La puissance électromagnétique fournie par le stator est responsable de la mise en mouvement du rotor, produisant la puissance mécanique utile P_u qui sera par la suite transmise à la charge par le biais d'un arbre de transmission, ou d'une courroie de distribution.

Toutefois, dans le mouvement du rotor, une partie de la puissance est perdue par divers mécanismes de frottements, c'est ce que l'on appelle les pertes rotationnelles P_{rot} .

Nous donnons par la suite les différentes relations permettant de calculer les pertes et les puissances impliquées dans le moteur asynchrone, lorsqu'elles sont calculables.

4.4.1 La puissance absorbée

La puissance absorbée par un moteur asynchrone est une puissance active électrique. Lorsque le moteur est connecté à un réseau triphasé, P_a est donnée par la relation ci-dessous:

$$P_a = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$$

Avec :

U : est la tension aux bornes d'une phase du moteur (V) ;

I : le courant de ligne (A) ;

$\cos \varphi$: le facteur de puissance du moteur.

4.4.2 Les pertes par effet Joule au stator P_{js}

Le stator peut être câblé en étoile ou en triangle. Puisque le moteur constitue un récepteur triphasé équilibré, alors les pertes par effet joule au stator seront données par la relation ci-dessous:

$$P_{js} = \frac{3}{2} * R * I^2$$

Avec :

R : Résistance mesurée entre deux bornes (Ω) ;

r : Résistance de la bobine (Ω).

Dans le montage étoile, la résistance entre deux bornes de R est reliée à la résistance de chaque enroulement r par la relation : $R = 2r$ [1]

Dans le montage triangle, cette relation devient :

$$R = \frac{2}{3} * r$$

4.4.3 Les pertes fer

Les pertes fer sont fonctions du flux magnétique. Elles ne dépendent donc que de la tension d'alimentation et de la fréquence des courants statoriques. Or, en régime de fonctionnement, ces grandeurs ne varient pas et, par conséquent, les pertes fer peuvent être considérées comme constantes quelle que soit la charge du moteur.

En pratique, les pertes fer sont mesurées lors d'un essai à vide.

4.4.4 La puissance transmise dans l'entrefer P_{tr}

La puissance transmise au rotor à travers l'entrefer P_{tr} , est la partie de puissance absorbée qui n'est perdue ni dans les enroulements du stator, ni dans le fer. Elle est donnée par relation suivante :

$$P_{tr} = P_a - (P_{js} + P_f)$$

4.4.5 Pertes Joule au rotor P_{jr}

Les pertes Joule au rotor sont fonctions de la puissance transmise à celui-ci. On peut par ailleurs montrer qu'elles sont aussi fonctions du glissement. En effet, les grandeurs P_{jr} et P_{tr} sont liées par la relation :

$$P_{jr} = g * P_{tr}$$

4.4.6 Puissance électromagnétique P_{em} et moment du couple électromagnétique T_{em}

La puissance électromagnétique P_{em} transmise au rotor est égale à :

$$P_{em} = P_{tr} - P_{jr} = (1 - g) * P_{tr} \quad \dots (14)$$

Le rotor, tournant à une vitesse Ω , est soumis à un couple électromagnétique T_{em} , il reçoit par conséquent une puissance électromagnétique égale à :

$$P_{em} = T_{em} * \Omega \quad \dots (15)$$

En remplaçant l'équation (14) dans (15), on obtient :

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s}$$

4.4.7 Pertes mécaniques rotationnelles

Les pertes rotationnelles, dépendent uniquement de la vitesse de rotation du moteur. Or, la vitesse du moteur ne varie que relativement peu avec la charge, la vitesse de décrochage étant relativement proche de la vitesse de synchronisme.

Dans un moteur asynchrone, les pertes rotationnelles peuvent donc être considérées comme constantes, et déterminées à l'aide d'un essai à vide.

4.4.8 Puissance mécanique et couple utile P_u et T_u

Le rotor déploie un couple utile T_u , délivrant ainsi une puissance utile P_u telle que :

$$P_u = T_u * \Omega$$

4.4.9 Rendement

Le rendement η du moteur asynchrone est le rapport entre la puissance mécanique utile qu'il fournit, et la puissance électrique qu'il absorbe, de sorte que :

$$\eta = \frac{P_u}{P_a}$$

À l'aide de la chaîne des pertes, représenté précédemment à la (figure 8), on peut aussi écrire :

$$\eta = \frac{P_a - \text{pertes}}{P_a} = \frac{p_a - P_{js} - P_f - P_{jr} - P_{rot}}{P_a}$$

5. Calcul des couples

5.1 Expression du couple électromagnétique

Les forces qui s'exercent sur la cage du rotor tournent à la vitesse Ω_s , le rotor tourne à une vitesse Ω , l'action de l'ensemble des forces électromagnétique crée ce qu'on appelle un couple électromagnétique résultant, d'expression :

$$C_{em} = \frac{P_{tr}}{\Omega_s}$$

Avec :

P_{tr} : puissance électromagnétique (W) ;

Ω_s : vitesse de synchronisme (rd/s).

5.2 Expression du couple utile

Le couple utile est donné par la formule suivante :

$$C_u = \frac{P_u}{\Omega}$$

Avec :

C_u : couple utile (Nm) ;

P_u : puissance utile (W) ;

Ω : vitesse du rotor (rd/s).

6 Modélisation mathématique du moteur asynchrone triphasé

On admet que l'ensemble du stator et rotor d'un moteur asynchrone triphasé est équivalent à un transformateur, dont l'enroulement primaire est le stator, et l'enroulement secondaire est le rotor, (figure 9).

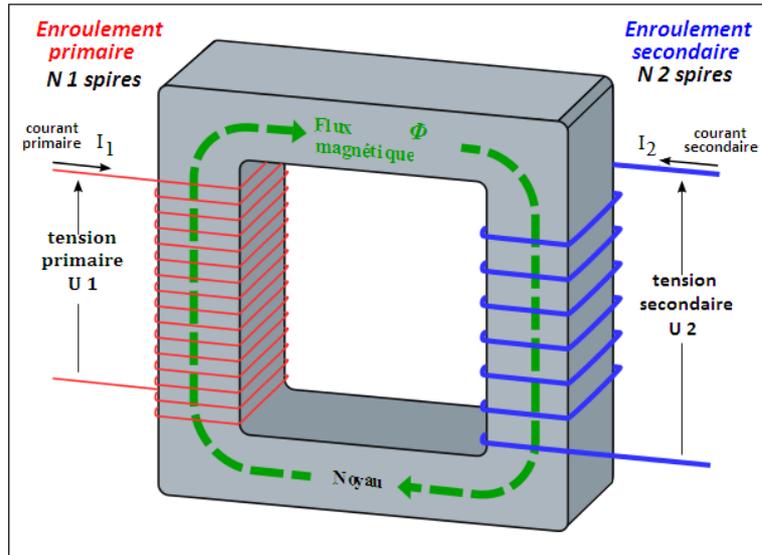


Figure 9

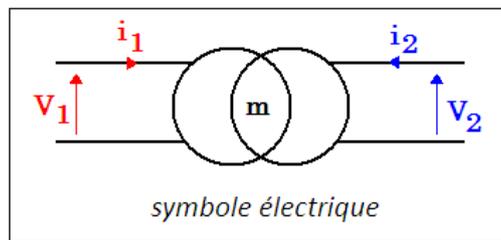


Figure 10

Avec :

V_1 : Tension primaire du stator (V) ;

I_1 : courant primaire (A) ;

N_1 : nombre de spires de l'enroulement primaire ;

V_2 : tension secondaire rotor (V) ;

I_2 : courant secondaire (A) ;

N_2 : nombre de spires de l'enroulement secondaire ;

Φ : est le flux magnétique commun au primaire et au secondaire (Weber) ;

m : est le rapport de transformation du transformateur, tel que $m = \frac{N_2}{N_1}$.

La (figure 11) représente le schéma électrique équivalent d'un transformateur [4].

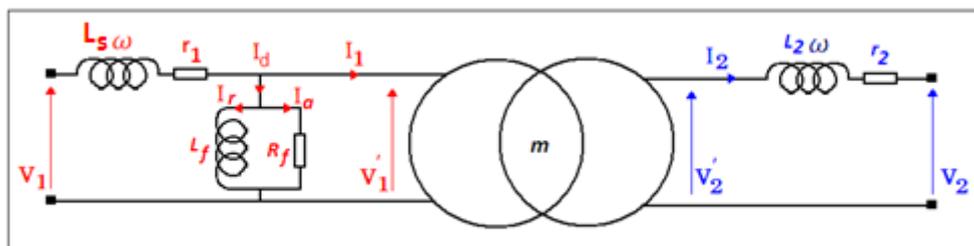


Figure 11 : Schéma du transformateur

Ce modèle tient compte de :

- L'impédance de l'enroulement primaire (L_1, R_1);
- L'impédance magnétisante (L_F, R_F), modélisent les pertes fer (pertes par hystérésis et pertes par courants de Foucault) ;
- L'impédance de l'enroulement secondaire (L_2, R_2).

Le rôle du transformateur est de modifier l'amplitude de la tension, et celle de l'intensité du courant, sans pour autant, modifier la fréquence.

La transformation se fait avec conservation de la puissance, à des pertes fers et cuivres près.

Le moteur asynchrone est similaire du point de vue constitution au transformateur statique, à quelques différences près:

- Les fréquences au primaire et au secondaire ne sont pas les mêmes;
- Le rapport de transformation est variable.

Compte tenu de ces considérations, le schéma équivalent du moteur peut être fait dans deux cas, à l'arrêt, (figure 12), et en rotation (figure 13).

En rotation, il peut être à vide ou en charge.

Le schéma équivalent est, comme dans le cas du transformateur triphasé, pris sur une seule phase.

6.1 Moteur à l'arrêt, rotor bloqué, $g = 1$

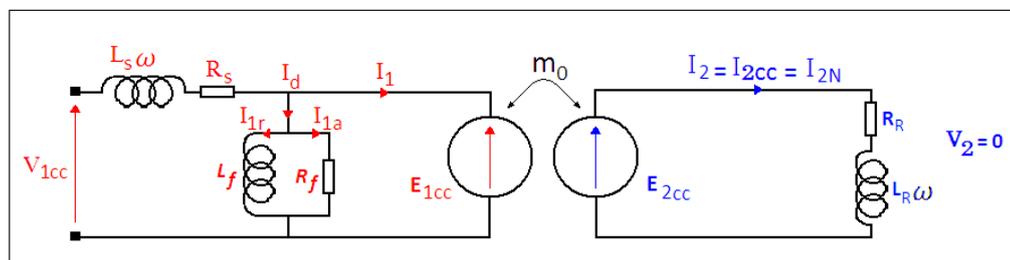


Figure 12

Si on alimente le stator (circuit primaire) sous sa tension nominale, les courants primaire et secondaire seront tellement élevés que les enroulements seront rompus et leur enduit fondu.

Il faut absolument travailler sous tension réduite, le courant secondaire ne doit pas dépasser le courant nominal [4].

$$I_{2cc} = I_{2N}$$

Équations mises en jeu :

$$E_{2cc} = (R_R + jL_R\omega) * I_{2cc} = (R_R + jX_R) * I_{2cc}$$

Soit :

$$I_{2cc} = \frac{E_{2cc}}{R_R + jX_R} \quad \text{et} \quad I_1 = -m_0 * I_2$$

De même, on a, pour une phase :

$$P_a = R_s * I_{1cc}^2 + R_R * I_{2cc}^2 = (m_0^2 * R_s + R_R) * I_{2cc}^2$$

R_s : Résistance ramenée au secondaire.

6.2 Moteur en rotation $g \neq 1$

Le rapport de transformation devient : $m = g * m_0$ [4]

Et par conséquent :

$$E_2 = -m * E_1 = -g * m_0 * E_1 = -g * E_{20}$$

De même, la pulsation ω_R et la fréquence f_R deviennent :

$$\omega_R = g * \omega = g * \omega_s \quad \text{et} \quad f_R = g * f = g * f_s$$

Le schéma équivalent du moteur quant à lui devient :

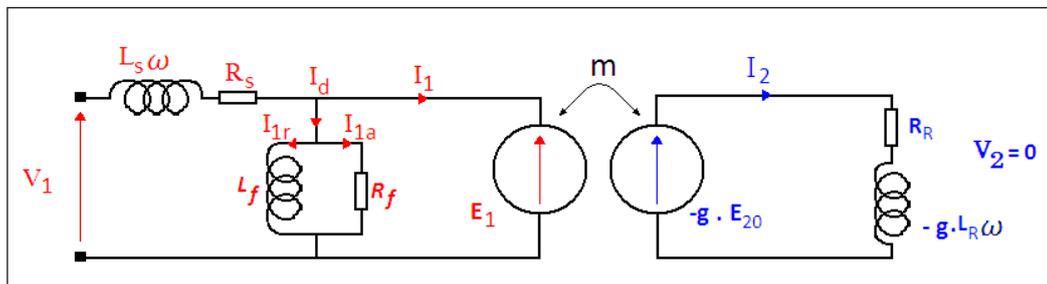


Figure 13

Equations mises en jeu :

$$I_2 = \frac{g * E_{20}}{R_R + jg * L_R * \omega} = \frac{g * E_{20}}{R_R + jg * X_2}$$

Equation qu'on peut aussi écrire :

$$I_2 = \frac{E_{20}}{\frac{R_R}{g} + jX_2}$$

Comparée à celle obtenue à l'arrêt du rotor, $g = 1$, on peut dire qu'un rotor fictif présentant une résistance $\frac{R}{g}$ tourne à la même vitesse que le champ tournant, la fréquence des courants rotoriques est égale à celle des courants statoriques.

6.3 Schéma équivalent ramené au primaire

La (figure 14) représente la modélisation mathématique d'un moteur asynchrone triphasé, pris sur une phase. [4]

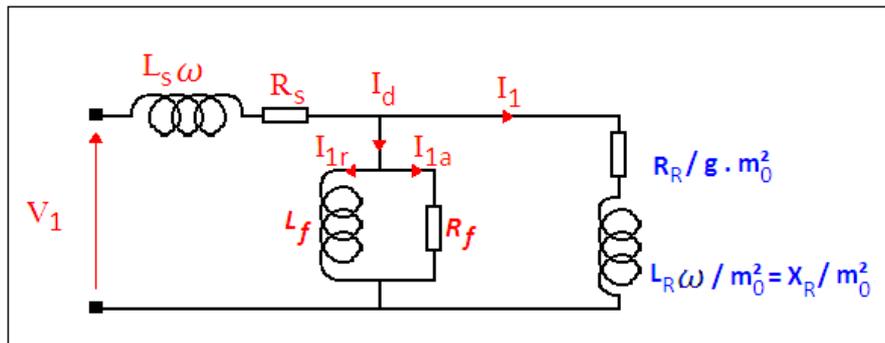


Figure 14

Note :

Ramener une impédance du secondaire au primaire revient à la diviser par le carré du rapport de transformation et inversement.

6.4 Signification physique de la résistance $\frac{R_R}{g}$

On constate que le circuit de la (figure 14) est purement électrique, et qu'il ne comporte pas de transducteur entre l'énergie électrique et l'énergie mécanique. On peut toutefois écrire :

$$\frac{R_R}{g} = R_R + \frac{R_R}{g} - R_R = R_R + R_R * \left(\frac{1-g}{g}\right)$$

Le 1^{er} terme R_R de la dernière égalité représente la résistance réelle de l'enroulement alors que le 2^{ème} $R_R * \frac{(1-g)}{g}$ est une résistance fictive qui traduit la transformation de l'énergie.

7 Démarrage du moteur

Lors de la mise sous tension d'un moteur, l'appel de courant au réseau est important. Suivant la longueur et la section de la ligne d'alimentation, ce courant provoque des chutes de tension telles qu'elles sont perceptibles au niveau de l'éclairage, et des différents appareils.

Pour remédier à ces inconvénients, les distributeurs d'électricité limitent la puissance des moteurs asynchrones à démarrage direct (triangle), et imposent ainsi un système de démarrage approprié.

Ces différents types de démarrages diminuent la tension aux bornes du stator, ce qui entraîne une réduction de la pointe d'intensité I_d sur le réseau d'alimentation, mais aussi une réduction importante du couple de démarrage C_d .

7.1 Démarrage direct

Le moteur est directement couplé au réseau par un contacteur ou un disjoncteur.

Son démarrage entraîne une forte pointe d'intensité $I_d = 6 * I_n$ voir la (figure 15). [3]

Dans le cas où cette pointe est acceptable par le réseau, le puissant couple de démarrage

$C_d = 1.5 * C_n$ convient à la mise en route de presque toutes les machines.

Le démarrage direct convient donc pour les machines de petite puissance et de moyenne puissance si le réseau le permet.

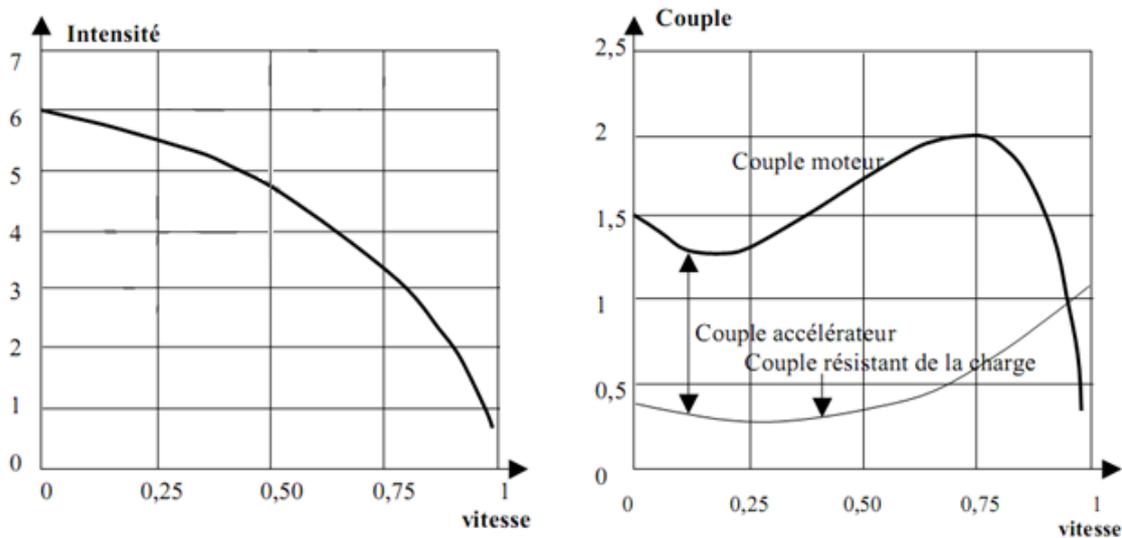


Figure 15

7.2 Pilotage de la vitesse de rotation

Le pilotage de la vitesse de rotation d'un moteur asynchrone est essentiel dans divers domaines industriels.

La relation (3), montre les différents paramètres qui peuvent varier la vitesse de rotation. [5]

On a :

$$g = \frac{(n_s - n)}{n_s} \dots (1)$$

$$n_s = \frac{\Omega_s}{2\pi} = \frac{f}{p} \dots (2)$$

En remplaçant (2) dans (1) on obtient :

$$n = (1 - g) * \frac{f}{p} \dots (3)$$

Avec :

f : fréquence du réseau [Hz] ;

p : le nombre de pair de pôle ;

g : glissement ;

n : vitesse de rotation du rotor (tr/s).

La vitesse de rotation du moteur peut donc être pilotée en agissant sur :

- le nombre de pair de pôle ;
- le glissement du moteur ;
- la fréquence du réseau.

Bibliographie chapitre 2 :

[1] document, électrotechnique, le moteur asynchrone triphasé .U.T Mesures Physiques — Université Montpellier 2 Année universitaire 2008-2009

[2] document, académie Caen, Science de l'ingénieur en S

[3] document, électricité 4, moteur asynchrone triphasé, ALEXANDRE - CORNET Ciney

[4] document, technique de l'ingénieur, principe de fonctionnement des moteurs asynchrone

[5] Site, [http://www.energiepluslesite.be/energieplus/page_11529.htm # c 6430](http://www.energiepluslesite.be/energieplus/page_11529.htm# c 6430)

Chapitre 3

1. Définition

Les variateurs de vitesse sont des convertisseurs d'énergies dont le rôle consiste à moduler le signal électrique fourni au moteur. Ils assurent une accélération et une décélération progressive, et permettent une adaptation précise de la vitesse aux conditions d'exploitation.

Les variateurs de vitesse peuvent selon le convertisseur électronique, soit faire fonctionner un moteur dans un seul sens de rotation, ils sont alors dits unidirectionnels, soit commander les deux sens de rotation, ils sont dans ce cas bidirectionnels.

Les variateurs de vitesse peuvent être réversibles lorsqu'ils récupèrent l'énergie du moteur fonctionnant en générateur. La réversibilité est obtenue soit par un renvoi d'énergie sur le réseau, soit en dissipant l'énergie récupérée dans une résistance de freinage.

2. Schéma synoptique d'un variateur de vitesse

La (figure 1), illustre le synoptique général d'un variateur de vitesse. [1]

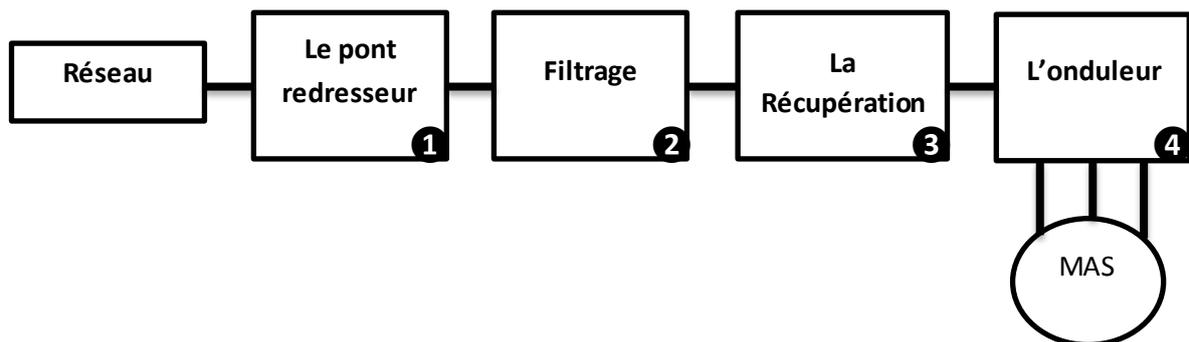


Figure 1

1 Le Pont redresseur : c'est un pont redresseur semi commandé qui transforme la tension alternative sinusoïdale en tension redressée.

2 Le Filtrage : Un condensateur atténue et élimine les phénomènes d'ondulation de la tension de sortie du redresseur.

3 La Récupération : Lors du freinage, l'inertie entraîne le rotor, ce dernier ne ralentit pas immédiatement, il se transforme en génératrice. On parle de fonctionnement Hyper synchrone car la vitesse du rotor est supérieure à la vitesse de synchronisme. L'énergie récupérée est dissipée à travers une résistance.

4 L'onduleur : Il transforme une tension continue en une tension alternative de fréquence variable.

3. Principe de fonctionnement

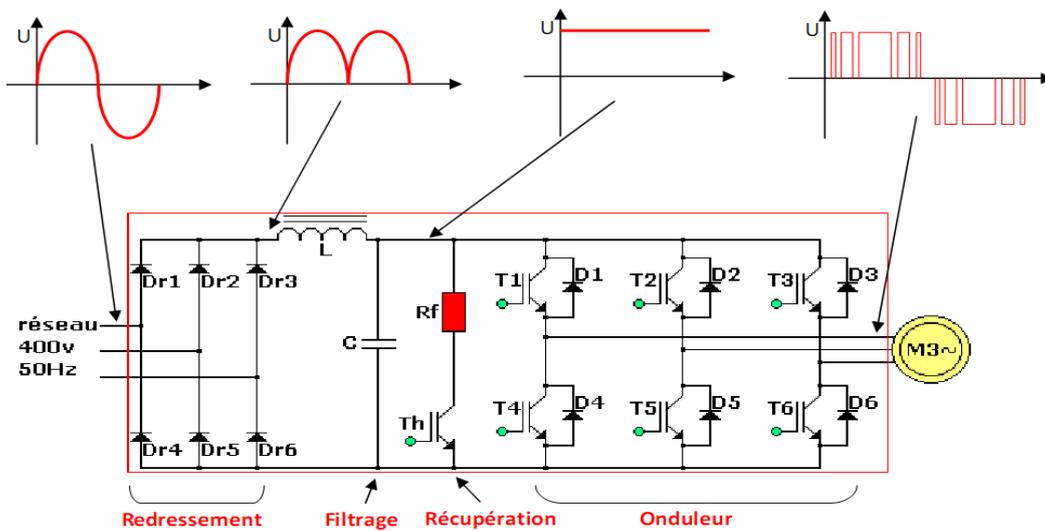


Figure 2

L'ensemble Dr1 à Dr6 constitue un redresseur triphasé à diodes, non réversible en courant. L'énergie ne peut donc pas transiter de la machine asynchrone vers le réseau, voir la (figure 2).

L'ensemble T1-D1 à T6-D6 constitue l'onduleur triphasé à modulation de largeur d'impulsion (MLI) qui impose la fréquence du champ tournant et l'amplitude du courant dans la machine.

L'ensemble Th-Rf constitue le hacheur de freinage. Lors de la phase de freinage, la machine asynchrone fonctionne en génératrice. Son rotor doit tourner à une vitesse supérieure par rapport à celle du champ tournant créé par l'onduleur hyper synchronisme.

L'onduleur fonctionne en redresseur et l'énergie est récupérée par le condensateur de filtrage C. Ceci se traduit par une élévation de la tension aux bornes du condensateur. Lorsque la tension atteint un seuil défini, la résistance de freinage Rf est mise en service pour décharger le condensateur. [2]

4. Organisation interne des variateurs de vitesse

Les variateurs de vitesse sont composés de deux modules, ils sont généralement regroupés dans un même boîtier, voir la (figure 3).

- un module de contrôle qui gère le fonctionnement.
- un module de puissance qui alimente le moteur.

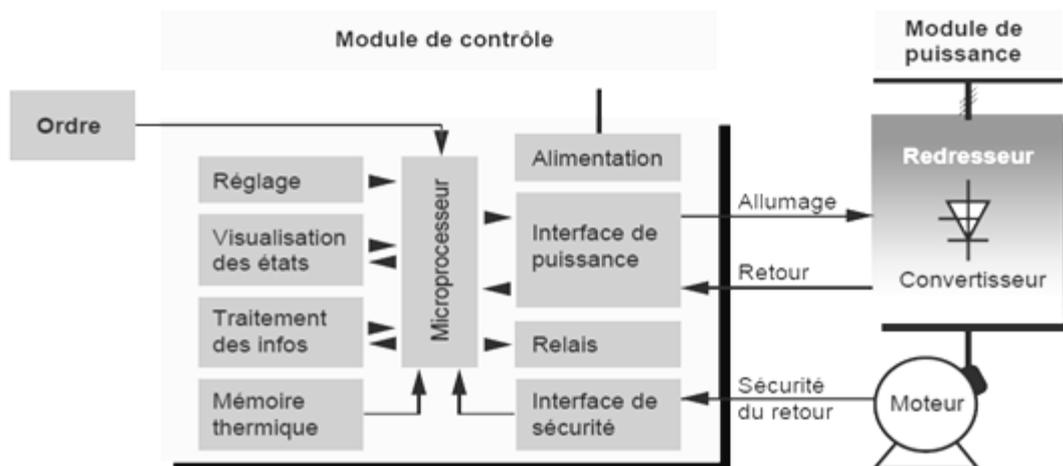


Figure 3

4.1 Module de contrôle

Sur les variateurs modernes, toutes les fonctions sont commandées par un microprocesseur qui traite les consignes transmises par l'opérateur.

4.2 Module de puissance

Le module de puissance est principalement constitué de :

- composants de puissance (diodes, thyristors, IGBT) ;
- capteurs de tensions et de courants ;
- d'une ventilation et de circuits refroidisseurs.

5. Variation de vitesse pour moteur asynchrone

5.1 Réglage par variation de tension

Dans le cas d'un moteur asynchrone à cage d'écureuil, la seule façon de faire varier le glissement est d'agir sur la tension d'alimentation dont la fréquence est fixe.

La variation de la tension d'alimentation est obtenue par l'association d'un gradateur avec un moteur. Il suffit d'interposer un gradateur triphasé entre le réseau et les bornes du moteur, voir la (figure 4).

Le fonctionnement d'un gradateur consiste à réduire le couple moteur, en réduisant la valeur efficace de la tension, afin d'équilibrer le couple résistant à la vitesse désirée.

Le réglage de la tension statorique se fait par action sur l'angle d'amorçage α des thyristors, voir la (figure 5).

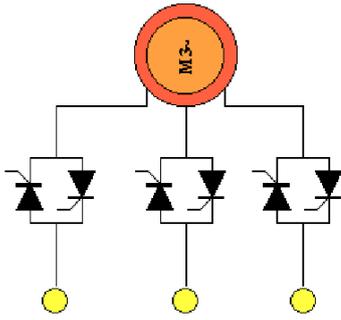


Figure 4

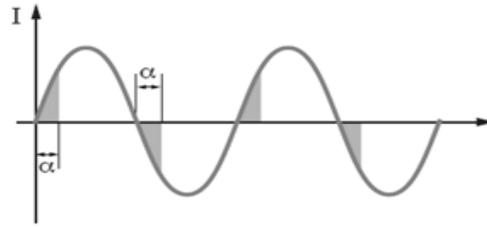


Figure 5

La variation de la tension est obtenue en faisant varier le temps de conduction de ces thyristors. Plus l'instant d'amorçage est retardée plus la valeur de la tension résultante est faible.

5.2 Réglage par variation de fréquence

La variation de vitesse d'un moteur asynchrone est obtenue en faisant varier la fréquence du réseau.

Pour obtenir à partir du réseau à tension et fréquence constante, la tension de valeur et de fréquence variable, on utilise l'échantillonnage de la tension du réseau avec la technique des cyclo convertisseurs. [3]

Bibliographie chapitre 3 :

[1] Document, moteurs-et-charges, site : www.Schneider.fr

[2] Document, Commande Industrielle Des Moteurs Electriques

[3] Site, Electronique De Puissance : www.stielec.ac-aix-marseille.fr

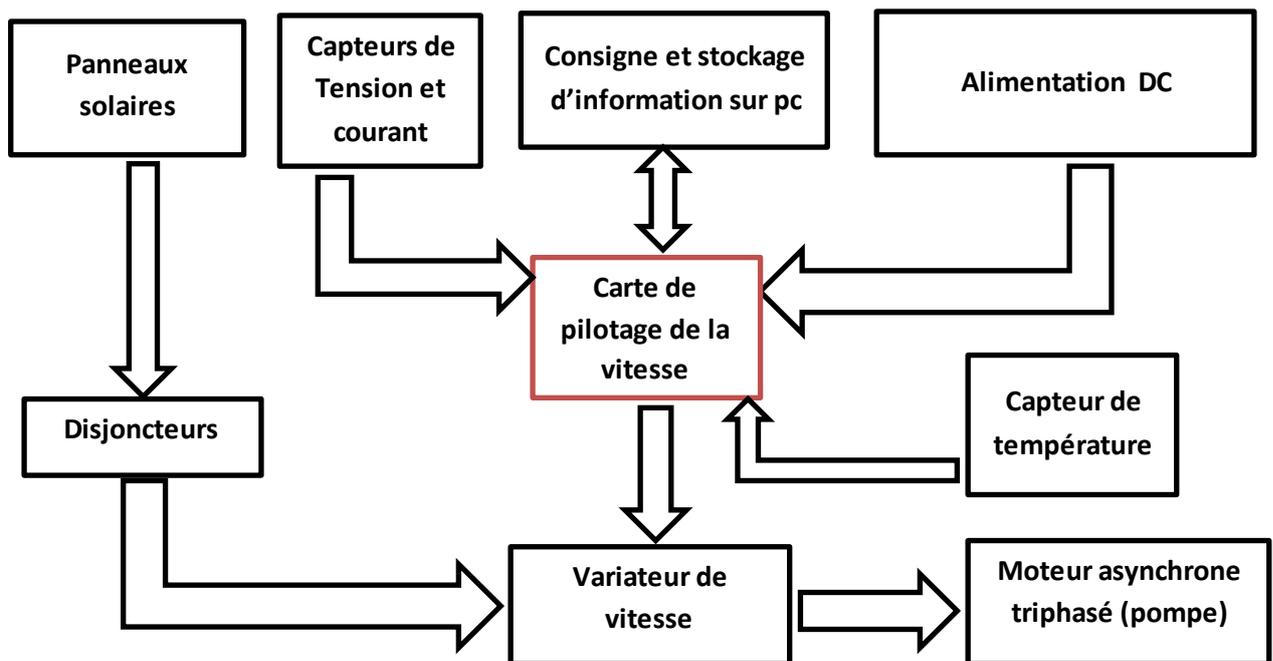
*Partie
pratique*

1. Le but du projet

Conception et réalisation d'une carte de pilotage de vitesse d'un moteur asynchrone triphasé, en fonction de l'éclairement solaire, dont la fonction principale est la poursuite du point de puissance maximum MPPT (*maximum power point tracking*) des panneaux solaires utilisés comme source d'alimentation. Pour cela nous avons fait appel au cahier des charges suivant :

- Une entrée entre 0 et 5V pour le capteur de tension ;
- Une entrée entre 0 et 5V pour le capteur de courant ;
- Une entrée entre 0 et 5V pour le capteur de température ;
- Une sortie qui varie entre 0 et 5V pour la consigne ;
- Une liaison série via le RS 232.

2. Schéma synoptique du projet



3. Bloc d'alimentation

Ce bloc est constitué de panneaux solaires et disjoncteurs.

3.1 Type de panneaux solaires utilisés

La (figure 1) représente le modèle **HELIOS 4504** utilisé. Ce module est constitué de 72 cellules Rectangulaires au silicium monocristallin. Chaque cellule mesure 135 × 30 mm, elles sont connectées en série.



Figure 1

Les caractéristiques du module sont données par le fabricant sous une plaque signalétique représentée par le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : plaque signalétique du module solaire HELIOS 4504

Puissance maximale:	45 W
Courant de court-circuit :	2.63 A
Tension en circuit ouvert :	20.9 V
Tension à puissance max :	16.65 V
Courant à puissance max :	2.54 A
normal operating cell temperature(NOCT):	43 °C
Variation de tension/température :	-90 mV/°C
humidité relative :	> 100%
Poid :	4 Kg
Mesure (tolérance sur les données techniques)	±10 %
Dimensions :	790 × 430 × 35 mm.

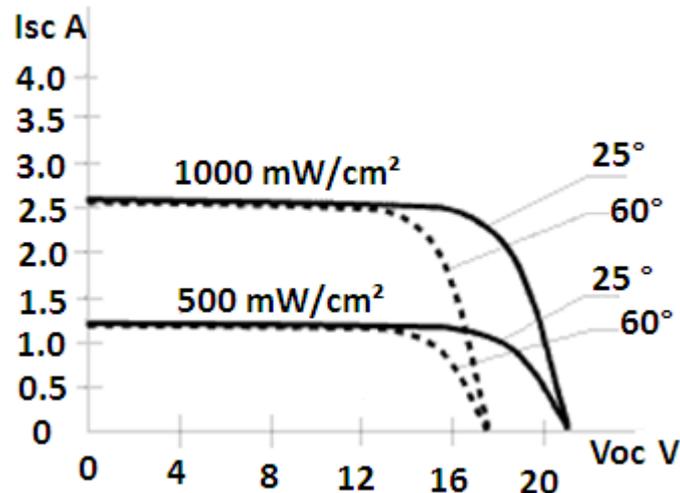


Figure 2

La (figure 2) représente les caractéristiques I-V du module solaire **HELIOS 4504** pour différents éclairagements et températures.

3.2 Dimensionnement des panneaux solaires

En sachant que chaque panneau fournit une tension de 16.65 V pour une puissance maximale de 45 Watts, 13 panneaux solaires connectés en série sont ainsi utilisés afin de générer une alimentation de 216 V continue avec une puissance de 549 Watts.

Cette tension continue sera appliquée à l'entrée du variateur de vitesse. En effet le variateur de vitesse utilisé peut bien fonctionner en alternatif ainsi qu'en continue.

4. Bloc de commande

Ce bloc comprend la carte de pilotage de la vitesse, les capteurs, la consigne et stockage d'information, et l'alimentation DC.

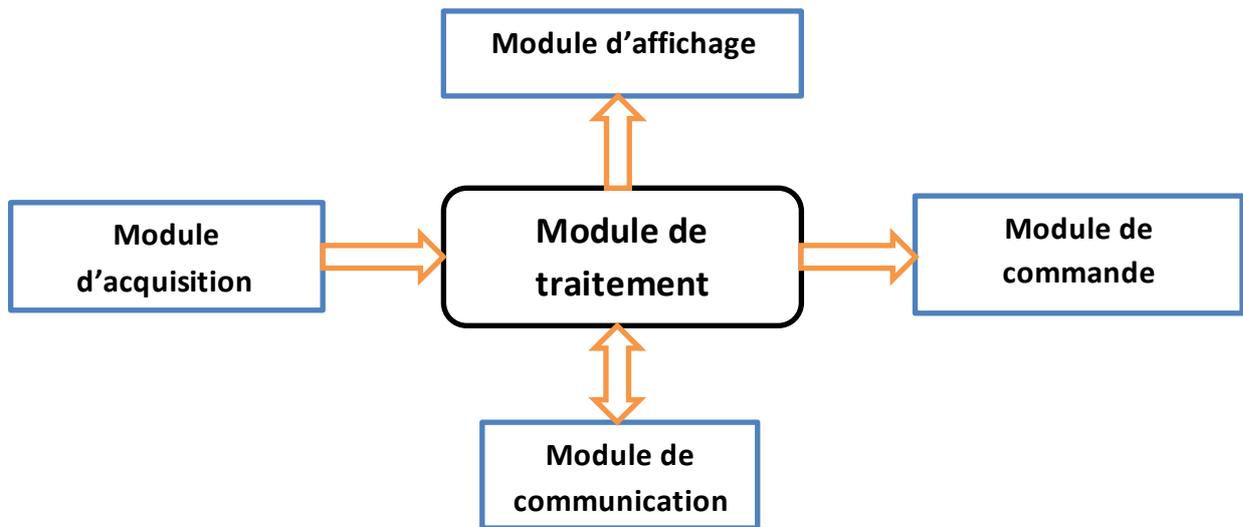
4.1 Carte de pilotage de la vitesse

a) Description de la carte de pilotage

La conception de la carte de pilotage de la vitesse est basée sur quatre fonctions principales : acquisition, traitement, commande et communication.

L'acquisition des données est assurée par des capteurs de tension, de courant, et de température. Les valeurs reçues sont ensuite traitées par un microcontrôleur qui relève, calcule, puis affiche à chaque instant la puissance maximale des panneaux solaires sur un afficheur LCD. A la fin du traitement une commande sera générée par le microcontrôleur, cette dernière a pour but de faire tourner le moteur à la puissance maximale des panneaux solaires. De plus, une liaison série RS 232 permet la transmission de l'historique journalier des puissances vers un ordinateur distant, ainsi que la réception d'une consigne de commande dans le cas où la poursuite du point de puissance maximum se fait d'une manière manuelle.

b) Schéma synoptique



4.2 Les constituants de la carte de pilotage de la vitesse

La carte est divisée en cinq principaux modules.

4.2.1 Module d'acquisition de données

4.2.1.1 Schéma de conditionnement

La (figure 3) représente deux entrées de capteurs reliées au module de traitement via un circuit de conditionnement qu'on a copié d'un modèle Siemens existant.

Les diodes D1 et D2, sont utilisées pour garantir un intervalle de fonctionnement entre 0V et 5V. Un filtre passe bas représenté par C9, R5, C10 est utilisé afin d'éliminer les bruits dus aux hautes fréquences.

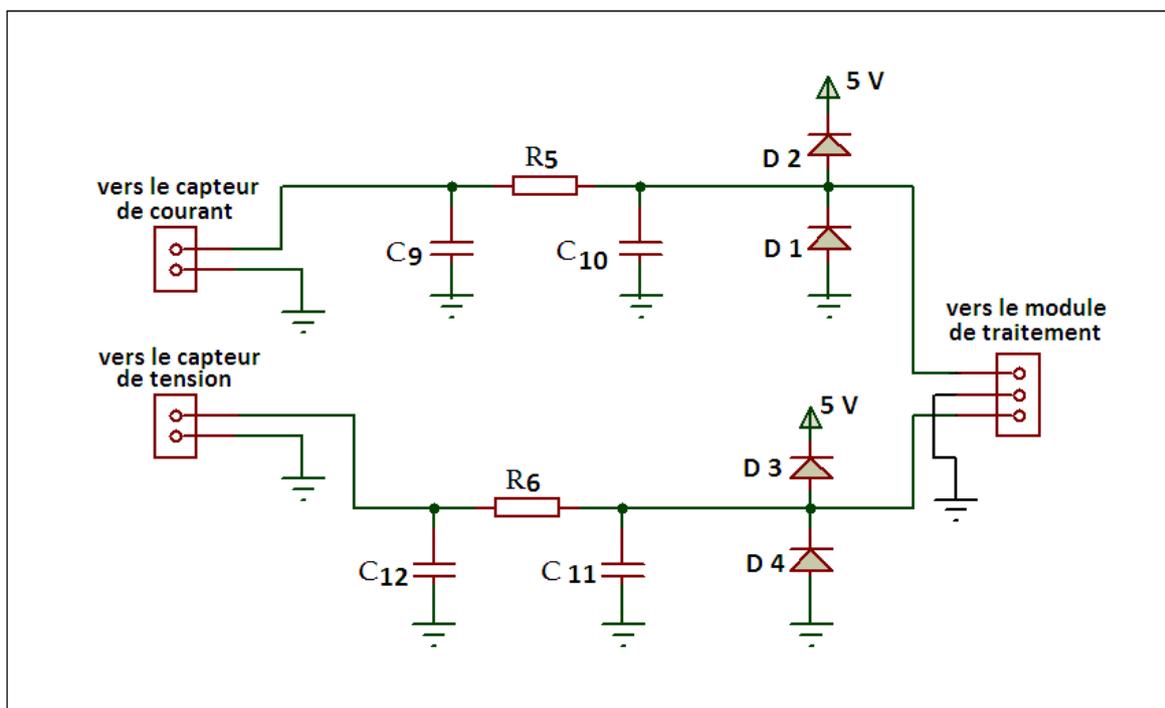


Figure 3

4.2.1.2 Les capteurs utilisés

a) Le capteur de tension

La méthode la plus simple pour mesurer la tension des panneaux solaires est d'utiliser un diviseur de tension entre deux résistances R1 et R2 comme l'illustre la (figure 4):

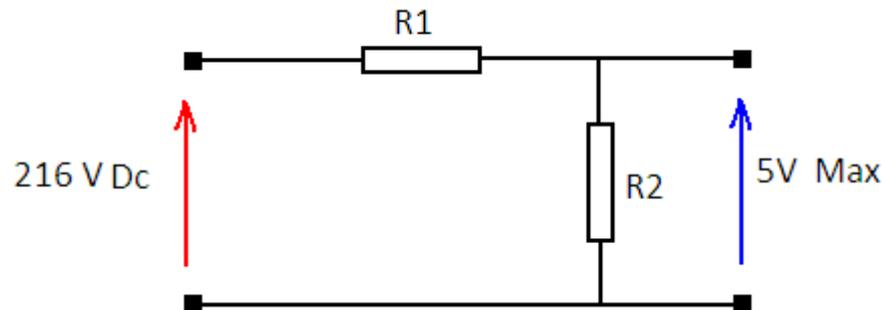


Figure 4

Le choix des valeurs de R1 et R2 est déterminé à l'aide d'un diviseur de tension comme suit :

$$V_s = 216 * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Comme la valeur maximale de Vs est égale à 5V donc :

$$\frac{5}{216} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Après calcul on obtient la condition suivante :

$$R_1(\Omega) = 42.5 * R_2$$

En prenant : R2=10 KΩ, R1 = 425 KΩ on obtient un courant d'environ 500 mA.

La tension de sortie du capteur sera reliée au circuit de conditionnement ensuite vers l'entrée analogique du PIC 16F877A.

b) Le capteur de courant

La (figure 5) représente un capteur de courant continu ou alternatif à effet Hall de référence ACS 714, qui fonctionne avec une tension continue de 5V et fournit une sortie analogique fonction de l'intensité circulant dans le circuit de mesure, l'intensité mesurée peut être de +/- 5 A avec une sensibilité de 185mv/A, la sortie est centrée sur 2.5V au repos.

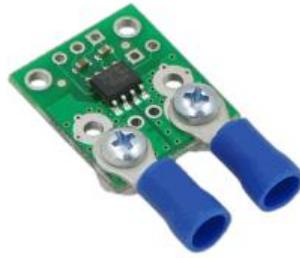


Figure 5

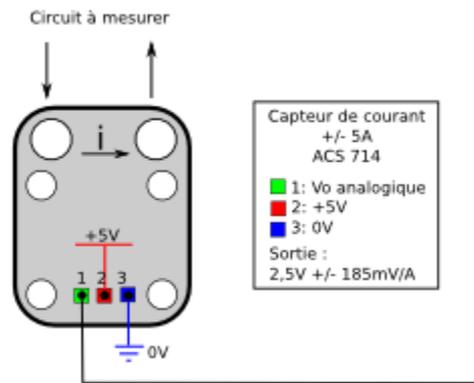


Figure 6

La (figure 6) illustre le brochage du capteur de courant ACS 714, la sortie 1 du capteur sera directement reliée au circuit de conditionnement ensuite vers l'entrée analogique du PIC 16F877A.

c) Le capteur de température

La (figure 7) représente le capteur analogique LM35 utilisé pour la mesure de la température, ce capteur présente une plage de mesure qui varie entre -55°C et 150°C .

Le LM 35 ne nécessite aucun conditionnement préalable, car sa tension de sortie V_{out} est une fonction linéaire de la température.

La relation liant la tension de sortie V_{out} du capteur LM35 est donnée comme suit :

$$V_{out} (v) = \frac{T(^{\circ}\text{C})}{100}$$

La (figure 8) représente les différents branchements du capteur de température LM35.

c) Caractéristiques du PIC 16F877A

Le PIC 16F877A se caractérise par :

- Une Fréquence de fonctionnement élevée, jusqu'à 20 MHz ;
- Une mémoire vive de 368 octets ;
- Une mémoire EEPROM de 256 octets ;
- Une mémoire morte de type Flash de 8 K mots de 14 bits ;
- Un Chien de garde WDT ;
- 33 Entrées et sorties ;
- Chaque sortie peut débiter un courant maximum de 25 mA ;
- 3 Temporisateurs : TIMER0 (8 bits avec pré diviseur), TIMER1 (16 bits avec pré diviseur et possibilité d'utiliser une horloge externe réseau RC ou QUARTZ) et TIMER2 (8 bits avec pré diviseur et post diviseur) ;
- 2 entrées de captures et de comparaison avec PWM (Modulation de largeur d'impulsions) ;
- 8 Convertisseurs analogiques numériques sur 10 bits ;
- Une interface de communication série asynchrone et synchrone (USART/SCI) ;
- Une interface de communication série synchrone (SSP/SPI et I2C) ;
- Une tension d'alimentation entre 2V et 5.5 V.

d) Répartition des ports du PIC 16F877A

Le PIC 16F877A contient les 5 ports suivants :

- Port A : 6 pins E/S numérotées de RA0 à RA5 ;
- Port B : 8 pins E/S numérotées de RB0 à RB7 ;
- Port C : 8 pins E/S numérotées de RC0 à RC7 ;
- Port D : 8 pins E/S numérotées de RD0 à RD7 ;
- Port E : 3 pins E/S numérotées de RE0 à RE2.

La (figure 9) représente le boîtier PDIP(*Plastic Dual Inline Package*) du PIC 16F877A ainsi que ses différentes broches (pins).

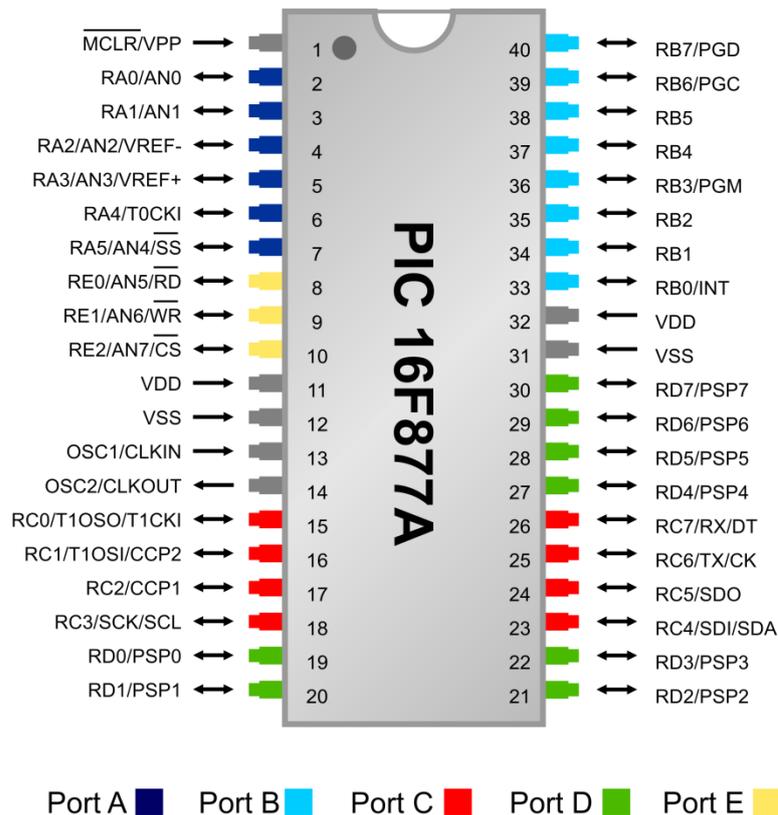


Figure 9

e) L'oscillateur utilisé

Dans le montage, nous avons utilisé un oscillateur à quartz de 4 MHz.

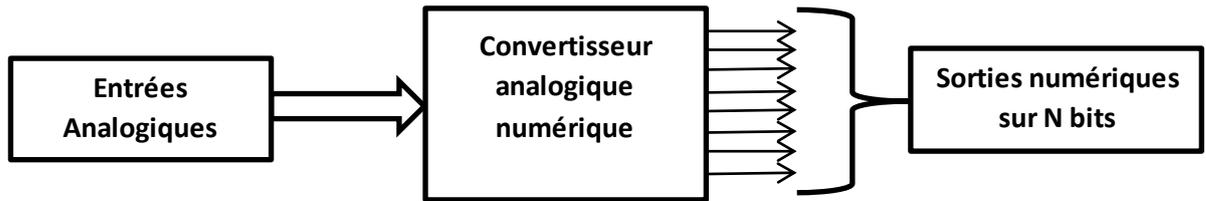
Cet oscillateur est branché au PIC sur les pins OSC1/CLKIN et OSC/CLKOUT. Pour le choix des capacités le constructeur préconise l'utilisation des valeurs ci-dessous :

Type d'oscillateur	Fréquence du quartz	Capacité 1	Capacité 2
HS	4 MHz	15 pF	15 pF
	8 MHz	De 15 à 33 pF	De 15 à 33 pF
	20 MHz	De 15 à 33 pF	De 15 à 33 pF

f) Le convertisseur analogique numérique du PIC 16F877A

La fonction conversion analogique numérique, consiste à transformer une grandeur électrique (analogique) en une autre grandeur numérique exprimée sur N bits. Cette grandeur de sortie représente, dans le système de codage qui lui est affecté, un nombre proportionnel à la grandeur analogique d'entrée.

Le CAN intégré dans le 16F877A est un CAN sur 10 bits. La résolution 10 bits du PIC permet d'attribuer 1024 valeurs numériques au signal d'entrée.



Calcul du pas de conversion $p(v)$:

$$p(v) = \frac{V_{max}}{2^N - 1} = \frac{5}{1023} = 0.0048 \text{ v} = 4.8 \text{ mv}$$

4.2.3 Module d'affichage

Un afficheur LCD est relié à la carte de pilotage de la vitesse de sorte à pouvoir visualiser les données même en cas de rupture de connexion avec l'ordinateur distant. L'afficheur LCD, indique les valeurs relatives à la tension et courant délivrés par les panneaux solaires ainsi que la température des modules photovoltaïques.

Le branchement de l'afficheur LCD est représenté sur le tableau 2.

Tableau 2

VSS	0V (la masse)
VDD	+5V
VEE	Tension à appliquer pour régler le contraste
RS	Registre Select (mode instruction ou donnée)
R/w	Read/Write (écriture ou lecture)
E	Enable (sélection de l'afficheur)
D0-D7	Données

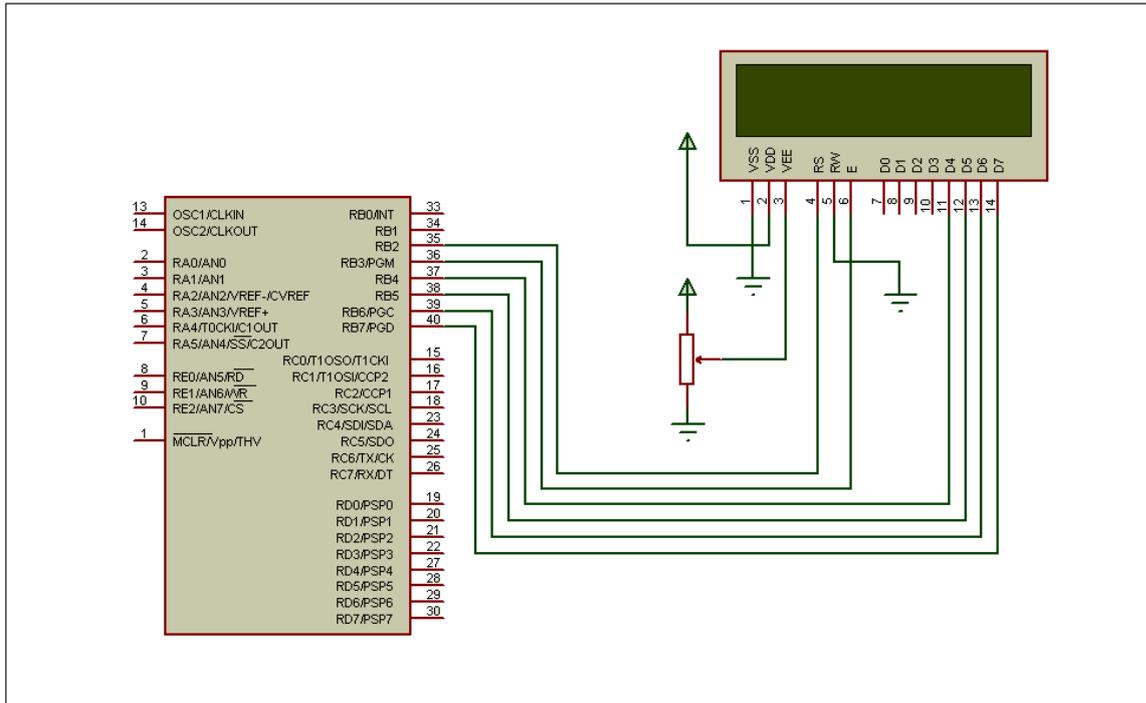


Figure 10

La (figure 10) représente les différents câblages de l’afficheur LCD.

4.2.4 Module de commande

Ce module est composé essentiellement d’un convertisseur numérique analogique DAC 0808, et d’un amplificateur opérationnel LF351.

Les DAC 0808 sont des circuits monolithiques (monobloc) convertisseurs CNA 8 bits fournissant un courant maximum de 150 mA et ne dissipant que 33 mW avec une alimentation égale à 5 V. ils s’interfacent directement avec la logique TTL, ou CMOS. Le brochage du DAC0808 est donné par le schéma de la (figure 11).

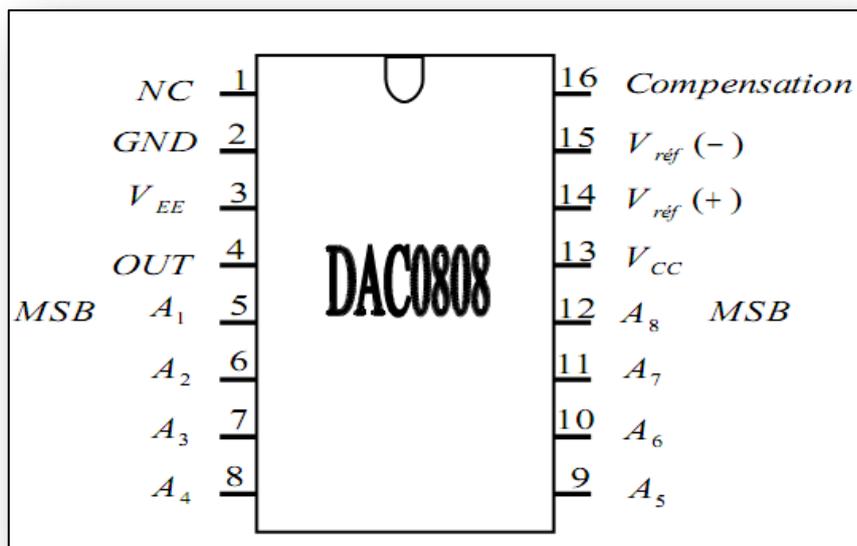


Figure 11

La (figure 12) représente le schéma de principe d'un CNA de courant, ce convertisseur fournit un courant qui dépend de la tension de référence V_{ref} et des états des interrupteurs A_0 à A_7 , suivant la formule suivante :

$$I_{out} = I_{ref} * (A_0 + \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \dots + \frac{A_{n-1}}{2^{n-1}})$$

Avec: $I_{ref} = \frac{V_{ref}}{R}$

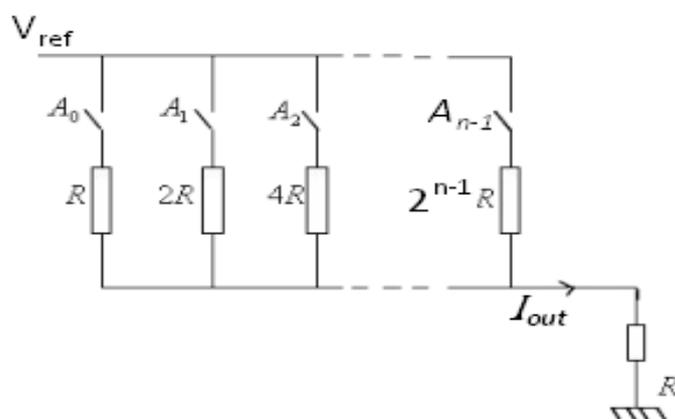


Figure 12

Afin de convertir le courant de sortie du DAC 0808 en une tension proportionnelle, on utilise un amplificateur inverseur de référence LF 351 comme l'illustre la (figure 13).

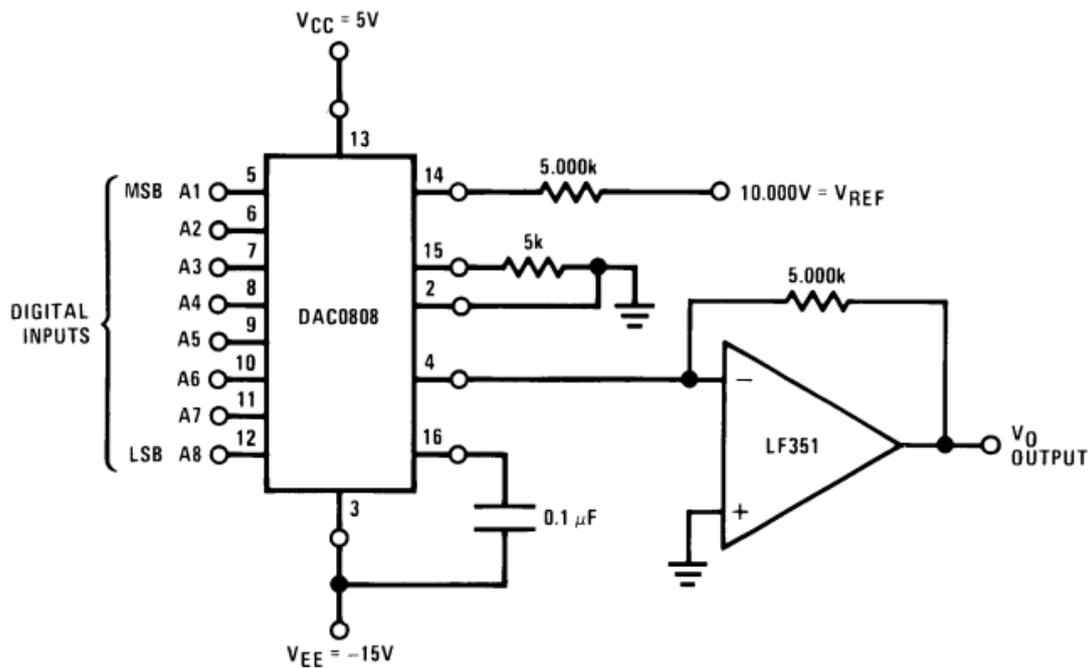


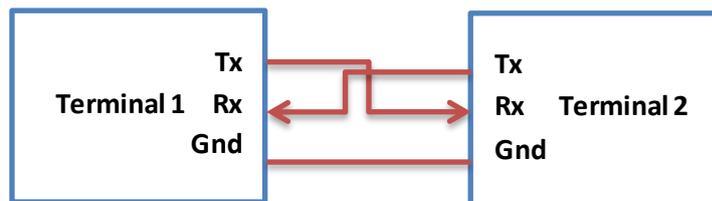
Figure 13

$$V_0(v) = 10 * \left(\frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \dots + \frac{A_8}{256} \right)$$

4.2.5 Module de communication

Ce module se compose d'une liaison série aux normes RS232 entre la carte de pilotage de la vitesse et un micro-ordinateur.

Schéma de branchement :



La transmission série nécessite au moins 3 fils de communication ; un pour la transmission (T_x) et l'autre pour la réception (R_x) avec un fil de masse.

a) Protocole de transmission

Dans une liaison série asynchrone, les bits sont émis les uns à la suite des autres, sans signal d'horloge. Pour que les deux éléments puissent communiquer entre eux, il est nécessaire d'établir un protocole de transmission. Ce protocole devra être le même pour les deux éléments afin d'établir une transmission correcte.

b) Paramètres mis en jeu

- **Longueur du mot** : elle est définie sur 8 bits ;
- **La vitesse de transmission** : les différentes vitesses de transmission sont réglables à partir de : 110 bauds, 150 bauds ... 192600 bauds.

Dans notre cas la vitesse de transmission est de 9600 bauds.

- **Parité** : le mot transmis peut être suivi ou non d'un bit de parité qui sert à détecter les erreurs éventuelles de transmission.

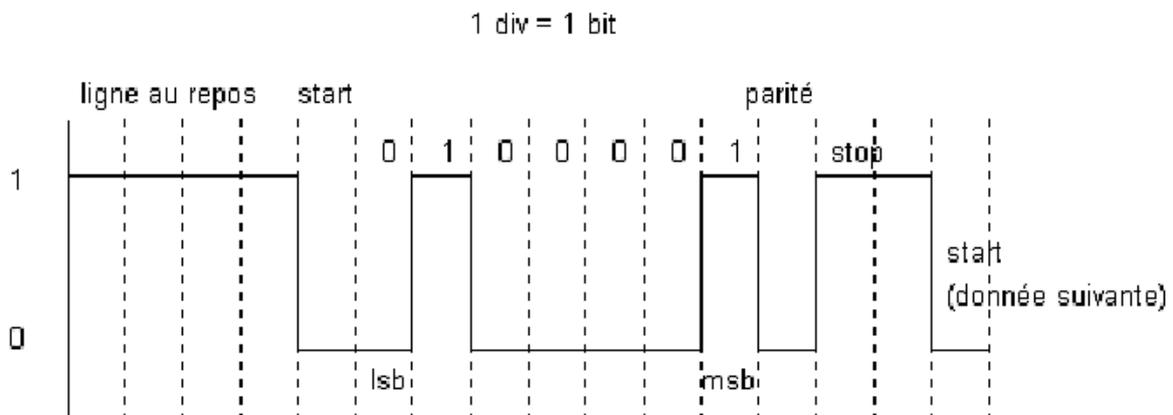
• **Bit de Start** : au repos la ligne est à l'état logique 1, afin d'indiquer qu'un mot va être transmis, la ligne passe à l'état 0 avant de commencer le transfert.

• **Bit de stop** : après la transmission, la ligne est positionnée au repos

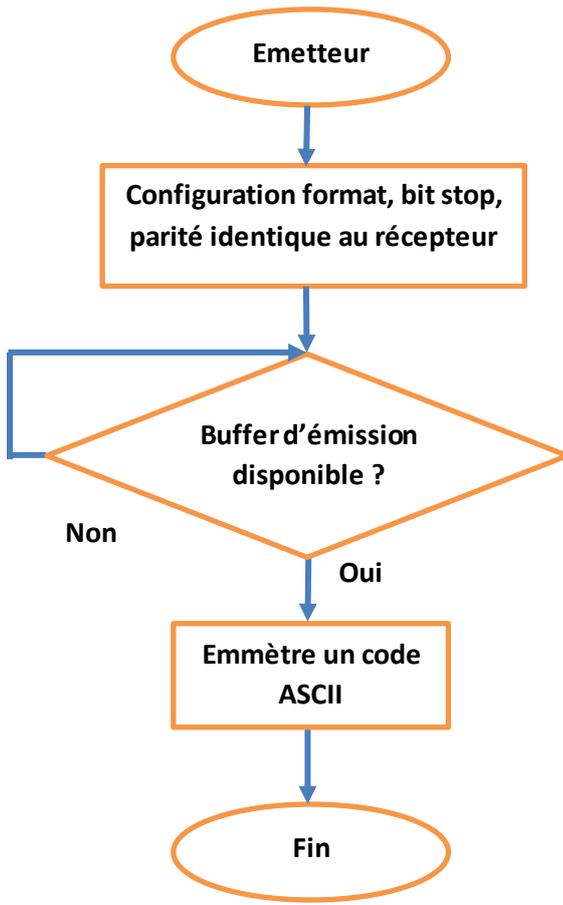
Le bit de Start apparait en premier dans la trame suivi par les données (poids faible en premier), la parité éventuelle et les bits de stop.

Exemple

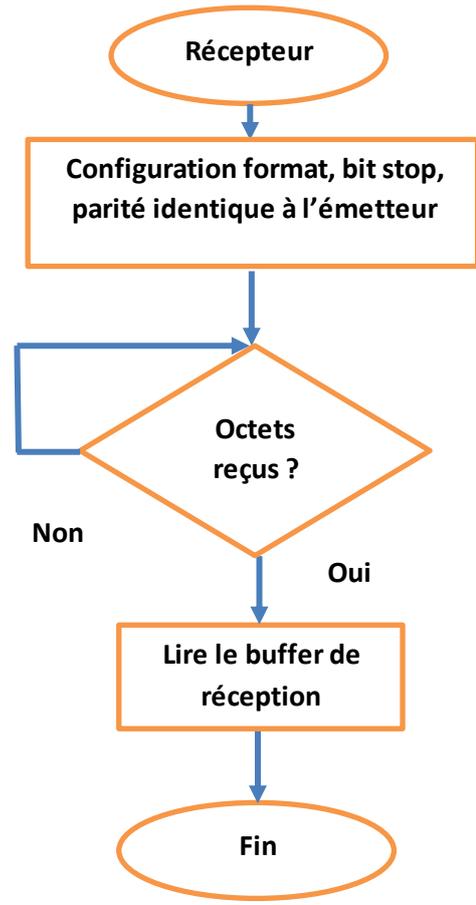
Pour transmettre en parité paire, avec 2 bits de stop, le caractère **B** dont le codage ascii est 1000010, la trame est la suivante :



Les deux organigrammes ci-dessous présentent le principe de la transmission et de la réception série utilisé pour la programmation du PIC, le même principe sera utilisé dans le logiciel d'interfaçage.



Organigramme d'émission série



Organigramme de réception série

c) Principe d'adaptation PIC - RS232



Le PIC utilise les niveaux 0V/5V pour définir respectivement l'état numérique 0 et 1. La norme RS 232 quant à elle définit des niveaux de +12V/-12V, d'où la nécessité d'un circuit chargé de convertir les niveaux des signaux entre PIC et PC.

La pin TX du PIC envoie les signaux en 0V/5V et seront convertis en +12V/-12V dans le PC. La ligne RX du PIC reçoit les signaux en provenance du PC, ces derniers seront convertis du +12V/-12V en 0V/5V.

Notant que la liaison étant full-duplex, émission et réception sont croisées, chaque fil ne transitant l'information que dans un seul sens.

Afin d'effectuer cette adaptation, on utilise le circuit MAX 232 qui contient un double convertisseur à double direction voir la (figure 14). En réalité, la tension de sortie du MAX 232 n'est pas toute-à-fait de l'ordre de +12V/-12V, mais plutôt de l'ordre de +8,5V/-8,5V ce qui reste dans la norme RS232.

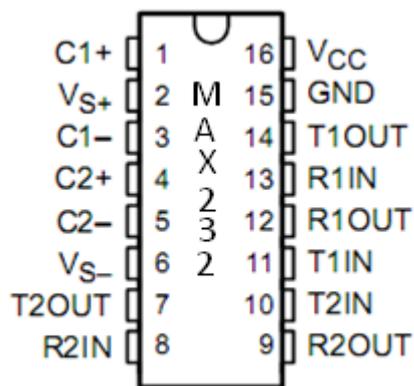
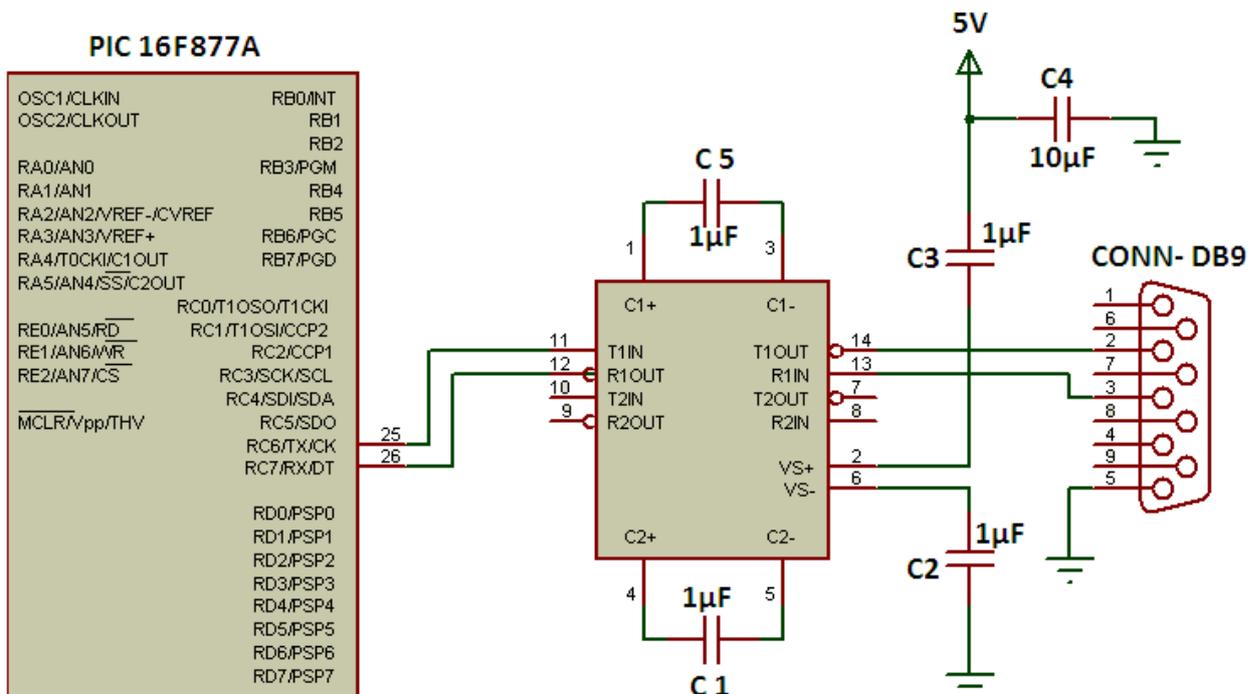


Figure 14

d) Le circuit électrique de la liaison série



b) Le circuit imprimé

Le circuit imprimé est réalisé sur un support en époxy double face, avec trous métallisés, un étamage des pistes en double face et vernis protecteur double face.

Les (figures 15) et (16) représentent respectivement la vue de dessus et la vue de dessous de la carte de pilotage de la vitesse.

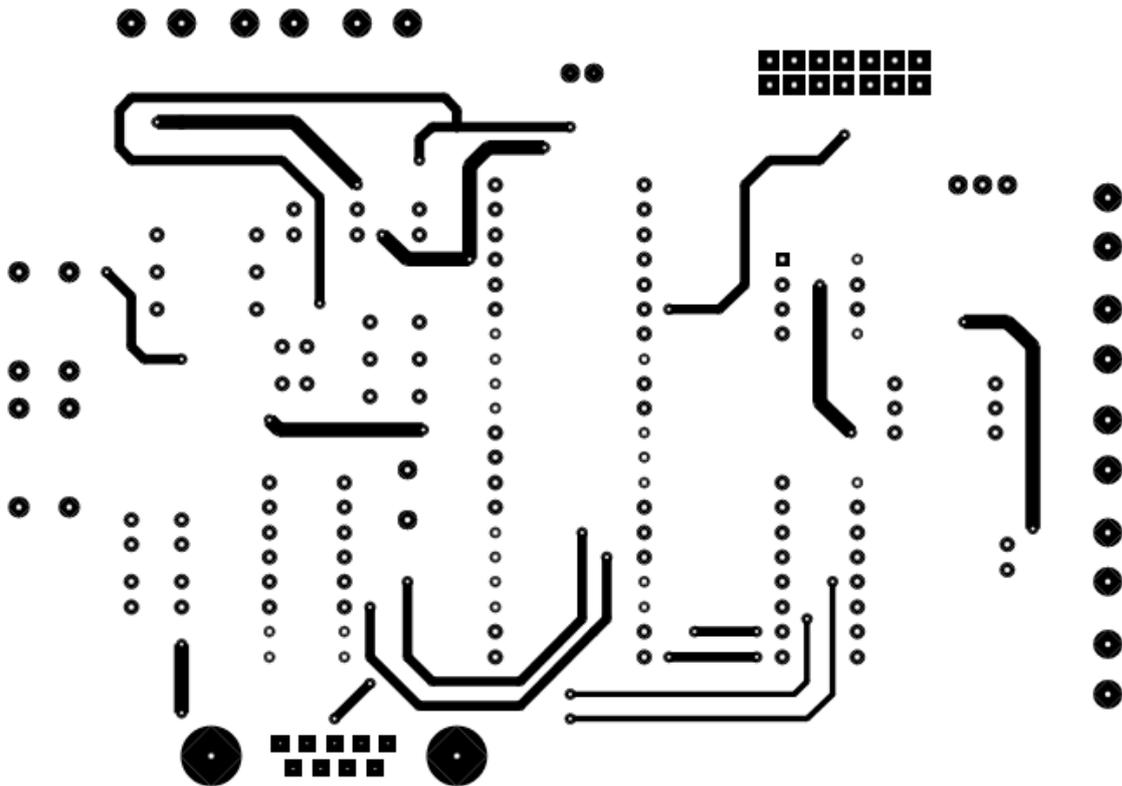


Figure 15

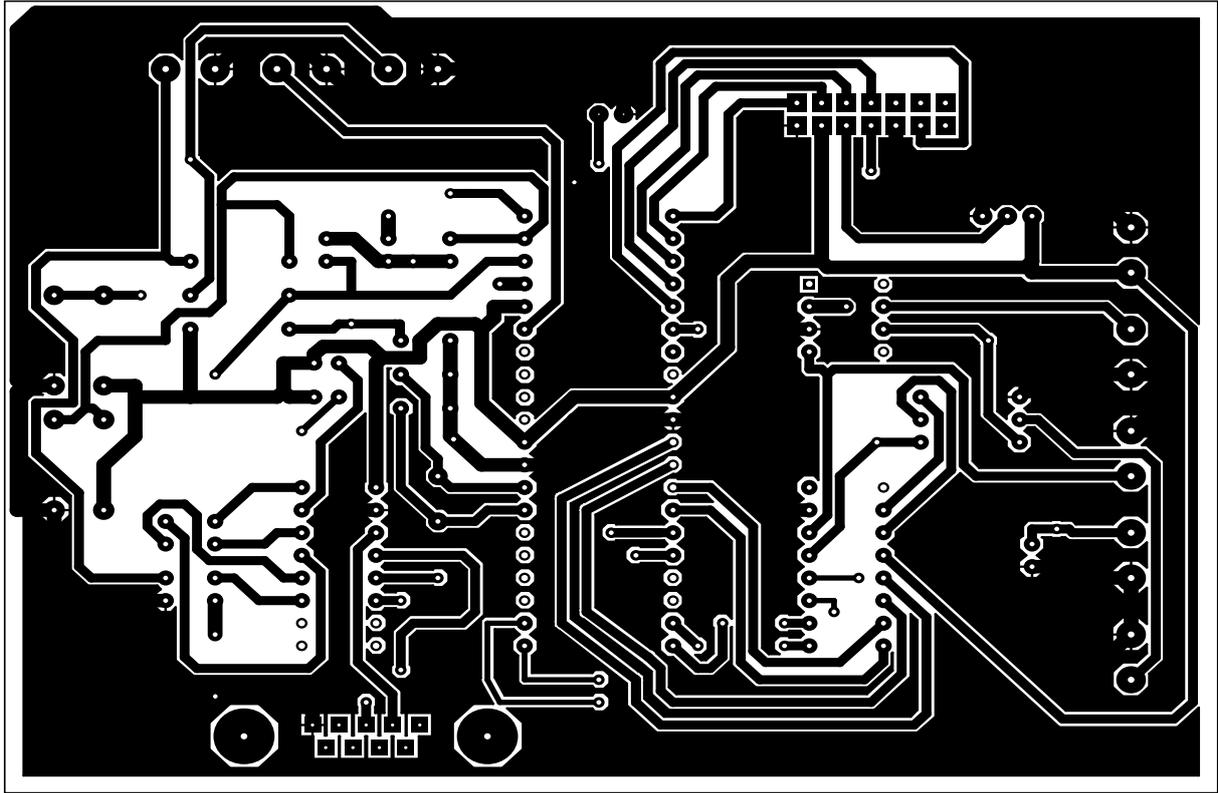


Figure 16

c) Schéma d'implantation des composants

La (figure 17) représente le schéma d'implantation des composants.

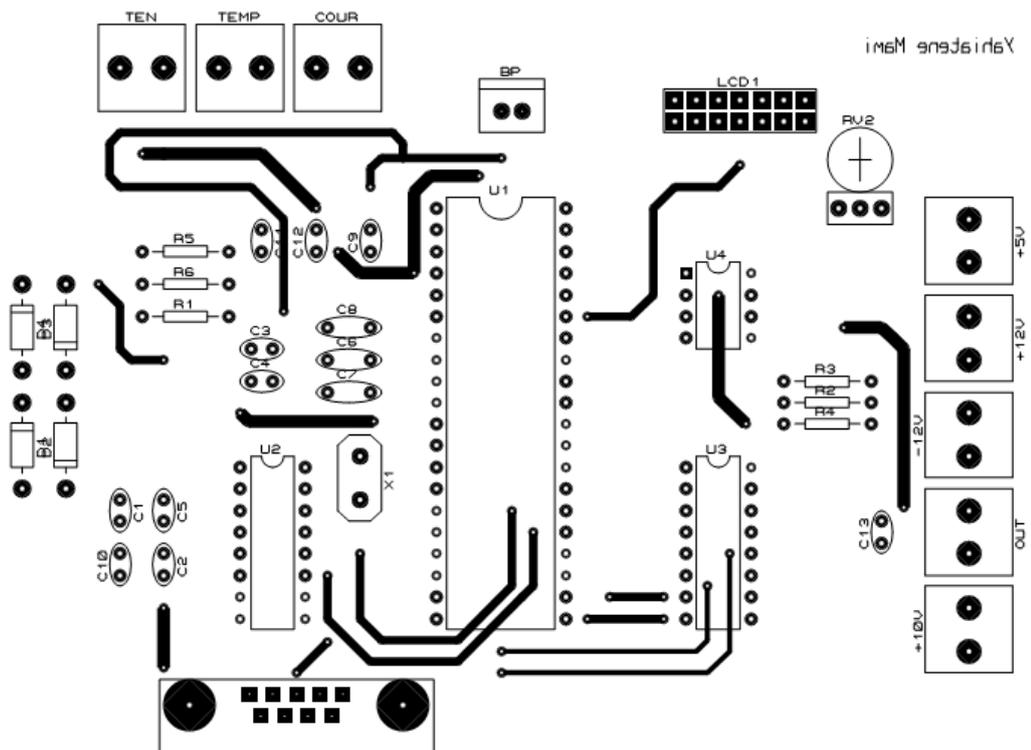
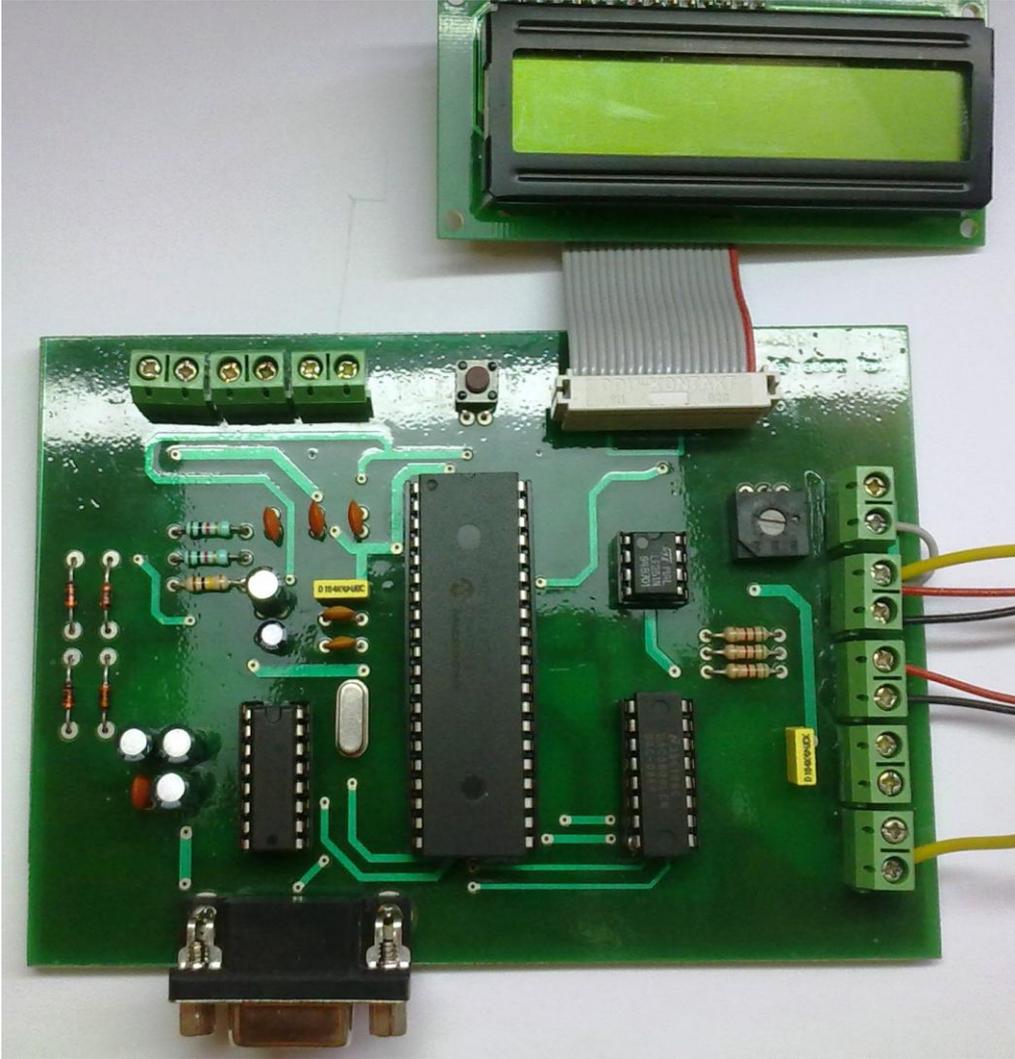


Figure 17

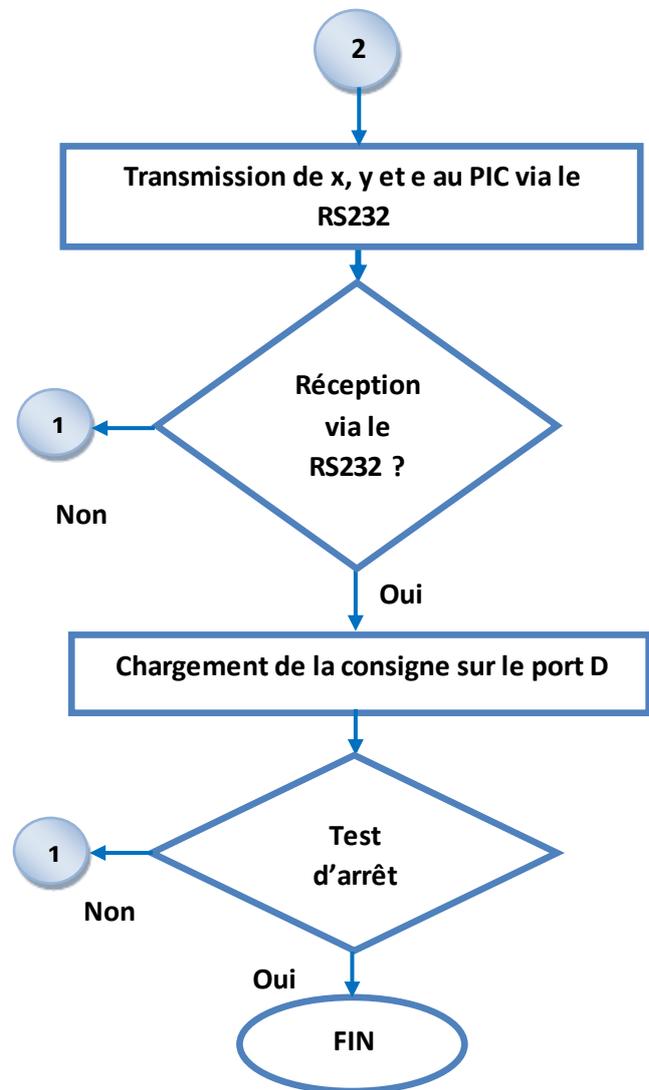
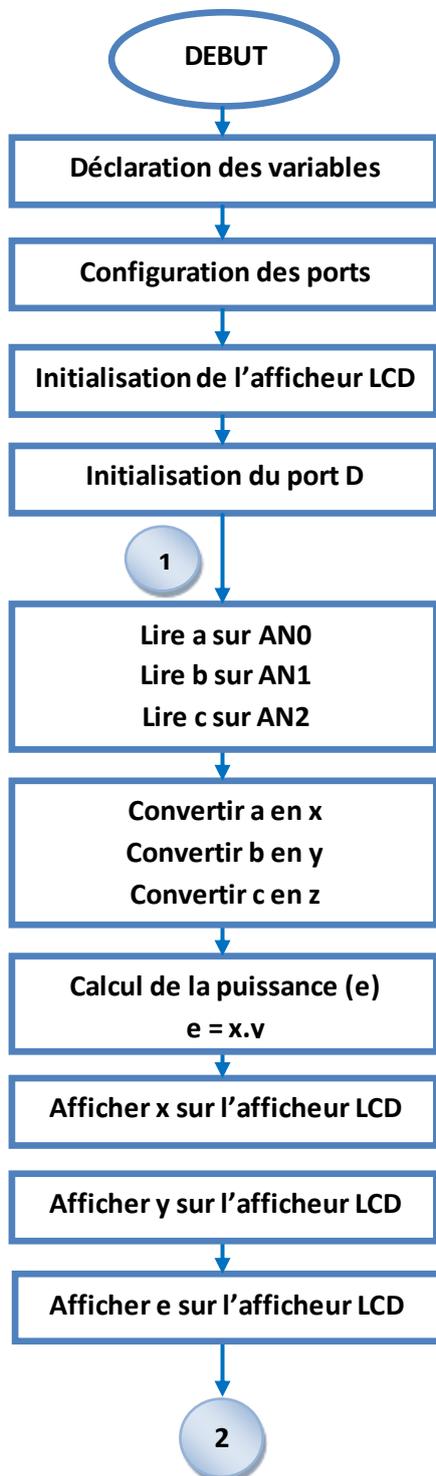
d) Photo de la carte



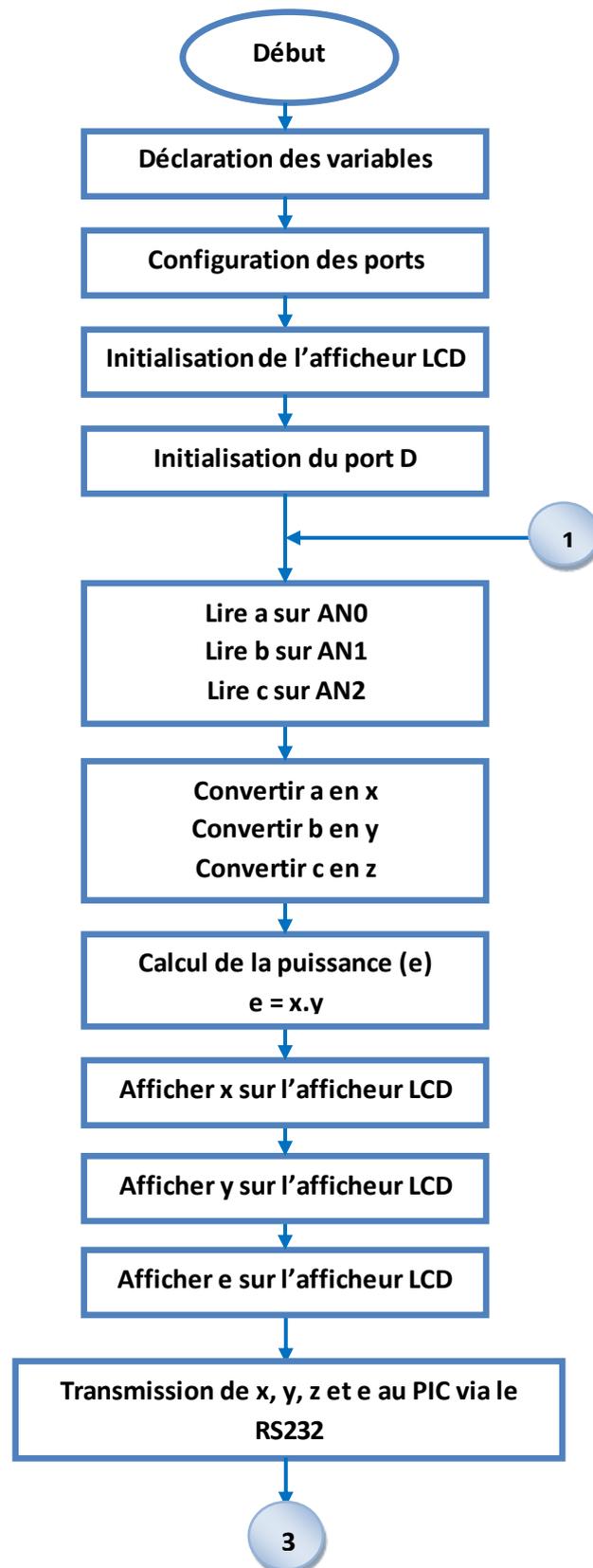
4.4 Consignes et stockage d'informations

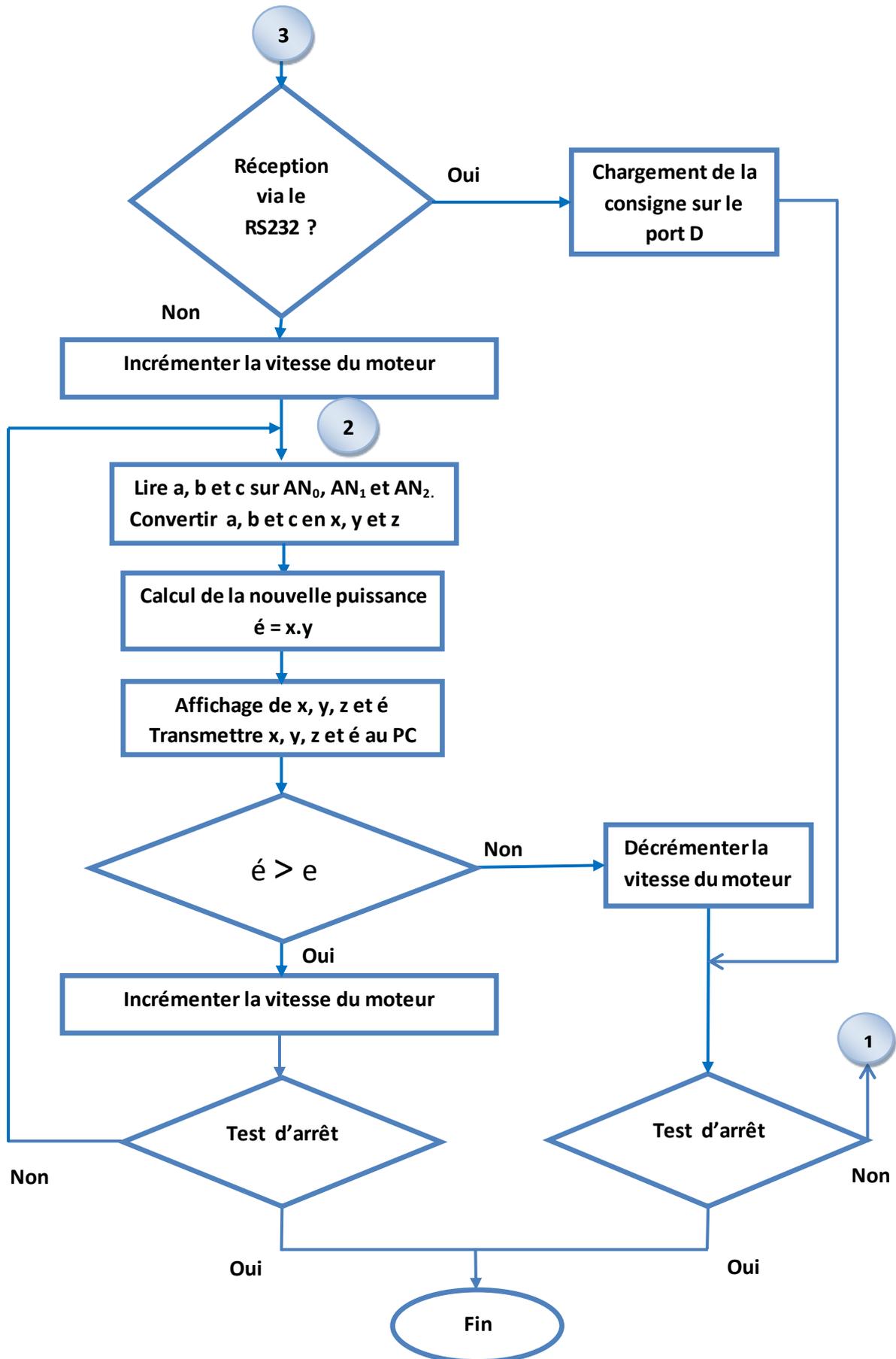
4.4.1 Les organigrammes

a) Organigramme du programme manuel



b) Organigramme du programme automatique





4.4.2 Etapas de programmation du PIC 16F877A

La programmation du pic 16F877A est réalisée en utilisant les deux logiciels suivants (CCS et MPLAB) avec un programmeur PIC START plus.

a) Le CCS

Le CCS est un outil informatique conçu spécialement pour la programmation des PIC. La compilation d'un programme dans ce même logiciel génère un fiché avec d'extension (.Hex) ce dernier sera injecté dans le PIC à l'aide du logiciel MPLAB et du programmeur PIC START plus.

b) Chargement du programme avec PIC START plus

La procédure de chargement du programme dans le PIC est donnée par les étapes suivantes :

- Démarrer le logiciel MPLAB ;
- Cliquer sur **configure** puis sélectionner le PIC 16F877A ;
- Cliquer sur **programmer** puis **select**
- Sélectionner **PIC START plus**
- Cliquer sur **programmer** puis **Enable programmer**
- Cliquer sur **file** puis **import** (pour charger le programme .Hex)
- Cliquer sur **programme**

4.4.3 Conception logicielle

La conception logicielle est basée sur l'utilisation de deux programmes, le premier nécessite une poursuite manuelle du point de puissance maximum, quant au deuxième programme, la poursuite se fait d'une manière automatique.

a) Logiciel HyperTerminal

La visualisation des données issues de la carte de pilotage (CPV) est faite grâce à l'utilisation du logiciel HyperTerminal inclus dans Windows, ce logiciel se distingue par sa facilité d'utilisation et sa compatibilité avec les périphériques possédant un protocole de communication tel que le RS 232.

Une configuration du logiciel doit être faite au préalable, afin de sélectionner le port concerné ainsi que la vitesse de connexion.

Afin de configurer le logiciel HyperTerminal on procède comme suit :

- La première étape est de nommer la connexion à utiliser ;
- L'assistant de configuration demande de spécifier le protocole de connexion à utiliser, dans notre cas on utilise COM1 ;
- La dernière étape consiste à configurer la vitesse de connexion, on spécifie 9600 bauds pour notre cas.

b) Aperçu de l'interface graphique

Après avoir configuré le logiciel, HyperTerminal se présente sous forme d'une fenêtre comme l'illustre la (figure 18).



Figure 18

5. Bloc de puissance

Ce bloc est constitué d'un variateur de vitesse et d'un moteur asynchrone triphasé utilisé comme une pompe à eau dans notre cas.

5.1 Variateur de vitesse MICRO MASTER

Le variateur de vitesse utilisé est un variateur de référence : MICRO MASTER 6SE3112 – BA40 voir la (figure 19), il permet de régler la vitesse et le couple du moteur asynchrone triphasé.

Ce variateur est commandé par un microprocesseur, intégrant une technologie IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*), Un procédé spécial de modulation de la largeur d'impulsion à fréquence de découpage réglable qui assure le bon de fonctionnement du moteur. Des fonctions de protection étendue garantissent un excellent suivi du moteur et du variateur.

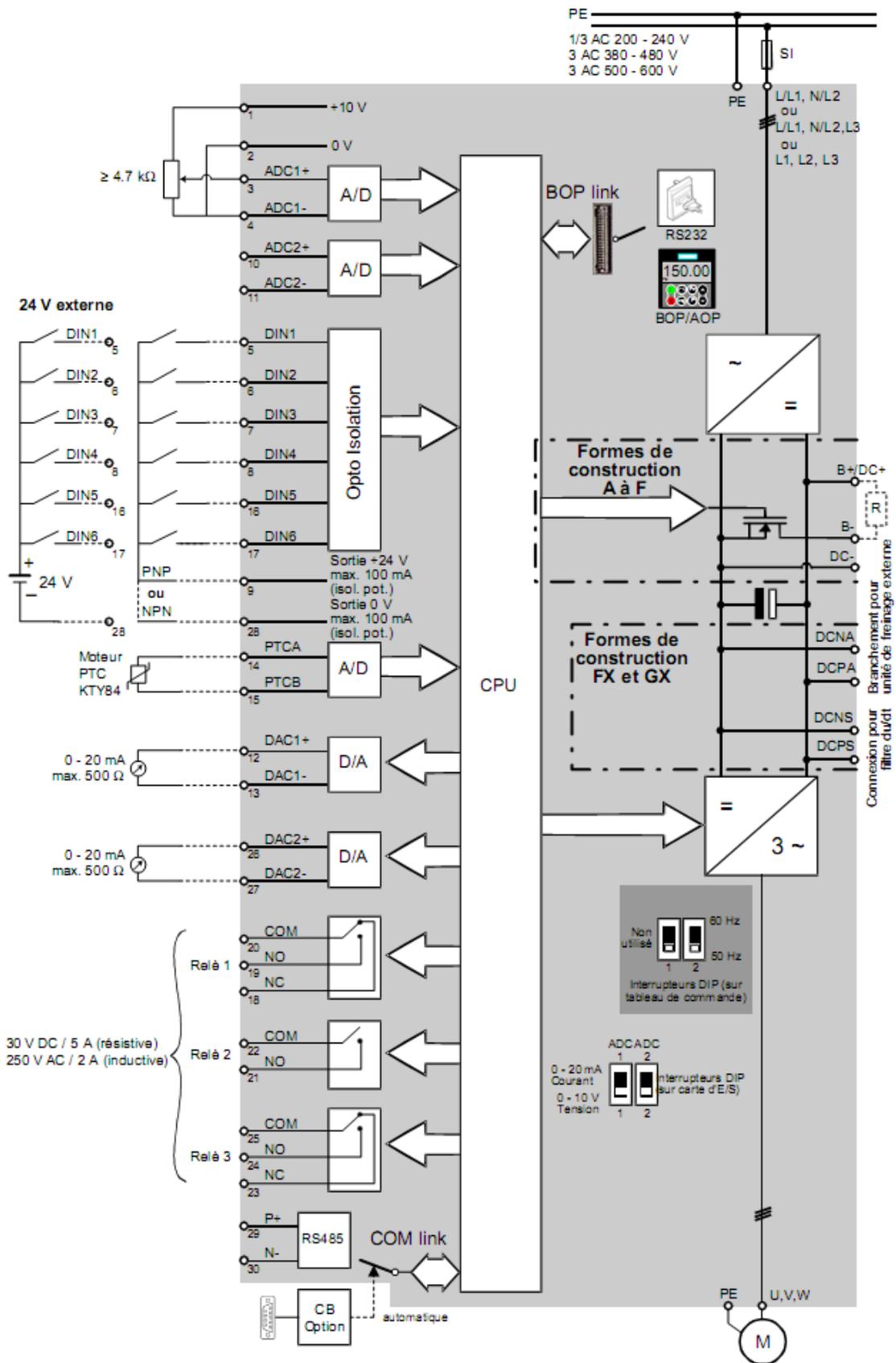


Figure 19

Les propriétés du variateur de vitesse sont :

- temps de repense réglable ;
- Connexion par câble simple ;
- 3 relais de sortie ;
- 2 sortie analogiques (0-20 mA) ;
- 6 entrées tores isolées, commutables active à l'état haut /active à l'état bas (PNP/NPN) ;
- 2 entrées analogiques ADC1 et ADC2 : 0 – 10 V, 0 – 20 mA .

5.1.1 Schéma bloc du variateur de vitesse



5.1.2 Paramétrage du MICRO MASTER

a) Touches et fonctions du panneau de commande

Le tableau 3 comporte les touches contenues sur la commande du variateur MICRO MASTER, elles permettent d'accéder aux différents paramètres, pour adapter le réglage du MICRO MASTER selon les besoins spécifiques.

Tableau 3 : fonctionnalités du tableau de commande.

Champ/touche	Fonction	Résultat
	Visualisation d'état	L'afficheur LCD indique les réglages actuels du variateur.
	Mise en marche du moteur	Cette touche permet de démarrer le variateur. Par défaut, elle est désactivée. Pour activer la touche, les paramètres P0700 ou P0719 doivent être modifiés comme suit : BOP : P0700 = 1 ou P0719 = 10 ... 16 AOP : P0700 = 4 ou P0719 = 40 ... 46 sur liaison BOP P0700 = 5 ou P0719 = 50 ... 56 sur liaison COM
	Mise à l'arrêt du moteur	ARRET1 L'actionnement de cette touche entraîne l'arrêt du moteur selon la rampe paramétrée. Par défaut, cette touche est désactivée. Pour l'activer →, voir la touche "Mise en marche du moteur". ARRET2 Le double actionnement de cette touche (ou si elle est maintenue enfoncée) entraîne l'arrêt du moteur par un ralentissement naturel. Cette fonction est toujours activée.
	Inversion du sens de marche	Cette touche inverse le sens de rotation du moteur. L'inversion est indiquée par le signe moins (-) ou par un point décimal clignotant. Par défaut, cette touche est désactivée. Pour l'activer →, voir la touche "Mise en marche du moteur"
	Marche par à-coups du moteur	L'actionnement de cette touche alors que le variateur est arrêté provoque la mise en marche du moteur et sa rotation à la fréquence de marche par à-coups prédéfinie. Le moteur s'arrête dès que la touche est relâchée. Cette touche est inopérante lorsque le moteur est en marche.
	Accès aux Paramètres	Cette touche permet d'accéder aux paramètres.
	Incrémenter une valeur	Cette touche augmente la valeur affichée.
	Décrémenter une valeur	Cette touche diminue la valeur affichée.

b) Paramètres de réglages

Accessible en lecture et en écriture, le paramètre (p) influe sur le comportement d'une fonction, les valeurs et les fonctions sont données par le tableau 4.

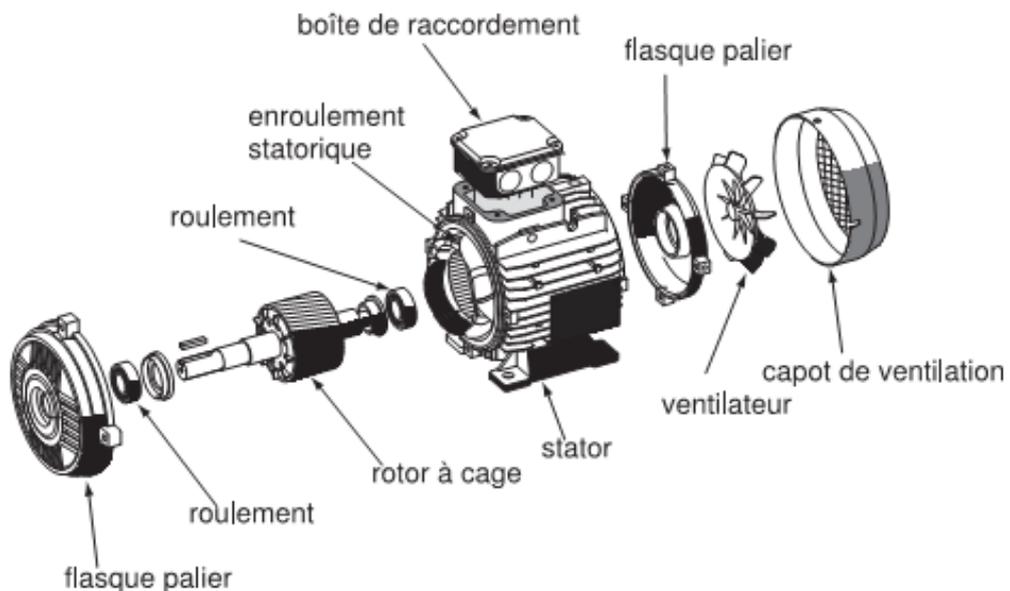
Tableau 4 : tableaux des fonctions et paramétrage du MICROMASTER.

Paramètres	Fonction	Réglage	Réglage usine	Description
P 000	Affichage du mode de fonctionnement.	—	—	Ceci montre le mode d'affichage sélectionné dans P 001
P 001	Mode d'affichage	0 à 9	2	2 = courant du moteur (A)
P 002	Accélération du moteur	0 à 650	10	Ce paramètre accélère le moteur à fréquence maximale
P 003	Décélération du moteur	0 à 650	10	Ce paramètre décélère le moteur à fréquence maximale
P 006	Choix de source de <i>set point</i> de fréquence	0 à 3	1	Sélectionner le mode de la commande du <i>set point</i> de fréquence pour le variateur.
P 009	Protection des paramètres	0 à 3	3	Tous les paramètres peuvent être lus et affichés
P 012	Fréquence minimum du moteur (Hz)	[50.00]	0	Sélectionner la fréquence minimale du moteur.
P 013	Fréquence maximale du moteur (Hz)	[50.00]	50	Sélectionner la fréquence maximale du moteur
P 023	Entrée analogique	0 à 3	0	Sélectionner l'entrée analogique 0 à 10 V/ 0- 20 mA
P 025	Sortie analogique	0 à 105	2/100	Sélectionner la sortie analogique 4- 20mA
P 077	Mode de commande	0-3	1	Régulation du courant d'excitation loi vectorielle (FCC)
P 080	$\cos(\varphi)$	0 à 1	0.71	Facteur de puissance lue sur la plaque signalétique. Si l'efficacité du facteur de puissance n'est pas montrée sur la plaque signalétique, on met le P 080 du moteur à 0
P 081	Fréquence nominale (Hz)	0 à 650	50	Fréquence nominale lue sur la plaque signalétique, on met le P 080 du moteur à 0
P 082	Vitesse nominale en tr/mn	0 à 9999	1400	Vitesse nominale lue sur la plaque signalétique du moteur
P 083	Courant nominal en Amère	0.1 à 300.0	2.2	Courant nominal lu sur la plaque signalétique du moteur

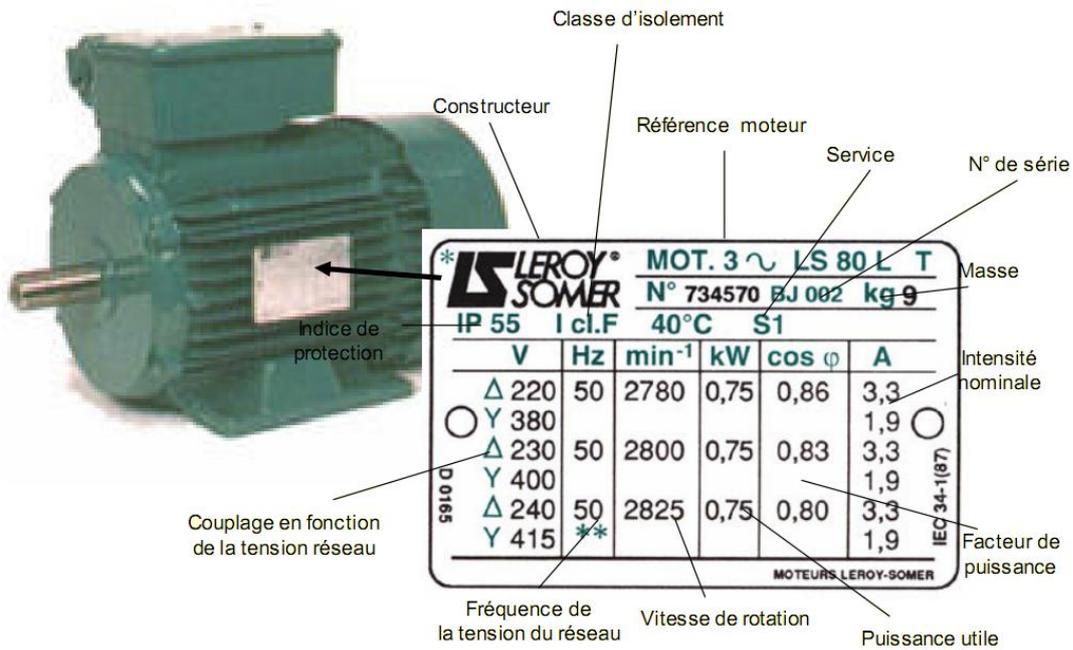
P 084	Tension nominale en volt	0 à 1000	400	Tension nominale lue sur la plaque signalétique du moteur
P 085	Puissance nominale en Kw	0.12 à 250	0.75	Puissance nominale lue sur la plaque signalétique du moteur
P 086	Limite de courant du moteur	0 à 250	150	Protection courant 3.3 A
P 087	Protection du coefficient de la température du moteur (PTC)	0 à 1	1	Activer la protection PTC.
P 091	Adresse de l'esclave	0 à 30	0	Communication par protocole USS
P 099	Module de PROFIBUS	0 à 2	1	Communication par protocole PROFIBUS
P 140	Code de défaut récent	0 à 255	2	Afficher et mémoriser le dernier défaut

5.2 Le moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil

a) Constitution du moteur asynchrone triphasé a cage d'écureuil



b) Plaque signalétique du moteur



6. Valeurs obtenues

Le tableau 5 représente les données obtenues lors de la manipulation :

Tableau 5 : données relatives à la journée du 12/07/2011 du site CDER de Bouzareah.

Heures	Rayonnement Incliné à 36.8°	Température de l'air	Température des modules PV mesurée	Tension mesurée	Courant mesuré	Puissance
11 : 30	911 W/m ²	27.8°C	36.3°C	194.5 V	2.38 A	462.91 W
12 : 20	916 W/m ²	28.2°C	36.6°C	194.6 V	2.39 A	465.09 W
13 : 30	901 W/m ²	27.4°C	35.5°C	194.3 V	2.37 A	460.49 W
14 : 10	913 W/m ²	28.9°C	36.8°C	195.1 V	2.40 A	468.24 W
14 : 30	913 W/m ²	28.7°C	36.7°C	195.1 V	2.38 A	464.33 W

*Conclusion
générale*

Les énergies renouvelables occupent une place importante dans le monde entier et spécialement dans le domaine industriel.

Une adaptation des méthodes et outillages à cette énergie est plus que d'actualité.

En effet notre application permet d'automatiser la variation de vitesse d'un MICRO MASTER toute en l'adoptant à une énergie photovoltaïque.

La conception et réalisation de ce projet a regroupé plusieurs parties, notamment :

L'étude et le choix de l'ensemble des éléments constituant le système, la réalisation de la carte, ainsi qu'une partie de programmation.

Ce projet nous a permis de mettre en exergue les connaissances antérieurement acquises dans les différents modules, ainsi que l'utilisation d'une multitude de logiciels tels que : (Proteus, CCS, MPLAB, Workbench...).

Nous avons aussi été amenés à se familiariser avec le milieu industriel dans lequel on n'a pu concrétiser notre application.

Les données reçus lors de la simulation ont été jugées acceptables par le personnel du centre de développement des énergies renouvelable de Bouzareah.

En perspective, nous pouvons signaler que ce travail ne constitue qu'un prototype dans le domaine industriel, néanmoins il est appelé à être amélioré par l'ajout d'une interface graphique ergonomique.

La carte de commande peut être étendue pour plusieurs autres systèmes et ne se limite pas qu'à une seule utilisation.

Enfin, nous espérons que ce modeste travail servira de support pour les promotions à venir.

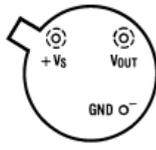
Annexes

Datasheet LM35

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

Connection Diagrams

**TO-46
Metal Can Package***



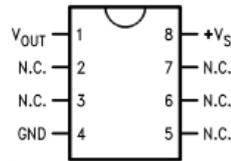
BOTTOM VIEW
DS005518-1

*Case is connected to negative pin (GND)

Order Number LM35H, LM35AH, LM35CH, LM35CAH or LM35DH

See NS Package Number H03H

**SO-8
Small Outline Molded Package**

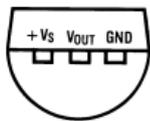


DS005518-1

N.C. = No Connection

Top View
Order Number LM35DM
See NS Package Number M08A

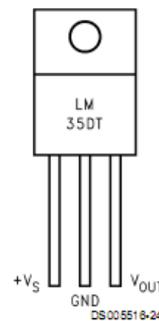
**TO-92
Plastic Package**



BOTTOM VIEW
DS005518-2

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

**TO-220
Plastic Package***



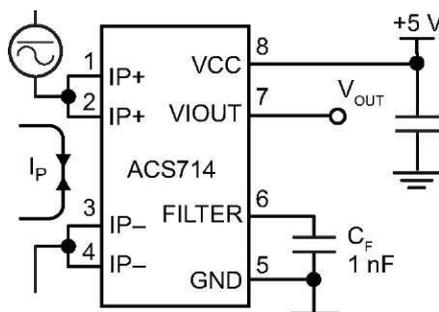
DS005518-24

*Tab is connected to the negative pin (GND).

Note: The LM35DT pinout is different than the discontinued LM35DP.

Order Number LM35DT
See NS Package Number TA03F

Datasheet ACS 714



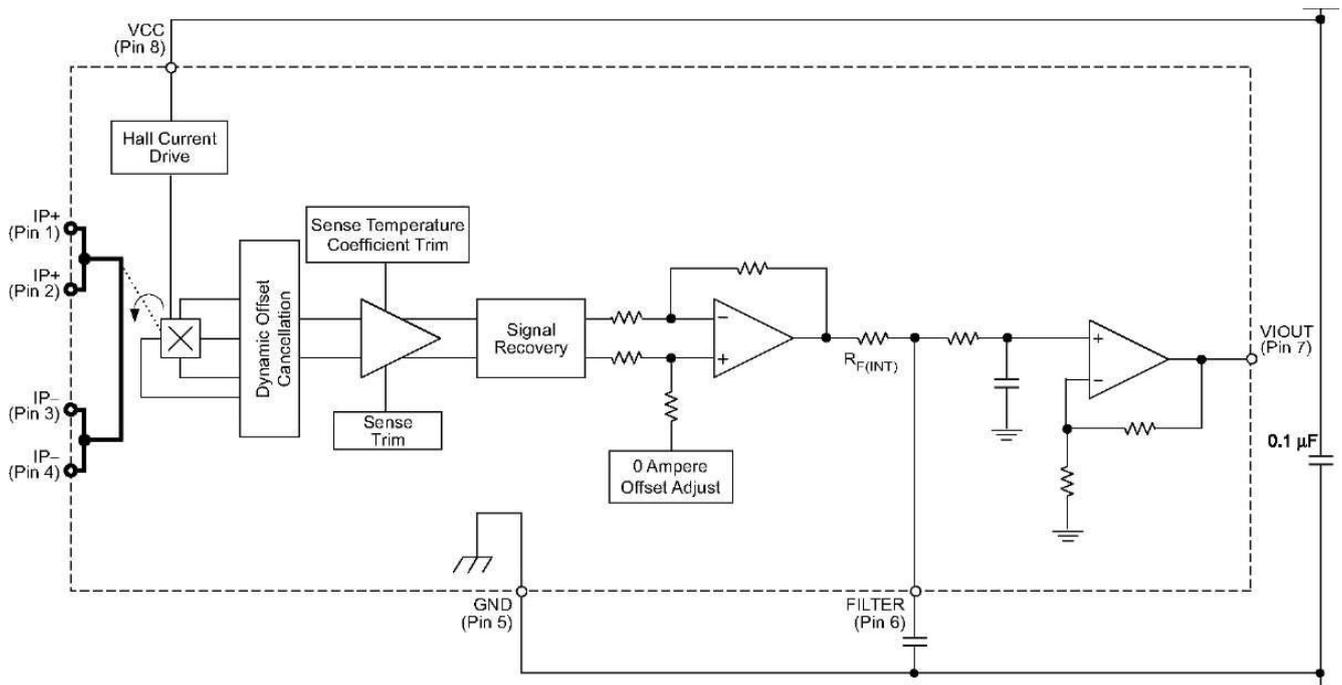
Application 1. The ACS714 outputs an analog signal, V_{OUT} , that varies linearly with the uni- or bidirectional AC or DC primary sampled current, I_P , within the range specified. C_F is recommended for noise management, with values that depend on the application.

Selection guide

Part Number	Optimized Range, I_p (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)	T_A (°C)	Packing
ACS714ELCTR-05B-T	±5	185	-40 to 85	Tape and reel, 3000 pieces/reel
ACS714ELCTR-20A-T	±20	100		
ACS714ELCTR-30A-T	±30	66		
ACS714LLCTR-05B-T	±5	185	-40 to 150	
ACS714LLCTR-20A-T	±20	100		
ACS714LLCTR-30A-T	±30	66		

Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V_{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V_{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V_{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V_{RIOUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V_{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, $T_A=25^\circ\text{C}$	2100	V_{AC}
		Maximum working voltage according to UL60950-1	184	V_{peak}
Basic Isolation Voltage	V_{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, $T_A=25^\circ\text{C}$	1500	V_{AC}
		Maximum working voltage according to UL60950-1	354	V_{peak}
Output Current Source	I_{IOUT}		3	mA
Output Current Sink	I_{IOUT}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I_p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T_a	Range E	-40 to 85	°C
		Range L	-40 to 150	°C
Maximum Junction Temperature	$T_j(\text{max})$		165	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-65 to 170	°C



Terminal List Table:

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	V _{IOUT}	Analog output signal
8	V _{CC}	Device power supply terminal

Datasheet PIC 16F877A



PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

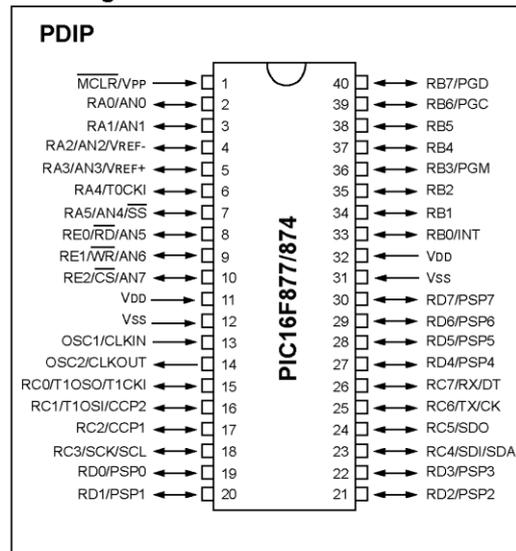
Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature
ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during SLEEP via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master
mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

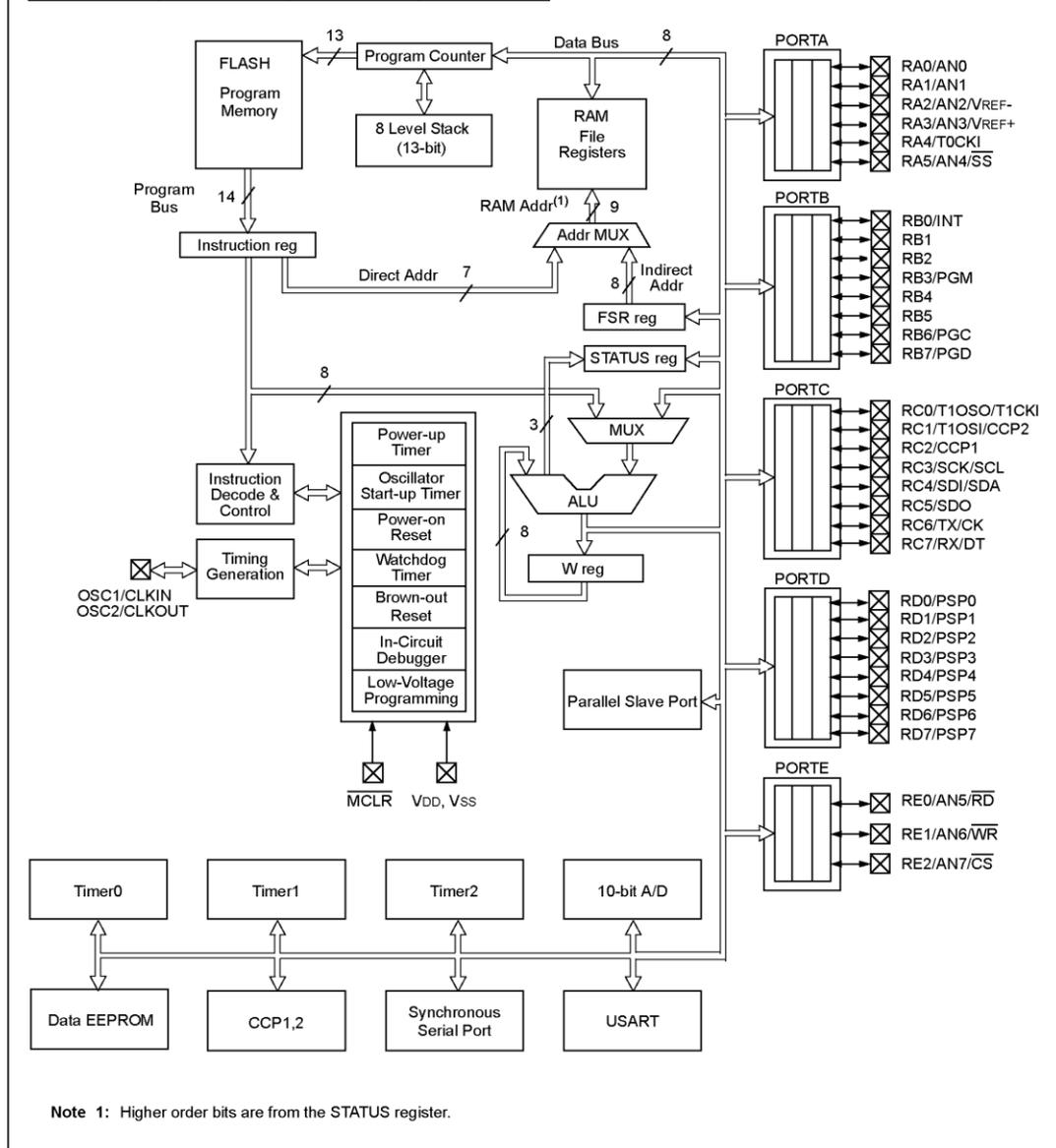
PIC16F87X

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz			
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

PIC16F87X

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	368 Bytes	256 Bytes



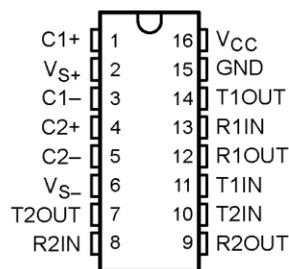
Datasheet MAX 232

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

- Meet or Exceed TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operate With Single 5-V Power Supply
- Operate Up to 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- ± 30 -V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- ESD Protection Exceeds JESD 22 – 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Applications
 - TIA/EIA-232-F
 - Battery-Powered Systems
 - Terminals
 - Modems
 - Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube	MAX232N	MAX232N
	SOIC (D)	Tube	MAX232D	MAX232
		Tape and reel	MAX232DR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232DW	MAX232
		Tape and reel	MAX232DWR	
SOP (NS)	Tape and reel	MAX232NSR	MAX232	
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube	MAX232IN	MAX232IN
	SOIC (D)	Tube	MAX232ID	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232IDW	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	–0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}	$V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	–0.3 V to –15 V
Input voltage range, V_I : Driver	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	±30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	73°C/W
DW package	57°C/W
N package	67°C/W
NS package	64°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	–65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	V
V_{IH}	High-level input voltage (T1IN, T2IN)	2			V
V_{IL}	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)			0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage			±30	V
T_A	Operating free-air temperature	MAX232	0	70	°C
		MAX232I	–40	85	

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 3 and Figure 4)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
I_{CC} Supply current	$V_{CC} = 5.5$ V, All outputs open, $T_A = 25^\circ\text{C}$		8	10	mA

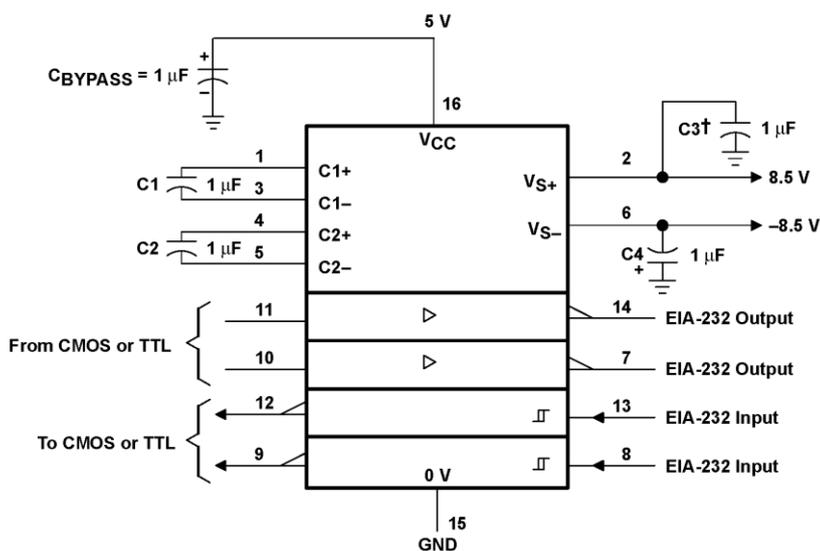
‡ All typical values are at $V_{CC} = 5$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at $V_{CC} = 5 \text{ V} \pm 0.5 \text{ V}$.

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

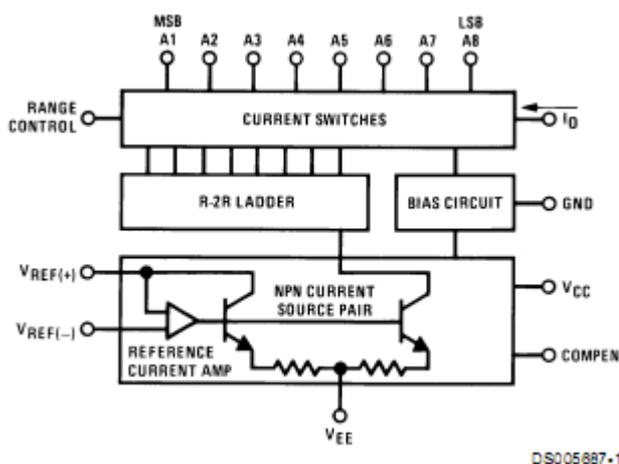
APPLICATION INFORMATION



† C3 can be connected to V_{CC} or GND.

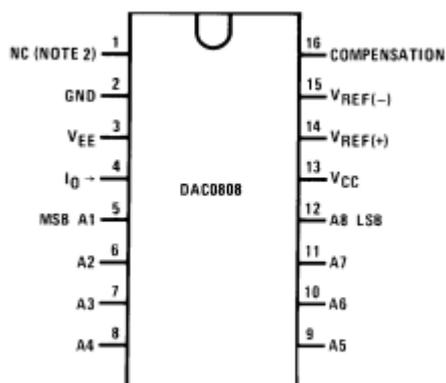
Figure 4. Typical Operating Circuit

Datasheet DAC0808



DS005887-1

Dual-In-Line Package



DS005887-2

Ordering Information

ACCURACY	OPERATING TEMPERATURE RANGE	N PACKAGE (N16A) (Note 1)		SO PACKAGE (M16A)
		DAC0808LCN	MC1408P8	DAC0808LCM
8-bit	$0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 75^{\circ}\text{C}$			

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

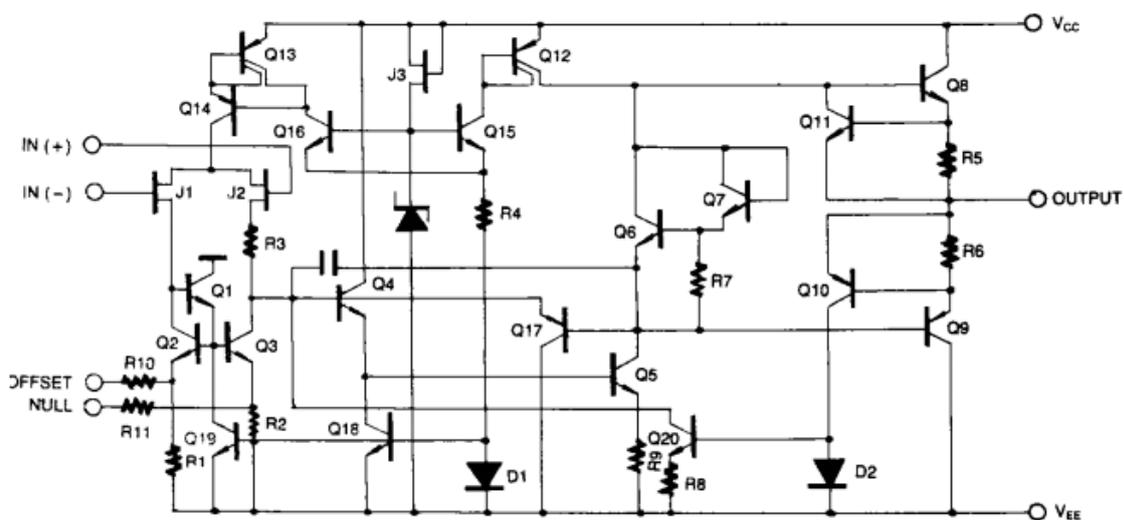
Electrical Characteristics

($V_{CC} = 5V$, $V_{EE} = -15V_{DC}$, $V_{REF}/R14 = 2\text{ mA}$, and all digital inputs at high logic level unless otherwise noted.)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
E_r	Relative Accuracy (Error Relative to Full Scale I_O)	(Figure 4)			± 0.19	%
	DAC0808LC (LM1408-8) Settling Time to Within $\frac{1}{2}$ LSB (Includes t_{PLH})	$T_A = 25^\circ\text{C}$ (Note 7), (Figure 5)		150		% ns
t_{PLH}, t_{PHL}	Propagation Delay Time	$T_A = 25^\circ\text{C}$, (Figure 5)		30	100	ns
TCI_O	Output Full Scale Current Drift			± 20		ppm/ $^\circ\text{C}$
MSB V_{IH} V_{IL}	Digital Input Logic Levels	(Figure 3)	2		0.8	V_{DC} V_{DC}
	High Level, Logic "1" Low Level, Logic "0"					
MSB I_{15}	Digital Input Current	(Figure 3)				
	High Level Low Level	$V_{IH} = 5V$ $V_{IL} = 0.8V$		0 -0.003	0.040 -0.8	mA mA
I_{15}	Reference Input Bias Current	(Figure 3)		-1	-3	μA
	Output Current Range	(Figure 3)				
I_O	Output Current	$V_{REF} = 2.000V$, $R14 = 1000\Omega$, (Figure 3)				
	Output Current, All Bits Low	(Figure 3)	1.9	1.99 0	2.1 4	mA μA
	Output Voltage Compliance (Note 3) $V_{EE} = -5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$ V_{EE} Below $-10V$	$E_r \leq 0.19\%$, $T_A = 25^\circ\text{C}$			-0.55, +0.4 -5.0, +0.4	V_{DC} V_{DC}

Datasheet LF 351

Schematic Diagram



Electrical Characteristics

($V_{CC} = +15V$, $V_{EE} = -15V$, $T_A = 25^\circ C$. unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input Offset Voltage	V_{IO}	$R_S = 10k\Omega$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	5.0	10	mV
			-	-	13	
Input Offset Voltage Drift (Note1)	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	$R_S = 10k\Omega$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	10	-	$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	I_{IO}	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	25	100	pA
			-	-	4	nA
Input Bias Current	I_{BAIS}	$0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	-	50	200	pA
			-	-	8	nA
Input Resistance (Note1)	R_I	-	-	10^{12}	-	Ω
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{O(P-P)} = \pm 10V$ $R_L = 2k\Omega$ $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$	25	100	-	V/mV
			15	-	-	
Output Voltage Swing	$V_{O(P-P)}$	$R_L = 10k\Omega$	± 12	± 13.5	-	V
Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	-	± 11	+15 -12	-	V
Common Mode Rejection Ratio	CMRR	$R_S \leq 10k\Omega$	70	100	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	$R_S \leq 10k\Omega$	70	100	-	dB
Power Supply Current	I_{CC}	-	-	2.3	3.4	mA
Slew Rate (Note1)	SR	$G_V = 1$	-	13	-	V/ μs
Gain-Bandwidth Product (Note1)	GBW	-	-	4	-	MHz

Nomenclatures

References	Valeurs	Quantités
R5 R6	1 K Ω	2
R1	100 K Ω	1
R2 R3 R4	5.1 K Ω	3
VR2	10 K Ω	1
C13 C8	10 nF	2
C9 C10 C11 C12	1nF	4
C1 C2 C3 C5	1 μF	4
C4	10 μF	1
C6 C7	15pF	2
U1	PIC 16F877A	1
U2	MAX 232	1
U3	DAC 0808	1
U4	LF 351	1
D1-D4	1N4007	4
+5V,+10V, +12V, -12V,COUR, OUT, TEMP, TEN	Borniers	8
BP	Bouton poussoir	1
J1	Fiche DB9 Femelle	1
LCD	LM 016 L	1
X1	Quartz 4MHz	1

