

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
Département d'Electronique



Projet de fin d'études

**Pour l'obtention du titre
d'Ingénieur d'Etat en Electronique**

THEME :

**CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CARTE
DE CARACTERISATION POUR PANNEAUX SOLAIRES**

Présenté par :

Mr.: LAMOUDI Mohamed Yacine

Mr.: BADJI Fahim Nacer Eddine

Proposé par :

Mr.: M. HADDADI (ENP)

Mr.: H. BELMILI (UDES)

Promotion : juin 2008

Ecole Nationale Polytechnique
10, Avenue Hacén Badi, El-Harrach, Alger.

ملخص:

تصميم وصنع بطاقة وصف الألواح الشمسية، هذه البطاقة مزودة بواجهة مستخدم على مستوى الحسوب، توجه الخاصيتان استطاعة- توتر و شدة تيار- توتر إلى الحسوب . يتم أيضا حساب درجة الحرارة و الشدة الضوئية.

الكلمات المفتاحية: لوحة شمسية،حمولة الكترونية،MOSFET، واجهة مستخدم ، متحكم دقيق.

Résumé:

Conception et réalisation carte d'une caractérisation pour panneaux solaires, cette carte accompagnée d'une interface graphique, devra tracer les caractéristiques **courant-tension** et **puissance-tension** et afficher ces caractéristiques ainsi que les données température et intensité lumineuse.

Mots clés: panneau solaire, charge électronique, MOSFET, interface, microcontrôleur.

Abstract:

Design and production of a characterization card for solar panels, this card, with a graphical user interface, will outline the characteristics: **current-voltage** and **power-voltage** and display data as well as temperature and light intensity.

Keywords: solar panel, electronic load, MOSFET, interface, microcontroller.

REMERCIEMENTS ET DEDICACES

A mon grand-père.

A mes parents, pour leur patience, leurs encouragements et leur soutien inconditionnel.

Je tiens à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet. Mes amis : Nadjib, Riad, Samir, Nassima pour leur aide précieuse et leur présence quand j'en avais besoin ainsi que mes encadreurs : Mr. HADDADI et Mr. BELMILI.

LAMOUDI Mohamed Yacine

Je dédie ce modeste travail ma famille, imane et yacine et remercie tous ceux qui ont fait qu'il aboutisse : Mr. BELMILI Hocine qui nous a encadré durant notre stage à l'UDES et Mr. HADDADI

BADJI Fahim Nacer Eddine

LISTE DES PARAMETRES

Φ [kw /m²] : Flux lumineux.

K_N [A/V²] : Constante donnée par le constructeur spécifique au MOSFET en question.

T_J [C°]: Température de la jonction.

T_a [C°]: Température ambiante (25°C).

$T_{J\max}$ [C°]: Température de la jonction à ne pas dépasser.

Q_i : Point de fonctionnement « i ».

Q_{CC} : Point de fonctionnement en court-circuit.

Q_{CO} : Point de fonctionnement en circuit ouvert.

R_{OPT} [Ω] : Valeur de la résistance de charge optimale pour la quelle la puissance est maximale.

$R_{DS\ ON}$ [Ω] : Résistance minimale drain-source.

R_S [Ω]: Résistance série (modèle électrique du panneau solaire).

R_{sh} [Ω]: Resistance shunt (modèle électrique du panneau solaire).

R_{shunt} [Ω]: Resistance shunt utilisée pour le capteur de luminosité.

C [m²/V]: sensibilité du panneau.

I_{PH} [A]: Photo courant généré par le générateur interne (model électrique du panneau solaire).

I_d [A]: Courant traversant la diode (model électrique du panneau solaire).

I_{Rsh} [A]: Courant traversant la résistance shunt (model électrique du panneau solaire).

I_P [A]: Courant délivré par le panneau solaire.

I_{CC} [A]: Courant de court-circuit.

I_m [A]: Courant maximal du point (MPP: point de puissance maximale).

I_{DS} [A]: Courant drain-source du MOSFET.

I_D [A]: Courant drain-source maximal pouvant traverser le MOSFET.

I_{sat} [A]: Courant de saturation.

V_{DS} [V]: Tension drain-source .

BV_{Dss} [V]: Tension de claquage du mosfet.

V_{GS} [V]: Tension gate-source .

V_{th} [V]: Tension seuil V_{GS} à partir de laquelle le mosfet commence à conduire.

V_d [V]: Tension aux bornes de la diode (modèle électrique du panneau solaire).

V_P [V]: Tension délivrée par le panneau solaire.

V_{CO} [V]: Tension de circuit-ouvert.

V_m [V]: Tension maximale.

V_{lum} [V]: Tension image du flux lumineux.

V_C (ou $V_{courant}$) [V]: Tension image du courant délivré par le panneau photovoltaïque.

V_T (ou $V_{Tension}$) [V]: Tension image de la tension délivrée par le panneau photovoltaïque.

V_{Ref} [V]: Tension de référence.

P_m [W]: puissance maximale délivrée par le panneau.

P_D [W]: puissance maximale que peut dissiper le mosfet à la température ambiante.

P_{Mos} [W]: puissance maximal dissipée par un mosfet.

S [cm²]: Surface théorique du dissipateur thermique en contact avec l'air.

$S_{Dissipateur}$ [cm²]: Surface du dissipateur thermique utilisé.

σ [W /°C/cm²]: conductivité thermique.

$R_{th (r-a)}$ [°C/W] : Résistance thermique radiateur-air.

$R_{th (c-r)}$ [°C/W] : Résistance thermique boîtier-radiateur.

$R_{th (j-e)}$ [°C/W] : Résistance thermique jonction-boîtier.

T_{CONV} [μS] : Temps de conversion d'un couple (I_P, V_P).

T_{Iconv} [μS] : Temps de conversion d'une tension présente sur un canal.

t_{ad} [μS] : Temps de conversion par bit.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE ET PRESENTATION DU PFE	1
---	----------

CHAPITRE I Généralités sur le générateur photovoltaïque.....	2
---	----------

Introduction :	2
----------------------	---

I.1 Le système photovoltaïque :	2
---------------------------------------	---

I.1.2 Contrôle de l'énergie :	3
-------------------------------------	---

I.1.3 Utilisation de l'énergie :	4
--	---

I.2 La conversion photovoltaïque :	4
--	---

I.2.1 La cellule photovoltaïque :	4
---	---

I.2.2 Modélisation de La cellule photovoltaïque :	5
---	---

I.2.3 Les différents types de cellules photovoltaïques:	5
---	---

I.2.4 Caractéristique électrique d'un générateur photovoltaïque :	6
---	---

a. La caractéristique courant-tension :	6
---	---

b. La caractéristique puissance-tension :	6
---	---

I.2.5 courant de court-circuit :	7
--	---

I.2.6 Tension de circuit ouvert :	7
---	---

I.2.7 Les paramètres d'une cellule photovoltaïque:	9
--	---

a. Influence de la résistance série :	9
---	---

b. Influence de la résistance shunt :	10
---	----

CHAPITRE II Conception de la carte et principe de fonctionnement de la carte	14
---	-----------

II.1 Présentation des différentes parties de la carte :	14
---	----

II.2 La charge électronique :	14
-------------------------------------	----

II.2.1 Définition :	14
II.2.2 Etage de puissance :	15
II.2.3 Etage de commande :	15
II.2.4 Principe de la charge électronique réalisée :	16
II.2.5 Intérêt d'utilisation de MOSFETs :	16
II.2.6 Principe de fonctionnement de la charge électronique :	17
II.3 Bloc b1 : (mesure de la tension et du courant)	18
II.4 Microcontrôleur :	19
II.4.1 Définition :	19
II.4.2 Le microcontrôleur :	19
II.5 EIA-232 DRIVER : (adaptateur RS-232).....	20
II.6 Bloc b2 :(mesure de la température et du flux lumineux).....	20
II.7 Alimentation :	20
II.7.1 Filtre secteur :	20
II.7.2 Alimentation des circuits logiques :	21
II.7.3 Alimentation symétrique :	21
II.8 Interface :	21
CHAPITRE III Réalisation de la carte	21
Introduction :	22
III.1 Charge électronique :	22
III.1.1 Etage de puissance :	22
III.1.1.1 Dimensionnement des MOSFETs :	23
a.Panneaux photovoltaïques :	23
b.Choix des MOSFETs :	23
b.1. Modèle thermique d'un transistor :	24

b.2. Calcul du dissipateur thermique :.....	24
III.1.2 Etage de commande :.....	26
III.1.2.1 Plage de variation de V_{GS} :	27
III.2 Microcontrôleur :.....	29
III.2.1 Sorties numériques :	30
III.2.2 Entrées analogiques :	30
III.2.3 Oscillateur :.....	30
III.2.4 Communication :	30
III.2.5 Programme :	31
III.2.6 Conversion Analogique/Numérique :.....	33
III.3 EIA-232 DRIVER :.....	34
III.4 Bloc b2 :	35
III.4.1 Capteur de température :.....	35
III.4.2 Capteur de luminosité :.....	36
III.5 Bloc b1 :	37
III.5.1 Chaîne courant :.....	38
III.5.2 Chaîne tension :	39
CHAPITRE IV Tests et Essais.....	40
IV.1 Développement de l'interface de visualisation :.....	40
IV.2 Essais :.....	41
IV.2.1 Premier test :.....	42
IV.2.2 Deuxième test :.....	43
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES D'AMELIORATION.....	45
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	46

INTRODUCTION GENERALE ET PRESENTATION DU PFE

Alors que le prix du baril de pétrole reste à un niveau élevé et pourrait encore augmenter, les questions sur les réserves restantes d'hydrocarbures resurgissent. Selon la plupart des experts, il faut s'attendre à manquer de pétrole dans le courant du XXIème siècle. Pour les plus optimistes, nous en avons encore pour 50 ans. Mais pour d'autres, la fin du pétrole est déjà là. Le défi est donc de taille : il s'agit de trouver des substituts aux énergies fossiles, en donnant la priorité aux énergies renouvelables. Mais c'est aussi tout notre comportement énergétique qui serait à réviser.

Il est urgent de prendre conscience du retard que nous accusons en matière d'énergies renouvelables. Là où d'autres pays tel que l'Allemagne prennent déjà des mesures pour le remplacement des énergies fossiles par des sources d'énergies moins polluantes et durables. L'Algérie « pays du soleil » doit revoir ses plans de développements et opter dès maintenant pour ce qui sera demain non pas une solution alternative, mais bel et bien une obligation. Nous devons prendre les devants et ne pas répéter les erreurs déjà commises. Nous devons développer nous-mêmes les installations nécessaires à la production d'énergie de type solaire ou autre éolienne qui représenteront un enjeu économique de taille dans un futur proche.

En plus d'être dicté par une politique de développement durable, il est primordial de changer les habitudes de consommation de tout un chacun et prendre conscience du gaspillage énergétique engendré par la société moderne. Les indicateurs économiques et écologiques nous le démontrent : La révolution énergétique doit être amorcée immédiatement.

La solution solaire est l'une des solutions de l'avenir. Cependant, et si on opte pour ce choix, il restera à améliorer les dispositifs mis en œuvre, en solutionnant les problèmes rencontrés lors de la mise en place de « champs photovoltaïques ». Ce qui ne peut se faire sans unités de recherche qui œuvrent dans ce sens : L'UDES « Unité de Développement des Equipements Solaires » (BOUISMAIL-TIPAZA) en fait partie.

Le modeste travail que nous présentons pour notre Projet de Fin d'Etudes, effectué dans le cadre d'un stage à l'UDES, porte sur la réalisation d'une carte de caractérisation pour générateurs photovoltaïques.

Cette carte, accompagnée d'une interface, a pour but de tracer les caractéristiques courant-tension (I-V) et puissance-tension (P-V) d'un panneau photovoltaïque (solaire) pour des températures et des flux lumineux déterminés, ce qui permet une caractérisation exacte des ces générateurs. La connaissance de ces caractéristiques est indispensable pour l'étude des générateurs photovoltaïques ainsi que pour le dimensionnement et l'optimisation des installations réalisées.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE GENERATEUR
PHOTOVOLTAÏQUE

Introduction :

De tout temps, l'homme a cherché à utiliser l'énergie émise par le soleil, l'astre le plus proche de la terre. La plupart des utilisations, connues depuis des siècles, sont directes comme en agriculture à travers la photosynthèse ou dans les diverses applications de séchage et chauffage tant artisanales qu'industrielles. Cette énergie est disponible en abondance sur toute la surface terrestre. Malgré une atténuation importante lorsqu'elle traverse l'atmosphère, la quantité qui reste est encore suffisante quand elle parvient au sol. On peut ainsi compter sur 1000 W/m^2 dans les zones tempérées et jusqu'à 1400 W/m^2 lorsque l'atmosphère est faiblement polluée de poussière ou d'eau. Ainsi, il existe des zones dans le monde plus favorisées que d'autres du point de vue ensoleillement. Ces zones sont répertoriées sous forme d'atlas et mettent en évidence des «gisements solaires ».

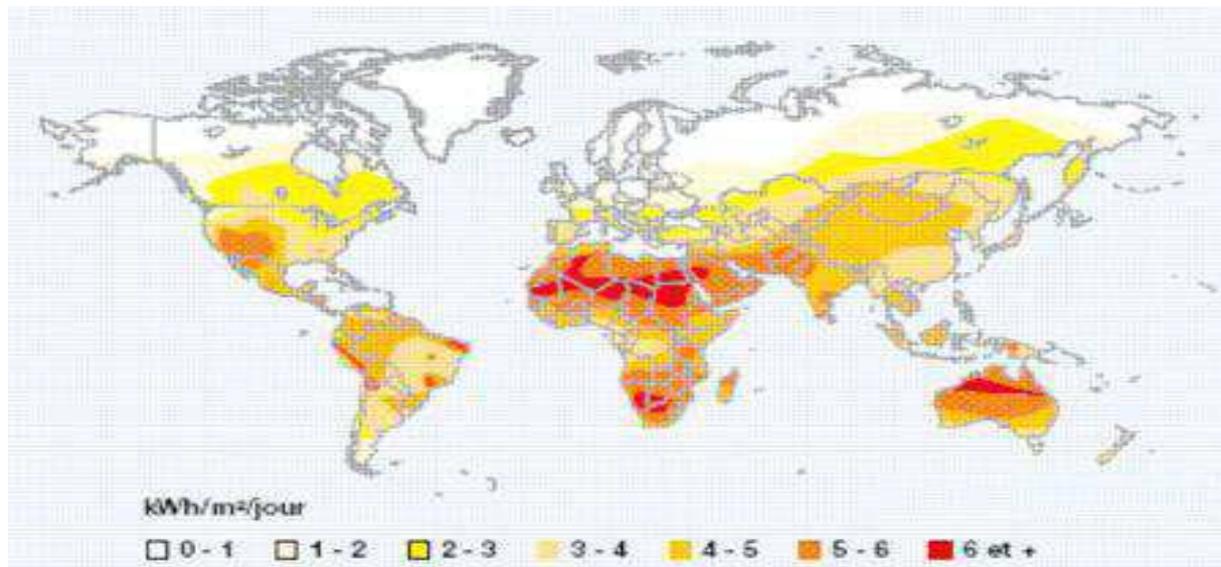


Figure I.1 : Carte du monde de l'irradiation moyenne annuelle en KWh/m^2 sur un plan horizontal

I.1 Le système photovoltaïque :

Tout système photovoltaïque peut se décomposer en trois parties : une partie production d'énergie, une partie contrôle de cette énergie et une partie utilisation de l'énergie produite. L'analyse précise de chacune de ces fonctions doit être approfondie afin de construire un système fiable techniquement.

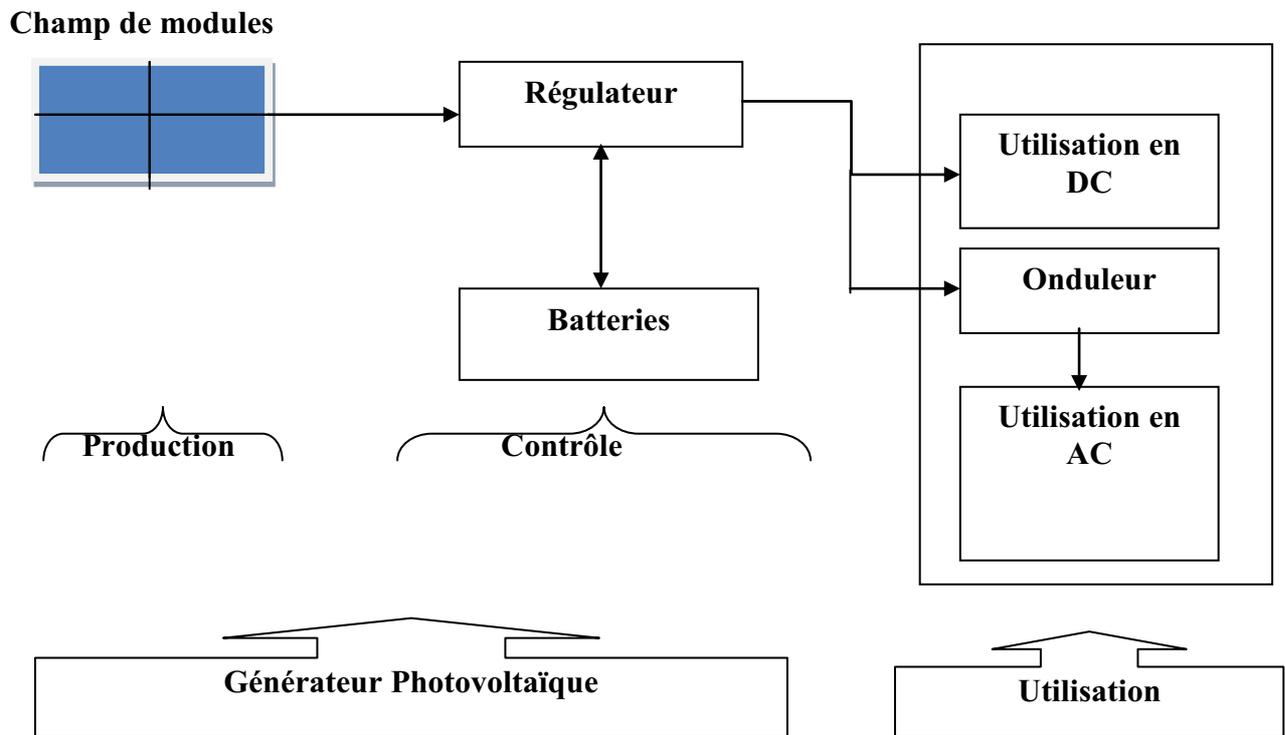


Figure I.2 : Le système photovoltaïque [2].

I.1.1 Production de l'énergie :

Cette partie est essentiellement composée d'un ou plusieurs modules photovoltaïques. Ces modules formés d'un assemblage de cellules photovoltaïques réalisent la conversion de l'énergie solaire en électricité. Un module photovoltaïque se comporte comme un générateur de courant continu (DC). Lorsqu'il est branché sur une batterie de (12V), celle-ci lui imposera sa tension [1].

I.1.2 Contrôle de l'énergie :

L'énergie électrique que fournissent ces modules dépend, entre autres, de l'ensoleillement et de leur position par rapport au soleil. D'où une irrégularité dans la production d'énergie qui peut ne pas être compatible avec les besoins énergétique, généralement plus constants. Il est donc souvent nécessaire de contrôler l'approvisionnement en électricité à l'aide d'un système de stockage de l'énergie, avec ou sans régulation. Il est aussi parfois nécessaire de modifier la nature du courant pour certaines applications (conversion du courant continu en courant alternatif au moyen d'un onduleur) [2].

I.1.3 Utilisation de l'énergie :

Cette partie se compose essentiellement d'un ou plusieurs récepteurs : ce sont les différents matériels qui utilisent l'énergie électrique produite et contrôlée (éclairage, pompage,...). On appelle générateur photovoltaïque l'ensemble des deux premières parties, c'est-à-dire les modules photovoltaïques couplés aux éléments de contrôle. On appelle système photovoltaïque l'assemblage d'un générateur photovoltaïque à un ou plusieurs récepteurs. Ce découpage en trois parties permet de bien identifier les différents composants des systèmes photovoltaïques (souvent abrégé : PV) et de bien comprendre la logique « production- consommation » très particulière à l'utilisation du photovoltaïque. La présente partie de notre travail traite donc des aspects liés aux fonctions de production et de contrôle de l'énergie, à l'exception des spécificités propres à une utilisation particulière.

I.2 La conversion photovoltaïque :

I.2.1 La cellule photovoltaïque :

La cellule photovoltaïque (ou photopile) est un composant électronique à base de matériau semi-conducteur. Lorsque les particules de lumière, appelées photons, frappent ce matériau, il se crée un champ électrique qui produit deux types de charges : positives et négatives. Elles sont séparées et collectées sur les faces avant et arrière de la cellule photovoltaïque qui se comporte alors comme un générateur de courant continu.

La figure ci-dessous illustre le phénomène [3].

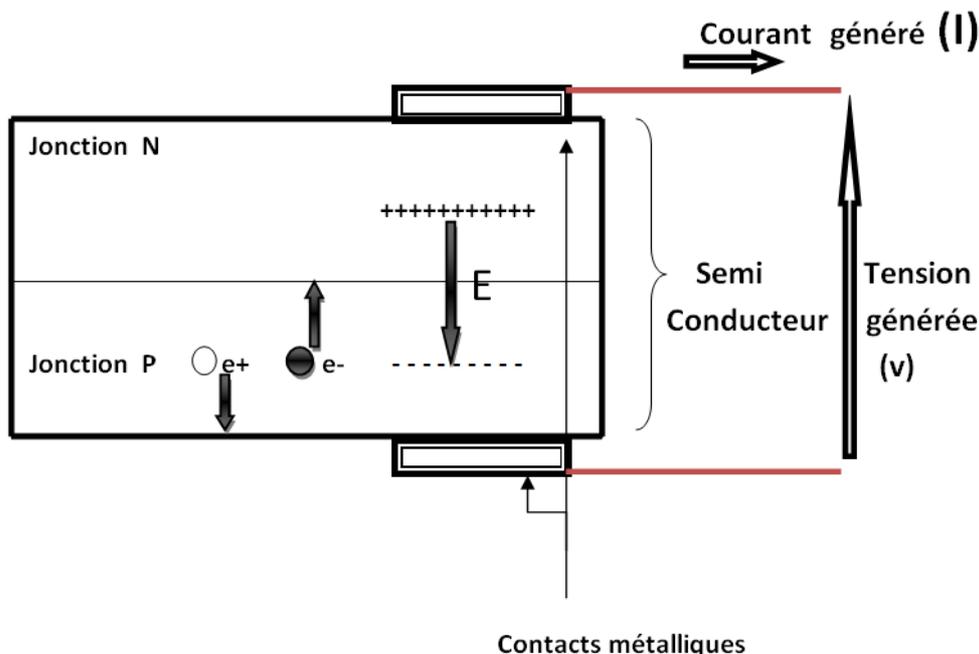


Figure I.3 : Structure de base d'une cellule photovoltaïque [4].

Le matériau semi-conducteur actuellement le plus utilisé pour les usages « terrestres » est le silicium. Il existe trois grands types de silicium : amorphe, monocristallin et polycristallin. Les siliciums mono ou poly cristallin ont un rendement électrique et une durée de vie deux fois supérieure à celle du silicium amorphe, mais sont nettement plus coûteux. Dans la pratique, l'amorphe est choisi pour les applications de très faible puissance comme par exemple les calculatrices ou les montres alors que toutes les autres applications d'envergure supérieure privilégient le silicium cristallin.

I.2.2 Modélisation de La cellule photovoltaïque :

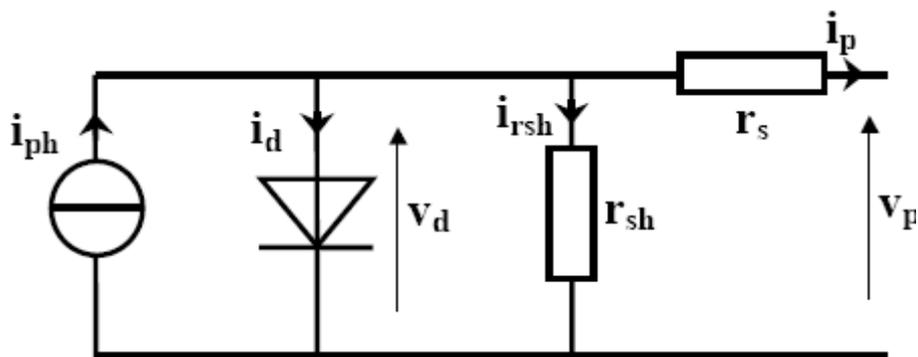


Figure I.4 : Schéma électrique équivalent d'une cellule photovoltaïque [4].

I.2.3 Les différents types de cellules photovoltaïques:

Il existe trois principaux types de cellules à base de silicium à l'heure actuelle :

-Les cellules monocristallines :

Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (12-16%), mais aussi celle dont le coût est le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée [5].

-Les cellules polycristallines :

Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moindre, cependant leur rendement est plus faible : (11%-13%) [5].

-Les cellules amorphes :

Elles ont un faible rendement (8%-10%), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans les produits de petite consommation telles que les calculatrices solaires ou encore les montres [5].

I.2.4 Caractéristique électrique d'un générateur photovoltaïque :

a. La caractéristique courant-tension :

La caractéristique courant-tension, illustrée dans la figure (I.5), décrit le comportement de la cellule photovoltaïque sous l'influence des conditions météorologiques (niveau d'éclairement et température ambiante) [3].

La courbe de la cellule solaire $I=f(V)$ passe par trois points importants qui sont :

- Le courant de court-circuit : I_{CC}
- La tension de circuit ouvert : V_{CO}
- La puissance maximale : P_m .

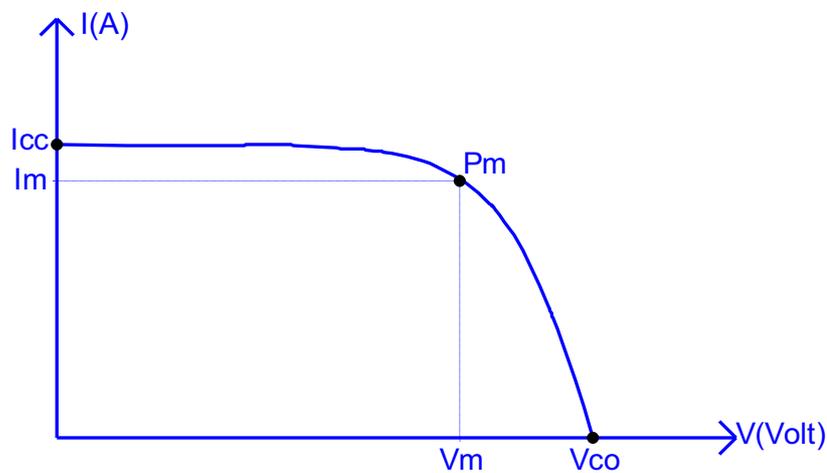


Figure I.5 : Caractéristique courant -tension d'une cellule photovoltaïque [2].

b. La caractéristique puissance-tension :

Cette caractéristique est illustrée dans la figure (I.6), elle décrit le comportement en puissance de la photopile dans des conditions météorologiques données.

La caractéristique puissance-tension passe par un point important :

- La puissance maximale P_m [3].

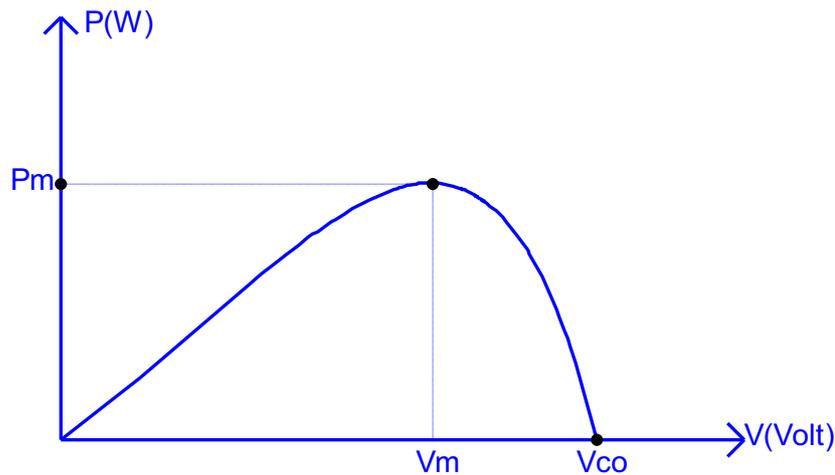


Figure I.6 : Caractéristique puissance -tension d'une cellule photovoltaïque [2].

I.2.5 courant de court-circuit :

Le courant de court-circuit I_{CC} ($V_P=0$) de la cellule photovoltaïque est exprimé comme suit [3]:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_{sat} \left[e^{\frac{q(V+IR_s)}{mKT}} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (I.1)$$

I_{cc} : courant de court-circuit.

I_{ph} : courant photo-généré par le générateur solaire sous éclaircment.

I_{sat} : courant de saturation.

R_s : résistance série du générateur solaire.

R_{sh} : résistance shunt du générateur solaire.

A un niveau d'éclaircment standard (égale à 1 kW/m^2), l'effet de la résistance série est négligeable (point I_{cc} de la figure (I.5)). Dans ce cas, le courant de court-circuit peut être considéré comme étant équivalent au photocourant I_{ph} , c'est-à-dire proportionnel à l'éclaircment ϕ :

$$I_{cc} = I_{ph} = C\Phi \quad (I.2)$$

C : constante

I.2.6 Tension de circuit ouvert :

Lorsque $I_P=0$ (point V_{co} de la figure (I.5)), la tension du circuit ouvert peut être exprimée analytiquement selon la formule suivante [3]:

$$V_{CO} = \frac{ATK_B}{q} \ln \left(\frac{I_{PH} + I_{sat}}{I_{sat}} \right) \quad \mathbf{I.3}$$

Si la résistance série est nulle et la résistance shunt est infinie, l'expression devient :

$$V_{CO} = \frac{ATK_B}{q} \ln \left(\frac{I_{PH}}{I_{sat}} \right) \quad \text{I. 4}$$

La tension de circuit ouvert V_{CO} correspond à la chute de tension aux bornes de la jonction PN, lorsqu'elle est traversée par le photo-courant I_{ph} . Nous avons vu que le courant produit par la photopile (I_{ph}) est pratiquement proportionnel au flux lumineux (Φ). Par contre, la tension (V) aux bornes de la jonction varie peu, car elle est fonction de la différence de potentiel à la jonction N-P du matériau lui même (pour le silicium monocristallin, elle est de 590 mV pour $T_J = 25C^\circ$) La tension de circuit ouvert ne diminuera que légèrement avec le flux lumineux [3]. Ceci implique donc que :

- La puissance optimale de la cellule (P_m) est pratiquement proportionnelle à l'éclairement [3].
- Les points de puissance maximale se situent à peu près à la même tension (Figure I.6).

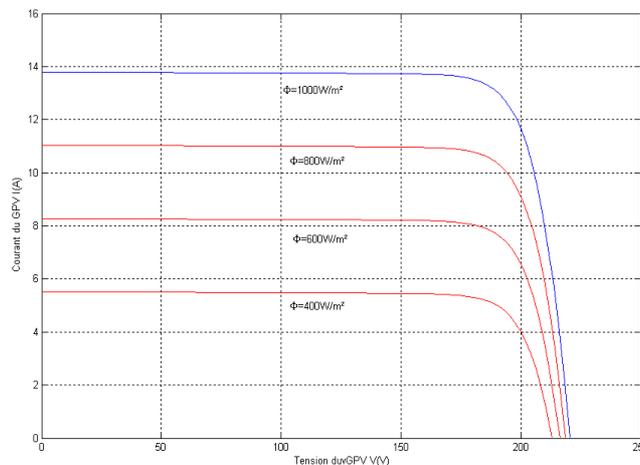


Figure I.7 : influence de l'ensoleillement sur la courbe I -V d'un Générateur photovoltaïque.

L'influence de la température n'est pas négligeable sur la caractéristique courant-tension d'un générateur photovoltaïque (voir figure (I.8)). Pour le silicium, lorsque la température augmente, le courant augmente d'environ 0,025 mA/cm²/°C alors que la tension de 0,4% °C. Cette influence devra être prise en compte lors du dimensionnement du générateur photovoltaïque.

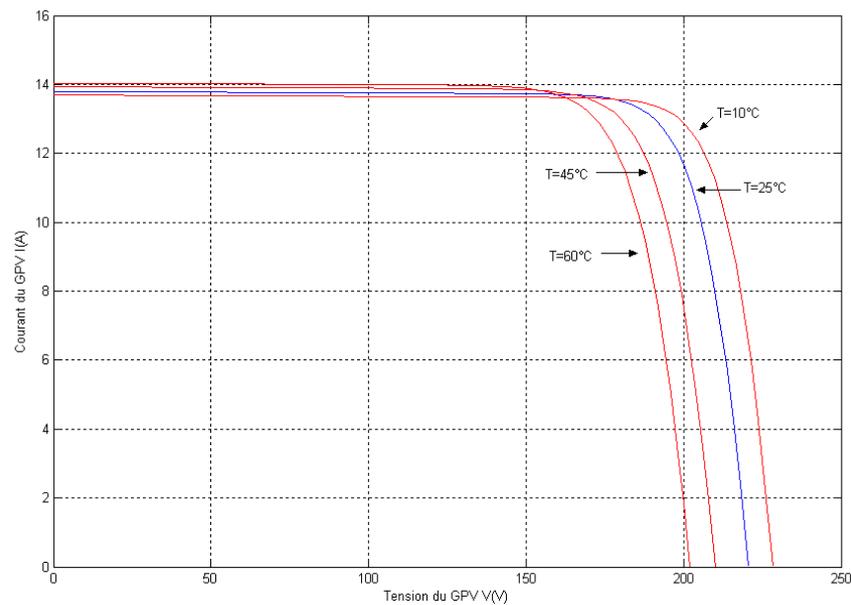


Figure I.8 : Influence de la température sur la caractéristique I-V d'un Générateur photovoltaïque.

1.2.7 Les paramètres d'une cellule photovoltaïque:

Cinq paramètres influent sur le comportement électrique d'une cellule ou d'un générateur photovoltaïque. Ces paramètres sont [3]:

- La résistance série R_s .
- La résistance shunt R_{sh} .
- Le courant de saturation I_{sat} .
- Le flux d'éclairement ϕ .
- La température T .

Pour un flux ϕ égale à 1KW/m^2 , ces paramètres peuvent être considérés comme indépendants, excepté le courant de saturation I_{sat} qui dépend directement de la température T de la cellule.

a. Influence de la résistance série :

D'une valeur généralement très faible, la résistance série agit sur la pente de la caractéristique dans la zone où la cellule se comporte un générateur de tension. Elle ne modifie pas la tension de circuit ouvert. Lorsqu'elle est anormalement élevée, elle peut

diminuer notablement la valeur du courant de court-circuit. La valeur de la résistance série est fonction de la résistivité du matériau semi-conducteur, des résistances de contact des électrodes et de la résistance de la grille collectrice [3].

b. Influence de la résistance shunt :

Il s'agit le plus souvent d'une conductance de fuite. C'est comme si l'on devait soustraire au photo-courant, outre le courant de la diode, un courant supplémentaire proportionnel à la tension développée. La résistance shunt est en général très élevée. Si elle diminue on remarque une légère pente au voisinage du point de courant de court-circuit sur la caractéristique I-V de la cellule photovoltaïque.

Une résistance shunt trop faible aura un impact sur la tension de circuit ouvert de la cellule : en effet, une cellule photovoltaïque dont la résistance shunt est trop faible ne donnera plus de tension sous un faible éclairement [3].

I.3 Adaptation d'impédance :

Si on considère la caractéristique courant-tension de la cellule photovoltaïque pour un niveau de flux solaire ϕ donné et à une température T fixes, et si l'on place une charge variable R aux bornes de cette cellule, le point de fonctionnement est déterminé par l'intersection de la caractéristique I-V de la cellule avec celle de la charge [4].

Exemple :

La caractéristique d'une charge résistive est une droite de pente égale à $1/R$ (sachant que $I/V = 1/R$).

La puissance délivrée à cette charge ne dépendra que de la valeur de la résistance R.

La puissance maximale est obtenue pour $R=R_{OPT}$

$$P_m = V_m \cdot I_m \quad (I.5)$$

I.4 Le passage de la cellule au module photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque fournit un courant sous une faible tension (de l'ordre de 0.6 V en circuit ouvert). Pour obtenir une tension plus importante, il est nécessaire de raccorder

plusieurs cellules en séries. Cet ensemble de cellules est encapsulé de façon étanche afin de les protéger de l'humidité. L'assemblage constitue un module photovoltaïque. Le module devient alors l'élément de base de tout le système d'énergie photovoltaïque. Pour obtenir une puissance électrique exploitable, plusieurs modules peuvent être raccordés ensemble pour former un panneau photovoltaïque. La valeur du courant recueilli d'une cellule photovoltaïque pour une tension donnée, est déterminée par la nature et la qualité du matériau semi-conducteur [6]. La capacité à fournir plus ou moins d'énergie pour un module P-V dépendra donc :

- du type de cellule photovoltaïque retenu.
- du nombre de cellule montée en série sur ce panneau.

Le nombre d'électrons libérés par une cellule, pour une unité de temps donnée, dépend des caractéristiques du semi-conducteur, mais aussi fortement du flux de photons arrivant sur la cellule, alors le courant de sortie d'un panneau solaire dépendra donc :

- de l'ensoleillement ;
- de l'orientation du module par rapport au soleil (un panneau perpendiculaire aux rayons du soleil reçoit le plus grand flux de photons) ;
- du nombre de circuits de cellules montées en parallèle.

La tension aux bornes d'un module PV, ainsi que la puissance électrique qu'il fournit est donc déterminée fortement par le choix du constructeur (nombre de cellule en série et dimension des panneaux). Les tensions standard sont le 12V. D'autres tensions, adaptées à des besoins très spécifiques, sont imaginables. Les panneaux risquent alors de coûter plus cher s'ils ne sont pas produits en série.

I.5 Le passage du module au champ photovoltaïque :

Afin d'augmenter la puissance et/ou la tension d'un générateur, on peut associer plusieurs modules, qui constituent alors un champ photovoltaïque. Pour les gros générateurs, également appelés « champ photovoltaïque ». Le type de montage (série ou parallèle, nombre de panneaux) dépend des paramètres d'utilisation du générateur de courant (puissance requise, tension aux bornes des appareils) [6].

I.5.1 Montage parallèle :

Tous les pôles positifs et négatifs sont reliés entre eux. Lorsque des modules semblables sont montés en parallèle, la tension résultante ne change pas mais l'intensité résultante est la somme des intensités de chaque module [1].

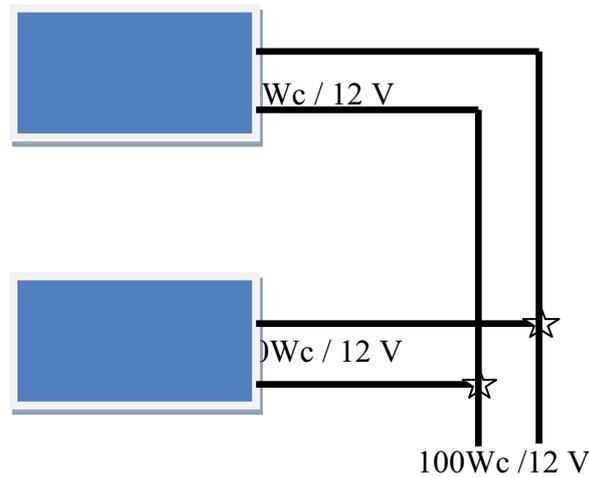


Figure I.9 : Association parallèle de deux modules photovoltaïques.

I.5.2 Montage série :

Le pôle positif de chaque module est relié au pôle négatif du module suivant. Lorsque les modules semblables sont montés en série, la tension résultante est la somme des tensions de chaque module mais l'intensité résultante ne change pas. Le principe est le même pour les batteries [1].

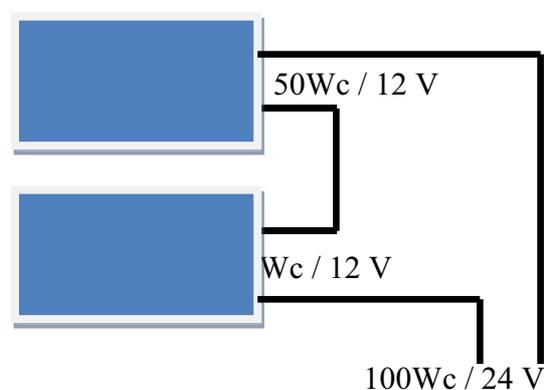


Figure I.10 : Association série de deux modules photovoltaïques.

I.5.3 Montage série parallèle :

La combinaison de montage série et parallèle est également possible, ce qui permet d'augmenter la tension et la puissance en même temps [1].

CHAPITRE II

CONCEPTION DE LA CARTE ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

II.1 Présentation des différentes parties de la carte :

La carte que nous entreprenons de réaliser a pour but la caractérisation de panneaux photovoltaïques, c'est-à-dire le tracé des caractéristiques I-V et P-V dans différentes conditions de températures et d'intensités lumineuses. Elle devra, pour ce faire, agir sur le point de fonctionnement (I_P , V_P) et récolter les données : Température et Flux lumineux à l'instant de mesure. La carte doit transmettre toutes ces données à un ordinateur afin de les visualiser et de les traiter ultérieurement.

La carte comporte donc plusieurs blocs tel qu'illustré sur la figure (II.1)

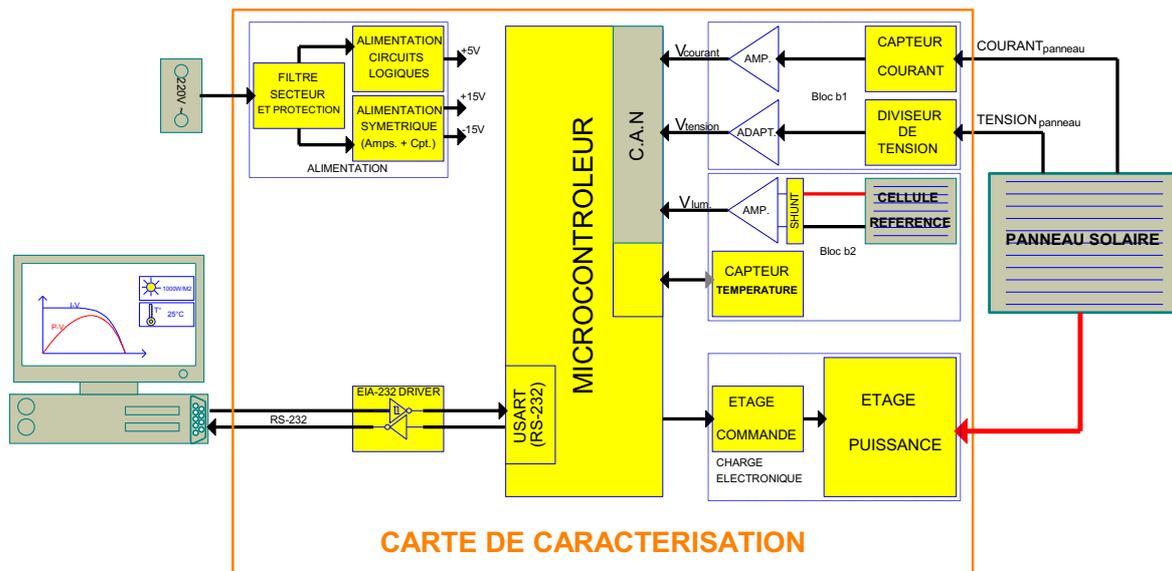


Figure II.1: schéma synoptique de la carte de caractérisation

II.2 La charge électronique :

II.2.1 Définition :

Une charge électronique est un dispositif qui permet de simuler une charge statique ou dynamique. Utilisée en général pour le test des générateurs, elle se substitue aux charges ohmiques classiques. Elle permet, contrairement à ces dernières, un contrôle électronique du courant de charge (ou parfois de la tension) et offre la possibilité de le fixer (asservir) dans une plage déterminée.

La charge électronique est l'élément primordial de notre réalisation. Nous prendrons un grand soin à sa mise en œuvre. Elle comporte deux étages :

II.2.2 Etage de puissance :

Cet étage est relié directement au panneau photovoltaïque, il joue le rôle d'une impédance commandable nous permettant d'agir sur le point de fonctionnement du panneau et ainsi de recueillir les deux grandeurs I_p et V_p .

II.2.3 Etage de commande :

Cet étage s'insère entre l'étage de puissance et le μC . Il permet de contrôler l'étage de puissance, c'est-à-dire son impédance. Dans notre cas, il n'asservira pas l'impédance de l'étage de puissance (il n'y a pas de boucle de retour) mais se contentera de faire passer le courant de 0 à I_{cc} tel qu'illustré Figure (II.2).

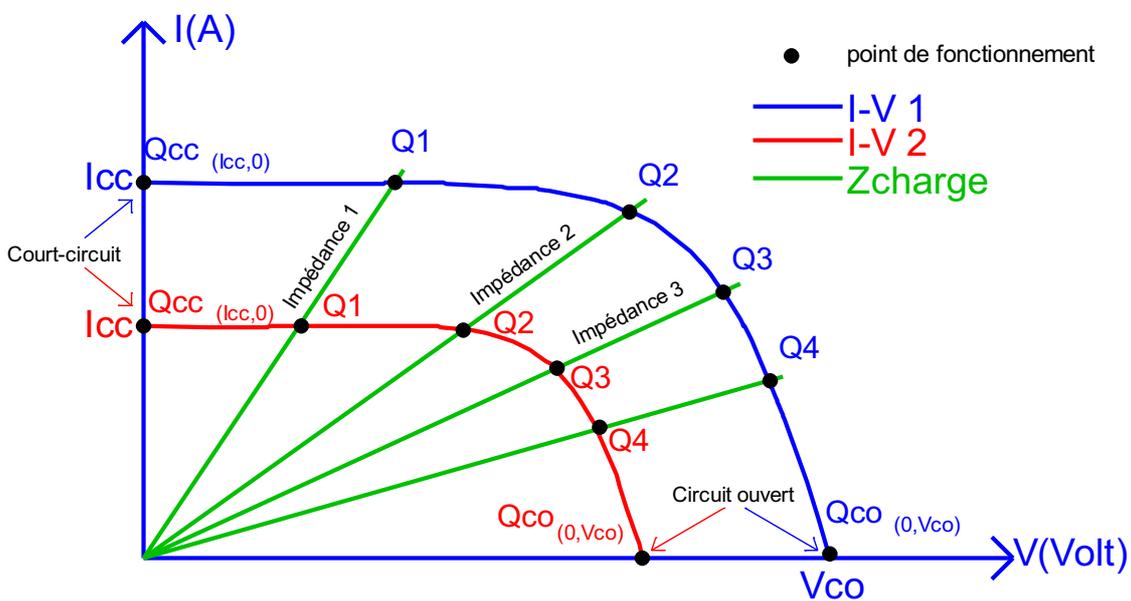


Figure II.2: Variation du point de fonctionnement suivant la charge

Les deux courbes (rouge et bleu) représentent deux caractéristiques d'un même panneau pour des conditions de température et de luminosité différentes ou deux caractéristiques I-V de deux panneaux différents.

Comme représenté sur la figure(II.2) la variation du point de fonctionnement de Q_{CC} à Q_{CO} permet de balayer toute la caractéristique I-V du panneau.

Une explication plus détaillée concernant la réalisation de la charge, accompagnée de son schéma, sera donnée dans le chapitre suivant néanmoins nous jugeons utile d'en exposer le principe pour une meilleure compréhension dans le présent paragraphe.

II.2.4 Principe de la charge électronique réalisée :

Elle est, comme cité précédemment composée de deux étages. La figure(II.3) permet d'en expliquer le principe.

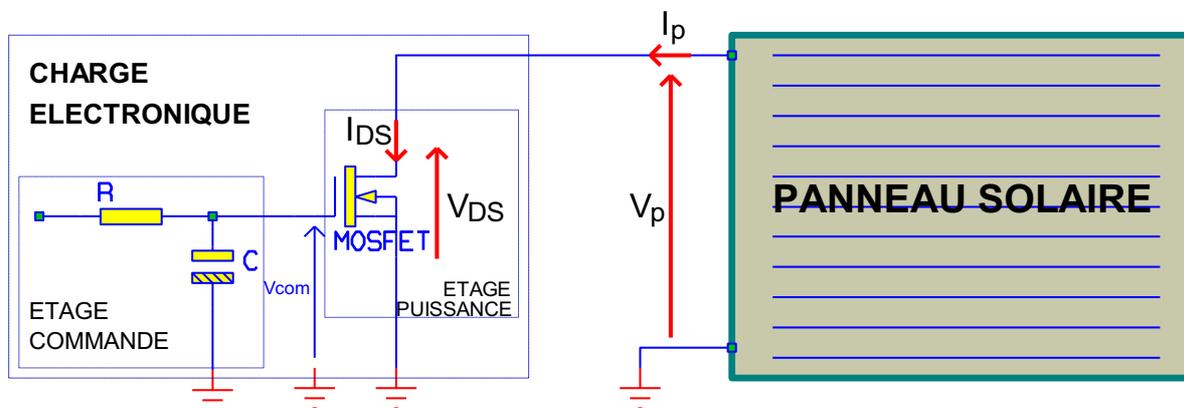


Figure II.3: Schéma de principe de la charge électronique

Il est évident que :

$$\begin{cases} I_p = I_{DS} \\ V_p = V_{DS} \end{cases}$$

II.2.5 Intérêt d'utilisation de MOSFETs :

Contrairement aux transistors bipolaires de puissance, les MOSFETs sont plus facilement commandables. Ils offrent de nombreux avantages, nous citerons les suivants:

- Ils permettent des courants importants (plusieurs dizaines d'ampères). [7]
- Ils sont moins sujets au phénomène claquage et à l'emballement thermique, contrairement aux bipolaires. Le courant drain à source, à tension grille fixe, diminue lorsque la température augmente ce qui rend aisé la mise en parallèle de plusieurs MOSFETs pour une plus grande puissance. [7]
- Leur résistance R_{on} peut être très faible, quelques milihoms, ce qui les rend aptes à traiter des courants forts sans chute de tension importante. Le passage d'un courant de 10A à

travers un 2N3055 (bipolaire) produit une chute de tension de l'ordre du volt, contrairement à celle que présenterait un IRF150 (MOSFET) qui serait d'une centaine de millivolts.[7]

L'utilisation de MOSFETs au lieu de transistors bipolaires est tout indiqué dans le cas qui nous intéresse.

II.2.6 Principe de fonctionnement de la charge électronique :

L'étage de puissance est composé d'un MOSFET, ce dernier agit dans sa région de saturation comme un générateur de courant contrôlé par la tension V_{COM} qui n'est autre que V_{GS} , dans cette région le courant I_{DS} aura pour expression :

$$I_{DS} = K_N (V_{GS} - V_{th})^2 \quad (II.1)$$

Lorsque la tension $V_{GS} < V_{th} - V_{DS}$ le MOSFET passe dans sa région ohmique et se comporte comme une résistance commandée par la tension V_C ou autrement dit V_{GS} .

$$I_{DS} = K_N (2 (V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - V_{DS}^2) \quad (II.2)$$

Le point de fonctionnement du panneau se situe à l'intersection de sa caractéristique et de celle du MOSFET figure (II.4). Pour un V_{GS} donné la caractéristique de sortie est fixée, nous pouvons alors mesurer le courant I_P et la tension V_P qui représente un point de fonctionnement. Dès lors il suffira d'agir sur V_{GS} pour balayer la caractéristique du panneau.

La variation de V_{GS} est assurée par la charge d'une capacité .Dans le cas présent , il n'est pas nécessaire de fixer le point de fonctionnement mais seulement qu'il varie de Q_{CC} (court-circuit) à Q_{CO} (circuit-ouvert), cependant la vitesse de défilement de la caractéristique du générateur doit être suffisamment lente comparée au délai nécessaire à l'acquisition d'un couple (I_P, V_P) correspondant à un point de fonctionnement déterminé .

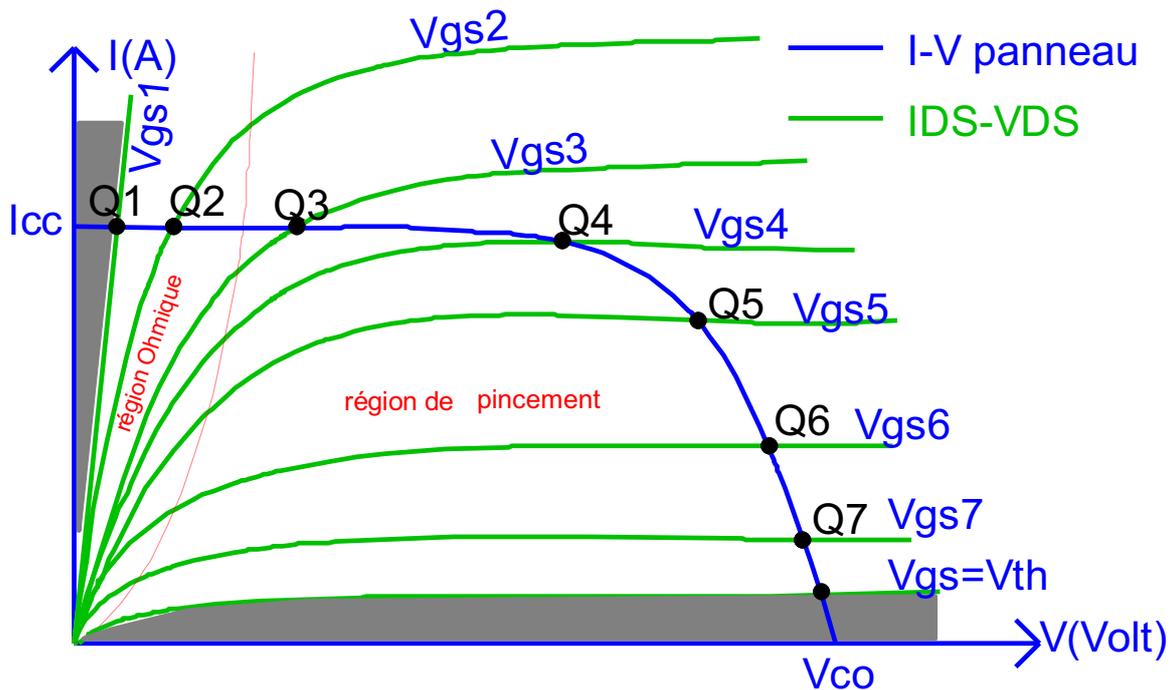


Figure II.4: Principe de la charge électronique réalisée .

Nous pouvons constater que la zone de fonctionnement du MOSFET est délimitée par deux régions colorées en gris comme montré sur la figure (II.4).

La première est due au fait que le MOSFET est incapable de conduire en dessous d'un certain seuil de tension V_{GS} appelé V_{th} et que sa caractéristique ne peut donc pas descendre jusqu'à l'axe des X.

La seconde région est due au fait que, même saturé, le MOSFET présente une résistance $R_{DS(ON)}$ qui limite aussi sa zone de fonctionnement.

De plus, la puissance maximale que doit dissiper la charge (donc le MOSFET) correspond à la puissance maximale que peut délivrer le panneau noté P_m . Le MOSFET choisi devra donc être capable de la dissiper.

Ainsi il apparait clairement que le choix des MOSFETs utilisés pour la réalisation de la charge est un point crucial, point que nous aborderons dans le chapitre suivant.

II.3 Bloc b1 : (mesure de la tension et du courant)

Cette partie du circuit se charge de conditionner le courant et la tension I_p et V_p pour pouvoir les numériser par la suite. Le bloc b1 se compose de deux chaînes :

La première (courant) convertit le courant I_p délivré par le panneau photovoltaïque en une tension image « $V_{courant}$ » (on la notera V_C) qui sera introduite dans le convertisseur A/N du

μC . La chaîne se compose d'un capteur de courant puis d'un étage d'adaptation et d'amplification.

La seconde (tension) convertit la tension délivrée par le panneau photovoltaïque en une tension image « V_{tension} » (on la notera V_T). En premier lieu, un simple pont diviseur de tension se charge d'abaisser la tension V_P en une tension adéquate (au max. $V_T=5\text{V}$) afin d'effectuer la conversion A/N, le pont est suivi d'un étage d'adaptation.

II.4 Microcontrôleur :

II.4.1 Définition :

Un microcontrôleur est un circuit intégré rassemblant dans un même boîtier un microprocesseur, plusieurs types de mémoires et des périphériques de communication (Entrées-Sorties).

Contrairement à un microprocesseur (μP), un microcontrôleur (μC) intègre :

- De la mémoire ROM (principalement pour stocker le programme) .
- De la mémoire RAM (principalement pour stocker les variables).
- Des périphériques (principalement pour interagir avec le monde extérieur).
- Une horloge (en général externe).

Traditionnellement, ces composants sont intégrés dans des circuits distincts. Les microcontrôleurs améliorent l'intégration et le coût (lié à la conception et à la réalisation) d'un système à base de microprocesseur en rassemblant ces éléments dans un seul circuit intégré.

Un microcontrôleur est capable d'effectuer des tâches spécifiques grâce à ces périphériques. On peut mentionner entre autres :

- Les convertisseurs Analogique/Numérique.
- Les générateurs de signaux à modulation de largeur d'impulsion (MLI, ou en Anglais, PWM pour *Pulse Width Modulation*) ;
- Les timers (compteurs de temps ou d'événements) ;
- Les comparateurs (comparent deux tensions électriques) ;
- Les contrôleurs de bus (UART, IIC, SSP) ;
- Les oscillateurs (servent de base de temps aux timers).

II.4.2 Le microcontrôleur :

Est l'élément central du montage, les tâches suivantes lui sont confiées :

- Commande de la charge électronique.
- Conversion des grandeurs analogiques ($V_T, V_C, V_{\text{lum.}}$) en grandeurs numériques.

- Communication avec le capteur de température (ce point est développé plus loin).
- Transmission de données au PC et réception des consignes émanant de ce dernier.

Pour être capable d'effectuer ces opérations, le microcontrôleur devra disposer de plusieurs convertisseurs A/N (au moins 3) offrant des délais de conversions suffisamment courts pour l'application présente. Il devra être muni d'un module USART (RS-232) afin de communiquer avec le PC et d'une mémoire suffisante pour accueillir le programme qui y sera introduit.

II.5 EIA-232 DRIVER : (adaptateur RS-232)

Cette partie permet l'interfaçage entre le microcontrôleur (système numérique: niveaux TTL) et le PC (liaison RS-232, niveaux de tension : +/- 12 V).

Elle devra adapter les niveaux de tensions correspondants aux 1 et 0 logiques sur la ligne RS-232 utilisée lors de la communication entre le μ C et le PC.

II.6 Bloc b2 :(mesure de la température et du flux lumineux)

Ce bloc prend en charge la mesure des données T° et flux lumineux. La mesure de ces deux grandeurs s'effectue de deux manières différentes.

La mesure du flux lumineux est effectuée grâce à une cellule de référence. Contrairement au panneau photovoltaïque, elle est maintenue court-circuitée grâce à la résistance shunt, le courant de court-circuit étant proportionnel au flux lumineux, il suffira de mesurer la d.d.p aux bornes du shunt puis de l'amplifier adéquatement pour déduire la valeur du flux lumineux (W/m^2).

La mesure de la température s'effectue grâce à un capteur numérique qui communique directement avec le μ C.

II.7 Alimentation :

L'alimentation est un élément essentiel de notre montage, elle devra présenter de bonnes performances en termes de stabilité et de régulation. Les courants et tensions qu'elle devra fournir n'étant pas importants (quelques centaines de mA) il est inutile de la surdimensionner en terme de puissance. Elle comporte les sous-blocs suivants :

II.7.1 Filtre secteur :

A pour but de protéger des parasites de la ligne 220V qui risquerait de bruyé les signaux présents dans le montage, elle a aussi pour but d'empêcher les signaux présents dans le montage de polluer le secteur. Ce filtre est installé conformément aux normes CEM.

II.7.2 Alimentation des circuits logiques :

Elle devra fournir une alimentation stabilisée 5V pour le μC et le EIA-232 Driver. Cette tension étant utilisée comme tension de référence lors des conversions A/N, nous devons veiller à sa bonne stabilité et régulation.

II.7.3 Alimentation symétrique :

Fournit +15V et -15V réglées et stabilisées pour les amplificateurs opérationnels utilisés dans le montage ainsi que le capteur de courant. La tension +15V est aussi utilisée pour l'alimentation de la commande de la charge électronique et des ventilateurs destinés au refroidissement des éléments de puissance présents sur la carte.

II.8 Interface :

Nous devons prévoir une interface au niveau du PC, cette dernière devra communiquer avec la carte de caractérisation. Le soft devra permettre de visualiser les données recueillies par la carte Fig. (II.8.1) , il devra aussi afficher les graphiques correspondants aux caractéristiques I-V et P-V.

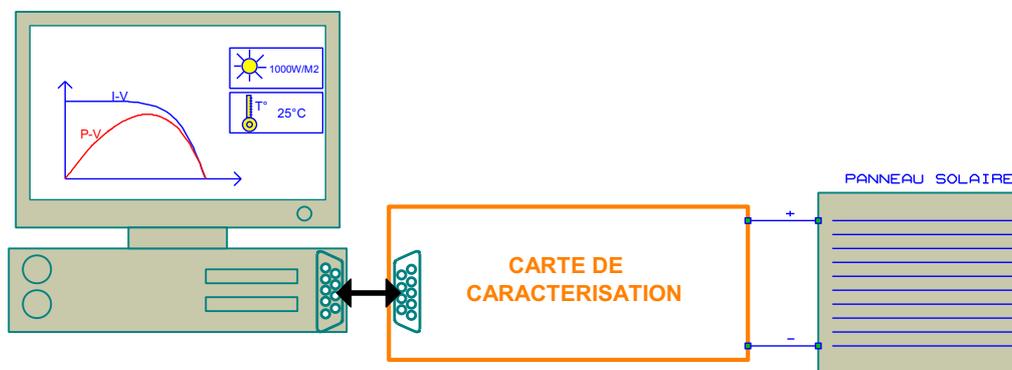


Figure II.8 : Interface PC.

CHAPITRE III

Réalisation de la carte

Introduction :

Le Chapitre précédent exposait le fonctionnement global de la carte ainsi que le rôle de chacune de ses parties. Celui-ci fournit les schémas électroniques de chaque bloc et justifie le choix et le dimensionnement des composants utilisés.

Le passage de la théorie à la pratique nécessite une bonne connaissance des limitations spécifiques à tout composant choisi, ainsi que la prise en considération du degré de complexité (donc de faisabilité) du projet dans les limites de temps et de coûts fixées.

Nous tenons à préciser que le choix des composants a obéi non seulement à des contraintes techniques mais aussi à des limitations d'ordre économique. La disponibilité sur le marché est aussi un point à prendre en compte.

III.1 Charge électronique :

III.1.1 Etage de puissance :

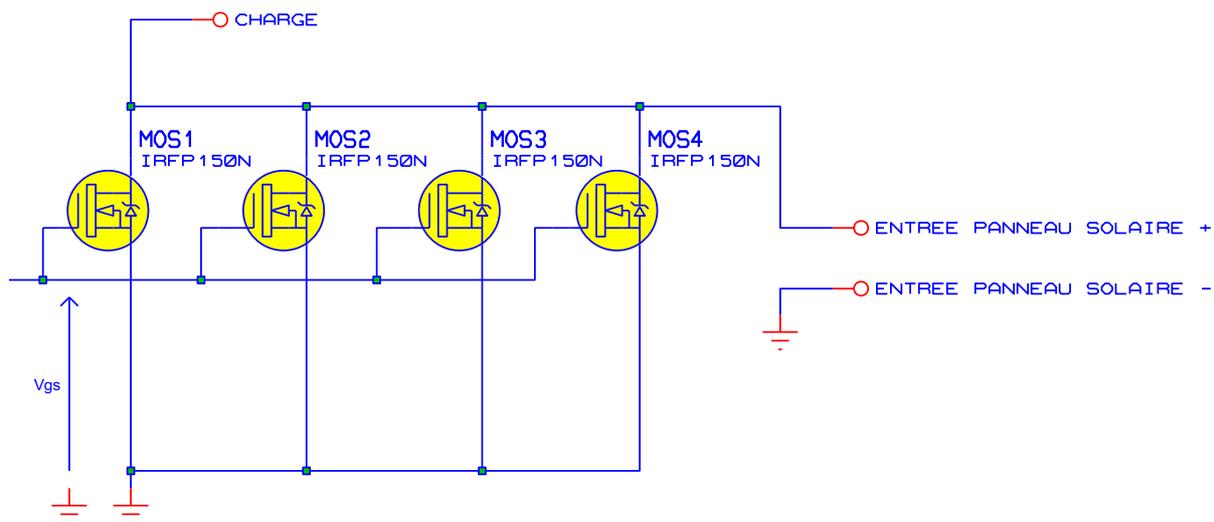


Figure III.1 : Schéma électrique de l'étage de puissance

Comme cité précédemment, le choix des MOSFETs est le point crucial au bon fonctionnement de la charge. Ils doivent satisfaire aux contraintes de puissance et disposer d'une zone de fonctionnement permettant de couvrir l'ensemble des points de la caractéristique des panneaux que nous voulons caractériser.

III.1.1.1 Dimensionnement des MOSFETs :

a. Panneaux photovoltaïques :

Les panneaux que nous utilisons sont des panneaux **TOTAL ENERGIE Module : TE500CR+**

Le constructeur fournit les données suivantes dans les conditions normales d'utilisation :

$$I_{CC}=3.5A$$

$$V_{CO}=21.7V$$

$$P_m = 55W \text{ @ } V_m = 17.5V \text{ et } I_m = 3.1A$$

La carte de caractérisation est dimensionnée pour la mise de deux modules en série ou en parallèle, c'est-à-dire :

$$P_m=110W$$

$$V_m=21.7 \times 2 = 43.4V$$

$$I_m=3.5A \times 2 = 7 A$$

Nous considérerons dans nos calculs les valeurs suivantes :

$$P_m=120W$$

$$V_m=50V$$

$$I_m=10A$$

b. Choix des MOSFETs :

Nous utilisons des MOSFETs IRFP150 dont les caractéristiques détaillées figurent en ANNEXE A. Leurs principales caractéristiques sont :

$$BV_{DSS}=100V > V_m$$

$$R_{dson}=0.04 \Omega \text{ petite ce qui permet d'approcher au maximum } Q_{CC}.$$

$$I_D=43A > I_m$$

$$P_D=193W \text{ @ } T_j=25^\circ C > P_m$$

Leurs caractéristiques satisfont aux conditions énoncées ci-dessus. Néanmoins, il est à noter que la puissance indiquée ($P_D=193W$) est la puissance que peut dissiper ce MOSFET à $T_j=25^\circ C$, qui est bien inférieure à la puissance qu'ils pourront dissiper en réalité (Température plus élevée). Nous utiliserons 4 IRFP150. Ce qui ramène la puissance que devra dissiper chaque MOSFET à : $P_{MOS} = P_m/4=30W$

En effet une mise en parallèle des ces MOSFET se fait sans précautions particulières, ceci est dû à leur coefficient thermique négatif assurant un auto asservissement du courant et donc une juste répartition de la puissance entre les composants.

Si chaque MOSFET doit dissiper 30W, la température de la jonction ne devra pas excéder :

$$T_{jmax} = \frac{P_{Mos} - P_D}{A} + T_A = \frac{193 - 30}{1.28} + 25 = 152.3 \cong 153^\circ\text{C} \quad \text{III.1}$$

(A : facteur de décroissance de la puissance, $A=1.28\text{W}/^\circ\text{C}$ pour IRFP150)

L'utilisation de plus d'un MOSFET est ainsi justifiée.

b.1. Modèle thermique d'un transistor :

Pour favoriser les échanges thermiques entre les transistors et l'air ambiant nous faisons appel à des dissipateurs thermiques qui permettront d'évacuer la chaleur dissipée par les transistors et ainsi d'éviter à la jonction de dépasser la valeur $T_{J\max}$, échauffement qui aurait pour effet de détruire le transistor.

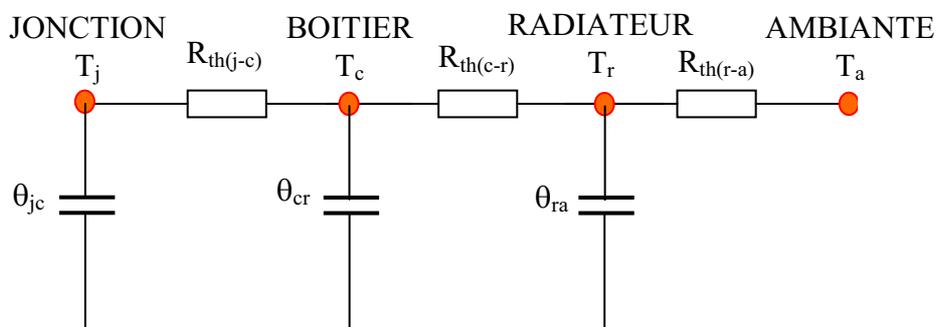


Figure III.2 : Modèle thermique d'un transistor

b.2. Calcul du dissipateur thermique :

Le calcul du dissipateur thermique nécessaire à l'évacuation de la chaleur que devra dissiper chaque transistor se fait comme suit :

$R_{th(j-c)}$ est donnée par le constructeur : $R_{th(j-c)}=0.78^\circ\text{C}/\text{W}$ au maximum

Par ailleurs nous savons que :

$$T_{J\max} - T_a = \{R_{th(j-c)} + R_{th(c-r)} + R_{th(r-a)}\} \cdot P_{Mos} \quad [8] \quad \text{(III.2)}$$

Supposons que la température ambiante soit de 25°C , donc:

$$\begin{aligned}
 R_{th(j-c)} + R_{th(c-r)} + R_{th(r-a)} &= \frac{T_{Jmax} - T_a}{P_{Mos}} \\
 &= \frac{153 - 25}{30} \\
 &= 4.26^\circ\text{C/W au max}
 \end{aligned}$$

Sachant que l'isolation entre le transistor et le dissipateur se fait par du mica et de la pate siliconée nous avons :

$$R_{th(c-r)} = 1^\circ\text{C/W}$$

Nous déduisons la valeur max de $R_{th(r-a)}$

$$R_{th(r-a)} = 4.26 - 1 - 0.78 = 2.48^\circ\text{C/W}$$

$$\mathbf{R_{th(r-a)} = 2.48^\circ\text{C/W au maximum}}$$

Les radiateurs utilisés sont des radiateurs en aluminium noircis, une formule empirique permet de calculer leur surface.

$$R_{th(r-a)} = \frac{1}{\sigma S} \quad [8]$$

Sachant que : $\sigma = 3 \text{ mW/cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ pour les surfaces noirs

S : surface en contact avec l'air ambiant .

$$S = \frac{1}{\sigma \cdot R_{th(r-a)}}$$

D'où: $S = 135 \text{ cm}^2$

Nous prenons une marge de sécurité et ainsi chaque transistor sera muni d'un dissipateur d'une surface :

$$\mathbf{S_{Dissipateur} = 150 \text{ cm}^2}$$

Les transistors étant disposés dans un boîtier, nous munirons les dissipateurs de ventilateurs pour favoriser la circulation de l'air dans le boîtier et éviter que sa température ne s'élève. Le calcul du débit et le dimensionnement des ventilateurs ne seront pas effectués.

Sachant que le délai de numérisation d'un couple (I_P, V_P) est de $T_{CONV}=100\mu s$ nous devons nous assurer que les variations de I_P et de V_P durant ce délai soient inférieures respectivement à ΔI_P et ΔV_P .

Pour assurer cette condition nous procédons d'une manière très simple :

III.1.2.1 Plage de variation de V_{GS} :

Nous nous référons au Datasheet du IRFP150, plus particulièrement sa caractéristique de transfert que nous reportons Figure (III.3).

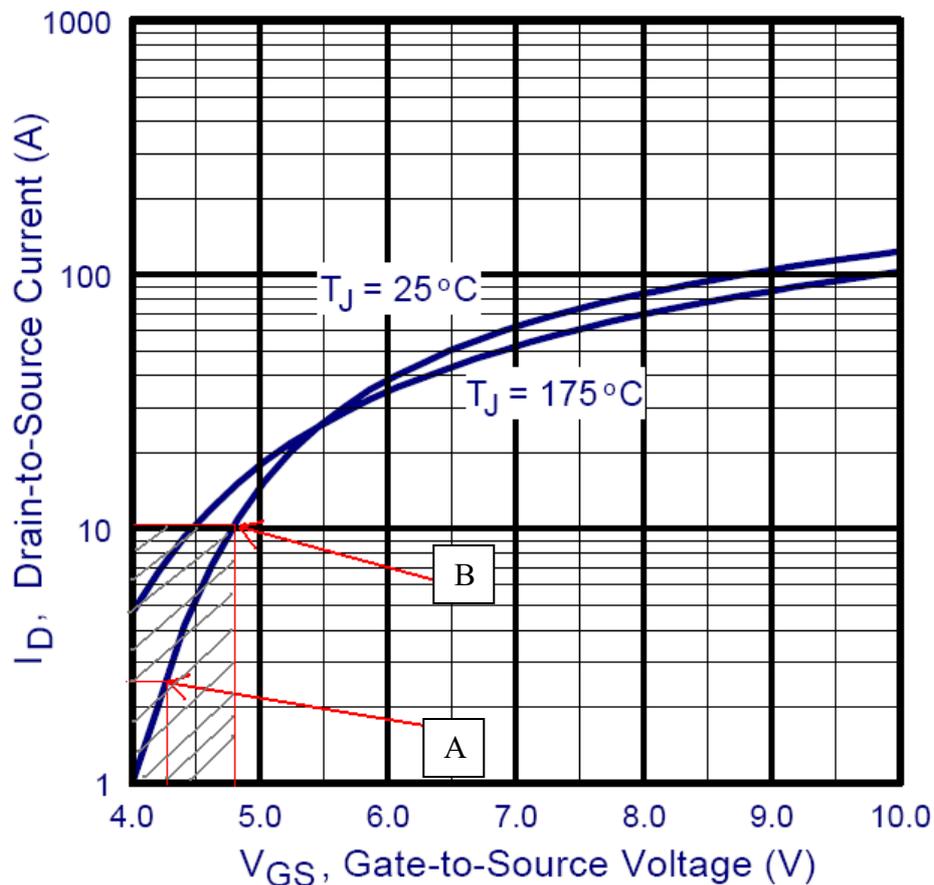


Figure III.3 : Caractéristique $I_{DS} = f(V_{GS})$ IRFP150.

Point A :

A supposer que le courant maximal parcouru dans chaque MOSFET est de 2.5A, la tension V_{GS} correspondante est $V_{GS}(A) \cong 4.25V$.

Point B :

Le point B indique que la tension nécessaire au passage de 10A est $V_{GS}(B) \cong 4.8V$.
Comme marge de sécurité nous prendrons $V_{GS\max} = 5V$.

Donc la tension $V_{GS}(t)$ devra varier de 0V à 5V pour permettre aux transistors de passer d'un état bloqué à un état saturé et ainsi le passage de $I_D=0A$ à $I_D=I_{CC}$.

$$0 < V_{GS} < 5V$$

Et ce de manière suffisamment lente comparé aux délais d'acquisition du convertisseur analogique numérique.

Pour calculer la vitesse de défilement de la courbe, nous procédons de la manière suivante :

La région hachurée de la caractéristique est la zone utile du graphique. Une valeur maximale de la pente peut être déduite et nous avons :

$$\left(\frac{\Delta I_{DS}}{\Delta V_{GS}}\right)_{\max} \approx \frac{10}{4,8} = 2,08 \text{ A/V}$$

Nous supposons qu'à l'instant $t=0$ la capacité C_{CHARGE} est chargée, elle est donc à 15V.

Nous commençons par la décharger rapidement à travers la résistance $R17=100\Omega$ jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur $V_{GS}=5V$, à partir de cet instant les MOSFET commencent à se bloquer et le courant I_D à décroître.

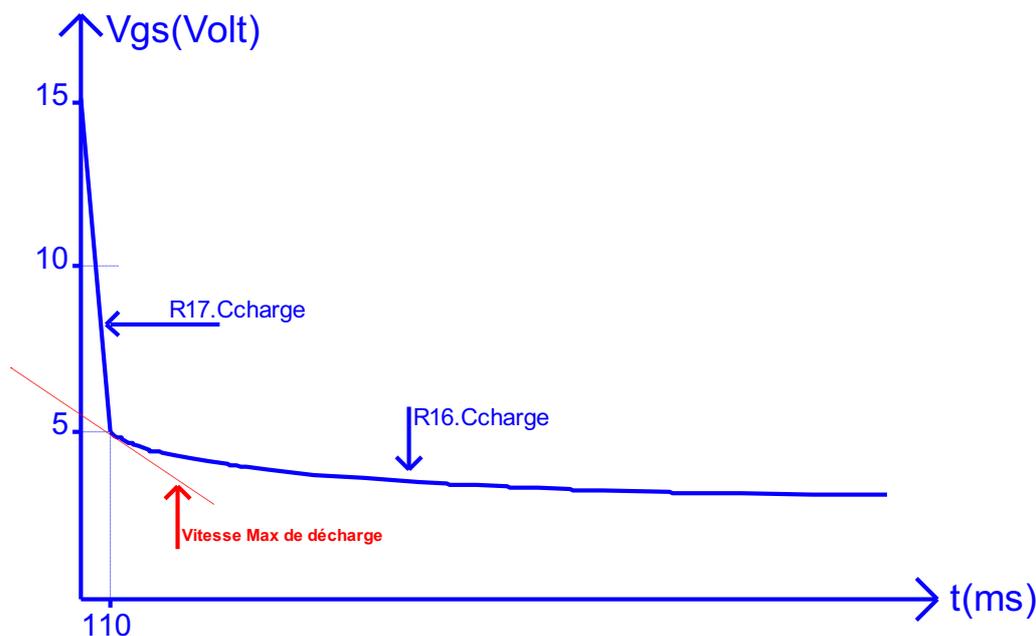


Figure III.4 : Variation du V_{GS} en fonction du temps.

La vitesse maximale de décharge de la capacité et donc de variation de V_{GS} est de :

Pour $t > 110$ ms:

$$V_{GS}(t) = 5 e^{\frac{-(t-110 \cdot 10^{-3})}{C_{CHARGE} R_{16}}}$$

$$\left(\frac{\Delta V_{GS}}{\Delta t} \right)_{\max} = \frac{dV_{GS}}{dt} \Big|_{(t=110\text{ms})} = \frac{5}{C_{CHARGE} R_{16}} = 106,38 \text{ mV/s}$$

D'où nous pouvons déduire la vitesse de variation maximale de I_D :

$$\left(\frac{\Delta I_{DS}}{\Delta t} \right)_{\max} = \frac{\Delta I_{DS}}{\Delta V_{GS}} \cdot \frac{\Delta V_{GS}}{\Delta t} = 0.221 \text{ A/s.}$$

Alors : pendant $100 \mu\text{s}$ la variation maximale de I_D est :

$$\Delta I_{DS \max} = \left(\frac{\Delta I_{DS}}{\Delta t} \right)_{\max} \cdot T_{CONV} = 0.0221 \text{ mA}$$

$$\Delta I_{DS \max} \ll \Delta I_D$$

Il est inutile de vérifier que $\Delta V_{DS \max} < \Delta V_P$

III.2 Microcontrôleur :

Le microcontrôleur utilisé un μC PIC16F876A manufacturé par MICROCHIP, c'est un composant usuel qui dispose de caractéristiques suffisantes pour notre application, nous pouvons citer les suivantes :

- 6 convertisseurs Analogique \ Numérique. (3 seulement seront utilisés)
 - 8KWords de programme flash.
 - Emetteur récepteur universel synchrone et asynchrone (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) (USART/SCI)) pour la communication RS232.
 - Horloge programme de 5Mhz (en utilisant un oscillateur externe de 20Mhz).
- (Les caractéristiques détaillées sont présentes sur le datasheet du composant).

Nous utilisons pour la programmation le compilateur CCS qui permet un développement rapide des applications et le logiciel PROTEUS ISIS 7 Professional pour la simulation.

Le μC est connecté au reste de la plaque comme suit :

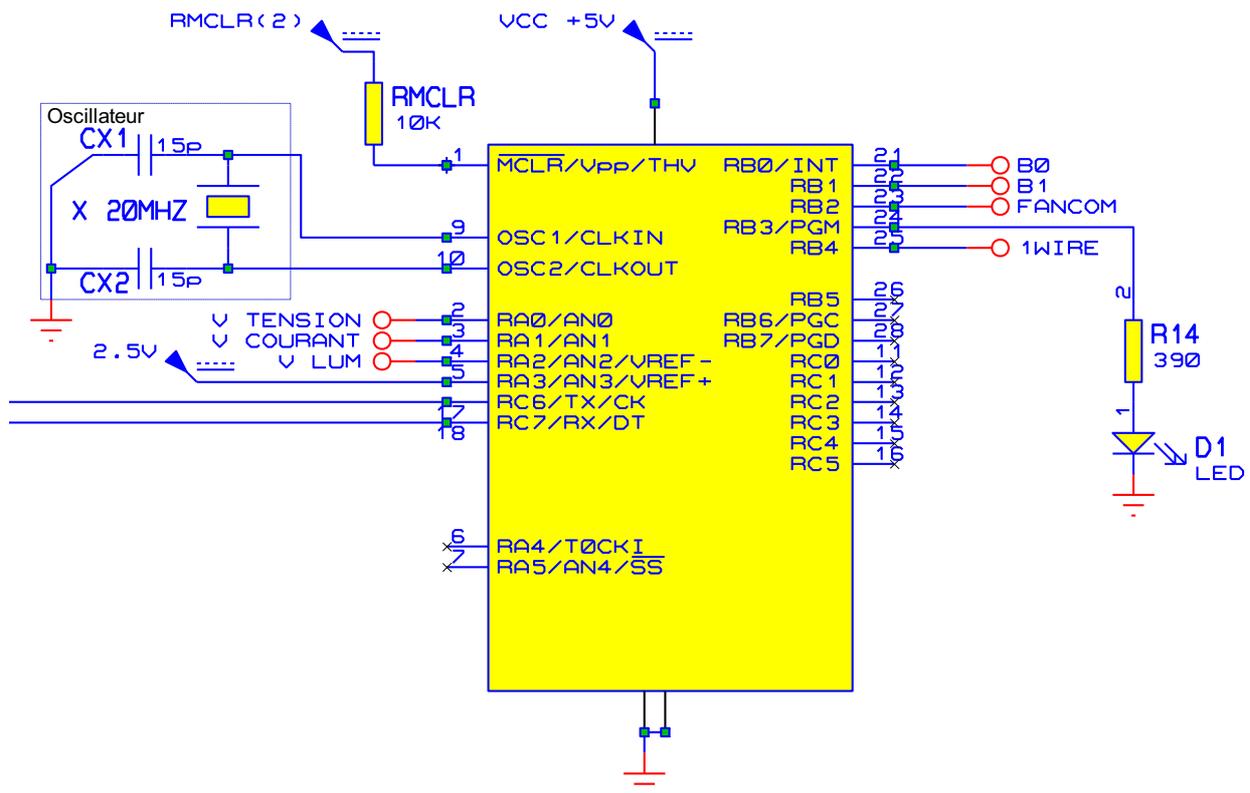


Figure III.5 : Raccordement du microcontrôleur au reste du montage.

III.2.1 Sorties numériques :

B0, B1, FANCOM sont reliés à l'étage de commande présenté précédemment.
 B3 assure l'allumage de la LED.
 B4 est reliée directement au Capteur de température.

III.2.2 Entrées analogiques :

A0, A1, A2 sont des entrées analogiques servant à numériser les tensions : V_{tension} , V_{courant} , V_{lum} .
 A3 est prise comme référence de tension pour le convertisseur.

III.2.3 Oscillateur :

Est composé d'un Quartz X 20Mhz et de deux capacités CX1, CX2 d'une valeur de 15pF

III.2.4 Communication :

La communication est assurée par le module USART dont dispose le μC , ce dernier se charge de communiquer suivant le protocole RS232.

Ce module doit être configuré de manière similaire à celui présent au niveau du PC :

Baud :57600	Bits de données :8
Parité :aucune	Bit de stop : 1

III.2.5 Programme :

Le programme en C est annexé, ANNEXE B.
Son organigramme est présenté ci-dessous figure (III.6).

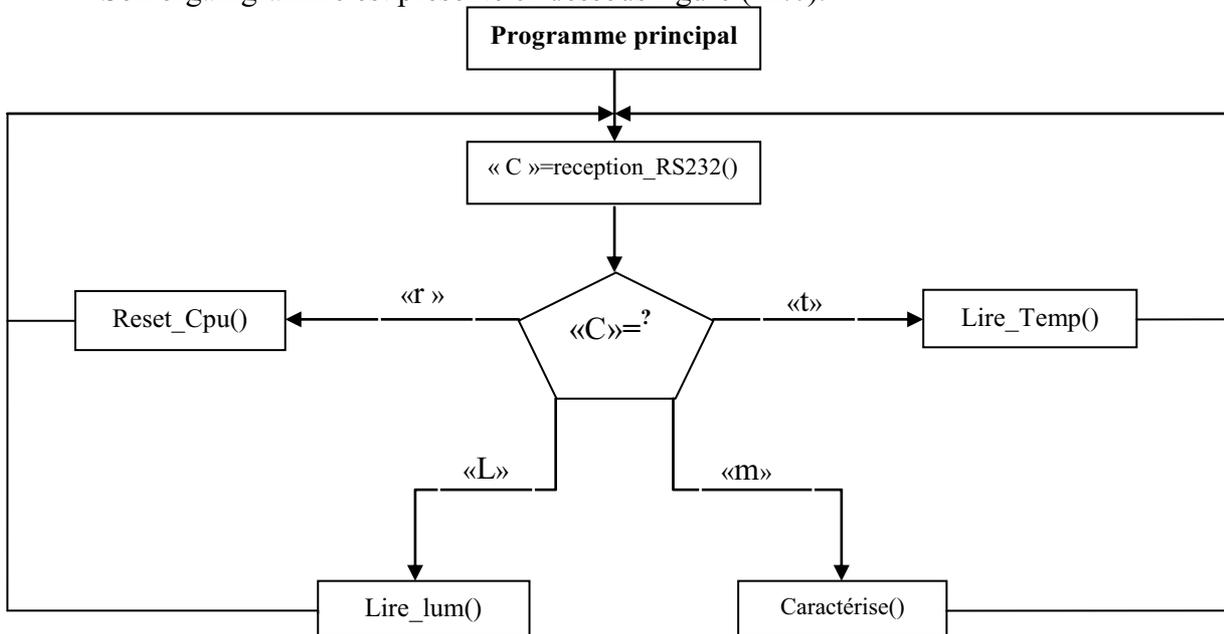


Figure III.6 : Organigramme de principe (programme microcontrôleur).

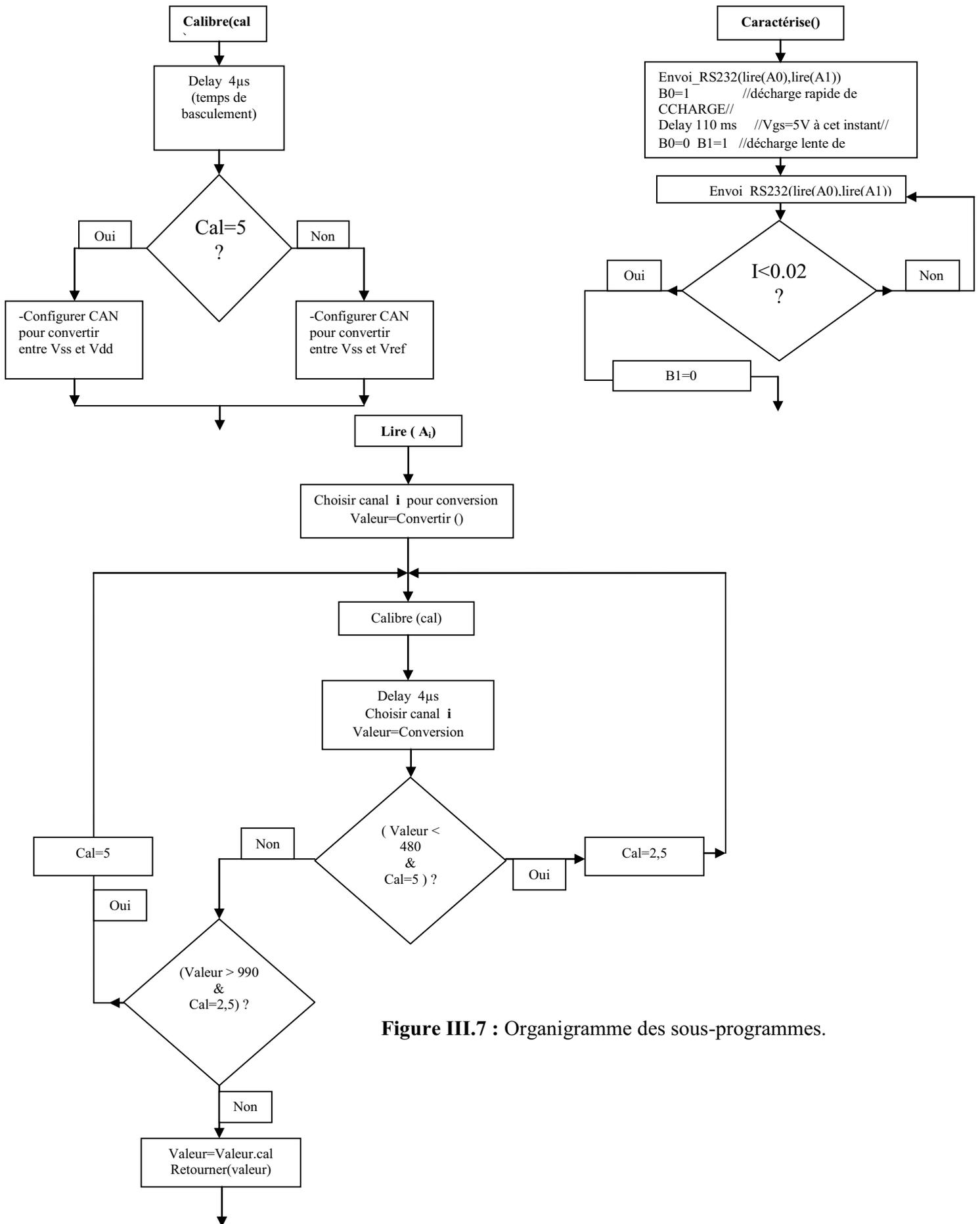


Figure III.7 : Organigramme des sous-programmes.

III.2.6 Conversion Analogique/Numérique :

Le schéma suivant présente le convertisseur analogique numérique dont dispose le microcontrôleur 16F87X.

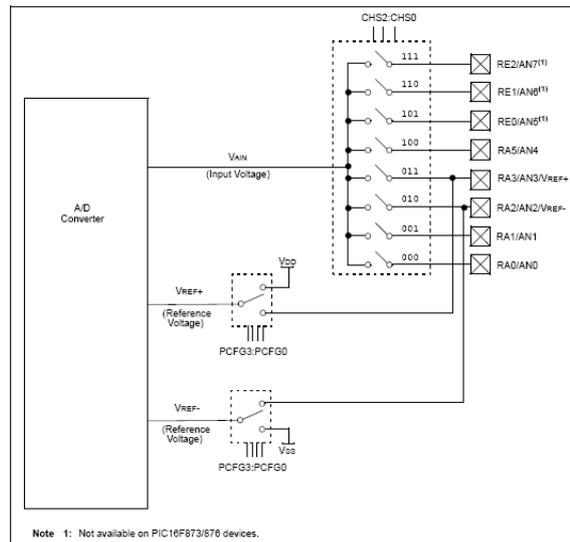


Figure III.7 : Schéma bloc du CAN intégré dans le μ C.

Ce convertisseur offre plusieurs combinaisons de fonctionnement. Nous avons la possibilité de configurer les tensions de référence ainsi que les entrées qu'on choisit de définir comme entrées analogiques, pour notre part nous utiliserons deux combinaisons :

La première : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Toutes les entrées sont analogiques.} \\ V_{\text{Ref}^-} = V_{\text{SS}} = 0\text{V} \text{ et } V_{\text{Ref}^+} = V_{\text{DD}} = 5\text{V} \end{array} \right.$

La seconde : $\left\{ \begin{array}{l} \text{Les entrées A0, A1, A2 sont des entrées analogiques.} \\ V_{\text{Ref}^-} = V_{\text{SS}} = 0\text{V} \text{ et } V_{\text{Ref}^+} = V_{\text{Ref}} = 2.5\text{V} \end{array} \right.$

De cette manière nous pouvons améliorer la précision de la mesure en disposant de **deux calibres**.

La résolution du convertisseur est configurable sur 8bits ou 10bits, nous le configurerons sur 10bits. Le fabricant permet aussi d'agir sur le délai de conversion, et ce en configurant t_{ad} (temps de conversion par bit) qui peut être configuré de la manière suivante :

Tableau III.1 : Table de configuration du temps de conversion par bit.

AD Clock Source (TAD)		Maximum Device Frequency
Operation	ADCS1:ADCS0	Max.
2TOSC	00	1.25 MHz
8TOSC	01	5 MHz
32TOSC	10	20 MHz
RC(1, 2, 3)	11	(Note 1)

Nous opterons pour la troisième configuration qui permet de minimiser au maximum le délai de conversion et ainsi nous obtenons en utilisant une horloge de 20Mhz :

$$t_{ad} = 32 \div 20\text{Mhz} = 1.6\mu\text{s}$$

Nous appelons T_{1conv} le temps de conversion d'une tension présente sur un canal. Nous notons T_{conv} le temps nécessaire à la conversion d'un couple ($V_{courant}$, $V_{tension}$)
Donc pour un couple (I, V) nous devons attendre :

$$T_{conv} = 2T_{1conv} + \text{temps de basculement} + \text{marge}$$

Temps de basculement : il faut prévoir des délais entre deux conversions successives sur un même canal ou lors d'un changement de canal pour assurer une conversion correcte de la donnée.

Nous pouvons trouver sur le datasheet du PIC16F87X l'équation suivante :

$$T_{1conv} = 12.t_{ad} + T_{acq} = 37.4 \mu\text{s}$$

D'où :

$$T_{CONV} = 2 \cdot (37,4) + 4 + \text{marge} = 100\mu\text{s}$$

$$T_{CONV} = 100\mu\text{s}$$

III.3 EIA-232 DRIVER :

Tableau III.2 : Niveaux de tension RS-232 et TTL.

Niveaux logiques	Tensions RS232 PC	Tensions TTL
0	-15V → -3V	0V → 2.5V
1	+3V → +15V	3.5 → 5V

Nous optons pour l'adaptation des niveaux de tensions entre le PIC (Cmos compatible TTL) et le PC (logique négative $\pm 15\text{V}$) pour un circuit intégré usuel MAX232 qui ne nécessite pas un grand nombre de composants additionnels comme le montre la figure(III.8) fourni par le constructeur.

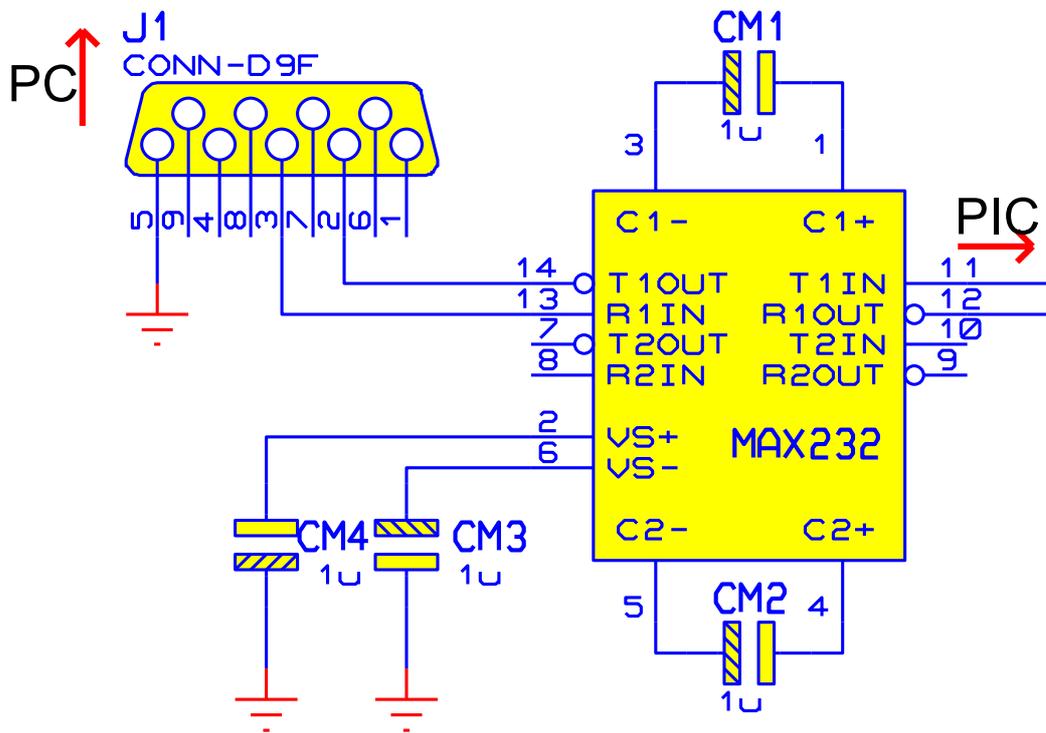


Figure III.8 : Brochage du circuit MAX232.

III.4 Bloc b2 :

III.4.1 Capteur de température :

Le capteur de température utilisé est un capteur **DS18B20** manufacturé par DALLAS, notre choix s'est porté sur ce capteur essentiellement pour sa facilité d'interfaçage avec des μC (ou μp), en effet contrairement à la majorité des capteurs présents sur le marché le DS18B20 propose une sortie numérique avec le bus de communication **1Wire**, ce bus permet de communiquer avec une série de capteurs (ou d'interface 1Wire en général) tous reliés sur le même bus, le nombre de périphériques reliés au bus peut atteindre plusieurs centaines, et dépasser une longueur de 300m, il offre aussi l'avantage d'éviter (si on le souhaite) de l'alimenter et se contente de l'alimentation présente sur le 1Wire lorsque le μC envoie une tension de 5V (mode :alimentation parasite).

Pour notre part nous utilisons 1 seul capteur de température, mais il est possible d'en augmenter le nombre si on souhaite recueillir plusieurs températures et ce en apportant uniquement des modifications à niveau Soft (programme du μC), ne limitant pas ainsi les possibilités d'amélioration.

Le détail du protocole est présent ANNEXE C.

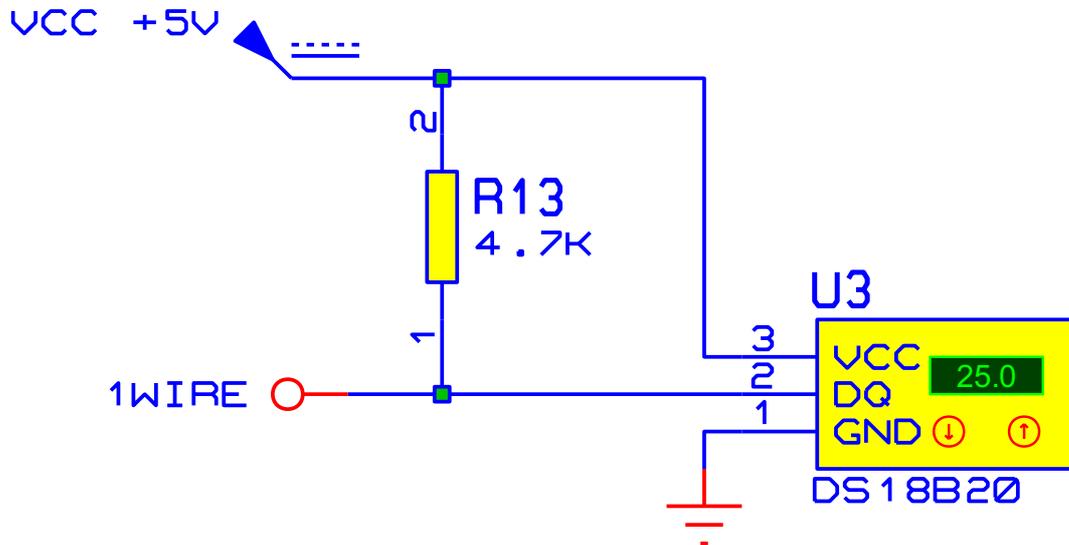


Figure III.9 : Brochage du capteur de température

III.4.2 Capteur de luminosité :

En réalité nous n'utilisons pas un capteur de luminosité qui est un dispositif couteux et difficile à mettre en œuvre, néanmoins il existe une méthode moins précise dont les résultats sont acceptables, cette méthode consiste en l'utilisation d'une cellule de référence.

Reprenons l'équation I.2 :

$$I_{cc} = I_{ph} = C \cdot \Phi \tag{I.2}$$

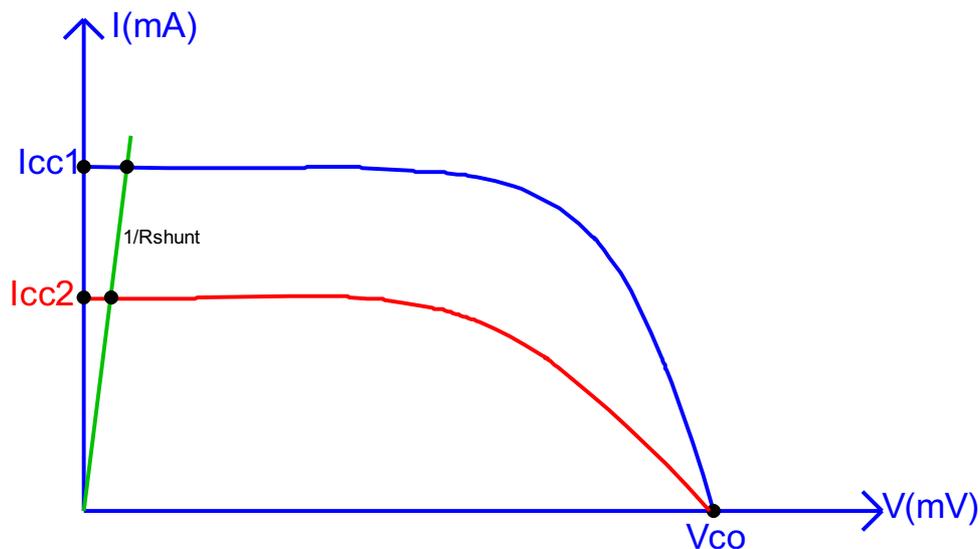


Figure III.10 : Principe de la mesure du flux lumineux.

Ainsi nous aurons :

$$V_{lum} = R_{shunt} \cdot C \cdot \Phi \quad \text{III.4}$$

La constante C est donnée par le constructeur de la cellule de référence ou calculée par un calibrage en utilisant un pyranomètre ou une autre cellule de référence déjà calibrée (moins précis).

Comme le montre la figure (III.11) il suffit de shunter la cellule de référence à l'aide d'une résistance R_{shunt} de très faible valeur ($R_{shunt} = 1\Omega$), en mesurant la tension à ses bornes nous pouvons déduire la valeur de I_{CC} qui est proportionnelle au flux lumineux.

Le circuit permettant d'effectuer cette opération est présenté Figure (III.11).

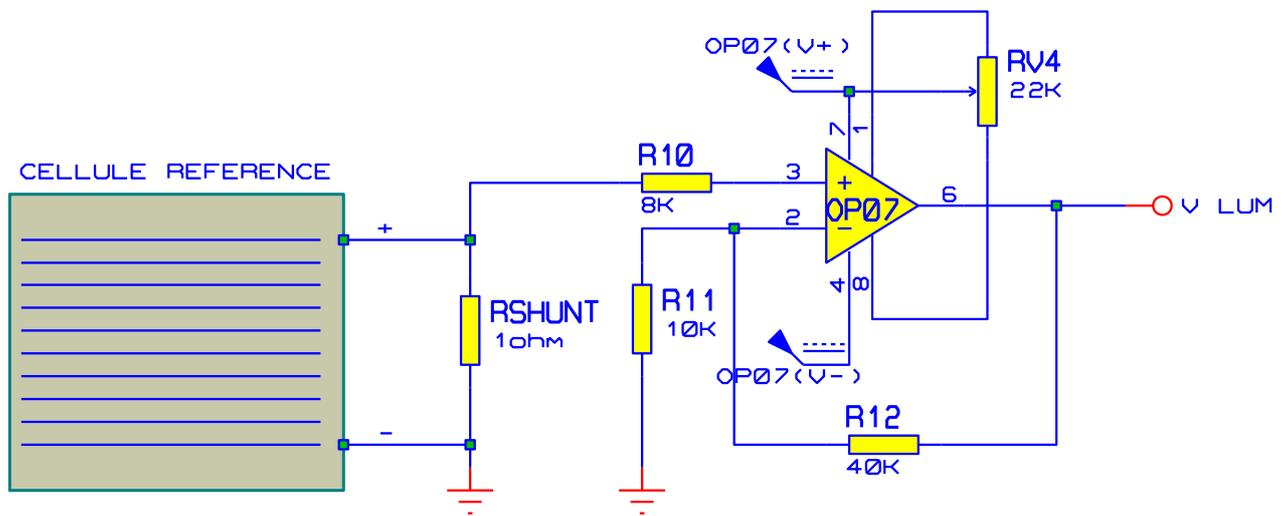


Figure III.11 : Schéma électrique du capteur de luminosité.

III.5 Bloc b1 :

Le bloc b1 se charge de conditionner la tension et le courant du panneau afin de les ramener à des niveaux de tension (V_T , V_C) pouvant être numérisés par le μC tel que :

$$V_P = 50V \rightarrow V_T = 5V \text{ (effectué par « chaine tension »)}$$

$$I_P = 10A \rightarrow V_C = 5V \text{ (effectué par « chaine courant »)}$$

Nous tenons à souligner que le choix des amplificateurs opérationnels utilisés n'est pas fortuit. En effet, ces derniers sont des amplificateurs d'instrumentation présentant d'excellentes performances en termes d'offset et n'introduisent que très peu de bruit comparé aux amplificateurs communs (détails ANNEXE D).

III.5.1 Chaîne courant :

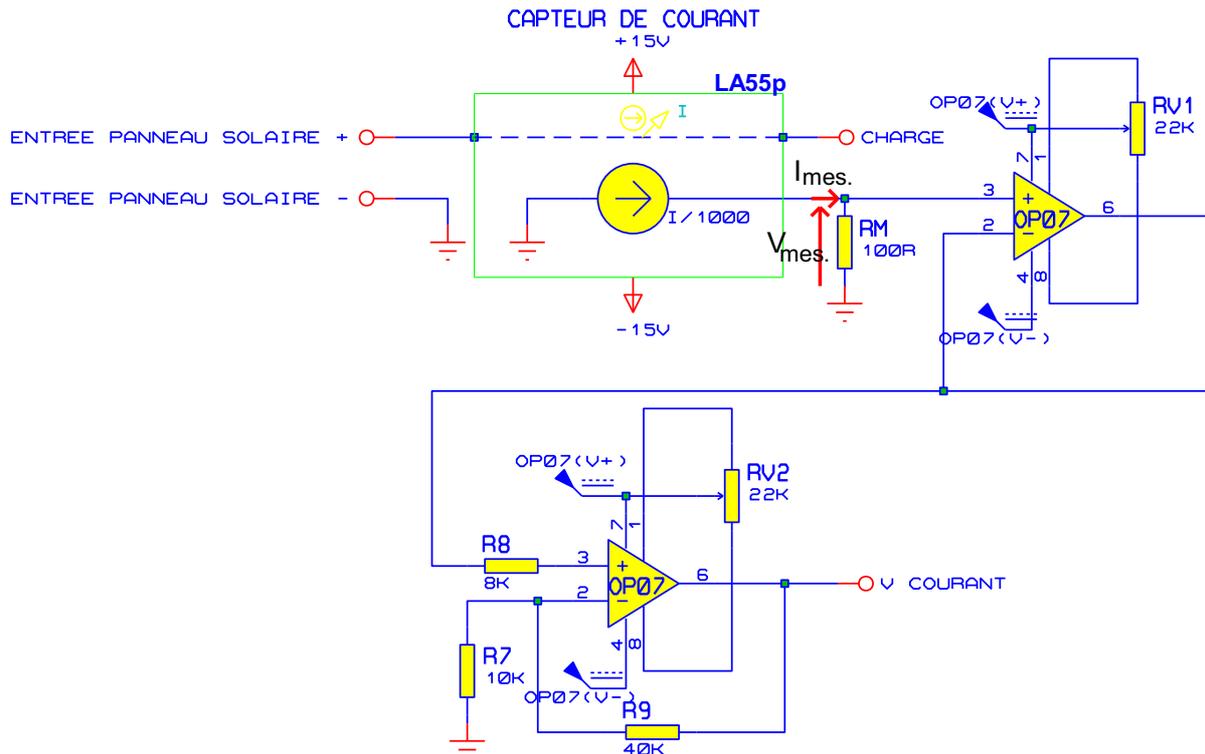


Figure III.12 : Chaîne courant.

Pour la mesure du courant nous utilisons un capteur de courant LA55p.

Un capteur de courant à effet hall, en plus de bénéficier d'excellentes performances en terme de linéarité et d'immunité au bruit et aux variations de température, s'insère de manière transparente dans la chaîne de mesure contrairement à l'utilisation d'une résistance Shunt, qui introduirait une chute de tension non-souhaitée dans notre application.

Pour le LA55p nous avons :

$$I_{mes.} = I_p / 1000$$

Pour mesurer $I_{mes.}$, nous mesurons la tension $V_{mes.}$

$$V_{mes.} = R_M \cdot I_{mes.} = I_p / 10 \text{ (Volt)}$$

Le courant maximum délivré par le panneau étant (supposé) de 10 A nous devons alors amplifier 5 fois la tension V_m . Et ainsi nous avons :

$$V_C = 5 \cdot V_{mes.} = I_p / 2 \text{ (Volt)}$$

Cette fonction est assurée par le second amplificateur monté en amplificateur non inverseur, le premier est monté en suiveur.

III.5.2 Chaîne tension :

Cette partie du circuit est simple à réaliser. Nous devons d'abord abaisser la tension V_P d'un rapport de 10 puis l'adapter pour l'introduire au convertisseur A/N du μC , comme illustré figure (III.13).

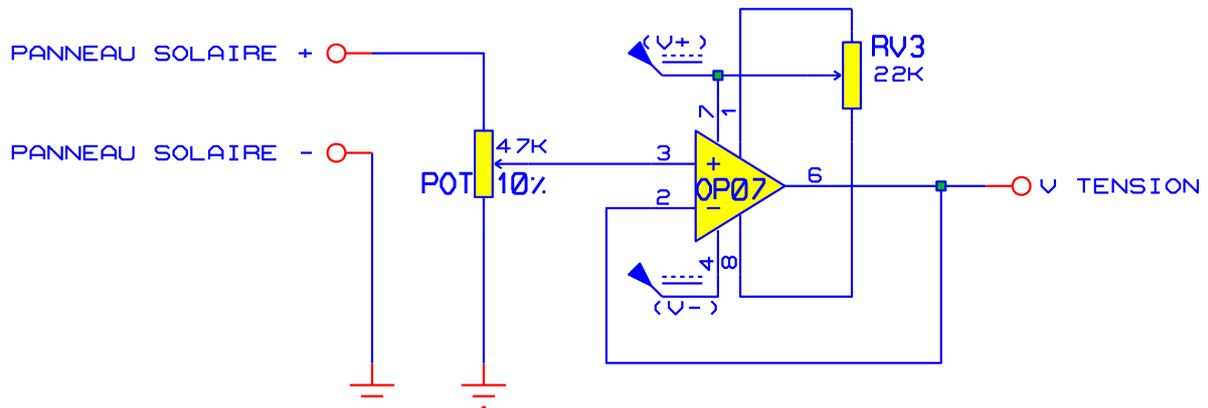


Figure III.13 : Chaîne tension.

CHAPITRE IV

Tests et Essais

Dans cette partie nous effectuerons deux tests. Le premier sera effectué sur un générateur de tension, le second sur un panneau photovoltaïque.

IV.1 Développement de l'interface de visualisation :

La visualisation des caractéristiques du panneau photovoltaïque sur le PC nécessite la mise en œuvre d'une interface graphique prenant en charge la communication avec la carte.

Le langage de programmation orienté objet « Visual basic 6.0 » nous a permis d'élaborer cette interface, ce logiciel permet le développement rapide d'applications sous Windows. (programme en ANNEXE E).

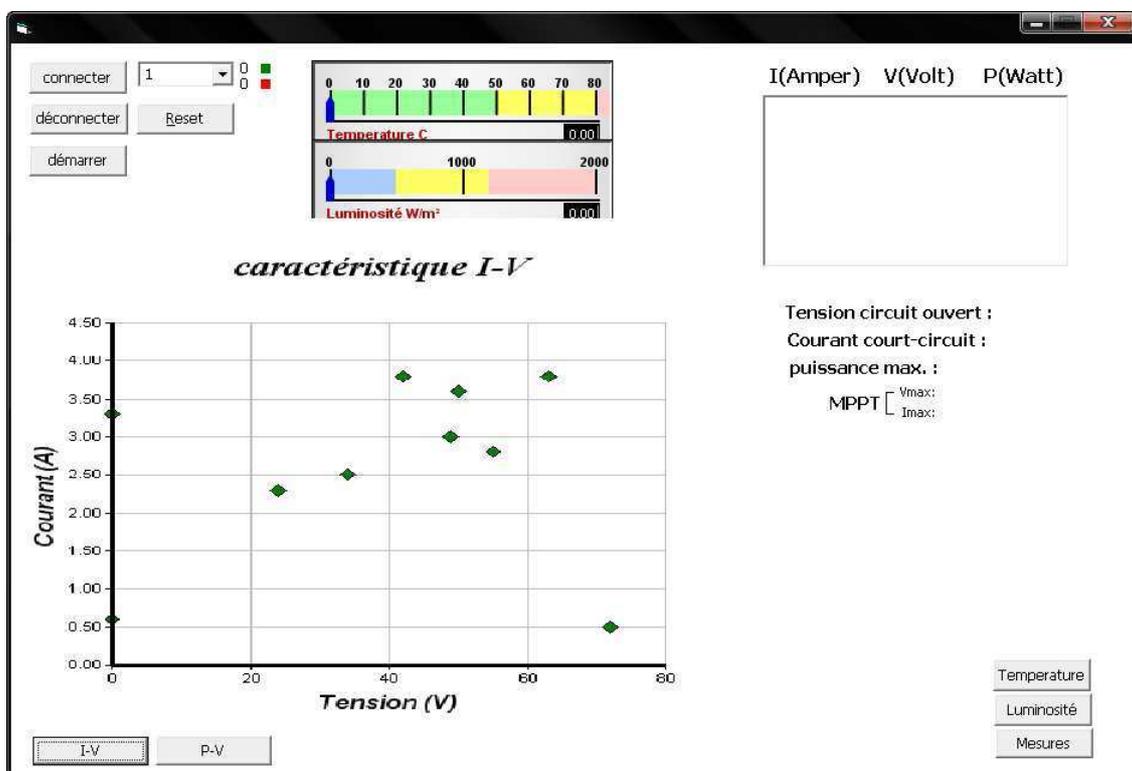
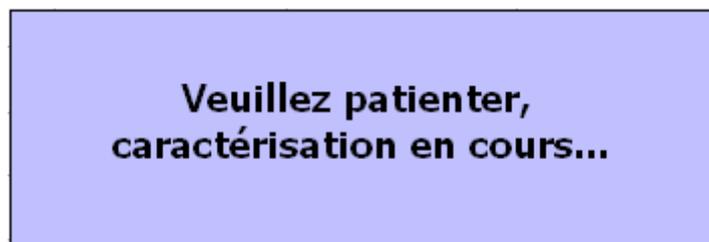


Figure IV.1 : L'interface « Vpan ».

L'interface est simple d'utilisation, nous commençons par relier l'interface à un port COM du PC, puis nous mettons la carte sous tension. Nous lançons l'application Vpan, puis nous sélectionnons le port auquel la carte est reliée. Pour afficher les données température, luminosité et les caractéristiques du panneau photovoltaïque trois boutons [Température], [Luminosité] et [Mesures] sont présents sur la fenêtre en bas à droite.

En appuyant sur le bouton [mesures] le message suivant apparaît :



Il disparaîtra lorsque la caractérisation sera achevée. Le tableau en haut à droite permet de faire défiler (I, V, P), chaque triplet correspond à un point de fonctionnement du panneau photovoltaïque. L'interface affiche V_{co} , I_{cc} et V_{max} , I_{max} , P_{max} , correspondant au point de puissance maximale.

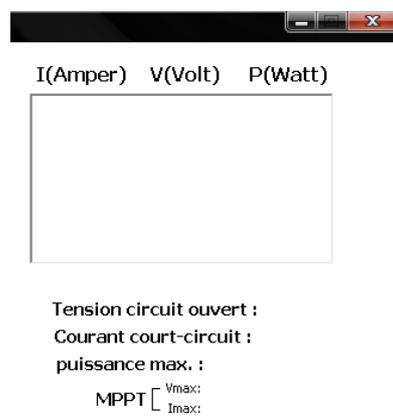


Figure IV.1 : Affichage des caractéristiques.

Avant toute caractérisation, il faut envoyer un reset à la carte en appuyant sur le bouton [Reset], ceci permet en cas de changement de panneau de passer au calibre supérieur si nécessaire.

Nous pouvons visualiser les graphiques I-V et P-V en appuyant sur les boutons correspondant en dessous de la zone réservée au dessin des graphiques.

IV.2 Essais :

La première étape consiste à calibrer notre carte et ce en s'assurant que toutes les tensions d'alimentation sont bien aux potentiels voulus.

$$V_{dd}=5.000V$$

$$V_{\text{ref}}=2.500\text{V}$$

$$V_{+}=14.986\text{V}$$

$$V_{-}=-14.987\text{V}$$

Ceci étant effectué nous vérifions que les tensions et courant affichés par la carte correspondent bien aux tensions et courants mesurés à l'aide d'un voltmètre.

Nous procédons aussi au calibrage des potentiomètres des amplificateurs ainsi que les potentiomètres d'annulation d'offset.

Cette étape achevée nous pouvons effectuer les tests :

IV.2.1 Premier test :

Pour notre premier test nous relierons le générateur suivant à la carte de caractérisation :

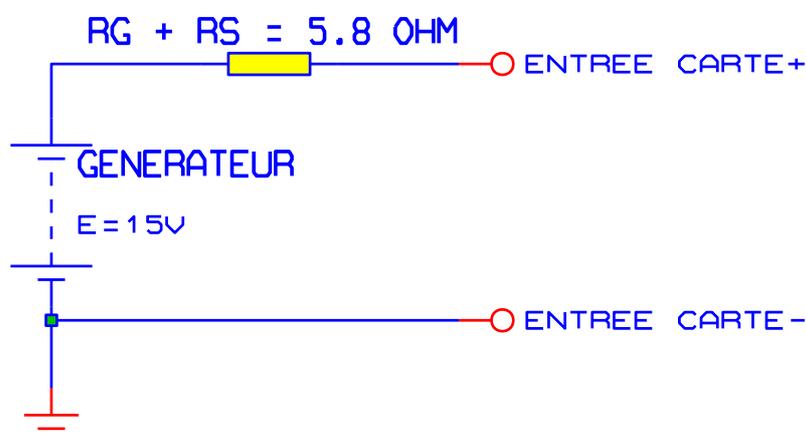


Figure IV.3 : Générateur utilisé pour le premier test.

Nous effectuons sa caractérisation et obtenons le résultat suivant :

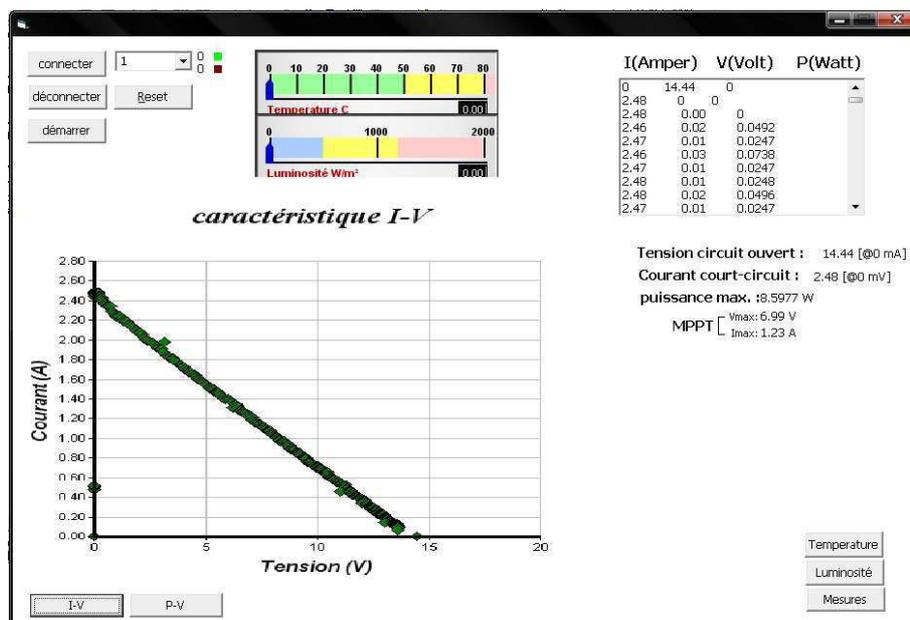


Figure IV.4 : Résultat du premier Test – Caractéristique I-V.

La figure IV.4 représente la caractéristique I-V du générateur relié à la carte. Nous pouvons aussi visualiser la courbe P-V en appuyant sur le bouton P-V, nous observons le graphe suivant :

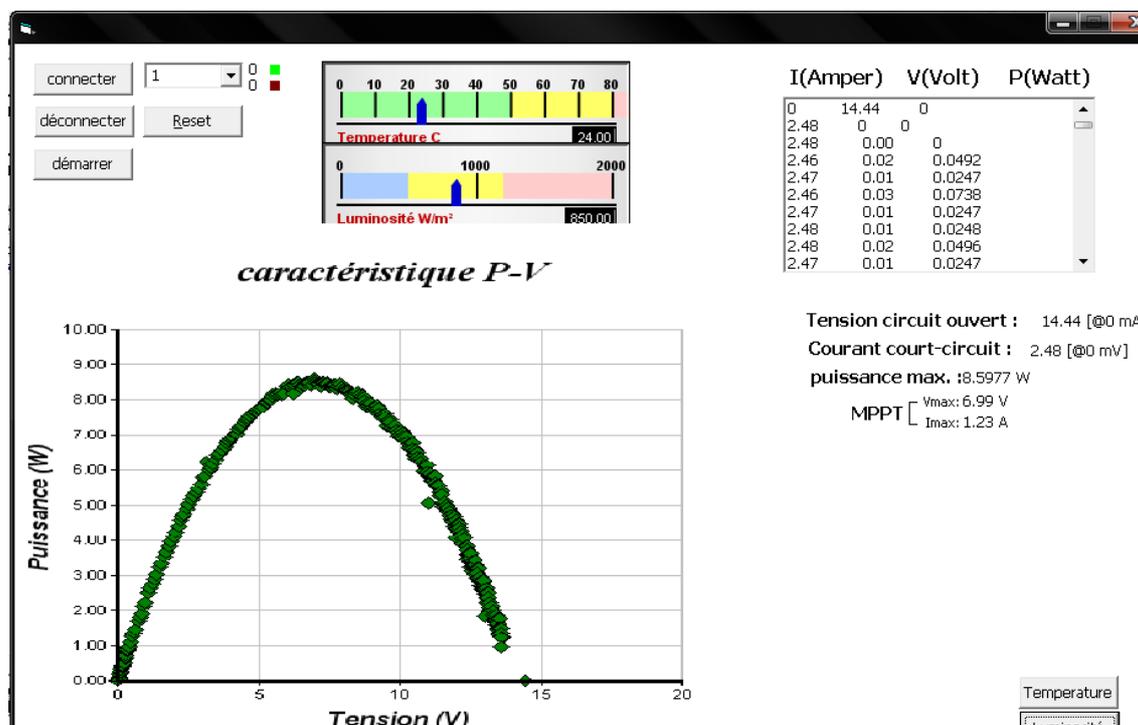


Figure IV.4 : Résultat du premier Test – Caractéristique P-V.

Ce graphe correspond à la courbe de puissance en fonction de la tension de ce générateur, c'est une parabole dont le maximum devrait être situé à :

$$V_m = E/2 \quad \text{et} \quad I_m = I_{cc}/2$$

Nous remarquons que les valeurs I_m et V_m indiquées sont légèrement inférieures aux valeurs théoriques, cette différence n'est pas forcément due, dans notre cas, à la carte de caractérisation mais au générateur que nous avons utilisé.

IV.2.2 Deuxième test :

Le test effectué sur un panneau photovoltaïque de type TOTAL ENERGIE TE500CR+ dont les caractéristiques sont indiquées au deuxième chapitre, donne les résultats suivants :

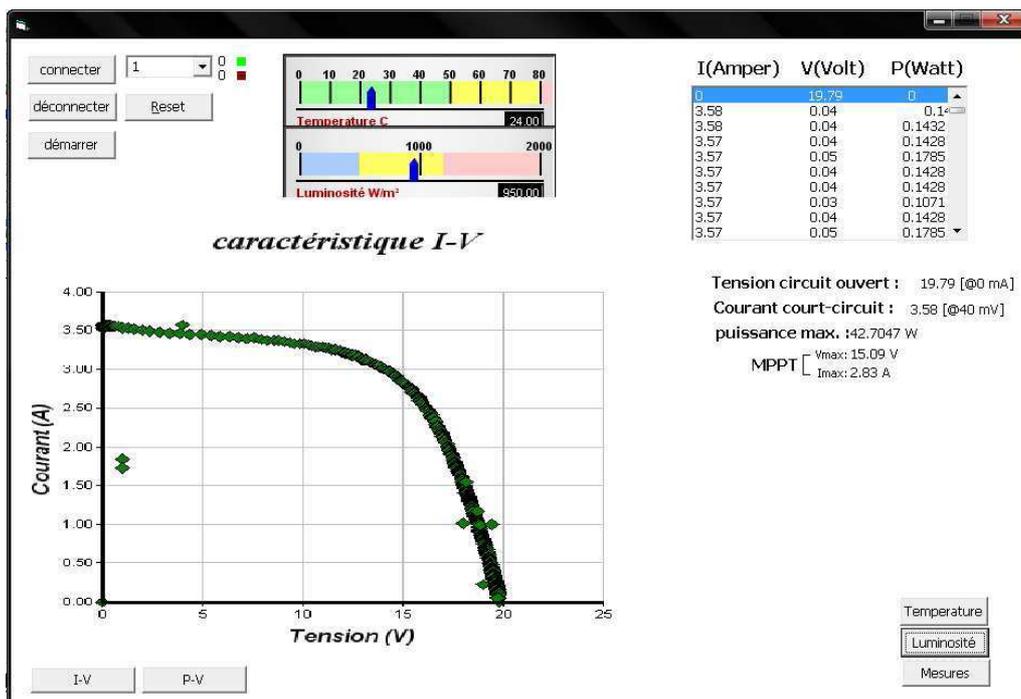


Figure IV.5 : Caractéristique I-V du panneau TE500+CR.

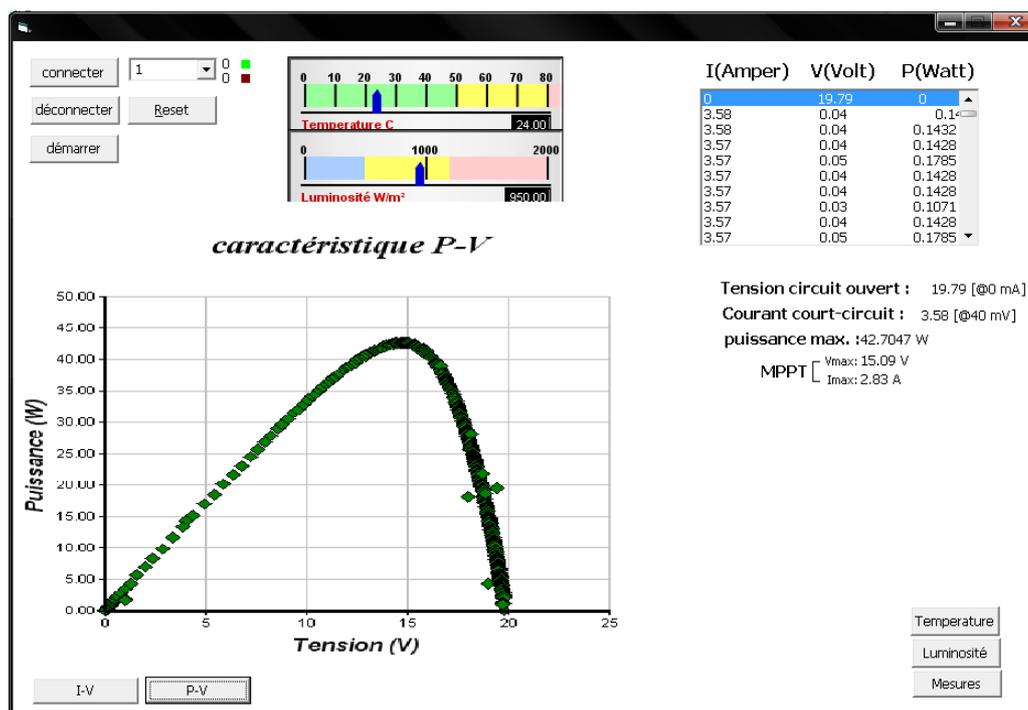


Figure IV.6 : Caractéristique P-V du panneau TE500+CR

Les courbes présentent les allures attendues.

Notons que les caractéristiques du panneau ne correspondent pas aux valeurs indiquées par le constructeur.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES D'AMELIORATION

L'utilisation de MOSFETs IRFP150 pour la réalisation de la charge électronique et de la simple charge d'une capacité pour leur commande, a permis d'aboutir à de bons résultats. En effet, tous les points de la caractéristique sont bien atteints, avec une précision acceptable, et le délai nécessaire au balayage de toute la caractéristique est raisonnable (une vingtaine de secondes).

Nous notons que l'utilisation d'un microcontrôleur a offert une flexibilité considérable lors du développement et une rapidité d'interfaçage avec le PC, ainsi qu'avec le capteur de température utilisé. Le choix judicieux de ces composants a été un point essentiel.

A l'issue de notre PFE, et en vue des tests réalisés sur la carte élaborée, nous jugeons que la carte remplit le cahier de charges fixé au départ.

Elle présente de bonnes performances comparée aux cartes présentes sur le marché, dont le coût est 40 ou 50 fois supérieur au coût de notre réalisation. Néanmoins, nous pouvons envisager des améliorations en ce qui concerne :

- **L'alimentation:** la carte que nous avons réalisée est totalement dépendante de l'alimentation secteur. Une amélioration consisterait à tirer l'alimentation directement du panneau à caractériser, et ainsi permettre d'effectuer des mesures in-situ.

- **L'affichage:** doter notre carte d'un écran (ou afficheur) la rendrait indépendante du PC.

- **Les plages de mesure (I-V):** le redimensionnement de l'étage de puissance permettrait d'élargir les plages de mesures en termes de tension, courant et puissance.

- **Interface:** l'interface pourrait être doté de fonctionnalités supplémentaires, entre autre d'un algorithme de filtrage des mesures, et de la possibilité d'exportation des données aux formats Matlab ou Excel.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Eric Schiller « le pompage photovoltaïque » manuel de cours a l'intention des ingénieurs et des techniciens, IEPF / université d'Ottawa, EIER / CERR
- [2] Luc Chancelier et Eric Laurent « l'électricité solaires » livre GRET. Ministère de la coopération.
- [3] L. Achoui, S.Hamidi « développement d'un système photovoltaïque onduleur-MAS, application au pompage photovoltaïque » PFE.ENP.juin 2004.
- [4] K.Touafek « étude d'un capteur solaire hybride Photovoltaïque thermique »Magister.ENP.octobre 2005.
- [5] Colloque national sur l'énergie solaire CNESOL 2006.
- [6] Michel Courillon. « le pompage photovoltaïque et l'approvisionnement en eau » Paris :AFME ;1988.
- [7] J. AUVRAY « Systèmes électronique » Paris 2000
- [8] M. HADDADI « Cours sur les dissipateurs thermiques » ENP 2006

ANNEXES

ANNEXE A: CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES ET THERMIQUES DU MOSFET IRFP150A

Advanced Power MOSFET

IRFP150A

FEATURES

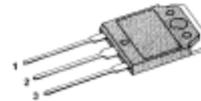
- Avalanche Rugged Technology
- Rugged Gate Oxide Technology
- Lower Input Capacitance
- Improved Gate Charge
- Extended Safe Operating Area
- 175°C Operating Temperature
- Lower Leakage Current : 10 μ A (Max.) @ $V_{DS} = 100V$
- Lower $R_{DS(on)}$: 0.032 Ω (Typ.)

$$BV_{DSS} = 100 V$$

$$R_{DS(on)} = 0.04 \Omega$$

$$I_D = 43 A$$

TO-3P



1.Gate 2. Drain 3. Source

Absolute Maximum Ratings

Symbol	Characteristic	Value	Units
V_{DSS}	Drain-to-Source Voltage	100	V
I_D	Continuous Drain Current ($T_C=25^\circ C$)	43	A
	Continuous Drain Current ($T_C=100^\circ C$)	30.4	
I_{DM}	Drain Current-Pulsed $\text{\textcircled{1}}$	170	A
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 0	V
E_{AS}	Single Pulsed Avalanche Energy $\text{\textcircled{2}}$	740	mJ
I_{AR}	Avalanche Current $\text{\textcircled{3}}$	43	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy $\text{\textcircled{3}}$	19.3	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt $\text{\textcircled{3}}$	6.5	V/ns
P_D	Total Power Dissipation ($T_C=25^\circ C$)	193	W
	Linear Derating Factor	1.28	
T_J, T_{STG}	Operating Junction and Storage Temperature Range	- 55 to +175	$^\circ C$
T_L	Maximum Lead Temp. for Soldering Purposes, 1/8" from case for 5-seconds	300	

Thermal Resistance

Symbol	Characteristic	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	--	0.78	$^\circ C/W$
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink	0.24	--	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	--	40	

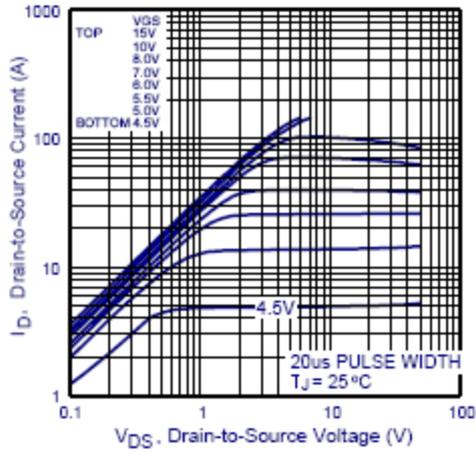


Fig 1. Typical Output Characteristics

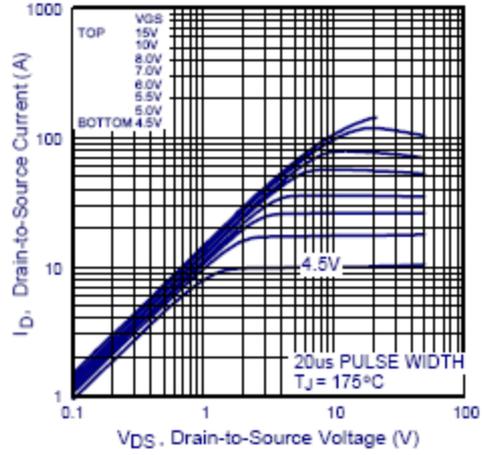
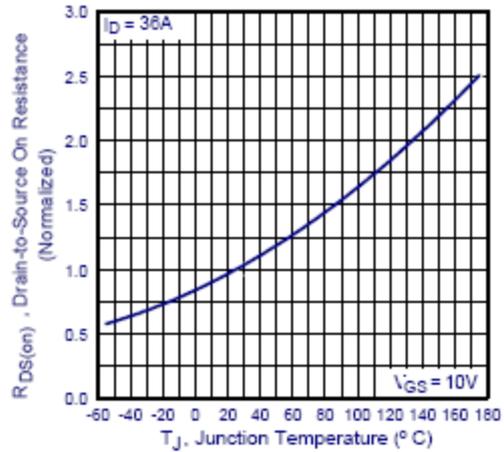
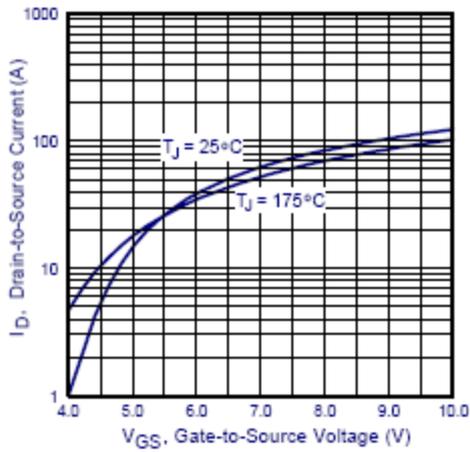


Fig 2. Typical Output Characteristics



ANNEXE B : Programme C implémenté sur le 16F876A .

```
#include <16F876A.h>
#device ADC=10
#fuses HS,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP
#use delay(clock=20000000)
#use rs232(baud=57600, xmit=pin_c6,rcv=pin_c7)

#include <touch_b4.c>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <STDLIBM.H>
#define seuil 0.02

    • // A3 ref- =2.5V
    • // B0=1 décharge lente 20 secondes
    • // B1=1 décharge rapide
    • // B2=1 Ventilateurs
    • // B4 1WIRE -----> température
    • // B5 led COM / Mesure
    • // A0= entrée analogique tension 50V----->5V
    • // A1= entrée analogique courant 10A----->5V
    • // A2= entrée analogique capteur luminosité (cellule de référence)
    • // C6 Tx
    • // C7 Rx

char C;
int16 j,k;
int1 stop,s;
float temp;
float cal;
float I,imoy;
float v,vmoy;
float lum,moylum;

    • ////Sous-programmes ////

void temperature()
{
    float temp,tempmoy;
    byte buffer[2];
    Imoy=(I*(k-1)+I)/k;
    if(touch_present())
    {
        for (k=1;k<=3;++k)

            {touch_present();
            touch_write_byte(0xCC);
```

```

        touch_write_byte (0x44);
        output_high(TOUCH_PIN);
        delay_ms(1000);

        touch_present();
        touch_write_byte(0xCC);
        touch_write_byte (0xBE);
        buffer[0] = touch_read_byte();
        buffer[1] = touch_read_byte();
        temp=buffer[0]*0.0625 + buffer[1]*16;
        tempmoy=(temp*(k-1)+temp)/k;
    }

    printf("%f",tempmoy);
}
else
printf("N");
}

void calibre5()
{
    cal=5;
    setup_adc_ports(all_analog);
    delay_us(2);
}

void calibre2()
{
    cal=2.5;
    setup_adc_ports(AN0_AN1_AN2_AN4_VSS_VREF);
    delay_us(2);
}

void lirev()
{
    int16 value;
    set_adc_channel(0);

    debut:
    delay_us(4);
    value = Read_ADC();
    if(s) goto fin;

    if(Value<480 & cal==5) { calibre2();
                            goto debut;}

    if(value>990 & cal==2.5){ calibre5();
                             goto debut;}

    fin:
        V=value;
}

```

```

        V=(V/102.3)*cal;
    }

void lirei()
{
    int16 value;
    set_adc_channel(1);

    debut:
    delay_us(4);
    value = Read_ADC();
    if(s) goto fin;

        if(Value<480 & cal==5) {
                                calibre2();
                                goto debut;}
        if(value>990 & cal==2.5){
                                calibre5();
                                goto debut;}

    fin:
        I=value;
        I=I*2/1023*cal;
        if(I<seuil) stop=1;
    }

void lirelum()
{
    int16 value;
    set_adc_channel(2);
    for (k=1;k<=100;++k)
    {   debut:
        delay_us(4);
        value = Read_ADC();
        if(Value<480 & cal==5) {
                                calibre2();
                                goto debut;}

        if(value>990 & cal==2.5){
                                calibre5();
                                goto debut;}

            lum=value;
            lum=lum*2/1023*cal;
            moylum=(moylum*(k-1)+lum)/k;

        }
    printf("%f",moylum);
}

void mesure()
{

```

```

output_high(pin_B2); // ventilo
output_high(pin_b3);
output_high(pin_B1);
output_high(pin_B5);
delay_ms(1000);

for (k=1;k<=120;++k)
{
    lirev();
    lirei();
    Imoy=(I*(k-1)+I)/k;
    Vmoy=(V*(k-1)+V)/k;
}
printf("%f,%f\n",I,V); //V circuit ouvert

stop=0;
output_low(pin_B5);
output_low(pin_B1);
delay_ms(3500);

for (k=1;k<=120;++k)
{
    lirev();
    lirei();
    Imoy=(I*(k-1)+I)/k;
    Vmoy=(V*(k-1)+V)/k;
}

printf("%f,%f\n",I,V); //I court-circuit
if(I<4.6 & V<23)
{s=1;
 calibre2();}
    • //decharge rapide pendant 110ms pour arriver a 5V

output_high(pin_B5);
output_high(pin_B1);
delay_ms(110);
output_low(pin_B1);
while(stop==0)
{
for (k=1;k<=4;++k)
{
    lirei();
    lirev();
    vmoy=(vmoy*(k-1)+v)/k ;
    Imoy=(imoy*(k-1)+I)/k ;
}

printf("%f,%f\n",imoy,vmoy);

```

```

        delay_us(300);
    }

    output_low(pin_b3);
    output_low(pin_B2); //ventilo off

}

void test()
{

    output_high(pin_b5);
    output_high(pin_b1);
    delay_ms(1000);
    for (k=1;k<=100;++k)
    {
        lirei();
        lirev();
        vmoy=(vmoy*(k-1)+v)/k ;
        Imoy=(imoy*(k-1)+I)/k ;

    }

    printf("%f,%f", imoy, vmoy);

}

```

- `/////Programme principal/////`

```

void main()

{
    calibre5();
    j=0;
    k=0;
    s=0;
    setup_adc_ports(all_analog);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32);

    set_tris_b(0x00);
    output_low(pin_B2);
    output_high(pin_B3);
    delay_ms(3000);
    output_low(pin_B3);
    lirei();
    output_high(pin_B1);
    delay_ms(1000);
    lirev();

    While (true)
    {

```

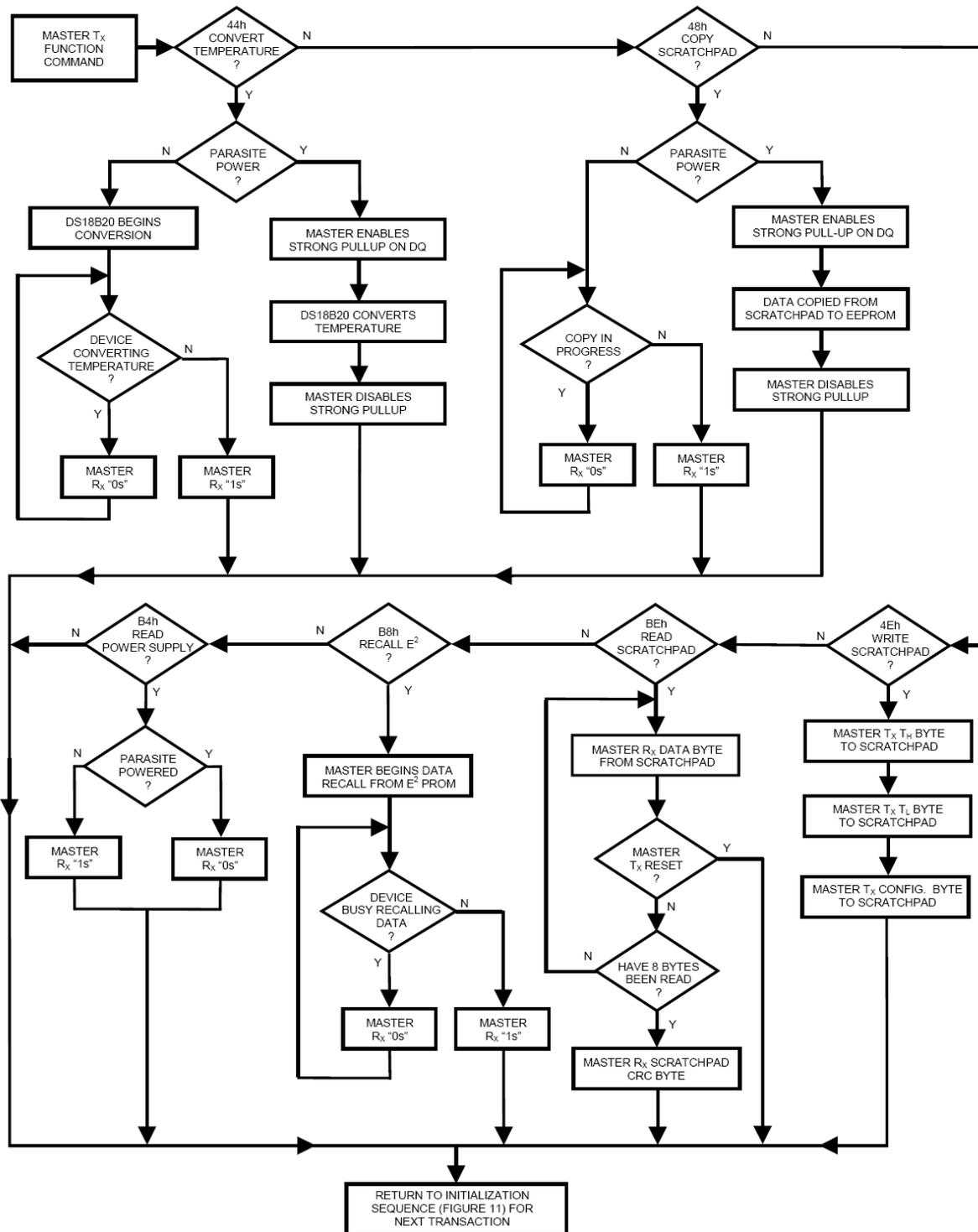
```
    printf("P"); //pret
    c=getc();
if(c=='r') reset_cpu();
if(c=='l') lirelum();
if(c=='t') temperature();
if(c=='m') {stop=0; mesure();}
if(c=='a') test();
if(c=='v') output_high(pin_B2);
if(c=='n') output_low(pin_B2);

}

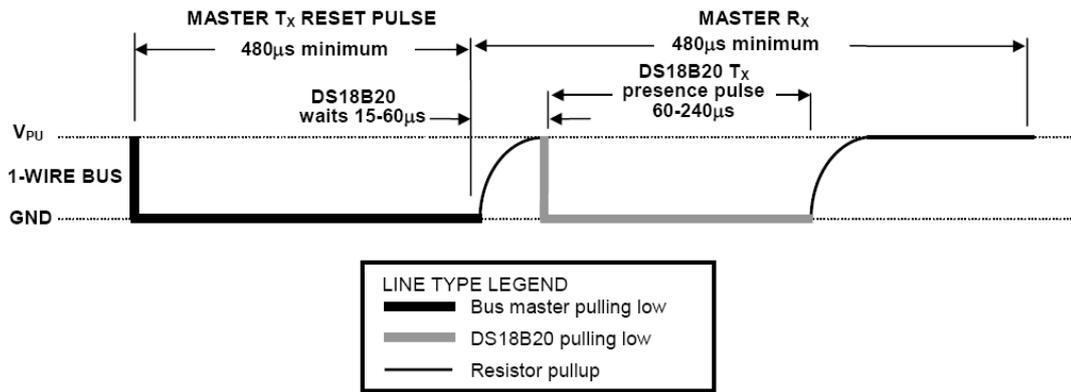
}
```

ANNEXE C : Protocole 1-Wire

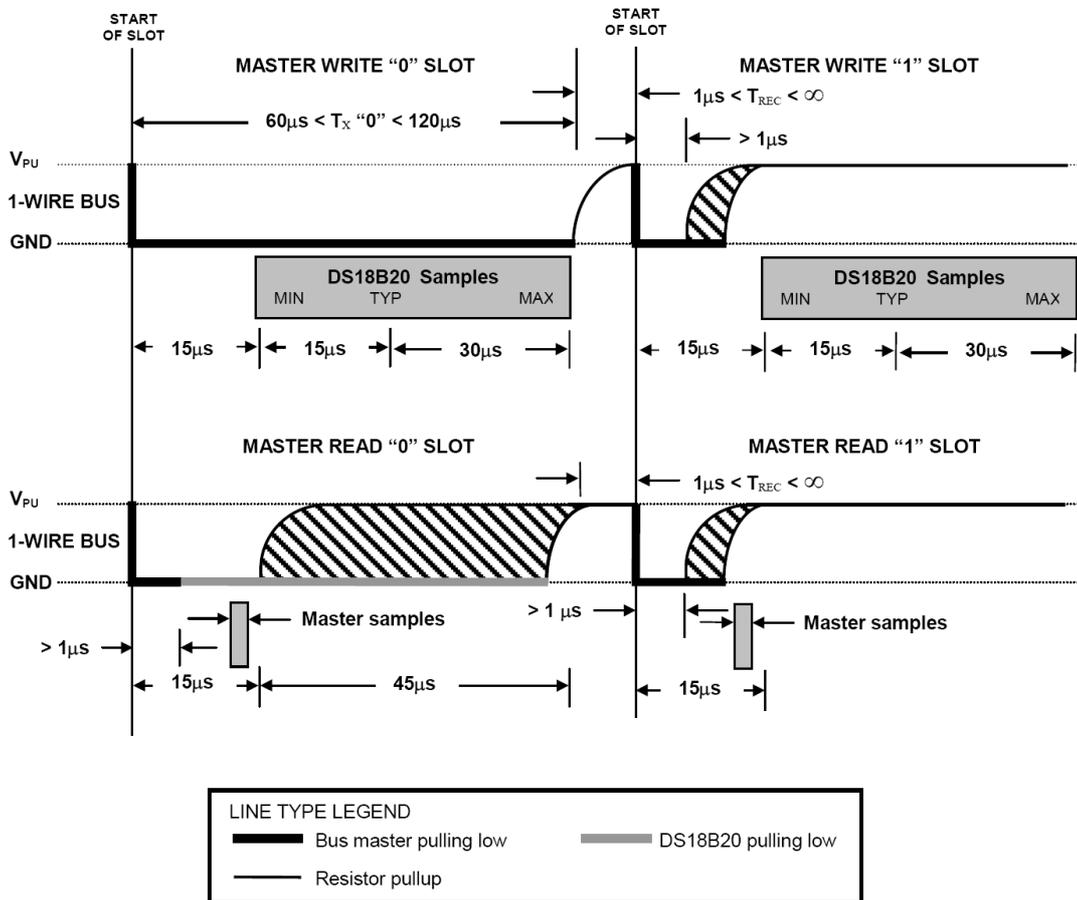
L'organigramme suivant présente une séquence de communication par l'intermédiaire du protocole 1-Wire



INITIALIZATION TIMING Figure 13



READ/WRITE TIME SLOT TIMING DIAGRAM Figure 14



ANNEXE D : Caractéristiques OP-07



Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier

OP07

FEATURES

- Low V_{OS} **25 μ V Max**
- Low V_{OS} Drift **0.6 μ V/ $^{\circ}$ C Max**
- Ultra-Stable vs Time **1.0 μ V/Month Max**
- Low Noise **0.6 μ V $_{p-p}$ Max**
- Wide Input Voltage Range **\pm 14V**
- Wide Supply Voltage Range **\pm 3V to \pm 18V**
- Fits 725, 108A/308A, 741, AD510 Sockets
- 125 $^{\circ}$ C Temperature-Tested Dice

ORDERING INFORMATION [†]

$T_A = +25^{\circ}\text{C}$ V_{OS} MAX (μV)	PACKAGE				OPERATING TEMPERATURE RANGE
	TO-99	CERDIP 8-PIN	PLASTIC 8-PIN	LCC 20-CONTACT	
25	OP07AJ*	OP07AZ*	—	—	MIL
75	OP07EJ	OP07EZ	OP07EP	—	COM
75	OP07J*	OP07Z*	—	OP07RC/883	MIL
150	OP07CJ	OP07CZ	OP07CP	—	XIND
150	—	—	OP07CS ^{††}	—	XIND
150	OP07DJ	—	OP07DP	—	XIND

* For devices processed in total compliance to MIL-STD-883, add /883 after part number. Consult factory for 883 data sheet.

[†] Burn-in is available on commercial and industrial temperature range parts in CerDIP, plastic DIP, and TO-can packages.

^{††} For availability and burn-in information on SO and PLCC packages, contact your local sales office.

GENERAL DESCRIPTION

The OP-07 has very low input offset voltage (25 μ V max for OP-07A) which is obtained by trimming at the wafer stage. These low offset voltages generally eliminate any need for external nulling. The OP-07 also features low input bias current (\pm 2nA for OP-07A) and high open-loop gain (300V/mV for OP-07A). The low offsets and high open-loop gain make the OP-07 particularly useful for high-gain instrumentation applications.

The wide input voltage range of \pm 13V minimum combined with high CMRR of 110dB (OP-07A) and high input impedance provides high accuracy in the noninverting circuit configuration. Excellent linearity and gain accuracy can be maintained

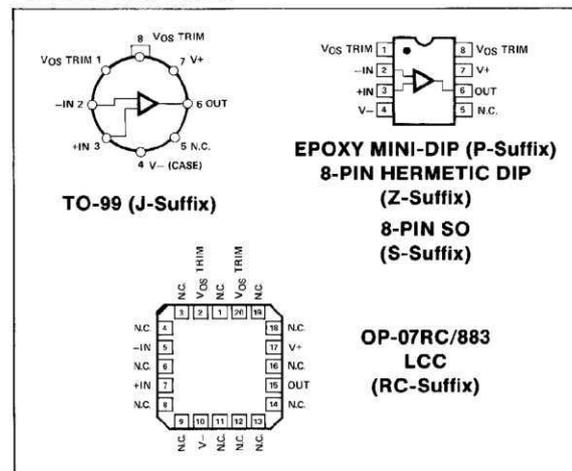
even at high closed-loop gains.

Stability of offsets and gain with time or variations in temperature is excellent. The accuracy and stability of the OP-07, even at high gain, combined with the freedom from external nulling have made the OP-07 a new industry standard for instrumentation and military applications.

The OP-07 is available in five standard performance grades. The OP-07A and the OP-07 are specified for operation over the full military range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$; the OP-07E is specified for operation over the 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ range, and OP-07C and D over the -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$ temperature range.

The OP-07 is available in hermetically-sealed TO-99 metal can or ceramic 8-pin Mini-DIP, and in epoxy 8-pin Mini-DIP. It is a direct replacement for 725, 108A, and OP-05 amplifiers; 741-types may be directly replaced by removing the 741's nulling potentiometer. The OP-207, a dual OP-07, is available for applications requiring close matching of two OP-07 amplifiers. For improved specifications, see the OP-77/OP-177.

PIN CONNECTIONS



ANNEXE E :

```
Dim Vtab(30000), Itab(30000), Ptab(30000) As Double
Dim couleur_vert(1) As Double
Dim couleur_rouge(1) As Double
Dim myState As String
' la variable mystate va contenir l etape juste avant la réponse de la carte
' ex: en demandant "t" , mystate sera egale à 'temp'
```

```
Private Sub Command1_Click()
MSComm1.CommPort = CInt(Combo1.Text)
MSComm1.PortOpen = True
End Sub
```

```
Private Sub Command10_Click()
On Error Resume Next
MSComm1.Output = "r"
End Sub
```

```
Private Sub Command11_Click()
IVgraph.Visible = True
PVgraph.Visible = False

End Sub
```

```
Private Sub Command12_Click()
IVgraph.Visible = False
PVgraph.Visible = True
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
MSComm1.PortOpen = False
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
'If MSComm1.PortOpen Then
" initialisation du module
'
'
"handshaking on
'MSComm1.Output = "ER_CMD#H1" & vbCrLf
'DoEvents
'MSComm1.Output = "ACK" & vbCrLf
'
'End If
Timer2.Enabled = True
```

End Sub

```
Private Sub Command5_Click()  
MSComm1.Output = Text3.Text  
End Sub
```

```
Private Sub Command6_Click()  
Text1.Text = ""  
MSComm1.Output = "t"  
myState = "temp"  
End Sub
```

```
Private Sub Command7_Click()  
On Error Resume Next  
Text1.Text = ""  
MSComm1.Output = "l"  
myState = "lumi"  
End Sub
```

```
Private Sub Command8_Click()  
On Error Resume Next  
Text4.Text = ""  
Text1.Text = ""  
I.Clear  
V.Clear  
MSComm1.Output = "m"
```

```
myState = "mesu"  
Picture4.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub Command9_Click()  
Command6_Click  
' on doit mettre des temporisations ici
```

```
Command7_Click
```

```
Command8_Click
```

End Sub

```
Private Sub Form_Load()  
couleur_vert(0) = &H8000&  
couleur_vert(1) = &HFF00&  
couleur_rouge(0) = &HFF&  
couleur_rouge(1) = &H80&
```

```
On Error Resume Next  
' cette instruction permet enfaite d ignorer toutes les erreurs qui peuvent
```

```

'survenir pendant l'execution (:

Call createTemperatureGauge(gTemperature, "", 0)
Call createLumGauge(gLum, "", 0)

Dim x_data(0 To 9) As Long
'Dim y_data(10) As Long
'x_data = Array(50, 55, 37, 24, 42, 49, 63, 72, 83, 59)
'y_data = Array(3.6, 2.8, 2.5, 2.3, 3.8, 3#, 3.8, 0.5, 0.6, 3.3)

x_data(0) = 50
x_data(1) = 55
x_data(2) = 34
x_data(3) = 24
x_data(4) = 42
x_data(5) = 49
x_data(6) = 63
x_data(7) = 72

Call createIV(IVgraph, "", x_data, y_data)
Call createPV(PVgraph, "", y_data, x_data)

End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
DoEvents

'mise à jour des tailles de buffer
rs232_rx = MSComm1.InBufferCount
rs232_tx = MSComm1.OutBufferCount

'mise à jour des voyants (port ouvert, connecté)
If MSComm1.PortOpen = True Then c = 1 Else c = 0

vert.BackColor = couleur_vert(c)
rouge.BackColor = couleur_rouge(c)

If (MSComm1.PortOpen) Then

Dim input_buffer As String

If (MSComm1.InBufferCount <> 0) Then
'Text1.Text = Text1.Text & vbCrLf & MSComm1.Input
Text1.Text = MSComm1.Input
Text4.Text = Text4.Text & Text1.Text & vbCrLf

'on a reçu une information à partir de la carte
'on doit d'abord savoir si c un resultat positif "P", ou erreur

```

```

If InStr(Text1.Text, "P") Then

    Select Case myState
        Case "temp": Call assigner_temperature
        Case "lumi": Call assigner_luminosite
    End Select

End If

If InStr(Text4.Text, "P") Then

    Select Case myState
        Case "mesu": Call creer_tableau_mesures

    End Select

End If

End If

End If

DoEvents
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
MSComm1.Output = Time & vbCrLf

End Sub

Private Function assigner_temperature()
On Error Resume Next
' à ce niveau la, on a la temperature, avec le "P"
temp = Replace(Text1.Text, "P", "")
Call createTemperatureGauge(gTemperature, "", CDBl(temp))
End Function

Private Function assigner_luminosite()
On Error Resume Next
lumi = Replace(Text1.Text, "P", "")
Call createLumGauge(gLum, "", 1000 * CDBl(lumi))
End Function

Private Function creer_tableau_mesures()
On Error Resume Next

Mesures.Clear

'MsgBox Text4.Text

```

```

' à ce point la ona une chaine de caractere qui contient les mesures
' on doit les isoler
' format
' i,v <-- co
' i,v <-- cc
' n,i,v
' voila le schema
' i,vlfi,vlfn,i,vlf...n,i,vlfP

' commençons par isoler les premieres données

premiere_virgule = InStr(Text4.Text, ",")
premier_crlf = InStr(Text4.Text, vbCrLf)
'
premiere_valeur = Mid(Text4.Text, 1, premiere_virgule - 1)
deuxieme_valeur = Mid(Text4.Text, premiere_virgule + 1, premier_crlf - premiere_virgule)
fVco.Caption = deuxieme_valeur & " [" & CDBl(premiere_valeur) * 1000 & " mA]"

' une façon plus correct d un point de vue algorithmique, et plus élégante
' serait de séparer par rapport au vbCrLf, puis de parser le tableau produit
' cette approche est bien plus meilleur que de parser variable par variable

Dim mes_valeurs(100) As String
Text4.Text = Replace(Text4.Text, "P", "")
mes_valeurs = Split(Text4.Text, vbCrLf)

vco = Mid(mes_valeurs(0), InStr(mes_valeurs(0), ",") + 1)
fVco.Caption = Mid(mes_valeurs(0), InStr(mes_valeurs(0), ",") + 1) & "[" &
CDBl(Mid(mes_valeurs(0), 1, InStr(mes_valeurs(0), ",") - 1)) * 1000 & " mA]"

Icc = Mid(mes_valeurs(2), 1, InStr(mes_valeurs(2), ",") - 1)
fIcc.Caption = Mid(mes_valeurs(2), 1, InStr(mes_valeurs(2), ",") - 1) & "[" &
CDBl(Mid(mes_valeurs(2), InStr(mes_valeurs(2), ",") + 1)) * 1000 & " mV]"

Vtab(0) = vco
Itab(0) = CDBl(Mid(mes_valeurs(0), 1, InStr(mes_valeurs(0), ",") - 1))

Vtab(1) = CDBl(Mid(mes_valeurs(2), InStr(mes_valeurs(2), ",") + 1))
Itab(1) = Icc

Mesures.AddItem (Itab(0) & " " & Vtab(0) & " " & Vtab(0) * Itab(0))
Mesures.AddItem (Itab(1) & " " & Vtab(1) & " " & Vtab(1) * Itab(1))
pmax = 0
For ii = 2 To 6000

' à ce niveau la, on sépare les deux valeurs i et v
'
If mes_valeurs(ii) = "" Or InStr(mes_valeurs(ii), ",") = 0 Then GoTo ignorer
' dans le cas ou c est vide ou ne contient pas de virgule on ignore
v_t = Mid(mes_valeurs(ii), InStr(mes_valeurs(ii), ",") + 1)

```

```

i_t = Mid(mes_valeurs(ii), 1, InStr(mes_valeurs(ii), ",") - 1)

If v_t = "" Or i_t = "" Or i_t > Icc Then GoTo ignorer

'V.AddItem (v_t)
Vtab(ii) = v_t
'I.AddItem (i_t)
Itab(ii) = i_t
'P.AddItem (v_t * i_t)
Ptab(ii) = v_t * i_t
If pmax < Ptab(ii) Then
pmax = Ptab(ii)
Vmax = Vtab(ii)
Imax = Itab(ii)
End If
Pmax1.Caption = pmax & " W"
Vmax1.Caption = Vmax & " V"
Imax1.Caption = Imax & " A"
DoEvents
Mesures.AddItem (i_t & "          " & v_t & "          " & v_t * i_t)
ignorer:
Next ii

Call createIV(IVgraph, "", Vtab, Itab)
Call createPV(PVgraph, "", Vtab, Ptab)

Picture4.Visible = False

End Function

Public Sub createTemperatureGauge(viewer As Object, img As String, value As Long)

Dim cd As New ChartDirector.API

Dim m As LinearMeter
Set m = cd.LinearMeter(250, 75, cd.silverColor(), 0, -2)

Call m.setMeter(15, 25, 220, 20, cd.Top)

Call m.setScale(0, 80, 10)

Call m.addZone(0, 50, &H99FF99)
Call m.addZone(50, 80, &HFFFF66)
Call m.addZone(80, 100, &HFFCCCC)

Call m.addPointer(value, &HCC)

```

```
Call m.addText(10, 68, "Temperature C", "arialbd.ttf", 8, &HC00000, _  
cd.BottomLeft)
```

```
Call m.addText(238, 70, m.formatValue(value, "2"), "arial.ttf", 8, &HFFFFFF, _  
cd.BottomRight).setBackground(0, 0, -1)
```

```
' output the chart  
Set viewer.Picture = m.makePicture()
```

End Sub

Public Sub createLumGauge(viewer As Object, img As String, value As Long)

```
Dim cd As New ChartDirector.API
```

```
Dim m As LinearMeter  
Set m = cd.LinearMeter(250, 75, cd.silverColor(), 0, -2)  
Call m.setMeter(15, 25, 220, 20, cd.Top)
```

```
' Set meter scale from 0 - 100, with a tick every 10 units  
Call m.setScale(0, 2000, 1000)
```

```
' Set 0 - 50 as green (99ff99) zone, 50 - 80 as yellow (ffff66) zone, and 80 -  
' 100 as red (ffcccc) zone  
Call m.addZone(0, 500, &HAACCCFF)  
Call m.addZone(500, 1200, &HFFFFFF66)  
Call m.addZone(1200, 2000, &HFFCCCC)
```

```
' Add a blue (0000cc) pointer at the specified value  
Call m.addPointer(value, &HCC)
```

```
' Add a label at bottom-left (10, 68) using Arial Bold/8 pts/red (c00000)  
Call m.addText(10, 68, "Luminosité W/m²", "arialbd.ttf", 8, &HC00000, _  
cd.BottomLeft)
```

```
Call m.addText(238, 70, m.formatValue(value, "2"), "arial.ttf", 8, &HFFFFFF, _  
cd.BottomRight).setBackground(0, 0, -1)
```

```
' output the chart  
Set viewer.Picture = m.makePicture()
```

End Sub

Public Sub createIV(viewer As Object, img As String, dataX0, dataY0)

```
Dim cd As New ChartDirector.API
```

```

Dim c As XYChart
Set c = cd.XYChart(450, 420)

Call c.setPlotArea(55, 65, 350, 300, &HFFFFFF, -1, &HC0C0C0, &HC0C0C0, -1)

' Add a legend box at (50, 30) (top of the chart) with horizontal layout. Use 12
Call c.addTitle("caractéristique I-V", "timesbi.ttf", 18)

' Add a title to the y axis using 12 pts Arial Bold Italic font
Call c.yAxis().setTitle("Courant (A)", "arialbi.ttf", 12)

' Set the y axis line width to 3 pixels
Call c.yAxis().setWidth(3)

' Set the y axis label format to show 1 decimal point
Call c.yAxis().setLabelFormat("{value|2}")

' Add a title to the x axis using 12 pts Arial Bold Italic font
Call c.xAxis().setTitle("Tension (V)", "arialbi.ttf", 12)

' Set the x axis line width to 3 pixels
Call c.xAxis().setWidth(3)

' Add a scatter layer using (dataX0, dataY0)
Dim scatter1 As ScatterLayer
Set scatter1 = c.addScatterLayer(dataX0, dataY0, "Server AAA", _
    cd.DiamondSymbol, 11, &H8000)
viewer.ImageMap = c.getHTMLImageMap("clickable")

```

End Sub

```
Public Sub createPV(viewer As Object, img As String, dataX0, dataY0)
```

```
    Dim cd As New ChartDirector.API
```

```
    Dim dataX1()
```

```
    dataX1 = Array(50, 55, 37, 24, 42, 49, 63, 72, 83, 59)
```

```
    Dim dataY1()
```

```
    dataY1 = Array(1.6, 1.8, 0.8, 0.5, 1.3, 1.5, 2.3, 2.4, 2.9, 1.5)
```

```
    Dim scatterToolTip As String
```

```
    scatterToolTip = "title='{dataSetName}': Response time at {x} TPS: {value} sec"
```

```
    Dim trendToolTip As String
```

```
    trendToolTip = _
```

```
        "title='Slope = {slope|4} sec/TPS; Intercept = {intercept|4} sec'"
```

```
Dim c As XYChart
Set c = cd.XYChart(450, 420)
```

```
' Add a title to the y axis using 12 pts Arial Bold Italic font
Call c.yAxis().setTitle("Puissance (W)", "arialbi.ttf", 12)
```

```
' Set the y axis line width to 3 pixels
Call c.yAxis().setWidth(3)
```

```
' Set the y axis label format to show 1 decimal point
Call c.yAxis().setLabelFormat("{value|2}")
```

```
' Add a title to the x axis using 12 pts Arial Bold Italic font
Call c.xAxis().setTitle("Tension (V)", "arialbi.ttf", 12)
```

```
' Set the x axis line width to 3 pixels
Call c.xAxis().setWidth(3)
```

```
Set viewer.Picture = c.makePicture()
viewer.ImageMap = c.getHTMLImageMap("clickable")
```

```
End Sub
```