

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département Electronique

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de fin d'études

SUJET

**ETUDE D'UN SYSTEME
PHOTOVOLTAIQUE**

Proposé par :
Mr. M. HADDADI

Etudié par :
Mr. R. LAMRANI

Dirigé par :
Mr. M. HADDADI

PROMOTION
1995

E.N.P. 10, Avenue Hassen Badi - El-Harrach - Alger

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

*A ma mère,
mon père
et à la mémoire de
mes deux grands-pères*

Remerciements

Je remercie vivement Mr. M. Kaddadi maître de conférences à l'ENP d'avoir proposé et dirigé mon travail et ainsi que pour tous ses conseils et l'assistance qu'il m'a apportée à chaque sollicitation.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à l'ensemble de mes enseignants et particulièrement Melle K. D. que je remercie pour ses conseils et son aide que je n'oublierai point.

Mes remerciements vont aussi à tout le personnel de la bibliothèque centrale de l'école.

Que vous, mes chers amis qui m'avez fort aidé et soutenu, trouviez ici toute l'expression de mon dévouement et de ma reconnaissance.

R. Lamrani

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

SOMMAIRE

Introduction	1
1er partie : Etude d'un système photovoltaïque	
Chap 1 : Systèmes photovoltaïques	2
I/ Introduction	2
II/ Générateurs photovoltaïques	3
1- Photopiles au silicium	3
a/ Constitution d'une photopile	3
b/ Schémas électrique équivalent	5
2- Panneaux solaires	6
1/ Association de cellules	7
2/ Protection des panneaux	7
III/ Les accumulateurs de batterie	8
1- régime de décharge	9
2- Régime de charge	9
IV/ Les récepteurs et les circuits d'adaptation	11
1- Les récepteurs	11
2- Chargement d'un panneau	11
3- Adaptateur de charge	13
4- Convertisseur DC-DC	13
Chap 2 : Système minimal photovoltaïque	15
I/ Introduction	15
II/ L'adaptateur de charge	15
1- Convertisseur DC-DC	16
a/ fonctionnement	16
b/ Les éléments du convertisseur	17
2/ Modulateur du rapport cyclique	18
III Le convertisseur de charge et décharge	19
IV Dimensionnement des éléments d'énergie	20
1- Batterie	21
2- Panneaux solaires	21
V Conclusion	22
2ème partie : Conception d'un appareil de mesure des caractéristiques d'un panneau solaire	
Chap : 1 Etude des éléments de l'appareil	23
I/ Introduction	23
II/ Description du schéma synoptique	23
1- La carte analogique	23
2- La carte numérique	24

III/ Etude de la carte analogique	25
1/ Détermination du point de fonctionnement	25
a/ Shunt	25
b/ Asservissement du point de fonctionnement	25
2/ Circuits de mesure	27
a/ Les capteurs de tension et de courant	27
b/ L'amplificateur programmable	28
3/ Les interrupteurs	30
IV/ Etude de la carte numérique	30
1/ Adressage des interfaces	31
2/ Conversion analogique-Numérique	32
3/ Conversion Numérique-Analogique	34
4/ Circuit d'affichage et du clavier	34
a- Circuit d'affichage	34
b- Clavier	36
Chap 2 : Programmation	37
Introduction	37
I/ Configuration des PIA	37
II/ Programme principal	39
1- Gestion des afficheurs et du clavier	40
2- Système de mesure	42
a- Mesure du point de fonctionnement	42
b- Calcul de la puissance	44
c- Poursuite du P.P.M	45
d- Transcodage	46
3- Mesure des caractéristiques du panneau	46
IV / Mode d'emploi	47
V/ Conclusion	47
Conclusion générale	48
Annexe	49
1/ Liste des variables	50
2/ Liste des tables	51
3/ Liste des programmes	54
4/ Liste des sous-programmes	60
Bibliographie	

INTRODUCTION

La croissance de la demande énergétique dans le monde a largement stimulé la recherche de nouvelles sources d'énergie; et l'énergie solaire par son gisement énorme et durable est l'une des plus prometteuses.

La conversion directe de l'énergie solaire par l'exploitation de l'effet photovoltaïque (Becquerel 1839) en énergie électrique ne cesse de susciter intérêts et aspirations à des productions de plus en plus importantes, depuis qu'elle a fait preuve dans certaines utilisations et particulièrement dans les applications spatiales.

Toutefois, cette forme d'énergie demeure actuellement chère relativement aux autres sources concurrentes, ce qui impose l'optimalité dans la gestion de la puissance fournie par le champ photovoltaïque qui constitue la source d'énergie.

Dans la première partie de notre travail, nous effectuons une étude sur les constituants essentiels d'un champ photovoltaïque qui est un assemblage de générateurs photovoltaïques (le convertisseur d'énergie), les éléments de stockage et les circuits électroniques nécessaires, suivi d'un essai de réalisation d'une petite installation photovoltaïque.

Dans la deuxième partie nous étudierons la conception d'un appareil à microprocesseur pour la mesure des caractéristiques d'un panneau solaire, à savoir le courant de court-circuit, la tension à vide et la poursuite du point de puissance optimale qui sont des informations utiles à toute utilisation d'un panneau, vue sa sensibilité aux variations de la température et de l'éclairement.

PREMIERE PARTIE

Etude d'un système photovoltaïque

Chap 1 : **LES SYSTEMES PHOTOVOLTAIQUES**

I/INTRODUCTION

La demande en électricité est forte en moyenne et basse tension, et c'est dans cette gamme qu'on a recours à l'énergie solaire, et surtout en sites isolés, et ou vers lesquels le transport d'électricité s'avère plus onéreux, et d'autant que les centrales solaires sont plus avantageuses parce que la production de l'énergie peut se faire dans des unités indépendantes adaptées à l'utilisation et à l'emplacement.

De nombreuses installations photovoltaïques sont mises au point et conçues de façon à répondre aux besoins, selon la puissance que l'on désire. De telles installations peuvent être schématisées par le synoptique simplifié de la figure ci-dessous. [4, 5, 7]

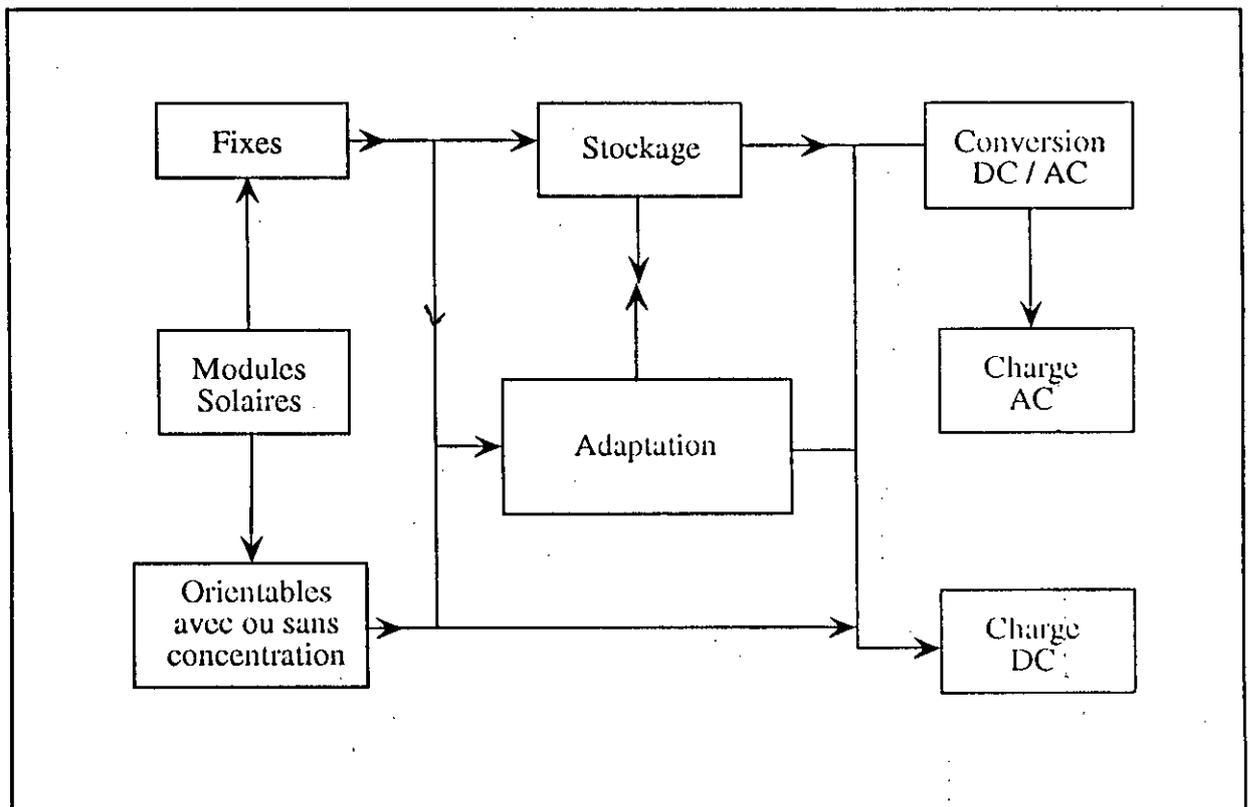


Fig. 1 - Structure d'un système photovoltaïque

Il comprend essentiellement le générateur photovoltaïque assurant la conversion de l'énergie lumineuse en électricité, des accumulateurs de batteries qui prennent la relève de source d'énergie en cas de non ensoleillement et les adaptateurs de charges correspondants à la nature des récepteurs à alimenter.

Pour des utilisations diurnes et en sites où l'ensoleillement moyen journalier et annuel est suffisant, le stockage n'est pas nécessaire et la structure du système devient celle qui apparaît en figure (fig. 2):

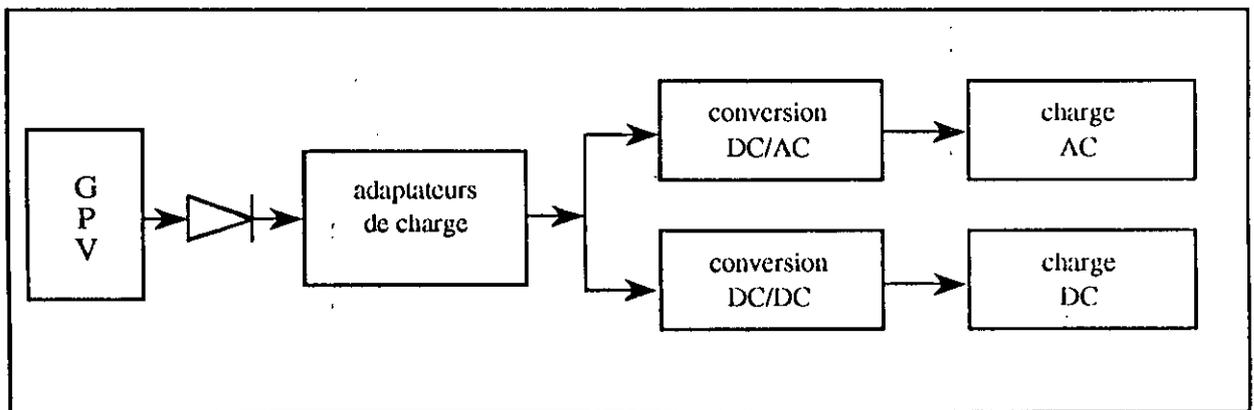


Fig. 2 - Système sans stockage

II/ LES GENERATEURS PHOTOVOLTAIQUES

L'élément de base d'un générateur photovoltaïque est la cellule solaire dite aussi "photopile". Elle est réalisée à base de matériaux semiconducteurs sous forme de jonction P-N à grande surface, et qui exploite l'effet photovoltaïque comme processus direct de conversion de lumière en électricité.

1/ Les photopiles au silicium :

a/ Constitution d'une photopile :

Elle est réalisée sur un substrat de silicium dopé (P), sur lequel on crée par diffusion une couche (N) très mince, environ 0,3 μm d'épaisseur, qu'on

expose à la lumière. On réalise ensuite sur ces couches les contacts ohmiques nécessaires de faible résistance (fig.3).

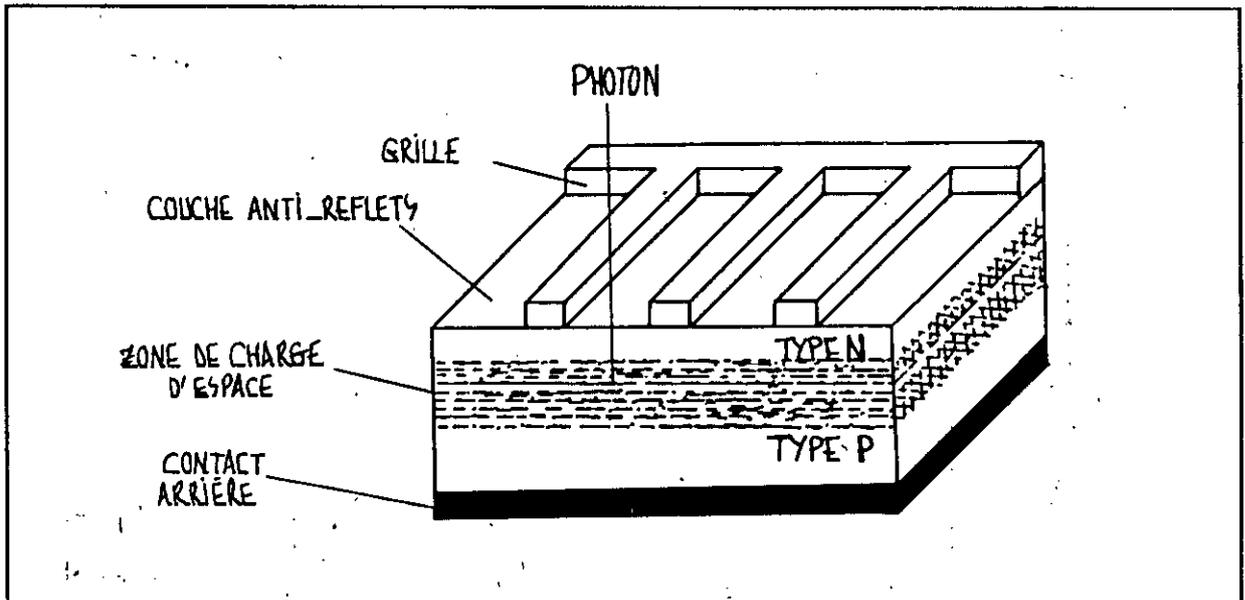


Fig. 3 - Constitution d'une cellule [4]

L'énergie d'un faisceaux lumineux incident sur la couche N, fait passer un électron de la bande de valence vers la bande de conduction, si son énergie est suffisante, ie si sa longueur d'onde est inférieure à la longueur seuil λ_s correspondant à l'énergie nécessaire pour la transition de la bande interdite ($\lambda_s = 1,1 \mu\text{m}$ pour le Si). Il en résultera la création de paires électron-trou qui donne naissance à la photoconduction.

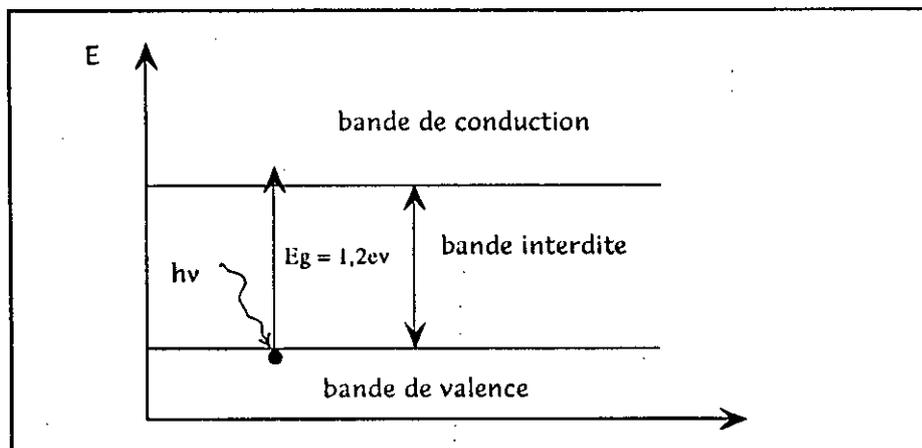


Fig. 4 - Bandes d'énergie du Si

Le rayonnement correspondant à λ_s , et pour lequel l'absorption est négligeable sera dissipé sous forme thermique dans les contacts arrières. La couche anti-reflets sert à améliorer la transmission de l'énergie lumineuse incidente.

b/ Schéma électrique équivalent

Une photopile est, électriquement, considérée comme une source de courant shuntée par une diode comme le montre la figure 5.

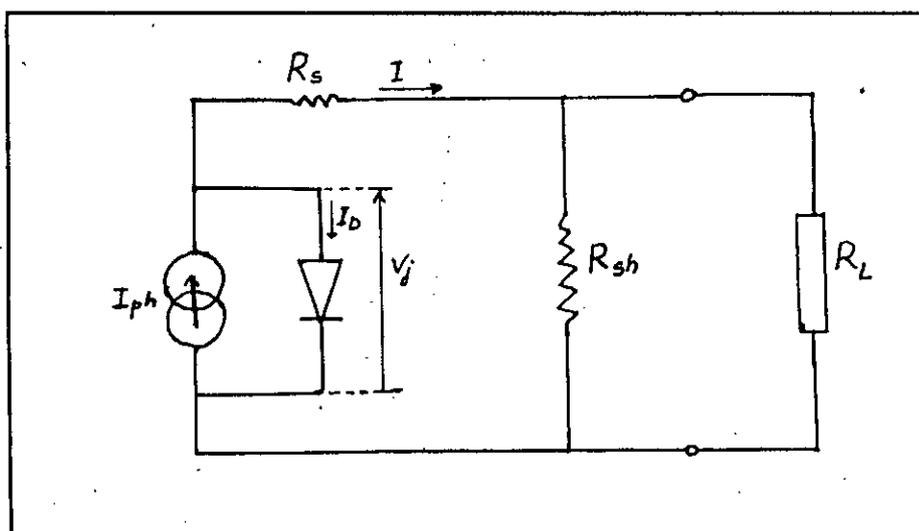


Fig. 5 - Schéma électrique équivalent

La source de courant fournit un courant I_{ph} qui est proportionnel au flux solaire incident ϕ et à la surface S de la cellule et est donné par l'expression :

$$I_{ph} = \alpha \cdot \phi \cdot S$$

Où α est un facteur de proportionnalité.

Le courant direct de la diode I_D (V_j) a pour expression :

$$I_D = I_s \left[\exp \left(\frac{e \cdot V_j}{n \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right]$$

- où n : est le coefficient d'idealité
- k : constante de Boltzman
- T : la température absolue

Donc le courant I de la photopile est :

$$I = I_{ph} - I_D.$$

La caractéristique courant-tension de la photopile (fig. 6) résulte de la superposition de celle du générateur de courant constant sous un éclairage donné et de celle de la diode à une température donnée.

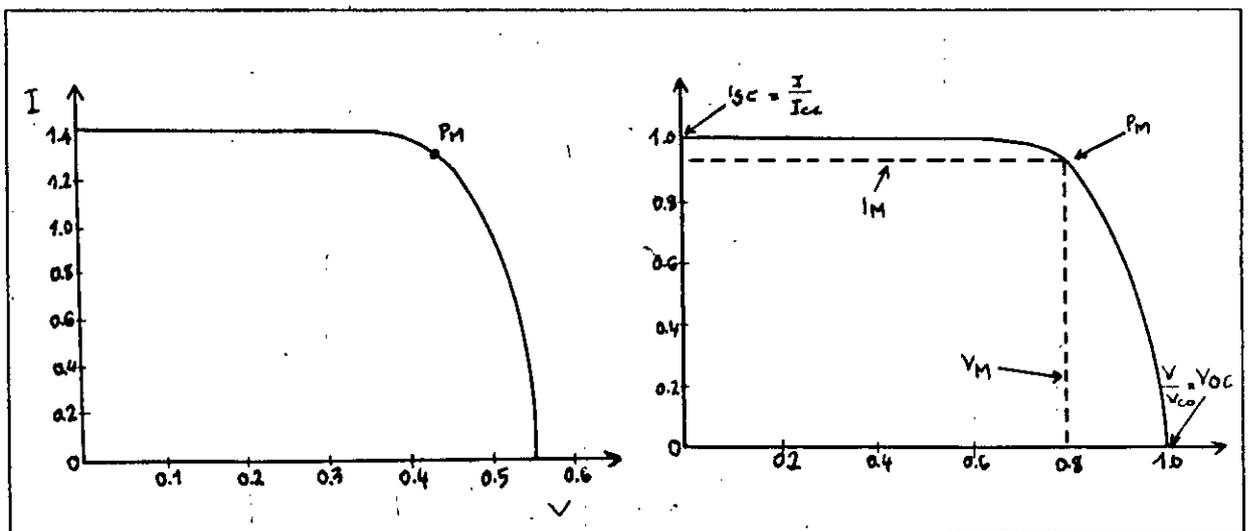


Fig. 6 - Caractéristiques courant - tension

La résistance série R_s est due aux contacts localisés aux surfaces de séparation semiconducteur-électrode et à la résistance interne du matériau. Elle influe négativement sur le rendement η de la cellule puisqu'elle est en série avec la charge R_L . Sa valeur ohmique augmente avec la température et diminue avec l'éclairage.

La résistance shunt R_{sh} est due aux effets de surface de la cellule.

2/ Les panneaux solaires

La puissance délivrée par une cellule est de quelques centaines de mW. Pour obtenir de fortes puissances, on procède à des groupements en série, en parallèle, ou mixte de cellules pour constituer des panneaux. [1, 2, 4, 6]

a/ Association de cellules

* Association série :

Quand on associe en série des photopiles, la tension obtenue est la somme des tensions unitaires V_m , et le courant prend la valeur la plus basse des courants unitaires. (fig. 7. a)

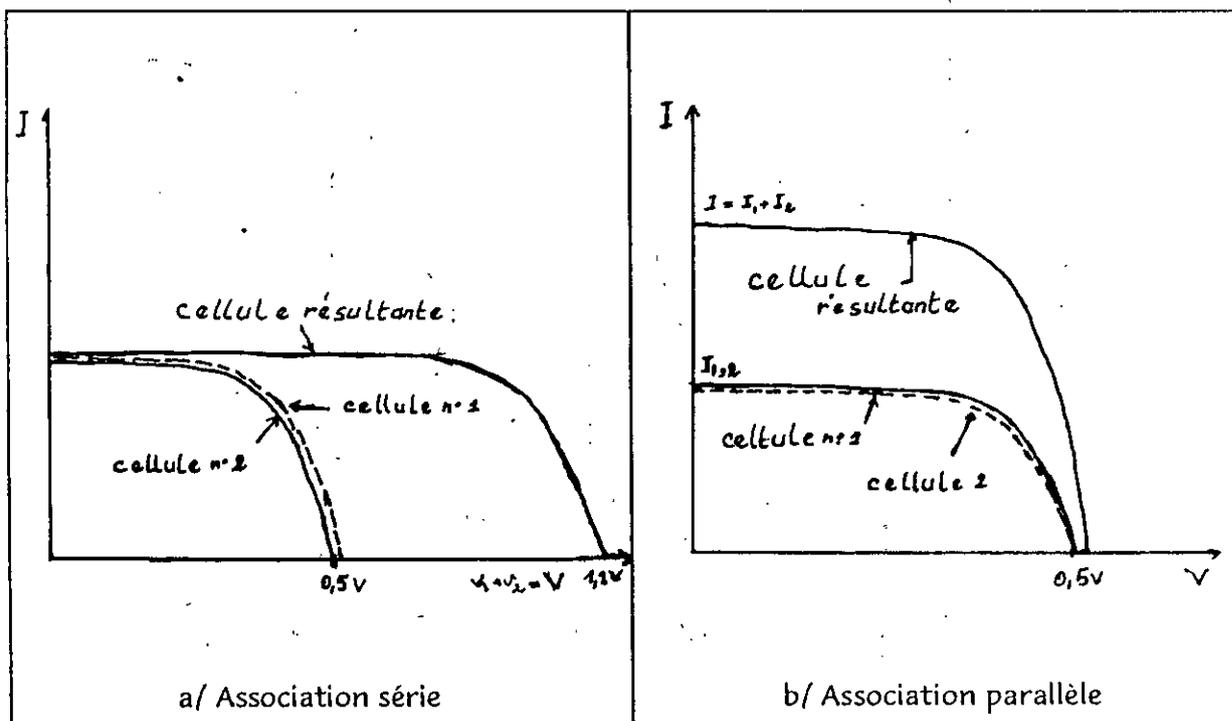


Fig. 7 - Association des cellules

* Association parallèle :

Dans ce cas, la tension obtenue est relativement la même, et le courant est la somme des courants unitaires I_m (fig. 7b).

b/ Protection des panneaux

Le raccordement électrique des modules entre eux et aux batteries nécessite une protection contre certaines détériorations. Elle se fait en général par l'adjonction de diodes (fig. 8).

- Diode anti-retour : elle protège contre la décharge des batteries aux travers des P.S en périodes de non ensoleillement, et contre la circulation de courant inverse dans la branche de plus faible puissance en cas de déséquilibre de puissance (fig. 8a).

- Diode by-pass : elle protège les cellules solaires contre les phénomènes d'échauffement destructifs d'un masquage accidentel d'une partie de module (ombre, salissure, ...) (fig. 8 b).

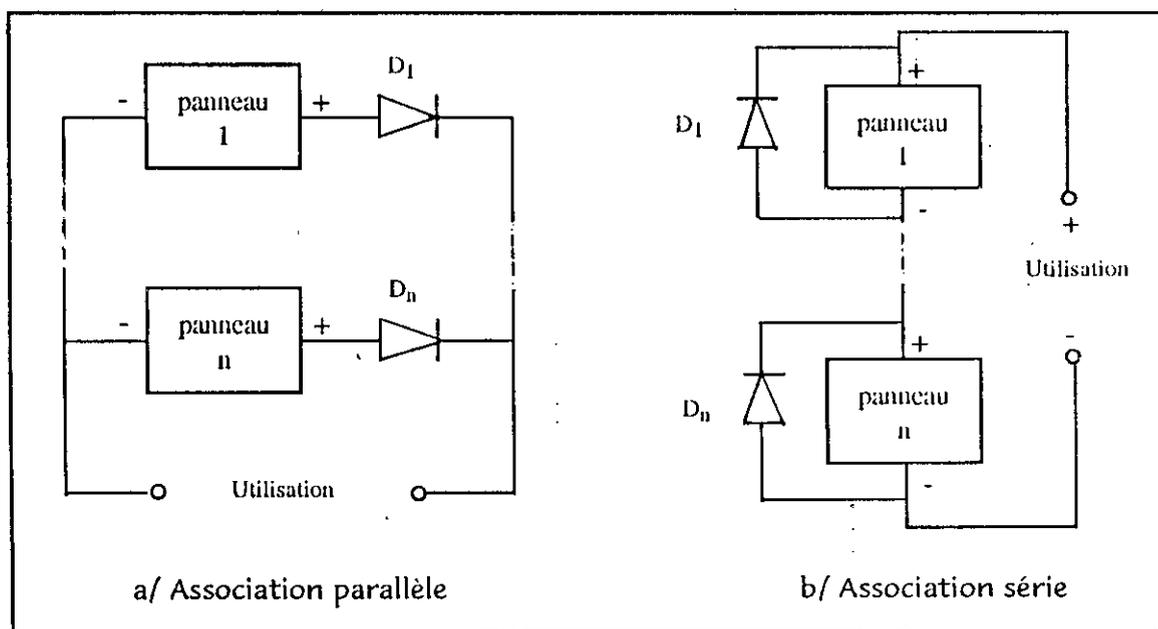


Fig. 8 - Protection des panneaux [4]

III/ LES BATTERIES D'ACCUMULATEUR

Les accumulateurs sont des systèmes capables d'emmagasiner de l'énergie électrique pendant la charge et la restituer durant la décharge. On cite par exemple les batteries alcalines utilisant des électrodes de fer et de nickel et les batteries acides utilisant des électrodes au plomb. Ces dernières sont les plus courantes et moins onéreuses.

Une batterie "de système photovoltaïque" est choisie pour avoir des performances de batterie de traction parce qu'on lui demande un cycle de décharge pas toujours suivi d'une recharge et celles de batterie stationnaire pour stocker l'énergie et la restituer en cas de non ensoleillement.

Une batterie est caractérisée par sa tension et par sa capacité en watt-heures ou en Ampères-heures [4, 6]. La capacité est proportionnelle à la quantité de matière mise en jeu dans les réactions chimiques. Elle varie avec la température et principalement avec les régimes de charge et de décharge.

1/ Décharge :

Le nombre de cycles charge-décharge d'un accumulateur, c'est-à-dire sa durée de vie, dépend de la profondeur de sa décharge. En effet, la tension de la batterie diminue au cours d'une décharge comme le montre la figure 9 pour un élément de Fulmen.

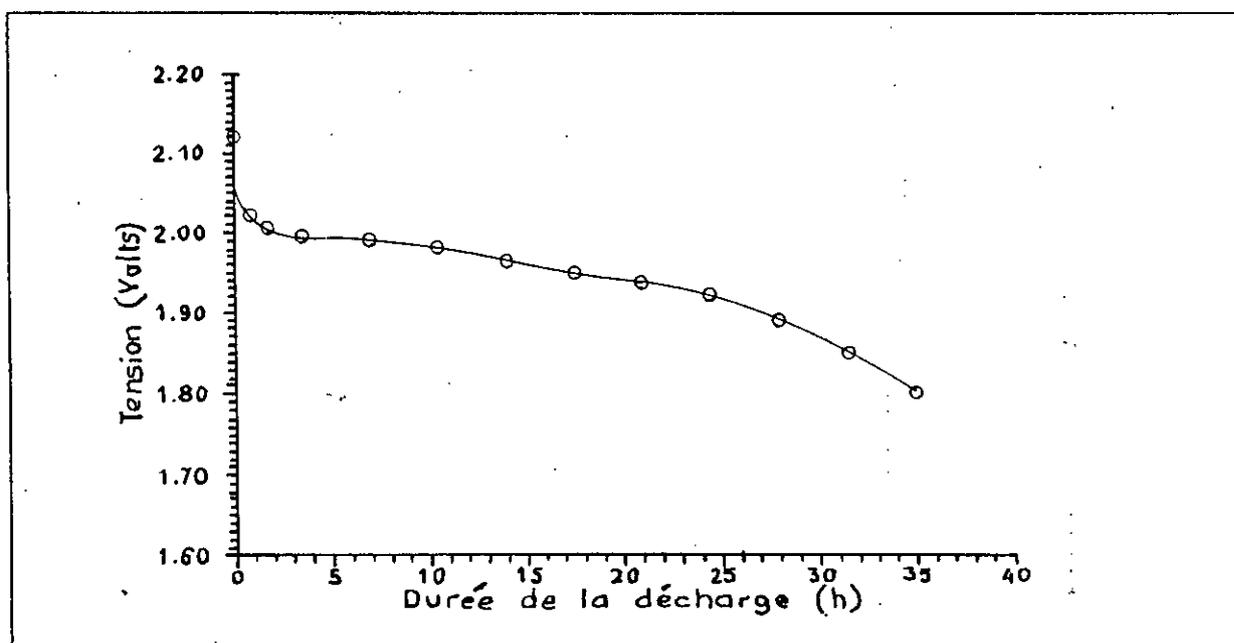


Fig. 9 - Décharge d'un accumulateur au plomb [4]

Et une décharge très poussée induit une corrosion électrochimique (sulfatation); c'est pourquoi on introduit une tension d'arrêt de décharge V_{ard} à laquelle on déconnecte la batterie de l'utilisation jusqu'à la nouvelle recharge.

2/ Charge de batterie :

Lors de la recharge d'une batterie, il faut lui fournir plus d'A-H qu'elle n'en a débité. La charge à tension constante est la plus utilisée des méthodes de charge. Dans ce cas, la batterie est reliée à une source DC

dont la tension est constante, le courant initial peut être élevé, mais il diminue rapidement (fig. 10) selon la loi :

$$I = A e^{-t}$$

où A : est la charge manquante.

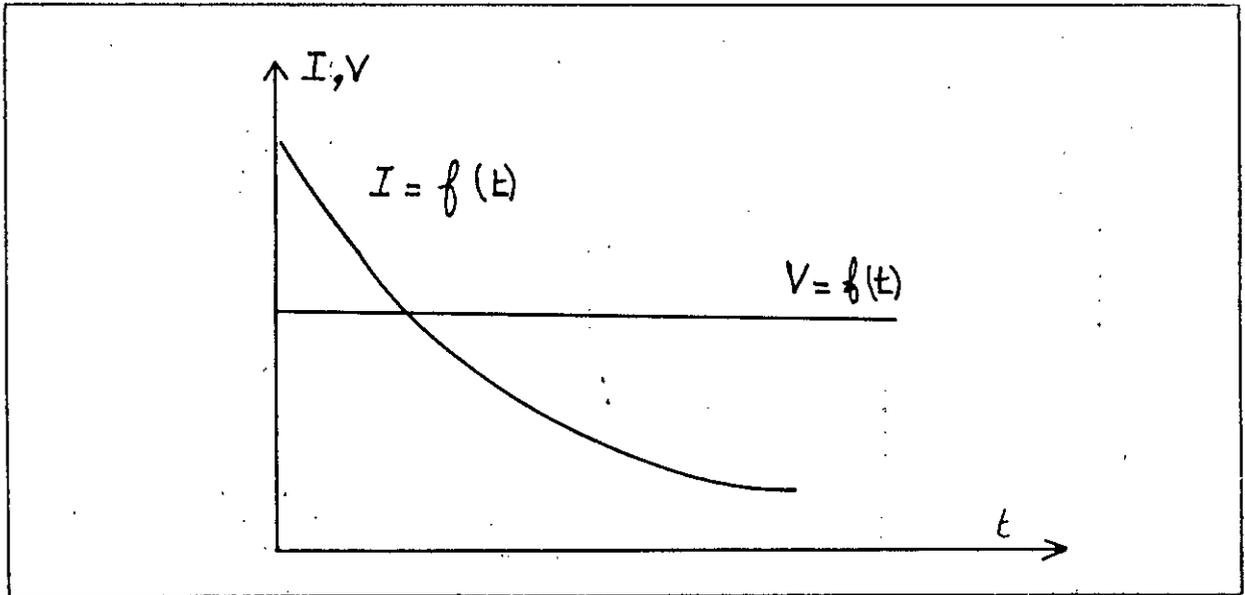


Fig. 10 - Charge à tension constante [6]

La tension de la batterie augmente et dépasse sa valeur nominale, c'est pour cela on introduit aussi une tension d'arrêt de charge V_{arc} à laquelle le chargeur doit s'arrêter, sinon on aura un dégazage et une détérioration est à craindre.

Il est indispensable d'inclure dans les systèmes photovoltaïques qui nécessitent des accumulateurs un contrôleur de gestion de charge-décharge, pour parer à ces inconvénients de sulfatation et dégazage (fig.11) et qui consiste à commuter le transfert d'énergie : panneau-batterie et batterie-récepteur, et imposer un fonctionnement dans la gamme $V_{ard} - V_{arc}$.

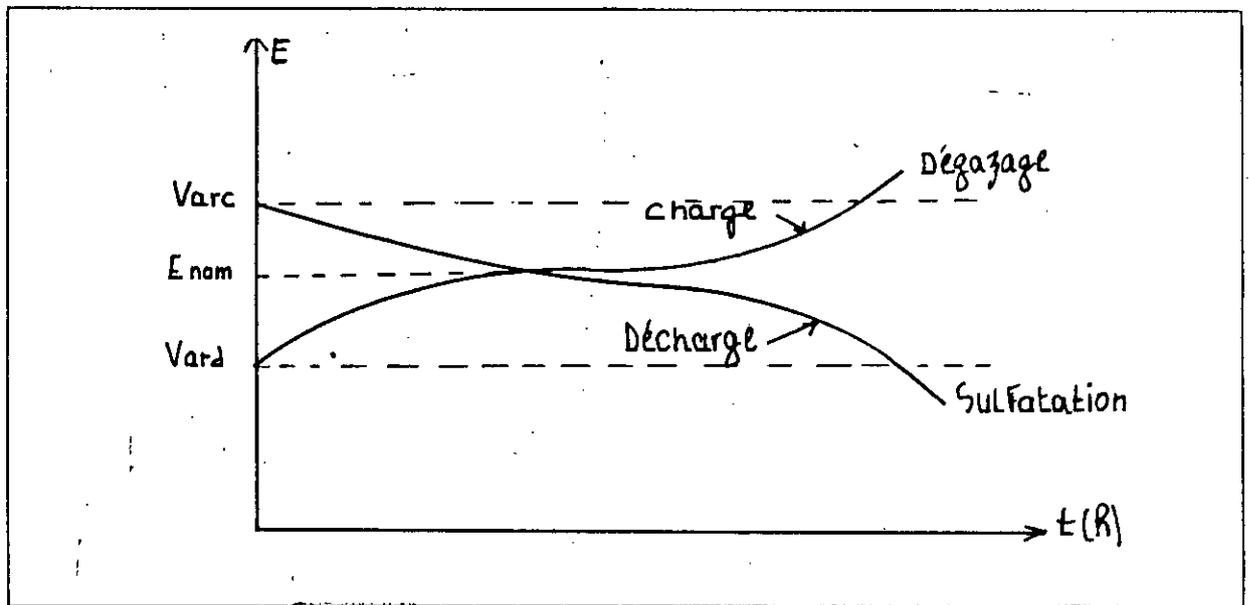


Fig. 11 - Charge et décharge

IV/ LES RECEPTEURS ET LES CIRCUITS D'ADAPTATION

1/ Les récepteurs :

Les charges électriques se classent en deux types : les charges continues (DC) et les charges alternatives (AC). Chacune de ces charges est caractérisée par des grandeurs énergétiques (tension, courant, puissance) nominales de fonctionnement, et aussi par la fréquence de travail pour les charges alternatives.

2/ Chargement d'un panneau (G.P.V)

Pour une charge résistive R_c branchée aux bornes du P.S, la tension délivrée est : $V_c = R_c I_c$, et la puissance électrique est : $P_c = V_c \cdot I_c = R_c \cdot I_c^2$.

La caractéristique puissance-tension est représentée à la figure 12 a.

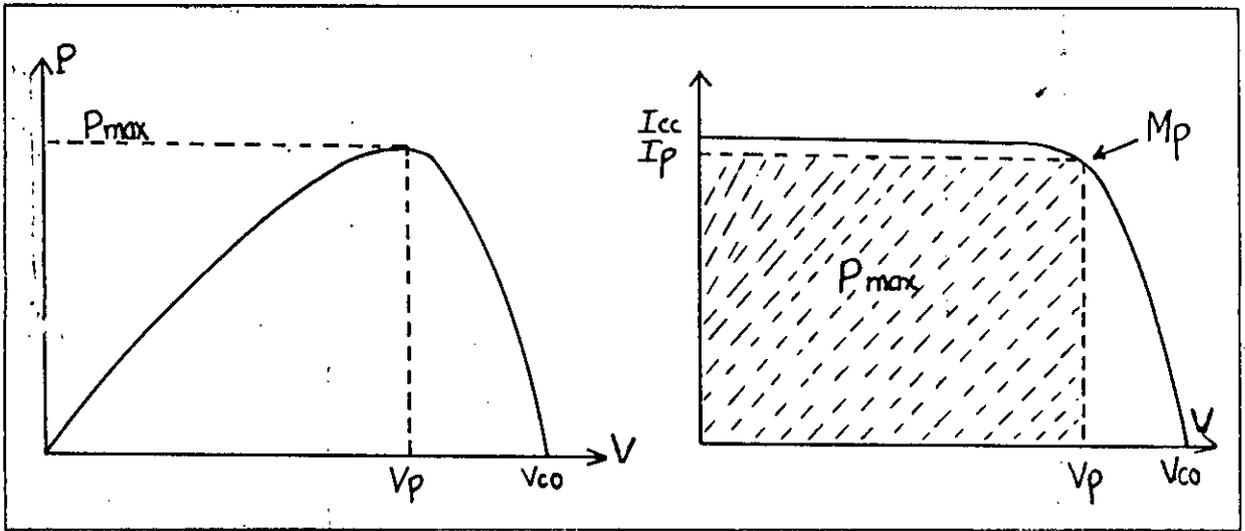


Fig. 12 - Caractéristiques puissance tension

La puissance délivrée par la panneau est maximale pour un point de fonctionnement $M_p (V_p, I_p)$, donc pour une charge R_p [1, 2].

La position de ce point dépend essentiellement de l'éclairement et de la température. Il arrive souvent que ces paramètres changent dans le temps, ce qui donne un déséquilibre entre la puissance fournie et celle utile à la charge R_c (fig. 13).

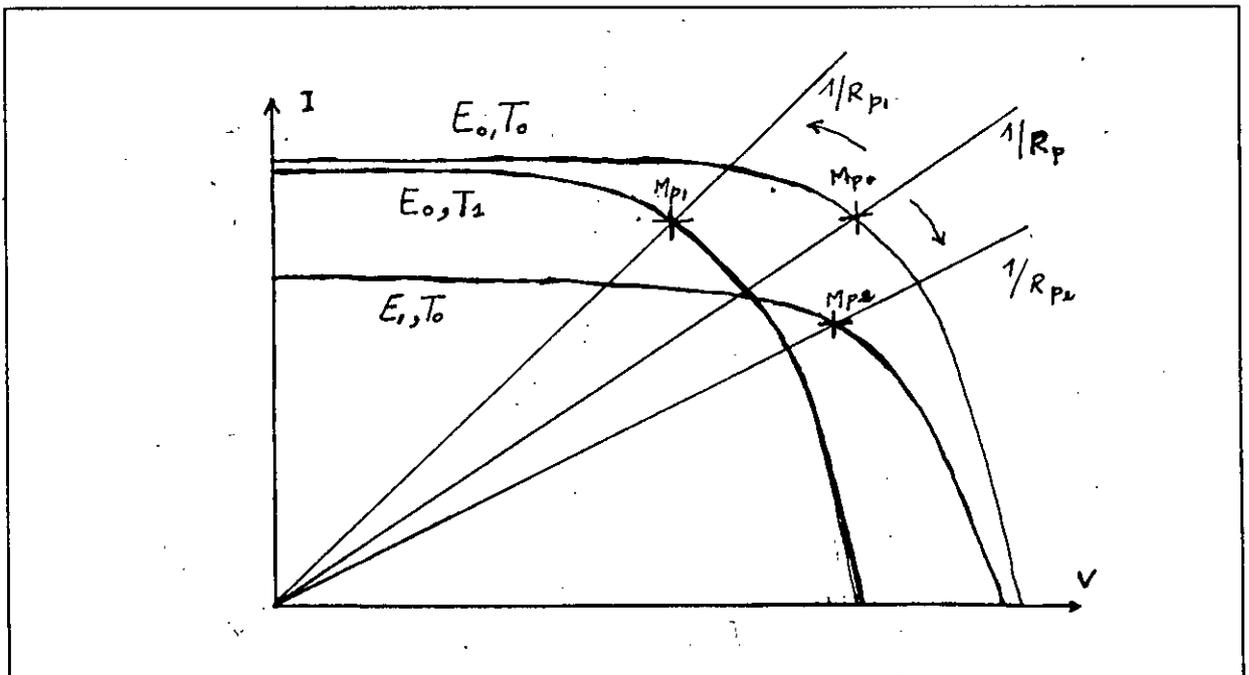


Fig. 13 - Variations du point de puissance optimale

3/ Adaptateur de charge :

Pour coupler convenablement les panneaux à la charge, on intercale entre eux des circuits adaptateurs, qui réalisent et la mise en forme de grandeurs de sortie, et le transfert optimal de l'énergie en assurant continuellement une bonne adaptation d'impédance. Ceci se fait en ramenant la résistance vue par le G.P.V à la valeur optimal R_p , obtenue des circonstances d'éclairement et de température, à chaque déséquilibre photovoltaïque (fig. 13).

Et pour les charges alternatives, il faudrait encore la conversion continue-alternative, car l'énergie des panneaux étant continue. Toutes fois la réalisation de ces circuits doit être bien soignée.

Les convertisseurs du type à découpage sont les mieux indiqués pour l'alimentation de récepteurs DC et l'interfaçage des onduleurs de charges AC en raison de leurs bons rendements (70 à 90%).

4/ Convertisseur DC - DC

Le schéma simplifié du régulateur à découpage abaisseur de tension est représenté à la figure 14. Il comprend un interrupteur K fonctionnant en commutation forcée, qui établit et coupe périodiquement la connexion entre la source et la charge, suivi d'un filtre LC, et une diode DRL qui écoule le courant I_L et permet à l'inductance de verser l'énergie, emmagasinée durant la fermeture de K, dans la charge lors de l'ouverture de l'interrupteur.

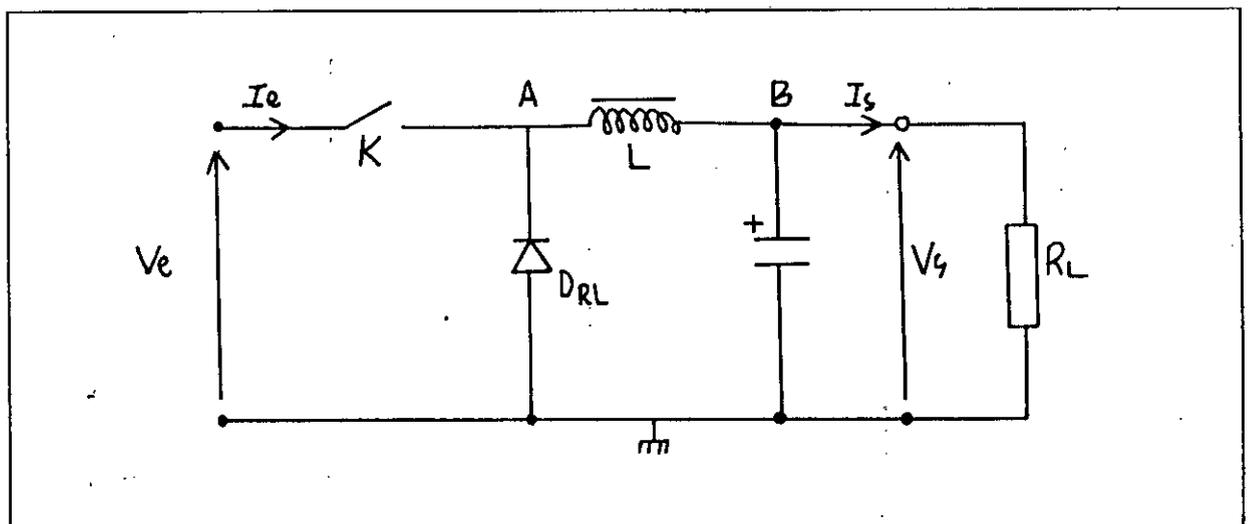


Fig. 14 - Convertisseur dévolteur

Si on néglige les pertes d'énergie qui sont dues à la conduction ($V_{ce\ sat} \neq 0$) et aux instants de commutation (phénomène d'empiètement) et aussi aux résistances séries de l'inductance et du condensateur, on pourrait dire qu'il y a conservation d'énergie entre l'entrée et la sortie (les éléments étant passifs et sans pertes).

$$P_e = P_s$$

$$V_e \cdot I_e = V_s I_s \quad (1)$$

Le condensateur C fait la moyenne de la tension hachée V_A , et on a :

$$V_s = \frac{t_c}{T} V_e = \alpha V_e \quad (2)$$

où α est le rapport cyclique.

Le générateur voit une charge :

$$R_e = \frac{V_e}{I_e} = \frac{V_s}{\alpha} \cdot \frac{1}{\alpha I_s} = \frac{1}{\alpha^2} \cdot \frac{V_s}{I_s}$$

$$R_e = \frac{1}{\alpha^2} R_L$$

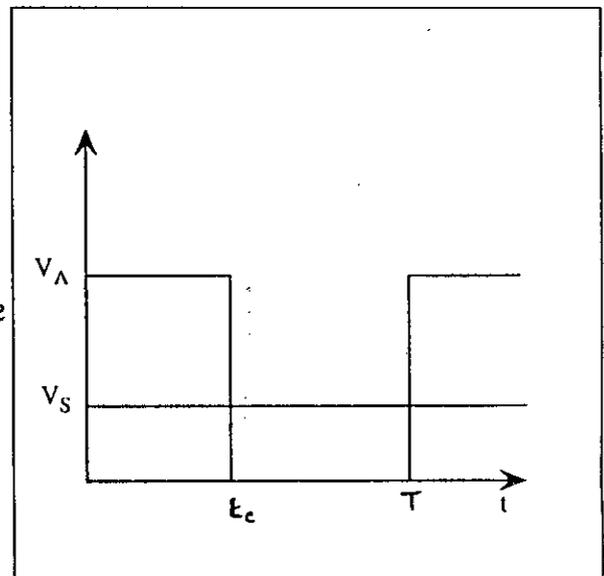


Fig. 15 -

La commande de α permet d'agir sur la charge vue par le générateur et de l'asservir à la valeur de charge optimale du panneau. Donc ce circuit réalise bien la fonction d'adaptateur de charge à de faibles pertes près.

Chap 2 : **SYSTÈME MINIMAL PHOTOVOLTAÏQUE**

I/ INTRODUCTION :

Après les exposés précédents, et pour mieux fixer les idées, on a essayé de concevoir un système minimal pour l'alimentation d'un récepteur DC de 30W sous une tension de 12V. On avait choisi la structure suivante (Fig.1) dont on développera les différents blocs.

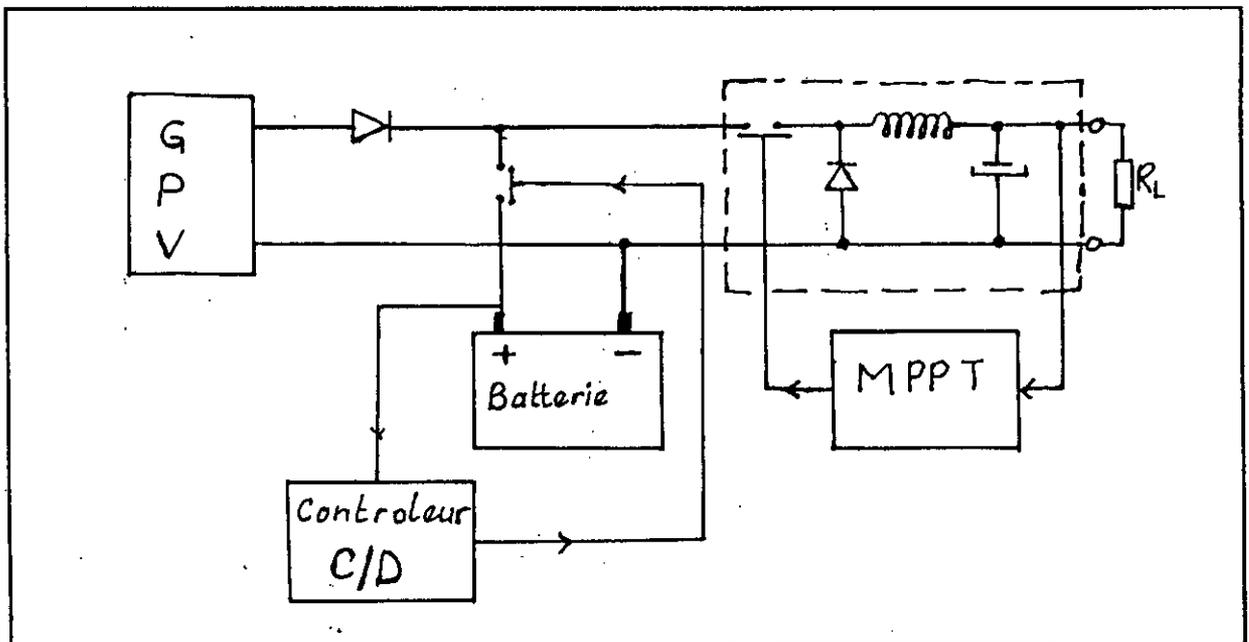


Fig. 1 - Structure proposée

II - L'ADAPTATEUR DE CHARGE :

Il comprend le convertisseur DC - DC abaisseur de tension dont la fréquence de découpage est commandée par le circuit modulateur de largeur d'impulsion asservie par une tension de contre - réaction.

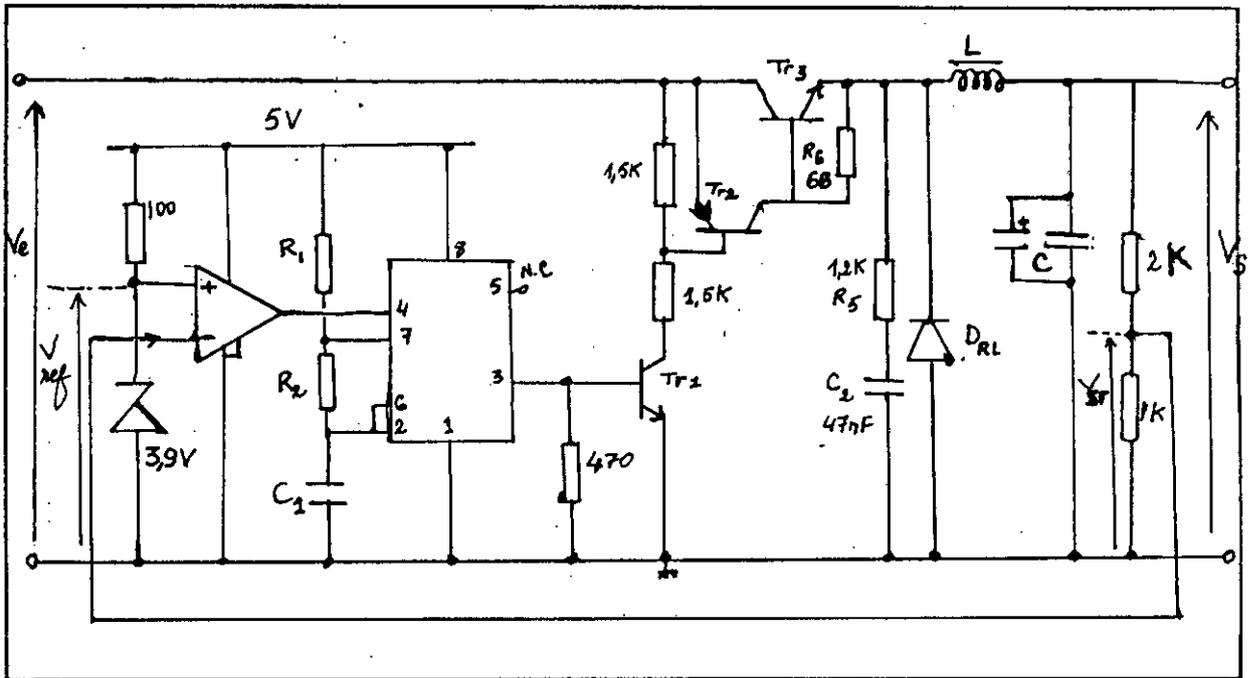


Fig 2 - Adaptateur de charge

1/ Convertisseur DC - DC

Ce convertisseur fonctionne en abaisseur de tension, selon le principe déjà vu (fig.14) , par le hachage de la tension d'entrée.

a/ Fonctionnement :

Lorsque le transistor conduit, la tension $V_e - V_s$ est appliquée aux bornes de l'inductance L.

$$\text{et on a : } -\frac{d I_L}{dt} = \frac{V_e - V_s}{L}$$

I_L croit linéairement suivant la loi :

$$I_L = \frac{V_e - V_s}{L} t + I_{\min}$$

$$\text{à } t = t_{\text{on}} \text{ , } I_L = I_{\max}$$

Et quand le transistor se bloque, le potentiel au point A chute au voisinage de 0.

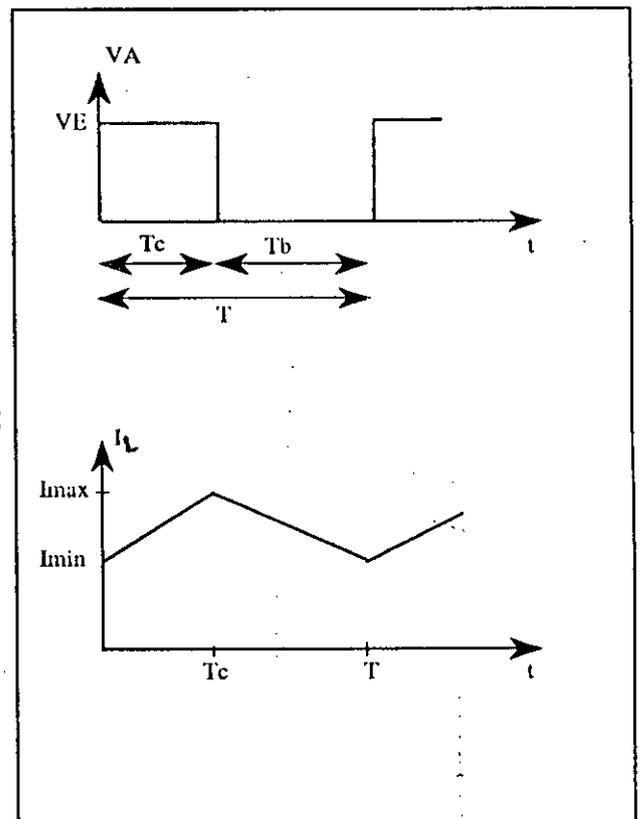


Fig. 3

La tension V_L devient $-V_s$, l'énergie emmagasinée est restituée à la charge, par la diode D_{RL} , avec un courant décroissant :

$$I_L = I_{max} - \frac{V_s}{L} (t - t_{on})$$

$$\text{à } t = T, I_L = I_{min}$$

Dans le cas d'une conduction continue, le courant moyen est :

$$I_{moy} = I_s = \frac{(I_{max} - I_{min}) T_c}{2 T} + \frac{(I_{max} - I_{min}) T_b}{2 T} + I_{min}$$

$$\rightarrow I_s = \frac{I_{max} + I_{min}}{2}$$

Le courant d'ondulation est :

$$\Delta I = I_{max} - I_{min} = \frac{(V_e - V_s) T_c}{L}$$

$$\Delta I = \frac{(V_e - V_s) V_s}{L.F.V_e}$$

b/ Les éléments du convertisseur :

- L'étage de puissance est constitué de deux transistors TR_2 et TR_3 montés en "super follower". Le transistor TR_3 du type 2N3055, choisi par son courant $I_{C_{sat}} > I_L \text{ max}$ qui le traverse et sa tension $V_{ceo} > V_e$, est commandé par son courant de base fourni par le collecteur du driver TR_2 du type 2N2905. Cet étage est commandé par TR_1 , qui est un inverseur et amplificateur pour les impulsions qu'il reçoit du M.R.C.

- Calcul du filtre :

L'ondulation du courant ΔI dans l'inductance est inversement proportionnelle à sa valeur. Elle est donnée empiriquement de 10 à 20%.

$$L = \frac{T_c (V_e - V_s)}{\Delta I_L} \quad ; \quad T_e = \frac{1}{F} \frac{V_s}{V_e}$$

$$V_e = 20V \quad ; \quad V_s = 12V \quad ; \quad F = 30 \text{ kHz} \quad ; \quad \Delta I_L = 0,5 \text{ A.}$$

$$\rightarrow L = 320 \mu H$$

Le condensateur de filtrage doit être plus grand que sa valeur à la fréquence de coupure. On le choisit de $470 \mu\text{F} / 16\text{V}$.

- Le choix de la diode de récupération se fait en fonction de ses valeurs nominales de courant I_F et de tension inverse V_{RRM} qui doivent être supérieurs à $I_{D\text{max}} = I_{\text{max}}$ et V_e .

- Le réseau R_5C_2 connecté en parallèle avec la diode a pour rôle de supprimer les oscillations dues aux capacités parasites.

2 / Modulateur du rapport cyclique :

Il est constitué du NE555 monté en multivibrateur et du comparateur qui agit sur le reset du timer pour varier la largeur d'impulsion selon la valeur prélevée V_{sr} de la tension de sortie relativement à celle de référence V_{ref} .

En effet, le signal de sortie du timer (Fig.4.a) a une période T et un temps de conduction T_c , imposés par le réseau R_1, R_2 , et C_1 , donnés par les relations :

$$T = (R_1 + 2R_2) C_1 \ln 2$$

$$T = 33,33 \mu\text{s}$$

$$T_c = (R_1 + R_2) C_1 \ln 2$$

$$T_c = 31 \mu\text{s}$$

Donc le rapport cyclique max est :

$$\alpha = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2R_2} = 0,93$$

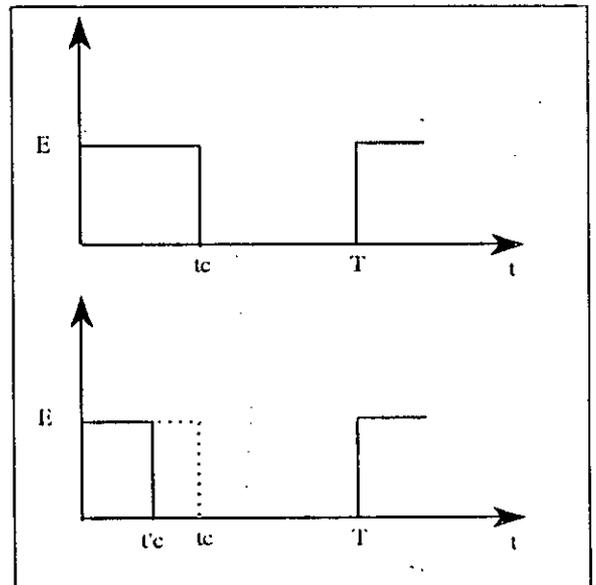


Fig. 4 - Signaux de sortie du timer

Quand le transistor TR_3 conduit, la tension de sortie V_s augmente et lorsqu'elle dépasse légèrement le seuil de 12V , le comparateur se met à zéro, ce qui remet aussi la sortie du timer à 0 avant t_c (à $t'_c < t_c$) (fig. 4b) et bloque le TR_3 . Et inversement, V_s diminue et le comparateur passe à l'état haut pour permettre la conduction au prochain cycle.

III - LE CONTRÔLEUR DE CHARGE ET DÉCHARGE :

Il est important de contrôler la charge et la décharge d'une batterie pour lui assurer la longévité. Et ceci, en lui imposant un intervalle de fonctionnement limité par les tensions de références V_{arc} (tension d'arrêt de charge) et V_{ard} (tension d'arrêt de décharge).

Dans notre cas, la batterie de 12V est reliée directement aux bornes du G.P.V. par conséquent, c'est - elle qui lui impose le point de fonctionnement lors de la charge. En décharge, le G.P.V ne fonctionne pas étant que sa puissance est inférieure à celle de la batterie.

Le circuit de la figure 5 consiste à comparer la tension de la batterie V_{Bat} aux tension de références ($V_{arc} = 14,1V$ et $V_{ard} = 10,8V$), et commander le relais à travers un amplificateur de courant, à partir de la porte "Et" constituée par les D_1 et D_2 et de la résistance de pull - up.

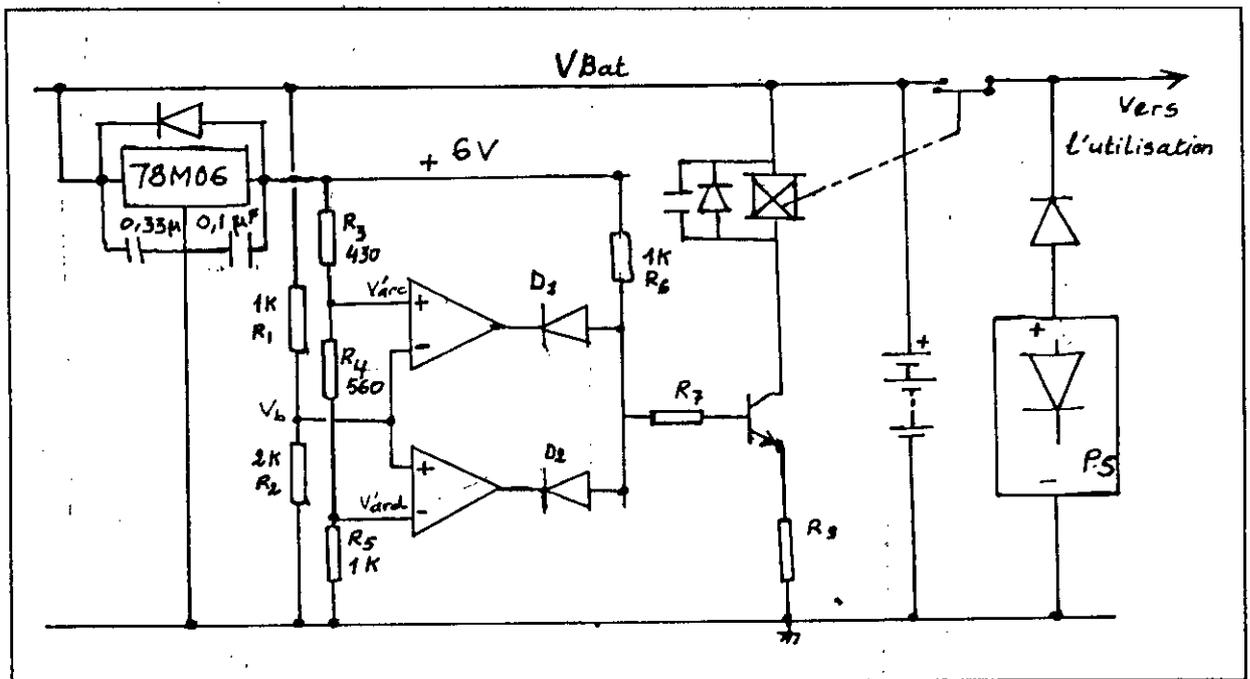


Fig. 5 - Contrôleur de charge-décharge

Le circuit fonctionne en comparateur à fenêtre. Les tensions de référence V_{ard} et V_{arc} sont obtenues par le pont diviseur de la tension réglée $V_r = 6 V$.

$$V'_{arc} = \frac{R_4 + R_5}{R_3 + R_4 + R_5} \cdot V_r = 4,7 V$$

$$V'_{\text{ard}} = \frac{R_5}{R_3 + R_4 + R_5} \cdot V_r = 3,6 \text{ V}$$

$$V_b = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{\text{Bat}} = \frac{V_{\text{Bat}}}{3} \text{ V}$$

Le relais commandé par le transistor M du type 2N2222 se bloque pour $V_b > 14,1 \text{ V}$ et $V_b < 10,8 \text{ V}$, et se ferme pour $10,8 \text{ V} < V_b < 14,1 \text{ V}$ ce qui permet la charge ou la décharge de la batterie.

IV- DIMENSIONNEMENT DES ÉLÉMENTS D'ÉNERGIE :

Parmi les divers facteurs qui rentrent dans le dimensionnement d'une centrale électrosolaire pour assurer un fonctionnement assez fiable, aussi bien ceux liés aux éléments de source d'énergie (panneaux, batteries) que ceux des circuits qui interviennent, on se limitera au cas d'une utilisation domestique pour citer les critères suivants :

- La consommation journalière,
- Le rendement énergétique des panneaux, car l'intensité du rayonnement dépend du lieu géographique et du climat,
- La profondeur maximale de décharge,
- L'autonomie désirée en cas de non ensoleillement,
- et évidemment le coût qui exige qu'il soit toujours revu à la baisse.

Le récepteur de 30 W que nous voulons alimenter fonctionne 8 heures pendant la nuit. L'énergie quotidienne consommée à l'entrée du convertisseur, de 80% de rendement est :

$$W_c = \frac{30 \cdot 8}{0,8} = 300 \text{ W.H.}$$

et une quantité d'électricité de 25 A.H / j.

a/ batterie :

pour une autonomie d'au moins deux jours et une profondeur de décharge de 40 %. La batterie doit avoir une capacité

$$C \geq = \frac{25 \cdot 2 \cdot 100}{40} = 125 \text{ AH}$$

b/ Panneaux solaires :

Sachant que l'éclairement moyen sur le site est d'environ $E = 5,3$ KWh/m² par jour. L'énergie quotidienne convertie $W_p = E \cdot \eta_p \cdot S$ doit être supérieure à W_c / η_b

où η_p : est le rendement de conversion d'énergie.

η_b : est le rendement de la batterie.

S : est la surface des panneaux.

Donc la surface nécessaire pour la collecte de W_p est :

$$S \geq \frac{W_c}{E \cdot \eta_p \cdot \eta_b} = \frac{300}{5300 \cdot 0,1 \cdot 0,9} = 0,628 \text{ m}^2$$

Le panneau d'ARCO-SOLAR à utiliser a une surface $S_0 = 0,367 \text{ m}^2$, est choisi pour :

- sa tension type de 21 V à la température ambiante $T = 25^\circ\text{C}$,
- et son courant type de 2,5A sous un éclairement de 800 W/m².

Et le nombre de panneaux nécessaires est $n = S/S_0$ soit deux panneaux. Ils seront montés suivant le schéma de la figure I. 8a.

V- CONCLUSION :

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque constitue une solution pour remplacer d'autres sources énergétiques, cependant elle présente des effets défavorables qui limitent ses applications, à savoir que :

- Le rendement de conversion des générateurs demeure encore faible ce qui nécessite le recours à des équipements importants, étant que la puissance produite dépend de leurs surfaces.

- Le rayonnement solaire est variable et discontinue, ce qui pose des problèmes de dimensionnement des systèmes photovoltaïques notamment les G.P.V et les accumulateurs de batterie.

- La garantie du bon fonctionnement des installations exige le recours à un surdimensionnement et surtout pour les systèmes de stockage puisque le comportement de l'énergie solaire est aléatoire.

L'utilisation de l'énergie photovoltaïque exige des précautions particulières pour la protection des générateurs et des éléments de stockage, qui constitue la partie la plus coûteuse d'une installation, d'éventuelles détériorations d'une part, et pour le soin de réalisation de circuits intervenant pour minimiser au mieux les pertes énergétiques d'autre part.

Dans notre application, on ne peut laisser passer inaperçu le fait qu'on a ignoré le facteur de température, qui influe négativement sur les accumulateurs, pour simplifier les éléments du contrôleur; car en fait il fallait contrôler plutôt la quantité de charge électrique emmagasinée ou débitée.

Le convertisseur DC/DC permet d'extraire à partir du panneau le maximum d'énergie qu'il produit et le juste nécessaire à la charge, et du fait, il constitue par son rôle une solution, du moins partielle pour la poursuite de la puissance optimale.

Dans une installation à multi-charges, il semble intéressant d'introduire un contrôleur de gestion d'énergie pour ^{une} meilleure utilisation. Ceci devrait permettre la poursuite du point de puissance optimale, d'adapter et d'asservir le fonctionnement des charges par leur mise en marche ou leur arrêt ou simplement aiguiller l'énergie sur les récepteurs suivant un ordre de priorité ou leurs états.

DEUXIEME PARTIE

**Conception d'un appareil de
mesure des caractéristiques d'un
panneau solaire**

Chap 1 : **ETUDE DES ELEMENTS DE L'APPAREIL**

I/ INTRODUCTION

On a vu précédemment que la puissance délivrée par un générateur photovoltaïque varie avec l'éclairement, la température, le vieillissement, ... etc, et que sa quantité dépend de la surface des panneaux (le nombre) constituant ce générateur. Par conséquent, lorsqu'on désire utiliser ces générateurs on doit veiller sur leur bon fonctionnement et sur l'optimisation de leur nombre (coût). Ainsi, il est important dans ces circonstances de tenir compte des principales caractéristiques du panneau solaire à savoir :

- le courant de court-circuit I_{cc} ,
- la tension à vide V_{co} ,
- la puissance maximale P_{opt} que peut produire le P.S, et correspondante à une charge optimale R_p ,
- la tension optimale V_{opt} ,
- et le courant optimum I_{opt} .

On a conçu à cet effet un appareil permettant de mesurer ces caractéristiques constitué d'une carte analogique et d'une autre numérique (à microprocesseur) comme le montre le schéma synoptique de la figure 1.

II/ DESCRIPTION DU SCHÉMA SYNOPTIQUE :

1/ La carte analogique :

Elle comprend :

- Un système d'asservissement du point de fonctionnement d'une charge électronique variable qui permet de balayer toute la caractéristique du panneau. La valeur ohmique de cette charge est assujétie par un bloc d'asservissement commandé par la consigne V_c .

- Des circuits de mesure formés par des capteurs de tension et de courant, du multiplexeur analogique qui choisit la variable (tension ou courant) à mesurer selon la commande I/V et ainsi de l'amplificateur de gain programmable qui attaque le convertisseur A-N.

2/ La carte numérique :

Elle est bâtie autour du microprocesseur 6802 et comprend la mémoire, où sont logées les instructions des séquences de mesure, et les interfaces assurant l'acquisition de données et la commande du bloc d'asservissement, du multiplexeur, des gains de l'ampli programmable et ainsi celles du clavier et des afficheurs. Les circuits de conversion A-N et N-A sont aussi implantés dans cette carte pour minimiser le nombre de fils reliant ces deux cartes.

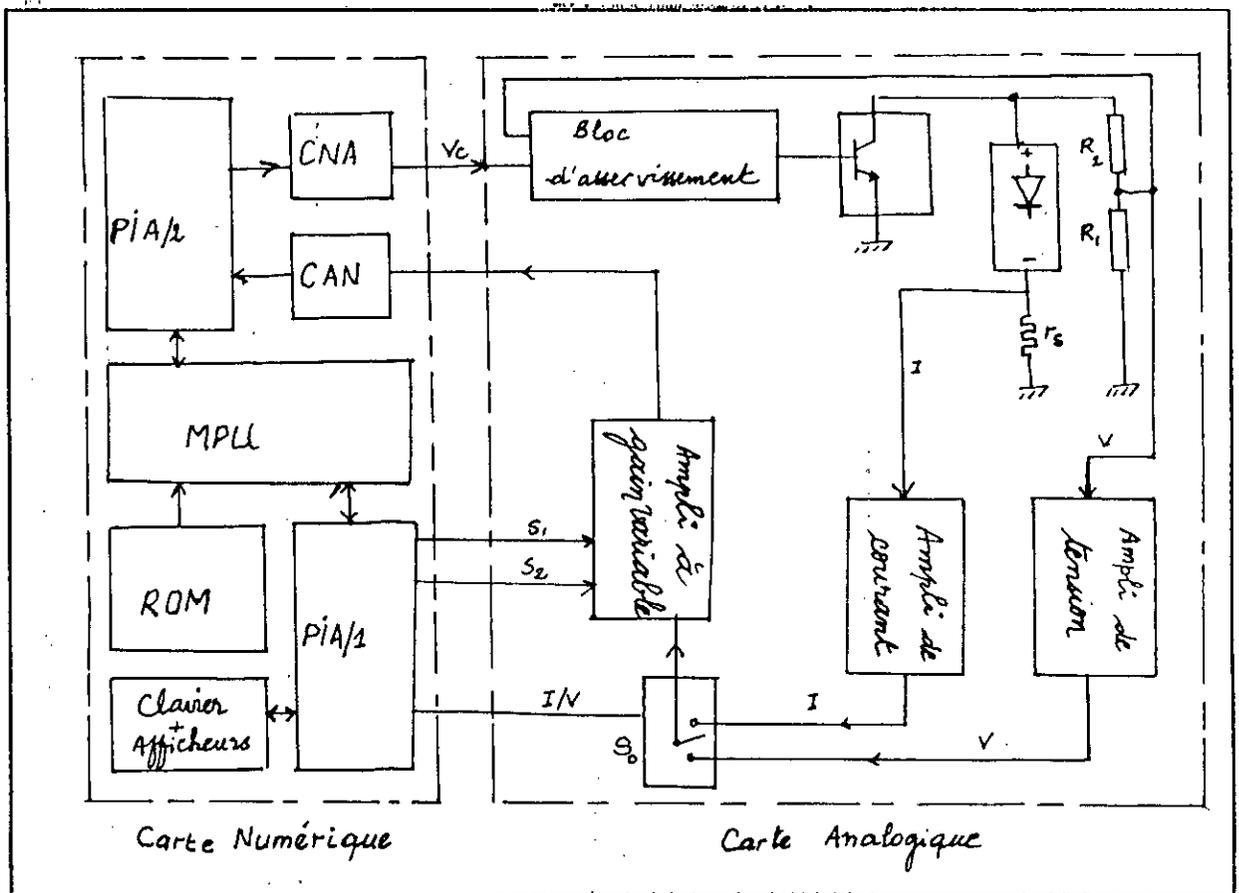


Fig. 1 - Schéma synoptique de l'appareil

III/ ETUDE DE LA CARTE ANALOGIQUE

1/ Détermination du point de fonctionnement

a/ Shunt :

Le shunt est constitué de la résistance apparente du transistor de puissance du type 2N3055, sur lequel est monté un radiateur capable de dissiper l'énergie maximale que peut produire l'effet Joule, dont la valeur ohmique est commandable par son courant de base I_b (fig. 2).

Le transistor a son courant collecteur $I_c = I_{ps}$ fonction linéaire de I_b , et sa tension $V_{ce} = V_{ps}$, ceci en négligeant la chute de tension dans la résistance r_s .

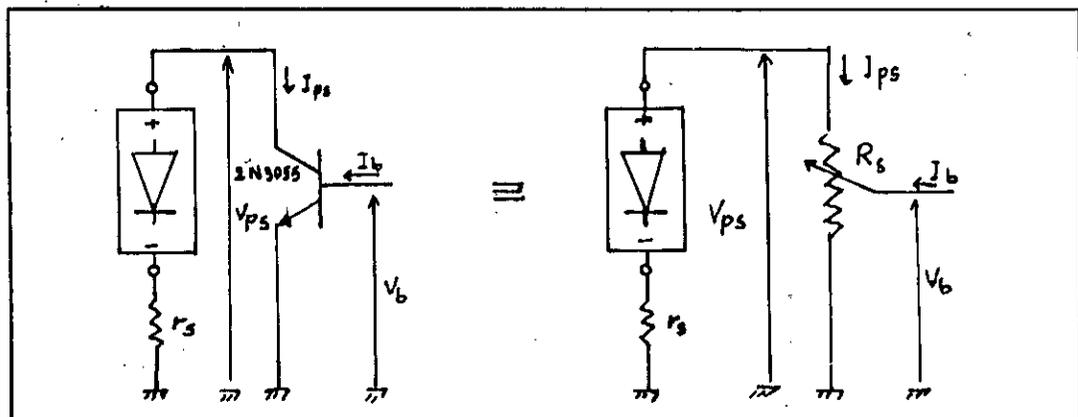


Fig. 2 - Shunt variable

La commande du courant de base I_b du transistor permet de choisir le point de fonctionnement, de mesurer la tension et le courant correspondant et de calculer la puissance en ce point.

La tension V_{co} , et le courant I_{cc} peuvent être déterminés respectivement par le blocage et la saturation du transistor.

b/ Asservissement du point de fonctionnement

La valeur ohmique du shunt est assujétié par un dispositif d'asservissement en boucle fermée. Il est constitué d'un ampli de différence

de gain unité, d'un intégrateur, et d'un ampli de courant comme organe de commande du shunt tel que représenté par la fig. 3.

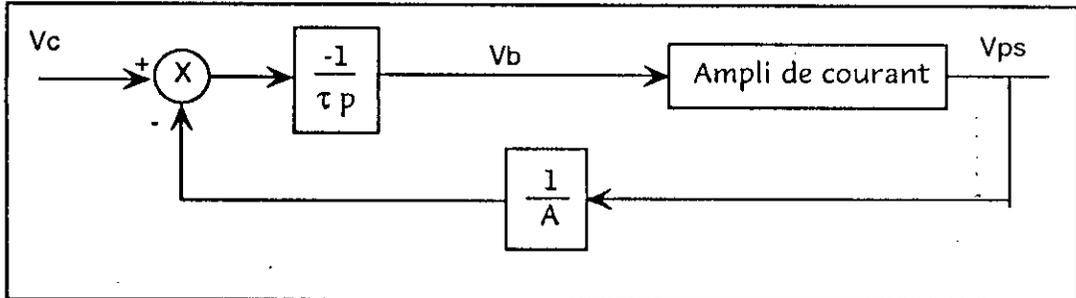
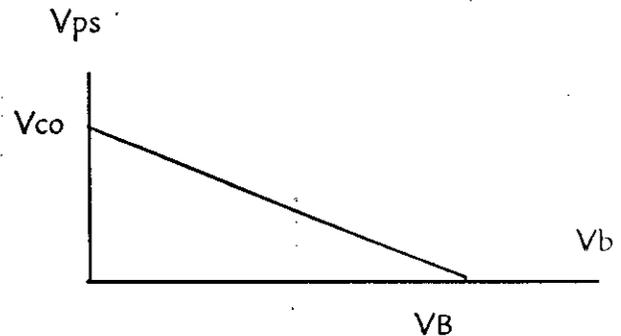


Fig. 3 - bloc d'asservissement

L'ampli de courant est constitué de deux montages en darlington montés en complémentaire. Lorsque V_b augmente, I_b augmente et aussi $I_c = I_{ps}$, par conséquent V_{ps} diminue.

La tension V_{ps} en fonction de V_b est:

$$V_{ps} = V_{co} - K V_b$$



La tension V_{ps} du panneau est donnée par la relation suivante :

$$V_{ps} = \frac{A \tau \cdot p}{k + A \tau p} V_{co} + \frac{A \cdot k}{k + A \tau p} V_c$$

Après le régime transitoire ie quand t tend vers l'infini et selon la loi de la valeur finale, V_{ps} devient :

$$V_{ps} = A V_c = 8 V_c$$

V_c étant la consigne délivrée par le convertisseur N-A. On constate que la tension à vide V_{co} doit satisfaire la condition ci-dessous afin de pouvoir la mesurer.

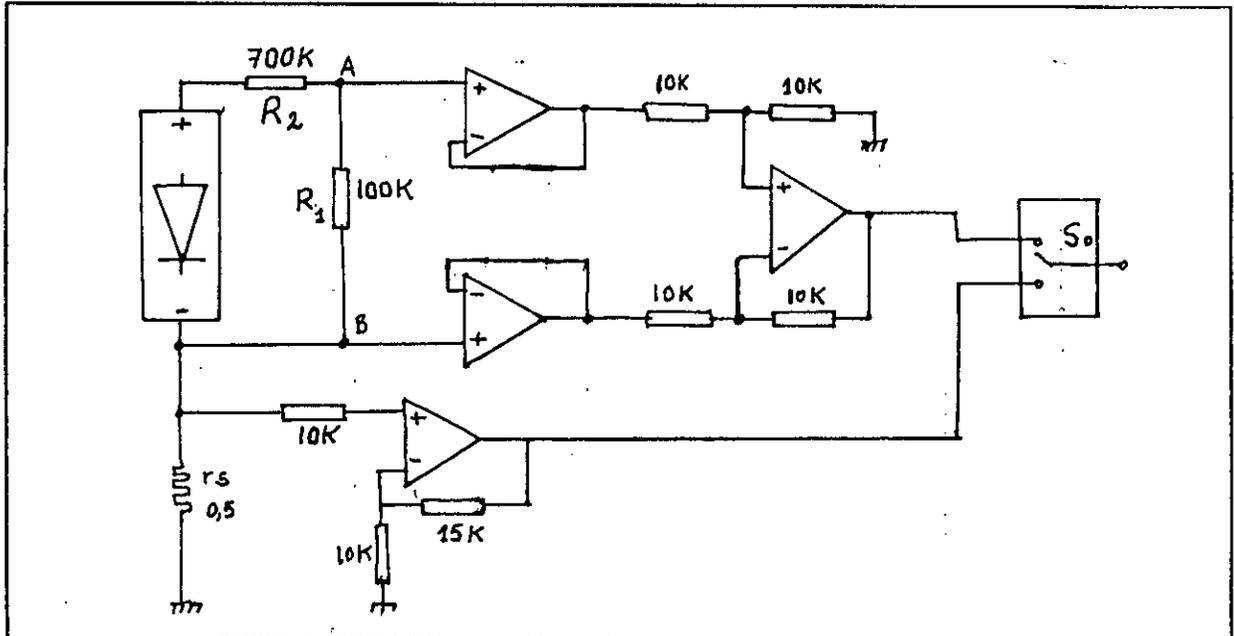


Fig. 5 - circuits de mesure

b/ Capteur de courant : Le courant de fonctionnement I_{ps} est le courant qui traverse la résistance de puissance r_s , de faible valeur $0,5 \Omega$, en série avec le panneau. La tension aux borne de r_s est amplifiée de 2,5.

$$I_m = 0,5 \cdot 2,5 I = 1,25 I.$$

L'amplificateur de différence et l'ampli de courant sont réalisés par le quadruple ampli. op. LM 349.

La limite inférieure du courant I_{ps} qu'on peut mesurer est donnée par la tension de dérive et d'offset de l'ampli de courant.

2/ L'amplificateur programmable

Cet amplificateur est réalisé avec un quadruple ampli de 741; dans lequel deux sont utilisés en suiveurs de tension pour l'adaptation

d'impédances et réduction de la chute de tension dans la résistance de polarisation de la diode zener; et les deux autres en amplis inverseurs à gains variables (fig.6).

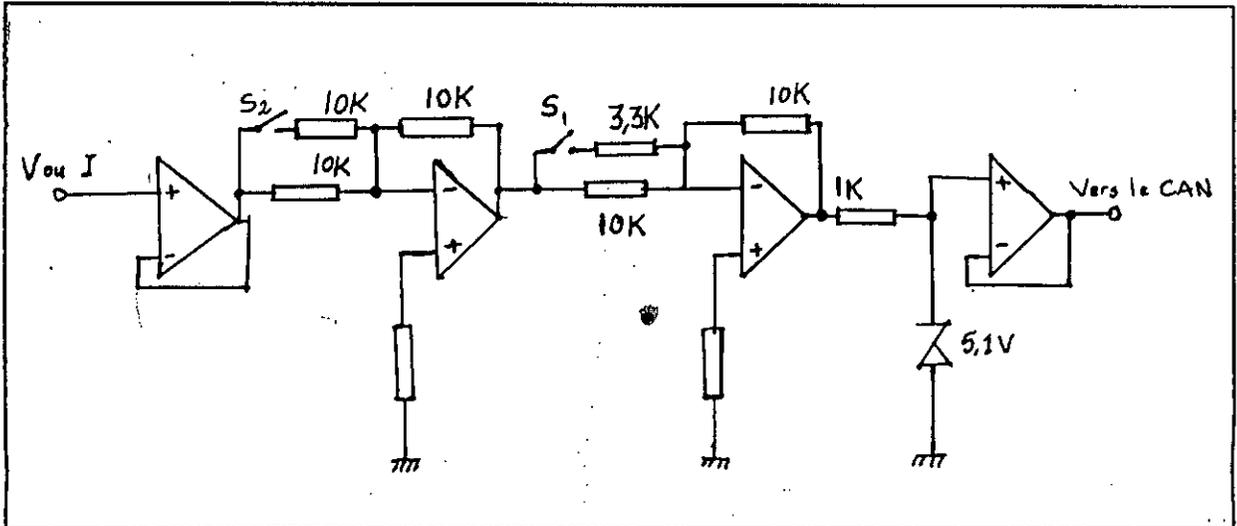


Fig. 6 - Amplificateur programmable

S_1 et S_2 sont des interrupteurs électroniques qui font varier le gain suivant le mot de commande du M.P.U.

Le gain total est : $G_{tot} = G_1 \cdot G_2$

où G_1 et G_2 sont les gains respectifs des deux amplis.

S_2	S_1	G_1	G_2	G_{tot}
O	O	-1	-1	1
O	F	-2	-1	2
F	O	-1	-4	4
F	F	-2	-4	8

O : Interrupteur ouvert
F : Interrupteur fermé

3/ Les interrupteurs :

Les commutateurs de l'ampli programmable ainsi que le multiplexeur de tension ou de courant sont réalisés par le C.I 4066 qui comporte quatre interrupteurs commandables individuellement à l'ouverture et à la fermeture suivant la valeur logique de S_i [12].

S_i : Etat haut \rightarrow commutateur passant

S_i : Etat bas \rightarrow commutateur invalidé

On utilise deux interrupteurs pour réaliser le multiplexeur comme le montre le schéma électrique (figure. 7) et commandé par S_0 (bit PA_7 du PIA/1), les deux autres comme interrupteurs pour varier les gains de l'ampli.

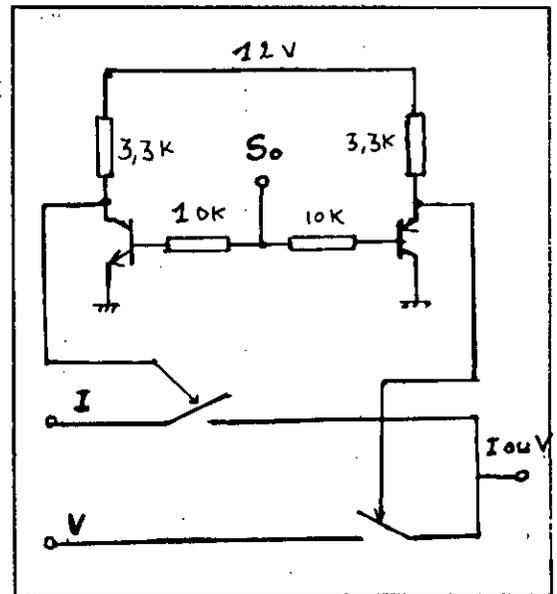


Fig. 7 - Schéma électrique du multiplexeur

IV / ETUDE DE LA CARTE NUMÉRIQUE

Cette carte est conçue autour du 6802, qui a une RAM interne de 128ϕ qu'on utilisera pour le stockage temporaire des données, auquel sont adjoints les interfaces nécessaires (fig. 8) qui lui sont compatibles :

- ROM (2716) de $2\text{ k } \phi$ qui contient les programmes nécessaires pour le fonctionnement du système.

- PIA/1 (6821) qui sert d'interfaçage du clavier et des afficheurs, et commande le multiplexeur ainsi que les gains de l'ampli.

- PIA /2 (6821) qui sert pour l'acquisition des données et le contrôle du CAN et ainsi que la commande du bloc d'asservissement par le contrôle du C.N.A (Ampli-sommeur).

1/ Adressage des interfaces :

Ces périphériques sont adressés par le mode de sélection linéaire, qui consiste à affecter un bit exclusif à chacun des périphériques suivant le tableau d'adressage ci-dessous [9].

Périphérique	A ₁₅	A ₁₄	A ₁₃	A ₁₂	A ₁₁	A ₁₀	A ₉	A ₈	A ₇	A ₆	A ₅	A ₄	A ₃	A ₂	A ₁	A ₀
RAM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	x	x	x	x	x	x	x
ROM	1						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PIA/1	0	1											0	1	x	x
PIA/2	0	1											1	0	x	x

Tableau d'adressage

La RAM interne de 128 ϕ est adressable de \$0000 à \$007F et son utilisation est signalée au MPU par la mise à "1" de la broche de validation RE.

L'adressage de la ROM est choisi à être de \$F800 à \$FFFF pour pouvoir installer le vecteur reset en positions mémoire \$FFFE et \$FFFF.

FFFF	ROM
F8 00	
//	
400B	CRB/2
400A	DDRB/2 , ORB/2
4009	CRA/2
4008	DDRA/2 , ORA/2
4007	CRB/1
4006	DDRB/1 , ORB/1
4005	CRA/1
4004	DDRA/1 , ORA/1
//	
007F	RAM
0000	

Tableau d'organisation des zones mémoires

Les six registres de chaque PIA sont vus par le MPU comme 4 positions mémoire. Les registres DDRX et l'ORX ont la même position mémoire et sont sélectionnés suivant l'écriture du bit CX₂ du CRX. Le tableau ci-dessus donne l'organisation des positions mémoire.

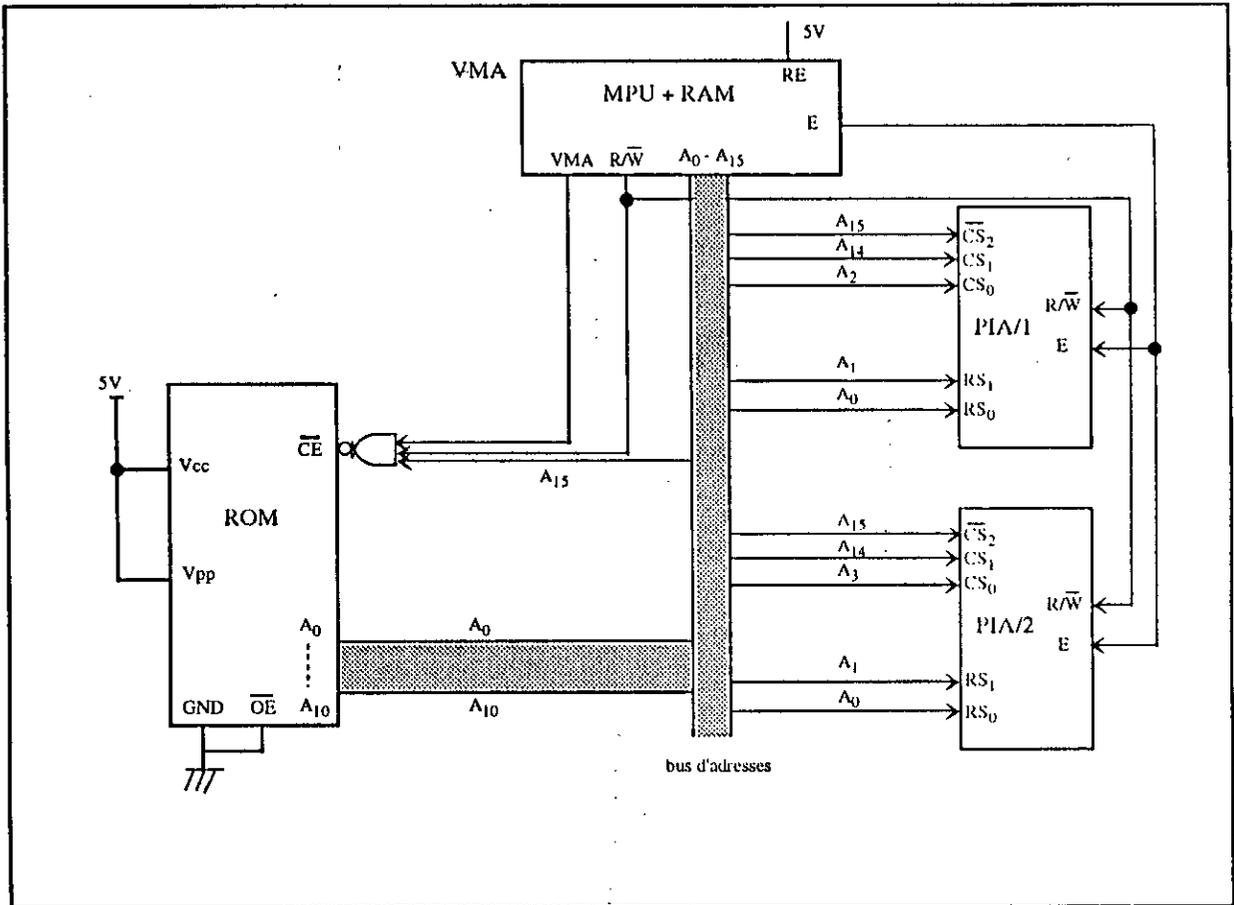


Fig. 8 - Adressage des périphériques

2/ La conversion Analogique - Numérique

La conversion A-N est assurée par le convertisseur ADC 0804 à approximations successives. Il est choisi pour sa résolution de 8 bits, les temps d'accès (135 ns) et de conversion (110µs) et sa souplesse de programmation.

L'ADC 0804 est relié au port A du PIA/2 suivant le brochage ci-dessous (fig.9)

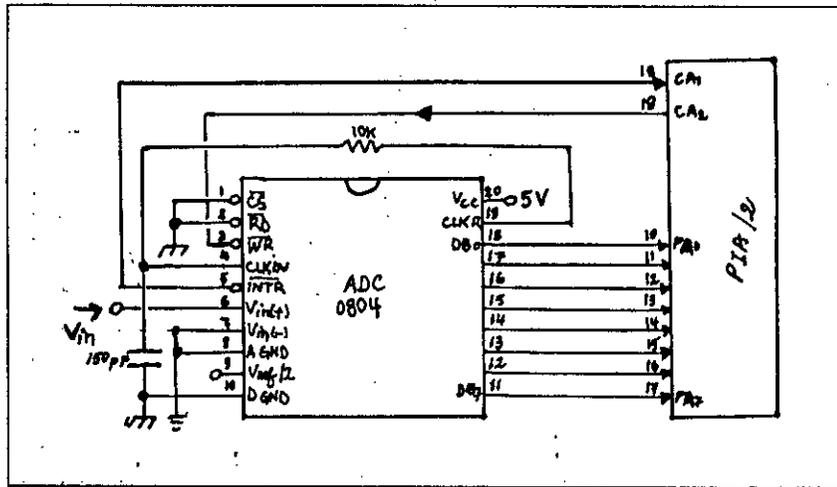


Fig. 9 - Brochage de l'ADC 0804

L'horloge est créée par l'auto-oscillateur interne et du réseau Rc (broches 19 et 4) et dont la fréquence est :

$$f_{CLK} = \frac{1}{1,11 RC} \approx 600 \text{ KHZ}$$

La conversion s'effectue sous le contrôle du programme "convert", selon les séquences suivantes :

- Port A programmé en entrée,
- Impulsion sur \overline{WR} (1 - 0 - 1) donnée par la ligne CA₂ qui est programmée en sortie et en mode programmé,
- Attente de la fin de conversion reconnue par le passage de "1" à "0" d'ela ligne CA₁ qui est relié à INTR,
- Lecture et stockage du résultat.

3/ Conversion Numérique - Analogique :

Pour la commande de consigne Vc, on a besoin d'un générateur d'échelons d'amplitude programmable; qu'on a réalisé avec un double amplificateur sommateur, qui reçoit à ses entrées des données à partir du port B du PIA/2 (fig.10), où le 2^e ampli est un inverseur de gain unité.

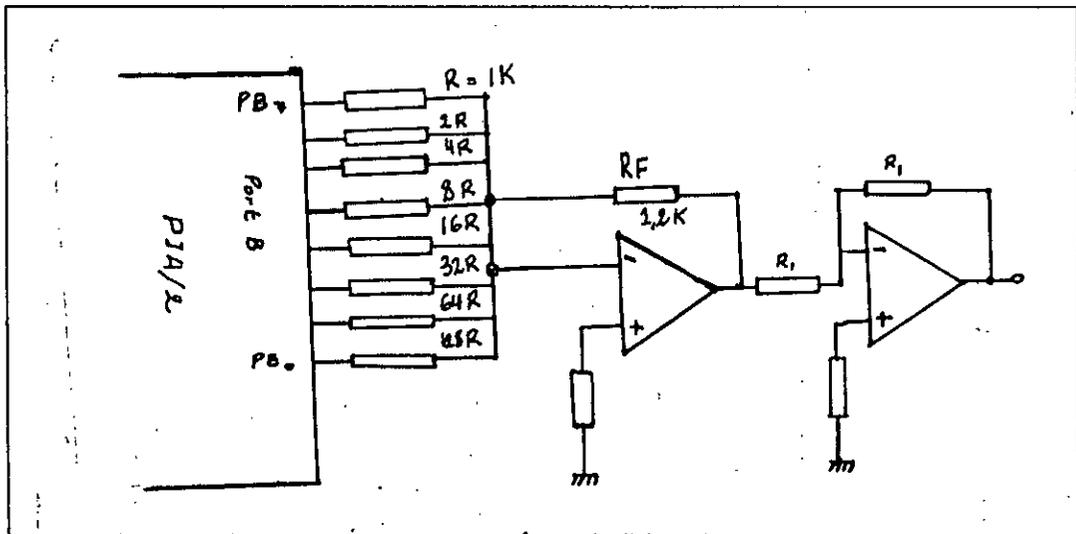


Fig. 10- Générateur d'échelons programmable

Pratiquement les sorties de niveau logique "1" ont toutes la même tension $E_i = 5\text{ V}$ et lorsqu'elles sont à l'état logique "0" leurs tensions sont nulles ($E_i = 0$). Le gain de tension en boucle fermée est alors :

$$\frac{V_s}{E} = \frac{-R_F}{R} \left(\frac{a_{n-1}}{1} + \frac{a_{n-2}}{2} + \dots + \frac{a_0}{2^{n-1}} \right); n = 8$$

où $a_i = 1$ si l'état logique du bit i est "1"

$a_i = 0$ si l'état logique du bit i est "0"

4/ Circuit d'affichage et du clavier

a/ circuit d'affichage :

Les trois afficheurs montés en parallèle reçoivent les données à partir du port B du PIA/1 (fig. 11). Leurs allumage ou extinction se fait par les bits A_0 , A_1 et A_2 du port A, qui actionnent successivement les bases des

transistors PNP fonctionnant en serrure. Un seul afficheur est allumé à la fois pendant un temps nécessaire à l'obtention d'une bonne luminosité. La boucle d'allumage est effectuée à une fréquence d'environ 50 Hz, ce qui donne l'impression que tous les afficheurs sont allumés en même temps et stables [10].

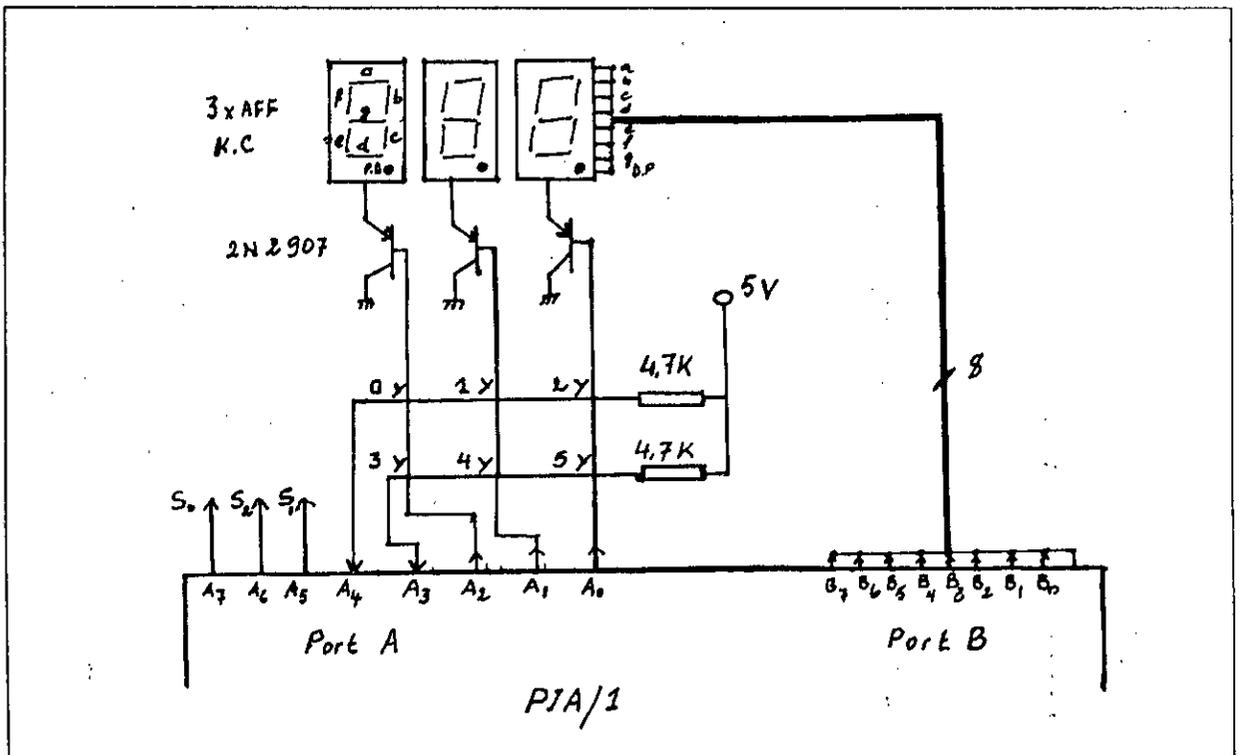


Fig. 11- Circuit du clavier et de l'affichage

Les transistors PNP sont du type 2N2907; chacun d'eux est capable de supporter la somme des courants de tous les segments allumés en même temps.

Le procédé d'affichage est le suivant :

- 1/ Envoyer la valeur à afficher sur le port B,
- 2/ Allumer l'afficheur concerné en envoyant un "0" sur le bit correspondant (les afficheurs sont à cathode commune),
- 3/ Attendre un bref instant adapté aux caractéristiques de l'oeil,
- 4/ Passer à l'afficheur suivant,
- 5/ boucler à 1/.

La valeur à afficher est puisée de la table TBR d'adresse 0020.

b/ Clavier :

Le clavier utilisé est constitué de six touches notées de 0 à 5. Il est du type Non-Encoded Key Board, c'est-à-dire qu'il ne possède pas de décodage interne de la touche enfoncée. La détection de la touche appuyée se fait par programme en s'aidant de la simplicité qu'offre le montage (fig. 11).

Ce clavier est d'une structure matricielle. Un appui sur une touche se traduit par un court-circuit entre la ligne et la colonne correspondante. Le court-circuit a lieu lorsqu'un des bits de commande des afficheurs A_0 , A_1 , et A_2 programmés en sortie est mis à "0".

Tant qu'aucun bouton n'est appuyé, les bits A_3 et A_4 programmés en entrée sont forcés à "1" par les résistances de pull-up. Une lecture de ces bits A_3 et A_4 , et les autres étant forcés à "0" par un masque, donne la valeur hexadécimale 18H si aucune touche n'est appuyée. Si l'une des touches est appuyée, la valeur lue sera différente; elle est soit 10H pour la 1^{ère} ligne $L = 1$ ou bien 08H pour un bouton appartenant à la 2^{ème} ligne $L = 2$. Le codage de touches sera vu dans le paragraphe programmation.

Chap 2 : **PROGRAMMATION**

Nous avons vu aux paragraphes précédents le côté matériel du microsystème de l'appareil. Le fonctionnement des différents blocs précités n'est assuré que par une configuration adéquate des interfaces (PIA'S). Celle-ci se fait par programmation composée d'instructions, en code opérationnel installées par ordre dans l'EPROM. Ce fonctionnement est unique et pouvant se répéter à chaque fois que le système est mis sous tension ou réinitialisé par le reset manuel.

I/ CONFIGURATION DES PIA

Le MC 6821 est composé de deux ports symétriques A et B pour la communication avec les périphériques, ayant la propriété que chacune de ses E/S peut être configurée en entrée ou en sortie indépendamment des autres. Chaque port est géré par trois registres : ORX, DDRX; et le CRX accessibles à la lecture et à l'écriture.

a/ Le PIA/2 interface :

- Le convertisseur N-A par le port B programmé en sortie par l'écriture de \$FF dans le DDRB/2.

- Et le convertisseur A-N par le port A programmé en écriture en écrivant \$00 dans le DDRA/2.

La communication avec le CAN se fait par les lignes (CA_1 - \overline{INTR}) et (CA_2 - \overline{WR}) et en mode programmé. La conversion est lancée par la génération d'une impulsion négative sur l'entrée \overline{WR} du CAN, en écrivant \$3D puis \$34 dans le CRA/2. La fin de conversion est reconnue par le passage du bit d'état b_7 du CRA/2 à 1, qui est positionné par le passage de CA_1 à 0. La figure 1 donne l'organigramme de conversion A-N.

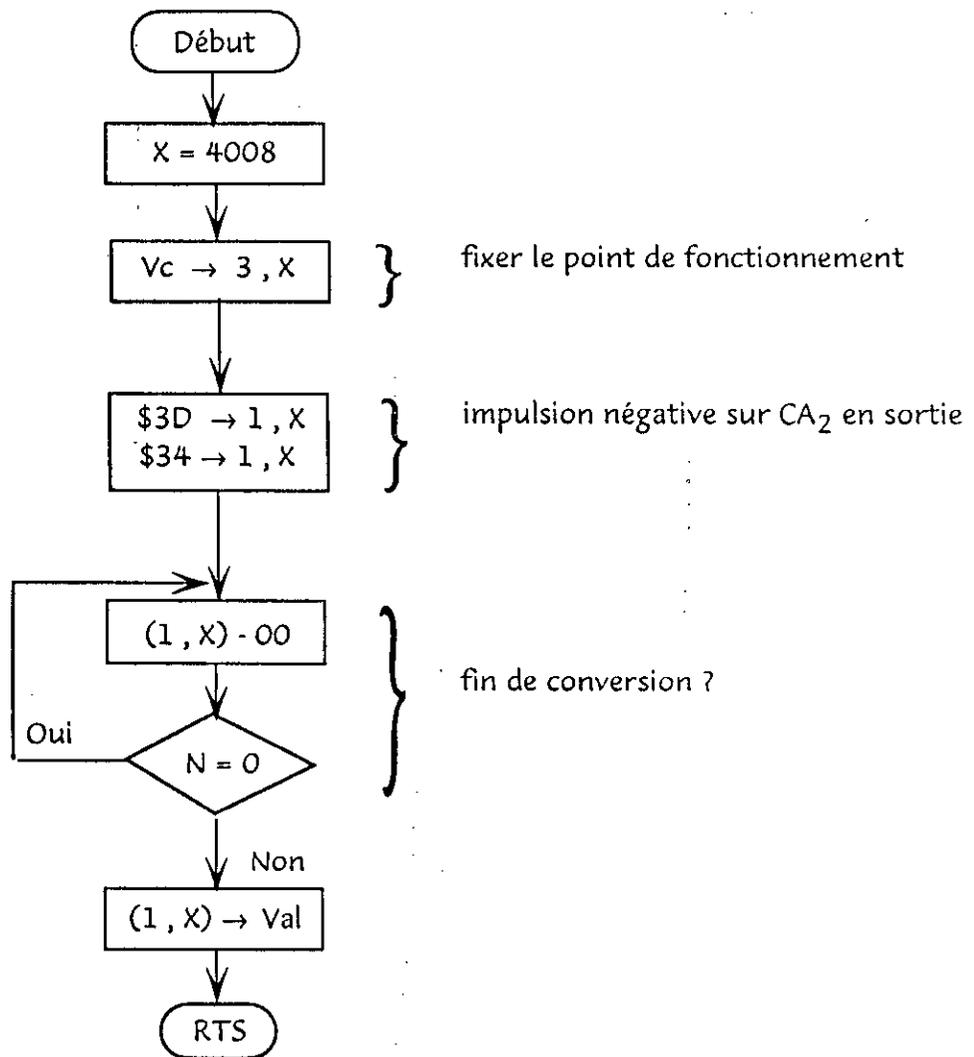


Fig. 1 - Organigramme de conversion

b/ Le PIA/1 alimente les afficheurs en données par le port B, qui est configuré en sortie par l'écriture du mot de direction \$FF dans le DDRB/1. Le schéma suivant donne la liaison bit du port - broche segment.

bit	b ₇	b ₆	b ₅	b ₄	b ₃	b ₂	b ₁	b ₀
segment	P.D	g	f	e	d	c	b	a

Le port A du PIA/1 sert par ses :

- bits A_0 , A_1 et A_2 , qui sont programmés en sortie, à commander les afficheurs (allumage, extinction),
- bits A_3 et A_4 , qui sont programmés en entrée, à tester l'état des lignes du clavier,
- et à commander les commutateurs analogiques par les trois bits restant, et qui sont programmés en sortie et affectés comme suit :

$b_7 \rightarrow S_0 : I / V = 0 / 1$

$b_6 \rightarrow S_2 : O / F = 0 / 1$

$b_5 \rightarrow S_1 : O / F = 0 / 1$

Les E/S du port A sont configurées par l'écriture du mot de direction \$E7 dans le DDRA/1:

Les registres CRX interviennent uniquement pour la sélection de DDRX ou de l'ORX par la mise à 0 ou à 1 de CX_2 respectivement.

II/ PROGRAMME PRINCIPAL :

Le système de mesure est géré par le programme principal qui est composé :

- du programme d'initialisation du système "INISYST" qui consiste à forcer la RAM interne à zéro, à pointer la pile au sommet de celle-ci et à initialiser les deux PIA. Il a pour rôle de fixer la configuration décrite et de permettre le bon déroulement des sous-programmes qui le suivent.

- du programme d'affichage "AFF" qui assure la gestion de l'affichage et la détection de la touche appuyée par le sous programme "clavier".

- et du programme "TOUCHE" qui gère par ordre les sous-programmes relatifs aux fonctions nécessaires pour la mesure de la variable choisie.

Ces programmes écrits en assembleur et en code opérationnel 6800 sont donnés en annexe.

1/ Gestion des afficheurs et du clavier :

Pour détecter la touche appuyée, on scrute successivement les trois colonnes par la mise à "0" respective des bits A_0 , A_1 et A_2 , ce qui correspond à l'allumage successif des afficheurs (cathode commune); puis on teste lequel des bits d'état A_3 et A_4 , qui étaient forcés à "1" par les résistances de pull-up, a passé à "0". A_3 et A_4 testent respectivement la 1^{ère} et la 2^{ème} ligne.

La gestion des afficheurs et du clavier se fait simultanément puisque le principe de détection de touches est celui de l'affichage augmenté d'une lecture voir l'organigramme de la figure 2.

Les rebonds de touches sont éliminés par des lectures espacées de 2,56ms (temps d'allumage d'un afficheur).

Une lecture des bits A_3 et A_4 du port A et les autres masqués à 0 donne la valeur hexadécimale 18_H si aucune touche n'est appuyée. Si l'une des touches est appuyée la valeur lue est différente, elle est soit 10_H pour la 1^{ère} ligne $L = 1$ ou bien 08_H pour un bouton appartenant à la 2^{ème} ligne $L = 2$.

Le codage des touches est représenté par la variable Var, qui prend sa valeur de 0 à 5 et désigne la touche appuyée. Le tableau ci-dessous et l'organigramme de la figure 2b donnent le codage utilisé.

Colonne	Touche = Var	Code
C = 1	Var = 2 pour L = 1	2 + 0
	Var = 5 pour L = 2	2 + 3
C = 2	Var = 1 pour L = 1	1 + 0
	Var = 4 pour L = 2	1 + 3
C = 3	Var = 0 pour L = 1	0 + 0
	Var = 3 pour L = 2	0 + 3

L'organigramme de la figure 2.a montre le procédé d'affichage, qui appelle le sous-programme "clavier" à chaque scrutation d'une colonne.

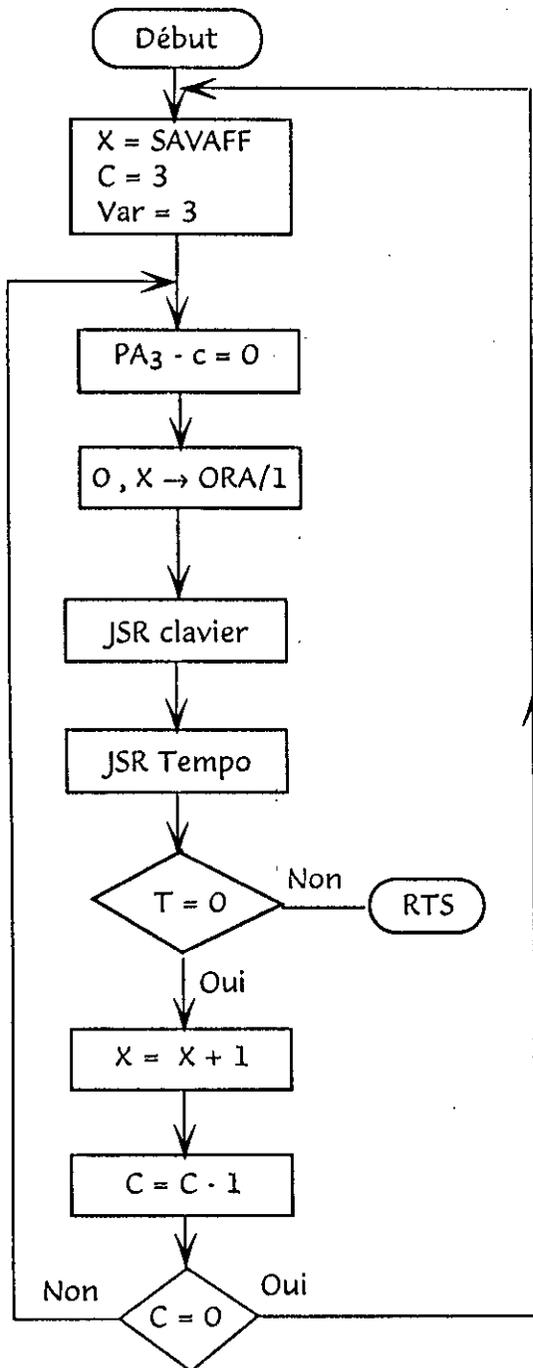


Fig. 2.a - Organigramme de l'affichage

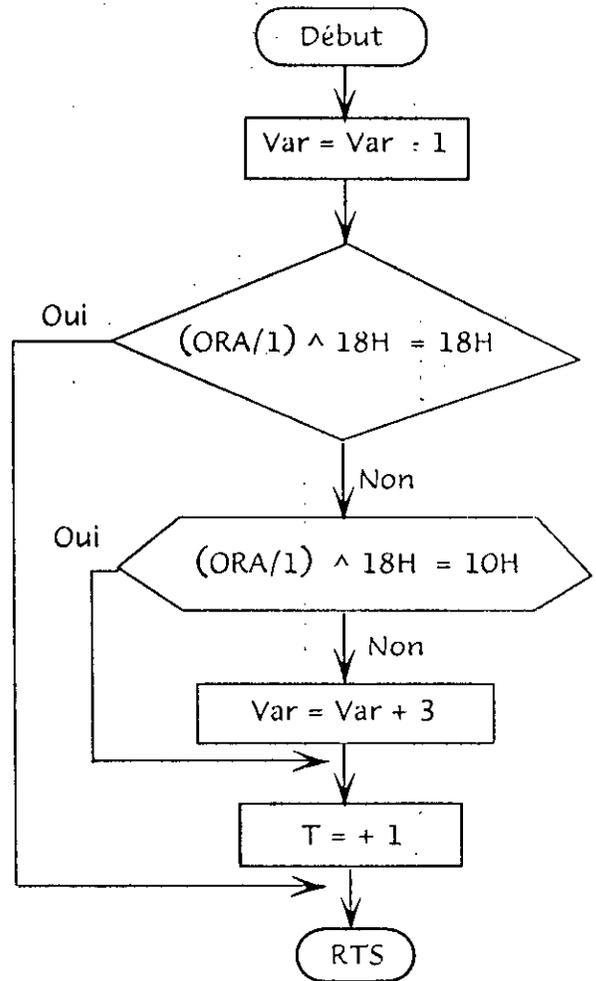


Fig. 2.b - Organigramme du sous-programme "clavier"

Le programme d'affichage se boucle sur lui même tant qu'aucune touche n'est appuyée. On sort du programme si la clé T, qui indique qu'une touche est enfoncée, diffère de O.

2/ Système de mesure :

Une fois la variable est choisie sur le clavier, le programme TOUCHE, lui affecte tous les sous programmes nécessaires, qui constituent les sections principales de mesure, de calcul et de mise en forme des résultats.

a/ Mesure d'un point de fonctionnement :

La section de mesure a pour module de base la routine MES. Elle est appelée après avoir choisi la nature de la variable, en positionnant le multiplexeur S_0 , par la commande I/V = 0/1 à travers le bit A_7 de ORA/1, et imposé le point de fonctionnement en chargeant la valeur de consigne V_c dans l'ORB/2.

La routine MES, qui fonctionne suivant l'organigramme de la figure 3, utilise la table TG pour sélectionner le coefficient d'amplification qu'on a appelé "GAM" et programme en conséquence les bits A_5 et A_6 qui constituent les commandes des gains de l'ampli programmable. Elle fournit en sortie le résultat de la conversion dans Val et le gain correspondant dans GAM.

TG	S_2S_1	07
	GAMI	10
	GAMV	A0
TG + 3	S_2S_1	27
	GAMI	08
	GAMV	50
TG + 6	S_2S_1	47
	GAMI	04
	GAMV	28
TG + 9	S_2S_1	67
	GAMI	02
	GAMV	14

Table des gains

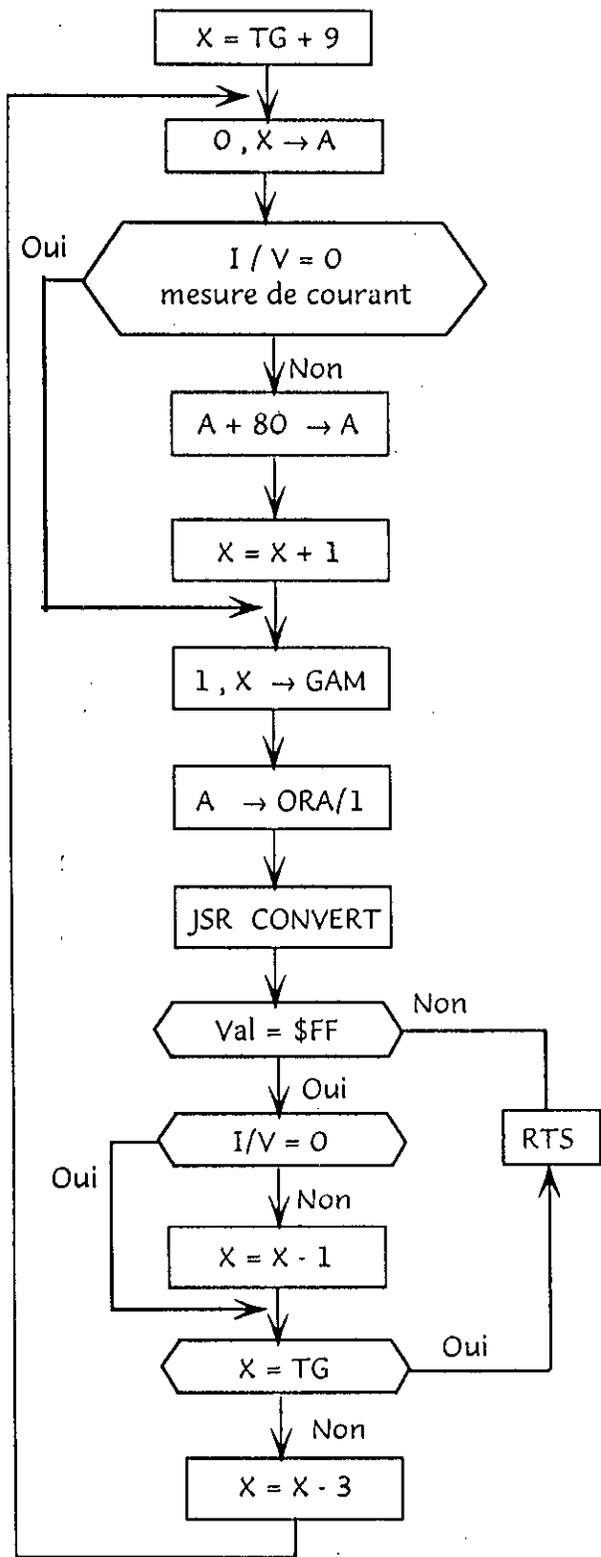


Figure 3 - Organigramme de la routine MES

Les coefficients de la table sont donnés par :

$$\text{GAM } V_i = \frac{A \cdot (\text{L.S.B})}{G_n} \quad \text{en mV}$$

et
$$\text{GAM } I_i = \frac{(\text{L.S.B})}{1,25G_n} \quad \text{en mA}$$

Où A : est l'affaiblissement du pont diviseur

G : les gains de l'ampli programmable

$$1 \text{ L.S.B} = 20 \text{ mV}$$

La programmation des gains est automatique, à commencer par l'essai du gain le plus élevé ($G_{\text{tot}} = 8$), et tester si le résultat Val est différent de \$FF si non reprogrammer le gain immédiatement inférieur.

Ce qui permet une mesure de tension allant de 1 L.S.B de 20 mV à 40,8 V et de 2 mA (limite de dérive de l'ampli capteur) à 4,08 A pour le courant.

Le résultat final est obtenu en effectuant le produit (Val) (GAM) par la subroutine SMUL et le déposer à la position mémoire d'adresse D.

b/ Calcul de la puissance :

Le calcul de la puissance se fait par la mesure respective de la tension puis du courant, en appelant les routines MES, SMUL et DMUL (figure 4).

Le résultat de la multiplication binaire que fait la subroutine DMUL est donné sur 2 octets au lieu de quatre. Les deux octets de poids faible qu'on a négligés, et qui donnent un résultat de conversion en décimal sur cinq digit, induisent une erreur de $(2^{16} - 1)10^{-5}$ pour chaque point des deux octets de poids fort. C'est pour cela qu'une correction a été faite par une deuxième multiplication par l'équivalent hexadécimal de $(2^{16} - 1)^2 \cdot 10^{-5} = A7C6$, pour obtenir un résultat en watt avec un chiffre derrière la virgule, à l'aide de la subroutine P correct.

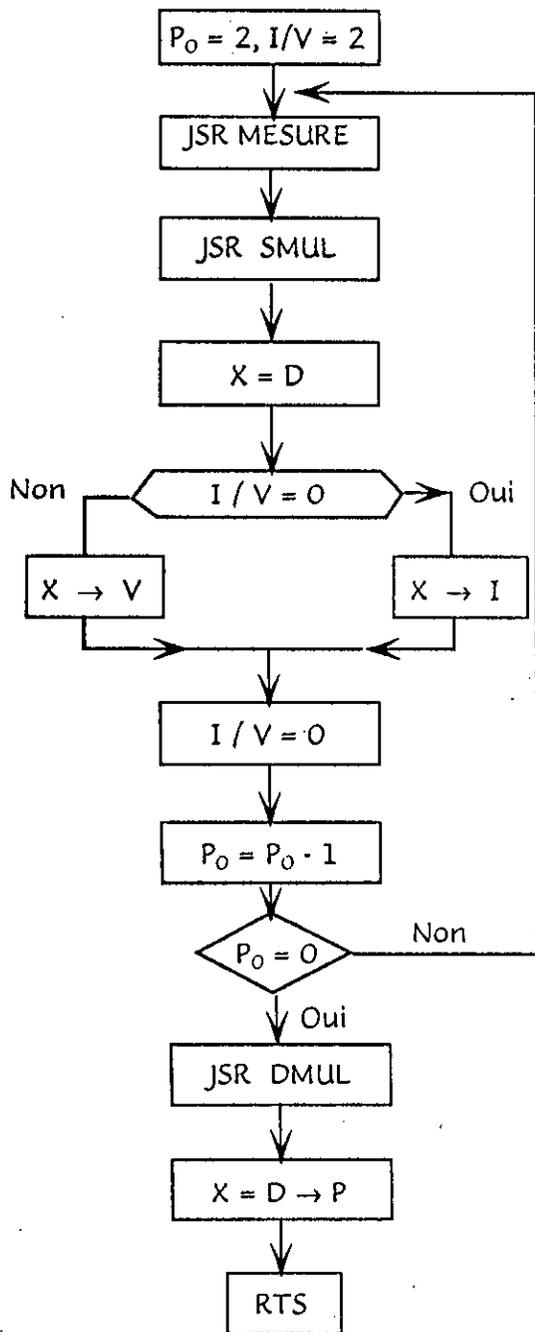


Fig. 4 - Organigramme de la mesure de puissance

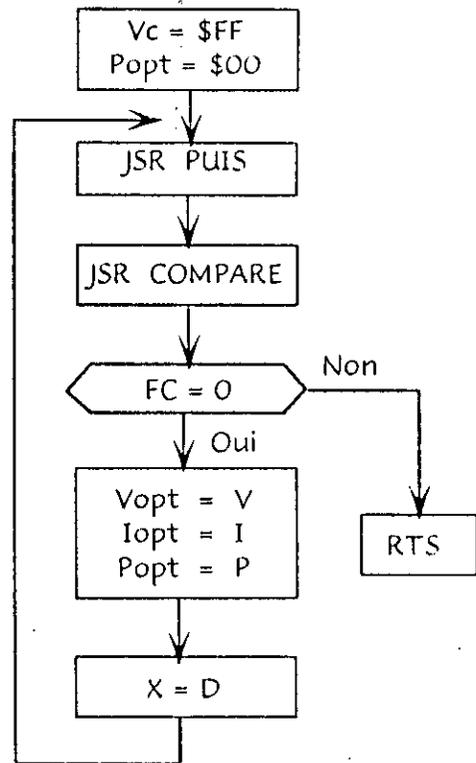


Fig. 5 - Organigramme de poursuite de puissance maximale

c/ Poursuite du point de fonctionnement optimal

Elle se fait par le biais d'une série de tests de points de puissance. La puissance optimale est donnée par la valeur maximale des puissances prélevées (figure 5).

L'indicateur FC est positionné ($FC \neq 0$) lorsque la dernière puissance prélevée est inférieure à la précédente, ce qui conclue que cette dernière et la puissance optimale.

La consigne V_c est initialisée à $V_c = \$FF$ qui correspond à la consigne de mesure de V_{co} , pour minimiser le nombre de tests, étant donné que le point optimal se situe au coude de la caractéristique tension courant (V_p proche de V_{co}).

d/ Transcodage

Le résultat des mesures et de calcul stocké en position mémoire D est donné en binaire. Pour l'afficher correctement, il est nécessaire de lui faire un transcodage en décimal, ceci en appelant les sousroutines B-BCD et BCD-7SEG et de positionner la virgule pour permettre une lecture en unités électriques par la sousroutine Virgule.

3/ Mesure des caractéristiques du panneau :

En somme, la détermination des cinq paramètres faite par le programme "Touche" est donnée par l'organigramme de la figure 6.

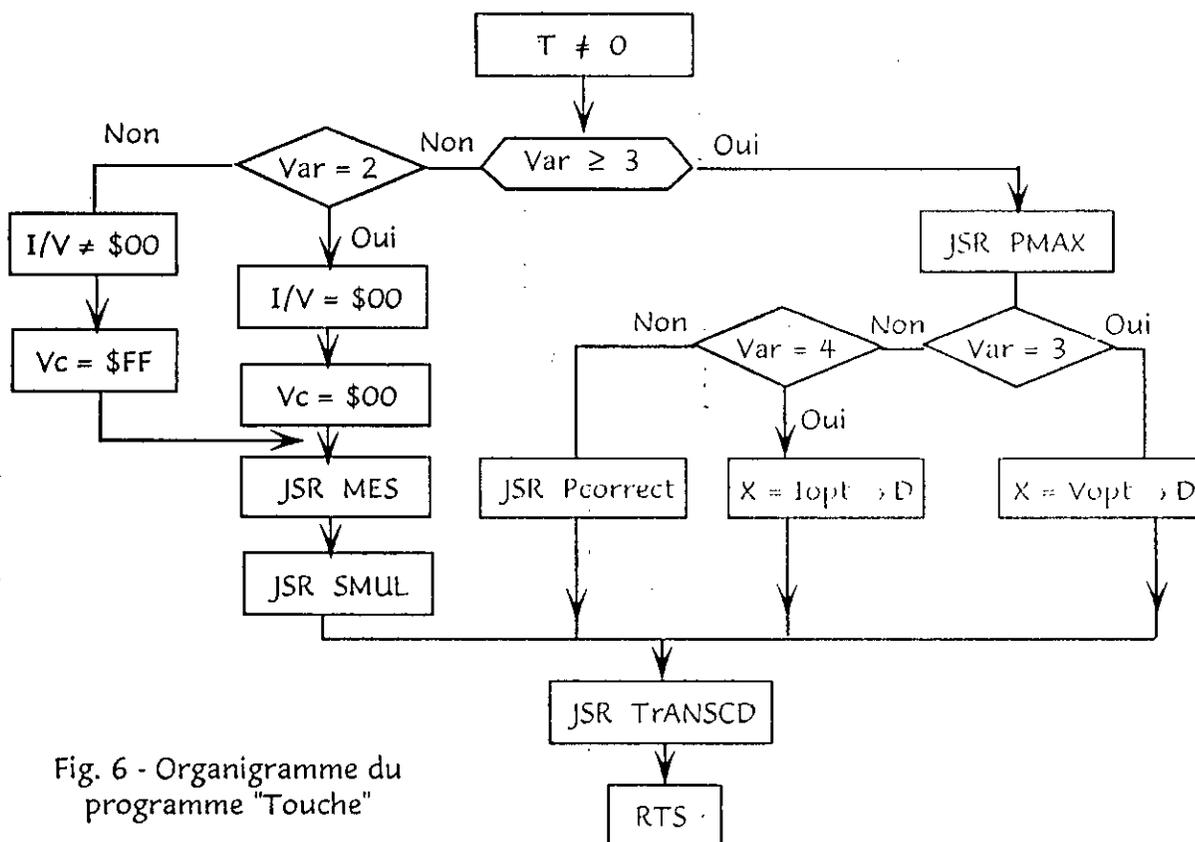


Fig. 6 - Organigramme du programme "Touche"

i/ La mesure de I_{cc} (Var = 2) est faite, en imposant une tension de consigne $V_c = \$00$ et en positionnant I/V à 0.

ii/ La tension à vide V_{co} (Var = 1) est déterminée en imposant la tension de consigne $V_c = \$FF$ et en positionnant I/V = 1 et ensuite on appelle les sous programmes de calcul et de transcodage MES, SMUL et TRANCD pour les 2 cas.

iii/ La mesure de V_{opt} (Var = 3), I_{opt} (Var = 4) et P_{opt} (Var = 5) nécessite la poursuite du point de fonctionnement optimal, en appelant la subroutine PMAX et puis on transfère le résultat de la variable choisie à l'entrée du sous programme TRANSCD.

Une fois ces opérations sont faites, on retourne au programme d'affichage.

IV/ MODE D'EMPLOI :

Après que la connexion des deux cartes analogique et numérique soit faite, et que les programmes soient chargés dans la ROM, l'appareil est prêt à fonctionner et à mesurer l'une des variables I_{cc} , V_{co} , I_{opt} , V_{opt} et P_{opt} simplement sur appui de la touche correspondante.

Cet appareil effectue des mesures de tension et de courant inférieures respectivement à 40V et 4A, et ainsi que pour une puissance inférieure à 160W.

V/ CONCLUSION :

La réalisation de cet appareil qui mesure les principaux paramètres (I_{cc} , V_{co} , p_{opt}) d'un panneau solaire, nous a permis d'avoir des indications sur la conception de petits systèmes analogiques et numériques micro-programmables, et d'approfondir les notions déjà acquises.

L'utilisation du microprocesseur a minimisé par ses avantages de souplesse et de programmation, la complexité et la circuiterie de l'appareil.

La logique microprogrammée utilisée permet pour cet appareil, qui a pour fonction de base la poursuite du point de fonctionnement optimal d'un générateur photovoltaïque d'avoir des extensions à d'autres applications dans les installations photovoltaïques, par adjonction ou modification de quelques programmes, comme par exemple : la commande d'héliostat, contrôleur de gestion d'énergie, etc..

CONCLUSION GENERALE :

Le travail qui nous est demandé, nous a permis d'avoir une notion, même si elle est générale, sur les systèmes photovoltaïques et de voir les problèmes liés, notamment aux G.P.V et aux éléments de stockage, ainsi qu'à leurs interconnexions.

Il est à noter que malgré les aléas défavorables de variation et de discontinuité (cycles jour-nuit, saisonnier, ...) qui affectent les coûts d'investissement, l'énergie solaire ne cesse de susciter de plus en plus d'intérêts tant par la disponibilité de son gisement énorme et durable et autant par sa fluidité d'utilisation et de sa marque d'écologie.

Depuis leur première utilisation principale dans les satellites, les générateurs photovoltaïques ont vu se développer leurs applications terrestres et toucher à beaucoup de secteur (pompage hydraulique, télécommunications, ...) et leurs rendement de conversion énergétique passer de 6 ou 7% de la photopile au sélénium pour atteindre plus de 20% avec le silicium monocristallin.

Actuellement les recherches, aidées par le développement technologique et principalement celui des semi-conducteurs, continuent de se mener pour améliorer le rendement de conversion énergétique en vue d'atteindre celui du théorique (28%) et pour maîtriser son utilisation en vue d'une exploitation rationnelle.

ANNEXE

A/ LISTE DES VARIABLES

Variable	Nbre d'octets	Adresse	Variable	Nbre d'octets	Adresse
Var	1	00	lopt	2	12
C	1	01	Vopt	2	14
T	1	02	Icc	2	16
TMP	1	03	Vcc	2	18
VC	1	04	D	2	1A
I/V	1	05	DM1	2	1C
GAM	1	06	DM2	2	1E
VAL	1	07	TBR	5	21
PO	1	08	CX	1	25
FC	1	09	CT	1	26
P	2	0A	SAVX	2	27
I	2	0C	SAVFF	2	29
V	2	0E	SAVTBR	2	2B
Popt	2	10			

B/ Liste des tables utilisée dans les sous programmes

F8 00	7 E	TB 1	F8 14	07	TG
- 01	20		- 15	10	
- 02	6 D		- 16	A0	
- 03	79		- 17	27	
- 04	22		- 18	08	
- 05	5 B		- 19	50	
- 06	5 F		- 1 A	47	
- 07	70		- 1 B	04	
- 08	7 F		- 1 C	28	
F8 0A	7 F		- 1 D	67	TG + 9
			- 1 E	02	
			F8 1 F	14	
F8 0A	27	TB2			
0B	10				
0C	03				
0D	E8				
0E	00				
0F	64				
10	00				
11	0A				
12	00				
F8 13	01				

C/ Liste des programmes
1- programme d'initialisation

INISYST		LDX #\$ 007F	CE 00 7F	F8 20
	bcle	CLR 0, X	7F 00	23
		DEX	09	25
		CPX #\$ FFFF	8C FFFF	26
		BNE bcle	26 F8	2A
		LDS #\$ 007F	8E 007F	2B
		LDX #\$ 4004	CE 4004	2E
		CLR A	4F	31
		STAA 1, X	A7 01	32
		STAA 3, X	A7 03	34
		STAA 5, X	A7 05	36
		STAA 7, X	A7 07	38
		STAA 4, X	A7 04	3A
		COM A	43	3C
		STAA 2, X	A7 02	3D
		STAA 6, X	A7 06	3F
		LDAA #\$ E7	86 E7	41
		STAA 0, X	A7 00	43
		LDAA #\$ 04	86 04	45
		STAA 1, X	A7 01	47
		STAA 3, X	A7 03	49
		STAA 5, X	A7 05	4B
		STAA 7, X	A7 07	4D
		RTS	39	4F

2 - Programme d'affichage

	AFF	LDX #\$ SAVAFF	CE 0029	F8 50
		LDAA #\$ 03	86 03	53
		STAA VAR	97 00	55
		STAA C	97 01	57
		LDAB #\$ FE	C6 FE	59
	Bcle	LDAA 0, X	A6 00	5B
		STA B ORA/1	F7 4004	5D
		STAA ORB/1	BF 4006	60
		JSR Clavier	BD F886	63
		JSR Tempo	BD F8 7C	66

	TST T	7D	0002	F8 69
	BNE ETQ	26	0D	6C
	INX	08		6E
	SEC	0D		6F
	Rol B	59		70
	CLR T	7F	0002	71
	DEC C	7A	0001	74
	BNE BCLE	26	E2	77
	BRA AFF	20	D2	79
ETQ	RTS	39		7B
TEMPO	LDA A # \$ FF	86	FF	F8 7C
	STAA TMP	97	03	7E
bCLE	DEC TMP	7A	0003	80
	BNE bCLE	26	FC	83
	RTS	39		85
Clavier	LDA A ORA/I	86	4004	F8 86
	AND A # \$ 18	84	18	89
	DEC VAR	7A	0000	8B
	CMP A # \$ 18	81	18	8E
	BEQ ETQ	25	0D	90
	CMP A # \$ 10	81	10	92
	BNE ET	26	06	94
	LDA A VAR	96	00	96
	ADD A # \$ 03	8B	03	98
ET	STAA VAR	97	00	9A
ETQ	INCT	7C	0002	9C
	RTS	39		F8 9F

3- Programme de gestion des fonctions de mesure

TOUCHE	CLR T	7F	0002	F8 A0
	LDA A VAR	96	00	A3
Popt	CMP A # 05	81	05	A5
	BNE ETI	26	0D	A7
	JSR PMAX	BD	F9CB	A9
	LDX POPT	DE	10	AC

	STX DH	DF 1A	F8 AE
	JSR Pcorrect	BD F9F0	B0
	JSR TRANSCD	BD FA89	B3
	RTS	39 -	F8 B6
Iopt ET1	CMP A#\$ 04	81 04	F8 B7
	BNE ET2	26 0A	B9
	JSR PMAX	BD F9CB	BB
	LDX Iopt	DE 12	BE
	STX DH	DF 1A	C0
	JSR TRANSCD	BD FA89	C2
	RTS	39	F8 C5
Vopt ET2	CMP A#\$ 03	81 03	F8 C6
	BNE ET3	26 0B	C8
	JMP PMAX	7E F9C3	CA
	LDX Vopt	DE 14	CD
	STX Dh	DF 1A	CF
	JMP TRANSCD	7E FA8E	D1
	RTS	39	F8 D4
Icc ET3	CMP A#\$ D2	81 02	F8 D5
	BNE ET4	26 02	F8 D7
	CLR Vc	7F 00 04	F8 D9
	CLR I/V	7F 00 05	EC
	JSR MESURE	BD F9 05	EF
	JSR SMUL	BD F9 76	E2
	JSR TRANSCD	BD FA 89	E5
	RTS	39	F8 E8
VCO ET4	INC I/V	7C 0005	F8 E9
	LDA A#\$ FF	86 FF	EC
	STAA Vc	97 04	EE
	JSR MESURE	BD F9 05	F0
	JSR SMUL	BD F9 76	F3
	JSR TRANSCD	BD FA 89	F6
	RTS	39	F8 F9

4- Programme principal

PROG PRINC	JSR INISYST	BD F8 20	F8 FA
ETQ	JSR AFF	BD F8 50	FD
	JSR TOUCHE	BD F8 A0	F9 00
	BRA ETQ	20 F8	F9 03

D/ Liste des sous programmes

MES	LDX #\$ TG + 9	CE F8 1D	F9 05
	STX SAVX	DF 27	F9 08
	LDA A 0, X	A6 00	0A
	TST I/V	7D 0005	0C
	BEQ ET1	27 03	0F
	ADD A #\$ 80	8B 80	12
	INX	08	14
ET1	LDA B 1, X	E6 01	15
	STAB GAM	D7 06	17
	STAA ORA/1	B7 40 04	19
	JSR CONVERT	BD F93A	1C
	LDA A VAL	96 07	1F
	CMP A #\$ FF	81 FF	21
	BEQ DPASS	27 01	23
	RTS	39	25
DPASS	TST I/V	7D 0005	26
	BNE ET2	26 01	29
	DEX	09	2B
ET2	LDX SAVX	DE 27	2C
	CPX #\$ TG	8C F8 14	2E
	BNE ET3	26 01	31
	RTS	39	33
ET3	DEX	09	34
	DEX	09	35
	DEX	09	36
	JMP MES	7E F9 05	F9 37
CONVERT	LDX #\$ 4008	CE 40 08	F9 2E
	LDAB VC	D6 04	F9 3D
	STAB 3, X	E7 03	3F
	LDA A #\$ 3D	86 3D	41
	LDAB #\$ 34	C6 34	43
	STAB 1, X	E7 01	45
	STAA 1, X	A7 01	47

BCLE	TST 1, X	6D 01	F9 49
	BPL BCLE	2A FC	4B
	LDAB 0, X	E6 00	4F
	STAB Val	D7 07	43
	RTS	39	F9 51
MUL	LDX #\$ 0000	CE 00 00	F9 52
	STX D	DF 1A	55
	LDAB #\$ 10	C6 10	57
EMG	LSR DM1H	74 00 1C	59
	ROR DM1H	76 00 1C	5C
	ASL DM2L	78 00 1F	5F
	ROL DM2H	79 00 1E	62
	BLC NADD	24 0C	65
	LDA A DL	96 1B	67
	ADD A DL	98 1D	69
	STA A DL	97 1B	6B
	LDA A DH	96 1A	6D
	ADCA DM1H	99 1C	6F
	STA A DH	97 1A	71
NADD	DEC B	5A	72
	BNE EMG	26 E3	73
	RTS	39	F9 75
SMUL	LDA A VAL	96 07	F9 76
	STA A DM1H	97 1C	78
	LDA A GAM	96 06	7A
	STA A DM2H	97 1E	7C
	CLR A	4F	7E
	STA A DM1L	97 1D	7F
	STA A DM2L	97 1F	81
JMP MUL	7E F9 52	F9 83	
DMUL	LDX V	DE 0E	F9 86
	STX DM1	DF 1C	88
	LDX I	DE 0C	8A
	STX DM2	DF 1E	8C
	JMP MUL	7E F9 52	F9 8E

PUISSANCE	LDA A # \$ 02	86 02	F9 91
	STAA I/V	97 05	93
	STAA PO	97 08	95
bcle	JSR MES	BD F905	97
	JSR SMUL	BD F976	9A
	LDX D	DE 1A	9D
	TST I/V	7D 05	9F
	BNE ETQ	26 04	A1
	STX V	DF 0E	A3
	BRA ET	20 02	A5
ETQ	STX I	DF 0C	A7
ET	CLR I/V	7F 0005	A9
	DEC PO	7A 0008	AC
	BNE BCLE	26 EA	AF
	JSR DMUL	BD F986	B1
	LDX D	DE 1A	B4
	STX P	DF 0A	B6
	RTS	39	F9 B8
COMPARE	LDA A PH	96 0A	F9 B9
	CMPA POPTH	91 10	BB
	BMI ETQ	2B 08	BD
	LDA A PL	96 0B	BF
	CMPA Popt L	91 11	C1
	BEQ ET	27 02	C3
	BRA ET	20 03	C5
ETQ	INC FC	7C 00 09	C7
ET	RTS	39	F9 CA
PMAX	LDX # \$ 00 00	CE 00 00	F9 CB
	STX Popt	DF 10	CE
	LDA A # \$ FF	86 FF	CF
	STA Vc	97 04	D1
Bcle	JSR Puissance	BD F991	D3
	JSR Compare	BD F9B9	D6

	TST	FC	7D	00 09	F9 D9
	BNE	FIN	26	11	DC
	LDX	V	DE	0E	DE
	STX	Vopt	DF	14	E0
	LDX	I	DE	0C	E2
	STX	Iopt	DF	12	E4
	LDX	P	DE	0A	E6
	STX	Popt	DF	10	E8
	DEC	Vc	7C	00 04	EA
	BRA	Bcle	20	E4	ED
FIN	RTS		39		F9 EF
P Correct	LDX	DH	DE	1A	F9 F0
	STX	DM1	DF	1C	F2
	LDX	PFACT # \$ A7C6	CE	A7 C6	F4
	STX	DM2	DF	1E	F7
	JSR	MUL	BD	F952	F9 F9
B-BCD	LDX	# \$ TAB2	CE	F8 0A	F9 FC
	SAVX		DF	27	FF
	LDA A	# \$ 20	86	20	FA 01
	STA	CT	97	26	03
	LDX	# \$ 0025	CE	00 25	05
bcle1	CLR	0, X	6F	00	08
	DEX		09		0A
	CPX	# \$ 00 1F	8C	00 1F	0B
	BNE	bcle 1	26	F8	0C
ETQ1	LDX	SAVX	DE	27	FA 10
	LDA A	DH	96	1A	12
	LDAB	DL	D6	1B	14
	SUB B	1, X	E0	01	16
	SBC A	0, X	A2	00	18
	BCS	Saut	25	0A	1A
	LDX	CX	DE	25	1C
	INC	0, X	6C	00	1E
	STA A	DH	97	1A	FA 20

	BRA	ETQ 1	20	E A	FA 22
SAUT	INC	CT	7 C	00 26	24
	LDX	SAVX	DE	27	27
	INX		08		29
	INX		08		2A
	STX	SAVX	DF	27	2B
	CPX	#\$ TB2 +10	8C	F 8 14	2D
	BNE	ETG 1	26	DC	30
	RTS		39		FA 32
BCD-7SEG	LDX	#\$ TB1	CE	F 800	FA 33
	STX	SAVX	DF	27	36
Bcle 1	LDA	A#\$ 09	86	09	38
	STA	A CT	97	26	3A
	LDX	#\$ TBR	CE	00 20	3C
	LDA	A O, X	A6	00	3F
	STX	SAV TBR	DF	2B	41
	BRA	SCRUT	20	09	43
	LDX	SAV TBR	DE	2B	45
	INX		08		47
	CPX	#\$ 0025	8C	0025	48
	BNE	BCLE 1	26	EB	4A
	RTS		39		4D
SCRUT BCLE 2	CMPA	CT	91	26	4E
	BNE	ET 1	26	OF	50
	LDA	B CT	D6	26	52
	ADD	B 28	DB	28	54
	STA	B 28	D7	28	56
	LDX	SAVX	DE	27	58
	LDA	B O, X	E6	00	5A
	LDX	SAV TBR	DE	2B	5C
	STA	B O, X	E7	00	5E
	RTS		39		60
ET1	DEC	CT	7A	0026	61
	BPL	BCLE 2	2A	E8	FA 64

Virgule	LDX	#\$ 0020	CE	0020	FA	66
	LDA	A VAR	96	00		69
	CMP	A #\$ 05	81	05		6B
	BNE	ET	26	08		6D
	LDA	B 2, X	E6	02		6F
	ADD	B #\$ 80	CB	80		71
	STA	B 2, X	E7	02		73
	BRA	DECAL	20	06		75
ET	LDA	B 4, X	E6	04		77
	ADD	B #\$ 80	CB	80		79
	STA	B 4, X	E7	04		7B
DECAL	bcle	LDA	A O, X	A6	00	7D
		BIT	A #\$ 80	85	80	7F
		BNE	ET1	26	03	81
		INX		08		83
		BRA	BCLE	20	F7	84
ET1		STX	SAVAFF	DF	29	86
		RTS		39		FA 88
TRANSCD		JSR	B-BCD	BD	F9 FC	FA 89
		JSR	BCD-7SEG	BD	FA 33	FA 8C
		JSR	Virgule	BD	FA 66	FA 8F
		RTS		39		FA 92
VECT RESET		FB				FFFE
		00				FFFF

Bibliographie

- 1/ L. CHETOUH "Etude de la protection contre les déséquilibres électriques des générateurs photovoltaïques"
PFE, ENP 1983.
- 2/ BOURAHMANI "Simulation d'un panneau solaire"
PFE, ENP 1986.
- 3/ HADDADI-SADOUN "Adaptateur pour pompe solaire"
Journal of technology; n°1 pp. 20-26, 1986.
- 4/ HADDADI "Conception et optimisation de générateurs à conversion photovoltaïque".
Thèse de Doctorat, ENP 1994.
- 5/ T. FOGELMAN "Installations photovoltaïques dans l'habitat isolé".
Editions, 1989.
- 6/ P. CHARTIER "Le stockage électrochimique de l'électricité et son application au stockage de l'énergie photovoltaïque".
III^e séminaire sur l'énergie solaire, sept. 82.
- 7/ A. LAUGIER - J.A. ROGER "Les photopiles solaires".
Paris, Techniques et documentations, 1981.
- 8/ A. RACHIDI "Etude d'un appareil de mesure pour panneaux solaires".
PFE, ENP 1982.
- 9/ AUMIAUX "Microprocesseurs 8 bits".
Editions Masson, 1981.
- 10/ M. MESSUD "La pratique du microprocesseur".
Editions Berti 1992.
- 11/ R. DELSOL "Electronique numérique" tome II.
Editions Berti 1992.
- 12/ J.C. CHAUVEAU - G et B. BRUNO "Mémothèque électronique - composants".
Editions Casteilla 1989.