

8/91

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

INGENIORAT D'ETAT  
EN ELECTRONIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

### SUJET

COMMANDE PROGRAMMABLE PAR 6809  
D'UN CANON A ELECTRONS POUR LE RECUIT  
DES CELLULES SOLAIRES.

Proposé par :

Mr HADDADI

Etudié par :

Mr MANSERI AMAR  
et  
Mr SAYOUD HALIM

Dirigé par :

Mr HADDADI  
et  
Mr LYES  
SAYOUD

PROMOTION : JUIN 1991

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

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

# ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE



DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

INGENIORAT D'ETAT  
EN ELECTRONIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

COMMANDE PROGRAMMABLE PAR 6809  
D'UN CANON A ELECTRONS POUR LE RECUIT  
DES CELLULES SOLAIRES.

Proposé par :

Mr HADDADI

Etudie par :

Mr MANSERI AMAR  
et  
Mr SAYOUD HALIM

Dirigé par :

Mr HADDADI  
et  
Mr LYES  
SAYOUD

PROMOTION : JUIN 1991

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

## REMERCIEMENTS

Que Monsieur M. HADDADI , Professeur à l'Ecole Nationale Polytechnique , qui a assuré la direction de ce projet , trouve ici l'expression de notre profonde gratitude .

Nous exprimons nos vifs remerciements à Monsieur SAYOUD Lyès , Chercheur à l'Entreprise Nationale des Systèmes Informatiques , pour l'intérêt qu'il a témoigné à ce travail , ainsi que pour les nombreuses suggestions qu'il nous a faites , et pour les judicieux conseils qu'il nous a prodigués .

Nous remercions vivement tous nos professeurs de l'E.N.P pour les connaissances qu'ils nous ont apportées durant toute la formation , et particulièrement ceux qui nous feront l'honneur de participer au Jury d'Examen .

Nous ne pouvons manquer de remercier sincèrement et chaleureusement tous les Collègues et Amis du Département d'Electronique pour l'ambiance amicale qu'il ont su créer et les idées fructueuses que nous avons échangées .

Que notre cher ami HOCINE Ahmed , qui a été très généreux en nous donnant son micro-ordinateur pour faire le traitement de texte , trouve ici l'expression de nos chaleureux remerciements .

## DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

- \* mes parents ,
- \* mon frère Lyès ,
- \* mes soeurs ,
- \* mr. Morcelli qui a préparé le circuit imprimé ,
- \* à notre promoteur mr. Haddadi .

SAYOUD Halim.

Ce travail est dédié :

- \* à mes parents d'abord ,
- \* à toute la famille ensuite ,
- \* et à tous mes amis ,
- \* ainsi qu'à tous mes enseignants ,

par MANSERI Amar.

# SOMMAIRE



## I / INTRODUCTION

## II / GENERALITES

II-1 : LES CELLULES SOLAIRES .....	4
II-2 : LE RECUIT .....	7
II-3 : LE BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE ET SES COMMANDES .....	10

## III / LE RECUIT ASSISTE

III-1 : PRINCIPE ET UTILITE .....	14
III-2 : PROCEDE DE BALAYAGE .....	14
III-3 : PARAMETRES PROGRAMMABLES .....	17
III-3-1/ Temperature .....	18
III-3-2/ Pression .....	19
III-3-3/ Tension accélératrice .....	19
III-3-4/ Tension du Wehnelt .....	20
III-3-5/ Tension de déviation horizontale .....	20
III-3-6/ Tension de déviation verticale .....	22
III-3-7/ Temps .....	23

## IV / SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA CARTE

IV-1 : L'UNITE DE DIALOGUE SERIELLE .....	28
IV-2 : L'UNITE DE DIALOGUE PARALLELE .....	29
IV-3 : L'ETAGE D'ENTREE .....	29
IV-4 : L'ETAGE DE SORTIE .....	30
IV-5 : SCHEMA D'IMPLANTATION .....	31

## V / ETUDE "HARDWARE" DES DIFFERENTS MODULES

V-1 : L'UNITE CENTRALE .....	32
V-1-1/ Le microprocesseur .....	32
V-1-2/ L'EPRDM .....	36
V-1-3/ Les RAMs .....	36
V-1-4/ Les décodeurs .....	36
V-1-5/ Les buffers .....	36
V-1-6/ Le PTM .....	37

V-2 : LA MEMOIRE .....	37
V-3 : LES PERIPHERIQUES DE DIALOGUE .....	38
V-3-1/ La partie "Terminal" .....	38
V-3-2/ La partie "Clavier/Afficheurs" .....	40
a/ Le PIA-XY .....	41
b/ Le PIA-Afficheurs .....	41
c/ Le PIA-Clavier .....	42
V-4 : LES PERIPHERIQUES DE COMMANDE .....	45
V-4-1/ La conversion Numérique/Analogique .....	45
V-4-2/ La conversion Analogique/Numérique .....	47
V-5 : L'EXTENSIBILITE .....	48
V-5-1/ L'imagerie .....	49
V-5-2/ L'évaporation de certains substrats .....	51
V-5-3/ La soudure sans apport de matière .....	51
V-6 : LE MAPPING DE LA CARTE .....	52
 VI/ ETUDE "SOFTWARE" ET GESTION DE LA CARTE	
VI-1 : GESTION DE LA CARTE .....	56
VI-1-1/ Réinitialisation de tous les circuits .....	56
VI-1-2/ Configuration des PIAs .....	58
VI-2 : GESTION DES AFFICHEURS/CLAVIER .....	59
VI-2-1/ Raffraichissement des afficheurs .....	61
a) Programmation du PTM .....	61
b) Programmes de rafraichissement .....	62
VI-2-2/ Sonnerie et test des touches du clavier .....	63
VI-3 : CONTROLE DU BALAYAGE .....	69
VI-3-1/ Rappel du principe .....	69
VI-3-2/ Dimensions des cotés du rectangle .....	72
VI-3-3/ Procédé de balayage .....	73
a) Préparation de la table de balayage .....	74
b) Choix de la forme et de la disposition des plaquettes de silicium .....	74
c) Programme de préparation des tables de balayage .....	77
d) Execution du balayage .....	78
VI-3-4/ Modes asservi et non asservi .....	82
a) Asservissement en fonction de la température .....	84
b) Programme .....	85
VI-3-5/ Paramètres du balayage .....	88
VI-4 : METHODE D'ENTREE DES PARAMETRES .....	89
VI-4-1/ Entrée des paramètres par terminal .....	89
VI-4-2/ Entrée des paramètres par clavier local/afficheurs .....	94
a) Description des touches du clavier .....	94

b) Déroulement du processus "entrée des paramètres" ..	96
c) Sous-programme affichant le nom du paramètre.....	98
d) Sous-programme "SHIFT".....	99
e) Sous-programme "+" .....	99
f) Sous-programme "VALID".....	102
VI-5 : AFFICHAGE DES DONNEES .....	104
VI-5-1/ Visualisation de la température et du temps sur visu .....	104
VI-5-2/ Affichage du temps et de la température sur afficheurs .....	107
VI-6 : GESTION DES INTERRUPTIONS .....	110
VI-6-1/ RESET .....	110
VI-6-2/ NMI .....	111
VI-6-3/ FIRO .....	115
VII / ETUDE DE LA REALISATION DE LA CARTE METHODE DE DEVELOPPEMENT	
VIII / EXEMPLE TYPE D'UTILISATION DE LA CARTE	
VIII-1 : TESTS EN LABORATOIRE .....	121
VIII-2 : APPLICATION DANS L'INDUSTRIE .....	124
IX / CONCLUSION	
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXE	
SCHEMA ELECTRIQUE	

RESUME

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

\*\*\*\*\*

. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .  
. . . . .

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Dans le cadre de ce projet , nous avons conçu et réalisé une carte à base du MICROPROCESSEUR 68B09 de MOTOROLA, pour COMMANDER un CATHOD A ELECTRONS de puissance destiné à balayer des plaques de silicium dans le but de les chauffer ( opération à laquelle on donne le nom de RECUIT ) .

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

In this work , we had to conceive and realise a circuit based on the 68B09 MICROPROCESSOR of MOTOROLA in order to CONTROL a CATHOD RAY TUBE , used to sweep SILICON SOLAR CELLS to heat them ( operation called TEMPERING ) .

\*\*\*\*\*

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

CHAPITRE I = INTRODUCTION

## I / INTRODUCTION

Jusqu'à ces dernières années , la commande des procédés industriels en général, et celle des processus employant le canon à électrons en particulier , était généralement réalisée à l'aide de circuits analogiques ou logiques à faible ou moyen degré d'intégration.

Mais le développement récent et spectaculaire de la micro-électronique et de la micro-informatique met aujourd'hui à la disposition de l'électronicien des circuits à très haut degré d'intégration dont les possibilités matérielles sont encore accrues par leur facilité de programmation.

En outre , l'automatisation des unités de production a permis de constater la nette amélioration de la productivité , qualitative soit-elle ou quantitative.

Qualitativement , une machine robotisée exécute les différentes tâches qu'on peut lui assigner , par programmation adéquate , avec une très grande précision . Cela conduit donc à des produits de meilleure qualité.

Comme exemple , on peut citer le cas de la technologie de fabrication des circuits intégrés VLSI , où l'oeil humain ne peut en aucun cas être fiable ; ce qui n'est pas le cas pour les robots utilisés dans ce domaine , où une technique de pointe , très avancée , est employée lors de la détection et de la manipulation.

Quantitativement , il est évident qu'une machine produit beaucoup plus que l'homme, et cela est dû à plusieurs paramètres; on peut en citer :

- la rapidité d'exécution ,
- l'infatigabilité de ces systèmes ,
- la continuité dans le travail (24h sur 24 ) .

De plus , l'automatisation peut atteindre n'importe quel domaine , même ceux où un effort de réflexion ( intellectuel ) doit intervenir ( cas de choix entre plusieurs initiatives ) . De nos jours , l'intelligence artificielle permet de résoudre un nombre assez important de problèmes , qui ne pouvaient être résolus que par intervention humaine . Un exemple typique est le pilotage automatique des avions.

On constate donc que l'automatique et l'informatique industrielle ont une influence très grande dans le développement de la technologie dans le monde.

Lors de la fabrication des cellules solaires à base de silicium amorphe , il existe une étape intermédiaire qui consiste à faire chauffer , uniformément , la surface de la couche de silicium déposée sur une plaque isolante (substrat) . Cette opération , appelée RECUIT , se faisait à l'aide d'une simple résistance chauffante . Elle nécessitait une présence humaine , et constituait une tâche fatigante , ennuyeuse , et pas toujours réussie ; puisque la résistance chauffait des endroits plus que d'autres .

Pour remédier à ce problème , on propose un tout autre procédé de chauffage : c'est le BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE par CANON A ELECTRONS .

Il a fallu encore automatiser tout ce système , c'est pourquoi on a conçu une carte intelligente qui assurera la gestion du canon à électrons , tout en controlant la température et en procédant à un arrêt automatique sans nécessiter la présence de l'opérateur . Cette carte, bâtie autour du MICROPROCESSEUR 6809 de MOTOROLA, va sans doute faciliter la tâche à l'utilisateur , tout en lui offrant une meilleure souplesse , et une meilleure qualité de recuit .

En effet , le présent polycopié met à la disposition du lecteur une étude détaillée des différents points cités plus haut , présente d'une manière détaillée la carte assurant: LA COMMANDE PROGRAMMABLE DU CANON A ELECTRONS UTILISE POUR LE RECUIT DES CELLULES SOLAIRES ; et propose dans ces dernières pages une extension de l'utilisation de cette carte : des applications telles que la soudure , la fonderie , l'imagerie y sont traitées .

*CHAPITRE II = GENERALITES*

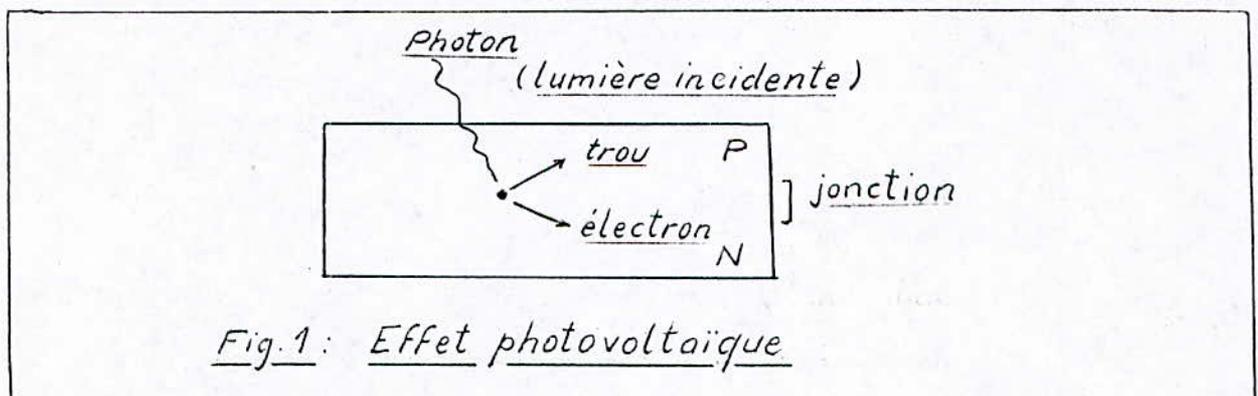
## II / GENERALITES

### II-1 : LES CELLULES SOLAIRES

Au sein d'une jonction semiconductrice PN comme celle de la figure 1 , l'absorption d'un photon suffisamment énergétique donne naissance à une paire électron-trou .Le champ électrique interne à la jonction , entraine alors le trou vers la région P , et l'électron vers la région N .

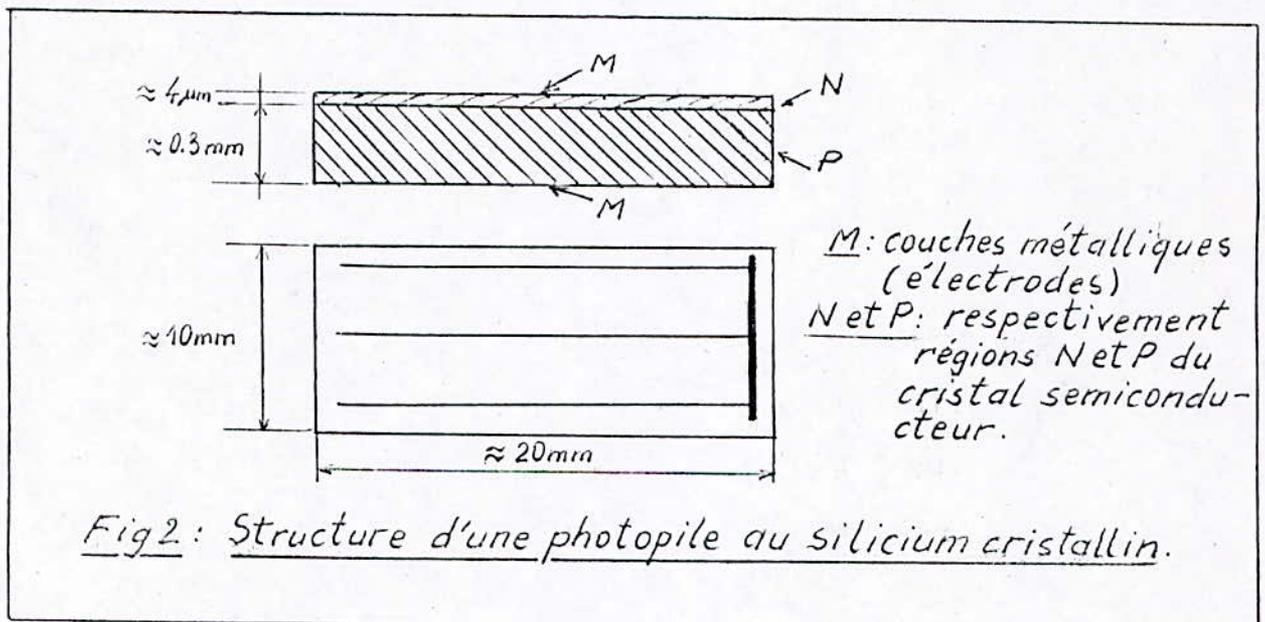
Il apparait ainsi , aux bornes du dispositif , une différence de potentiel. Si on le ferme sur un circuit extérieur, un courant circule .

Le phénomène précédent s'appelle : EFFET PHOTOVOLTAIQUE et l'ensemble , qui se comporte comme une pile sensible aux photons ( c'est-à-dire à la lumière ) s'appelle : PHOTOPILE ou CELLULE SOLAIRE ou CELLULE PHOTOVOLTAIQUE .



Cependant, il existe plusieurs techniques pour exploiter le silicium dans la fabrication des photopiles . La plus ancienne , puisque les premières réalisations datent de la fin des années 50 , utilise la structure cristalline ; la figure 2

illustre la structure d'une cellule solaire au silicium cristallin. Une autre technique, basée sur l'emploi du Si amorphe (structure atomique désordonnée), est beaucoup plus récente, puisque née d'une découverte faite en 1975. Elle a pourtant dès maintenant franchi largement le stade du laboratoire ; et la rapidité des progrès laisse entrevoir un avenir prometteur, tant sur le plan technique que sur le plan financier, grâce à la simplicité relative des procédés de fabrications et au coût relativement moins élevé du matériau.



Ce sont les cellules solaires au silicium amorphe qui nous intéressent le plus, puisqu'elles constituent le domaine d'application de l'outil réalisé. La structure de ce type de photopile est schématisée dans la figure 3. Alors que la photoconductivité du silicium amorphe intrinsèque est excellente, elle devient nettement moins bonne dans le matériau dopé ;

en particulier le temps de recombinaison est sensiblement plus court , ce qui diminue le rendement dans la production de paires électron-trou .

Aussi , adopte-t-on la structure PIN, c'est-à-dire celle d'une couche de semiconducteur intrinsèque I prise en sandwich entre des couches P et N : les paires électron-trou prennent alors naissance dans la région intrinsèque .

Cette alternance PIN apparait dans la figure 3 , avec une épaisseur typique d'environ 120 Å pour la couche P , de 6000 Å pour la couche intrinsèque , et de 500 Å pour la couche N .

La couche transparente d'oxyde d'étain  $\text{SnO}_2$  joue un double rôle : d'abord , conductrice , elle constitue l'une des électrodes ; ensuite , de par son indice de réfraction et le choix de son épaisseur , elle sert de couche anti-reflet pour la lumière qui atteint la jonction , après traversée du support en verre . Enfin , la deuxième électrode s'obtient en déposant une métallisation , généralement de l'aluminium, sur la couche N .

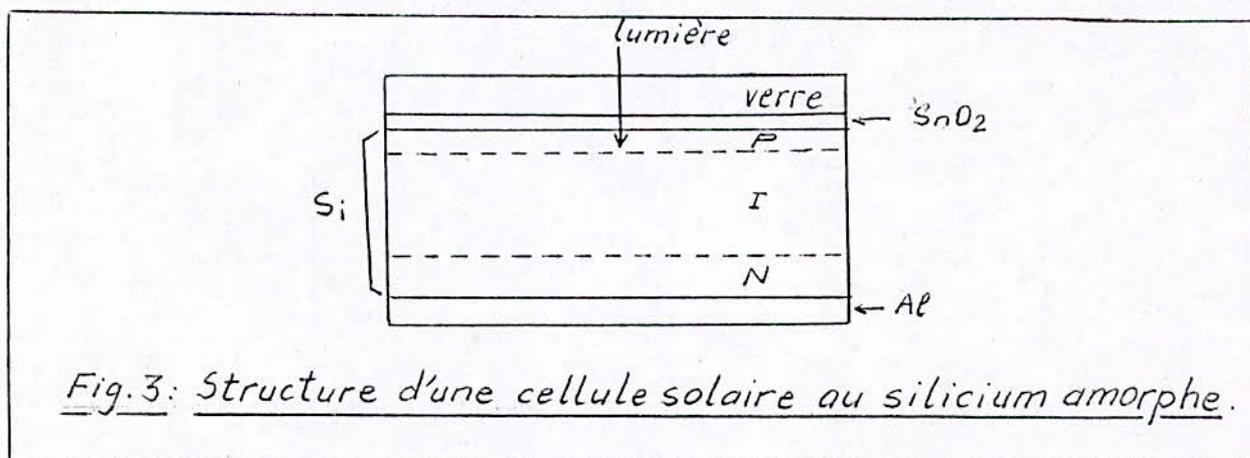


Fig.3: Structure d'une cellule solaire au silicium amorphe.

## II-2 : LE RECUIT

Le recuit est un traitement thermique qu'on applique aux cellules solaires au silicium amorphe , dans le but de tendre vers une amélioration des propriétés électroniques du matériau . Autrement dit , l'interprétation en termes de modification structurale montre que le traitement thermique conduit par l'intermédiaire d'un réarrangement atomique à un état amorphe plus homogène à propriétés bien définies .

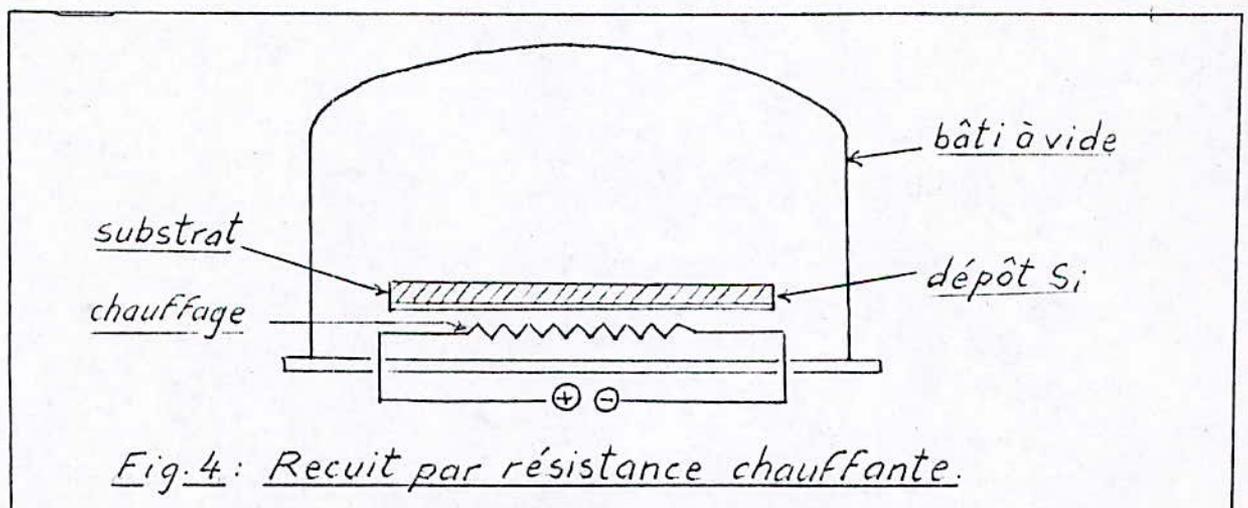
Ceci s'avère nécessaire à cause des défauts que présente la structure amorphe . En plus des défauts intrinsèques , dus à la variation des paramètres géométriques ( destruction quasi-totale de l'ordre cristallin ) , et la présence de lacunes ; d'autres défauts apparaissent lors de la préparation de la couche amorphe. De nombreuses expériences ont justement montré que les propriétés physiques dépendent fortement des conditions de préparation .

C'est en optimisant donc les conditions de préparation , qu'il est possible de réduire en nature et en proportion les défauts présents dans la couche . Un recuit thermique ( des cycles de recuit parfois ) constitue alors un moyen dans cette optimisation .

Le recuit , ou bien chaque cycle de recuit , est caractérisé au cours du temps par :

- une montée en température à une vitesse bien déterminée ( en °C/min ) .
- un palier de température correspondant à la TEMPERATURE DE RECUIT ( environ 250 °C ) dont la durée peut varier d'un échantillon à l'autre entre 10 et 120 minutes .
- une descente linéaire avec la même vitesse .

Jusqu'à ces dernières années , le recuit était généralement réalisé au moyen d'une résistance chauffante placée à proximité de la cellule . ( voir figure ci-dessous ) .



Le filament de la résistance soumis à une d.d.p, dégage de la chaleur par effet Joule , et par conséquent fait élever la température de la couche de silicium .

Néanmoins , ce procédé "archaïque" comporte de nombreux inconvénients , parmi lesquels nous pouvons citer les plus importants :

- l'échauffement ne se fait pas de façon uniforme pour toute la surface de la cellule .
- le contrôle de la température ne peut en aucun cas se faire de manière précise , vu la grande inertie en température du filament chauffant .
- la difficulté de chauffer une forme arbitraire bien délimitée .

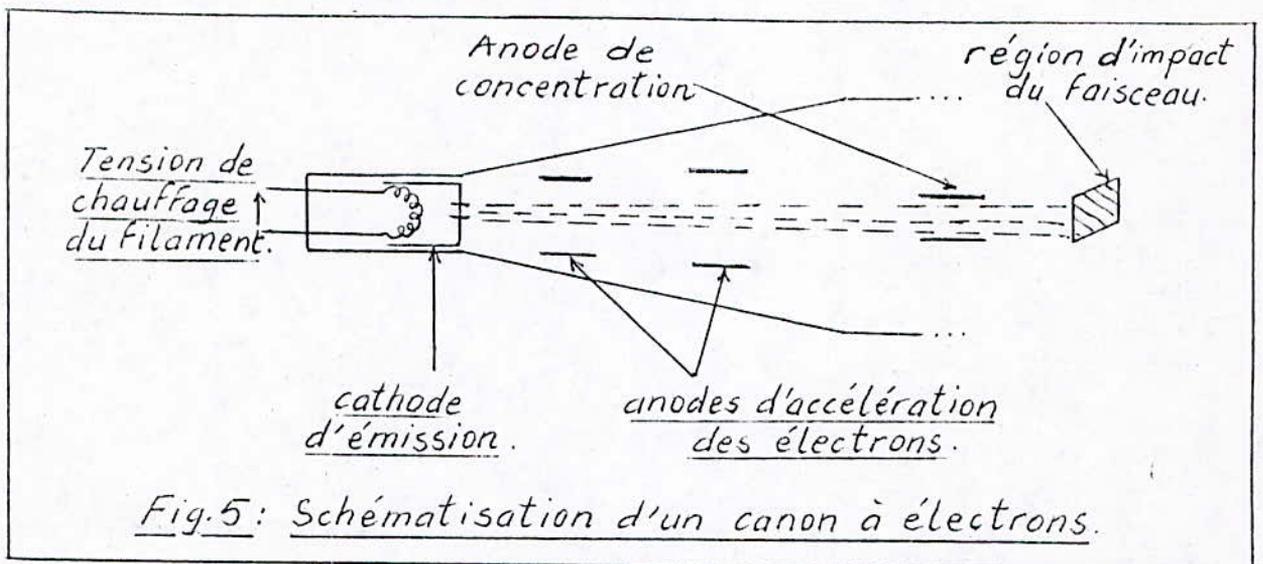
Actuellement , de nouvelles méthodes font leur apparition dans ce domaine pour résoudre ces problèmes . Celle qui nous intéresse , et pour laquelle on a opté dans notre projet , est : LE FOUR A BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE .

On peut tout de suite voir l'intérêt principal que peut avoir un tel procédé par rapport au précédent : c'est sa précision et son accessibilité à une automatisation .

L'équipement développé va ainsi permettre d'améliorer les techniques de recherche au niveau du laboratoire " Couches minces et semiconducteurs " , où l'on réalise des cellules solaires au silicium amorphe .

### II-3 : LE BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE ET SES COMMANDES

On définit le bombardement électronique comme étant une émission continue d'électrons projetés à partir d'une source , appelée : CATHODE , sur une cible qui peut être un écran fluorescent ou un objet à recuire .



Cependant , on peut commander plusieurs choses dans un canon à électrons . En effet , on peut commander le flux d'électrons émis par la cathode , la vitesse de ceux-ci et le focus du faisceau électronique .

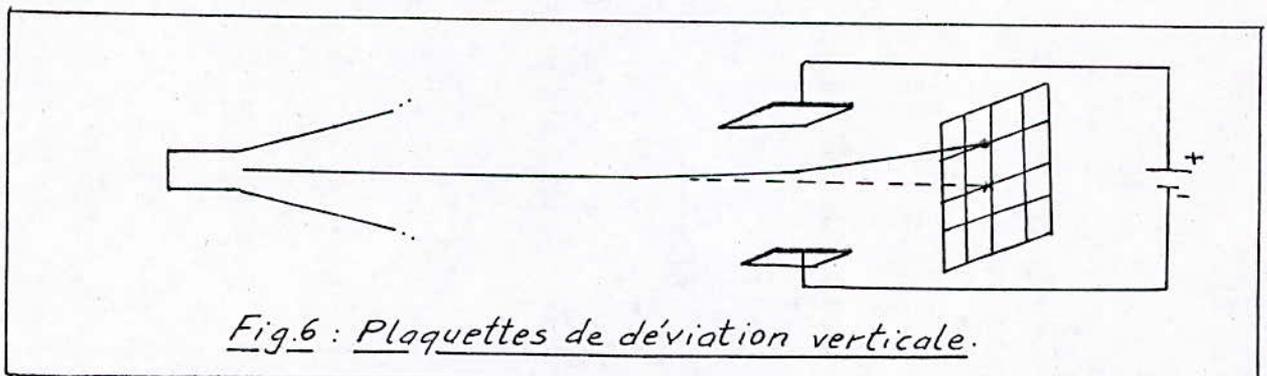
Pour ce qui est du flux d'émission , il suffit de régler la TENSION DE CHAUFFAGE du filament , car le nombre d'électrons émis est d'autant plus important que la tension de chauffage du filament est grande .

Quant à la vitesse des électrons , on a conçu des plaques parallèles appelées ANODES ACCELERATRICES qui font

accélérer les électrons issus du filament . Les électrons étant chargés négativement , il est clair qu'un potentiel positif attire tout électron vers lui . C'est ce phénomène qui est exploité pour varier la vitesse des électrons . D'où une simple augmentation de cette tension accélératrice agit directement sur la vitesse des charges électroniques et les fait accélérer .

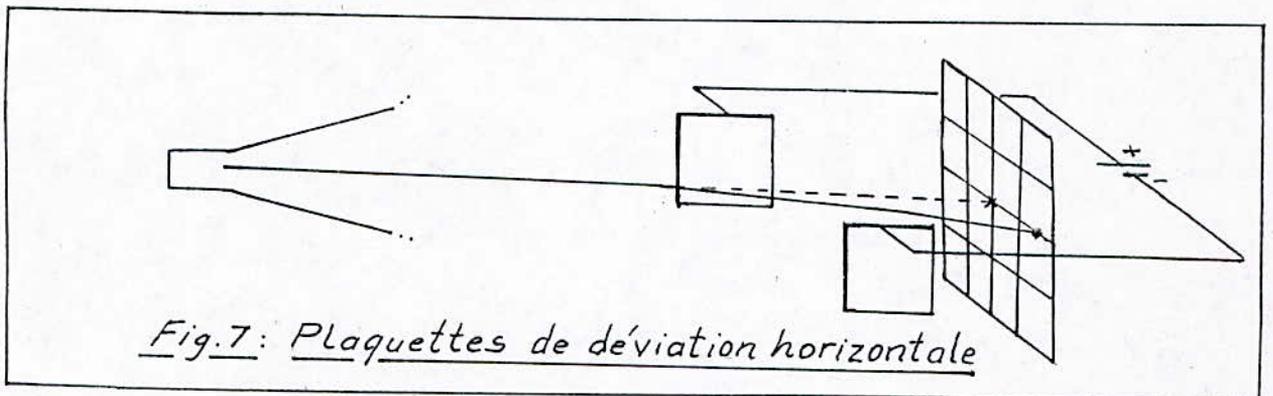
Enfin , pour régler le focus , c'est à dire l'épaisseur du pinceau électronique , il suffit de disposer à l'extrémité terminale du canon d'une anode de faible ouverture portée à un potentiel positif pour concentrer le faisceau vers son milieu, et de diminuer son épaisseur . Donc si l'on veut réduire le diamètre du spot , il suffit d'augmenter cette TENSION DE CONCENTRATION , d'où le réglage du focus .

Un deuxième type de commande du faisceau est le positionnement du spot sur la surface bombardée . Cela se fait grâce aux PLAQUETTES DE DEVIATION horizontale et verticale . Ce sont deux grandes feuilles métalliques portées à des potentiels différents , afin de dévier le parcours libre des électrons . ( voir figure ci-dessous )



Si on porte la plaque du haut à un potentiel supérieur à celui du bas , alors le faisceau électronique est dévié vers le haut ( Déviation verticale ) . Il s'agit là des plaquettes de déviation verticale .

Si , par contre , on place les plaquettes horizontalement , comme illustré ci-dessous :



Dès que l'on porte la plaque de droite à un potentiel supérieur à celui de la plaque gauche , le faisceau est dévié vers la droite ( Déviation horizontale ) . Il s'agit là des plaquettes de déviation horizontale .

On voit donc que l'on peut positionner le spot à n'importe quel endroit sur la plaquette , pourvu qu'on programme les tensions des plaques de déviation selon les coordonnées spatiales du point désiré .

Au fait , dans la pratique , les seules commandes à contrôler sont la tension accélératrice pour augmenter l'énergie du bombardement , la tension du Wehnelt pour réguler le débit des

électrons , et les tensions de déviation pour diriger le faisceau électronique .

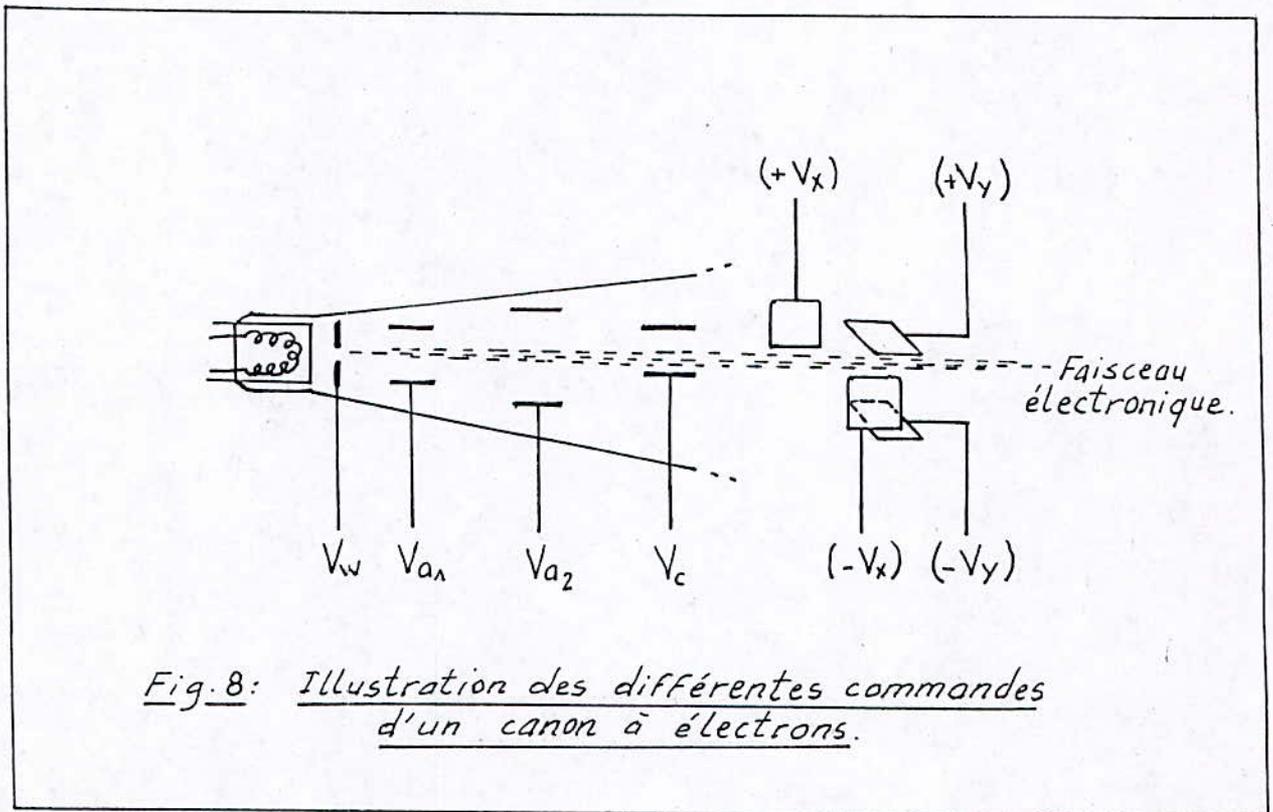


Fig.8: Illustration des différentes commandes d'un canon à électrons.

On peut citer , par ailleurs , plusieurs utilisations du bombardement électronique dans l'industrie :

- la soudure sans apport de matière ,
- la fusion des lingots d'acier ,
- le dépôt des semiconducteurs ,
- le recuit ,
- l'imagerie ,
- la radioscopie ... etc .

CHAPITRE III : LE RECUIT ASSISTE

### III / LE RECUIT ASSISTE

#### III-1 : PRINCIPE ET UTILITE

Le principe du recuit assisté consiste en la commande du faisceau d'un canon à électrons, de manière qu'il puisse balayer toute la surface de la cellule (ou des cellules) à chauffer, d'une façon répétitive, jusqu'à la (ou les) porter à la température désirée (celle du recuit).

L'utilité d'un tel procédé réside dans le fait que la programmation nous permet de contrôler, avec une très grande souplesse, toutes les commandes du canon à électrons; et par conséquent, il devient possible de jouer sur la quasi-totalité des paramètres de recuit, du moins les plus importants.

#### III-2 : PROCEDE DE BALAYAGE

D'une façon explicite et détaillée, la commande programmable fonctionnera comme suit :

A la mise en marche, le système programmé commandant le canon doit instantanément exécuter les tâches suivantes :

1- Diriger le faisceau électronique sur "l'origine" du rectangle (ou carré) où se situe la cellule à chauffer, c'est à dire le sommet en bas et à gauche. C'est à partir de ce point que commence le bombardement, à une tension accélératrice  $V_{ao}$  initiale et une tension du Wehnelt donné.

2- Déplacer le faisceau de gauche à droite en faisant un PAS

bien défini par la programmation , de manière à assurer un chauffage le plus uniforme et le plus complet possible de toute la surface .

3- S'arrêter au bout de la ligne correspondant au coté du rectangle , et passer au début de la ligne au dessus pour poursuivre le balayage de la même façon que pour la ligne précédente .

4- Répéter les opérations 1, 2 et 3 jusqu'à ce que la surface rectangulaire soit totalement décrite . ( voir figure 9 )

5- Une fois arrivé au dernier point de balayage ( en haut et à droite ) , le système procède à deux tests :

- . celui de la température ,
- . et celui du temps .

Si le temps programmé s'est écoulé , le système s'arrête .

Sinon , le processus se poursuit en augmentant la tension accélératrice ( $V_a$ ) , avant de passer à la trame suivante .

Et ainsi se répéterons les opérations citées plus haut , jusqu'à atteindre la température de recuit ( $T_r$ ) . A partir de cet instant , le système fera varier  $V_a$  pour garder constante la température ( égale à  $T_r$  ) pendant un temps égal au temps de recuit défini par la programmation .

Quand ce temps arrive à sa fin , le bombardement s'interrompera automatiquement .

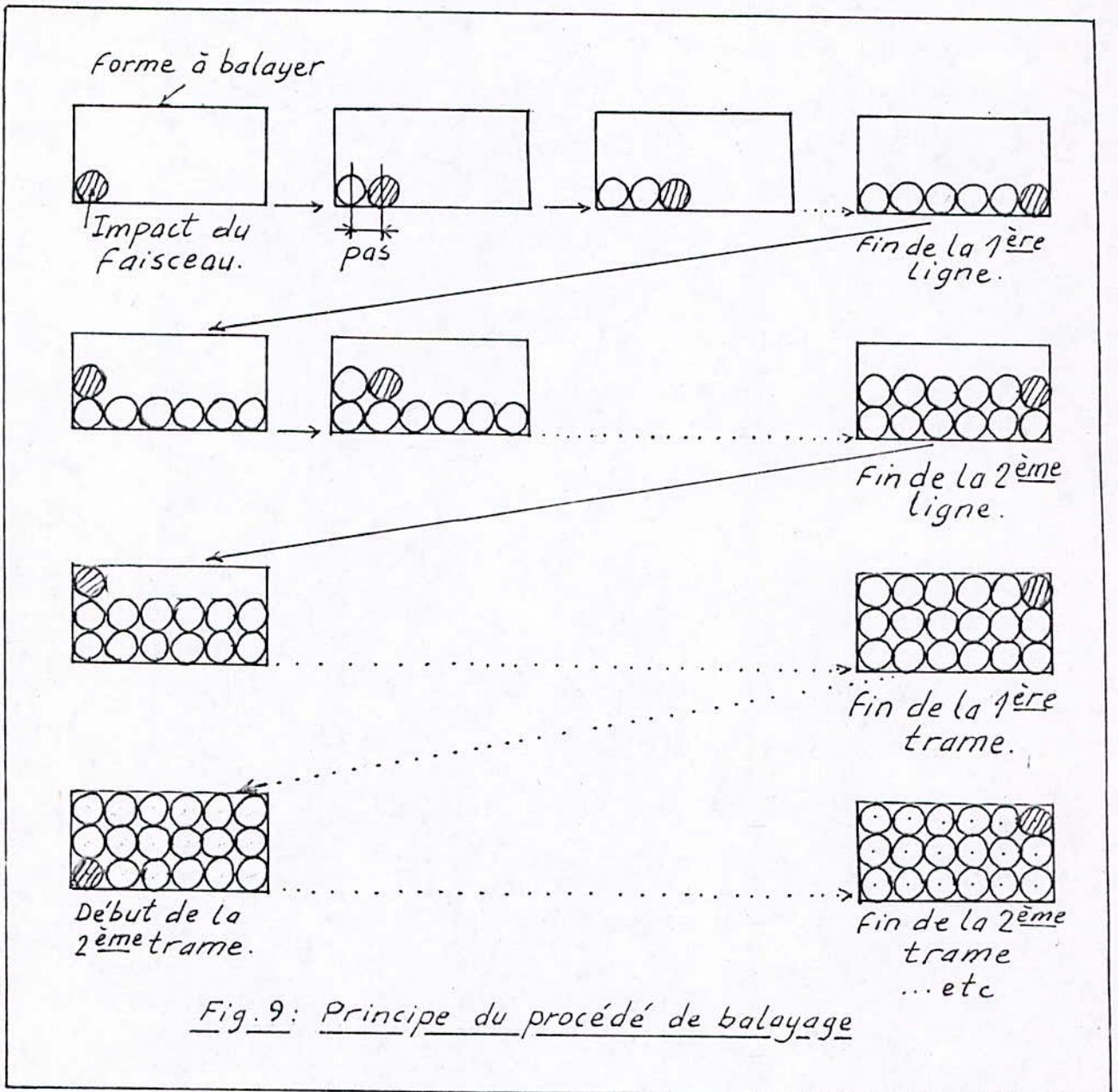


Fig. 9: Principe du procédé de balayage



Nous avons donc en tout 6 paramètres importants, rentrant dans l'opération du recuit. Si seulement un de ces paramètres était incontrôlable ou inconnu, le processus serait incorrect, voire dangereux.

### III-3-1 / TEMPERATURE :

Il est impératif de recueillir la valeur de la température chaque dizaine de seconde pour suivre l'évolution du recuit avec le temps. C'est le paramètre le plus important, puisque un bon recuit se fait en respectant des variations bien déterminées de la température, et en tendant le plus possible vers la valeur critique, c'est à dire la température de recuit. Dans ce sens que si la température des plaques de silicium dépasse cette valeur, il faut réduire l'intensité du faisceau ; et il faut opérer inversement dans le cas contraire.

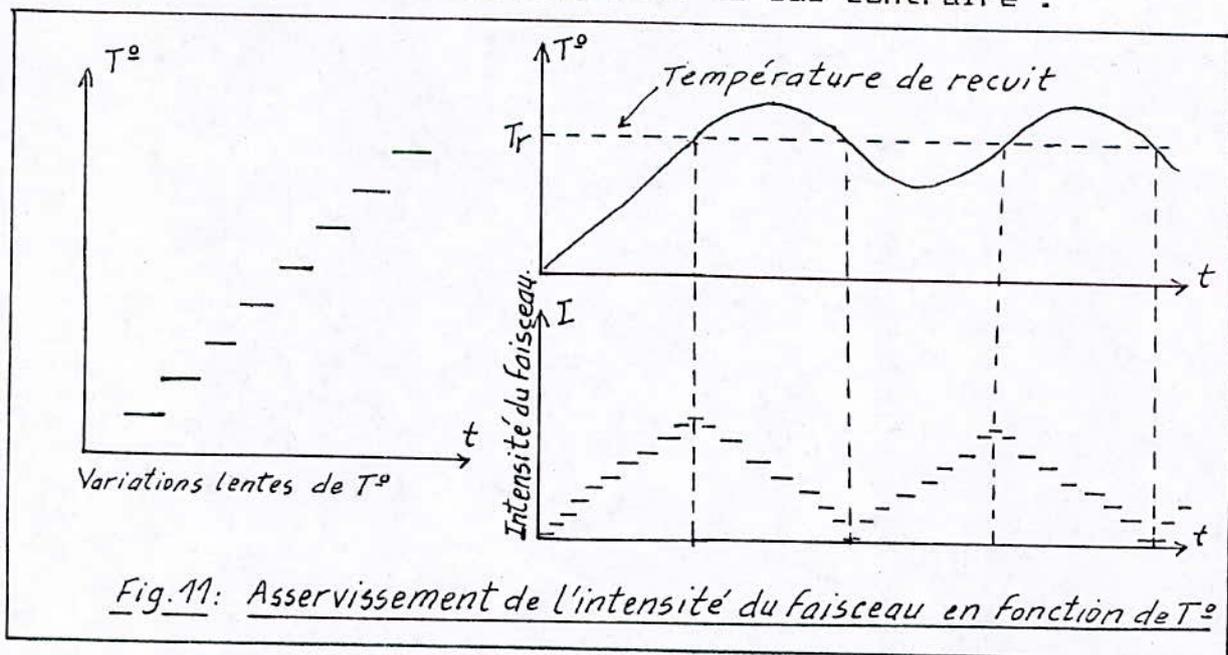


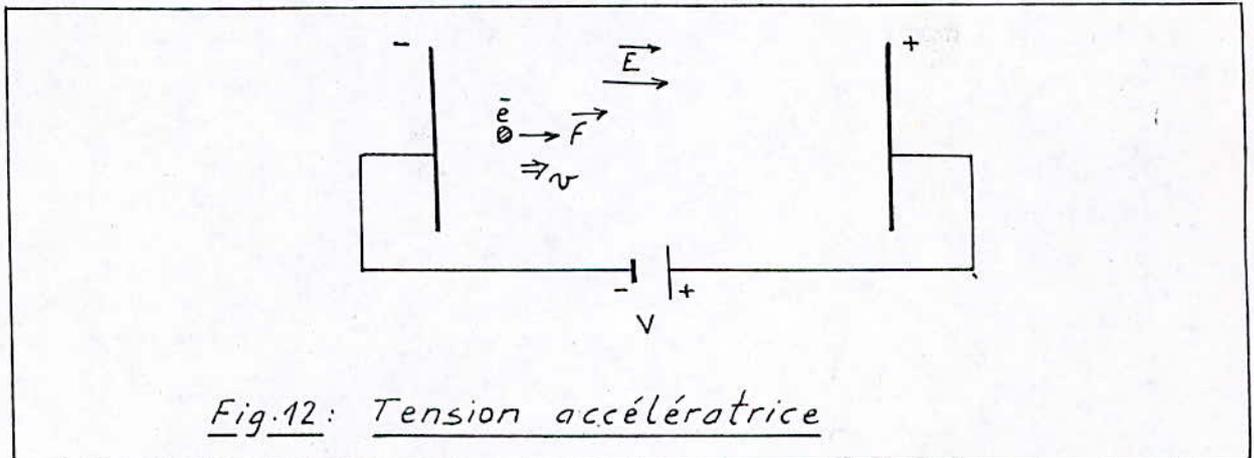
Fig.11: Asservissement de l'intensité du faisceau en fonction de  $T^\circ$

III-3-2 / PRESSION :

Le recuit se fait dans un bâti à vide , donc il est nécessaire de pouvoir relever , de façon régulière , la valeur de la pression . Si le système constate une augmentation brutale de la pression au delà des normes de sécurité , il doit arrêter immédiatement le fonctionnement .

III-3-3 / TENSION ACCELERATRICE :

Cette tension a pour effet d'accélérer les électrons , grâce au champ électrostatique qu'elle crée .



Supposons qu'on applique une tension  $V$  entre les plaques d'un condensateur géant , il s'y crée un champ  $\vec{E}$  tel que  $E=V/d$  (  $d$ : distance entre les plaques ) . La force qui déplace les électrons sera :  $F=e.E$  soit  $F=e.V/d$  , et l'accélération sera :  $a = (e.V)/(m_e.d)$  , d'où la vitesse à un instant  $t$  sera :  $v = ((e.V)/(m_e.d)).t + v_0$  .

Nous voyons donc que pour augmenter l'accélération , et par conséquent la vitesse des électrons , il faudra alors augmenter la tension  $V$  entre les plaques .

#### III-3-4 / TENSION DU WEHNELT :

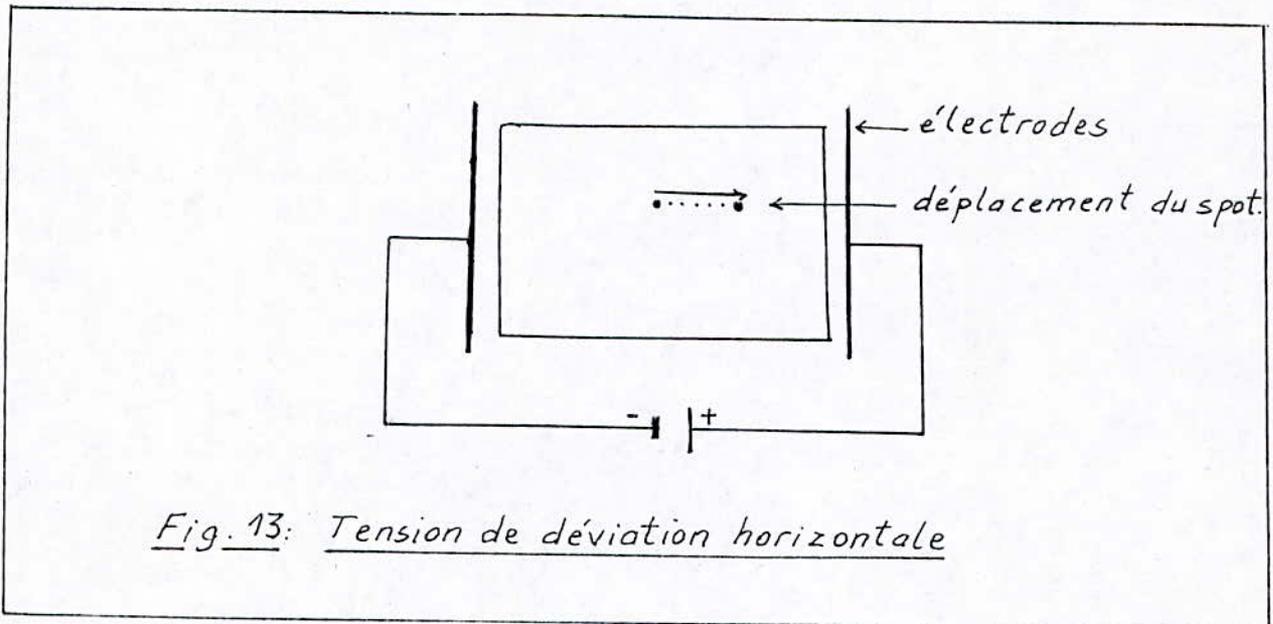
On met souvent devant la cathode du canon à électrons , une plaque percée portée à un potentiel négatif servant de vanne , et permettant de régler le débit d'électrons . Cette plaque de potentiel négatif va repousser les électrons ; cependant , si l'on veut que le flux d'électrons soit considérable , ce qui est nécessaire pour un recuit à haute température , il faut ouvrir suffisamment cette vanne , ce qui revient à augmenter algébriquement la tension du Wehnelt . Donc , finalement , on peut agir sur la température en agissant sur le Wehnelt .

Notons , pour conclure , que la tension accélératrice ne suffit pas à elle seule pour augmenter l'énergie cinétique du faisceau , mais il faut aussi jouer sur le Wehnelt .

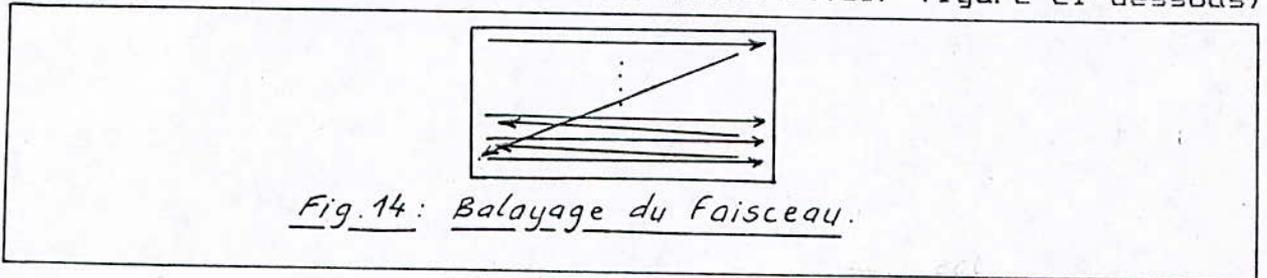
$$W_c = N \cdot (1/2) \cdot m \cdot v_e^2 , \text{ pour } N \text{ électrons émis .}$$

#### III-3-5 / TENSION DE DEVIATION HORIZONTALE :

Pour déplacer le faisceau à droite , par exemple , il est nécessaire d'appliquer une tension positive aux plaques de déviation horizontale ( voir figure 13 ) .

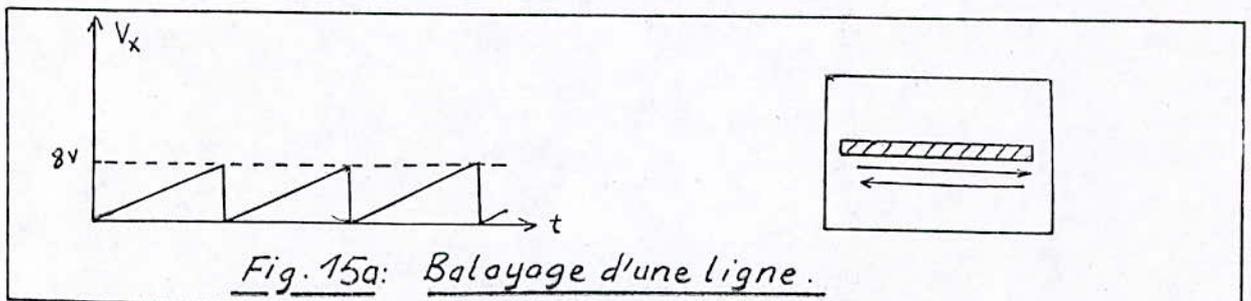


Dans le cas du recuit , le spot fait un balayage non entrelacé sur la plaquette de silicium , sous forme de lignes horizontales l'une au dessus de l'autre . (voir figure ci-dessous)



Donc le spot semble tracer des segments de droites parallèles et adjacents , afin de chauffer tout l'espace de la plaquette de silicium , et sans laisser froide aucune région .

Pour tracer une ligne horizontale , il suffit d'appliquer une tension alternative ( en dents de scie ) dont l'amplitude définira la longueur .



Le système doit donc générer un signal en dents de scie sur l'entrée  $V_x$  des plaques de déviation horizontale . La dimension des lignes sera fonction de l'amplitude crête-à-crête maintenue .

### III-3-6 / TENSION DE DEVIATION VERTICALE :

De la même manière que précédemment , pour obtenir un segment de droite vertical , il faut attaquer l'entrée  $V_y$  des plaques de déviation verticale par un signal en dents de scie . Seulement , dans le cas du balayage , nous serons obligés de faire des sauts de ligne chaque fois que le spot arrive en fin de ligne . Donc , il faut relier le contrôle de  $V_y$  à celui de  $V_x$  . Il ne faudra pas ainsi "incrémenter"  $V_y$  que si l'on détecte l'arrivée du spot à la fin de la ligne en cours .

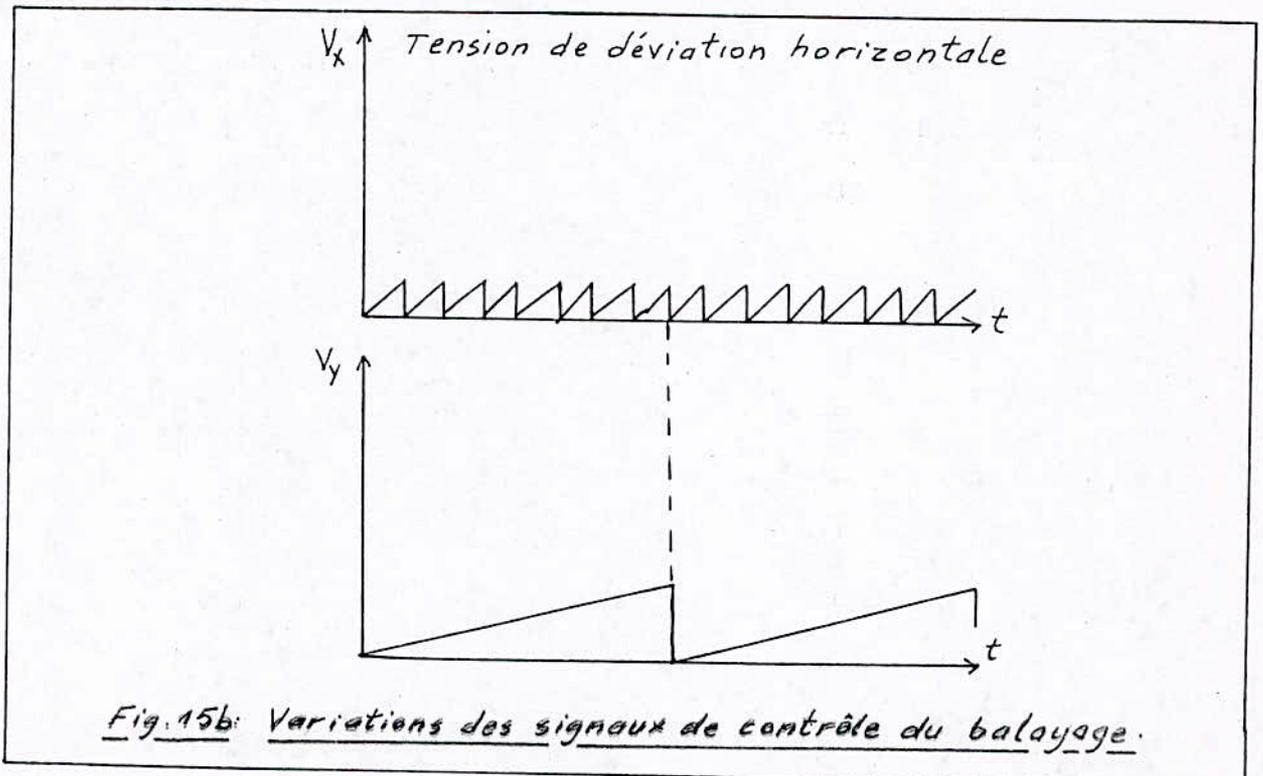
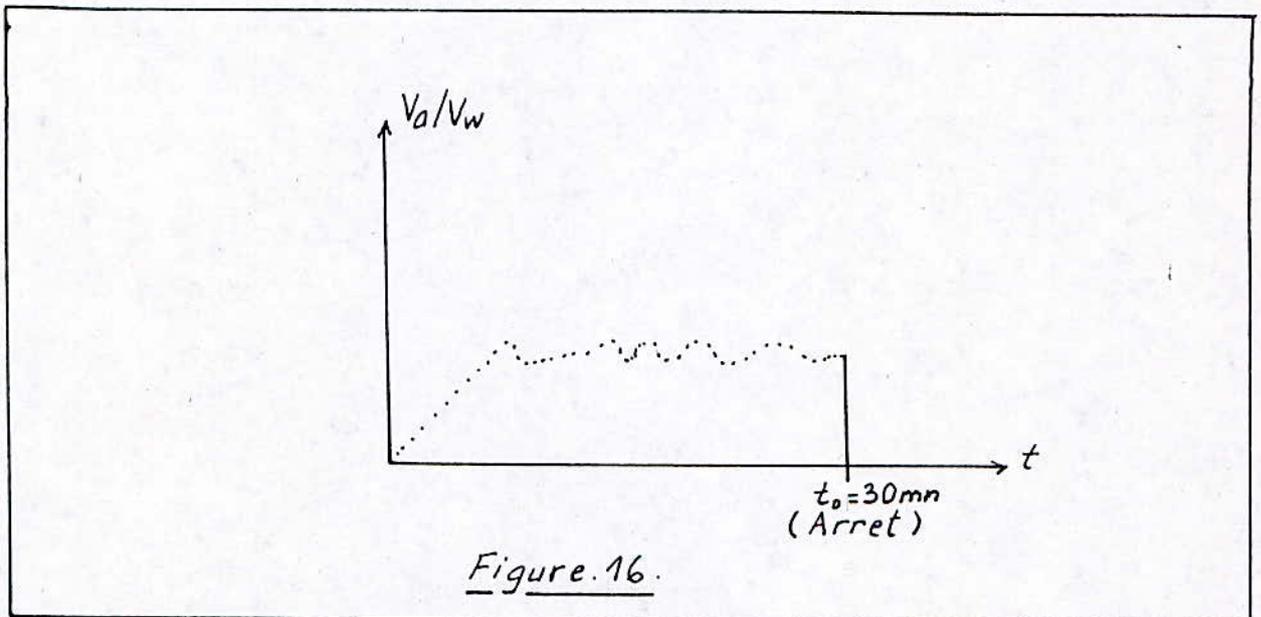
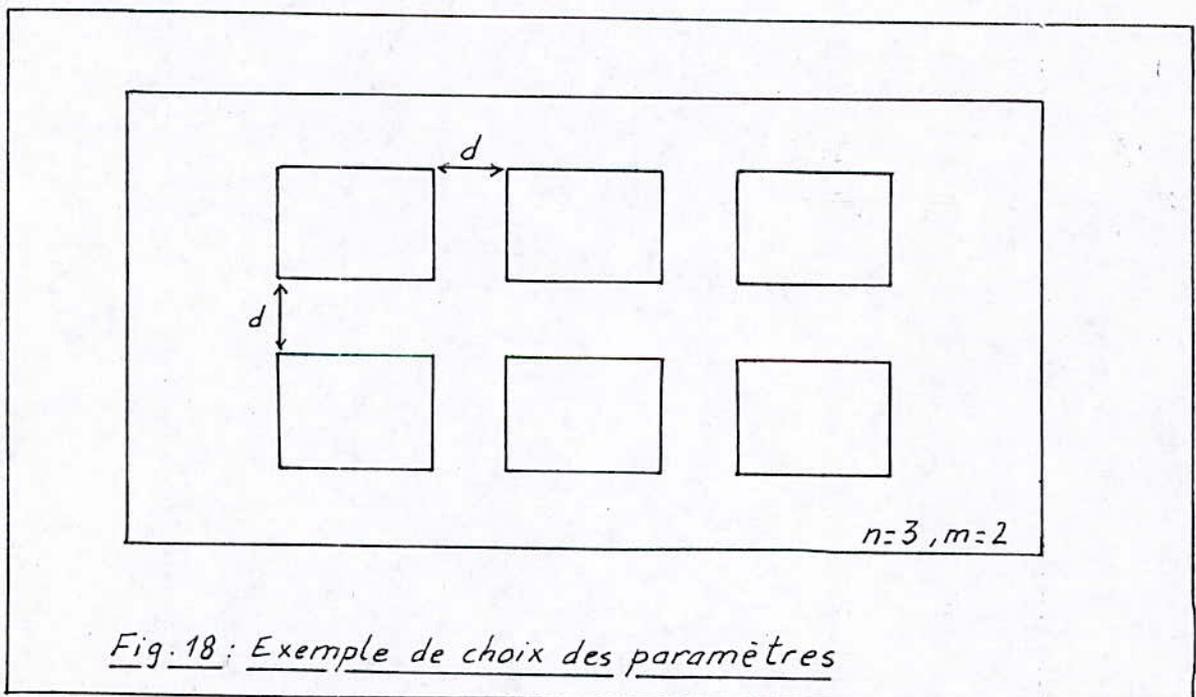
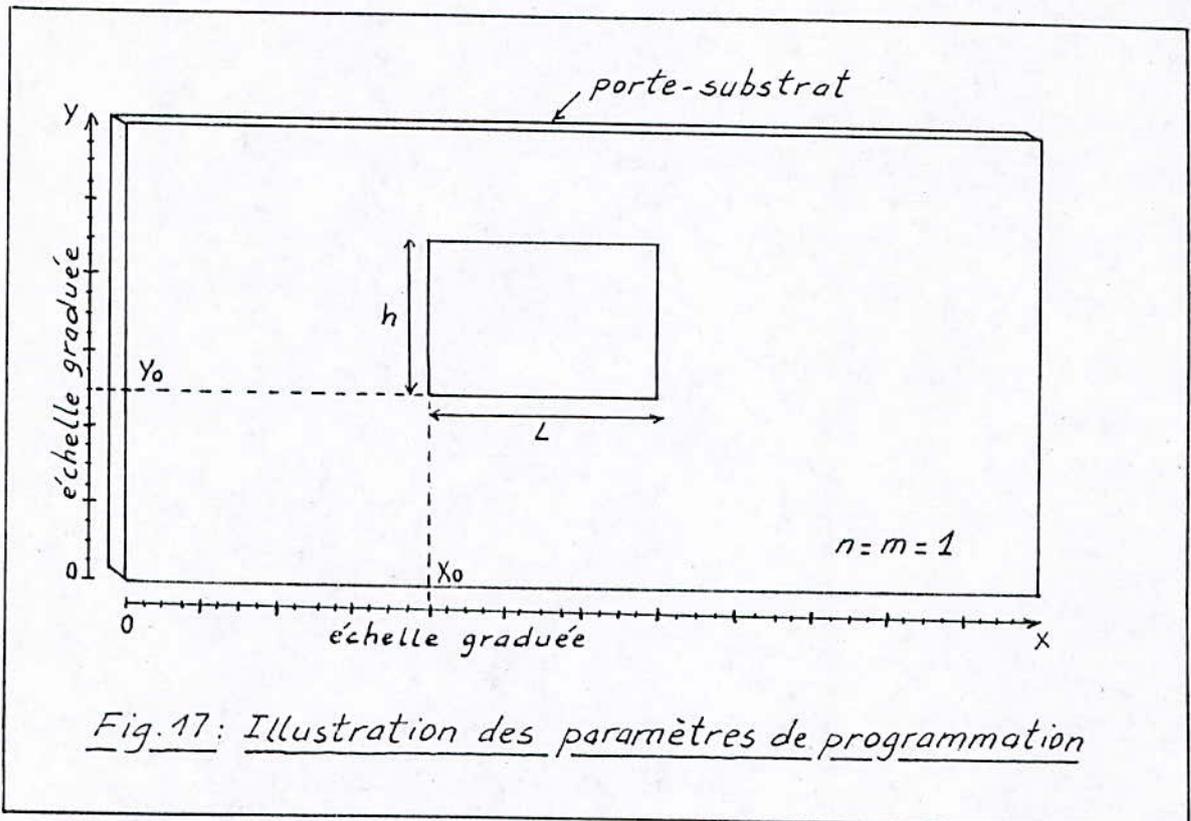


Fig. 15b: Variations des signaux de contrôle du balayage.

III-3-7 / TEMPS :

Il est intéressant d'automatiser l'arrêt du fonctionnement selon la volonté de l'utilisateur . Si l'on veut un recuit qui dure 30 minutes , on peut programmer le système à 30 min de fonctionnement , après quoi il doit s'arrêter immédiatement et ceci d'une manière automatique en déclenchant un signal sonore indiquant à l'utilisateur qu'il a terminé son travail .





CHAPITRE IV : SCHEMA SYNOPTIQUE.

DE LA CARTE

IV / SCHEMA SYNOPTIQUE DE LA CARTE

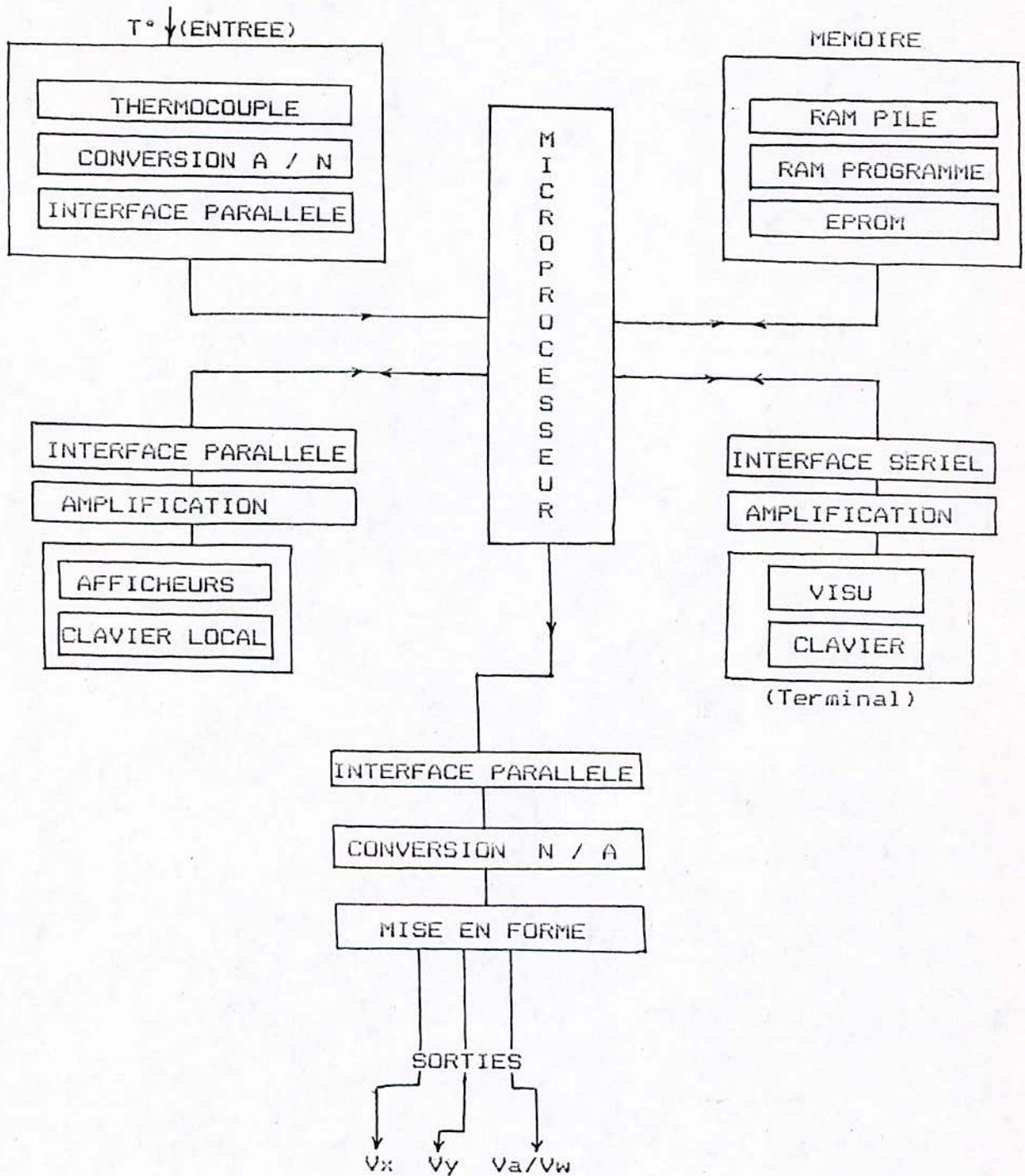


Fig. 19 : Schéma synoptique de la carte

Dans ce qui suit , nous étudierons le schéma synoptique précédent , c'est à dire qu'on décrira le fonctionnement de chaque unité faisant partie du système conçu .

Il est alors important de diviser la carte en des parties discrètes caractérisées chacune par une tâche bien définie. On peut, dans ce cas, distinguer 6 parties différentes:

- Le processeur ,
- L'unité mémoire ,
- L'unité de dialogue sériel ,
- L'unité de dialogue parallèle ,
- L'étage d'entrée ,
- Et enfin , l'étage de sortie .

Tout d'abord , le PROCESSEUR est la pièce maitresse de tout le système , puisqu'il gère à lui seul toutes ces parties en temps réel ; et permet le contrôle des différents signaux d'Entrée/Sortie , grâce à ses bus de données , d'adresse , et de contrôle .

Le processeur lit les programmes écrits dans l'EPRM-systeme , il les exécute , normalement en échangeant des données et/ou en traitant arithmétiquement ou logiquement celles-ci ; ou bien il fait tout autre chose pouvant lui être dicté par ces programmes .

Il est donc relié à la MEMOIRE pour pouvoir y lire ou écrire des données ; et il est relié à tous les interfaces

d'Entrée/Sortie pour aussi générer ou contrôler certains signaux analogiques ou numériques .

La mémoire est par conséquent une partie indissociablement liée au processeur . Un processeur sans mémoire ne peut presque rien faire , d'où il indispensable d'adjoindre des mémoires RAM et ROM pour lui permettre de diriger le fonctionnement de la carte , dans les règles de l'art .

Chaque micro-instruction , qu'on veut faire exécuter au microprocesseur , doit être indiquée clairement dans l'EPROM ; parceque le uP ne fait que lire les instructions qui s'y trouvent et les exécute ensuite séquentiellement .

L'espace mémoire disponible sur la carte est divisé en trois parties :

- 4 Ko de mémoire ROM pour les programmes figés .
- 2 Ko de mémoire RAM pour les tabulations , et le stockage des paramètres d'entrée/sortie .
- 2 Ko de mémoire RAM pour la pile système et la pile utilisateur .

Une fois que le uP a lu les micro-instructions écrites dans l'eprom , et après décodage de celles-ci , il cherche éventuellement à échanger des données avec un périphérique d'E/S; ça peut être : un ACIA dans le cas des échanges sériels ,  
ou un PIA dans le cas des échanges parallèles .

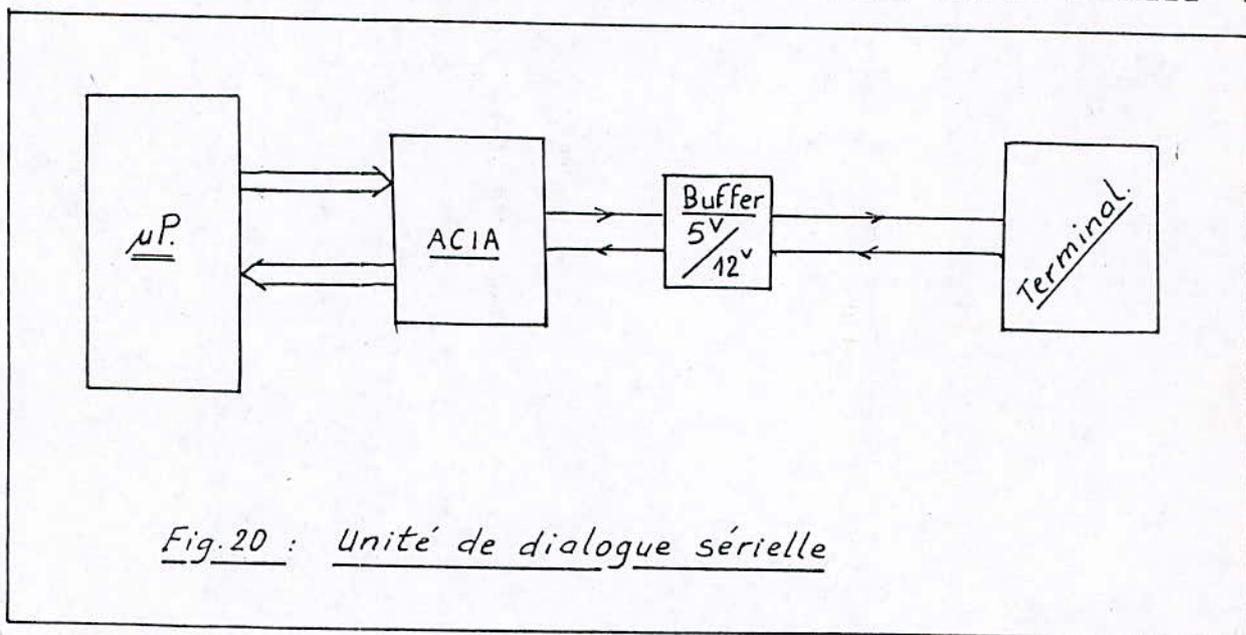
Voyons alors cas par cas le rôle des différentes unités constituant la périphérie du uP :

IV-1 : L'UNITE DE DIALOGUE SERIELLE

Composée d'un ACIA , de buffers de lignes pour aboutir finalement au TERMINAL .

Si le processeur veut émettre des données vers le terminal , l'ACIA convertit l'information parallèle ( sur 8 bits ) en un signal sériel qu'il transmet au terminal après être amplifié jusqu'à 12 V (crête-à-crête) par les buffers de lignes .

Si , par contre , il veut recevoir des données , il ordonne à l'ACIA de convertir ces signaux en parallèle ( sur 8 bits ) , puis il les prend en considération grâce à son bus de données .



Ce type de transmission est utilisé lors de l'entrée des paramètres de recuit , et l'affichage de la température et du temps .

#### IV-2 : L'UNITE DE DIALOGUE PARALLELE

Comprend des PIAs pour gérer les afficheurs et le clavier local , ainsi que des buffers et des étages de puissance.

Pour lire une donnée , le processeur ira directement consulter le port B d'un PIA auquel on a donné le nom "PIA-CLAVIER", si une touche a été appuyée, il saura laquelle grâce à un test de tous les bits de ce port .

Pour écrire une donnée ( sur afficheurs ) , il met une certaine configuration sur les deux ports du "PIA - AFFICHEURS", cela va correspondre à un certain symbole sur les afficheurs .

Une AMPLIFICATION est nécessaire dans ce cas , elle est réalisée au moyen de circuits intégrés et de transistors de puissance .

#### IV-3 : L'ETAGE D'ENTREE

Cette partie de la carte s'occupe essentiellement des variations de la température du four . Elle est composée d'un thermocouple qui pique la température des cellules , d'un convertisseur analogique-numérique ( convertit une tension analogique en numérique sur 8 bits ) et d'un interface parallèle pour communiquer avec le processeur .

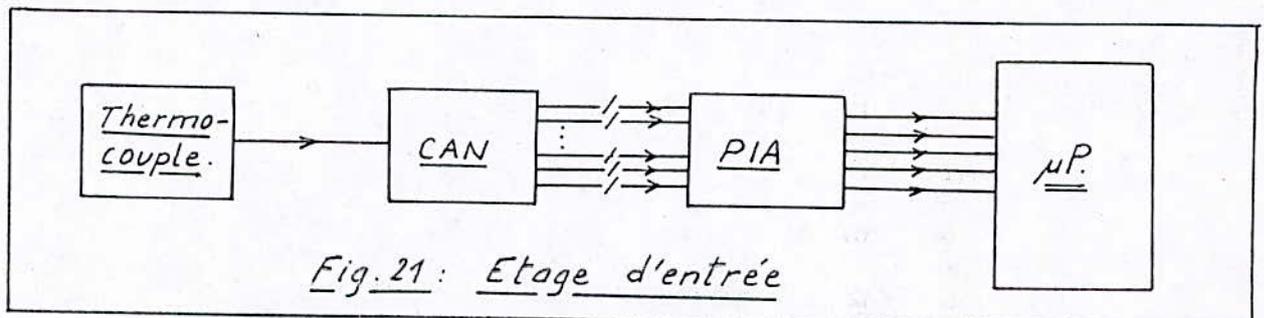


Fig.21 : Etage d'entrée

IV-4 : L'ETAGE DE SORTIE

Constitué des éléments suivants :

- Interfaces parallèles ,
- Convertisseurs Numérique-Analogique ,
- Etage de mise en forme .

L'interface parallèle sert de registres pour déposer les nouvelles valeurs de la tension de commande , ces registres se présentent comme des bascules D ( pas de perte d'informations ) .

Les convertisseurs numérique-analogique transforment la donnée numérique en une valeur analogique mesurable(courant).

Enfin , les étages de mise en forme , constitué chacun d'un amplificateur opérationnel , font une dernière conversion courant-tension et un réglage de la tension finale ( crête à crête ) .

IV-5 : SCHEMA D'IMPLANTATION

Il est toujours utile de schématiser la disposition réelle des composants sur la carte :

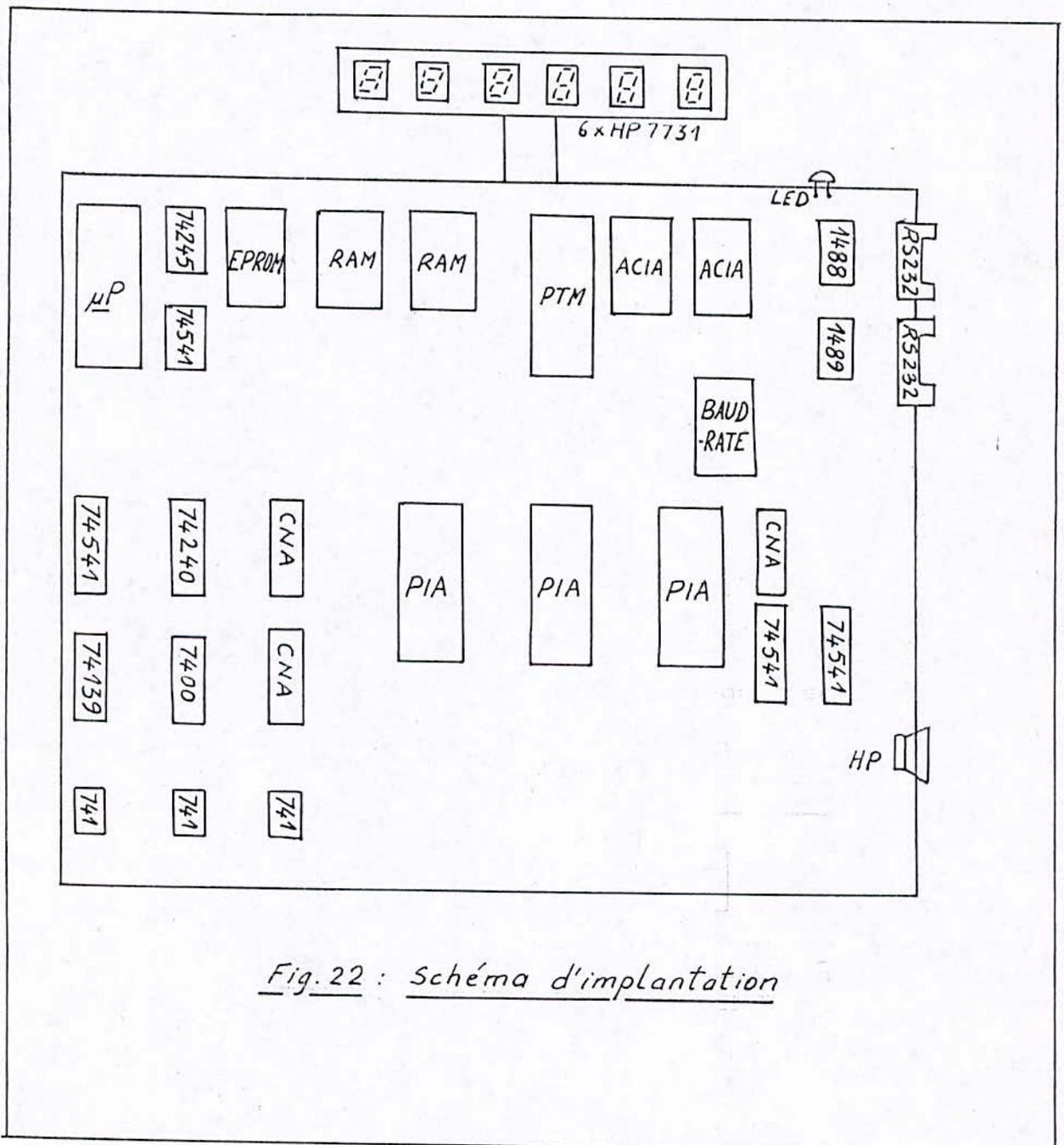


Fig.22 : Schéma d'implantation

*CHAPITRE V : ETUDE 'HARDWARE'*

*DES DIFFERENTS MODULES*

## V / ETUDE "HARDWARE" DES DIFFERENTS MODULES

Dans cette partie , nous décrivons le fonctionnement des différentes parties de la carte , et l'interconnexion entre ces différents modules .

### V-1 : L'UNITE CENTRALE

C'est la pièce maitresse du système , elle sert à la gestion des microprogrammes exécutable .

Elle est constituée des éléments suivants :

#### V-1-1 / LE MICROPROCESSEUR :

C'est le 68B09 de la famille MOTOROLA , il fonctionne avec une FREQUENCE INTERNE de 2 MHz ; pour cela on le relie à un QUARTZ de 8 MHz .

Son ASSEMBLEUR est relativement simple et très souple .

Son BUS DE DONNEES de 8 bits ( pseudo-16 bits ) est largement suffisant pour notre projet .

Le BUS D'ADRESSE de 16 bits permet d'adresser jusqu'à 64 Ko , ce qui serait utile si on ajoute une extension demandant plus de mémoires adressables que ce qui est disponible .

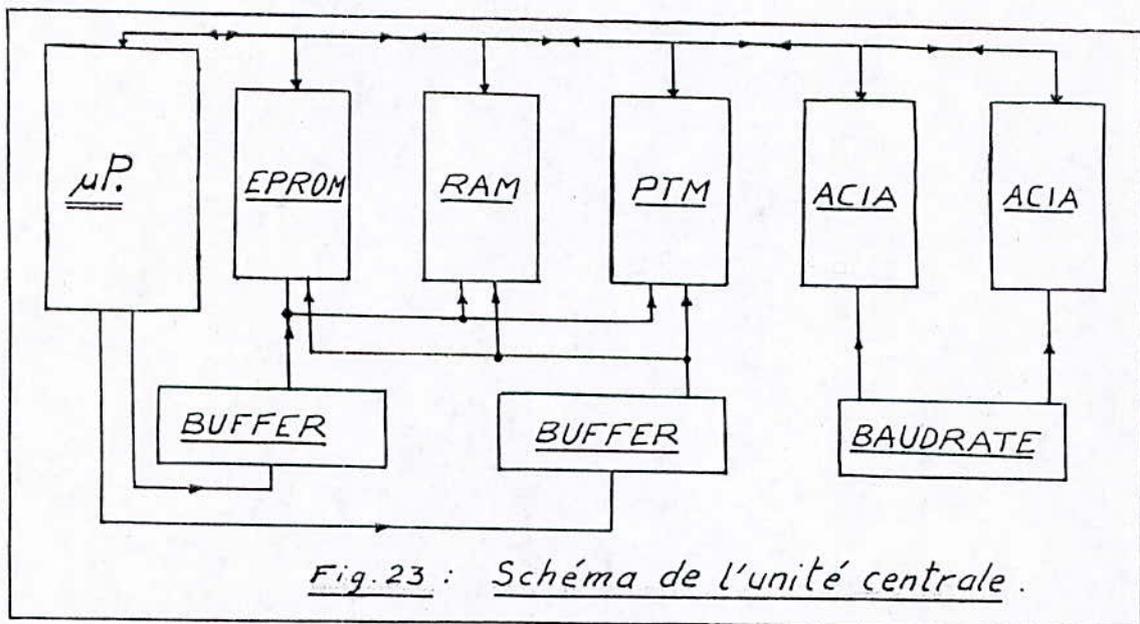
Le BUS DE CONTROLE composé des lignes :  $R/\bar{W}$  , E et Q , commande tous les circuits de l'unité centrale .

Toutes les lignes des bus ( Données , Adresse et Contrôle ) sont amplifiées grâce à des buffers de lignes du type 74 LS 541 .

Les INTERRUPTIONS du microprocesseur sont toutes reliées au Vcc à travers des résistances de 4.7 K , pour les forcer à un niveau haut .

Les interruptions utilisées sont :

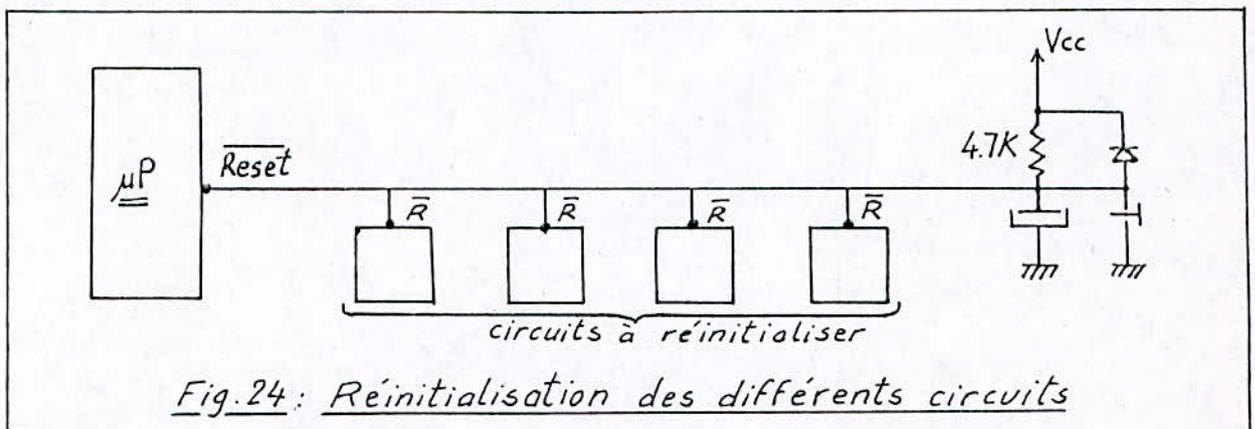
- RESET : pour la réinitialisation ,
- NMI : pour la temporisation et le contrôle de la tension accélératrice .
- FIRQ : pour l'affichage du temps et de la température sur les AFFICHEURS "7 SEGMENTS" ,
- IRQ : pour le rafraichissement de ces derniers .



*Fig.23 : Schéma de l'unité centrale .*

Voyons maintenant d'une manière plus détaillée ces différentes interruptions , et leur réalisation sur notre carte .

\* RESET : C'est une interruption matérielle , permettant le fonctionnement dès la mise sous tension . Chaque entrée  $\overline{\text{Reset}}$  des différents circuits est reliée , à la fois , au  $\overline{\text{Reset}}$  du microprocesseur , à une capacité de 100 uF et à un bouton poussoir qui sert à la commuter à la masse . ( Voir Figure 24 ) .

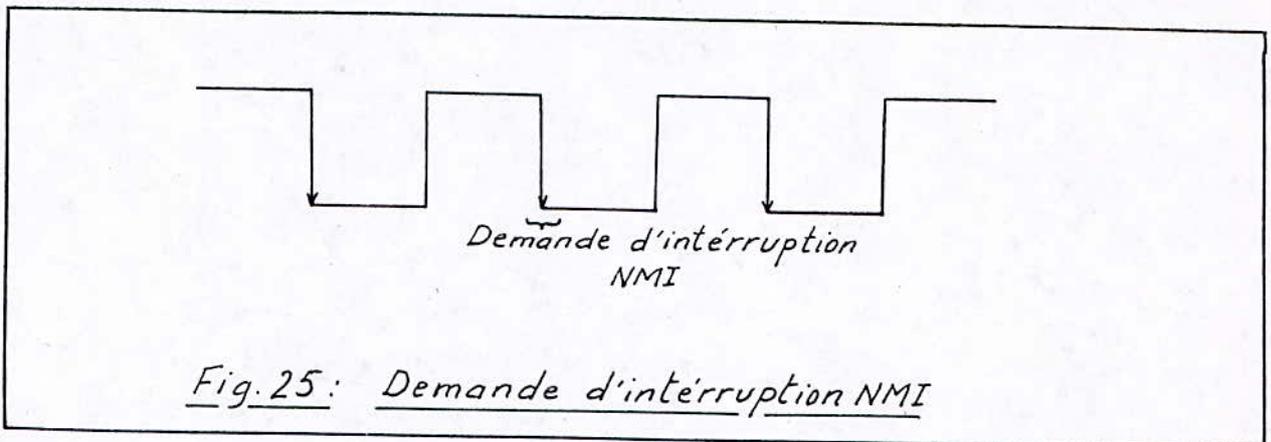


La capacité est utilisée pour court-circuiter le Reset à la masse dès la mise sous tension .

La diode permet d'accélérer la décharge de la capacité à l'arrêt .

La résistance de 4.7 K met le  $\overline{\text{Reset}}$  à un niveau haut en fonctionnement normal .

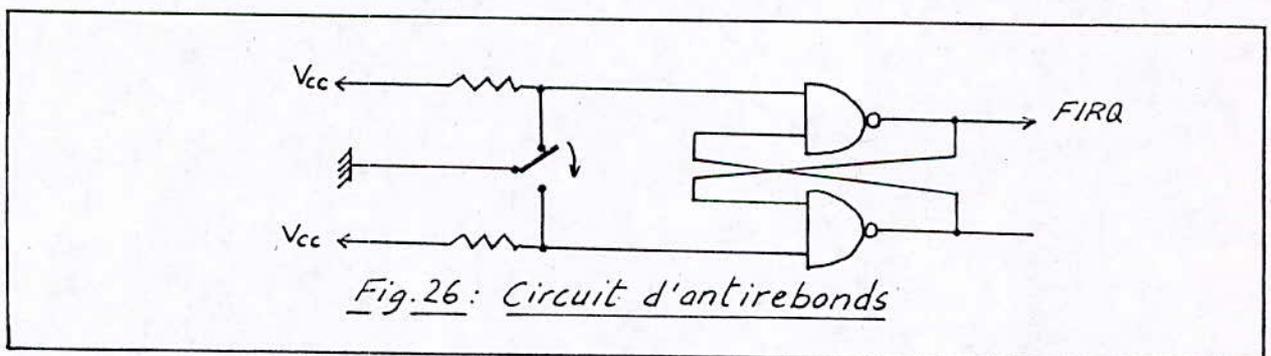
\* NMI : C'est l'interruption la plus prioritaire après le Reset . Son avantage est qu'elle est sensible seulement au front descendant . Ce qui nous permet d'utiliser des fréquences d'interruption assez basses , sans pour autant déranger le fonctionnement du microprocesseur .



Elle provient de la sortie " 02 " du PTM , sa fréquence est de 100 Hz .

\* FIRQ : C'est une interruption rapide puisqu'elle ne fait la sauvegarde que du P.C et du C.C.R . Cela justifie son utilisation pour l'affichage du temps et de la température pendant le recuit .

Elle provient d'un bouton poussoir qui la commute à la masse via un circuit d'antirebonds .



- .Etat de repos :  $FIRQ = 1$  ,
- .Etat de demande d'interruption :  $FIRQ = 0$  .
- .Etat intermédiaire : pas de changement d'état .

\* IRQ : Cette interruption est reliée à la sortie " 03 " du PTM , sa fréquence est de 100 Hz .

V-1-2 / L'EPROM :

C'est une mémoire morte effaçable par rayons U.V. , de capacité 4 Ko , du type 2732 A de Texas Instruments .

Son rôle principal est de loger les microprogrammes du uP . Elle est reliée au microprocesseur par les bus de données , d'adresse et de contrôle .

V-1-3 / LES RAMs :

La RAM utilisée est une mémoire vive statique de 2 \* 2Ko , en l'occurrence la SY 2128 .

Cet espace mémoire sert de zone de stockage pour la pile-sauvegarde ou utilisateur , ainsi que pour lire ou écrire certaines tables pendant le fonctionnement .

On a utilisé en tout deux RAMs , qu'on a relié au microprocesseur par les lignes des bus de données , d'adresse et de contrôle .

V-1-4 / LES DECODEURS :

Utilisés pour le décodage d'adresse , ce sont deux décodeurs " 1 PARMi 4 " intégrés : 74 LS 139 .

V-1-5 / LES BUFFERS :

Il existe deux types de buffers :

- les buffers BIDIRECTIONNELS ( 74 LS 245 ) pour l'amplification des signaux du bus de données . Le sens de

transfert y est déterminée par la ligne  $R/\bar{W}$  :

- $R/\bar{W}=1$  ==> Lecture ,
- et -  $R/\bar{W}=0$  ==> Ecriture.

- les buffers UNIDIRECTIONNELS ( 74 LS 541 ) utilisés pour l'amplification des signaux du bus d'adresse , et du bus de contrôle .

#### V-1-6 / LE PTM :

Le PTM ( Timer Programmable ) fait partie de l'unité centrale , son rôle principal est la génération d'interruptions pour la temporisation , et le rafraichissement des afficheurs . Le PTM utilisé sur la carte est le MC 68B40 .

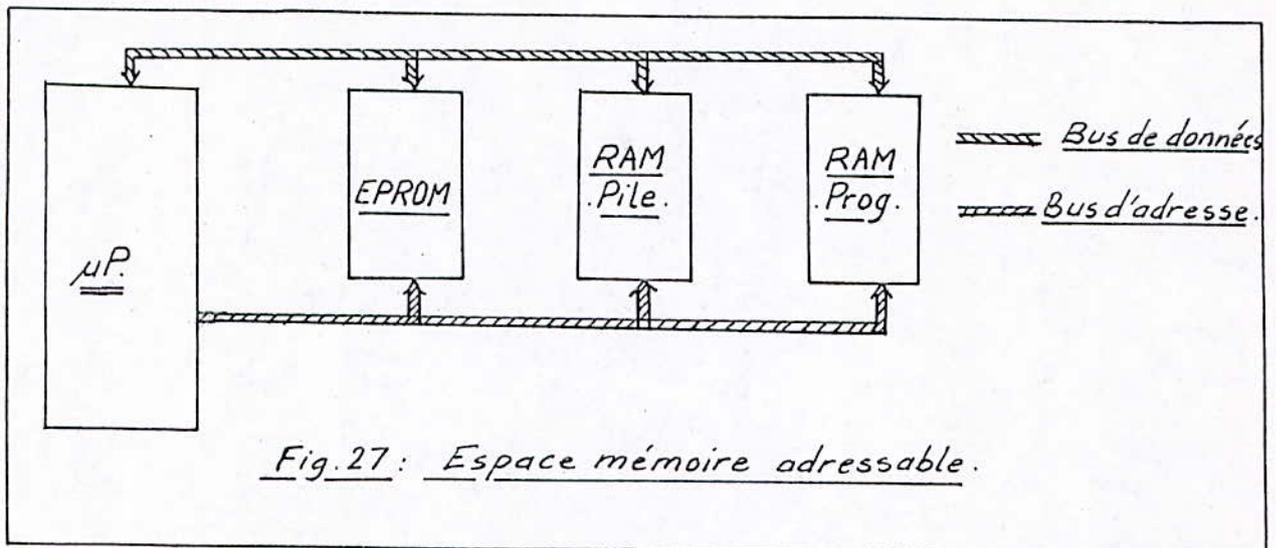
#### V-2 : LA MEMOIRE

Deux types de mémoires sont indispensables pour le fonctionnement du processeur : RAM ( Mémoire à lecture et écriture ) , et ROM ( Mémoire à écriture seule ) .

La RAM est une SY 2128 de type statique , ayant une capacité de 2 Ko ; son rôle est de stocker des valeurs proposées par le uP , et de lire ces valeurs quand celui-ci les cherche .

Une autre RAM de même type est utilisée pour la pile-système et utilisateur . Ce donc un total de 4 Ko de RAM .

L'EPROM contient les programmes figés de réinitialisation , traitement et dialogue que doit exécuter le uP . C'est une 2732 A , de capacité mémoire 4 Ko .



- REMARQUE : La carte a la possibilité de contenir plus de mémoires, dans le cas où on veut faire une extension ; car l'adressage qui lui a été conçu comprend une zone mémoire décodable de 4 Ko .  
C'est d'ailleurs cet espace qui a été utilisé pour écrire et développer nos programmes d'essai .

### V-3 : LES PERIPHERIQUES DE DIALOGUE

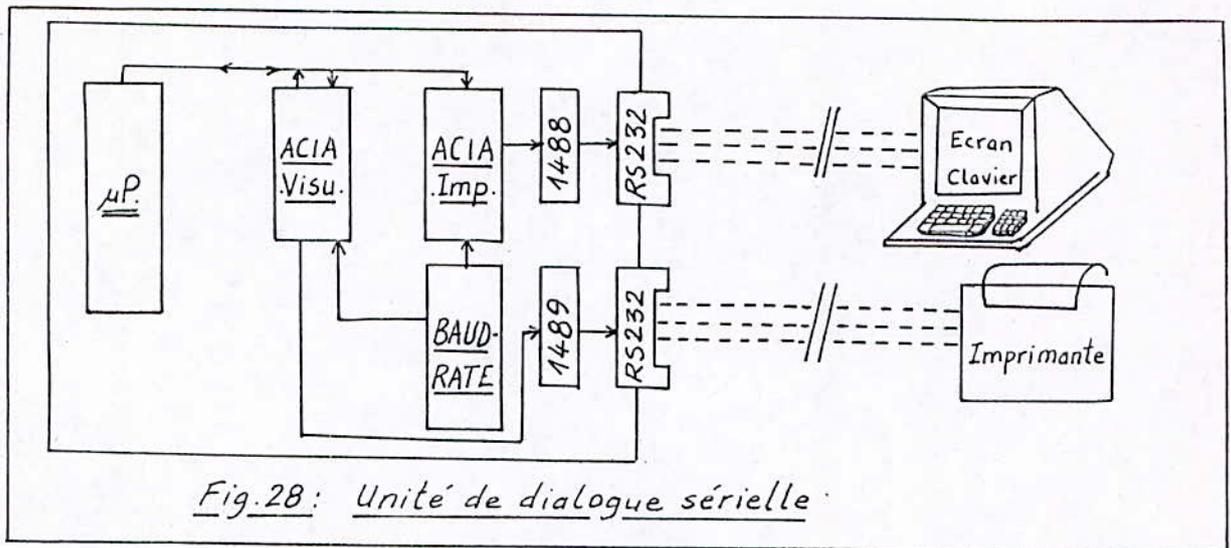
L'unité de dialogue est composée de deux parties distinctes et indépendantes :

- Partie de dialogue par TERMINAL ou SYSTEME HOTE ,
- Partie de dialogue par CLAVIER/AFFICHEURS .

#### V-3-1 / LA PARTIE "TERMINAL" :

Par terminal , nous faisons allusion à la VISU et au CLAVIER QWERTY .

Le système hôte peut être un PC qui pilote la carte conçue , ou une IMPRIMANTE permettant de tracer les courbes jugées utiles ( Variations de la température , de la tension du Wehnelt...etc).



Cette partie est essentiellement constituée de deux ACIAs 68B50 , d'un BAUDRATE MC 14411 , des circuits de "conversion" de tension ( MC 1488 et MC 1489 ) et enfin des CONNECTEURS de type RS 232 .

Le BAUDRATE est un circuit spécialisé donnant en sortie des signaux carrés à fréquences normalisées: 9600 Bauds, 4800 , 2400, 1200 , 600 , ...

L'ACIA est un circuit intégré à 24 broches permettant la conversion parallèle/sérielle des données en émission , ou sérielle/parallèle en réception . Ces ACIAs sont pilotés par le BAUDRATE à une fréquence de 9600 Bauds , et sont connectés au terminal et au système hôte via les jonctions RS 232 .

Les données transmises en série parcourent souvent de longues distances , il y a donc risque de pertes d'informations qui peuvent être causées par un parasite , ou un bruit externe ; d'où la nécessité d'amplifier ces signaux pendant la transmission sérielle .

Pour ce faire , on utilise les circuits: MC 1488 et MC 1489 , qui sont des commandes de lignes . Le MC 1488 amplifie le signal TTL ( 5 V ) en un signal de niveau supérieur ( 12 V ). Le MC 1489 restitue le signal reçu ( 12 V ) dans son état initial ( niveau TTL: 5 V ) .

Enfin , il est nécessaire d'implanter des jonctions permettant de coupler notre carte à un terminal , ou à une imprimante via un câble normalisé ; c'est ce que réalise le CONNECTEUR RS 232 . Nous en avons prévu deux : un pour le terminal , et l'autre pour le système hôte .

V-3-2 / PARTIE "CLAVIER / AFFICHEURS" :

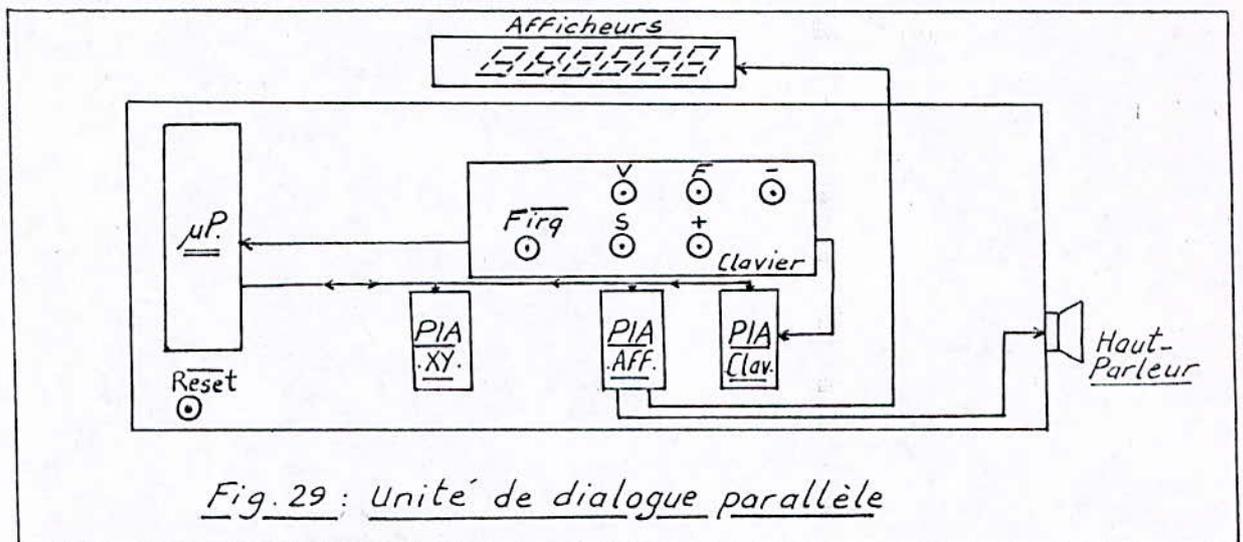


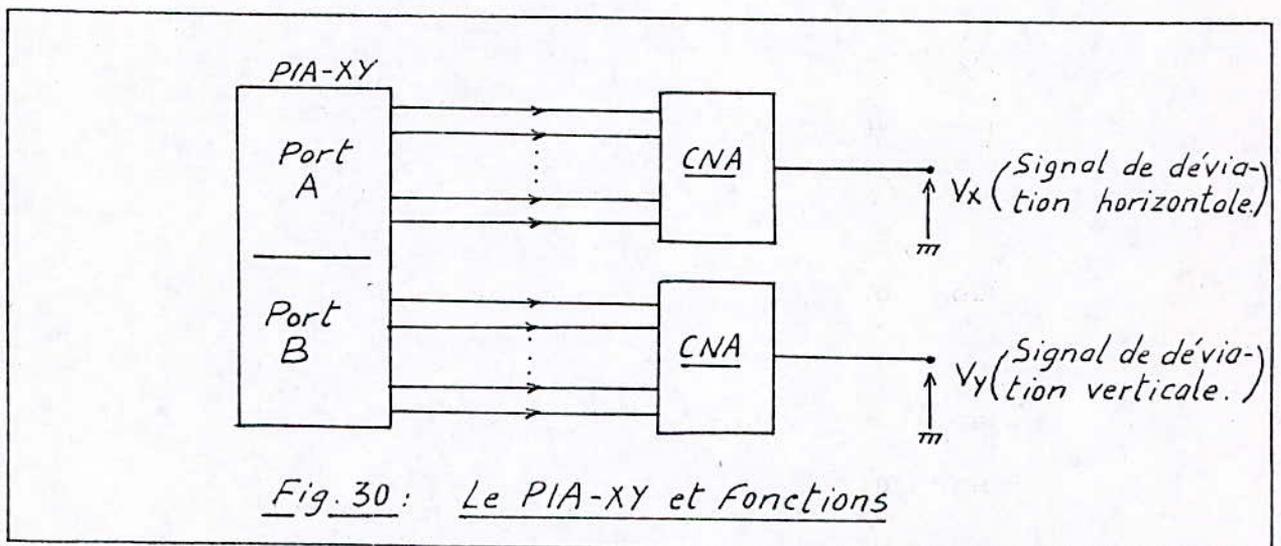
Fig.29 : Unité de dialogue parallèle

Pour la transmission parallèle ,trois PIAs de type MC 68 B 21 ont été utilisés ; ce sont des PIAs compatibles avec la version de microprocesseur utilisée ( le 68 B 09 de fréquence de fonctionnement : 2 MHz ) , et possédant deux ports de 8 bits de données chacun : le PORT A et le PORT B .

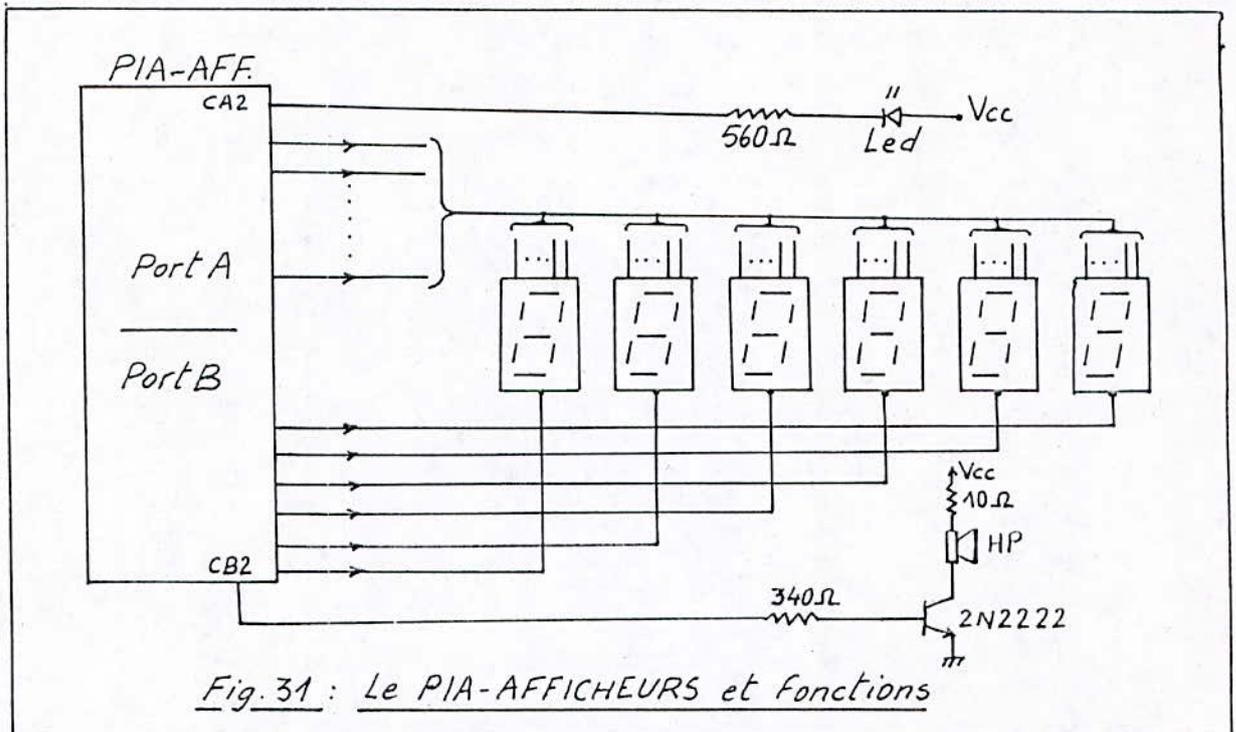
Chaque port possède , en plus du bus de données , deux autres lignes de dialogue : CA1 et CA2 pour le port A , et CB1 et CB2 pour le port B . Ces lignes peuvent être utilisées en entrée ou en sortie , et leur état peut être fixé par programme après avoir convenablement configuré le registre de contrôle approprié .

Chaque PIA a un rôle bien précis dans la carte :

a/ LE PIA-XY : est consacré au balayage , son port A délivre le signal X de déviation horizontale , mais en binaire bien sûr ; alors que le port B s'occupe de la génération du signal Y de déviation verticale .



b/ LE PIA-AFFICHEURS : a pour principale fonction de gérer les afficheurs . Il sert aussi à délivrer un signal audiofréquence vers le HAUT-PARLEUR .



Toutes les entrées a,b,...,g,dp des afficheurs sont reliées respectivement aux sorties A0,A1,...,A6,A7 du port A , et de même pour les anodes a0,...,a5 des 6 afficheurs qui elles sont reliées aux sorties B0,...,B5 du port B .

La ligne CB2 attaque la base du transistor de l'étage de puissance alimentant le HP . Et la LED est reliée au Vcc et à CA2 à travers une résistance limitatrice de courant de 560 Ohms .

c/ LE PIA-CLAVIER : Il a pour rôle la gestion du clavier local du système , la lecture de la température ( supposée en binaire sur 8 bits ) et la délivrance de la tension d'accélération et de Wehnelt .

Le port A est relié à deux buffers à 3 états ( 74 LS 541 ) qui possèdent chacun une entrée  $\bar{E}$  (  $\bar{E}1, \bar{E}2$  ), comme indiqué sur la figure 32 ( voir page suivante ) .

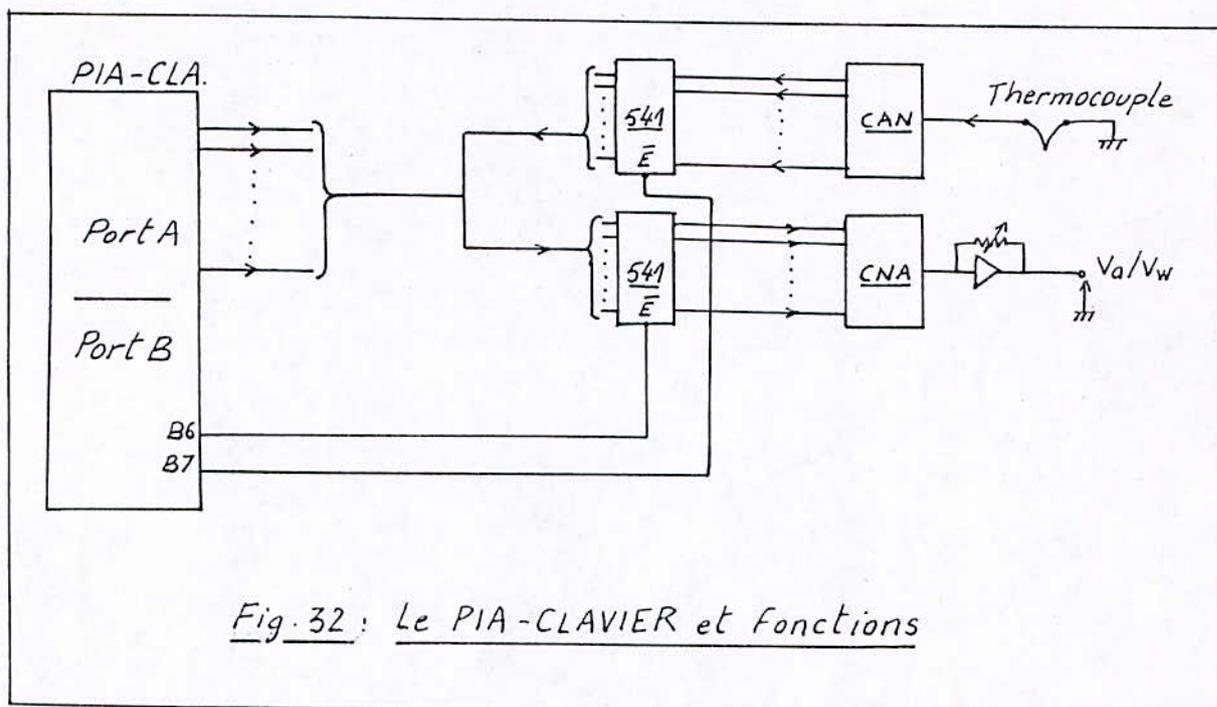


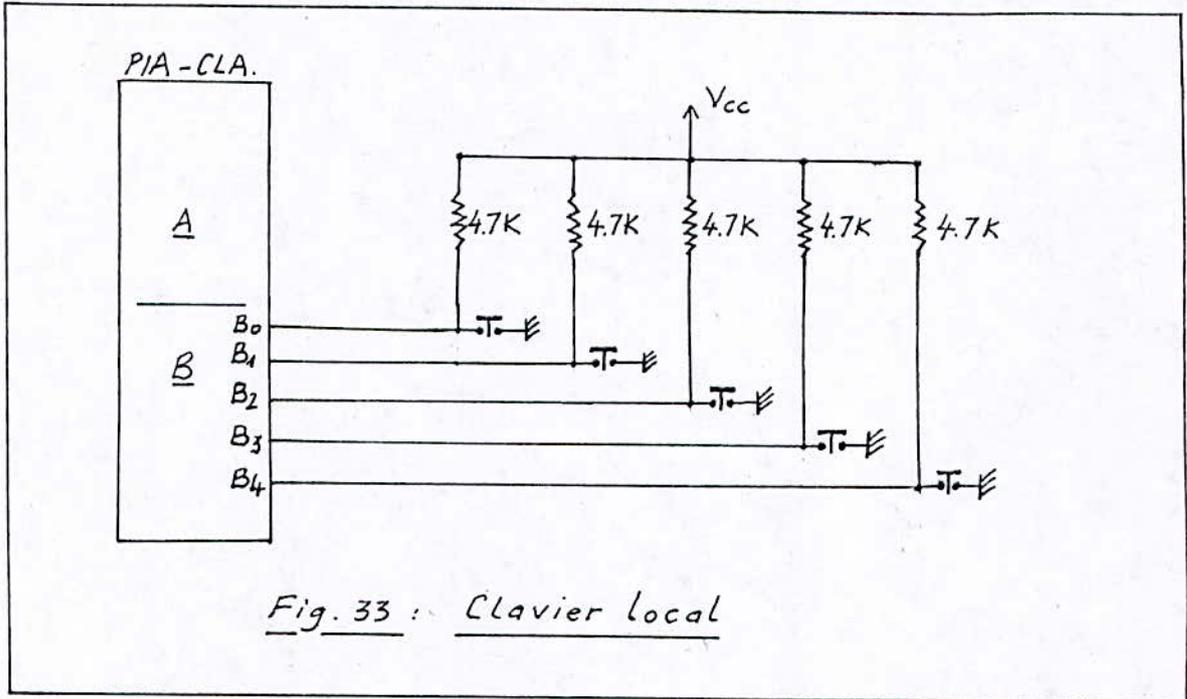
Fig.32 : Le PIA-CLAVIER et Fonctions

Autrement dit , le port A permet de lire la température sur 8 lignes quand on l'utilise en entrée , et d'écrire la valeur de la tension  $V_a$  ou  $V_w$  quand on l'utilise en sortie , et cela par l'intermédiaire des mêmes lignes  $A_0, A_1, \dots, A_8$  .

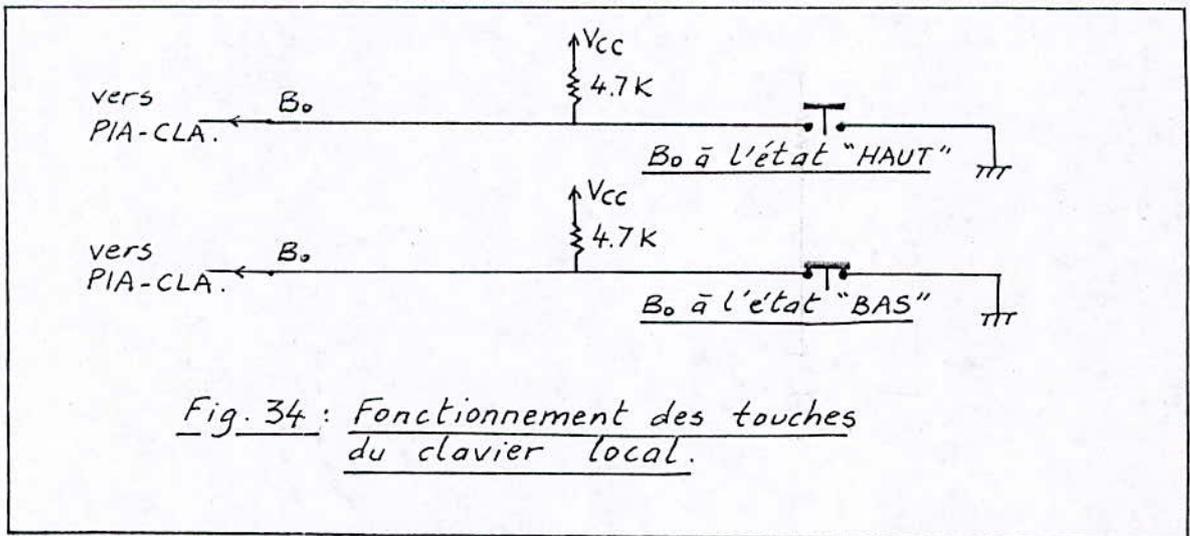
Pour lire la température , on met  $B_6$  à "1" et  $B_7$  à "0" afin de sélectionner le 74 LS 541 de la température . Mais , pour déposer la configuration binaire propre à la tension  $V_a$  ( ou  $V_w$  ) , on met  $B_6$  à "0" et  $B_7$  à "1" , ce qui sélectionnera l'autre buffer 74 LS 541 ( de sortie ) .

Rappelons simplement que lorsque l'entrée E est à "1" , le buffer est à l'état "Haute Impédance" , ce qui veut dire qu'il est complètement ignoré par le PIA .

La troisième fonction de ce PIA est la gestion du clavier local . La disposition des 5 boutons poussoirs de ce dernier est illustrée par la figure 33 .



Chaque bouton poussoir fait commuter une ligne du port B ( B0 à B4 ) à la masse . S'il n'est pas appuyé , la ligne en question reste alors à l'état Haut , grâce à la résistance de 4.7 K à travers laquelle elle est relié au Vcc. ( Voir figure ci-dessous)

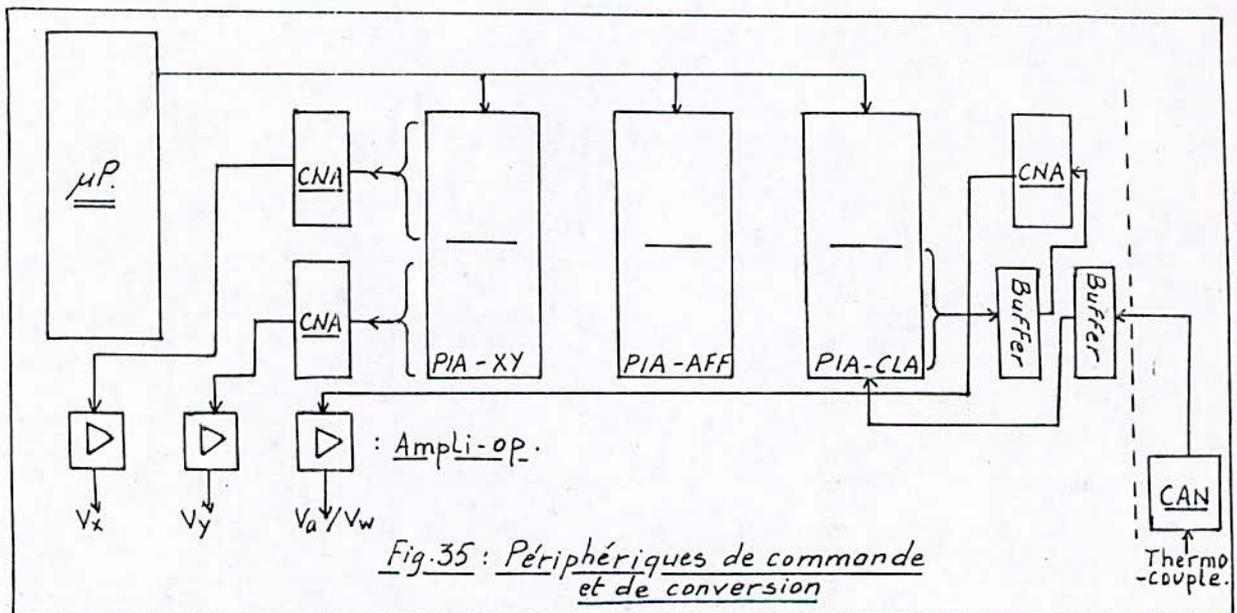


V-4 : LES PERIPHERIQUES DE COMMANDE

Par commande , on entend tous les signaux d'entrée ou de sortie qui interviennent dans le processus de recuit .

Dés lors que ces signaux sont analogiques , il convient d'utiliser des convertisseurs de type :

- C.N.A pour les signaux de sortie ,
- et - C.A.N pour les signaux d'entrée .

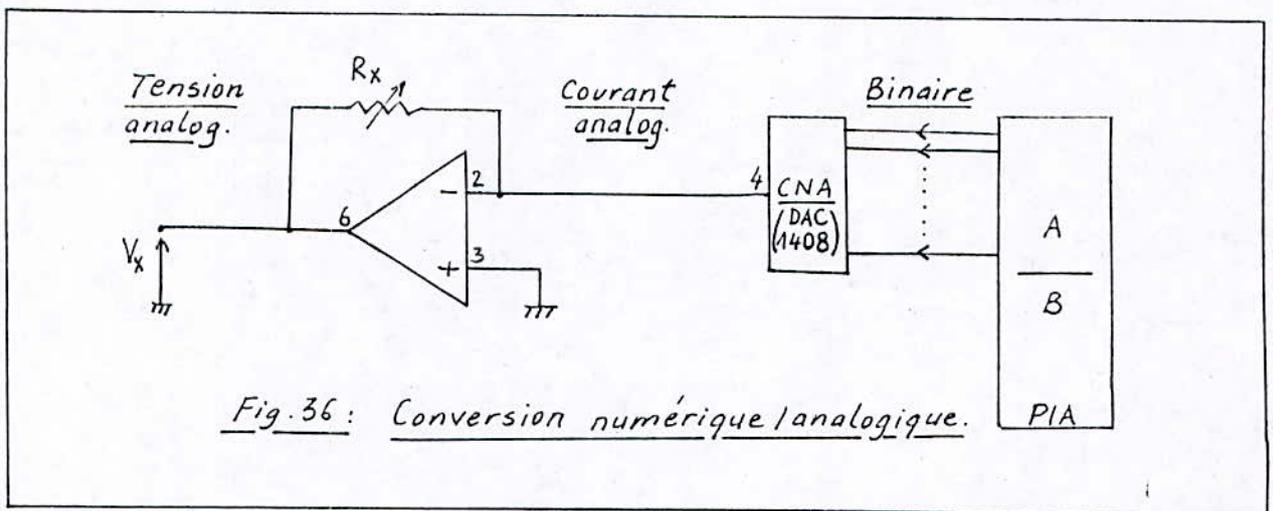


V-4-1 / CONVERSION NUMERIQUE/ANALOGIQUE :

La carte réalisée doit délivrer en sortie 3 signaux analogiques dont l'amplitude maximale varie entre 0 et 8 V pour X et Y ; et entre 0 et 6 V pour Va et Vw .

Pour cela , il est nécessaire d'utiliser des convertisseurs numérique/analogique , afin de transformer la valeur binaire à la sortie du port en une valeur analogique .

Puisque le port possède 8 lignes de sortie , il vaut mieux utiliser des C.N.A à 8 BITS d'entrée , soient les DAC 1408 . La particularité de ce type de C.N.A est le fait qu'ils réalisent une conversion en courant , d'où la nécessité de faire suivre chaque DAC 1408 par un montage de conversion : Courant/Tension , à base d'AMPLI-OP's uA 741 . ( comme le montre la figure 36 )



Lorsque la configuration en sortie du PIA est 00H, la tension délivrée " Vx " est nulle . ET lorsqu'elle est maximale : soit FF en Hexa , Vx prend alors la valeur la plus grande , ie : 8 V .

- REMARQUE : Nous pouvons régler le gain grâce au potentiomètre Rx ; la tension maximale pouvant être atteinte est de 12 V .

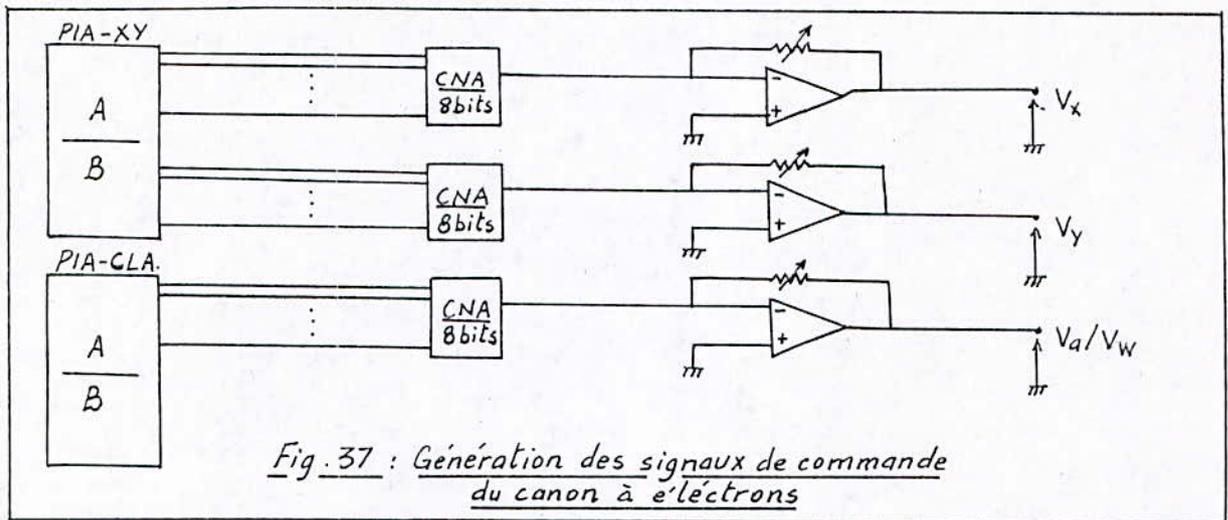
On a en tout 3 tensions de commande en sortie :

Vx: pour la déviation horizontale ,

Vy: pour la déviation verticale ,

Va/Vw: pour la tension accélératrice(ou du Wenhelt).

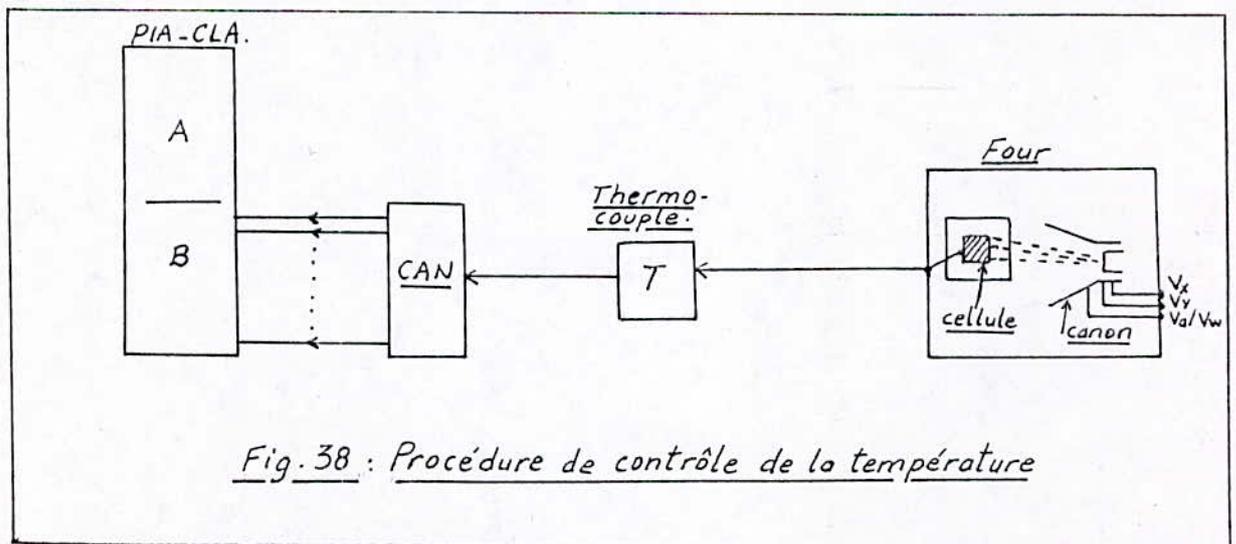
On a jugé correct de faire varier Va et Vw dans le même sens , puisque elles ont le même but ( Réglage de la température ) .



V-4-2 / CONVERSION ANALOGIQUE/NUMERIQUE :

Ce type de conversion est utilisé uniquement pour lire la température .

Le four de recuit présentant des températures variables avec le temps , il faut donc connaître leurs valeurs à des intervalles de temps réguliers . Cela nécessite,entre autre,un Thermocouple pseudo-linéaire entre 0 °C et 300 °C , qu'on connectera au convertisseur analogique/numérique , afin de délivrer en sortie une configuration binaire correspondant à la température lue par le thermocouple .



Le thermocouple indique la température du four par une d.d.p, cette tension est convertie , grâce à un C.A.N , en une valeur binaire et transmise au port B du PIA-clavier .

### V-5 : L'EXTENSIBILITE

Une fois cette carte réalisée , on a cherché à rendre son utilisation plus souple et plus diversifiée .

La fonction principale , pour laquelle elle a été conçue , est correctement obtenue ; cependant on peut étendre ce mode de fonctionnement à des applications tout à fait différentes .

De plus , le moyen de dialogue avec cette carte peut être différent de ce qui existe ( Terminal , Clavier et Afficheurs ) : un système hôte , par exemple .

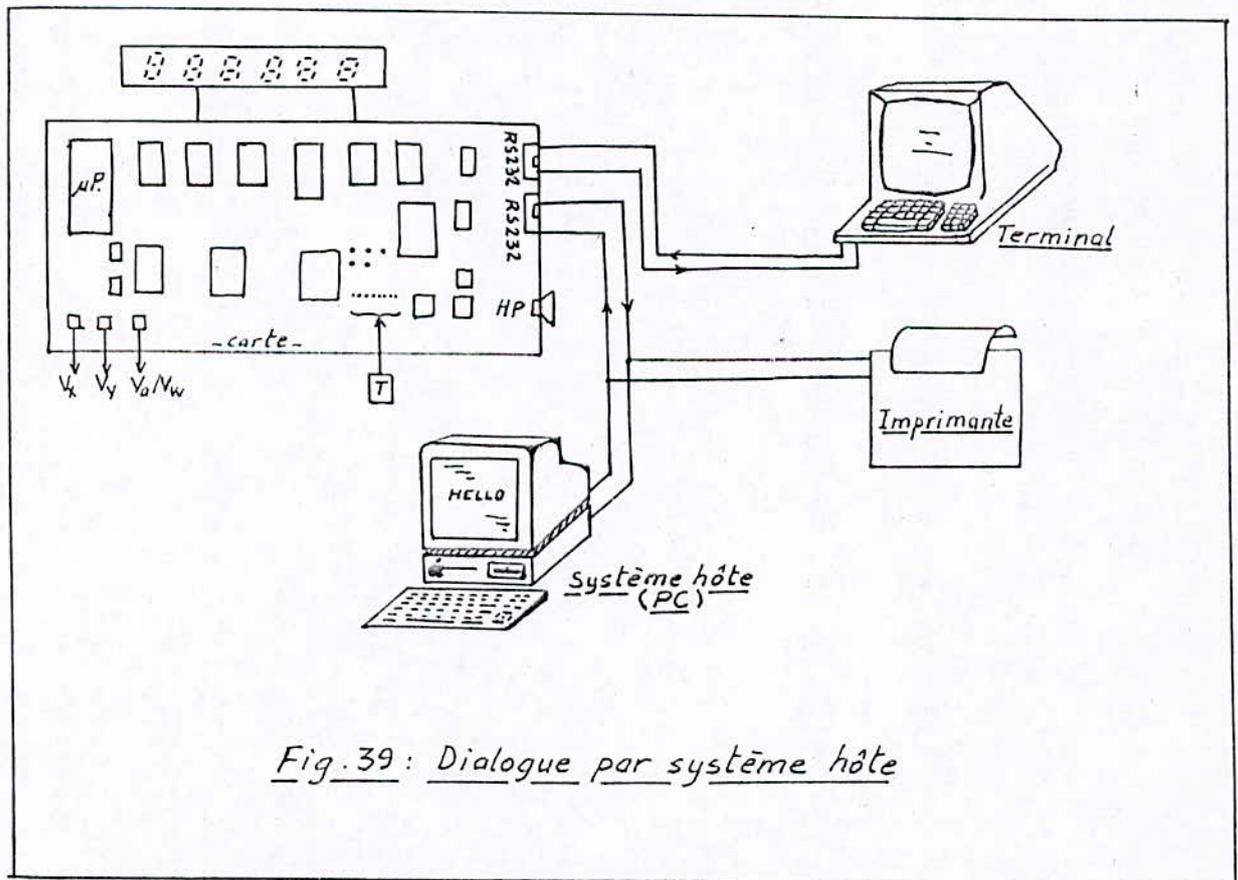


Fig.39 : Dialogue par système hôte

Un PC compatible , par exemple , peut être connecté à la carte conçue via la deuxième jonction RS 232 . La carte devient alors l'esclave ( Slave ) du système hôte , qui lui est considéré comme le maître ( Master ) .

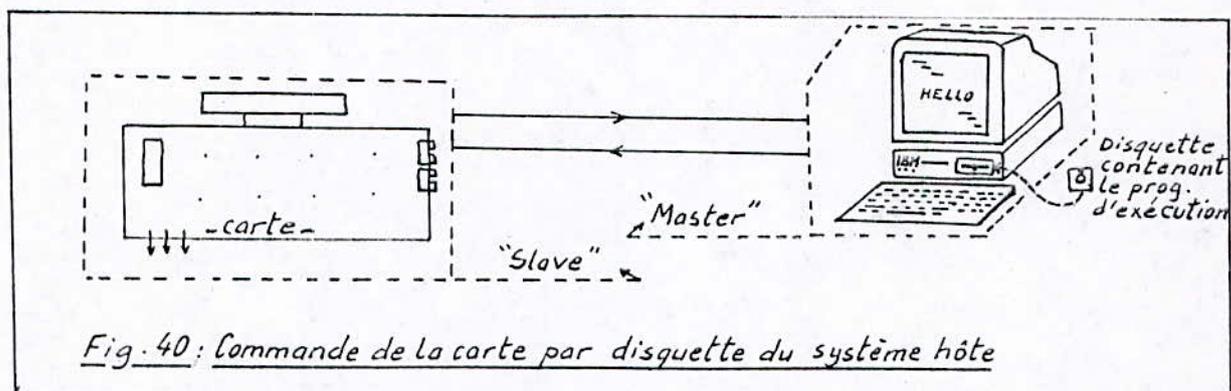


Fig.40 : Commande de la carte par disquette du système hôte

On peut donc concevoir plusieurs fonctions pour la carte, seulement en changeant la disquette mémoire du système hôte . Cela est plus facile que de charger à chaque fois l'EPROM du processeur .

Les fonctions que peut exécuter la carte , ainsi conçue , ne se limitent pas seulement au recuit , mais s'étalent bien au delà du projet fixé au préalable . On peut citer par exemple :

#### V-5-1 / L'IMAGERIE :

Pour générer une image sur oscilloscope , on a besoin d'au moins trois signaux qui sont les signaux de déviations horizontale et verticale , ainsi que le signal de modulation du spot ( Modulation Z ou Z-Axis ) . Ce dernier permet l'extinction du spot et/ou la surbrillance de celui-ci . Mais si l'on travaille en imagerie simple où l'on tient pas compte de la luminosité , on peut se suffir des signaux de déviation X et Y .

La figure 41 est très facile à obtenir , on n'a même pas besoin du signal de commande Z-Axis .

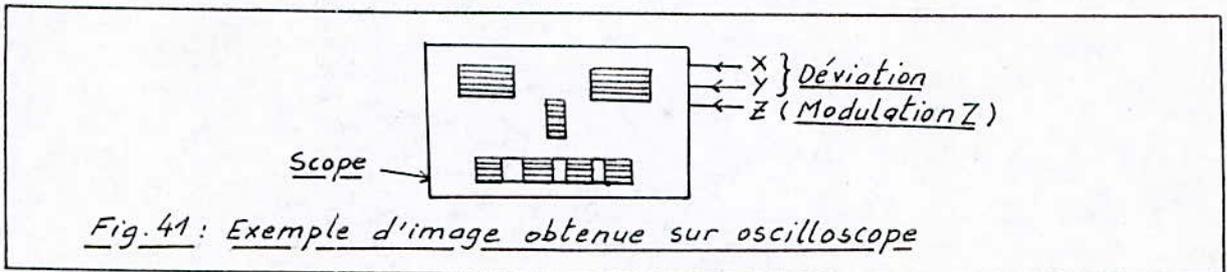


Fig.41 : Exemple d'image obtenue sur oscilloscope

Il suffit de programmer dans la RAM une table donnant deux rectangles : ----->  yeux  
 Ensuite , une table donnant un rectangle :---->  nez  
 Et enfin , une dernière table dessinant 4  
 carreaux alignés :----->  bouche

L'opération la plus importante est donc la tabulation des 3 tables donnant successivement : - les yeux ,  
 - le nez ,  
 et - la bouche .

De même , on peut générer des caractères sur scope ou même des mots , tel que "OUI" qu'on a programmé et pu visualiser .

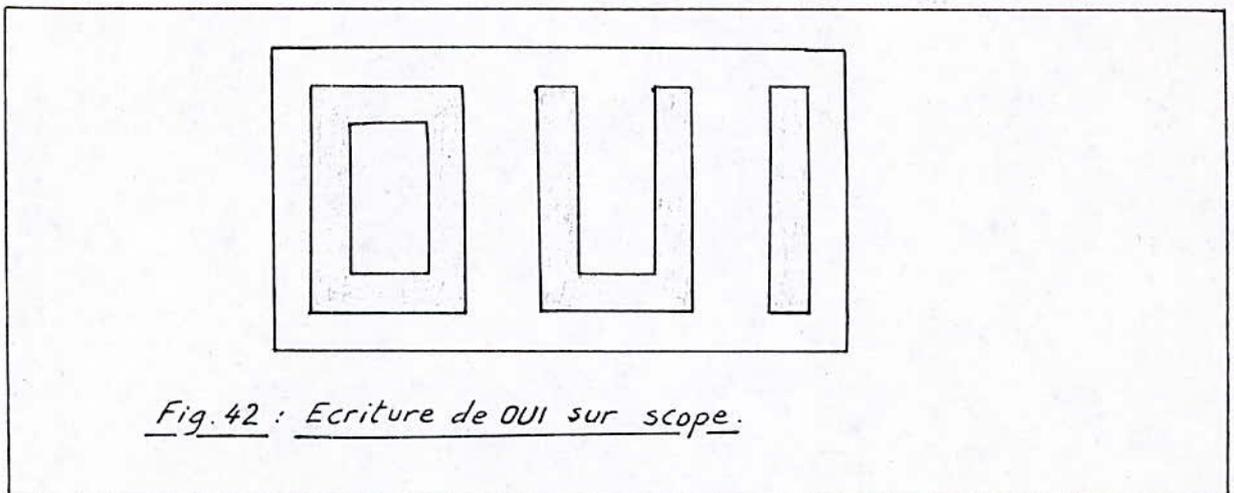


Fig.42 : Ecriture de OUI sur scope.

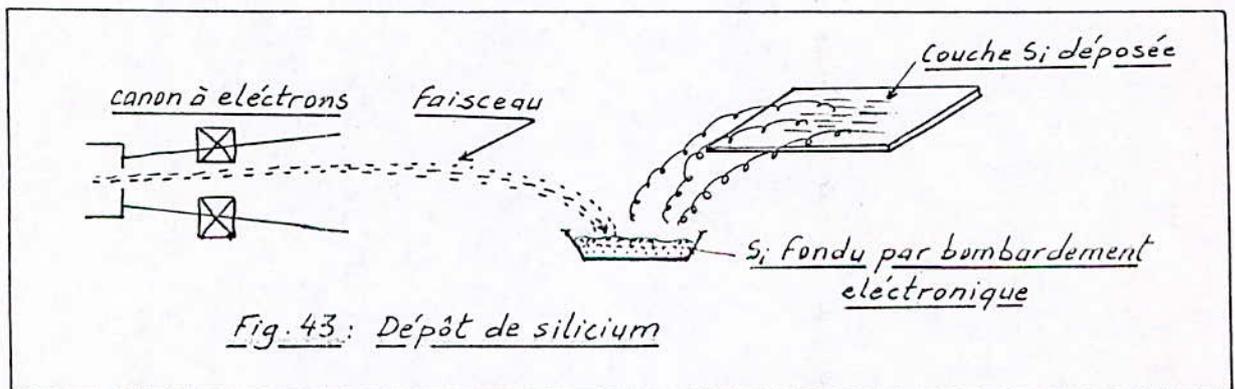
V-5-2 / L'EVAPORATION DE CERTAINS SUBSTRATS :

Au lieu de faire un recuit , on peut utiliser notre carte pour fondre ou évaporer certains matériaux solides , tel que le silicium amorphe .

La technique d'EVAPORATION SOUS VIDE ( par bombardement électronique ) , pour obtenir le DEPOT en couches minces du silicium amorphe , est réalisable avec l'outil conçu .

En effet, notre système convient parfaitement à l'évaporation du silicium , puisque le recuit utilise le même procédé , à la seule différence que l'opération d'évaporation demande des températures beaucoup plus importantes , de l'ordre de 1000 à 2000 °C .

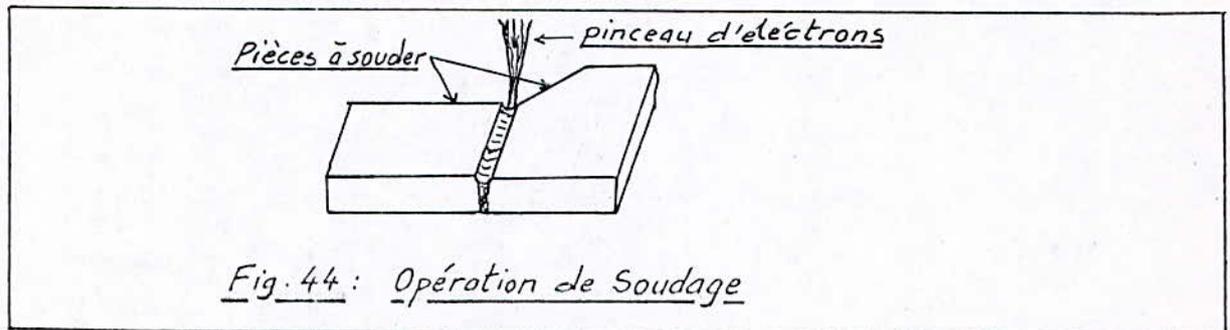
Donc , il faut faire une modification au niveau de la lecture de la température, pour passer des basses aux hautes températures.



V-5-3 / LA SOUDURE SANS APPORT DE MATIERE :

Le bombardement électronique est très utilisé dans l'industrie pour souder deux pièces mécaniques ( sans apport de matières ) . La soudure obtenue est dite homogène , elle est caractérisée par sa solidité et sa grande résistance .

Cependant , il nous faut une commande du pinceau d'électrons qui soit très précise pour ne pas endommager , voire percer , les pièces mécaniques à assembler .



#### V-6 : LE MAPPING DE LA CARTE

Le microprocesseur 6809 peut adresser 64 Ko d'espace mémoire ( registres compris ) . Notre système n'est composé que de 10 Ko de mémoires , et 24 octets de registres .

On a utilisé deux types de mémoires : mortes ( ROM ) , et vives ( RAM ) .

La ROM implantée est une EPROM ( effaçable par U.V ) de référence 2732 A et de capacité 4 Ko . Elle contient le programme figé que doit lire le uP afin d'exécuter son fonctionnement normal .

Les RAM employées sont de type statique , de référence SY 2128 et de capacité 2 Ko chacune . On en a prévu trois :

- une pour stocker des valeurs et des tables pendant le fonctionnement ,
- une pour la pile système et utilisateur ,
- et une pour l'écriture des programmes d'essai et leur sauvegarde .

Le tableau d'adressage est le suivant :

Champ Inf.	Champ Sup.	A <sub>15</sub>	A <sub>14</sub>	A <sub>13</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	Type
F000	FFFF	1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	EPROM MONITEUR
E800	FFFF	1	1	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	RAM-PILE
8000	8FFF	1	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	RAM SAUVEGARDE
9000	9FFF	1	0	0	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	RAM PROGRAMME
E020	E027	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	X	X	X	PTM
E000	E001	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	ACIA-VISU
E010	E011	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	ACIA IMPRIMANTE
E040	E043	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	X	X	PIA AFFICHEURS
E050	E053	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	X	X	PIA CLAVIER
E060	E063	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	X	X	PIA-XY

Fig.45 : Tableau d'adressage

Le schéma de décodage des différents circuits est le suivant:

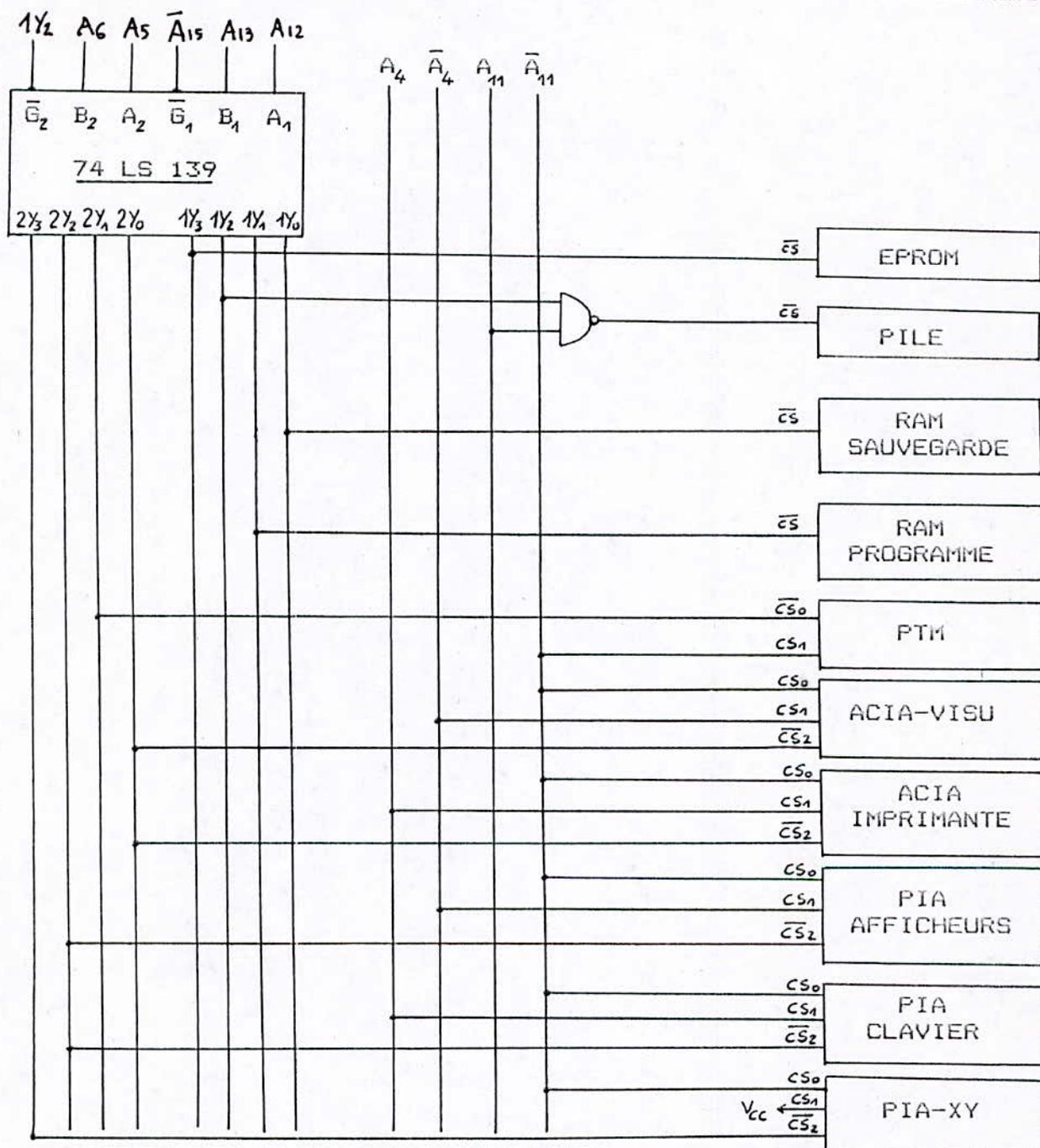


Fig. 46 : Décodage d'adresses

CHAPITRE VI : ETUDE 'SOFTWARE'

ET GESTION DE LA CARTE

VI-ETUDE DU SOFTWARE ET DE LA GESTION DE LA CARTE.

L'étude "SOFT" consiste à décrire le fonctionnement du processeur du point de vue programmes et microprogrammes, pendant la gestion du processus.

En fait notre système évolue selon plusieurs étapes intermédiaires avant et pendant le balayage du faisceau d'électrons.

On peut citer les étapes suivantes:

- Réinitialisation de tous les circuits.
- Configuration des interfaces parallèles.
- Présentation et défilement d'un mot sur afficheurs.
- Présentation de la première page sur visu.
- Entrée des paramètres par terminal.
- Entrée des paramètres par clavier/afficheurs.
- Temporisation.
- Conversion hexa/décimale, décimale/hexa, décimale/7-segments
- Affichage de la température et du temps.
- Choix de la forme, du nombre et de la disposition des plaques
- Lancement du balayage.
- Asservissement de la tension accélératrice des électrons en fonction de la température.
- Arrêt et déclenchement d'une sonnerie après un délai fixé par l'utilisateur.

## VI-1-1/ Réinitialisation de tous les circuits:

Dès la mise sous tension (ou en appuyant sur le reset) on provoque un niveau bas sur toutes les entrées RESET des circuits de la carte et en particulier celle du microprocesseur. Ceci est la réinitialisation hardware. Il faut cependant une seconde réinitialisation software qui indique au processeur ce qu'il doit effectuer au démarrage. Cette interruption se déroule de la manière suivante:

- un niveau bas sur l'entrée du RESET active la demande d'interruption RESET.
- le registre de page est positionné à zero;
- les interruptions matérielles sont masquées; les signaux IRQ et FIRQ n'ont plus d'influence;
- la ligne  $R/\bar{W}$  passe à l'état "1", le microprocesseur lira son vecteur d'interruption (RESET);
- l'interruption NMI est désactivée;
- le processeur teste les lignes de DMA/BREQ et HALT;
- le processeur teste la ligne RESET; tant que celle-ci n'est pas à "1", il reste en attente;
- le processeur indique à l'environnement externe qu'il va rechercher le vecteur d'interruption (BA=0, BS=1);
- le contenu des adresses FFFE et FFFF est pris en compte par le microprocesseur;
- le processeur positionne BS à "0", le fonctionnement est normal, le PC contient maintenant l'adresse du programme d'initialisation:

.le poids fort = contenu de FFFE

le poids faible = contenu de FFFF

- le processeur commence l'exécution du programme d'initialisation.

Le programme d'initialisation consiste en :

- l'initialisation des deux ACIAs par un master reset puis par la commande: configuration caractere (bits start, stop et parite);
- la mise a zero du registre CCR;
- l'initialisation du pointeur de pile, en le positionnant a l'adresse la plus haute permise.

#### EXPLICATION:

\*MASTER RESET: On doit mettre: 0000 0011, soit 03 en hexa dans le registre de controle, pour initialiser les ACIAs.

\*CONFIGURATION DES ACIAs: On met 0100 0101, soit 45 en hexa dans le CCR.

rapport de transmission=1/16

longueur du mot=7 bits, parite impaire, 2 bits stop

interruption inhibee en transmission

interruption de recepteur masquee

\*Le pointeur de pile est positionne sur sa plus forte adresse possible:

#### PROGRAMME:

<u>ADRESSE</u>	<u>MNEMONIQUE</u>	<u>EXPLICATION</u>
9FB0	LDU#9EB00	POSITIONNEMENT DU POINTEUR DE PILE
	LDS #9EF00	
	ANDCC #00	00 DANS CCR



1 :CX2=1  
 1 :acces au registre de donnees  
 0 :CX1 active sur front descendant  
 0 :IRO masquee

PROGRAMME:

<u>ADRESSE</u>	<u>MNEMONIQUE</u>	<u>EXPLICATION</u>
8041	CLRA	00 DANS CCR
	STA #E041	
	STA #E043	
	STA #E061	
	STA #E063	
	COMA	FF DANS REG.DIR.
	STA #E040	
	STA #E042	
	STA #E060	
	STA #E062	
	LDA #3C	3C DANS CCR
	STA #E041	
	STA #E043	
	STA #E061	
	STA #E063	
	RTS	SUITE

VI-2-GESTION DES AFFICHEURS/CLAVIER:

Il existe 6 afficheurs de type 7 segments qu'on peut configurer de n'importe quelle maniere (symboles, lettres, chiffres...)

Rappel sur le mode d'affichage alterne:

a) Pour ecrire un chiffre(par exemple 8) dans l'un des six afficheurs(par exemple le premier afficheur);il suffit de mettre



VI-2-4) RAFFRAICHISSEMENT DES AFFICHEURS

On rafraichit les afficheurs chaque 10 ms, ce qui correspond a une frequence de 100 Hz.

Cette frequence est nettement superieure a 25 Hz-d'ou la bonne persistance retinienne.

Le timer "3" du PTM a ete programme pour envoyer un niveau bas chaque 10 ms , a l'entree IPQ du microprocesseur.

Dans les adresses FFF8/FFF9 se trouve le vecteur d'interruption de I/O soit:8084;c'est l'adresse du programme de rafraichissement.

a) Programmation du PTM:

Le PTM est compose de 3 timers:T1,T2,et T3 qui peuvent fonctionner soit comme compteurs,monostables ou comparateurs de frequence.

Pour chaque timer il existe un registre de controle afin de configurer le mode de fonctionnement et un registre tampon afin de fixer la frequence desiree.

REGISTRE DE CONTROLE DU PTM: 1 0 0 0 0 0 1 0 (82)

CHOIX DE LA FREQUENCE: On choisit N de telle sorte que la periode du signal de sortie soit de 10 ms (N=2600).

N est alors depose dans le registre tampon du PTM,juste apres configuration du registre de controle.

PROGRAMME:

<u>ADRESSE</u>	<u>MNEMONIQUE</u>	<u>EXPLICATION</u>
80A3	LDA #01	Choix du registre de controle

```

STA #E021
CLRA
STA #E020
STA #E021
LDA #82          CONFIGURATION EN ASTABLE
STA #E020
LDX #26DD       CHOIX DE LA FREQUENCE
STX #E02E
RTS             SUITE

```

b) Programmes de rafraichissement:

C'est le programme dont l'adresse correspond au vecteur d'interruption de IRQ.

A chaque demande d'interruption le MPU lit le contenu de l'adresse 9250 et le depose dans les entrees communes (a,b,c,d,...) des afficheurs puis valide le 1er afficheur; ensuite il lit le contenu de l'adresse 9251 et le depose dans (a,b,c,d,...) et puis valide le 2eme afficheur; etc... Jusqu'a ce qu'il arrive au 6eme afficheur ou il lit le contenu de l'adresse 9255 et le depose dans (a,b,c,d,...) pour valider le 6eme afficheur puis s'arreter finalement.

Notons seulement que (a,b,c,d,...) correspond au port A du PIA (afficheurs), son adresse est E040, et que les entrees de validation A1, A2, A3, A4, A5 et A6 des afficheurs sont reliees aux bits E0, b1, ..., b5 du port B du PIA (d'adresse E042)

Programme:

<u>ADRESSE</u>	<u>MNEMONIQUE</u>	<u>EXPLICATION</u>
8D84	LDB ##FE	FE DANS B
	LDX ##9250	9250 DANS X
*	LDA ,X	
	STA #E040	CONTENU DE 9250 DANS E040
	STB #E042	"""""" DE B DANS E042
	LDA ##5D	TEMPORISATION
	JSR #87F6	
	ASLB	DECALAGE GAUCHE DE B
	INCB	
	LEAX 1,X	
	CMPX ##9256	COMPARER X AVEC 9256
	BNE *	
	RTI	RETOUR D'INTERRUPTION

VI-2-2/SONNERIE ET TEST DES TOUCHES DU CLAVIER:

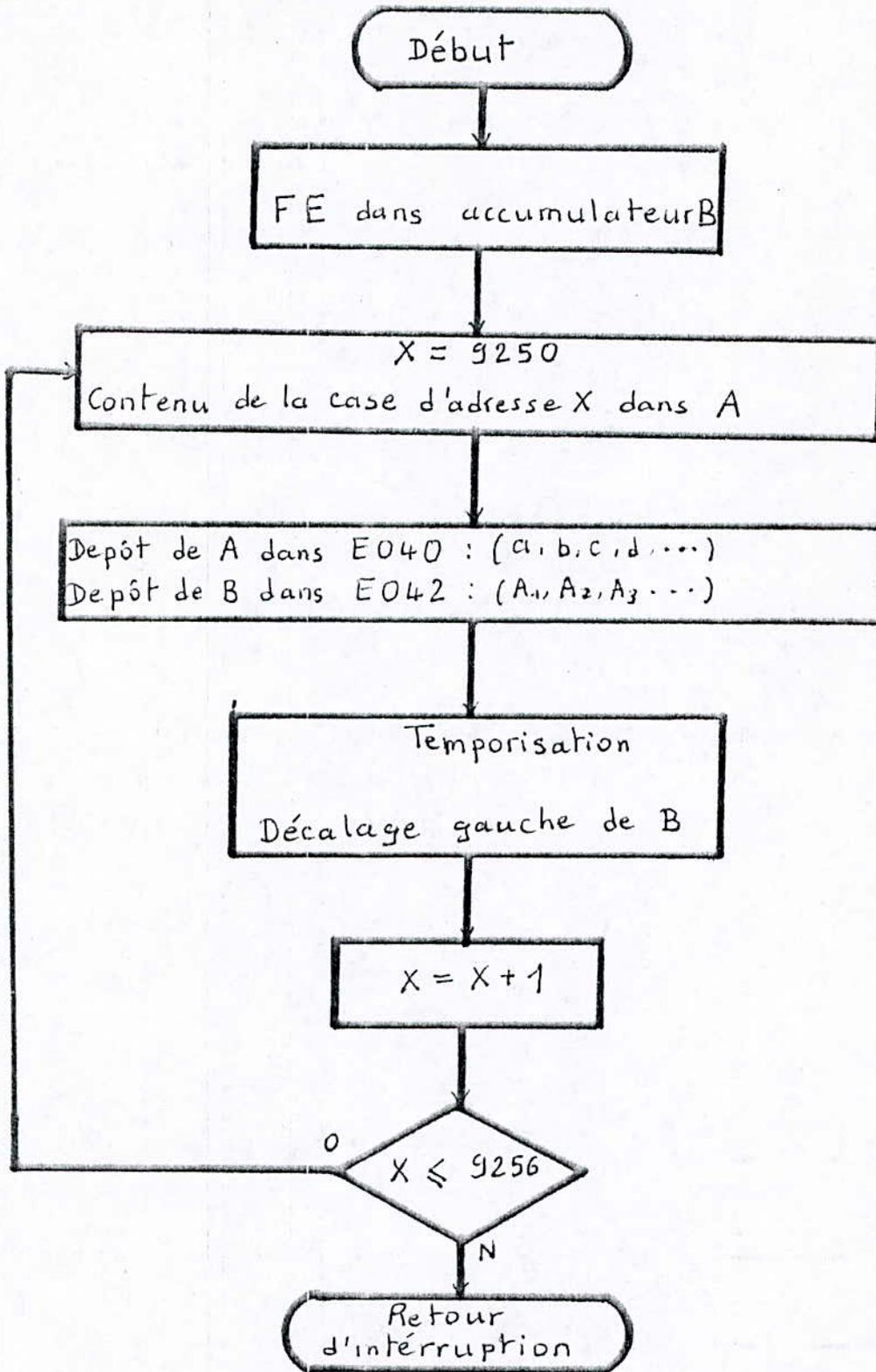
Au moment où le système affiche le mot "HELLO" en entier, il temporise pendant 3 secondes tout en émettant une sonnerie indiquant qu'il est en attente de recevoir une donnée.

Si l'on appuie sur une touche quelconque du clavier local alors le système comprendra qu'il ne doit dialoguer qu'avec le clavier/afficheurs. Il ne tiendra plus compte du terminal.

Si l'on appuie, par contre, sur une touche du terminal alors le système comprendra qu'il ne doit dialoguer qu'avec le terminal. Il ne tiendra plus compte des afficheurs.

Au moment où l'on appuie sur une touche quelconque, que ce soit du clavier ou du terminal, le fonctionnement du système changera complètement.

Au fait, il va entrer dans la phase "ENTREE DES PARAMETRES":

OrganigrammeFig. 47 : Organigramme du rafraichissement

Procédure d'obtention d'une sonnerie:

Le haut-parleur est relié à l'entrée CB2 du PIA(aff.), donc il suffit de générer un signal carré de fréquence audible à la sortie CB2 pour émettre une sonnerie.

PROGRAMME:ADRESSE:

```

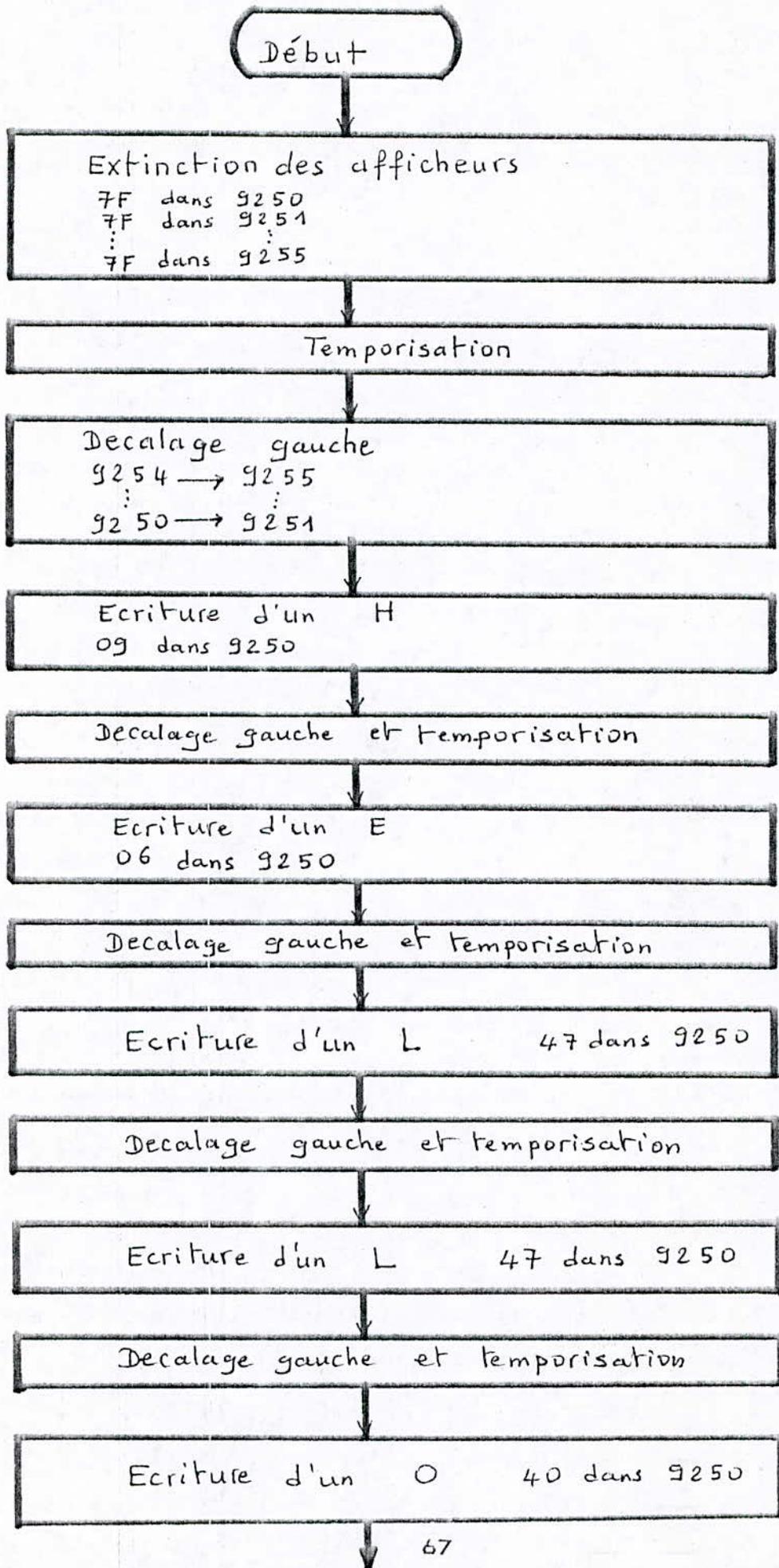
JSR #8F60
LDX #7F7F
STX #9250
STX #9252
STX #9254
LDX #0002
JSR T.V.
JSR DEC.G
LDA #09
STA #9250
LDX #0002
JSR T.V.
JSR DEC.G.
LDA #08
STA #9250
LDX #0002
JSR T.V.
JSR DEC.G
LDA #47
STA #9250
LDX #0002
JSR T.V.

```

8DFF

DEBUT

```
JSR DEC.G
LDA #$40
STA $9250
LDX #$0002
LDB #$34      a
STB $E043
LDA #$C8
JSR $B7F6
LDB #$3C
STB $E043
LDA #$C8
JSR $B7F6
LDA $E000
LSRA
BCS *
LDA $E052
COML
ANDA #$1F
BNE **
LEAX -1,X
BNE a
JMP $DFEUT
CLRA      *
STA $E020
JSR 1erePAGE VISU
LDY #$BF00  **
JSR 1ere PAGE AFFICHEURS
```



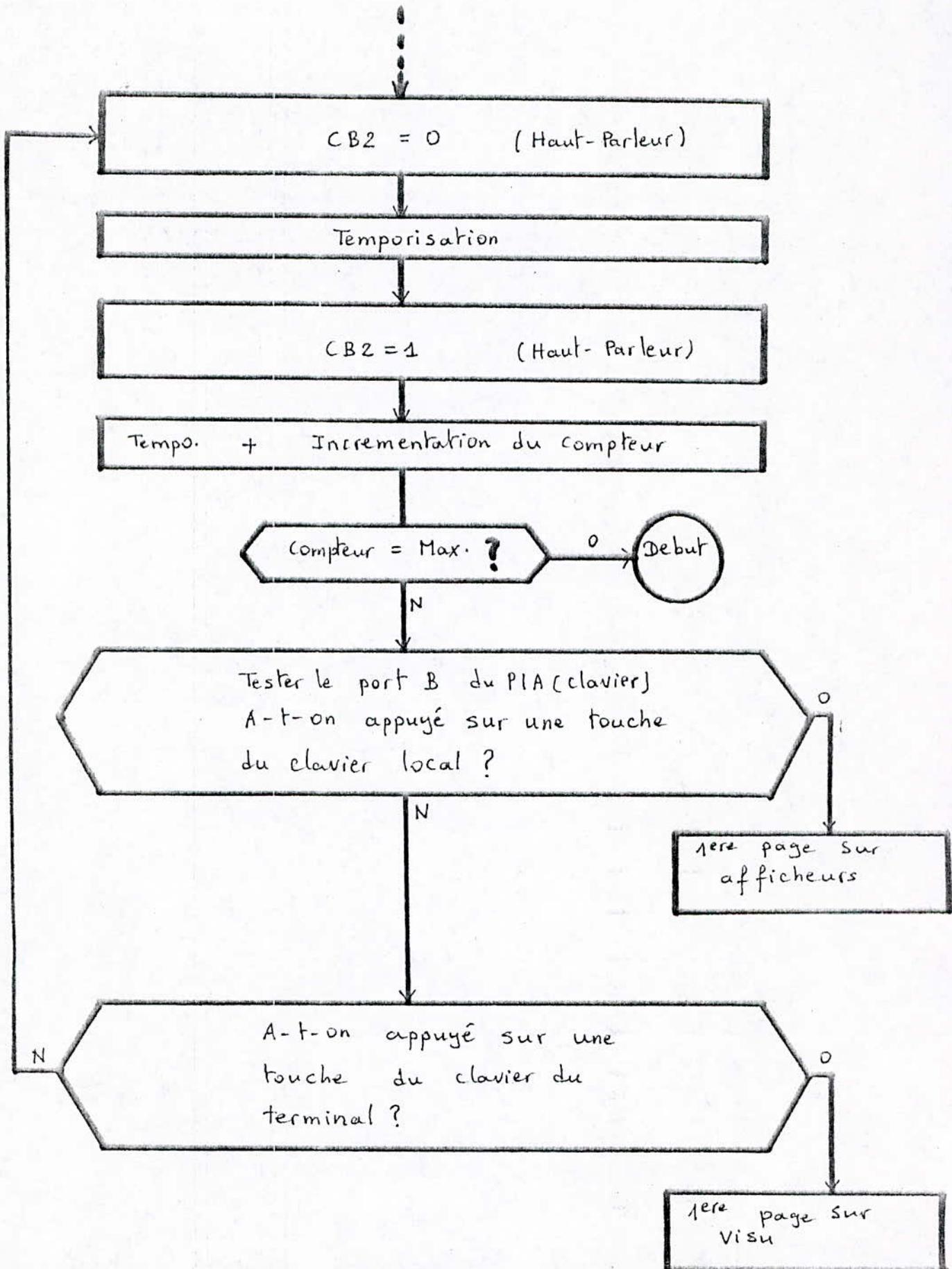


Fig. 48: Organigramme de la SONNERIE

VI-3-CONTROLE DU BALAYAGE.VI-3-1-RAPPEL DU PRINCIPE:

Le principe du balayage, ici, est le même que celui d'une télévision aux deux différences pres suivantes:

-Le déplacement du spot se fait de gauche à droite et de bas en haut ;

-Le balayage est simple, il n'est pas entrelacé.

On sait que tout canon à électrons possède deux commandes de déviation du spot, horizontalement et verticalement, ce sont deux paires de plaques parallèles disposées sous forme de très grands condensateurs (déviations électrostatiques); ou deux bobines (déviations électromagnétiques). Dans notre cas nous utilisons le premier dispositif.

Pour déplacer le spot vers la droite il faut appliquer une différence de potentiel de telle sorte que la plaque de droite soit portée à un potentiel plus élevé que celui de gauche; de même pour déplacer le spot vers le haut il faut appliquer une différence de potentiel de telle sorte que la plaque du haut ait le potentiel le plus élevé.

Pour tracer avec le spot un trait horizontal il faut appliquer une tension  $V_{\text{hor}}$  en dents de scie afin de ramener le spot après sa fin de course (fig. 49).

De même pour tracer avec le spot un trait vertical, il suffit d'appliquer une tension  $V_{\text{ver}}$  en dent de scie de la même manière que précédemment (fig 50).

Dans le cas où l'on veut tracer un rectangle plein sur scope on applique deux signaux en dents de scie; l'un de fréquence  $F_h$  sur  $V_{\text{hor}}$  et l'autre de fréquence  $F_v$  sur  $V_{\text{ver}}$  (fig. 51).

fig.49:

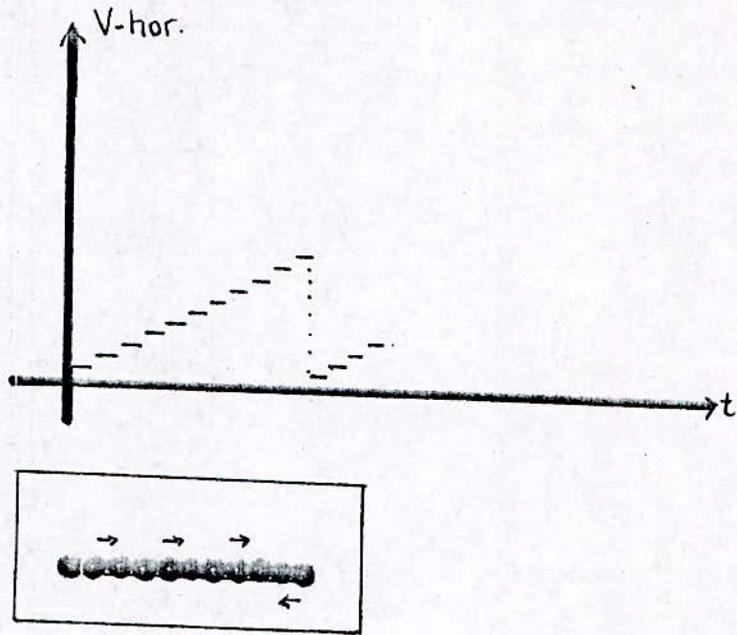
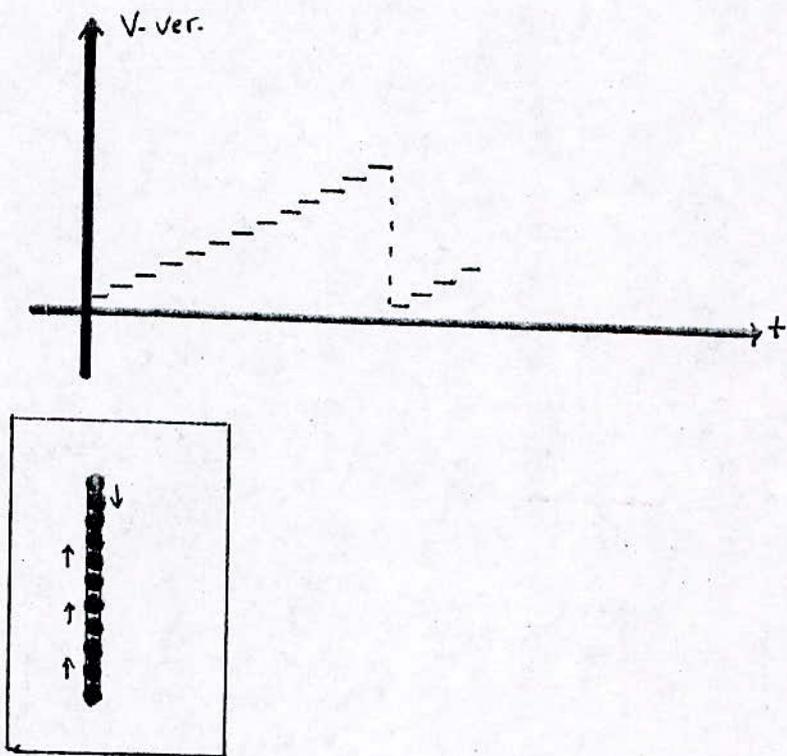


fig.50



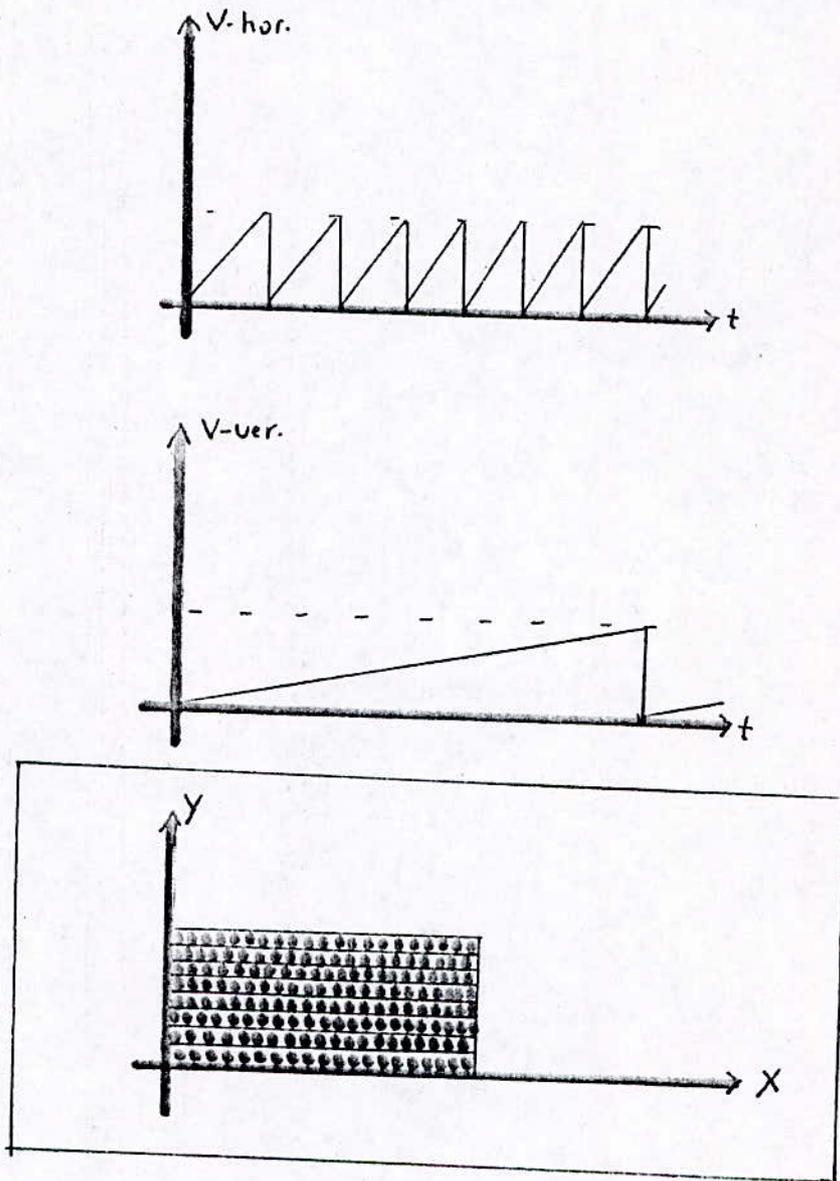


fig. 51

IL s'agit donc de generer deux signaux en dents de scie Vh et Vv; l'amplitude crête a crête de la dent de scie representera la longueur d'un cote du rectangle et la periode de cette dent de scie correspondra au temps écoulé pour tracer une ligne ou une colonne de ce rectangle.

### VI-3-2/DIMENSIONS DES COTES DU RECTANGLE:

La dimension se mesure par le nombre "n" de points traces par le spot sur une ligne ou sur une colonne. Puisque l'on connait le diametre du spot "d" alors :

$$\text{la longueur} = n_l \cdot d$$

$$\text{et la largeur} = n_c \cdot d$$

Avec  $n_l$ : nombre de points par ligne;

et  $n_c$ : nombre de points par colonne.

Exemple:  $d=0.1\text{mm}$

$$n_l=1024$$

$$n_c=512$$

Alors  $L=1024 \cdot (0.1)=102.4\text{mm}$

$$\text{et } H=512 \cdot (0.1)=51.2\text{mm}$$

Soit une longueur de 10.2cm et une hauteur de 5.1cm.

Donc avec les parametres de cet exemple on peut balayer un rectangle de longueur 10.2cm et

de largeur 5.1cm.

Nous voyons alors qu'il est possible de joindre une correspondance entre le nombre de points par ligne (ou par colonne) et la longueur (ou largeur). Dans toute la suite de ce travail, on utilisera la notion "nombre de points" par ligne ou par colonne au lieu des dimensions geometriques reelles.

Par exemple, quand on dira que la longueur du rectangle mesure 355 (ou FF en hexa) cela signifie que la longueur réelle est une succession de 255 points traces par le spot et dont la dimension réelle sera  $L = 255 \cdot d$  (si  $d = 0.1\text{mm}$  alors  $L = 2.5\text{cm}$ ).

### VI-3-3/PROCEDE DE BALAYAGE :

Le balayage necessite, comme on l'a vu precedement, la generation de signaux en dents de scie.

La procedure d'obtention d'un signal en dents de scie ayant une amplitude crete a crete de "n" points est la suivante:

- le processeur utilise un accumulateur comme compteur dont il depose la valeur dans le port A (ou B) du PIA(XY);
- le PIA(XY) est relie au convertisseur numerique analogique (DAC 1408) qui delivre une tension proportionnelle au nombre binaire ecrit a son entree.

Cette methode est simple mais elle presente certains inconvenients tels que la lenteur. Cette contrainte et d'autres que nous ne citerons pas maintenant, nous ont amene a opter pour une autre plus rapide dans laquelle le processeur utilise toujours un accumulateur comme compteur de 0 a n, mais les donnees a incrementer ne sont pas directement envoyees au PIA; elles sont plutot deposees dans une table de la RAM (de 9000 a 9XXX), ce qui necessitera, bien sur, (n+1) cases memoires.

Une fois cette 1ere operation effectuee, il ne reste au processeur que de lire chaque case de cette table et de la déposer dans le port du PIA(XY) pour la convertir par le DAC 1408.

Cette operation de lecture et d'écriture est repetee jusqu'a la lecture de la totalite de la table.



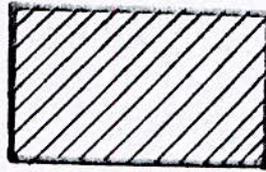


fig.52

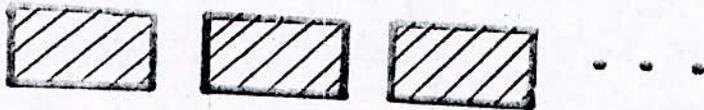


fig.53

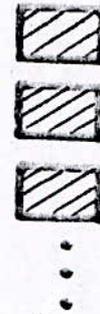


fig.54a



fig.54b

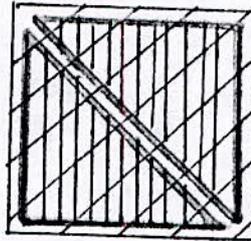
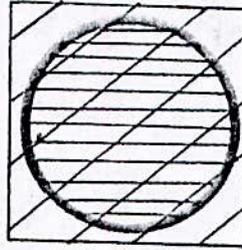


fig.55

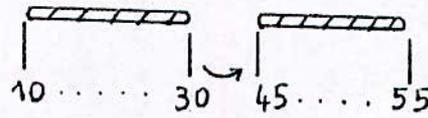
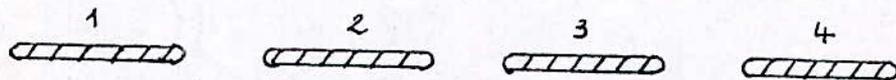


fig.56



ou on balaye un rectangle dans lequel le cercle considere reste inscrit; il faut donc circonscrire le **carre balaye sur le cercle** ou l'hexagone en question (fig.55).

On voit que c'est a l'utilisateur de choisir convenablement ses mesures avant d'introduire les parametres du recuit au systeme.

c/PROGRAMME DE PREPARATION DES TABLES DE BALAYAGE.

```

LDX #9000
LDY #9100
CLRA
a1 STA ,X
   STA ,Y
   INCA
   LEAX 1,X
   LEAY 1,Y
   CMPA #400
   BNE a1
   CLRB
   CLR #97F0
   LDX #9200
    
```

RAPPEL: Les parametres utilises dans ce programme sont les suivants:

SYMBOLE	SIGNIFICATION	ADRESSE
X0	abscisse initiale du spot	9200/9201
Y0	ordonnee " " " " " "	9202/9203
X1	abscisse finale du spot	9204/9205
Y1	ordonnee " " " " " "	9206/9207
n	nombre de cellules/ligne	9208
m	" " " " " " /colonne	9209

l	longueur d'une plaquette	920A
h	largeur d'une plaquette	920B
d	distance entre 2 plaquettes	920C

EXPLICATION:

Ce programme va d'abord remplir les deux tables (X et Y) par des valeurs numeriques de 00 à FF (compteurs), puis il va moduler ces tables suivant les parametres introduits.

Si on choisit  $X0=10$  alors le processeur commence a scruter les tables a partir de la case contenant la valeur 10, ensuite il compte a partir de cette case "1" points.

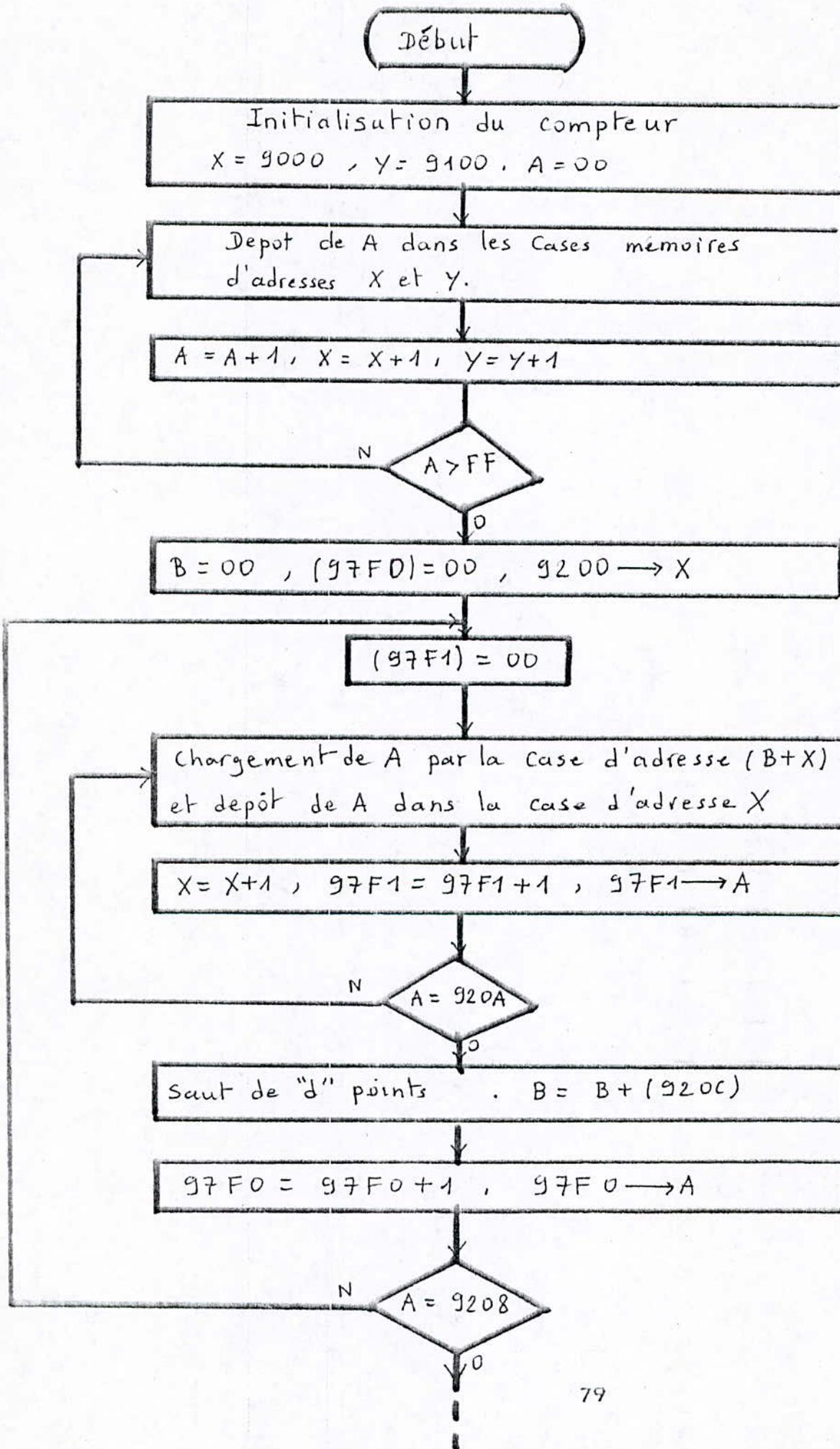
Exemple: Si  $l=20$  alors il va s'arreter a  $:10+20=30$ , ensuite il lit la valeur de "d" (distance entre deux plaques), soit par exemple  $d=15$ , dans ce cas il lit la case contenant:  $30+15=45$  et la reecrit sur la case qui contenait initialement la valeur 31; d'ou quand le processeur commencera le balayage, il va lire la table de: 10, 11, 12, 13, ... jusqu'a 30 et a partir de 30 il lira: 45, 46, 47, ... Ainsi le spot decrira un segment puis un autre qui lui est distant de  $d=15$  points

Cette serie d'operations est repetee jusqu'a ce qu'il ait compte "n" traits. Par exemple si  $n=4$  alors il ecrira 4 paquets de suites arithmetiques (fig. 56).

A la fin du 4eme paquet il aura termine de moduler la 1ere table X. Pour la 2eme table le meme travail est effectue en fonction des parametres typiques a Y (et non a X).

d/ EXECUTION DU BALAYAGE (PROPREMENT DIT).

Le balayage des plaquettes de silicium par le faisceau d'electrons est la fonction la plus importante du recuit dans ce projet, et prend le plus de temps d'ailleurs.



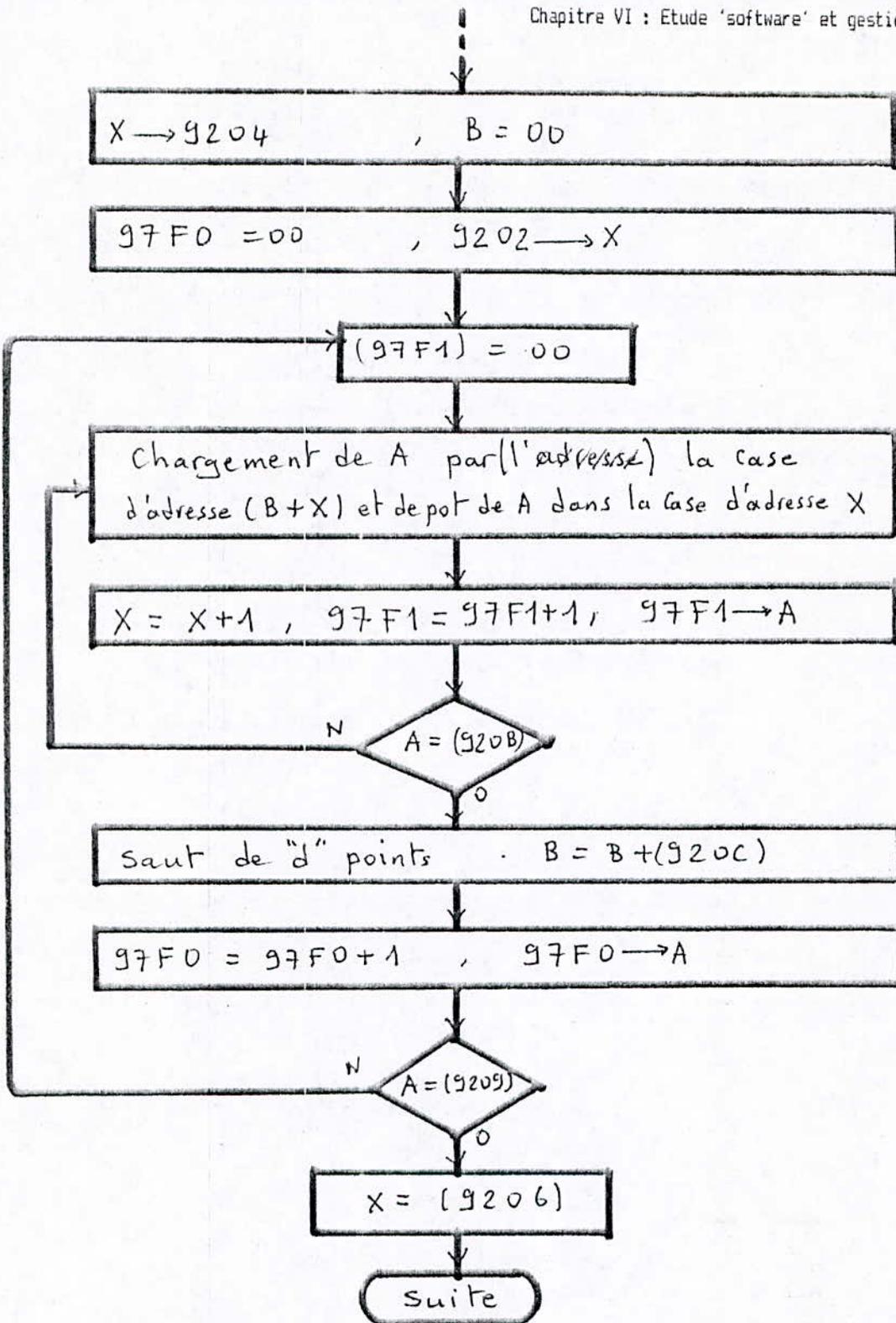


Fig.57 : Organigramme de préparation des tables de balayage.

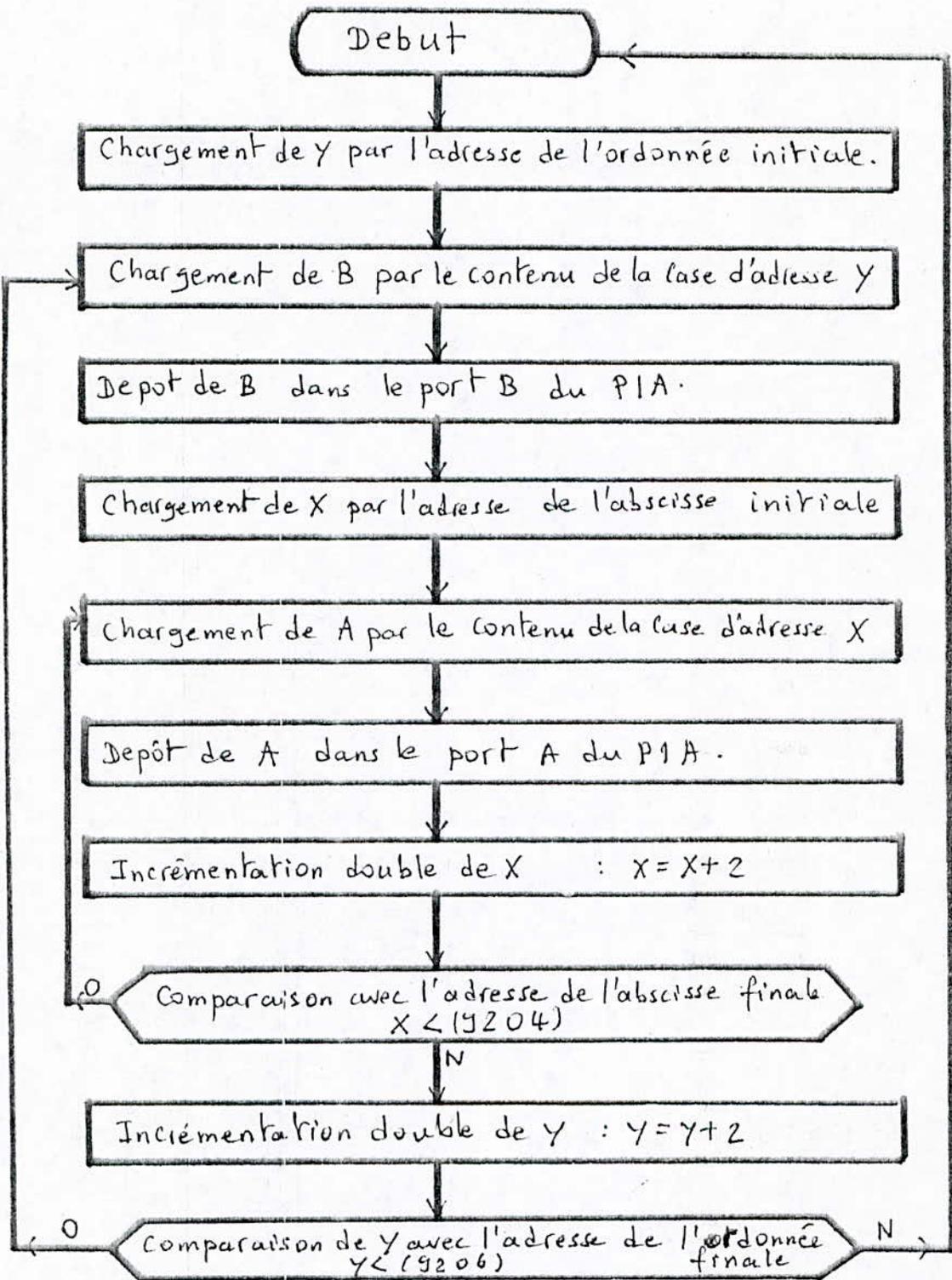


Fig. 58 : Organigramme d'exécution du balayage

On a déjà vu que le processeur, ici, ne fait que lire les tables X et Y et déposer ce qu'il a lu dans les ports A et B du PIA(XY) respectivement.

Cette série d'opérations est simple, rapide et récursive comme nous le voyons sur l'organigramme figure

#### EXPLICATION:

Le processeur charge le registre d'index X par l'adresse de l'abscisse initiale située dans la case mémoire d'adresse 9200 de la RAM, il charge l'accumulateur A par la donnée s'y trouvant et la dépose enfin dans le port A du PIA(XY). X s'incrémente deux fois et cette opération est répétée jusqu'à ce qu'il arrive à l'adresse de l'abscisse finale située à la case d'adresse 9204 où il remet le compteur X à zéro et passe au compteur Y pour lui faire subir les mêmes opérations de lecture et d'écriture. Une fois qu'il détecte l'adresse de l'ordonnée finale en Y, signifiant qu'il a balayé une page, il reboucle alors tout au début du programme pour refaire le même travail.

#### VI-3-4-MODE ASSERVI ET NON ASSERVI.

##### ASSERVISSEMENT DE LA TENSION ACCELERATRICE DES ELECTRONS EN FONCTION DE LA TEMPERATURE.

Lors du balayage des plaquettes de SI par le faisceau d'électrons, ces dernières s'échauffent par l'effet des électrons qui se heurtent aux atomes de SI. Cependant la température du SI est fonction de l'intensité du faisceau qui, elle même, est fonction de la tension accélératrice appliquée au canon. Par conséquent on peut commander la température des plaques de SI en jouant sur la tension accélératrice seulement.

L'énergie calorifique est:  $Q1=W1=1/2 m.v.v;$

si la tension d'accélération augmente, alors la vitesse augmente et ainsi l'énergie  $Q1$  augmente.

Le champ est  $E=Va/d;$

La force est  $f=q.Va/d;$

L'accélération est  $g=f/m=q.Va/m/d.$

La vitesse d'un électron est:  $v=g.t+v0$  ou  $v0$  est la vitesse thermoémissive ( $v0=Cte$ )

Dans cette dernière expression on voit que si  $g$  augmente alors la vitesse  $v$  augmente et donc l'énergie  $Q1$  augmente.

Cependant ce raisonnement est valable seulement pour un électron et si l'on voulait réellement accroître l'énergie reçue par bombardement électronique, il faudrait aussi augmenter le nombre "N" des électrons éjectés par la cathode en abaissant sur le Whentel du tube.

L'expression de l'énergie devient alors:

$$Q=W=1/2 N.m.v.v$$

CONCLUSION:

On doit aussi commander la tension du Whentel pour réguler le débit des électrons projetés par thermoémission. Et pour augmenter l'échauffement du SI il faut augmenter la valeur de la tension accélératrice en même temps que la tension du Whentel.

Dans le cadre de notre projet nous ne nous occuperons pas de la grandeur réelle de ces hautes tensions, mais il suffira de générer de basses tensions entre 0 et 5V (ou 0 et 8V).

La partie de puissance de cette commande fera l'objet d'un autre travail qui consiste donc a transformer lineairement ces basses tensions en des tensions plus elevees.

a/ PRINCIPE DE L'ASSERVISSEMENT EN FONCTION DE LA TEMPERATURE.

1-A FROID.

Lors du commencement du balayage il faudra augmenter la temperature regulierement de maniere non brutale, pour eviter le surchauffement brutal des plaques.

2-A CHAUD ou pendant le balayage: On doit tester la temperature du thermocouple et voir si elle est superieure, ou inferieure a la temperature maximale de consigne:

Si  $T_{th} < T_{max}$  alors il faut augmenter  $V_a$ ;

Si  $T_{th} > T_{max}$  " " " " " " diminuer  $V_a$ .

Cet asservissement a pour but de ne pas s'eloigner de la temperature de consigne et d'obtenir des resultats conformes au recuit desire.

3-A LA FIN DU FONCTIONNEMENT ou lorsque le temps alloue au balayage a ete atteint.

A ce moment la on doit immediatement couper la tension du Whentel et la tension acceleratrice. On ne risquera pas d'avoir une variation brusque de la temperature, car du fait de l'inertie des plaquettes de SI, la temperature mettra beaucoup de temps avant de chuter a sa valeur initiale. meme si on coupe la source de chauffage.

En pratique, nous remarquons que l'inertie des plaquettes de SI adoucit la chute de la temperature, et ceci pendant une duree de temps assez importante.

b/ PROGRAMME :

```

8627  LDA #922F
      LSRA
      BCS ASSERV.
      LDA #923D
      CMPA #922E
      BHS *
      JSR #85E4
      STA #9240
      ADDA #14
      STA #923D
      RTS
*     LDA #922E
      JSR #85E4
      STA #9240
      RTS
ASSERV JSR #860D
      LDA #9240
      CMPA #922E
      BHS **
      LDA #923D
      ADDA #0A
***   STA #923D
      JSR #85E4
**    RTS
      LDA #923D
      SUBA #0A
      BRA ***
    
```

EXPLICATION:

Il existe deux modes de fonctionnement dans notre systeme:  
 -le mode non asservi;

-et le mode asservi.

1/ Dans le mode non asservi le systeme travaille en boucle ouverte: il ne teste pas la temperature et il sait au presable qu'a une tension acceleratrice de 100 V correspond une temperature de 200°C (par exemple).

Donc il ne fait qu'augmenter la tension acceleratrice depuis le debut du fonctionnement jusqu'a atteindre la tension acceleratrice qui correspond a la temperature maximale de consigne (par exemple: 250°C pour 125 V), puis il stabilise cette tension jusqu'a l'arret total du recuit.

On a prevu ce mode de fonctionnement pour l'utilisateur qui ne possederait pas de thermocouple et qui accepterait une variation de la temperature de recuit dans une large gamme (+ou- 30°C).

2/ Mode asservi : Dans ce mode, par contre, ou tous les instruments de mesures sont supposes disponibles, on asservit la tension acceleratrice des electrons a la temperature:

si  $T < T_{max}$  donc augmenter  $V_a$ ;  
 si  $T > T_{max}$  donc diminuer  $V_a$ .

Ce mode de fonctionnement est plus sur et permet des recuits dont la temperature ne s'eloigne pas trop de la temperature maximale de consigne ( +ou- 5 °C ).

Donc le processeur tout au debut va tester la case memoire 922F pour voir si l'on veut travailler en mode asservi ou non asservi.

Si le bit b0 est egal a zero ----->MODE NON ASSERVI;

Si le bit b0 est egal a un ----->MODE ASSERVI.

C'est ainsi que le processeur saura s'il doit se brancher

au sous-programme d'asservissement ou au sous-programme de non asservissement.

Dans le mode non asservi le processeur va incrementer de "20" (14 en hexa.) la tension acceleratrice et ceci chaque 10 secondes.

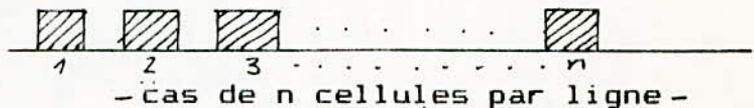
Dans le mode asservi, par contre, le processeur ira lire <sup>sur</sup> le port A du PIA-clavier la temperature du thermocouple. Il compare cette temperature a la temperature max. de consigne et voit si elle lui est superieure, donc il se branche la ou il doit diminuer la tension acceleratrice de 10 (0A en hexa).

VI-3-5 / Paramètres du balayage :

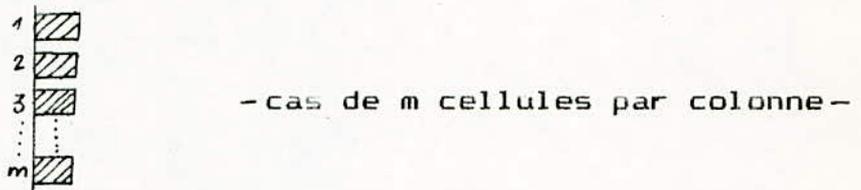
Notre système offre un grand choix d'utilisation en ce qui concerne les paramètres géométriques ou physiques des échantillons . L'utilisateur , par exemple , peut placer les plaquettes là où il veut sur le porte-substrat .

Il suffira d'indiquer les paramètres suivants :

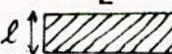
- Abscisse initiale du balayage :  
c'est l'abscisse du point le plus à gauche .
- Ordonnée initiale du balayage :  
c'est l'ordonnée du point le plus bas .
- Nombre de cellules par ligne :

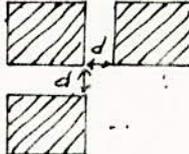


- Nombre de cellules par colonne :

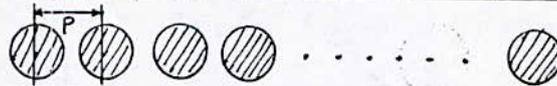


- Longueur d'une plaquette : 

- Largeur d'une plaquette : 

- Distance entre deux plaquettes : 

- Le pas ou la distance entre deux points voisins du spot :

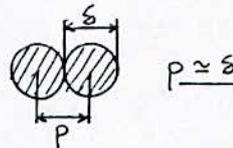


\* pour Pas/Mode = 000 , 001 , 004 ou 005 ; la distance entre 2 points voisins sera  $P = 2 * \text{LSB}$  ( du CNA ) soit 31 mV .

\* pour Pas/Mode = 002 , 003 , 006 ou 007 ; on aura  $P = 4 * \text{LSB}$  .

Dans ce cas , il est nécessaire de faire un réglage externe du focus de telle sorte que le diamètre du spot soit sensiblement égal ou légèrement supérieur au pas choisi .

Exemple : si  $P = 31 \text{ mV}$  <=====>  $P = 0.01 \text{ mm}$  =====> il faut choisir un spot de diamètre :  $\delta = 0.01 \text{ mm}$



- Le mode de fonctionnement :

Ceci concerne l'asservissement de la tension accélératrice en fonction de la température et le moyen de dialogue (afficheurs et/ou visu) . Voici un tableau récapitulatif :

Pas/Mode	Pas	Asservissement	Dialogue par
0 0 0	2 * LSB	Non asservi	Afficheurs
0 0 1	2 * LSB	Asservi	Afficheurs
0 0 2	4 * LSB	Non asservi	Afficheurs
0 0 3	4 * LSB	Asservi	Afficheurs
0 0 4	2 * LSB	Non asservi	Visu
0 0 5	2 * LSB	Asservi	Visu
0 0 6	4 * LSB	Non asservi	Visu
0 0 7	4 * LSB	Asservi	Visu

- Température maximale de recuit :

C'est la température au delà de laquelle on ne doit plus augmenter la tension accélératrice . Si la température dépasse cette valeur max , le système fait chuter  $V_a$  automatiquement .

- Temps maximal de recuit :

C'est le temps donnée à l'opération de chauffage . Dès que ce délai est atteint , le processus s'arrête et le système déclenche une musique signalant à l'utilisateur que ses cellules sont prêtes .

VI-4: METHODE D'ENTREE DES PARAMETRES

Il existe deux méthodes principales pour faire entrer les paramètres du recuit : on peut le faire soit à l'aide du clavier local se trouvant sur la carte ( 6 touches ) , et en visualisant alors sur les 6 afficheurs se situant aussi sur la carte ; soit à l'aide du terminal ( clavier qwerty + visu ) .

Donc l'utilisateur a le libre choix d'utiliser ce qu'il veut et ce dont il dispose .

VI-4-1 / Entrée des paramètres par terminal :

Une fois que le système affiche

" FAITES ENTRER VOS PARAMETRES "

sur l'écran , il nous faut taper une touche quelconque du clavier . Dès lors , une nouvelle page apparaît : c'est la page d'entrée des paramètres , qui est composée de 2 grandes colonnes et de 5 lignes occupant tout l'espace de la visu , comme montré ci-après : ( voir page suivante ) .

```

-----
Abscisse initiale           Ordonnée initiale
0 0 0                       0 0 0

Nombre de cellules par ligne  Nombre de cellules par colonne
0 0 0                       0 0 0

Longueur                   Largeur
0 0 0                       0 0 0

Distance entre 2 plaques    Pas/Mode
0 0 0                       0 0 0

Température max de recuit    Temps max de recuit
0 0 0                       00 00 00
-----

```

Explication : Chaque paramètre cité possède une case mémoire bien spécifique dans la RAM :

Parmètre	Adresse
Abscisse initiale	9200
Ordonnée initiale	9202
Nbre cel/ligne	9208
Nbre cel/colonne	9209
Longueur	920A
Largeur	920B
Distance	920C
Pas/Mode	922F
Température max	922E
Heure	920D
Minute	920E
Seconde	920F

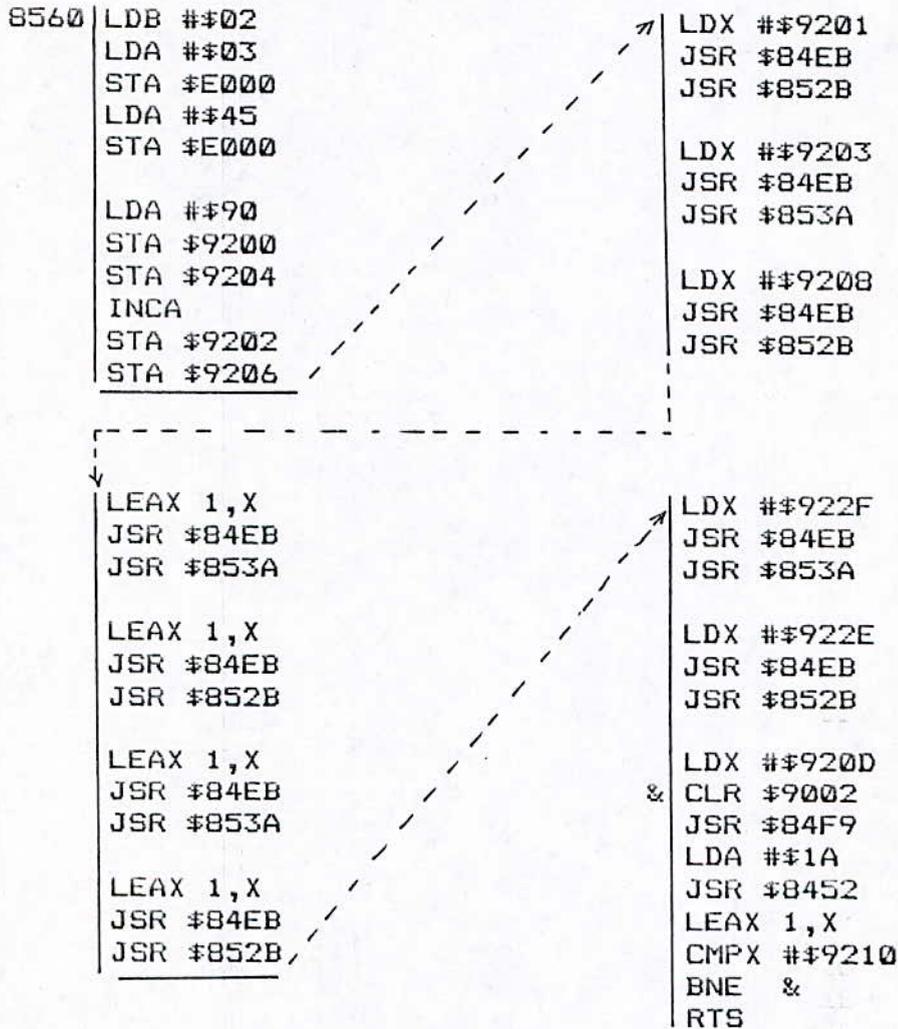
Alors le uP teste à chaque reprise le registre de réception de l'ACIA-Visu , s'il le trouve vide il reboucle ( reteste ) , par contre s'il est plein , il le lit et le convertit du décimal en hexa puis le dépose dans son adresse spécifique .

De même , il teste le registre d'émission du même ACIA , s'il est vide le uP émet le code ASCII correspondant au nombre entré vers

la visu pour le visualiser . Cette opération est répétée jusqu'à ce que tous les paramètres soient entrés .

\* Programme :

ADR. MNEMONIQUE



Le programme précédent utilise des sous-programmes de test du registre d'émission vide , de test du registre de réception plein , de translation du curseur sur console et des sous-programmes de conversion . ( Ces derniers seront étudiés plus loin ) .

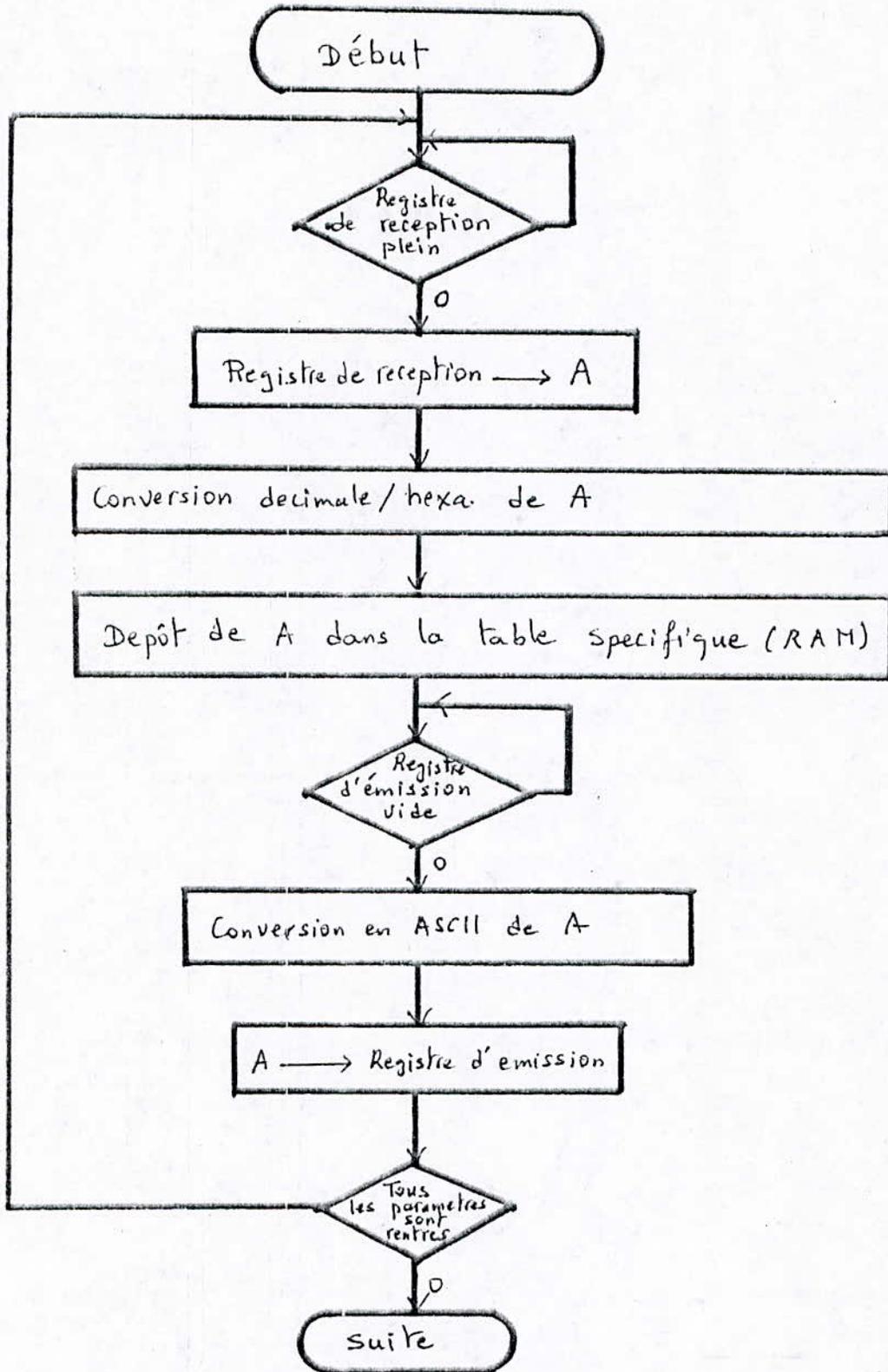


Fig. 59: Organigramme "Entrée des paramètres"

\* Sous-programme " registre réception plein " :

```

ADR.    MNEMONIQUE

84E4 * LDA $E000
        LSRA
        BCC *
        RTS
    
```

\* Sous-programme " registre émission vide " :

```

ADR.    MNEMONIQUE

8450    LDB #$02
        ù BITB $E000
        BEQ ù
        STA $E001
        RTS
    
```

\* Sous-programme de décalage du curseur :

Une fois que l'on a introduit un nombre de 3 chiffres sur un espace , mis en évidence par le mode inverse-vidéo , et situé tout à fait à gauche du tableau visualisé sur console ; le curseur doit faire automatiquement un saut de 27 colonnes . Pour ce faire , on fait appel au sous-programme " décalage --> " . De même , si le nombre écrit se trouve sur la partie droite de la console , alors le déplacement du curseur est dans le sens inverse . Exemple :

Abscisse initiale	Ordonnée initiale
0 0 0----->	>0 0 0
--27 colonnes-->	!"4
	!
Nombre de cellules par ligne	! L (LF: Line Feed)
0 0 0	! F"
<-----<	
<--33 colonnes--<	

- S.P. " décalage ---> " ( vers la droite )

ADR. MNEMONIQUE

```

852B  LDY #$001B          LEAY -1,Y
      LDA #$1A           BNE **
      ** JSR $B452        RTS
    
```

Là il s'agit seulement de tester à chaque fois le registre émission vide et de mettre le code ASCII de "-->" qui est "1A" dans le registre d'émission en 27 fois .

- S.P. " décalage <--/ " ( vers la gauche "

ADR. MNEMONIQUE

```

853A  LDY #$0021          LDY #$0004
      LDA #$0             LDA #$0A
      *** JSR $B452        **** JSR $B452
      LEAY -1,Y           LEAY -1,Y
      BNE ***             BNE ****
                          RTS
    
```

Ici on teste le registre émission vide à chaque fois , on dépose le code ASCII de " <-- " càd "08" 33 fois , puis le code de Line-Feed ( LF ) qui est "0A" et ceci à 4 reprises .

VI-4-2 / ENTREE DES PARAMETRES PAR CLAVIER LOCAL/AFFICHEURS :

a: DESCRIPTION DES TOUCHES DU CLAVIER

Le clavier est composé de 6 touches :

- VALID : pour valider la donnée, elle a le role de "Return".

Ex: 000945 (VALID)--> 000000 --> autre paramètre

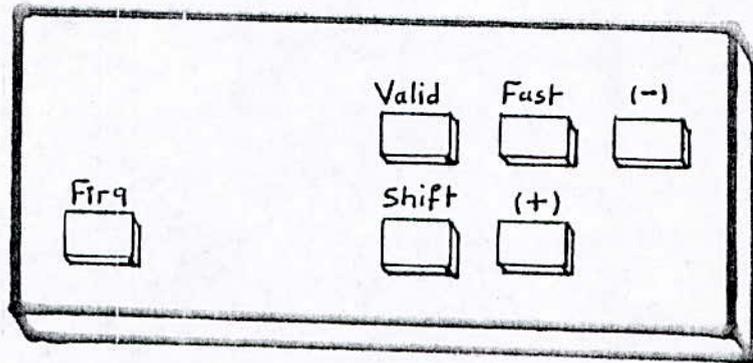
- SHIFT : pour effacer le nom d'un paramètre .

Ex: Le système affiche : HEURE .

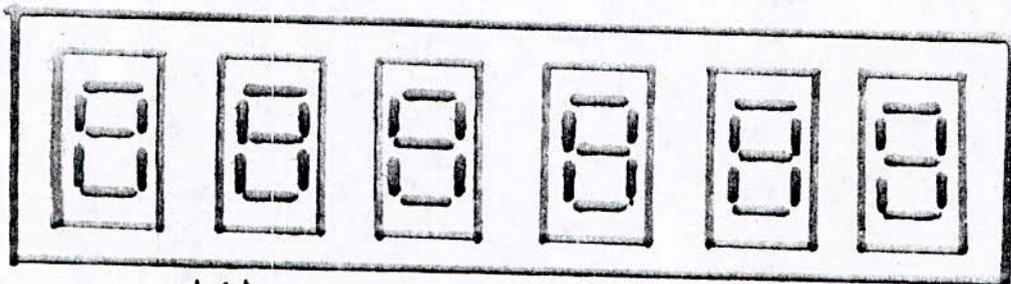
On appuie sur SHIFT --> ...000

- + : pour incrémenter la donnée .

Ex : ...000 , (+)--> ...001 , (+)--> ...002



- Clavier local -



- Afficheurs -

Figure .60

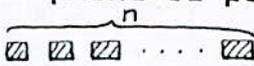
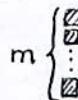
- − : pour décrémenter la donnée .  
 Ex : ...102 , ( − ) --> ...101 , ( − ) --> ...100
- FAST : pour augmenter la vitesse d'incréméntation ou de décréméntation .  
 Ex1 : ...000 , on appuie sur + et sur FAST , --> ...012  
 l'incréméntation se fait très rapidement .  
 Ex2 : ...027 , ( − / FAST ) --> ...015  
 la décréméntation est très rapide .

b: DEROULEMENT DU PROCESSUS " ENTREE DES PARAMETRES "

Lors de l'affichage de HELLO et de l'émission d'une sonnerie , le uP attend que l'on appuie sur une touche . Dès que l'on appuie sur une touche du clavier local , il se met automatiquement en état "Entrée des paramètres" . Ceci dit , il affiche le nom du 1er paramètre à entrer : *ABS-17* , ce qui signifie Abscisse Initiale ou le point le plus à gauche et plus bas à balayer . Pour pouvoir entrer la donnée correspondante , on appuie sur SCHIFT et la configuration : . . . 000 apparait . Ce qui signifie que la valeur correspondant à l'abscisse initiale est zéro, et qu'on peut l'augmenter si l'on veut ; pour ce faire, il suffit d'appuyer sur + . Pour que l'incréméntation soit rapide on n'a qu'à appuyer aussi sur FAST ; et si on dépasse la valeur voulue , on pourra décrémenter avec − . Une fois que la valeur désirée a été atteinte , on doit la valider en pressant VALID . Après quoi la valeur entrée est acceptée et stockée dans sa case mémoire correspondante (pour l'abscisse initiale , c'est 9200 H).

Après l'opération de validation , le système nous affiche le nom du 2ème paramètre ; et une fois ce dernier entré et validé , il nous écrit le nom du 3ème , et ainsi de suite jusqu'au dernier paramètre à entrer .

Les noms affichés successivement par le système sont :

Symbole	Nom	Signification
<i>Ab5-In</i>	Abscisse Initiale	Le point le plus à gauche à balayer
<i>Ord-In</i>	Ordonnée Initiale	Le point le plus bas à balayer
<i>nbx-Li</i>	Nb. de cel./ligne	 $\overbrace{\square \square \square \dots \square}^n$
<i>nbx-Co</i>	Nb. de cel./col.	 $\begin{matrix} \square \\ \vdots \\ \square \end{matrix} \left. \vphantom{\begin{matrix} \square \\ \vdots \\ \square \end{matrix}} \right\} m$
<i>LONGU</i>	Longueur	Longueur d'1 plaquette de Silicium
<i>LARGE</i>	Largeur	Largeur d'1 plaquette de Silicium
<i>DISTAN</i>	Distance	Distance entre 2 cellules voisines
<i>PAS-Ad</i>	Pas / Mode	<ul style="list-style-type: none"> <li>. Distance entre 2 points voisins</li> <li>. Mode d'asservissement</li> <li>. Interface utilisé</li> </ul>
<i>TEMP°C</i>	Température en °C	Température maximale de recuit à ne pas dépasser
<i>HEURE</i>	Heure	Temps maximum à ne pas dépasser en Heures et en Minutes
<i>MINUTE</i>	Minute	
<i>START</i>	Start	Prêt à commencer le recuit

Une fois que le système nous affiche START , cela veut dire qu'il est en possession de toutes les les données nécessaires et qu'il n'a plus besoin de l'opérateur. Ainsi, il peut commencer à balayer et à contrôler la tension accélératrice et la température .

c: SOUS-PROGRAMME AFFICHANT LE NOM DU PARAMETRE

ADR. MNEMONIQUE

8E90	LDA, Y+ STA \$9250 LDA, Y+ STA \$9251 LDA, Y+ STA \$9252 LDA, Y+	STA \$9253 LDA, Y+ STA \$9254 LDA, Y+ STA \$9255 JSR \$(SHIFT) RTS
------	--	--

On a stocké les codes des noms des paramètres dans les cases mémoires suivantes : ADR. CODE HEXA EQUIVALENT 7 SEGMENTS

ADR.	CODE HEXA	EQUIVALENT 7 SEGMENTS
8F00	C8	N
8F01	F9	I
8F02	3F	-
8F03	92	S
8F04	83	b
8F05	88	A
8F06	01	////
..		
..		
..		
8F53	FF	

↑ Lire de bas en haut.

- . On positionne Y à 8F00
  - . On charge l'accumulateur A par la case d'adresse Y , soit 8F00, d'où A = C8 , puis on incrémente Y ( Y = 8F01 )
  - . On dépose le contenu de A dans la case tampon de l'afficheur 1 càd 9250 , d'où 9250 = (C8) . C8 en 7 Segments correspond à "N". On répète la même opération avec Y incrémenté , d'où le 2ème Aff. donnera " I " correspondant à F9 .....etc
- Arrivé à la case 8F05 ( Y = 8F05 ) , on aurait affiché: *AbS-17*
- Ce processus d'affichage est le même pour toutes les autres configurations ( *HEURE* , *MINUTE* , .... etc ) .

d: SOUS-PROGRAMME "SHIFT"

Après avoir affiché le nom du paramètre , le uP entre dans le sous-programme SHIFT . Il attend alors que la touche "SHIFT" soit pressée , sinon il rest en phase d'attente .

ADR.	MNEMONIQUE	
8EB5 à	LDA \$E052	STX \$9251
	COMA	LDX #\$7F7F
	ANDA #\$02	STX \$9253
	CMPA #\$02	STX \$9254
	BNE à	ç JSR \$ +
	CLR \$9220	JSR \$ -
	LDX #\$4040	JSR \$ VALID
	STX \$9250	BRA ç

e: SOUS-PROGRAMME " + "

Par ce S-P , le uP incrémente la valeur affichée .

- le uP teste tout d'abord si la touche + est appuyée
- si c'est le cas , il passe au test de la touche FAST
- s'il trouve qu'elle n'est pas appuyée , il incrémente alors la valeur numérique affichée , puis temporise pour environ 1/2 seconde .
- si par contre FAST est appuyée, il fait la même chose mais avec une temporisation plus importante : environ 40 ms .

C'est à dire que si l'on laisse le doigt sur + pendant 1/2 sec , la valeur est incrémentée de 1 dans le premier cas ( FAST non appuyée ) , et de 10 dans le deuxième cas ( FAST appuyée ) .

ADR.	MNEMONIQUE	
8EE2	LDA \$E052	INC \$922D
	COMA	JSR \$"H/Dec"
	ANDA #\$1B	JSR \$"Dec/7seg"
	CMPA #\$08	JSR \$"Tempo"
	BNE è	è RTS

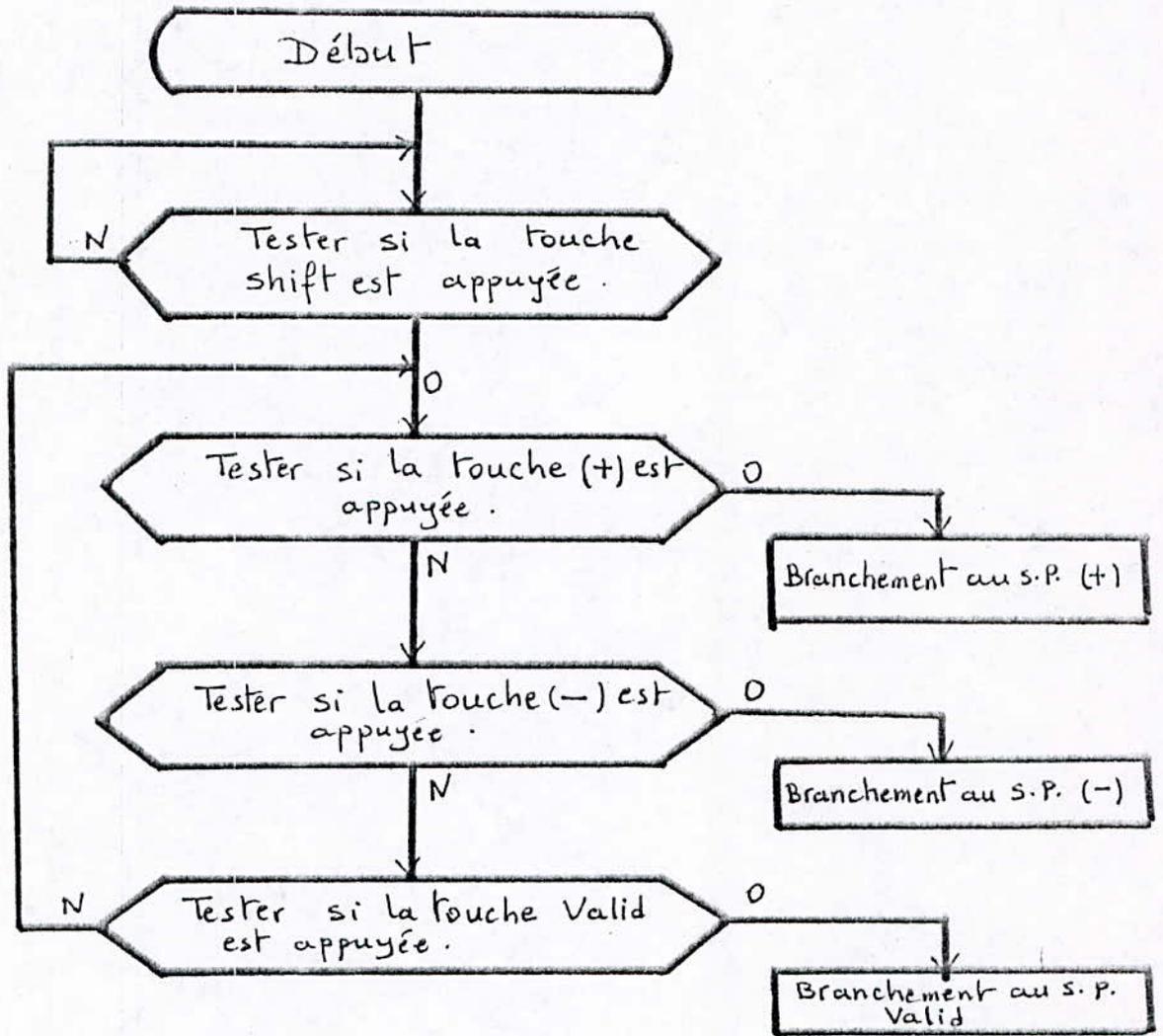


Fig. 61: Organigramme "SHIFT"

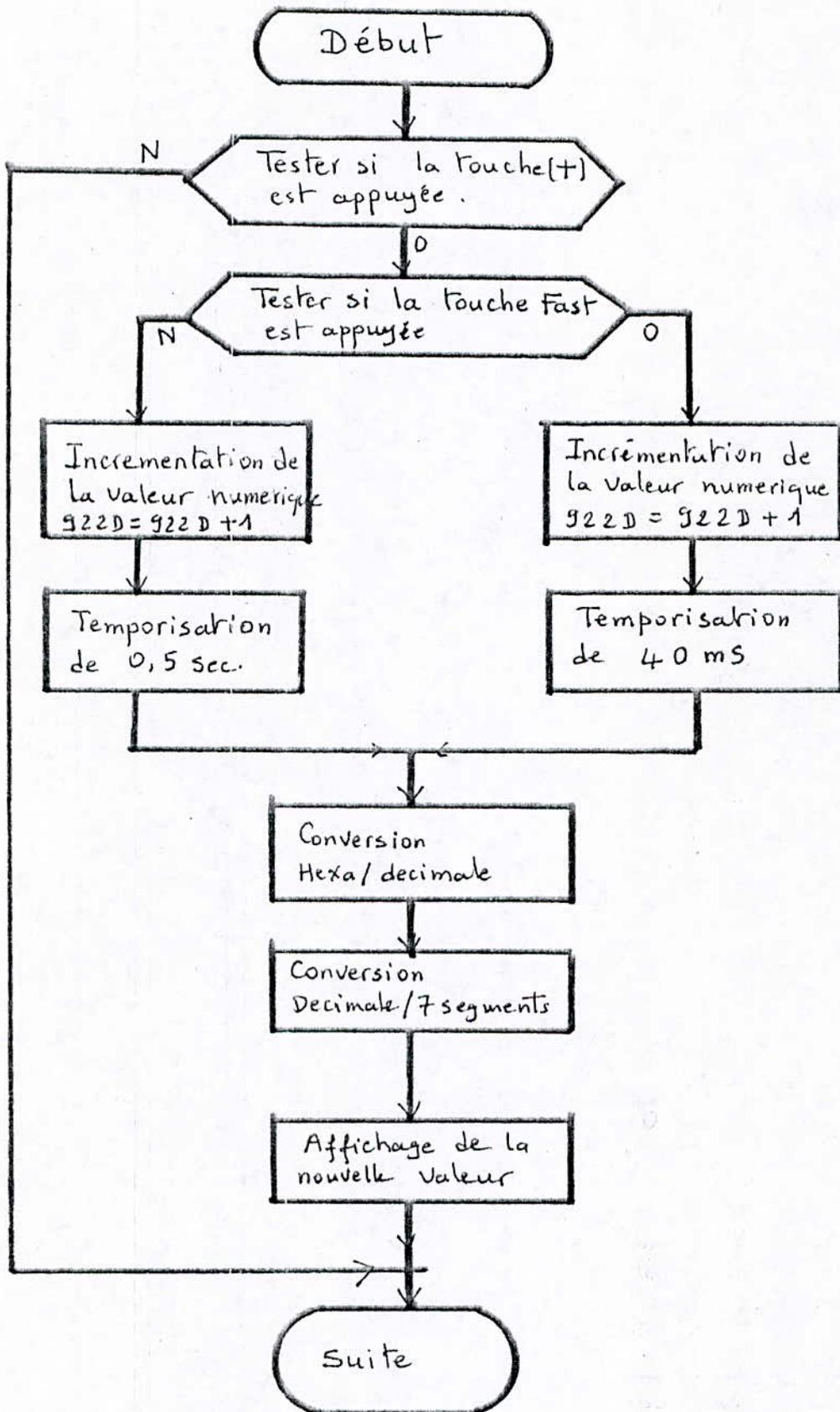


Fig.62: Organigramme "+"

A chaque fois que l'opération d'incrémentation est exécutée , le uP se branche au S-P de conversion hexadécimal/décimal " H/D " pour pouvoir lire la donnée en décimal , et se branche aussi au S-P de conversion décimal/7-segments " D/7 " pour pouvoir afficher cette nouvelle valeur sur les afficheurs .

( Ces deux sous-programmes sont étudiés plus loin ) .

f: SOUS-PROGRAMME "VALID"

Il a pour effet de valider la donnée choisie pour un paramètre donné , en la déposant dans sa case mémoire correspondante , tout en lançant la "page" suivante ( nom du paramètre suivant ) .

NB: Voir page 3 , Table donnant adresses des symboles paramètres.

Tout au début, le uP teste VALID; si elle est appuyée il dépose la valeur se trouvant à l'adresse 922D dans sa case mémoire correspondante .

Il lance ensuite sur chaque case tampon des afficheurs le caractère correspondant copié dans un tableau de la ROM .

Ex:

A la fin , il retourne au programme principal appelant .

ADR.	MNEMONIQUE	
8D3A	LDA \$E052	CMPB #\$FF
	COMA	BEQ "FIN"
	ANDA #\$1F	LDA \$922D
	CMPA #\$01	STA,X,B
	BNE *	JSR \$"FORMAT"
	LDX #\$9200	JSR \$"B-H"
	LDB,Y+	* RTS

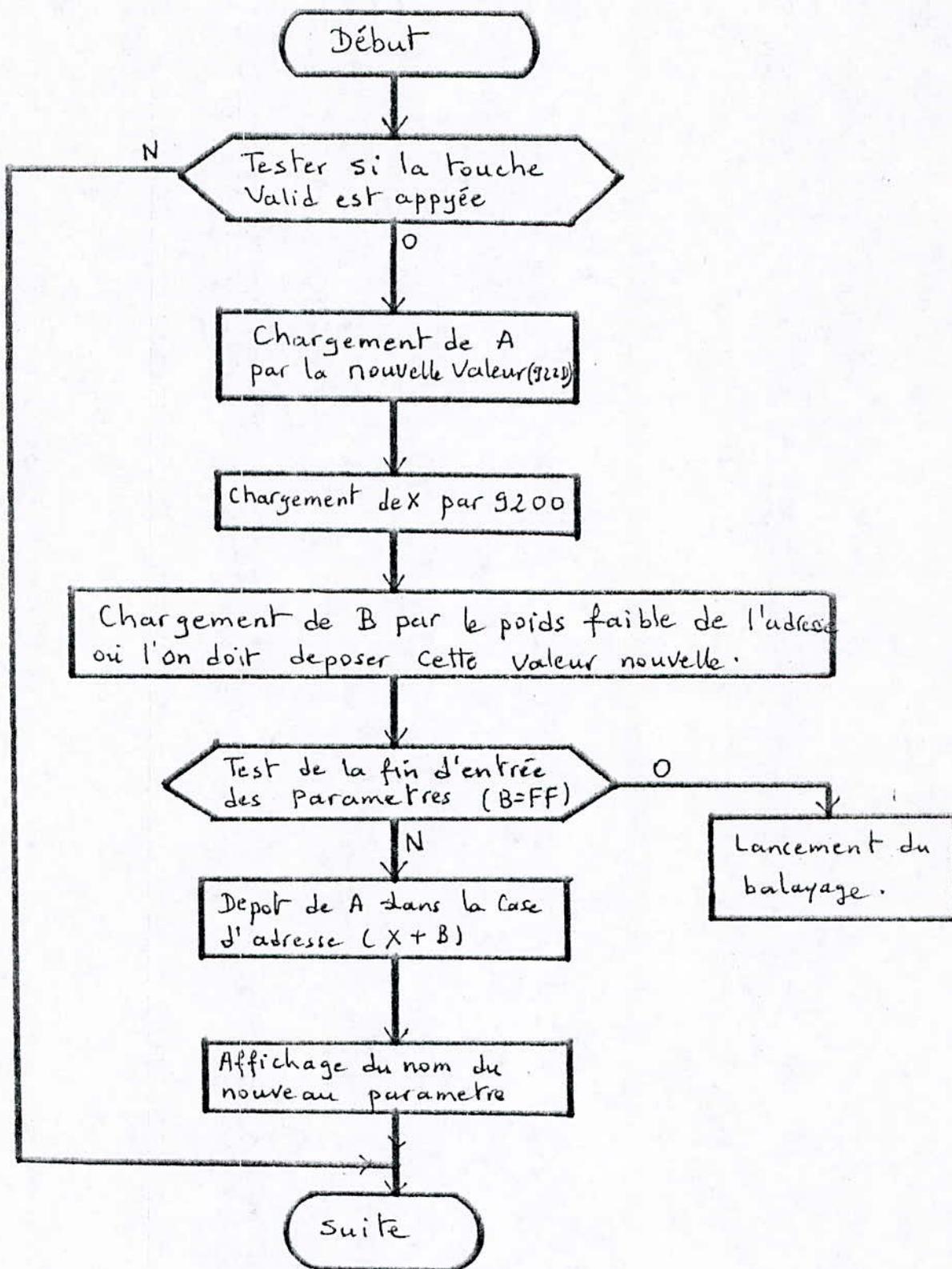


Fig. 63 : Organigramme "VALID"

VI-5 : AFFICHAGE DES DONNEES

Il existe deux façons pour afficher la température et le temps pendant le balayage : on peut les visualiser sur visu ou les afficher sur des afficheurs . Cependant, ces deux méthodes sont tout à fait différentes dans le fonctionnement .

VI-5-1 / VISUALISATION DE LA TEMPERATURE ET DU TEMPS SUR VISU :

L'affichage de ces deux paramètres importants sur visu se fait d'une manière automatique et régulière à des intervalles de temps constants de 10 secondes .

Toutes les dix secondes apparait sur la visu la nouvelle valeur du temps en Heures, Minutes et Secondes; et la température des plaquettes de silicium en °C .

Le programme d'affichage est le suivant :

ADR.	MNEMONIQUE
845D	LDA #03
	STA \$E000
	LDA #45
	STA \$E000
	LDB #02
	LDA #0D
	JSR \$8452
	LDA #20
	JSR \$8452
	LDA \$924A
	JSR \$8450
	LDA \$924D
	JSR \$8450
	LDA \$9249
	JSR \$8450
	LDA #20
	JSR \$8452
	LDA \$9247
	JSR \$8450
	LDA \$9246
	JSR \$8450
	LDA #20
	JSR \$8452
	LDA \$9244
	JSR \$8450
	LDA \$9243
	JSR \$8450
	LDX #0020
	JSR \$84D0
	LDA \$924E
	JSR \$8450
	LDA \$924D
	JSR \$8450
	LDA \$924C
	JSR \$8450
	RTS

Le programme précédent utilise le sous-programme donnant n blancs sur visu .

\* SOUS-PROGRAMME "N-BLANCS" : Ce S-P permet d'afficher n blancs sur la visu , n étant contenu dans le registre d'index .

```

ADR.    MNEMONIQUE
84D0    LDB #02
        LDA #20
        * BITB #E000
        BEQ *
        STA #E001
        LEAX -1,X
        BNE *
        RTS
    
```

\* REMARQUE : Le temps figure dans les cases mémoires suivantes :

924A	9249	9247	9246	9244	9243
-----		-----		-----	
HEURE		MINUTE		SECONDE	
-----		-----		-----	
Dizaines Unités		Dizaines Unités		Dizaines Unités	

et la température figure dans les cases suivantes :

924E	924D	924C
-----		
TEMPERATURE		
-----		
Centaines Dizaines Unités		

Comme on peut le remarquer sur l'organigramme , le système affiche les chiffres de l'heure l'un après l'autre .

```

924A -----> Registre Emission
9249 -----> Registre Réception
    
```

Heure

Juste après , il envoie un blanc pour espacer . Puis , il envoie les minutes : 9247 & 9246 , un blanc , et enfin les secondes : 9244 & 9243 .

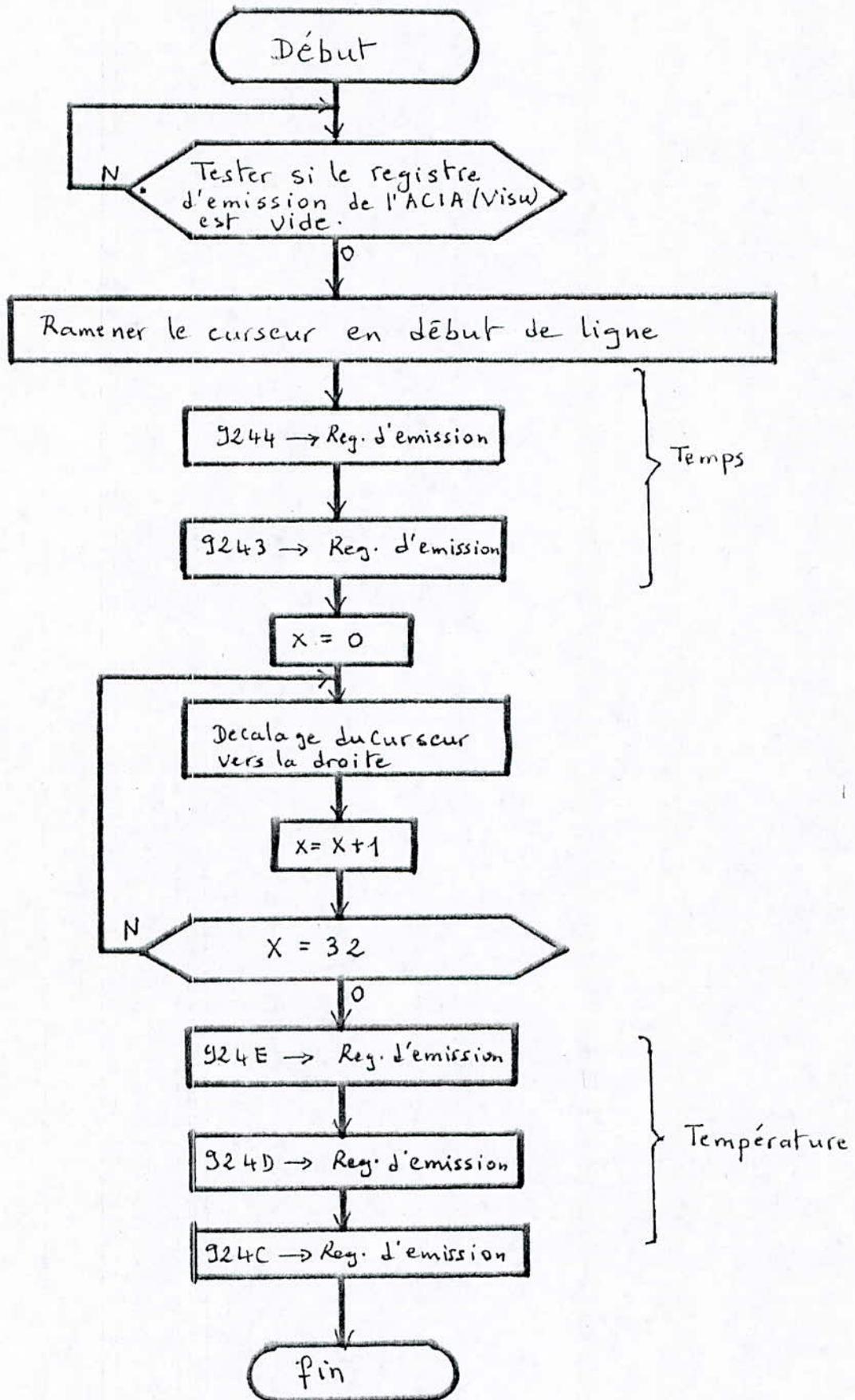


Fig. 64 : Organigramme de visualisation sur "moniteur"

Pour différencier le temps de la température , on espace les deux écritures de 32 blancs :

TEMPS	T°
00.00.00.....000	
H. m. s.	°C.

Pour l'affichage de la température , le système affiche le contenu des cases mémoire : 924E , 924D et 924C . C'est à dire , il envoie 924E dans le registre d'émission , puis 924D et enfin 924C .

VI-5-2 / AFFICHAGE DU TEMPS ET DE LA TEMPERATURE SUR AFFICHEURS :

Cette opération n'est pas automatique ; pour afficher l'un ou l'autre de ces deux paramètres , il faut que l'opérateur appuie sur le bouton poussoir "FIRQ" .

La fonction de la FIRQ est de visualiser sur afficheurs les deux paramètres sans interrompre le fonctionnement du balage .

\* pour afficher la T° , il faut appuyer simultanément sur les touches - et FIRQ .

\* pour afficher le temps ( Heure , Minute , Seconde ) , il faut presser simultanément + et FIRQ .

\* pour revenir au mode initial ( extinction des afficheurs ) , il suffit d'appuyer uniquement une seule fois sur FIRQ

La FIRQ est une interruption rapide qui permet l'affichage en temps réel des paramètres demandés. Dès que l'on presse la touche FIRQ , le processeur ira lire ( après sauvegarde du P.C.) le contenu des adresses FFF6 et FFF7 (le vecteur d'interruption). On a déposé 88 H dans FFF6 et 82 H dans FFF7, ce qui signifie que

le processeur ira lire à l'adresse 8882 son programme d'interruption .

\* PROGRAMME D'INTERRUPTION : Il utilise le sous-programme de "conversion suivie d'un décalage" suivant :

- S-P "conversion + décalage"

ADR.	MNEMONIQUE
8876 "CD"	JSR \$8F74
	LDX #\$8030
	LDA,B,X
	STA \$9250
	RTS

- Programme :

ADR.	MNEMONIQUE
8882	LDA \$E052
	COMA
	ANDA #\$1F
	CMPA #\$08
	BNE *
	LDB \$924A
	JSR \$"CD"
	LDB \$9249
	JSR \$"CD"
	LDB \$9247
	JSR \$"CD"
	LDB \$9246
	JSR \$"CD"
	LDB \$9244
	JSR \$"CD"
	LDB \$9243
	JSR \$"CD"
	LDA #\$82
	STA \$E020
	JMP "FIN"
	* CMPA #\$10
	BNE **
	LDX #\$FFFF
	STX \$9250
	LDB \$924E
	JSR \$"CD"
	LDB \$924D
	JSR \$"CD"
	LDB \$924C
	JSR \$"CD"
	JSR \$"CD"
	JSR \$"CD"
	LDX #\$C69C
	STX \$9250
	LDA #\$82
	STA \$E020
	JMP "FIN"
	** LDA #\$00
	STA \$E020
	LDX \$9200
	LDY \$9202
	RTI

- Explication : Le processeur , dans ce programme , teste les touches + et - du clavier local .

- > s'il trouve que + a été appuyée , il comprend qu'il doit afficher le temps .
- > s'il trouve que - a été appuyée , il affiche la température .
- > si par contre aucune de ces deux touches n'a été appuyée , il retrouve à son état initial comme si rien ne s'est passé en continuant son rythme normal .

Pour afficher le temps , le processeur fait le transfert des données se trouvant dans les cases réservées aux 3 éléments du paramètre temps ( H,m,s ) vers les cases tampons des afficheurs :

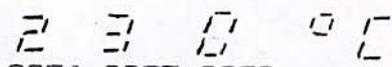
```

924A ---> 9255
9249 ---> 9254
9247 ---> 9253
9246 ---> 9252
9244 ---> 9251
9243 ---> 9250
    
```

Pour afficher la température , le processeur fait la même chose avec les adresses suivantes :

```

9246 ---> 9254
924D ---> 9253
924C ---> 9252
    
```

Ex:  9254 9253 9252

\* REMARQUE : Pour pouvoir afficher des chiffres sur afficheurs , il faut d'abord procéder à une conversion décimal/7segments .

Cette conversion est utilisée lorsque l'on veut afficher un nombre décimal sur les afficheurs .

Le principe est simple : on stocke les valeurs "7segments" correspondant aux chiffres de 0 à 9 dans la ROM aux adresses : 8030 jusqu'à 8039 . ( Voir le tableau de la page suivante )

Nombre décimal	Nombre "7segments"	Adresse ROM
0	C0	8030
1	F9	8031
2	A4	8032
3	B0	8033
4	99	8034
5	92	8035
6	82	8036
7	F8	8037
8	80	8038
9	98	8039

Lorsqu'on veut , par exemple , afficher "7" sur un afficheur , on ajoute 7 à 8030 , on obtient alors 8037 , puis on lit à l'adresse 8037 de la ROM la configuration "F8" ; on dépose alors F8 dans la case tampon d'un afficheur et on obtient 7 .

#### VI-6 : GESTION DES INTERRUPTIONS

Les interruptions utilisées sont : RESET , NMI , FIRQ et IRQ .

- Le RESET est utilisé pour la réinitialisation de la carte .
- La NMI sert à la temporisation et à l'arrêt du recuit après un délai fixé par l'utilisateur .
- La FIRQ sert à l'affichage pendant le balayage des paramètres de recuit .
- L'IRQ est employée pour le rafraichissement des afficheurs .

##### VI-6-1 / RESET :

Un niveau bas sur RESET active la demande d'interruption RESET . Toutes les autres interruptions matérielles sont masquées; la ligne R/W passe à l'état 1 et le uP s'apprête à lire son vecteur d'interruption : FFFE FFFF .

FFFE:poids fort

FFFF:poids faible

Dans ces 2 adresses , on a déposé l'adresse du sous-programme de réinitialisation . Ce dernier a pour fonction principale : la réinitialisation des ACIAs , le positionnement des pointeurs de pile et la mise à 0 du Registre Code Condition ( R.C.C. ) .

- Une fois cette tâche terminée, le uP positionne la ligne BS à 0 , indiquant que le fonctionnement est normal .

- les programmes propres au RESET ont déjà été explicités dans le paragraphe " Gestion de la carte ) .

#### VI-6-2 / NMI :

C'est l'interruption la plus prioritaire après RESET . Elle est sensible au front descendant ; c'est ce qui lui confère une souplesse et une rapidité d'exécution même pour de faibles fréquence d'appel d'interruption .

La fonction principale de NMI est la TEMPORISATION . Cette temporisation est utilisée pour permettre l'arrêt automatique du recuit après un laps de temps librement choisi par l'utilisateur .

De plus , cette temporisation permet de nous renseigner sur le temps écoulé depuis le début du balayage , et ceci chaque dizaine de secondes ( le système affiche le temps et la température chaque 10 secondes ) .

Ceci nécessite l'utilisation du PTM .

#### \* PROGRAMMATION DU PTM :

Le Timer N°2 du PTM a été programmé de telle sorte qu'il délivre un signal carré de fréquence  $f_2 = 100$  Hz .

Du point de vue "hard" , cette sortie O2 est reliée à l'entrée

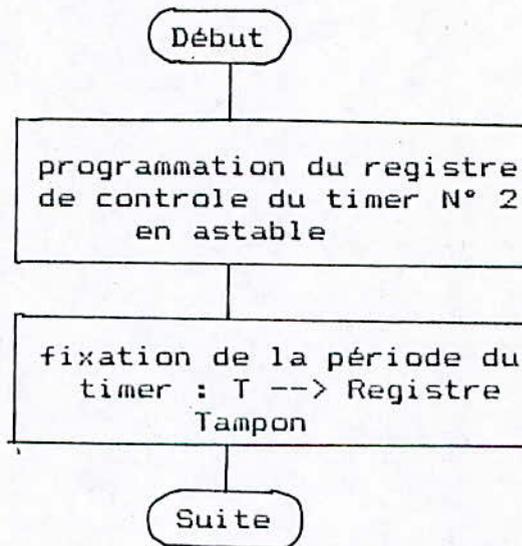
NMI du uP pour émettre une série d'interruption chaque 10 ms .

On a jugé utile d'utiliser la NMI pour une telle fonction ,  
vu que l'on travaille en temps réel .

- Sous-programme de "programmation" du PTM :

ADR.	MNEMONIQUE
869A	LDA #\$01
	STA \$E021
	LDA #\$82
	STA \$E020
	LDX #\$FFFF
	STX \$E022
	LDA #\$82
	STA \$E021
	LDX #\$27FF
	STX \$E024
	RTS

- Organigramme :



Registre de controle,ADR.:E021 

1	0	0	0	0	0	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

 --->Astable  
8 2

Registre Tampon,ADR.:E024 E025 

0	0	1	0	0	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

1	1	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

  
2 7 F F

---> periode = 10 ms .

- Sous-programme de traitement de la NMI / Division de fréquence et affichage de la température et du temps :

Une fois que le uP détecte un front descendant à son entrée NMI, il le prend en compte juste à la fin de l'instruction en cours .

=Le uP positionne l'indicateur d'état E à 1 , pour indiquer qu'il va faire une sauvegarde totale du contexte microprocesseur dans la pile système .

=Tous les registres du uP sont donc sauvegardés à partir de l'adresse contenu dans le pointeur S moins un ( SP-1 ) .

Le pointeur S n'est pas sauvegardé , sa valeur est SP-12 à la fin de la sauvegarde , il pointe le contenu du C.C.R. .

=Les interruptions matérielles sont masquées . Les signaux IRQ et FIRQ n'ont plus d'influence .

=Le processeur indique à l'environnement externe qu'il recherche un vecteur d'interruption ---> BA = 0 et BS = 1 .

=Le contenu des adresses FFFC et FFFD est pris en compte par le uP .

=BS est positionné à 0 ; le fonctionnement redevient normal .

=Le P.C. contient l'adresse du programme de traitement de NMI :

          poids fort ---> FFFC            poids faible ---> FFFD

=Le uP exécute le programme de traitement de NMI .

Aux adresses FFFC et FFFD , on a mis le vecteur d'interruption de NMI qui correspond à l'adresse du sous-programme de division de fréquence :

Adresse	FFFC	FFFD
Donnée	87	60

Le sous-programme est le suivant :

ADR.	MNEMONIQUE	
8760	LDX #95FE	JSR #86D4
	LEAX 1,X	JSR #8448
	CMPX ##0400	LDA #82
	BNE "FIN"	STA #E021
	CLR #E021	LDX #0000
	JSR #86BD	STX #95FE
	JSR #8627	RTI

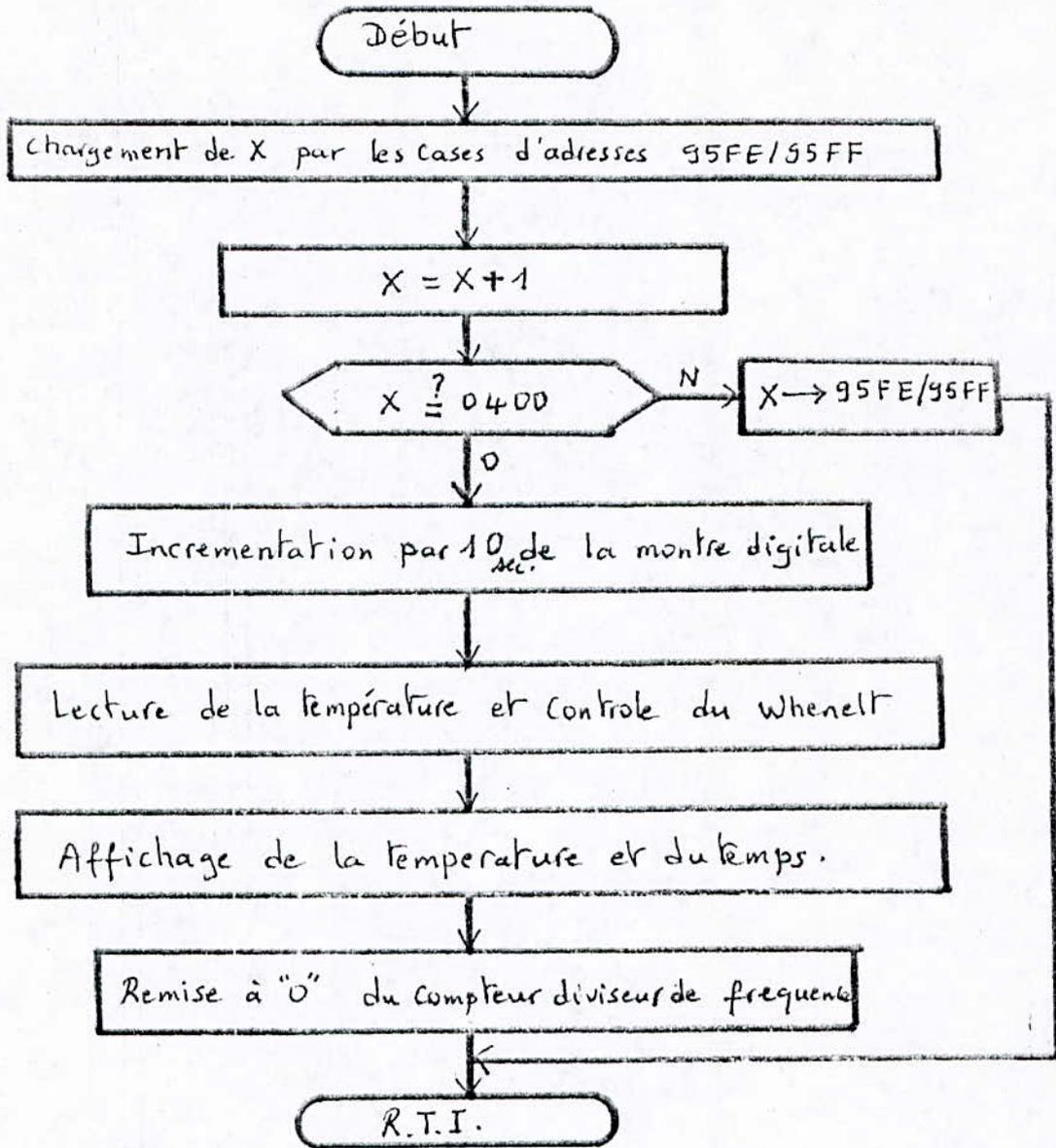
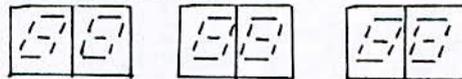


Fig. 65 : Organigramme de traitement de la NMT

On veut un test de la température chaque 10 secondes , ce qui correspond à une fréquence de 0.1 Hz . Cette dernière est trop basse , d'où il est impossible de l'extraire directement du PTM . Pour cela , on a utilisé le PTM en astable de fréquence 100 Hz , et on a simulé un compteur "SOFT" par programme que l'on a utilisé en diviseur de fréquence par 1000 . (100Hz : 100 = 0.1Hz).

\* MONTRE DIGITALE : La montre digitale est composée de 3 nombres distincts à deux chiffres chacun :



-Le premier nombre à gauche représentant les Heures est stocké dans la case mémoire 923F .

-Le deuxième représente les minutes ( adresse : 9242 ) .

-Et le troisième représente les secondes ( adresse : 9241 ) .

Rappelons seulement que le temps maximal de fonctionnement ( H , m , s ) est écrit dans les 3 cases mémoires :

920D <--- H , 920E <--- m , 920F <--- s .

Le principe de cette montre est représenté sur l'organigramme de la page suivante .

#### VI-6-3 / FIRQ :

C'est une interruption rapide qui convient bien à la demande d'affichage pendant le balayage . Elle ne fait la sauvegarde que du P.C. ( gain de temps ) . Elle permet, dans notre système , d'afficher pendant le balayage la température ou bien le temps écoulé . Les programmes de traitement de cette interruption ont déjà été vus dans le paragraphe " Affichage des paramètres sur afficheurs" .

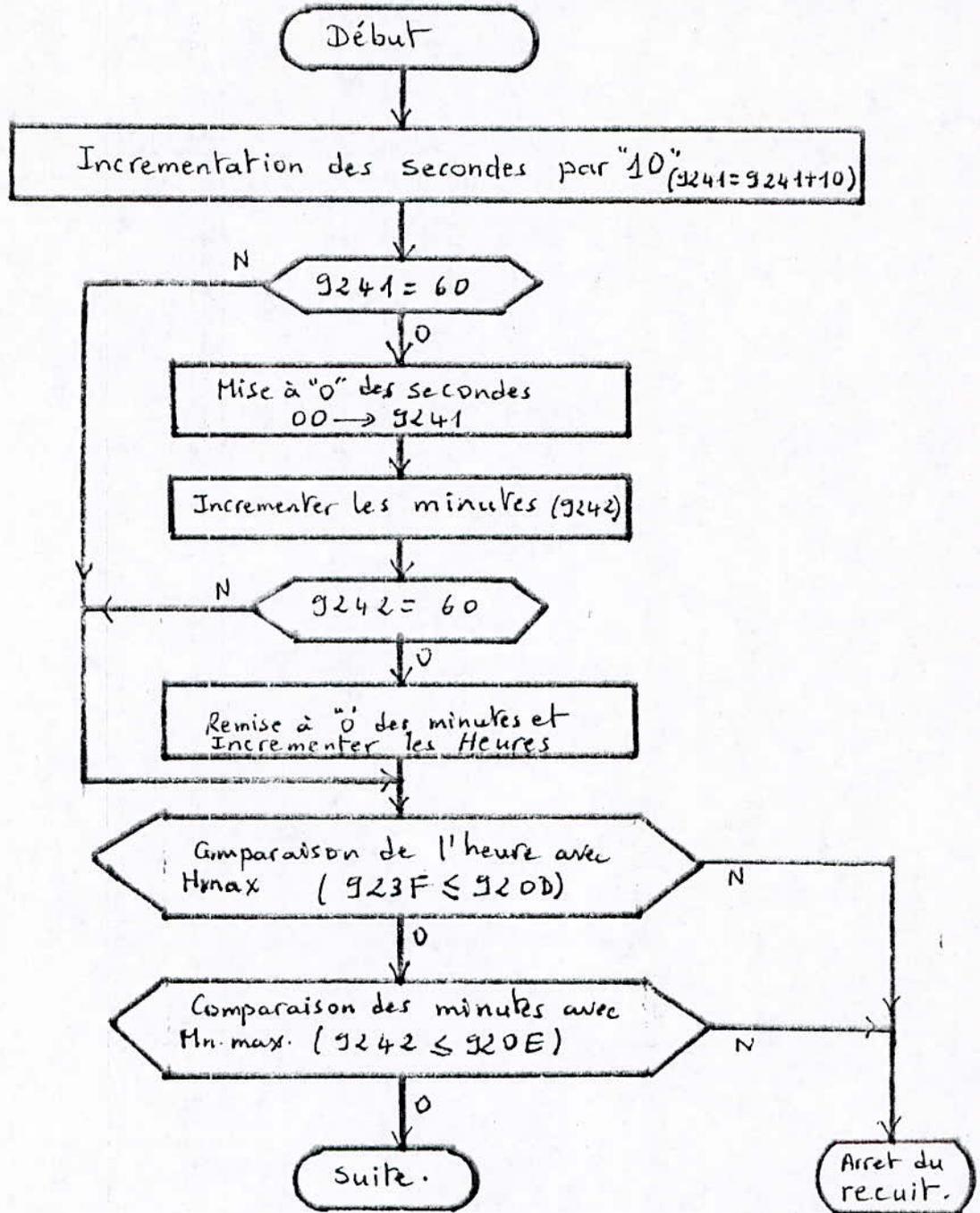


Fig. 66 : Organigramme "principe de la montre digitale"

VI-6-4 / IRQ :

C'est l'interruption la plus prioritaire , elle sauvegarde tous les registres internes du uP avant de passer à l'exécution du sous-programme d'interruption qui lui est associé.

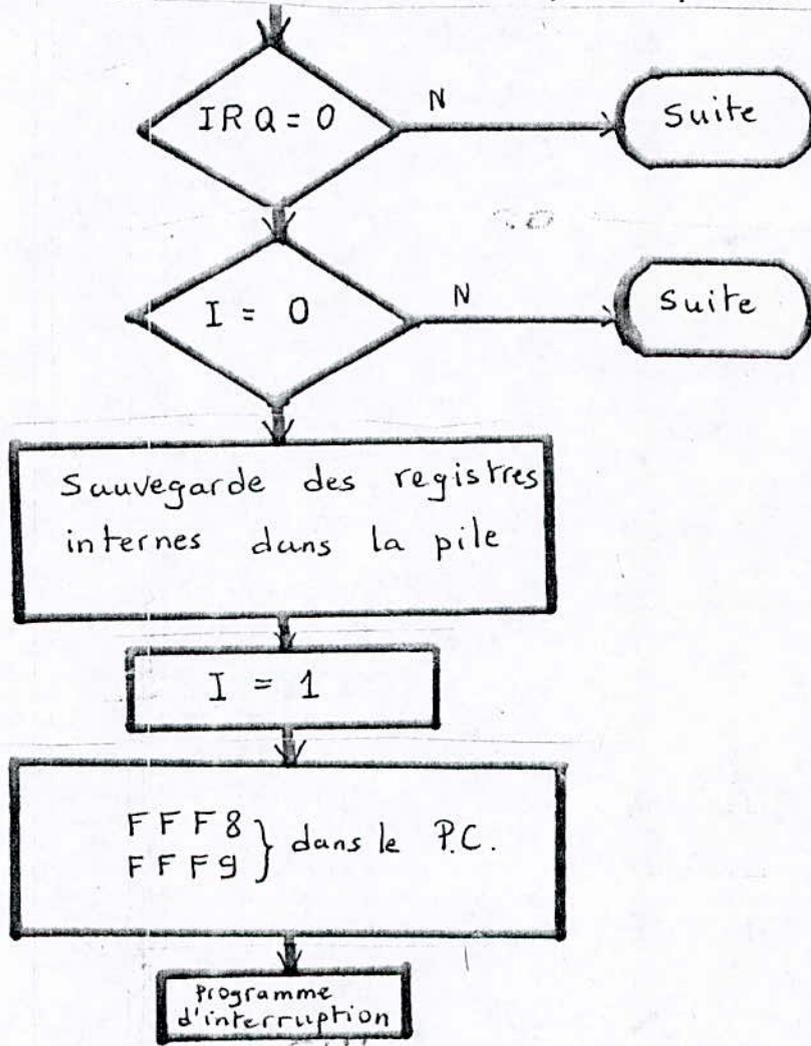


Fig.67 : Organigramme "IRQ"

A la fin du sous-programme , il faut écrire RTI , ce qui signifie la fin de l'interruption .

IRQ a pour role : le rafraichissement des afficheurs ( voir le paragraphe correspondant ) .

**CHAPITRE VII :**  
**ETUDE DE LA REALISATION**  
**DE LA CARTE**  
**METHODE DE DEVELOPPEMENT**

VII / ETUDE DE LA REALISATION DE LA CARTE  
METHODE DE DEVELOPPEMENT

L'étude de la réalisation de la carte présente deux aspects : "Hardware" et "Software" .

Pour le Hardware , un travail d'environ trois mois a été nécessaire pour la mise au point du circuit imprimé , la soudure des composants et le test des différents modules .

Le circuit imprimé est à double face , et à trous métallisés permettant une haute densité d'implantation . Les pistes sont de deux types : les pistes minces d'environ 1 mm de largeur , pour l'interconnexion des boîtiers ; et les pistes larges de plus de 1.5 cm pour l'alimentation .

Un schéma d'implantation des composants suffisamment détaillé est donné par la figure 68 .

L'alimentation de la carte est à trois sorties : +5 V , +12 V et -12 V . La ligne +5 V alimente tous les circuits intégrés TTL et CMOS de traitement et d'interfaçage . La ligne +12 V alimente quant à elle les amplis opérationnels ainsi que les buffers de lignes 1488 . Et la ligne -12 V alimente toujours les amplis opérationnels , et sert aussi de référence pour les convertisseurs N/A DAC 1408 .

Pour le Software , nous avons besoin d'un moniteur qui devait gérer l'exécution des programmes , que nous avons à développer en assembleur .

Dans ce but , on avait respecté le champ d'adressage d'un KIT 6809 qui existait déjà , afin de pouvoir utiliser le

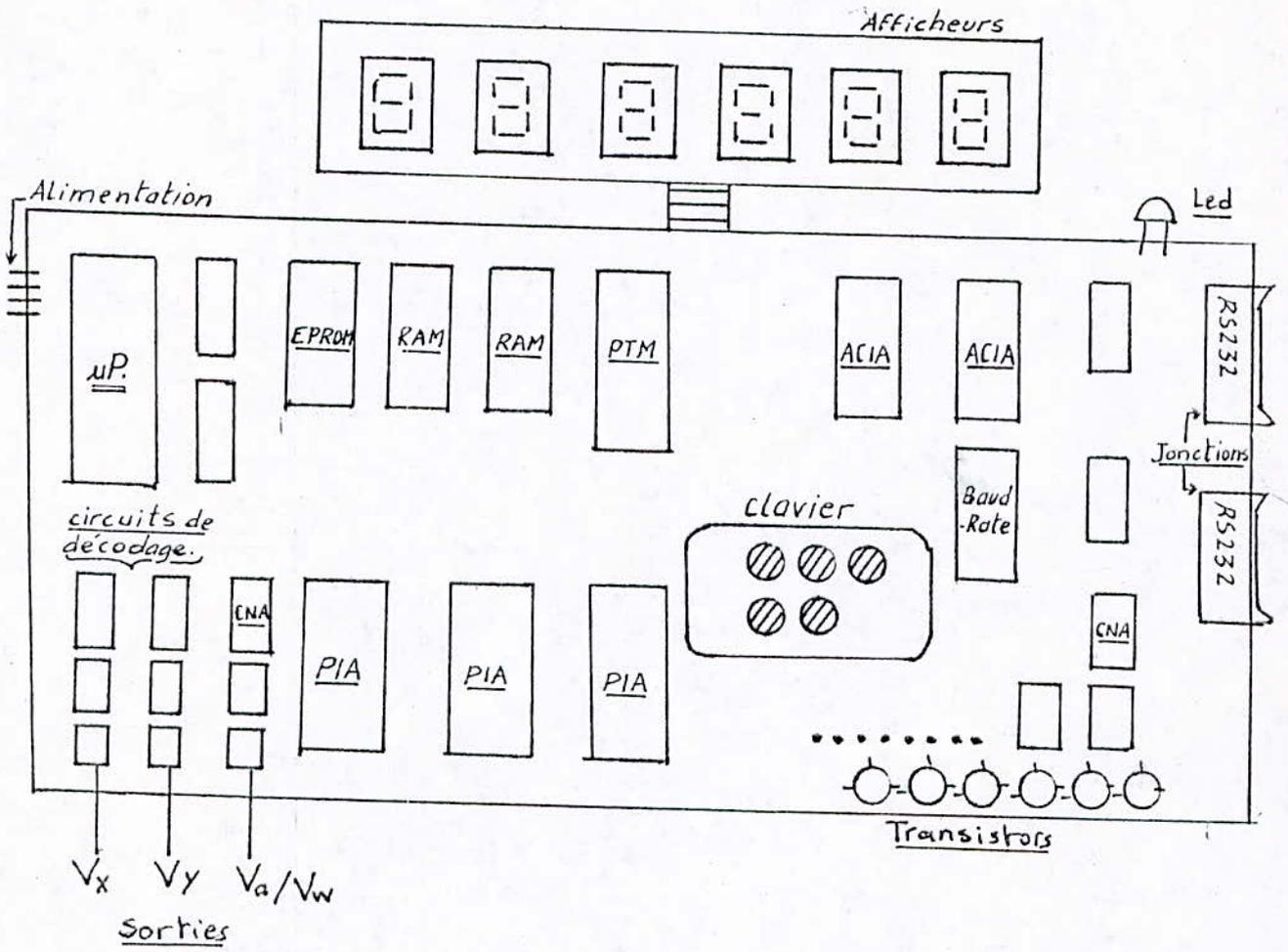


Fig. 68: Implantation des composants

contenu de son EPROM-Moniteur . Donc , on a conçu la carte de telle sorte que l'adresse de l'EPROM ( spécifiée par le constructeur ) corresponde à une zone mémoire bien définie dans notre carte .

Une fois le côté Hard mis au point , il nous a suffi de placer l'EPROM-Moniteur à la place de l'EPROM-Système de la carte, et notre système est alors devenu semblable à un Kit qui possède, en plus, des interfaces de conversion numérique/analogique .

Là , on a pu écrire des programmes d'essai sur la RAM-Programme à l'aide du terminal , et les exécuter .

A la fin , lorsque tous les programmes essayés ont donné les résultats escomptés , et après une vérification minutieuse , on les a stockés dans l'EPROM-Système ( initialement vierge ) .

Et on a mis cette nouvelle EPROM à la place de l'EPROM-Moniteur .

Maintenant , notre carte ne contient plus d'EPROM-Moniteur ; les programmes de gestion et d'exécution ont tous été faits par nous-mêmes . La capacité mémoire occupée par les programmes, de gestion de la carte est d'environ 4 Ko .

VIII / EXEMPLE TYPE D'UTILISATION DE LA CARTE

On peut utiliser la carte de deux manières, soit pour des tests en Laboratoire, soit pour une application industrielle

VIII-1 : TESTS EN LABORATOIRE

Le matériel utilisé est le suivant :

- la carte réalisée, bien sûr
- un oscilloscope TEKTRONIX 2465 ( 300 MHz )
- une alimentation à 3 sorties ( +5 V , + 12 V )
- un terminal de fabrication Algérienne ( ENSI )
- un voltmètre
- un thermocouple
- un élément de conversion analogique/numérique .

( Voir figure 69 )

Ces tests ont pour but de voir comment varient les signaux  $V_x$ ,  $V_y$  et  $V_a/V_w$ , générés par la carte, en fonction du temps et de la température .

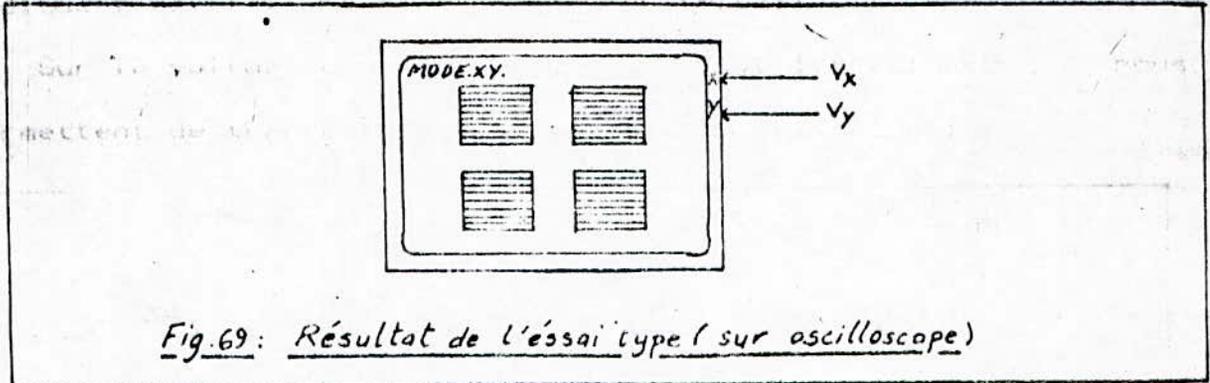
Supposons, par exemple, que l'on ait pris comme paramètres :

- $X_0 = 00$  ( point le plus à gauche )
- $Y_0 = 00$  ( point le plus bas )
- $n = 02$  ( nombre de cellules par ligne )
- $m = 02$  ( nombre de cellules par colonne )
- $l = 30$  ( longueur d'une cellule )
- $h = 30$  ( largeur de la cellule )
- $d = 20$  ( distance entre 2 cellules )
- . Mode asservi ( tient compte de la température )
- . Pas = 2 LSB ( distance entre 2 points  $\Leftrightarrow$  31 mV )

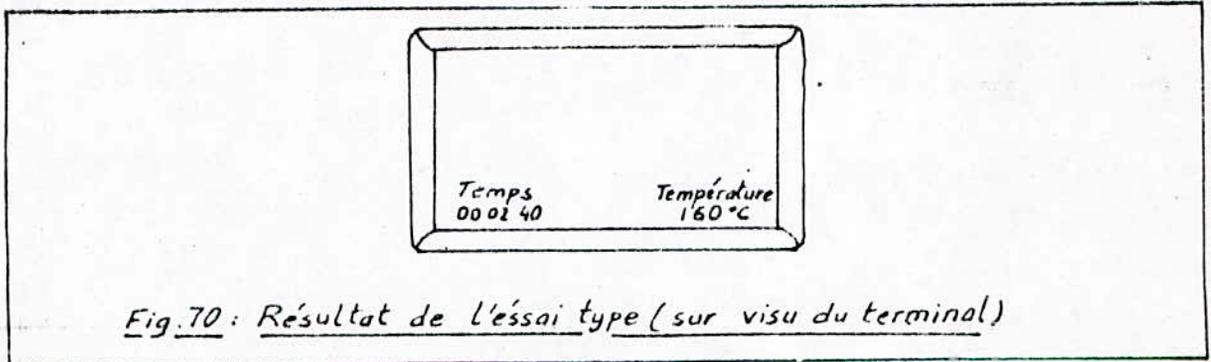
• Temps max : 15 minutes

• Température max : 250 °C

Les résultats obtenus sur oscilloscope ( en mode XY ) sont les suivants :



Sur visu , on observe les indications suivantes :



Chaque dizaine de secondes , le nouvelles valeurs de temps et de température sont affichées .

Sur afficheurs :

- si l'on appuie sur  $\odot$  puis FIRQ , on voit apparaitre le temps :

00 02 40

- si l'on presse les touches  $\ominus$  puis FIRQ , on a la température :

1 6 0 ° C

- si l'on veut continuer le fonctionnement , on réappuie sur FIRQ seule .

Arrivé à la fin du temps fixé par l'utilisateur , le système s'arrête immédiatement , et génère une suite de notes musicales indiquant qu'il vient de terminer son travail .

Sur le voltmètre numérique , on relève les valeurs qui nous permettent de tracer les caractéristiques suivantes :

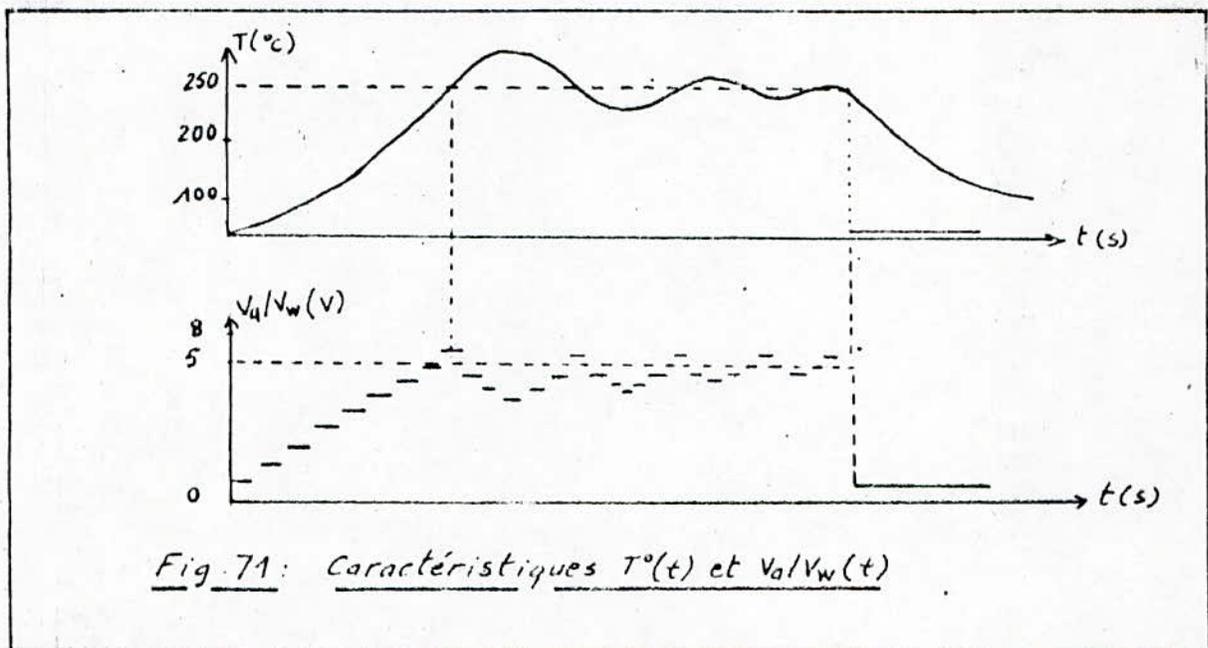


Fig. 71: Caractéristiques  $T^\circ(t)$  et  $V_a/V_w(t)$

Nous remarquons que tant que la température reste au dessous de la  $T^{\circ}\text{max}$  de consigne (  $250^\circ\text{C}$  ), la tension accélératrice augmente progressivement par petits paliers . mais une fois cette température dépassée , le processeur fait chuter la tension de sorte qu'un "équilibre" se réalise . Remarquons , néanmoins , que  $V_a$  ne sera jamais constante , mais elle variera toujours de  $\pm 200$  mV autour de la tension critique correspondant à la température de consigne .

VIII-2 : APPLICATION DANS L'INDUSTRIE

La carte qu'on a réalisée n'est pas directement utilisable dans l'industrie .

Cependant , elle peut l'être si on lui adjoint les éléments suivants :

- un thermocouple ,
- un interface de conversion analogique/numérique ,
- une carte de conversion des signaux de faible tension en signaux de tension élevée ,
- un canon à électron de puissance ,
- un système de vide .

L'utilisation industrielle est illustrée par la figure suivante :

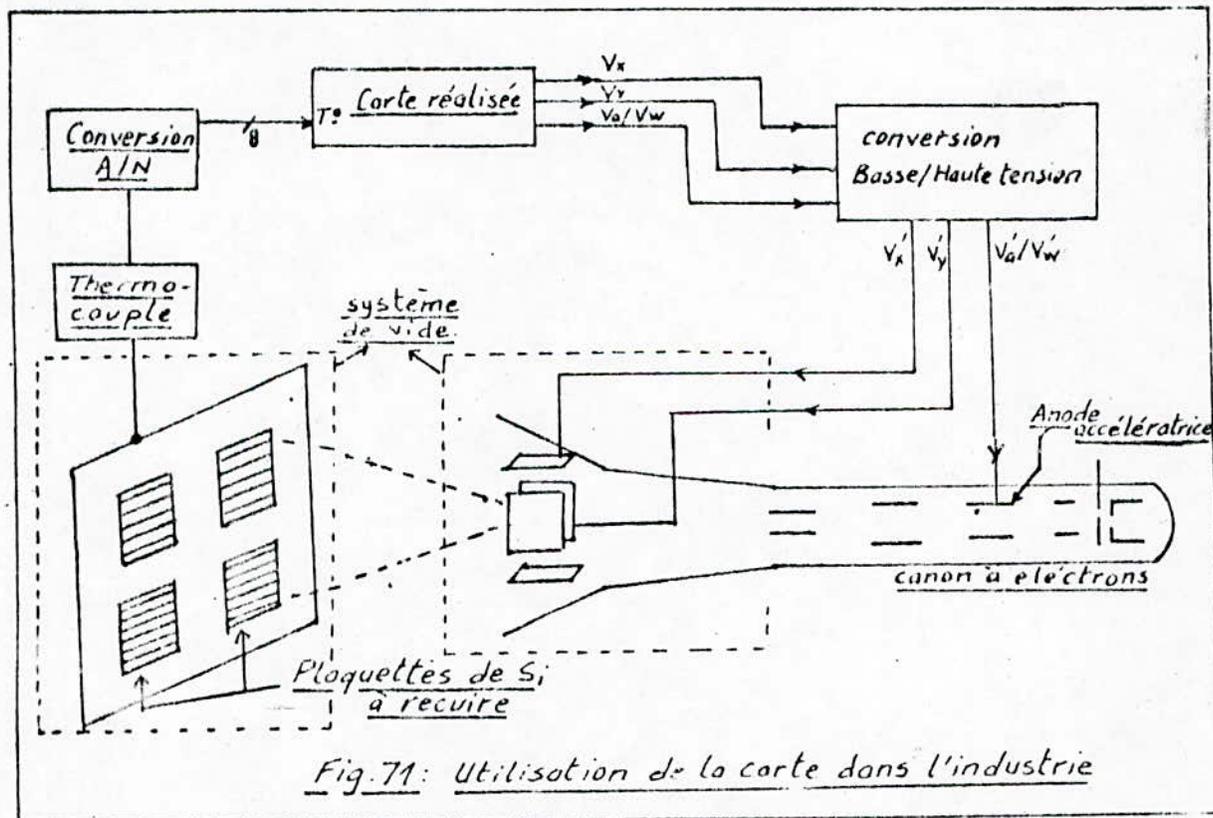


Fig.71: Utilisation de la carte dans l'industrie

*CHAPITRE IX : CONCLUSION*

IX / CONCLUSION

Le travail accompli à l'Entreprise Nationale des Systèmes Informatiques , où nous avons réalisé notre carte , a été très fructueux pour nous , puisqu'il nous a permis d'approfondir nos connaissances en micro-informatique . Nous avons pu voir la procédure de fabrication des cartes intelligentes et comment les appliquer aux processus que l'on veut automatiser .

Pour ce qui est de l'application industrielle , cette carte constitue une contribution intéressante pour la technologie des semiconducteurs . Les résultats obtenus montrent que le recuit assisté se déroule de la manière escomptée .

Il nous permet d'ailleurs de réaliser les avantages suivants :

- un échauffement uniforme et régulier ,
- la possibilité de recuire plusieurs plaques à la fois ,
- le temps et la température sont programmables ,
- la possibilité d'extension à d'autres utilisations .

Le connecteur RS232C utilisée pour une éventuelle liaison à un système hôte permet de commander le balayage à distance . Comme il est possible d'utiliser une imprimante pour relever les graphes donnant l'évolution de certains paramètres et tracer des courbes ou des histogrammes .

L'utilisation de cette carte intelligente permet également d'automatiser tout l'environnement de fonctionnement du recuit ; par exemple: la mise en marche du four , l'allumage des différentes parties , la commande de moteurs pour déplacer le substrat et le porte-substrat ...etc

Ceci dans une première étape , par la suite nous pourrions adapter la carte , par programmation et adjonction d'une circuiterie , au processus de DEPOT de couches de silicium . C'est dans ce sens que nous espérons une suite à notre travail , jusqu'à atteindre une automatisation totale du procédé de fabrication des cellules solaires au silicium amorphe .

## BIBLIOGRAPHIE

11/ Claude DARDANNE ,

" MICROPROCESSEUR 6809 .  
Périphériques , processeur graphique "

Edition EYROLLES - 1984

12/ BUI MINH DUC ,

" PROGRAMMATION EN ASSEMBLEUR 6809 "

Edition EYROLLES - 1986

13/ Michel AUMIAUX ,

" L'EMPLOI DES MICROPROCESSEURS "

Edition MASSON - 1982

14/ F.TROMBE , C.BOUCHER , G.SCHIFFMACHER et J.A.STOHR ,

" LES FOURS A BOMBARDEMENT ELECTRONIQUES "

Edition MASSON - 1979

15/ Moussa AOUCHER ,

" PROPRIETES ELECTRONIQUES DU SILICIUM AMORPHE  
PREPARE PAR BOMBARDEMENT ELECTRONIQUE  
ETUDE DU RECUIT THERMIQUE "

Thèse de Magistère en Energie  
Solaire ( USTHB ) - JUIN 1984

16/ R.RATEAU ,

" LES CELLULES PHOTOVOLTAIQUES AU SILICIUM AMORPHES "

Revue "RADIO PLANS" N°455  
OCTOBRE 1985

17/ " GUIDE DE CIRCUITS INTEGRES "

Edition DUNOD - 1988

