

16/89

وزارة التعليم العالي
Ministère de l'Enseignement Supérieur

«O»
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
«O»

Département : D'ELECTRONIQUE

الدرسة الوطنية للتكنولوجيا
BIBLIOTHEQUE - المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

Sujet

ETUDE ET REALISATION D'UN
HELIOSTAT A MONTURE ALTAZIMUTHALE

1 PLANCHE

Proposé par:

M. HADDADI

Etudié par:

CHIKHI Sid-Ali

LAKHAL Samir

Dirigé par :

M. HADDADI

Promotion : 1988 - 1989

وزارة التعليم العالي
Ministère de l'Enseignement Supérieur

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

Département : D'ELECTRONIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
«O»
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Projet de Fin d'Etudes

Sujet

ETUDE ET REALISATION D'UN
HELIOSTAT A MONTURE ALTAZIMUTHALE

Proposé par:

M. HADDADI

Etudié par:

CHIKHI Sid-Ali

LAKHAL Samir

Dirigé par :

M. HADDADI

Promotion : 1988 - 1989

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à mon père et à ma mère, à mes frères, à la mémoire de mes grands-parents, à toute ma famille et à tous mes amis.

L Samir

A mes parents

C Sid-ali

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement notre promoteur, Monsieur Haddadi, pour ses judicieux conseils.

Nous avons été sensibles également à la confiance qu'il nous a témoignée en nous permettant d'utiliser le laboratoire et les moyens dont il dispose.

Introduction.....	1
I./ Description générale.....	3
II./ Moteurs pas à pas	
1/ Définition et caractères généraux.....	6
2/ Structures des moteurs pas à pas.....	7
3/ Alimentations	9
4/ Fonctionnement du moteur pas à pas.....	12
5/ Commande.....	13
6/ Améliorations des performances générales du moteur pas à pas.....	15
7/ Conclusion.....	17
III./ Description de la réalisation	
III-1/ Carte CPU.....	18
Schéma d'adressage.....	23
III-2/ Interface d'entrée	
1/ Caractères généraux.....	25
2/ Détails de la réalisation	
2-1) Capteur.....	25
2-2) Trigger de Schmitt.....	26
2-3) Redressement et écrêtage.....	28
2-4) Production du bit "Nuit/Jour".....	29
III-3/ Interface de puissance des moteurs.....	30
III-4/ Programme moniteur	
1/ Présentation générale.....	31
2/ Programme "temps clair".....	33
3/ Programme "temps couvert".....	37
4/ Programme d'exception.....	39
5/ Sous-programmes de commande des moteurs.....	44
6/ Sous-programmes des impulsions de mise à zéro et à un.....	44
7/ Listing du programme en mnémonique et en code objet.....	46
Conclusion générale.....	54
Bibliographie.....	55
Annexe	

INTRODUCTION

Le soleil a probablement depuis les temps immémoriaux suscité chez l'humain les sentiments les plus nuancés.

L'étonnement, la curiosité, le respect voire l'idolâtrie ont sans doute accompagné les réflexions humaines à son propos.

Ce qui était et reste encore indéniablement admis par tous, puisque mettant en jeu les facultés somme toute ordinaires dont est doté l'humain que représentent la sensation de la chaleur et la vision, est le fait que notre astre du jour est essentiellement source de lumière et surtout de chaleur.

Ces premières constatations transposées maintenant dans un esprit plus évolué dans sa dialectique génèrent un désir d'exploitation de la dite chaleur; ce qui fut vraisemblablement le cas chez l'élite scientifique des différentes civilisations qu'a connues l'histoire. Mais, faute de moyens techniques, les savants n'ont pas pu arriver à leurs fins, sinon imparfaitement.

Le vingtième siècle est connu pour la somme gigantesque de savoir accumulée dans les différents domaines d'activité couverts par ce qu'on nomme prosaïquement la science.

Les techniques solaires étant partie intégrante de cette science; elles ont bénéficié d'un essor tout aussi important.

C'est ainsi qu'ont vu le jour tous les procédés, désormais classiques, exploitant la formidable énergie du soleil.

Le développement de ces procédés a fait apparaître la nécessité de recourir à des appareillages électromécaniques réalisant le pointage automatique vers le soleil.

Ces appareillages de poursuite du soleil ou héliostats se différencient entre eux par la structure mécanique mobile adoptée et le type de commande électronique correspondante.

D'abord, la structure mécanique mobile (monture) peut être conçue de deux différentes manières, selon les axes de rotation dont elle dispose :

- monture équatoriale,
- monture altazimuthale,

La monture équatoriale est caractérisée par son axe de rotation unique perpendiculaire au plan que définit la trajectoire du soleil. Un seul moteur est dans ce cas nécessaire pour positionner la monture. La vitesse correspondante est de $15^\circ/h$.

Dans la monture altazimuthale, le mouvement est décomposé en deux rotations dont les axes sont à l'horizontale et à la verticale de la surface terrestre, définissant ce qu'on appelle le site et l'azimuth respectivement. Cette structure nécessite deux moteurs.

Le but de la présente étude est la conception et la réalisation d'un héliostat ayant une structure mécanique du type altazimuthal commandée par microprocesseur.

I. / DESCRIPTION GENERALE

Comme son nom l'indique, l'héliostat constitue un dispositif de poursuite du soleil.

Trois opérations élémentaires successives sont nécessaires pour assurer une séquence de fonctionnement correcte de ce type d'asservissement :

1. acquisition de l'information renseignant sur la position courante de l'appareil sous forme numérique via une circuiterie adaptée qui intègre en amont les capteurs de lumière;
2. traitement de cette information par une unité de décision qui a la charge de déterminer l'action appropriée à exécuter, choisie parmi celles correspondant à toutes les occurrences potentiellement réalisables; ces actions concerneront exclusivement les commandes des deux moteurs que compte l'appareil;
3. s'il y a lieu, exécution effective de l'action constituée en 2/ par envoi des commandes aux moteurs.

D'après le schéma du système présenté ci-dessus, on peut représenter le synoptique correspondant.

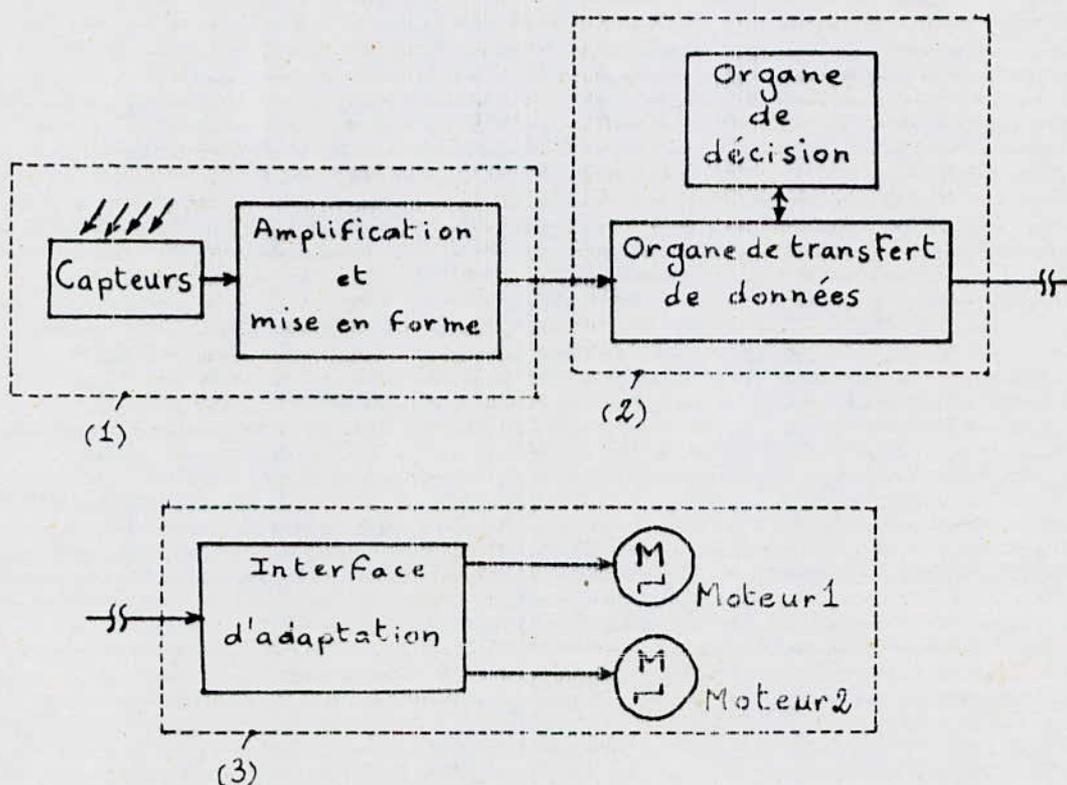


Fig 1: Synoptique général de l'héliostat

1/.Le premier bloc du synoptique comprend les capteurs de lumière et les circuits d'amplification et de mise en forme associés.

De par sa nature de transducteur lumière/électricité, le capteur utilisé délivre un signal électrique analogique proportionnel à l'intensité de lumière qu'il reçoit.

Amplifié, ce signal portant l'information du capteur n'est pas utilisable directement par un système numérique car offrant des états autres que ceux pour lesquels ce dernier est prévu de fonctionner.

D'où la nécessité du circuit de mise en forme, dont le rôle est d'une part de produire un signal numérique conforme (0/5V) et d'autre part d'offrir une marge de manoeuvre suffisante pour le choix des seuils au dessus et en deça desquels le capteur est considéré comme "éclairé" et "éteint" respectivement. Il est à signaler en outre que l'amplification contribue également à fixer ces seuils puisque la gamme des amplitudes couverte par le signal attaquant la mise en forme varie corrélativement aux changements apportés au gain.

Une des plus importantes caractéristiques de l'héliostat qu'on se propose de réaliser est son autonomie de fonctionnement.

La garantir sous-entend impérativement, en premier lieu, de réussir un positionnement automatique correct vers le soleil, et en second lieu de prévoir une procédure de retour vers la position de l'héliostat "EST", correspondant au lever du soleil, à exécuter une fois que celui-ci se soit couché.

Le fonctionnement ainsi présenté a besoin pour être assuré que le système dispose de contacts de fin de course judicieusement placés aux points extrêmes "EST" et "OUEST", qui, en délimitant le champ de manoeuvrabilité de l'héliostat, offrent l'opportunité au programme moniteur de faciliter et structurer davantage le séquençement des actions à exécuter.

En disposant de tels contacts ou butées, il est surtout potentiellement possible d'imaginer toutes sortes de fonctionnements à faire exécuter au système dans la mesure où ceux-ci soient régulés par des tests appropriés sur les états des butées.

2/.Le traitement de l'information "capteurs + butées" est, comme il a été précédemment signifié, à la charge d'un programme moniteur implanté dans la ROM de la carte CPU, désignée par unité de décision dans le synoptique.

Il est exigé de ce programme la prise en charge globale des impératifs du système ainsi que de ses contraintes, tant il est vrai que les rapports entre un fonctionnement efficient de l'ensemble et une écriture optimale du programme sont intimes.

Il est du reste vrai que toute version du programme moniteur

définit un jeu de paramètres relatifs en particulier aux caractéristiques mécaniques et électriques du système pour lesquels elle a été prévue.

Il est donc vraisemblable que le changement de l'un de ces paramètres, pour un même moniteur, puisse ne pas donner les résultats escomptés.

Afin d'écrire un programme moniteur à large usage quant aux paramètres sus-cités, il convient de les choisir autant que possible dans une gamme standard où les valeurs sont les plus courantes.

Le programme moniteur traite également le cas du vent violent car il serait dangereux de laisser le cas échéant la structure mécanique, surtout si elle est configurée avec un panneau solaire, dans la position courante puisqu'elle risquerait d'offrir une surface au vent suffisante pour être endommagée.

3/. Le bloc comportant les moteurs est le dernier dans la chaîne de l'asservissement. Son rôle est d'actualiser le pointage vers le soleil en fonction des commandes lui venant en amont de l'unité de décision, par rotation de l'un ou l'autre des moteurs ou des deux en même temps.

Les commandes cesseront d'être actives dès que l'appareil se sera mis face au soleil.

Les moteurs sont des dispositifs capables d'absorber beaucoup de puissance contrairement aux circuits numériques de l'unité de décision.

A des fins d'adaptation de puissance et de concrétisation de la commande on prévoit une interface qui aura pour tâche essentielle de récupérer des signaux numériques de faible puissance en fonction desquels des signaux de puissance convenable sont fournis aux moteurs. La structure et les caractéristiques de cette interface sont des éléments importants entrant pour une large part, comme il sera montré plus tard, dans la définition des performances réalisées par le système.

II./ LES MOTEURS PAS A PAS

1/ Définition et caractères généraux :

Le moteur pas à pas a été conçu de façon à offrir un mouvement mécanique incrémental continu s'apparentant au signal de nature numérique qui le commande.

La facilité de mise en oeuvre d'un tel dispositif dans la réalisation de systèmes mécaniques requérant la vérification de certaines caractéristiques de vitesse ou de position se traduit au niveau de sa commande en boucle ouverte par trains d'impulsions. Son utilisation avec asservissement est également possible.

Le mouvement discret du moteur pas à pas fait de lui un convertisseur d'énergie et d'information de type électromécanique.

Son apport est appréciable dans le développement d'applications dans les domaines de l'affichage, du réglage et de la commande. Beaucoup de ces applications exploitent avantageusement ses deux plus importantes propriétés: la variation de la vitesse par simple changement de la fréquence des impulsions de commande et la précision du positionnement par comptage de celles-ci.

La précision de l'arrêt sur un pas assure l'inexistence d'erreurs cumulatives puisque le positionnement se fait de manière relative par rapport à chaque position d'équilibre.

Le "pas" étant l'avance élémentaire (rotation ou translation) correspondant à une impulsion de commande active, c'est-à-dire provoquant un déplacement.

L'entraînement d'un moteur pas à pas avec les meilleures performances, pour être réalisé, doit tenir compte des caractéristiques intrinsèques du moteur, de la structure de l'alimentation et du mode de commande adopté.

En boucle ouverte, le schéma de commande général d'un moteur pas à pas est représenté sur la figure suivante:

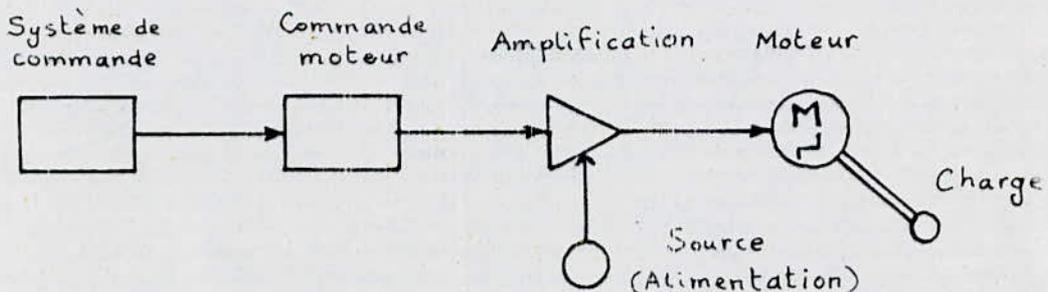


Fig 1: Schéma de commande en boucle ouverte

En ajoutant un asservissement en position au système précédent, on obtient le schéma de commande général d'un moteur pas à pas asservi.

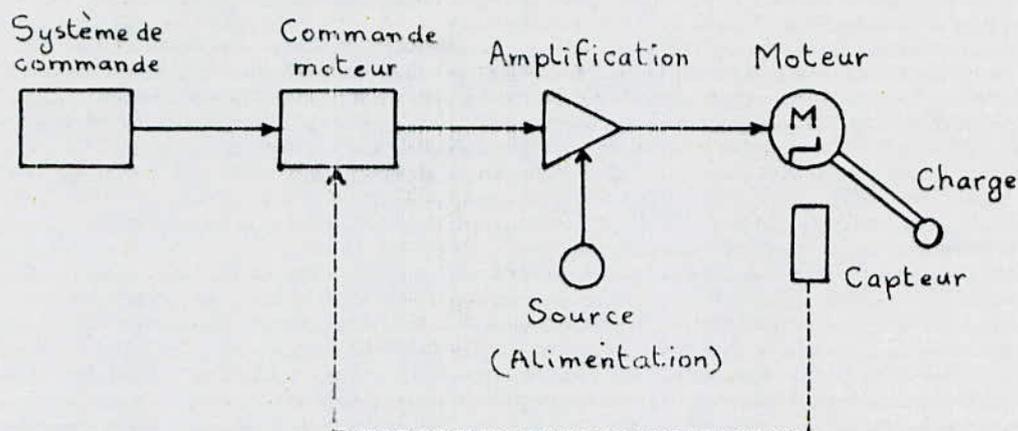


Fig 2: Schéma de commande en boucle fermée

2/ Structures des moteurs pas à pas :

Suivant la nature du phénomène physique qui est à l'origine du couple, on distingue trois types principaux de moteurs : les moteurs à réluctance variable, les moteurs à aimants permanents et les moteurs hybrides mettant en jeu les deux principes précédents.

2-1) Moteurs à réluctance variable :

Cette structure ne comprend pas d'aimant permanent. Le couple (ou la force) résulte de la variation des inductances propres seules et est lié à une déformation du circuit ferromagnétique associé aux bobinages.

La figure suivante (fig 3) illustre le principe du circuit magnétique à réluctance variable.

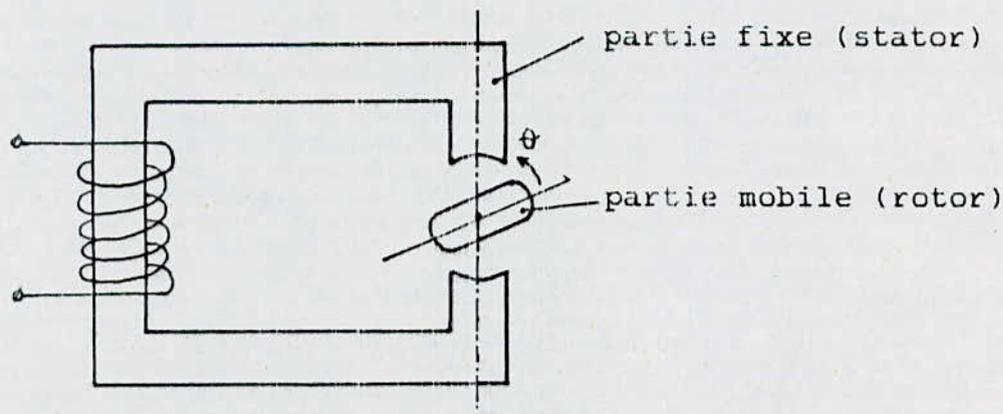


Fig 3: Circuit magnétique à réluctance variable

L'alimentation de la bobine a pour effet d'exercer un couple sur le rotor qui tendra à se placer aux deux positions d'équilibre définies par les angles $\Theta=0$ et $\Theta=\pi$ de façon à ce que le circuit magnétique présente le minimum de réluctance.

On augmente le nombre de positions stables par tour ainsi que le couple de rappel du rotor en agissant sur le nombre et la forme des dents.

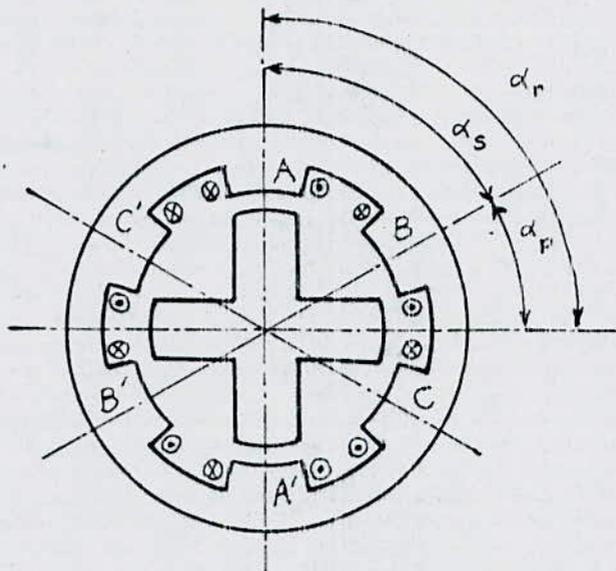


Fig 4: Exemple d'un moteur réluctant
(3 phases et 12 pas par tour)

L'avance dans le sens horaire est assurée en prévoyant la séquence de commande A,B,C,A...

L'avance dans le sens antihoraire est vérifiée pour la séquence de commande C,B,A,C...

Les caractéristiques de ce moteur sont :

- α_p : pas angulaire élémentaire (30°)
- q : nombre de bobines distinctes par phase (2)
- Z_s : nombre de dents statoriques (6)
- Z_r : nombre de dents rotoriques (4)
- α_s : pas dentaire (angulaire) statorique (60°)
- α_r : pas dentaire (angulaire) rotorique (90°)

Ces moteurs conviennent lorsque sont exigés un couple et des fréquences élevés avec des pas angulaires faibles.

2-2) Moteurs à aimants permanents :

Cette structure est caractérisée par un circuit ferromagnétique et un bobinage fixes avec un aimant permanent mobile.

La figure 5 présente un moteur pas à pas à aimant permanent.

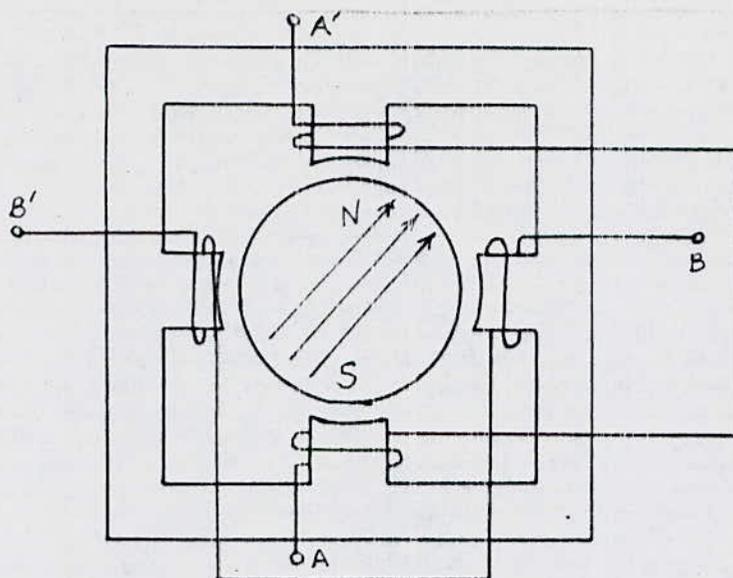


Fig 5: Moteur à aimant permanent biphasé
4 pas par tour

Dans l'exemple présenté, le passage d'une position à la suivante est assuré par l'enclenchement de la phase adjacente.

La succession des impulsions de commande pour une rotation dans le sens horaire est la suivante :

A+, B+, A-, B-, A+...

Pour le sens antihoraire on obtient la séquence :

A+, B-, A-, B+, A+...

Les indices + et - désignent les signes des tensions de commande appliquées sur les phases.

Les moteurs à aimants permanents sont de construction simple et à faible encombrement. Une multiplication du nombre de pas peut être obtenue, soit par une géométrie appropriée du circuit magnétique statorique, soit par augmentation du nombre de pôles de l'aimant, soit par les deux à la fois.

3/ Alimentation :

3-1) Principe :

L'alimentation assure l'allumage de la phase à la tension fixée lorsqu'est présente la commande correspondante.

Elle est constituée par des transistors fonctionnant en commutation.

En unipolaire, chaque phase est alimentée selon le schéma de principe illustré sur la figure 6. L'allure du courant traversant la bobine est donnée sur la figure 7.

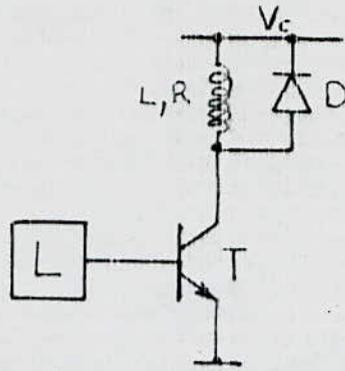


Fig 6: Principe de l'alimentation

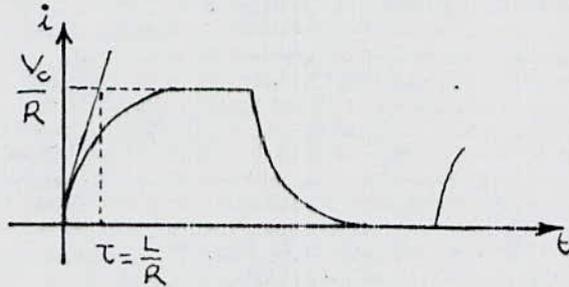


Fig 7: Allure du courant dans la bobine

La diode de roue libre D est prévue pour décharger la self lors de l'extinction de la phase protégeant ainsi le transistor contre les surtensions qui ne manqueraient pas d'apparaître s'il n'y avait pas de diode.

Pour le cas bipolaire, lorsque l'alimentation présente des signes alternés pour une phase, on réalise la structure suivante:

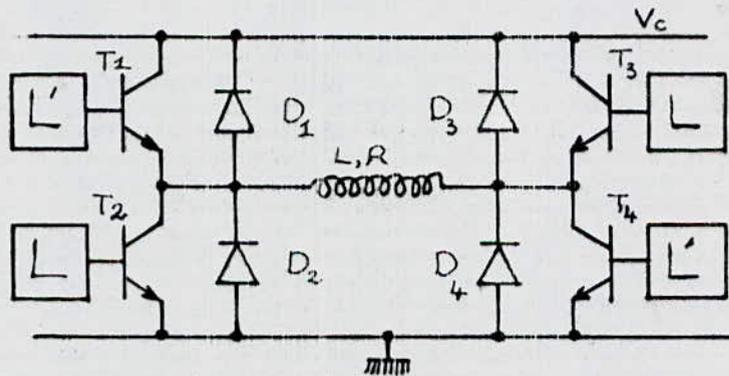


Fig 8: principe de l'alimentation bipolaire en H

La commutation des transistors se fait ici par paire, (T1,T4) et (T2,T3), pour obtenir des courants de phase opposés (ceci convient notamment au moteur de la figure 5.)

On est parfois amené, surtout lorsque la fréquence l'exige, à diminuer la constante de temps du circuit d'extinction par ajout d'une résistance additionnelle R_e Comme le montre la figure 8.

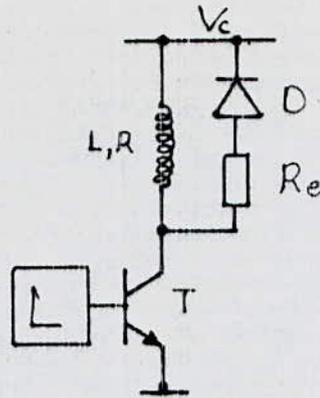


Fig 8: Alimentation avec résistance d'extinction

Un montage avec une seule résistance d'extinction pour toutes les phases du moteur est également possible.

De même la résistance R_e peut être remplacée par une diode zener qui a l'avantage d'offrir une résistance non-linéaire (figure 9).

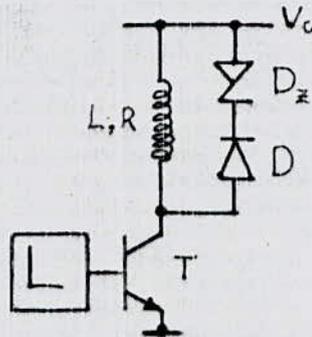


Fig 9: Alimentation avec diode zener dans le circuit d'extinction

3-2) Impératifs de l'alimentation électronique :

Le rôle de l'alimentation est de fournir un courant d'une certaine intensité à l'enroulement considéré par la commande.

Il y a intérêt à ce que la commutation à la valeur désirée du courant soit aussi rapide que possible pour obtenir un couple moteur important. De même qu'il est nécessaire que le niveau de courant recherché soit maintenu tant que la position d'équilibre désirée n'a pas encore été atteinte, et que chute de courant une fois le moteur correctement positionné soit aussi abrupte que possible.

Conséquemment, les impératifs devant être vérifiés par l'alimentation pour assurer une avance pas à pas sont :

- a-Etablir rapidement un courant donné dans un circuit inductif.
- b-Maintenir ce courant à sa valeur nominale en dépit des variations des paramètres du circuit.
- c-Interrompre rapidement ce courant.
- d-Eviter l'apparition de courants parasites dus entre autres au couplage entre enroulements.

4/ Fonctionnement du moteur pas à pas :

En absence de couple de charge, toutes les structures de moteurs pas à pas présentent, pour une alimentation donnée correspondant à une combinaison numérique particulière de la commande, un grand nombre de positions stables par tour.

Pour de telles positions, le couple moteur exercé est nul. On observe également entre deux positions stables successives une position instable présentant un couple moteur identiquement nul.

A mi-parcours, entre une position stable et autre instable, le couple moteur est maximal et vaut CM.

Le couple moteur a donc l'allure d'une sinusoïde en fonction de la position. C'est ce qui est montré sur la figure suivante.

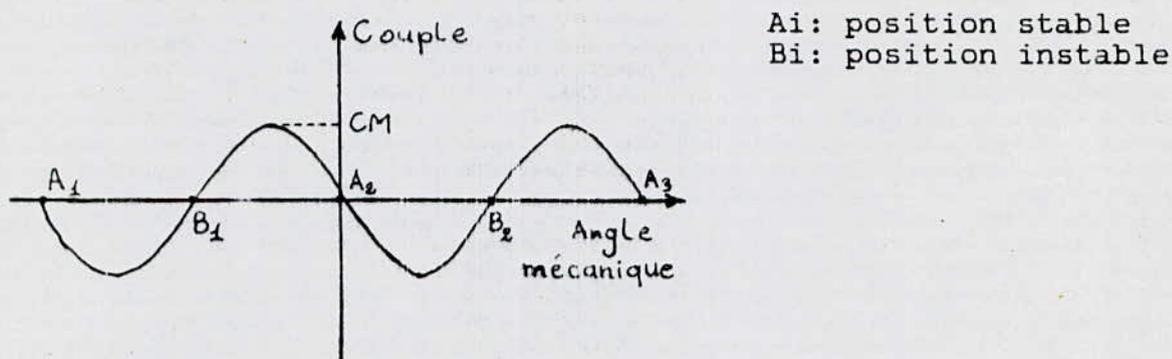


Fig 10: Allure du couple moteur en fonction de la position

CM est appelé couple de maintien car pour tout couple de charge supérieur à CM, le moteur est soit forcé à tourner d'une manière incontrôlable soit bloqué par la charge.

Lorsque le moteur change de position stable sous l'effet d'une commande appropriée, une oscillation se produit autour de la nouvelle position d'équilibre, dont les caractéristiques dépendent des paramètres mécaniques du système : couple moteur, couple résistant (charge) et moment d'inertie.

En régime permanent, le moteur exerce un couple moyen égal au couple résistant.

Tant que ce dernier est inférieur au couple moteur maximum disponible, la fréquence d'utilisation du moteur pourra être augmentée pour atteindre la zone de fonctionnement de survitesse.

5/ Commande :

On distingue quatre modes de fonctionnement en rapport avec la commande délivrée au système.

5-1) Mode 1 :

Une seule phase est alimentée à la fois par le courant nominal I_0 (figure 11).

Les diagrammes des courants théoriques considérés ci-après sont relatifs à un moteur à quatre phases.

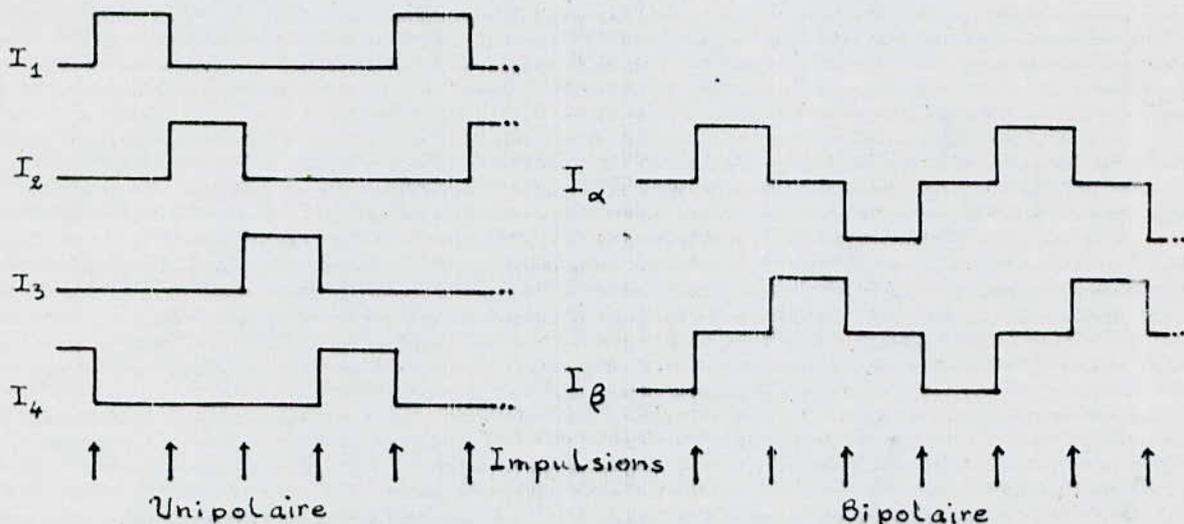


Fig 11: Diagrammes de la commande en mode 1

5-2) Mode 2 :

Deux phases sont alimentées simultanément par des courants I_0 . Le couple obtenu est $\sqrt{2}$ fois plus important tandis que les positions d'équilibre sont intermédiaires à celles du cas précédent et leur nombre est identique.

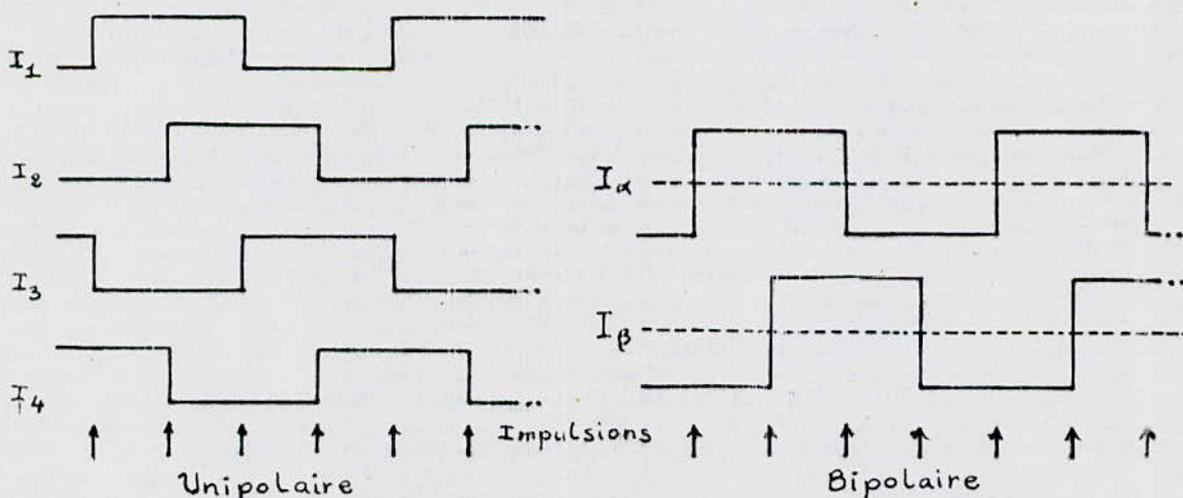


Fig 12: Diagrammes de la commande en mode 2

5-4) Mode 3 :

Ce mode est obtenu en combinant les deux précédents.

Il permet un fonctionnement en pas et demi-pas, offrant ainsi un nombre de positions double. Un nombre double d'impulsions est nécessaire pour réaliser un tour.

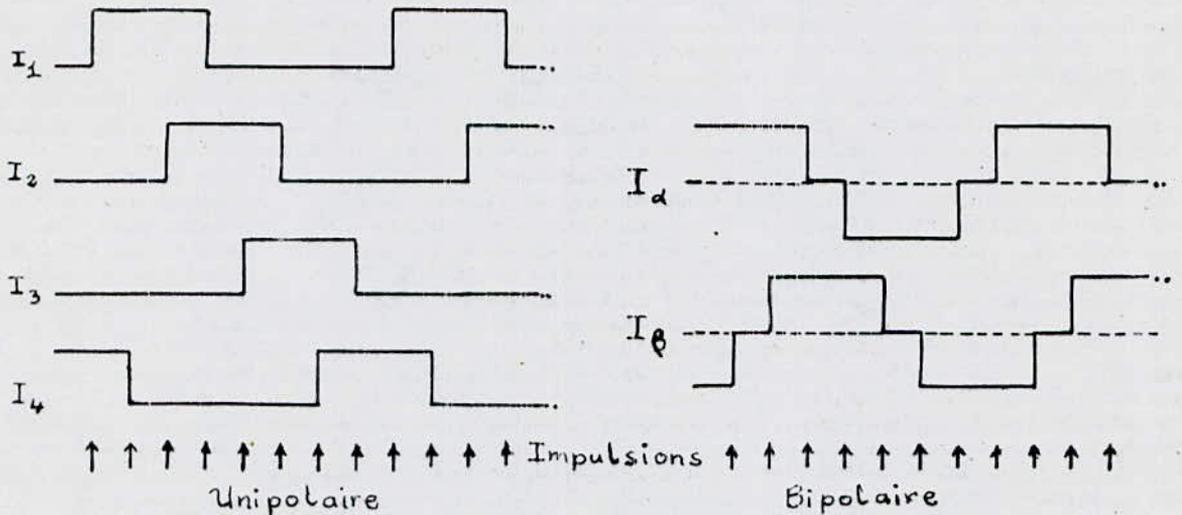


Fig 13: Diagrammes de la commande en mode 3

5-4) Mode 4 :

Les diagrammes de ce mode sont similaires au précédent. La seule différence réside dans la valeur du courant, lorsqu'une phase unique est alimentée, qui devient $I_0 \cdot \sqrt{2}$ pour obtenir le même couple qu'en mode 2.

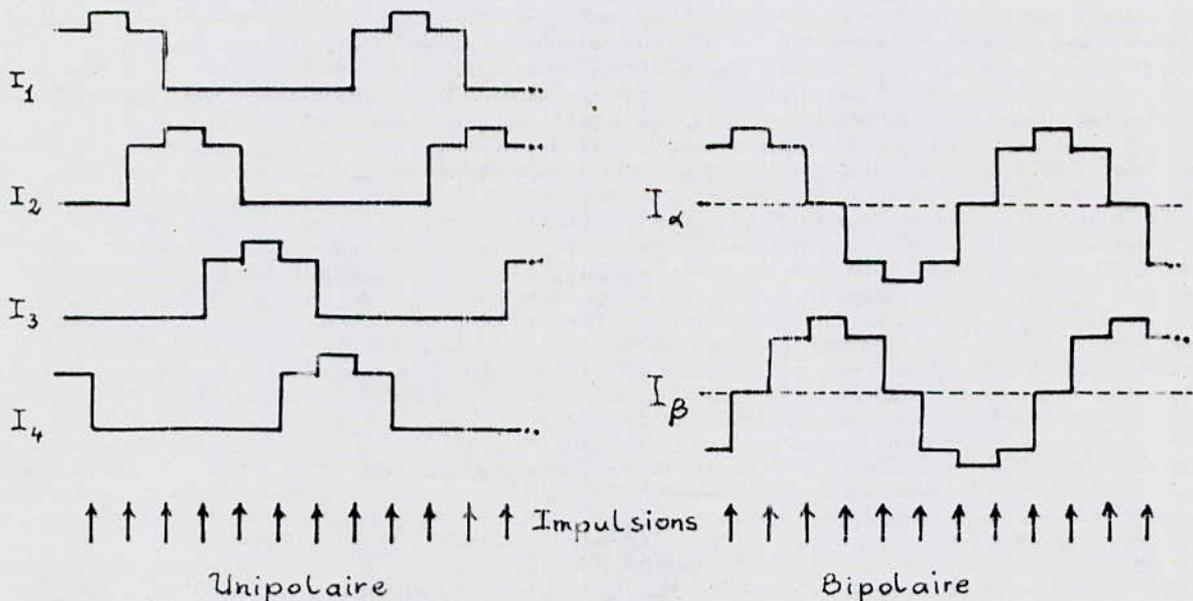


Fig 14: Diagrammes de la commande en mode 4

6/ Améliorations des performances générales du moteur pas à pas :

6-1) Accélération et décélération :

En boucle ouverte, l'accélération et la décélération sont assurées en imposant une rampe de fréquence en fonction du temps ou de la position.

La pente de cette rampe devra dépendre de paramètres tels que le couple résistant et l'inertie afin de vérifier le fonctionnement synchrone du moteur sans perte de pas.

La décélération étant plus délicate, il s'agit en fait, pour bien réussir à l'exécuter, de la déclencher suffisamment tôt pour pouvoir parcourir les derniers pas à des vitesses permettant l'arrêt à une position visée.

En boucle fermée, correspondant au schéma de commande de la figure 2, le démarrage et le freinage sont opérés de façon à s'adapter à la charge. La méthode consiste simplement à ordonner la commutation de phase une fois le pas en cours réalisé. On réussit de la sorte à avoir des accélérations et décélérations optimales adaptées à la charge.

6-2) Améliorations de la fréquence limite absolue :

Du fait de la constante de temps des bobinages, le courant moyen qui les traverse diminue lorsque la fréquence augmente. Cette diminution se répercute sur le couple qui suit la même tendance.

Il existe donc une fréquence limite absolue au delà de laquelle le moteur ne délivre plus assez de couple pour assurer un entraînement pas à pas correct.

Pour remédier à cette limitation et augmenter en conséquence la fréquence limite absolue il suffit de réduire les constantes de temps réelles ou apparentes des bobinages.

Différentes solutions réalisant cet objectif peuvent être envisagées.

6-2-1) Action sur le moteur :

Elle consiste à agir directement sur les caractéristiques internes du moteur, en augmentant la résistance interne de l'enroulement ou en diminuant son inductance.

La première action n'est pas rationnelle dans la pratique puisqu'elle induit un accroissement de l'échauffement du moteur tandis que la seconde réduit le couple.

Un compromis devra de ce fait être trouvé entre les exigences de natures apparemment antagonistes que constituent la diminution de la constante de temps et la réalisation d'un couple suffisant.

6-2-2) Introduction d'une résistance en série avec la source :

Cette autre action modifie la constante de temps apparente par ajout d'une résistance en série avec la source.

Parallèlement à cela on élève le niveau de la tension d'alimentation pour compenser la chute de tension qu'apporte la résistance.

Le principal inconvénient qui peut être reproché à cette technique est la chute de rendement constatée.

6-2-3) Actions sur l'alimentation :

Les actions les plus efficaces permettant d'obtenir les meilleurs résultats sont celles qui portent sur l'alimentation.

Elles y parviennent en recourant à deux principaux moyens, qui sont la source de tension à deux niveaux et le hacheur.

1) L'idée de base de l'alimentation à deux niveaux de tension est de concilier les recours à une tension élevée pour produire des constantes de temps faibles et à une tension modérée pour entretenir le courant nominal traversant la phase allumée.

Le fonctionnement de cette structure d'alimentation s'explique en considérant d'abord l'allumage de la phase, la tension élevée étant alors utilisée pour réduire de manière significative le temps de montée du courant dans le circuit, puis le régime établi constitué par le courant nominal entretenu par la tension de faible niveau commutée sur le circuit juste après que le courant ait atteint la valeur désirée, en même temps que le débranchement de la tension élevée.

La figure suivante montre un montage intégrant ce type d'alimentation.

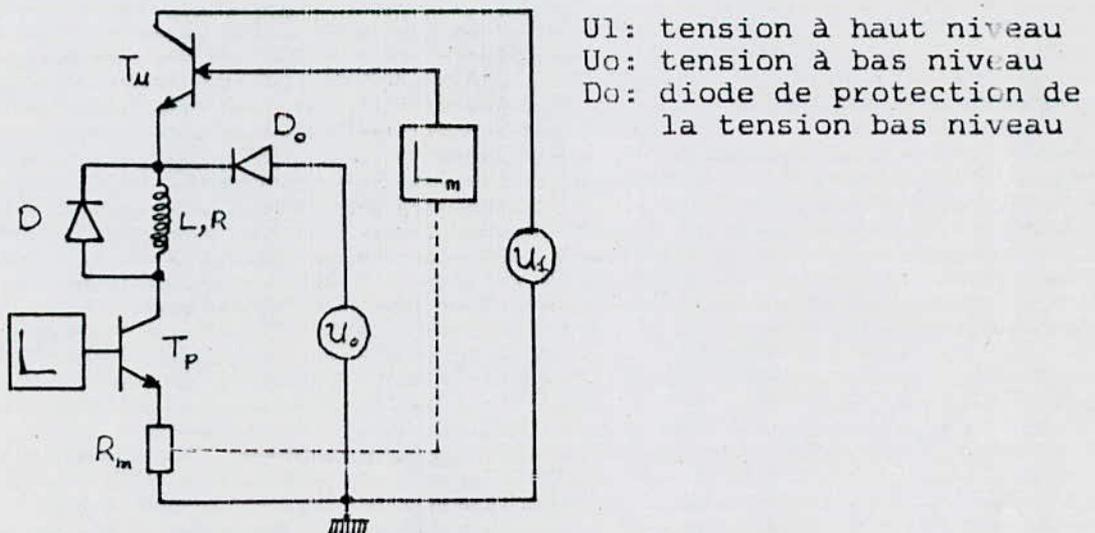


Fig 15: Structure de l'alimentation à deux niveaux

Le rôle de la logique désignée par L_m est de fournir l'ordre de blocage ou de conduction de T_u qui commute la tension à haut niveau à partir du courant mesuré par la résistance de test R_m .

2) La technique du hacheur utilise également une tension élevée afin d'assurer la montée de courant la plus rapide possible.

Elle diffère de la précédente en ce que l'évolution du courant continue jusqu'à un niveau ΔI au dessus du courant nominal I_0 . A partir de ce moment la phase est éteinte et le courant diminue suivant la décharge de la self.

Dès que ce courant atteint une valeur ΔI en deçà de I_0 , l'alimentation est restorée et le cycle charge/décharge recommence pour la période de temps que dure l'allumage de la phase considérée.

La figure 16 donne le schéma d'un montage fonctionnant selon le même principe énoncé.

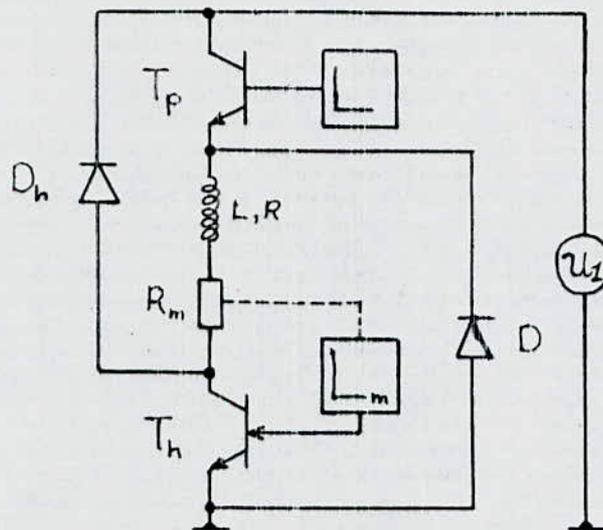


Fig 16: Structure de l'alimentation avec hacheur

7/ Conclusion :

Le moteur pas à pas présente des performances très différentes en fonction de la structure de son alimentation et de la séquence de commande qui lui est appliquée.

Les alimentations en tension classiques sont suffisantes pour des applications à moindre coût et à faible puissance.

L'obtention de meilleures performances passe inéluctablement par l'utilisation d'une alimentation à deux niveaux, ou mieux encore de la solution avec hacheur.

Bien alimenté, le moteur pas à pas constitue un actionneur très adapté à la commande numérique de systèmes incrémentaux.

III./ DESCRIPTION DE LA REALISATION

III-1/ CARTE CPU

Comme il a été introduit en début de chapitre, l'héliostat est un dispositif qui requiert pour son fonctionnement un système de commande adapté au type et à la forme de l'information qu'il aura la tâche de manipuler suivant l'environnement dans lequel il sera placé.

Cette commande peut se faire soit systématiquement grâce à une logique câblée, décidée et conçue une fois pour toute pour l'application qu'on se veut de réaliser, ce qui limite d'emblée son usage à ce type particulier d'application; soit, mieux, par une structure en logique programmée à base de microprocesseur.

Cette dernière solution est celle qui a été retenue puisqu'elle permet de concevoir un système évolutif qui n'est pas strictement limité à la configuration du dispositif pour laquelle elle a été étudiée.

Le système de commande sous forme de carte CPU est constitué de trois éléments classiques dans ce genre de réalisation : un microprocesseur Motorola MC6802 intégrant une mémoire vive de 128 octets, une mémoire morte dont la capacité est de 2 kilo-octets contenant le programme de pilotage de l'application (EPROM 2716) et un organe d'entrée/sortie qui joue le rôle d'interface avec "l'extérieur" (le PIA MC6821).

On se limitera dans la présente étude à expliquer globalement la structure et le fonctionnement de la carte CPU utilisée. Cette structure sous forme de schéma bloc est représentée sur la figure suivante.

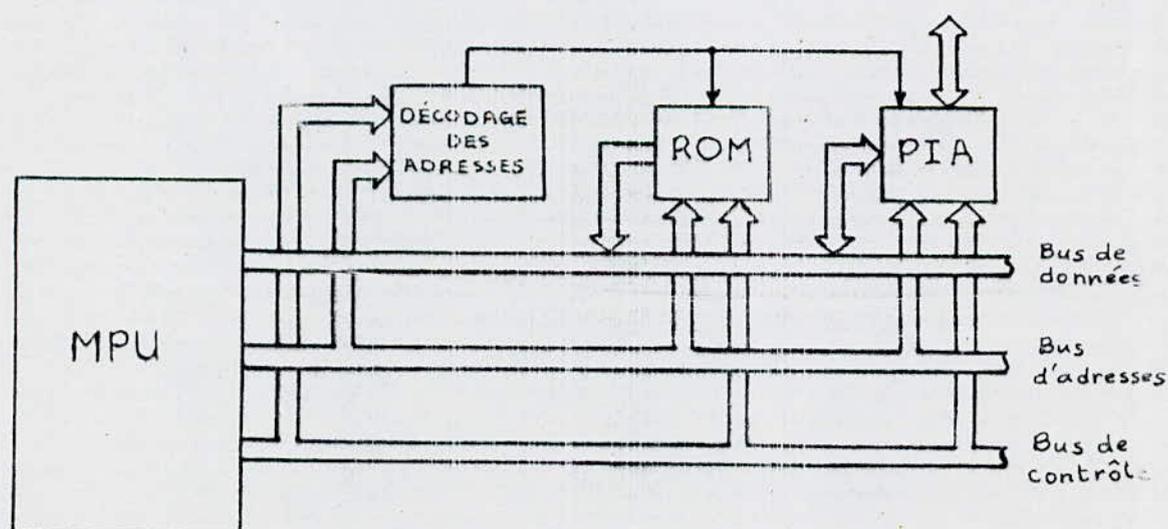


Fig 1: Structure de la carte CPU

On voit clairement d'après ce schéma la répartition des tâches incombant à chaque élément de la carte.

Le microprocesseur (MPU), en sa qualité de maître de décision, régule et contrôle le flux d'informations qui a lieu dans le système.

Ainsi, il sélectionne le boîtier concerné par le transfert de données qui aura cours sur le bus par le biais d'un circuit de décodage adéquat. Cette sélection met en jeu le bus d'adresses et le bus de contrôle, de sorte à reconnaître d'une manière certaine le boîtier que le microprocesseur adresse.

La mémoire morte, dans le cas où elle est sélectionnée, met sur le bus de données le contenu de la case mémoire dont l'adresse, délivrée par le MPU, est présente sur le bus d'adresses.

Quant au PIA, le transfert de données est bidirectionnel. Le sens de ce transfert est bien entendu défini par l'une des lignes du bus de contrôle, dépendant à son tour du type d'instruction exécutée par le MPU.

Lors d'un transfert entre le PIA et le MPU, le premier cité, suivant le cas, lit le bus de données ou lui délivre la donnée présente sur le port en relation avec le monde périphérique.

Une explication succincte du brochage du microprocesseur est présentée ci-après.

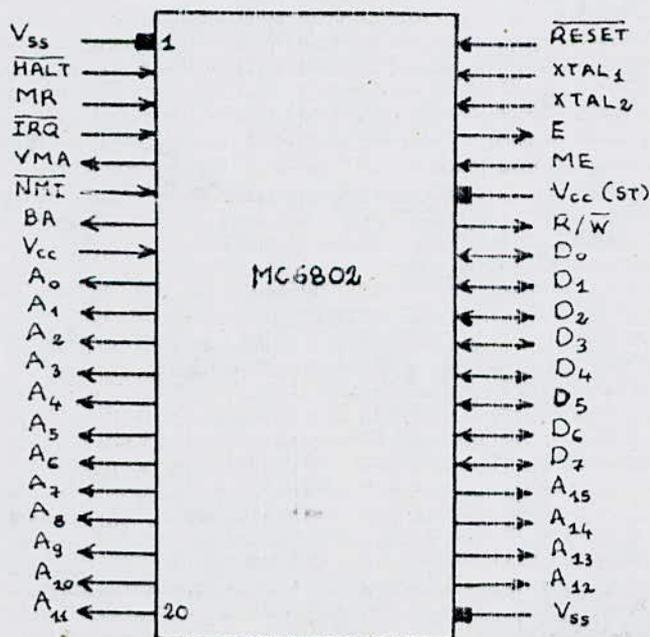


Fig 2: Brochage du microprocesseur MC6802

Broche	Description	type
A0-A15	Lignes d'adresse	Trois états, sorties
D0-D7	Lignes de données	Trois états, bidirec
$\overline{\text{HALT}}$	Ligne d'arrêt du MPU	Entrée
MR	Offre la possibilité d'adresser des mémoires lentes par allongement du cycle lecture/écriture en cours lorsque cette ligne est à l'état bas	Entrée
ME	Validation de la mémoire interne	Entrée
R/ $\overline{\text{W}}$	Lecture/écriture	Trois états, sortie
VMA	Adresse mémoire valide	sortie
BA	Cette ligne est à 0 lorsque $\overline{\text{HALT}}$ est activée ou l'instruction WAIT exécutée	sortie
$\overline{\text{IRQ}}$	Interruption masquable	Entrée
$\overline{\text{RESET}}$	Réinitialisation	Entrée
NMI	Interruption non masquable	Entrée
XTAL1/2	Connexions du quartz ou de l'horloge	Entrées
E	Signal d'horloge	Sortie
Vss, Vcc	Alimentation	
Vcc(ST)	Alimentation de maintien des 32 premiers octets de la RAM intégrée	

Les broches $\overline{\text{HALT}}$, ME, MR, NMI et $\overline{\text{IRQ}}$ sont forcées à l'état haut et connectées à l'alimentation via des résistances de 4,7 k Ω . La seule différence est que la ligne $\overline{\text{IRQ}}$ est présente sur le bus de sortie du système.

Elle pourra être reliée plus tard à la sortie conforme d'un anémomètre. On précise ici que l'anémomètre, qui est un transducteur (vent/signal électrique), a été prévu pour protéger la structure mécanique et éviter tout dommage provoqué par des rafales de vent.

La broche $\overline{\text{RESET}}$ est reliée à un circuit RC qui a pour principal rôle de fournir un signal bas de durée convenable afin que l'initialisation se fasse correctement.

XTAL1 et XTAL2 sont connectées au quartz du système.

La sortie BA n'est pas connectée.

Le signal VMA est utilisé dans le circuit de décodage pour réussir des sélections de boîtier (PIA et EPROM) correctes.

Pour expliciter davantage la structure de la carte on donne sur la figure 3 le brochage du PIA MC6820.

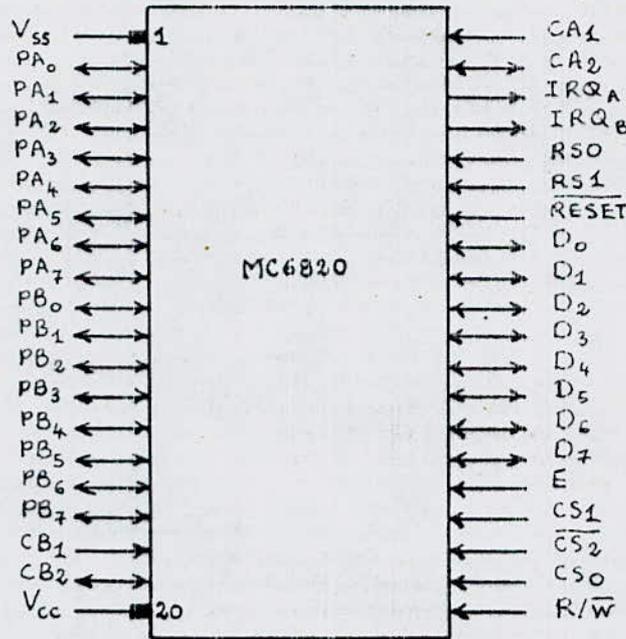


Fig 3: Brochage du PIA MC6820

Broche	Description	type
D0-D7	Lignes de données	Trois états, bidirec
PA0-PA7	Lignes de données du port A	Entrées ou sorties
PB0-PB7	Lignes de données du port B	Entrées ou sorties
CS0, CS1 et CS2	Lignes de sélection de boîtier	Entrées
RS0, RS1	Lignes de sélection de registre	Entrées
CA1	Ligne d'interruption du port A	Entrée
CB1	Ligne d'interruption du port B	Entrée
CA2	Ligne de contrôle du port A	Entrée ou sortie
CB2	Ligne de contrôle du port B	Entrée ou sortie
E	Signal de synchronisation	Entrée
R/W	Contrôle écriture/lecture	Entrée
IRQA	Requête d'interruption du port A vers le microprocesseur	Sortie
IRQB	Requête d'interruption du port B vers le microprocesseur	Sortie
RESET	Initialisation du dispositif	Entrée
Vss, Vcc	Alimentation	

Le PIA occupe quatre positions mémoire définies par RS0 et RS1. Ces deux broches sont reliées à A0 et A1 respectivement.

Le signal de synchronisation E est fourni par le MPU à travers la broche désignée également par E.

Le sens de transfert de données est déterminé par R/\overline{W} qui est relié au R/\overline{W} du MPU.

\overline{RESET} du PIA est connecté au \overline{RESET} du MPU de façon à ce que l'initialisation des deux composants se fasse en même temps. CS0, CS1 et CS2 sont les lignes de validation du boîtier. Elles sont reliées au circuit de décodage du système.

IRQA, IRQB, CA1 et CB1, non utilisées, ne sont pas connectées.

CA2 et CB2 sont des broches très intéressantes quant à leurs utilisations variées. Dans notre système, elles sont configurées comme signaux de commande d'éléments externes, en l'occurrence les forçages à "1" et à "0" des bascules.

Le bus qui sort la carte CPU est constitué par les lignes PA0-PA7, PB0-PB7 et CA2-CB2 ajouté de la broche \overline{RESET} afin de prévoir une initialisation indépendante de la mise sous tension.

Pour ce qui est de l'EPROM, son brochage est illustré sur la figure 4.

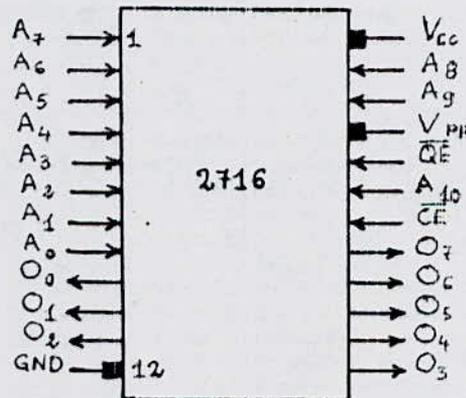


Fig 4: Brochage de l'EPROM 2716

O0 à O7 constituent les lignes du bus de données en sortie de

l'EPROM.

A0 à A10 sélectionnent une parmi les 2048 cases mémoire que compte le boîtier.

Sa sélection se fait par les deux broches \overline{OE} et \overline{CE} .

Schéma d'adressage :

Le choix du mode d'adressage et de sa structure est prononcé une fois qu'on ait convenu des adresses allouées à chaque boîtier dans le système.

Cette opération préliminaire peut obéir à des contraintes intrinsèques imposées par l'architecture propre de la carte, ou extrinsèques, par exemple, tenant compte du fonctionnement désiré de l'ensemble.

On essaye dans la pratique de répartir les adresses de la façon la plus judicieuse possible, incluant le critère de simplification du décodage.

Le microprocesseur MC6802 astreint que les adresses hautes correspondent à la mémoire morte. Comme raison essentielle à cela on peut dire que les octets d'adresses HFFF8 à HFFFF sont réservées aux vecteurs d'interruption.

D'après ce qui a été dit, on peut définir l'espace d'adressage de l'EPROM qui va de HF800 à HFFFF.

Les adresses du PIA sont corollairement choisies de manière à éviter tout chevauchement avec celles de l'EPROM.

Une solution simple de décodage consistant à utiliser les lignes A15 et A14 seulement est envisageable, par exemple on choisit :

(A15-A14) 11-EPROM
10-PIA.

Elle pourrait être effectivement appliquée dans notre application sans souffrir d'aucune imperfection, mais on lui préfère plutôt la solution dont le schéma d'adressage est le suivant :

(A15-A12) 1111-EPROM
1110-PIA.

Ce choix met en jeu un facteur externe qui est la compatibilité des adresses avec le système "Kit D5" qu'on a voulu respecter pour pouvoir l'utiliser en cas de défaillance de la carte CPU. En effet, le cas échéant, on pourrait utiliser directement notre EPROM système sur le Kit, qui remplacerait notre carte CPU en offrant les mêmes fonctionnalités.

Le circuit de décodage est représenté sur la figure 5.

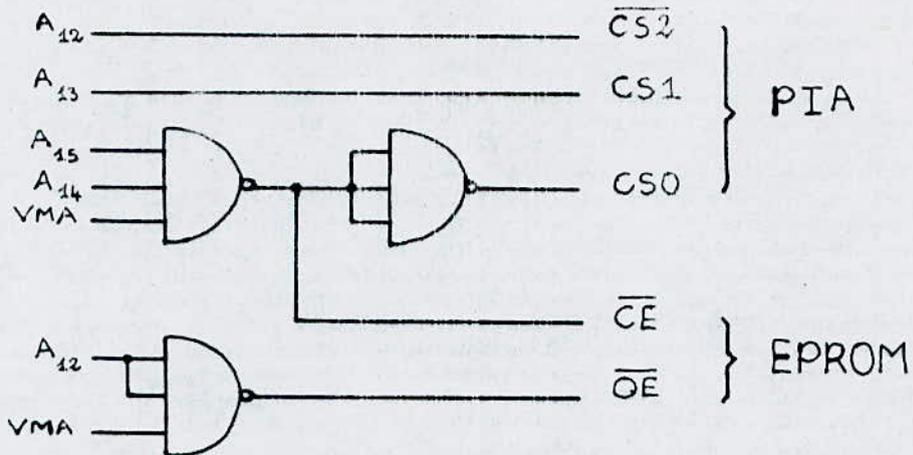


Fig 5: Circuit de décodage d'adresses

le signal de sortie VMA du microprocesseur est nécessaire car il indique quand les lignes du bus d'adresses sont valides, auquel cas VMA est à l'état haut.

Au terme du décodage présenté, le PIA et l'EPROM occupent chacun un bloc de 4ko dans l'espace adressable de 64ko du MPU.

III-2/ INTERFACE D'ENTREE

1/ Caractères généraux :

L'interface d'entrée tire sa raison d'être de l'information qu'on désire prélever des capteurs de lumière.

D'une manière formelle, le signal électrique du capteur est d'abord amplifié avec un gain donné pour garantir une discrimination suffisante des niveaux proches afin d'accroître la précision de réglage des seuils correspondant aux états "allumé" et "éteint".

Le résultat de cette amplification sera finalement appliqué à une structure qui concrétise le déclenchement d'état précédemment pressenti, à la sortie de laquelle sera présent un signal conforme à l'entrée de l'unité de traitement située en aval.

Le fonctionnement de la sus-dite structure est semblable à celui d'un comparateur, qui, pour le rappeler, commute sa sortie suivant le signe de la comparaison de ses deux entrées (l'une étant variable et l'autre étant maintenue constante pour le cas présent), à la différence près, qu'ici, l'entrée de référence bascule elle aussi entre deux états stables, lorsque l'entrée parcourt la gamme des amplitudes englobant ces deux niveaux de référence.

Cette structure est dite "Trigger de Schmitt".

2/ Détails de la réalisation :

2-1) Capteur :

Le capteur est constitué simplement d'un transistor 2N2222 dont on a scié le capot de façon à laisser la lumière parvenir et impressionner la puce de semi-conducteur.

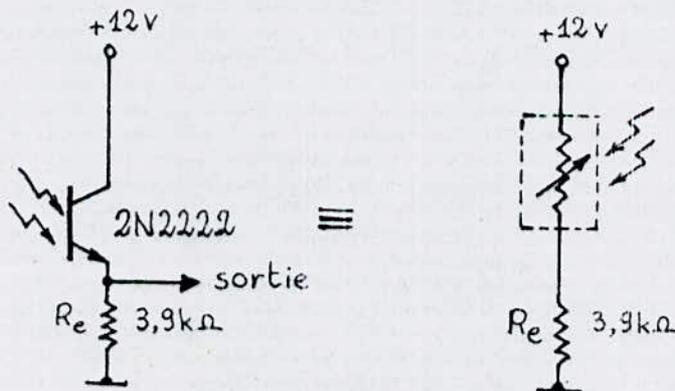


Fig 1: Circuit du capteur

Tel qu'il est utilisé (figure 1), le transistor joue le rôle d'une résistance variable avec l'intensité de l'éclairement qu'elle reçoit. Ceci justifie la représentation symbolique qui a été adoptée pour cet élément.

Le fait d'exposer le capteur à une intensité de lumière constante convenable permet d'obtenir également un courant collecteur sensiblement constant.

De cette manière, l'augmentation de R_e , permise jusqu'à une certaine valeur limite, induit un accroissement linéaire de la chute de tension à ses bornes indiquant une amélioration de la sensibilité du capteur; cette dernière propriété est toutefois vérifiée bien au delà de la sus-dite limite.

On explique ce fait en considérant les valeurs relatives de R_e par rapport à celles de la résistance équivalente du capteur : tant que les premières citées restent inférieures dans de grandes proportions aux secondes, le courant varie peu et la tension de sortie est approximativement proportionnelle à la valeur de la résistance d'émetteur.

Ce qui est aussi vrai c'est qu'une valeur trop grande de R_e sature le transistor pour un éclairement maximal face au soleil et produit une baisse insuffisante du niveau de la sortie pour un éclairement beaucoup moindre.

Celle-ci est normalement choisie sur la base de la connaissance de la caractéristique du capteur en fonction de l'éclairement, c'est-à-dire du coefficient de conversion lumière/signal électrique et en tenant compte de la sensibilité désirée.

Cette étude préalable permet effectivement d'obtenir une discrimination adéquate entre les niveaux correspondant à des éclairements différents : noter "face au soleil" et "à l'ombre".

Comme nous ne disposons pas des caractéristiques des capteurs, "fabriqués" il faut le rappeler par nos soins, nous avons procédé par des essais pratiques pour le choix de la bonne sensibilité, ce qui a donné la valeur de $3,9 \text{ k}\Omega$ qui apparaît sur la figure 1.

2-2) Trigger de Schmitt :

Son circuit est présenté sur la figure 2.

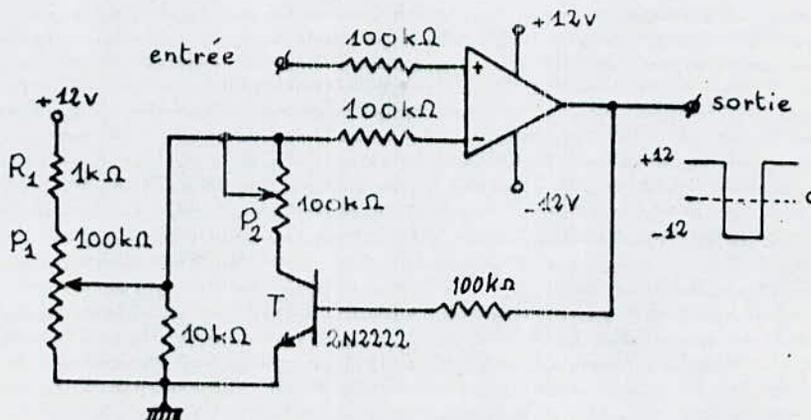


Fig 2: Circuit du Trigger de Schmitt utilisé

Pour en expliquer le fonctionnement on suppose que la sortie est à son état bas ($-12V$), ce qui impose que l'entrée soit inférieure au seuil de tension V_1 déterminé par la position du potentiomètre P_1 . Le transistor T est bloqué.

Si maintenant l'entrée croît jusqu'à atteindre le seuil V_1 , la sortie bascule à l'état haut ($+12V$) entraînant la conduction de T , qui sera alors saturé. Dans cette nouvelle situation, la tension V_2 , dépendant de P_2 , qui apparaît au niveau de l'entrée de l'amplificateur opérationnel est inférieure à V_1 .

Afin que la sortie du circuit rebascule à son état bas il est nécessaire de diminuer l'entrée jusqu'à la valeur V_2 .

Ce fonctionnement définit ce qu'on appelle une hystérésis, qui est illustrée sur la figure 3.

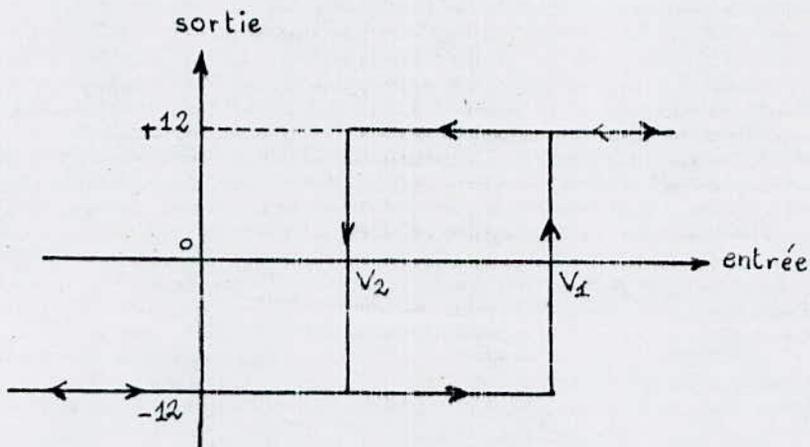


Fig 3: Hystérésis du Trigger de Schmitt utilisé

Les rôles respectifs de P_1 et P_2 sont de faire varier indépendamment les seuils V_1 et V_2 de telle manière à disposer d'un circuit adaptable de ce point de vue.

Il est fort utile de disposer d'un circuit pareil du moment que les capteurs ne sont pas rigoureusement identiques et qu'ils pourraient être éventuellement changés plus tard.

La résistance R_1 sert à produire une chute de tension convenable lorsque P_1 et P_2 sont positionnés de telle sorte que le collecteur du transistor soit relié à l'une de ses bornes.

2-3) Redressement et écrêtage :

Le signal discret délivré par le Trigger correspond aux deux niveaux +12V et -12V. les variations discrètes désirées sont entre +5V et 0V (TTL).

A cette fin on incorpore le circuit de redressement/écrêtage suivant.

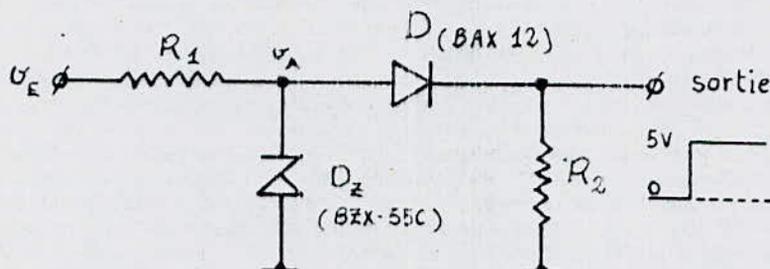


Fig 4: Circuit redressement/écrêtage

Pour que l'écrtage ait lieu, il est nécessaire que les paramètres V_e , R_1 et R_2 autorisent que la tension aux bornes de la diode zener atteigne le niveau désiré de 5,6V.

La diode zener étant supposée non conductrice, la tension V_a est telle que :

$$V_a = V_d + R_2 * (V_e - V_d) / (R_1 + R_2)$$

Elle doit vérifier $V_a > 5,6V$.

Puisque $V_e = 12V$ et $V_d = 0,6V$ on trouve comme condition à un fonctionnement correct la vérification de l'inégalité :

$$1,28 * R_2 > R_1.$$

Après l'entrée en conduction de la diode zener, une autre limitation intervient concernant le courant maximal admissible qui peut la traverser (70 mA). Cette deuxième inégalité est :

$$I_{zmax} > (V_e - V_a) / R_1 - (V_a - V_d) / R_2$$

$$\text{Ce qui donne : } R_1 > 6,4 * R_2 / (70 * R_2 + 5)$$

Notre choix s'est porté sur les valeurs suivantes des résistances $R_1 = 470\Omega$ et $R_2 = 1,5k\Omega$.

2-4) Production du bit "Nuit/jour" :

Aux quatre capteurs que compte le système sont associés les quatre bits que sort l'interface d'entrée.

Un cinquième bit est prévu pour indiquer l'occurrence de la nuit ou du jour. Ce bit est formé en combinant les tensions délivrées par les capteurs et en conformant le signal résultant de manière à ce qu'il soit compatible TTL.

La circuiterie associée est donnée ci-dessous.

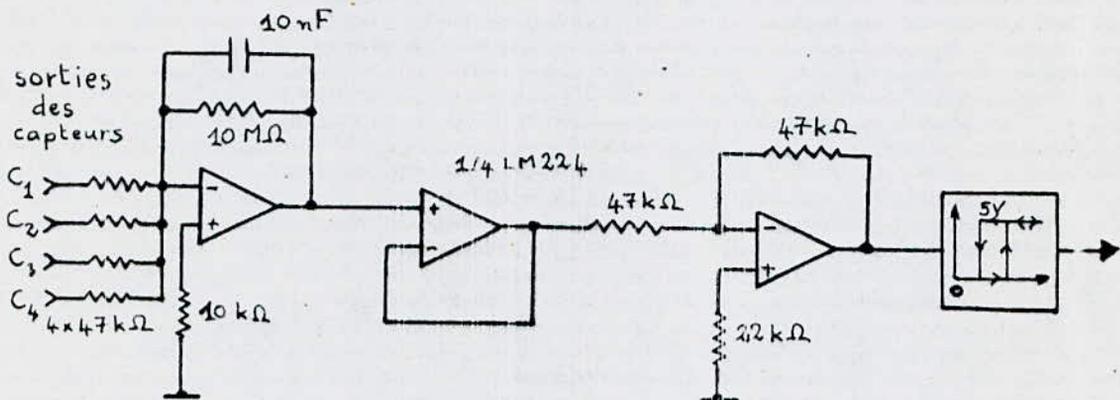


Fig 5: Circuit du bit Nuit/jour

Le premier étage additionne les signaux des capteurs en introduisant un gain de 200 puis viennent ensuite par ordre le suiveur, le Trigger de Schmitt et enfin le circuit de redressement/ écrêtage.

L'inverseur sert à rétablir le signe des tensions des capteurs modifié par l'additionneur, pour utiliser le même Trigger pour toute l'interface d'entrée.

Les amplificateurs opérationnels utilisés sont intégrés dans le circuit LM224.

Il est à remarquer que l'amplificateur suiveur a été câblé uniquement à des fins d'économie, pour utiliser la totalité des éléments que propose le circuit.

III-3/ INTERFACE DE PUISSANCE DES MOTEURS

Les moteurs pas à pas qui équipent l'hélicoptat sont les éléments qui matérialisent la commande constituée au niveau de la carte CPU sur la base de l'information parvenant de l'interface d'entrée, cela en exécutant les déplacements site et azimuth appropriés.

Ceux qui seront utilisés devront avoir au maximum quatre phases puisque quatre lignes sont disponibles pour chacun d'eux. On entend par ligne de commande la ligne de sortie du PIA de la carte CPU qui a la charge de définir l'état d'extinction ou d'allumage de la phase correspondante.

L'interface entre ligne de commande et bobine du moteur est assurée par le circuit d'alimentation dont on a déjà discuté le principe dans le chapitre "moteurs pas à pas".

Pour être plus explicite on en donne ci-après les détails.

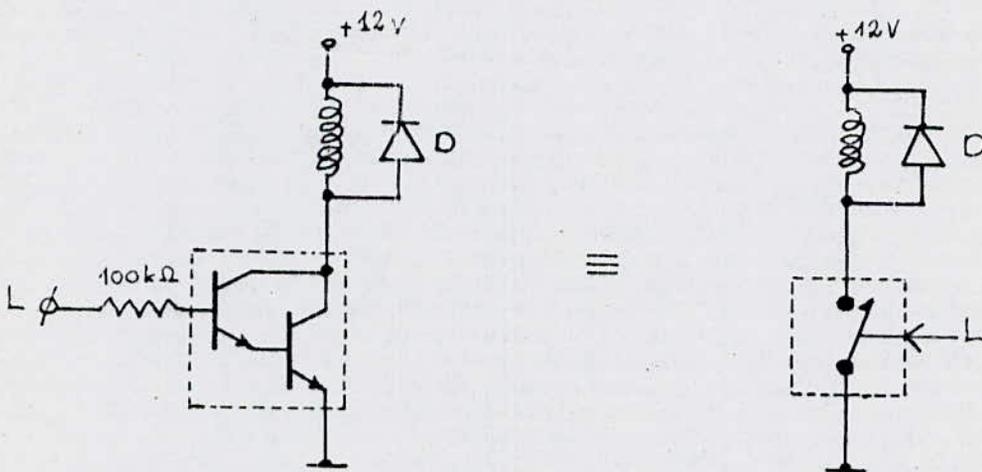


Fig 1: Interface de puissance du moteur
(pour une seule phase)

III-4/ PROGRAMME MONITEUR

1/ Présentation générale :

Incontestablement, un des plus importants aspects de l'étude qui nous a été proposée est le programme de pilotage de l'application.

Son écriture, d'une part, suit exhaustivement les recommandations inhérentes au comportement général désiré de l'héliostat et, d'autre part, tient compte des contraintes, qui lui sont imposées dans le cadre dudit comportement, en termes des caractéristiques limites des éléments constituant le dispositif.

Comme préalable à tout dessein d'explication du fonctionnement choisi, il est d'usage d'en présenter les principales fonctions sous forme d'un organigramme général.

Cet organigramme est représenté sur la figure 1.

Une Première analyse du séquençement des actions qui y figure révèle les éléments d'explication préliminaires suivants :

1. Le programme commence, tel qu'il pourrait être pensé intuitivement, par initialiser le système en en fixant les paramètres fonctionnels de sorte à offrir des conditions de démarrage identiques à chaque lancement de l'application.
2. Ensuite, le moniteur teste le bit Nuit/jour pour savoir si le présent contexte de fonctionnement auquel est arrivé l'héliostat se déroule la nuit - phase de veille - ou le jour - phase d'activité -.
Si la nuit est détectée le système est ramené à une position précise dite d'attente du soleil correspondant à un azimuth plein "est" et un site bas ou haut, suivant qu'il y ait eu antérieurement occurrence de vent.
Dans le cas où c'est le jour qui est détecté, le moniteur rompt la séquence et se branche vers la partie du programme qui traite du fonctionnement en poursuite du soleil de l'héliostat, c'est-à-dire lecture du code d'information "capteurs + butées" sur le port du PIA configuré en entrée et commande correspondante des moteurs site et azimuth.
3. Au niveau de la procédure de retour du système vers la position "attente du jour" du moniteur, le site est normalement ramené vers le bas pour que l'héliostat trouve le soleil juste en face, une fois le jour venu.
De cette manière, le pointage initial contribue à minimiser les risques d'erreurs de poursuite qui pourraient survenir, en particulier lorsque le temps est couvert.
En plus de cela et dans le cadre de cette même procédure, nous avons voulu incorporer une possibilité pour le système de se positionner à un site haut.
La raison ayant dictée ce choix est présentée ci-après.
Le vent, lorsque sa vitesse atteint des proportions dange-

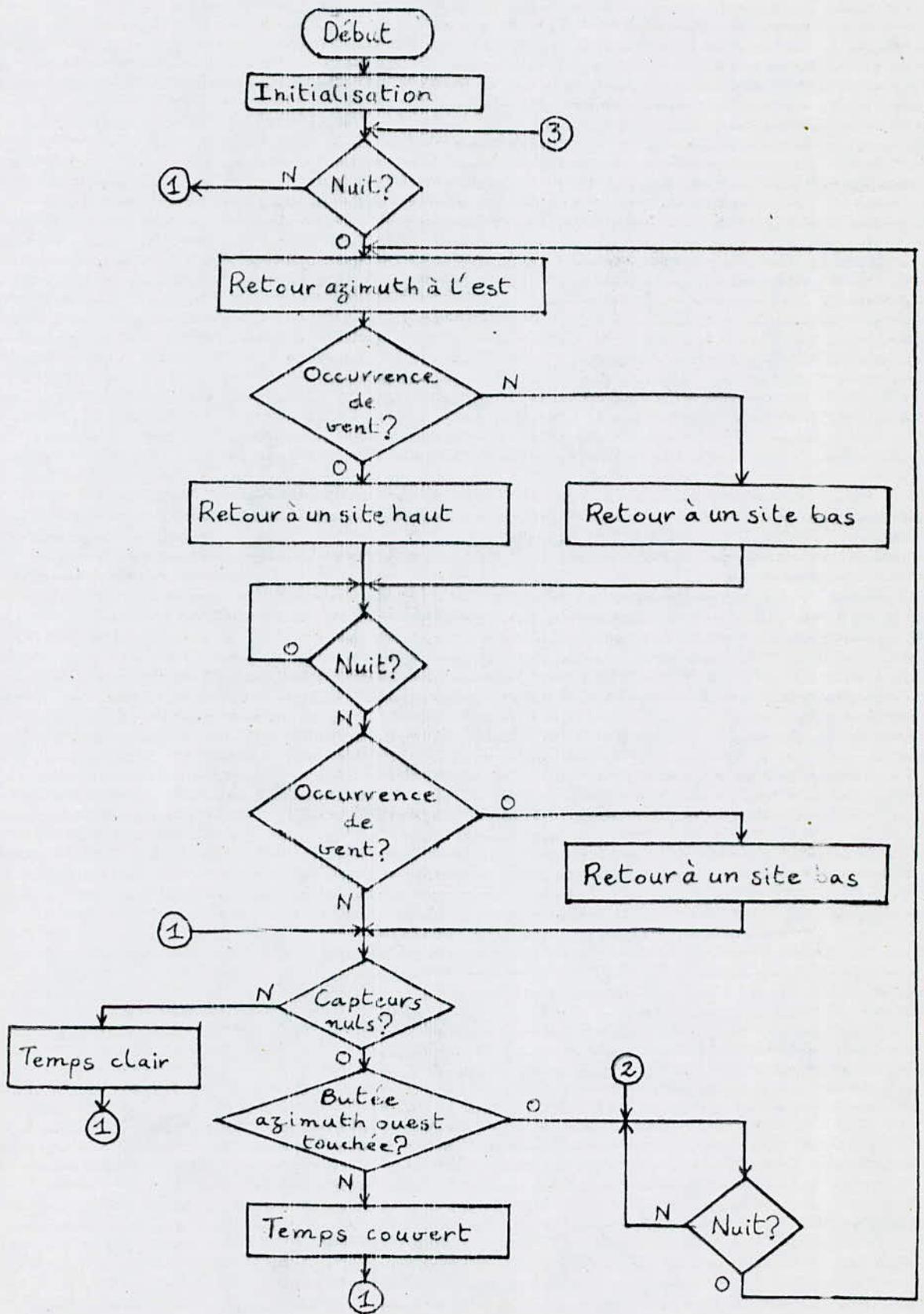


Fig 1: Organigramme de fonctionnement général

reuses pour la structure, est traité par le moniteur à travers un programme d'exception indépendant du programme principal en provoquant, entre autres actions, d'abord un déplacement du site vers le haut et, dès la disparition du vent, un retour à la position qu'aurait le système si l'exception ne se serait pas produite.

Soit à supposer un fonctionnement classique de la procédure de retour identifié par la position de veille du site bas.

Supposons encore que pendant cette période de veille, la vitesse du vent se mette à osciller de part et d'autre du seuil de déclenchement du programme d'exception.

Ce qui en découlerait est un va-et-vient du site entre les positions limites haute et basse, indiquant une consommation d'énergie inutile et une relative incohérence du point de vue du fonctionnement.

Pour remédier à ce qui semble apparemment être un défaut, la solution adoptée consiste à mémoriser l'occurrence de vent ou, en d'autres termes, se souvenir de l'exécution du programme d'exception, et à l'exploiter en temps utile.

Par ce moyen, dans le cas d'une occurrence antérieure de vent, l'héliostat en étant bien positionné pendant la phase de veille, ne risque pas de présenter le mouvement alterné constaté plus haut, lors de fortes rafales de vent.

4. Après l'exécution du retour du système vers la position de veille, le moniteur se met à tester le bit Nuit/jour jusqu'à ce qu'il présente l'état correspondant au jour.
5. Le cas échéant, la mémoire indiquant l'occurrence de vent est scrutée pour repositionner le site vers le bas, s'il y a lieu, afin de vérifier les conditions initiales de poursuite, relatives à la position de l'héliostat.
6. Après la détection du jour et éventuellement le repositionnement du site, le moniteur lit le code des capteurs puis exécute conséquemment, suivant le cas, les programmes temps clair ou temps couvert avant qu'il reboucle une nouvelle fois sur la lecture du code pour refaire les mêmes actions. Le temps couvert étant identifié par le code nul des capteurs. Cette partie du moniteur en constitue en fait le noyau du moment que c'est elle qui permet de rendre compte du fonctionnement apparent de l'héliostat en poursuite du soleil.
7. Avant d'entamer l'exécution du programme de temps couvert, la butée azimuth "OUEST", si elle est touchée (indiquant la fin de la poursuite), branche le moniteur sur une boucle d'attente de la nuit qui le branche à son tour, une fois la nuit venue, vers la procédure de retour.

2/ Programme "temps clair" :

L'organigramme est représenté sur la figure 2.

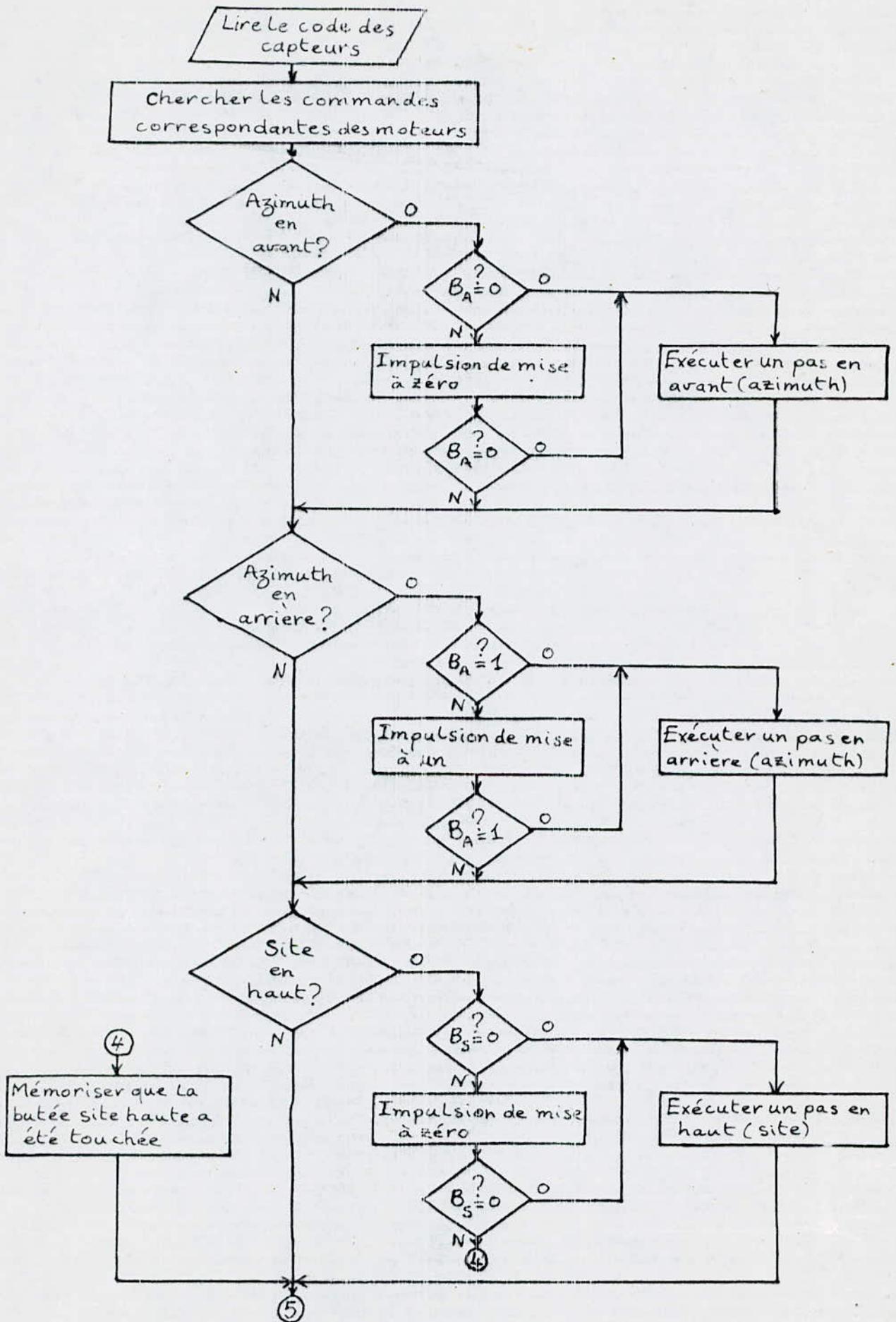


Fig 2: Organigramme du programme de temps clair

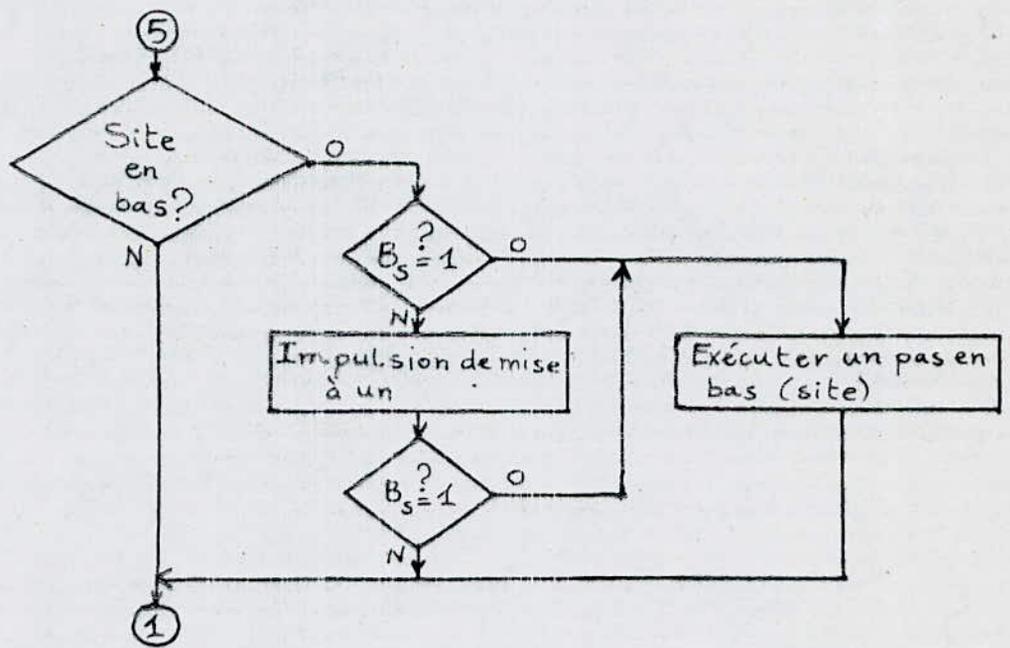


Fig 2bis: Organigramme du programme de temps clair (suite)

Conformément à cet organigramme, la première action exécutée par le moniteur dans le cadre du programme "temps clair" consiste en la lecture du code des capteurs sur le port du PIA (poids fort).

Ce code est ensuite transformé en son équivalent se rapportant aux commandes des moteurs site et azimuth suivant la table de transcodage présentée ci-dessous :

Capteurs				Moteurs				code (hex)
T1	T2	T3	T4	Site		Azimuth		
				B	H	Av	Ar	
0	0	0	0	*****				*
0	0	0	1	0	1	1	0	06
0	0	1	0	1	0	1	0	0A
0	0	1	1	0	0	1	0	02
0	1	0	0	1	0	0	1	09
0	1	0	1	#####				#
0	1	1	0	1	0	0	0	08
0	1	1	1	#####				#
1	0	0	0	0	1	0	1	05
1	0	0	1	0	1	0	0	04
1	0	1	0	#####				#
1	0	1	1	#####				#
1	1	0	0	0	0	0	1	01
1	1	0	1	#####				#
1	1	1	0	#####				#
1	1	1	1	0	0	0	0	00

* : temps couvert
 # : combinaison impossible
 @ : héliostat face au soleil

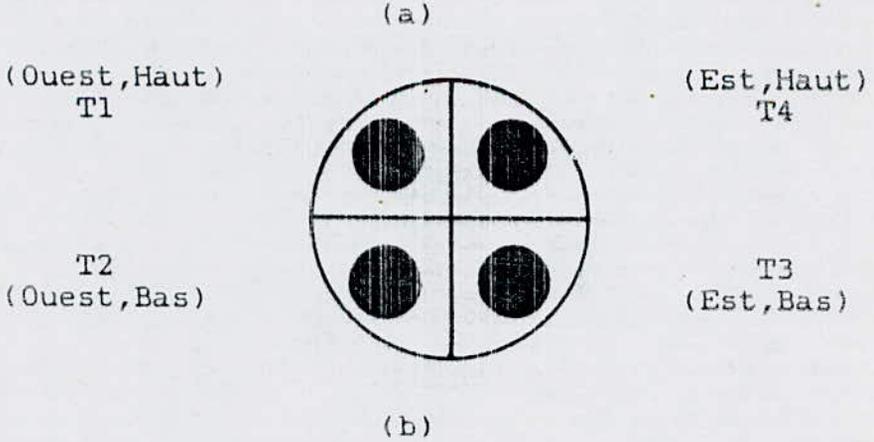


Fig 3: a. Table de commande des moteurs
 b. Positions des capteurs sur leur support

Grâce à ce code, le moniteur, par le truchement de quatre tests disposés en séquence, envoie les commandes appropriées aux moteurs.

Entre chaque test et l'exécution effective de la commande correspondante existe une structure de programmation similaire chargée de délimiter le domaine de manoeuvrabilité de l'héliostat.

Les impulsions d'initialisation des bascules apparaissant dans l'organigramme sont prévues pour tester si effectivement la butée, vers laquelle le mouvement est considéré, est touchée, dans le cas seulement où la bascule concernée présente l'état de cette dernière occurrence.

L'action incorporée après le test positif du forçage à l'état haut de la bascule site sert à renseigner éventuellement le programme de temps couvert du sens du mouvement site qui devrait s'opérer (le cas échéant, du haut vers le bas).

Les états respectifs des bascules site et azimuth sont les suivants :

Azimuth 0	: Butée "EST" touchée
1	: Butée "OUEST" touchée
Site 0	: Butée basse touchée
1	: Butée haute touchée

3/ Programme "temps couvert" :

Cette procédure tente de reproduire, lorsque le temps est couvert, le mouvement de l'héliostat en poursuite du soleil.

Il s'agit en fait de générer les temporisations adéquates et de provoquer les rotations appropriées des moteurs site et azimuth de façon à simuler les vitesses moyennes du soleil en site et en azimuth, lesquelles sont estimées respectivement à 8°/h et 15°/h.

L'organigramme augmenté du test de la butée azimuth OUEST présent dans l'organigramme général est illustré sur la figure 4.

Après l'impulsion de remise à zéro de la bascule azimuth, le moniteur procède au test de la butée azimuth OUEST qui apparaît dans l'organigramme général.

Ce test décide si le système doit continuer à exécuter la séquence du temps couvert ou arrêter son déroulement par un saut vers la boucle d'attente de la nuit, signifiant la fin de la poursuite.

Dans le cas où la butée considérée n'a pas encore été touchée, le moteur azimuth tourne de deux pas en avant, alors qu'un test analogue au précédent, intercalé entre les deux mouvements, prévient les mêmes circonstances discutées plus haut.

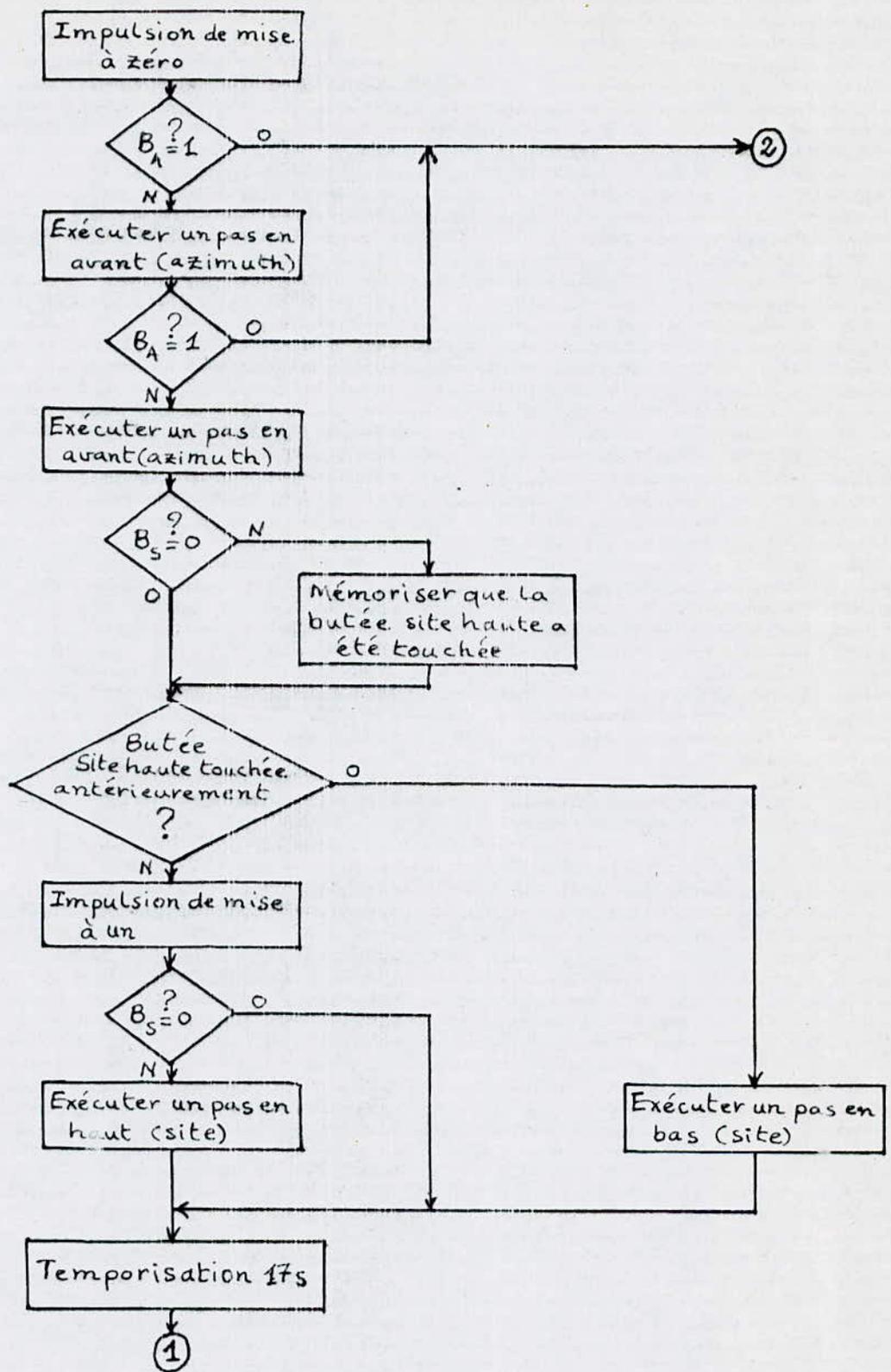


Fig 4: Organigramme du programme "temps couvert"

Le moniteur s'occupe ensuite du mouvement en site : d'abord une mémorisation de l'occurrence "butée haute touchée", si elle a lieu, puis commande de l'avance d'un pas du moteur correspondant dans le sens défini justement par cette mémorisation.

L'adoption de cette structure pour l'organigramme relève du fait que l'angle de site augmente puis diminue dans le cours de l'évolution du soleil indiquant un changement dans le sens de rotation du moteur que le système devra reproduire.

En dernier, une temporisation de 17s est exécutée de manière à déplacer la structure mécanique de 15° en azimuth et de 8° en site pendant une heure.

Cette durée impose à la démultiplication du site d'assurer un angle de 8° pour un total accumulé d'approximativement 212 pas du moteur.

4/ Programme d'exception :

Cette partie du moniteur est indépendante du fonctionnement normal de l'héliostat en ce sens qu'elle s'exécute uniquement dans le cas du vent violent.

On l'a donc prévu comme programme de prise en compte d'interruption, déclenchée par un front actif sur la broche IRQ du microprocesseur reliée pour la circonstance à la circuiterie relevant de l'anémomètre (détecteur de vitesse du vent).

L'organigramme est représenté sur la figure 5.

Les organigrammes POSAZ et POSSI sont représentés sur la figure 5 bis.

Trois importantes tâches peuvent être distinguées au niveau de L'organigramme de la figure 4:

1. Positionnement du site vers le haut et dénombrement des pas exécutés par le moteur pour atteindre la position finale; la constante POI contient alors le résultat du comptage.
2. Test du vent, toutes les 106 temporisations (17s), comptées par la variable CT, pour décider de la fin de l'exception et du retour de l'exécution vers le programme principal, et mise à jour en parallèle des variables CAZ et CSI renseignant sur l'évolution du soleil à partir de la position à laquelle s'est produite l'exception en termes des pas des moteurs azimuth et site respectivement.
3. Positionnement de l'azimuth et du site, au sortir de la tâche précédente, d'après les paramètres antérieurement calculés, en l'occurrence POI, CAZ et CSI, tout en utilisant la mémoire MI destinée à sauvegarder le cas "butée haute touchée".

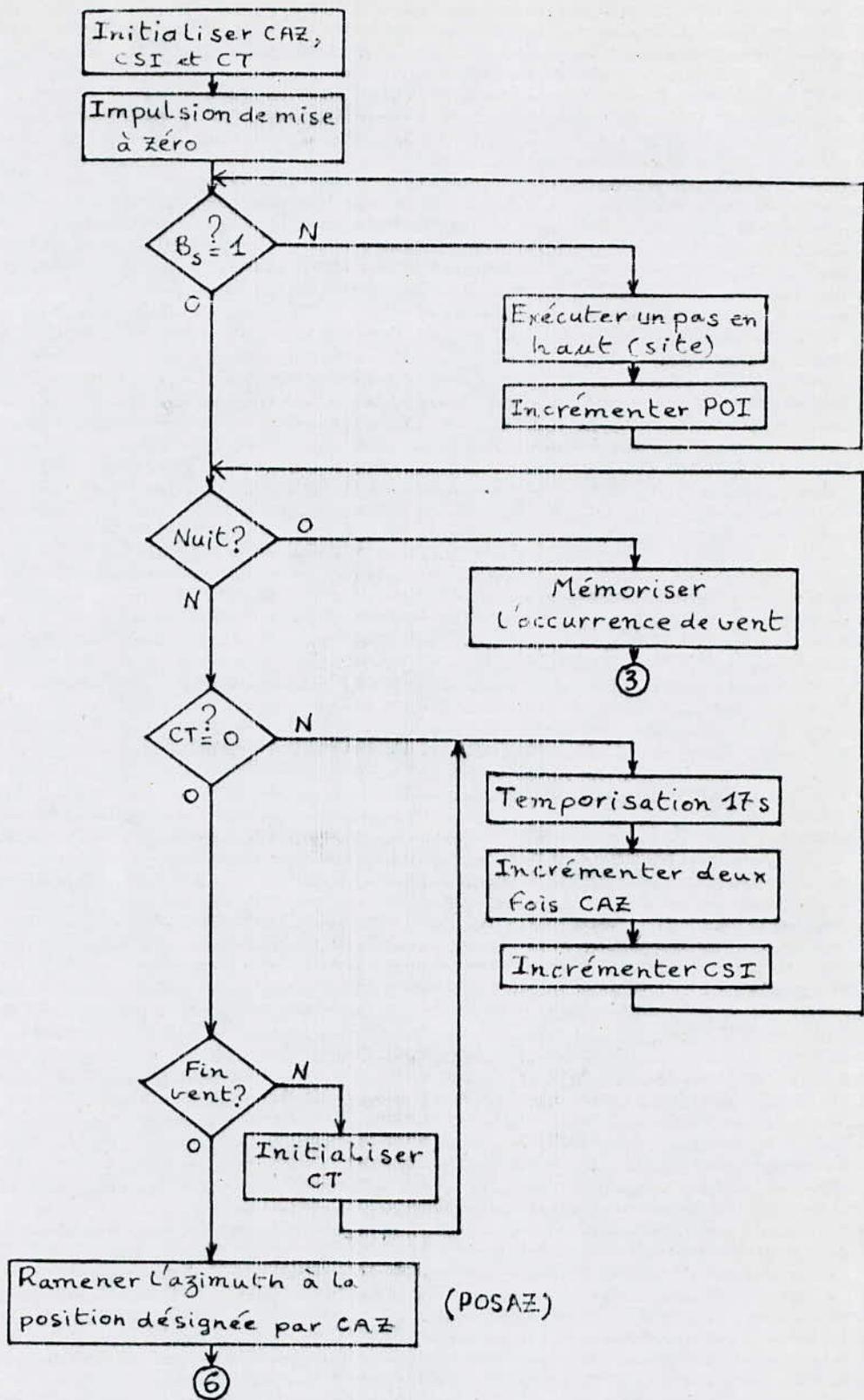


Fig 5: Organigramme du programme d'exception

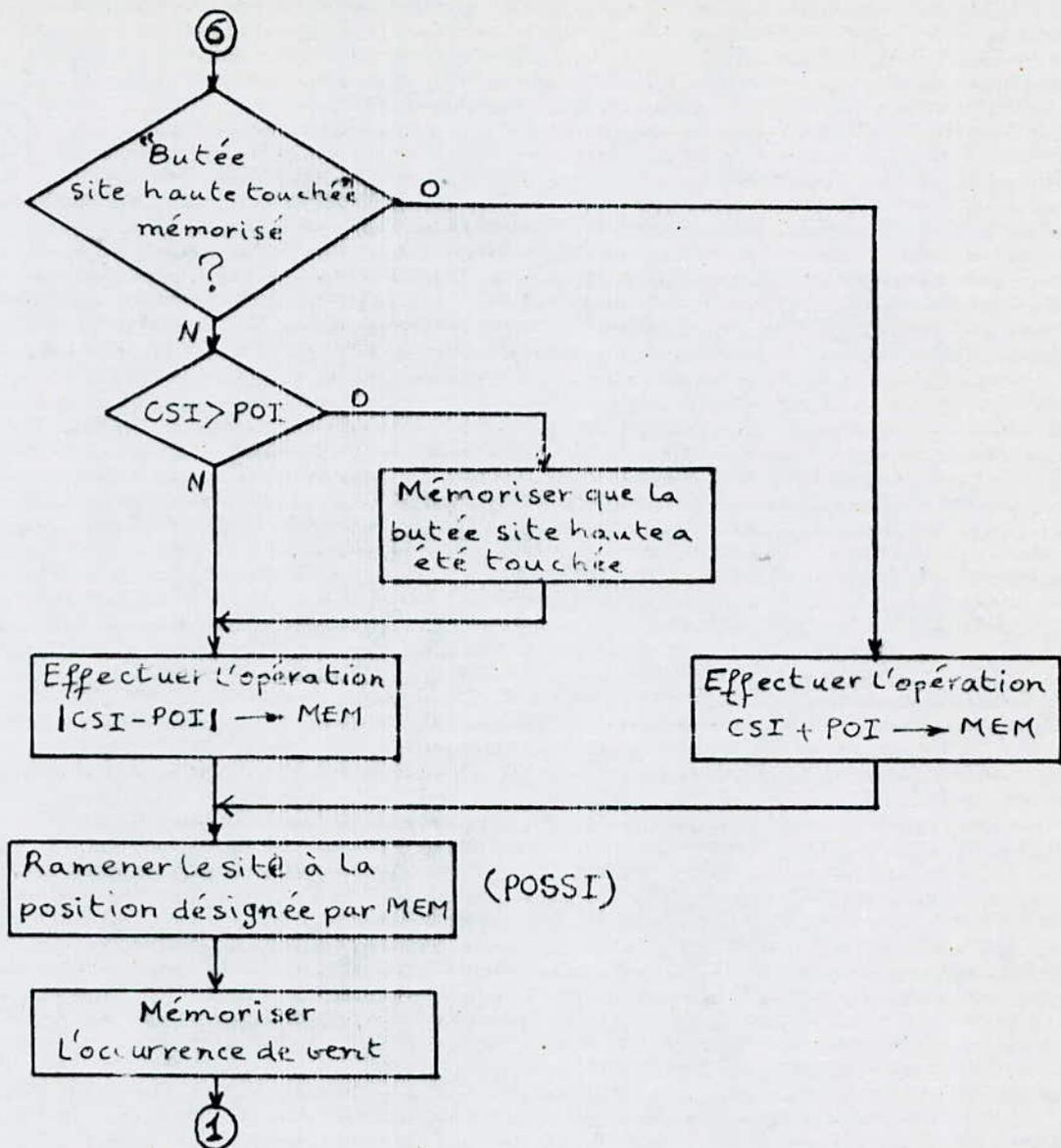
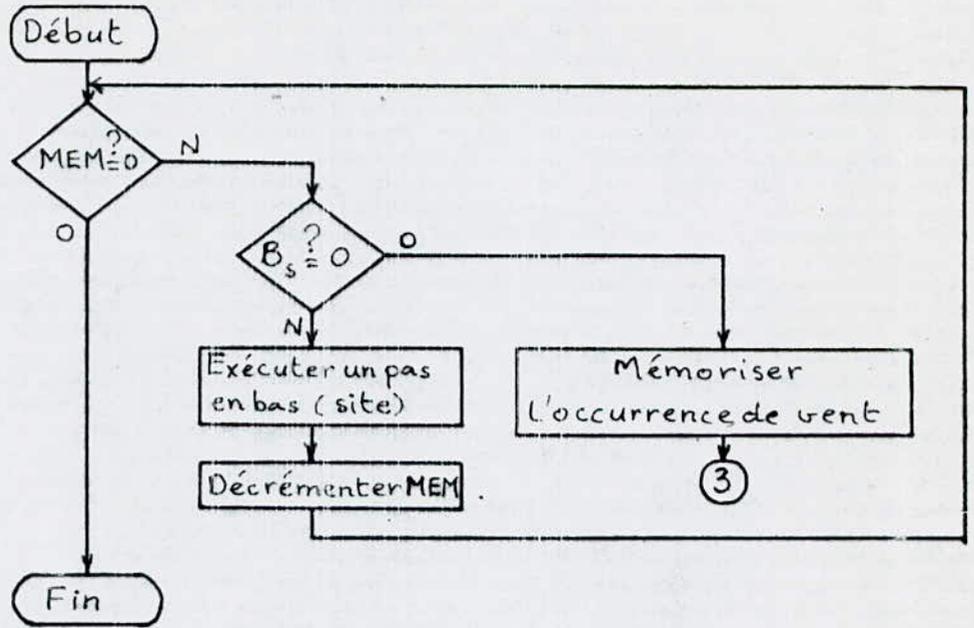
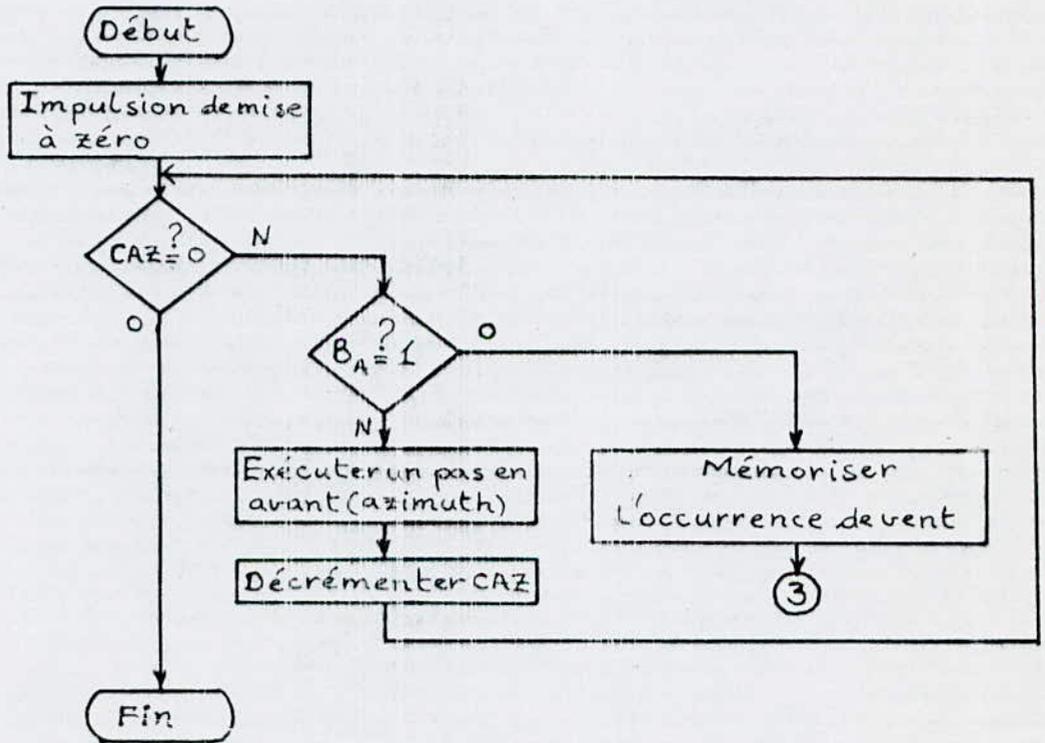


Fig 5a : Organigramme du programme d'exception (suite)



1. POSSI



2. POSAZ

Fig 5b: Organigrammes POSAZ et POSSI

Vu de cet angle, l'organigramme du programme d'exception se prête mieux à l'analyse.

Jusqu'au test de la "nuit", non inclus, les opérations que compte cet organigramme appartiennent à la première tâche décrite ci-dessus.

Dans le cadre de la deuxième tâche, le vent n'est testé qu'après l'écoulement de la période de temps correspondant à la réalisation des 106 temporisations de 17s.

Ce test, s'il n'est pas vérifié, réinitialise la variable compteur de temporisations (CT) imposant de nouveau la durée (30mn), au terme de laquelle le bit d'état du vent sera testé.

Le test de la nuit a été introduit pour prévenir le cas de persistance de vent violent jusqu'à la venue de la nuit; le cas échéant, le moniteur se branche sur la procédure de retour.

La troisième tâche commence par le déplacement de l'azimuth du nombre de pas contenu dans la variable CAZ; le fait de toucher la butée azimuth OUEST a pour effet de brancher le programme vers la procédure de retour via la boucle d'attente de la nuit.

Le positionnement du site avec le nombre de pas adéquat a besoin pour être mené à bon terme d'effectuer certaines opérations préliminaires.

La variable CSI cumulant les pas à exécuter au moteur site indépendamment du sens du mouvement (haut ou bas) correspondant, il est nécessaire pour faire retrouver au site sa position approximative en poursuite d'avoir connaissance du sens de variation du soleil en site pendant l'instant où s'est produite l'exception (matérialisé justement par la variable MI).

Dans le cas d'un mouvement bas, signifiant une valeur de MI différente de zéro, la variable CSI indique le nombre de pas dans le sens "bas" à partir de la position initiale définie par POI : CSI et POI s'additionnent donc pour trouver le nombre total de pas utilisé pour le positionnement du site.

Pour le deuxième et dernier cas, lorsque le mouvement du soleil est du bas vers le haut, deux situations différentes peuvent se produire:

1. le soleil n'a pas encore entamé sa descente en site, c'est-à-dire $POI > CSI$, alors le nombre total de pas devrait être de $POI - CSI$;
2. le soleil est déjà dans sa phase de descente, c'est-à-dire $CSI > POI$, alors le nombre total devrait être maintenant de $CSI - POI$; de plus, une mémorisation de l'occurrence "butée site haute touchée" est exécutée de façon à informer éventuellement le programme de temps couvert du sens du mouvement du moteur site.

Par conséquent, ce nombre total de pas correspond au résultat de l'opération de valeur absolue entre POI et CSI.

5/ Sous-programmes de commande des moteurs :

Ces sous-programmes constituent l'interface logicielle entre la prise de décision de la commande de l'un des moteurs, faite au niveau du programme principal, et la réalisation effective de l'avance d'un pas de ce moteur dans le sens désiré.

Globalement, leur organigramme peut être présenté comme le montre la figure 6.

En rappel, les lignes du port B du PIA, programmées en sortie, sont configurées comme suit:

- * PB0 à PB3: phases du moteur azimuth.
- * PB4 à PB7: phases du moteur site.

Le mouvement de commande du moteur site ou azimuth est constitué par un quartet dont seul un bit est à l'état "1".

Pour une certaine position de ce bit, lorsqu'une commande d'avance du moteur est instruite, une rotation dudit quartet a lieu pour changer le bit activé (ie phase allumée), dont le sens est fonction du sens du mouvement désiré du moteur.

L'octet désigné par "code de commande des moteurs" dans l'organigramme est celui qui sera effectivement chargé dans le port B du PIA pour déclencher le déplacement recherché.

Après avoir effectué l'allumage adéquat de la phase considérée par la commande, une temporisation est générée pour laisser le temps au moteur de gagner sa nouvelle position d'équilibre, à la suite de quoi l'alimentation de la phase est coupée par annulation du port B.

6/ Sous-programmes des impulsions de mise à zéro et à un :

Ces sous-programmes ont été imposés par la structure même de la circuiterie des butées, consistant en une bascule RS dont les entrées des données sont reliées à ces contacts de fin course que sont les butées.

Le système compte en tout deux bascules, une pour le site et l'autre pour l'azimuth; en sortie, on dispose donc de deux signaux issus des quatre présents en amont.

Le rôle de l'impulsion de forçage est appréhendé en s'aidant d'un exemple simple.

Si on suppose que la poursuite est dans la phase de descente du site, c'est-à-dire que la bascule correspondante présente l'état relatif à la butée haute touchée (1 en l'occurrence), lorsque se produit une exception, le programme commence par faire monter le

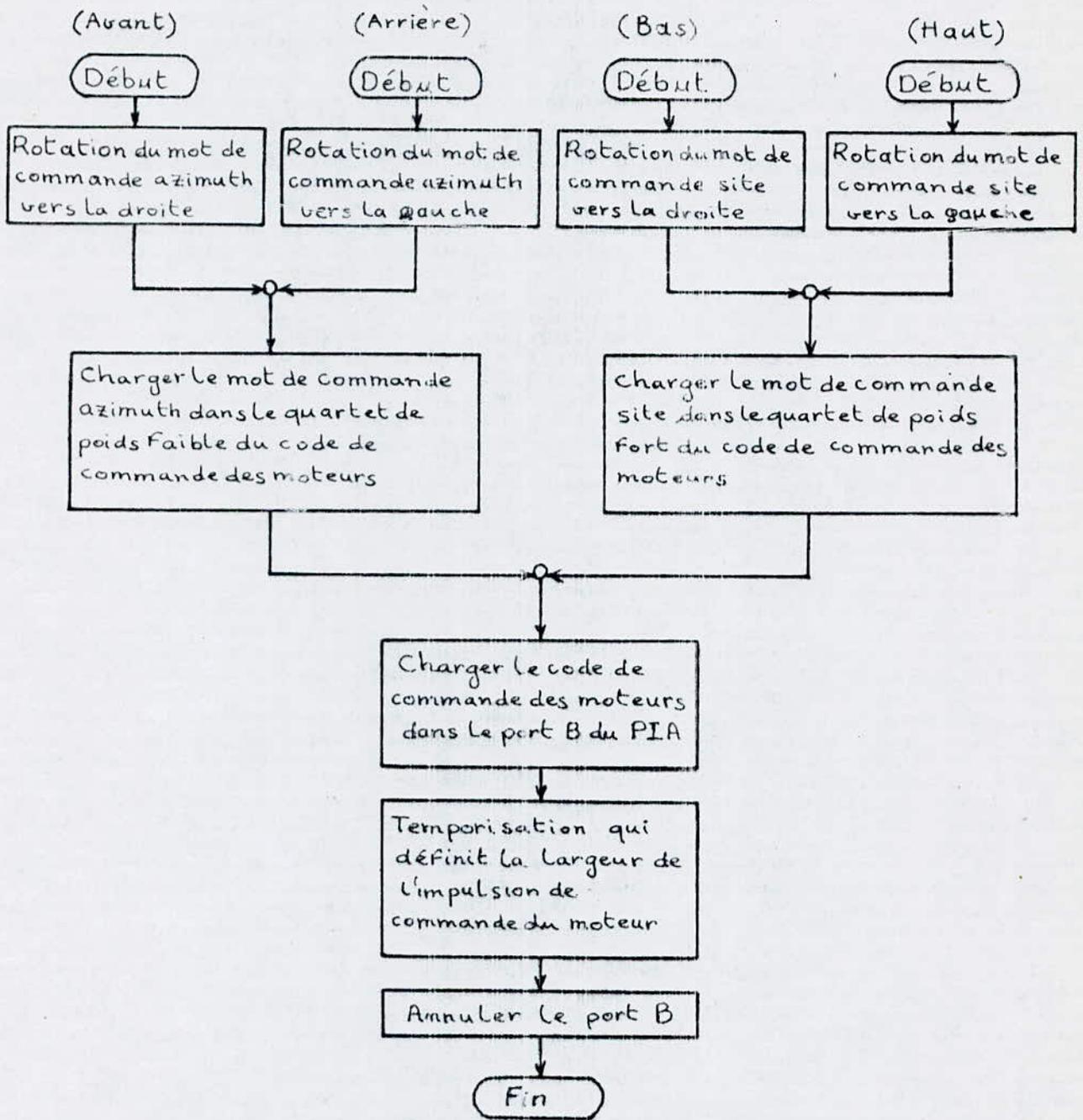


Fig 6: Organigramme des sous-programme de commande des moteurs

site; or, en absence d'un programme qui initialise préalablement à zéro la bascule, le test prévu pour arrêter le déplacement du site provoquerait intempestivement la fin de l'exécution de la procédure, qui ne s'est en fait pas produite.

On remédie à ce genre de fonctionnement erroné en forçant la bascule à l'état inverse de celui correspondant à la butée vers laquelle le mouvement du moteur est considéré avant le test de l'état de la bascule.

L'impulsion d'initialisation à un (zéro) est délivrée par la ligne CB2 (CA2) du PIA.

7/ Listing du programme en mnémonique et en code objet :

Le listing complet du programme moniteur présenté ci-après est structuré de façon à écrire pour chaque instruction l'adresse à laquelle elle est située (colonne 1), son code objet (colonne 6), son étiquette symbolique si elle existe (colonne 14), son mnémonique avec les paramètres syntaxiques correspondants (colonne 22) et enfin son commentaire donnant des explications sommaires sur la fonction de cette instruction dans le programme (colonne 35).

```

;*****
;* INITIALISATION *
;*****

```

```

F800 01      NOP      ;masquer le bit d'interruption
F801 0F      SEI      ;.
F802 8E 006B LDS  #006B ;initialiser le début de la pile
F805 4F      CLRA     ;initialiser le PIA
F806 B7 E481 STAA  CRA  ;.
F809 B7 E483 STAA  CRB  ;.
F80C 7F E480 CLR  DDRA  ;.
F80F 86 3C   LDAA  #03C  ;.
F811 B7 E481 STAA  CRA  ;.
F814 86 FF   LDAA  #0FF  ;.
F816 B7 E482 STAA  DDRB  ;.
F819 86 3C   LDAA  #03C  ;.
F81B B7 E483 STAA  CRB  ;.
F81E 86 01   LDAA  #01  ;initialiser commande moteur
F820 97 7F   STAA  MA   ;azimuth
F822 BD F98B JSR  CPB   ;.
F825 86 10   LDAA  #10  ;initialiser commande moteur
F827 97 7E   STAA  MS   ;site
F829 BD F98B JSR  CPB   ;.
F82C 7F 007C CLR  DEV   ;initialiser mémoire "vent"
F82F 7F 007D CLR  MI   ;initialiser déplacement site

```

```

;*****
;* PROCEDURE DE RETOUR *
;*****

```

```

F832 B6 E480 TININ LDAA  ORA  ;test préliminaire de la nuit
F835 85 10      BITA  #10  ;.
F837 26 51      BNE  DEBFP ;si jour, commencer poursuite
F839 BD F99D PRETO JSR  IMPRE ;sinon, exécuter "retour"
F83C B6 E480 RETAZ LDAA  ORA  ;déplacer l'azimuth jusqu'à tou-
F83F 85 40      BITA  #40  ;cher la butée "EST"
F841 27 06      BEQ  TOV   ;.
F843 BD F95D JSR  COPAR ;.
F846 0E         CLI     ;.
F847 20 F3      BRA  RETAZ ;.
F849 96 7C TOV  LDAA  DEV  ;test de la mémoire "vent"
F84B 26 11      BNE  OVDET ;vent détecté, monter site haut
F84D 0E         CLI     ;sinon, déplacer le site vers le
F84E BD F99D JSR  IMPRE ;bas puis brancher vers boucle
F851 B6 E480 RETSB LDAA  ORA  ;d'attente du jour
F854 85 80      BITA  #80  ;.
F856 27 16      BEQ  ATJ   ;.
F858 BD F97B JSR  COPBA ;.
F85B 0E         CLI     ;.
F85C 20 F3      BRA  RETSB ;.
F85E 0E OVDET  CLI     ;déplacer le site vers le haut
F85F BD F998 JSR  IMCLE ;.
F862 B6 E480 RETSH LDAA  ORA  ;.
F865 85 80      BITA  #80  ;.
F867 26 05      BNE  ATN   ;.
F869 BD F96F JSR  COPHA ;.
F86C 20 F4      BRA  RETSH ;.
F86E B6 E480 ATJ  LDAA  ORA  ;boucle d'attente du jour

```

```

F871 85 10          BITA  #$10  ;.
F873 27 F9          BEQ   ATJ    ;.
F875 96 7C          LDAA  DEV    ;test
F877 27 11          BEQ   DEBFP   ;
F879 7F 007C        CLR   DEV    ;
F87C 0E             CLI          ;
F87D B6 E480 DEPSB  LDAA  ORA    ;déplacement du site vers le bas
F880 85 80          BITA  #$80  ;pour commencer la poursuite
F882 27 06          BEQ   DEBFP   ;.
F884 BD F97B        JSR   COPEA  ;.
F887 0E             CLI          ;.
F888 20 F3          BRA  DEPSE  ;.
;*****
;*      DEBUT DE FONCTIONNEMENT EN POURSUITE      *
;*****
F88A 7F 007C DEBFP  CLR   MI      ;
F88D 0E             FOP          ;
F88E F6 E480 TSCC   LDAB  ORA    ;lecture du code des capteurs
F891 C4 0F          ANDB  #$0F   ;code=0?
F893 27 74          BEQ   PIC    ;si oui alors temps couvert
;*****
;*      PROGRAMME TEMPS CLAIR      *
;*****
F895 CE FFE8        LDX  #$FFE8 ;décodage du code des capteurs
F898 5D             RCOC        TSTB          ;dans le cas du temps clair
F899 27 04          BEQ   CACOC   ;.
F89B 08             INX          ;.
F89C 5A             DECB         ;.
F89D 20 F9          BRA  RCOC    ;.
F89F E6 00 CACOC   LDAB  00,X   ;chargement du mot de commande
F8A1 54             LSRB          ;commande avant?
F8A2 24 15          BCC  TECAR   ;si non voir commande arrière
F8A4 B6 E480        LDAA  ORA    ;butée azimuth=0?
F8A7 85 40          BITA  #$40  ;.
F8A9 27 0A          BEQ   EXCAV   ;si oui exécuter un pas en avant
F8AB BD F998        JSR   IMCLE  ;sinon retester la butée après
F8AE B6 E480        LDAA  ORA    ;forçage à zéro
F8B1 85 40          BITA  #$40  ;.
F8B3 26 04          BNE  TECAR   ;si butée=1, commande arrière?
F8B5 BD F951 EXCAV  JSR   COPAV  ;exécuter un pas en avant
F8B8 0E             CLI          ;.
F8B9 54             LSRB          ;commande arrière?
F8BA 24 15          BCC  TECHA   ;si non voir commande haut
F8BC B6 E480        LDAA  ORA    ;butée azimuth=1?
F8BF 85 40          BITA  #$40  ;.
F8C1 26 0A          BNE  EXCAR   ;si oui faire un pas en arrière
F8C3 BD F99D        JSR   IMPRE  ;sinon retester la butée après
F8C6 B6 E480        LDAA  ORA    ;forçage à un
F8C9 85 40          BITA  #$40  ;.
F8CB 27 04          BEQ   TECHA   ;si butée=0, commande haut?
F8CD BD F95D EXCAR  JSR   COPAR  ;exécuter un pas en arrière
F8D0 0E             CLI          ;.
F8D1 54             LSRB          ;commande haut?
F8D2 24 19          BCC  TECBA   ;si non voir commande bas
F8D4 B6 E480        LDAA  ORA    ;butée site=0?

```

```

F8D7 85 80          BITA  #$80  ;.
F8D9 27 0A          BEQ   EXCHA  ;si oui exécuter un pas en haut
F8DB BD F998        JSR   IMCLE  ;sinon retester la butée après
F8DE B6 E480        LDAA  ORA    ;forçage à zéro
F8E1 85 80          BITA  #$80  ;.
F8E3 26 06          BNE   OBSHT  ;si butée=1, commande bas?
F8E5 BD F96F EXCHA JSR   COPHA  ;exécuter un pas en haut
F8E8 0E             CLI     ;.
F8E9 20 02          BRA   TECBA  ;voir commande bas
F8EB 97 7D OBSHT   STAA  MI    ;butée site haute touchée
F8ED 54 TECBA      LSRB         ;commande bas?
F8EE 24 17          BCC   RTSCC  ;si non recommencer la poursuite
F8F0 B6 E480        LDAA  ORA    ;butée site=1?
F8F3 85 80          BITA  #$80  ;.
F8F5 26 0A          BNE   EXCBA  ;si oui exécuter un pas en bas
F8F7 BD F99D        JSR   IMPRE  ;sinon retester la butée après
F8FA B6 E480        LDAA  ORA    ;forçage à un
F8FD 85 80          BITA  #$80  ;.
F8FF 27 06          BEQ   RTSCC  ;si butée=0, lire code capteurs
F901 97 7D          STAA  MI    ;butée site haute touchée
F903 BD F97B EXCBA JSR   COPBA  ;exécuter un pas en bas
F906 0E             CLI     ;.
F907 20 85 RTSCC   BRA   TSCC  ;recommencer la poursuite
;*****
;* PROGRAMME TEMPS COUVERT *
;*****
F909 BD F998 PTC   JSR   IMCLE  ;test de la butée azimuth après
F90C B6 E480        LDAA  ORA    ;forçage à zéro
F90F 85 40          BITA  #$40  ;.
F911 26 34          BNE   ATN    ;si butée=1 attente de la nuit
F913 BD F951        JSR   COPAV  ;sinon faire un pas en avant
F916 0E             CLI     ;.
F917 B6 E480        LDAA  ORA    ;test de la butée azimuth
F91A 85 40          BITA  #$40  ;.
F91C 26 29          BNE   ATN    ;si butée=1 attente de la nuit
F91E BD F951        JSR   COPAV  ;sinon faire un pas en avant
F921 0E             CLI     ;.
F922 B6 E480        LDAA  ORA    ;test de la butée site
F925 85 80          BITA  #$80  ;.
F927 27 02          BEQ   TSDES  ;si butée=0, mouvement site?
F929 97 7D          STAA  MI    ;butée site haute touchée
F92B 96 7D TSDES   LDAA  MI    ;tester sens du mouvement site
F92D 26 05          BNE   ODSBD  ;si MI≠0, faire un pas en bas
F92F BD F96F        JSR   COPHA  ;sinon exécuter un pas en haut
F932 20 0D          BRA   GETEP  ;brancher vers temporisation 17s
F934 BD F99D ODSBD JSR   IMPRE  ;test de la butée site après
F937 B6 E480        LDAA  ORA    ;forçage à un
F93A 85 80          BITA  #$80  ;.
F93C 27 03          BEQ   GETEP  ;si butée=0, temporisation 17s
F93E BD F97B        JSR   COPBA  ;sinon exécuter un pas en bas
F941 BD FB00 GETEP JSR   TEMPP  ;générer temporisation 17s
F944 7E F88E        JMP   TSCC  ;recommencer la poursuite
F947 B6 E480 ATN   LDAA  ORA    ;boucle d'attente de la nuit
F94A 85 10          BITA  #$10  ;.
F94C 26 F9          BNE   ATN    ;.

```

```

F94E 7E F839      JMP PRETO ;brancher vers procédure retour
;*****
;*      SOUS-PROGRAMMES DE COMMANDE DES MOTEURS      *
;*****
F951 0F          COPAV SEI ;rotation à droite du quartet
F952 74 007F    LSR MA ;code de commande azimuth pour
F955 24 04      BCC SCCAZ ;faire un pas en avant
F957 86 08      LDAA #$08 ;.
F959 97 7F      STAA MA ;.
F95B 20 0E      SCCAZ BRA CCAZ ;saut à chargement mot commande
F95D 0F          COPAR SEI ;rotation à gauche du quartet
F95E 78 007F    ASL MA ;code de commande azimuth pour
F961 96 7F      LDAA MA ;faire un pas en arrière
F963 85 10      BITA #$10 ;.
F965 27 04      BEQ CCAZ ;.
F967 86 01      LDAA #$01 ;.
F969 97 7F      STAA MA ;.
F96B 96 7F      CCAZ LDAA MA ;chargement mot commande azimuth
F96D 20 1C      BRA CPB ;saut à modification du port B
F96F 0F          COPHA SEI ;rotation à gauche du quartet
F970 78 007E    ASL MS ;code de commande site pour
F973 24 04      BCC SCCSI ;faire un pas en haut
F975 86 10      LDAA #$10 ;.
F977 97 7E      STAA MS ;.
F979 20 0E      SCCSI BRA CCSI ;Saut à chargement mot commande
F97B 0F          COPBA SEI ;rotation à droite du quartet
F97C 74 007E    LSR MS ;code de commande site pour
F97F 96 7E      LDAA MS ;faire un pas en bas
F981 85 08      BITA #$08 ;.
F983 27 04      BEQ CCSI ;.
F985 86 80      LDAA #$80 ;.
F987 97 7E      STAA MS ;.
F989 96 7E      CCSI LDAA MS ;chargement mot commande site
F98B B7 E482    CPB STAA ORB ;générer l'impulsion de commande
F98E BD FB05    JSR TEMMO ;moteur pour exécuter le pas
F991 7F E482    CLR ORB ;désiré
F994 BD FB05    JSR TEMMO ;.
F997 39          RTS ;fin
;*****
;*      SOUS-PROGRAMMES      *
;*      DE      *
;*      FORCAGE DES BASCULES      *
;*****
F998 CE E481    IMCIE LDX #CRA ;choix de la ligne CA2
F99B 20 03      BRA IMP ;.
F99D CE E483    IMPRE LDX #CRB ;choix de la ligne CB2
F9A0 86 34      IMP LDAA #$34 ;générer l'impulsion négative
F9A2 A7 00      STAA 00,X ;CA2/CB2
F9A4 BD FB11    JSR TEMIM ;.
F9A7 86 3C      LDAA #$3C ;.
F9A9 A7 00      STAA 00,X ;.
F9AB BD FB11    JSR TEMIM ;.
F9AE 39          RTS ;fin

```

```

;*****
;*                               SOUS-PROGRAMME                               *
;*                               DE PRISE EN COMPTE                           *
;*                               DE L'INTERRUPTION DU VENT                       *
;*****
F9AF CE 0000          LDX  #$0000 ;initialisation des variables
F9B2 DF 75          STX  CAZ      ;CAZ, CSI et POI
F9B4 DF 77          STX  CSI      ;.
F9B6 DF 79          STX  POI      ;.
F9B8 BD F998        JSR  IMCLE     ;forçage à zéro des bascules
F9BB B6 E480 IDPSI  LDAA  ORA      ;déplacement du site jusqu'à la
F9BE 85 80          BITA  #$80     ;la butée haute en mémorisant le
F9C0 26 0A          BNE  IINCT     ;nombre de pas exécutés
F9C2 BD F96F        JSR  COPHA     ;.
F9C5 DE 79          LDX  POI      ;.
F9C7 08            INX            ;.
F9C8 DF 79          STX  POI      ;.
F9CA 20 EF          BRA  IDPSI     ;.
F9CC C6 6A IINCT   LDAB  #NBTE    ;initialisation du compteur de
F9CE D7 7B          STAB  CT       ;temporisations (CT)
F9D0 B6 E480 ITNUI  LDAA  ORA      ;test du bit Nuit/Jour
F9D3 85 10          BITA  #$10     ;.
F9D5 26 03          BNE  ITECT     ;si bit=1 continuer le cycle
F9D7 7E FA6D        JMP  IRATN    ;sinon exécuter procédure retour
F9DA 96 7B ITECT   LDAA  CT       ;charger CT dans le registre A
F9DC 26 09          BNE  IGETP     ;si A#0 actualiser CSI et CAZ
F9DE B6 E480        LDAA  ORA      ;test du bit "vent"
F9E1 85 20          BITA  #$20     ;.
F9E3 26 15          BNE  IFVDE     ;si bit=1, rompre le cycle
F9E5 D7 7B          STAB  CT       ;sinon initialiser CT
F9E7 BD FB00 IGETP  JSR  TEMPF     ;générer temporisation 17s
F9EA DE 75          LDX  CAZ      ;CAZ=CAZ+2
F9EC 08            INX            ;.
F9ED 08            INX            ;.
F9EE DF 75          STX  CAZ      ;.
F9F0 DE 77          LDX  CSI      ;CSI=CSI+1
F9FD 08            INX            ;.
F9F3 DF 77          STX  CSI      ;.
F9F5 7A 007B        DEC  CT       ;décrémenter le compteur CT
F9F8 20 D6          BRA  ITNUI     ;refaire le cycle
F9FA BD F998 IFVDE  JSR  IMCLE     ;repositionnement de l'azimuth
F9FD DE 75 IRPAZ   LDX  CAZ      ;d'après le contenu de CAZ (en
F9FF 27 11          BEQ  ITSMS     ;avant), retour au test initial
FA01 B6 E480        LDAA  ORA      ;de la nuit si la butée azimuth
FA04 85 40          BITA  #$40     ;OUEST venait à être touchée
FA06 26 65          BNE  IRATN     ;.
FA08 BD F951        JSR  COPAV     ;.
FA0B DE 75          LDX  CAZ      ;.
FA0D 09            DEX            ;.
FA0E DF 75          STX  CAZ      ;.
FA10 20 EB          BRA  IRPAZ     ;.
FA12 96 7D ITSMS   LDAA  MI       ;charger MI dans A pour test
FA14 27 0E          BEQ  ICVAP     ;si A=0, site montant détecté
FA16 D6 79          LDAB  POI      ;MEM=POI+CSI
FA18 96 7A          LDAA  POI+1    ;.

```

```

FA1A 9B 78      ADDA  CSI+1 ;.
FA1C 97 74      STAA  MEM+1 ;.
FA1E D9 77      ADCE  CSI   ;.
FA20 D7 73      STAB  MEM   ;.
FA22 20 2A      RRA   IRPSI ;faire repositionner le site
FA24 96 79      ICVAP LDAA  POI  ;MEM=ABS(POI-CSI), si CSI>POI
FA26 91 77      CMPA  CSI   ;mémoriser que la butée site
FA28 2E 18      BGT   ISOUP ;haute est touchée et retour au
FA2A 26 06      BNE   IINVP ;test initial de la nuit si la
FA2C 96 7A      LDAA  POI+1 ;butée site basse venait à être
FA2E 91 78      CMPA  CSI+1 ;touchée
FA30 2E 10      BGT   ISOUP ;.
FA32 86 FF      IINVP LDAA  #$FF ;.
FA34 97 7B      STAA  MI    ;.
FA36 DE 79      LDX   POI   ;.
FA38 DF 73      STX   MEM   ;.
FA3A DE 77      LDX   CSI   ;.
FA3C DF 79      STX   POI   ;.
FA3E DE 73      LDX   MEM   ;.
FA40 DF 77      STX   CSI   ;.
FA42 96 7A      ISOUP LDAA  POI+1 ;.
FA44 90 78      SUBA  CSI+1 ;.
FA46 97 74      STAA  MEM+1 ;.
FA48 96 79      LDAA  POI   ;.
FA4A 92 77      SBCA  CSI   ;.
FA4C 97 73      STAA  MEM   ;.
FA4E DE 73      IRPSI LDX   MEM   ;repositionner le site d'après
FA50 27 11      BEQ   IRFOP ;le contenu de MEM (en bas)
FA52 B6 E480    LDAA  ORA   ;.
FA55 85 80      BITA  #$80  ;.
FA57 27 14      BEQ   IRATN ;.
FA59 BD F97B    JSR   COPBA ;.
FA5C DE 73      LDX   MEM   ;.
FA5E 09         DEX     ;.
FA5F DF 73      STX   MEM   ;.
FA61 20 EB      BRA   IRPSI ;.
FA63 86 FF      IRFOP LDAA  #$FF ;mémoriser l'occurrence du vent
FA65 97 7C      STAA  DEV   ;.
FA67 8E 006B    LDS  #$006B ;initialiser la pile et retour
FA6A 7E F88D    JMP  FOP    ;au fonctionnement en poursuite
FA6D 86 FF      IRATN LDAA  #$FF ;mémoriser l'occurrence du vent
FA6F 97 7C      STAA  DEV   ;.
FA71 8E 006B    LDS  #$006B ;initialiser la pile et retour
FA74 7E F832    JMP  TININ ;au test initial de la nuit
;*****
;*          SOUS-PROGRAMMES DE TEMPORISATION          *
;*****
FB00 CE 1A7E    TEMPP  LDX  #$1A7E ;valeur du registre ID pour 17s
FB03 20 03      BRA   TEM1  ;.
FB05 CE 0004    TEMMO  LDX  #$0004 ;valeur du registre ID pour 10ms
FB08 86 FF      TEM1   LDAA  #$FF  ;.
FB0A 4A         TEM2   DECA   ;.
FB0B 26 FD      BNE   TEM2  ;.
FB0D 09         DEX     ;.
FB0E 26 F8      BNE   TEM1  ;.

```

```

FB10 39          RTS          ;fin

FB11 86 19      TEMIM  LDAA  #$19  ;initialiser le registre A pour
FB13 4A         TEM3   DECA          ;faire 0,25ms
FB14 26 FD      BNE   TEM3          ;.
FB16 39         RTS          ;fin
;*****
;*           TABLE DE COMMANDE DES MOTEURS           *
;*****

FFE8 00
FFE9 06
FFEA 0A
FFEB 02
FFEC 09
FFED 00
FFEE 08
FFEF 00
FFF0 05
FFF1 04
FFF2 00
FFF3 00
FFF4 01
FFF5 00
FFF6 00
FFF7 00

```

CONCLUSION GENERALE

Le travail qui nous a été confié se divise en deux grandes parties comme le révèle son titre. Il s'agit de l'étude d'un héliostat et de sa réalisation proprement dite.

L'héliostat dont il est question dans l'étude comprend deux moteurs pas à pas assurant les mouvements des deux degrés de liberté site et azimuth que compte la structure mécanique théorique.

Dans la réalisation pratique effective, seul le mouvement azimuth a été prévu.

Deux raisons ont conduit à ce choix. La première et la plus importante est le fait que nous ne disposons que d'un seul moteur pas à pas. La seconde raison est que l'ajout de la mécanisation du site aurait compliqué le mécanisme déjà assez délicat.

Malgré cette limitation de notre projet sur le plan de sa finalisation, il reste tout à fait possible de le compléter, d'autant plus que nous avons conçu le système (circuiterie et programme moniteur) en tenant compte de cette action ultérieure.

En fait il suffit de s'accorder suffisamment de temps et de patience pour réaliser la partie mécanique manquante et disposer tout de suite d'un appareillage parfaitement opérationnel remplissant toutes les fonctions de l'héliostat précédemment discutées.

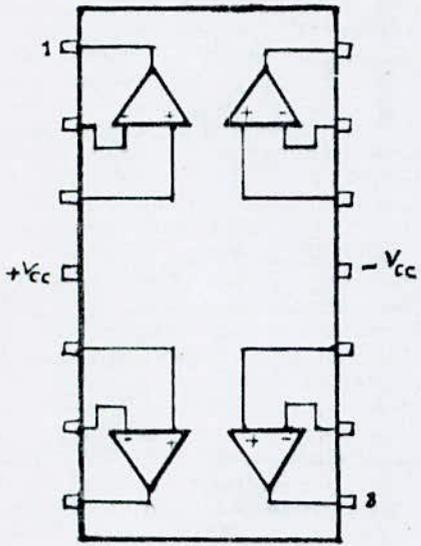
En outre, dans le cadre des actions visant à compléter le travail pratique réalisé par rapport à celui théoriquement accompli il y a lieu de noter la possibilité d'intégrer un anémomètre au système lorsque par exemple l'héliostat est configuré avec des panneaux solaires.

Donc à la charge de tout intéressé aux héliostats d'exploiter les résultats exposés dans la présente thèse.

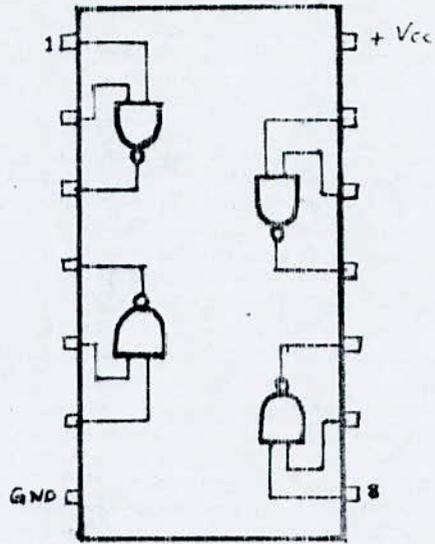
BIBLIOGRAPHIE

- /1/ Electromécanique.
M Jufer édition : Dunod
- /2/ Automatisation d'un héliostat photovoltaïque
CNRS Laboratoire d'automatique et d'analyse des systèmes
J.P Berry - G Vialaret (1978)
- /3/ Microprocessors and digital systems.
D.U Hall édition : McGraw Hill
- /4/ An introduction to microcomputers.
A Osborne édition : Sybex
- /5/ Manuel des interfaces.
S Leibson édition : McGraw Hill

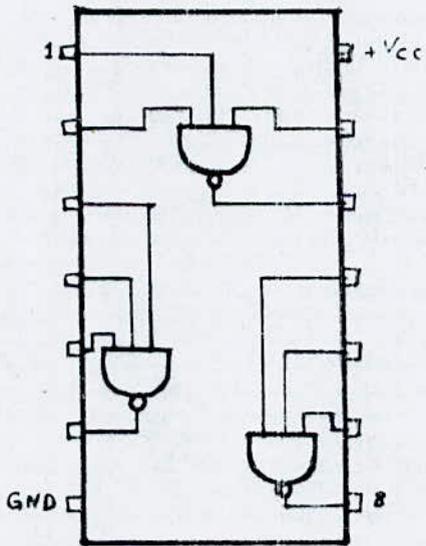
ANNEXE



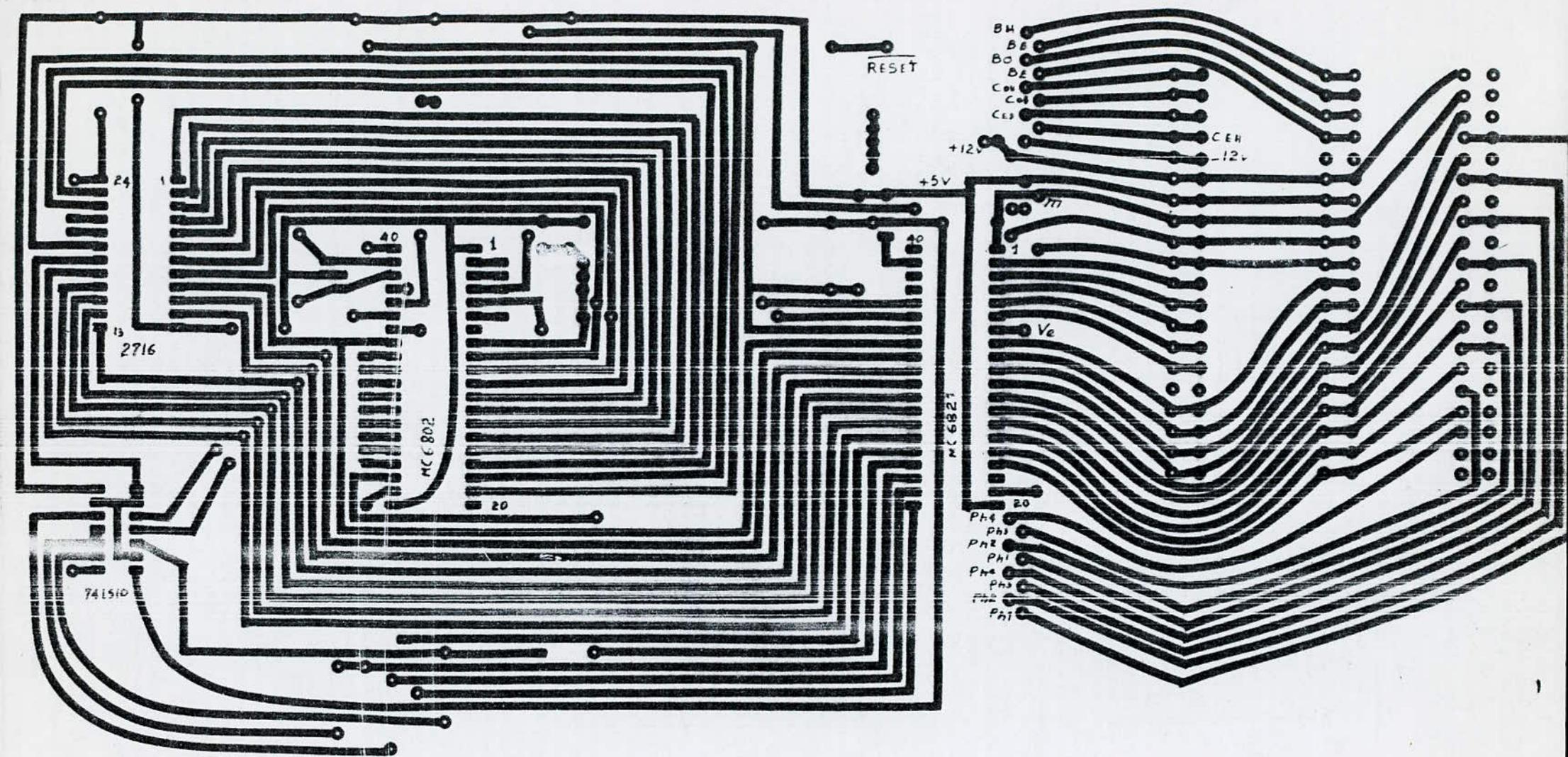
LM 224



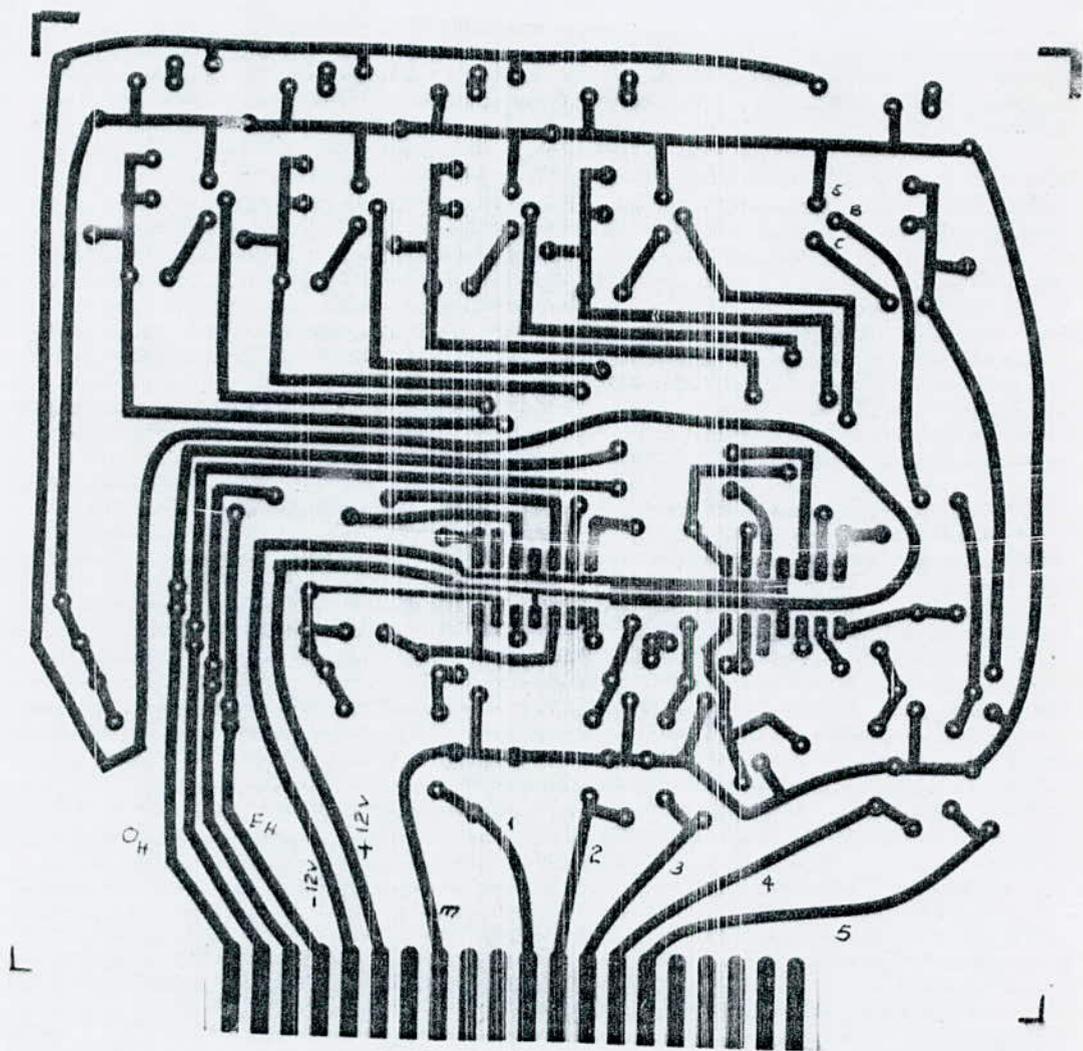
14011



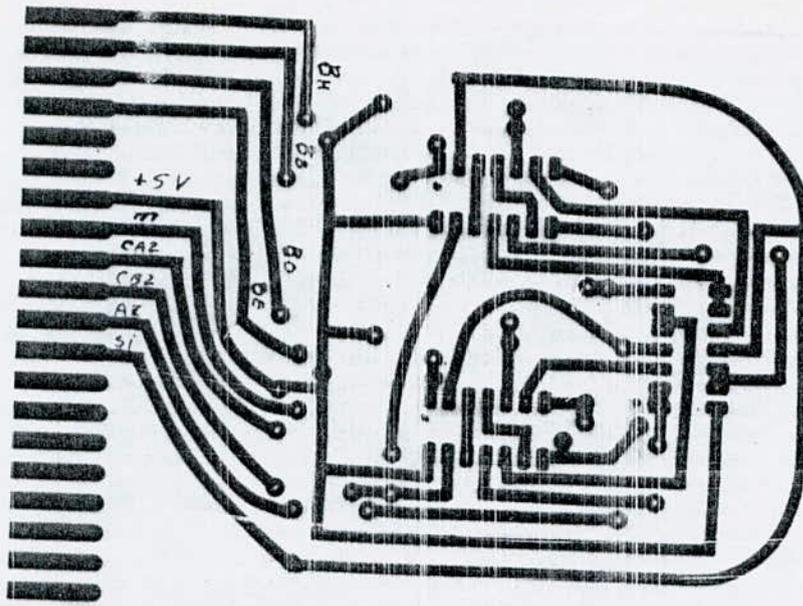
74LS10 N



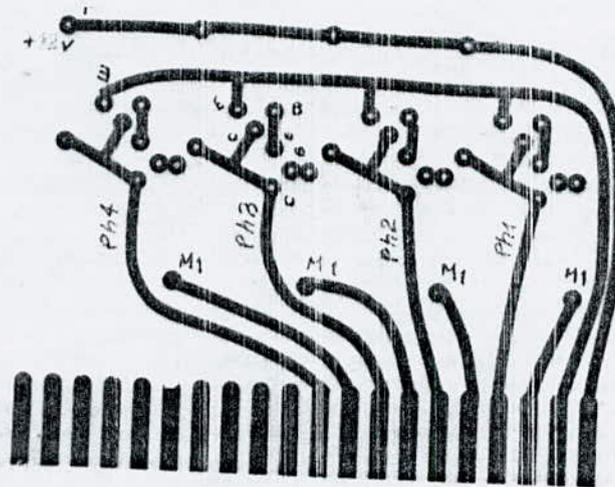
Circuit de la carte C.P.U



Circuit des capteurs



Circuit des butées



Circuit de la carte de puissance

Adaptation du site

Support des capteurs

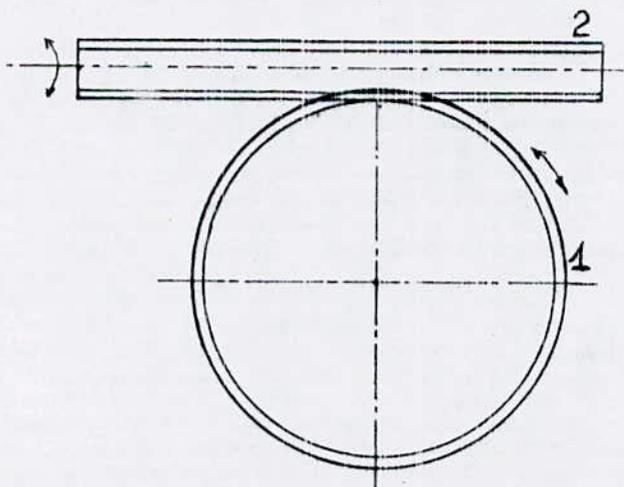
Roulements

Axe de rotation (azimuth)

Moteur

Pignon (1)

Vis sans fin (2)



Promotion: 88-89

E N P

LAKHAL Samir

HIKHI Sid-ali

Structure mécanique de l'héliostat

LISTE DES COMPOSANTS

Carte CPU

quantité

MC6802	1
MC6821	1
2716	1
74LS10	1
Quartz 2,46MHz	1
33pf	2
2,2 μ f	1
4,7k Ω	5
47k Ω	1
Connecteurs	3

Interface d'entrée

Carte "capteurs"

LM224	2
2N2222 (sciés=capteurs)	4
2N2222	5
10M Ω	1
100k Ω ajustables	10
100k Ω	15
47k Ω	6
22k Ω	1
10k Ω	6
3,9k Ω	4
1,5k Ω	5
1k Ω	5
470 Ω	5
BZX-55C 5V6	5
BAX 12	5
10nf	1

Carte "Butées"

14011	3
10k Ω	4

Carte de puissance

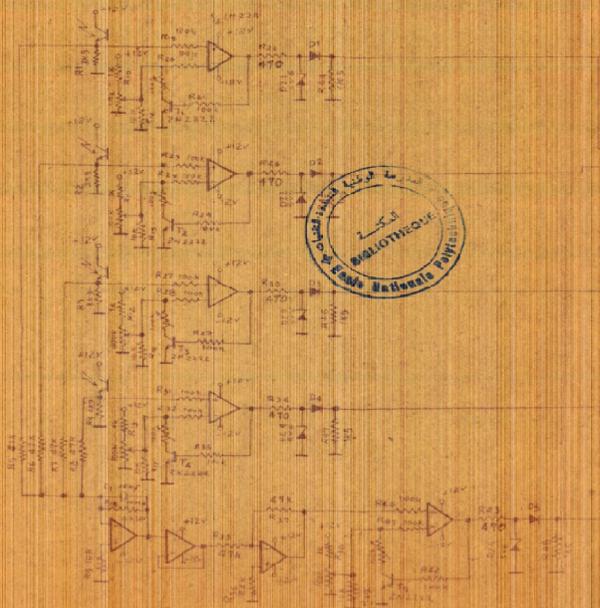
BC 237	4
BDT 95	4
100k Ω	4
Diodes (roue libre)	4

DESIGNATION DES ETIQUETTES

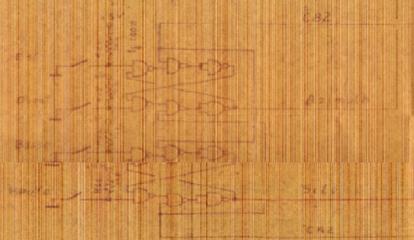
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

TININ: Test INItial Nuit
PRETO: Procédure RETour
RETAZ: RETour AZimuth
TOV : Test Occurrence de Vent
RETSB: RETour Site Bas
OVDET: Occurrence de Vent DETectée
RETSH: RETour Site Haut
ATJ : ATTente Jour
DEPSB: DEPlacement Site Bas
DEBFP: DEBut de Fonctionnement en Poursuite
FOP : FONctionnement en Poursuite
TSCC : TeSt Code Capteur
RCOC : Recherche COde Commande
CACOC: ChArgement COde Commande
EXCAV: EXécution Commande AVant
TECAR: TESt Commande ARrière
EXCAR: EXécution Commande ARrière
TECHA: TESt Commande HAut
EXCHA: EXécution Commande HAut
OBSHT: Occurrence Butée Site Haute Touchée
TECBA: TESt Commande BAS
EXCBA: EXécution Commande BAS
RTSCC: Retour TeSt Code Capteur
PTC : Programme de Temps Couvert
TSDS: Test Sens DEplacement Site
ODSBD: Occurrence Déplacement Site Bas Déteectée
GETEP: GENération de la TEMporisation de Poursuite
ATN : ATente de la Nuit
COPAV: COmmande d'un Pas en AVant
SCCAZ: Saut à Chargement Code AZimuth
COPAR: COmmande d'un Pas en ARrière
CCAZ : Chargement Code AZimuth
COPHA: COmmande d'un Pas en HAut
SCCSI: Saut à Chargement Code Site
COPBA: COmmande d'un Pas en BAS
CCSI : Chargement Code Site
CPB : Chargement du Port B
IMCLE: IMPulsion "CLEar"
IMPRE: IMPulsion "PREset"
IMP : IMPulsion
IDPSI: DéPlacement Site
IINCT: INitialisation du Compteur de Temporisations
ITNUI: Test NUIt
ITECT: TESt Compteur de Temporisations
IGETP: GENération de la Temporisation de Poursuite
IFVDE: Fin du Vent DETectée
IRPAZ: RePositionnement AZimuth
ITSMS: Test Sens du Mouvement Site
ICVAP: Calcul de la Valeur Absolue des Paramètres
IINVVP: INVersion des Paramètres
ISOUP: SOUstraction des Paramètres
IRPSI: RePositionnement Site

IRFOP: Retour au Fonctionnement en Poursuite
IRATN: Retour ATtente de la Nuit
TEMPP: TEMPorisation de Poursuite
TEMMO: TEMPorisation pour le MOteur
TEMIM: TEMPorisation pour l'IMPulsion

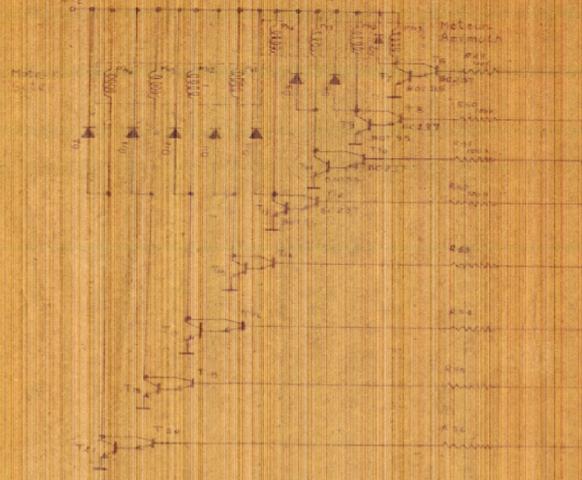
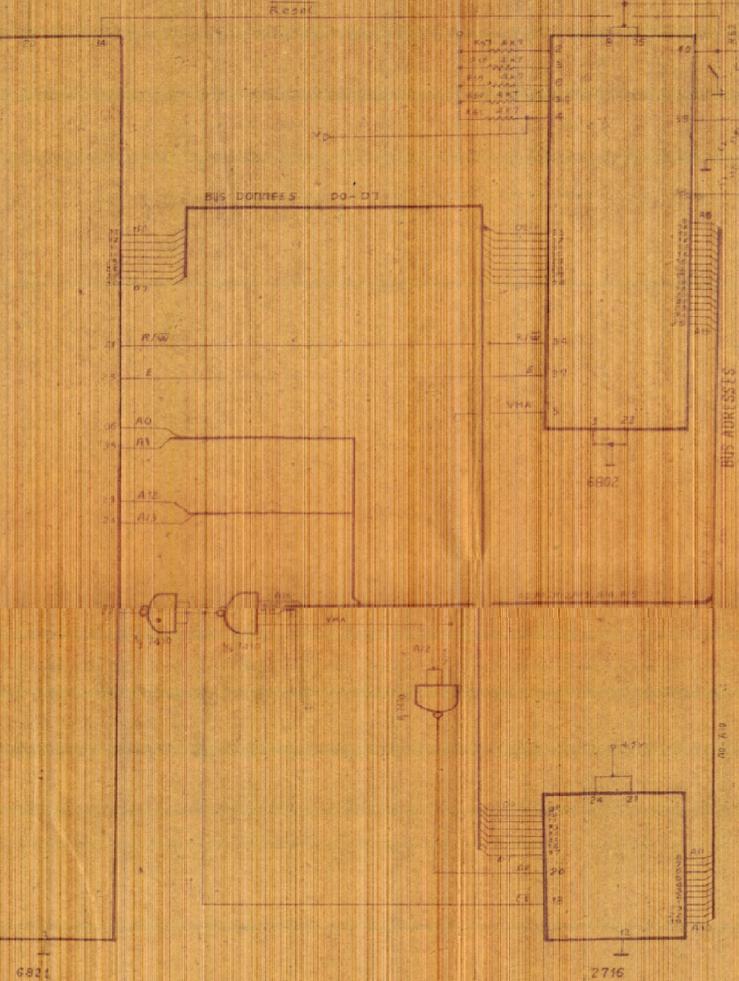


BUS ADDRESSES
A0
A1
A2
A3



PA0
PA1
PA2
PA3
PA4
PA5
PA6
PA7

PA0
PA1
PA2
PA3
PA4
PA5
PA6
PA7



Promotion: 88-89
LAKHAL Samir
CHIKHI Sid-Ali
Promoteur:
M^r HADDADI

E. N. P
Circuit électrique général