

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

5/83

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'ELECTROTECHNIQUE

2ea

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE



## PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET : REALISATION D'UN HELIOSTAT  
ET DE SA COMMANDE

PROPOSE PAR : Mr : M - HADDADI

REALISE PAR : Baouz - AIT KETTOUT

Salah - ZERKOUT

JANVIER 83

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ALGER

DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET D'ELECTROTECHNIQUE

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET : REALISATION D'UN HELIOSTAT  
ET DE SA COMMANDE

PROPOSE PAR : Mr : M - HADDADI

REALISE PAR : Baouz - AIT KETTOUT  
Salah - ZERKOUT

DEDICACES

- A mon père
- A ma mère
- A mes frères et soeurs
- A RACHID et RABAH
- A ma seconde famille
- A tous mes amis

BAOUZ

- A mon père
- A ma mère
- A mon frere SAMIR
- A toutes mes soeurs
- A toute ma famille
- A ma grande famille de la mosquée des étudiants
- A toute personne qui témoigne qu'il n'y a de dieu qu'ALLAH
- et que MOHAMMED est le messager d'ALLAH

SALAH

## R E M E R C I E M E N T S

Ce travail a été effectué au C.S.T.N dans le service "C.C.M"  
sous la direction de Mr HADDADI Professeur à l'E.N.P.A qu'il veuille  
bien trouver ici le témoignage de notre gratitude et de nos sincères  
remerciements.

Nous tenons aussi à remercier Mr BENMALEK Maître de conférence à  
l'U.S.T.H.B pour nous avoir accueillis dans son service.

Il nous est agréable de remercier toute l'équipe du C.C.M pour  
son accueil chaleureux et sa sympathique collaboration.

# S O M M A I R E

## INTRODUCTION

### CHAPITRE 1: LES PANNEAUX SOLAIRES

1- Généralités.....	2
2- Caractéristique.....	2
3 Utilisation.....	2

### CHAPITRE 2 : LES MONTURES.....

1-Monture Utilité des montures d'orienteurs.....	4
2-Different types de monture.....	
1-Monture équatoriale.....	6
2-Monture altazimuth.....	8
3-Monture universelle.....	12
4-Conclusion.....	14

### CHAPITRE 3: REALISATION

1-Principe.....	15
2-ETAGE COMPAREUR.....	18
3-Etage de commande.....	18
4-Fonctionnement du montage.....	18
5-Bascule RS SCHMITT.....	21
6-Commande par impulsions	
- Bascule RS.....	24
7-Etage de puissance.....	27
1-Principe.....	
2-Calcul des éléments du montage.....	
3-Rôle des diodes.....	
4-Choix des transistors.....	
Choix des diodes.....	

4 CONCLUSION.....	p. 30
-------------------	-------

## INTRODUCTION

L'énergie solaire est à l'heure actuelle en pleine évolution , car on pense la substituer aux énergies fossiles classiques. Mais pour des raisons de rendement et de coût, un capteur solaire doit recevoir la plus grande quantité d'énergie possible, ceci est valable pour les collecteurs thermiques comme pour les <sup>panneaux</sup> photo-voltaiques, ce qui implique que la surface de captage doit être à tout moment perpendiculaire aux rayons solaires. Un équipement doté d'un système de poursuite, permet d'augmenter jusqu'à 35% l'énergie reçue par le capteur par rapport au système statique.

Dans la pratique , le système de poursuite est un asservissement qui peut être réalisé de différentes façons ( avec senseur solaire , micro-processeur, ou la combinaison des 2 ).

Le but du présent ouvrage est de réaliser un des exemples cités précédemment.

## CHAPITRE 1

### LES PANNEAUX SOLAIRES

1-1 Généralités . Les panneaux solaires sont constitués par un assemblage de cellules photo-voltaïques qui ont pour rôle de convertir l'énergie lumineuse en énergie électrique.

1-2 Caractéristique des panneaux :

Elle varie avec l'éclairement ; si l'ensoleillement <sup>est faible</sup> donne une puissance captée ~~moindre~~, la puissance utile sera ~~moindre~~.

La figure (1-1) donne la caractéristique pour différents éclairements à <sup>la</sup> température ~~donnée~~ 25° .

1-3 Utilisation :

Le faible rendement des cellules solaires ( compris entre 5% et 18%) ne permet pas l'obtention de puissances importantes.

Les procédés utilisés pour améliorer ce rendement sont :

la concentration, la poursuite, et l'orientation des panneaux, ceci ayant conduit à la naissance des centrales solaires.

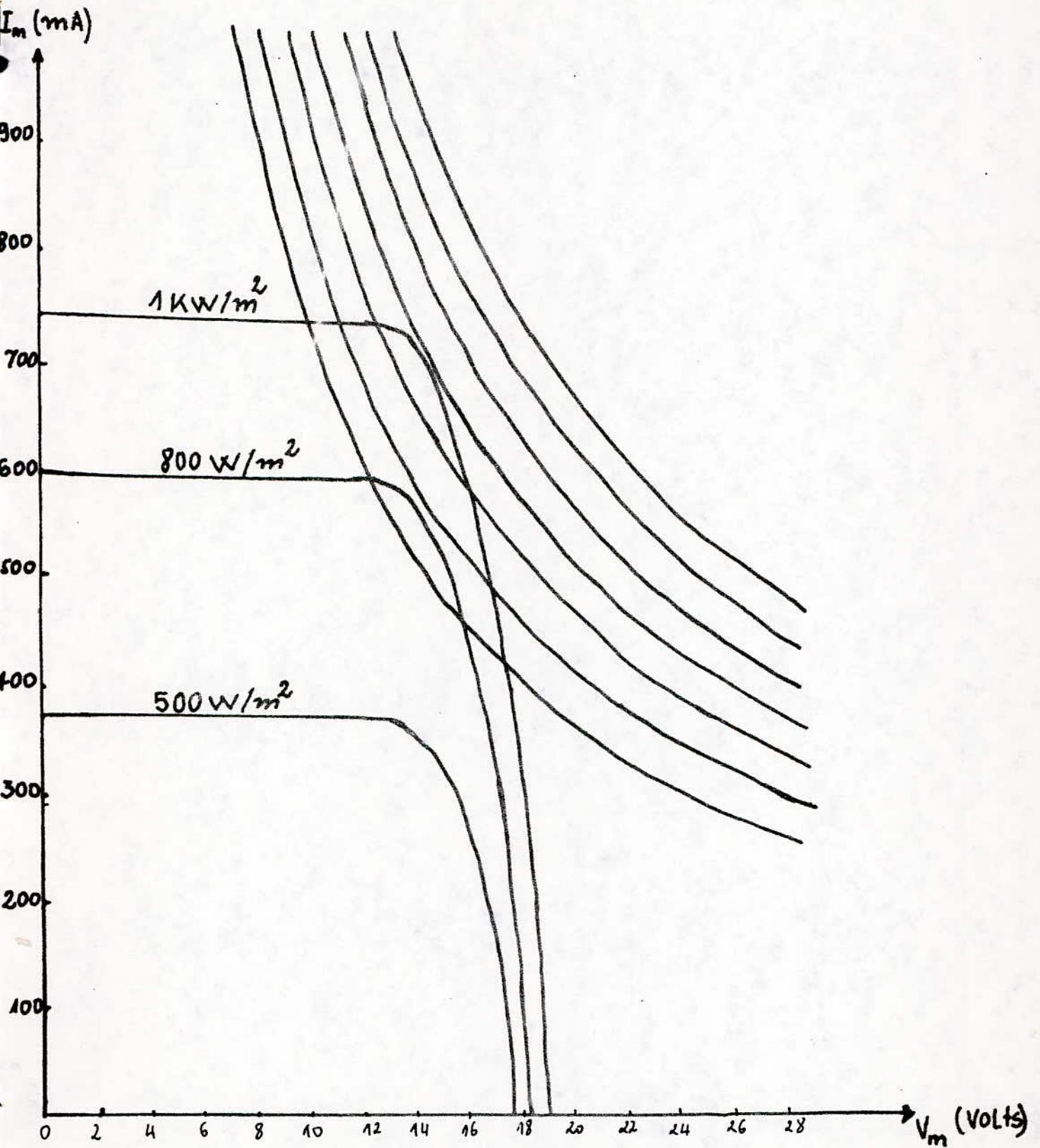


Figure - 1.1 -

## CHAPITRE 2 : LES MONTURES

### 1- Utilité des montures d'orienteurs.

Un élément de surface sur terre se trouvant perpendiculaire au rayonnement solaire, reçoit entre 0,09 et 0,12 W/cm<sup>2</sup> par beau temps suivant la latitude et l'altitude du lieu de réception. Mais le flux énergétique reçu par la terre dépend des périodes de l'année. Il est en effet plus important en été qu'en hiver au même lieu; cela est dû au mouvement de déclinaison du soleil. Ce même flux varie également au cours d'une journée en fonction de la hauteur du soleil au dessus de l'horizon. A cause de ces variations du flux, la collecte d'énergie à l'aide d'un panneau solaire peut se faire de plusieurs manières :

1 - Une orientation manuelle du panneau à chaque saison vers une direction où l'intensité du rayonnement serait maximale. Cette méthode nécessite l'intervention d'une personne à des moments précis de l'année.

2- Un système de poursuite automatique du soleil pour orienter le panneau normalement aux rayons solaires.

3- Orienter un panneau solaire une fois pour toute vers une direction pour laquelle l'énergie totale collectée durant l'année est maximale.

Pour cela, il faut orienter le panneau vers le sud et l'incliner d'un angle  $\theta$  voisin de celui de la latitude du lieu (pour ALGER  $\theta \approx 36^{\circ}37'$ ) ;

Puisque dans ce cas le panneau est monté de façon rigide, la variation de l'éclairement dans des conditions de ciel clair sont une loi en cosinus. La fig(4) montre la variation de l'intensité depuis le midi solaire jusqu'au coucher du soleil. La variation matinale est symétrique à cette courbe.

Quelques calculs simplifiés supposant les conditions d'éclairement solaire idéales à l'équinoxe donnent des valeurs d'énergie incidente et la proportion que peut convertir un panneau plan sans concentration.

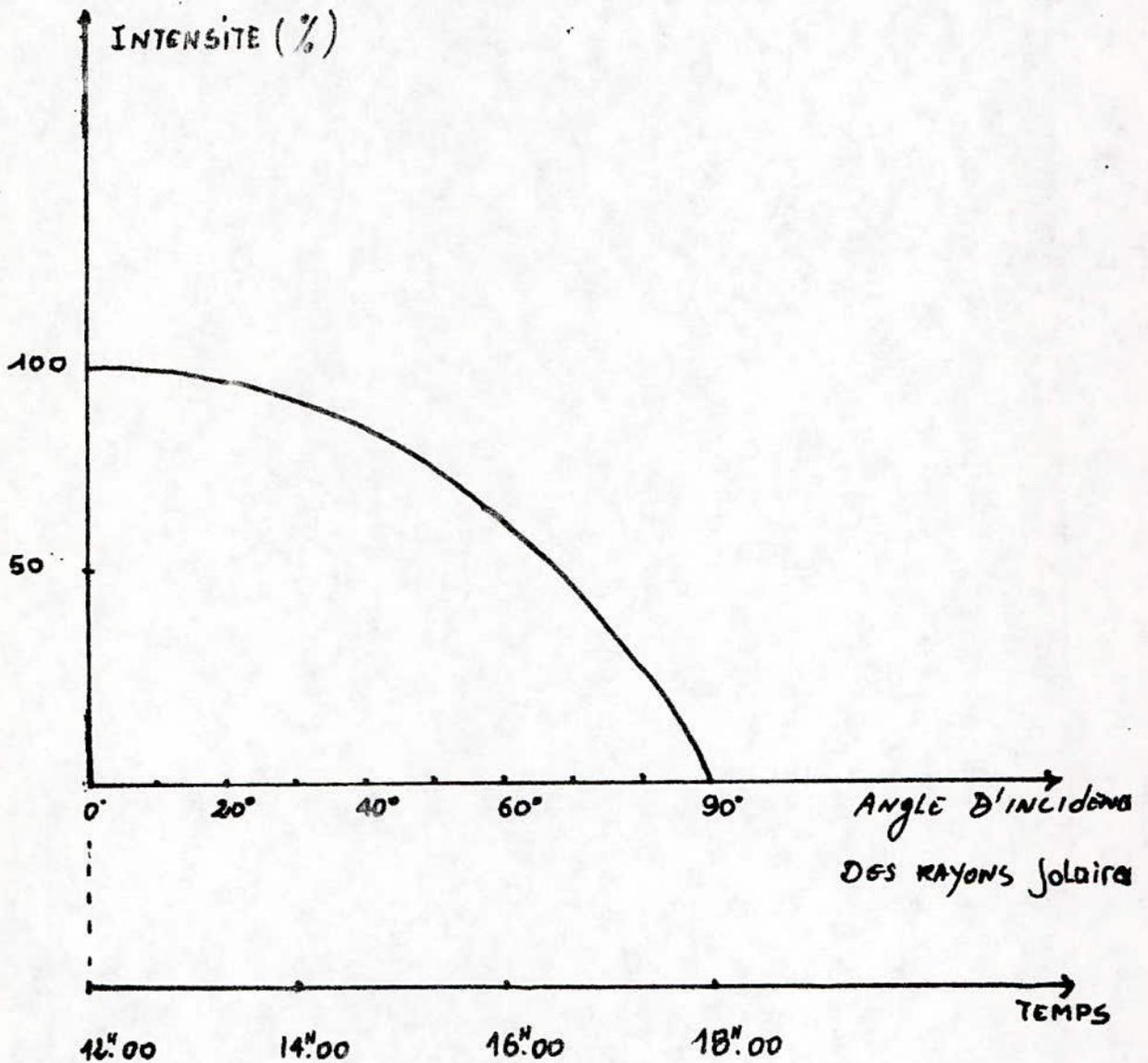


Figure-2.1- RAYONNEMENT SOLAIRE REÇU PAR UN PANNEAU  
FIXE A L'EQUINOXE :

Un panneau orienté reçoit 12 heures par jour une intensité maximale de  $1\text{KW}/\text{m}^2$   
NOUS OBTIENONS DONC  $6\text{KWh}$  pour une demi-journée.

En supposant que le rendement du panneau égale à  $50\%$ , pour la conversion de la lumière solaire, on peut extraire  $3\text{KWh}$  par demi-journée. D'après la courbe de la fig(21), on remarque que l'énergie totale incidente sur un panneau fixe l'après midi est proportionnelle à  $\int_0^{\pi/2} \cos \theta d\theta = 1$  au lieu de  $\int_0^{\pi/2} d\theta = \pi/2$  pour un panneau orienté; elle ne représente que  $1/(\pi/2) = 0,64$  de l'énergie reçu par un capteur orienté, soit  $4\text{KWh}$  par demi-journée. La fraction incidente de cette énergie entre 4h et 6h n'est pas du tout convertie.

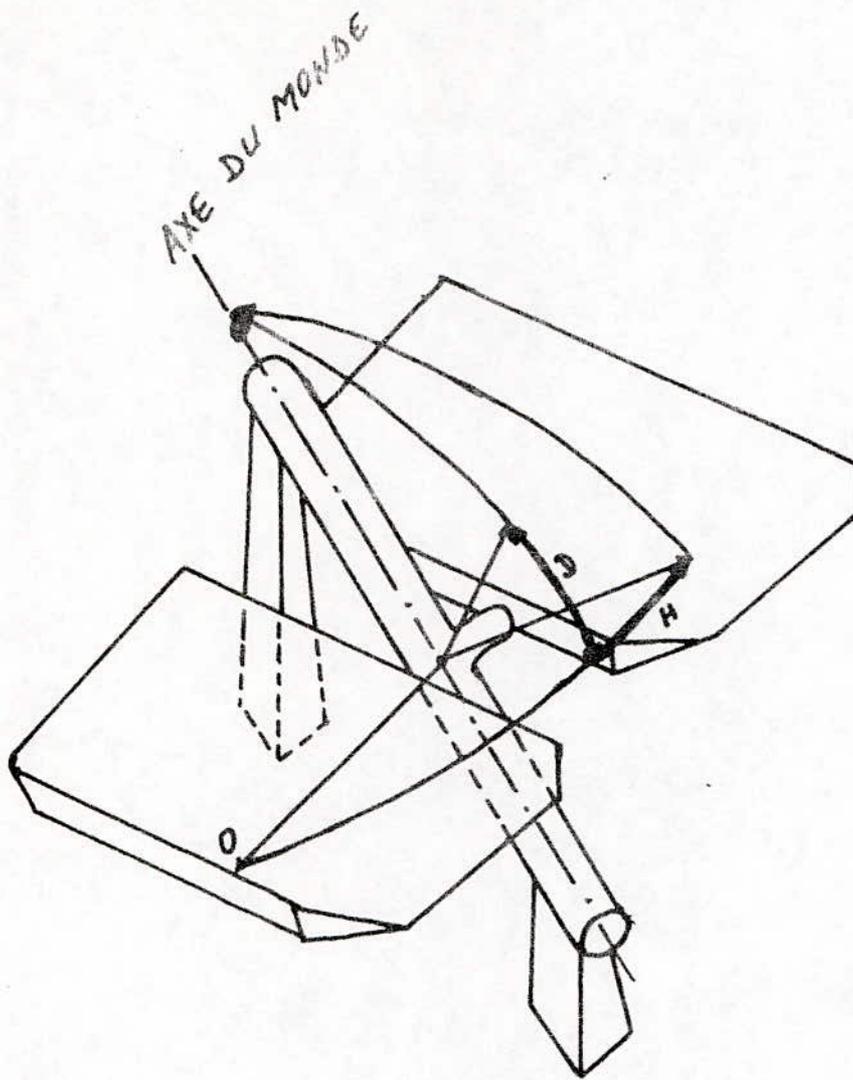
Donc, on peut conclure de ces considérations, qu'un panneau fixe fournit une quantité d'énergie 2fois moindre qu'un capteur orienté.

Alors l'idéal serait que les panneaux suivent le soleil.

## 2- DIFFÉRENTS TYPES DE MONTURES

### 2-1 Monture équatoriale

Les capteurs utilisant ce genre de monture ne demandent en principe qu'une rotation



D : DECLINAISON DU SOLEIL ,  $-23,45^\circ < D < +23,45^\circ$

H : ANGLE DU PLAN MERIDIEN PASSANT PAR LE SOLEIL  
PAR RAPPORT AU PLAN MERIDIEN DU LIEU PRIS  
POUR ORIGINE.

$$- \text{ARC COS} [- \text{tg} L . \text{tg} D] < H < + \text{ARC COS} [- \text{tg} L . \text{tg} D]$$

Figure. 2.2.1. PRINCIPE DE LA MONTURE EQUATORIALE

autour d'un seul axe. Ce dernier est lié au sol et parallèle à l'axe du monde (fig 2.1)  
Le cercle décrit autour de cet axe quand il suit le soleil est parallèle  
à l'équateur, c'est pourquoi en astronomie, ce dispositif est appelé: monture équatoriale

Une telle monture ne possède pas de singularité dans les vitesses de poursuite  
ni, de débattements.  $f -23,45 < D < 23,45^\circ$

La vitesse de rotation autour de l'axe de la terre est pratiquement constante  
tout le long de l'année, et la variation journalière de la déclinaison est négligeable,  
ce qui permet une régulation simple, qui se limite à une rotation régulière de  $15^\circ/\text{heure}$ .

Par contre cette monture présente des défauts inhérents à la complexité de ses  
structures mécaniques.

## 2-2 Monture altazimuth

Dans cette monture, les 2 axes d'orientation sont un axe horizontal et axe vertical  
lié au sol.

La fig (2.2) indique la définition de la hauteur et de l'azimuth du soleil.

On remarque d'après cette figure, que la vitesse de rotation autour des 2 axes  
doit varier continuellement en fonction de la déclinaison du soleil et de la latitude  
L. Dans le cas où la vitesse en azimuth du soleil ne sera plus bornée, elle  
devient infini. Donc ce point est un point singulier pour la monture altazimuth.  
Alors lorsque D est voisin de L et aux alentours de midi solaire, la vitesse  
rapide de la monture ne permet pas la poursuite du soleil.

Pour résoudre ce problème, on prévoit 2 solutions :

- la première est que l'actionneur de l'azimuth se mette en vitesse rapide jusqu'  
au moment où l'on obtient le dépointage nul, entre la normale de l'héliostat et

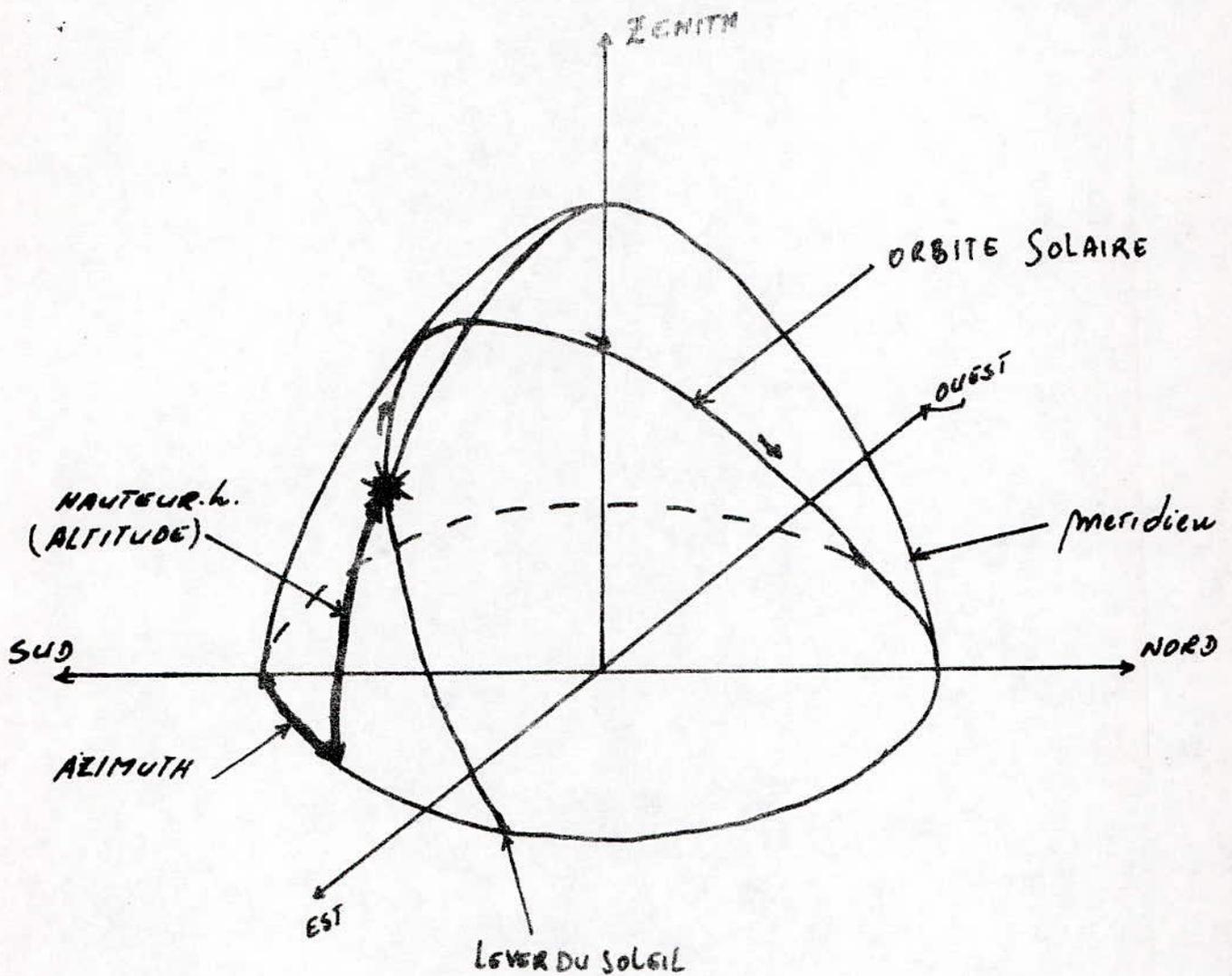


Figure 222. DEFINITION DE LA HAUTEUR ET DE L'AZIMUTH DU SOLEIL.

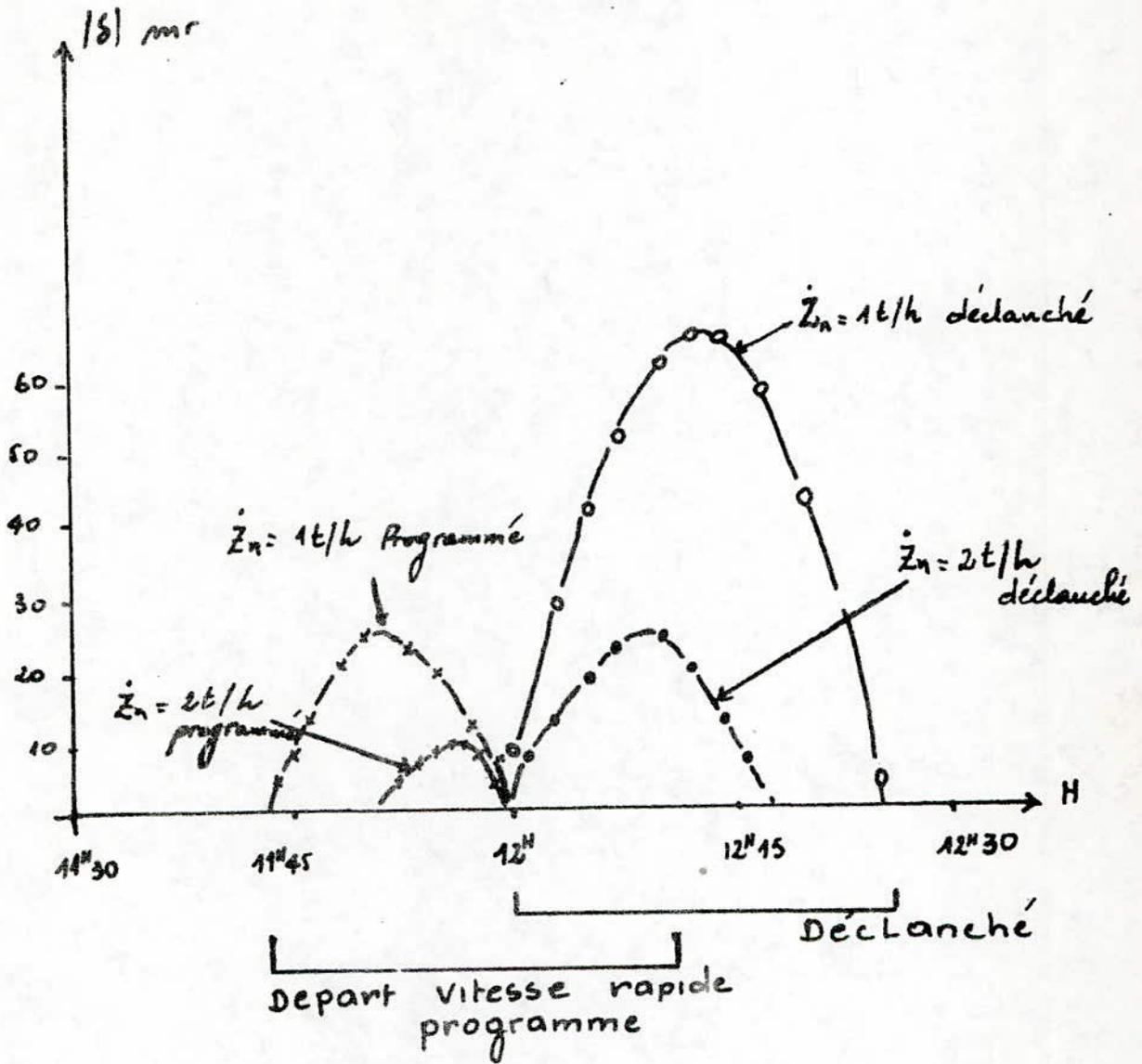
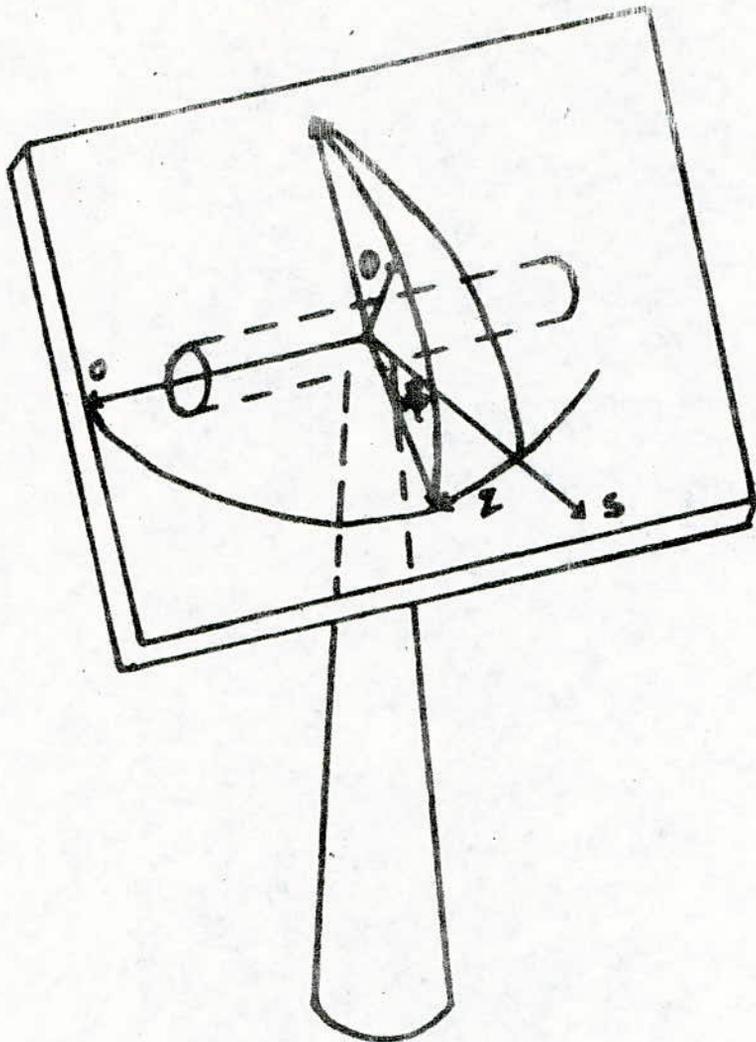


Figure 2.2.3. ERREUR DE DEPOINTAGE EN FONCTION DE L'HEURE POUR LE JOUR ET LE LIEU LES PLUS DEFAVORABLES ( $D = 22^\circ$ ;  $L = 22^\circ$ )



- DÉBATTEMENTS:  $\theta, \varphi$

$$\cos z = \frac{\sin D - \sin h \cdot \sin L}{\cos h \cdot \cos L} \quad \left( \dot{z}_{\max} = 15 \frac{\cos D}{\sin(L-D)} \text{ } ^{\circ}/\text{h} \right)$$

$$\varphi = 180 - z$$

$$\sin h = \cos L \cdot \cos D \cos H + \sin L \cdot \sin D$$

$$\theta = 90 - h$$

FIGURE.2.2.4. PRINCIPE DE LA MONTURE ALTAZIMUT

la direction du soleil. Cette solution ne sera possible que si l'asservissement de la monture est réalisé par un senseur solaire.

Mais afin de diminuer la valeur maximum de dépointage et de mieux la répartir autour de midi solaire, on utilise une solution programmée.

Dans ce cas la mise en vitesse rapide est commandée par une horloge de telle manière que la normale à l'héliostat soit en avance sur le soleil avant midi et coïncide avec lui juste à midi et d'après des courbes qui ont été tracées représentant le dépointage en fonction de l'heure (fig 2-3), on peut déduire la valeur maximum de dépointage ne dépend pas de la latitude ( $L < 25^\circ$ ) mais décroît quand la vitesse rapide d'azimut augmente et quand on utilise une vitesse programmée.

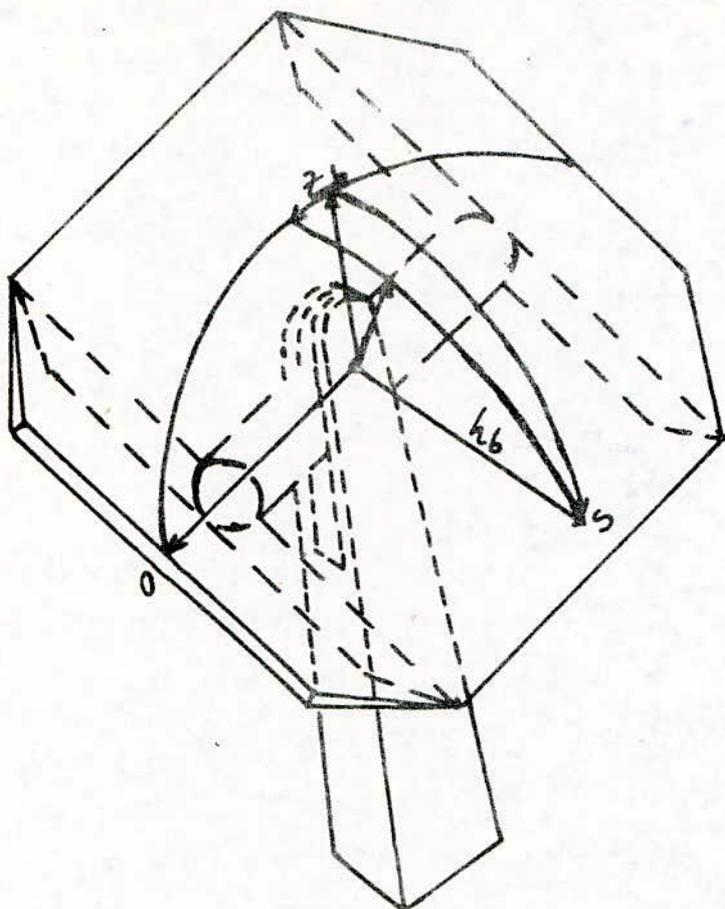
Par contre l'héliostat fonctionne sans problème pour les latitudes supérieures à  $25^\circ$  parce que l'égalité entre  $D$  et  $L$  n'est possible que dans l'intervalle  $(0, 25^\circ)$

Donc comparativement à la monture équatoriale, on parvient à un système mécanique plus simple aux dépens de la régulation qui devient plus compliquée.

### 2-3 Monture universelle

Un exemple du principe de cette monture est donné par la fig (2-4-5).

La vitesse de rotation autour des axes restent toujours bornées, donc cette monture ne présente pas de singularité de commande quelle que soit la déclinaison. On voit d'après la fig (5) que pendant la rotation autour des axes, aucun des cotés du panneau ne reste parallèle au sol, ce qui entraîne une faiblesse de stabilité autour du mât vertical (support); par contre, elle se prête bien à l'utilisation sur ses deux axes de cinématique d'entraînement, ce qui lui donne une extrême simplicité en minimisant la masse et la complexité de l'ensemble des structures de support et d'entraînement.



$Z_b$  : AZIMUT OBLIQUE  $0^\circ < Z_b < 180^\circ$

$h_b$  : SITE OBLIQUE

- DEBATTEMENTS DU PANNEAU

$$\psi = Z_b - 90^\circ \quad ($$

$$\eta = 90^\circ - h_b \quad (\cos h_b = \cos D \cdot \cos H \cdot \sin L - \cos L \cdot \sin D)$$

$$\sin Z_b = \frac{\cos L \cdot \cos h_b + \sin L \cdot D}{\sin h_b \sin L}$$

Figure. 2-2.5. PRINCIPE DE LA MONTURE UNIVERSELLE

### Conclusion

Malgré l'avantage d'une commande sans singularités , les montures équatoriales et universelles n'ont pas une utilisation généralisée en raison de la complexité mécanique de leurs structures .

On préfère utiliser la monture altazimuth, surtout aux latitudes supérieures à 25°.

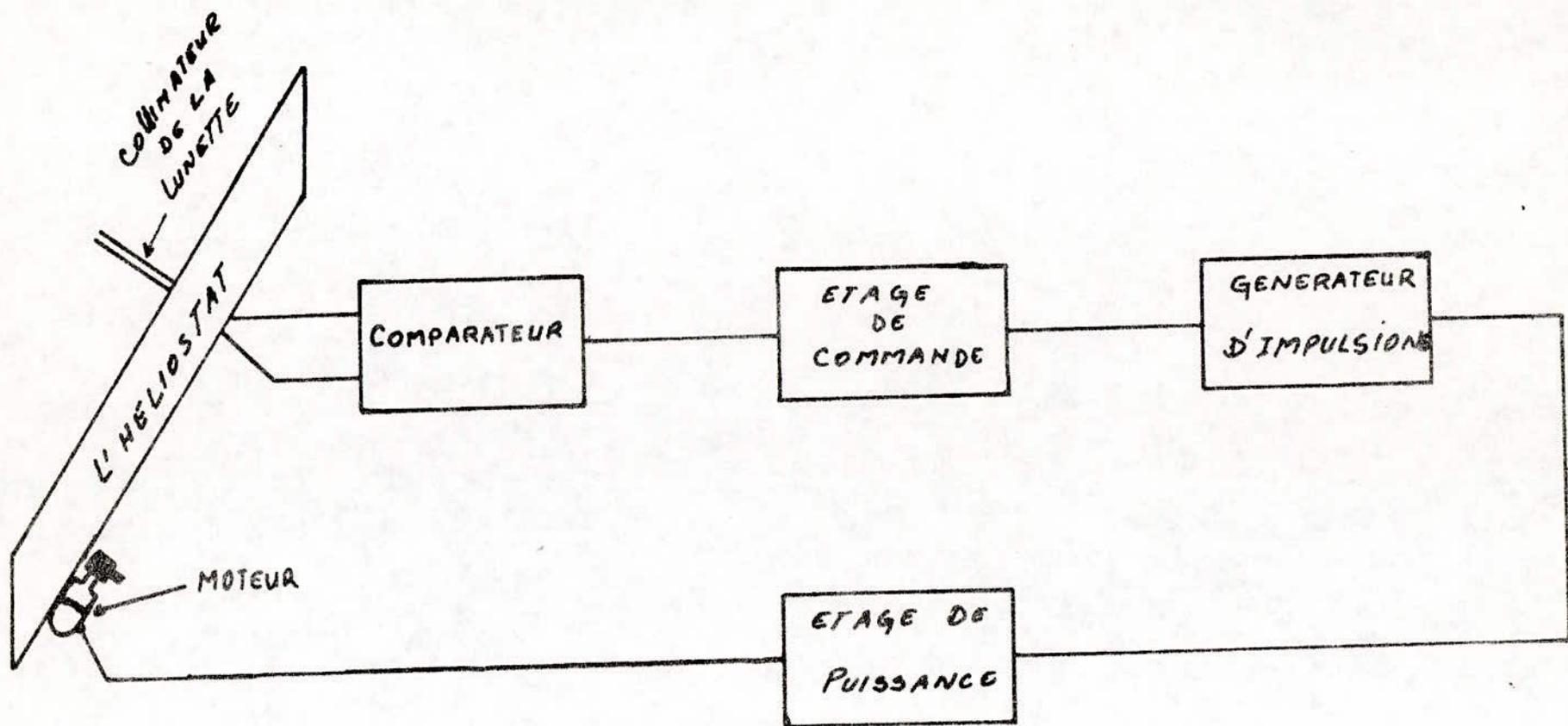
CHAPITRE 3

REALISATION

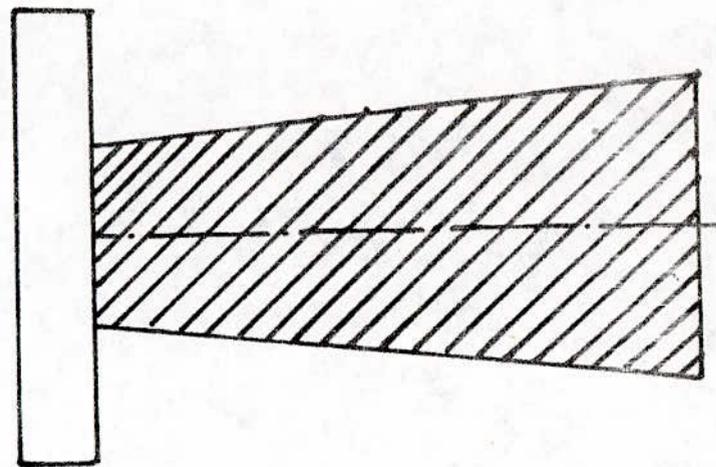
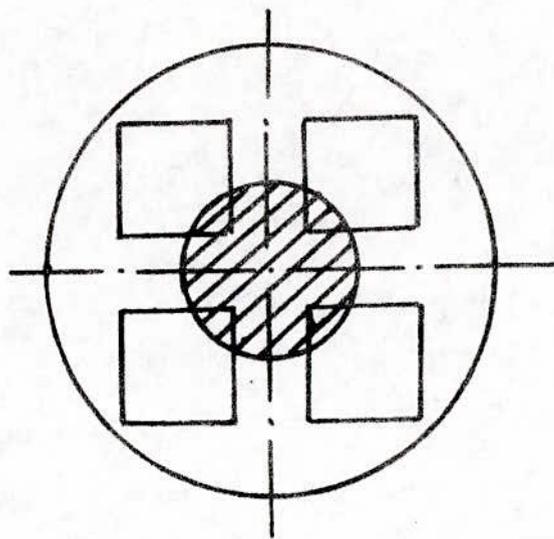
3- 1 Principe: Les systèmes d'orientation peuvent utiliser soit la mesure en temps réel de la position du soleil (à l'aide de capteurs opto-electroniques), soit les coordonnées de déplacement du soleil calculées à l'aide d'un micro-ordinateur.

Dans le 1er cas, le capteur de mesure est constitué par des éléments photosensibles (photo-resistances, photo-transistors, photo-diodes, ou cellules photo-voltaiques) montés de manière à fournir une tension de sortie nulle lorsque l'orientation du panneau coïncide avec celle du soleil et une tension d'erreur positive ou négative ordonnant respectivement la marche avant ou arrière de l'héliostat en cas de non-coïncidence.

Le capteur est solidaire du panneau et suit ce dernier dans ses déplacements.



PRINCIPE DE L'AUTOMATISATION D'UN HELIOSTAT



DISPOSITION DES CELLULES AU FOND  
DE LA LUNETTE

3-2 Comparateur: Nous utiliserons un ampli operationnel monté en soustracteur fig(3.1) .La caractéristique de transfert de l'ampli operationnel aura une zone linéaire correspondant à la position au repos de l'héliostat, fig(3.2.2) pour optimiser l'énergie reçue ,on a intérêt à réduire la zone de linéarité si bien que le rôle de l'ampli peut être assimilé à celui d'un comparateur.

3-3 Etage de commande: utilise un discriminateur à fenêtre et mémoire ayant pour rôle de délivrer l'ordre de marche avant ou arrière; il possède 3 seuils

- un pour la marche avant  $V_1$
- un pour la marche arrière  $V_2$
- UN  $V_3$  QUI interviendra dans le repositionnement de l'héliostat.

- Utilité des 3 seuils:

Ils évitent une marche continu du moteur. A chaque apparition du signal d'erreur , on positionnera l'héliostat de façon qu'il soit en avance par rapport au soleil d'un angle  $\theta$  .

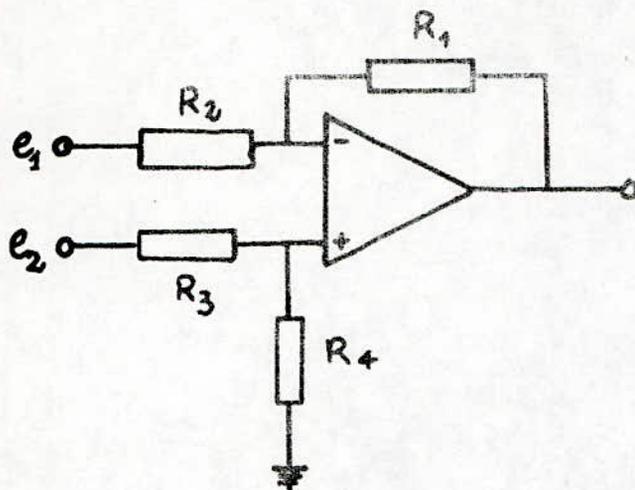
Le schéma synoptique de l'étage de commande est donné par la figure(3.3.2)

3-4 Fonctionnement du montage : nous considererons 2 cas :

1- La tension  $V_d$  à la sortie du comparateur est supérieure à  $V_1$  seuil du 1er trigger; ce dernier basculera et un "1" apparaîtra à l'entrée "SET" de la bascule qui verra sa sortie passer à "1" également  $MAV=1$  .Le moteur est mis en marche Avant, faisant tourner l'héliostat, alors  $V_d$  diminuera conduisant à remettre à "0" l'entrée "S" de la bascule; mais la sortie "Q" reste à "1" . Lorsque  $V_d$  atteint  $V_3$  ,seuil du trigger 3, R passe à "1" et met  $Q=0$ , ce qui arrêtera le moteur .

2- Supposons maintenant que  $V_d$  soit inférieur à  $V_2$ :

Le trigger basculera et  $MAR=1$ ,  $V_d$  commencera à augmenter jusqu'à atteindre le second seuil du trigger 2  $V_2=V_3$  qui basculera de nouveau  $MAR=0$



$R_1 = R_4$   
 $R_2 = R_3$  ;  $V_3 = (e_2 - e_1) \frac{R_1}{R_2}$

Figure 3.2.1

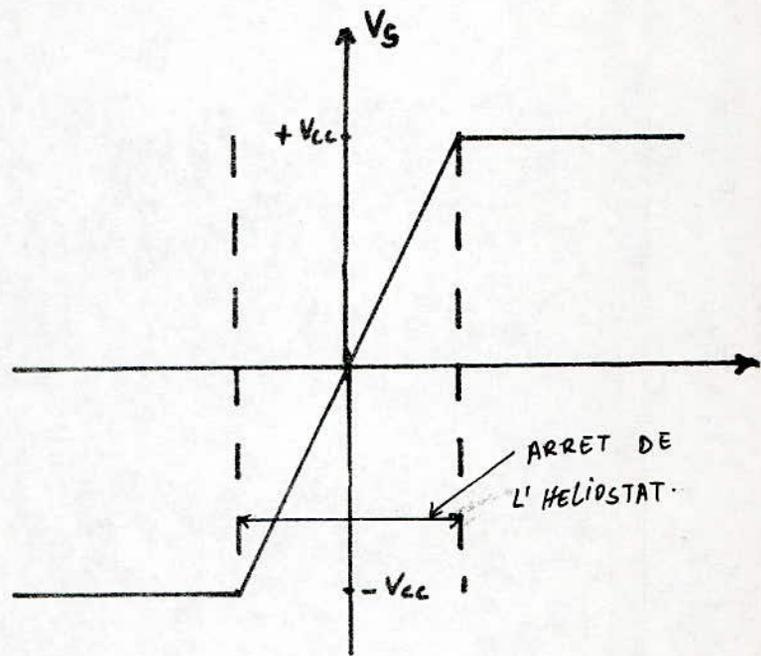


Figure 3.2.2

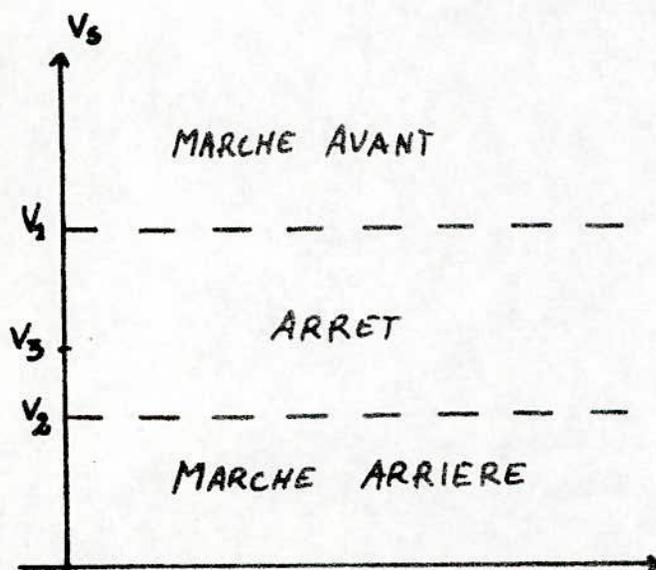


Figure 3.3.1

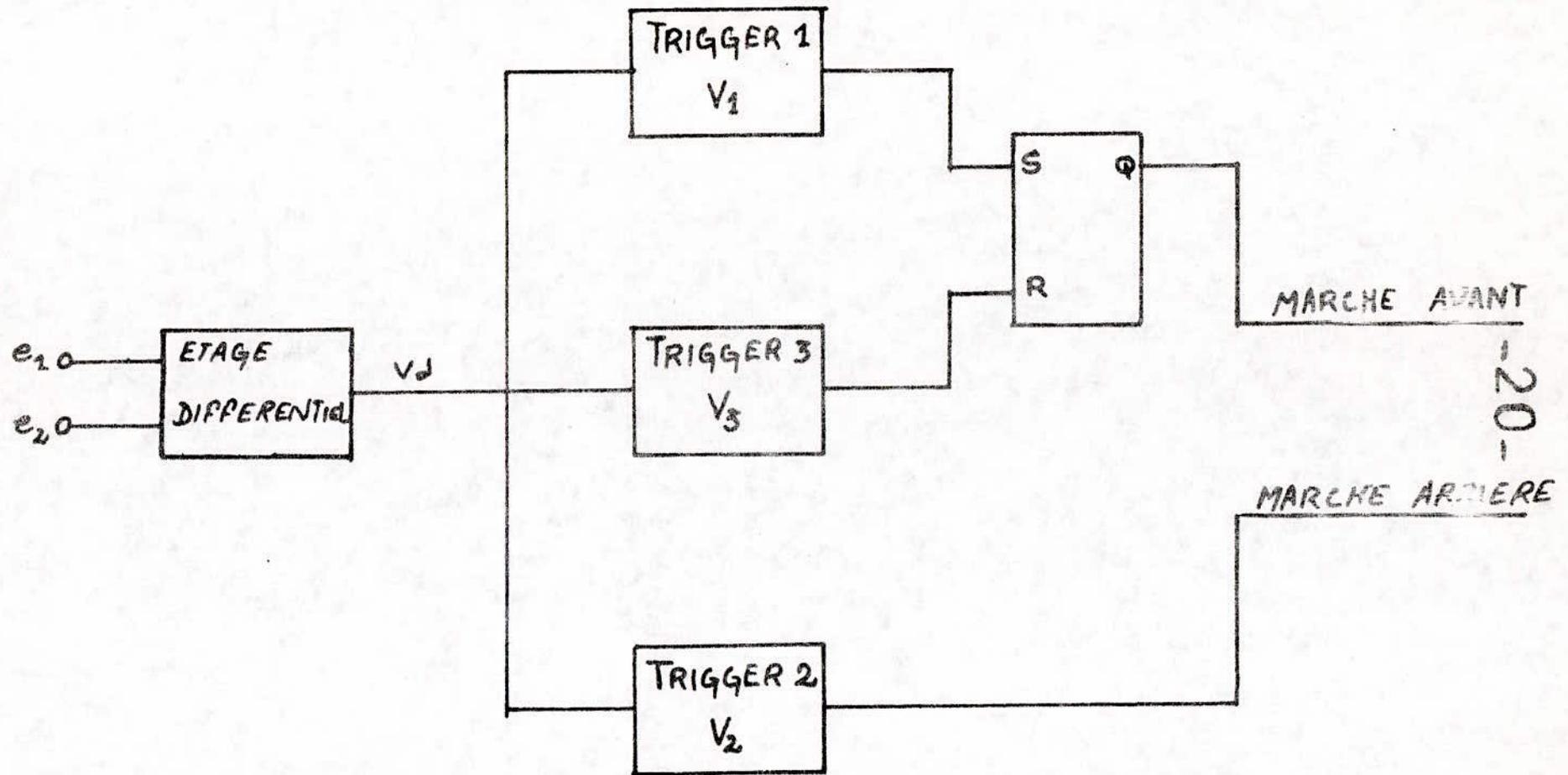


Figure-3.3.2-SCHEMAT SYNOPTIQUE DE L'ETAGE DE COMMANDE ET L'ETAGE DIFFERENTIEL

Notons que le 1er seuil du 2eme trigger est atteint lorsque  $V_d$  décroît négativement. Les valeurs numériques des différents seuils sont les suivantes:  
 $V_1=5v$   $V'_1=4v$ (2d seuil)  $V_2=-6,5v$   $V'_2=-5v$   $V_3=5v$

3-5 Bascule ou "trigger" de SCHMITT :

La bascule de SCHMITT est utilisée pour transformer en variation brusque de tension une variation lente.

Son principe réside dans l'emploi du montage amplificateur fig (c), auquel on a ajouté le couplage du collecteur de T1 à la base de T2 par R4-R5 qui est une réaction; si celle-ci devient forte, le montage ne peut rester où les 2 transistors débitent, il faut que l'un des 2 soit bloqué.

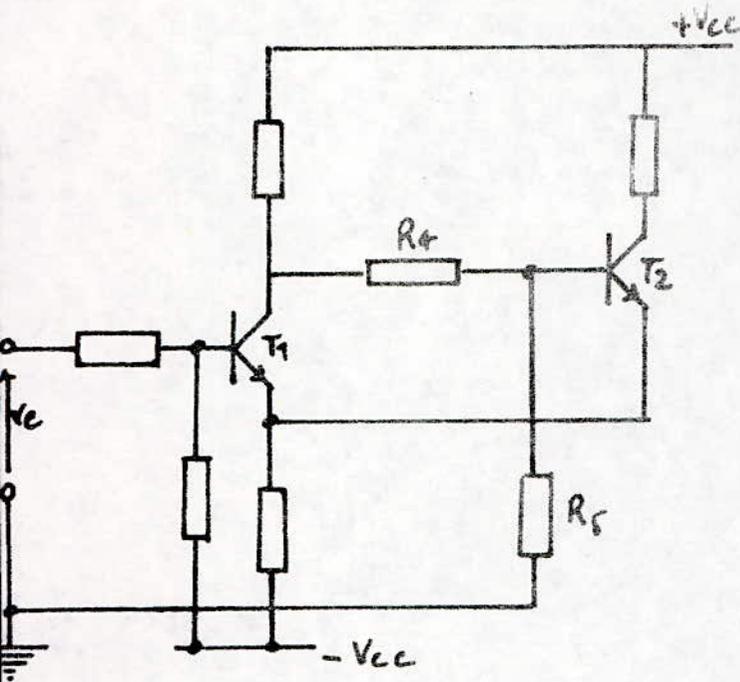
Une caractéristique de ce montage est que le basculement est très rapide et n'est pas influencé par la vitesse avec laquelle on franchit le seuil.

- Seuil de basculement :

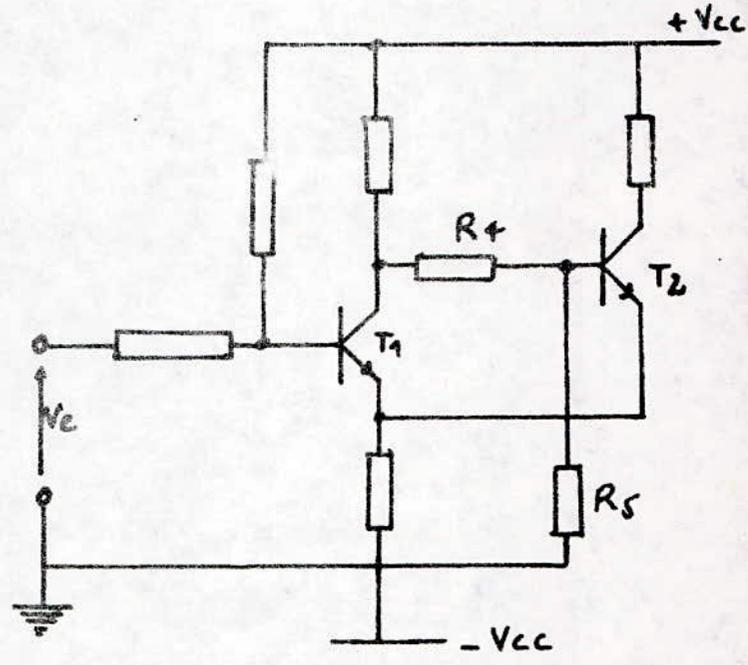
La transition de l'un vers l'autre des 2 états possibles, ne dépend que de la tension  $V_e$  appliquée sur la base de T1. Supposons que T1 est saturé et T2 bloqué; le potentiel de la base de T1 excède  $V_{E1}$  d'au moins 0,6v, T1 se bloque quand  $V_{B1}$  descend en dessous de  $V_{E1}$  qui constitue donc le seuil inférieur de basculement.

Si au contraire, T1 est bloqué, il se sature quand  $V_{B1}$  franchit en montant la valeur  $V_{E'1}$  qui constitue donc le seuil supérieur de basculement.

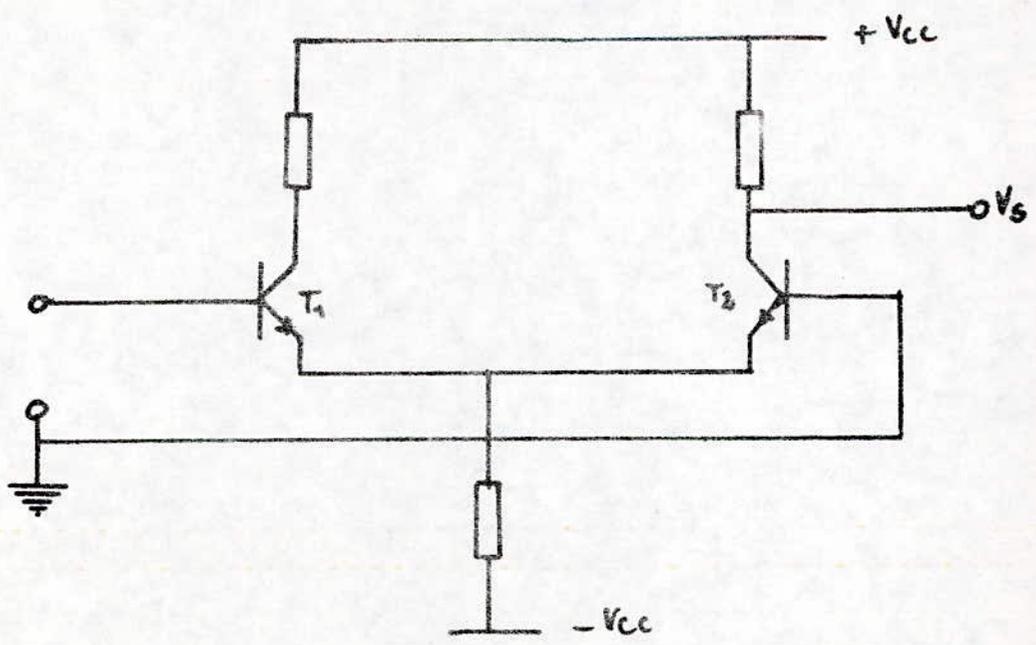
Finalement, la tension d'entrée variant selon une loi quelconque, la correspondance entre cette tension de commande, et la tension de sortie  $V_s$  est illustrée par la fig (3-5-1)



MONTAGE a.  $T_1$ : BLOQUE  
 $T_2$ : SATURÉ



MONTAGE b.  $T_1$ : SATURÉ  
 $T_2$ : BLOQUÉ



MONTAGE c.

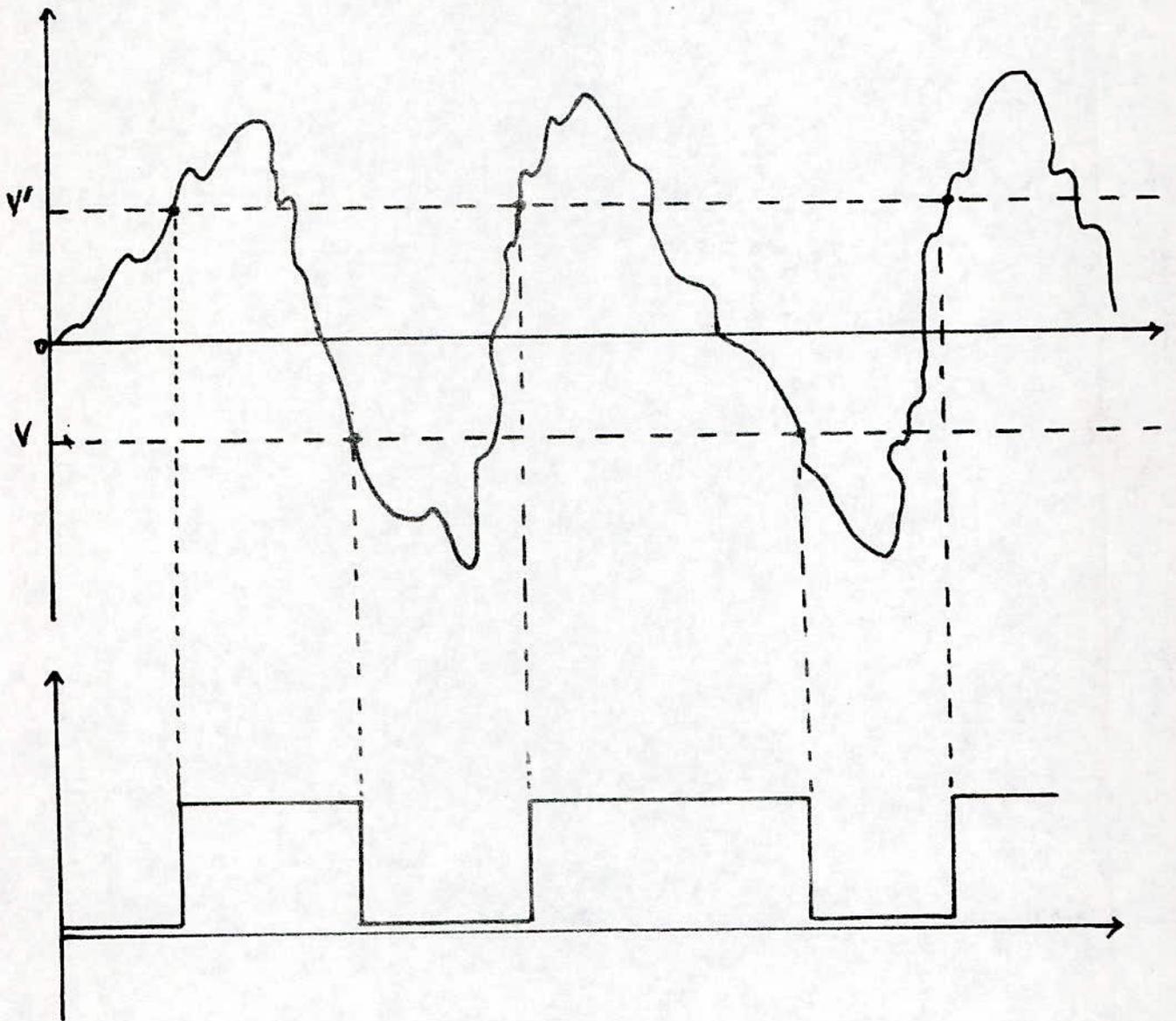


Figure. 3-5-1 SEUIL DE BASCULEMENT

3- 6 Bascule RS :

C'est un circuit séquentiel possédant 2 entrées et 2 sorties, telle que si

les variables d'entrée passent de 0 à 1 , la sortie correspondante passe également de 0 à 1, mais le changement de 1 à 0 laisse l'état de sortie inchangée.

D'après le tableau de la fig 3-6-1 :  $Q = S + \bar{R}Q$

LE schéma de la bascule est donné par la fig 3- 6 -2

$\begin{matrix} S \\ R \\ Q \end{matrix}$	00	01	11	10
0	0	0	$\phi$	1
1	1	0	$\phi$	1

Figure. 3.6.2 - TABLEAU DE KARNAUGH DE LA BASCULE . R.S

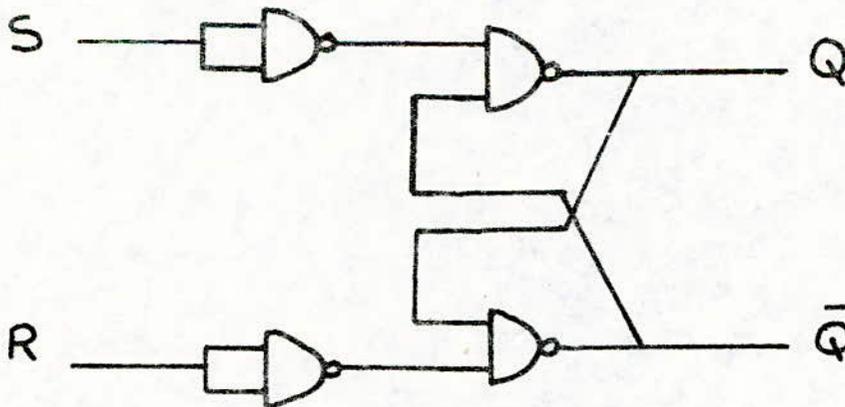
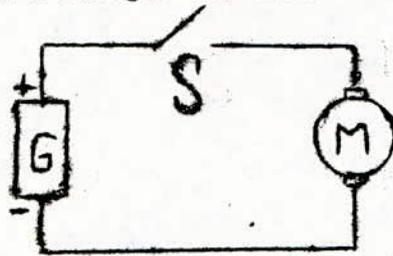


figure. 3.6.1. REALISATION DE LA BASCULE R.S AVEC DES PORTES NAND

Générateur d'impulsions:

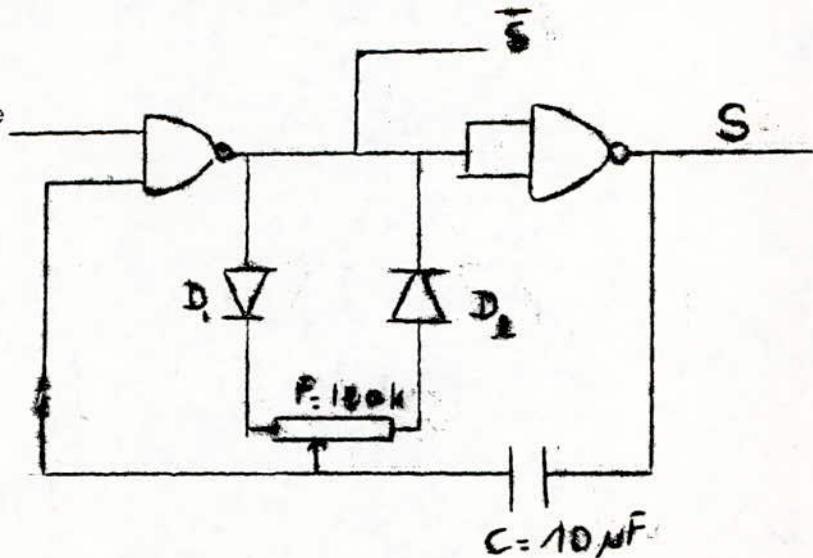
Principe: La vitesse d'un moteur peut être commandée par variation de la tension qui lui est appliquée. C'est le procédé classique, ne nécessitant qu'un rhéostat; dans ce cas, une partie de l'énergie fournie par la source est perdue dans le rhéostat. Un procédé qui ne donne pas lieu à une perte d'énergie est celui indiqué ci-dessous:



si l'interrupteur S est constamment fermé, le moteur est alimenté en permanence, sa vitesse sera la plus élevée; si on coupe le contact, périodiquement, on fait varier le courant qui alimente le moteur, et ainsi sa vitesse est réduite.

Montage proposé: C'est une horloge formée de 2 portes Nand à rapport cyclique variable.

commande extérieure



### 3-7 Etage de puissance

4 - L'étage de puissance doit permettre la rotation du moteur dans les 2 sens. Le principe de fonctionnement est donné par la fig 3-7-1 : pour la commande d'un sens de rotation, les interrupteurs K1 et K'1 sont fermés, K2 et K'2 ouverts. Pour l'autre sens inverse, K2 et K'2 sont fermés, K1 et K'1 ouverts. Le montage proposé est donné par la fig 3-7-2 : Les interrupteurs K1, K2, K'1, K'2 sont des transistors de puissance. En présence d'un niveau 1 sur la base de T1, ce transistor conduit entraînant la saturation de T2 et T'2 : le moteur tournera dans un sens.

- Un niveau 1 sur la base T3 amènera la rotation du moteur en sens inverse.

- 3-7-2 Calcul des éléments du montage : fig ( 3-7-2)

Lorsque T1 conduit, choisissons -le saturé :

on prend  $V_E=1V$  et  $I_c=40\text{ mA}$   $R_3=1/40 = 25\ \Omega$

Pour que K1 conduise (BD 434), il faut que le potentiel de sa base soit au moins à 11V, donc  $R_2 = \frac{11 - 1,8}{40} = 230\ \Omega$   $R_1 = 1/40 = 25\ \Omega$  où  $R_4 = 10k\ \Omega$

3-73 Rôle des diodes : Les diodes placées entre émetteur et collecteur des transistors de puissances servent de protection (diode de roue libre). Elles dérivent vers la masse l'extra courant de rupture qui se produit à l'arrêt du moteur.

3-7-4 Choix des transistors et des diodes : Le courant nominal du moteur étant de 0,5 A, nous avons choisi les transistors BD 433, BD 434 qui ont un  $I_{Cmax}$   $I_{Cmax}=4A$  et une puissance dissipé à 25°C de 36W; comme le moteur nécessite une puissance de  $0,5 \times 12=6W$  la présence de radiateurs n'est pas indispensable.

3-7-5 choix des diodes : elles seront des diodes de protection : 1N4003 ou 1N4004.

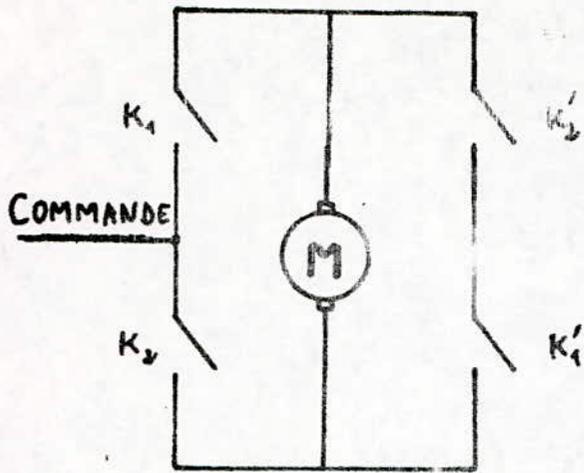


FIGURE 3.7.1

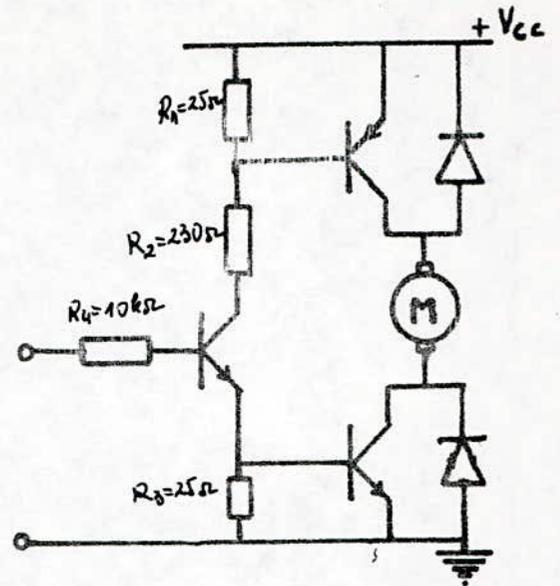


FIGURE 3.7.3

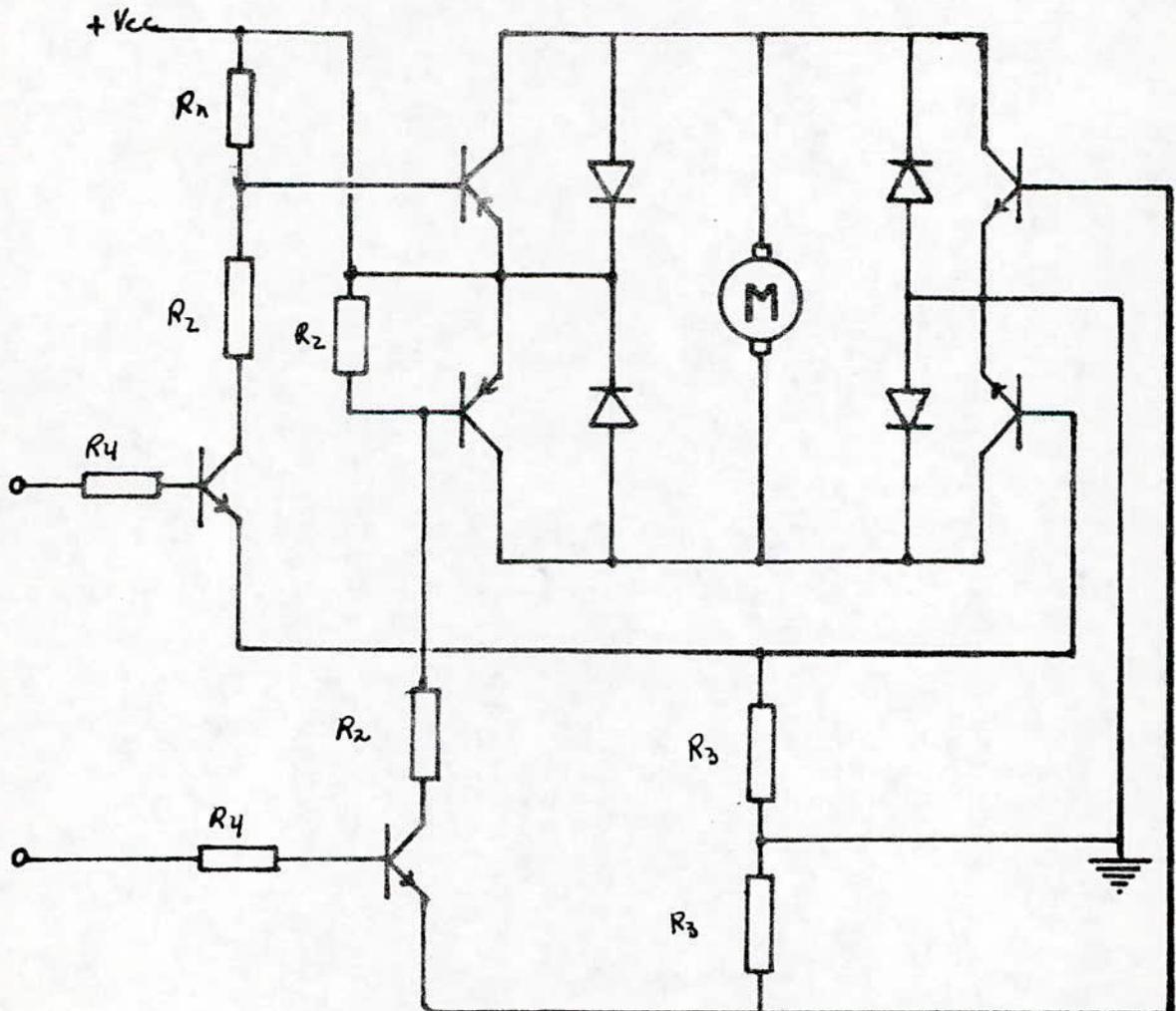
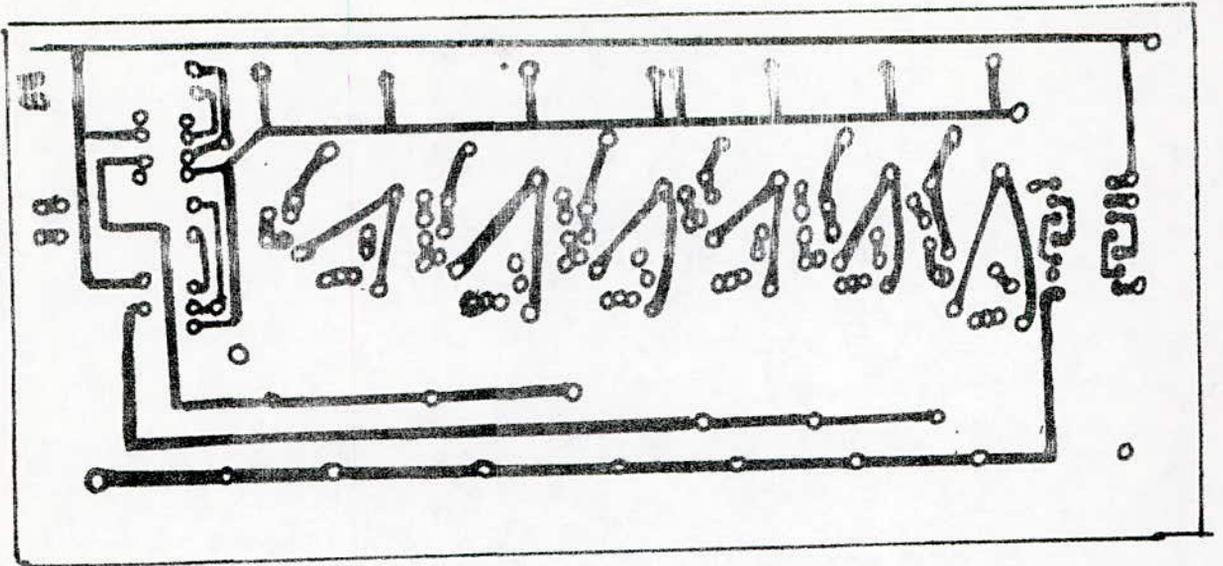
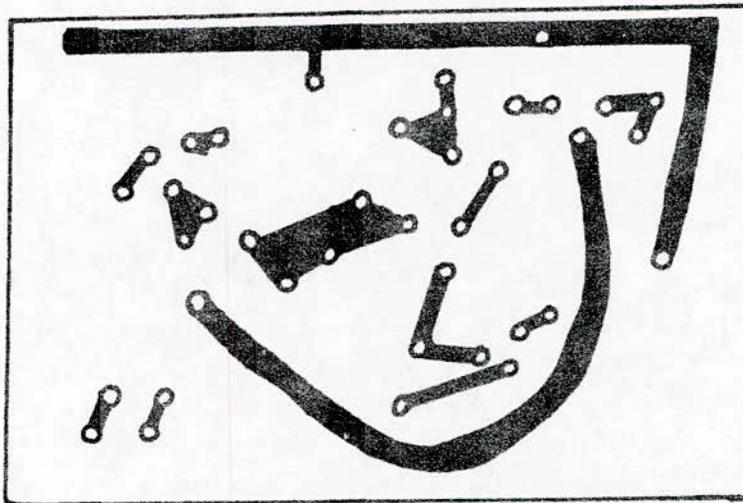


FIGURE 3.7.2 ETAGE DE PUISSANCE



CIRCUIT IMPRIME DE L'ETAGE DIFFERENTIEL  
ET L'ETAGE DE COMMANDE.



CIRCUIT IMPRIME DE L'ETAGE DE PUISSANCE

### CONCLUSION

Nous nous sommes intéressés en premier lieu à réaliser l'asservissement de l'héliostat par temps clair , afin qu'il soit à tout moment orienté vers le soleil.

Il restera à apporter quelques améliorations telles que :

la mise en marche et l'arrêt automatiques , le fonctionnement par temps couvert et Ceci peut se réaliser à l'aide de quelques circuits simples de logique et d'une horloge.

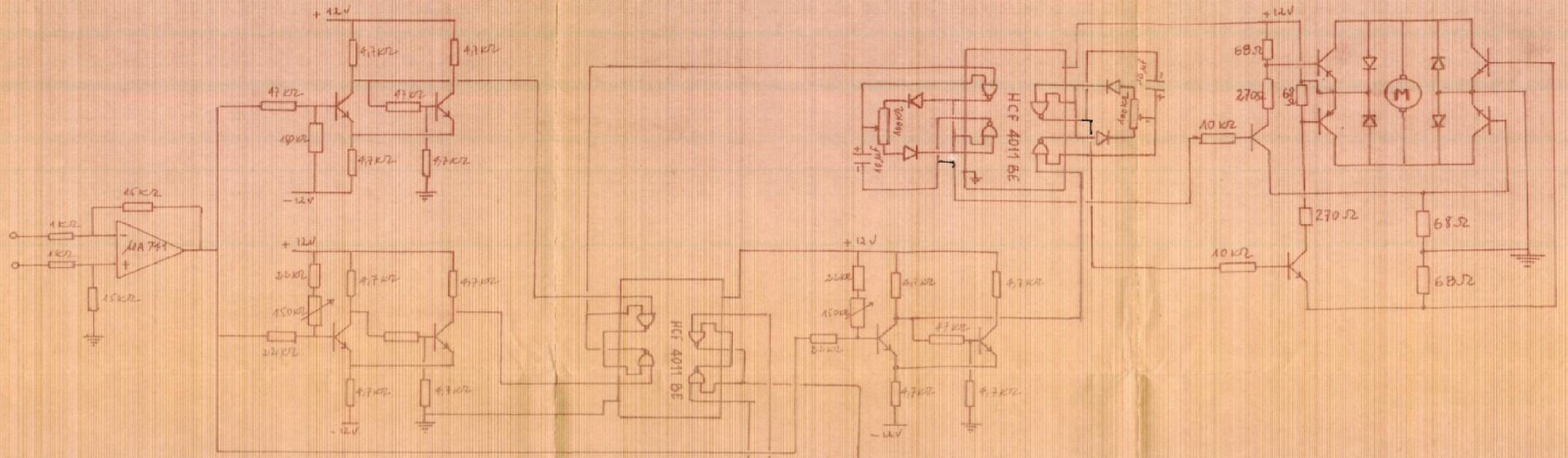
## B I B L I O G R A P H I E

- Note Interne LAAS N° 78.1.31 1ere, 2eme Partie

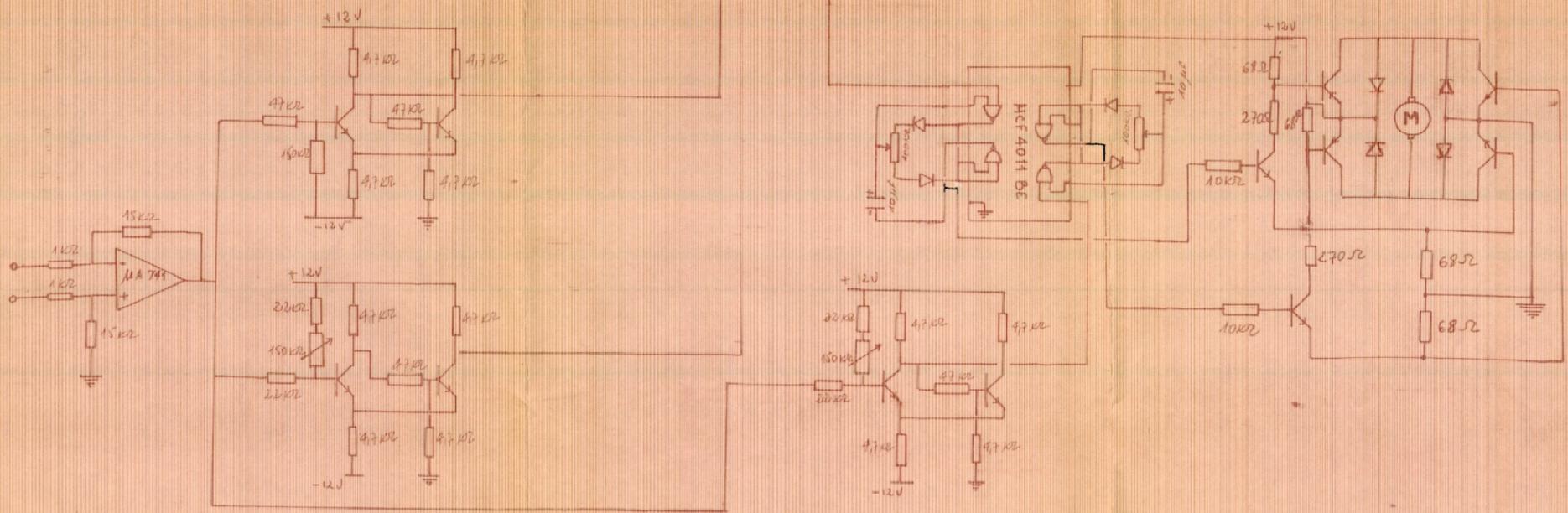
- Sciences et Avenir n° 19 page s 40,41

- Radio-plans n° 393 (Août 1980) page 32

COMMANDE EN AZIMUT



COMMANDE EN SITE



REALISATION DE LA COMMANDE D'UN HELIOSTAT