

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
«O»

4/85

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
«O»

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER  
«O»

DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE  
«O»

PROJET DE FIN D'ETUDES  
«O»

en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

Systemes électrique et  
electrohydraulique d'orientation  
automatique d'un capteur solaire

Proposé et dirigé par :

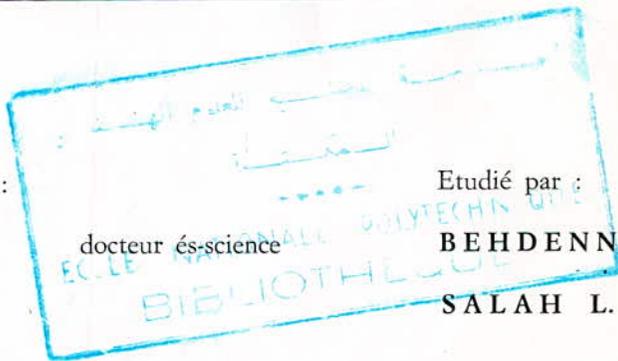
M. Z. BARSKI

docteur ès-science

Étudié par :

BEHDENNA A.

SALAH L.



Promotion Janvier 1985

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
المكتبة  
-----  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
«O»

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
«O»

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية  
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER  
«O»

DEPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE  
«O»

PROJET DE FIN D'ETUDES  
«O»

en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état

*Systemes électrique et  
electrohydraulique d'orientation  
automatique d'un capteur solaire*

Proposé et dirigé par :

M. Z. BARSKI docteur és-science

Etudié par :

BEHDENNA A.

SALAH L.

Promotion Janvier 1985



Dedicaces.

A mon pere

A ma mere et grand.mere et tante

A tous mes freres et soeurs

A toute La famille Behdenna

A toute La famille Boudarn.

A tous mes amis et amies.

Abdelhafid.

! A mon père

A ma mère

A tous mes frères et <sup>me</sup>soeur

A mon neveu SABEUR-AMINE

A tous mes parents

A tous mes amis

SALAH-LAMRI

## Remerciements:

Nous remercions vivement notre promoteur  
Z. BARSKI Dr. es science de nous avoir  
aidé et corrigé à l'élaboration de ce  
projet de fin d'étude.

Nos remerciements vont également à  
ceux qui nous ont aidé dans notre travail  
et à notre formation.

## العنوان: أنظمة كهربائية وكهرومائية لتحريك وتوجيه الأقنية شمسية

الملاحظ: يتحمل مشروعنا لهذا في دراسة وإنجاز أنظمة  
كهربائية وكهرومائية للتوجيه الآلي للأقنية الشمسية. يتكون  
كل من هذين الجهازين من قسم للتحكم وقسم لتحريك وتوجيه  
الأقنية. اختتمنا دراستنا لمقارنة بين هذين الجهازين واقترحنا  
الجهاز الأمثل بعد إدخال بعض التحسينات.

Resumé: Notre projet de fin d'étude consiste à  
l'étude et à la réalisation des systèmes électrique  
et électrohydraulique d'orientation automatique  
d'un capteur solaire. Chaque système est composé  
de deux parties: Une partie électronique pour la  
commande et l'autre partie pour le déplacement  
et positionnement du capteur solaire.

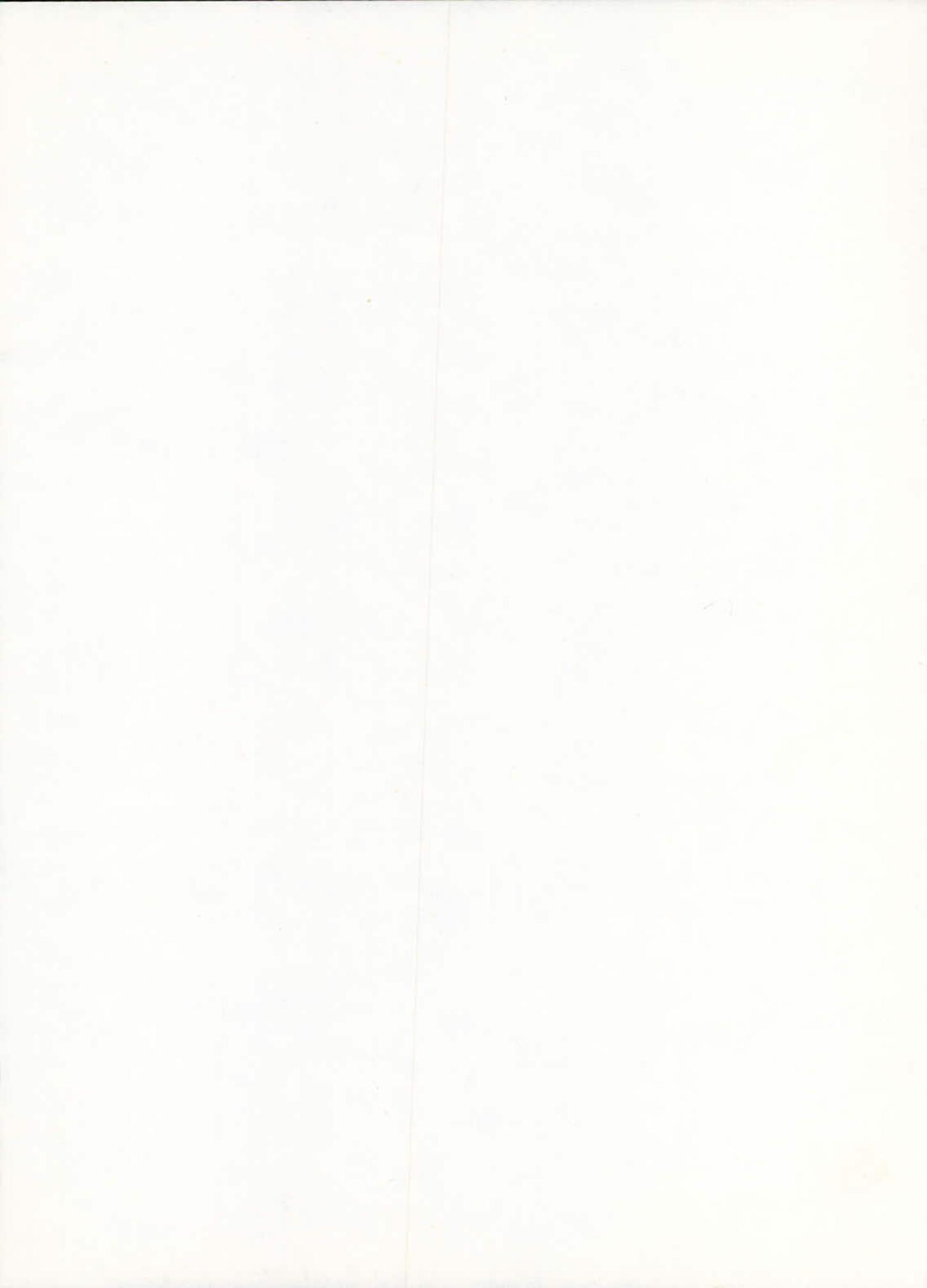
Pour terminer, nous avons fait une comparaison et  
proposé le dispositif qui pourrait être le plus  
adapté en lui apportant quelques améliorations.

Abstract: this project is proposed in order to realise  
an electric and electro-hydraulic automatic  
orientation systems of a solar panel. Both of  
them (the two systems) is divided into two parts:

- An electronic one for the command.
- An other for the position and displace of  
the solar panel.

An optimum device is proposed in the end.

المدرسة الوطنية  
المكنية  
E.C.L.E. NATIONALE POLYTECHNIQUE  
BIBLIOTHEQUE



# Sommaire

	Page
Introduction	
Chapitre I : Présentation et utilisations de l'énergie solaire.	1
I.1. Présentation.	
I.1.1 Rayonnement	
I.1.1.1 Emmission.	
I.1.1.2. Reflexion.	
I.1.1.3. Diffusion.	
I.1.1.4. Absorption.	
I.1.1.5 Emmission d'un corps noir	
I.1.2 Rayonnement solaire -----	5
I.1.2.1 Rayonnement solaire en dehors de l'atmosphère.	
I.1.2.2 Rayonnement solaire.	
I.1.2.2.1 Rayonnement direct	
I.1.2.2.2 Rayonnement diffus	
I.1.2.2.3 Rayonnement globale.	
I.1.2.3 Effets de l'atmosphère.	
I.1.2.4 Rayonnement solaire au sol. -----	8
I.1.2.5 Bilan énergétique.	
I.2. Utilisations -----	9
Chapitre II : Position du soleil , son repérage et système de poursuite.	13
II.1. Position du soleil...	
II.1.1 Introduction	
II.1.2 Double mouvement de la terre autour du soleil	
II.1.3 Position du soleil dans le ciel.	
II.1.4 Position du soleil	
II.2 Reperage du soleil -----	18
II.2.1 angle d'azimuth.	
II.2.2 hauteur angulaire	
II.2.3 Declinaison solaire	

II.2.4	angle horaire	
II.3	Systeme de poursuite - orientation	20
Chapitre III	: Description des differents elements constituant Les dispositifs.	22
Introduction		
III.1.	Systeme electrohydraulique.	
III.1.1.	Systeme de traction.	
III.1.1.1	Distributeur hydraulique.	
III.1.1.2	Servomoteurs hydrauliques	
III.1.1.3.	Electrovannes.	
III.1.1.4	Impulsateur	
III.1.1.5	Roue	
III.1.1.6	levier d'entrainement.	
III.1.2	Systeme de detection de la position du soleil	26
III.1.2.1	Senseur optique.	
III.1.2.2.	Amplificateur.	
III.1.2.3.	Blocades electromagnetiques.	
III.2.	Systeme electrique	35
III.2.1	moteurs à courant continu	
III.3.	Batterie	41
Chapitre IV	: Etude pratique	43
IV.1.	systeme de detection.	
IV.2.	systeme de traction.	52
IV.3.	systeme de commande des moteurs.	
IV.4.	fonctionnement du systeme electrohydraulique.	53
IV.5.	fonctionnement du systeme electrique.	56
Chapitre V.	Analyse du systeme.	62
Introduction.		
V.1.	Analyse du systeme electrohydraulique.	
V.2.	Analyse du systeme electrique	65
Conclusion.		

# INTRODUCTION

De nombreux problèmes que soulève l'approvisionnement en énergie que ce soit pour les pays industrialisés ou pour les pays en développement ont conduit les hommes à la recherche de nouvelles sources d'énergie.

La crise d'énergie révélée soudain à l'opinion mondiale à la fin de l'année 1973 a fait prendre conscience d'un certain nombre de faits concernant les conséquences du développement mal contrôlé de l'industrie et de la démographie.

Ces faits peuvent se résumer en quelques points:

- Le nombre de bouches à nourrir, à faire vivre augmente plus rapidement qu'il n'a jamais augmenté à toute autre époque historique; cela signifie que la quantité de besoins à satisfaire tend à devenir illimitée par leur multiplication incessante.

- La consommation d'énergie par tête, du fait des nouveaux besoins qu'apparaissent d'eux même aux progrès technologiques croît également.

L'énergie solaire apparaît comme la solution à certains problèmes créés par l'épuisement progressif des ressources (pétrole, gaz, ...)

L'énergie solaire est susceptible d'avoir de nombreux effets bénéfiques; nous citerons entre autres:

- économie des énergies classiques

- amélioration des conditions de vie dans les régions isolées, des pays en voie de développement.

- autres procédés d'utilisation qu'individuel (satisfaire les besoins familiaux) que national (satisfaire les besoins de communauté à divers niveaux).

Néanmoins des problèmes se posent encore; surtout le stockage qui est le problème majeur ainsi que le rendement faible des capteurs solaires d'où le coût élevé d'énergie et le

probleme de conversion d'energie solaire en energie electrique.

Depuis cette "invention" du XIX siecle jusqu'a maintenant l'energie solaire n'est pas encore utilisee a grande echelle. Toutefois de nombreux savants, chercheurs et industriels travaillent au developpement et a l'utilisation de cette abondante energie.

L'energie solaire est a celui, a ceux qui savent le captar et savent l'utiliser.

Notre projet consiste a la realisation d'une commande d'orientation automatique d'un capteur solaire dans lebut d'emmagasiner le maximum d'energie et d'elever ainsi le rendement faible du capteur.

Le dispositif que nous presenterons est etudie et realise en deux systemes differents:

- . systeme electrohydraulique.
- . systeme electrique.

Ces deux (02) systemes presentent des elements peu onereux et bon marche.

Le dispositif peut etre utilise dans les regions isolees; c'est un dispositif simple; peu cooteux et necessite peu d'entretien; pas de personne qualifie pour l'utiliser.

# Chapitre I

# PRESENTATION et UTILISATIONS de L'ENERGIE SOLAIRE

## I.1/ PRESENTATION

### I.1.1/ RAISONNEMENT

#### I.1.1.1 Emission

Tous les corps quelque soit leurs temperatures emettent de l'energie sous forme de rayonnement appelles ondes electro-magnétiques. Ces ondes sont analogues à celles des radios ou de la lumiere à l'exception de la longueur d'onde.

Le tableau de valeurs I.1 peut nous en donner une idée. Pour connaître les propriétés de rayonnement d'un corps, il faut connaître sa longueur d'onde. Pour cela nous parlerons d'un corps idéal nommé corps noir (n'existe pas dans la nature) qui est pris comme référence. La température est le seul paramètre intervenant dans le rayonnement du corps noir; elle détermine d'une part l'énergie totale émise et d'autre part la répartition de cette énergie en fonction de la longueur d'onde du rayonnement émis.

Les tableaux I.1.a et I.1.b et les figures I.1.a et I.1.b nous donnent les différents résultats permettant de connaître les caractéristiques d'émission du corps noir aux températures utilisés en énergie solaire.

Pour les corps réels, les phénomènes d'émission d'absorption et de réflexion du rayonnement sont influencés par la nature et surtout l'état de surface des matériaux qui le compose. on peut cependant les définir de façon simple par rapport à "un corps noir" à une température donnée à condition de se limiter à certains domaines de longueurs d'onde.

### I.1.1.2 REFLEXION :

Les ondes électromagnétiques se propagent dans le vide sans subir la moindre modification ; il en va tout autrement dans les milieux matériels où l'on rencontre des phénomènes de déviation du rayonnement (réflexion et diffusion) d'une part et l'absorption de l'autre part. Ces phénomènes dépendent de la longueur d'onde. La réflexion se produit sur la surface séparant deux (02) milieux ; c'est ce qui arrive au passage de la lumière de l'air à l'eau ou au verre. Généralement, tous les corps sauf le corps noir idéal réfléchissent plus ou moins bien certaines longueurs d'ondes.

### I.1.1.3 DIFFUSION

Il s'agit de l'interaction du rayonnement et des molécules d'une substance dans lequel il se propage, en particulier les gaz. Une partie du rayonnement est transmise sans modification et l'autre partie est renvoyée dans toutes les directions de l'espace ; cela explique qu'une partie du rayonnement solaire est renvoyée vers l'espace par "réflexion diffuse" dans l'atmosphère et dans les nuages. Le rayonnement diffus de l'atmosphère et des nuages vers le sol fait qu'on puisse encore voir clair quand le soleil est caché par un obstacle opaque ou par un nuage.

### I.1.1.4 ABSORPTION :

Le phénomène est très simple, pour un corps soumis à un rayonnement auquel il est opaque. La partie non réfléchie est intégralement transformée en chaleur : c'est celle-ci qui est utilisée dans la plupart des applications de l'énergie solaire. Il existe au moins une exception importante.

Les piles photovoltaïques ou piles solaires dans lesquels une partie du rayonnement ne se transforme pas

en chaleur mais directement en électricité; c'est ce que explique leurs utilisations à grande échelle pour l'énergie solaire.

### I.1.1.5 EMISSION d'un CORPS NOIR

Le corps noir absorbe intégralement toutes les ondes électromagnétiques qu'il intercepte. La puissance totale émise du corps noir dépend de la température.

$$W = \sigma T^4$$

T: température absolue en degré kelvin ( $T = t + 273^\circ\text{C}$ )

$\sigma$ : constante =  $5,674 \cdot 10^{-8}$  (Watt/m<sup>2</sup>)

W: Puissance émise (en W/m<sup>2</sup>)

IL existe aussi la relation entre la longueur d'onde et la température:

$$c = T \cdot \lambda_m$$

c = constante = 2897 ( $\mu\text{.}^\circ\text{K}$ )

$\lambda_m$ : longueur d'onde d'émission maximale en microns

N.B: L'émittance spectrale du corps noir est donnée par la relation suivante.

$$M_\lambda^\circ = \pi \cdot \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\frac{c_2}{e^{\lambda T} - 1}}$$

$M_\lambda^\circ$ : émittance spectrale du corps noir (en W/m<sup>2</sup>/m)

$\lambda$ : longueur d'onde (en m)

$c_1$  = constante =  $11,905 \cdot 10^{-17}$  (W/m<sup>2</sup>)

$c_2$  = constante =  $1,438 \cdot 10^{-2}$  (m<sup>°K</sup>)

Types d'ondes	Rayons X	ultra-violet	Lum. visi	Inf. rou	ondes. radios
Longueurs d'ondes	de 0,025 à 1 micron	de 0,02 à 0,04 micra	de 0,4 à 0,8 $\mu$ .	de 0,8 à 150 $\mu$ .	de quelques cm à plusieurs km.

I. 1. a.

Longueur d'onde en fonction de la temperature

temp. en °C.	-50	0	20	50	100	1000	3000	5530
long. d'ond. en. micron	13	10,6	9,9	9	7,8	2,3	0,80	0,50

I. 1. b  
↑  
↓

temp. en °C.	-50	0	50	100	200	500	5530
Puissance emise en kw/cm <sup>2</sup>	0,14	0,315	0,620	1,100	2,840	20,300	64,300

Puissance emise en fonction de la temperature.

Puissance emise.

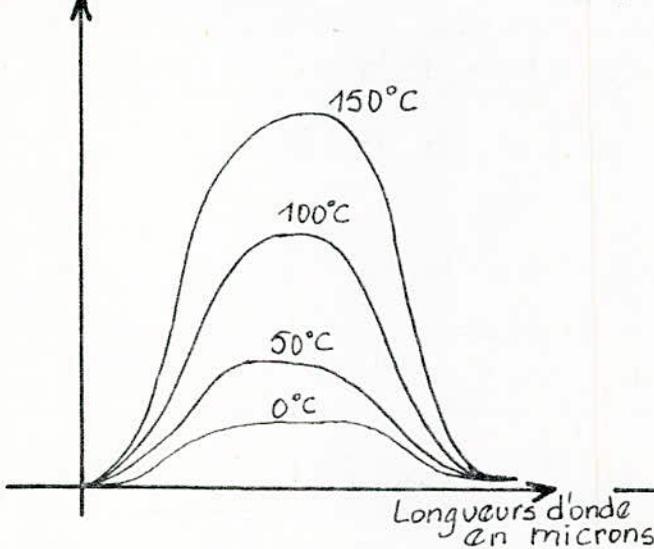


fig 1. a'

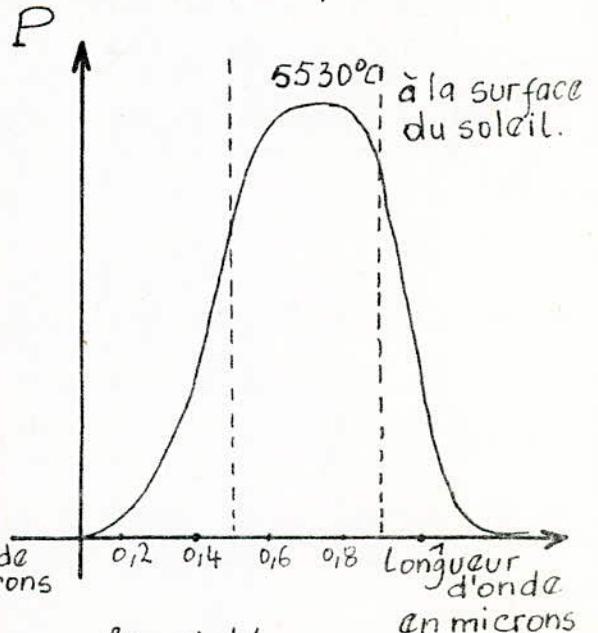


fig 1. b'

"echelle 1/10<sup>6</sup>"

## I.1.2 / RAYONNEMENT SOLAIRE

### I.1.2.1 RAYONNEMENT SOLAIRE en DEHORS de L'ATMOSPHERE

Le soleil émet un rayonnement que l'on peut assimiler en première approximation à celui d'un corps noir dont la température serait de l'ordre de  $5530^{\circ}\text{C}$ .

Ce rayonnement est émis presque entièrement dans la bande de  $0,2$  à  $3 \mu$ ; la puissance transportée est considérable de l'ordre de  $1400 \text{ W/m}^2$  de surface perpendiculaire au rayonnement solaire aux limites de l'atmosphère terrestre la puissance interceptée par la terre est de l'ordre de  $1,8 \cdot 10^{17} \text{ W}$  elle est équivalente à celle de  $180 \cdot 10^6$  centrales nucléaires de  $1000 \text{ MW}$  chacune; mais malheureusement, toute la majorité de cette puissance est réfléchi et absorbé.

Le rayonnement solaire arrive à la surface de la terre affaibli d'abord par la distance terre - soleil ( $150 \cdot 10^6 \text{ km}$ ) et par sa traversée de l'atmosphère et certains autres facteurs comme l'absorption etc....

une illustration est donnée par la figure I.2.a"

### I.1.2.2 RAYONNEMENT SOLAIRE

Le rayonnement solaire est constitué par les ondes électromagnétiques de différentes longueurs d'onde et propagé en ligne droite avec une vitesse qui est dans le vide celle de la lumière. Le rayonnement solaire globale est la somme de deux rayonnements distincts:

- rayonnements direct et diffus.

#### I.1.2.2.1 RAYONNEMENT DIRECT

C'est l'éclairement énergétique d'une surface réceptrice normale aux rayons solaires par le seul rayon provenant directement du disque solaire.

Il depend du systeme nuageux et de l'altitude du soleil.

Pour le calcul de l'energie produite, mesure du rayonnement direct on utilise un appareil appelé "PYRHELIOMETRE".

### I.2.2.2 RAYONNEMENT DIFFUS

Le rayonnement diffus est le rayonnement d'origine solaire rediffusé par l'hemisphere à l'exception du disque solaire ou par la surface receptrice à tout moment du jour. L'eclaircissement diffus depend de la hauteur du soleil et du degré de pollution.

### I.2.2.3 RAYONNEMENT GLOBALE :

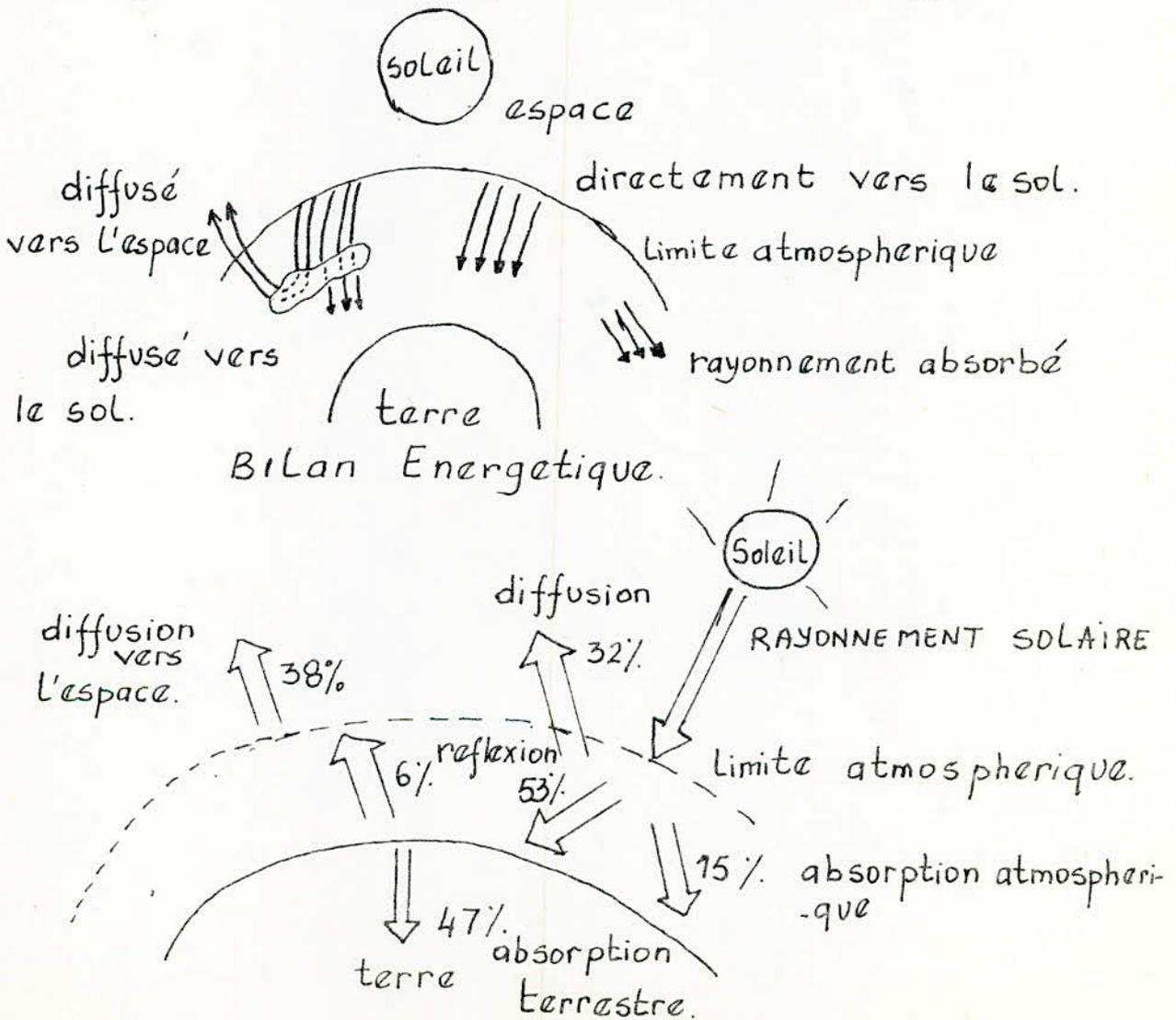
C'est la somme des rayonnements diffus et direct.

### II.2.3 EFFETS de L'ATMOSPHERE

Le schema global de l'action de l'atmosphere est simple même si le detail est fort complexe. Le rayonnement incident est partiellement reflechi, diffusé et absorbé par les composantes atmospheriques. Les proportions respectives de ces phenomenes varient avec la longueur d'onde considerée, de l'etat meteorologique et de la distance parcourue dans l'atmosphere. La transparence de l'atmosphere vis à vis du rayonnement direct est très influencé par la presence d'eau en suspension que ce soit sous la forme de vapeurs ou de gouttelettes (nuages) aussi bien que par celle des particules diverses. La proportion du rayonnement diffus croit très vite avec le nombre de particules jusqu'à ce que tout le rayonnement au sol soit sous forme diffusé. Lorsque le ciel est uniformement couvert.

Le rayonnement solaire arrivant au sol contient encore 4% d'ultra-violet; car la plus grande partie est absorbée par les gaz dans l'atmosphère (l'ozone); la vapeur d'eau absorbe les infra-rouge qui se fait par bandes de dioxyde de carbone qui absorbe fortement les bandes médianes des infra-rouge.

Par un ciel sans nuages et non pollué, plus de 30% de l'énergie incidente est perdue (réflexion du rayonnement est produite par les molécules d'eau dans l'espace et par la diffusion dans l'atmosphère par formation de gaz). Les nuages n'absorbent pas beaucoup d'énergie.



#### I.2.4 RAYONNEMENT SOLAIRE AU SOL.

L'intensité du rayonnement global et celle de ces composantes directe et diffuse sont très variables et dépendent de la latitude du lieu, de la date, de la hauteur du soleil et des conditions météorologiques. On peut cependant en faire d'assez bonnes estimations statistiques valable à l'échelle des périodes assez longues. Il est malheureusement difficile d'extrapoler les résultats obtenus par une station à une autre. Les mesures des durées d'insolation moyenne nous permettent de calculer le rayonnement vrai au sol à l'aide de la relation d'ANGSTRÖM :  $Q = Q_0 \left( a + b \cdot \frac{s}{s_0} \right)$

$Q$ : rayonnement vrai calculé en  $\text{kw/jour/m}^2$

$Q_0$ : rayonnement théorique calculé en  $\text{kw/jour/m}^2$

$s$ : durée d'insolation vraie mesurée en  $\text{h/jour}$  avec un héliographe.

$s_0$ : durée d'insolation théorique mesurée en  $\text{h/jour}$ .

$a, b$ : coefficients dépendant du lieu.

voir tableaux de valeurs I.2.4.a et I.2.4.b.

#### I.2.5 BILAN ENERGETIQUE

La quantité d'énergie émise par le soleil est énorme une toute petite partie nous parvient. On admet, par la suite des mesures effectuées, que le flux solaire moyen à la distance d'une unité atmosphérique ( $1 \text{ u. atm} = 150 \cdot 10^6 \text{ km}$ ) est égale à  $1360 \text{ (W/m}^2)$ . Une partie de cette énergie est réfléchiée par les couches supérieures de l'atmosphère et les nuages, ce qui parvient au sol peut donc être absorbé, dépend de l'humidité de l'atmosphère, de la nature des matériaux absorbants etc....

Au niveau du sol, La puissance reçue du soleil varie de zero (lanuit) à  $1100 \text{ W/m}^2$  (à l'équateur : à midi).

L'énergie solaire se compose de :

- 42% : qui se trouve dans le spectre visible.
- 55% : qui se trouve dans l'infra. rouge.
- 3% : qui se trouve dans l'ultra. violet

## I.2/ UTILISATIONS

La source lumineuse émanant du soleil peut conduire à diverses applications (plus de 50% procédés).

Lors du premier symposium mondiale sur l'énergie solaire tenu en ARIZONA (U.S.A) en 1955 ont étudié les diverses applications. Le rayonnement solaire est abondant, considéré comme source inépuisable d'énergie. La quantité d'énergie reçu par la terre est considérable, le seul problème est son stockage et sa conversion.

L'homme a physiologiquement besoin du soleil et l'a toujours utilisé pour sa croissance, son équilibre biologique (besoins satisfaits indirectement ou directement).

L'énergie solaire rayonnant sur la terre appartient semble-t-il à qui peut le capturer. Tout individu a un droit inné à l'utilisation de l'énergie solaire pour ses besoins individuels et toute nation a droit à sa captation et à son utilisation pour satisfaire ses demandes d'énergie.

Nous citerons, ci après quelques procédés d'utilisations parmi tant d'autres :

- . Moteur solaire (à faible et moyenne puissance) qui peut être utilisé dans les régions isolées, éloignées.
- . Pompe solaire : elle est très utilisée, sert surtout en agriculture. c'est l'une des applications du moteur solaire.

. Dessalement : Obtention d'eau douce à partir des eaux saumâtres. procédé utilisé dans les zones sahariennes et Le dessalement de l'eau de mer.

. Applications domestiques :

Nous citerons que les applications nécessaires et peuvent être dans chaque foyer.

- Chauffe eau ; climatisation et chauffage  
refrigeration ; cuisinière, électricité, biomasse  
sechoir (pour la conservation des produits agricole  
et d'éviter ainsi le gaspillage) etc....

- Problèmes de télécommunication (régions isolées)

- Fours solaire.

.....

Beaucoup de pays allouent des sommes énormes à la recherche dans le domaine de l'énergie solaire. C'est ainsi que des chercheurs, savants et industrialisateurs sont en quête de nouvelles techniques d'utilisation ; à l'améliorer et de résoudre le problème de stockage et de conversion.

L'énergie solaire promise beaucoup ; elle sera utilisée à grande échelle à l'avenir, c'est la source de l'avenir.

C'est à l'homme que revient le profit d'en tirer le maximum de cette abondante énergie considérée comme source inépuisable et non polluante qu'à son utilisation.

Localité	Climat	S/so moyen	a.	b
ATLANTA - USA.	continent humide	78%	0,410	0,370
BOUZAREAH-ALG-	mediteranea tempere'	60%	0,235	0,765
HAMBURG - R.F.A.	Froid et humide	36%	0,220	0,570
Nice - FRA.	medit.temp.	61%	0,170	0,630
TAMANRASAT - ALG-	TROPICAL desertique	83%	0,300	0,43

Quelques valeurs moyennes des energies totales recues (en  $kwh/jour/m^2$ ) par jour dressé dans ce tableau.

- 1- à SAINT-MAUR - FRANCE - "1928-1933"
- 2- à BOUZAREAH - ALGERIE - "1950-1961"
- 3- à TAMANRASAT - ALGERIE -

-b-

J	F	M	A	Mai	Juin	Jui	Aout	Sep	oct	Nov	DEC	
0,825	1,76	3,2	4,81	5	5,7	5,5	4,6	3,5	2,1	1	0,73	1
1,2	2,7	3,37	4,35	5,65	5,3	6,55	6,24	4,64	3,73	2,94	2,18	2
4,5	5,13	6,15	6,86	7,04	6,97	10,14	6,9	6	5,47	4,6	4,0	3

le rayonnement moyen à BOUZAREAH - ALGERIE - pour cette periode depasse  $1480 kwh/m^2/an.$

I. 2. 4

## Chapitre II

## II POSITION du SOLEIL, son REPERAGE et SYSTEME DE POURSUITE

### II.1 POSITION DU SOLEIL

#### II.1.1 INTRODUCTION

Du point de vue astronomique, le soleil est une étoile d'un diamètre égal à  $1392\ 000\text{ km}$  (soit 109 fois celui de la terre) et la seule étoile suffisamment proche de notre plan et de  $150 \cdot 10^6\text{ km}$ .

Le soleil a une forme sphérique, la surface visible est la photosphère ( $300\text{ km}$  d'épaisseur) qui a une température de  $6000$  c'est de cette surface qu'émission le rayonnement qui nous parvient. La zone surmontant la photosphère est la chromosphère, qui a une hauteur de  $10^4\text{ km}$ . La partie la plus extérieure est la couronne qui est particulièrement visible lors des éclipses totales dues par la lune.

#### II.1.2 DOUBLE MOUVEMENT DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL

La figure 1 résume le double mouvement de la terre, qui décrit sa trajectoire elliptique en une année à une distance moyenne de  $149,5 \cdot 10^6\text{ km}$ . En réalité, elle passe à son périhélie (point le plus proche du soleil) au solstice d'hiver et à son aphélie (point le plus éloigné du soleil) au solstice d'été. L'existence des saisons est due à la combinaison de ce mouvement périodique annuel et du fait que l'axe de rotation pôle sud - pôle nord est incliné de  $23^{\circ}27'$  par rapport à la normale au plan d'écliptique.

Il en résulte que l'inclinaison des rayons du soleil varie continuellement entre les deux solstices. Le soleil est le plus bas à l'horizon; en hiver son rayonnement en un lieu donné frappe la surface terrestre de manière plus oblique: donc une quantité d'énergie sur chaque mètre carré du sol. A cette alternance saisonnière se superpose la rotation journalière de la terre autour de l'axe des pôles déterminant la succession du jour et de la nuit.

A La rotation sur elle même en 24 heures se superpose  
Le mouvement autour du soleil en une année.

### II. 1.3 POSITION du SOLEIL dans le CIEL.

La position du soleil dans le ciel pour un lieu donné et un temps donné peut être présentée selon deux (02) systèmes de coordonnées. Le plus simple est le système de coordonnées horizontales constitué par le plan horizontal et la normale à ce plan. Le second, est un système de coordonnées équatoriales.

L'étude du mouvement du soleil sur la sphère céleste consiste à prendre comme centre le lieu considéré; Le plan équatorial et l'axe de la sphère céleste seront le plan horizontal et la verticale du lieu. On reporte ainsi les différents angles définis en figure II-2. Dans le triangle sphérique P- ZENITH - SUD; on a les relations suivantes.

hauteur du soleil :  $\sin h = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos AH$  (1)

La trace du soleil dans le plan horizontal : Le calcul de l'azimuth est nécessaire lorsque la surface n'est pas horizontale

$$\sin a = \frac{\cos \delta \cdot \cos AH}{\cos h} \quad (2) \text{ - valeur remarquable de (1) -}$$

a/ à midi vrai:  $AH=0$  ;  $\cos AH=1$  d'où  $\sin h = \cos(\frac{\pi}{2} - h) + \cos(\phi - \delta)$

$$\Rightarrow h_{\max} = \frac{\pi}{2} - \phi + \delta$$

b/ Heure du lever et du coucher du soleil

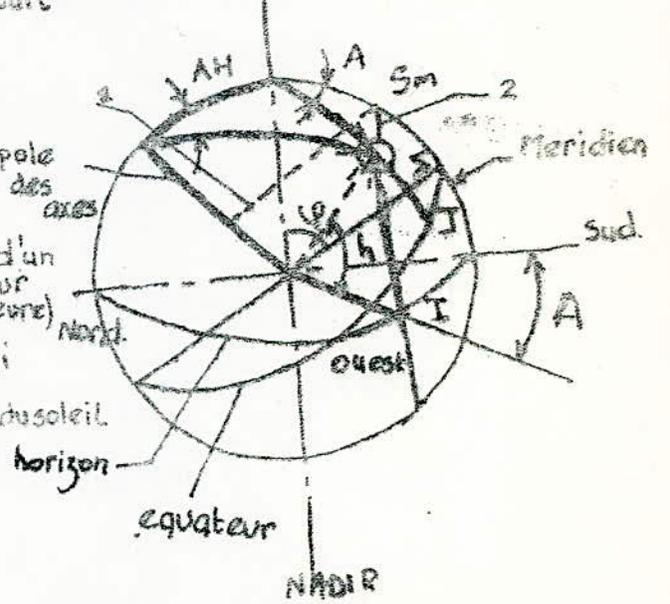
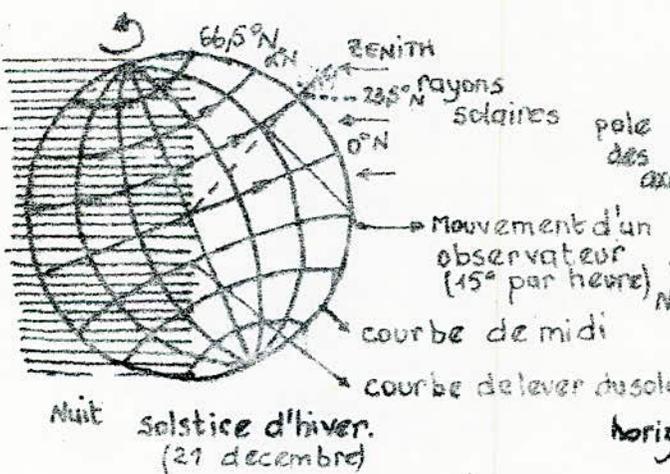
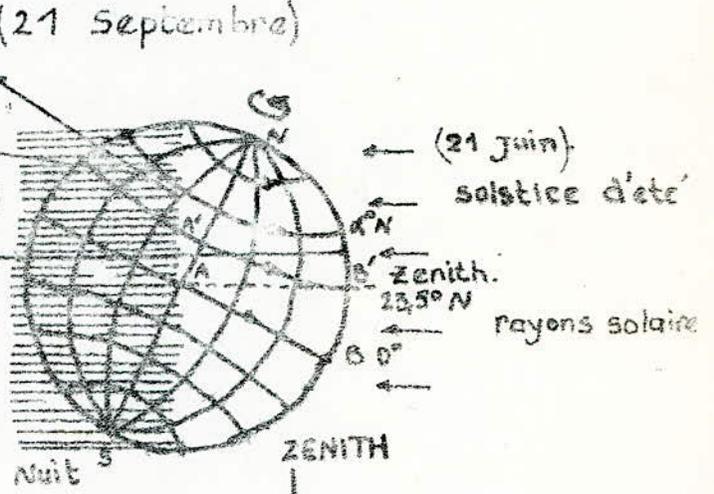
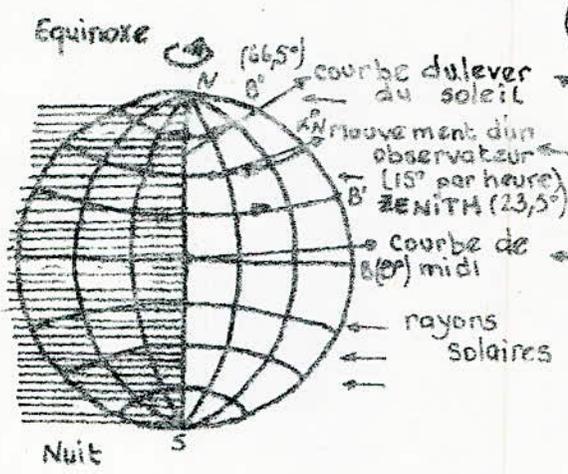
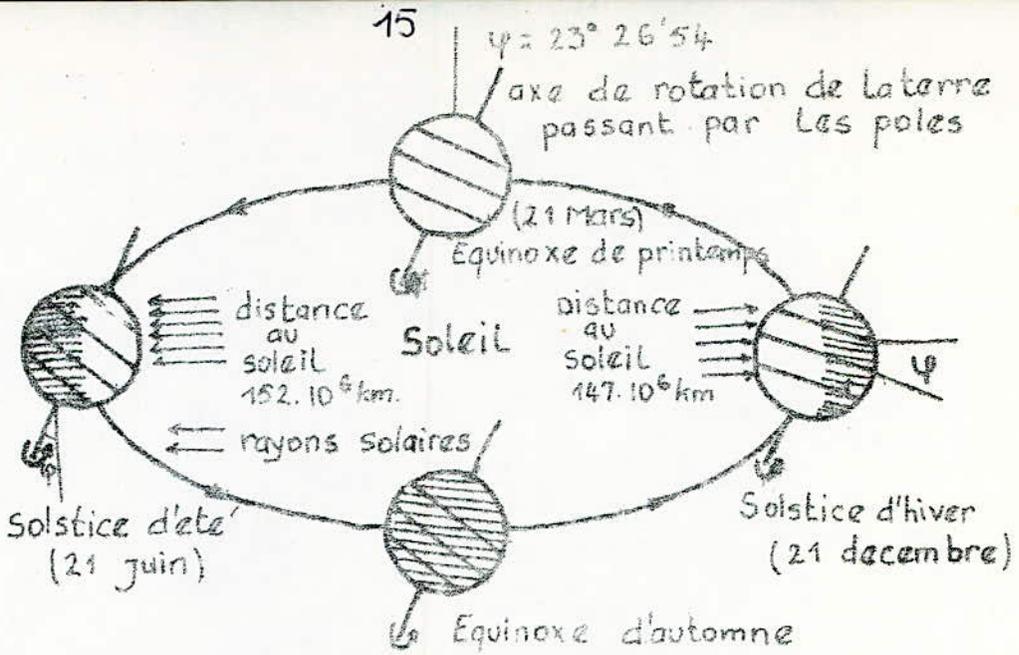
$$h=0 ; \sin h=0 \Rightarrow \cos AH_0 = - \frac{\sin \phi \cdot \sin \delta}{\cos \phi \cdot \cos \delta} = - \operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{tg} \delta$$

$$AH_0 = \arccos (- \operatorname{tg} \phi \cdot \operatorname{tg} \delta).$$

NB : on détermine h et  $AH_0$  à l'aide d'une calculatrice munie des fonctions sinus, cosinus, tg et ctg, ou d'une table trigonométrique.

Une abaque pour la détermination de la hauteur et de l'azimuth du soleil à une heure donnée pour pour quelques dates caractéristiques. voir figure II.3 (a) -

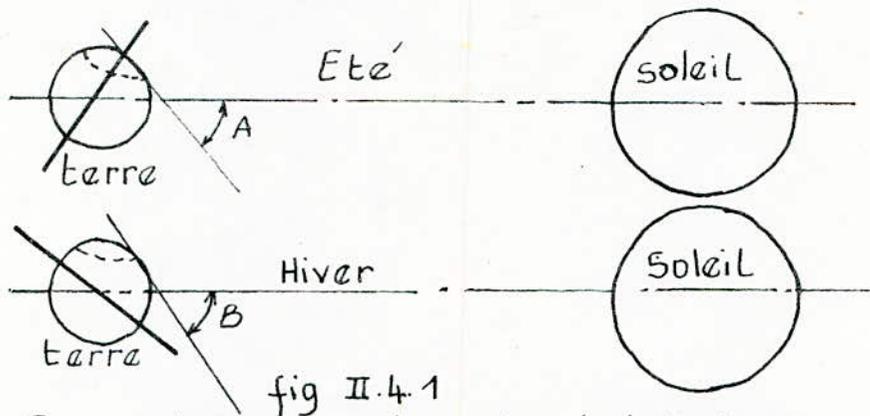
Les courbes donnant l'azimuth et la hauteur du soleil



## II.1.4 POSITION du SOLEIL

La terre tourne autour du soleil sur une trajectoire presque circulaire dont le rayon serait d'environ  $150 \cdot 10^6$  km. La terre fait un tour complet en 24 heures autour de l'axe des pôles, celui-ci est incliné sur la verticale au plan de la trajectoire céleste d'un angle de  $23^{\circ} 27'$ , et garde une direction constante au cours de l'année. Cette inclinaison de l'axe des pôles nous donne "le phénomène" saisonnier.

En été, l'angle A sous lequel un observateur voit le soleil par rapport à l'horizontal en ce point est supérieur à l'angle B correspondant à celui de l'hiver. - voir figure II.4.1.



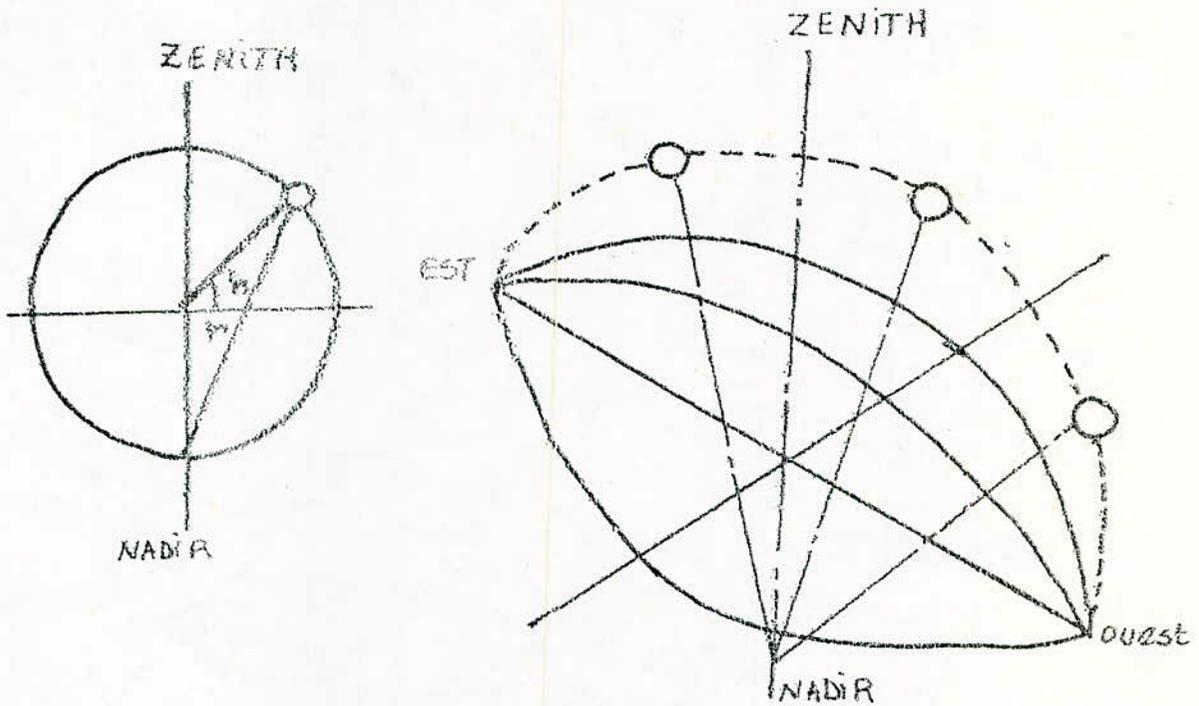
Pour un observateur terrestre, la trajectoire du soleil sera plus haute en été par rapport à la ligne d'horizon qu'elle ne le sera en hiver. Le soleil n'étant pas à notre distance considérée comme une étoile ponctuelle, on peut connaître son diamètre apparent c'est à dire l'angle sous lequel un observateur terrestre placé sur un cercle dont le soleil occuperait le centre, verrait celui-ci; sa valeur est de  $32'$  d'arc ( $0,5^{\circ}$ )...voir figure II.4.2.

Le rayonnement est dispersé dans l'espace. Il est omniprésent. La terre en effet est touchée par le rayonnement solaire en tous ses points en fonction de sa rotation sur elle-même et autour du soleil. De ce fait une inégalité astronomique apparaît au lieu de l'inégalité géologique, d'où la non-bénéficiaison de tous les points du globe terrestre d'un même ensoleillement.

En remarque: Les pays de l'équateur sont incontestablement plus favorisés que ceux les plus proches du pôle sud ou nord.

en un lieu donné. Le soleil ne se lève et ne se couche exactement que deux (02) jours par an aux équinoxes. Il est nécessaire pour toutes les autres périodes d'avoir des courbes d'écart par rapport à ces deux points remarquables. On utilise pour cela la projection stéréographique qui consiste à reporter la trajectoire du soleil sur la sphère céleste.

Sur le plan horizontal, on trace pour chaque heure du jour les droites qui joignent le soleil au NADIR (point de la sphère que rencontre la verticale de l'observateur situé au dessus des pieds de celui-ci. Il est diamétralement opposé au ZENITH).



- La projection est appliquée à la courbe du soleil le jour de l'équinoxe

Fig II. 3. (b).

## II.2 REPERAGE du SOLEIL

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles: l'angle d'azimuth et la hauteur angulaire.

### II.2.1 ANGLE d'AZINUTH

C'est l'angle que fait la projection du soleil avec la direction sud. Il est mesuré positivement vers l'ouest.

### II.2.2. HAUTEUR ANGULAIRE

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. La hauteur angulaire du soleil est donnée par la relation suivante: (hauteur au dessus de l'horizon).

$$\sin h = \cos Z = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos AH \cdot \cos \delta$$

h: altitude ou hauteur angulaire du soleil (en degré')

Z: distance zenithale du soleil (en degré')

$\phi$ : latitude du lieu (en degré')

$\delta$ : déclinaison solaire (en degré').

AH: angle horaire (en degré').

$$\phi = 36^{\circ} 48' 04'' \text{ 8 nord Latitude pour la station de BOUZAREAH-ALGERIE-}$$

En remarque: Les deux (02) angles cités sont fonction de la latitude du lieu, de la date et de l'heure dans la journée.

La latitude et la date servent à déterminer la trajectoire du soleil dans le ciel, tandis que l'heure donne sa position instantanée sur cette trajectoire.

### II.2.3 DECLINAISON SOLAIRE : ( $\delta$ ).

C'est l'angle formé par la normale au plan de l'écliptique et l'axe de rotation de la terre. Elle est donnée par la relation

$$\delta = 23,45 \sin(0,98(j + 284)). \text{ où } j \text{ est l'ordre du jour de l'année } (1 \leq j \leq 365):$$

$\delta = 0$  aux équinoxes.

$\delta = 23^{\circ} 27'$  au solstice d'été;  $\delta = -23^{\circ} 27'$  au solstice d'hiver.

L'angle d'azimuth, la hauteur angulaire et la déclinaison solaire sont liés par la relation suivante:

$$\sin h = \sin L \cdot \sin \delta + \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos w$$

$$\sin a = \frac{\cos \delta \cdot \sin w}{\cos h}$$

L: Latitude du lieu

w: l'angle horaire defini comme etant le produit du nombre d'heures de difference avec le midi solaire et  $15^\circ$ .

## II. 2.4 ANGLE HORAIRE : AH

IL est determiné par la rotation reguliere de la terre autour de son axe polaire. IL est donc lié au temps solaire vrai (T.S.V) qui est un parametre essentiel permettant le calcul exact des coordonnées angulaires du soleil. C'est l'angle formé par le plan meridien passant par le centre du soleil et le plan vertical du lieu.

AH=0 Lorsque le soleil passe au plan meridien du lieu il est midi vrai du soleil.

1 heure de temps =  $15^\circ$  en angle horaire.

1 minute de temps =  $15'$  d'arc.

1 seconde de temps =  $15''$  d'arc.

AH =  $90^\circ$  à 18h (T.S.V) et AH =  $-90^\circ$  à 06h (T.S.V)

Les angles horaires sont comptés avec le signe positif de midi vrai jusqu'au couché du soleil et avec le signe negatif du leve' du soleil jusqu'à midi vrai.

Le tableau de valeurs ci dessus nous donne la declinaison moyenne mensuelle du soleil.

JAN	FEV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCT	NOV	DEC
-20,8	-12,7	-1,9	+9,9	+18,9	+23,1	+21,3	+13,7	+3,0	-8,8	-18,9	-23

N.B: T.S.V = temps local - N + correction de longitude +  
+ correction du temps.

avec . N : numero du fuseau N°1 : 1heure ; N°2 : 2h

. temps local c'est le temps donné par l'horloge.

. Correction du temps est donnée par des tables speciales

. Correction de longitude est donnée par le lieu.

### II.3 SYSTEME de POURSUITE - ORIENTATION.

Pour obtenir un rendement optimum dans une centrale solaire, il faut que le(s) capteur(s) soit tout le temps perpendiculaire aux rayons solaires, d'où la nécessité d'une orientation automatique des panneaux photovoltaïques ou concentrateurs solaires.

Pour cela, on procède actuellement de la manière suivante pour capter la position du soleil.

Le capteur est monté de façon à fournir une tension nulle quand l'orientation est optimale et une tension positive ou négative proportionnelle à la déviation en cas de non coïncidence.

Le capteur est solidaire du panneau et suit ce dernier dans ses déplacements. On utilise quatre (04) cellules photosensibles placées de part et d'autre (en croix) autour du foyer.

Les cellules montées en pont diviseur fonctionnent deux à deux de façon à générer deux signaux différents commandant les servo-moteurs (moteurs électriques) d'orientation du panneau en site et en azimuth.

L'équipement de poursuite automatique du soleil permet d'augmenter jusqu'à 35% d'énergie reçue par le capteur.

Il existe un deuxième procédé d'orientation automatique des capteurs qui consiste à calculer les coordonnées du déplacement à l'aide d'un mini calculateur et ceci en utilisant les équations donnant le lien entre les coordonnées altazinuthales et les coordonnées équatoriales et d'orienter ensuite le capteur.

Les équations en coordonnées sphériques s'écrivent:

$$H = \text{Arc sin} \left( \sin \delta \cdot \cos L + \cos \delta \cdot \cos L \cdot \cos AH \right)$$

$$AH = \text{Arcos} \left( \frac{\frac{\cos Z}{\sin \delta} - \sin L \cdot \sin \delta}{\cos L \cdot \cos \delta} \right)$$

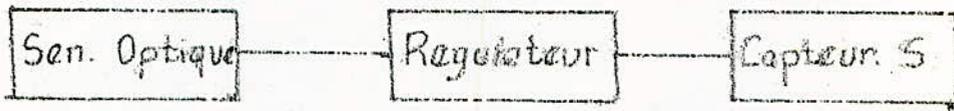
c'est un procédé compliqué et très difficile d'où le choix du premier procédé.

# Chapitre III

### III DESCRIPTION des DIFFERENTS ELEMENTS CONSTITUANTS LES DISPOSITIFS

#### Introduction:

Le projet qui a fait l'objet de notre étude est un dispositif d'orientation automatique d'un capteur solaire pour augmenter son rendement avec des éléments peu onéreux, bon marché et très simple du point de vue entretien et fonctionnement. Ce dispositif se compose essentiellement de trois (03) parties: senseur optique, régulateur et capteur.



que nous avons élaborés en deux (02) systèmes: système ~~de traction~~ de traction (entraînement) et système de détection de la position du soleil.

Tout le système d'orientation est étudié et réalisé en deux parties (systèmes) différentes:

- . étude électrohydraulique.
- . étude électrique.

#### III.1 SYSTEME ELECTROHYDRAULIQUE

Nous avons commencé notre étude par la description, rôle et fonctionnement de chaque élément constituant le dispositif.

##### III.1.1. SYSTEME de TRACTION.

Le système de traction est constitué:

- . d'un distributeur hydraulique (01)
- . de servo-moteurs (04)
- . d'électrovannes (02).
- . de roues (02) et de poulies (02).
- . de leviers d'entraînement (04).

##### III.1.1.1 DISTRIBUTEUR HYDRAULIQUE

###### III.1.1.1.1 Description:

Le distributeur hydraulique est constitué d'un tube en cuivre de 22mm de diamètre sur lequel quatre (04) petits tubes en cuivre de 10mm de diamètres ont été soudés. (La distance entre tube est de 10mm).

### III. 1.1.1.2 But :

A ces deux (02) bouts, deux électrovannes sont branchées.

L'alimentation en eau ainsi son évacuation sont assurées par le distributeur qui est en liaison avec les servo-moteurs hydrauliques.

Sa construction est relativement simple; nécessite pas d'entretien et peu cher.

Sa description schématisé est sur la figure III.1. La force de la pression d'eau est de 2 à 3 kg/cm<sup>2</sup>.

### III. 1.1.2 Servo-moteurs hydrauliques:

#### III. 1.1.2.1 Description

Le type de servo-moteur utilisé est composé de:  
- deux boîtiers (supérieur et inférieur) en acier.  
- d'une membrane élastique (située entre les boîtiers).  
un plateau en acier soutient la membrane et prolongé d'une tige (piston) maintenue par un ressort de rappel.

#### III. 1.1.2.2. But et choix

Comme tout servo-moteur, son but est d'asservir une variable dite de sortie avec production de travail à une autre variable dite d'entrée et ne demande que peu de travail.

Le servo-moteur assure la transformation de la pression hydraulique en un déplacement mécanique.

Le servo-moteur utilisé n'est autre qu'une valve à eau de chauffe eau. Élément récupérable de vieux chauffe eau, nécessite peu d'entretien, construction simple ainsi que son fonctionnement.

Les servomoteurs utilisés fonctionnent en temps partiel c'est à dire lors des signaux délivrés par le senseur optique.

### III. 1.1.3 Electrovanne:

Les electrovannes utilisées sont du type courant, alimentés sous une tension de 220 volts, 50Hz et la puissance nécessaire est de 5,5 Watt.

Leur fonctionnement consiste au réglage du débit d'eau circulant dans le distributeur hydraulique.

C'est en recevant des signaux de l'impulsateur que le relais à 2 positions commande les electrovannes.

Le relais commute à 150 mA (pendant la première demi-période c'est la première electrovanne qui fonctionne et règle ainsi le débit d'eau entrant dans le distributeur; tandis que l'autre est fermée; pendant la seconde demi-période; la seconde electrovanne s'ouvre et l'eau dans le distributeur sera évacuée en réglant le débit de sortie tandis que la première electrovanne sera fermée). Leur fonctionnement est alterné.

### III. 1.1.4 Impulsateur.

C'est un multivibrateur astable. Il assure l'alimentation alternée des electrovannes. Il délivre un signal carré d'une amplitude suffisante pour le fonctionnement du système de traction.

L'impulsateur utilisé présente l'avantage d'avoir la période du signal délivré réglable.

Il est alimenté par une batterie de 12 volts, 60Ah. L'impulsateur est schématisé sur la figure III. 4

### III. 1.1.5 Roue.

Deux roues sont indispensables dans notre dispositif (une pour chaque mouvement: site et azimuth).

La roue est de 200 mm de diamètre et comporte 45 barreaux de 12 mm de longueur. Elle est en acier.

Le rôle principal de la roue est la transmission du

deplacement mecanique (provoqué par le deplacement du piston actionnant le levier) au panneau solaire.

La construction est simple ; peu couteuse.

Le nombre de barreaux (45) d'une roue a été choisi de maniere que la distance entre deux (02) barreaux consécutifs correspond à un angle de  $8^\circ$  : c'est à dire à chaque pas du servo-moteur hydraulique, la roue tournerait d'un angle de  $8^\circ$ . Le mouvement en Azimut (étudié dans notre cas) est assuré par la transmission du mouvement de la roue à la poulie (fixée au panneau) et cela par l'intermédiaire d'une courroie liant la grande poulie à une petite poulie (collée sur la roue). Le dimensionnement des deux (02) poulies a été bien étudié de façon à ce qu'une rotation de  $8^\circ$  de la roue (donc de la petite poulie) qui correspond à un pas du servo-moteur provoquerait une rotation de  $1^\circ$  de la grande poulie (donc du panneau).

La petite poulie a un diamètre de 32 mm et celui de la grande est de 256 mm.

- voir figure III.5

### III.1.1.6 Levier d'entraînement.

Le levier n'est autre qu'une barre (en acier) de 10 mm d'épaisseur et de 86 mm de longueur.

Son but est de transmettre le mouvement créé par le servo-moteur à la roue. (c'est le piston qui lui transmet le mouvement par son déplacement dû à la pression hydraulique).

Le bout arrondi de la partie mobile du levier est actionné par un ressort de rappel (1) (fixé à un crochet) Ceci est conçu de telle façon que lors de la transmission du mouvement du servo-moteur à la roue, le levier reprend sa position initiale sans gêner la rotation de la roue.

Le levier est actionné par un ressort de rappel (2) fixé au support des servo-moteurs, s'appuyant sur un barreau

fixé à la roue et la déplace. C'est ainsi qu'il transmet le mouvement.

Le ressort de rappel (2) sert aussi à maintenir la tige prolongatrice à l'intérieur du support.

Voir figure III.6

### III.2.2. SYSTEME de DETECTION de la POSITION du SOLEIL.

Le circuit de commande est constitué de trois parties. senseur optique, amplificateur et blocades électromagnétiques.

En premier lieu; nous décrirons le bâti qui constitue le support du panneau en s'appuyant sur le schéma de la figure III.2.1

Le bâti est formé essentiellement d'un cadre portant une barre mobile assurant ainsi au panneau le mouvement en inclinaison. Ce cadre est maintenu par un cylindre pivotant autour d'un axe vertical assurant ainsi le mouvement azimuthal.

#### III.2.1.1 Senseur optique.

Il est dans un collimateur fait en plexiglas recouvert d'un tissu noir et placé sur la trajectoire du rayonnement solaire.

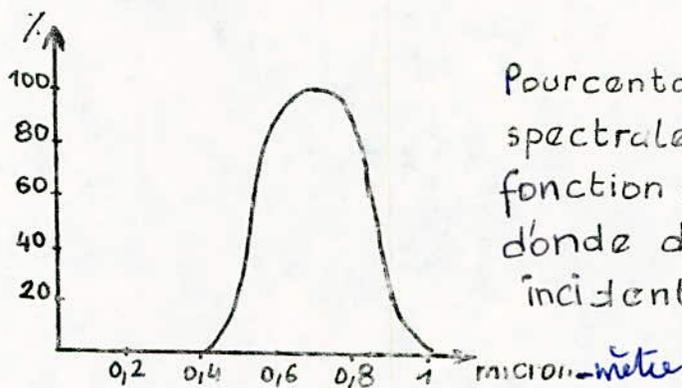
Le senseur optique est constitué de quatre (04) photo-résistances montées en croix autour d'un point focal (foyer) d'une lentille de 35 mm de diamètre et une distance focale de 190 mm, captant les rayons solaires. Deux (02) photo-résistances commandent un mouvement du capteur (azimuthal dans notre cas), se trouvant sur le plan du capteur et placés à 26 mm l'une de l'autre (à partir de leurs axes médians). Les photo-résistances utilisées sont du type LDR03 dont la sensibilité est limitée à un domaine spectral bien défini. Pour les faire travailler dans le domaine

de la plus grande précision, la lumière a été atténuée de 80% par un filtre gris.

Les photoresistances LDR03 ont les caractéristiques suivantes :

- surface sensible projetée =  $0,5 \text{ cm}^2$
- résistance d'obscurité =  $10 \text{ M}\Omega$  (à  $V_a = 100 \text{ V}$ )
- résistance à  $50 \text{ Lux} / 854 \text{ K} = 8 \text{ K}\Omega$
- tension d'alimentation maximum =  $150 \text{ V}$

C'est donc du senseur optique que les signaux de commande sont délivrés.



Pourcentage de la sensibilité spectrale obtenue en fonction de la longueur d'onde de la lumière incidente

### III.2.2 Amplificateur.

Les électrovannes sont commandées par un relais à 2 positions alimenté par l'impulsateur. Le courant sortant du multivibrateur est amplifié par un transistor.

Sachant que le relais commute pour un courant de  $150 \text{ mA}$ , le transistor utilisé est un 2N 2219 dont le gain est  $\beta = 50$ .

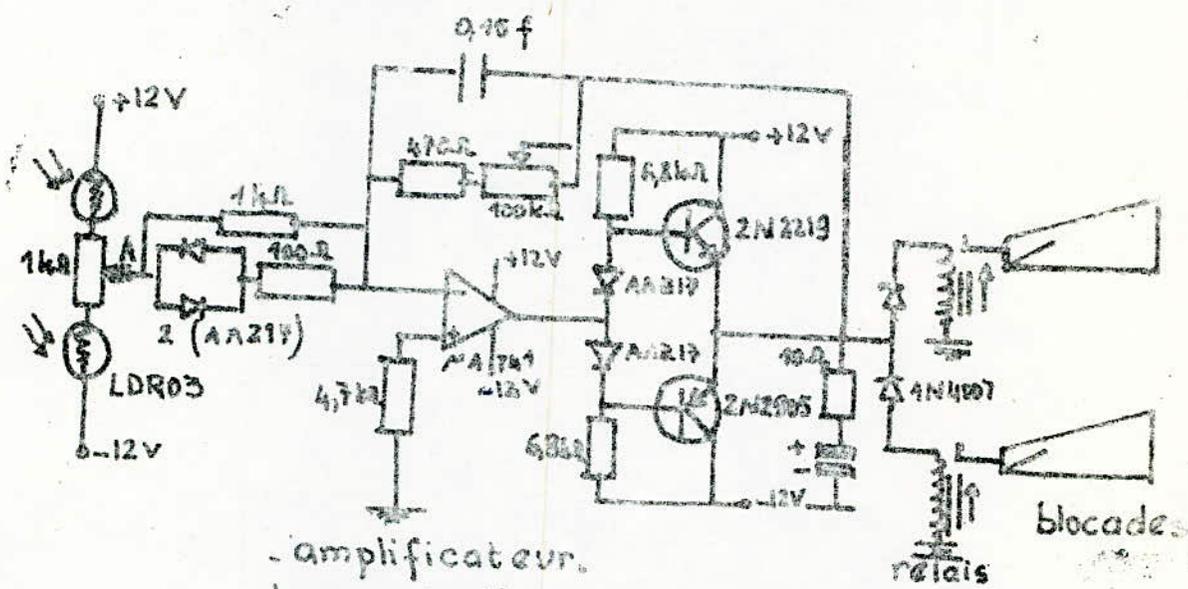
L'amplificateur de puissance, détecteur de zéro ainsi que le comparateur assurent la liaison entre les photoresistances et les blocades électromagnétiques.

L'amplificateur a été réalisé sur un circuit imprimé - voir figure III.2.2.

Le fonctionnement de l'amplificateur est comme suit : Les photoresistances montées deux à deux en pont diviseur de sorte que la tension médiane soit nulle lorsqu'elles ne sont pas éclairées.

Si l'une des deux (02) photoresistances est éclairée tandis que l'autre est dans l'obscurité totale, un signal de commande apparaît d'où une différence de potentiel au point median  $A_1$  (foyer de la Lentille) comparée à un seuil de référence par l'amplificateur opérationnel, qui sera par la suite amplifié pour la commande de la saturation de l'un des deux (02) transistors (suivant que cette tension de sortie de l'amplificateur est négative ou positive) actionnant ainsi le relais.

Le schéma suivant nous donne un aperçu sur le fonctionnement de l'amplificateur ainsi que les blocs électromagnétiques.



amplificateur.  
schéma de l'amplificateur et blocade  
figure III. 2,2

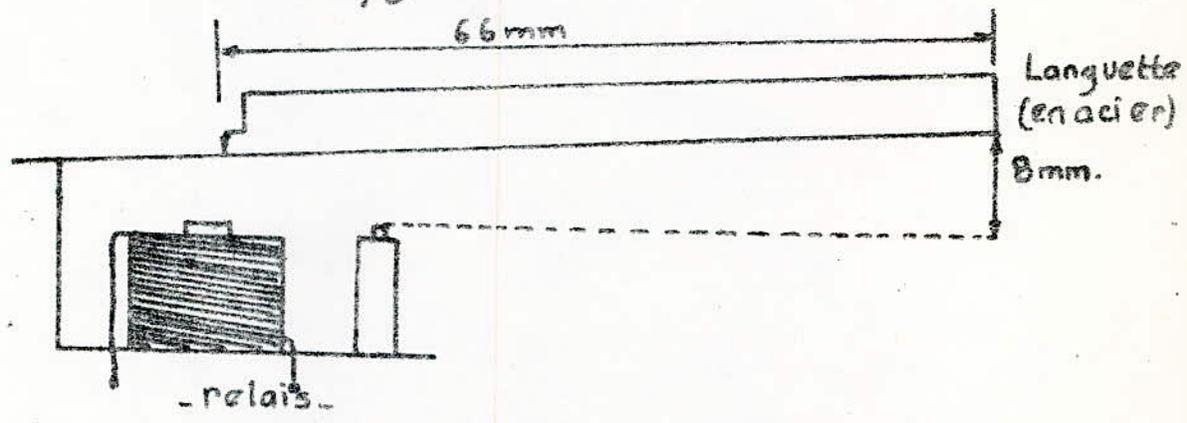
### III.2.2.1 Relais:

Le relais utilisé est un relais à deux positions qui commutte à 150 mA. (courant délivré par l'impulseur),  
 Le relais est du type courant à 12 volts. *le senseur-optique*

Les relais (au nombre de deux-02-) ont été prolongés par des languettes en acier, qui serviront de blocades aux servomoteurs. Elles empêcheront le libre déplacement du piston tandis qu'elles ne recevront pas des signaux de l'amplificateur.

La Languette a une longueur de 66 mm, elle effectue à son extrémité un déplacement de 8 mm. elle est positionnée dans la fente du support de fixation des servomoteurs.

Voir figure III 2.3



Relais avec Languette de prolongement  
 figure III.2.3

### III.1.2.2.2 Amplificateur Operationnel.

C'est un amplificateur differentiel susceptible de travailler avec un reseau exterieur de contre reaction (lineaire ou non lineaire) destine à fixer le gain ou la fonction de transfert.

Un amplificateur ideal est un montage qui fournit une tension de sortie proportionnelle à la difference de tension qui existe entre ses deux (02) entrees.

La tension de sortie etant du même signe que la tension d'entree non inverseuse (ou entree positive) par rapport à la tension d'entree inverseuse (ou entree negative).

L'amplificateur possede les caracteristiques suivantes :

gain differentiel =  $\infty$

gain de mode commun = 0

Impedance d'entree =  $\infty$

Impedance de sortie = 0

bande passante =  $\infty$

tension de decalage = 0

Les caracteristiques d'un amplificateur ideal ne peuvent pas être obtenues dans la pratique et on doit se contenter d'approximations suffisantes pour ne pas apporter des perturbations sensibles dans les montages.

Ce type d'amplificateur est conçu pour travailler avec un reseau de reaction exterieure (qui peut être positive ou negative selon le cas).

. si la reaction est dite negative, si elle s'effectue entre la sortie et l'entree negative, dans ce cas l'amplificateur operationnel - ampli ope - travaille en contre reaction et son fonctionnement est stable.

. si elle est dite positive, si elle a lieu entre la sortie et l'entree positive, dans ce cas l'ampli-ope travaille en reaction et son fonctionnement est instable.

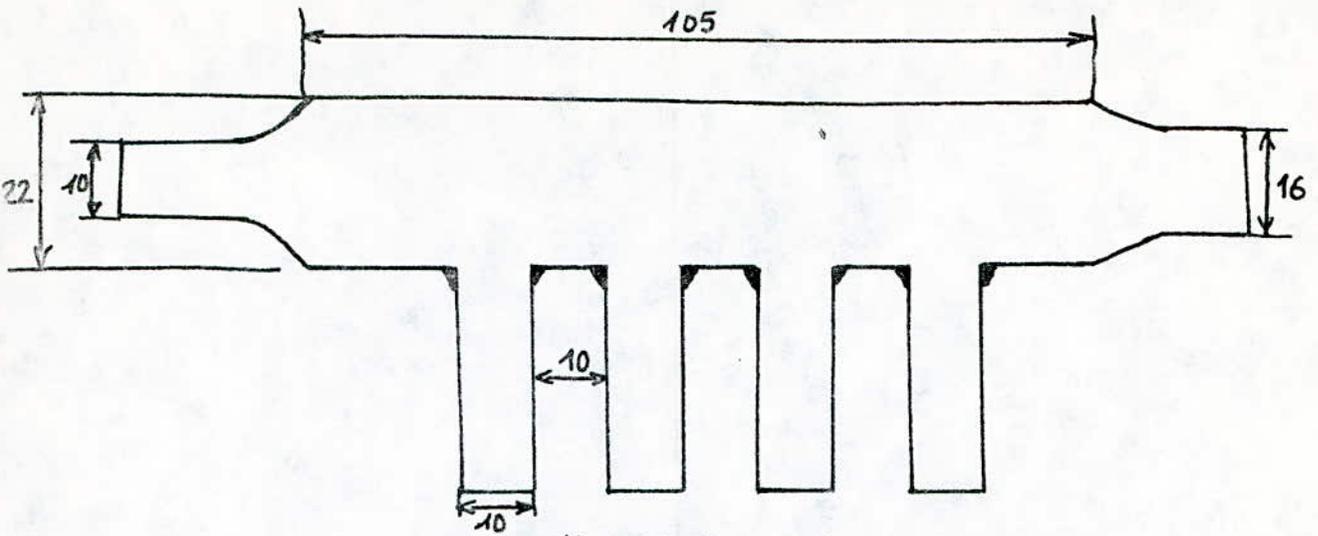
Son fonctionnement dans le système est très important surtout pour le retour du capteur dans la position initiale c'est à dire retour à l'est.

L'amplificateur opérationnel commande la bobine du relais (celle-ci a un contact ouvert au repos et un contact fermé au repos) agissant ainsi sur la blocade électromagnétique assurant le retour vers l'est.

### III. 1. 2. 3 Blocades Electromagnétiques

Ces blocades ne sont que des relais prolongés des languettes en acier.

Leurs fonctionnements assurent les mouvements du capteur solaire (mouvements azimuthal et mouvement en site) ainsi que son retour à l'est dès qu'il ne reçoit plus de rayons lumineux dont l'intensité lumineuse n'a pas atteint un certain seuil de référence fixé.



distributeur hydraulique  
figure III. 1

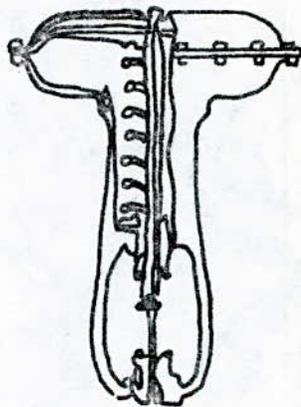
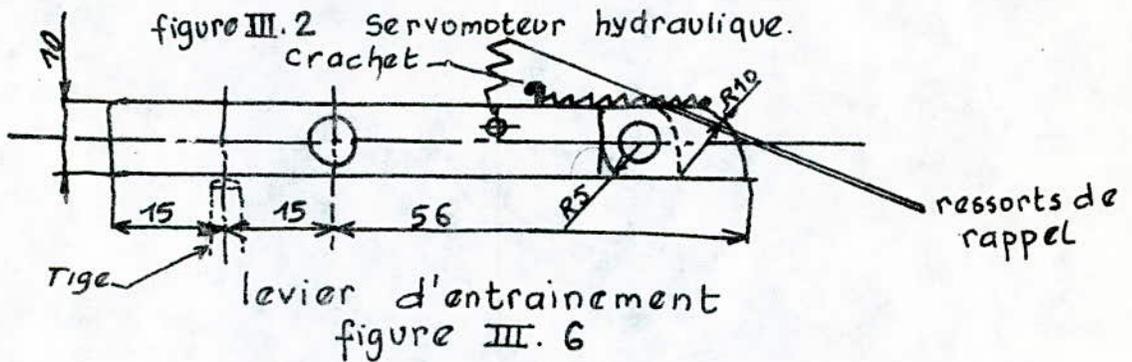


figure III. 2 servomoteur hydraulique.



levier d'entrainement  
figure III. 6

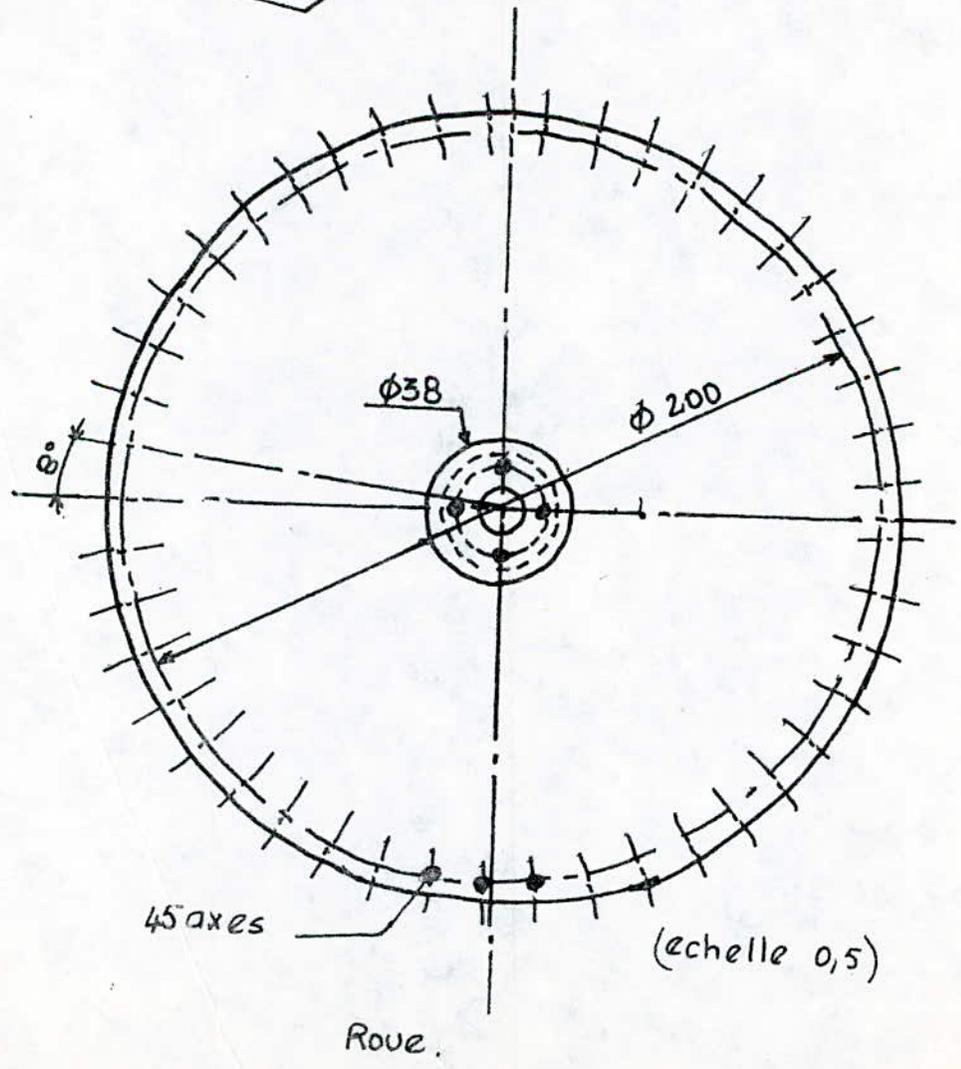
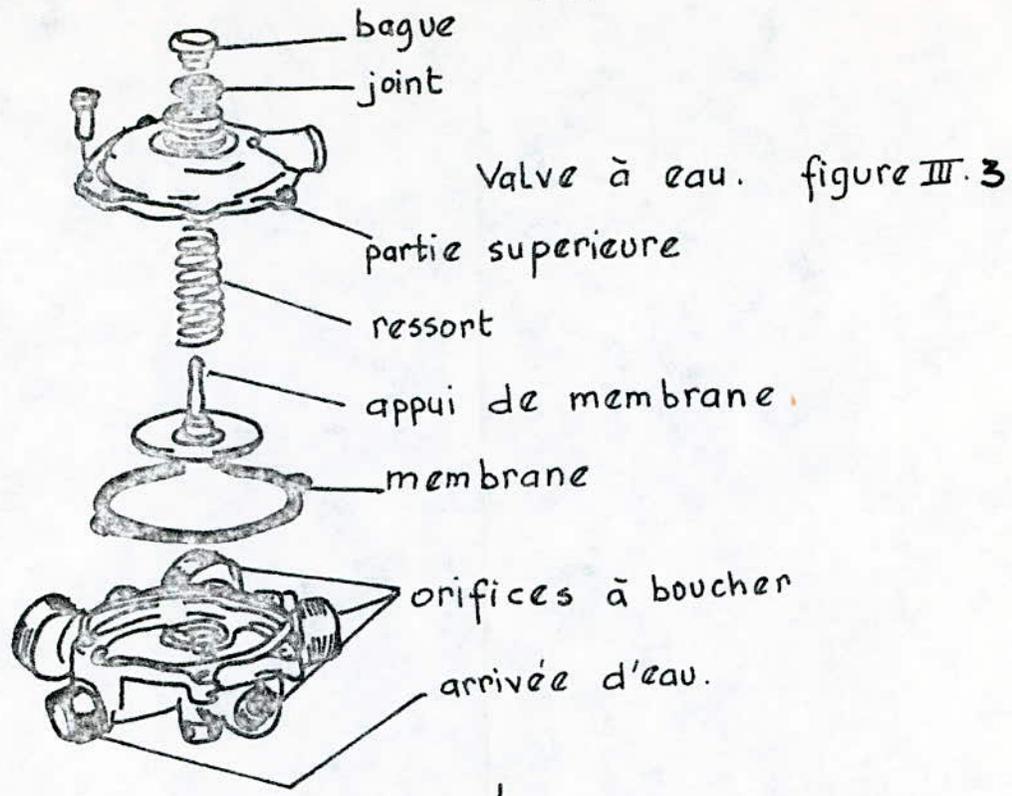
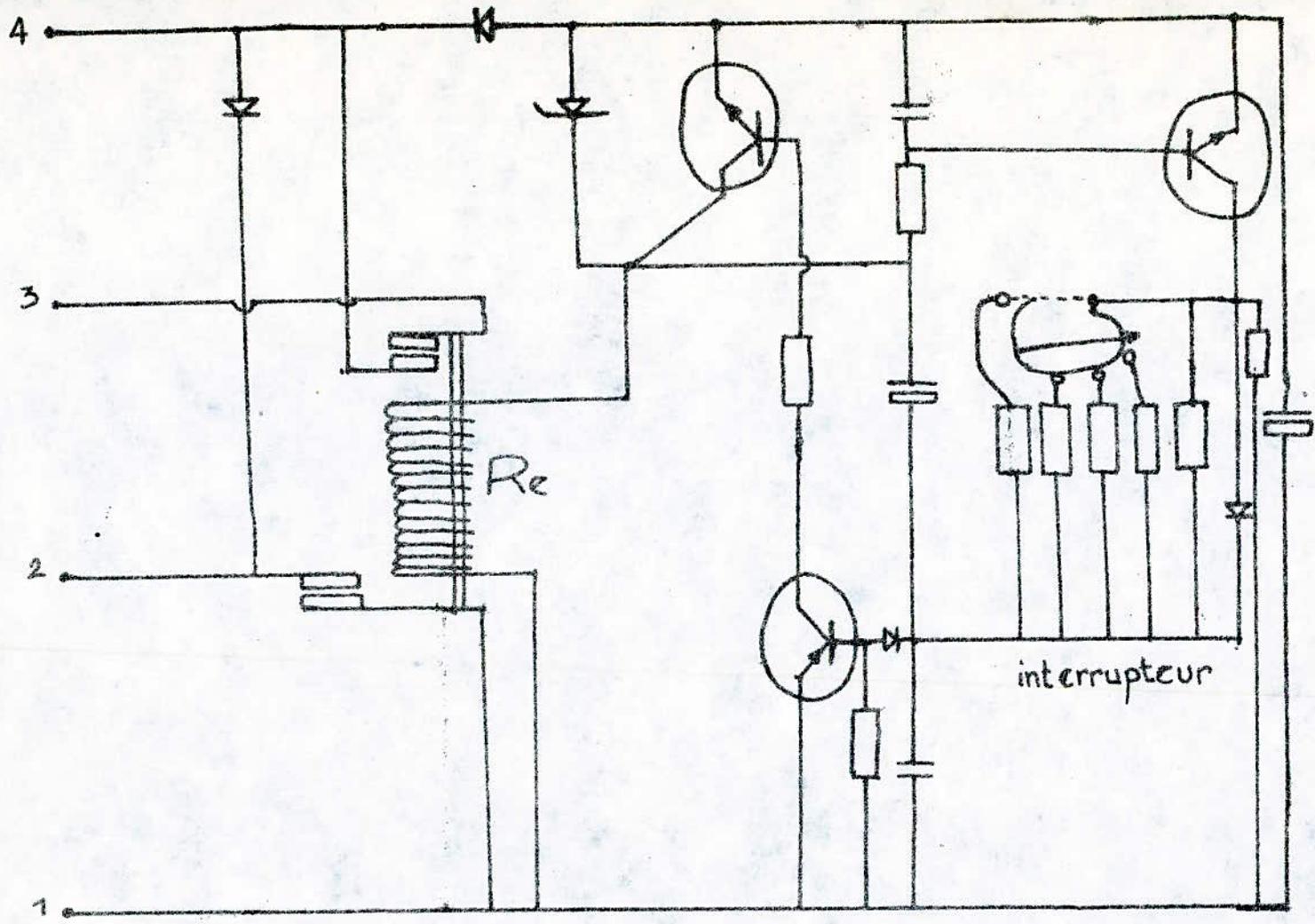


figure III.5



34

figure III.4

### III. 2 SYSTEME ELECTRIQUE

Dans ce systeme, on remplace certains elements du systeme electrohydraulique par d'autres elements nouveaux mais le principe est toujours le meme, c'est à dire l'orientation automatique du capteur. Le systeme de traction - systeme hydraulique est remplacé par un sous-systeme d'entrainement qui est electrique.

Dans, ce sous systeme, on a utilisé des moteurs electriques à courant continu. Ceux-ci sont à collecteurs du type MC1 à inducteur serie, et qui seront alimentés par des batteries.

Tout le systeme electrique est élaboré en deux (02) parties differentes

- partie de detection: senseur optique, amplificateur
- partie d'entrainement: relais et moteur.

Dans la premiere partie, le senseur optique et l'amplificateur sont les mêmes que ceux du systeme electrohydraulique ainsi que l'impulsateur.

Pour cette partie, on decrira ci-après les nouveaux elements utilisés dans ce systeme.

#### III. 2.1 Moteur à courant continu.

C'est un moteur à essui-glace: petits moteurs à inducteurs serie. Le flux inducteur depend du courant traversant l'induit. Ce type de moteur comprend toujours un element fixe ou stator (inducteur) et un element tournant ou rotor (induit). L'entrefer separant ces deux (02) elements a une epaisseur qui peut varier de 0,2 mm à plusieurs millimètres.

##### III. 2.1.1: La partie tournante - induit.

Elle est pourvue d'un organe de commutation

à contacts glissants.

Le collecteur comporte plus ou moins de lames en cuivre (en Cu) sur lesquelles frottent une ou plusieurs paires de balais en graphite ou en cupographe.

III. 2. 1. 2. L'induit de résistance  $R$  est soumis au flux d'induction magnétique  $\Phi$  de l'inducteur et produit aux balais une force électromotrice - f.e.m. - continue  $E$  proportionnelle à la vitesse et au flux.

Si l'on applique une tension continue aux balais le courant  $I$  qui circule entre la source et le moteur satisfait à l'équation suivante  $U = E + RI$ . Le couple développé par l'induit est proportionnel au courant  $I$  mais indépendant de  $E$  donc de la vitesse. La puissance requise est infime de l'ordre de 2 à 3 watt.

Un interrupteur avec fusible est prévu pour la protection du moteur lors de son alimentation. La sortie du fusible est liée avec la borne m. - voir figure III. 5 - de l'interrupteur (qui est à deux positions et à deux circuits) qui est équipé des contacts m, n et l, s.

### III. 2. 1. 3 fonctionnement.

Nous étudierons ci-après le fonctionnement du moteur équipé d'un interrupteur avec fusible lors de son alimentation.

Dans la position d'enclenchement, le contact m, n est fermé et le contact l, s est ouvert, la tension d'alimentation est alors connectée aux balais du moteur provoquant ainsi son démarrage. L'interrupteur de fin de course est alimenté directement.

Pendant chaque mouvement, l'interrupteur de fin de course déclenche la tension aux balais du moteur. et quand l'essui glace (qui est remplacé dans notre cas par

un levier se trouve dans la position limite, et en même temps il ferme le balai de l'interrupteur (m,n).

Pendant que l'interrupteur (contact m,n) est enclenché, son fonctionnement n'a aucune influence sur le fonctionnement du moteur à cause de l'alimentation en parallèle et l'ouverture du contact s,l.

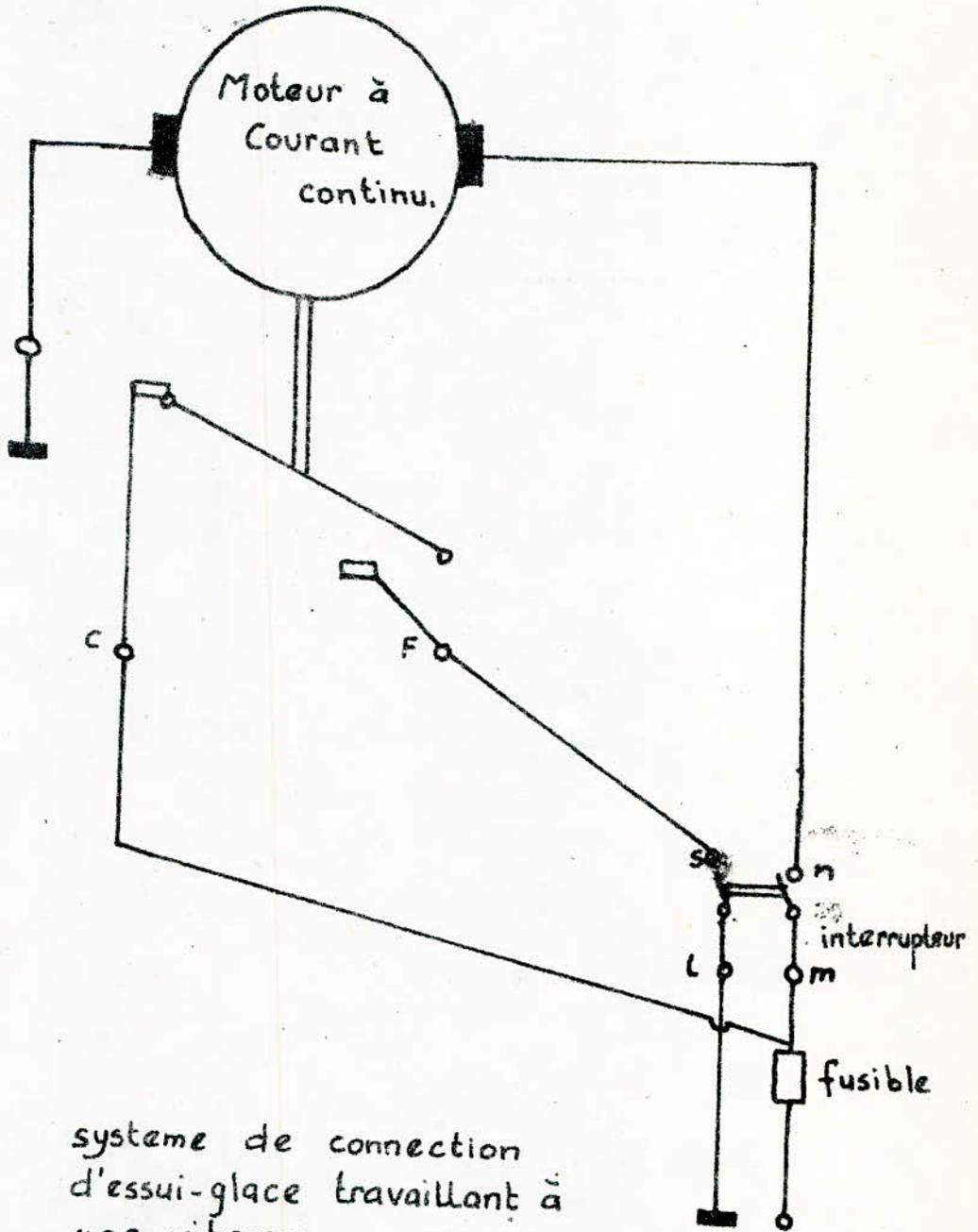
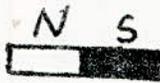
Dans le mouvement de déclenchement, Les contacts m,n et l,s sont fermés, Le moteur tournera jusqu'au moment où l'interrupteur de fin de course interrompera l'arrivée du courant.

Dans notre dispositif, deux moteurs sont disposés de part et d'autre de la roue (fixée) - l'axe du moteur est pourvu d'une tige en acier. Les moteurs sont commandés par des relais recevant des impulsions de l'impulsateur pour leurs alimentation. Ces relais recevant des signaux de commande du senseur optique.

Si selon : La tension de sortie de l'amplificateur est positive ou négative que l'un des deux relais commutent (selon le cas). Le relais enclenché, Les impulsions du multivibrateur arrive au moteur, provoquant ainsi son démarrage, pendant une demi-période.

Les moteurs d'essui-glaces sont récupérables de vieilles autos, et même les nouveaux sont bon marché. La qualité, la grandeur importe peu.

Moteur d'essui-glace avec interrupteur de fin de course



systeme de connection d'essui-glace travaillant à une vitesse.

figure III.5

### III. 2. 1. 4. fonctionnement du système :

#### Impulsateur - Moteur.

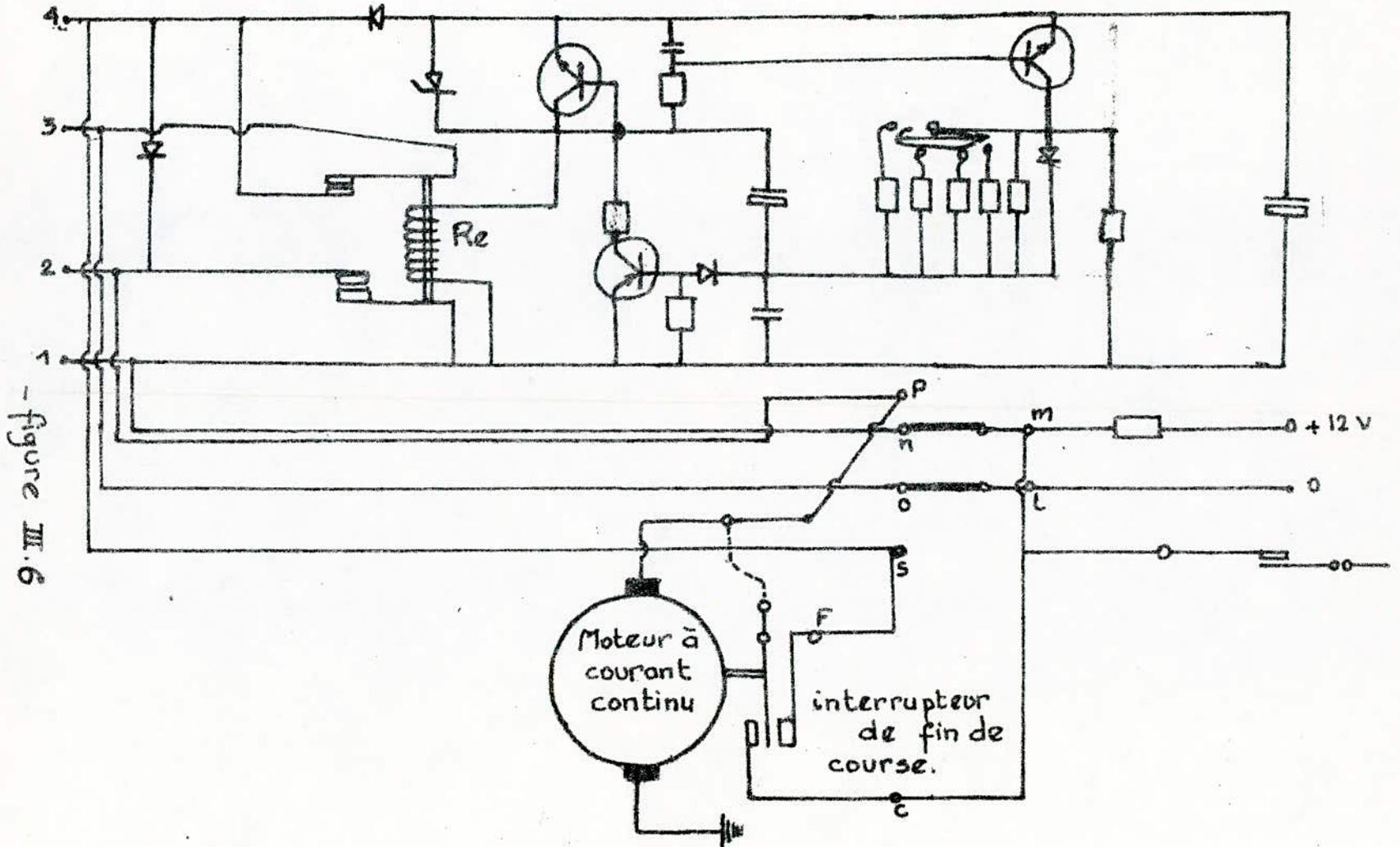
L'application de l'interrupteur à trois positions et à deux circuits, les positions sont les suivantes :

- . travail continu d'essui-glaces
- . travail programmé
- . essui-glaces déclenché.

Dans la position 1, Les contacts m, n et L<sub>0</sub> sont fermés; La tension est branchée sur la borne "1" du programmeur. Le système de commande du programmeur envoie des impulsions sur la bobine du relais R<sub>e</sub> selon le programme choisi par l'interrupteur interne. Comme résultat de cette impulsion, on a la fermeture du contact connecté avec les bornes "1" et "2" et l'ouverture du contact connecté avec les bornes "3" et "4". La fermeture des contacts "1" et "2" conduit le courant vers le moteur. S'il n'y a pas d'impulsions, les contacts "1" et "2" s'ouvrent et le contact entre les bornes "3" et "4" se ferme provoquant la connexion des balais du moteur avec la masse (après le fonctionnement d'interrupteur de fin de course et l'arrêt du moteur); en effet, on obtient le mouvement distinct d'essui-glace au moment choisi par l'interrupteur interne du programmeur.

Dans la position d'enclenchement, les bornes L et S sont fermés après le fonctionnement de l'interrupteur de fin de course; on a l'interruption (coupure) du courant c'est alors que le balai du moteur est connecté avec la masse et le moteur sera arrêté (freiné).

Dans notre système, l'axe portant l'essui-glace est prolongé d'une tige qui transmet le mouvement au levier d'entraînement (levier avec bout arrondi avec ressort de rappel) qui transmet le mouvement à la roue et par la suite au capteur-voir figure III-6



Moteur d'essui-glace avec contacteur de fin de course

figure III.6

### III.3 BATTERIE

C'est une batterie au "plomb" transportable et utilisable dans toutes les positions n'exigent d'autre entretien que des recharges régulières.

L'association "plomb - calcium" conduit à des durées de vie étonnantes : plus de 10 ans, si les régimes de charge et de décharge respectent les spécifications du constructeur. Une recharge totale, dans des conditions optimales doit durer environ 10 à 12 heures, à partir de la décharge complète. Cela signifie que pour une batterie de capacité "C" (exprimée en ampère-heure) l'intensité de charge exprimée en ampère est  $I = \frac{C}{10}$  (avec  $t = 10$  heures)

En pratique, on n'attend qu'exceptionnellement l'épuisement complet de la batterie avant de lui restituer l'énergie consommée. La durée de la recharge n'étant pas connue a priori, sa fin doit être déterminée à partir d'autres critères que le temps. On exploite d'ordinaire et dans le cas des batteries au plomb, les variations de la f.e.m.

Les plus fréquentes sont les batteries de 6 volts (3 éléments à 2 volts chacun) et de 12 volts (6 éléments).

Dans notre dispositif, on a utilisé une batterie de 12 volts pour l'alimentation des moteurs à partir de l'impulsateur.

Elle peut aussi alimenter l'amplificateur, et peut être rechargée à partir du capteur grâce aux cellules photovoltaïques.

Nous donnons ci-après les caractéristiques d'un accumulateur au plomb (batterie).

III.3.1 force électromotrice: (à 25°C).

en service normal, la f.e.m. est de 2 V par élément  
en fin de charge, la f.e.m. est de 2,2 V par élément

en fin de decharge, La f.e.m est de 1,8V par element.

III. 3.2 resistance interne:

La resistance interne de la batterie est de l'ordre de quelques centiemes d'ohms par element.

III. 3.3 densite' d'electrolyte:

La densite' de la solution  $H_2SO_4 + H_2O$  est:

1,28 à pleine charge.

1,20 à mi-charge

1,10 en decharge.

L'une des principales caracteristiques d'une batterie est sa capacite' qui est le courant debite' pendant un temps "t". Elle depend du regime de decharge et s'exprime en ampere-heure. (A.H)

La batterie que nous avons utilise' a une capacite' de 60 A.H.

Son rendement en ampere-heure est donne' par la relation suivante:

$$\eta = \frac{\text{A.H fournis \u00e0 la decharge}}{\text{A.H restitu\u00e9s \u00e0 la charge}} \times 100 (\%)$$

ce rendement est d'environ 90% pour les elements au plomb et de 71% pour les elements en fer-nickel.

Le rendement en energie est de l'ordre de 68 \u00e0 75% pour la batterie au plomb.

Pour recharger une batterie, il lui faut plus d'ampere-heure qu'elle n'en a debite'. Le rapport  $\frac{Q \text{ debitee}}{Q \text{ fournie}}$  est appele' le rendement en quantite' ( $\eta_Q$ ) qui

est de l'ordre de 90%, et le rendement energetique se situe entre 68% et 75% et cela pour la batterie au plomb qui est la meilleure parmi les batteries en fer-nickel et en cadmium-nickel. etc... qui ont des rendements faibles.

# Chapitre IV

## IV ETUDE PRATIQUE

### Introduction:

Le système de commande d'orientation automatique d'un capteur solaire est réalisé de deux (02) manières.

- . Le système de commande est électrohydraulique qui est élaboré en deux (02) sous-systèmes.

- . système de traction

- . système de détection de la position du soleil

- . Le système de commande est purement électrique qui est élaboré lui aussi en deux (02) sous-systèmes.

- . système de commande des moteurs électriques

- . système de détection de la position du soleil

### IV.1 SYSTEME de DETECTION

Le détecteur est placé sur le trajet du rayonnement direct provenant du soleil.

Une variation de la position du soleil se traduit par rapport à un point du panneau par un angle. Les déplacements angulaires sont transformés en variations d'éclaircissements, qui sont converties au moyen d'un dispositif photodétecteur en des signaux de commande au système servo-mécanique.

#### IV.1.1. Conversion du déplacement angulaire en une variation d'éclaircissement.

##### IV.1.1.1 Collimateur:

Le collimateur est essentiellement constitué par un tube portant une simple lentille à une extrémité et dans l'autre un dispositif (senseur optique) constitué de quatre photo-détectrices (photo-résistances).

La lentille donne une image du soleil qui

recouvre soit complètement, soit partiellement ou pas du tout ces quatre cellules disposées en croix autour du point focal (montées en pont diviseur). Elles fonctionnent par groupe de deux, l'un modifiant les sites du capteur et l'autre modifiant les azimuts.

Pour chaque paire de cellules photodectrices le dispositif est tel que les voltages produits sont en opposition.

Quand l'image du soleil se trouve au centre de la paire de cellules, les voltages sont égaux, il n'en résulte pas de différence de potentiel (pas de signal de commande). Dès que l'image du soleil se déplace, une certaine différence de potentiel apparaît qui va être le signal de commande.

#### IV.1.1.2 Disposition des quatre cellules:

Les cellules détectrices (photoresistances) sont disposées en croix autour d'un point focal de la lentille (décrit déjà en IV.1.1.1). C'est un dispositif simple et devra avoir un écran protecteur pour avoir la protection des cellules ainsi qu'une grande précision et une bonne stabilité.

Les cellules ne doivent pas être exposées à un grand éclairement. Elles ont une certaine plage de sensibilité (elles sont très sensibles); une légère variation angulaire du faisceau convergent doit être rapidement convertie d'où une variation rapide et importante de la d.d.p de commande.

#### IV.1.2 Conversion de la variation d'éclairement en signal électrique.

Les photodectrices sont à l'origine de

cette conversion.

Les photodetectrices sont des photoresistances du type LDR03.

Ces cellules ont une resistivité élevée dans l'obscurité qui est fortement diminuée par l'action de la lumière. Les principales caractéristiques des resistances photosensibles sont :

- La résistance d'obscurité ; c'est à dire la résistance présentée par la cellule après un temps d'au moins 20 secondes dans l'obscurité. Ce paramètre varie en general suivants les modèles entre.

$$10^4 \Omega < R_0 < 10^9 \Omega$$

- La résistance pour un éclaircissement de 100 Lux dont la valeur se situe entre  $10 \Omega$  et  $5 \cdot 10^3 \Omega$  suivant les modèles.

- Dissipation maximale comprise entre 50 à 100 W c'est selon la nature de la surface active.

- La tension maximale admissible aux bornes de la cellule non éclairée peut être comprise entre une dizaine et quelques centaines de volts.

- La réponse spectrale qui peut être modifiée dans de très importantes proportions grâce à l'adjonction au matériau principal qui constitue la photoresistance, d'impuretés soigneusement dosées.

L'action de la lumière sur la resistivité qui est pratiquement lineaire dans une certaine gamme d'éclaircissement.

- Le temps de réponse est l'inconvenient majeur présenté par la photoresistance. Leur emploi est interdit à haute fréquence.

- Pour des éclaircissements supérieurs à 50 Lux, l'action de la température sur la photoresistance est

relativement peu importante (0,1 à 1% par degré entre  $60^{\circ}\text{C}$  à  $+75^{\circ}\text{C}$ ); mais elle peut affecter la résistance d'obscurité dans de très larges proportions:

La résistance à 0,01 Lux peut-être 3 à 4 fois plus faible à  $75^{\circ}\text{C}$  qu'à  $25^{\circ}\text{C}$ .

Notre choix s'est porté sur les photoresistances parmi les principaux éléments photosensibles à semi-conducteurs (photo diodes, phototransistors, cellules photovoltaïques, diodes pin etc...) parcequ'elles sont les mieux adaptées; sensibles à la lumière visible, fiable, très grande sensibilité en fonction de l'éclairement et le prix d'achat assez bas; durée de vie importante.

Le dispositif donné par la figure IV.1 est capable de donner une variation de tension en fonction de la variation de l'éclairement des cellules:

$V_{pa}$ : tension délivrée par le circuit "de précision" pour une variation azimuthale du soleil.

$V_{ps}$ : tension délivrée par le circuit "de précision" pour une variation en site du soleil.

$R_{pa}$ : résistance de la photoresistance en azimuth.

$R_{ps}$ : résistance de la photoresistance en site.

$R_e$ : résistance (interne) d'entrée de l'étage suivant.

On a pour le circuit de commande en azimuth par exemple:

$$\begin{aligned} V_{pa} &= E - R_{pa2} \cdot i_2 \\ &= -E - R_{pa1} \cdot i_1 \\ &= R_e (i_1 + i_2) \end{aligned}$$

$$i_{pa} = i_1 + i_2$$

Les équations  $V_{pa}$  et  $i_{pa}$  respectivement la tension et le courant du circuit de commande, de contrôle en azimuth sont en fonction de  $R_{pa1}$ ,  $R_{pa2}$ ,  $E$  et  $R_e$  où  $E$  et  $R_e$  sont des constantes et  $R_{pa1}$ ,  $R_{pa2}$  des fonctions

Lineaires de l'eclaircement qui tombe sur elles.

$$i_{pa} = \frac{\frac{1}{R_{pa2}} - \frac{1}{R_{pa1}}}{1 + \frac{R_e}{R_{pa1}} + \frac{R_e}{R_{pa2}}} \cdot E$$

$$V_{pa} = R_e \cdot i_{pa}$$

on pose  $G_{pa1} = \frac{1}{R_{pa1}}$ ,  $G_{pa2} = \frac{1}{R_{pa2}}$  et  $Y_e = \frac{1}{R_e}$

$V_{pa}$  et  $i_{pa}$  deviennent:

$$V_{pa} = \frac{G_{pa2} - G_{pa1}}{G_{pa2} + G_{pa1} + Y_e} E$$

$$i_{pa} = Y_e \cdot V_{pa}$$

On remarque que:

- si Les cellules de controle en azimuth recoivent Le même eclaircement c'est à dire  $R_{pa1} = R_{pa2}$  ( $G_{pa2} = G_{pa1}$ ) on a alors  $V_{pa} = 0$  d'où  $i_{pa} = 0$ 
    - pas de signal de commande. La tache solaire est bien centrée sur l'ecran de La Lunette (Le foyer - point focal - se trouve juste au milieu : entre Les deux (02) photoresistances).
  - si  $R_{pa1}$  est moins eclairé que  $R_{pa2}$  on a alors  $R_{pa1} > R_{pa2}$  ( $G_{pa1} < G_{pa2}$ ) d'où  $V_{pa} > 0$ 
    - L'existence d'une d.d.p entraine un signal de commande
  - si  $R_{pa1}$  est plus eclairée que  $R_{pa2}$  on a alors:  $R_{pa1} < R_{pa2}$  ( $G_{pa1} > G_{pa2}$ ) d'où  $V_{pa} < 0$ 
    - une d.d.p apparait d'où signal de commande.
- D'une maniere identique, on calcule La tension  $V_{ps}$  et  $i_{ps}$  delivrés par Le circuit de controle des variations en site du soleil.

$$V_{ps} = \frac{G_{ps2} - G_{ps1}}{G_{ps2} + G_{ps1} + Y_e} \cdot E$$

$$i_{ps} = Y_e \cdot V_{ps}$$

Les quatre (04) photoresistances sont identiques ;  $V_{pa}$  et  $V_{ps}$  ont la même allure pour les mêmes variations d'éclairément.

Soit  $V_c$  l'une des deux (02) tensions, la courbe de la figure IV.2 donne l'allure de  $V_c$  en fonction de " $\theta$ "  $\theta$ : variation de la position du soleil (en absence de tout asservissement).

Soit  $V_s$  une valeur caractéristique de  $V_c$ : appelée tension de seuil

- . pour  $-V_s < V_c < +V_s$  Le signal de commande n'existe pas d'où le système asservi ne fonctionne pas
- . pour  $V_c > +V_s$  et  $V_c < -V_s$ : Le système asservi fonctionne.

Le processus d'asservissement est déclenché et les moteurs (servo-moteurs hydraulique) iront positionner le panneau de façon à remettre le faisceau de lumière dans la direction voulue (avoir  $\theta=0$ )

La tension de seuil  $V_s$  sera choisi de telle sorte que durant le cycle marche-arrêt du système la variation angulaire  $\theta$  du soleil n'ait pu dépasser la valeur " $\theta_p$ ": qui est la variation minimale de déplacement du soleil.

Soit  $\theta_{10}$  la somme de  $\theta_0$  et  $\theta_1$

$$\theta_{10} = \theta_0 + \theta_1 \quad (\theta_{10} \leq \theta_p)$$

- .  $\theta_0$ : déplacement angulaire du soleil pendant l'arrêt
- .  $\theta_1$ : déplacement angulaire du soleil pendant la marche

qui dépend du temps de réponse " $t_r$ " de la chaîne d'asservissement et du temps " $t_p$ " que mettra le panneau  $\theta$  à zéro ( $\theta=0$ ).

$\theta_1 = v_0 (t_p + t_r) = v_0 t_1$   
 $v_0$  étant la vitesse apparente moyenne du soleil

Pour réaliser le positionnement, le panneau devra tourner de :  $\frac{\theta_{10}}{2} = \frac{\theta_0 + \theta_1}{2}$  pendant un temps  $t_p$ .

Nous présentons en figure IV.3, l'allure de la tension  $V_p$  (site ou azimuth) en fonction de " $\theta$ " et en absence de tout asservissement.

$\theta_m$ : Variation maximale de la position du soleil susceptible d'être détectée par les cellules (photoresistances).

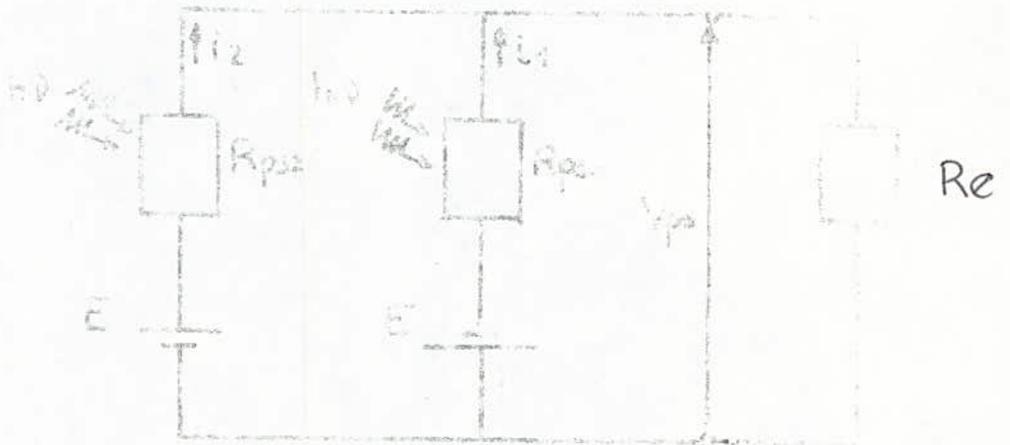
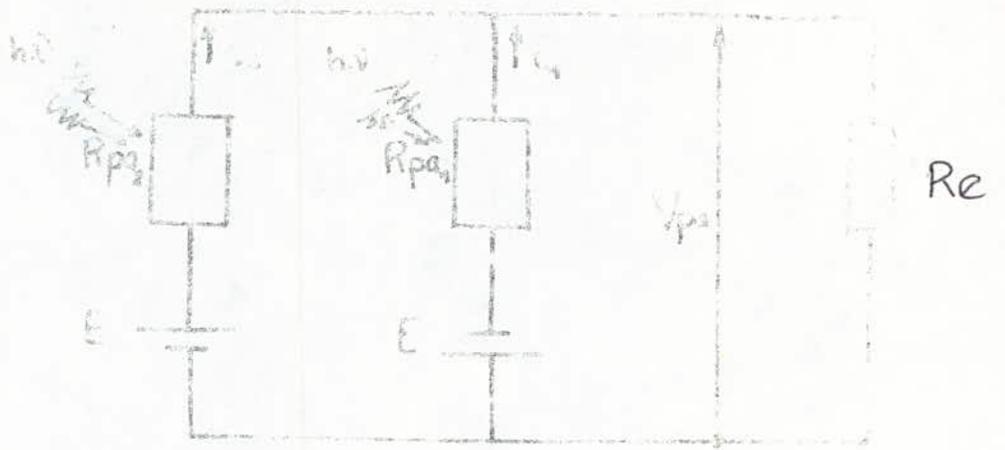


figure IV-1

Circuit transformant des variations d'éclairage en variation de tension

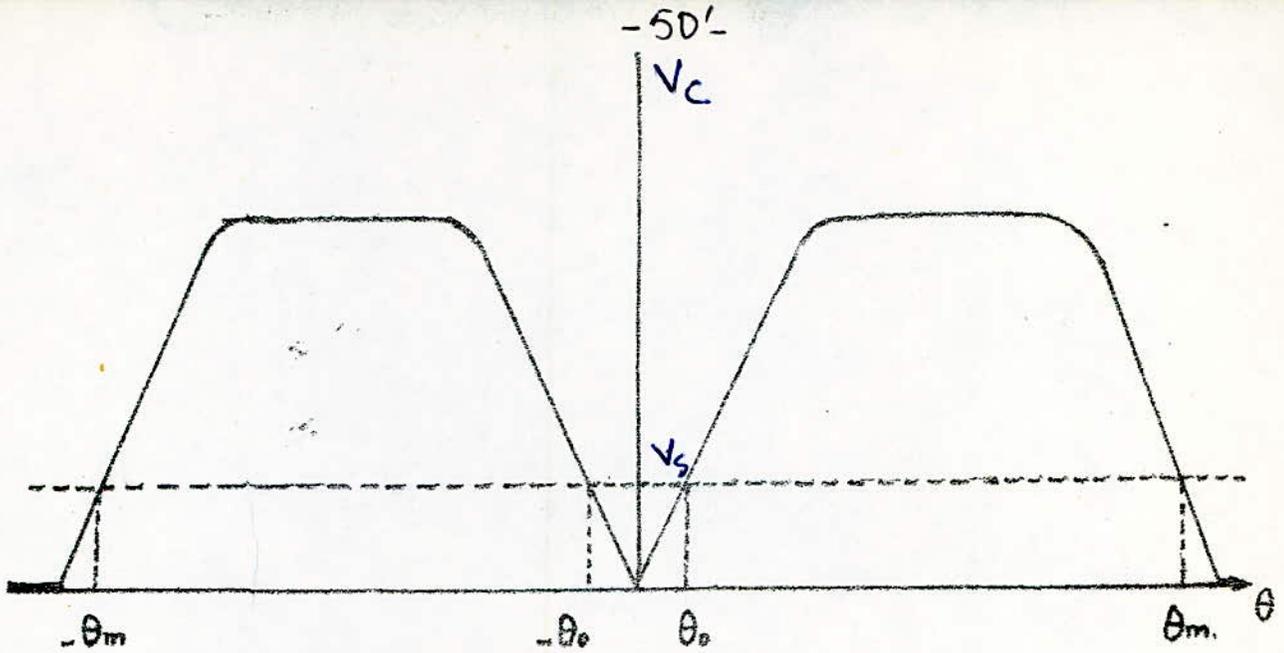


figure IV.2  
 Allure de  $V_c$  en fonction de  $\theta$  et en  
 absence de tout asservissement.

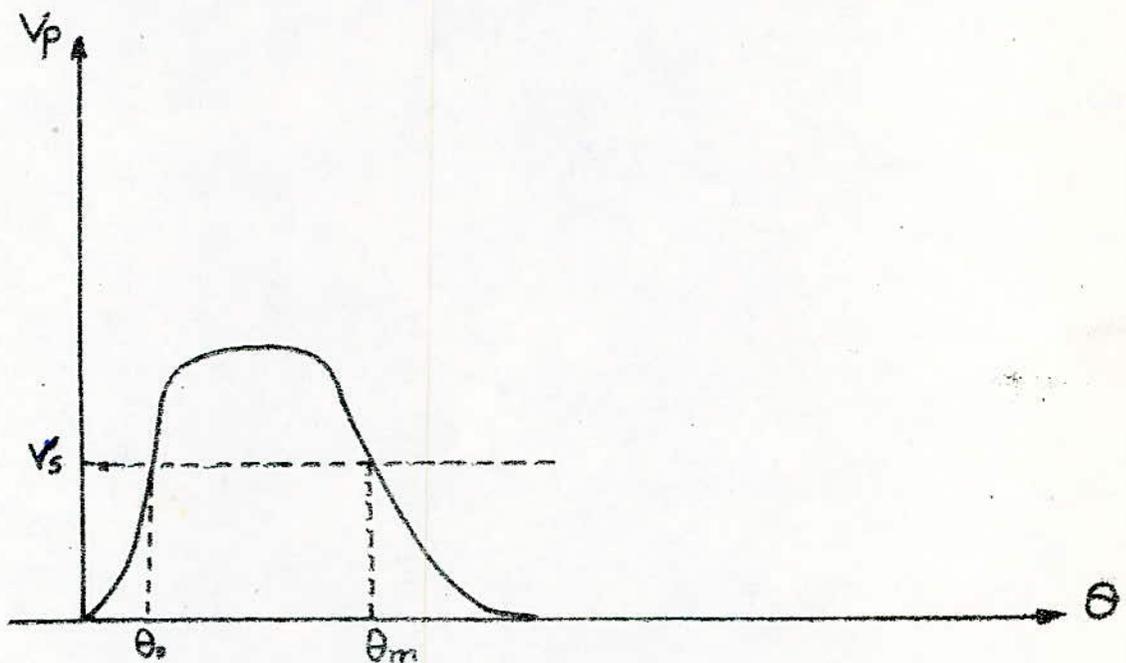
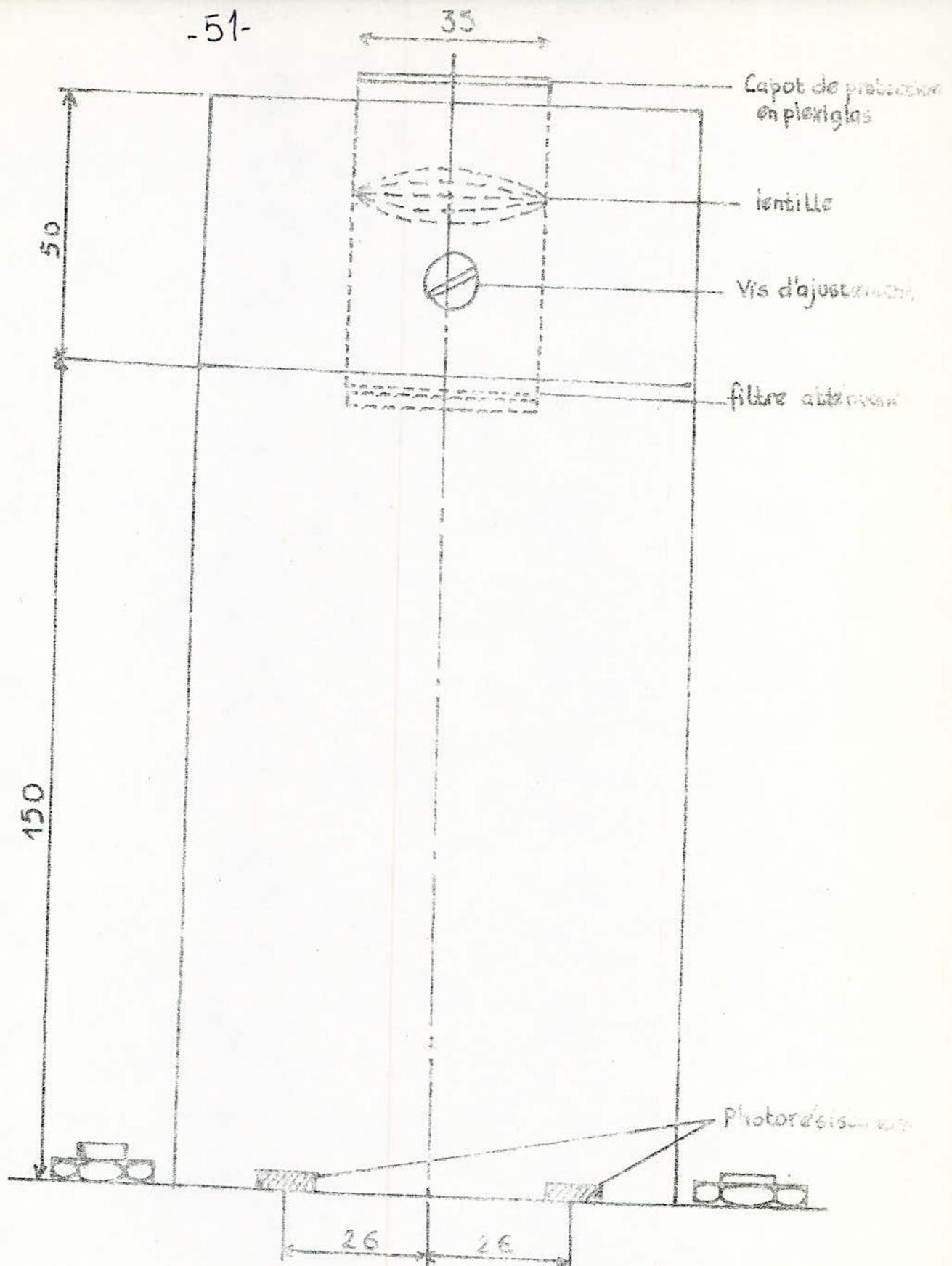


figure IV.3.  
 Allure de la variation de tension donnée  
 par les cellules en fonction de " $\theta$ "



batit du senseur optique.  
figure III.4



#### IV.2 SYSTEME de TRACTION:

Le sous-système travaille continuellement, sans arrêt. Les deux (02) électrovannes sont placées aux extrémités du distributeur hydraulique (l'une pour le réglage du débit d'entrée d'eau et l'autre pour le réglage du débit d'évacuation d'eau). Elles <sup>sont</sup> alimentées sous 220 volts, 50Hz et sont commandées par l'impulsateur qui envoie des signaux de période  $T$ .

Pendant la première demi-période, l'électrovanne "1" est ouverte: alimentation en eau du distributeur sous une certaine pression et l'autre électrovanne (n°2) est fermée: l'eau circule dans les tubes du distributeur vers les servo-moteurs provoquant le déplacement du piston. Et pendant la deuxième demi-période, l'électrovanne "1" est fermée: l'alimentation en eau est arrêtée et l'électrovanne "2" est ouverte d'où évacuation d'eau du distributeur, et ainsi de suite.

Le fonctionnement du dispositif est continu

#### IV.3 SYSTEME de COMMANDE des Moteurs.

Le sous-système fonctionne comme suit:

Sachant que les moteurs à courant continu sont disposés de part et d'autre de la roue d'entraînement du panneau

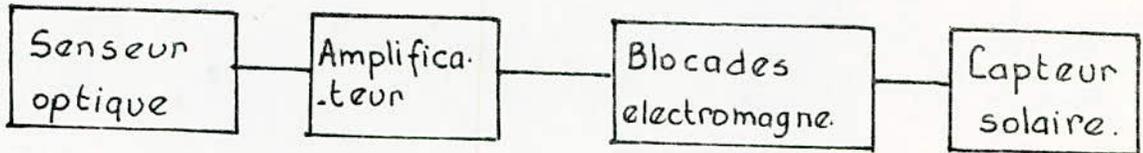
L'impulsateur alimenté par la batterie envoie des signaux de période  $T$ , qui passe par les relais aux moteurs. Lorsqu'il existe une variation angulaire du soleil c'est à dire un signal de commande, l'un des deux relais est enclenché et permet ainsi l'alimentation du moteur pendant une demi-période, tandis que l'autre moteur est à l'arrêt.

Si selon le signe de la d.d.p. quel'un des moteurs est alimenté pendant une demi-période du signal

envoyé par l'impulsateur.

## IV.4 FONCTIONNEMENT du SYSTEME ELECTROHYDRAULIQUE

### IV 4.1 Schema Synoptique du dispositif



### IV 4.2 fonctionnement

Des le levé du soleil (de l'est), Le capteur suit automatiquement celui-ci dans sa trajectoire elliptique et cela grâce au dispositif conçu et surtout au bon fonctionnement des photorésistances qui constituent principalement Le senseur optique.

Chaque déplacement du soleil provoque un déséquilibre du pont diviseur formé par les quatre photorésistances c'est à dire lorsque le rayonnement réfléchi est perpendiculaire au plan du capteur (au point focal ou foyer de la lentille), Les photorésistances ont une même résistance ( $R_{pa1} = R_{pa2}$  et  $R_{ps1} = R_{ps2}$ ) La tension médiane du pont diviseur est nulle, donc Le système est en équilibre (Le capteur est dans la bonne position). Mais lors du déplacement du soleil (d'une variation angulaire détectable), Le rayonnement n'est plus perpendiculaire au plan du capteur cela implique que l'une des photorésistances sera plus éclairée que l'autre d'où apparition d'une d.d.p  $V_c$  au point médian qui sera Le signal de commande La tension  $V_c$  sera comparée à une tension de référence  $V_s$  par un amplificateur opérationnel

La tension de sortie de cet amplificateur commande la saturation de l'un des deux (02) transistors (suivant que cette tension est positive ou négative) qui actionne un relais (en remarque : L'étude est faite pour un seul mouvement du capteur d'où la formation du pont diviseur par deux photorésistances).

Ainsi donc, le déséquilibre du pont diviseur provoque "l'excitation" d'un des relais qui est une bobine électromagnétique prolongée de la languette en acier qui se déplacera de la fente élaborée sur le piston du servo-moteur et le laissera libre dans sa translation. Le piston du servo-moteur transmet alors le mouvement au levier qui fait tourner l'arceau de  $8^\circ$  (ce qui correspond à un pas du servomoteur : un aller et retour du levier) et transmet le mouvement au capteur qui se déplacera d'une variation angulaire de  $1^\circ$  grâce aux deux poulies.

Sachant que le système de traction travaille continuellement. Lors du déplacement angulaire du soleil, le relais sera actionné et ne se désexcitera que lorsque le panneau est ramené dans la bonne direction par la transmission du mouvement en chaîne décrit ci-dessus. Le système travaille sans arrêt suivant le cas décrit ci-dessus jusqu'à ce que le capteur dans la bonne position de façon à mettre le faisceau de lumière réfléchi (avoir  $\theta = 0$ ); c'est alors que l'équilibre du pont diviseur est rétabli d'où égalité entre les résistances des cellules et que le relais s'excite, la languette revient dans sa position initiale (dans la fente) bloquant ainsi les déplacements du piston du servo-moteur et ainsi le capteur est maintenu fixe jusqu'à une nouvelle distabilisation : un nouveau déséquilibre.

#### IV. 4.3 SYSTEME de Retour.

Lorsque la luminosité n'est suffisante : au soir. L'intensité lumineuse descend en dessous d'un certain seuil fixé par une photoresistance (exposée au soleil) qui est dans le capteur et montée en pont diviseur. Cette cellule commande le relais qui agit sur la blocade assurant le retour à l'EST du capteur. La sortie de l'ampliope commande la bobine du relais (celui-ci comporte un contact ouvert et un fermé au repos). Lorsque l'éclairage de la cellule est suffisant ; le relais n'est pas excité le contact fermé au repos alimente le senseur optique. mais lorsque l'éclairage est insuffisant ; le relais sera excité, le contact ouvert au repos se ferme, ce qui excite le relais de la blocade qui laisse le passage au piston du servomoteur assurant le retour vers l'Est.

Le mouvement du capteur s'arrêtera et cela grâce à un contact (fermé au repos) inséré dans le circuit de la bobine (s'ouvrant grâce à une butée fixée à la poulie d'entraînement du panneau). Son ouverture désexcite la bobine donc le relais de la blocade qui arrête le mouvement du servo-moteur.

- Ainsi le panneau est dans la bonne position et attend le lever du soleil (position d'attente).

## IV.5 FONCTIONNEMENT du SYSTEME ELECTRIQUE

### IV.5.1 Schema Synoptique du dispositif.



### IV.5.2 fonctionnement

Le systeme de detection est le même que celui du systeme electrohydraulique, la seule difference reside en la transmission du mouvement à la roue d'entrainement. Le fonctionnement est comme suit:

Lorsque le rayonnement solaire est perpendiculaire au plan du capteur, il n'y a pas de signal de commande donc le systeme ne fonctionne pas.

Mais lors du déplacement du soleil, les deux photoresistances (qui constitue le pont diviseur) n'ont pas la même resistance, les voltages en opposition sont differents d'où l'existence d'une d.d.p. comparée à un seuil de reference par l'ampli. ope, sa tension de sortie provoque la saturation d'un des transistors qui actionne un relais.

le relais ainsi excité, laisse le passage des impulsions provenant de l'impulsateur alimenté par la batterie. ainsi donc on a l'alimentation d'un moteur pendant une demi-periode. L'axe du moteur est prolongé d'une tige et que lors de son mouvement, elle transmet au levier d'entrainement (fixé au batit et actionné par deux ressort de rappel) Le mouvement qui à son tour le transmet à la roue d'où entrainement du capteur.

Le moteur restera alimenté pendant des demi-periodes des signaux de l'impulsateur tandis que le relais est actionné, lorsque le capteur est dans la bonne position, pas de

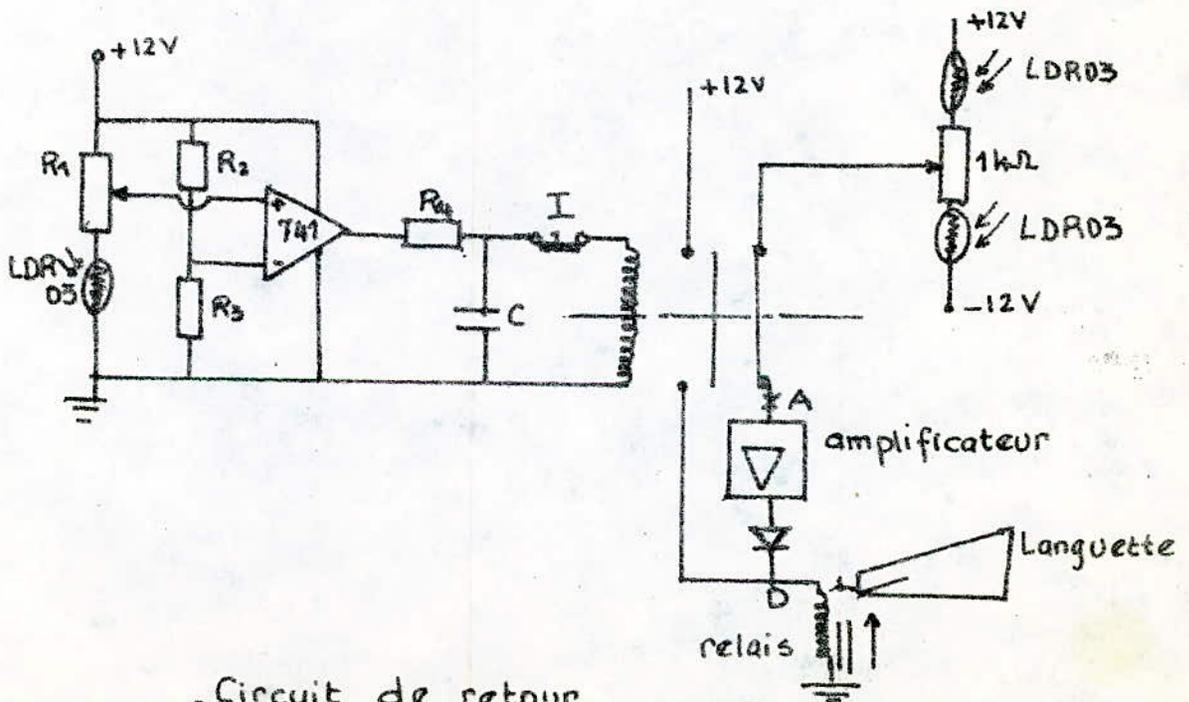
Mais lors du déplacement du soleil, les deux photoresistances (qui constitue le pont diviseur) n'ont pas

signaux de commande du senseur optique donc le relais n'est plus excité, et ne permettra donc pas l'alimentation du moteur. Et tout mouvement s'arrêtera.

#### IV.5.3 Systeme de retour.

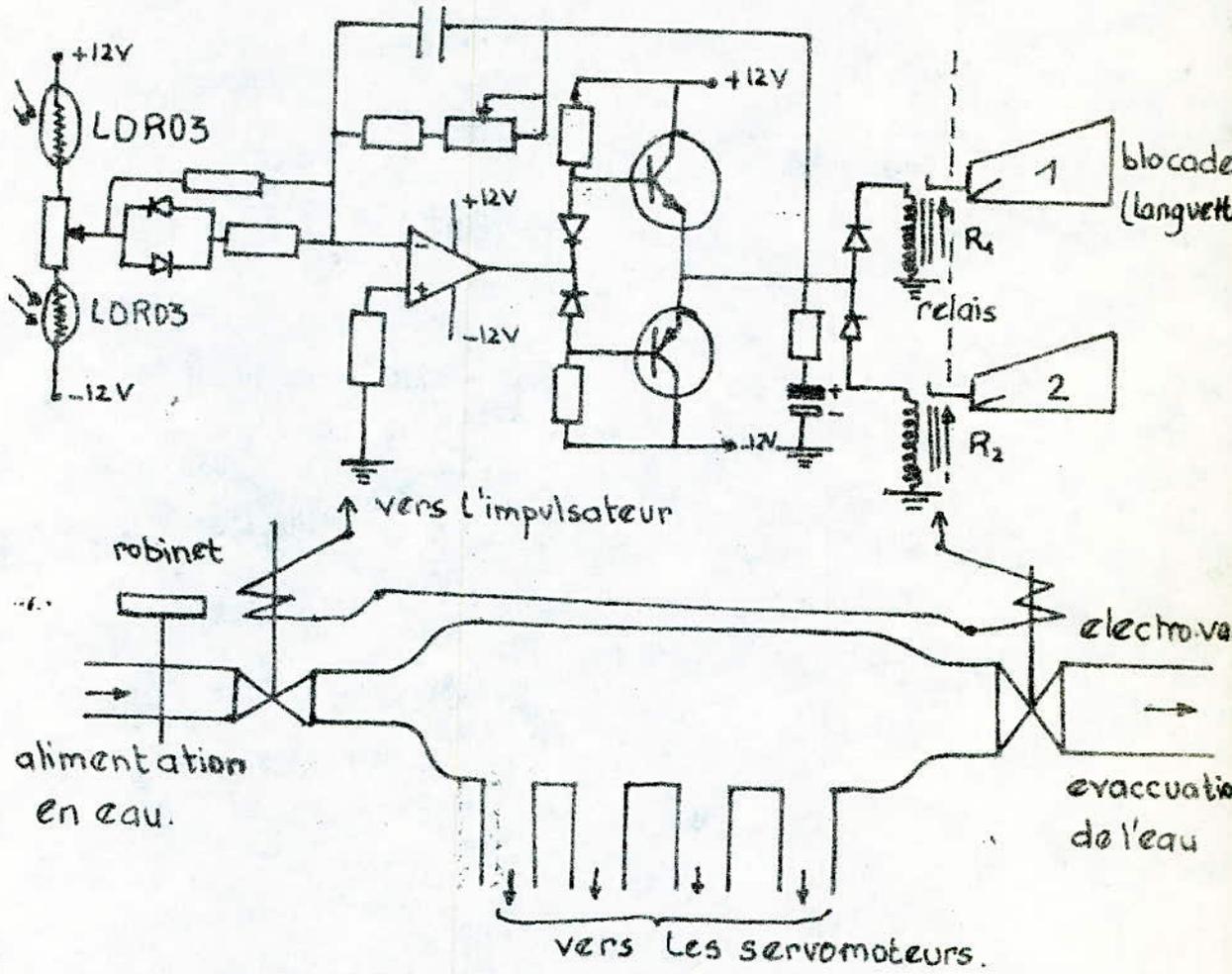
Le systeme de retour est le même que pour celui du systeme electrohydraulique sauf que le relais et languette est remplacé par un relais. si ce dernier est excité, il permettra l'alimentation du moteur à courant continu qui entrainera la roue d'entrainement du capteur et celui-ci reviendra dans la position initiale à l'Est. l'arrêt du mouvement est le même, lorsque le relais n'est pas excité, pas d'alimentation du moteur donc pas de transmission du mouvement au capteur.

Ce dernier est dans la position initiale.

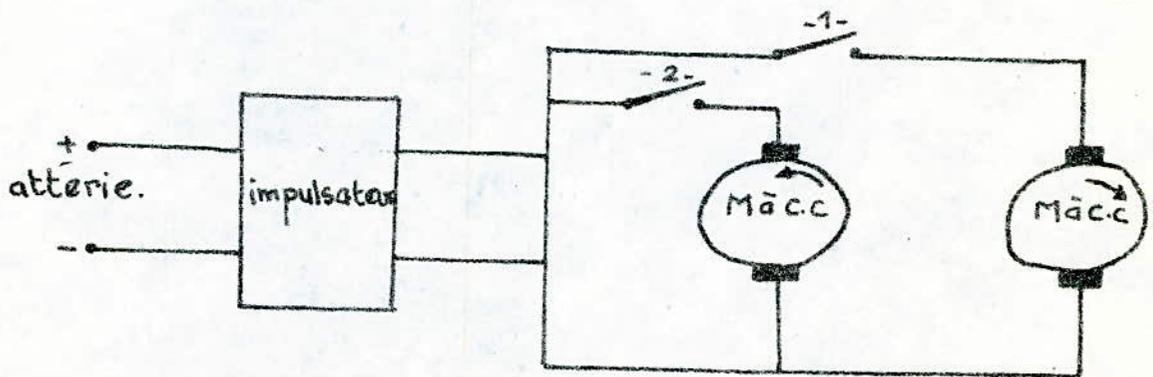


.Circuit de retour.

Partie detection.



Partie hydraulique.



Partie de commande electrique.

Pour un système de poursuite automatique du soleil, il faudrait, alors tenir compte de la consommation de celui-ci qui est loin d'être négligeable. Une partie de l'énergie convertie doit être utilisée à son alimentation.

On pourrait imaginer une commande échantillonnée des servo-mécanismes pour réduire la consommation des moteurs dans ce cas, la réalisation nécessite des montages électroniques complexes et elle augmente les risques de défaillance.

Nous avons élaborés le système de poursuite automatique de deux manières, nous donnons ci-après notre avis sur le système qui sera le plus adapté en se basant sur certains points tels : coût, fiabilité, consommation, entretien et fonctionnement; simplicité et divers ~~autres~~ utilisations.

Le système électrohydraulique nécessite une alimentation continue en eau, une alimentation électrique de 220 V, 50 Hz pour les électrovannes; une alimentation stabilisée pour l'amplificateur et aussi l'alimentation de l'impulsateur d'où une consommation importante d'énergie, le prix de revient de tous les éléments (peu onéreux, fiables) est aussi importante.

Le système électrique présente les avantages suivants l'apport externe d'énergie est concevable; l'impulsateur amplificateur et moteurs peuvent être alimentés par la batterie qui pourrait être rechargeable à partir du panneau d'où la consommation du système est peu importante devant l'apport; donc le rendement augmentera (plus élevé que celui du système électrohydraulique); les éléments qui constituent le système sont pas chers, peu onéreux, fiable, nécessitent peu d'entretien, sauf que les moteurs doivent être protégés et bien entretenus pour qu'il ait un bon fonctionnement. Le prix de revient du système revient moins cher que celui du système électrohydraulique.

En conclusion, le système électrique sera le mieux adapté car il présente beaucoup d'avantages que

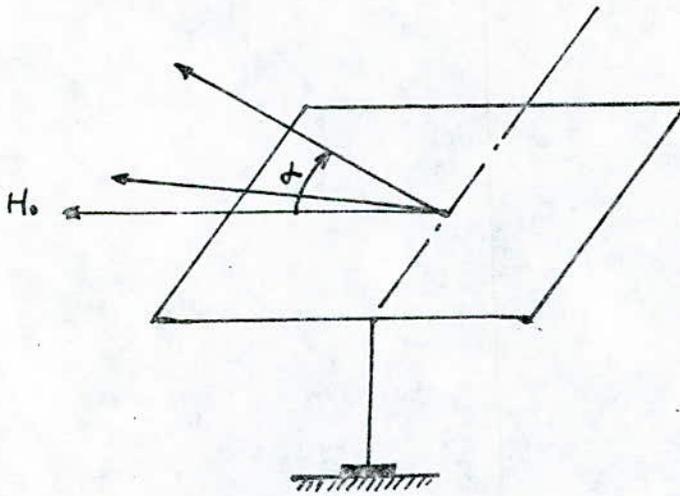
Le système électrohydraulique ; peu encombrant pas d'alimentation en eau.

Le système électrique sera le mieux adapté dans les zones éloignées ; à la portée de ceux qui le désire car il est moins cher et son fonctionnement est simple ne nécessite pas d'ouvriers qualifiés et présente surtout l'avantage d'être peu encombrant.

- 61 -

Pour l'étude du mouvement en site du panneau solaire, on procède de la même manière que pour le mouvement en Azimuth mais le dispositif sera incliné de  $90^\circ$ .

Par manque de matériels (éléments), on peut se passer du mouvement en site, en installant le capteur de façon à ce que la façade principale et l'horizontale font un angle égal à la latitude du lieu auquel on ajoute  $10^\circ$ . Cet écart doit en théorie compenser l'angle d'inclinaison de l'axe de la terre de sorte que la façade sera théoriquement orientée exactement perpendiculaire au rayonnement solaire au moment des équinoxes du printemps et d'automne (Les 21 Mars et 21 Septembre).



$H_0$ : direction horizontale (orientée au sud)  
angle  $\alpha$ : Latitude du lieu plus 10 degrés.

# Chapitre V

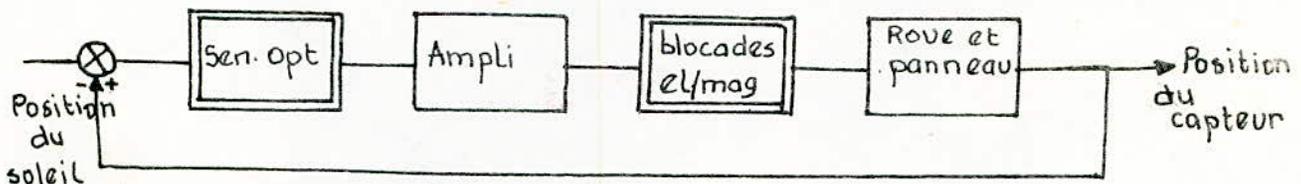
## CHAPITRE V ANALYSE du SYSTEME

### Introduction :

Nous avons présentés deux (02) dispositifs pour l'orientation automatique du capteur présentant tous deux beaucoup d'avantages (coût, fiabilité, augmentation du rendement d'énergie etc...). Cependant leurs analyses quelques difficultés dues à la non linéarité de certains éléments.

### V.1 Analyse du système électrohydraulique.

Le système de commande se compose essentiellement des blocs suivants. (Les éléments encadrés deux fois présentent des non-linéarités).

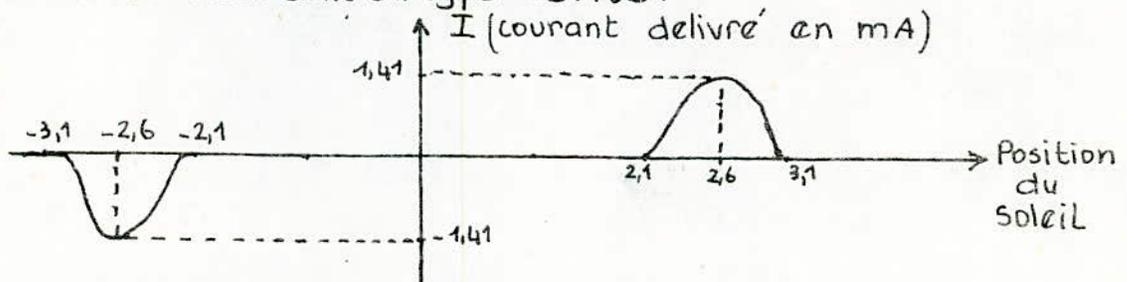


- Les non linéarités proviennent de leurs fonctionnement dans le système.

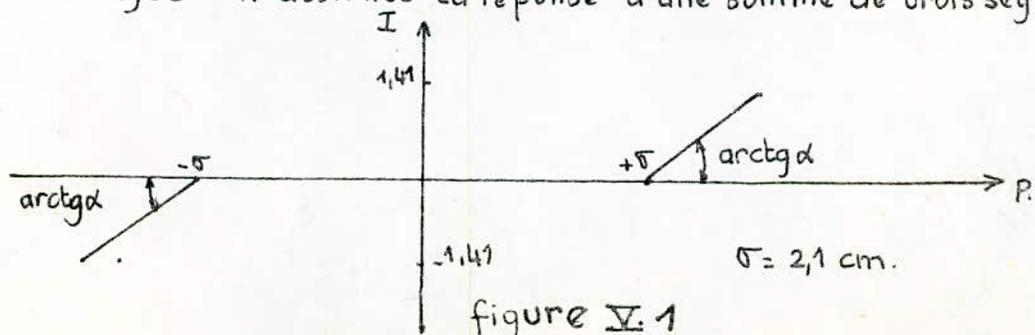
#### V.1.1 Senseur optique :

Sachant que celui-ci est constitué par des photoresistances présentant des non-linéarités dues à leurs fonctionnement.

Nous présentons en figure V.1 la courbe de réponse (courant délivré) en fonction de la position du point focal (foyer) sur le plan du capteur. Les photoresistances sont du type LDR03.



Nous remarquons ; La réponse des photoresistances est non-linéaire. Pour son analyse on assimile la réponse à une somme de trois segments.



C'est une caractéristique univoque c.a.d ne possede pas d'hysteresis  
La sortie de l'organe est en phase avec l'entrée harmonique.

(Le dephasage est nul ainsi que la composante imaginaire) d'où la fonction de transfert est réelle, nulle à l'intérieure de la zone morte.

$$\text{pour } \alpha > \sigma \quad \begin{cases} \frac{C_1(E_M)}{E_M} = \alpha - \frac{2}{\pi} \left[ \arcsin \frac{\sigma}{E_M} + \frac{\sigma}{E_M} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{E_M}\right)^2} \right] \\ \frac{S_1(E_M)}{E_M} = 0 \end{cases}$$

avec le gain equivalent (fonction de transfert) on a :

$$\begin{cases} N_1(E_M) = \frac{C_1(E_M) + j S_1(E_M)}{E_M} = \frac{C_1(E_M)}{E_M} \\ \varphi_1(E_M) = 0 \end{cases}$$

.  $E_M$  : amplitude du signal d'entrée du systeme non lineaire.

- Le courant maximum ( $I = 1,41 \text{ mA}$ ) est obtenu en éclairant au maximum une photoresistance tandis que l'autre est dans l'obscurité totale.

#### V.1.2 Amplificateur:

C'est un element lineaire. Il introduit la constante de proportion.  
"K" qui est facilement calculée.

Dans le dispositif  $K = 100$ . L'amplificateur est constitué de deux transistors (2N2219 et 2N2905) avec coefficient d'amplification de courant  $\beta = 50$

Sa fonction de transfert est égale à  $K = 100$

#### V.1.3 Blocades electromagnetiques:

En première approximation, le fonctionnement est assimilé à celui d'un relais à trois positions (relais par plus ou moins avec seuil et hysteresis). Nous présentons ci-après (figure V.2) la courbe de réponse (déplacement au bout du levier) en fonction du courant dans les enroulements des blocades electromagnétiques.

La réponse à l'entrée harmonique de l'organe est présentée sur la figure V.2. Nous aurons alors :

$$\begin{cases} \sin \omega \alpha = - \sin \omega \delta = \frac{\Delta + h}{2 E_M} \\ \sin \omega \beta = - \sin \omega \gamma = \frac{\Delta - h}{2 E_M} \end{cases}$$

Dans ce cas, la sortie est déphasée par rapport à l'entrée. Par

consequent, le gain equivalent  $N_2(E_m)$  est complexe, le lieu critique n'est plus porté par l'axe réel mais il est situé dans le 3<sup>e</sup> quadrant. La partie imaginaire est proportionnelle à l'aire de la boucle d'hysteresis de la caractéristique.

Le gain complexe equivalent de l'organe par plus ou moins.

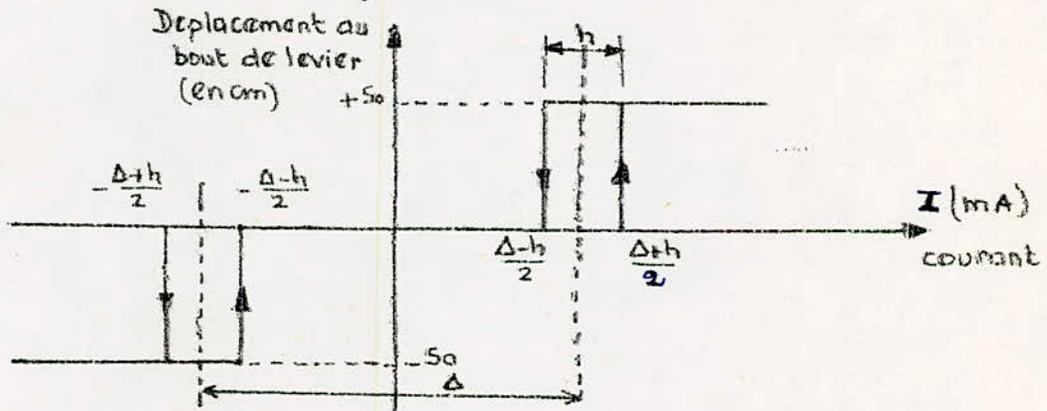
$$N_2(E_m) = B(E_m) \cdot \exp(j \varphi_2(E_m)).$$

On en deduit le module  $B(E_m)$  et l'argument  $\varphi_2(E_m)$  du gain complexe equivalent.

$$B(E_m) = \frac{C_2(E_m) + j S_2(E_m)}{E_m} = \frac{\sqrt{C_2^2(E_m) + S_2^2(E_m)}}{E_m}$$

$$\begin{cases} C_2(E_m) = \frac{2S_0}{\pi} (\cos \omega \alpha - \cos \omega \beta) \\ S_2(E_m) = \frac{2S_0}{\pi} (\sin \omega \beta - \sin \omega \alpha) \end{cases}$$

$$\begin{cases} |N_2(E_m)| = \frac{4S_0}{\pi E_m} \sin \left[ \frac{(\beta - \alpha)\omega}{2} \right] = B(E_m) \\ \varphi_2(E_m) = \arctg \frac{S_2(E_m)}{C_2(E_m)} = \frac{\pi}{2} - \omega \frac{(\alpha + \beta)}{2} \end{cases}$$



le lieu critique :  $-\frac{1}{N_2(E_m)} = \frac{1}{B(E_m)} \exp(j(\pi - \varphi_2(E_m)))$

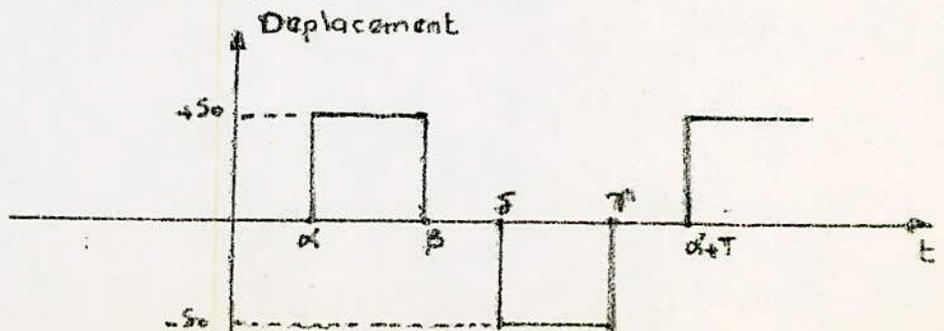


figure V.2

### V.1.4 Roue et panneau

Une rotation complète du panneau lors du déplacement du soleil "d'EST" en "OUEST" se fait en "n" tours (nombre de pas du servo-moteur ou nombre de tours du moteur). On a  $n = 15 \times 6 = 180$  (nombre max)

Le bloc (roue + panneau) est assimilé à un élément linéaire du premier ordre qui a pour fonction de transfert  $H(p)$ .

$$H(p) = \frac{1}{T_m p}$$

$T_m = n T_i$  où  $T_i$ : période d'impulsion

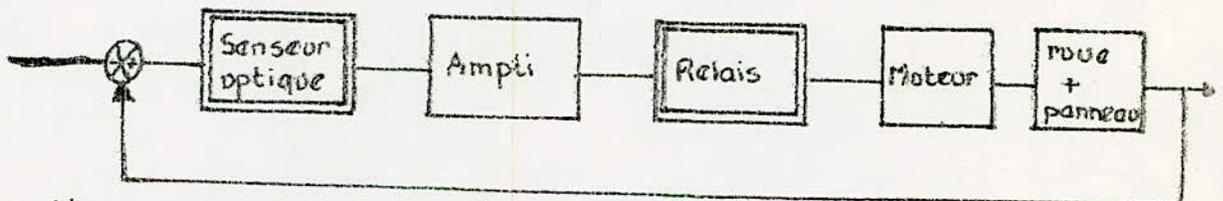
$n$ : nombre de pas du servo-moteur ou nombre de tours du moteur à courant continu.

$$H(p) = \frac{1}{n T_i p} = \frac{1}{180 T_i p}$$

### V.2 Analyse du système électrique.

Le système de commande se compose des blocs suivants.

même remarque: Les blocs encadrés par deux fois sont non-linéaires.



Nous remarquons que l'analyse de certains blocs à été déjà faite, nous analyserons ci-après Les autres éléments tels: Le relais et le moteur

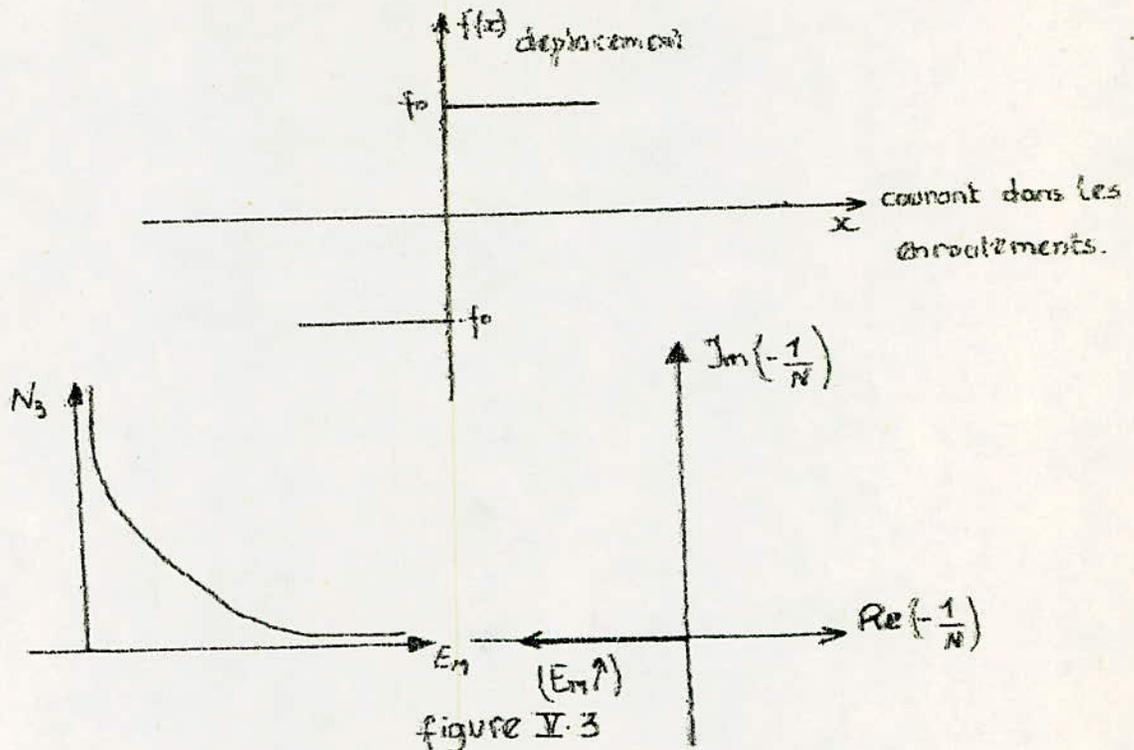
#### V.2.1 Relais

Nous considérerons que le relais est idéal.

Sa fonction de transfert serait comme suit:

$$\begin{cases} \frac{C_3(E_m)}{E_m} = \frac{4f_0}{\pi E_m} \\ \frac{S_3(E_m)}{E_m} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} N_3(E_m) = \frac{C_3(E_m)}{E_m} + j \frac{S_3(E_m)}{E_m} = \frac{4f_0}{\pi E_m} \\ \varphi_3(E_m) = 0 \end{cases}$$



### V.2.2 Moteur :

Le moteur à collecteur serie est pris comme element lineaire :

L'equation du moteur n'est autre que :

$$T_1 T_m \frac{d^3 \theta(t)}{dt^3} + T_m \frac{d^2 \theta(t)}{dt^2} + \frac{d \theta(t)}{dt} = K_m y(t).$$

où  $\theta(t)$  : angle de rotation de l'axe de sortie.

$y(t)$  : tension d'alimentation du moteur ; c'est la commande

$T_1$  : constante de temps du circuit d'induit

$T_m$  : constante de temps electromecanique.

$K_m$  : gain de l'ensemble moteur, reducteur.

La fonction de transfert serait :

$$F_0(p) = \frac{K_m}{T_1 T_m p^3 + T_m p^2 + p}$$

En negligant la constante de temps du circuit d'induit  $T_1$ .

$$F_1(p) = \frac{K_m}{T_m p^2 + p}$$

### V.3 ANALYSE du SYSTEME

Nous étudierons ci après uniquement Les systemes qui peuvent être ramené au systeme asservi de la figure V.4 La chaine d'action comporte une partie Lineaire [L] et une partie non Lineaire [N].

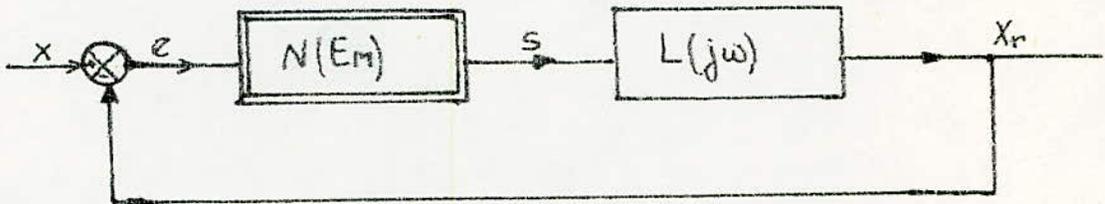


figure V.4

Considerons le regime permanent obtenu quand on applique une entrée sinusoïdale  $x = X_m \sin \omega t$ . En general, La partie [L] constitue un filtre "passe-bas"; dans ces conditions on peut negliger dans Le signal de sortie  $X_r$  Les harmoniques d'ordre superieur au premier introduits par l'element non lineaire et assimiler  $e(t)$ ,  $s(t)$  et  $X_r(t)$  à des fonctions sinusoïdales du temps :

La partie lineaire est caracterisé par sa transmittance isochrone  $L(j\omega)$  fonction de  $\omega$  :  $\bar{X}_{rm} = L(j\omega) \cdot \bar{S}_m$  (1)

La partie non lineaire est caracterisée par sa transmittance equivalente  $N(E_m)$  fonction de L'amplitude  $E_m$  :  $\bar{S}_m = N(E_m) \cdot \bar{E}_m$  (2)

L'introduction de  $N(E_m)$  permet d'etendre au cas d'un systeme non lineaire, Les methodes utilisées pour l'etude du regime harmonique d'un systeme lineaire. Un calcul analogue à celui d'un systeme lineaire donne :

$$\frac{\bar{X}_{rm}}{\bar{X}_m} = \frac{N \cdot L}{1 + NL} \quad \text{soit encore} \quad \frac{\bar{X}_{rm}}{\bar{X}_m} = \frac{L(j\omega)}{\frac{1}{N(E_m)} + L(j\omega)}$$

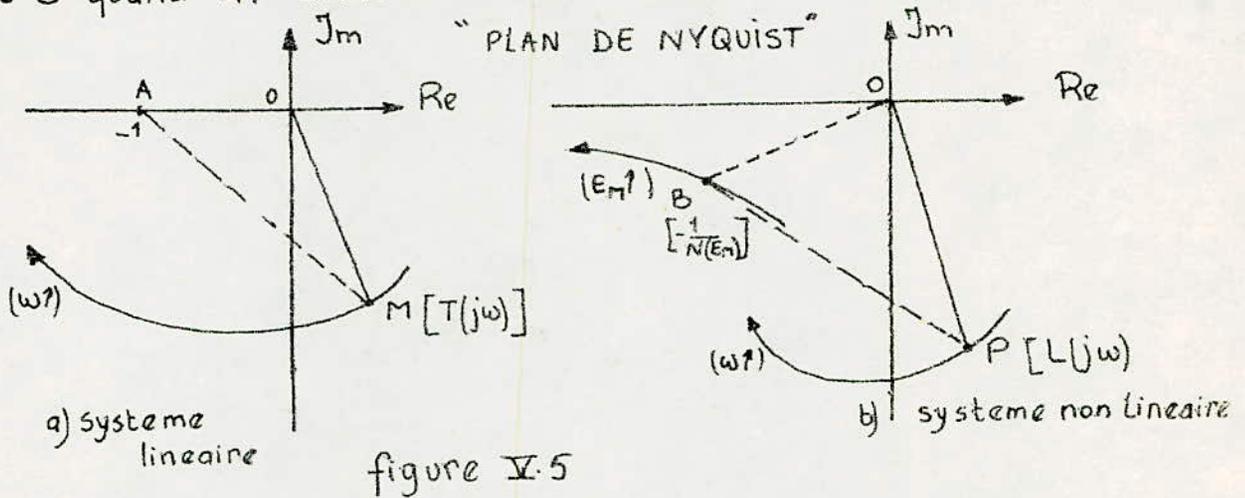
cette derniere expression est à comparer à La relation  $T' = \frac{T}{1+T}$  ( $T(j\omega) = \frac{\bar{X}_{rm}}{\bar{E}_m}$  et  $T' = \frac{\bar{X}_{rm}}{\bar{X}_m}$ ) relative à un systeme lineaire

(dans ce dernier cas  $N=1$  à une constante prés qu'on peut incorporer dans L) d'où La figure V.5.

$L(j\omega)$  [image P] joue le même rôle que  $T(j\omega)$  [image M] de meme

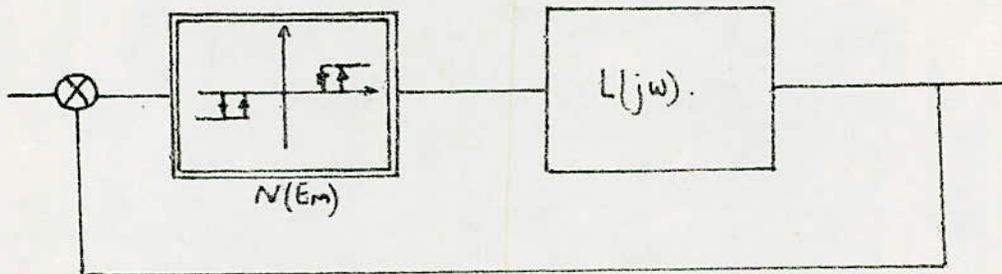
$\frac{1}{N(E_m)}$  [image B] joue Le même rôle que (-1) : [image A]

La difference essentielle avec le cas d'un systeme lineaire est qu'on a plus un seul point critique A mais un lieu critique, lieu de B quand  $E_m$  varie.



on applique cette methode d'etude aux deux dispositifs.  
 - Pour le systeme electrohydraulique. Le schema synoptique de la figure V.1 se ramene à celui de la figure V.4 en regroupant les elements non lineaire entre eux formant ainsi un bloc non lineaire  $N(E_m)$ , qui peut se rapporter à un relais à trois positions. ( $N(E_m) = \prod_{i=1}^2 N_i(E_m)$ ) et les elements lineaires entre eux formant le bloc  $L(jw) = \prod_{i=1}^2 L_i(jw)$ .

Nous avons donc :



$$N(E_m) = \prod_{i=1}^2 N_i(E_m)$$

$$N(E_m) = \frac{C_1(E_m)}{E_m} \cdot \frac{4S_0}{\pi E_m} \sin\left[\frac{(\beta-\alpha) \cdot \omega}{2}\right]$$

$$\left\{ \begin{aligned} N(E_m) &= \left( \alpha - \frac{2}{\pi} \left[ \arcsin \frac{\sigma}{E_m} + \frac{\sigma}{E_m} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{E_m}\right)^2} \right] \right) \cdot \frac{4S_0}{\pi E_m} \cdot \sin\left(\frac{(\beta-\alpha) \cdot \omega}{2}\right) \\ \varphi(E_m) &= \frac{\pi}{2} - \omega \frac{(\alpha+\beta)}{2} \end{aligned} \right.$$

$L(j\omega) = L_1(p) \cdot L_2(p)$  avec  $L_1(p)$ : transmittance de l'amplificateur  
 $L_2(p)$ : transmittance du bloc  
 (roue + panneau).

nous aurons  $L(j\omega) = K \cdot \frac{1}{T_m \cdot p} = -j \frac{K}{T_m \cdot \omega} = -j \frac{K}{nT_i \cdot \omega}$

- Pour le système électrique; La même méthode est appliquée car le système peut se ramener à celui de la figure V.5. nous aurons donc

$N(E_m) = \prod_{i=1}^2 N_i(E_m) = N_2(E_m) \cdot N_3(E_m).$

$N_1(E_m)$ : gain du senseur optique.

$N_3(E_m)$ : gain du relais idéal.

d'où

$$N(E_m) = \left[ \alpha - \frac{2}{\pi} \left[ \arcsin \frac{\sigma}{E_m} + \frac{\sigma}{E_m} \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma}{E_m}\right)^2} \right] \right] \cdot \frac{4f_0}{\pi \cdot E_m}$$

$L(j\omega) = \prod_{i=1}^3 L_i(j\omega)$

$$L(j\omega) = L_1(p) \cdot L_2(p) \cdot L_3(p) = K \frac{1}{T_m \cdot p} \cdot \frac{K_m}{T_m \cdot p^2 + p}$$

$$= -j \frac{K}{nT_i \omega} \cdot \frac{K_m}{-T_m \cdot \omega^2 + j\omega} = \frac{1 + j K \cdot K_m T_m \omega}{nT_i \omega^2 (T_m^2 \omega^2 + 1)}$$

$$\frac{\overline{X_{nm}}}{\overline{X_m}} = \frac{L(p)}{\frac{1}{N(E_m)} + L(p)} = \frac{\frac{1 + j K K_m T_m \omega}{nT_i \omega^2 (T_m^2 \omega^2 + 1)}}{\frac{1}{N(E_m)} + \frac{1 + j K K_m T_m \omega}{nT_i \omega^2 (T_m^2 \omega^2 + 1)}}$$

## V.4 ETUDE de la STABILITÉ

### V.4.1/ La condition nécessaire d'instabilité:

Soit  $x=0$ , on s'intéresse aux régimes libres du système. une instabilité de celui-ci se traduit par l'existence en absence du signal d'entrée d'une oscillation permanente appelée oscillation limite. Négliger les harmoniques revient à assimiler cette oscillation à une oscillation sinusoïdale soit  $\omega_L$  sa pulsation et  $E_{ML}$  l'amplitude de "e" on est alors en régime permanent sinusoïdal d'où:

$\bar{E}_{ML} = -\bar{X}_{rML} = -L(j\omega_L) \cdot N(E_{ML}) \cdot \bar{E}_{ML}$  cela implique  $N(E_{ML}) \cdot L(j\omega_L) = -1$  cette relation constitue une condition nécessaire d'instabilité. elle permet de déterminer  $\omega_L$  et  $E_{ML}$ .

• soit par le calcul, en résolvant les deux équations suivantes

$$\begin{cases} \text{Arg } N(E_{ML}) + \text{Arg } L(j\omega_L) = \pm \pi (1 + 2k) \\ |N(E_{ML})| \cdot |L(j\omega_L)| = 1 \end{cases}$$

• soit graphiquement figure V.6.a; l'égalité  $L(j\omega) = -\frac{1}{N(E_{ML})}$  correspond au point d'intersection  $B_L$  des deux lieux

- La position de  $B_L$  sur le lieu  $L(j\omega)$  donne  $\omega_L$
- La position de  $B_L$  sur le lieu critique  $-\frac{1}{N(E_{ML})}$  donne  $E_{ML}$

### V.4.2/ étude graphique de la stabilité:

On étudie ci-après, le comportement du système en régime transitoire.  $x$  étant toujours nul, supposons qu'une perturbation momentanée produise un régime transitoire oscillatoire. A chaque instant on peut assimiler  $e(t)$  à une fonction sinusoïdale  $e = E_m \sin \omega t$  mais en régime transitoire, l'amplitude  $E_m$  et la pulsation  $\omega$  varient  $E_m = g(t)$  et  $\omega = f(t)$ : fonctions du temps variant lentement par rapport à  $\sin \omega t$ , il s'agit de prévoir si  $E_m$  augmente ou diminue.

Soit  $B$  le point correspondant à l'amplitude  $E_m$  obtenue à un instant  $t$  - voir figure V.6.a - En régime transitoire  $E_m \neq E_{ML} (B \neq B_L)$

- Pour toute amplitude  $E_m > E_{ML}$ :  $B$  est à gauche du lieu  $L$ . d'après le critère simplifié de stabilité, le système est stable pour cette amplitude:  $E_m$  diminue,  $B$  se rapproche de  $B_L$ .
- Pour toute amplitude  $E_m < E_{ML}$ :  $B$  est à droite du lieu  $L$ . Pour cette amplitude, le système est instable:  $E_m$  augmente et  $B$  tend vers  $B_L$ .

La condition de stabilité :

Le système est stable s'il n'existe pas de point d'intersection  $B_L$ . Le lieu critique est entièrement situé à gauche du lieu  $[L]$ .

V. 4.3 Adaptation de La méthode pour Le dispositif.

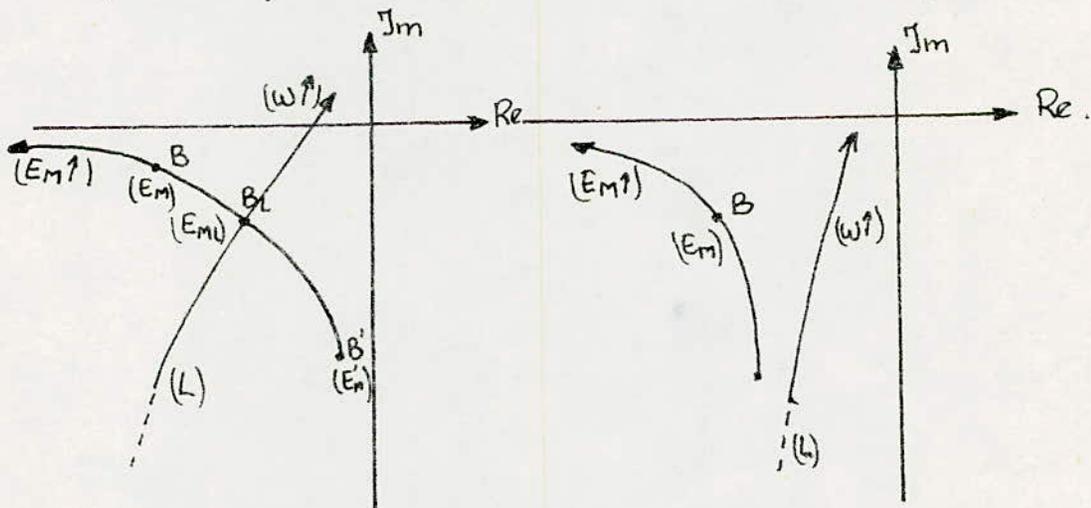
On déterminera graphiquement, dans Le plan de NYQUIST

$$\frac{X_{rm}}{X_m} = \frac{PO}{OB} \quad \text{et} \quad \text{Arg} \frac{X_{rm}}{X_m} = (\vec{PB}, \vec{PO}).$$

En pratique, on utilise l'abaque de "NICHOLS". Pour chaque valeur de  $E_m$ , il suffit d'amener le point "-180°, 0dB" de l'abaque non plus en A [-180°, 0dB] mais en B [Arg(-1/N); 20 log |1/N|]

La méthode adaptée est la méthode du premier harmonique qui n'est pas rigoureuse, son inconvénient majeur est qu'on ne sait pas chiffrer l'erreur commise en négligeant les harmoniques. Elle est toutefois bien adaptée au cas d'un système asservi parce que la partie linéaire d'un tel système constitue un filtre passe-bas.

Cette-ci est bien choisie car elle est d'un grand intérêt pratique du fait de sa simplicité et de sa généralité.



a) système instable

b) système stable.

figure V. 6

V.4.3.1 Adaptation pour le système électrohydraulique

Nous faisons une approximation en supposant que les deux éléments non-linéaires (senseur optique et blocades électro.mag) ne forment qu'un seul bloc équivalent à un relais à trois positions.

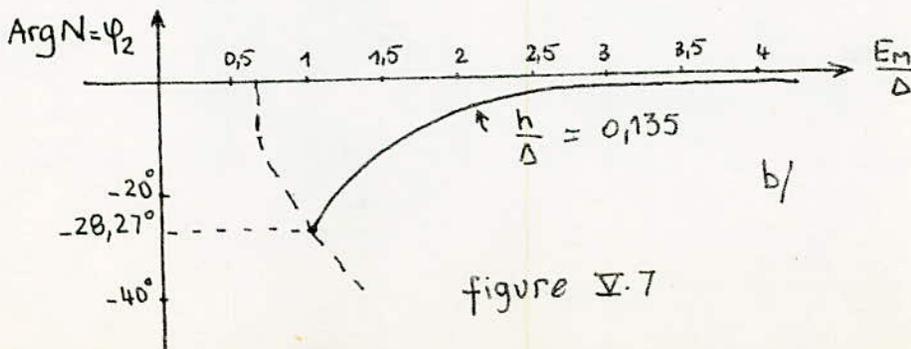
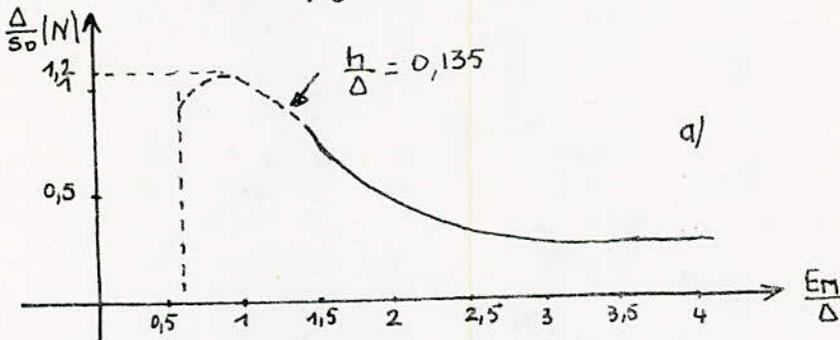
La réponse  $s(t)$  à  $e = E_m \sin \omega t$  est décalée vers les  $t$  positif (retard) et le calcul donne  $-90^\circ < \varphi_1 < 0$ . Le fondamental  $s_1$  de  $s$  est déphasé en retard par rapport à  $e$  et la transmittance  $N_2$  dont l'argument est  $\varphi_2$  est un nombre complexe. Par la suite :

- Le lieu critique du plan de NYQUIST n'est plus sur l'axe réel mais dans le troisième quadrant.
- Celui de "NICHOLS" n'est plus sur la verticale " $-180^\circ$ " mais à droite :  $\text{Arg}(-\frac{1}{N}) = -180^\circ - \varphi_2 > -180^\circ$

En appliquant, la méthode graphique du premier harmonique.

nous aurons donc :  $h = 40 \text{ (mA)} \rightarrow 0,5 \text{ cm}$   
 $\Delta = 280 \text{ (mA)} \rightarrow 3,7 \text{ cm.}$   
 $s_0 = 1,8 \text{ (cm).}$

$\frac{h}{\Delta} = 0,135$  ;  $E_m = 150 \text{ (mA)} \rightarrow 1,875 \text{ cm}$   
 - voir figure V.7 -



$\omega \beta = 58,27^\circ$   
 $\omega \alpha = 1,12^\circ$

figure V.7

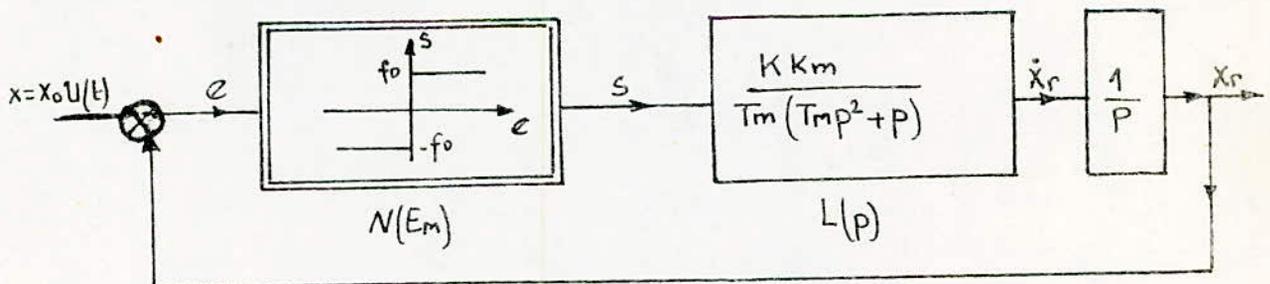
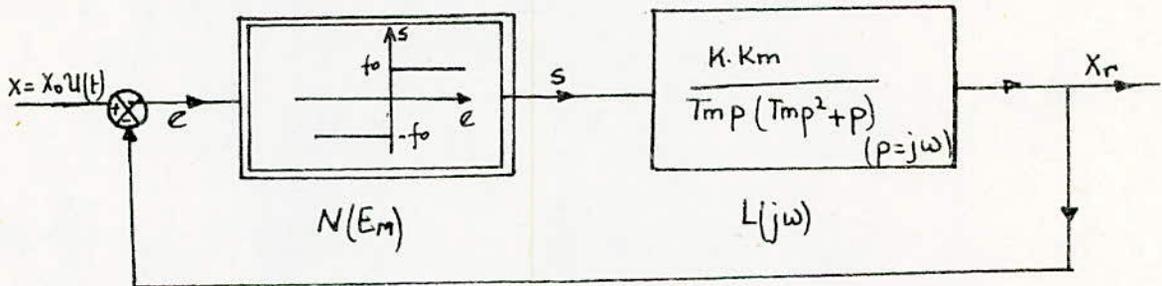
nous avons et remarqué (sur la figure V.7.b) que:  $-90^\circ < \varphi_2 < 0$   
 et  $L(j\omega) = -\frac{jK}{T_m \cdot \omega}$

D'après la figure V.7.c :

aucun point d'intersection n'existe entre  $N(E_m)$  et  $L(j\omega)$   
 d'où la relation d'instabilité qui n'est pas vérifiée.  
 donc le système est stable.

#### V.4.3.2 Adaptation pour le système électrique.

En faisant presque la même approximation; en supposant que les éléments non-linéaires (senseur optique et relais) sont équivalents à un seul bloc : relais idéal à trois positions.



La méthode d'asservissement par "plus - au moins" est appliquée pour ce système.

Une partie linéaire  $x_r$ ,  $\dot{x}_r$  et  $s$  sont des grandeurs respectivement proportionnelles à la position à asservir  $y$ , à la vitesse  $\dot{y}$  et au couple moteur:  $\dot{y}$  dépend du couple moteur par une transmittance de la forme :

$$\frac{C}{T_p + T_m p^2} \quad \text{avec} \quad C = \frac{K \cdot K_m}{T_m} \quad (\tau = 1 \text{ dans ce cas})$$

- une partie non linéaire constituée par un relais idéal à trois positions.

$$e=0 ; s=0$$

$$e>0 ; f=f_0>0$$

$$e<0 ; f=-f_0<0$$

Le relais est commandé par le signal d'erreur  $e = x - x_r$ . Cette méthode consiste à appliquer un échelon  $x = x_0 \mathcal{U}(t)$  au système initialement au repos et d'étudier la réponse indicielle du système. - voir figure V.8 -

Nous remarquerons que le système est stable: pas de point d'intersection:  $B_L$  n'existe pas.

#### V.5 Conclusion.

La méthode du premier harmonique permet par extension de l'appliquer à certains systèmes non-linéaires. Les critères graphiques de stabilité relatifs aux systèmes linéaires.

D'autres méthodes plus précises peuvent être appliquées (théoriques ou graphiques) telles:

- méthode de la fonction descriptive.
- méthode par "plus-ou-moins"
- méthode du plan de phase
- méthode de la modélisation analogique
- méthode de la modélisation numérique.
- etc...

75

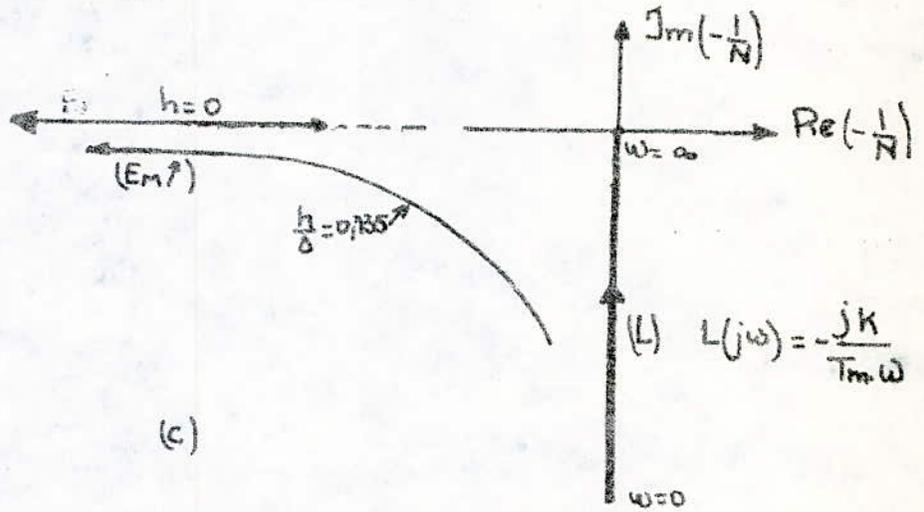


figure V.7

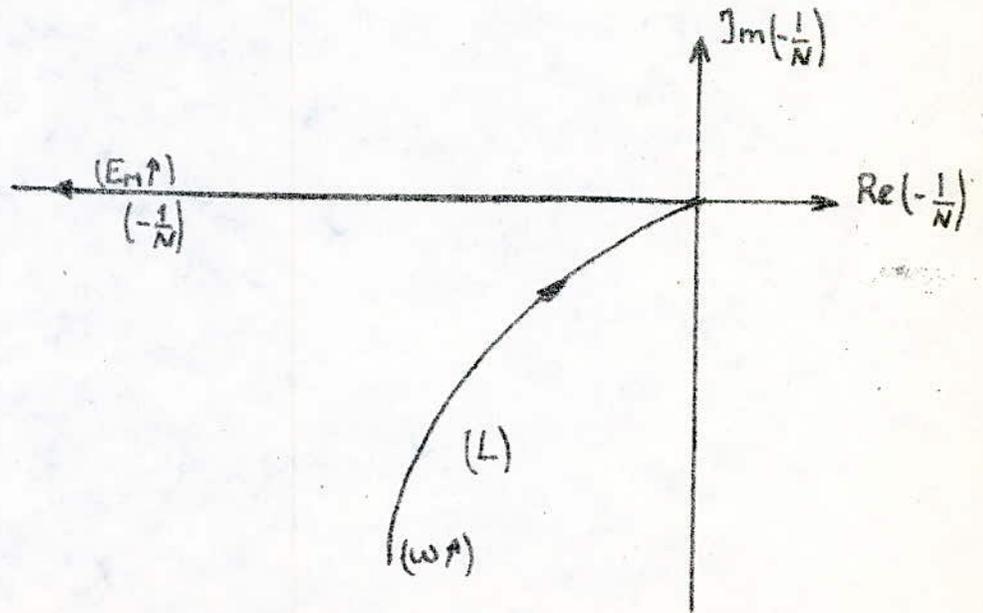


figure V.8

## Conclusion.

Nous avons étudié et réalisé un dispositif de commande automatique d'un capteur solaire de deux manières:

Un système électrohydraulique qui nous a exigé d'assez amples connaissances dans différents domaines tels que l'hydraulique, la mécanique et l'électronique. Les éléments utilisés sont simples, peu onéreux et peuvent être récupérables de vieux matériels.

Un système électrique qui présente beaucoup d'avantages par rapport à celui du système électrohydraulique et nous a exigé des connaissances en électronique, électricité.

Une étude plus rigoureuse sur le système électrique nous donnera une exploitation à l'échelle industrielle et pourra donc être l'alimentation en électricité des villages, zones éloignées.

Par manque de matériels, le mouvement en site du capteur est pris constant c'est à dire que le capteur est maintenu horizontalement.

Le dispositif devra être situé et placé selon certaines exigences selon le lieu, le climat, vitesse du vent etc...

Pour l'analyse des systèmes, nous avons regroupés les éléments présentant des non-linéarités en un bloc non-linéaire et les éléments linéaires en un bloc linéaire d'où une simplification des schémas des systèmes.

Pour terminer, nous insistons sur le fait que le système électrique présente beaucoup d'avantages susceptibles d'augmenter le rendement du capteur et pourra donc être exploitable à grande échelle toutefois en lui apportant certaines améliorations ce qui l'avantagera encore plus sur d'autres systèmes.

## Bibliographie.

1. Evaluation des energies renouvelables - SEMA -
2. Utilisation et promesse de l'energie solaire  
J.R. Vaillant - EYROLLES - PARIS 1978
3. Electricité solaire W. PALZ - DUNOD -
4. Hydraulique et electrohydraulique  
JACQUES FAISANDIER - DUNOD -
5. Control and dynamic systems.  
J. RABIN - WESLEY - 1972
6. Theorie et calcul des asservissements Lineaires.  
Jean Charles Gille - DUNOD -
7. Seminaire national sur l'energie solaire.  
- Organisme national de la recherche scientifique  
octobre 1975 -
8. Ecologie - Energie solaire -  
2<sup>eme</sup> Semestre 1979
9. Technologie et calcul pratique des systemes  
asservis PIERRE NASLIN - DUNOD -
10. Methodes modernes d'etude des systemes  
asservis. J.C. GILLE, P. DE CAULNE, H. PELEGRIN
11. Systemes asservis non- Lineaire.  
(Tomes 1, 2, 3) J. Ch. GILLE et P. DECAULNE  
- DUNOD -
12. Principe de La commande automatique.  
M. MEEROV, Y. MIKHAILOV, V. FRIEDMAN. -1983-
13. Projet de fin d'etude Promotion Janvier 84
14. Cours d'automatisme Tome IV  
J. MAIN GUENAUD - MASSON et CIE -
15. Precis de commande automatique  
D.B. WELBOURN, M, A  
Traduit par G. GAUTHIER ; VILLARS  
-DUNOD- PARIS.



