



école polytechnique de thiès

GM.0652

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE : CONCEPTION ET REALISATION
D'UN SUIVEUR SOLAIRE

Auteur Ousmane CISSE

Génie Mécanique

Date JUIN-78

REMERCIEMENTS

Le problème le plus délicat pour moi n'a pas été l'obtention des composantes du système, ni même les matériaux indispensables à cette présente étude, mais la détermination des résistances requises au fonctionnement d'un trigger à seuil de déclenchement prédéterminé.

C'est pourquoi je tiens à souligner l'entière disponibilité de Monsieur Roger Martin, mon directeur de projet qui n'a ménagé aucun effort pour m'assister constamment durant tout le travail.

Je désire également témoigner ma profonde gratitude aux nombreuses personnes qui, par leurs suggestions, leurs renseignements et leur observations m'ont apporté leur aide dans ma tâche.

Je remercie également Messieurs Mokdy, Kantin et Diop qui ont bien voulu nous trouver le moteur de commande du système.

Enfin, je ne saurais terminer sans exprimer ma profonde gratitude à Monsieur François Hoamaire qui a contribué efficacement au montage et à l'assemblage du système.

SOMMAIRE

Pour maximiser le flux d'énergie sur les capteurs de sources lumineuses, il s'avère indispensable de maintenir l'angle de la normale à leur surface par rapport à la direction du soleil aussi voisin de zéro que possible.

Mais une correction continue de cet angle entraînerait de grandes consommations d'énergie sans pour autant apporter des intérêts notables. Aussi cela risquerait d'être une source de vibrations pour le système. C'est pourquoi nous adoptons dans ce projet un système fonctionnant par à-coups.

Un circuit de détection composé de phototransistors produira le signal Ve d'attaque de deux triggers entraînant le moteur respectivement dans un sens ou dans l'autre. Les niveaux de déclenchements des triggers est déterminé de façon à faire un compromis entre les inconvénients d'un système fonctionnant par à-coups (perte d'énergie rayonnante) et ceux des systèmes à correction continu (consommation d'énergie relativement grande et instabilité due aux possibilités de vibrations).

TABLE DES MATIERES

I. <u>Position du problème</u>	4
I-a. Paramètres du flux d'énergie solaire	4
I-a-1. Influence de l'orientation du capteur	4
I-a-2. Influence de l'intensité du soleil	8
I-b. Calcul du gain d'énergie du capteur mobile par rapport au capteur fixe	13
I-b-1. Energie obtenue avec un récepteur fixe	14
I-b-2. Energie obtenue avec un récepteur mobile	16
I-b-3. Vérification de la constance du rendement des piles solaires.	24
II. <u>Plan d'ensemble du système</u>	27
II-a. Surface des piles perpendiculaire à la direction du soleil	27
II-b. Fonctionnement par à coups	27
II-c. Consommation en l'absence du soleil	28
II-d. Position du système au coucher et au lever du soleil	28

III. <u>Réalisation proposée</u>	29
III-a. Les circuits de détection	29
III-b. Les circuits de commande	32
III-c. Les Composantes mécaniques	43
IV. <u>Mesures sur le système</u>	45
V. <u>Discussion - Conclusion</u>	46

INTRODUCTION

1- Avant propos

L'une des plus grandes préoccupations de l'humanité dans notre ère consiste à mettre au point une source d'énergie capable de prendre la relève de l'actuelle source qu'est le pétrole dont les réserves aujourd'hui sont de plus en plus inquiétantes.

En effet l'exploitation abusive des gisements de pétrole consécutive à une utilisation chaque jour plus nombreuse des ressources pétrolifères à des fins diverses ajoute au danger de pénurie énergétique auquel l'humanité est exposée.

Sait-on que de 1850 à nos jours nous avons consommé plus de la moitié de l'énergie des 18 siècles précédents ? Que nos besoins ont quintuplé depuis 100 ans ? En l'an 2000, il nous faudrait consommer l'équivalent de 15 milliard de tonne de charbon. Qui pourrait nous en fournir cette équivalence ? Deux grands espoirs existent à l'heure actuelle : l'atome et le soleil.

Mais si l'homme est émerveillé par la maîtrise de l'énergie nucléaire, il ne redoute pas moins les effets nocifs des radiations dont il connaît les conséquences immédiates et à long terme.

En effet, le développement prodigieux de l'industrie et de

La recherche nucléaire, les utilisations chaque jour plus nombreuses d'éléments radioactifs s'accompagnent de la production inéluctable d'effluents et de résidus qui sont autant de facteurs de pollution radioactive de l'environnement.

Par contre, l'exploitation de l'énergie solaire n'entraîne aucune pollution. Depuis une vingtaine d'années on sait que l'énergie des étoiles et de notre soleil en particulier est alimentée par des réactions de fusion nucléaire et de radioactivité positogène. La libération de l'énergie est due pour 85% environ au cycle de Bethe appelé aussi le cycle du "carboné". Le reste, 15%, est dû au processus "rival" proposé par C. Critchfield. On démontre que notre soleil n'a consommé à date que 7,5% de son combustible (depuis à peu près 3 milliard d'année); il peut donc être considéré comme une étoile jeune.

Le soleil envoie chaque jour, dans tout l'espace cosmique une quantité considérable d'énergie dont seulement une portion α est reçue de la terre. Cette énergie se déplace sous forme de rayons lumineux et donc en ligne droite. Elle a une structure discontinue et est répartie en grains appelés photons contenant le même quantum d'énergie $h\nu$.

I - Énoncé du problème

La part d'énergie solaire reçue de la terre est elle-même exploitée avec un très faible rendement. Or pour répondre à la demande de plus en plus croissante d'énergie du monde moderne, une amélioration de ce rendement serait souhaitable.

L'un des facteurs dont l'amélioration semble offrir de grands intérêts est l'angle que fait la normale du capteur solaire avec la direction du soleil. Si cet angle demeure toujours nul nous maximisons le flux d'énergie rayonnante sur le capteur.

Ce projet consiste justement à mettre au point un dispositif capable de suivre une source lumineuse avec comme application le soleil. On pourra alors passer si possible à une expérimentation de la solution proposée.

Mais le mécanisme qui oriente le capteur vers la bonne direction absorbe lui-même une certaine quantité d'énergie. La solution proposée est avantageuse si le gain d'énergie du capteur mobile par rapport au capteur fixe demeure supérieur à l'énergie nécessaire à l'orientation permanente du capteur.

I- La position du PROBLEME

Dans ce chapitre, nous procéderons à des séries de mesure pour montrer que l'on peut gagner effectivement de l'énergie en orientant le capteur solaire vers la bonne direction. Pour cela nous suivrons ces étapes :

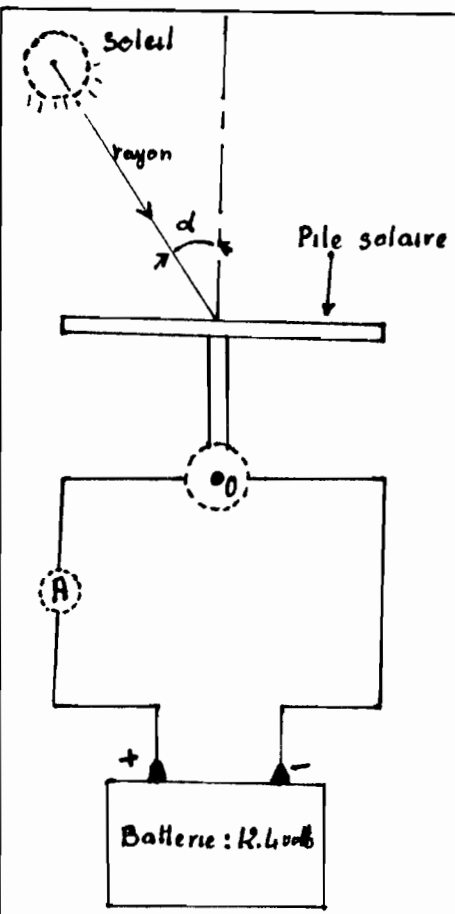
a. Paramètres du flux d'énergie rayonnante sur un capteur donné.

b. Calcul du gain d'énergie d'un capteur mobile par rapport à un capteur fixe.

I- a. Paramètres

I-a-1 L'expérience suivante montre que l'énergie reçue par le capteur dépend de son orientation. En d'autres termes, elle montre que le capteur débite plus de courant dans la batterie de 12.4 volts quand l'angle de sa normale par rapport à la direction est plus petit.

L'expérience consiste à mesurer, pour chaque valeur de l'angle α , le courant I qui charge la batterie de 12.4 volts.



A = ampèremètre

Fig 1: mesure du courant de charge de la batterie en fonction de l'angle α

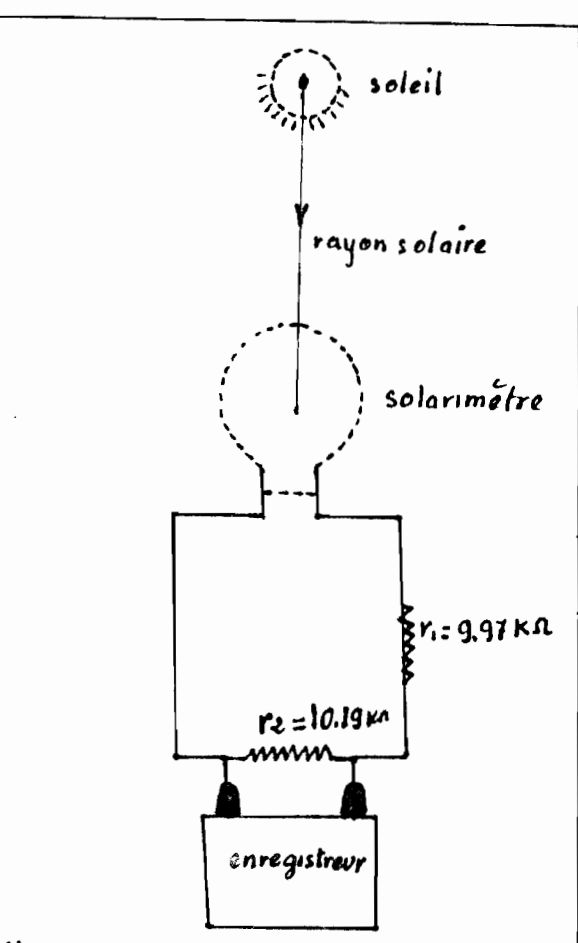


Fig 2: mesure de l'intensité du soleil au moment de la mesure de la fig 1.

Dans la fig 1, le solarimètre tourne autour de l'axe O, ce qui permet de faire varier l'angle α de sa normale avec la direction du soleil.

A chaque valeur de l'angle α correspond une indication de l'ampèremètre.

Le solarimètre de la fig2 mesure l'intensité du soleil qui prévalait lors de la mesure de la fig1. Si d'une mesure à l'autre, l'indication du solarimètre change, on attribuera la variation du courant de charge de la batterie à celles de l'angle α et de l'intensité du soleil.

TABLEAU DES MESURES

α °C	-49	-41	-30	-20	-10	0	10	20
I_{mA}	63	75	82	89	93	95	92	86
α °C	30	40	50	55	60	65	70	75
I (mA)	79	70	60	50	43	35	27	15

Tableau 1

Le tableau ci-dessus indique les résultats obtenus dans l'expérience de la fig1.

Le solarimètre de la fig2 montrait que l'intensité I du soleil n'était pas sujette à des variations. Son indication restait toujours la même au cours de l'expérience.

Vu les difficultés techniques inhérentes à la mesure directe de l'angle α , nous avons considérés un angle $\alpha' = \alpha + \text{constant}$.

De cet angle α' nous avons déduit α à l'aide de la relation précédente. Le tableau 1 a permis de tracer la courbe 1

- Calcul de l'intensité du soleil qui prévalait lors des mesures précédentes.

Pour mesurer cet intensité il a été procédé au montage suivant et où l'on peut déduire aisément la tension V_s aux bornes du solarimètre et par conséquent, l'intensité I du soleil en Watt/m^2 .

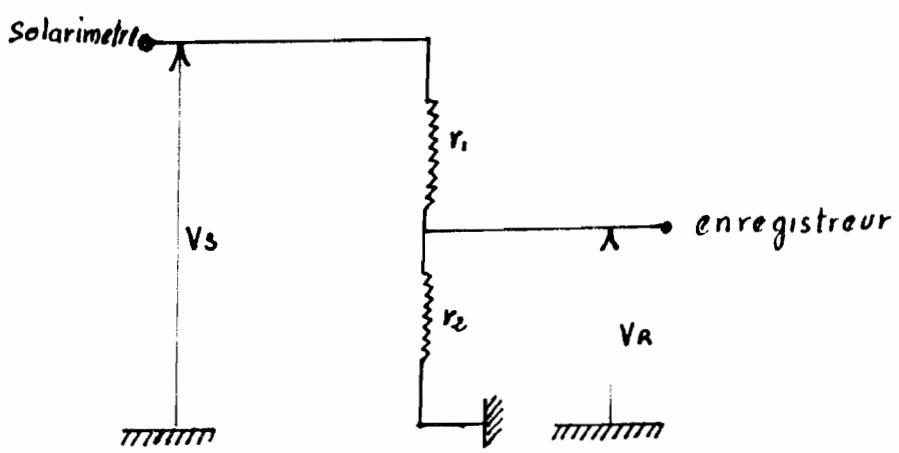


fig 3

$r_1 = 9.97 \text{ K}\Omega$

$r_2 = 10.19 \text{ K}\Omega$

$V_R = 5.5 \text{ mV}$

$V_R =$ tension aux bornes de l'enregistreur

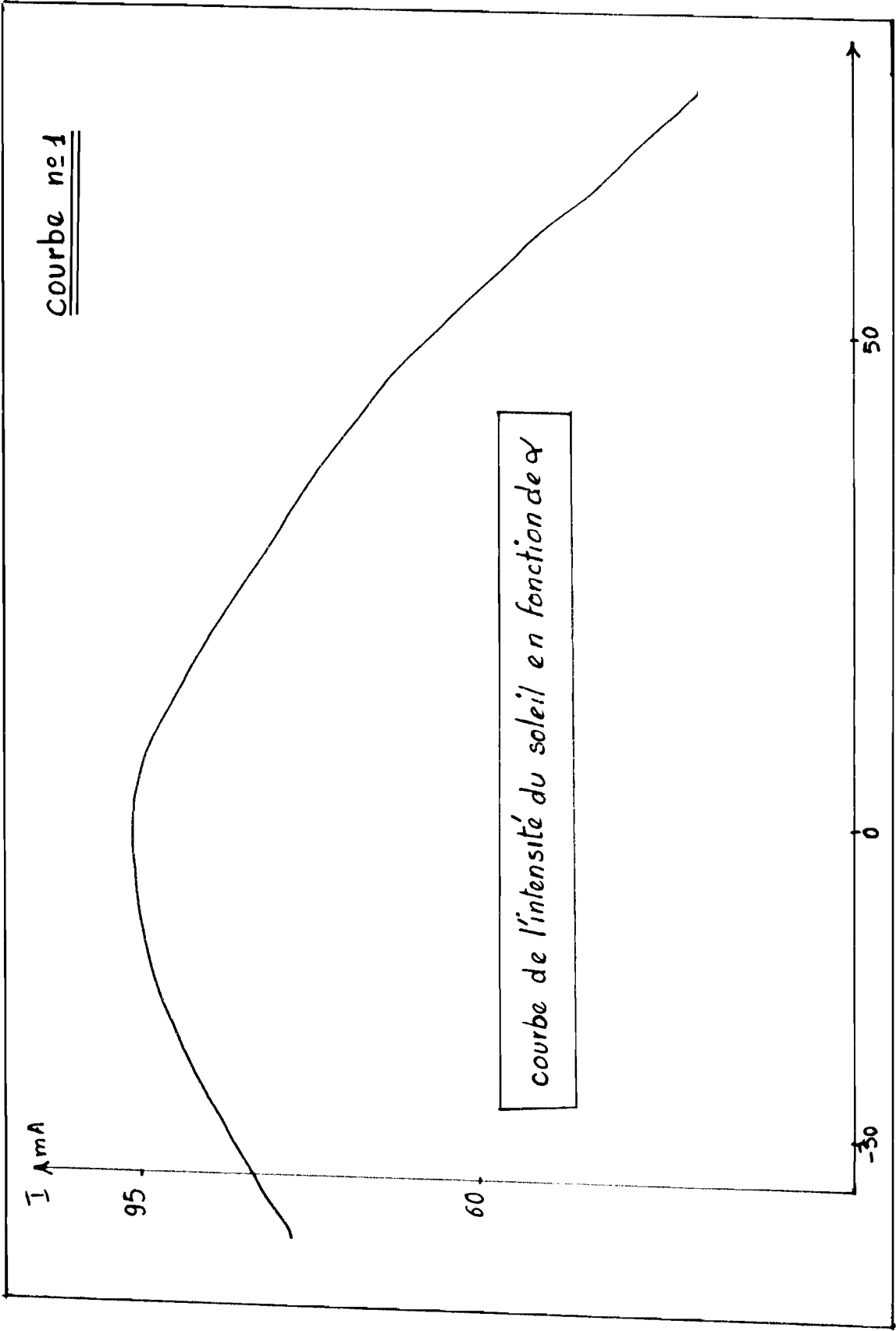
$V_s =$ " " " " " du solarimètre

$$V_R = \frac{r_2}{r_1 + r_2} V_s \Rightarrow V_s = \frac{r_1 + r_2}{r_2} V_R$$

$$\Rightarrow V_s = \frac{10.19 + 9.97}{10.19} \cdot 5.5 = \frac{10.19 + 9.97}{10.19} \times 5.5 = 10.88 \text{ mV}$$

La constante du solarimètre est telle que $1 \text{ watt}/\text{cm}^2$ produise $105 \text{ mV} \Rightarrow$ l'intensité du soleil vaut donc : $\frac{10.88}{105} = 0.104 \text{ watt}/\text{cm}^2$

$\Rightarrow I = 0.104 \text{ Watt}/\text{cm}^2$



- Commentaire de la courbe précédente

Cette courbe traduit bien la dépendance du courant débité par le capteur avec la direction relative du soleil. On voit en effet que cette dépendance est assez sensible et qu'il le mérite bien une étude en vue de l'optimisation de la position angulaire des capteurs d'énergie. En particulier cette courbe montre que le courant de charge de la batterie passe par un maximum quand l'angle de la normale du capteur avec la direction du soleil est nul.

I - a - 2 - L'influence de l'intensité du soleil

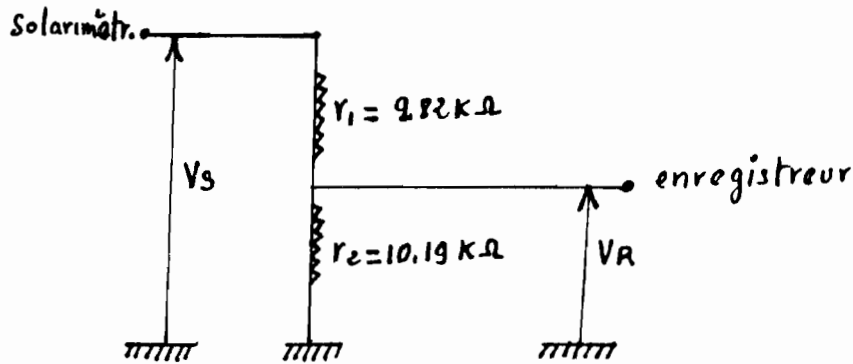
L'expérience suivante met en relief l'influence de l'intensité du soleil. Elle montre en effet que le courant débité dans la batterie de 12,4 volts et par conséquent l'énergie par le capteur dépend de l'intensité du soleil.

Deux montages seront à faire ici :

- montage n°1 : Ce montage est le même que celui de la fig 1 : il a pour but de relever aux différentes heures de la journée les indications de l'ampèremètre A.

- montage n°2 : Ce montage est le même que celui de fig 2. Il a pour but de noter l'intensité du soleil qui prévaut durant les mesures du montage précédent.

Le montage aux bornes de l'enregistreur est le suivant:



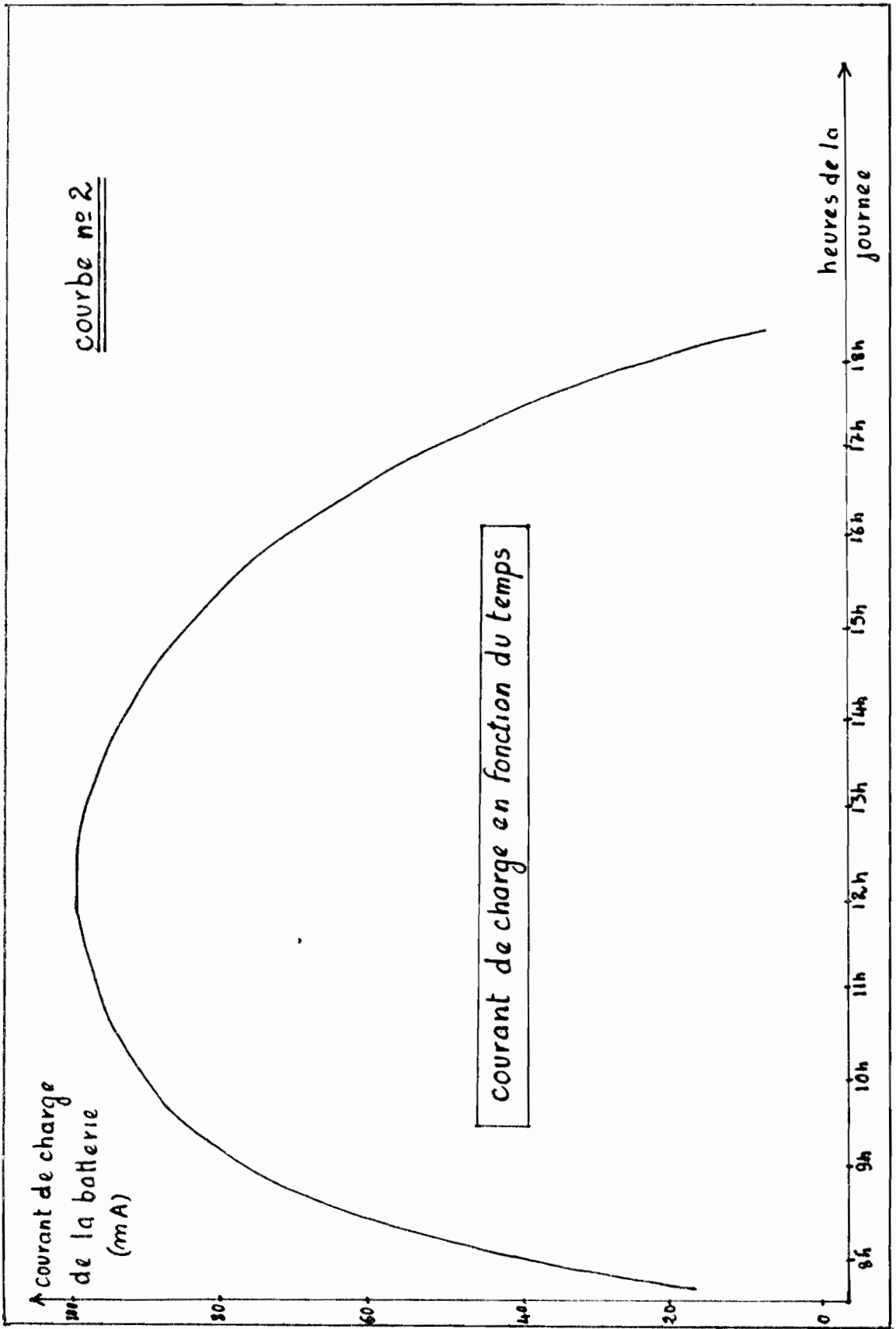
$$V_R = V_S \cdot \frac{r_2}{r_1 + r_2} \Rightarrow V_S = \frac{r_1 + r_2}{r_2} \cdot V_R = \frac{9.82 + 10.19}{10.19} \cdot V_R$$

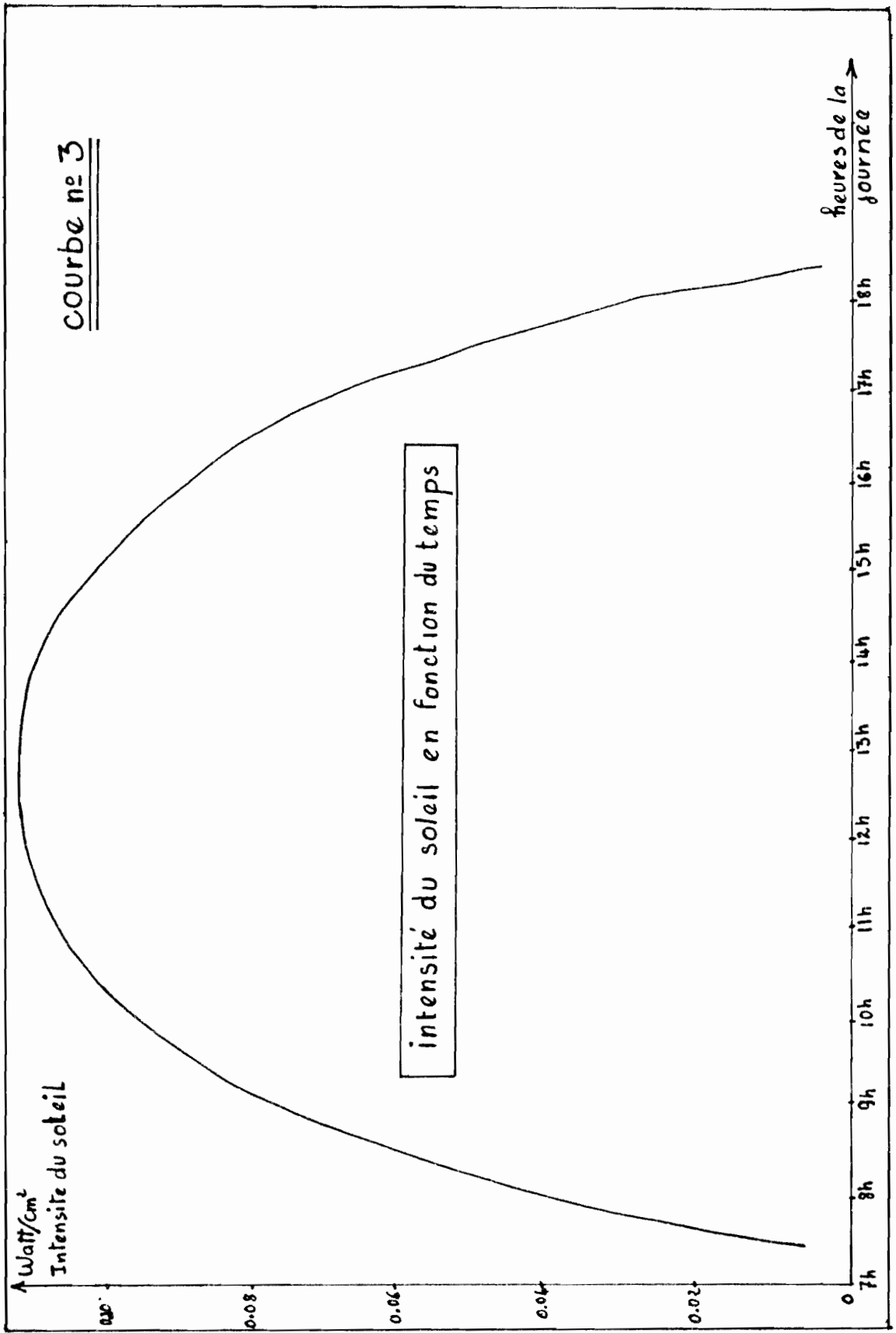
$$\Rightarrow \boxed{V_S = 1.96 V_R}$$

TABLEAU DES MESURES : Tableau 2

temps (h)	8h	8h30	9h-15	9h+15	10h	10h30	11h+15	12h-15
I mA	14	54	70	82	92.5	93	95	100
I wall/cm ²	0.03	0.06	0.07	0.08	0.10	0.10	0.11	0.11
temps (h)	13h	14h+15	15h	16h	17h	17h30	17h45	18h
I mA	93	90	87	69	69	45	24	8
I wall/cm ²	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.04	0.04	0.04

Le tableau ci-dessus donne l'intensité du soleil et le courant de charge de la batterie aux différentes heures de la journée.





Conclusion partielle: Nous venons de procéder à des séries d'expériences dans la partie I-a de ce projet. Ces expériences ont mis en relief la variation de l'énergie fournie par les capteurs solaires en fonction de l'intensité I du soleil et de l'angle α . Rappelons que α représente l'angle de la normale du capteur avec la direction du soleil.

La courbe n° 1 indique que l'intensité du courant débité dans la batterie de charge passe par un maximum quand l'angle α est nul. Le courant de charge correspondant vaut 95 mA. Pour de grandes valeurs de α , en particulier pour $\alpha = 75^\circ$, le courant de charge vaut 27 mA, soit 3,5 fois plus faible, d'où la nécessité de maintenir l'angle α constamment nul.

I-b. Le calcul du gain d'énergie du capteur mobile par rapport au capteur fixe.

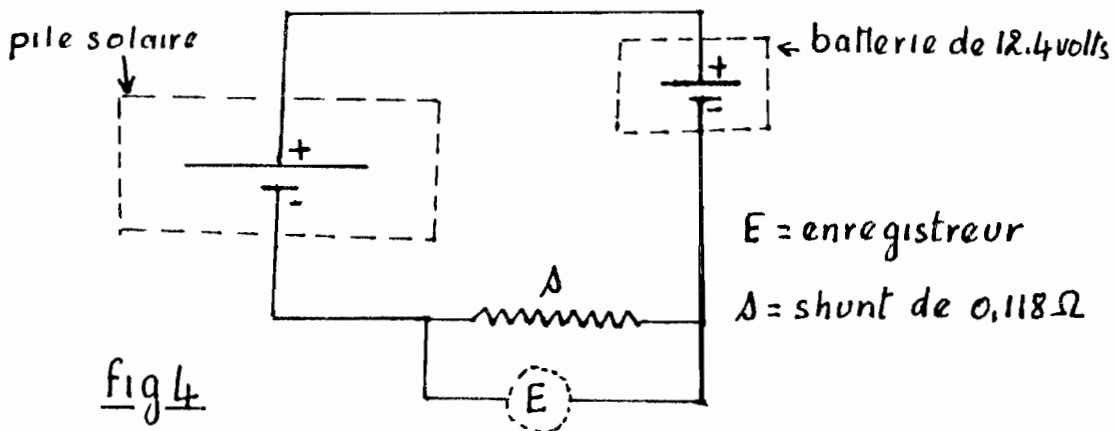
Dans le chapitre précédent, nous avons montré expérimentalement que l'on pouvait gagner effectivement de l'énergie en orientant le capteur vers la bonne direction, c'est-à-dire celle pour laquelle $\alpha = 0$. Dans ce qui suit nous allons calculer la valeur de ce gain par mètre carré de pile solaire.

Pour calculer ce gain additionnel, nous mesurerons

tout d'abord l'énergie obtenue quand le capteur est fixe mais dirigé vers le soleil à 12h, puis celle obtenue quand le capteur est mobile avec $\alpha = 0$ en permanence. Nous allons ensuite comparer ces deux grandeurs en faisant leur rapport pour en déduire un coefficient que nous conviendrons d'appeler "le gain d'énergie du suiveur solaire"

I-b-1 Énergie reçue quand le récepteur est fixe mais dirigé vers le soleil à 12h.

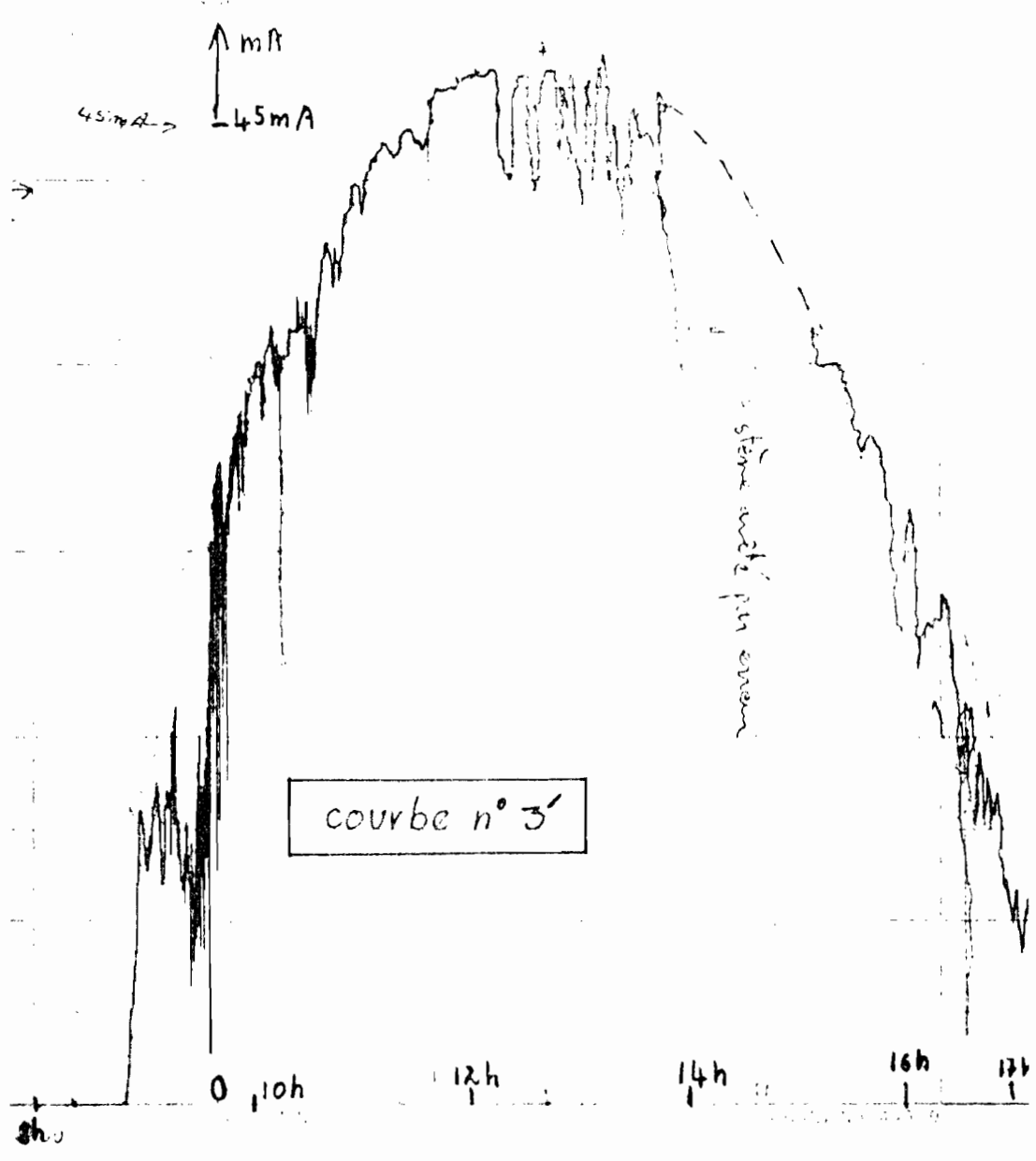
L'expérience suivante a été faite le 14 janvier 1978. Elle a pour but de connaître l'énergie totale reçue par mètre carré de pile solaire et par jour.



L'intensité du courant de charge de la batterie de 12.4 volt est traduite en voltage aux bornes de l'enregistreur E grâce au shunt $\Delta = 0,118 \Omega$.

L'enregistreur E a tracé la courbe η de i (intensité)

courbe de l'intensité i
en fonction du temps



en fonction du temps, cette courbe est donnée à la page 15

L'intégration de cette courbe donne une valeur de 133.3 mAh.

On en déduit une énergie journalière de $e = 12 \times 133.3$
car $e = V \cdot q$ avec $V \approx 12 \text{ V}$ et $q = 133.3 \text{ mA}$

$$\Rightarrow e = 1.65 \text{ watt-heures (watt.h)}$$

La surface utile du solarimètre vaut $S_0 = 8 \times \pi R^2$.

$$\Rightarrow S_0 = 8 \times (0.024)^2 \cdot \pi = 0.014 \text{ m}^2$$

On en déduit l'énergie E_f par m^2 de pile solaire et par jour.

$$E_f = \frac{e}{S_0} = \frac{1.65}{0.014}$$

$$\Rightarrow \boxed{E_f = 114 \text{ wh/m}^2/\text{jour}}$$

I-b-2 : Énergie obtenue quand le capteur est mobile.

Pour procéder à une évaluation de cette énergie, nous ferons certaines hypothèses. Le calcul véritable s'avèrerait assez complexe pour les besoins du problème. En effet, ce qui nous intéresse ici c'est plutôt l'ordre de grandeur du gain d'énergie.

Le mécanisme qui doit agir sur le capteur pour lui faire suivre constamment la direction du soleil absorbera lui-même une certaine quantité d'énergie. Si cette consommation est supérieure au gain d'énergie, la solution présentée ne serait pas économiquement rentable. Elle le sera dans le cas contraire.

Le calcul de l'énergie nous conduit aux hypothèses suivantes :

1) Le rendement η des piles solaires est une constante indépendante de l'intensité I du soleil.

Cette hypothèse sera vérifiée par la suite.

2) A 12h30, le soleil est au zénith et son intensité est maximum à cet instant.

3) Un récepteur fixe est toujours placé de façon que sa normale soit confondue avec la direction du soleil à 12h30.

4) Un récepteur fixé qui est placé comme l'indique l'hypothèse 3 entraîne les considérations suivantes :

a) Pour ce récepteur, l'angle φ de sa normale avec la direction du soleil sera égale à 90° à 6h30

et à 18h30.

b). D'une heure à l'autre l'angle α varie de 15° .

L'intensité du soleil est donnée à chaque instant par le solarimètre.

Si S désigne la surface de la pile solaire (surface utile), la puissance rayonnante P_r reçue par la pile solaire vaut:

$$P_r = S \cdot I \cdot f(\alpha)$$

I = intensité du soleil (watt/m^2)

α = angle de la normale au capteur avec la direction du soleil

S = surface utile de la pile solaire.

La puissance électrique P_e fournie par la pile vaut :

$$P_e = \eta \cdot P_r = \eta \cdot S \cdot I \cdot f(\alpha) \quad (1)$$

η = rendement de (solarim) la pile solaire supposé constant.

D'autre part P_e est donnée par la formule suivante:

$$P_e = i \cdot V_0 \quad (2)$$

i = intensité du courant de charge de la batterie

V_0 = tension constante aux bornes de la batterie

(ici $V_0 = 12.4$ volts)

Des relations (1) et (2) on tire l'égalité suivante :

$$P_e = \eta \cdot P_r = \eta \cdot S \cdot I \cdot f(\alpha) = i \cdot V_0$$

$$\Rightarrow i = \frac{P_e}{V_0} = \frac{\eta S I \cdot f(\alpha)}{V_0} = k \cdot f(\alpha) \cdot I$$

Le courant de charge dans la batterie est donc proportionnel à l'intensité I du soleil.

$$\Rightarrow \boxed{i = f_1(\alpha, I) = f_1(\alpha, I_0) \cdot \frac{I}{I_0}} \quad (3)$$

L'équation (3) veut dire que pour connaître le graphe de $i = f_1(\alpha, I)$, il suffit de connaître celui de $f_1(\alpha, I_0)$.

Dans l'expérience de la fig 1, nous avons déterminé expérimentalement le graphe de $i_0 = f_1(\alpha, I_0)$ avec $I_0 = 0.104$ Watt/cm².

Ce qui nous intéresse maintenant, c'est la fonction $f_1(\alpha_0, I)$ avec $\alpha_0 = 0$; c'est à dire quand l'angle α

de la normale de la pile avec la direction du soleil est nul à chaque instant alors que l'intensité I du soleil varie en fonction du temps.

Dans l'expérience n° 2, nous avons relevé les valeurs de l'intensité I du soleil en fonction de l'heure de la journée.

Cette expérience a montré que pour une intensité $I_0 = 0,104 \text{ watt/cm}^2$ du soleil, l'intensité i_0 du courant correspondant à un angle $\alpha_0 = 0$ vaut $i_0 = 95 \text{ mA}$.

$$\Rightarrow \boxed{\alpha = f(\alpha_0, I) = \frac{I}{I_0}, f(\alpha_0, I_0) = i_0 \cdot \frac{I}{I_0}}$$

Puis que nous connaissons l'intensité I du soleil aux différentes heures de la journée, nous sommes alors en mesure de connaître l'intensité i du courant à chaque heure de la journée pour un capteur mobile ($\alpha = 0$ pour tout instant de la journée)

Exemple de calcul: A 8h du matin toujours dans l'expérience de la fig 1 (correspondant au tableau 2) nous avons noté une intensité du soleil $I = 0,03 \text{ watt/cm}^2$. Donc pour cette heure de la journée (8h) mais pour un récepteur

mobile ($\alpha=0$) le courant de charge i de la batterie sera égale à :

$$i = I_0 \cdot \frac{I}{I_0} = 95 \times \frac{0,03}{0,104} = 27 \text{ mA}$$

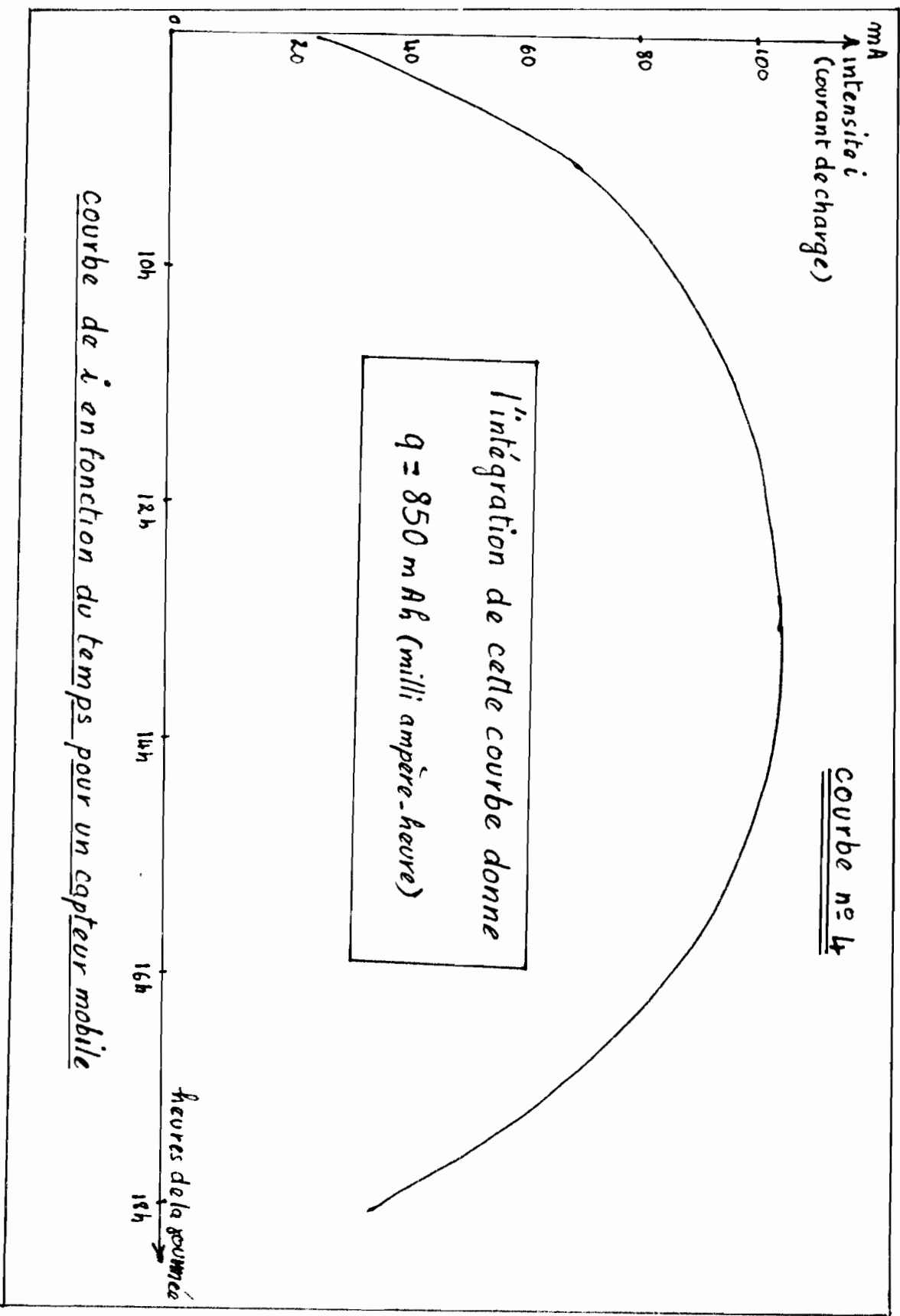
Ce courant a été calculé pour les différentes heures de la journée et les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant (tableau n° 3).

TABLEAU 3

temps (h)	8h	8h30	9h-15	9h+15	10h	10h30	11h+15	12h-15
i mA	27	55	64	73	91	91	100	100
I Watt/cm ²	0.03	0.06	0.07	0.08	0.10	0.10	0.11	0.11
temps (h)	13h	14h+15	15h	16h	17h	17h30	17h+45	18h
i mA	100	100	100	82	73	36	36	36
I Watt/cm ²	0.11	0.11	0.10	0.09	0.08	0.04	0.04	0.04

Ce tableau 3 nous a permis de tracer la courbe correspondante (voir page suivante).

L'intégration de cette courbe donne l'énergie emmagasinée dans la batterie et par jour (cette énergie est obtenue en multipliant l'intégrale par la tension de la batterie)



La courbe n°4 représente la variation de l'intensité i du courant de charge de la batterie en fonction du temps et durant une journée.

L'intégration de cette courbe donne une quantité d'électricité $q = 850 \text{ mAh}$.

L'énergie W_e correspondante vaut :

$$W_e = v_0 q = 12,4 \times 850 = 10540 \text{ mWh}$$

v_0 = tension aux bornes de la batterie.

$$W_e = 10.540 \text{ mWh} = 10,5 \text{ Wh/jour}$$

Pour un mètre carré de pile solaire, nous avons :

$$E_m = \frac{W_e}{S_0}$$

$$S_0 = \text{surface de la pile} = 0,0145 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow E_m = \frac{10,5}{0,0145} = 724 \text{ Wh/m}^2$$

$$\Rightarrow \boxed{E_m = 724 \text{ Wh/m}^2} \quad E_m = \text{énergie pour capteur mobile}$$

Or, l'énergie dans les mêmes conditions mais pour un capteur (mobile) fixe a été calculé et vaut $E_f = 114 \text{ Wh/m}^2$

$$\Rightarrow \text{Il en résulte un gain d'énergie } g = \frac{E_m}{E_f}$$

$$\Rightarrow \boxed{g = \frac{E_m}{E_f} = \frac{724}{114} = 6,35}$$

Donc l'énergie obtenue est 6,35 fois plus grande.

I-b-3 : VERIFICATION de l'hypothèse 1: le rendement des piles est une constante.

L'expérience du 2 Mars 1978 a permis de vérifier cette hypothèse. Cette expérience se résume comme suit: Aux différentes heures de la journée, on procède à une évaluation de l'intensité I du soleil ainsi que le courant i débité dans la batterie de charge.

Lors de la mesure la surface de la pile était toujours maintenue constamment perpendiculaire à la direction du soleil.

TABLEAU n° 4

heures	V_e : aux bornes de l'énr.	intensité I du soleil W/cm^2	i (mA) dans batterie
8h 30	5,3 mV	0,05	26
8h 45	6,4 mV	0,06	34
9h 10	8,5 mV	0,08	41
9h 50	9,8 mV	0,09	46
10h 30	10,7 mV	0,10	51
11h	10,8 mV	0,10	51
12h	11,4 mV	0,11	53

Le montage correspondant à ce tableau est le même que ceux

des fig 1 et 2 sauf que α vaut toujours 0 ici.

La courbe n°5 correspond au tableau 4
(voir page suivante)

A toute fin pratique cette courbe est une droite de
la forme

$$i = k' V_e$$

$$k' = \frac{35}{7.25} = 4.828 \quad (\text{tiré de la courbe})$$

mais d'autres parts $i = k I$

$$\Rightarrow k = k' \frac{V_e}{I}$$

$$\text{mais } \frac{V_e}{I} = \text{constante de la pile} = 105 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mV}}{\text{watt/cm}^2}$$

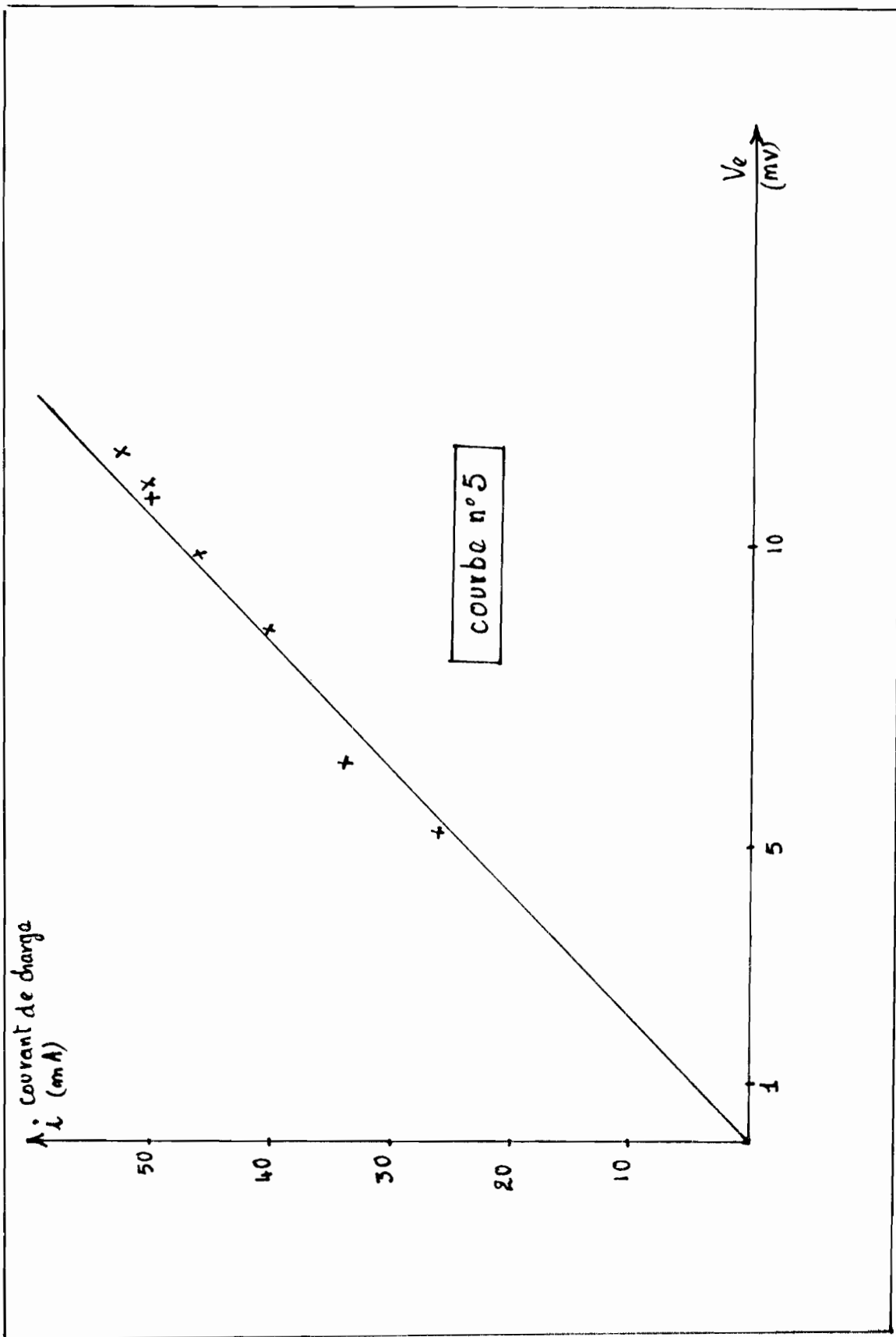
$$\Rightarrow k = 4.828 \times 105 \cdot 10^{-3} = 0.507 = \eta \frac{S}{V_0} f(\alpha, I_0)$$

S en (m^2) $V_0 = \text{tension aux bornes de la batterie} = 12.4 \text{V}$

\Rightarrow Le rendement η est donc constant et peut se
calculer comme suit:

$$\eta = \frac{k V_0}{S} = 0.507 \cdot \frac{12.4}{144.765} = 0.043 = 4.3 \%$$

Ce rendement des piles solaire est donc très faible.



II - PLAN D'ENSEMBLE DU SYSTEME

Le système que l'on se propose d'étudier ici doit pouvoir se mettre toujours dans la bonne direction sans aucune intervention humaine. Il lui faut donc :

- pouvoir détecter la position du soleil, ce qui suppose l'existence d'éléments sensibles aux intensités lumineuses émises par des sources ponctuelles.

- pouvoir réajuster ou corriger sa position en conséquence, ce qui postule l'existence d'un moteur de commande du système et éventuellement d'autres éléments mécaniques.

II-1 Contraintes à respecter.

II-1.a : La surface qui porte les piles solaires est plane et doit être maintenue constamment perpendiculaire à la direction du soleil.

II-1.b : Le capteur mobile ne doit pas exiger de grandes quantités (d'énergie) d'énergie pour son fonctionnement, d'où une nécessité de minimiser les consommations des circuits de commande. Dans le but de répondre à cette exigence nous adopterons ici un système fonc.

tionnant par à-coups. Nous accepterons un tel système car dans les expériences du chapitre précédent on remarque que le taux de variation du courant de charge de la batterie par rapport à l'angle α était à toute fin pratique nul au point $\alpha = 0$. Le système ne requiert donc pas une grande précision angulaire.

II.1-c Toujours dans le souci constant de réduire cette consommation d'énergie des circuits de correction nous éviterons que ceux-ci absorbent beaucoup d'énergie en l'absence du soleil. En particulier ils ne consommeront que peu d'énergie la nuit.

II.1.d. Le système prendra la position du soleil couchant le soir; elle la conservera jusqu'au lendemain matin où il adoptera alors celle du soleil levant. La transition entre ces deux positions consiste en un passage brusque de la première à la seconde (environ 2 secondes).

III - REALISATION PROPOSEE

Vu les contraintes du chapitre précédent, le système sera doté de 3 grands sous ensembles qui sont les suivants :

- a) Les circuits de détection
- b) Les circuits de commande
- c) Les composantes mécaniques.

III-a Les circuits de détection.

L'élément principal de la détection de rayons lumineux dans ce projet sera les phototransistors.

Quand ils sont éclairés par leur base, les phototransistors fournissent un courant émetteur dont la valeur est d'autant plus élevée que l'intensité de la lumière est grande. Mais à la limite, tout comme les autres transistors, ils se saturent pour une intensité donnée du soleil I_{max} ou intensité de saturation.

Deux (2) types de phototransistor seront utilisés dans ce projet :

- les phototransistors à grand angle de détection; nombre utilisé = 2. Ils détectent même les grandes amplitudes de variation de la direction du soleil.

- Les phototransistors à petit angle de détection; nombre utilisé = 2. Ils ne sont sensibles qu'à de faibles variations de la position angulaire du soleil.

Ces 2 types de phototransistor sont appariés 2 à 2 conformément à la figure qui suit. Leurs caractéristiques sont indiquées aux pages 51 et 52

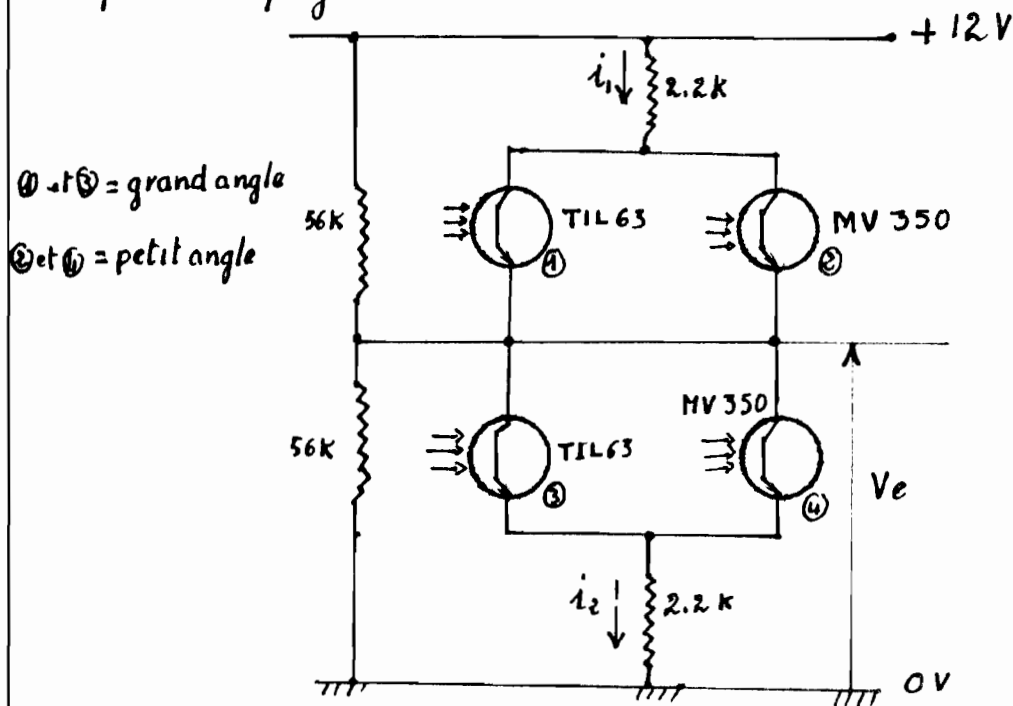


fig 5 : schéma du détecteur

- Si les 2 phototransistors ① et ② sont aussi éclairés que ③ et ④, alors la tension V_e vaut 6 volts.
- Si les 2 phototransistors ① et ② sont plus éclairés que ③ et ④ alors la tension V_e est inférieure à 6 volts.
- Si les 2 phototransistors ① et ② sont moins éclairés que ③ et ④, alors la tension V_e est supérieure à 6 volts.

Si les couples de phototransistors ①, ② et ③, ④ sont convenablement choisis et placés, la tension V_e ne dépendra que de la seule intensité I du soleil et du seul angle α ; elle pourra donc être utilisée comme une mesure de la position relative du soleil.

En utilisant convenablement la tension V_e on pourra alors agir sur un système de commande qui corrigera en conséquence la position angulaire de la surface du capteur. Théoriquement cette correction peut être apportée toutes les fois que V_e est différente de 6 volts, pratiquement on permettra à cette valeur de V_e de se situer au voisinage de 6 volts.

III - b Les circuits de commande.

Puisque nous nous proposons d'assurer un fonctionnement par à-coups du système et de permettre à la tension V_e de prendre des valeurs voisines de 6 volts, la solution suivante en est une parmi d'autres :

la tension V_e sera utilisée comme tension d'attaque de 2 triggers de Smitt à savoir les triggers 1 et 2.

Chacun de ces 2 triggers commande la rotation du moteur dans un sens donné.

- Bref rappel du fonctionnement d'un trigger :

Le trigger de Smitt est circuit de transformation des signaux électriques comportant donc une entrée et une sortie, Attaqué sur la première par des signaux ou des tensions de formes quelconques, il délivre sur la deuxième des créneaux. Les niveaux des paliers inférieurs ou supérieurs ne dépendent que du trigger lui-même,

Les circuits de commande comprennent :

- les circuits de transformation des signaux de détection : trigger 1 et 2
- les circuits d'alimentation du moteur,

III-b-1. Le calcul des composantes des circuits de transformation de signaux de détection.

Dans ce sous-chapitre, nous nous proposons de calculer toutes les résistances nécessaires au fonctionnement d'un trigger de Schmitt à seuils prédéterminés.

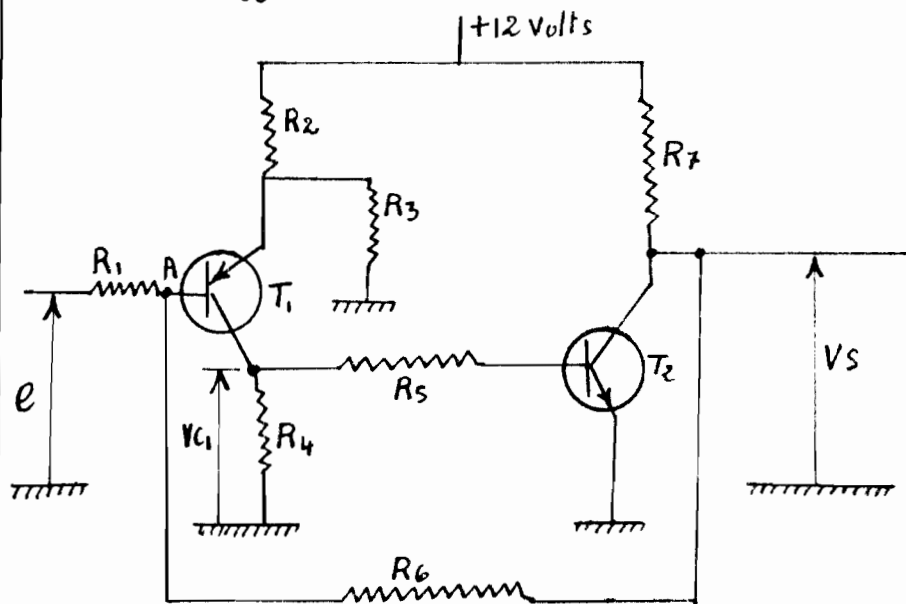


Fig 6 : montage d'un trigger

e = tension d'attaque du trigger

$V_s =$ " " de sortie

- État stable

e faible, a est alors inférieur à e ,

$e < e_1$, et $V_s = 0$ volt,

Les transistors T_1 et T_2 conduisent

Si T_1 se sature $\Rightarrow V_{CE} = 0$

$$\Rightarrow V_{C1} = 12 \frac{R_3 // R_4}{R_2 + R_3 // R_4} \quad (\text{courant dans } R_5 \text{ negligible})$$

e croit $\Rightarrow V_A$ croit et quand V_A atteint V_{C1} , les transistors T_1 et T_2 se bloquent;

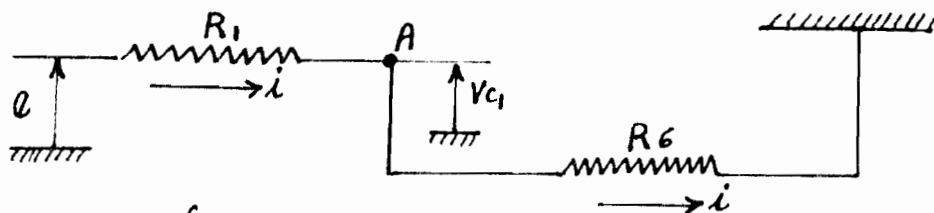


fig 7

Les transistors se bloquent quand $e \geq e_2$

$$i = \frac{e}{R_1 + R_6} \quad \text{et} \quad V_A = e - R_1 i \Rightarrow V_{C1} = e - R_1 i$$

$$\Rightarrow V_{C1} = e - R_1 \frac{e}{R_1 + R_6} = \frac{R_6}{R_1 + R_6} \cdot e$$

$$\Rightarrow \boxed{e_2 = 12 \left(\frac{R_1}{R_6} + 1 \right) \frac{R_3 // R_4}{R_2 + R_3 // R_4}}$$

- État stable où $e > e_2$ $\Rightarrow V_s = 12 \text{ volts}$

T_1 et T_2 ne conduisent pas mais sont bloqués,

mais T_1 bloqués $\Rightarrow V_{E1} = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot 12$

e décroît et $i = \frac{12 - e}{R_1 + R_6 + R_7}$ (voir fig 8)

$$V_A = e + R_1 i \Rightarrow V_{E1} = e_1 + R_1 i$$

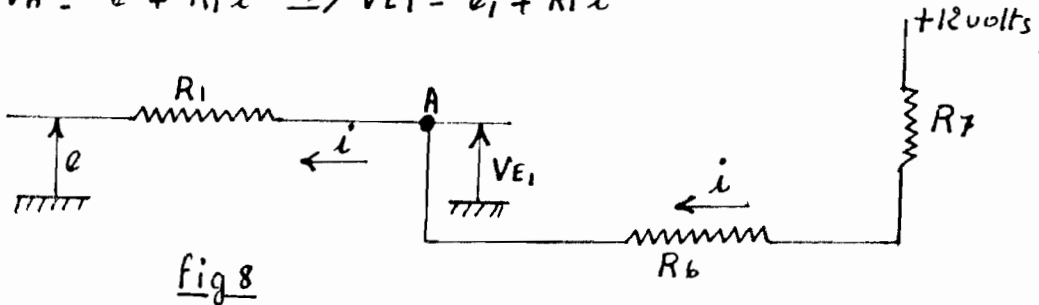


fig 8

$$e_1 = V_{E1} - R_1 \frac{12 - e_1}{R_1 + R_6 + R_7} \Rightarrow e_1 \left[1 - \frac{R_1}{R_1 + R_6 + R_7} \right] = \frac{12 R_2}{R_2 + R_3} - \frac{12 R_1}{R_1 + R_6 + R_7}$$

$$\Rightarrow \boxed{e_1 \left[\frac{R_6 + R_7}{R_1 + R_6 + R_7} \right] = 12 \left[\frac{R_3}{R_2 + R_3} - \frac{R_1}{R_1 + R_6 + R_7} \right]}$$

Pour le trigger 1, on veut comme seuils de déclenchement $e_1 = 4 \text{ volts}$ et $e_2 = 8 \text{ volts}$

On choisira donc : $R_7 = 10K$ et $R_5 = 18K$ et ce choix est arbitraire.

$$\Rightarrow e_2 = V_{c1} \left(1 + \frac{R_1}{R_6} \right) \Rightarrow \frac{e_2}{V_{c1}} = 1 + \frac{R_1}{R_6}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{R_1}{R_6} = \frac{1}{m} = \frac{e_2}{V_{c1}} - 1} \Rightarrow R_6 = m R_1$$

$$\frac{1}{m} + 1 = \frac{e_2}{V_{c1}} = \frac{1+m}{m}$$

$$\Rightarrow V_{c1} = e_2 \frac{m}{m+1} = 8.1 \frac{m}{m+1} \quad (e_2 = 8.1 \text{ volts})$$

Posons $R_4 = 4,7 \text{ k}\Omega$ (arbitraire)

$$\Rightarrow \mathcal{Q}_1 \left[\frac{R_6 + R_7}{R_1 + R_6 + R_7} \right] = 12 \left[\frac{R_2}{R_2 + R_3} - \frac{R_1}{R_1 + R_6 + R_7} \right]$$

$$\Rightarrow \mathcal{Q}_1 = \left[\frac{m R_1 + 10}{(m+1) R_1 + 10} \right] = 12 \left[K - \frac{R_1}{(m+1) R_1 + 10} \right]$$

$$\text{où } K = \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

Mais on veut que $\mathcal{Q}_1 = 5,9 \text{ volts}$,

$$\Rightarrow \frac{m R_1 + 10}{(m+1) R_1 + 10} = 3K - \frac{3 R_1}{(m+1) R_1 + 10}$$

$$\Rightarrow m R_1 + 10 = 3K(m+1) R_1 + 30K - 3 R_1$$

$$\Rightarrow [m+3 - 3K(m+1)] R_1 = [30K - 10]$$

$$\Rightarrow \boxed{\begin{array}{l} R_1 = \frac{30K - 10}{m+3 - 3K(m+1)} \\ R_6 = m R_1 = \frac{m(30K - 10)}{m+3 - 3K(m+1)} \end{array}}$$

$$K = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \Rightarrow R_3 = K R_2 + K R_3$$

$$\Rightarrow R_2 = \left(\frac{1-K}{K} \right) R_3 = \varphi R_3 \quad \text{avec } \varphi = \frac{1-K}{K}$$

$$\frac{V_{C1}}{12} = \frac{R_3 // R_4}{R_2 + R_3 // R_4} = \frac{2}{3} \frac{m}{m+1} = a$$

$$a = \frac{2}{3} \frac{m}{m+1}$$

$$\Rightarrow a R_2 + a [R_3 // R_4] = R_3 // R_4$$

$$\Rightarrow a R_2 = (1-a) R_3 // R_4$$

$$\Rightarrow R_2 = \frac{1-a}{a} \cdot R_3 // R_4 = \frac{1}{2} \cdot \frac{m+3}{m} \cdot R_3 // R_4 = \alpha R_3$$

$$\Rightarrow \frac{m+3}{2m} \cdot \frac{4.7 R_3}{R_3 + 4.7} = \alpha R_3 \quad (R_4 = 4.7k)$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{m(4.7 - 9.4\alpha) + 14.1}{2m\alpha}$$

$$R_2 = \alpha R_3 = \frac{m(4.7 - 9.4\alpha) + 14.1}{2m}$$

Récapitulation

Le trigger et ses seuils sont déterminés si les valeurs des 7 résistances qui le constituent le sont,

Ainsi, pour avoir $e_1 = 5.9$ volts et $e_2 = 8.1$ volts on pourra choisir les valeurs des résistances données par le système suivant;

$$R_1 = \frac{30K - 10}{m + 3 - 3K(m+1)} \quad R_2 = \frac{m(4.7 - 9.14) + 14.1}{2m}$$

$$R_3 = \frac{m(4.7 - 9.14) + 14.1}{2m} \quad R_4 = 4.7K\Omega$$

$$R_5 = 18K\Omega$$

$$R_6 = \frac{m(30K - 10)}{m + 3 - 3K(m+1)}$$

$$R_7 = 10K\Omega$$

$$\text{avec } \alpha = \frac{1 - K}{K}$$

K est un nombre réel compris entre 0 et 1 ($K = \frac{R_2}{R_2 + R_3}$)
 m est un réel nécessairement compris entre 0, et 1

$$(m = \frac{R_1}{R_6})$$

Pour obtenir le trigger avec les seuils déjà fixés, il suffit de donner à K et m une valeur numérique et calculer alors toutes les résistances du circuit en appliquant les équations ci-dessus.

En électronique les valeurs théoriques ne donnent en général qu'un ordre de grandeur des composantes du circuits.

La raison en est que les valeurs des résistances des condensateurs etc... sont connues avec une marge d'erreur non négligeable. C'est la raison pour laquelle nous avons tenté de déterminer par la pratique par utilisation d'un potentiomètre les résistances nécessaires au fonctionnement des 2 triggers dont les seuils avaient été fixés à l'avance,

D'où les résultats suivants ;

Trigger 1 : $e_2 = 8.1 \text{ volts}$ et $e_1 = 5.9 \text{ volts}$

$$R_1 = 0.68 \text{ K}\Omega \quad R_2 = 1.5 \text{ K}\Omega \quad R_3 = 1.8 \text{ K}\Omega \quad R_4 = 4.7 \text{ K}\Omega$$

$$R_5 = 18 \text{ K}\Omega \quad R_7 = 10 \text{ K}\Omega \quad R_6 = 1.5 \text{ K}\Omega$$

Caractéristiques :

Si e croît à partir de 0 et tant que $e < e_2 = 8.1 \text{ volts}$ alors $V_s = 0 \text{ volt}$; $V_s =$ tension de sortie du trigger n°1. Cette tension commande la rotation du moteur dans sens donné.

Si $e > e_2 = 8.1 \text{ volts}$ et décroît ; alors ;

- pour $e > e_2 = 8.1 \text{ volts}$ alors $V_s = 12 \text{ volts}$

- pour $e < e_1$ $V_s = 0$

Trigger n°2 $e_2 = 4,7 \text{ volts}$ et $e_1 = 3,1 \text{ volts}$

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega \quad R_2 = 1,2 \text{ k}\Omega \quad R_3 = 0,56 \text{ k}\Omega \quad R_4 = 4,7 \text{ k}\Omega$$

$$R_5 = 18 \text{ k}\Omega \quad R_6 = 1,5 \text{ k}\Omega \quad R_7 = 10 \text{ k}\Omega$$

Caractéristiques:

Si e décroît, tant que $e > e_1 = 3,1 \text{ volts}$, $V_s = 12 \text{ volts}$ mais à la sortie du trigger l'inverseur constitué par un émetteur commun transformé V_s en $V_s' = 0 \text{ volt}$,

C'est V_s' qui constitue cette fois-ci, la tension de commande de rotation du moteur dans le sens opposé à celui du trigger n°1.

Si $e < e_1 = 3,1 \text{ volts}$ alors $V_s = 0 \text{ volt}$ et $V_s' = 12 \text{ volts}$,

Si e croît à partir de 0 volt alors :

pour $e < e_2 = 4,7 \text{ volts}$ $V_s = 0 \text{ volt}$ et $V_s' = 12 \text{ volts}$

pour $e > e_2 = 4,7 \text{ volts}$ $V_s = 12 \text{ volts}$ et $V_s' = 0 \text{ volt}$

III - b - 2 : Les circuits d'alimentation du moteur

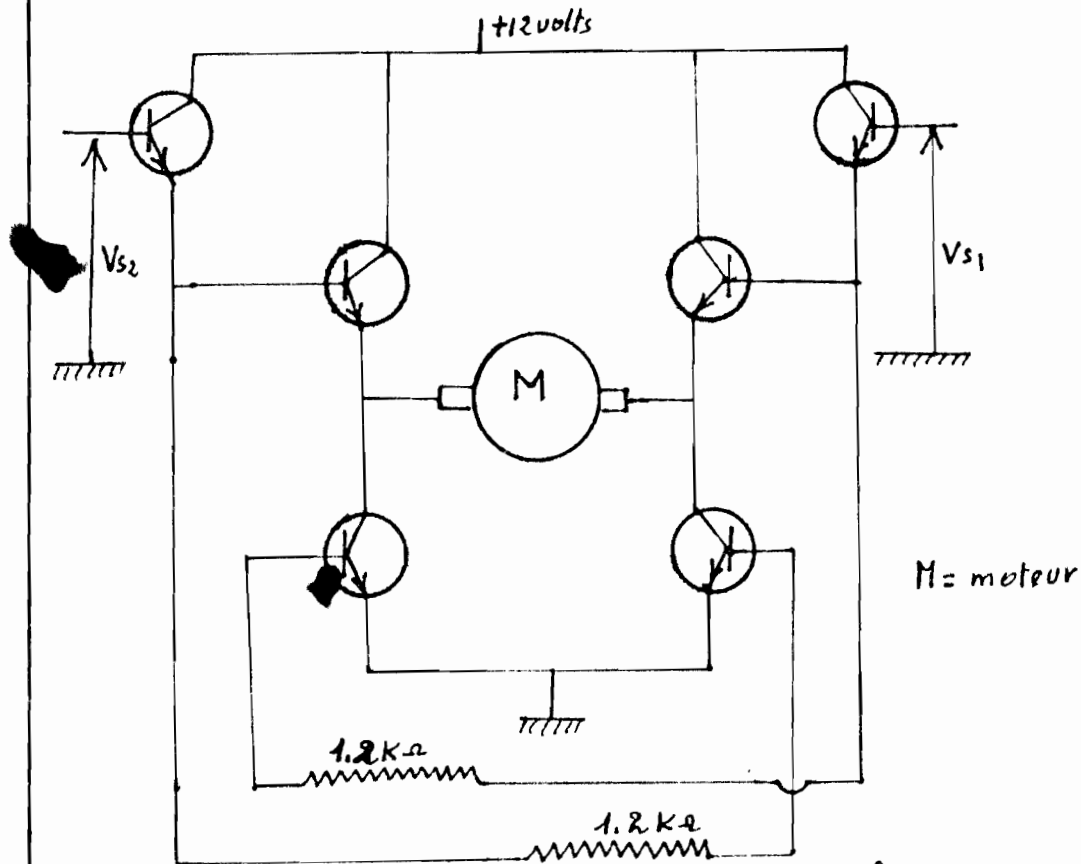


Fig n° 9

V_{s1} = tension d'alimentation correspondant à la sortie du trigger n° 1

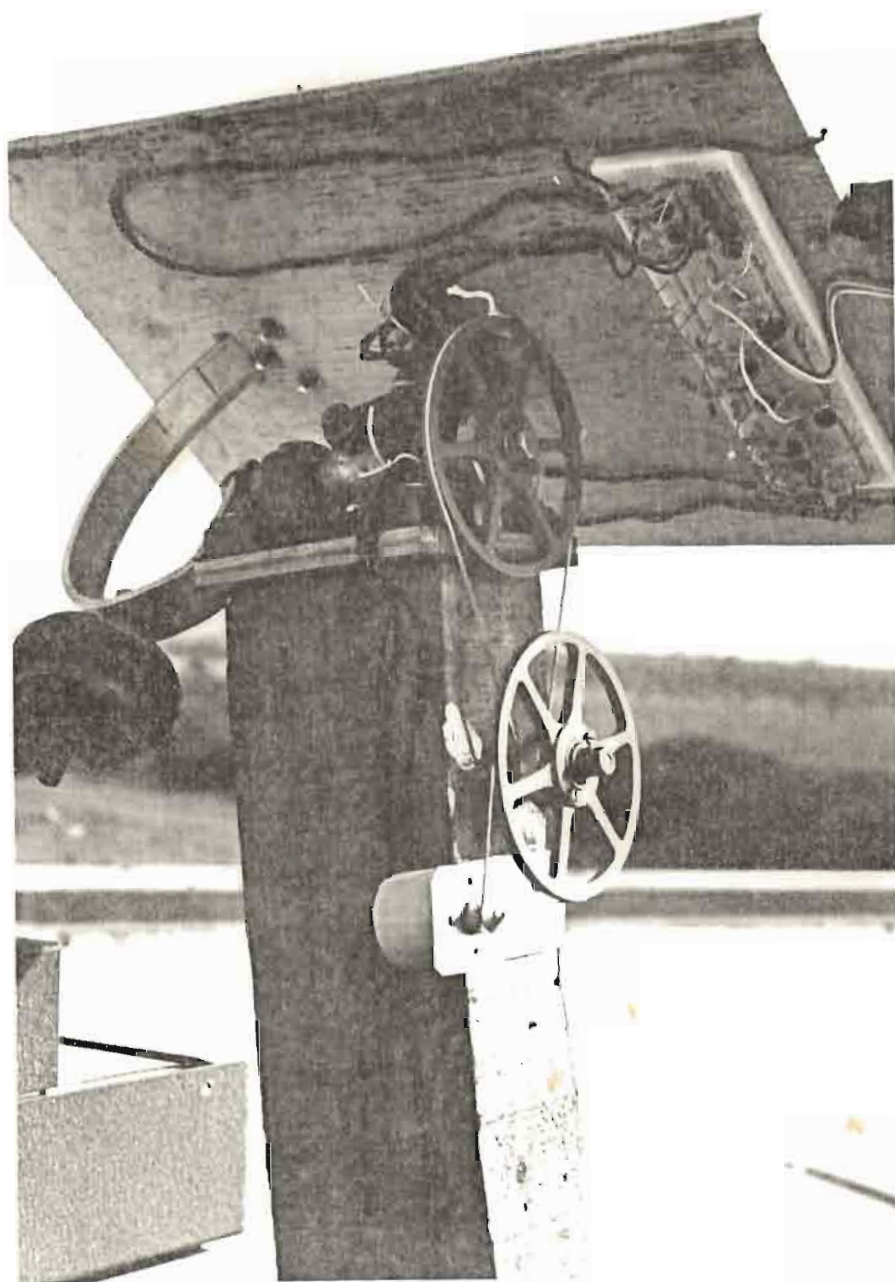
V_{s2} = tension d'alimentation correspondant à la sortie inversée du trigger n° 2

V_{s1} et V_{s2} ne peuvent prendre que 2 valeurs 0 ou 12 volts.

Dans le schéma ci-dessus, on voit que le courant I qui traverse le moteur est soit positif ou négatif suivant que le trigger n° 1 ou le trigger 2 conduise. Le sens de rotation du moteur dépend justement du sens de I .

Si $V_{s1} = V_{s2} = 0 \Rightarrow I = 0$ et le moteur ne tourne pas.

III - c Les composantes mécaniques
voir fig 11 et 12



Une vue du montage

fig:11

Une vue du montage proposé

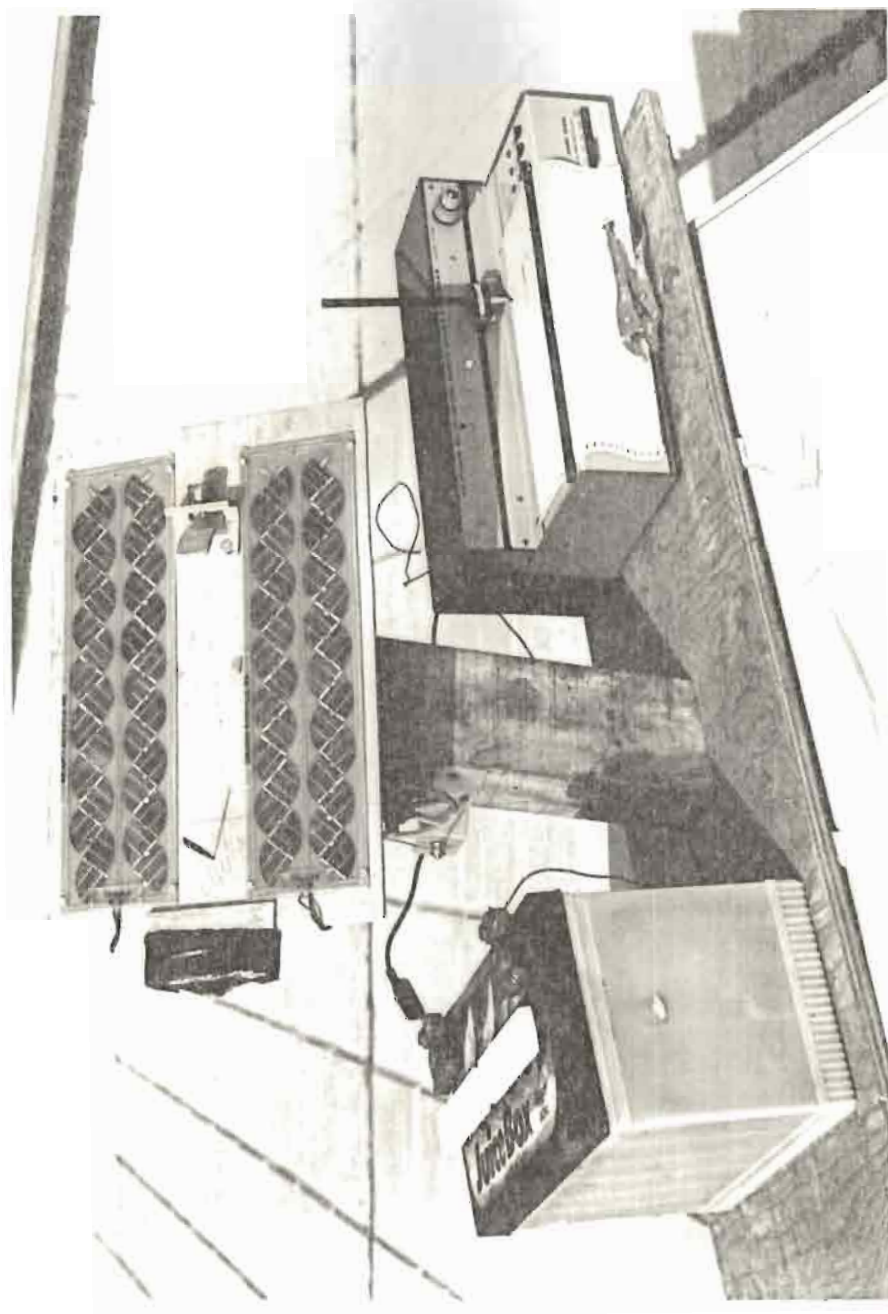
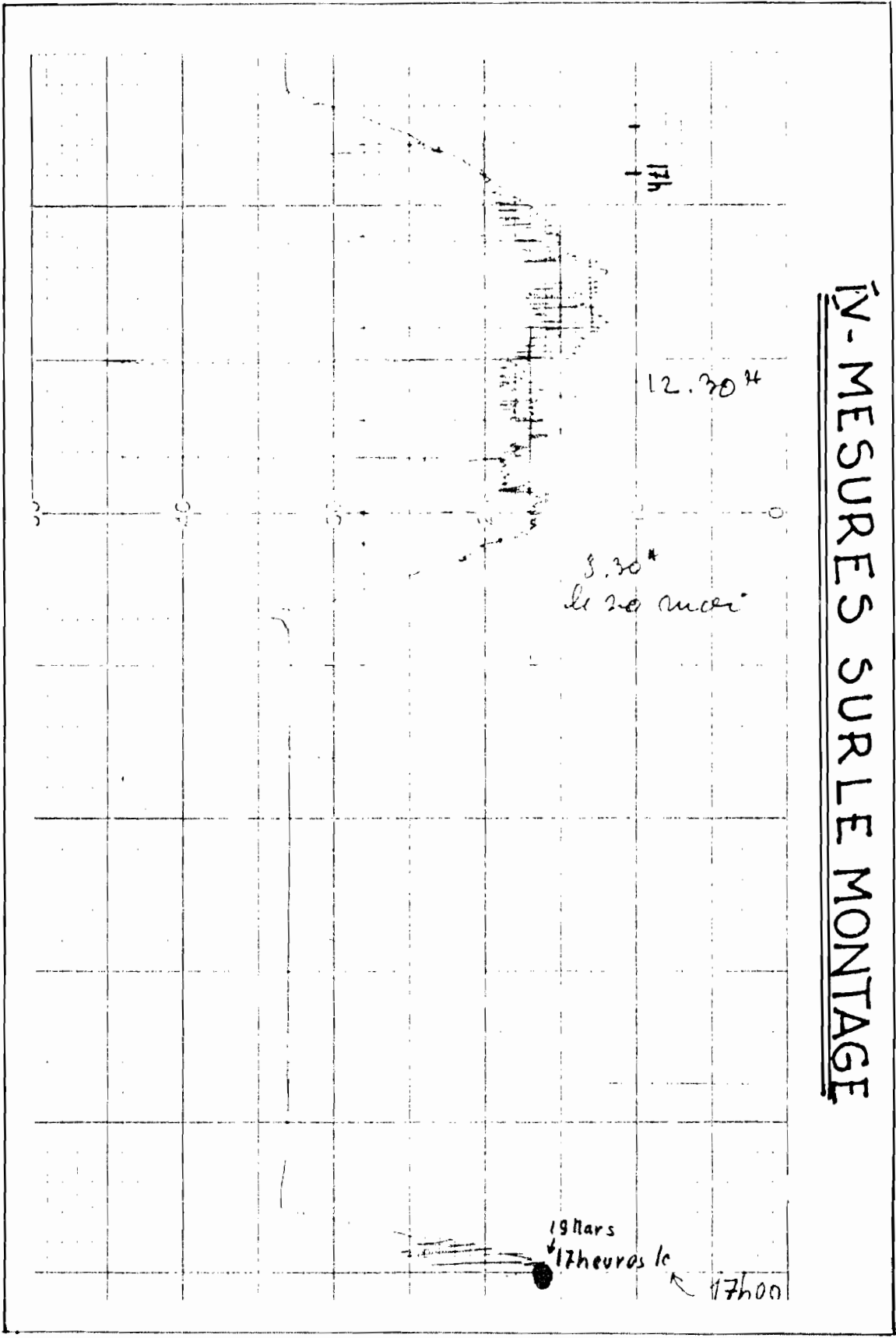


fig 12

IV - MESURES SUR LE MONTAGE



V. DISCUSSION - CONCLUSION

1- Possibilité d'amélioration des performances du système.

Le système tel que conçu actuellement est loin d'être parfait. Il nécessite des améliorations qui ne sont pas à mesure d'être apportées dans ce projet vu le temps qui nous est alloué. Nous pouvons néanmoins apporter quelques suggestions en vue de son amélioration éventuelle.

a. Amélioration de la qualité du moteur de commande.

Nous avons eu à résoudre quelques problèmes d'équilibrages de la composante mécanique de l'assemblage. Nous avons été alors contraint d'ajouter de lourdes pièces qui n'ont d'intérêt que par le fait qu'ils permettent un équilibrage du système, entraînant ainsi un accroissement sensible de l'inertie totale donc de la consommation d'énergie des circuits de commande.

Il serait donc souhaitable de disposer d'un moteur frein. L'avantage d'un tel moteur provient du fait qu'il exerce un couple de frottement qui s'oppose à la rotation du système quand il est hors tension. Ces moteurs freins sont en vente dans les marchés

b - Diminution des vibrations du système.

Le système à l'état actuel vibre très souvent, notamment quand il est dérangé de sa position d'équilibre,

Ces vibrations sont le siège des grandes consommations inutiles d'énergie et de surcroît, sont à mesure de griller le moteur de commande. Elles sont dues à la proximité des seuils de déclenchement des deux triggers.

Quand le moteur entraîné en rotation grâce à la sortie du trigger n°1 par exemple est soudainement mis hors tension, il ne s'arrête pas instantanément. Sous l'effet de l'inertie il continue dans sa lancée. La tension d'attaque V_e atteint le seuil de déclenchement du trigger n°2, la rotation du moteur est alors inversée et par suite le système se met à vibrer.

Pour résoudre ces problèmes de vibration, il serait souhaitable de disposer pour l'alimentation du circuit de commande d'une tension supérieure aux 12 volts de la batterie, 24 volts par exemple. Ceci procurera un large éventail de tension de seuil de déclenchement.

On fera alors un compromis entre les pertes d'énergie résultant de l'éloignement des seuils et les avantages d'une réduction de vibration.

c- Diminution de la consommation des circuits de commande et de détection.

Les mesures effectuées sur la système indiquent une consommation nocturne de 25 mA ce qui n'est pas négligeable par rapport au courant débité le jour dans la batterie (en moyenne 60 à 70 mA). Il faut donc tenter de minimiser cette consommation en utilisant par exemple des diodes ou autres composants électronique.

d- Utilisation de détecteurs adéquats

Les détecteurs utilisés ici sont très sensibles à la lumière du jour. Cela n'a pas été le cas avec la lumière artificielle que nous avons utilisée durant tout le projet.

Pour éviter la saturation des phototransistors, nous avons été obligé de les couvrir de ~~toite~~ pour abaisser leur niveau d'éclairiment, ce qui est peu pratique car cela peut entraîner une inégalité d'éclairiment des détecteurs.

2- Commentaire sur le gain d'énergie de la solution proposée.

La question qui vient automatiquement à l'esprit est la suivante: le système proposé est-il nettement préférable à un capteur fixe? Je pense que oui pour les raisons suivantes

4- Le gain d'énergie de la solution proposée

Les mesures effectuées sur le système indiquent que celui-ci fournit une quantité d'électricité

$$q_1 = 645 \text{ mAh} = 0,645 \text{ Ah/jour}$$

et absorbe la nuit une quantité d'électricité

$$q_2 = 210 \text{ mAh} = 0,21 \text{ Ah la nuit}$$

soit un gain d'électricité

$$\Delta q = q_1 - q_2 = 0,645 - 0,210 = 0,435 \text{ Ah}$$

correspondant à une énergie $W = V_0 \cdot \Delta q$ ($V_0 =$ tension de la batterie)

$$\Rightarrow W = 12,4 \times 0,435 = 5,4 \text{ watt-heure}$$

et l'énergie E par mètre carré de pile solaire vaut :

$$E = \frac{W}{S_0} \quad \text{où } S_0 = \text{surface d'une pile ; ici } S_0 = 0,0114 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow E = \frac{5,4}{2 \times 0,0114} = 237 \text{ watt h/m}^2 \text{ /jour}$$

Les mesures sur le capteur fixe avaient donné

$$E_f = 114 \text{ watt h/m}^2 \text{ /jour}$$

$$\text{soit un gain d'énergie } g = \frac{E}{E_f} = \frac{237}{114} = 2$$

On obtient alors 2 fois plus d'énergie pour le capteur mobile
Ce qui présente un grand atout,

2) - Le fonctionnement se fait sans aucune intervention humaine.

Les seules interventions de l'homme sont des réglages saisonniers dûs à la variation de la position du soleil dans l'axe Nord-Sud et ils coïncident d'ailleurs avec les périodes de nettoyage, d'entretien préventif etc ...

RELATIVE OUTPUT
vs
MODULATION FREQUENCY

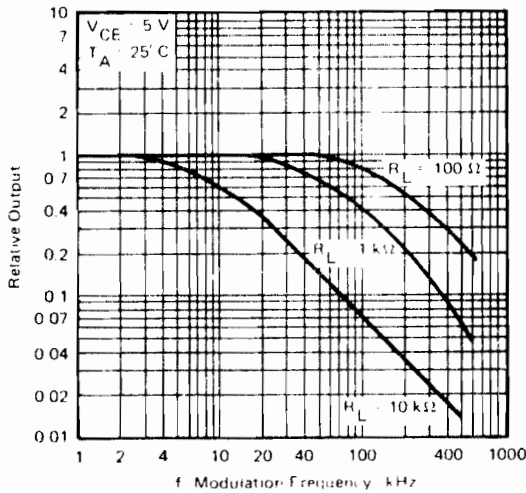


FIGURE 7

NORMALIZED LIGHT CURRENT
vs
ANGULAR DISPLACEMENT

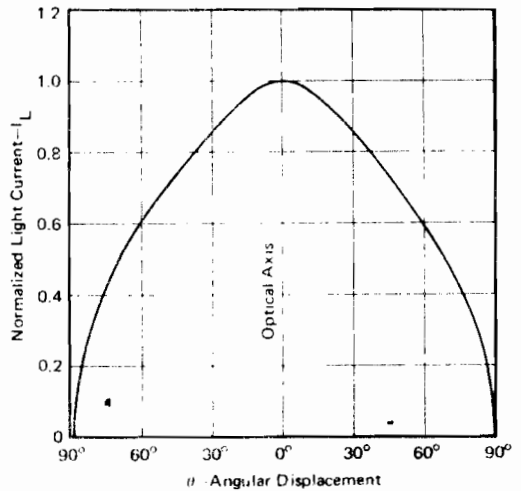


FIGURE 8

RELATIVE SPECTRAL CHARACTERISTICS

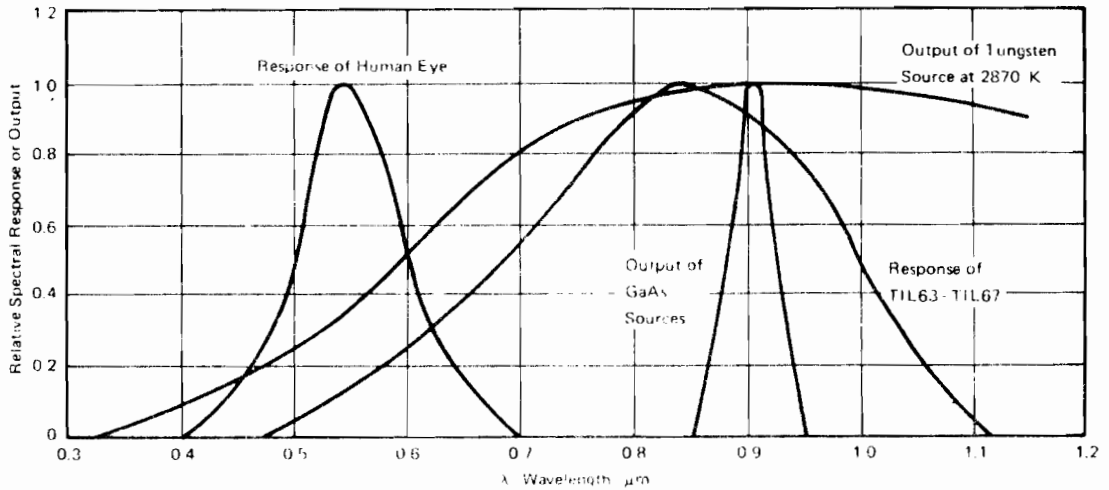


FIGURE 9

TYPE T1L81 N-P-N PLANAR SILICON PHOTOTRANSISTOR

TYPICAL CHARACTERISTICS

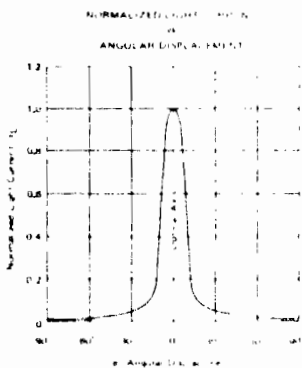


FIGURE 2

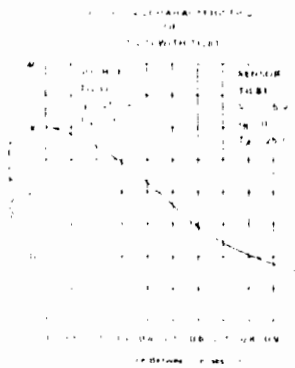


FIGURE 3

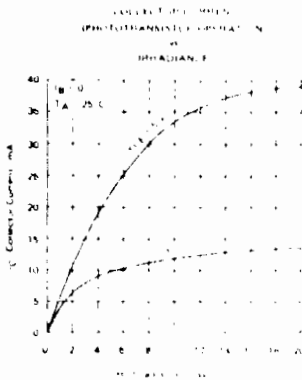


FIGURE 4

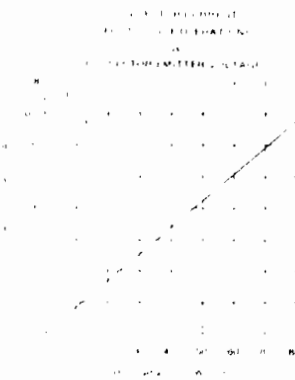


FIGURE 5

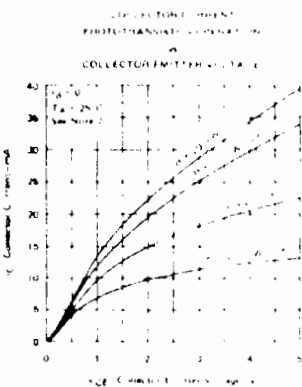


FIGURE 6

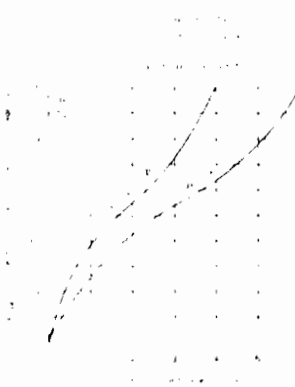


FIGURE 7

NOTE 2: Irradiance (H) is the radiant power per unit area incident upon a surface. For these measurements the source is an unfiltered tungsten linear filament lamp operating at a collector temperature of 2870 K.

3