

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية

وزارة التعليم والبحث العلمي المكتبة

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHEQUE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT **ÉLECTRONIQUE**

PROJET DE FIN D'ETUDES

S U J E T

**MODELISATION DES COMPOSANTES
DU RAYONNEMENT SOLAIRE**

Proposé par :

A. MAAFI

Etudié par :

L. ESSID
O. MEHENNI

Dirigé par :

A. MAAFI

PROMOTION :

JUIN 1985

DEDICACES

A mes Parents

A ma famille

A mes amis

O. MEHENNI

A mes Parents

A ma famille

A mes amis

L. ESSID

A tous ceux qui nous sont chers.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre gratitude à tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

Nous remercions vivement Mr. A. MAAFI qui nous a proposé ce sujet ; pour son aide remarquable.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du Jury qui nous ont honoré de leur présence.

Que tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce Projet trouvent ici l'expression de notre sincère gratitude.

- O. MEHENNI

- L. ESSID.

T A B L E D E S / / A T I E R E S

I N T R O D U C T I O N

C H A P I T R E I - L E R A Y O N N E M E N T S O L A I R E A L A L I M I T E D E L ' A T M S P H E R E

I N T R O D U C T I O N

I - P A R A M E T R E S D E L A P O S I T I O N D U S O L E I L A V A R I A T I O N T E M P O R E L L E

I.1. - La déclinaison Solaire (δ)

I.2. - L'angle Horaire (w)

I.3. - L'angle d'Azimuth (a)

I.4. - La Hauteur Angulaire (h)

II - R E L A T I O N D O N N A N T L E S P A R A M E T R E S D E L A P O S I T I O N D U S O L E I L A V A R I A T I O N T E M P O R E L L E

II.1.- Cas d'une surface Horizontale

II.2.- Cas d'une Surface Incliné

II.2.1.- Surface orientée vers l'équateur

II.2.2.- Surface d'orientation quelconque

III - A P P L I C A T I O N S

III.1. - Calcul de l'angle solaire au Lever et au Coucher

III.1.1.-Cas d'une surface horizontale

III.1.2.-Cas d'une surface inclinée

1.2.1.-Surface orientée vers l'équateur

1.2.2.-Surface d'orientation quelconque

III.2. - Calcul de la durée d'insolation potentielle journalière SSo

III.3. - Calcul de l'irradiation solaire reçue à la limite de l'atmosphère

III.3.1.- La notion de la constante solaire

III.3.2.- Calcul du flux instantané

3.2.1.-Surface horizontale

3.2.2.-Surface inclinée orientée vers l'équateur

3.3.3.-Surface inclinée d'orientation quelconque

III.3.3. - Irradiation journalière

3.3.1.-Surface horizontale

3.3.2.-Surface inclinée vers l'équateur

3.3.3.-Surface inclinée d'orientation quelconque

C H A P I T R E II - L E R A Y O N N E M E N T S O L A I R E A U S O L - L ' E X T I N C T I O N A T M S P H E R I Q U E

I N T R O D U C T I O N

I - NOTION DE MASSE ATMOSPHERIQUE

II - LES PRINCIPAUX EFFETS DE L'ATMOSPHERE

II.1. - La diffusion atmosphérique

II.1.1.-La diffusion Moléculaire

II.1.2.-La diffusion par les aérosols

II.1.3.-Schématisation de la diffusion

II.2. -L'absorption atmosphérique

II.2.1.-Cas des Gaz

II.2.2.-Cas de la vapeur d'eau

II.2.3.-Schématisation de l'absorption atmosphérique

III - LES COMPOSANTES AU SOL DU RAYONNEMENT SOLAIRES

III.1.- Le rayonnement solaire direct

III.2.- Le rayonnement solaire diffus

III.3.-Le rayonnement solaire global

CHAPITRE III - LA MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

INTRODUCTION

III.1. - Mesure de l'irradiation globale

III.1.1.-Description et principe de fonctionnement

III.2. - Mesure de l'irradiation directe

III.2.1.-Description et principe de fonctionnement des pyréliomètres

III.3. - Mesure du rayonnement diffus

III.4. - Mesure de la durée d'insolation

III.4.1.-Description et principe de fonctionnement des Méliographes

CHAPITRE IV - Modélisation du rayonnement solaire au niveau du sol

INTRODUCTION

I. - LES MODELES DE PREVISION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

I.1. - Les modèles empiriques simples

I.2. - Les modèles empiriques évolués

I.3. - Les modèles analytiques

I.4. - Les modèles théoriques

II - PRESENTATION DE QUELQUES MODELES ANALYTIQUES

II.1. - Modèle de PERRIN de BRICHAMBART

II.2. - Modèle de COLE, BARBARO et AL

II.3. - Autres Modèles

III - DISCUSSION DES MODELES ANALYTIQUES PRESENTES

IV - CHOIX DE MODELES

CHAPITRE V - ETUDE EXPERIMENTALE DU MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT ET PAGE.

INTRODUCTION

I. - LES DONNEES D'ENERGIE SOLAIRE

I.1.-Présentation des données

I.2.-Description des données

II - RECONSTITUTION DE L'IRRADIATION GLOBALE A L'AIDE DU MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT.

II.1.- Analyse du modèle

II.1.1.-Etude de l'influence des paramètres géographiques et climatique

1.1.1.- Influence de la Latitude (L)

1.1.2.- Influence du trouble atmosphérique (T)

II.2. - Vérification expérimentale du modèle

III. - ETUDE DU MODELE DE PAGE

III.1.- Méthode statistique utilisée

III.1.1.-Rappel succinct sur la méthode des moindres carrées.

III.1.2.-Application de la méthode

IV - CONCLUSION

CHAPITRE VI - TRAITEMENT DE DONNEES

INTRODUCTION

I. - PRESENTATION DE L'APPLE II PLUS

II - MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT

II.1. - Organigramme et programme

III - MODELE DE PAGE

III.1. - Organigramme et programme de calcul, des paramètres a, b, R^2 et σ_r

Bibliographie.

INTRODUCTION

Toute application de l'Energie solaire en un site donné nécessite une connaissance complète et la plus détaillée possible de l'enseoleillement du site. En effet le gisement solaire est caractérisé non seulement par sa dispersion à travers les régions, mais aussi, par son état fluctuant dans le temps (saisons , cycles, diurnes passages nuageux) qui font de lui un phénomène complexe et inter-dépendant avec d'autres phénomènes climatiques.

La rareté ou même l'absence de ~~serie~~ de mesure du rayonnement solaire en ALGERIE, due à l'insuffisance des réseaux de ~~mesure~~ rendent difficile son évaluation.

Afin de mieux prévoir l'avenir c'est-à-dire l'Energie utilisable que sera capable de fournir un système énergétique solaire dans les prochaines années en un site particulier, il est nécessaire de reconstituer partiellement ou totalement l'évolution des composantes du rayonnement au cours des années sur ce site .

Parallèlement on assiste donc d'une part à la mise en place de nouvelles stations au sol et au perfectionnement des stations existantes et d'autres part au développement des modèles de calcul à partir des observations des stations météorologiques et de l'imagerie des satellites.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude qui vise à vérifier l'application des modèles de PERRIN de BRICHAMBAUT et de PAGE pour quelques sites D'ALGERIE.

Notre Etude comporte trois parties :

- La première partie est consacrée à l'étude de l'influence de l'atmosphère ~~par~~ le rayonnement solaire.
- Dans la deuxième partie on présente les modèles permettant l'évaluation de l'irradiation ~~de~~ la limite de l'atmosphère et au niveau du sol.
- La troisième partie sera consacrée à la vérification expérimentale et la discussion des résultats.

CHAPITRE - I

LE RAYONNEMENT SOLAIRE A LA LIMITE

DE L'ATMOSPHERE

Ce travail nécessite la connaissance de l'énergie solaire incidente reçue à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface donnée et la durée d'inso-
lation potentielle. Ceci conduit à l'utilisation de quelques notions d'astronomie
qu'il convient de rappeler.

I. - PARAMETRES DE LA POSITION DU SOLEIL A VARIATION TEMPORELLE

Au lieu d'étudier le mouvement de la terre sur son axe de rotation et sur
sa trajectoire autour du soleil, nous examinerons le mouvement apparent du soleil
dans la voûte céleste. La trajectoire décrite par le soleil en une année est appe-
lée écliptique. Celle-ci définit un plan incliné d'un angle δ (déclinaison) par
rapport au plan de l'équateur. Fig. (1,I)

I.1.- La déclinaison Solaire (δ)

La déclinaison solaire est un angle mesuré positivement vers le Sud. Elle
est donnée par la relation suivante :

$$\delta = 23.45 \text{ SIN } (0.980 (J + 284)) \quad (1,I)$$

où J est le jour de l'année.

I.2.- L'angle Horaire (W)

C'est l'angle formé par le plan méridien passant par le Centre du soleil
et le plan vertical du lieu (méridien). Il vaut zéro au midi solaire et compté
positivement pour les heures de l'après-midi. Fig.(1,2,I)

Deux autres paramètres sont caractérisés par leurs variations journalière
et annuelle et sont fonction du site, c'est à dire, la latitude.

I.3.- L'angle d'Azimuth (a)

C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la
direction Sud. Fig.(1,2,I)

Cet angle est mesuré positivement vers l'Ouest.

I.4. - La hauteur Angulaire (h)

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Fig.(1,2,I)

II - RELATIONS DONNANT LES PARAMETRES DE LA POSITION DU SOLEIL A VARIATION
TEMPORELLE

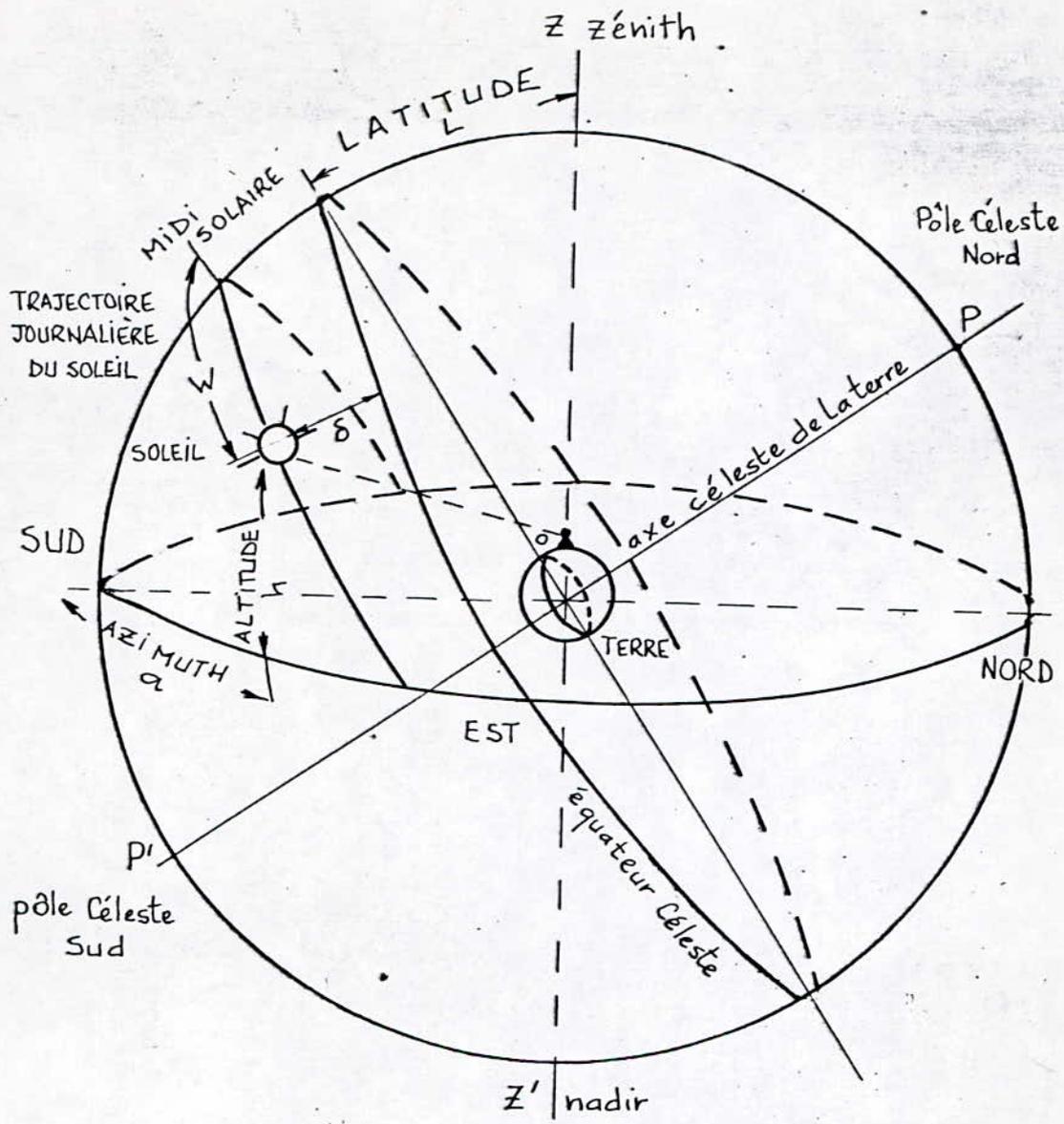
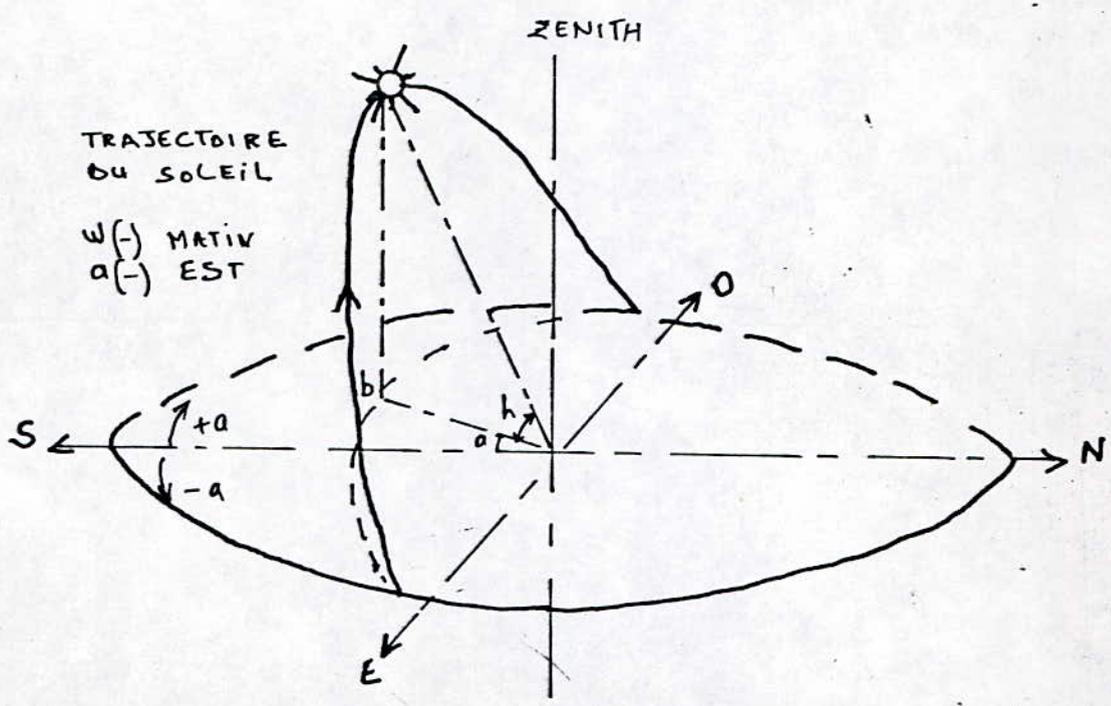


Fig. 1.I : La sphère Céleste et les Coordonnées relatives du soleil par rapport à un observateur situé au point O sur la terre.



TRAJECTOIRE
DU SOLEIL
w(-) MATIN
a(-) EST

fig 2.I: Position relative du soleil
par rapport à une surface
horizontale.

II.1.- Cas d'une Surface Horizontale

Pour une surface horizontale (1), on exprime l'angle d'azimuth (a) et la hauteur angulaire (h) du soleil en fonction de la latitude L, de la déclinaison (δ) et de l'angle horaire (w) par les relations suivantes :

$$\text{SIN } h = \text{SIN } L \text{ SIN } \delta + \text{Cos } L \text{ Cos } W \quad (2, I)$$

et

$$\text{SIN } a = \frac{\text{Cos } \delta \text{ SIN } W}{\text{Cos } h} \quad (3, I)$$

II.2.- Cas d'une Surface inclinée

Pour déterminer la position du soleil relativement à un plan incliné, il est nécessaire de connaître l'inclinaison (p) du plan par rapport à l'horizontale et l'angle d'azimuth (γ). Celui-ci représente l'angle formé par la projection de la normale sur le plan horizontal et la direction Sud. Fig. (3, I)

Pour établir les relations liant l'angle d'azimuth et la hauteur angulaire du soleil à la latitude, la déclinaison et l'angle horaire, il est nécessaire dans ce cas d'utiliser la méthode de la surface équivalente. Celle-ci est définie comme étant une surface horizontale en un point de la terre, telle que cette surface soit parallèle à la surface inclinée (1,4). Ceci veut dire que la surface inclinée d'un angle (p) à la latitude (L) est parallèle à la surface horizontale qui est à la latitude (L-p) Fig. (4, I)

II.2.1. - Surface orientée vers l'équateur

Dans le cas d'une surface orientée vers l'équateur ($\gamma = 0$) (4), l'angle d'azimuth (a_0) et la hauteur (h_0) sont liés à la latitude (L-p), la déclinaison (δ) et l'angle horaire (w) par les relations suivantes :

$$\text{SIN } h_0 = \text{SIN } (L-p) \text{ SIN } \delta + \text{COS } (L-p) \text{ Cos } \delta \text{ Cos } w \quad (4, I)$$

et

$$\text{SIN } a_0 = \frac{\text{Cos } \delta \text{ SIN } w}{\text{Cos } h_0} \quad (5, I)$$

II.2.2. - Surface d'orientation quelconque

Pour une surface d'orientation quelconque ($\gamma \neq 0$) (4), la nouvelle hauteur angulaire (h') du soleil est donnée par la relation suivante :

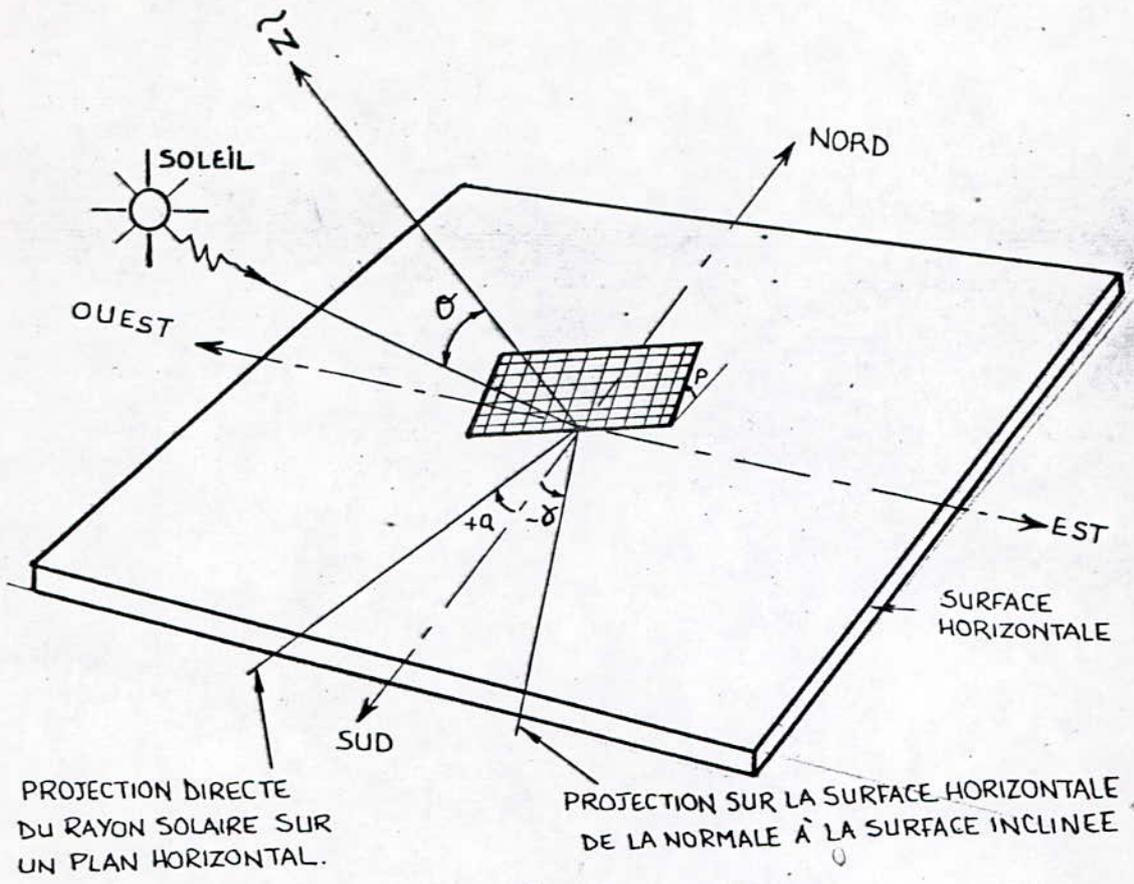


Fig. 3.I: Position relative du soleil par rapport à un plan incliné.

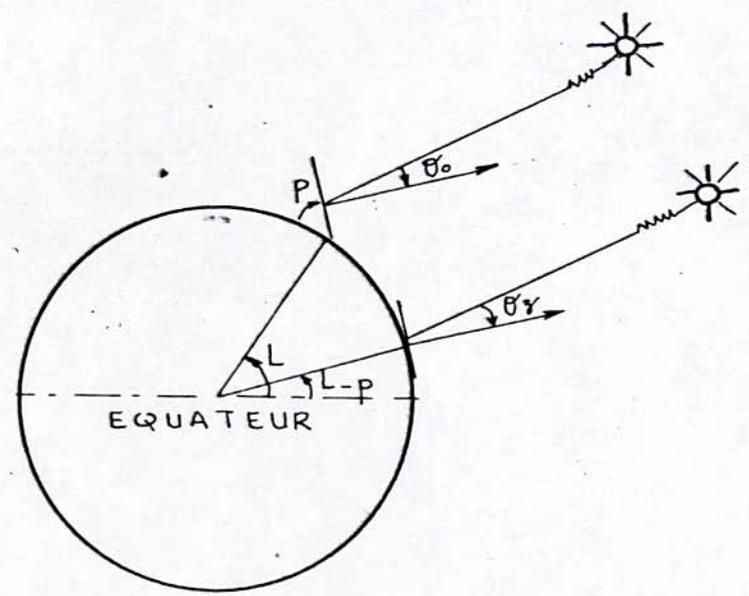


Fig. 4.1: Surface équivalente Diagramme montrant l'égalité des angles θ_0 et θ_z .

$$\begin{aligned} \text{SIN } h' &= (\text{SIN } L \text{ Cos } p - \text{Cos } L \text{ SIN } p \text{ Cos } \gamma) \text{ SIN } \delta \\ &+ (\text{Cos } L \text{ Cos } p + \text{SIN } L \text{ SIN } p \text{ Cos } \gamma) \text{ Cos } \delta \quad \text{Cos } w \\ &+ (\text{Cos } \delta \text{ SIN } p \text{ SIN } \gamma \text{ SIN } w) \quad (6.I) \end{aligned}$$

III - A P P L I C A T I O N S

III.1. - Calcul de l'angle solaire au lever et au coucher

L'angle solaire au lever et au coucher est défini pour une hauteur (angulaire) du soleil nulle.

III.1.1.- Cas d'une surface horizontale

En posant $h = 0$ dans (2.I) on obtient l'angle horaire au lever (w_s) tel que

$$w_s = \text{ARC COS} (-\text{tg } L \cdot \text{tg } \delta) \quad (7.I)$$

l'angle au coucher est égal à l'angle au lever mais de signe contraire.

III.1.2.- Cas d'une surface inclinée

1.2.1.- Surface orientée vers l'équateur

En posant $h_0 = 0$ dans (4.I) on obtient l'angle horaire au lever w'_s tel que

$$w'_s = \text{ARC COS} (-\text{tg} (L-p) \cdot \text{tg } \delta) \quad (8.I)$$

l'angle au coucher est égal à l'angle au lever mais de signe contraire.

Généralement l'équation suivante est adoptée pour le calcul de l'angle horaire au lever (4).

$$w'_s = \min (\text{ARC COS} (-\text{tg } \delta \cdot \text{tg } L), \text{ARC COS} (-\text{tg } \delta \cdot \text{tg} (L-p)) \quad (9.I)$$

1.2.2. - Surface d'orientation quelconque

En posant $h' = 0$ dans (6.I) on obtient l'angle horaire au lever (w_{sr}) et au coucher (w_{ss}); tel que l'on ait (4) :

- Pour une surface orientée vers l'Ouest ($\gamma > 0$)

$$w_{sr} = - \min (w_s, \text{ARC Cos} \frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 + I}}{x^2 + I}) \quad (10 \text{ a.I})$$

et

$$w_{ss} = + \min (w_s, \text{ARC Cos} \frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + I}}{x^2 + I}) \quad (10 \text{ b.I})$$

- Pour une surface orientée vers l'Est ($\gamma < 0$)

$$Wsr = \min (Ws, \text{ARC Cos } \frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + I}}{x^2 + I}) \quad (11 \text{ a.I})$$

et

$$Wss = + \min (Ws, \text{ARC Cos } \frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 + I}}{x^2 + I}) \quad (11 \text{ b.I})$$

Le calcul détaillé de ces angles se trouve en annexe 1.

III.2. - Calcul de la durée d'insolation potentielle journalière SSo

La durée d'insolation potentielle SSo correspond à la durée théorique du jour (4) :

$$SSo = \frac{(W) \text{ coucher} - (W) \text{ lever}}{15^\circ} \quad -(12.I)$$

Dans le cas d'une surface horizontale, la durée théorique du jour s'exprime par la relation suivante :

$$SSo = \frac{2}{15} \text{ARC COS } (- \text{tg } L. \text{tg } \delta) \quad (13.I)$$

III.3. - Calcul de l'irradiation solaire reçue à la limite de l'atmosphère

Plusieurs modèles mathématiques ont été développés afin de permettre la détermination de l'irradiation solaire incidente sur des surfaces d'orientation et d'inclinaison données (4).

III.3.1. - La Notion de Constante Solaire

On appelle constante solaire I_0 . Le flux solaire moyen sur un plan perpendiculaire à la direction des rayons, placé en dehors de l'atmosphère terrestre (1).

La valeur moyenne retenue est : $\bar{I}_0 = 1353 \text{ w m}^{-2}$ étant donné que la distance terre-soleil varie (variation saisonnière) il s'en suit une variation de flux, tel que :

$$I_0 = 1353 (1 + 0.033 \cos J) \quad (14.I)$$

où $J = 0.984 j$, j étant le jour de l'année.

III.3.2. - Calcul du Flux instantané

Considérons le cas des surfaces horizontales et inclinées .

3.2.1. - Surface horizontale

Le flux sur une surface horizontale (I_{0h}) étant égal à la composante normale du flux solaire I_0 on a :

$$I_{0h} = I_0 \text{ SIN } h \quad (15.I)$$

3.2.2. - Surface inclinée orientée vers l'équateur

Dans le cas d'une surface orientée vers l'équateur le flux instantané est donné par :

$$I_{op} = I_0 \text{ SIN } h_0 \quad (16.I)$$

3.2.3. - Surface inclinée d'orientation quelconque

Dans le cas d'une surface d'orientation quelconque le flux instantané est donné par :

$$I_{op} = I_0 \text{ SIN } h' \quad (17.I)$$

Notons que les relations (2.I), (4.I) et (6.I) donnent respectivement SIN h, SIN h₀ et SIN h'.

III.3.3. - Irradiation Journalière

L'irradiation journalière ou énergie reçue par jour (H₀), s'obtient en intégrant l'expression donnant le flux instantané par rapport au temps solaire.

3.3.1. - Surface Horizontale

Considérons le cas d'une surface horizontale l'irradiation solaire sera :

$$H_0 = \int_{(Ts) \text{ Lever}}^{(Ts) \text{ Coucher}} I_0 \text{ SIN } h \, d(Ts) = 2 \int_0^{(Ts) \text{ Coucher}} I_0 \text{ SIN } h \, d(Ts)$$

où (TS) temps solaire défini par la relation suivante :

$$TS = \frac{12}{15} - \frac{W_s}{15} \quad (18.I)$$

et (W_s) donné par la relation (7.I)

Le résultat de l'intégration est le suivant :

$$H_0 = \frac{24.3600}{\pi} I_0 \text{ COS } L \text{ COS } \delta \left(\text{ SIN } W_s - \frac{(\text{II})}{(180)} \right) W_s \text{ COS } W_s \quad (19.I)$$

Le calcul détaillée se trouve en annexe 1.

3.3.2. - Surface inclinée orientée vers l'équateur

Considérons le cas d'une surface inclinée et orientée vers l'équateur (4) l'irradiation solaire sera :

$$H_{op} = \frac{24}{\pi} \int_0^{W_s, W's} I_0 \text{ SIN } h_0$$

où SIN h₀ est donné par la relation (4.I)

Après intégration on obtient :

$$H_{op} = \frac{24}{\pi} I_0 \left(\frac{\text{II}}{180} \right) W's \text{ SIN } \delta \text{ SIN } (L-p) + \text{Cos } \delta \cdot \text{Cos}(L-p) \text{ SIN } W's \quad (20.I)$$

où $W's$ est donné par la relation (9.I)

3.3.3. - Surface inclinée d'orientation quelconque

Dans le cas d'une surface d'orientation et d'inclinaison quelconque, l'irradiation solaire journalière est donnée par la relation suivante (4) :

$$H_{op\gamma} = \frac{12}{\Pi} \int_{Wsr}^{Wss} I_0 \text{SIN } h' \quad dw$$

Les bornes d'intégration sont définies par les relations (10 a.I); (11 a.I) pour (Wsr) et (10 b.I), (11 b.I) pour (Wss).

d'autre part $\text{SIN } h'$ est donnée par la relation (6.I)

Après intégration on obtient :

$$\begin{aligned} H_{op\gamma} = & \frac{12}{\Pi} I_0 \left(\text{Cos } p \text{ SIN } \delta \cdot \text{SIN } L \right) \left[Wss - Wsr \right] \frac{\Pi}{180} \\ & - \text{SIN } \delta \text{ COS } L \text{ SIN } p \text{ Cos } \gamma \quad /Wss - Wsr / \frac{\Pi}{180} \\ & + \text{COS } L \text{ COS } \delta \text{ COS } p / \text{SIN } Wss - \text{SIN } Wsr / \\ & + \text{COS } \delta \text{ COS } \gamma \text{ SIN } L \text{ SIN } p / \text{SIN } Wss - \text{SIN } Wsr / \\ & + \text{COS } \delta \text{ SIN } p \text{ SIN } \gamma / \text{COS } Wss - \text{COS } Wsr / \quad (21.I) \end{aligned}$$

CHAPITRE - II

LE RAYONNEMENT SOLAIRE AU SOL L'EXTINCTION

ATMOSPHERIQUE

I N T R O D U C T I O N

Le rayonnement solaire qui atteint le sol aura été diffusé, diffracté, absorbé et réfracté par une certaine quantité de gaz et de particules appelée masse atmosphérique, au cours de sa traversée de l'atmosphère terrestre. Fig. (1.II)

I. - NOTION DE MASSE ATMOSPHERIQUE

La masse atmosphérique est proportionnelle à la longueur du chemin optique du rayon solaire au travers de l'atmosphère (1).

Or celui-ci, si l'on admet que le trajet de la lumière est rectiligne, est une fonction inverse du sinus de la hauteur h du soleil fig. (2.II). On définit alors la masse atmosphérique m , en prenant pour unité l'épaisseur verticale de l'atmosphère moyenne au-dessus du niveau de la mer, que l'on obtient pour un soleil au Zénith et pour les hauteurs h du soleil on aura alors :

$$m = \frac{1}{\text{SIN } h} \quad (1.II)$$

si la pression P est sensiblement différente de 1000 millibars (altitude Z 400 mètres) on prendra

$$m = \frac{1}{\text{SIN } h} \cdot \frac{P}{1000} \quad (2.II)$$

généralement et particulièrement pour des faibles hauteurs h on a :

$$m = \frac{P}{1000} (\text{SIN } h + 0.15 (h + 3.885)^{-1.253}) \quad (3.II)$$

II. - LES PRINCIPAUX EFFETS DE L'ATMOSPHERE

Le rayonnement solaire subit une atténuation non négligeable par l'atmosphère. Fig (3.II)

L'effet de l'atmosphère par jour de beau temps est dû d'une part à sa teneur en eau qui caractérise l'absorption atmosphérique et d'autre part au trouble atmosphérique qui caractérise la diffusion (5).

II.1. - LA DIFFUSION ATMOSPHERIQUE

Les gaz de l'atmosphère et la vapeur d'eau devient par diffusion moléculaire dans toutes les directions, une partie du rayonnement solaire direct qui est affaibli. Il parvient ainsi en tout point de la surface terrestre un rayonnement émis par divers points de l'atmosphère : c'est le rayonnement solaire diffus. (3).

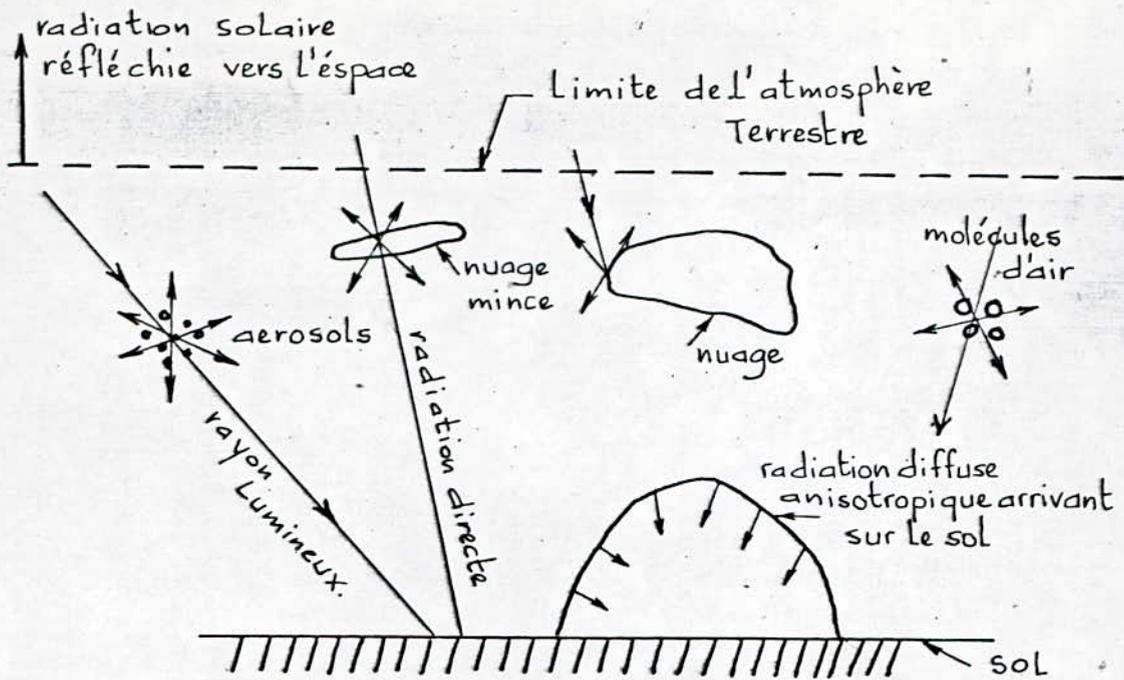


Fig. 1.I : Radiation arrivant sur terre à travers un ciel nuageux.

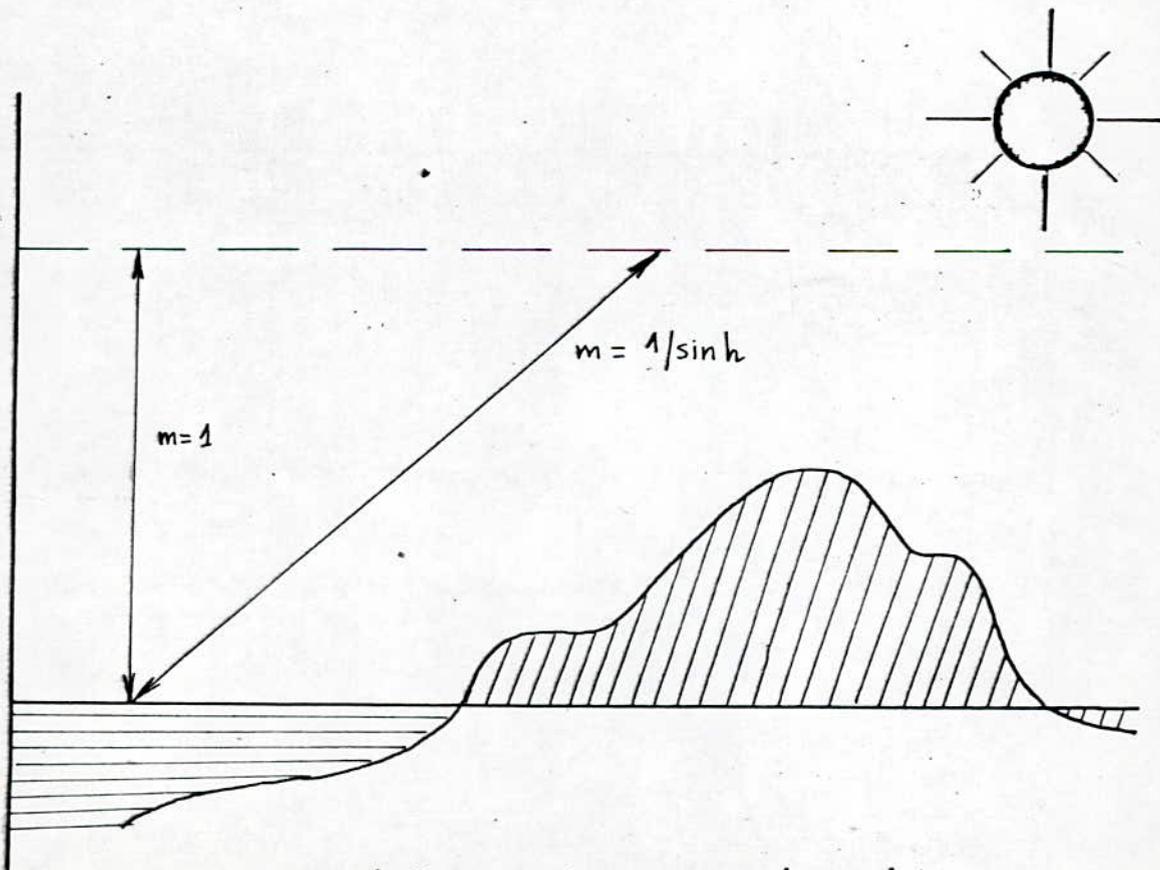


Fig. 2.II : Schématisation de la masse atmosphérique

II.1.1. - La diffusion moléculaire

La théorie de diffusion de la lumière par les molécules a été étudié par LORD RAYLEIGH en 1871 (4). Il prend comme référence les molécules de gaz dont les dimensions sont très petites devant la longueur d'onde de la radiation visible. De même il suppose que la lumière est une onde électromagnétique. Les électrons d'une molécule sont perturbés par le passage de la lumière ; ils oscillent par rapport à leur position d'équilibre, en revenant à leur état stable, ils dégagent une énergie sous forme de lumière qui sera dans toutes les directions (phénomène de diffusion).

L'intensité du rayonnement diffus est inversement proportionnelle à λ^4 (longueur d'onde).

EN conséquence, la diffusion moléculaire est très variable avec la longueur d'onde et en fonction du nombre de molécules de gaz rencontrées par le rayon solaire. ELLE est donc fonction de m ou de $\frac{1}{\text{SIN } h}$.

II.1.2.- La diffusion par les aérosols

Les aérosols sont des petites particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Celles-ci renvoient par réflexion, réfraction ou diffusion, dans toutes les directions les rayons interceptés.

Les aérosols ont donc tendance a atténuer le rayonnement solaire atteignant le sol et elles constituent un trouble atmosphérique.

Des travaux récents ont montré que, à cause de la pollution, le trouble atmosphérique augmente de 20% environ par décennies et même ^{plus} dans certaine régions très industrialisées (3).

Pour caractériser ce trouble atmosphérique différents paramètres existent, généralement bien liés entre-eux; coefficient de trouble de Linke, d'Angström ou de Schupp. Dans cette étude, nous utiliserons le plus courant d'entre-eux, le coefficient de trouble d'Angström B. La valeur de ce coefficient caractérise le trouble atmosphérique affectant un rayon solaire vertical; l'extinction due aux aérosols à un instant quelconque est donc fonction du produit de B par $\frac{1}{\text{SIN } h}$.

II.1.3.- Schématisation de la Diffusion

La diffusion est caractérisé, entre autre par le coefficient du trouble de Valko (1).

$$T = 2.5 + 14.8 B + 0.4 (1 + 2 B) \text{Log} (\bar{w} \cdot \text{SIN } h) \quad (4. II)$$

II. 2

celui-ci est fonction du trouble atmosphérique d'ANGSTROM B, de l'épaisseur d'eau condensable \bar{W} et de la hauteur angulaire du soleil.

Le coefficient de trouble d'ANGSTROM B, est une variable climatique traduisant quantitativement la clarté du ciel.

Lorsque les mesures de B ne sont pas disponibles au site considéré, on pourra utiliser les valeurs approchées suivantes :

Site en région rurale	B = 0.05
Site en région urbaine	B = 0.10
Site en région industrielle	B = 0.20

et $\overline{\text{SIN } h}$ représente la moyenne journalière de SIN h est calculé par la formule suivante (1) :

$$\overline{\text{SIN } h} = \frac{\text{COS } L \text{ COS } \delta \text{ SIN } W_s - \left\{ \frac{\text{II}}{180} \right\} W_s \text{ COS } W_s}{\left\{ \frac{\text{II}}{180} \right\} W_s} \quad (5.II)$$

la diffusion est aussi caractérisée par le trouble de LINKE. Celui-ci peut-être obtenu à l'aide d'une relation semblable à celle de KASTEN (2).

$$\text{Log} \left(\frac{I_o}{I_b} \right) = (-mT) / (0.9 m + 9.4) \quad (6.II)$$

où T représente le trouble atmosphérique, I_b le rayonnement direct, I_o la constante solaire et m la masse optique donnée par la formule (2.II).

Pour une altitude faible (inférieure à 400m), une hauteur angulaire du soleil $h > 10^\circ$, la relation (6.II) devient :

$$\text{Log} \left(\frac{I_o}{I_b} \right) = (-T) / (0.9 + 9.4 (\text{SIN } h)) \quad (7.II)$$

d'où l'expression de T :

$$T = \text{Log} \left(\frac{I_o}{I_b} \right) (0.9 + 9.4 (\text{SIN } h)) \quad (8.II)$$

II.2. - L'ABSORPTION ATMOSPHERIQUE

Elle est due surtout au gaz et à la vapeur d'eau que l'on rencontre à basse altitude.

L'ensemble de $\text{CO}_2, \text{O}_3, \text{H}_2\text{O}$ jouent un rôle très important en ce qui concerne l'absorption (Fig.3.II).

le $\text{O}_2, \text{N}_2, \text{O}, \text{N}$ et l'ozone (O_3) sont les Cinq principaux éléments qui absorbent l'U.V. et le visible. L'atome d'oxygène et la molécule d'azote absorbent les rayons X et les radiations de courte longueur d'onde.

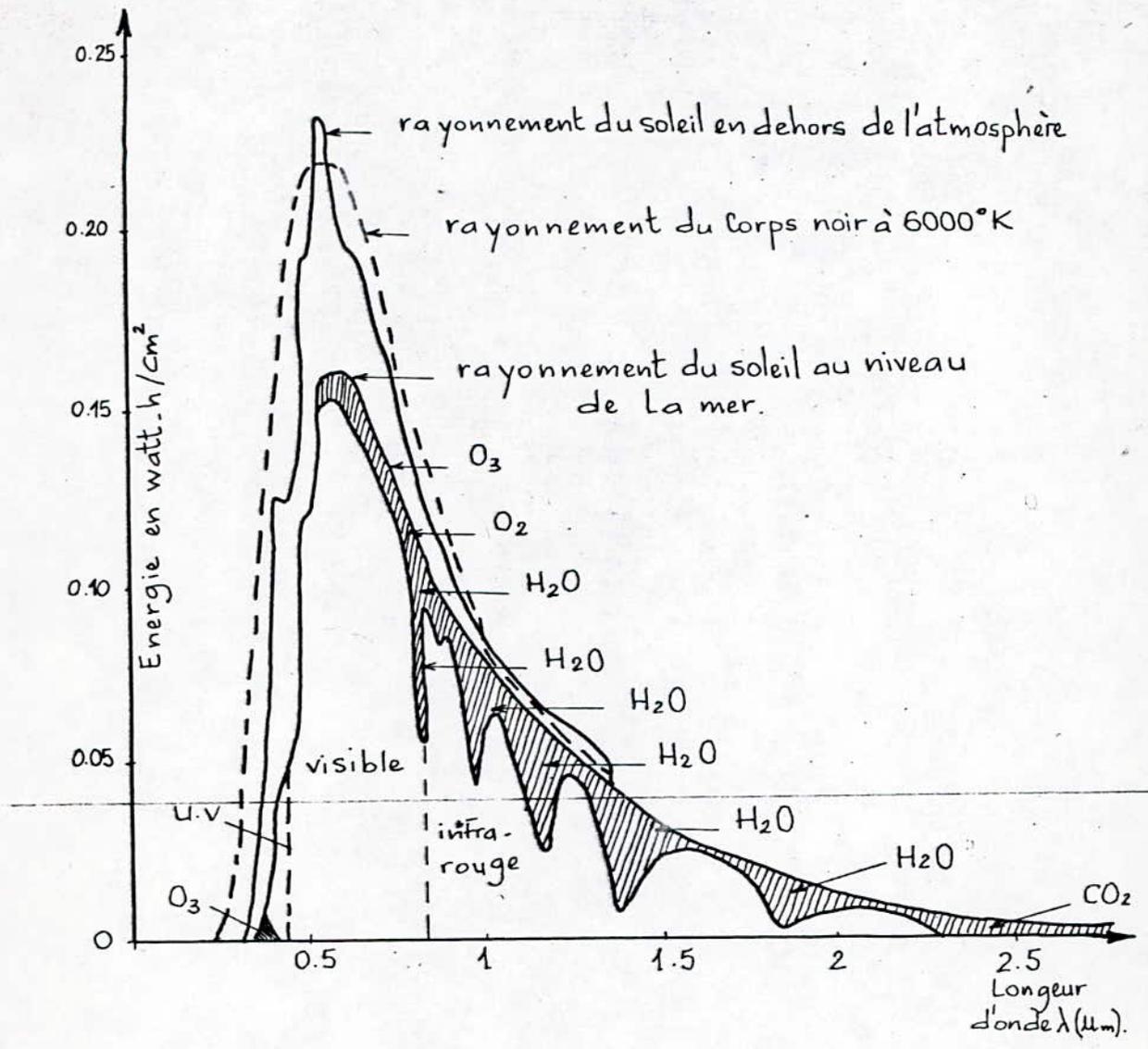


Fig. 3.II : Spectre du rayonnement du soleil.

Comme la diffusion dépend de la longueur d'onde, l'absorption l'est aussi. Les gaz et la vapeur d'eau ont dans le spectre solaire des raies ou bandes d'absorption bien déterminées qui sont les suivantes (3) :

II.2.1. - Cas des Gaz

GAZ	Bandes Faibles (U.M.)	Bandes Etroites (U.M.)	Bandes Fortes (U.M.)
O ₃	0.45 à 0.7	-	0.2 et 0.3
O ₂	-	0.6 et 0.76	-
CO ₂	-	1.6 et 2	à 2.76

II.2.2. - Cas de la Vapeur d'Eau

Les bandes sont multiples et complexes on a :

- Bande " A " : 0.72 u.m Faible
- Bande " Ø " : 1.1. u.m Moyenne
- Bande " Q " : 1.4. u.m Forte

L'absorption par la vapeur d'eau est caractérisée par la hauteur d'eau condensable W qui peut-être estimée à partir de la pression saturante Pvs au sol par la formule de HANN (1).

$$\bar{w} = 0.17 Pvs \quad (9.II)$$

où Pvs est exprimée en millibars et \bar{w} en cm.

II.2.3. - Schématisation de l'absorption atmosphérique

La formule qui s'est révélée à l'usage la plus satisfaisante dans l'estimation de l'absorption à partir de la teneur en eau de l'atmosphère est celle de MOLLER (5).

$$Q = \exp (2.306 (0.74 + 0.347 \text{Log} (m\bar{w}) - 0.56(\text{Log}(m\bar{w}))^2 - 0.006(\text{Log}(m\bar{w}))^3)) \quad (10.II)$$

où Q désigne la puissance solaire absorbée (en cal/cm²-min) par l'atmosphère à un instant donné pour une hauteur d'eau condensable \bar{w} et une masse atmosphérique m.

III. - LES COMPOSANTES AU SOL DU RAYONNEMENT SOLAIRE

III.1. - Le rayonnement solaire direct

C'est l'éclairement énergétique d'une surface réceptrice normale aux rayons solaires, par le seul rayonnement provenant directement du disque solaire (on le note Ib).

Il est mesuré par un instrument appelé pyréliomètre. On peut déduire l'éclairement énergétique S d'une surface horizontale en multipliant la valeur du rayonnement direct I_b mesuré par le sinus de la hauteur du soleil (h) calculé tel que :

$$S = I_b \text{ SIN } h \quad (11.II)$$

La connaissance du rayonnement solaire direct sur un site sera intéressante pour la mise en oeuvre et l'utilisation des systèmes solaires à concentration.

III.2. - Le rayonnement Solaire Diffus

C'est la partie du rayonnement solaire qui est diffusée dans toutes les directions par les molécules et les particules en suspension de l'atmosphère. Il parvient au sol en provenance de toute la voûte céleste (on le note D).

III.3. - Le rayonnement Solaire Global

C'est la somme des rayonnements solaires direct et diffus. Soit G, le rayonnement global reçu sur une surface horizontale, on peut écrire :

$$G = D + S = D + I_b \text{ SIN } h \quad (12.II)$$

l'instrument servant à le mesurer est appelé pyranomètre.

CHAPITRE - III

A MESURE DU RAYONNEMENT SOLAIRE

I N T R O D U C T I O N

Dans ce chapitre nous allons décrire les principaux appareils utilisés pour réaliser les mesures énergétiques relatives aux composantes du rayonnement solaire.

III - Mesure de l'Irradiation Globale

Les instruments utilisés pour la mesure de l'irradiation globale sont appelés " PYRANOMETRES " .

1.1. - Description et principe de fonctionnement

Le principe utilisé dans ces appareils est basé sur l'effet thermoélectrique. (6)

Les pyranomètres, les plus usuels sont des générateurs électriques à surface réceptrice plane, horizontale débitant une force électromotrice proportionnelle à l'éclairement énergétique reçu. Cette f. e. m. est soit enregistrée à l'aide de galvanomètres ou de potentiomètres soit intégrée à l'aide d'un dispositif électronique afin d'obtenir l'irradiation globale.

L'un des appareils le plus répandus est le "PYRANOMETRE KIPP ET ZONEN". Fig. (1a. III) qui a pour récepteur une thermopile contenue dans un boîtier métallique fermé à sa partie supérieure par deux hémisphères en verre de 3 et 5 cm de diamètre et de 2mm d'épaisseur.

La thermopile est formée d'une série de 14 thermocouples manganine-constantan. Fig (1b. III). La face supérieure des lamelles est peinte en noire, afin d'absorber le rayonnement. Leurs extrémités sont soudées à des tiges de cuivre verticales solidaires d'une plaque de laiton massive qui assure un bon contact électrique et thermique.

Le pouvoir thermoélectrique d'un couple constantan-manganite est d'environ 38 u.v par degrés celcius. Sous l'effet du rayonnement solaire, la température de la thermopile s'élève et la faible conductivité thermique des lamelles fait apparaître une différence de température d'une vingtaine de degrés entre le centre des lamelles et leurs extrémités.

Cette variation de température entraîne une f. e. m. que l'on mesure. On étalonne le pyranomètre préalablement et la valeur de la tension indiquera la valeur du rayonnement.

III.2.- Mesure de l'irradiation directe

L'irradiation directe se mesure à l'aide d'appareils appelés "PYRHELIOMETRES"

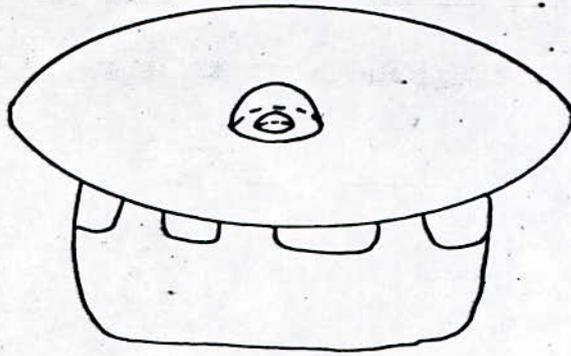


Fig. 1.a.III : Vue d'ensemble du pyranomètre
KIPP et ZONEN

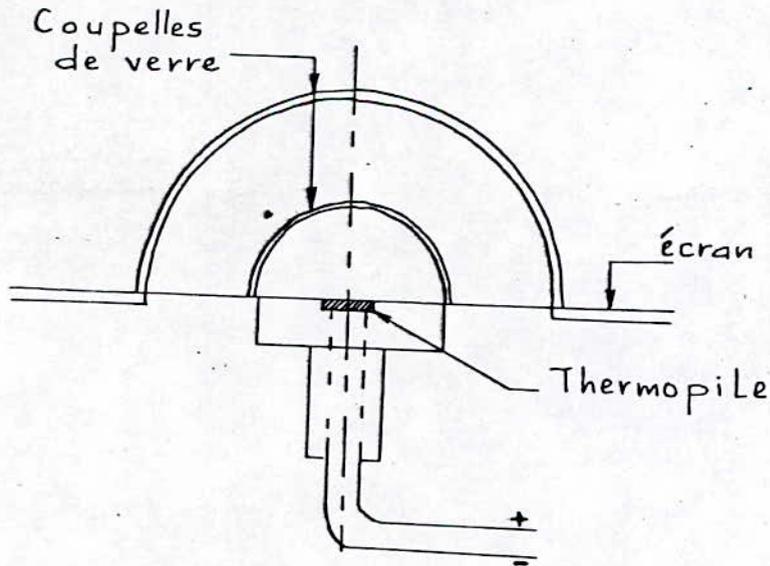


Fig. 2.b.II : Coupe de l'appareil

III.2.1. - Description et principe de fonctionnement des Pyrhéliomètres

Le principe utilisé dans ces appareils de façon générale est basé sur la conversion de l'énergie rayonnée en chaleur. Un autre principe basé sur la compensation électrique peut-être également utilisé. On le retrouve dans le pyrhéliomètre d'ANGSTROM (7). Le récepteur de cet appareil est constitué par deux lamelle de manganine noircies A et B, situées dans le même plan. Lorsqu'on expose la lamelle A au rayonnement, on laisse B dans l'ombre. Tout en la faisant parcourir par un courant électrique tel qu'il réalise l'égalité des températures de A et B qui est détectée à l'aide de deux soudures d'un thermocouple collées sous chacune d'elles et connectées à un galvanomètre de zéro le plus sensible possible. Fig. (3.III). La valeur du rayonnement solaire direct I_b se calcul immédiatement par la relation

$$I_b = Ki \quad (1.III)$$

ou K est une constante caractéristique de l'appareil. Le récepteur est placé dans un tube orientable vers le soleil.

III.3.- Mesure du rayonnement diffus

On adapte au pyranomètre un écran destiné à occulter le rayonnement solaire direct sans toutefois cacher une partie trop importante du ciel. On peut utiliser un disque mobile mû par un mouvement équatorial, dont l'ombre se projette en permanence sur la surface sensible du pyranomètre, ou bien adapter une bande pare-soleil que l'on déplace à la main en cours d'année.

Une correction est nécessaire pour tenir compte du rayonnement diffus intercepté.

III.4. - Mesure de la durée d'Insolation

La durée d'insolation se mesure à l'aide d'appareils appelés "HELIOGRAPHES"

III.4.1.- Description et principe de fonctionnement des Héliographes

Le principe utilisé dans ces appareils repose sur l'effet thermique du rayonnement en enregistrant les traces laissées sur un papier par les rayons solaire focalisés.

Les héliographes ne commencent à enregistrer l'insolation que lorsque le rayonnement direct est en moyenne supérieur à une certaine valeur, variable d'un type d'appareil à l'autre, mais aussi variable selon la composition spectrale du rayonnement incident et les caractéristiques du papier d'enregistrement.

L'appareil le plus utilisé par la Météorologie pour la mesure de la durée d'insolation est l'héliographe de CAMPBELL-STOKES (Fig.4.III) qui utilise les effets thermiques du rayonnement solaire.

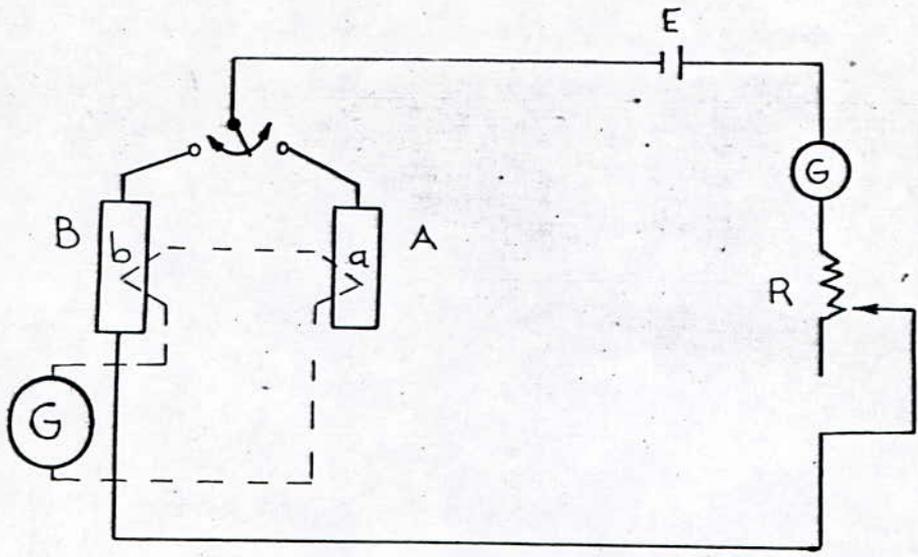


Fig. 3.III: Montage du pyréliomètre d'ANGSTRÖM.

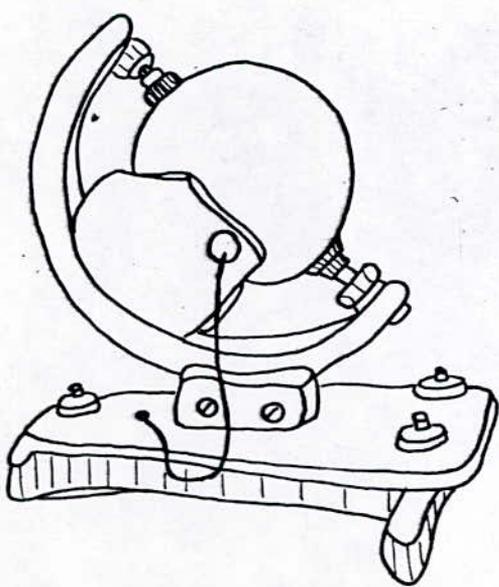


Fig. 4.III. Héliographe de CAMPBELL-STOKES.

Le rayonnement direct est concentré à l'aide d'une lentille bouble en verre sur un carton de couleur et de texture définies. Il s'ensuit une brûlure, un brunissement ou une décoloration du carton suivant que le rayonnement direct est plus ou moins intense.

La longueur de la trace est proportionnelle à la durée d'insolation.

Cet héliographe comprend : la monture mécanique, la sphère focalisante et les cartons d'enregistrements. La sphère focalisante dont l'homogénéité est absolument nécessaire à un indice de verre de 1.5 I et un diamètre d'environ 10 cm.

Les héliographes de CAMPBELL-STOKES ont un seuil de fonctionnement de 100 w environ.

CHAPITRE IV

/)) ODELISATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE
AU NIVEAU DU SOL

I N T R O D U C T I O N

De nombreux modèles ont été proposés pour reconstituer les données d'ensoleillement. Leur degré de complexité et donc leur consommation en temps de calcul dépendent des objectifs à atteindre qui sont très divers.

I - LES MODELES DE PREVISION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

Il existe quatre grandes classes de modèles permettant la reconstitution des données d'ensoleillement; les modèles empiriques simples, les modèles empiriques évolués, les modèles analytiques et les modèles théoriques.

I.1. - Les modèles empiriques simples

Initialement des formules linéaires ont été établies pour calculer la valeur moyenne mensuelle de l'irradiation hors atmosphère ou de l'irradiation au sol par temps. La variable est souvent la fraction d'ensoleillement mesurée à la durée théorique du jour $\sigma = ss/ss_0$.

Ainsi la formule initiale d'ANGSTROM (1) liant l'irradiation globale (H_h) sur plan horizontal par ciel nuageux à σ est donnée par :

$$H_h/H_{hc} = a + b \sigma \quad (1.IV)$$

où H_{hc} représente l'irradiation globale sur plan horizontal par ciel clair et a et b sont des coefficients constants.

La relation (1 IV) a été modifiée par PAGE (1), pour faire intervenir l'irradiation hors atmosphère (H_0) plus facile à calculer on a alors :

$$H_w/H_0 = a' + b' \sigma \quad (2.IV)$$

L'inconvénient majeur de ces formules très simple réside dans le fait que les deux coefficients ne sont pas constants d'un site à l'autre, ils dépendent du climat local. Par contre ces formules sont très utiles pour reconstituer quelques séquences manquantes dans une série de mesure locale.

I.2. - Les modèles empiriques évolués

Une comparaison de quatre modèles donnant la moyenne mensuelle de l'irradiation globale journalière à partir des moyennes mensuelles de quelques variables météorologiques a été effectuée récemment par B.GOLOBERG et AL (8).

WON (8) tient compte de nombreux variables atmosphériques dans les facteurs de transmission par une formule de régression.

I.3. - Les modèles Analytiques

Pour ces modèles plus complexes le but à atteindre est la reconstitution la plus réaliste possible de l'évolution des composantes du rayonnement solaire au moins à l'échelle de la journée.

WESELY (8) tente de calculer l'influence des nuages sur l'atténuation du rayonnement direct et l'augmentation concomittante du diffus.

Les formules de RAPP et HOFFMAN (8) pour l'irradiation des jours avec ciel nuageux présentent des coefficients encore variables d'un site à un autre.

ATWATTER et BALL (8) ont souligné les difficultés que l'on rencontre dans la formulation d'un modèle précis de calcul puisque l'état réel de l'atmosphère est généralement mal connu et variable.

PERRIN de BRICHAMBAUT, COLE BARBARO et AL (1) ont élaborée des modèles qui ont donné de bons résultats en n'utilisant qu'un nombre réduit de paramètres.

I.4. - Les modèles Théoriques

Ces modèles ont pour but de calculer la transmission du rayonnement à travers l'atmosphère le plus exactement possible.

HOYT (8) veut obtenir des valeurs précises de l'irradiation par temps clair pour vérifier des mesures antérieures. DAVE et ses collaborateurs (8) décomposent l'atmosphère en couches horizontales. Ils étudient successivement les phénomènes d'absorption et de diffusion auxquels est soumis un rayonnement solaire monochromatique par les gaz, les aérosols et une fine couche nuageuse puis ils intègrent la totalité du spectre.

II. - PRESENTATION DE QUELQUES MODELES ANALYTIQUES

II.1. - Modèle de PERRIN de BRICHAMBAUT

PERRIN de BRICHAMBAUT a élaboré un modèle pour estimer la moyenne quotidienne de l'irradiation globale reçue sur un plan horizontal par ciel clair (1). La reconstitution des irradiations directe \bar{H}_{bc} et diffuse \bar{H}_{dc} se fait à l'aide des modèles suivants :

$$\bar{H}_{bc} = H_0 \exp((-T/7.5)(\cos(L - \delta))^{-0.75}) \tag{3.IV}$$

et

$$\bar{H}_{dc} = h_0 (T/31.6) [\cos(L - \delta)]^{-0.5} \tag{4.IV}$$

où T représente le coefficient de troubles de VALKO donné par la relation (3.II), L la latitude du lieu δ la déclinaison et H_0 l'irradiation solaire sur plan horizontale en dehors de l'atmosphère.

L'irradiation globale Hhc est obtenue en sommant les deux composantes on a alors :

$$\bar{H}_{hc} = \bar{H}_{bc} + \bar{H}_{dc} \quad (5 \text{ IV})$$

II.2. - Modèle de COLE - BARBARO et AL

COLE a développé un mode donnant la puissance moyenne reçue sur une surface perpendiculaire aux rayons solaires au niveau du sol tel que :

$$\bar{I}_{bc} = I_0 \exp(a_1 + b_1 W - a_2 (np-400) - m(d_2 + b_2 W + b_3 (np-400))) \quad (6 \text{ IV})$$

où \bar{I}_{bc} représente le flux direct, np la concentration de poussières dans l'atmosphère exprimée en particules /cm³, m la masse atmosphérique w l'épaisseur d'eau condensable et I₀ constante solaire

et

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.1391 & d_2 &= 0.13708 & a_3 &= 0.368 \cdot 10^{-4} \\ b_1 &= 0.00428 & b_2 &= 0.00261 & b_3 &= 1.131 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

L'irradiation directe \bar{H}_{bc} s'obtient à partir de l'intégrale suivante :

Ainsi, connaissant le flux diffus (\bar{I}_{dc}) on définit :

L'irradiation diffuse (\bar{H}_{dc}) comme suit :

$$\bar{H}_{dc} = \int_{(TS) \text{ Lever}}^{(TS) \text{ Coucher}} \bar{I}_{dc} \sin h \, d(TS) \quad (11. \text{ IV})$$

II.3. - Autres Modèles

HOTTEL (1) propose la relation suivante pour le calcul du flux direct (\bar{I}_{bc}) en un site d'altitude Z exprimée en Km.

$$\bar{I}_{bc} = I_0 \sin (a_0 + a_1 \exp(-d_2 / \sin h)) \quad (12. \text{ IV})$$

celle-ci donne des résultats dont la précision est acceptable. Pour une atmosphère normalisée avec une visibilité de 23 Km on a

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.4237 - 0.0082 (6-Z)^2 \\ a_1 &= 0.5055 + 0.00595 (6.5-Z)^2 \\ d_2 &= 0.2711 + 0.01858 (2.5-Z)^2 \end{aligned}$$

et lorsque la visibilité est de 5 Km, on aura :

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.2538 - 0.0063 (6-Z)^2 \\ a_1 &= 0.7678 + 0.001 (6.5-Z)^2 \\ d_2 &= 0.249 + 0.0081 (2.5-Z)^2 \end{aligned}$$

pour des valeurs intermédiaires de visibilité, les coefficients sont calculés par interpolation.

$$\bar{H}_{bc} = \int_{(TS) \text{ Lever}}^{(TS) \text{ Coucher}} \bar{I}_{bc} \text{ SIN } h \text{ d}(TS) \quad (7.IV)$$

Rappelons que des relations (2.I) et (18.I) donnent SIN h respectivement TS.

Pour évaluer le flux diffus (\bar{I}_{dc}), BARBARO et AL (1) ont développé le modèle suivant donnant le coefficient de transmission moyen ($\bar{\tau}$) de l'atmosphère par ciel clair. celui-ci s'écrit :

$$\bar{\tau} = I_0(0.938 \exp(-0.0154 \text{ mw})) + 0.04(\text{mw})^{2.1} - 11086.10^{-5}(\text{mw})^3 + (121.948(1 + \text{mw})) / (1 + 10 (\text{mw})^2) \quad (8.IV)$$

Le produit $I_0 \bar{\tau}$ représente la puissance qui serait reçue au sol s'il n'y avait pas diffusion. LA puissance diffusée (\bar{I}_{dc}) sera donc

$$\bar{I}_{dc} = I_0 \bar{\tau} - \bar{I}_{bc} \quad (9.IV)$$

Selon ROBINSON (1) le flux diffus en direction du sol est donné par la relation suivante

$$\bar{I}_{dc} = K (I_0 \bar{\tau} - \bar{I}_{bc}) \quad (10.IV)$$

où K est une fonction empirique tenant compte des multiples réflexions sol - Atmosphère.

D'autre part BUGLER définit le flux diffus par :

$$\bar{I}_{dc} = 16 \sqrt{h} - 0.4 h \quad (12.IV)$$

où h est la hauteur angulaire du soleil.

III. - DISCUSSION DES MODELES ANALYTIQUES PRESENTES

L'utilisation de ces modèles n'est pas toujours aisée en effet le modèle de COLE BARBARO et AL nécessite une intégration numérique, délicate. De plus la connaissance de quelques données météorologiques qui ne sont pas souvent disponibles tel que l'humidité, la pression de vapeur, la concentration de poussières.

Le modèle de HOTELL nécessite également la connaissance de quelques données météorologiques tel que la visibilité.

Le modèle de PERRIN de BRICHAMBAUT paraît le plus simple. Son utilisation demande la connaissance de paramètres géographiques et astronomiques (L, δ , H_0) et le trouble atmosphérique qui est souvent disponible .

IV - CHOIX DE MODELES

Parmi les modèles présentés, nous avons choisi d'étudier un modèle du type analytique, le modèle de PERRIN de BRICHAMBAUT donné par la relation (5.IV) et un modèle du type empirique : le modèle de PAGE donné par la relation (2.IV).

Ces choix sont motivés par la simplicité de ces modèles et la disponibilité des données auxquelles, ils font appel. Ceci va permettre leur vérification expérimentale pour quelques sites d'ALGERIE.

CHAPITRE - V

ETUDE EXPERIMENTALE DU MODELE

DE PERRIN DE BRICHAMBAUT ET DE PAGE

I N T R O D U C T I O N

Pour calculer les systèmes destinés à utiliser l'énergie solaire et dimensionner leurs capteurs et leurs organes de stockage, il est nécessaire de connaître l'énergie solaire incidente en un lieu donné .

L'utilisation de l'énergie solaire passe donc, nécessairement par son évaluation. Cette évaluation peut se faire de deux manières; soit par la mesure, soit par la prévision.

C'est ainsi qu'afin de procéder à la prévision du rayonnement solaire nous avons utilisé deux modèles : Le modèle de PERIN de BRICHAMBAUT et le modèle de PAGE.

I. - LES DONNEES D'ENERGIE SOLAIRE

EN ALGERIE, il existe 32 sites météorologiques permettant de mesurer les irradiations globale, directe et diffuse ainsi que la durée d'insolation fig.(1,V). En fait seules 5 stations, celles d'Alger, d'Oran, de Béchar, de Beni-Abbès et de Tamanrasset mesurent les énergies, les autres ne donnent que la durée d'insolation (11).

I.1.- Présentation des données

Les données d'énergie solaire dont nous disposons correspondent à des relevés de mesure de l'irradiation globale, diffuse ainsi que la durée d'insolation des 5 sites météorologiques cités auparavant.

Pour le site de DAR-EL-BEIDA (ALGER), les données s'étalent sur une période de quatre années c'est-à-dire de 1979 à 1982.

L'irradiation globale et diffuse ainsi que la durée d'insolation sont mesurées pendant toute la Journée et ceci durant toute l'année (9).

Par contre pour les sites d'ORAN, de BECHAR, de BENI-ABBES, de TAMANRASSET, les relevés de mesure de l'irradiation globale sont données en moyennes mensuelles (10).

L'irradiation globale et diffuse sont exprimées en J/cm², alors que la durée d'insolation est exprimée en dixième d'heure.

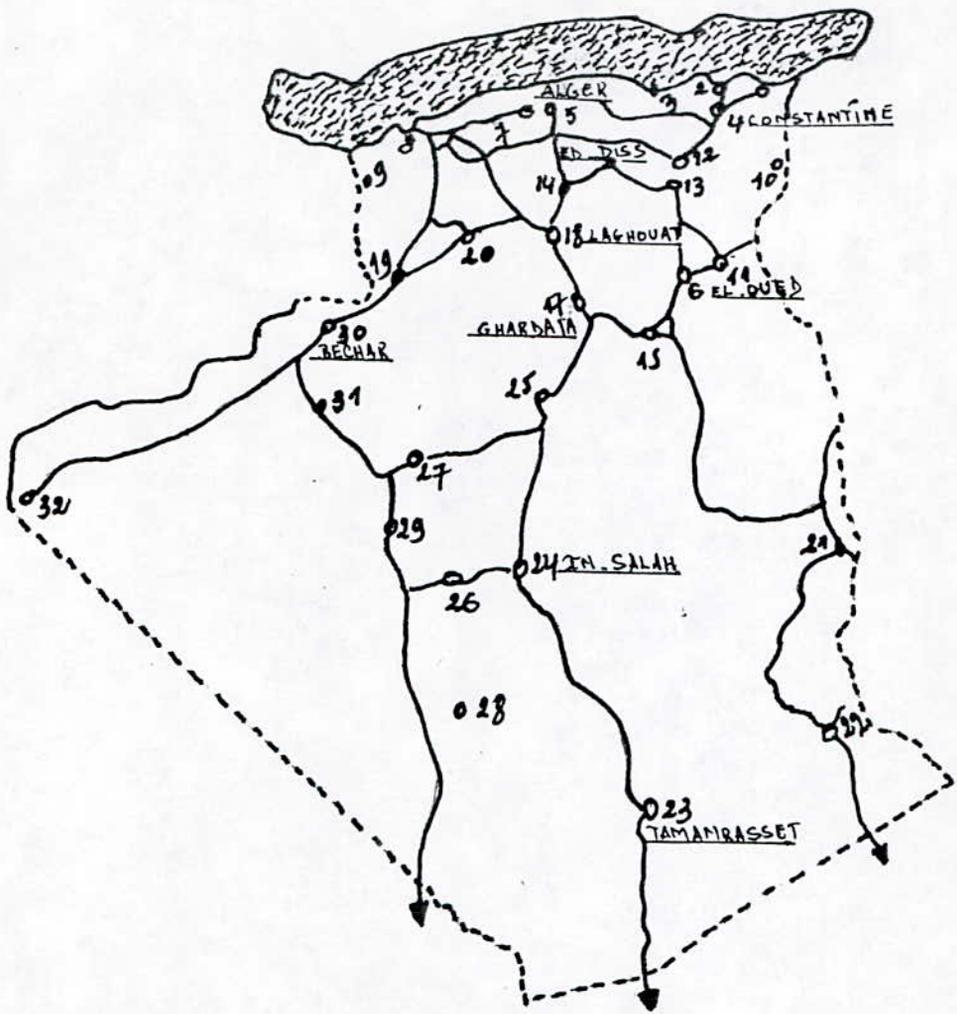
L'examen des relevés de mesure dont nous disposons, montre l'absence de certaines valeurs à l'échelle journalière, ceci est dû à des mesures non prises.

I.2.- Description des données

Afin de décrire globalement les données utilisées nous donnons ci-après la variation en fonction du temps des moyennes journalières des irradiations .

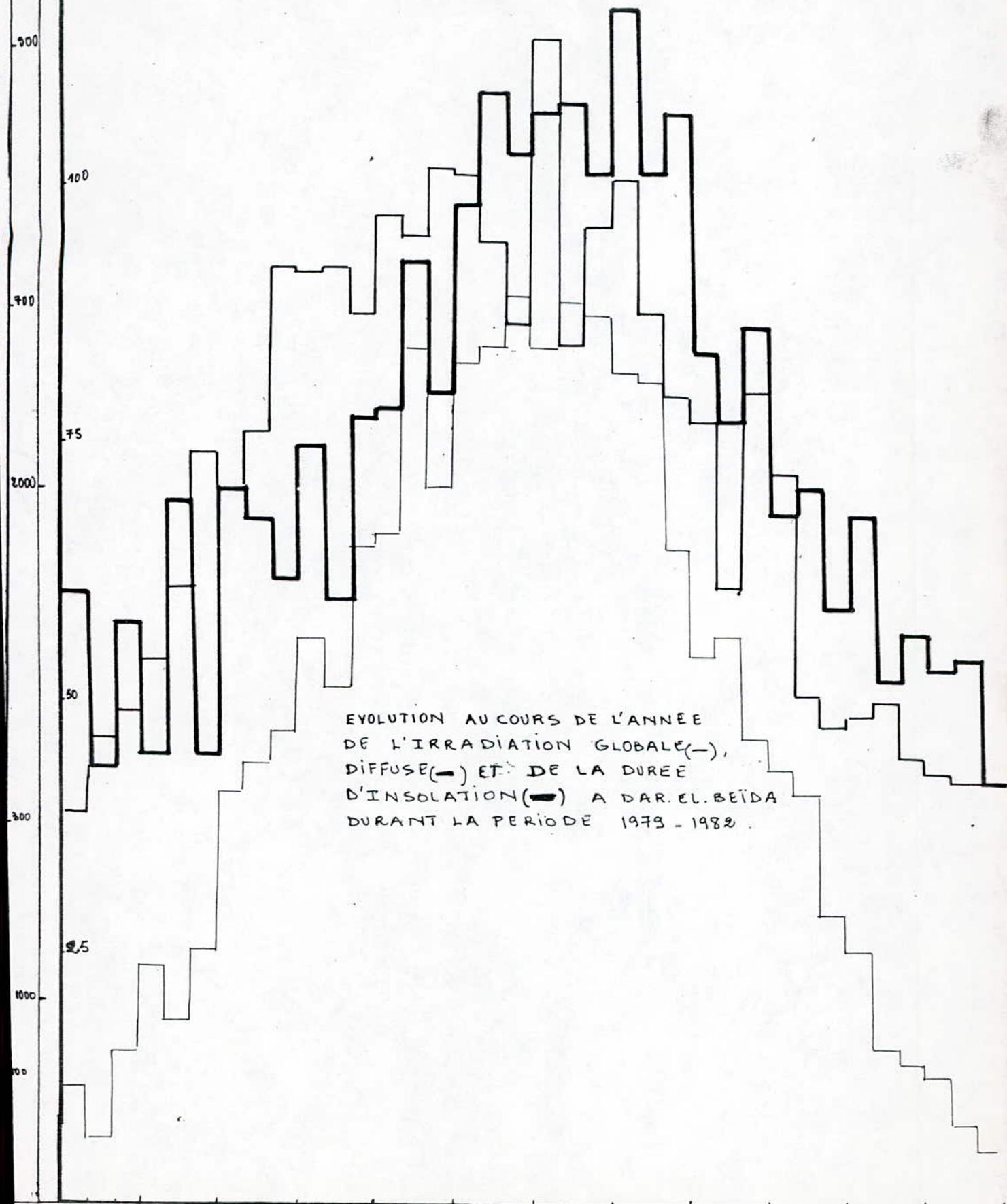
Pour Dar-El-Beïda les moyennes (journalières) journalières estimées à partir des valeurs décadaires de l'irradiation globale, diffuse et de la durée d'insolation mesurées Fig.(2.V)

Fig (1, V) : REPARTITION DES STATIONS METEOROLOGIQUES EN ALGERIE



- | | | |
|-----------------|---------------|------------------|
| 1. ANNABA | 9. TLEMSEN | 17. GHARDAIA. |
| 2. SKIKDA | 10. TEBESSA | 18. LAGHOAT. |
| 3. BEJAIA | 11. EL-OUED. | 19. AÏN-SEFRA |
| 4. CONSTANTINE. | 12. BATNA | 20. EL-BAYADH |
| 5. ALGER. | 13. BISKRA | 21. T.M. AMENAS |
| 6. MILIANA | 14. DJELFA | 22. DJANET |
| 7. EL-ASHAM | 15. OVARGLA | 23. TAMANRASSET. |
| 8. ORAN | 16. TOUGGOURT | 24. T.M. SALAH. |
| 25. EL-GOLEA | | 29. ADRAR |
| 26. ADULEF | | 30. BEGHAR. |
| 27. TIMIMOUN | | 31. BEMÏ ABBES |
| 28. OUALLEN | | 32. TIMDOUF |

H_{dc} H_{nc}
SS
(H/10) fig (2.V)



EVOLUTION AU COURS DE L'ANNEE
 DE L'IRRADIATION GLOBALE(—),
 DIFFUSE(---) ET DE LA DUREE
 D'INSOLATION(—) A DAR. EL. BEÏDA
 DURANT LA PERIODE 1979 - 1982 .

L'examen de ces courbes nous a permis de constater :

- Une fluctuation saisonnière de l'énergie incidente
- Une certaine liaison entre l'irradiation globale et la durée d'insolation

Par contre pour les sites, d'ORAN fig (4.V), de BECHAR fig (5.V), de BENI-ABBES fig (6.V), et de TAMANRASSET fig (7.V), la représentation de l'irradiation globale est faite à partir des moyennes mensuelles.

II - RECONSTITUTION DE L'IRRADIATION GLOBALE A L'AIDE DU MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT

II.1. - Analyse du Modèle

PERRIN de BRICHAMBAUT (1) a développé un modèle permettant la reconstitution de l'énergie globale reçue sur une surface horizontale par ciel clair tel que :

$$\bar{H}_{bc} = H_o \exp \left\{ \left(- T/7.5 \right) \left(\cos(L - \delta) \right)^{-0.75} \right\} \quad (1.V)$$

et

$$\bar{H}_{dc} = H_o (T/31.6) \cdot \left(\cos(L - \delta) \right)^{-0.5} \quad (2.V)$$

où \bar{H}_{bc} représente l'irradiation directe et \bar{H}_{dc} l'irradiation diffuse.

l'irradiation globale H_{hc} est la somme des deux composantes ,

on a :

$$\bar{H}_{hc} = H_{bc} + H_{dc} \quad (3.V)$$

Ce modèle fait intervenir les paramètres suivants :

- La latitude (L) du lieu qui est un paramètre géographique
- Le trouble atmosphérique (T) qui est un paramètre climatique
- La déclinaison (δ) qui est un paramètre astronomique .

II.1.1. - Etude de l'influence des paramètres géographique et climatique

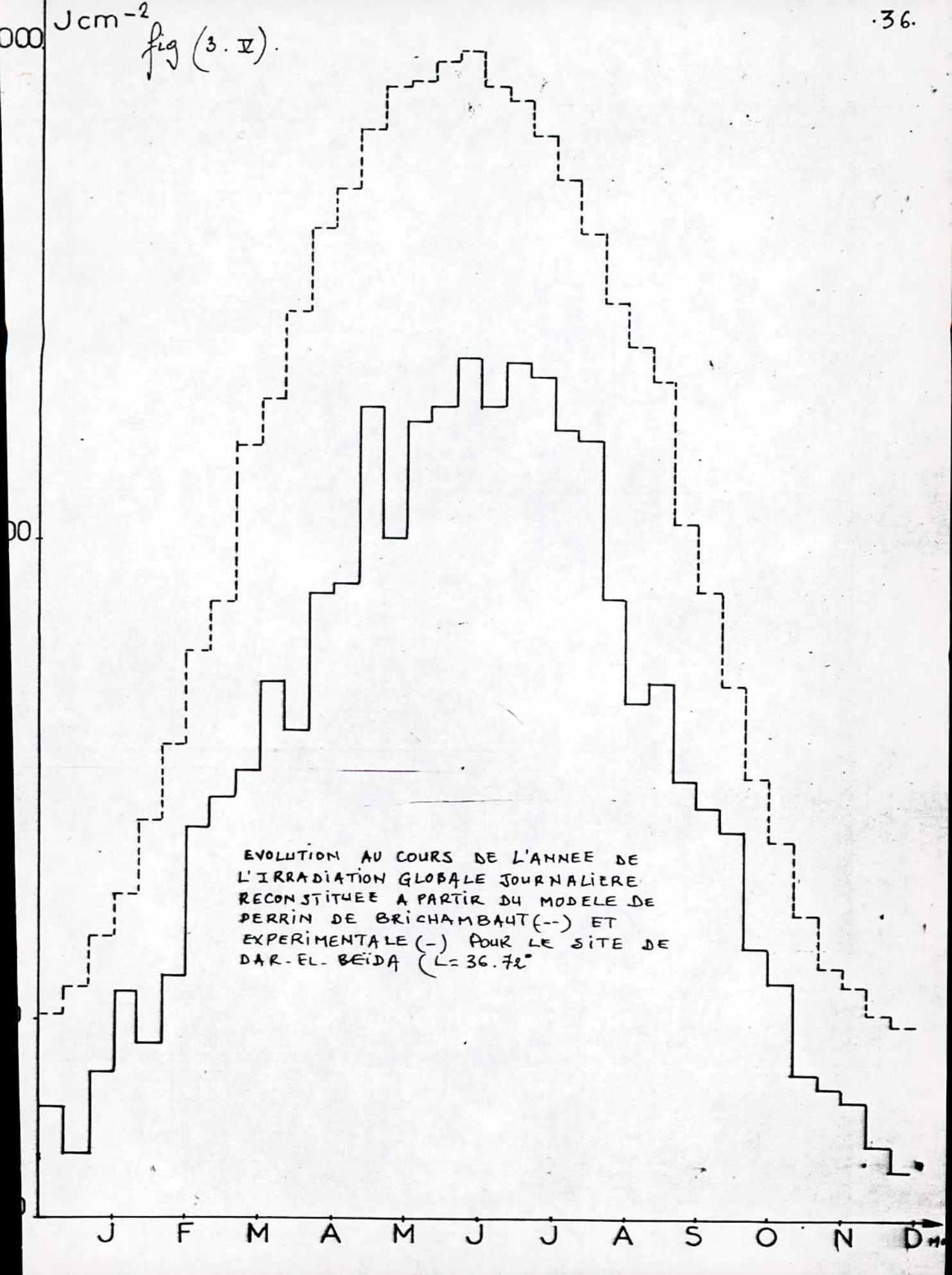
1.1.1.- Influence de la Latitude (L)

Les fig(8,9,10 V) illustrent la réponse du modèle, pour le calcul de l'irradiation quotidienne directe, diffuse et globale pour différentes latitudes.

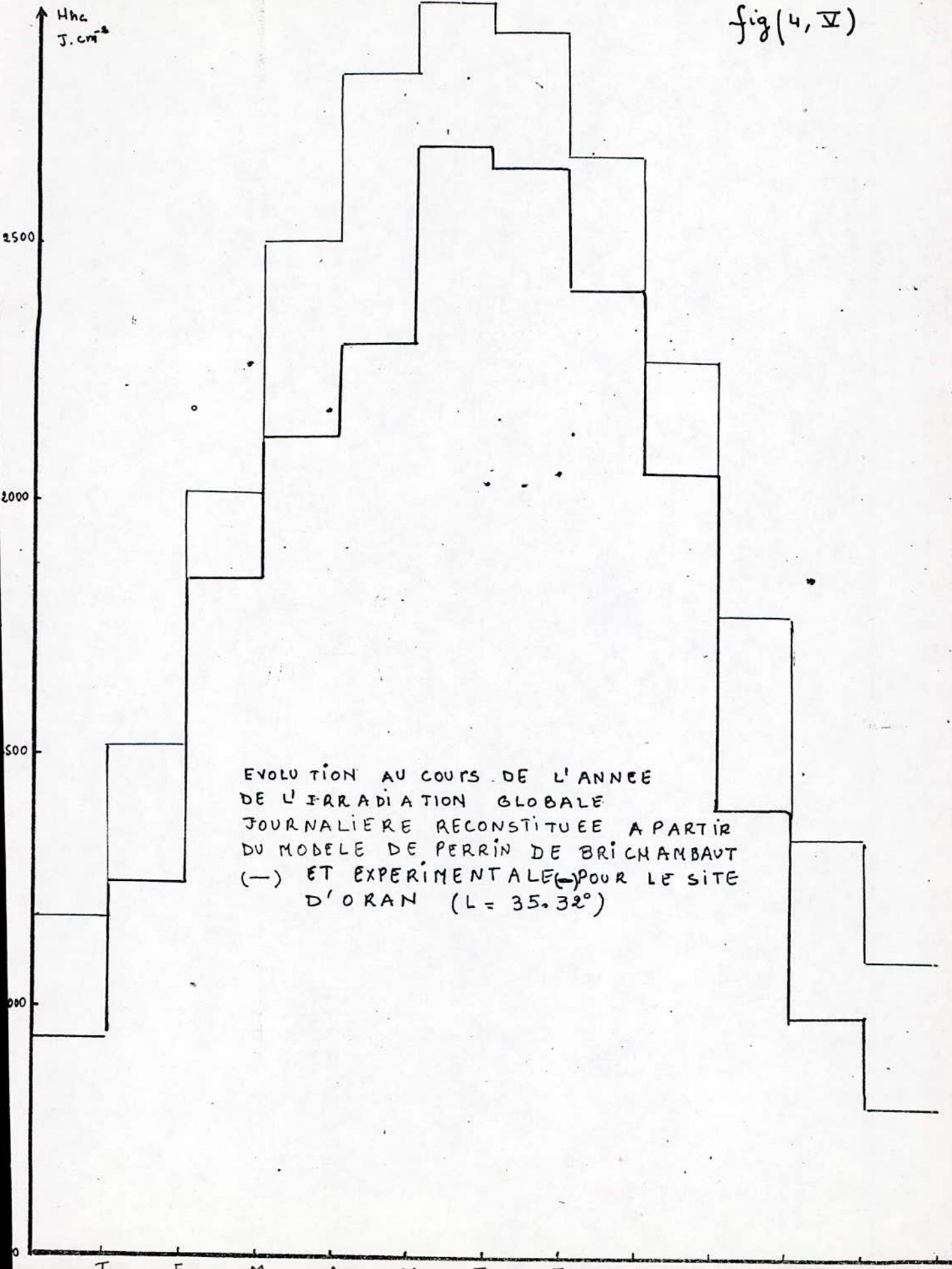
On remarque que pour des faibles latitudes (sites au niveau de l'équateur), les courbes présentent une fluctuation pendant la période (Avril,Mai,Juin,Juillet), elle est accentuée en été .

Cette fluctuation peut s'expliquer par le fait que pendant cette période, le soleil passe au Nord de la verticale (Zénith) en conséquence ces sites sont mal éclairés.

Jcm⁻²
fig (3. V).



fig(4, V)



EVOLUTION AU COURS DE L'ANNEE
 DE L'IRRADIATION GLOBALE
 JOURNALIERE RECONSTITUEE A PARTIR
 DU MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT
 (—) ET EXPERIMENTALE (---) POUR LE SITE
 D'ORAN (L = 35.32°)

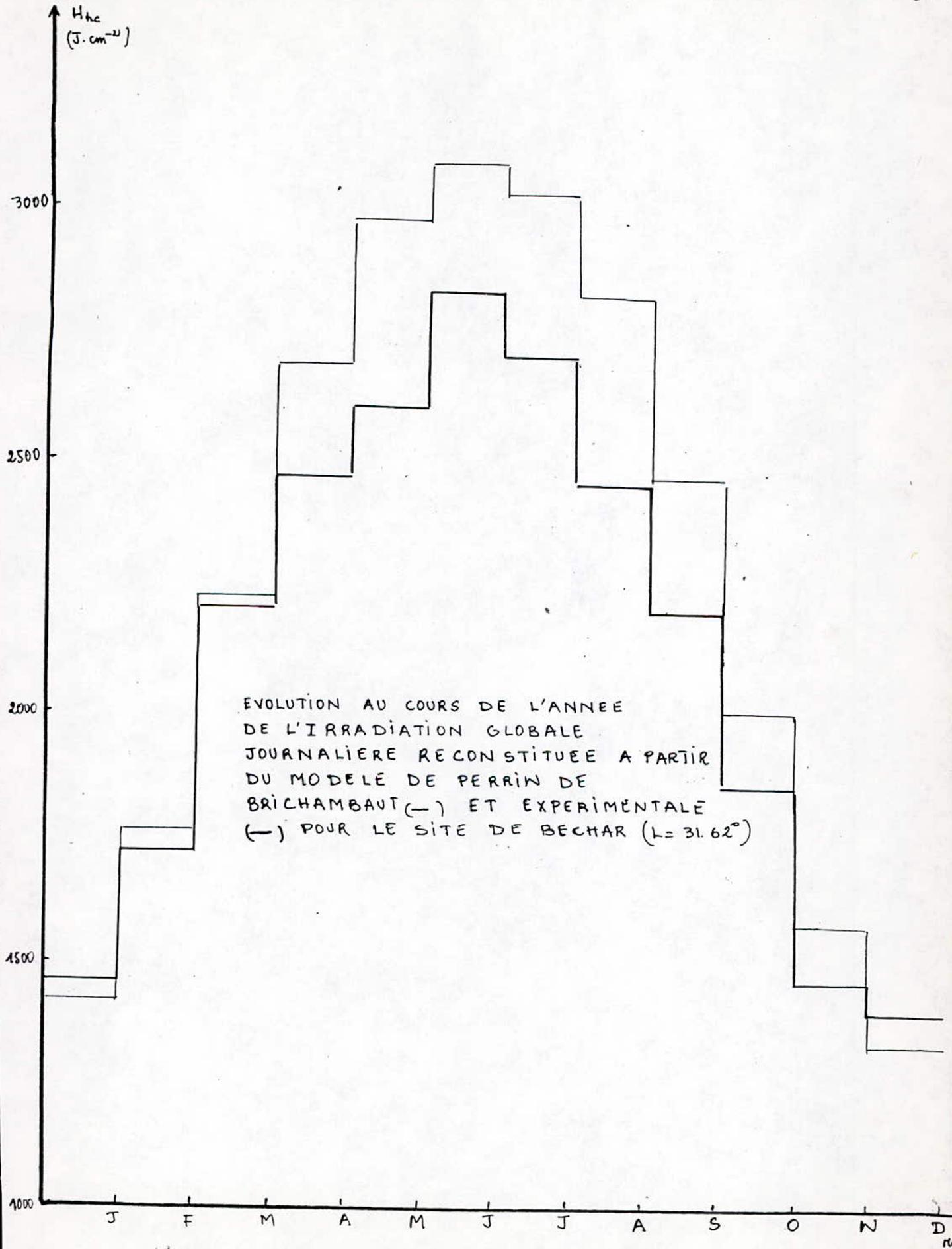


Fig (6. r)

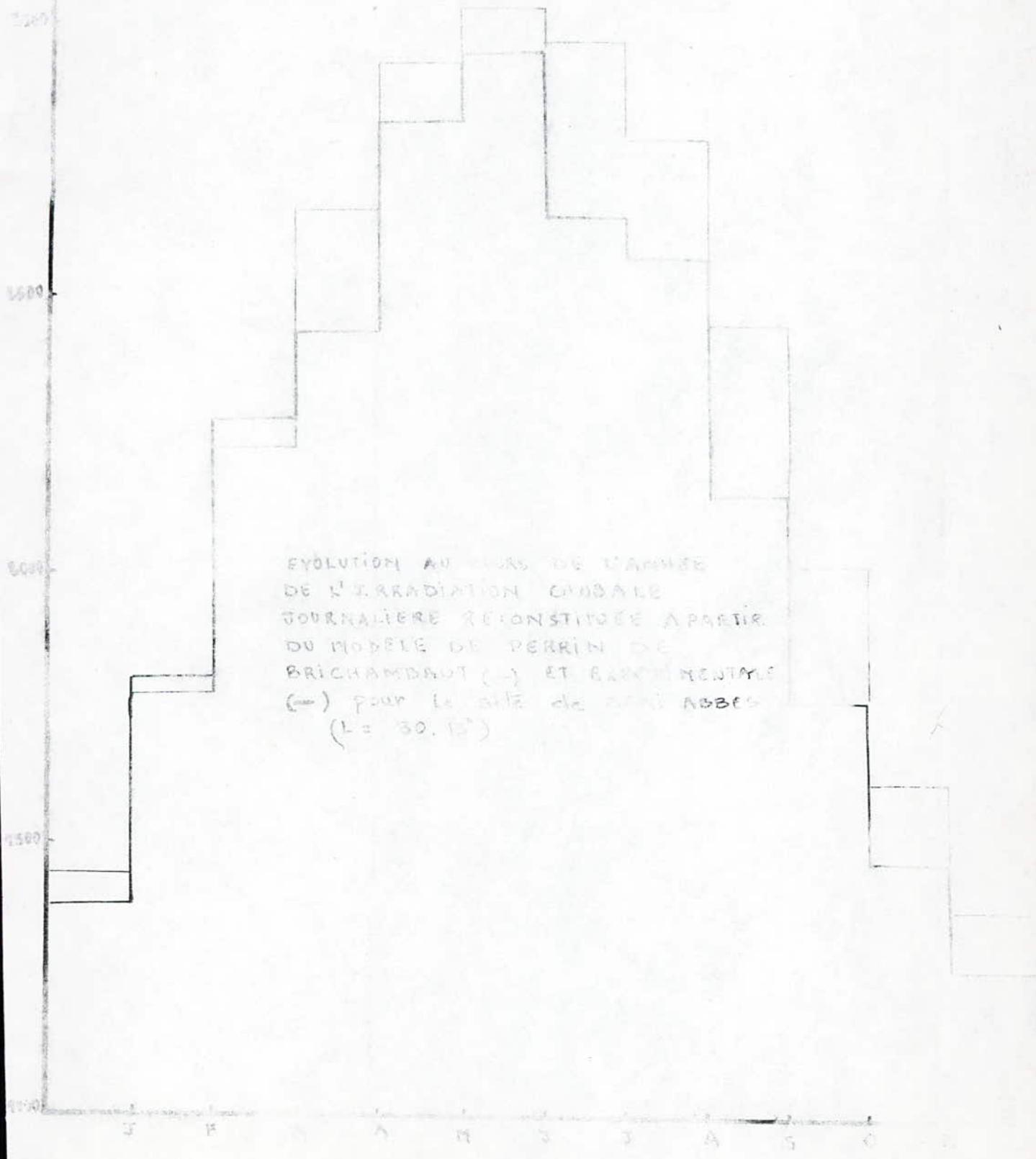


fig (7. V)

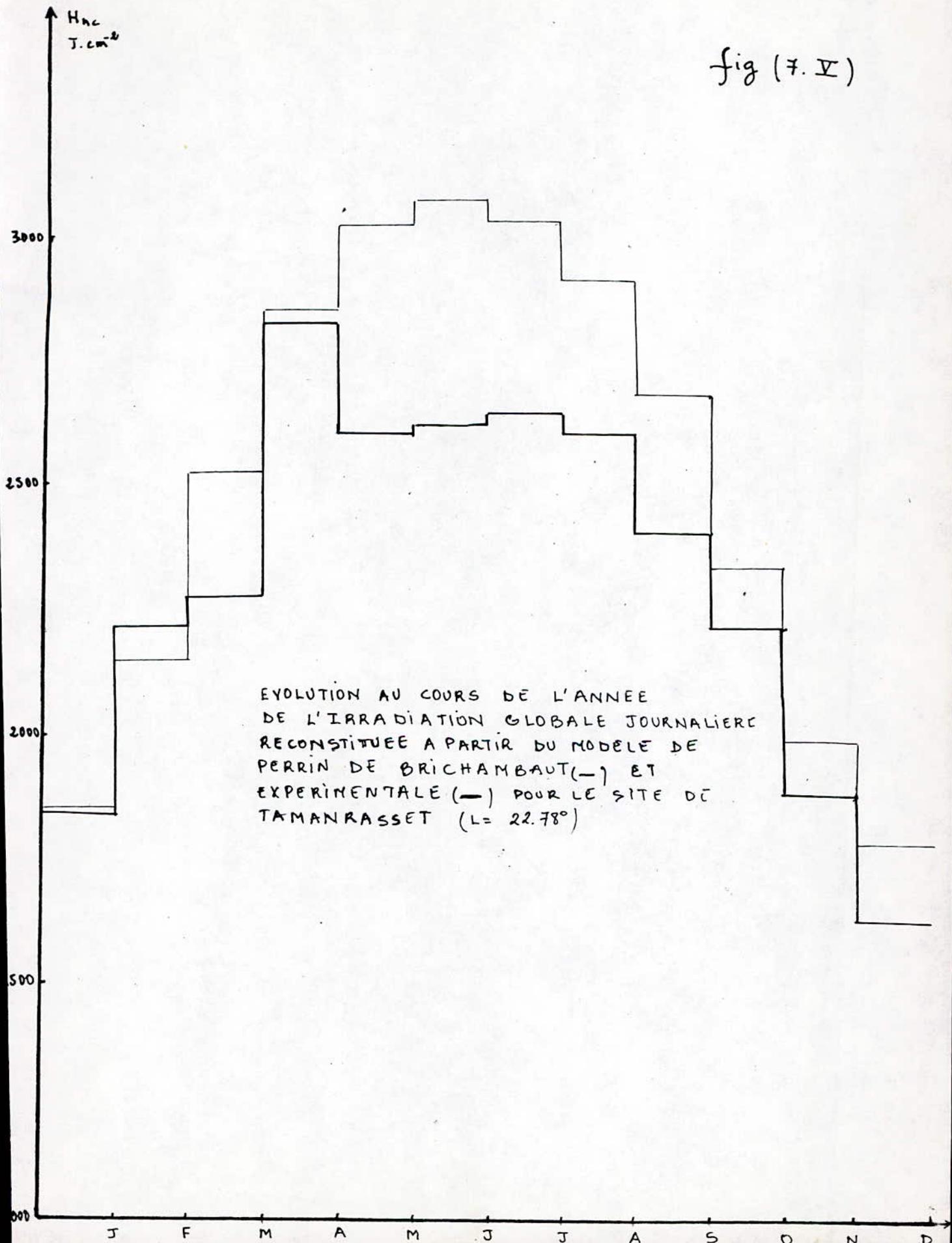
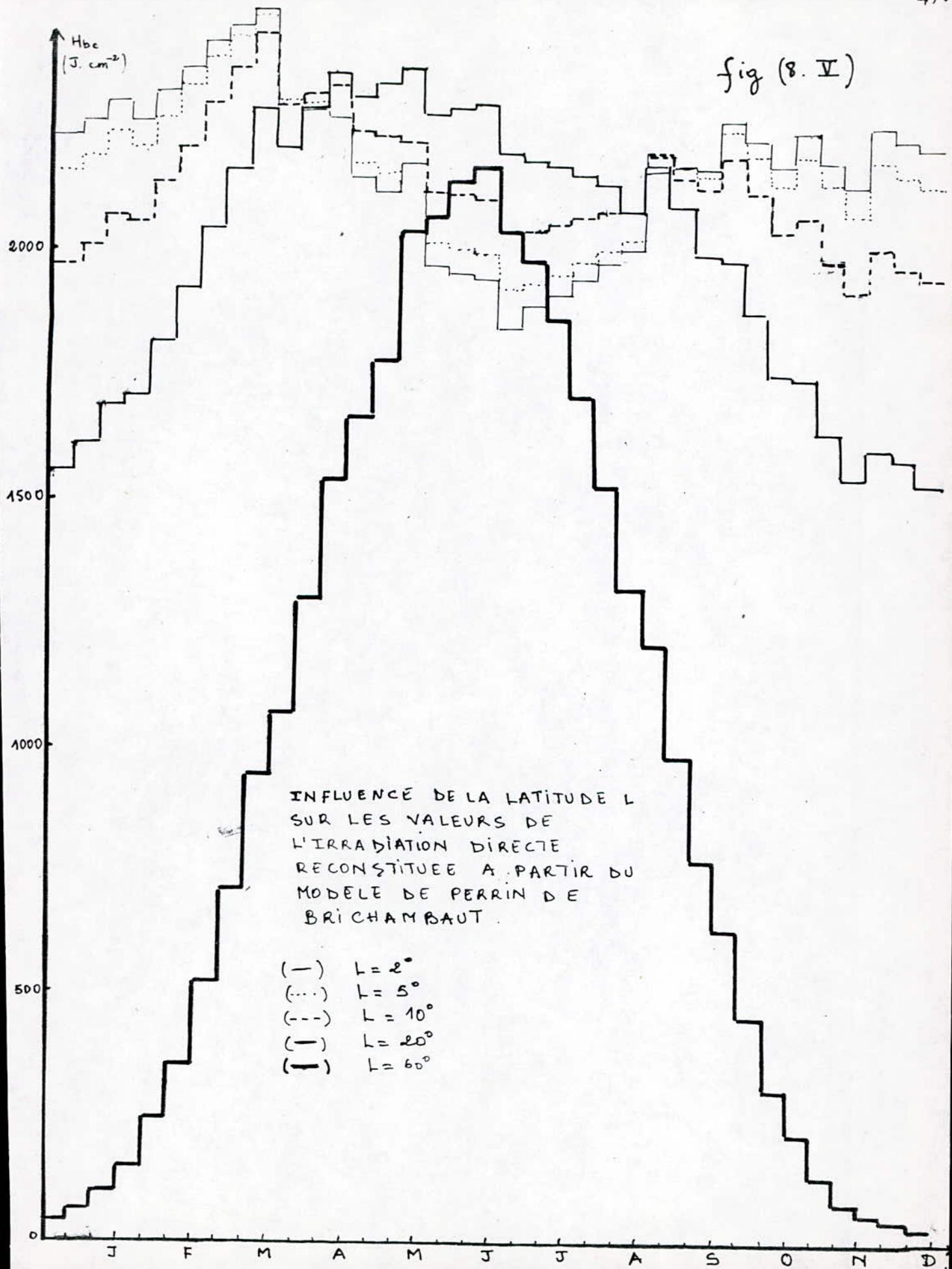


fig (8. V)



INFLUENCE DE LA LATITUDE L
 SUR LES VALEURS DE
 L'IRRADIATION DIRECTE
 RECONSTITUEE A PARTIR DU
 MODELE DE PERRIN DE
 BRICHAMBAUT.

- (—) $L = 2^\circ$
- (....) $L = 5^\circ$
- (---) $L = 10^\circ$
- (—) $L = 20^\circ$
- (—) $L = 60^\circ$

fig (9.V)

INFLUENCE DE LA LATITUDE L SUR LES
VALEURS DE L'IRRADIATION DIFFUSE
RECONSTITUEE A PARTIR DU MODELE DE
PERRIN DE BRICHAMBAUT.

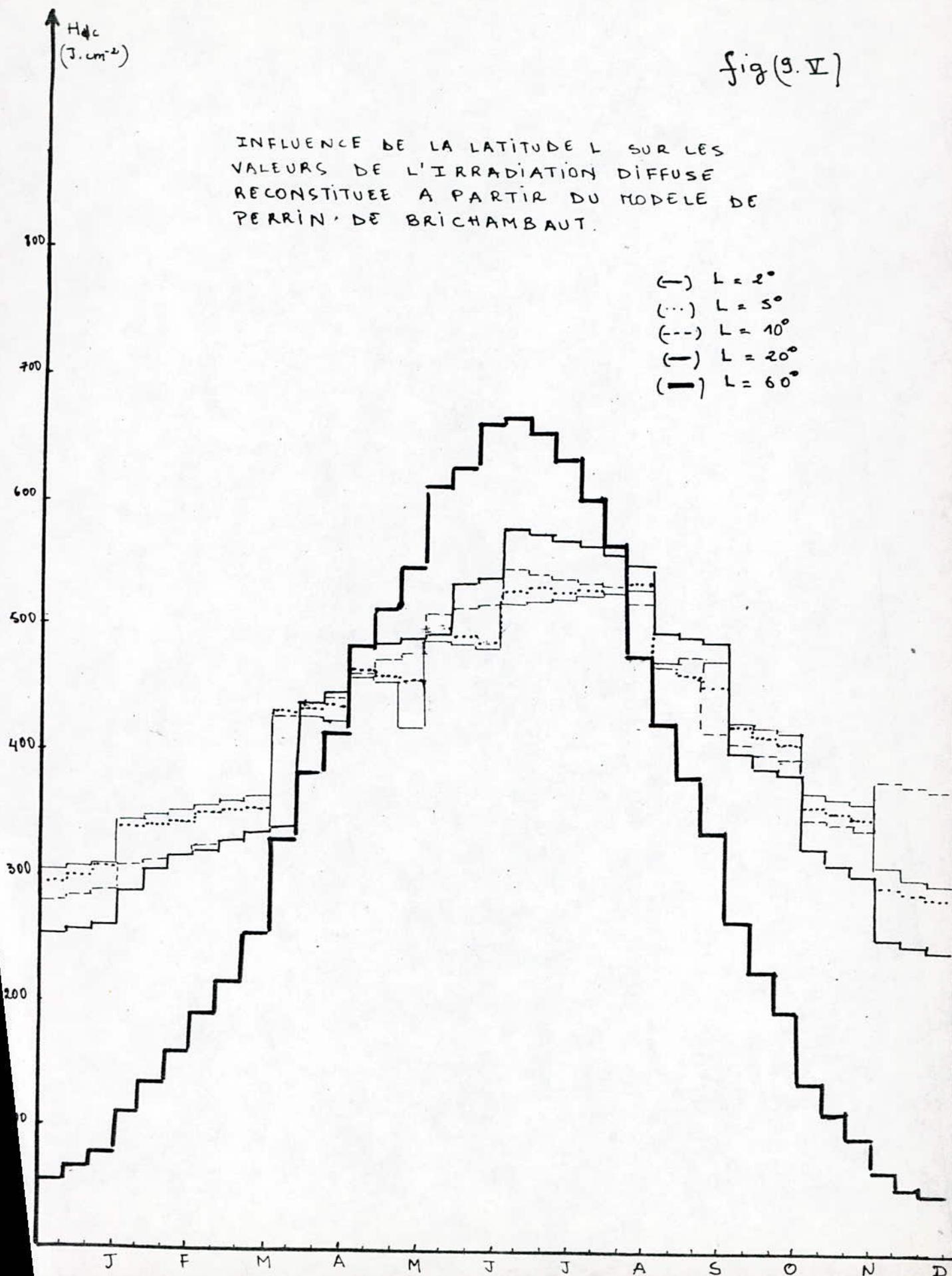
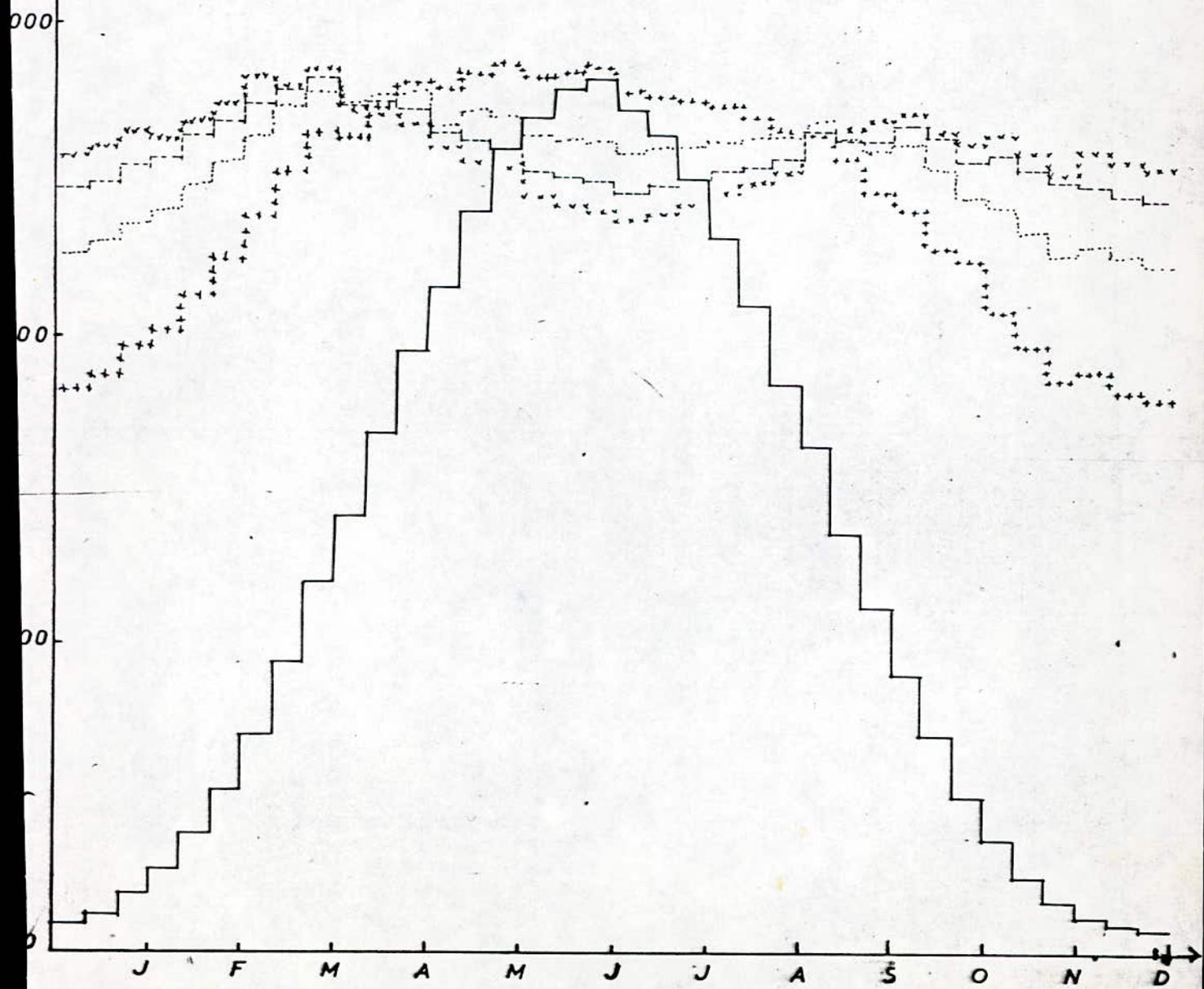


Fig (10x)

EVOLUTION AU COURS DE L'ANNEE DE
L'IRRADIATION GLOBALE JOURNALIERE
RECONSTITUEE A PARTIR DU MODELE DE
PERRIN DE BRICHAMBAUT

INFLUENCE DE LA LATITUDE L.

- (xxxxxxx) L = 2°
- (-----) L = 5°
- (.....) L = 10°
- (+++++) L = 20°
- (——) L = 60°



A partir des latitudes supérieures à 23°, la fluctuation observée pour les faibles latitudes diminue et l'allure des courbes s'approche progressivement d'une gaussienne (courbe en cloche), l'éclairement est maximal en été car le soleil est au Nord.

1.1.2. - Influence du Trouble Atmosphérique (T)

Le facteur de trouble (T) est défini comme le nombre d'atmosphères qu'il convient d'accumuler pour obtenir la même extinction du rayonnement direct total (totalité du spectre énergétique) dans les mêmes conditions de hauteur du soleil et pour le lieu considérée (2).

On peut simuler les différentes conditions climatiques en ajustant les valeurs du trouble atmosphérique (T). En effet, en augmentant le trouble (T), on simule un ciel nuageux ainsi l'irradiation reçue au sol est faible par contre en diminuant la valeur de ce paramètre on simule un ciel clair, ainsi l'irradiation reçue au sol est importante. Ceci apparait clairement sur la fig(12.V) représentant l'influence du trouble atmosphérique sur les valeurs de l'irradiation globale reconstituée.

II.2. - Vérification expérimentale du modèle

Nous nous sommes proposé de vérifier si le modèle de PERRIN de BRICHAMBAUT permet d'approcher l'évolution de l'irradiation globale pour l'ALGERIE. A cet effet, nous avons reconstitué l'irradiation globale en moyennes journalières au cours de l'année pour les 5 sites. Nous avons comparé les résultats obtenus à partir du modèle et les résultats expérimentaux fig (3,4,5,6,7 V). On remarque l'existence d'un léger décalage entre les courbes expérimentales et théoriques. Cet écart s'explique par le fait que le modèle a été établi pour un ciel clair de même les considérations physiques, (l'isotropie du diffus par exemple) permettant d'établir le rayonnement diffus ne sont pas parfaites, son évaluation constitue encore aujourd'hui, un problème à résoudre pour l'élaboration d'un modèle approprié.

III - ETUDE DU MODELE DE PAGE

Il s'agit d'étudier le lien qui existe entre la fraction de l'irradiation globale H/Ho et la fraction d'insolation SS/SSo à l'échelle de la journée pour chaque mois et ce sur une période de quatre années de 1979 à 1982. Les données dont nous disposons correspondent à des relevés de mesure de DAR-EL-BETDA. La liaison entre H/Ho et SS/SSo est recherchée dans deux buts .

- Servir de modèle de calcul lorsque l'irradiation globale n'est pas mesurée et que seule la durée d'insolation est connue sur le site.
- Servir à valider les mesures d'irradiation globale dont une partie présente des valeurs erronées.

Hnc
(J.cm⁻²)

fig (10.V)

560
320
80
0

INFLUENCE DU TROUBLE ATMOSPHERIQUE
(T) SUR LES VALEURS DE L'IRRADIATION
GLOBAL RECONSTITUEE A PARTIR
DU MODELE DE PERRIN DE
BRICHAMBAUT.

- (—) Courbe Théorique pour les valeurs de T-1
- (-) Courbe Théorique pour les valeurs de T
- (---) Courbe Théorique pour les valeurs de T+1
- (- - -) Courbe Théorique pour les valeurs de T+4

J F M A M J J A S O N D

III.1. - Méthode statistique utilisée

La connaissance de l'irradiation globale (H) et la durée d'insolation (SS) mesurées, de même le calcul de l'irradiation globale à la limite de l'atmosphère (H_0) ainsi que la durée théorique du jour (SS_0) à partir des formules (19.I) resp (13.I), nous ont permis de calculer journalièrement les fractions H/H_0 et SS/SS_0 . L'examen du nuage de points fig (13.V) de H/H_0 en fonction de SS/SS_0 , ainsi obtenu, suggère un ajustement linéaire de la forme :

$$H/H_0 = a SS/SS_0 + b + \epsilon_i$$

avec $\sum \epsilon_i = \text{minimum} \quad (S)$

Pour une raison de commodité, on utilise la méthode des moindres carrés.

III.1.1. - Rappel succinct sur la méthode des moindres carrés

a) Théorème : soit n points $(x_i, y_i) \quad i = 1, \dots, n$

et soit $p < n$, il existe un polynome unique

$f_p(x) = a_0 + a_1 x + \dots + a_p x^p$ rendant minimum sur R^{p+1} la quantité :

$$e^2(a) = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i + \dots + a_p x_i^p - y_i)^2 \quad \text{avec } a = (a_0, a_1, \dots, a_p)$$

Ceci revient à vérifier les $(p+1)$ conditions :

$$\frac{\partial e^2(a)}{\partial a_j} = 0 \quad \text{avec } j = 0, \dots, p$$

$$\text{d'où } \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i + \dots + a_p x_i^p - y_i) x_i^j = 0$$

Donc le problème revient à résoudre le système linéaire suivant de dimensions $(p+1, p+1)$ (5)

$$\begin{bmatrix} n \sum x_i & \sum x_i^2 & \dots & \sum x_i^p \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \dots & \sum x_i^{p+1} \\ \sum x_i^p & \sum x_i^{p+1} & \sum x_i^{p+2} & \dots & \sum x_i^{2p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \dots \\ \sum x_i^p y_i \end{bmatrix}$$

b) Calcul du coefficient de corrélation et de la variance résiduelle

Le coefficient de détermination R^2 est défini par le rapport de la variation expliquée et de la variation totale. Il permet d'apprécier la qualité de l'ajustement.

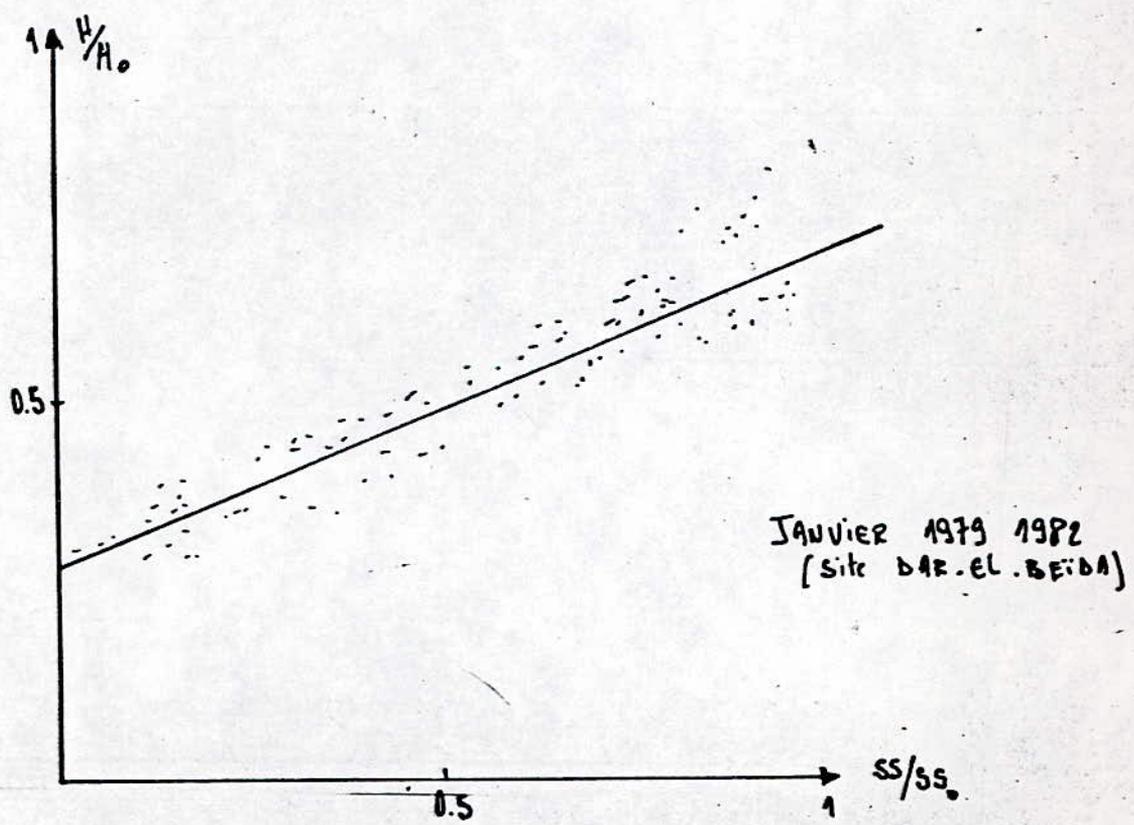


fig (13 V) NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0 .
AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE.

Il est donné par la formule suivante :

$$R^2 = \frac{\sum_{L=1}^n (Fp(xi) - \bar{y})^2}{\sum_{L=1}^n (yi - \bar{y})^2} \quad (4.V)$$

Le coefficient de corrélation est donné par la quantité R.

La variance résiduelle représente la variance non expliquée.

Elle constitue une mesure de la dispersion autour du polynôme d'ajustement. Elle est donné par la formule suivante :

$$\sigma_r^2 = \frac{\sum_{L=1}^n (yi - Fp(xi))^2}{n} \quad (6.V)$$

III.1.2.- Application de la Méthode

Dans ce qui soit nous allons donné un exemple détaillé de calcul des paramètres a, b, R² et σ_r, pour cela nous avons pris comme exemple le mois de Janvier cumulé sur quatre années de 1979 à 1982.

a) Calcul de SS/SSo et H/Ho

Le tableau suivant représente les fractions d'irradiation globale H/Ho et d'insolation SS/SSo.

b) Calcul de a et b :

En appliquant la méthode des moindres carrés, on aboutit au système suivant :

$$a \sum_{i=1}^n (SS/SSo)_i + bn = \sum_{i=1}^n (H/Ho)_i$$

$$a \sum_{i=1}^n \frac{(SS)^2}{(SSo)_i} + b \sum_{i=1}^n \frac{(SS)}{(SSo)_i} = \sum_{i=1}^n \frac{(SS)}{(SSo)_i} \cdot \frac{(H)}{(Ho)_i}$$

avec n = 107

$$\sum_{i=1}^{107} \frac{(SS)}{(SSo)_i} = 65.2994, \quad \sum_{i=1}^{107} (H/Ho)_i = 58.165$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{(SS)^2}{(SSo)_i} = 46.4433, \quad \sum_{i=1}^n \frac{(SS)}{(SSo)_i} \cdot (H/Ho)_i = 38.1811$$

$$(H/Ho)_{\text{moy}} = \frac{1}{107} \sum_{i=1}^{107} (H/Ho)_i = 0.5436$$

Jours Du Mois	ANNEE 1979		ANNEE 1980		ANNEE 1981		ANNEE 1982	
	SS/SSo	H/Ho	SS/SSo	H/Ho	SS/SSo	H/Ho	SS/SSo	H/Ho
1	0.7886	0.613	0.4796	0.4744	0.863	0.645	0.8633	0.7662
2			0.8625	0.6512	0.798	0.640	0.9371	0.6354
3	0.415	0.470	0.7128	0.6156	0.989	0.803	0.9255	0.7699
4	0.011	0.298	0.9458	0.6601	0.988	0.6546	0.7652	0.5917
5			0.7855	0.6175	0.584	0.592	0.8705	0.6290
6	0.388	0.8375	0.6714	0.8366	0.6205			
7			0.8364	0.6658	0.794	0.6375	0.9423	0.7779
8			0.8564	0.6382	0.5595	0.4786	0.9727	0.7946
9	0.327	0.377			0.3596	0.343	0.5912	0.5987
10	0.6075	0.527	0.2213	0.3634	0.9486	0.656	0.6851	0.6483
11	0.621	0.526			0.2315	0.359	0.3367	0.4687
12	0.431	0.418			0.1365	0.363	0.1575	0.3153
13	0.905	0.643			0.1363	0.365	0.4717	0.4358
14	0.858	0.630	0.1360	0.3349	0.5433	0.497	0.3662	0.4859
15	0.96069	0.649	0.1148	0.3528	0.574	0.499	0.8980	0.6502
16	0.854	0.680	0.8753	0.6709	0.335	0.468	0.3210	0.5404
17	0.8526	0.650	0.1352	0.3309	0.811	0.602	0.0207	0.3054
18	0.124	0.312	0.6328	0.5223	0.892	0.620		
19	0.745	0.575	0.0404	0.3155	0.973	0.6311	0.0931	0.3010
20	0.413	0.509	0.2891	0.4397	0.381	0.803	0.1239	0.3362
21	0.371	0.486	0.6592	0.6146	0.659	0.565		
22	0.154	0.3746	0.8836	0.6527			0.3698	0.4857
23	0.615	0.562					0.0512	0.3216
24	0.215	0.367	0.7052	0.6277	0.67994	0.587	0.4804	0.544
25	0.010	0.301	0.7441	0.5853	0.9380	0.633	0.5810	0.5942
26	0.844	0.622	0.6400	0.5469	0.305	0.763	0.4066	0.5054
27	0.182	0.367	0.1317	0.3727	0.8819	0.606	0.1014	0.3479
28			0.1314	0.3303	0.495	0.464		
29	0.897	0.673			0.534	0.511	0.8265	0.6898
30	0.774	0.682	0.5125	0.5437	0.904	0.689	0.9848	0.6704
31	0.73	0.557	0.8316	0.6545	0.877	0.6687	0.9819	0.6903

N = 107

d'ou l'équation suivante :

a) (65.2994) + b (107) = 58.1657

a) (46.4433) + b (65.2994) = 38.181

La résolution du système précédent nous donne a et b

a = 0.407 et b = 0.295

d'ou la droite de regression

(H/H_o) = 0.407 (SS/SSO)_i + 0.295

c) calcul de (H/H_o) estimé :

le tableau suivant donne les valeurs estimées de (H/H_o).

d) calcul de R² et σ_r

∑_{i=1}¹⁰⁷ (H/H_o) estimé - (H/H_o)_{moy})² = 1.6653

et

∑_{i=1}¹⁰⁷ (H/H_o)_i - (H/H_o)_{moy} = 3.121

d'après les relations (1 V) et (2 V) on a :

R² = 0.43759 et σ_r = 0.08

IV - CONCLUSION

Le modèle de PERRIN de BRICHAMBAUT permet donc d'approcher l'évolution des composantes du rayonnement solaire en ALGERIE. Cependant il possède des limites liées au trouble atmosphérique qui représente les conditions climatiques. La complexité de phénomènes atmosphériques (diffusion, absorption) rend difficile l'évaluation de l'exacte de ce trouble et par conséquence celle de l'irradiation globale.

Nous avons pas suffisamment tester le modèle de PAGE pour apporter une conclusion quand à son application en ALGERIE.

ANNEE 1979		ANNEE 1980	ANNEE 1981	ANNEE 1982
Jours du mois	H/Ho estimée	H/Ho estimée	H/Ho estimée	H/Ho estimée
1	0.6159	0.4902	0.6462	0.646
2		0.6460	0.6198	0.6764
3	0.464	0.5851	0.6975	0.6717
4	0.299	0.6799	0.6971	0.6064
5		0.6775	0.5326	0.6290
6	0.411	0.6358	0.6355	
7		0.6354	0.6181	0.6785
8		0.6435	0.4413	0.4561
9	0.4281		0.445	0.5356
10	0.5422	0.3851	0.6811	0.5738
11	0.5477		0.3892	0.4320
12	0.470		0.3505	0.3591
13	0.663		0.3505	0.4869
14	0.644	0.3503	0.516	0.4440
15	0.686	0.3417	0.429	0.6605
16	0.754	0.6512	0.4307	0.5070
17	0.642	0.3500	0.6251	0.3034
18	0.345	0.5530	0.6610	
19	0.598	0.3118	0.6910	0.3708
20	0.463	0.41266	0.6943	0.345
21	0.446	0.5633	0.5632	0.
22	0.3577	0.6527		0.4455
23	0.5453			0.3158
24	0.3825	0.582	0.6203	0.4905
25	0.2991	0.5978	0.6767	0.5315
26	0.6385	0.5556	0.663	0.4605
27	0.3690	0.3486	0.6539	0.3362
28		0.3485	0.4965	
29	0.6601		0.512	0.6314
30	0.610	0.5036	0.689	0.6958
31	0.592	0.6335	0.4978	0.6946

CHAPITRE - VI

TRAITEMENT DE DONNEES

I N T R O D U C T I O N

Nous avons mis au point un logiciel constitué de deux programmes. L'un permet de calculer les valeurs moyennes décadaires de l'irradiation globale , diffuse et directe à partir du modèle de PERRIN de BRICHAMBAUT. L'autre traite des données de l'irradiation globale et de la durée d'insolation en vue d'estimer les paramètres a et b du modèle de PAGE et de tester leur validité. Dans ce chapitre en fera une description du système utilisé L'APPLE II PLUS et du " Logiciel élaboré ".

I - PRESENTATION DE L'APPLE II PLUS

Le micro-ordinateur APPLE II a été conçu en 1979 par les américains STEVEN JOBS & STEPHEN WOZNIAK autour du microprocesseur 6502 de technique MOS. Il travail sur des mots et des chaines de caractère. Il est doté d'un système de programmation incorporé, la chaine résidente est L'APPLE.SOFT. Dans le cas où le stockage des informations est nécessaire, le système nous offre la possibilité d'utiliser des mémoires de masse qui sont dans ce cas des disquettes de 5 pouces de diamètres. Ces mémoires stockent l'information et la restitue à la demande (5).

II. - MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT

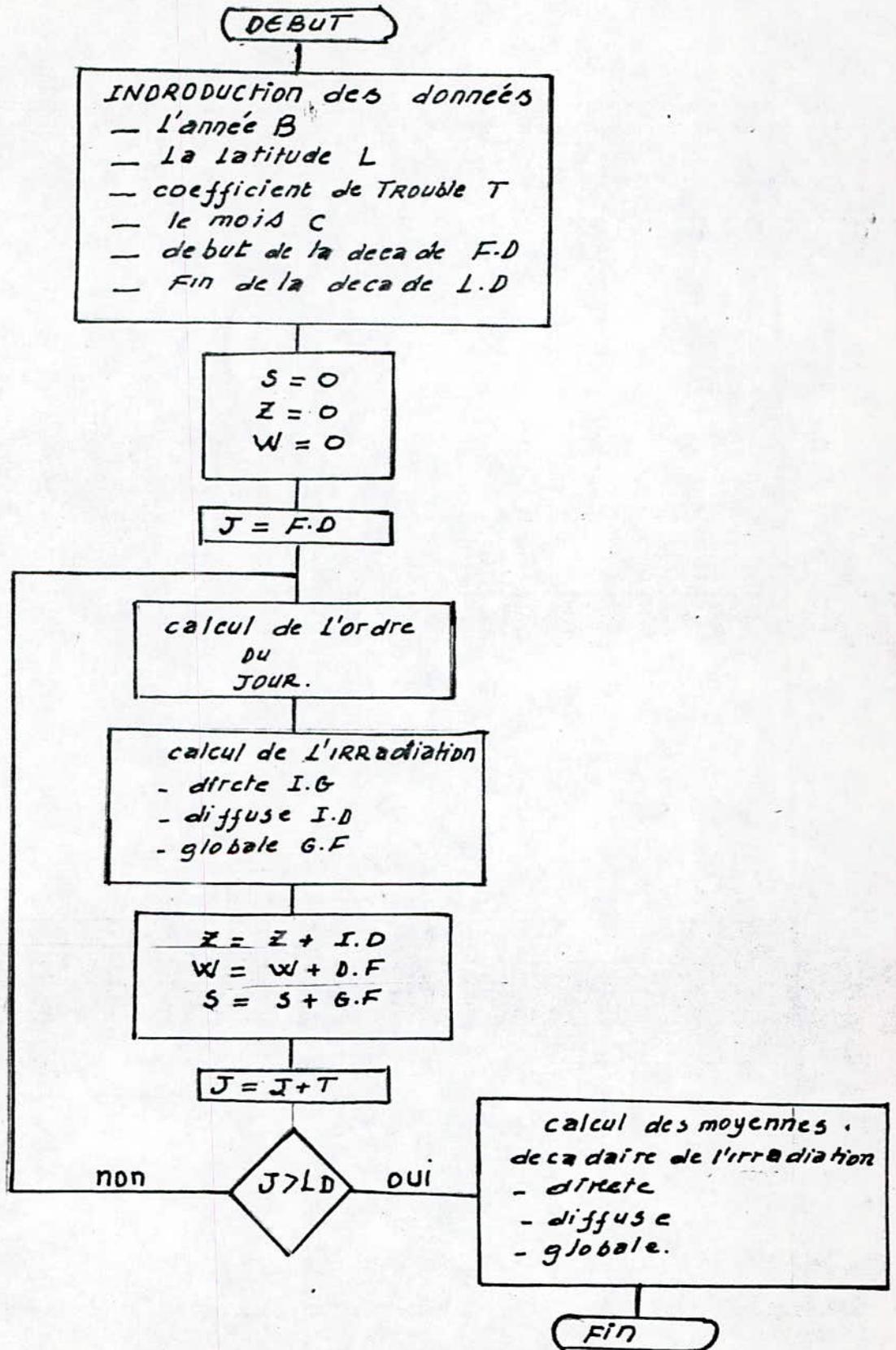
Le programme simulant le modèle de PERRIN de BRICHAMBAUT étudié dans le chapitre V a été élaboré à partir de l'organigramme "A". Ce programme permet de calculer des moyennes décadaires de l'irradiation globale, diffuse, directe par ciel claire en se basant sur les moyennes mensuelles des coefficients de trouble T de VALKO mesuré aux différents sites considérés (DAR-EL-BEIDA, ORAN, TAMANRASSET, BENI ABBES, BECHAR). Les valeurs de ces coefficients sont données par le tableau (1) de l'annexe.

Les données à introduire lors de l'utilisation de ce programme sont :

- L'année d'étude
- La latitude du site étudié
- Les valeurs du trouble de ce site
- Les mois considérés (Janvier Décembre)
- Le premier jour de la décade
- Le dernier jour de la décade

A partir de ces données le programme calcul l'irradiation journalière .

- Directe en se basant sur la formule (1.V)
- Diffuse en se basant sur la formule (2.V)
- globale en se basant sur la formule (3.V)



Il fait la somme sur une décade puis donne la moyenne décadaire de chaque composante (directe, diffuse, globale) les résultats de ce programme sont données par les tableaux (2,3,4,5,6) de l'annexe.

Le programme établi est donné par le listing suivant :

Remarque les valeurs du trouble T figurant en data dans ce listing sont celles du site d'ALGER.

Pour l'étude d'un autre site, il suffira d'introduire des données propres au site.

Programme

```

10 REM : FORMULE DE FERRIN DE B
    RICHAMBAUT
20 INPUT "LATITUDE=";L
30 INPUT " YEAR=";B
40 DIM C(36),T(36),FD(36),LD(36)

50 FOR I = 1 TO 36
60 READ C,T,FD,LD
61 DATA 1,2.7,1,10, 1,2.7,11,20
    , 1,2.7,21,31, 2,3,1,10, 2,3
    ,11,20, 2,3,21,28, 3,3,1,10,
    3,3,11,20, 3,3,21,31, 4,3.6
    ,1,10, 4,3.6,11,20, 4,3.6,21
    ,30
62 DATA 5,3.9,1,10, 5,3.9,11,20
    , 5,3.9,21,31, 6,4.2,1,10, 6
    ,4.2,11,20,6,4.2,21,30, 7,4.
    5,1,10, 7,4.5,11,20, 7,4.5,2
    1,31, 8,4.5,1,10, 8,4.5,11,2
    0, 8,4.5,21,31
63 DATA 9,4,1,10, 9,4,11,20, 9,
    4,21,30, 10,3.6,1,10, 10,3.
    6,11,20, 10,3.6,21,31, 11,3.
    2,1,10, 11,3.2,11,20, 11,3.2
    ,21,30, 12,2.7,1,10, 12,2.7,
    11,20,12,2.7,21,31

75 S = 0
76 Z = 0
77 W = 0
80 FOR J = FD TO LD
90 IF B / 4 - INT ( B / 4 ) = 0 THEN
    120
100 F = 28
110 GOTO 130
120 F = 29
130 IF C > 2 THEN 170
140 N = INT ( C / 2 )
150 D = J + 31 * N
160 GOTO 310
170 IF C < 8 THEN 250
180 IF C / 2 - INT ( C / 2 ) = 0 THEN
    220
190 N = INT ( C / 2 )
200 D = J + F + 31 * ( N + 1 ) + 30
    * ( N - 2 )
210 GOTO 310
220 N = C / 2
230 D = J + F + 31 * N + 30 * ( N -
    2 )
240 GOTO 310
250 IF C / 2 - INT ( C / 2 ) = 0 THEN
    290

```

```

260 N = INT (C / 2)
270 D = J + F + 31 * N + 30 * (N -
    1)
280 GOTO 310
290 N = C / 2
300 D = J + F + 31 * N + 30 * (N -
    2)
310 DE = 0.409 * SIN (0.017 * (D
    + 284))
320 X = - TAN (DE) * TAN (L)
330 WS = 1.5708 - ATN (X / SQRT
    (1 - X * X))
340 IG = 3721.017 * COS (DE) * COS
    (L) * ( SIN (WS) - WS * COS
    (WS))
350 ID = IG * EXP (( - T / 7.5) *
    ( COS (L - DE) ^ - 0.75))
360 DF = IG * (T / 31.6) * ( COS
    (L - DE) ^ - 0.5)
370 GF = ID + DF
380 S = S + GF
381 Z = Z + ID
382 W = W + DF
390 NEXT J
400 MD = S / (LD - FD + 1)
401 ND = Z / (LD - FD + 1)
402 MF = W / (LD - FD + 1)
403 PRINT "I="I
410 PRINT "MOY.DECAD.DE L'IRRAD
    .GLOBALE=";MD
412 PRINT "MOY.DECAD.DE L'IRRAD.
    DIFFUSE=";MF
420 NEXT I

```

III - MODELE DE PAGE

Le programme qui traite les données d'irradiation globale est d'insolation afin d'estimer les paramètres a et b du modèle de PAGE et tester leur validité a été élaboré à partir de l'organigramme " B" .Les données à introduire lors de l'utilisation de ce programme sont :

- La latitude du site étudié
- Le début du mois étudié "E"
- Le nombre de jours "P" considérés dans l'étude
- Le nombre de couple (H,ss) "N" où H et ss sont différents de zéro ou de l'unité
- L'ordre du jour J
- L'irradiation globale H mesurée
- L'insolation SS mesurée

Ce programme permet de calculer les valeurs quotidiennes théoriques de l'irradiation globale Ho et d'insolation SSo, les fractions (H/Hd)_i et (SS/SSo)_i tout en éliminant les valeurs manquantes et celles dont la fraction (H/Ho)_i ou (SS/SSo)_i sont supérieures à l'unité. Il permet également de calculer les coefficients a et b du polynome d'ajustement ainsi que le coefficient de détermination R² et l'écart résiduel. σ_r

Nous avons calculer dans notre cas les paramètres a et b correspondant au mois de Janvier pour des données cumulées sur 4 années 1979 - 1982, nous donnons ci-dessous quelques résultats des étapes de calcul faites par le programme.

$$\sum_{i=1}^n (SS/SSo)_i = 63.199$$

$$\sum_{i=1}^n (SS/SSo)_i^2 = 46.73$$

$$\sum_{i=1}^n (H/Ho)_i = 58.16567$$

$$\sum_{i=1}^n (SS/SSo)_i (H/Ho)_i = 37.42356$$

$$(H/Ho)_m = 0.5391$$

$$a = 0.3564$$

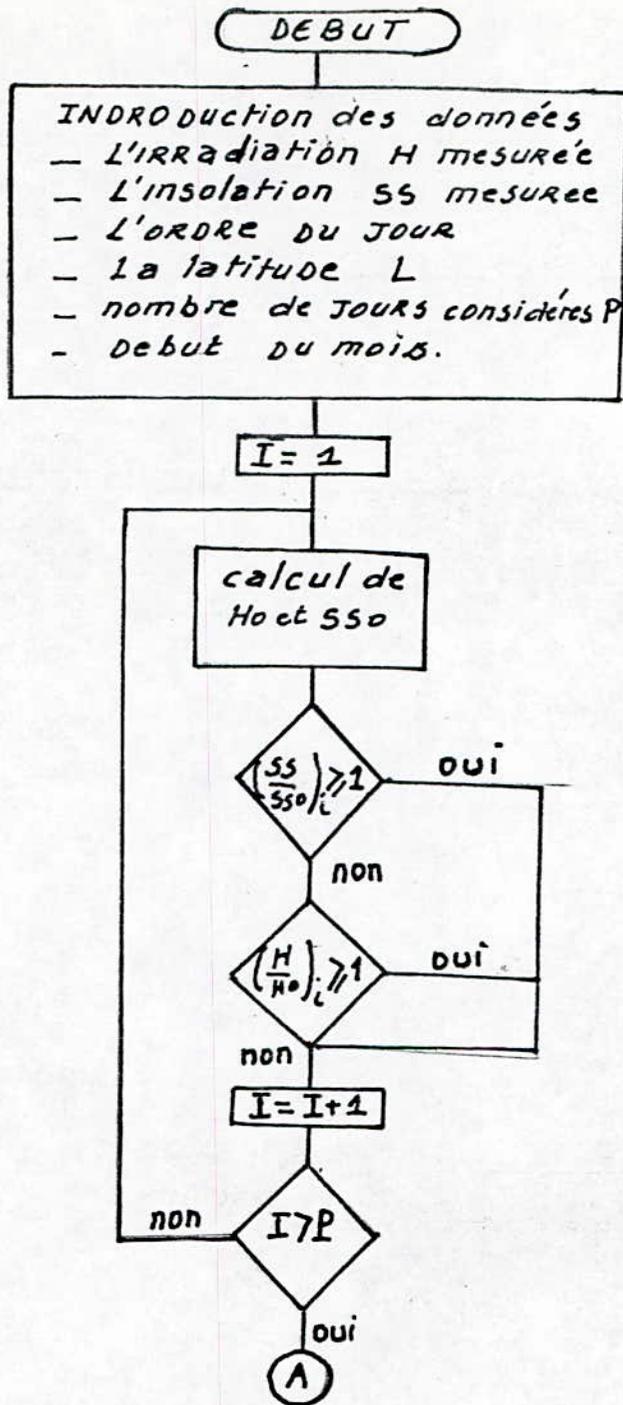
$$b = 0.3286$$

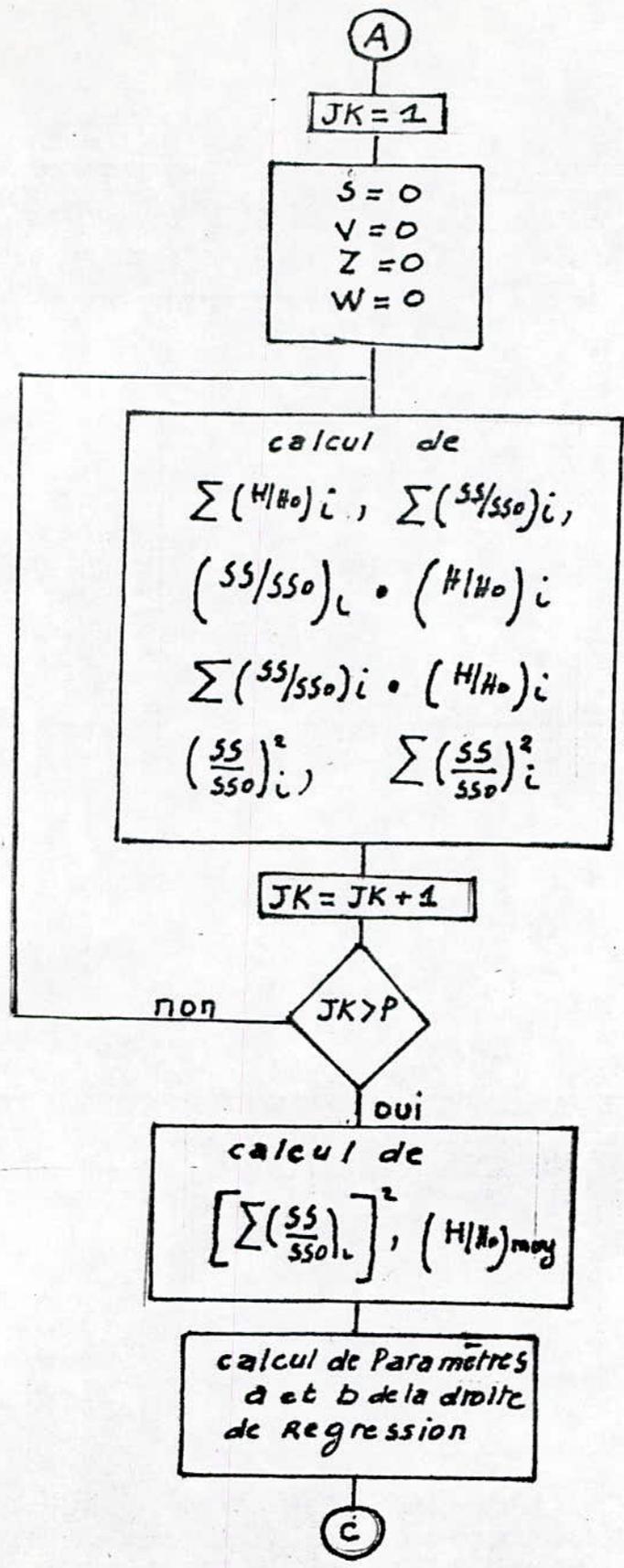
$$R = 0.60$$

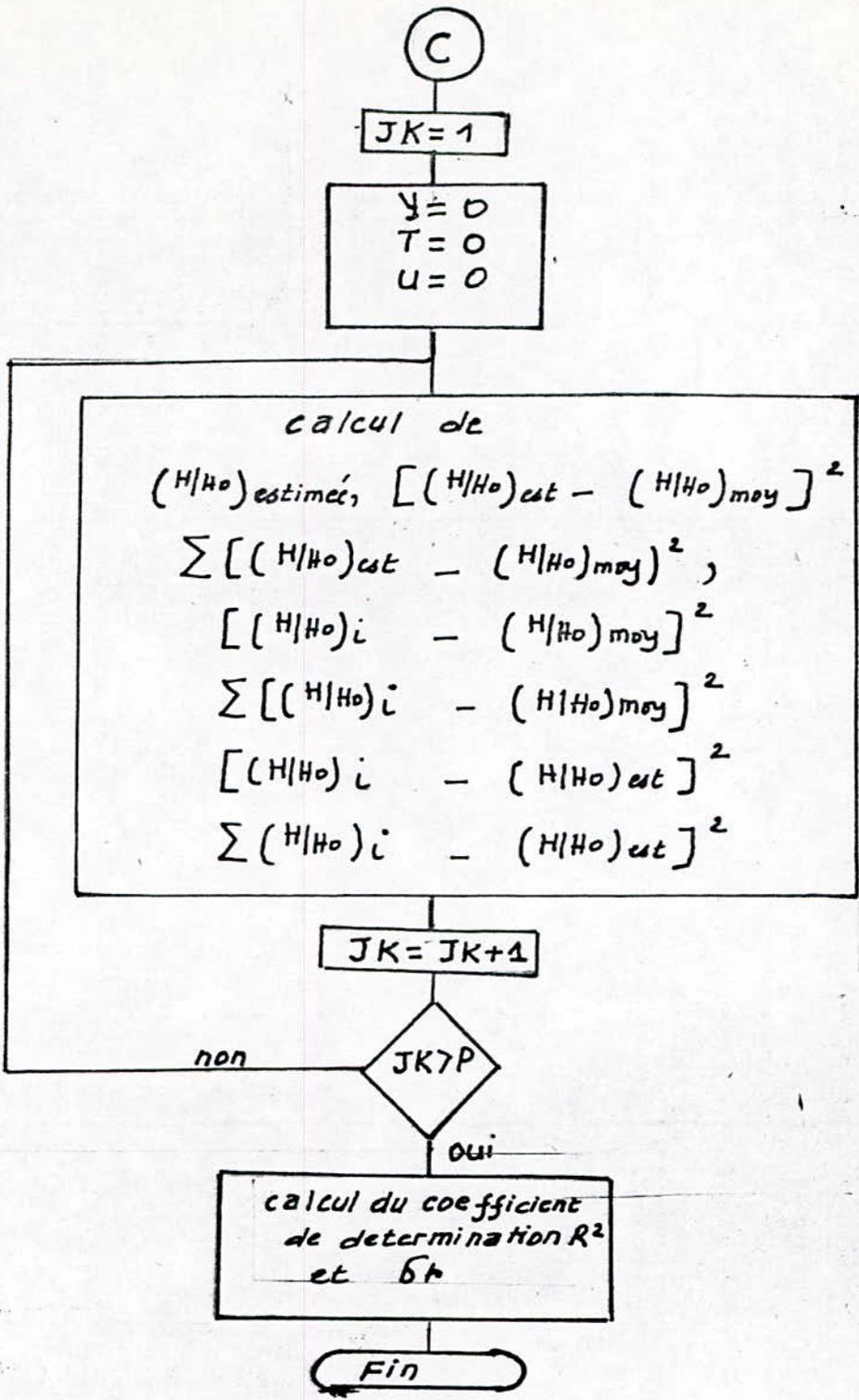
$$\hat{\sigma}_r = 0.12$$

Le programme établi est donné par le listing suivant :.

ORGANIGRAMME "B"







calcul de

$$(H/Ho)_{estimée}, [(H/Ho)_{est} - (H/Ho)_{moy}]^2$$
$$\sum [(H/Ho)_{est} - (H/Ho)_{moy}]^2,$$
$$[(H/Ho)_i - (H/Ho)_{moy}]^2$$
$$\sum [(H/Ho)_i - (H/Ho)_{moy}]^2$$
$$[(H/Ho)_i - (H/Ho)_{est}]^2$$
$$\sum (H/Ho)_i - (H/Ho)_{est}]^2$$

calcul du coefficient
de determination R^2
et σ_b

Fin

Programme

```

10 REM :CORREL LINEAIRE: H/H(O)#
   S/S(O)
15 INPUT "E=";E
16 INPUT " P=";P
20 INPUT "LATITUDE=";L
21 INPUT "N=";N
22 DIM F$(P - E + 1),F(P - E + 1
   ),M$(P - E + 1),M(P - E + 1)

23 FOR JK = 1 TO P - E + 1
24 F(JK) = VAL (F$(JK))
25 M(JK) = VAL (M$(JK))
26 NEXT JK
30 S = 0
31 V = 0
32 Z = 0
33 W = 0
34 Y = 0
35 T = 0
36 U = 0
37 DIM J(124),BH(124),BS(124)
40 FOR I = E TO P - E + 1
50 READ J,BH,BS
60 DATA 1,889,7.4,2,0,0,3,687,3
   .9,4,437,0.1,5,246,0,6,572,2
   .7,7,0,0,8,0,1,9,564,3.1,10,
   792,6
61 DATA 11,795,5.9,12,635,4.1,
   13,982,8.6,14,96
   8,8.2, 15,1
   005,9.2,16,1066,8.2,
   17,1020,8.2,18,494,1
   .2, 19,915,7
   .2,20,816,4
62 DATA 21,786,3.6,22,610,1.5,2
   3,922,6,24,608,2.1,25,502,0.
   1,26,1048,8.3,27,625,1.8,28,
   0,1.3,29,1163,8.9,30,1191,7.
   7,31,981,7.3
63 DATA 1,688,4.5,2,947,8.1,3,8
   98,6.7,4,966,8.9,5,907,7.4,6
   ,990,7.9,7,986,7.9,8,949,8.1
   ,9,296,0,10,546,2.1
64 DATA 11,9999,0.5,12,212,0,13
   ,265,0,14,515,1.3,15,546,1.1
   ,16,1045,8.4,17,519,1.3,18,8
   25,6.1,19,502,0.4,20,706,2.8

65 DATA 21,993,6.4,22,1063,8.6,
   23,9999,9.3,24,1039,6.9,25,9
   77,7.3,26,921,6.3,27,633,1.3
   ,28,566,1.3,29,380,0,30,949,
   5.1,31,1153,8.3
66 DATA 1,935,8.1,2,931,7.5,3,1
   171,9.3,4,958,9.3,5,870,5.5,
   6,915,7.9,7,944,7.5,8,712,3.
   4,9,513,3.5,10,985,9
67 DATA 11, 543,2.2,12,552,1.3,
   13,557,1.3,14 ,764,5.2,15,77

```

```

,7.2,28,1284,8.7,27,1030,8.7
,28,795,4.9,29,884,513,30,12
04,9,31,1170,8.7
69 DATA 1,1111,8.1,2,924,8.8,3,
1123,8.7,4,866,7.2,5,924,8.2
,6,9999,9,7,1152,8.9,8,1182,
9.2,9,895,5.6,10,974,6.6
70 DATA 11,708,3.2,12,479,1.5,
1 3,666,4.5,14,74
4,3.5,15,1006 ,8.
6,16,795,5,17,479,2,18,99
99,2.2,19,479,0.9,2
0,539,1.2
71 DATA 21,199,0,22,791,3.6,23,
528,0.5,24,901,4.5,25,992,5.
7,26,851,4,27,591,1,28,9999,
1.1,29,1193,8.2,30,1170,9.8,
31,1216,9.8
90 DE = 0.409 * SIN (0.017 * (J +
284))
100 X = - TAN (DE) * TAN (L)
110 WS = 1.5708 - ATN (X / SQR
(1 - X * X))
115 IS = 7.63 * WS
120 IG = 3721.017 * COS (DE) * COS
(L) * ( SIN (WS) - WS * COS
(WS))
130 FG = BH / IG
140 FS = BS / IS
150 IF FG > = 1 THEN 166
160 IF FS > = 1 THEN 166
161 F(I - E + 1) = FS
162 PRINT "F.D'INSOLATION";F(I -
E + 1)
163 M(I - E + 1) = FG
164 PRINT " F.DE L'IRRA.H";M(I -
E + 1)
165 PRINT " L'ORDRE DU JOUR ";J
166 NEXT I
167 FOR JK = 1 TO P - E + 1
170 S = S + M(JK)
180 V = V + F(JK)
190 FA = M(JK) * F(JK)
200 Z = Z + FA
210 FC = F(JK) * F(JK)
220 W = W + FC
221 NEXT JK
230 FK = V * V
240 FM = S / N
250 LK = N * W - FK
260 CA = (N * Z - V * S) / LK
270 CB = (S * W - V * Z) / LK
290 FOR JK = 1 TO P - E + 1
300 RN = CA * F(JK) + CB
305 PRINT " F. D'IRRA. ESTIMEE="
;RN
306 PRINT JK
310 RD = (RN - FM) ^ 2
320 Y = Y + RD
330 RB = (M(JK) - FM) ^ 2
340 T = T + RB
360 SC = (M(JK) - RN) ^ 2

```

(31)

```
370 U = U + SC
371 NEXT JK
380 SR = U / N
381 CP = Y / T
390 PRINT "CONSTANTE="; A
392 PRINT "CONSTANTE="; B
400 PRINT "R^2="; CP
410 PRINT "ECART-RESIDU="; SR
```

CONCLUSION

Au cours de ce travail nous avons étudié les modèles de PERRIN de BRICHAMBAUT et PAGE.

Le modèle de PERRIN de BRICHAMBAUT nous a permis de reconstituer l'irradiation globale en ALGERIE. L'écart observé entre les courbes théoriques et expérimentales est dû au trouble atmosphérique qui est donné par valeurs mensuelles.

Pour une bonne estimation du trouble, le modèle permettra d'approcher plus finement l'évolution des composantes du rayonnement solaire.

Quant au modèle de PAGE, il suffirait de le tester sur tous les mois, avec des données cumulées sur plusieurs années au minimum 16 années pour pouvoir juger sa validité.

Il serait intéressant aussi à partir de ces deux modèles de reconstituer les valeurs manquantes dans les séries de mesure dont nous disposons.

Une comparaison des résultats de ces deux modèles sur des cas précis peut-être faite, bien que difficile car les descriptions de ces modèles ne sont pas toujours explicites.

Quant à l'efficacité des modèles on ne doit comparer que ce qui est comparable c'est-à-dire les modèles qui se fixent les mêmes objectifs.

Connaissant l'énergie sur un plan horizontal, il serait intéressant d'estimer l'énergie sur plan d'orientation et d'inclinaison quelconque. De cette façon on arrivera à une meilleure connaissance du gisement solaire et par conséquent de dimensionner les systèmes solaires.

.../...

- I_0 constante solaire.
 δ déclinaison solaire
 j ordre du jour dans l'année
 L latitude.
 W angle horaire.
 W_s angle solaire au lever relatif à une surface horizontale.
 W'_s angle solaire au lever relatif à une surface inclinée orientée vers l'équateur.
 W_{sr} angle solaire au lever relatif à une surface inclinée d'orientation quelconque.
 W_{ss} angle solaire au coucher relatif à une surface inclinée d'orientation quelconque.
 T_s heure solaire au lever et au coucher du soleil.
 α angle d'azimut relatif à une surface horizontale.
 α_0 angle d'azimut relatif à une surface inclinée orientée vers l'équateur.
 γ angle d'azimut relatif à une surface inclinée.
 β inclinaison de la surface inclinée par rapport à la surface horizontale.
 h hauteur angulaire relative à une surface horizontale.
 h_0 hauteur angulaire relative à une surface inclinée orientée vers l'équateur.
 h' hauteur angulaire relative à une surface inclinée d'orientation quelconque.
 I_{0R} composante normale du flux solaire en dehors de l'atmosphère terrestre.
 relatif à une surface horizontale.
 I_{0p} flux solaire en dehors de l'atmosphère terrestre relatif à une surface inclinée orientée vers l'équateur.
 I_{0p}' flux solaire en dehors de l'atmosphère terrestre relatif à une surface inclinée d'orientation quelconque.
 H_0 irradiation journalière en dehors de l'atmosphère terrestre relative à une surface horizontale.
 H_{0p}' irradiation journalière en dehors de l'atmosphère terrestre relative à une surface inclinée d'orientation quelconque.

- HOP Irradiation journalière en dehors de l'atmosphère terrestre relative à une surface inclinée orientée vers l'équateur.
- C_p puissance solaire absorbée par la vapeur d'eau.
- m masse atmosphérique.
- \bar{w} hauteur d'eau condensable.
- P Pression atmosphérique.
- P_{vs} Pression de vapeur d'eau saturante au sol.
- T coefficient de trouble de VALKÖ
- B coefficient de trouble d'ANGSTRÖM
- $\overline{\sin h}$ moyenne journalière de $\sin h$.
- I_0 Rayonnement solaire direct
- \bar{I}_{bc} flux solaire direct par ciel clair.
- \bar{I}_{dc} flux solaire diffus par ciel clair.
- \bar{H}_{bc} irradiation journalière directe par ciel clair.
- \bar{H}_{dc} irradiation journalière ^{diffus} globale par ciel clair.
- \bar{H}_{nc} irradiation journalière globale par ciel clair
- n_p concentration de poussières
- \bar{G} coefficient de transmission moyen de l'atmosphère par ciel clair
- SS durée d'insolation expérimentale.
- SS_0 durée du jour.
- f fraction d'insolation.
- R coefficient de corrélation.
- \bar{G}_r écart résiduel
- S éclaircissement énergétique
- D rayonnement diffus.
- G rayonnement global.

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

- (1) - A.A. Sfeir, G.GUARRACINO
Ingenierie des systèmes solaire
Editions Technique et Documentaire, PARIS 1981
- (2) - Ch.PERRIN de BRICHAMBAUT,PERRE DIAZ
Trouble Atmosphérique et Rayonnement diffus.
Batiment -Energie n°37 -Février-Mars 1985
- (3) - J.R. VAILLANT
Utilisation et promesse de l'énergie solaire
- (4) - Extraterrestrial solar irradiation
- The natural energy balance of the earth
- Solar radiation under cloudy skies
- (5) - Contribution de l'évaluation statistique de l'irradiation globale
disponible à Bouzaréah
Projet de fin d'étude soutenu à l'EN.P en Juin 84
- (6) - R.BERNARD,GMENGUY,M.SCHWARTZ
Le rayonnement solaire
Conversion thermique et applications
- (7) - J.A.DUFFIN And W.A. BECKMAN
Solar Engineering of thermal processes
J.WILLEN and JO NEY-WORK 1974
- (8) - Claude DEMORME - Christophe DELORME
Les reconstitutions des données d'ensoleillement à partir des données
météorologiques courantes.
Entropie n°96 P.14 à 23, AOUT 1981
- (9) - O.N.M.
Relevé mensuel des irradiances globale
diffuse et la durée d'insolation de 1979 à 1982
Office Nationale de la Météorologie.
- (10) - Mostefa BOUDIAF Ing. à E.P.A.U.
Recueil des données météorologiques à l'usage des Architectes (MARS 84)
- (11) - C.E.R.I.
DATA PROGRAMME N° 4 FEV 81
Centre d'Etudes et de Recherche en Informatique - Oued-Smar.

25/85

المدرسة الوطنية للعلوم الهندسية
المكننة

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
BIBLIOTHÈQUE

ANNEE

Modelisation des
composantes du
Rayonnement solaire.

Proposé Par:
A. Maafi

etudié Par:
L. Essid
O. Mehenni

Jun 85

-1.

I. CALCUL DE L'ANGLE SOLAIRE AU LEVER ET AU COUCHER
DANS LE CAS D'UNE SURFACE INCLINEE D'ORIENTATION
QUELCONQUE.

En posant $h' = 0$ dans la relation (6.I) on obtient l'équation suivante :

$$(\cos \delta \sin p \sin \gamma) \sin w + (\cos \delta \cos L \cos p + \cos \delta \sin L \sin p \cos \gamma) \cdot \cos w + (\sin \delta \sin L \cos p - \sin \delta \cos L \sin p \cos \gamma) = 0 \quad (1.I)$$

En posant :

$$A = \cos \delta \sin p \sin \gamma$$

$$B = \cos \delta \cos L \cos p + \cos \delta \sin L \sin p \cos \gamma$$

$$C = \sin \delta \sin L \cos p - \sin \delta \cos L \sin p \cos \gamma$$

L'équation (1.I) devient :

$$A \sin w + B \cos w + C = 0$$

afin d'obtenir une équation homogène du second degré en w on établit les modifications suivantes :

$$A \sin (2(w/2)) + B \cos w + C = 0$$

$$2A \cos (w/2) \sin (w/2) + B \cos w + C = 0$$

$$2A \sqrt{(1 + \cos w)/2} \cdot \sqrt{(1 - \cos w)/2} + B \cos w + C = 0$$

Après simplification on trouve :

$$(B^2 + A^2) \cos^2 w + 2BC \cos w + (C^2 - A^2) = 0$$

La résolution de l'équation du second degré nous donne :

$$\cos w = \frac{-BC \pm \sqrt{A^4 + A^2 B^2 - A^2 C}}{B^2 + A^2}$$

en posant $x^2 = B^2/A^2$ et $y^2 = C^2/A^2$

on aura: $\cos w = \frac{-xy \pm \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1}$

où $x = \frac{\cos L}{\sin \delta \operatorname{tg} \rho} + \frac{\sin L}{\operatorname{tg} \delta}$

et $y = \operatorname{tg} \delta \left(\frac{\sin L}{\sin \delta \operatorname{tg} \rho} - \frac{\cos L}{\operatorname{tg} \delta} \right)$

Pour $\delta > 0$, il s'agit d'une surface orientée vers L'OUEST on a alors :

$w_{sr} = -\min \left(w_s, \operatorname{ARC} \cos \left(\frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right)$

$w_{ss} = +\min \left(w_s, \operatorname{ARC} \cos \left(\frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right)$

Dans le cas d'une surface orientée vers L'EST, on a :

$w_{sr} = -\min \left(w_s, \operatorname{ARC} \cos \left(\frac{-xy + \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right)$

$w_{ss} = +\min \left(w_s, \operatorname{ARC} \cos \left(\frac{-xy - \sqrt{x^2 - y^2 + 1}}{x^2 + 1} \right) \right)$

II CALCUL DE L'IRRADIATION JOURNALIERE DANS LE CAS D'UNE SURFACE HORIZONTALE.

L'irradiation journalière (H_0) est définie comme suit :

$$H_0 = \int_{(TS) \text{ lever}}^{(TS) \text{ coucher}} I_0 \sin h d(TS) \quad (2 \text{ II})$$

qui peut s'écrire :

$$H_0 = \int_{-w_s}^{+w_s} \sinh \frac{d(Ts)}{dw} dw$$

Puisque I_0 ne varie pratiquement pas sur une journée ;
 en remplaçant \sinh par son expression dans (1. II) on a :

$$H_0 = I_0 \int_{-w_s}^{+w_s} (\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos w) \frac{d(Ts)}{dw} dw$$

on obtient après intégration :

$$H_0 = 2 I_0 \cos L \cos \delta (\sin w_s - w_s \cos w_s) \cdot \frac{d(Ts)}{dw}$$

où w_s est donné par la relation (7. I)

sachant qu'une heure (soit 3600 secondes) correspond à un
 angle w de 15° ou $\frac{\pi}{12}$ radians d'où :

$$\frac{d(Ts)}{dw} = \frac{3600 \text{ secondes/radian}}{\frac{\pi}{12}}$$

donc
$$H_0 = \left(\frac{24 \cdot 3600}{\pi} \right) I_0 \cos L \cos \delta \left(\sin w_s - \frac{\pi \cdot w_s}{180} \cos w_s \right)$$

avec H_0 exprimée en Joules / m² (J/m²)

MOYENNES MENSUELLES DU TROUBLE ATMOSPHERIQUE (T)
DE VALKÖ.

LE TABLEAU SUIVANT DONNE LES MOYENNES MENSUELLES
DU TROUBLE ATMOSPHERIQUE (T) DE VALKÖ MESUREES POUR
LES 5 SITES :
ALGER - ORAN - BECHAR - BENI-ABBES - TAMANRASSET .

Tableau 1

	ALGER	ORAN	BECHAR	BENI-ABBES	TAMANRASSET
JANVIER	2.7	2.58	2.28	2.50	2.24
FEVRIER	3	2.72	2.40	2.62	2.35
MARS	3	3.01	2.65	2.88	2.56
AVRIL	3.6	3.40	2.99	3.23	2.83
MAI	3.9	3.80	3.31	3.57	3.08
JUIN	4.2	4.08	3.55	3.82	3.27
JUILLET	4.5	4.27	3.71	3.99	3.41
AOUT	4.5	4.21	3.66	3.95	3.39
SEPTEMBRE	4	3.94	3.43	3.71	3.22
OCTOBRE	3.6	3.51	3.06	3.33	2.91
NOVEMBRE	3.2	3.05	2.66	2.91	2.57
DECEMBRE	2.7	3.72	2.40	2.64	2.35

MOYENNES DECADEAIRES DE L'IRRADIATION DIRECTE THEORIQUE

LE TABLEAU SUIVANT DONNE LES MOYENNES DECADEAIRES DE L'IRRADIATION DIRECTE CALCULEES A PARTIR DU MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT POUR DIFFERENTES LATITUDES.

fig (8, V)

Tableau 2

MOIS LATITUDES	2°	5°	10°	20°	60°
JANVIER	2271.8	2169.2	1984.8	1575.1	40.8
	2299.7	2201.1	2023.1	1623.2	61.3
	2342.7	2251.1	2083.7	1700.9	103.5
FEVRIER	2297.1	2216.9	2067.8	1718.2	154.0
	2349.5	2280.4	2148.6	1828.3	248.2
	2395.2	2337.7	2224.3	1936.2	362.9
MARS	2451.8	2396.4	2306.4	2060.5	526.3
	2479.6	2445.4	2381.1	2188.8	723.2
	2493.2	2482.4	2446.8	2303.3	960.4
AVRIL	2302.8	2310.3	2303.9	2219.9	1077.8
	2290.6	2313.5	2333.3	2301.4	1314.3
	2264.9	2303.8	2348.6	2366.7	1549.7
MAI	2144.8	2193.9	2258.3	2321.3	1683.9
	2109.5	2169.4	2253.1	2355.4	1879.3
	2163.3	2142.7	2242.3	2378.8	2051.8
JUIN	1960.3	2033.8	2142.1	2248.9	2080.8
	1942.2	2019.4	2134.1	2305.5	2156.3
	1935.4	2013.9	2131.1	2307.6	2183.6
JUILLET	1860.8	1936.2	2048.3	2215.4	2061.4
	1877.6	1949.6	2055.7	2209.6	1992.9
	1905.2	1971.3	2066.8	2197.5	1874.7
AOÛT	1939.3	1997.0	2077.8	2176.7	1717.0
	1974.4	2021.1	2084.4	2146.0	1537.2
	2006.0	2041.2	2082.9	2099.6	1327.1
SEPTEMBRE	2186.4	2193.2	2212.1	2179.9	1217.2
	2183.1	2190.3	2163.8	2101.3	993.1
	2181.3	2173.0	2140.8	2008.3	778.3
OCTOBRE	2279.9	2259.7	2200.6	2015.1	642
	2241.3	2213.9	2130.2	1899.2	462
	2192.6	2155.3	2048.8	1775.3	307
NOVEMBRE	2258.7	2211.4	2079.8	1761.4	220.6
	2203.5	2149.1	2000.8	1654.6	134.6
	2152.7	2092.6	1931.4	1563.8	78.7
DECEMBRE	2268.1	2201.1	2023.1	1623.2	61.3
	2238.9	2169.2	1984.8	1575.1	40.8
	2226.1	2155.2	1968.2	1554.4	33.0

MOYENNES DECADAIRES DE L'IRRADIATION DIFFUSE THEORIQUE

LE TABLEAU SUIVANT DONNE LES MOYENNES DECADAIRES DE L'IRRADIATION DIFFUSE CALCULEES A PARTIR DU MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT POUR DIFFERENTES LATITUDES .

fig (9, V)

Tableau 3

MOIS LATITUDES	2°	5°	10°	20°	60°
JANVIER	300.2	292.6	278.9	247.7	55.5
	301.7	294.5	281.4	251.4	64.3
	304.1	297.4	285.3	257.3	78.6
FEVRIER	340.9	334.4	322.4	294.2	108.3
	344.1	338.6	328.3	303.4	132.4
	346.9	342.4	333.8	312.4	156.8
MARS	350.6	346.4	339.8	322.6	186.3
	352.3	349.8	345.5	333.2	217.5
	353.2	352.6	350.7	342.8	251.1
AVRIL	424.3	425.4	426.0	422.4	341.7
	423.8	426.6	429.8	431.7	379.2
	422.5	426.7	432.7	439.7	414.8
MAI	455.7	461.7	461.5	483.6	484.9
	453.3	460.7	471.7	489.3	516.5
	416.3	459.3	472.3	493.8	544.1
JUIN	483.3	493.3	508.7	535.2	608.4
	481.8	492.4	508.6	537.1	621.9
	481.3	492.1	508.5	537.8	566.5
JUILLET	516.18	527.5	545.1	575.6	667.3
	517.6	528.4	545.1	573.7	653.7
	519.9	526.8	544.9	570.2	630.5
AOUT	522.8	531.4	544.4	565.2	599.3
	525.6	532.7	543.1	558.7	563.5
	528.1	533.4	540.8	550.1	520.6
SEPTEMBRE	470.9	473.9	477.6	479.7	421.3
	471.5	472.7	473.4	469.3	379.7
	470.9	470.3	476.9	457.6	336.9
OCTOBRE	422.3	420.2	415.3	400.4	264.8
	419.8	416.1	408.6	388.3	227.3
	416.5	411.2	400.9	375.4	189.9
NOVEMBRE	366.7	360.7	349.6	322.6	138.5
	363.4	356.3	343.4	312.9	113.2
	360.1	352.1	337.8	304.5	92.2
DECEMBRE	310.7	294.5	281.4	251.4	64.26
	300.2	292.6	278.9	247.7	55.5
	299.6	291.8	277.8	246.1	51.7

MOYENNES DECADAIRES DE L'IRRADIATION GLOBALE THEORIQUE

LE TABLEAU SUIVANT DONNE LES MOYENNES DECADAIRES DE L'IRRADIATION GLOBALE CALCULEES A PARTIR DU MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT . POUR DIFFERENTES LATITUDES .

fig (10, V)

Tableau 4

MOIS LATITUDES	2°	5°	10°	20°	60°
JANVIER	2572.1 2601.4 2646.8	2461.7 2495.6 2548.5	2263.7 2304.4 2368.9	1822.8 1874.6 1958.2	96.3 125.6 182.1
FEVRIER	2638.0 2693.6 2742.1	2551.4 2619.0 2680.1	2390.3 2476.9 2558.2	2012.4 2131.7 2248.6	262.3 380.6 519.7
MARS	2802.5 2831.9 2846.4	2742.7 2795.2 2835.0	2646.3 2726.7 2797.6	2383.1 2522.1 2646.1	712.6 940.7 1211.6
AVRIL	2727.2 2714.4 2687.4	2735.8 2740.1 2730.6	2730.0 2763.1 2781.3	2642.3 2733.1 2806.5	1419.6 1693.5 1964.5
MAI	2600.5 2562.8 2579.6	2655.7 2630.1 2602.0	2674.8 2724.8 2714.6	2804.8 2844.7 2872.7	2168.9 2395.8 2595.9
JUIN	2443.6 2424.0 2416.8	2527.1 2511.8 2506.0	2650.8 2642.9 2639.8	2834.2 2842.6 2845.4	2689.3 2778.2 2811.1
JUILLET	2377.1 2395.2 2425.2	2463.7 2478.0 2501.2	2593.4 2600.8 2611.7	2791.0 2783.4 2767.8	2728.7 2646.7 2505.2
AOUT	2462.1 2499.0 2534.1	2528.4 2553.8 2574.7	2622.2 2627.5 2623.7	2741.9 2704.7 2649.7	2316.3 2100.6 1847.8
SEPTEMBRE	2658.4 2654.6 2652.3	2667.2 2663.0 2643.4	2689.7 2657.2 2608.8	2659.6 2570.7 2465.9	1638.7 1372.7 1115.4
OCTOBRE	2706.3 2673.3 2625.9	2679.8 2630.0 2566.5	2615.9 2538.7 2449.2	2415.0 2287.1 2150.7	907.7 689.5 497.7
NOVEMBRE	2647.5 2592.2 2578.7	2572.1 2505.4 2444.9	2429.4 2344.2 2269.3	2084.1 1967.5 1868.4	359.1 247.8 170.9
DECEMBRE	2601.4 2572.1 2559.1	2495.6 2461.8 2446.9	2304.4 2263.7 2245.9	1874.6 1822.8 1800.5	125.6 96.3 85.0

MOYENNES MENSUELES DE L'IRRADIATION GLOBALE THEORIQUE

LE TABLEAU SUIVANT DONNE LES MOYENNES MENSUELLES DE L'IRRADIATION GLOBALE CALCULEES A PARTIR DU MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT POUR 5 SITES .

fig (3, 4, 5, 6, 7 V)

Tableau 5

GLOBAL THEORIQUE (J. cm ⁻²)	ALGER	ORAN	BECHAR	BENI-ABBES	TAMANRASSET
JANVIER	1097.8	1182.8	1410.6	1443.3	1842.6
FEVRIER	1414.8	1521.6	1746.4	1769.5	2136.9
MARS	1963.1	2016.1	2220.9	224.1	2522.4
AVRIL	2440.2	2511.8	2676.1	2652.9	2850.8
MAI	2813.5	2845.6	2971.0	2921.0	3023.4
JUIN	2961.2	2983.8	3082.5	3018.5	3066.1
JUILLET	2877.6	2920.7	3025.8	2964.2	3024.5
AOUT	2616.9	2683.2	2822.8	2777.5	2912.2
SEPTEMBRE	2231.3	2279.9	2463.4	2444.7	2680.2
OCTOBRE	1713.2	1782.7	1998.8	2004.8	2333.9
NOVEMBRE	1256.7	1341.5	1570.9	1595.0	1779.5
DECEMBRE	1037.1	1103.7	1330.4	1362.2	1766.9

MOYENNES DECADAIRES DE L'IRRADIATION GLOBALE THEORIQUE

LE TABLEAU SUIVANT DONNE LES MOYENNES DECADAIRES DE L'IRRADIATION GLOBALE CALCULEES A PARTIR DU MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT POUR DIFFERENTES VALEURS DU TROUBLE ATMOSPHERIQUE (T) DE VALKÖ ET CE POUR LE SITE D'ALGER

fig(12, V)

Tableau 6

	T-1	T	T+1	T+4
JANVIER	1163.4 1227.9 1334.6	1022.7 1082.1 1180.5	923.5 978.3 1069.3	800.6 844.9 919.1
FEVRIER	1423.1 1586.3 1753.6	1272.5 1424.4 1580.6	1163.2 1304.7 1450.6	1014.3 1131.8 1253.9
MARS	1957.1 2170.9 2398.2	1771.2 1972.1 2186.0	1629.4 1810.3 2020.1	1404.5 1564.7 1736.9
AVRIL	2478.5 2669.3 2842.0	2282.8 2463.1 2626.4	2130.4 2309.1 2455.8	1875.5 2023.7 2158.5
MAI	2920.3 3043.9 3145.5	2710.7 2827.6 2923.6	2545.4 2656.3 2747.3	2259.7 2357.1 2437.3
JUIN	3145.1 3185.9 3200.3	2933.7 2972.2 2985.8	2766.6 2803.1 2816.1	2477.8 2510.3 2521.7
JUILLET	3119.3 3081.8 3014.4	2919.5 2884.1 2820.2	2762.6 2728.8 2668.1	2497.6 2467.5 2413.4
AOUT	2729.8 2619.0 2478.1	2729.8 2619.0 2478.1	2582.1 2476.6 2342.6	2336.9 2243.4 2124.8
SEPTEMBRE	2393.3 2217.0 2029.6	2393.3 2217.0 2029.6	2247.2 2080.1 1902.6	2005.7 1859.8 1705.5
OCTOBRE	1894.5 1700.3 1507.1	1894.5 1700.2 1507.1	1763.4 1580.4 1399.0	1558.9 1402.4 1255.1
NOVEMBRE	1381.2 1234.1 1114.6	1381.2 1234.1 1114.5	1270.1 1132.9 1021.9	1115.3 1001.1 909.3
DECEMBRE	1082.1 1022.7 997.5	1082.1 1022.7 997.5	978.3 923.5 900.3	844.9 800.6 781.8

MOYENNES DECAIRES DE L'IRRADIATION GLOBALE, DIFFUSE ET DE LA DUREE D'INSOLATION

LE TABLEAU SUIVANT DONNE LES MOYENNES JOURNALIERES ESTIMEES A PARTIR DES VALEURS DECAIRES DE L'IRRADIATION GLOBALE, DIFFUSE ET D'INSOLATION MEASUREES POUR LE SITE DE DAR. EL. BEIDA DURANT LA PERIODE 1979 à 1982.

fig (2, V)

Tableau 7

MOIS		1 ^{er} decade	2 ^e decade	3 ^e decade
JANVIER	irrad. Globale (J/cm ²)	831.4	728.3	896.53
	irrad. diffuse (J/cm ²)	307.6	363.1	386.9
	durée d'insolation (h/10)	58.9	42.8	56.7
FEVRIER	irrad. Globale (J/cm ²)	1074.0	961.7	1100.1
	irrad. diffuse (J/cm ²)	428.1	484.5	588.2
	durée d'insolation (h/10)	68.9	43.5	46.1
MARS	irrad. Globale (J/cm ²)	1408.1	1467.3	1524.5
	irrad. diffuse (J/cm ²)	564.0	605.8	730.8
	durée d'insolation (h/10)	70.6	66.8	61.4
AVRIL	irrad. Globale (J/cm ²)	1706.4	1612.6	1893.8
	irrad. diffuse (J/cm ²)	728.4	732.0	629.2
	durée d'insolation (h/10)	73.5	59.3	78.2
MAI	irrad. Globale (J/cm ²)	1910.0	2266.1	1996.5
	irrad. diffuse (J/cm ²)	770.8	757.0	829.8
	durée d'insolation (h/10)	78.3	91.8	78.8
JUIN	irrad. Globale (J/cm ²)	2242.1	2317.1	2365.3
	irrad. diffuse (J/cm ²)	803.1	752.5	689.9
	durée d'insolation (h/10)	97.2	108.2	102.8
JUILLET	irrad. Globale (J/cm ²)	2266.3	2360.3	2334.6
	irrad. diffuse (J/cm ²)	906.2	670.8	764.0
	durée d'insolation (h/10)	106.9	108.0	116.3
AOÛT	irrad. Globale (J/cm ²)	2222.7	2202.9	1882.6
	irrad. diffuse (J/cm ²)	799.7	697.7	631.8
	durée d'insolation (h/10)	100.0	106.2	83.4
SEPTEMBRE	irrad. Globale (J/cm ²)	1699.6	1709.5	1507.4
	irrad. diffuse (J/cm ²)	612.5	483.8	637.4
	durée d'insolation (h/10)	76.2	85.6	68.5
OCTOBRE	irrad. Globale (J/cm ²)	1443.4	140.1	1156.8
	irrad. diffuse (J/cm ²)	553.5	391.5	378.6
	durée d'insolation (h/10)	66.9	69.7	58.6
NOVEMBRE	irrad. Globale (J/cm ²)	1093.7	899.1	873.6
	irrad. diffuse (J/cm ²)	382.4	393.6	384.3
	durée d'insolation (h/10)	66.7	51.1	55.2
DECEMBRE	irrad. Globale (J/cm ²)	841.7	746.1	694.7
	irrad. diffuse (J/cm ²)	350.0	333.8	338.6
	durée d'insolation (h/10)	52.1	53.3	41.4

MOYENNES MENSUELLES DE L'IRRADIATION
GLOBALE MESUREES

Le TABLEAU SUIVANT DONNE LES MOYENNES MENSUELLES
DE L'IRRADIATION GLOBALE MESUREES POUR 5 SITES :

ALGER - ORAN - BECHAR - BENI-ABBES - TAMANRASSET
fig (3, 4, 5, 6, 7 V) Tableau 8

	ALGER	ORAN	BECHAR	BENI-ABBES	TAMANRASSET
JANVIER	788.4	936	1447.2	1375.2	1825.2
FEVRIER	1069.2	1252.8	1713.6	1792.8	2210.4
MARS	1486.8	1850.4	2199.6	2271.6	2264.4
AVRIL	1767.6	2124	2458.8	2426.4	2818.8
MAI	2163.6	2307.6	2602.8	2808	2592
JUIN	2581.2	2700	2828	2937.6	2613.6
JUILLET	2538	2260.4	2678.4	2635.2	2635.2
AOUT	2289.6	2415.6	2451.6	2559.6	2595.6
SEPTEMBRE	1843.2	2055.6	2206.8	2252.8	2407.2
OCTOBRE	1198.8	1400.4	1846.8	1746.8	2206.8
NOVEMBRE	979.2	993.6	1458	1454.4	1868.4
DECEMBRE	741.6	802.8	1389.6	1245.6	1612.8