

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : ELECTRONIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

CONTRIBUTION A L'EVALUATION
STATISTIQUE DE L'IRRADIATION
GLOBALE DISPONIBLE A BOUZAREAH

Proposé par :

A. MAAFI

Etudié par :

D. AMRANI
S. BOUBEKEUR

Dirigé par :

A. MAAFI



PROMOTION :

JUIN 1984



DEDICACES

A ma famille
A mes amis
A BENNIDIR. N

D. AMRANI

A mon pere
A ma famille
A mes amis
A TAKARLI. L

S. BOUBEKEUR

—○ REMERCIEMENT ○—

Nous adressons nos vifs remerciements et notre sincère reconnaissance à notre promoteur, Monsieur A. MAAFI, pour toute l'aide qu'il nous a apportée pour l'élaboration de ce travail. Que tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à notre formation, trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

— DJ. AMRANI —

— S. BOUBEKEUR —

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

CHAPITRE. I. MODELES PREVISIONNELS POUR L'EVALUATION DE L'ENERGIE SOLAIRE INCIDENTE SUR DES CAPTEURS HORIZONTAUX

- I.1. Introduction
- I.2. Notions d'astronomie
 - .2.1. La constante solaire
 - .2.2. Réperage du soleil dans la voûte céleste
 - .2.2.1. L'angle d'azimuth
 - .2.2.2. La hauteur angulaire
 - .2.2.3. La déclinaison solaire
 - .2.2.4. Heure solaire
- I.3. Evaluation de l'énergie incidente sur une surface horizontale placée en dehors de l'atmosphère
- I.4. Atténuation du rayonnement solaire par l'atmosphère terrestre.
 - .4.1. Schématisation de l'absorption atmosphérique.
 - .4.2. Schématisation de la diffusion
- I.5. Modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT et DOGNIAUX pour l'évaluation de l'irradiation globale par ciel clair
- I.6. Modèles pour l'évaluation de l'irradiation globale par ciel nuageux.

CHAPITRE II. MESURE DE L'IRRADIATION SOLAIRE GLOBALE, DIRECTE ET DE LA DUREE D'INSOLATION.

- II.1. Introduction
- II.2. Mesure de l'irradiation globale
 - .2.1 Description et principe de fonctionnement des pyranomètres
- II.3. Mesure de l'irradiation directe
 - .3.1 Description et principe de fonctionnement des pyréliomètres
- II.4. Mesure de la durée d'insolation
 - .4.1. Description et principe de fonctionnement des héliographes.

CHAPITRE III. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES D'ENERGIE SOLAIRE

- III.1. Introduction
- III.2. Les données d'énergie solaire
 - .2.1. Présentation des données
 - .2.2. Critique des données
 - .2.3. Prétraitement des données
 - .2.4. Description des données
 - .2.5. Conclusion
- III.3. Liaison entre la fraction d'irradiation globale H/H_0
et la fraction d'insolation ss/ss_0 .
 - .3.1 Méthode statistique utilisée
 - .3.1.1. Rappel succinct sur la méthode des moindres carrés
 - .3.2. Application de la méthode

- .3.3 Les résultats obtenus
- .3.4 Utilité de l'ajustement
- III.4. Ajustement analytique de la série de mesure de l'irradiation globale par une loi théorique
 - .4.1. Introduction
 - .4.2. Rappels théoriques
 - .4.2.1. Méthode d'ajustement d'une série par une loi théorique
 - .4.2.2. Loi de GALTON
 - .4.3. Application à la fraction d'irradiation H/H_0
- III.5. Etude des séquences de données journalières d'irradiation globale
 - .5.1. Introduction
 - .5.2. Méthode utilisée
 - .5.3. Rappels théoriques
 - .5.3.1. Probabilité conditionnelle
 - .5.3.2. Théorème des probabilités composées
 - .5.4. Résultats obtenus
 - .5.5. Etude de diverses hypothèses de liaison entre les mesures journalières d'irradiation globale.
- III.6. Etude des courbes de fréquences cumulées
 - .6.1. Introduction
 - .6.2. Obtention des courbes de fréquences cumulées
 - .6.3. Lissage des courbes de fréquences cumulées
 - .6.4. Résultats obtenus.

- III.7 Reconstitution de l'irradiation globale par ciel clair d'après le modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT

CHAPITRE IV. TRAITEMENT DE DONNEES

- IV.1. Introduction
- IV.2. Présentation de l'APPLE-II
- 2.1. Description générale du système
- 2.2. Le système de gestion DISK OPERATING SYSTEM (DOS)
- 2.3. Les fichiers
- 2.3.1. Organisation de l'information
- 2.3.2. Les fichiers à accès aléatoire
- 2.3.3. Les fichiers à accès séquentiel
- IV.3. Traitement de données
- 3.1. corrélation linéaire entre W/H_0 et ss/ss_0
- 3.1.1. Organigramme et programme de la création du fichier BETA 01
- 3.1.2. Organigramme et programme de calcul des paramètres a , b , R^2 et σ_r
- 3.2. Lissage des courbes de fréquences cumulées
- 3.3. Modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT pour l'évaluation de l'irradiation globale par ciel clair

CHAPITRE V : APPLICATION DE QUELQUES RESULTATS OBTENUS

- V.1. Les problèmes posés par le dimensionnement des installations

- 1.1. Les grandeurs en présence
- 1.2. La chaîne photovoltaïque
- 1.3. Estimation de l'apport énergétique solaire
- V.2. Calcul du volume d'eau pompé par une station de pompage photovoltaïque
 - 2.1 Introduction
 - 2.2 Evaluation du volume d'eau pompée en moyenne sur une journée
- V.3. Dimensionnement d'une balise radio-électrique alimentée par conversion photovoltaïque.
 - 3.1. Introduction
 - 3.2. Dimensionnement du système

bibliographie

INTRODUCTION

L'expérience acquise, dans le monde, pendant ces dernières années montre qu'il est possible, dès maintenant, de satisfaire une partie des besoins énergétiques des collectivités locales ou des équipements collectifs grâce à l'énergie solaire (thermique ou photovoltaïque).

L'abondance du rayonnement solaire en ALGERIE et la nécessité de préserver les ressources fossiles placent l'énergie solaire en meilleure position pour répondre à quelques besoins d'énergie.

L'utilisation de l'énergie solaire passe nécessairement par son évaluation. En effet, le gisement solaire n'est pas seulement caractérisé 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 interdépendant avec d'autres phénomènes climatiques.

Le but de ce travail est :

- de proposer un ensemble de modèles élaborés à partir d'une analyse statistique des données de rayonnement et d'insolation.

Ces modèles permettent l'évaluation et la reconstitution de l'irradiation globale disponible à BOUZAREAH,

- d'analyser la structure probabiliste des données chronologiques

d'irradiation globale journalière.

Cette analyse fournit les bases à des calculs de dimensionnement des systèmes solaires.

- de mettre au point un logiciel se rapportant à notre étude,
- d'étudier quelques applications des résultats obtenus.

1

CHAPITRE -I

MODELES PREVISIONNELS
POUR L'EVALUATION DE
L'ENERGIE SOLAIRE INCIDENTE
SUR DES CAPTEURS HORIZONTAUX

I.1. INTRODUCTION

Le soleil est une sphère gazeuse, distant de la terre de $1496 \cdot 10^5$ km et de diamètre apparent 32 minutes d'arc.

On admet actuellement que la source d'énergie du soleil est une réaction thermonucléaire hydrogène-hélium.

Cette réaction transforme en une seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium et les 4 millions de tonnes dont le soleil est allégé à chaque seconde sont dispersés sous forme de rayonnement corpusculaire et ondulatoire.

On évalue à environ 10^{20} kilowatts-heure, l'énergie rayonnée à chaque seconde dans toutes les directions par le soleil.

La terre avec son atmosphère n'en reçoit qu'environ $3 \cdot 10^{10}$ par seconde.

I.2. NOTIONS D'ASTRONOMIE

2.1. la constante solaire

La trajectoire de la terre autour du soleil étant elliptique, il s'en suit une variation d'environ 3.34% de la distance terre-soleil et donc une variation d'environ 6.8% de l'intensité du rayonnement solaire aux confins de l'atmosphère terrestre.

La constante solaire I_0 , c'est à dire, l'intensité solaire reçue par unité de surface placée perpendiculairement aux rayons du soleil à la limite extérieure de l'atmosphère terrestre, est de : 1353 w/m^2 .

Ceci provient des mesures effectuées par satellites [1].

La variation de la distance terre-soleil entraîne une variation dans la valeur de I_0 .

2.2. repérage du soleil dans la voûte céleste

Plutôt que 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 figure (1.1) schématise le repérage du soleil qui se fait par l'intermédiaire de deux angles; l'angle d'azimuth et la hauteur angulaire.

2.2.1. L'angle d'azimuth (α): C'est l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction sud. Cet angle est mesuré positivement vers l'ouest.

2.2.2. La hauteur angulaire (h): C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa trajectoire.

Ces deux angles sont fonction de la latitude du lieu, de la date et de l'heure dans la journée.

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

2.2.3. La déclinaison solaire (δ): c'est l'angle formé par la normale au plan de l'écliptique et l'axe de rotation de la terre.

La déclinaison solaire est donnée par la relation:

$$\delta = 23.45 \sin [0.98 (j + 284)] \quad (1.1)$$

où j est l'ordre du jour dans l'année.

L'angle d'azimuth, la hauteur angulaire et la déclinaison solaire sont liés par les relations suivantes:

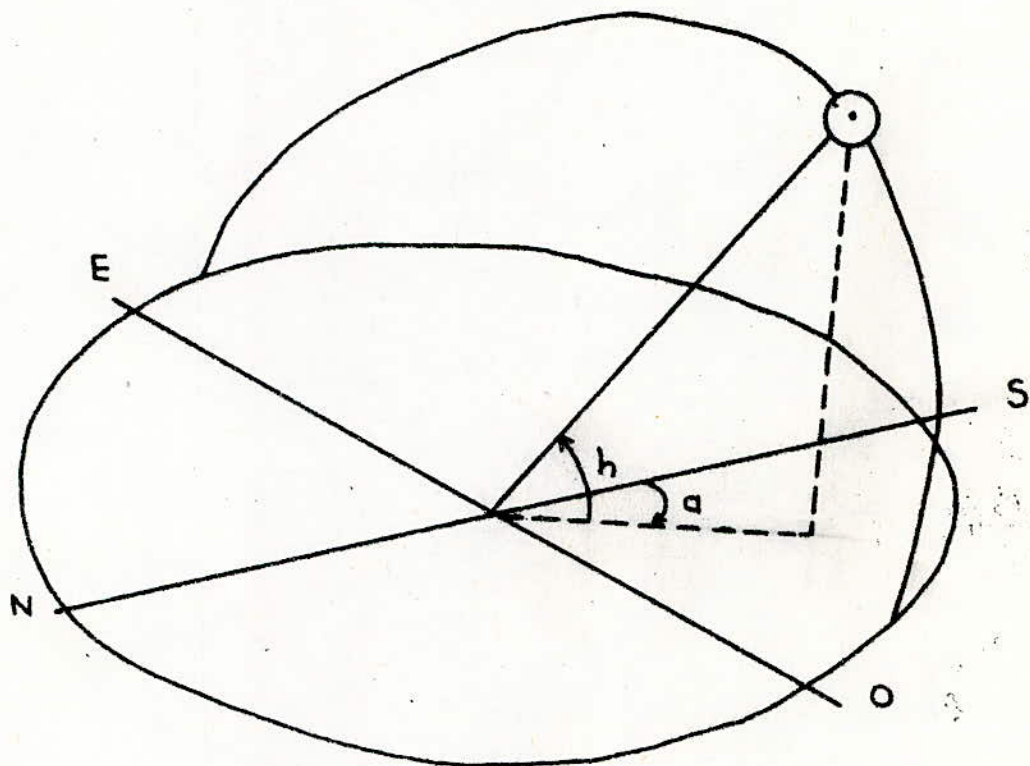


FIG (1.I): REPERAGE DU SOLEIL

$$\sin h = \sin L \cdot \sin \delta + \cos L \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \quad (2.I)$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos h} \quad (3.I)$$

où L représente la latitude du lieu et ω l'angle horaire, défini comme étant le produit du nombre d'heures de différence avec le midi solaire et 15° .

2.2.4. heure solaire au lever et au coucher du soleil: Le calcul de l'angle solaire au lever et au coucher, s'obtient en posant $h=0$ dans (2.I), on obtient alors:

$$\cos \omega_s = -\tan L \cdot \tan \delta \quad (4.I)$$

L'heure solaire au lever sera donc;

$$(T_s)_{\text{lever}} = 12 - \frac{\omega_s}{15} \quad (5.I)$$

I.3. EVALUATION DE L'ÉNERGIE INCIDENTE SUR UNE SURFACE HORIZONTALE PLACÉE EN DEHORS DE L'ATMOSPHERE

Le modèle suivant permettra l'évaluation de l'énergie solaire incidente sur une surface horizontale placée en dehors de l'atmosphère terrestre.

Le modèle dépend uniquement des paramètres astronomiques et géographiques.

Pour une date et une heure données, l'équation (2.I) donne la hauteur angulaire du soleil.

Le flux sur un plan horizontal I_{oh} étant égal à la composante normale du flux solaire, on a:

$$I_{oh} = I_o \cdot \sin h \quad (6.I)$$

l'énergie journalière H_o , reçue sur une surface horizontale

s'obtient en intégrant l'équation (6.I)

$$H_0 = \int_{(T_s)_{\text{lever}}}^{(T_s)_{\text{coucher}}} I_0 \cdot \sinh \cdot d(T_s) = \int_{-\omega_s}^{\omega_s} I_0 \cdot \sinh \cdot \frac{d(T_s)}{d\omega} \cdot d\omega$$

Puisque I_0 reste pratiquement constant sur une journée et compte tenu des relations (2.I) et (4.I) on obtient :

$$H_0 = 2 I_0 \cdot \cos L \cdot \cos \delta \cdot [\sin \omega_s - \omega_s \cos \omega_s] \cdot \frac{d(T_s)}{d\omega}$$

Sachant qu'une heure (soit 3600 secondes) correspond à un angle de 15° ou $\pi/12$ radians, ce qui donne : $\frac{d(T_s)}{d\omega} = \frac{3600}{\pi/12}$ secondes/radian

On obtient finalement :

$$H_0 = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot I_0 \cdot \cos L \cdot \cos \delta \left(\sin \omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \cos \omega_s \right) \quad (7.I)$$

I.4. ATTENUATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE PAR L'ATMOSPHERE TERRESTRE

Le rayonnement solaire subit une atténuation non négligeable par l'atmosphère.

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.

4.1. 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 MÖLLER [2];

$$Q = \exp \left[2,306(0,74 + 0,347 \lg(m\bar{w})) - 0,56(\lg(m\bar{w}))^2 - 0,006(\lg(m\bar{w}))^3 \right] \quad (8.I)$$

Q désigne la puissance solaire absorbée (en $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{min}$) par l'atmosphère à un instant donné pour une hauteur d'eau

condensable \bar{w} dans l'atmosphère et une masse atmosphérique m .
 On rappelle que m caractérise la longueur de la trajectoire des rayons lumineux dans l'atmosphère et est de l'ordre de $\frac{1}{\sinh}$.
 Pour tenir compte de l'altitude du lieu de mesure, on affine l'expression de m par :

$$m = \frac{P}{1000} \cdot \frac{1}{\sinh} \quad (9.I)$$

où P est la pression moyenne du lieu en millibars.

Si l'on ne dispose pas de radio-sondage, on estime \bar{w} à partir de la pression de vapeur saturante P_{vs} au sol par la formule de HANN [3] :

$$\bar{w} = 0.17 P_{vs} \quad (10.I)$$

Cette expression est elle-même affinée en corrigeant \bar{w} d'un certain pourcentage selon la valeur de P_{vs} :

P_{vs}	moins de 3 mb	3 à 7 mb	8 à 15 mb	15 à 25 mb	plus de 25 mb
correction	+ 5 %	+ 3 %	0	- 3 %	- 5 %

A noter que la formule de HANN, n'est valable en moyenne que sur la période d'un mois ou au moins dix jours.

4.2. schématisation de la diffusion

La diffusion est caractérisée, entre autre, par le coefficient de trouble de VALKO [3]

$$T = 2.5 + 14.8 \beta + 0.4 (1 + 2 \beta) \lg(\bar{w} \cdot \sinh) \quad (11.I)$$

Celui-ci est fonction du trouble atmosphérique β d'ANGSTRÖM et de l'épaisseur d'eau condensable.

Le coefficient de trouble β d'ANGSTRÖM est une variable climatique traduisant quantitativement la clarté du ciel. Il dépend du

site et de la période de l'année.

Lorsque les valeurs de β n'existent pas au site considéré, on pourra utiliser les valeurs approchées :

site en région rurale $\beta = 0.05$

site en région urbaine $\beta = 0.10$

site en région industrielle $\beta = 0.20$

Le $\overline{\sin h}$, représente la moyenne journalière de $\sin h$ et est calculé par la formule :

$$\overline{\sin h} = \cos L \cdot \cos \delta \cdot \frac{\sin \omega_s - (\pi/180) \omega_s \cos \omega_s}{(\pi/180) \omega_s} \quad (12. I)$$

I. 5. MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT ET DOGNIAUX POUR L'EVALUATION DE L'IRRADIATION GLOBALE PAR CIEL CLAIR

PERRIN DE BRICHAMBAUT a élaboré un modèle pour estimer la moyenne quotidienne de l'énergie du rayonnement global reçu sur un plan horizontal.

Il s'est basé dans ces travaux sur des tables d'observations et les calculs de DOGNIAUX [3].

Il a proposé les relations suivantes, pour le calcul de l'irradiation directe $\overline{H_{bc}}$ et diffuse $\overline{H_{dc}}$ par ciel clair ;

$$\overline{H_{bc}} = H_0 \exp \left\{ - (T/7.5) \left[\cos(L-\delta) \right]^{-0.75} \right\} \quad (13. I)$$

$$\overline{H_{dc}} = H_0 (T/31.6) \left[\cos(L-\delta) \right]^{-0.5} \quad (14. I)$$

Connaissant l'irradiation directe $\overline{H_{bc}}$ et diffuse $\overline{H_{dc}}$, il déduit l'irradiation globale $\overline{H_{hc}}$ en sommant les deux composantes, soit

$$\overline{H_{hc}} = \overline{H_{bc}} + \overline{H_{dc}} \quad (15. I)$$

I.6. MODELES POUR L'EVALUATION DE L'IRRADIATION GLOBALE PAR CIEL NUAGEUX

Le calcul de l'irradiation solaire par ciel couvert fait intervenir l'effet des nuages.

La couverture nuageuse en un site donnée est estimée par la mesure de l'insolation qui traduit le temps pendant lequel le soleil était visible.

Quantitativement, l'ensoleillement d'un site est exprimé par la fraction d'insolation, définie par le rapport :

$$\sigma = ss / ss_0 \quad (16.I)$$

où ss représente le nombre d'heures ensoleillées et ss_0 la durée du jour, qui est donnée par la relation :

$$ss_0 = \frac{\arccos(-\tan L \cdot \tan \delta)}{7.5} \quad (17.I)$$

L'évaluation de l'irradiation globale H par ciel nuageux à partir de la fraction d'insolation σ peut se faire par des relations de deux types :

Les relations du type d'ANGSTRÖM

$$H / H_{hc} = f(\sigma) \quad (18.I)$$

Les relations du type d'ANGSTRÖM-BLACK

$$H / H_0 = g(\sigma) \quad (19.I)$$

où f et g sont des fonctions linéaires de la forme $a\sigma + b$
 Les regressions du type ANGSTRÖM-BLACK sont généralement plus utilisées puisque H_0 ne dépend que des variables astronomiques et géographiques, les influences climatiques locales sont intégrés dans les coefficients a et b que l'on détermine expérimentalement.

A noter qu'un nombre important de lois de régression linéaire du type (19.I) a été proposé par différents auteurs. Il en ressort généralement que les coefficients a et b varient de manière non négligeable selon le site et l'intervalle de temps adopté : jour, décade, mois.

REMARQUE

Notons que les modèles étudiés dans ce chapitre ne sont pas les seules méthodes qui existent pour l'évaluation de l'irradiation globale incidente sur des capteurs horizontaux.

CHAPÎTRE -II

MESURE DE L'IRRADIATION
SOLAIRE GLOBALE, DIRECTE
ET DE LA DUREE D'INSOLATION

II. 1. INTRODUCTION

L'irradiation solaire globale et directe ainsi que la durée d'insolation sont des grandeurs physiques mesurables à l'aide d'une instrumentation simple.

II. 2. MESURE DE L'IRRADIATION GLOBALE

L'irradiation globale se mesure à l'aide d'appareils appelés PYRANOMÈTRES.

2.1. Description et principe de fonctionnement des pyranomètres.

Le principe utilisé dans ces appareils est basé sur l'effet thermoélectrique [4].

Un pyranomètre a pour récepteur une thermopile formée de 14 lamelles bimétalliques. La moitié de la longueur de chaque lamelle est en manganite l'autre moitié en constantan.

La face supérieure des lamelles est peinte en noir.

Leurs extrémités sont fixées sur des rondelles en laiton qui assurent un bon contact électrique et thermique ; figure (1. II).

Le pouvoir thermoélectrique d'un couple constantan - manganite est d'environ 38 μ V par degrés Celsius.

Sous l'effet du rayonnement solaire, la température de la thermopile s'élève et la faible conductivité thermique (environ 0.035 g/e) des lamelles fait apparaître une différence de températures entre le centre des lamelles et leurs extrémités.

Cette variation de température entraîne une force électromotrice que l'on mesure à l'aide d'un voltmètre.

On étalonne le pyranomètre préalablement et la valeur de la tension indiquera la valeur du rayonnement.

II.3. MESURE DE L'IRRADIATION DIRECTE

L'irradiation directe se mesure à l'aide d'appareils appelés PYRHÉLIOMETRE.

3.1. 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 [4].

Un autre principe basé sur la compensation électrique peut être également utilisé. On le retrouve dans le pyrhéliomètre d'ANGSTRÖM.

Celui-ci est composé d'un tube (A), au fond duquel est placé un récepteur du type thermique, composé de deux lamelles de manganèse noircie (B) et (C); figure (2. II).

L'une de ces lamelles est directement exposée au rayonnement solaire, l'autre à l'ombre. On place à l'avant du tube un diaphragme (D) pour supprimer le rayonnement diffus.

Le pyrhéliomètre est équipé d'un système de poursuite automatique du soleil qui permet de l'aligner avec le soleil.

La lamelle (B) étant exposée au rayonnement solaire et la lamelle (C) est parcourue par un courant i .

L'égalité des températures des deux lamelles 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.

La valeur du rayonnement solaire direct I_b se calcule immédiatement par la relation :

$$I_b = k i^2 \quad (1. II)$$

où k est une constante caractéristique de l'appareil.

On peut la déterminer de manière absolue, mais on l'obtient le plus souvent par étalonnage.

Le courant moyen de chauffage i est exprimé en ampère et est calculé, pour plus de précision, par $i = \frac{1}{4} (i_B + 2i_C + i_D)$.

Une mesure doit comporter ainsi au moins 3 lectures avec chaque lamelle exposée au soleil; la lamelle (B) puis (C) et enfin la lamelle (D).

II.4. MESURE DE LA DUREE D'INSOLATION

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

4.1. Description et principe de fonctionnement des héliographes.

Le principe utilisé dans ces appareils repose sur l'effet thermique ou bien actinique du rayonnement en enregistrant les traces laissées sur un papier par les rayons solaires focalisés [4].

On parlera ici de l'héliographe type CAMPBELL-STOKES qui utilise les effets thermiques du rayonnement solaire.

Il est constitué d'une sphère de verre qui concentre le rayonnement solaire sur une bande de carton spécial sur lequel la longueur de la trace obtenue correspond à la durée d'insolation.

Cet héliographe comprend; la monture mécanique, la sphère focalisante et les cartons d'enregistrements; figure (3.II).

La sphère focalisante dont l'homogénéité est absolument nécessaire a un indice de verre de 1.51 et un diamètre d'environ 10 cm.

Notons que les héliographes de CAMPBELL-STOKES ont un seuil de fonctionnement de 100 W environ.

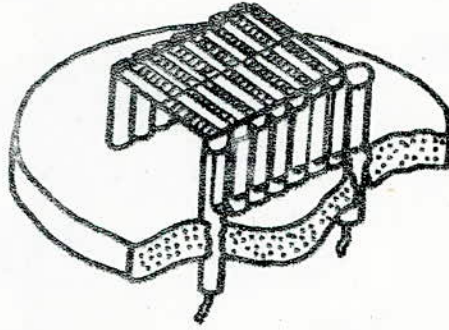


FIG (1. II): THERMOPILE DE MOLL

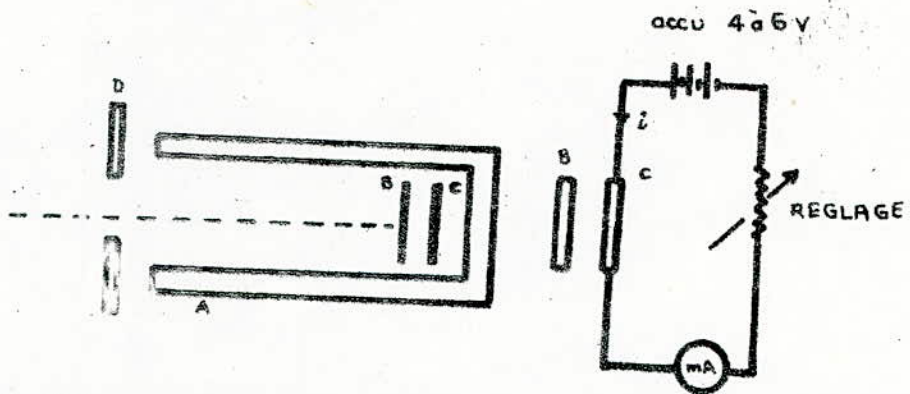


FIG (2. II): MONTAGE DU PYRHELIOMETRE D'ANGSTRÖM

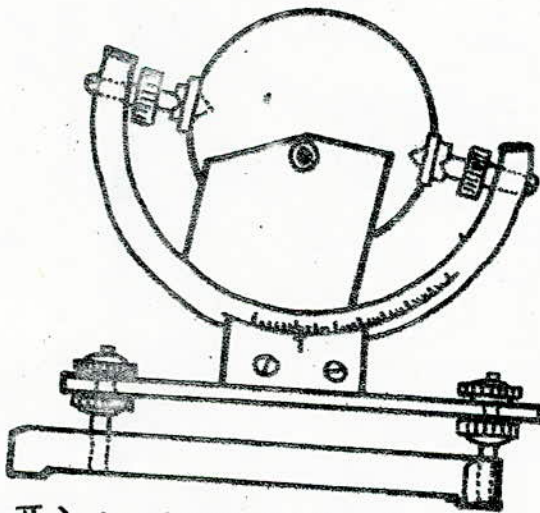


FIG (3. II): HELIOGRAPHE TYPE CAMPBELL-STOKES

CHAPITRE - III

ANALYSE STATISTIQUE DES
DONNEES D'ENERGIE SOLAIRE

III. 1. INTRODUCTION

L'étude statistique des données du rayonnement solaire est fondamentale pour calculer les systèmes destinés à utiliser l'énergie solaire; le dimensionnement des capteurs, la définition des processus de stockage,...

III. 2. LES DONNEES D'ENERGIE SOLAIRE

Une longue série de mesures est rarement homogène. En effet, elle présente parfois des manques de données et souvent sur certaines périodes des sur-estimations et des sous-estimations du phénomène mesuré.

Une critique et une description des données sont nécessaires avant toute exploitation.

2. 1. Présentation des données

On dispose des données d'énergie solaire de BOUZAREAH[5], s'étalant sur une période de cinq années, c'est-à-dire, de 1978 à 1982. Ces données sont présentées sous forme de tableaux. Sur les figures (1 et 1b.III), on peut voir un exemple de relevés de mesures de l'irradiation globale, directe et de la durée d'insolation.

L'irradiation globale et directe ainsi que la durée d'insolation sont mesurées pendant toute la journée et ceci durant toute l'année.

Les résultats de mesures du rayonnement global et direct sont donnés sous forme de valeurs intégrées sur des intervalles réguliers d'une heure et exprimées en Joule/cm^2 . La durée d'insolation est exprimée en dixième d'heure et est donnée en deux valeurs: l'une représentant la durée d'insolation le matin, l'autre le soir.

RELEVÉ MENSUEL DE RAYONNEMENT GLOBAL ET D'INSOLATION

STATION : BOUZAREAH
 LATITUDE : + 36° 48' 04"
 LONGITUDE : 0 h 12' 08" EST
 ALTITUDE : 345 m

Pyranomètre : Constructeur Nom (1) N°(2)
 Enregistreur (3) Constructeur Nom (1) N°(2)
 Intégrateur (3) Constructeur Nom (1) N°(2)
 Unité employée : /cm2 (1/cm = 0,239 cal/cm2) EPI 1956

Mois de SEPTEMBRE 1957
 INSOLATION
 Unité employée : Dixième d'heure

JOUR	RAYONNEMENT — Intervalles horaires																				INSOLATION		
	04 05	05 06	06 07	07 08	08 09	09 10	10 11	11 12	Matin	12 13	13 14	14 15	15 16	16 17	17 18	18 19	19 20	Soir	Total	Matin	Soir	Total	
1		2	7	28	84	130	127	104	537	27	89	87	47	35	11	3		355	892	—	—	—	
2		5	15	31	54	113	188	412	130	112	188	130	94	38	5			715	1107	—	—	—	
3		33	102	130	238	232	297	1108	299	281	246	194	132	51	6			1206	2316	—	—	—	
4		33	91	155	127	129	105	638	161	164	139	90	122	29	4			703	1341	—	—	—	
5		25	20	159	210	249	295	1016	290	236	149	68	29	52	3			845	1861	34	46	80	
6		12	38	73	143	221	265	759	242	179	164	169	83	18	2			840	1593	—	—	—	
7		2	11	73	146	158	239	228	857	208	130	86	60	53	22	1		565	1422	33	18	51	
8		2	28	112	169	232	277	200	1087	300	284	239	172	118	49	5		1172	2259	—	17	17	
9		26	84	158	168	176	63	668	196	158	77	94	117	52	3			686	1354	12	10	22	
10		15	42	108	208	174	271	813	307	205	219	141	117	49				1035	1848	50	50	100	
11		1	24	95	151	208	264	274	1015	284	266	214	173	69	22	1		1017	2030	25	18	53	
12		2	4	31	54	126	235	261	777	242	167	105	27	27	37	3	1	584	1261	13	26	39	
13																				37	42	81	
14																				12	10	22	
15		2	2	6	22	66	90	96	286	60	83	106	21	24	5	1		857	1556	22	—	22	
16		1	8	62	130	157	212	279	849	285	267	233	169	29	48	5		273	559	—	—	—	
17		1	7	54	55	138	251	257	744	269	255	229	175	103	14	10		1037	1886	—	—	—	
18		2	1	6	21	55	116	266	420	257	155	202	153	16	6	2		1071	1811	—	—	—	
19																			794	1264	—	—	—
20		2	5	37	60	133	146	69	452	23	2	0	72	26	13	9		145	596	—	—	—	
21		8	13	15	58	98	245	437	224	249	213	126	98	19	9			938	1335	—	—	—	
22		1	11	34	61	230	220	557	257	206	253	167	92	12	3			980	1537	—	—	—	
23			17	91	67	127	266	568	289	201	359	223	160	60	20			1300	1868	—	—	—	
24		16	75	159	222	256	274	1002	282	246	107	92	66	13				296	1298	—	42	12	
25		17	81	152	214	242	277	983	223	169	113	140	27	15	1			732	1715	18	53	71	
26		14	153	233	253	285	285	1223	254	206	243	77	7					781	2004	46	47	93	
27		33	105	174	231	270	320	1133	205	272	239	142	92	10				960	2093	40	33	73	
28																				28	35	63	
29																							
30																							
31																							
TOTAL																			31457				801
																			1578				53

Nomenclature (2) N° de l'appareil (3) Royer, la mention inutile (*) Voir annexe.

FIGURE (10. III)

T 39457

RELEVÉ MENSUEL DE RAYONNEMENT

Mois de MAI 19 8

STATION : BOUZARET
 LATITUDE : + 36° 48' 01"
 LONGITUDE : 0 h 12' 08" EST
 ALTITUDE : 345 m

Pyranomètre : Constructeur Nom (1) N°(2).....
 Enregistreur (3) Constructeur Nom (1) N°(2).....
 Intégrateur (3) Constructeur Nom (1) N°(2).....
 Unité employée : 1/cm2 (1/cm = 0,239 cal/cm2) EPI 1956

INSOLATION

Unité employée : Dixième d'heure

RAYONNEMENT — Intervalles horaires																				INSOLATION			
04	05	06	07	08	09	10	11	Matin	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Soir	Total	Matin	Soir	Total	
—	3	83	99	43	72	141	104	571	76	60	50	63	3					250	823				
—	1	4	3	2	1	6	1	25	5	3	3	1	—					12	37				
—	—	—	—	1	1	118	171	291	155	87	6	—	—					248	539				
—	8	157	164	121	157	175	256	1038	160	210	86	117	152					775	1813				
—	58	157	196	218	226	229	130	1214	114	256	188	36	1					195	1809				
—	—	—	—	2	1	15	100	116	5	—	—	—	—					5	121				
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—				
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—				
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—				
—	—	—	—	—	—	63	33	1	96	2	18	72	144	65				301	327				
																			593				
—	—	—	110	196	1	42	99	431	189	201	195	145	20					825	1251				
—	—	—	—	—	1	93	134	238	201	157	—	—	—					358	586				
—	—	1	2	3	21	43	61	137	145	129	86	106	121					478	615				
—	43	179	186	213	218	298	297	1424	304	300	284	261	124					1277	2697				
—	—	—	—	—	3	50	223	276	235	223	276	256	167					1277	1495				
—	3	137	182	221	201	233	192	1174	264	256	261	253	157					1191	2765				
—	—	7	1	12	2	148	269	459	259	151	8	12	1					421	970				
—	3	9	62	15	20	92	66	325	3	1	—	48	1					53	332				
1	3	48	175	219	232	249	235	1162	218	220	201	174	94					307	2069				
10	76	155	195	169	196	191	232	1926	209	203	201	138	2					753	1973				
																			1409				
14	103	155	196	229	225	236	240	1392	252	229	253	232	86					1062	2460				
13	63	123	164	184	84	72	162	863	114	4	7	—	—					125	990				
9	89	56	218	235	244	266	269	1536	271	167	244	226	199					1107	2643				
8	86	164	223	266	280	273	269	1569	235	235	195	199	109	2				975	2644				
—	—	—	—	1	1	—	—	2	—	—	—	—	—					0	2				
—	—	—	2	1	—	—	109	1126	160	53	94	58	25					390	5021				
—	56	131	168	184	208	193	120	1060	131	22	39	11	2					205	1265				
—	—	—	—	—	—	—	—	0	7	42	59	2	—					110	110				
—	—	19	181	226	249	240	237	11521	233	222	210	160	65					290	2642				
—	2	113	177	193	150	152	198	997	734	83	151	120	16					504	1109				
—	—	25	171	249	269	263	261	1238	273	270	266	246	172					1227	2645				
																			1652	4629			
																			3236				
																			1298				

0 nomenclature (2) N° de l'appareil (3) Rayer, la mention inutile (*) Voir annexe.

fig (16 III)

Au total plus de 30000 données sont utilisées dans notre étude.

2.2. Critique des données

En parcourant les relevés de mesures dont nous disposons, on s'aperçoit des manques de valeurs qui sont de plusieurs types: absence des valeurs à l'échelle horaire et journalière due aux mesures non prises ou à des pannes d'appareils.

Cependant, l'année 1978 constitue un cas particulier puisque sur les 12 mois, seuls les relevés des mois d'octobre, de novembre et de décembre existent. Ceci rend sans intérêt l'utilisation des données partielles de cette année dans l'analyse probabiliste et statistique.

Comme toute autre mesure, celle du rayonnement solaire peut être affectée d'erreurs systématiques et accidentelles.

Les premières peuvent provenir des instruments mal calibrés ou présentant des dérives au cours du temps.

Les secondes peuvent provenir de l'opérateur.

2.3. Prétroitemment des données.

Nous avons effectué un examen minutieux des relevés de mesures. Ainsi, nous avons éliminé, dans une première étape, toutes les mesures correspondant à des journées où le tiers des valeurs horaires est inexistant.

Nous avons ensuite, calculé les fractions d'irradiation globale H/H_0 et d'insolation SS/SS_0 pour plus de 1200 données. Ceci nous a permis de détecter et d'éliminer les mesures correspondant aux journées ayant les fractions H/H_0 ou SS/SS_0 supérieures à l'unité.

Nous avons procédé dans une dernière étape à une vérification

des totaux journaliers, décennaires et mensuels.

2.4. Description des données

Afin de décrire globalement les données utilisées, nous donnons ci-après :

- les histogrammes des totaux journaliers de l'irradiation globale par classe de 100 J/cm^2 pour les années 1979, 1980, 1981 et 1982; figures (2; 3; 4 et 5. III)
- l'histogramme des totaux journaliers de l'irradiation globale par classe de 100 J/cm^2 sur la période s'étalant de 1979 à 1982; figure (6. III).
- la variation en fonction du temps des moyennes journalières estimées à partir des valeurs décennaires de l'irradiation globale, directe et la durée d'insolation sur la période s'étalant de 1978 à 1982; figure (7. III).

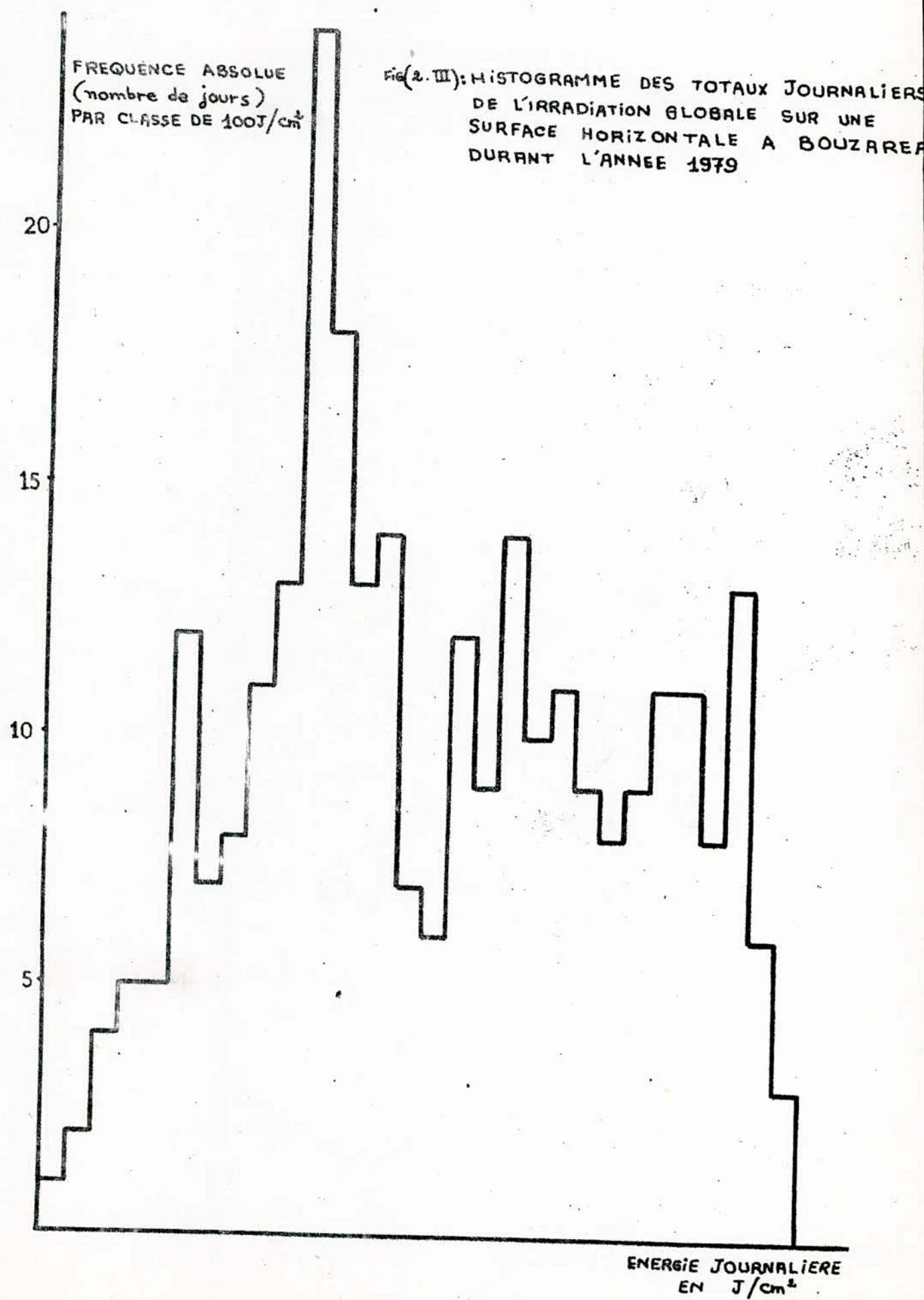
2.5. Conclusion

Ce premier examen des données nous a permis de remarquer :

- l'irrégularité d'allure des histogrammes représentant les totaux journaliers de l'irradiation globale d'une année à l'autre.
- la fluctuation saisonnière de l'énergie incidente.
- une certaine liaison entre l'irradiation globale, d'une part, avec la durée d'insolation et d'autre part, avec l'irradiation directe.

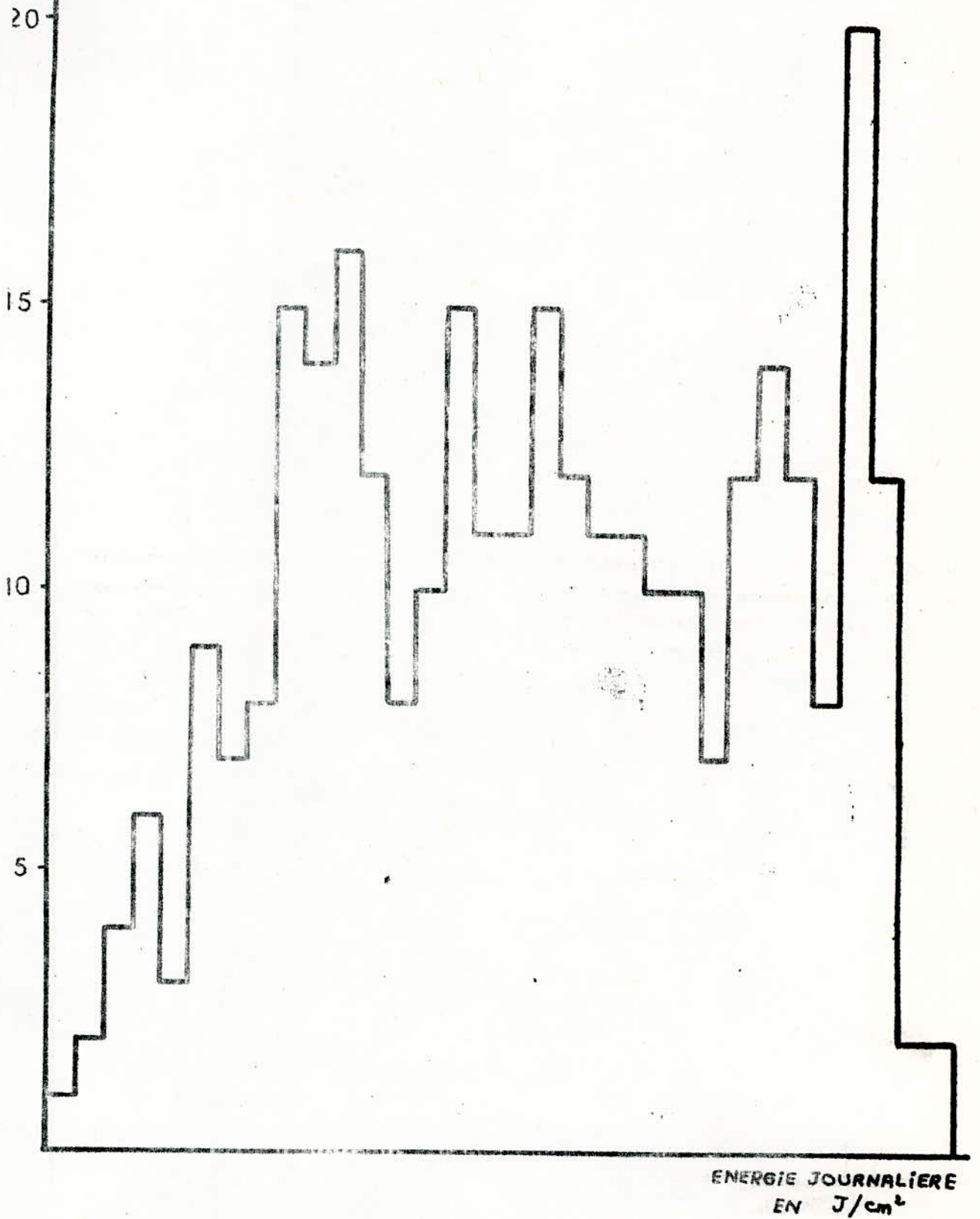
III.3. LIAISON ENTRE LA FRACTION D'IRRADIATION GLOBALE H/H_0 ET LA FRACTION D'INSOLATION S_0/S_0_0 .

Nous nous proposons d'étudier les relations statistiques entre les fractions d'irradiation globale et d'insolation à l'échelle



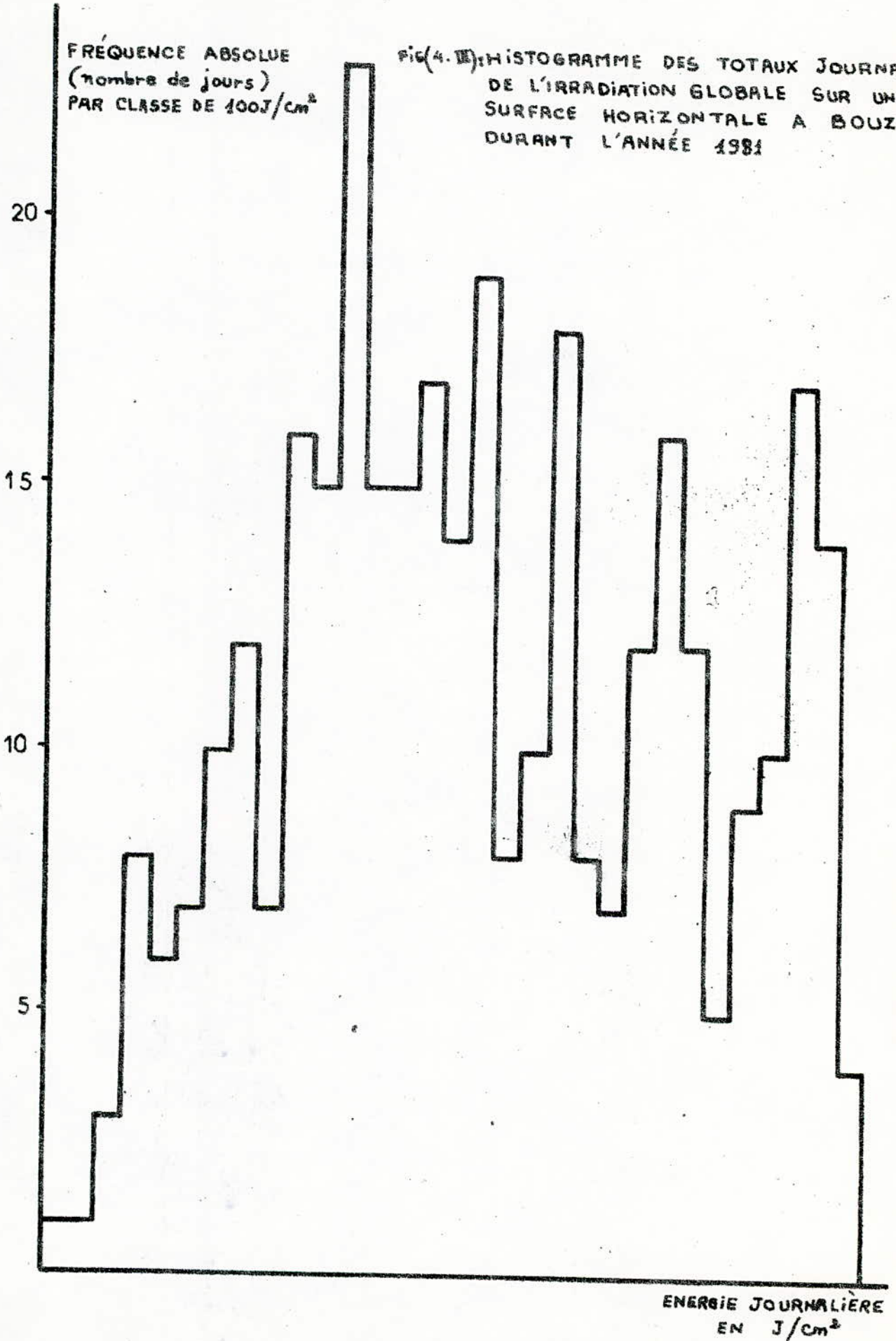
FREQUENCE ABSOLUE
(nombre de jours)
PAR CLASSE DE 100 J/cm²

FIG(3.11): HISTOGRAMME DES TOTAUX JOURNALIERS
DE L'IRRADIATION GLOBALE SUR UNE
SURFACE HORIZONTALE A BOUZAREAH
DURANT L'ANNEE 1980



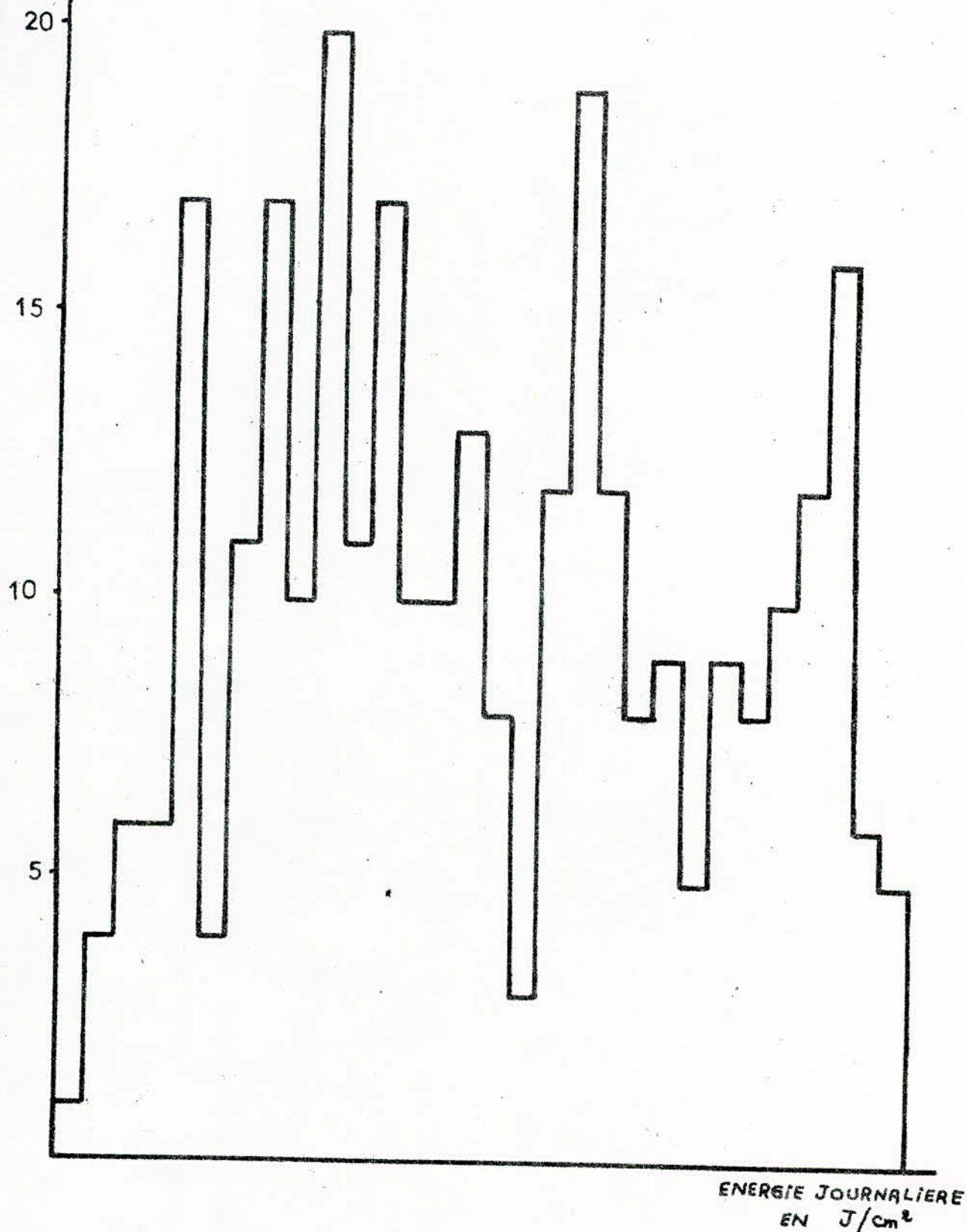
FREQUENCE ABSOLUE
(nombre de jours)
PAR CLASSE DE 100 J/cm²

FIG(4. III): HISTOGRAMME DES TOTAUX JOURNALIER
DE L'IRRADIATION GLOBALE SUR UNE
SURFACE HORIZONTALE A BOUZARE
DURANT L'ANNEE 1981



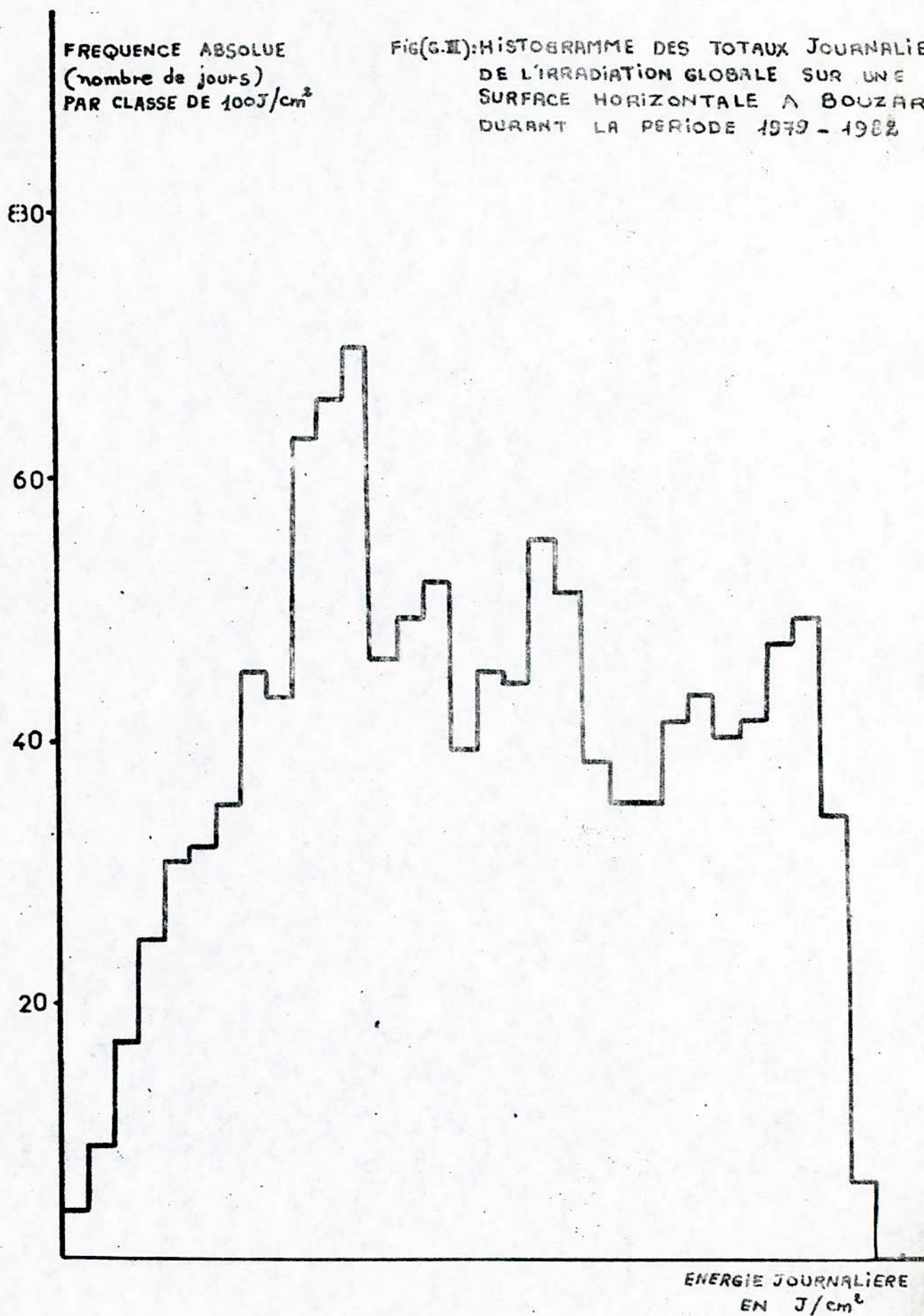
FREQUENCE ABSOLUE
(nombre de jours)
PAR CLASSE DE 100 J/cm^2

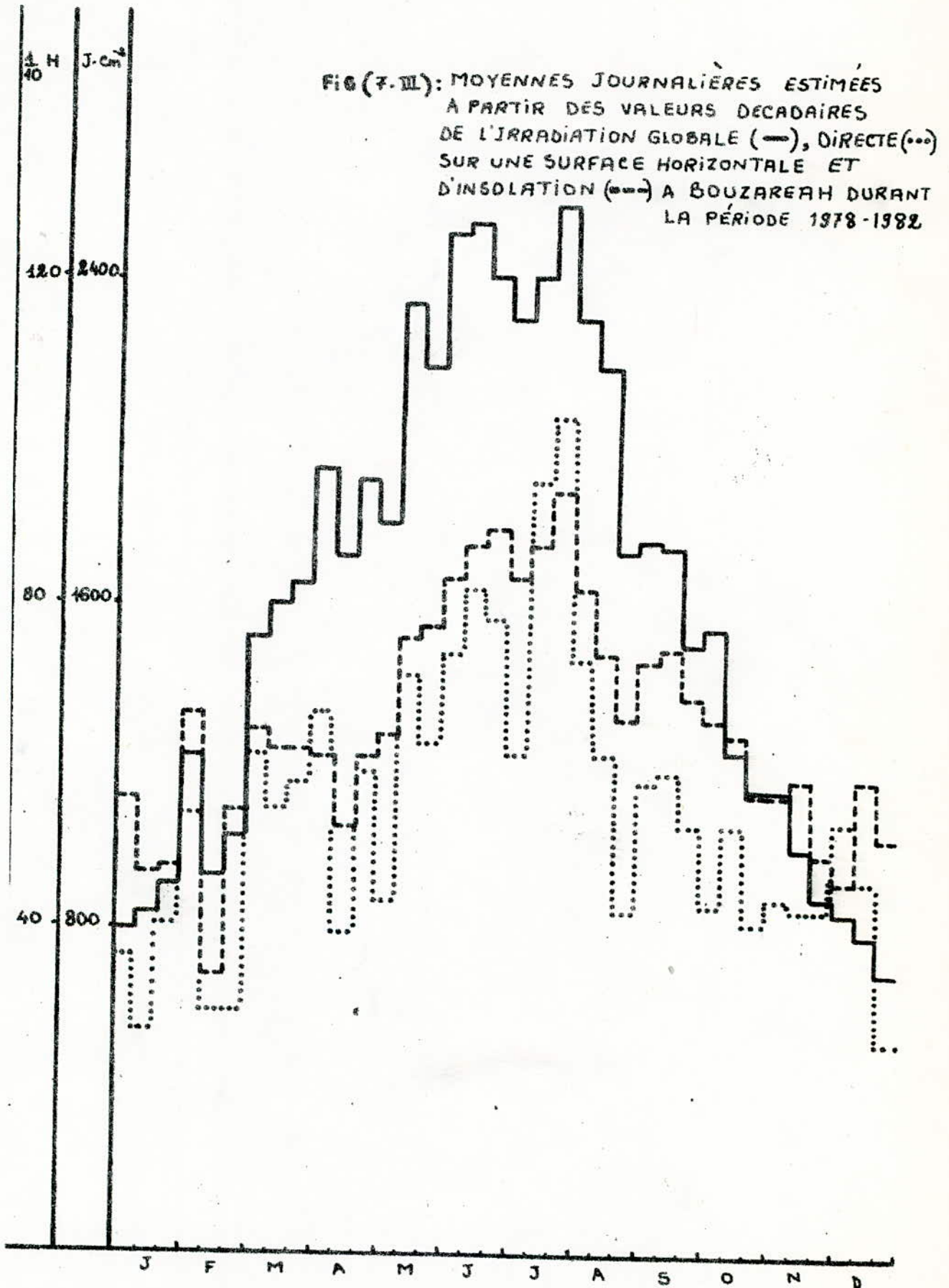
FIG(5.III): HISTOGRAMME DES TOTAUX JOURNALIERS
DE L'IRRADIATION GLOBALE SUR UNE
SURFACE HORIZONTALE A BOUZAREAH
DURANT L'ANNEE 1982



FREQUENCE ABSOLUE
(nombre de jours)
PAR CLASSE DE $100\text{J}/\text{cm}^2$

FIG(6.II): HISTOGRAMME DES TOTAUX JOURNALIER
DE L'IRRADIATION GLOBALE SUR UNE
SURFACE HORIZONTALE A BOUZARE
DURANT LA PERIODE 1979 - 1982





de la journée, pour chaque mois et ce sur une période de 4 années (1979-1982)

3.1. Méthode statistique utilisée

A partir des formules classiques (7.I) et (17.I) on peut connaître l'irradiation globale H_0 aux confins de l'atmosphère sur un plan horizontal et la durée théorique d'insolation ss_0 . Cela nous a permis de calculer journalièrement les fractions H/H_0 et ss/ss_0 , où H et ss représentent les valeurs mesurées.

L'examen des nuages de points; figures (8 à 19. III), ainsi obtenus pour chaque mois, suggère un ajustement linéaire de la forme:

$$H/H_0 = a \cdot ss/ss_0 + b + \epsilon_i, \quad \text{avec } \sum \epsilon_i = \text{minimum} [6].$$

Pour des raisons de commodités nous avons utilisé la méthode des moindres carrés.

3.1.1. Rappel succinct sur la méthode des moindres carrés

a) Théorème: Soient n points (x_i, y_i) $i = 1, \dots, n$ et soit $p < n$, il existe un polynôme unique $F_p(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_px^p$ rendant minimum sur \mathbb{R}^{p+1} la quantité:

$$e^2(a) = \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + \dots + a_px_i^p - y_i)^2 \quad \text{avec } a = (a_0, a_1, \dots, a_p).$$

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

$$\frac{\partial e^2(a)}{\partial a_j} = 0 \quad \text{avec } j = 0, \dots, p, \quad \text{d'où } \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1x_i + \dots + a_px_i^p - y_i) x_i^j = 0.$$

Donc le problème revient à résoudre le système linéaire suivant de dimensions $(p+1, p+1)$, [7]:

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

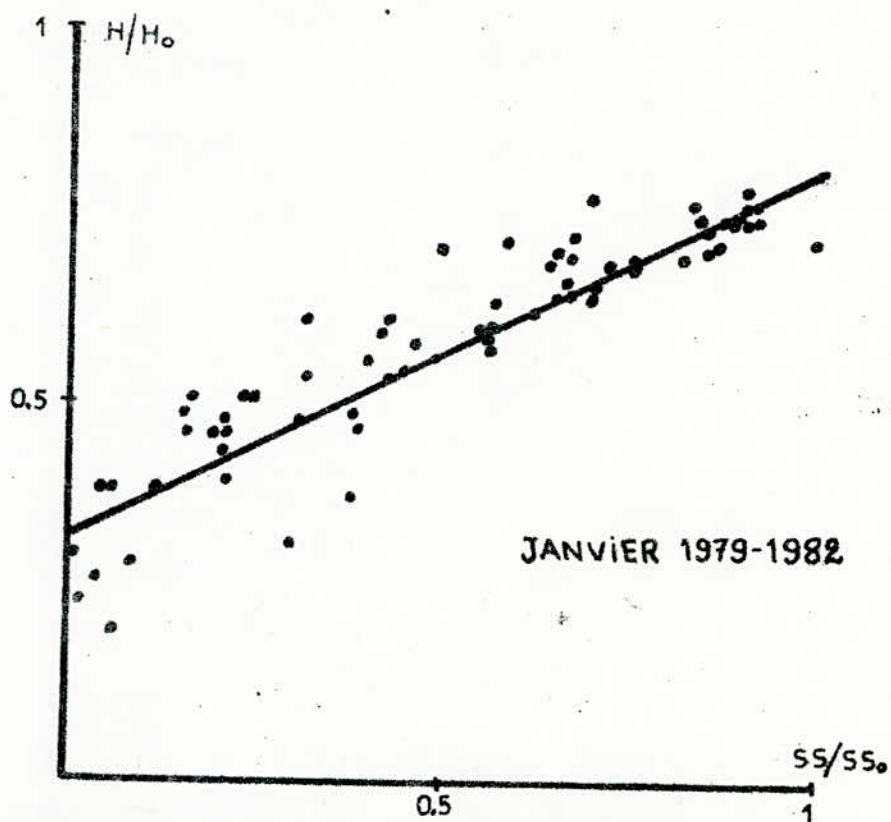


FIG (8. III) : NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0 .
AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE.

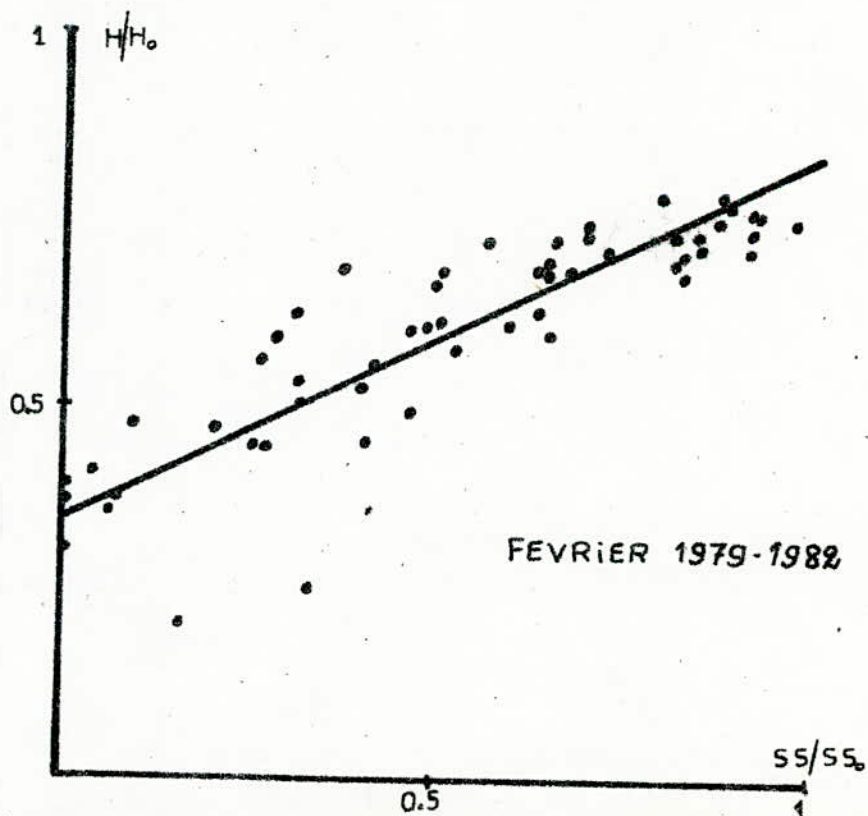
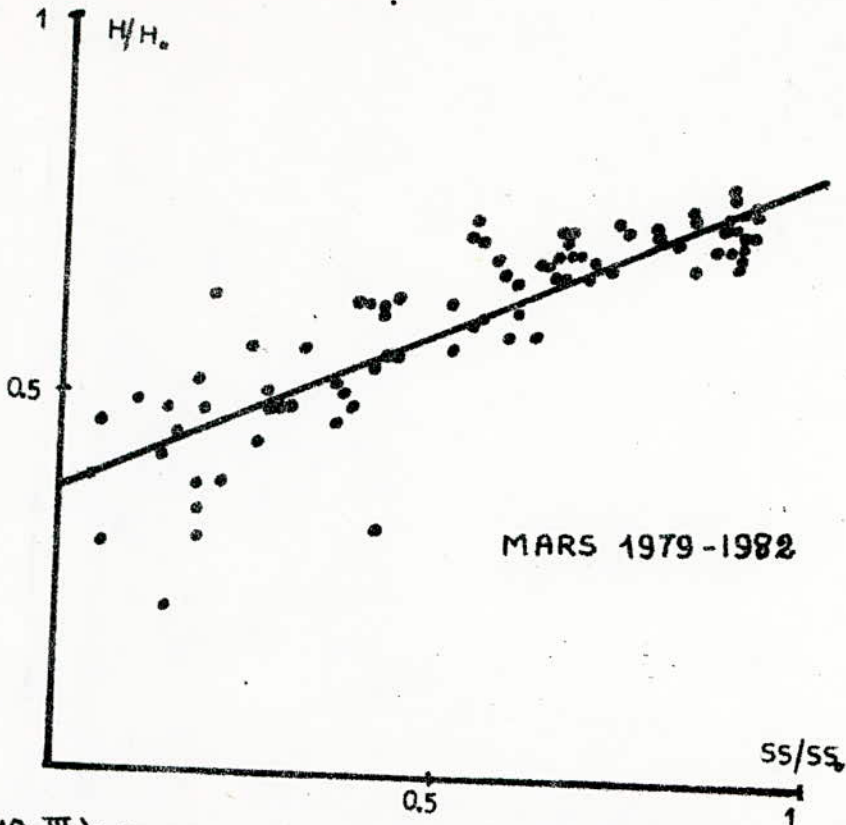
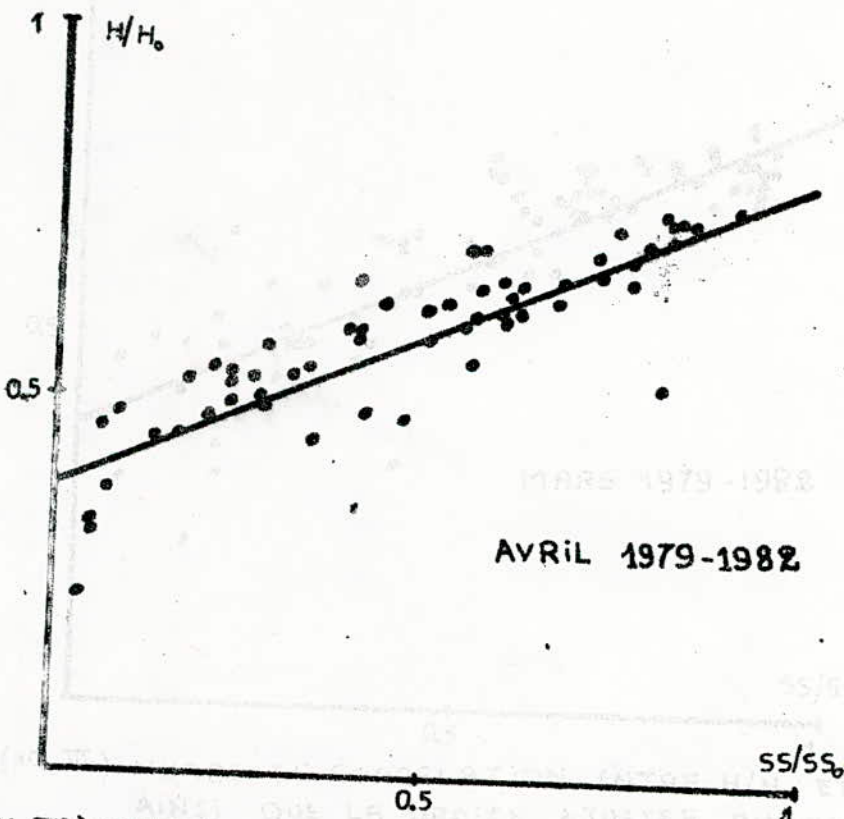


FIG (9. III) : NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0 .
AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE.



FIG(10. III): NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0 AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE



FIG(11. III): NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0 AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE

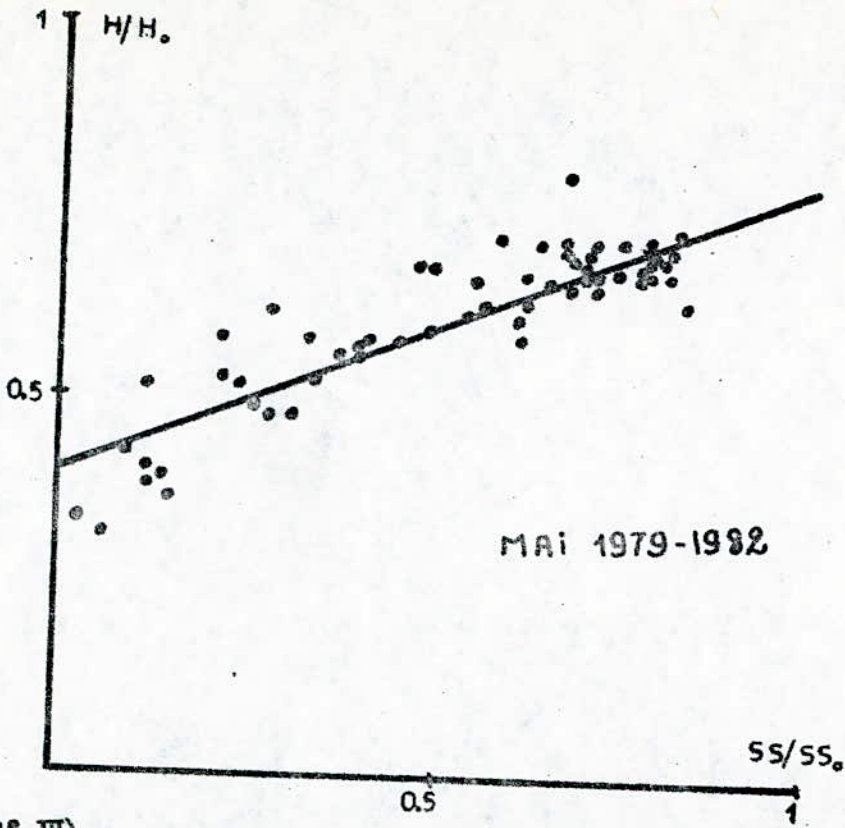


FIG (12. III) : NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0
 AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE

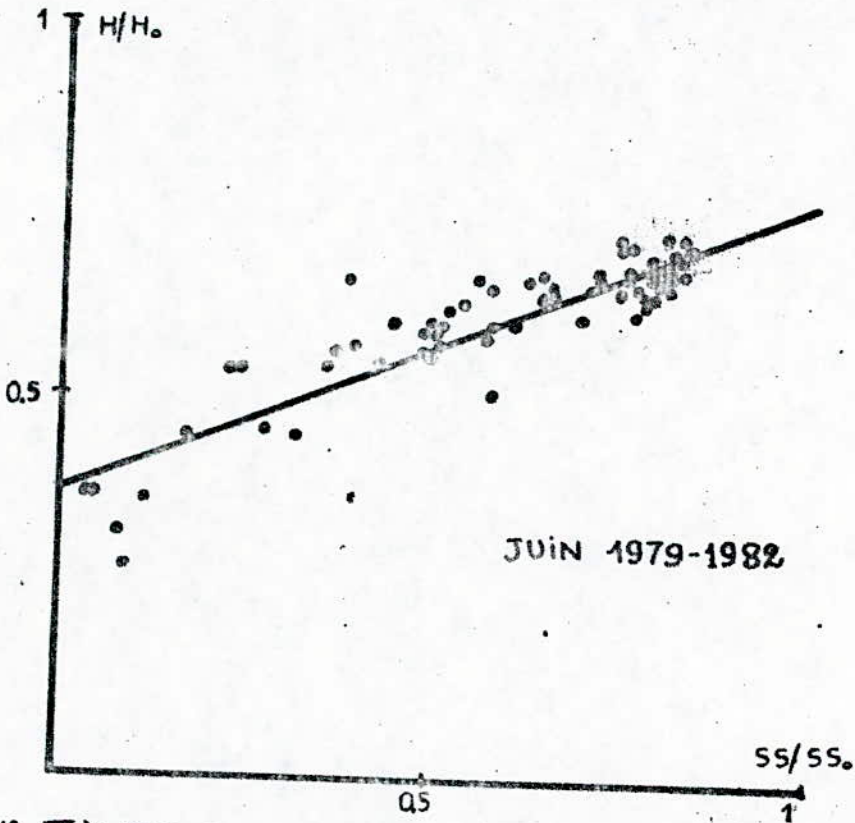
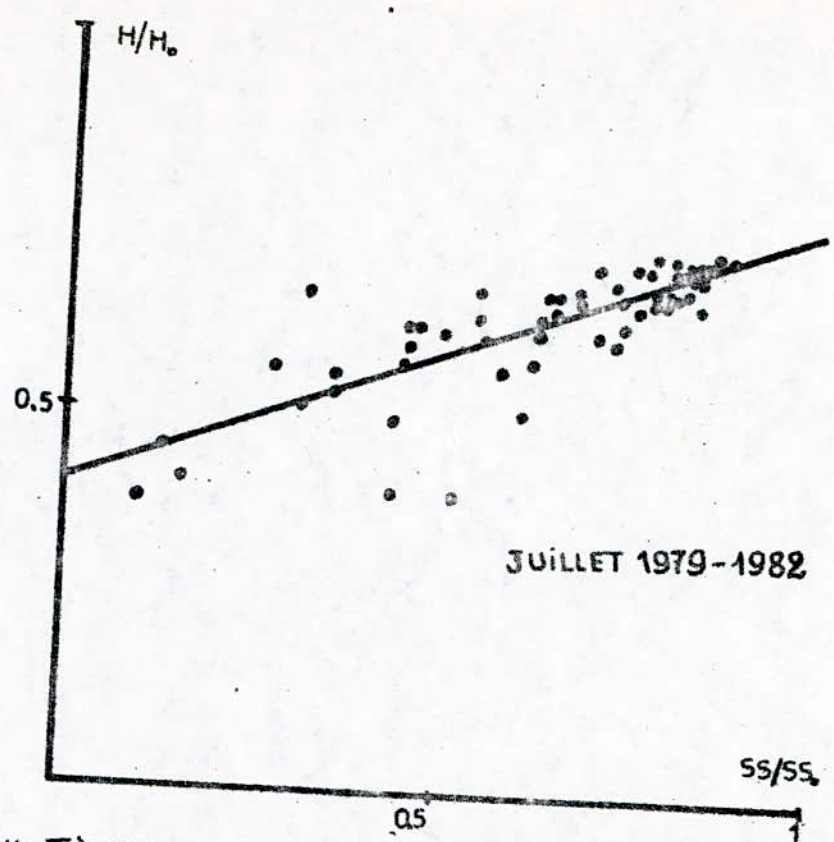


FIG (13. III) : NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0
 AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE



FIG(14. II): NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0 AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE

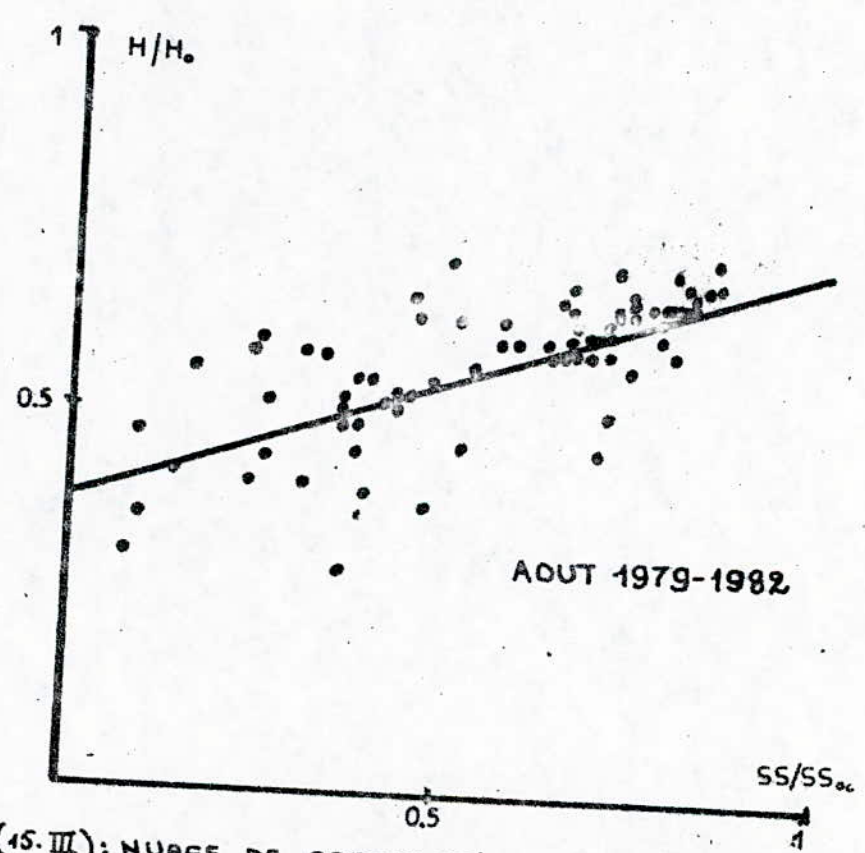
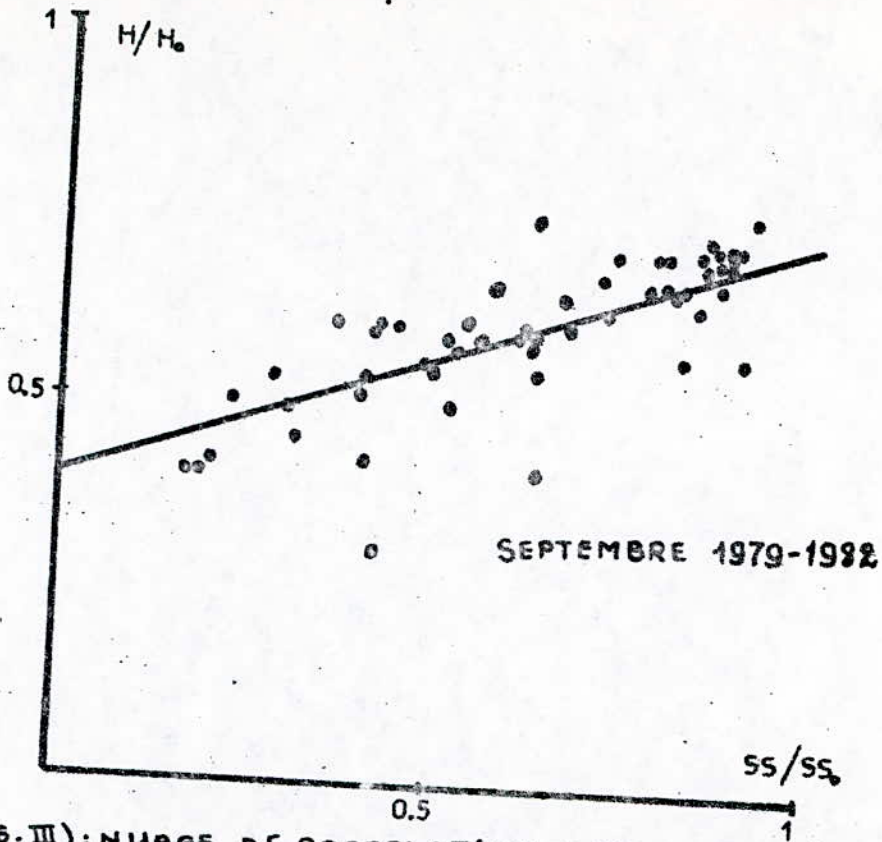
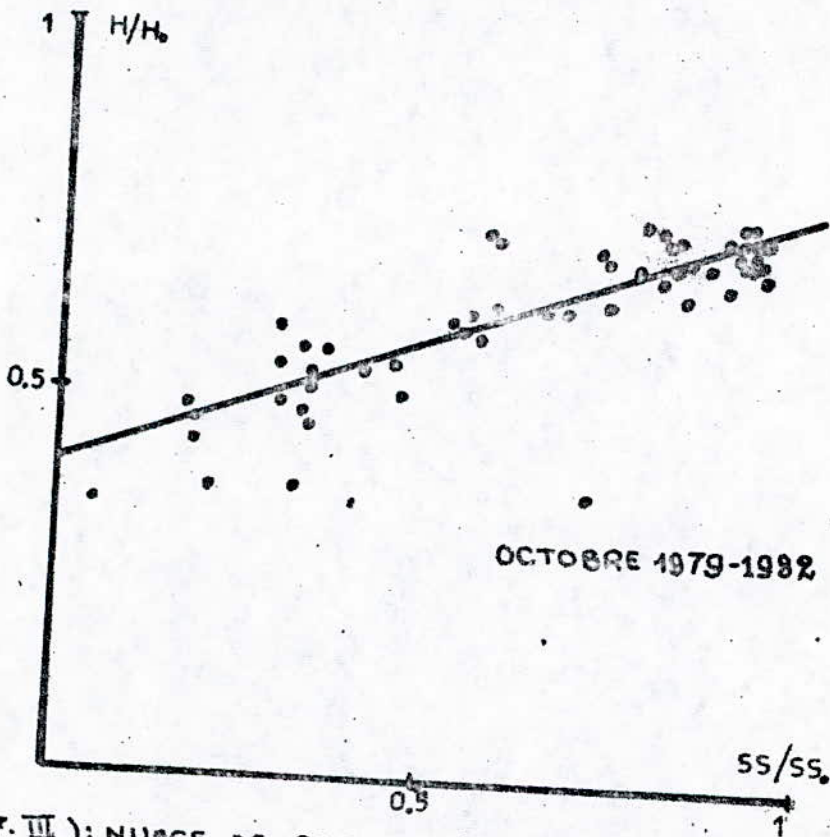


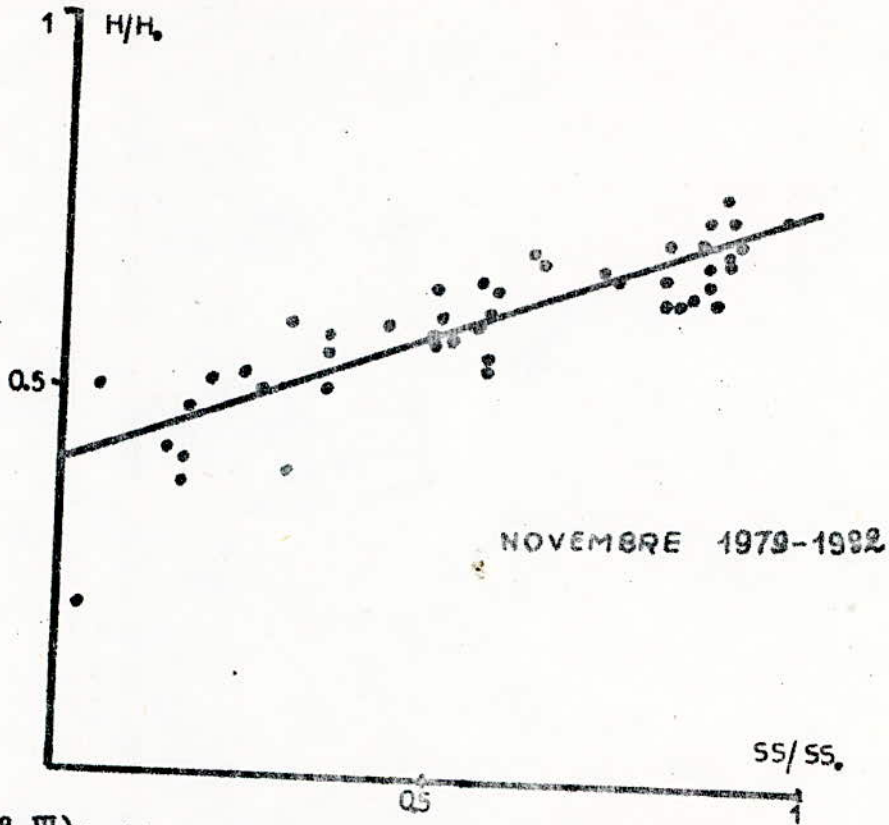
FIG (15. III): NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0 AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE.



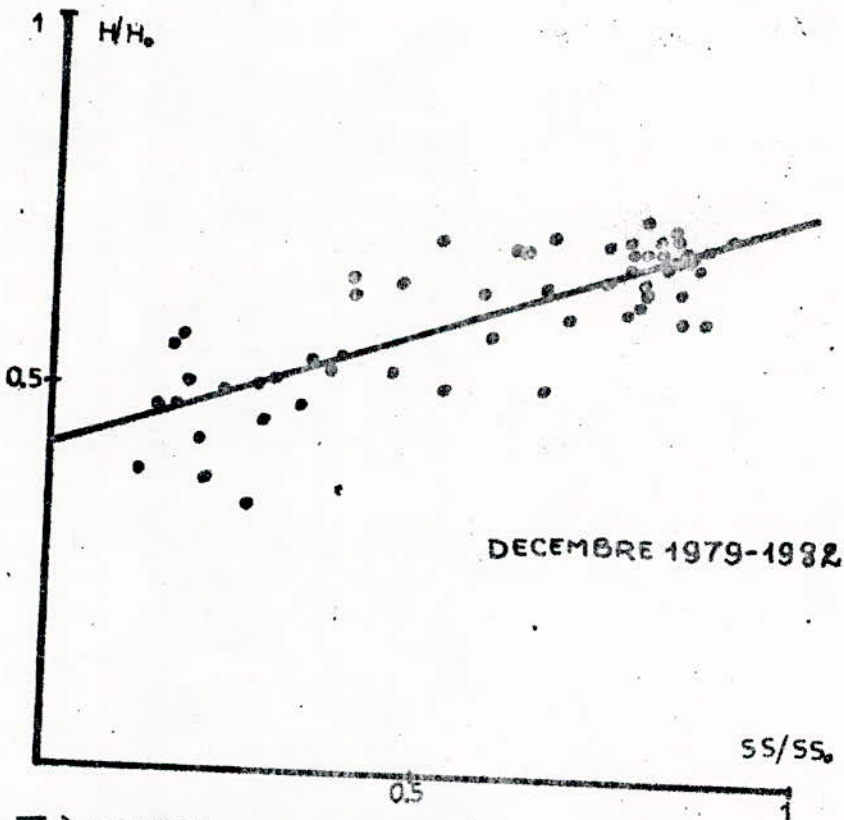
FIG(16. III) : NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0
AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE



FIG(17. III) : NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0
AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE.



FIG(18. III) : NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0 .
AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE



FIG(19. III) : NUAGE DE CORRELATION ENTRE H/H_0 ET SS/SS_0 .
AINSI QUE LA DROITE AJUSTEE AU NUAGE.

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. Il est donné par la formule suivante:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [F_p(x_i) - \bar{y}]^2}{\sum_{i=1}^n [y_i - \bar{y}]^2} \quad (1. III)$$

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 donnée par la formule suivante:

$$\sigma_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n [y_i - F_p(x_i)]^2}{n} \quad (2. III)$$

3.2. Application de la méthode

Dans ce qui suit nous allons donner un exemple détaillé de calcul des paramètres a , b , R^2 et σ_r . Pour cela nous considérons le mois d'octobre de 1979 à 1982.

a) Calcul de ss/ss_0 et H/H_0 : Le tableau suivant représente les fractions d'irradiation globale H/H_0 et d'insolation ss/ss_0 .

jour du mois	ANNEE 1979		ANNEE 1980		ANNEE 1981		ANNEE 1982	
	$\frac{SS}{SS_0}$	$\frac{H}{H_0}$	$\frac{SS}{SS_0}$	$\frac{H}{H_0}$	$\frac{SS}{SS_0}$	$\frac{H}{H_0}$	$\frac{SS}{SS_0}$	$\frac{H}{H_0}$
1								
2			0.8291	0.6659	0.3281	0.5821		
3			0.9099	0.7274	0.7106	0.7215		
4	0.7068	0.3936	0.1957	0.7290	0.9044	0.7604		
5			0.4014	0.5596	0.9250	0.7425		
6			0.5779	0.6421	0.4465	0.5650		
7								
8			0.9140	0.7024	0.2909	0.5163		
9	0.6748	0.6429	0.7255	0.6511	0.3273	0.4912		
10								
11	0.8314	0.7141	0.7242	0.7157	0.7689	0.7032		
12			0.2960	0.6124	0.9241	0.7140		
13					0.9093	0.7155		
14			0.9124	0.7433	0.9124	0.7183		
15	0.5348	0.6155	0.5257	0.6248	0.9337	0.6947		
16	0.3365	0.5378	0.5458	0.6315	0.8723	0.6837		
17			0.2921	0.5615	0.8580	0.7059		
18					0.3389	0.5579		
19					0.6433	0.6414		
20	0.1844	0.4836			0.2028	0.3982		
21					0.1758	0.5081		
22	0.4549	0.5214	0.3342	0.4872				
23	0.3540	0.5824	0.5683	0.7493				
24			0.7946	0.6835	0.1869	0.4567		
25			0.0656	0.3799	0.2066	0.7446		
26			0.7905	0.7538	0.5105	0.3986		
27			0.9065	0.7642				
28			0.8095	0.7490	0.7767	0.7624		
29					0.5513	0.6079		
30			0.5721	0.7310	0.3868	0.7442		
31			0.9089	0.7463	0.8132	0.7473		

b) Calcul de a et b : En appliquant la méthode des moindres carrés, on aboutit au système suivant :

$$\begin{cases} a \sum_{i=1}^n (\frac{SS}{SS_0})_i + b \cdot n = \sum_{i=1}^n (\frac{H}{H_0})_i \\ a \sum_{i=1}^n (\frac{SS}{SS_0})_i^2 + b \sum_{i=1}^n (\frac{SS}{SS_0})_i = \sum_{i=1}^n (\frac{SS}{SS_0})_i \cdot (\frac{H}{H_0})_i \end{cases}$$

avec :

$$n = 31 ; \sum_{i=1}^n (\frac{SS}{SS_0})_i = 34.1919 ; \sum_{i=1}^n (\frac{H}{H_0})_i = 34.992$$

$$(H/H_0)_M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (H/H_0)_i = 0.6362 ; \sum_{i=1}^n (ss/ss_0)_i^2 = 24.9208$$

$$\sum_{i=1}^n (ss/ss_0)_i \cdot (H/H_0)_i = 23.084$$

Ce qui donne après calcul : $a = 0.363$ et $b = 0.410$, d'où la droite de régression : $(H/H_0) = 0.363 (ss/ss_0) + 0.410$.

c) Calcul de (H/H_0) estimées : le tableau suivant donne les valeurs estimées de (H/H_0)

Jour du mois	ANNEE 1979 (H/H ₀) estimée	ANNEE 1980 (H/H ₀) estimée	ANNEE 1981 (H/H ₀) estimée	ANNEE 1982 (H/H ₀) estimée
1		0.7109	0.5291	
2		0.7402	0.6679	
3		0.7351	0.7382	
4	0.6665	0.5557	0.7457	
5		0.6197	0.5720	
6				
7		0.7054	0.5155	
8		0.6733	0.5288	
9	0.6549			
10				
11	0.7117	0.6728	0.6891	
12		0.5974	0.7454	
13			0.7400	
14		0.7412	0.7412	
15	0.6041	0.6008	0.7489	
16	0.5321	0.6081	0.7502	
17		0.5160	0.7214	
18			0.5330	
19			0.6435	
20	0.4769		0.4836	
21			0.4738	
22	0.5751	0.5313		
23	0.5385	0.6162		
24		0.6984	0.4778	
25		0.4338	0.7027	
26		0.6969	0.5227	
27		0.7390		
28		0.7401	0.6919	
29			0.6101	
30		0.6176	0.7319	
31		0.7399	0.7051	

d) Calcul de R^2 et de σ_r :

$$\sum_{i=1}^{55} \left[(H/H_0)_{\text{estimé}} - (H/H_0)_M \right]^2 = 0.7836 \quad \text{et} \quad \sum_{i=1}^{55} \left[(H/H_0)_i - (H/H_0)_M \right]^2 = 0.9752$$

d'après les relations (1. III) et (2. III) On obtient ;

$$R^2 = 0.80 \quad \text{et} \quad \sigma_r = 0.0589$$

3.3. Les résultats obtenus

Le tableau suivant donne les valeurs obtenues pour la station de BOUZAREAH, durant la période 1979-1982 des paramètres a , b , du coefficient de détermination R^2 , de corrélation R et de l'écart type des résidus σ_r .

mois	a	b	R^2	R	σ_r
Janvier	0.4855	0.3345	0.86	0.93	0.0544
Feurier	0.4996	0.3492	0.90	0.94	0.0479
Mars	0.4391	0.3785	0.76	0.87	0.0640
Avril	0.4362	0.3829	0.87	0.93	0.0434
Mai	0.3938	0.4020	0.82	0.90	0.044
Juin	0.3945	0.3895	0.81	0.90	0.0424
Juillet	0.3600	0.4045	0.59	0.77	0.0594
Aout	0.3403	0.3886	0.61	0.78	0.0614
Septembre	0.3462	0.4022	0.71	0.84	0.0485
Octobre	0.3632	0.4104	0.80	0.89	0.0589
Novembre	0.3722	0.4002	0.78	0.88	0.0518
Decembre	0.3347	0.4321	0.86	0.93	0.0572

Après examen des résultats obtenus, on remarque :

- de 59% à 90%, selon les mois, de la variance de H/H_0 est expliquée par ss/ss_0 .
- l'écart type des résidus de l'ajustement varie entre 0.0424 et 0.064 selon les mois
- les paramètres a et b varient en fonction du mois
- le coefficient de corrélation R est un peu faible pour les mois d'Aout et de Juillet

3.4. Utilité de l'ajustement

La liaison entre H/H_0 et ss/ss_0 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.

II. 4. AJUSTEMENT ANALYTIQUE DE LA SERIE DE MESURE DE L'IRRADIATION GLOBALE PAR UNE LOI THEORIQUE

4.1. Introduction

Dans toute approche à un phénomène non-stationnaire par la théorie probabiliste, réside la difficulté qui consiste à avoir une compatibilité du phénomène en question avec les hypothèses de base sur lesquelles est fondé le modèle théorique. Par conséquent, pour remédier à ce problème on réduit l'effet de la non-stationnarité.

4.2. Rappels théoriques.

4.2.1. Méthode d'ajustement d'une série par une loi théorique.

La méthode d'ajustement analytique d'une série statistique par une loi de distribution se divise en quatre étapes :

- choix de la loi théorique : Ce choix se guide par l'examen de l'histogramme.
- estimation des paramètres statistique de cette loi en les calculant à partir de la série de mesure.
- Calcul des fréquences théoriques à partir de la loi supposée au départ.
- comparaison des fréquences théoriques aux fréquences observées et décision sur le choix de la loi par application du test de KHI-DEUX [8]

4.2.2. Loi de GALTON

soit la variable x qui suit la loi

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot x \cdot \ln \sigma_G} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x/G)}{\ln \sigma_G} \right)^2 \right\}$$

Si l'on fait le changement de variable suivant : $z = \frac{\ln(x/G)}{\ln \sigma_G}$, $x > 0$

avec la moyenne géométrique donnée par :

$$G = \sqrt[N]{x_1^{f_1} \cdot x_2^{f_2} \cdot \dots \cdot x_n^{f_n}} \quad \text{d'où} \quad \ln G = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k f_i \ln x_i$$

où N est le nombre total d'observations, k le nombre de classes considérées, x_i la valeur centrale de la classe considérée et f_i la fréquence absolue correspondante.

et l'écart-type géométrique : $\ln \sigma_G = \sqrt{\frac{\sum f_i (\ln x_i - \ln G)^2}{N}}$

alors la nouvelle variable aléatoire z suit la loi normale centrée réduite ; $N(0,1)$.

On appelle $f(x)$ la fonction de distribution de la loi de GALTON

(LOG-NORMALE) [9]

4.3. Application à la fraction d'irradiation H/H_0 .

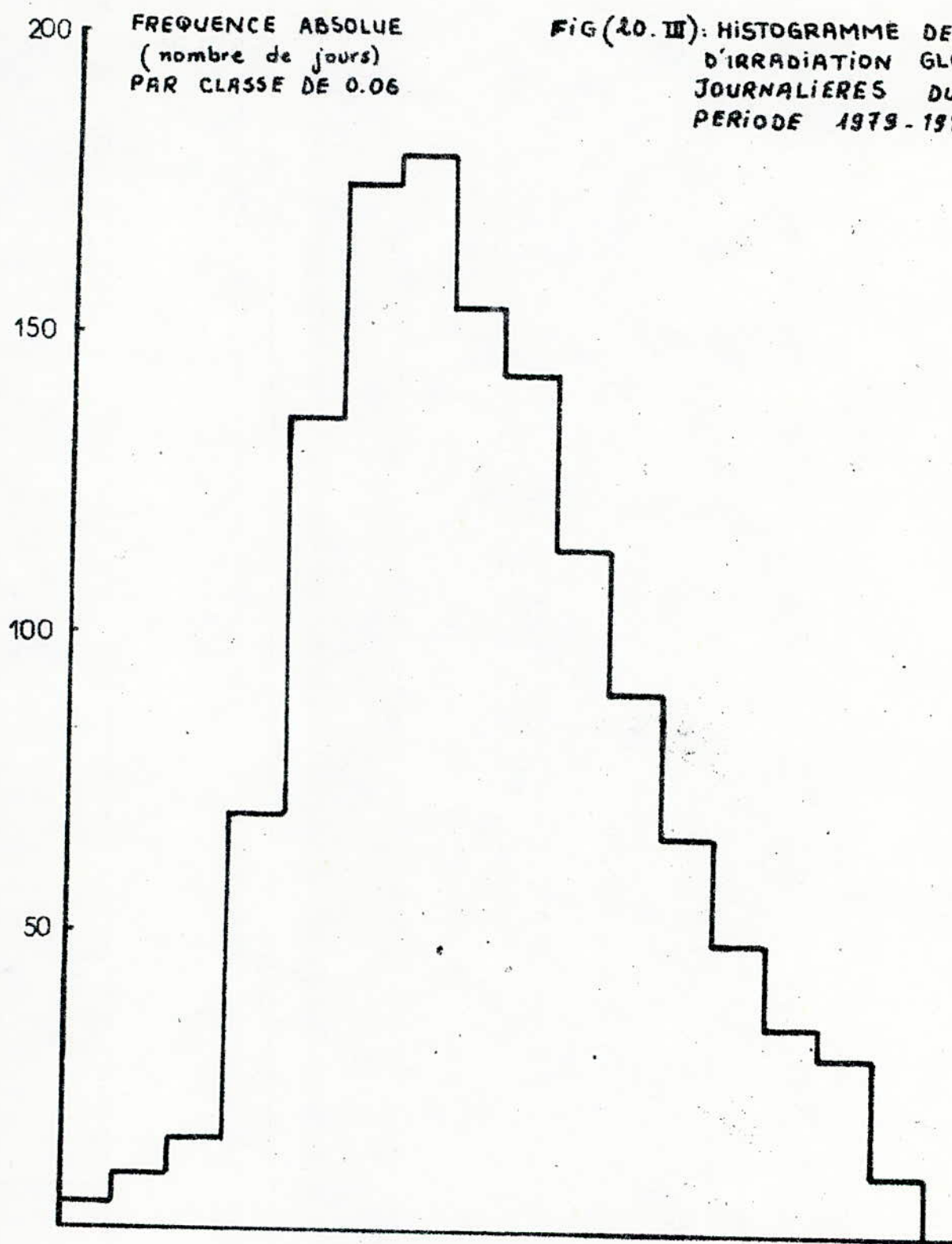
L'examen des histogrammes des moyennes journalières et décadaires de l'irradiation globale H , ne nous a pas permis de faire le choix d'une loi de distribution théorique classique et connue. D'où l'on a défini une nouvelle variable qui est la fraction d'irradiation H/H_0 , afin de réduire la non-stationnarité. Et vu la dissymétrie de notre histogramme, fig (20. III), autour du mode, l'ajustement de notre série par une loi normale s'est avéré rejeté. Ainsi, on a procédé à un ajustement par la loi de GALTON de paramètres:

$$\ln G = -0.8, \text{ ce qui donne, } G = 0.45$$

$$\ln \sigma_0 = 0.42, \text{ ce qui donne, } \sigma_0 = 1.52$$

Le tableau suivant regroupe les fréquences observées n_i et théoriques n'_i pour chaque classe.

classes en x_i		classes en z_i		n_i	$p_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$	$n'_i = N p_i$	$\chi^2_{i \text{ mesuré}}$
0	0.18	$-\infty$	-2.18	28	0.0146	18.762	4.5498
0.18	0.24	-2.18	-1.49	70	0.0535	68.7475	0.0228
0.24	0.30	-1.49	-0.96	136	0.1004	129.014	0.5783
0.30	0.36	-0.96	-0.53	175	0.1296	166.536	0.4302
0.36	0.42	-0.53	-0.16	180	0.138	177.33	0.0402
0.42	0.48	-0.16	0.15	156	0.1235	158.6975	0.0861
0.48	0.54	0.15	0.43	144	0.1068	137.238	0.3332
0.54	0.60	0.43	0.68	115	0.0853	109.6405	0.2650
0.60	0.66	0.68	0.91	91	0.0669	85.9665	0.2947
0.66	0.72	0.91	1.12	67	0.05	64.25	0.3511
0.72	0.78	1.12	1.31	49	0.0363	46.6455	0.1188
0.78	0.84	1.31	1.48	35	0.0257	33.0245	0.1182
0.84	0.90	1.48	1.65	30	0.0199	25.5715	0.7669
0.90	0.96	1.65	1.80	40	0.0136	17.476	3.1981
				1285			10.9534



avec $k=14$ et $p=2$, on a : $v=k-p-1=11$

D'où le χ^2_v calculé à partir de la table de KHI-DEUX avec un intervalle de confiance $\alpha=0.05$: $\chi^2_{11}=19.6751$.

Donc : $\chi^2_{\text{mesuré}} = 10.9534 < \chi^2_{11} (\alpha=0.05)$.

Ce qui nous permet de conclure que rien ne s'oppose à ajuster notre série de mesure par la loi de GALTON de paramètres : $G=0.45$ et $\sigma_G=1.52$.

III. 5. ETUDE DES SEQUENCES DE DONNEES JOURNALIERES D'IRRADIATION GLOBALE.

5.1. Introduction

Cette partie a pour but d'analyser la structure probabiliste des données chronologiques d'irradiation globale journalières, afin de fournir des indications pour l'étude des problèmes de gestion et de stockage d'énergie à l'échelle de la journée.

5.2. Méthode utilisée.

La fraction d'irradiation H/H_0 , n'étant pas une variable aléatoire stationnaire au cours de l'année, en raison de l'évolution climatique saisonnière ; ceci nous incite à considérer une courte période de l'année pour que l'évolution climatique, soit peu marquante.

L'étude des séquences de l'irradiation, se fait de la manière suivante : On choisit une certaine valeur entre 0 et 1 que l'on appelle seuil S , et on dénombre, le nombre et la longueur des séquences de jours où le pourcentage reçu a dépassé ce seuil. De plus pour ne pas couper une séquence à la fin ou au début

de la période, on prolonge cette période dans son passé et dans son avenir jusqu'au premier changement de séquence observé.

Ainsi le choix d'un seuil permet de séparer les jours de "mauvais temps", comme ayant des valeurs de H/H_0 inférieures au seuil S et les jours de "beau temps" comme ayant des valeurs de H/H_0 supérieures au seuil S , [10].

Ceci va nous permettre d'estimer : les probabilités d'avoir beau et mauvais temps, les probabilités conditionnelles à un jour d'avoir beau et mauvais temps, les probabilités conditionnelles à deux jours d'avoir beau et mauvais temps et ceci au sens du seuil considéré.

5.3. Rappels théoriques

5.3.1. Probabilité conditionnelle.

Soit E_i et E_j deux événements, de probabilités non nulles : $P(E_i) > 0$, $P(E_j) > 0$.

La probabilité de réalisation de l'évènement E_j , sachant que l'évènement E_i est réalisé, s'appelle la probabilité conditionnelle de E_j par rapport à E_i et se note : $P(E_j/E_i)$, cette probabilité est égale à :
$$P(E_j/E_i) = \frac{P(E_j \cdot E_i)}{P(E_i)}$$

5.3.2. Théorème des probabilités composées.

soient E_1, E_2, \dots, E_n une suite finie d'évènements, avec $P(\bigcap_{i=1}^n E_i) > 0$, alors :

$$P(\bigcap_{i=1}^n E_i) = P(E_1) \cdot P(E_2/E_1) \cdot P(E_3/E_1 E_2) \dots P(E_n/E_1 E_2 \dots E_{n-1})$$

5.4. Résultats obtenus.

Nous avons considéré dans cette étude, les relevés d'irradiation globale sur la période 22 Décembre - 21 Mars, durant les années 1979 à 1982, avec un seuil S de 50%.

On a obtenu les résultats suivants :

- probabilité d'avoir beau temps : $P(B) = 0.5973 = 59.73\%$
- probabilité d'avoir mauvais temps : $P(M) = 0.4026 = 40.26\%$
- probabilité d'avoir beau temps sachant que :
 - la veille on a eu beau temps : $P(B/B) = 0.6919 = 69.19\%$
 - la veille on a eu mauvais temps : $P(B/M) = 0.4503 = 45.03\%$
- probabilité d'avoir mauvais temps sachant que :
 - la veille on a eu mauvais temps : $P(M/M) = 0.5364 = 53.64\%$
 - la veille on a eu beau temps : $P(M/B) = 0.2991 = 29.91\%$
- probabilité d'avoir mauvais temps sachant que :
 - la veille on a eu mauvais temps
 - et l'avant veille mauvais temps : $P(M/MM) = 0.5679 = 56.79\%$
 - et l'avant veille beau temps : $P(M/BM) = 0.4776 = 47.76\%$
 - la veille on a eu beau temps
 - et l'avant veille mauvais temps : $P(M/MB) = 0.397 = 39.7\%$
 - et l'avant veille beau temps : $P(M/BB) = 0.258 = 25.8\%$
- probabilité d'avoir beau temps sachant que :
 - la veille on a eu beau temps
 - et l'avant veille beau temps : $P(B/BB) = 0.729 = 72.9\%$
 - et l'avant veille mauvais temps : $P(B/MB) = 0.6029 = 60.29\%$
 - la veille on a eu mauvais temps
 - et l'avant veille beau temps : $P(B/BM) = 0.4925 = 49.25\%$
 - et l'avant veille mauvais temps : $P(B/MM) = 0.4320 = 43.2\%$

L'étude des probabilités précédentes, amène les remarques suivantes :

- ces probabilités traduisent une stabilité du temps : la probabilité d'avoir beau temps (resp. mauvais temps) est toujours

bien plus forte après un jour de beau temps (resp. mauvais temps) qu'après un jour de mauvais temps (resp. beau temps).

— ces probabilités marquent une forte influence statistique du temps de la veille sur celui du jour et une influence bien moindre, bien qu'encore sensible du temps de l'avant-veille.

5.5. Etude de diverses hypothèses de liaison entre les mesures Journalières d'irradiation globale.

La connaissance des probabilités précédentes en dehors de l'intérêt pratique permet de tester la quantité de différentes hypothèses d'interdépendance statistique des données journalières: hypothèse H_0 d'indépendance, H_1 de dépendance à 1 jour et H_2 de dépendance à 2 jours.

Pour tester la validité de chacune de ces trois hypothèses on compare les fréquences observées de séquences de k jours de beau temps et r jours de mauvais temps aux fréquences calculées avec chacune de ces trois hypothèses. Plus exactement, on doit définir un intervalle de confiance dans lequel doit se trouver, avec une certaine probabilité, la fréquence d'apparition effectivement observée de ces séquences.

Considérons l'exemple de l'irradiation à BOUZAREAH de 1979 à 1982 sur la période 22 Décembre - 21 Mars, où le beau temps et le mauvais temps sont relatifs au seuil de 50%.

Les tableaux suivants donnent les nombres $N(k)$ de séquences de beau temps qui ont duré k jours et $M(r)$ de séquences de mauvais temps qui ont duré r jours.

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
$N(k)$	27	13	9	3	7	1	3	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1

r	1	2	3	4	5	6	7	8
$M(r)$	35	13	9	7	3	3	0	1

Soit en tout 69 séquences de beau temps et 71 séquences de mauvais temps.

On en déduit les fréquences observées de séquences de k jours de beau temps:

$f(k) = N(k)/69$ et de r jours de mauvais temps $f'(r) = M(r)/71$.

Les tableaux suivants donnent, pour chaque séquence de k jours de beau temps et de r jours de mauvais temps, les fréquences observées $f(k)$ et $f'(r)$ ainsi que les fréquences théoriques relatives à chaque hypothèse:

f_{1k} et f_{2r}

k	$f(k)$	$f_{0,k}$	$f_{1,k}$	$f_{2,k}$
1	0.3913	0.4027	0.3081	0.3971
2	0.1884	0.2405	0.2131	0.1633
3	0.1304	0.1436	0.1474	0.1191
4	0.0434	0.0858	0.1020	0.0867
5	0.1014	0.0512	0.0706	0.0632
6	0.0144	0.0306	0.0488	0.0461
7	0.0434	0.0182	0.0338	0.0336
8	0.0144	0.0109	0.0233	0.0245
9	0.0144	0.0065	0.0161	0.0178
10	0.0144	0.0038	0.0111	0.0130
11	0.0000	0.0023	0.0077	0.0095
12	0.0144	0.0013	0.0053	0.0069
13	0.0000	0.0008	0.0037	0.0050
14	0.0144	0.0004	0.0025	0.0036
15	0.0000	0.0002	0.0017	0.0026
16	0.0000	0.0001	0.0012	0.0019
17	0.0144	0.0001	0.0008	0.0014

r	$f'(r)$	$f'_{0,r}$	$f'_{1,r}$	$f'_{2,r}$
1	0.4929	0.5973	0.4503	0.4925
2	0.1830	0.2405	0.2475	0.2192
3	0.1267	0.0968	0.1360	0.1245
4	0.0985	0.0390	0.0747	0.0707
5	0.0422	0.0157	0.0411	0.0401
6	0.0422	0.0063	0.0226	0.0228
7	0.0000	0.0025	0.0124	0.0129
8	0.0140	0.0010	0.0068	0.0073

Les tableaux suivants donnent dans le cadre de ces trois hypothèses, quelles sont, pour le beau temps et pour le mauvais temps les fréquences absolues limites $[F_{K_1} - F_{K_2}]_i$ et $[F'_{K_1} - F'_{K_2}]_i$ telle que la fréquence observée ait, au moins, 80% de chance de se situer dans cet intervalle.

k	$N(k)$	$[F_{K_1} - F_{K_2}]_0$	$[F_{K_1} - F_{K_2}]_1$	$[F_{K_1} - F_{K_2}]_2$
1	27	23 - 33	16 - 26	22 - 33
2	13	12 - 21	10 - 19	7 - 15
3	9	6 - 14	6 - 14	5 - 12
4	3	3 - 9	4 - 10	3 - 9
5	7	1 - 6	2 - 8	2 - 7
6	1	0 - 4	1 - 6	1 - 5
7	3	0 - 3	1 - 4	1 - 4
8	1	0 - 2	0 - 3	0 - 3
9	1	0 - 1	0 - 3	0 - 3
10	1	0 - 1	0 - 2	0 - 2
11	0	0 - 1	0 - 1	0 - 2
12	1	0 - 0	0 - 1	0 - 1
13	0	0 - 0	0 - 1	0 - 1
14	1	0 - 0	0 - 1	0 - 1
15	0	0 - 0	0 - 1	0 - 1
16	0	0 - 0	0 - 0	0 - 1
17	1	0 - 0	0 - 0	0 - 0

r	$M(r)$	$[Fr_1 - Fr_2]_0$	$[Fr'_1 - Fr'_2]_1$	$[Fr''_1 - Fr''_2]_2$
1	35	37-48	27-37	30-40
2	13	13-22	13-22	11-20
3	9	4-10	6-13	5-12
4	7	0-5	3-8	2-8
5	3	0-3	1-5	1-5
6	3	0-1	0-3	0-3
7	0	0-1	0-2	0-2
8	1	0-0	0-1	0-1

Des résultats précédents on peut remarquer que :

- dans le cadre de H_0 les séquences courtes sont sur-estimées en fréquence par rapport à la réalité aux dépens des séquences longues qui elles, sont sous-estimées en fréquence. Ce fait est intrinsèque à l'hypothèse d'indépendance : dans cette hypothèse, on néglige en effet une certaine stabilité du temps qui tend à allonger les séquences.
- l'hypothèse H_1 n'est pas encore entièrement satisfaisante; en effet, on a 14 fréquences sur 18 pour le beau temps et 8 sur 8 pour le mauvais temps, dans l'intervalle de confiance.
- l'hypothèse H_2 situe plus de fréquences observées dans leurs intervalles de confiance : 17 fréquences sur 18 pour le beau temps et 8 sur 8 pour le mauvais temps, dans l'intervalle de confiance.

III.6. ETUDE DES COURBES DE FREQUENCES CUMULEES.

6.1. Introduction

Les courbes de fréquences cumulées de l'irradiation reçue par une surface réceptrice sont une forme de

représentation des données qui privilégie les phénomènes de seuils et de non linéarité. Leur étude est alors très utile pour le dimensionnement des systèmes faisant intervenir de tels phénomènes.

5.2. Obtention des courbes de fréquences cumulées.

Ces courbes sont obtenues de la manière suivante [11]:

On considère le fichier chronologique des relevés horaires correspondant à une période donnée (généralement le mois).

La puissance solaire (en moyenne sur une heure) peut y prendre des valeurs allant de 0 W/m^2 jusqu'à une valeur maximale.

On divise cet intervalle en M classes de longueur égale. On trie alors les relevés horaires pour dresser le tableau des fréquences absolues $N(I)$ - I variant de 1 à M - correspondant à chaque classe.

Soit N_j le nombre de jours de la période considérée, on obtient ensuite le tableau $nh(I)$ des fréquences cumulées par l'expression

$$nh(I) = \frac{\sum_{k=1}^M N(k)}{N_j} \quad (3. \text{ III})$$

Il lui correspond, alors le tableau $P_n(I)$ qui contient les valeurs des bornes inférieures des différentes classes.

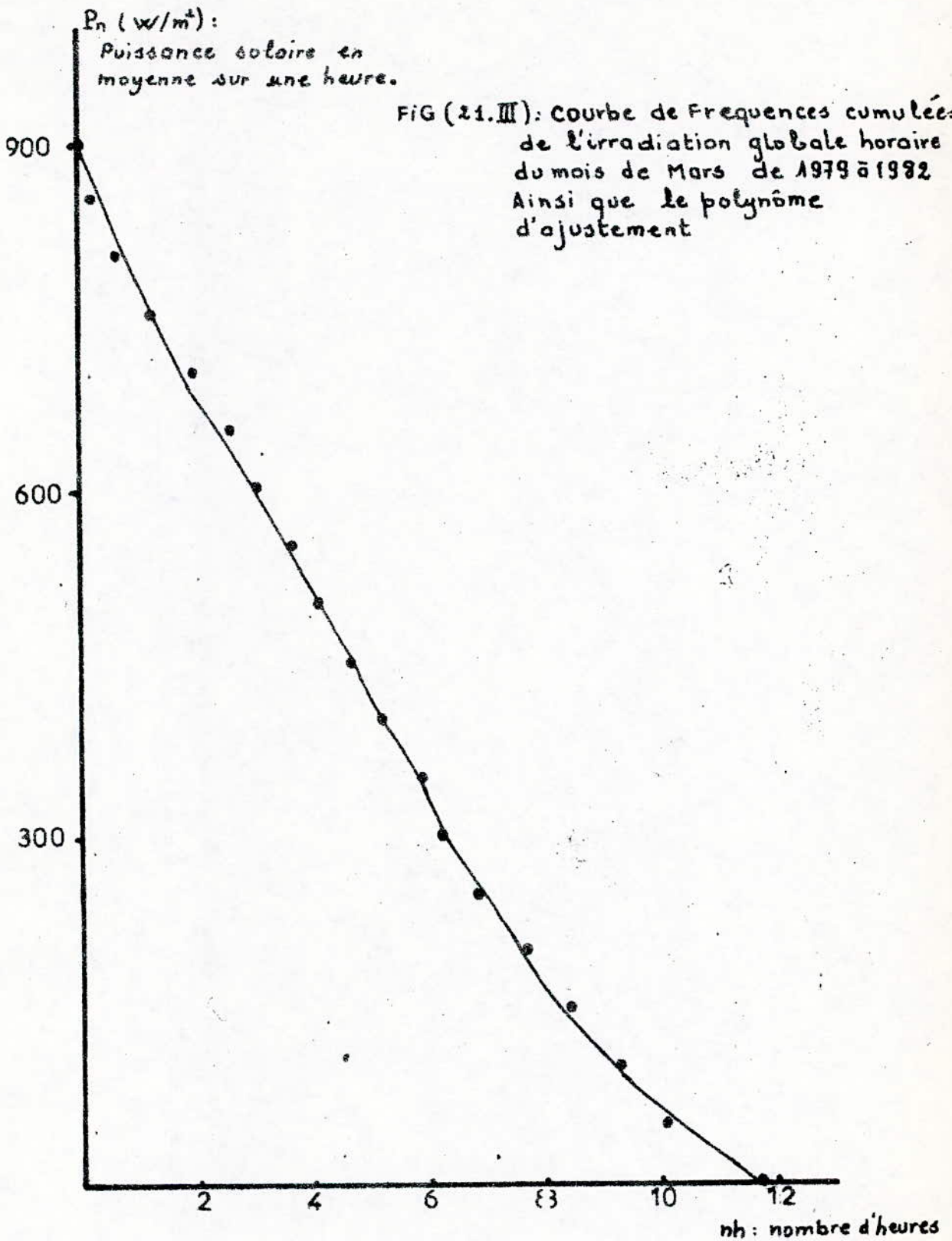
5.3. Lissage des courbes de fréquences cumulées.

Une fois le diagramme des fréquences cumulées obtenu, il est possible de lisser l'histogramme par un polynôme de la forme:

$$P_n = \sum_{i=0}^k a_i nh^i \quad (4. \text{ III})$$

5.4. Résultats obtenus.

La figure (21. III) représente la courbe de fréquences



cumulées de l'irradiation globale horaire sur un plan horizontal, du mois de MARS de 1979 à 1982.

On peut remarquer :

- qu'on peut espérer, par exemple, une énergie supérieure à 250 W/m^2 , 7 heures par jour et une énergie supérieure à 700 W/m^2 , 2 heures par jour.
- que l'abscisse à l'origine, c'est à dire, 11.8 heures, correspond à la durée moyenne du jour pour le mois considéré.

Afin d'exploiter la courbe de fréquences cumulées pour l'évaluation de l'énergie disponible, nous avons procédé à un lissage par un polynôme du 5^{ème} degré :

$$P_n = 914.03 - 154.23 nh + 33.99 nh^2 - 7.40 nh^3 + 0.69 nh^4 - 0.02 nh^5.$$

Le coefficient de détermination $R^2 = 0.998$ permet d'apprécier la validité de notre modèle.

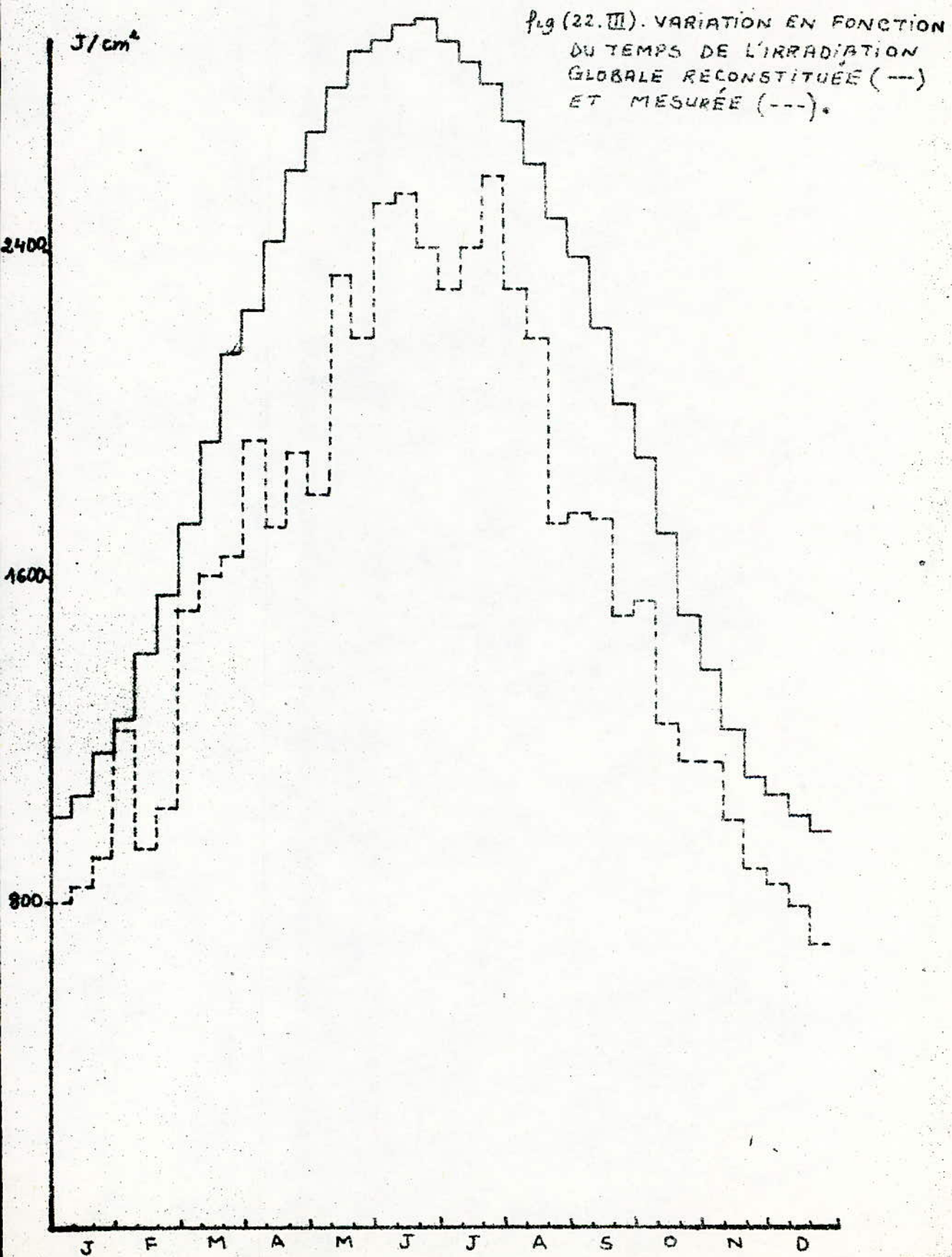
II.7. RECONSTITUTION DE L'IRRADIATION GLOBALE PAR CIEL CLAIR D'APRES LE MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT

Nous avons reconstitué l'irradiation globale par ciel clair à partir du modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT pour voir si celui-ci peut constituer une bonne approche pour l'évaluation de l'irradiation globale à BOUZAREAH.

Nous avons utilisé un programme qu'on a élaboré. Celui-ci donne la moyenne décadaire du rayonnement global par ciel clair en se basant, sur les moyennes mensuelles des coefficients de trouble de VALKO mesurés à ALGER et de la relation (15.I).

La figure (22. III) représente la variation en fonction du temps de l'irradiation globale reconstituée et mesurée.

L'examen des résultats obtenus montre l'existence d'un léger décalage entre les valeurs calculées et mesurées. Celui-ci peut être réduit par un meilleur ajustement du modèle à la région étudiée.



CHAPITRE - IV

TRAITEMENT DE DONNEES

IV. 1. INTRODUCTION

Le but recherché est l'élaboration de programmes répondant aux multiples exigences de cette étude.

L'idée étant que des utilisateurs, même non informaticiens puissent les exploiter.

Ce chapitre fait l'objet d'une description du système utilisé, l'APPLE II et du "logiciel" élaboré.

IV. 2. PRESENTATION DE L'APPLE II PLUS

2.1. Description générale du système.

Le micro-ordinateur APPLE II PLUS a été conçu en 1979 par les américains STEVEN JOBS & STEPHEN WOZNIAK autour du micro-processeur 6502 de technique MOS.

Il travaille sur des mots et des chaînes de caractère. Il est doté d'un système de programmation incorporé; la chaîne résidente est l'APPLE-SOFT.

Dans le cas où la mémoire centrale ne répond pas aux besoins d'une application donnée, le système nous offre la possibilité d'utiliser des mémoires de masse qui sont dans ce cas des disquettes de 5 pouces de diamètre [12].

2.2. Le système de gestion DISK OPERATING SYSTEM (DOS).

Il s'agit de l'ensemble des programmes constituant le système de gestion des fichiers.

Le DOS présente les avantages suivants:

- il augmente la capacité du système en permettant le travail avec des mémoires de masse.
- il réduit le temps de recherche des fichiers car il les

catalogue automatiquement sous leurs noms et affiche le catalogue complet sur demande de l'utilisateur.

— par sa variété de commandes, il permet de stocker, de sauvegarder, de vérifier, d'effacer et de modifier les noms des fichiers.

— il permet de retrouver rapidement les données grâce à ses accès aléatoire et séquentiel aux données.

2.3. Les fichiers.

2.3.1. Organisation de l'information

Lors d'un enregistrement sur disquette, les caractères sont inscrits en code ASCII et occupent chacun un byte (8 bits). Pour séparer deux données successives, le D.O.S utilise un caractère spécial appelé "retour".

On appelle champ, l'ensemble des bits compris entre deux caractères "retour".

2.3.2. Les fichiers à accès aléatoire

Il sont constitués d'un ou plusieurs enregistrements identiques de longueur égale et fixée dès leurs ouvertures.

La longueur de chaque donnée dans l'enregistrement doit être spécifiée. Ceci va permettre la lecture ou l'écriture de n'importe quelle donnée dans l'enregistrement.

Les exemples suivants sont des programmes permettant la création d'un fichier de données à accès aléatoire

```

05  REM : ECRITURE DU FICHIER FILE
10  D$ = CHR$(4)
15  PRINT D$ "OPEN FILE , L 16 "
```

```

20 PRINT D$ "WRITE FILE , B 10, R"; 1
25 PRINT "56"
30 PRINT "40"
35 PRINT D$ "CLOSE"
40 END

```

La ligne 10 exprime la commande d'intervention du système DOS pour la gestion des fichiers.

La ligne 15 exprime l'ouverture du fichier "FILE" d'une longueur de 16 bytes.

La ligne 20 représente l'instruction d'écriture des données à partir du byte B 10 du premier enregistrement du fichier "FILE".

Les lignes 25 et 30 expriment l'écriture des deux données "56" et "40".

La ligne 35 représente la fermeture du fichier "FILE".

```

05 REM : LECTURE FICHER FILE
08 DIM A$(5)
10 D$ = CHR$(4)
15 PRINT D$ "OPEN FILE , L16"
20 PRINT D$ "READ FILE , R"; 1
25 FOR I = 1 TO 5
30 INPUT A$(I)
35 NEXT I
40 PRINT D$ "CLOSE"
45 END

```

L'étiquette 08 permet la définition de la dimension du vecteur A\$(5).

L'étiquette 20 représente l'instruction de lecture du premier enregistrement du fichier "FILE".

Les étiquettes 25 à 35 expriment la lecture des cinq données successives inscrites dans l'enregistrement R1.

L'étiquette 40 exprime la fermeture du fichier "FILE".

2.3.3. Les fichiers à accès séquentiel

contrairement aux fichiers à accès aléatoire la longueur des enregistrements dans les fichiers à accès séquentiel n'est pas fixée.

Les exemples suivants sont des programmes permettant la création d'un fichier de données à accès séquentiel et sa lecture.

```

05  REM: ECRITURE FICHIER WORDS
10  D$ = CHR $(4) .
15  PRINT D$ "OPEN WORDS"
20  PRINT D$ "WRITE WORDS"
25  PRINT "240"
30  PRINT "86"
35  PRINT "543"
40  PRINT D$ "CLOSE"
45  END

```

Le programme permet l'écriture des données "240", "86" et "543" respectivement dans le fichier "WORDS".

```

05  REM: LECTURE FICHIER WORDS.
08  DIM A$(3)
10  D$ = CHR $(4)

```

```

15 PRINT D$ " OPEN WORDS "
20 PRINT D$ " READ WORDS "
25 FOR I=1 TO 3
30 INPUT A$(I)
35 NEXT I
40 PRINT D$ " CLOSE "
45 END

```

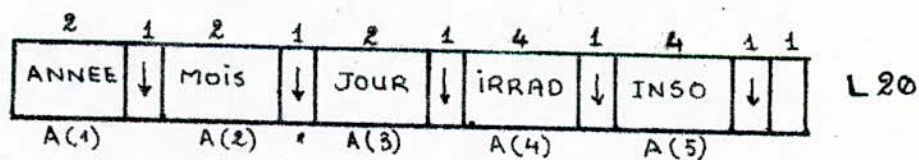
Le programme permet la lecture des données écrites précédemment.

IV.3. TRAITEMENT DE DONNEES

3.1. Corrélation linéaire entre H/H_0 et ss/ss_0 .

3.1.1. Organigramme et programme de la création du fichier BETA 01

L'étude de la corrélation linéaire entre H/H_0 et ss/ss_0 pour chaque mois sur un nombre d'année Y_N de mesure, nous incite à créer un fichier de départ à accès direct, appelé "BETA 01". Celui-ci est composé de $31 * Y_N$ enregistrements définis selon le format suivant :



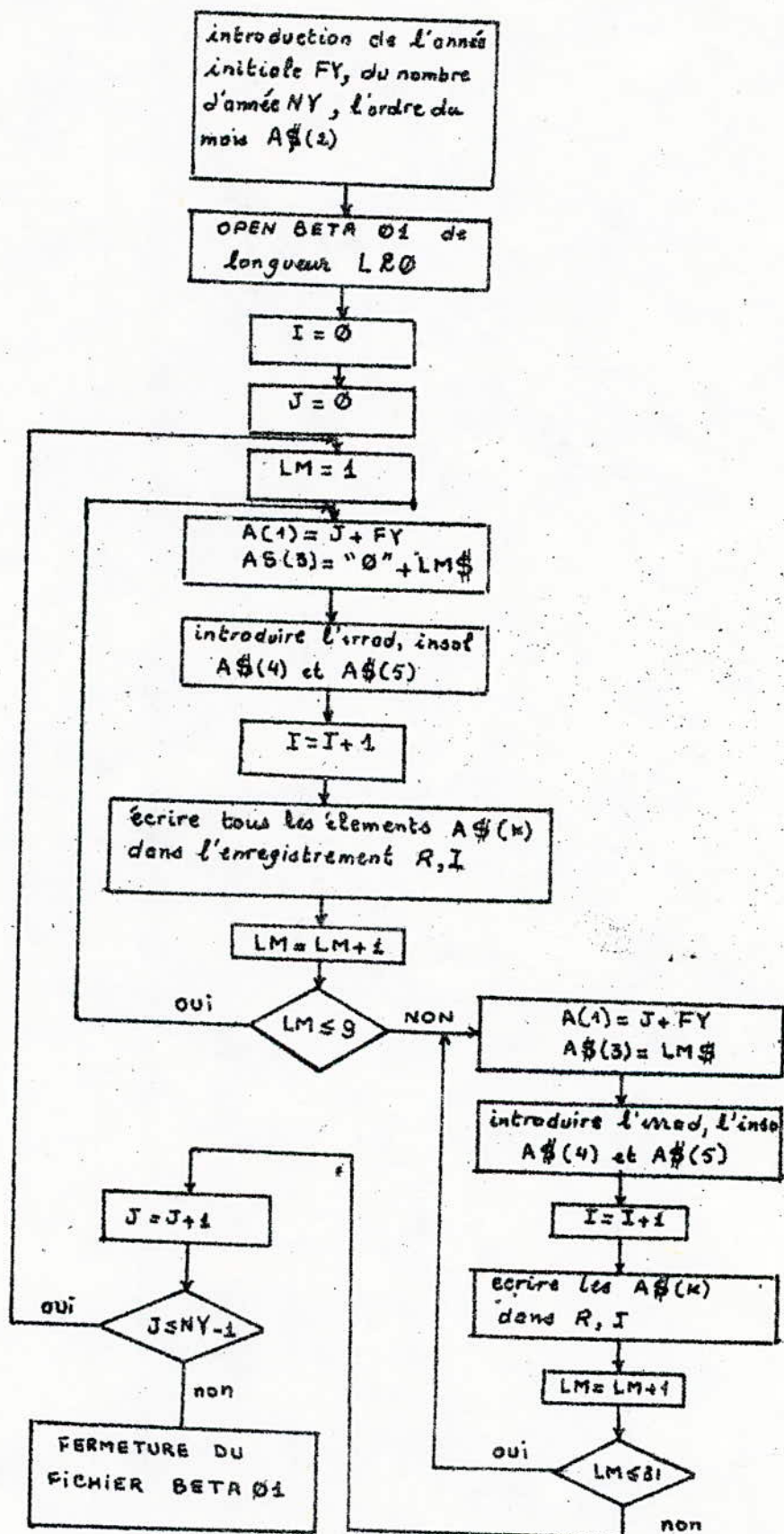
L'an, le mois et le jour sont inscrits sur 2 caractères, l'irradiation et l'insolation sont représentées par 4 chiffres. Le dernier champ est laissé vide pour spécifier la fin de l'enregistrement.

Et compte tenu des caractères "RETOUR", la longueur de chaque enregistrement de "BETA 01" est de 20 bytes.

Les valeurs manquantes des deux données H_i et ss_i sont

remplacés par la valeur "9999"

a) organigramme



b) programme.

OLIST

```

5  REM :CREAT FICHIER DEPART
8  INPUT "NBRE D'ANNEES D'OBS. ";N
   Y
10 INPUT "L'ANNEE INIT. ";FY
15 DIM A$(5),A(5)
18 D$ = CHR$(4)
20 PRINT D$"OPEN BETA 01,L20"
25 I = 0
30 INPUT "L'ORDRE DU MOIS: ";A$(2)
   )
35 FOR J = 0 TO NY - 1
38 FOR LM = 1 TO 9
40 PRINT "POUR LE ";LM;"EME JOUR
   "
42 LM$ = STR$(LM)
45 A$(3) = "0" + LM$
50 INPUT "L'IRRAD.GLOBALE: ";A$(4)
   )
55 INPUT "L'INSOL. ";A$(5)
58 I = I + 1
60 A(1) = VAL(A$(1))
65 A(1) = J + FY
70 A$(1) = STR$(A(1))
75 PRINT D$"WRITE BETA 01,R",I
80 FOR K = 1 TO 5
85 PRINT A$(K)
90 NEXT K
100 NEXT LM
110 FOR LM = 10 TO 31
112 PRINT "POUR LE ";LM;"EME JOUR
   "
115 LM$ = STR$(LM)
120 A$(3) = LM$
125 A(1) = VAL(A$(1))
130 A(1) = J + FY
135 A$(1) = STR$(A(1))
140 INPUT "IRRAD.GLOBALE EST: ";A
   $(4)
145 INPUT "INSOL.EST: ";A$(5)
150 I = I + 1
155 PRINT D$"WRITE BETA 01,R",I
160 FOR K = 1 TO 5
165 PRINT A$(K)
170 NEXT K
175 NEXT LM
185 NEXT J
190 PRINT D$"CLOSE"
195 END

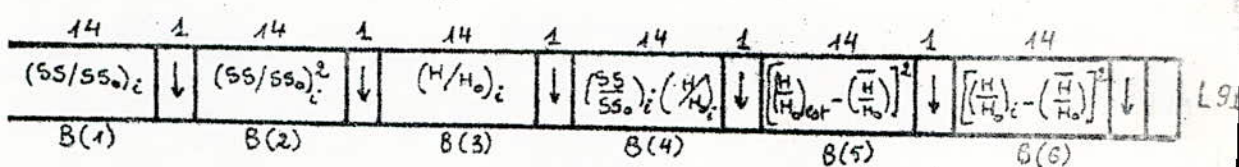
```

3.1.2. Organigramme et programme de calcul des paramètres a , b , R^2 et σ_r .

Pendant le traitement on utilise un second fichier à accès aléatoire appelé BETA 02. L'utilisation de ce type de fichiers nous permet une disposition des données en tableaux et par conséquent nous facilite le calcul des sommes: $\sum_i (ss/ss_0)_i$, $\sum_i (ss/ss_0)_i^2$, $\sum_i (H/H_0)_i$, $\sum_i \left((H/H_0)_i - (\overline{H/H_0}) \right)^2$ et $\sum_i \left((H/H_0)_{est} - (\overline{H/H_0}) \right)^2$.

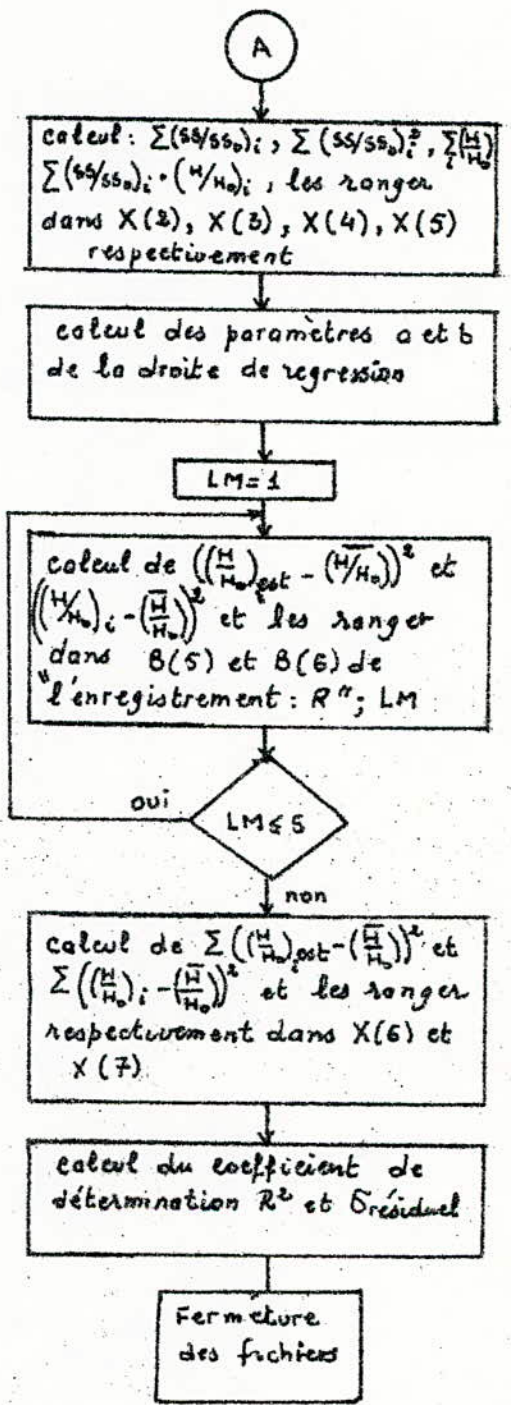
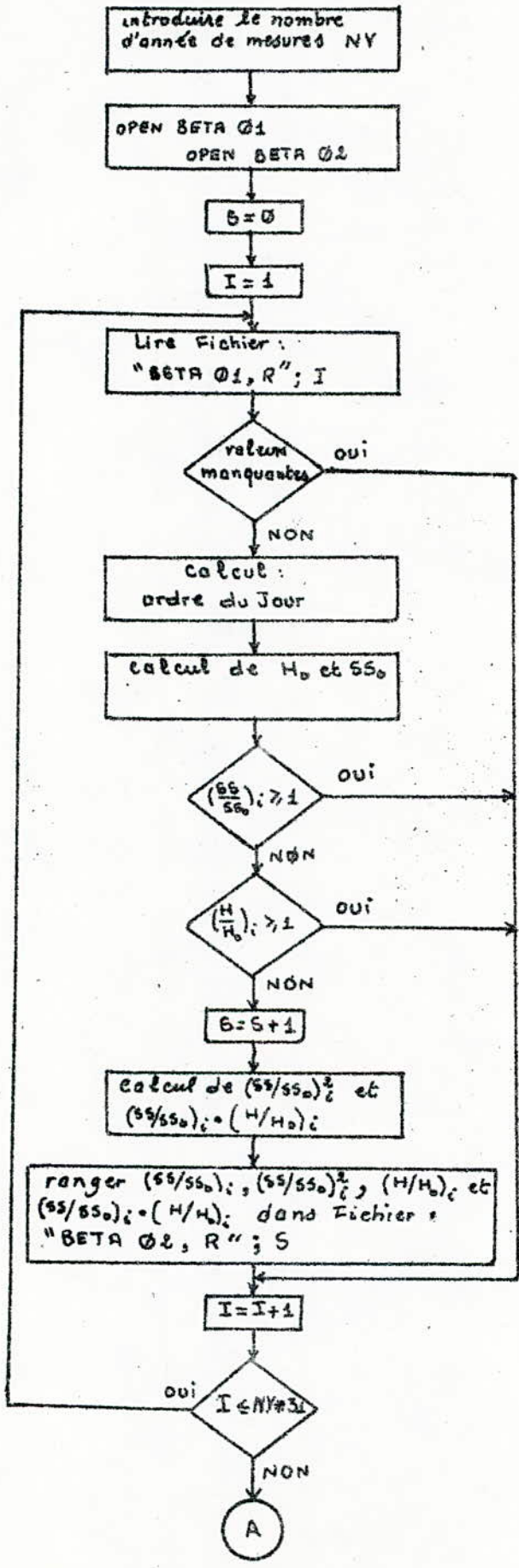
L'utilisation de ce fichier nous oblige à fixer la longueur des enregistrements au départ. Or, la longueur maximale d'un nombre calculé par l'APPLE II est de 14 bytes; on doit, donc tester à chaque fois la longueur des différents éléments calculés et leurs ajouter des zéros à gauche par concaténation pour qu'ils soient de longueur 14.

Dans notre cas, les enregistrements sont alors présentés sous le format suivant:



Dans ce qui suit on présente l'organigramme ainsi que le programme qui permet de calculer les valeurs quotidiennes théoriques de l'irradiation globale H_0 et d'insolation ss_0 , les fractions $(H/H_0)_i$ et $(ss/ss_0)_i$ tout en éliminant les valeurs manquantes et celles dont les fractions $(H/H_0)_i$ ou $(ss/ss_0)_i$ sont supérieures à l'unité. Il permet également de calculer les coefficients a et b du polynôme d'ajustement, le coefficient de détermination R^2 et l'écart résiduel.

a) organigramme



b) programme

ULIST

```

205 REM :CORREL.LINEAIRE:H/H(0)&
    S/S(0)
208 INPUT "NBRE D'ANNEES D'OBS."
    ;NY
210 DIM A$(5),A(5),B$(7),B(7),X$(
    7),X(7)
212 FOR NK = 1 TO 7
214 B(NK) = VAL (B$(NK))
216 X(NK) = VAL (X$(NK))
218 NEXT NK
220 INPUT "LATITUDE LA=";LA
222 D$ = CHR$(4)
224 PRINT D$"OPEN BETA 01,L20"
235 PRINT D$"OPEN BETA 02,L91"
240 S = 0
242 ST = 31 * NY
245 PRI = 1 TO ST
250 PRINT D$"READ BETA 01,R",I
252 FOR K = 1 TO 5
255 INPUT A$(K)
258 A(K) = VAL (A$(K))
260 NEXT K
262 REM :TRI VAL.MANQUANTES
265 IF A(4) = 9999 THEN 495
270 IF A(5) = 9999 THEN 495
272 REM :CALCUL ORDRE DU JOUR
275 IF A(1) / 4 - INT (A(1) / 4
    ) = 0 THEN 285
278 F = 28
280 GOTO 290
285 F = 29
290 IF A(2) > 2 THEN 310
295 E = INT (A(2) / 2)
300 J = A(3) + 31 * E
305 GOTO 380
310 IF A(2) < 8 THEN 350
315 IF A(2) / 2 - INT (A(2) / 2
    ) = 0 THEN 335
320 E = INT (A(2) / 2)
325 J = A(3) + F + 31 * (E + 1) +
    30 * (E - 2)
330 GOTO 380
335 E = A(2) / 2
340 J = A(3) + F + 31 * E + 30 *

```

```

      (E - 2)
345  GOTO 380
350  IF A(2) / 2 - INT (A(2) / 2
      ) = 0 THEN 370
355  E = INT (A(2) / 2)
360  J = A(3) + F + 31 * E + 30 *
      (E - 1)
365  GOTO 380
370  E = A(2) / 2
375  J = A(3) + F + 31 * E + 30 *
      (E - 2)
380  DE = 0.409 * SIN (0.017 * (J
      + 284))
385  X = - TAN (DE) * TAN (LA)
388  WS = 1.5708 - ATN (X / SQR
      (1 - X * X))
390  IS = 7.634 * WS
395  IG = 3721.017 * COS (DE) * COS
      (LA) * ( SIN (WS) - WS * COS
      (WS))
396  FG = A(4) / IG
398  FS = A(5) / IS
400  IF FG > = 1 THEN 495
405  IF FS > = 1 THEN 495
410  S = S + 1
420  B(1) = FS
422  B(3) = FG
425  B(2) = B(1) * B(1)
430  B(4) = B(1) * B(3)
435  FOR NK = 1 TO 4
440  B$(NK) = STR$(B(NK))
445  LE = LEN (B$(NK))
450  IF LE = 14 THEN 470
455  FOR W = 1 TO 14 - LE
460  B$(NK) = "0" + B$(NK)
465  NEXT W
470  NEXT NK
475  PRINT D$"WRITE BETA 02,R",S
480  FOR NK = 1 TO 4
485  PRINT B$(NK)
490  NEXT NK
495  NEXT I
500  FOR K = 1 TO 4
505  Z = 0
510  Q = 14 * (K - 1) + K - 1
512  FOR LM = 1 TO S
515  PRINT D$"READ BETA 02,B";Q;"
      ,R",LM

```

```

520 INPUT B$(K)
525 B(K) = VAL (B$(K))
530 Z = B(K) + Z
535 NEXT LM
540 X(K + 1) = Z
545 NEXT K
550 X(1) = S
555 LK = X(2) * X(2) - X(1) * X(3)
)
562 DIM Y$(2),Y(2)
565 FOR J = 1 TO 2
570 Y(J) = VAL (Y$(J))
575 NEXT J
580 Y(1) = (X(2) * X(4) - X(1) *
X(5)) / LK
585 Y(2) = (X(2) * X(5) - X(3) *
X(4)) / LK
590 DEF FN A(T) = Y(1) * T + Y(
2)
595 MY = X(4) / S
598 FOR LM = 1 TO S
600 PRINT D$"READ BETA 02,R",LM
605 B$(1) = STR$(B(1))
610 INPUT B$(1)
615 B(1) = VAL (B$(1))
620 B(5) = ( FN A(B(1)) - MY) ^ 2

625 B$(5) = STR$(B(5))
630 LE = LEN (B$(5))
635 IF LE = 14 THEN 655
640 FOR W = 1 TO 14 - LE
645 B$(5) = "0" + B$(5)
650 NEXT W
655 PRINT D$"WRITE BETA 02 ,B60,
R",LM
670 PRINT B$(5)
675 NEXT LM
680 FOR LM = 1 TO S
685 PRINT D$"READ BETA 02,B30,R"
,LM
690 B$(3) = STR$(B(3))
700 INPUT B$(3)
705 B(3) = VAL (B$(3))
710 P.6) = (B(3) - MY) ^ 2
715 B$(6) = STR$(B(6))
720 LE = LEN (B$(6))
725 IF LE = 14 THEN 760
730 FOR W = 1 TO 14 - LE

```

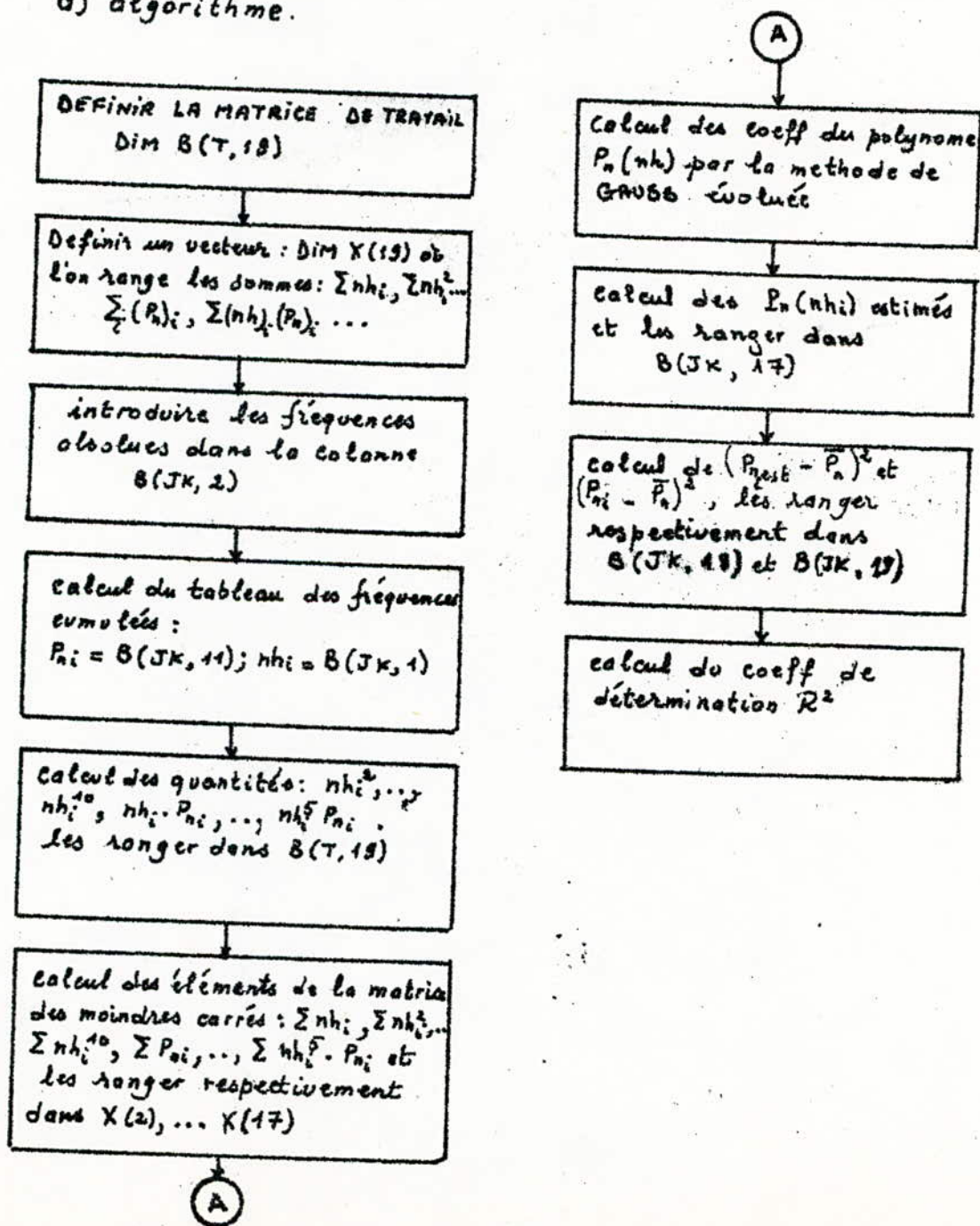
```
735 B$(6) = "0" + B$(6)
740 NEXT W
760 PRINT D$"WRITE BETA 02,B75,R
    ",LM
765 PRINT B$(6)
770 NEXT LM
775 FOR K = 5 TO 6
780 Z = 0
785 Q = 14 * (K - 1) + K - 1
790 FOR LM = 1 TO 5
795 PRINT D$"READ BETA 02 ,B";Q;
    ",R",LM
800 INPUT B$(K)
805 B(K) = VAL (B$(K))
810 Z = B(K) + Z
815 NEXT LM
820 X(K + 1) = Z
825 NEXT K
830 CR = X(6) / X(7)
845 FOR J = 1 TO 2
850 PRINT "Y(";J;")=";Y(J)
855 NEXT J
860 PRINT "R^2=";CR
862 VR = SQR ((X(7) - X(6)) / 5)

865 PRINT "ECART-RESIDU=";VR
870 PRINT D$"CLOSE"
875 END
```

3.2. Lissage des courbes de fréquences cumulées.

Nous donnons dans ce qui suit l'algorithme et le programme qui permet de déterminer les coefficients du polynôme d'ajustement des courbes de fréquences cumulées ainsi que le coefficient de détermination R^2 , pour un degré du polynôme variant de 1 à 5. La résolution du système des moindres carrés se fait par la méthode de GAUSS avec pivot maximum.

a) algorithme.



b) programme

ULIST

```

5  REM :LISSAGE D'UN POLYNOME AU
   SENS DES MOINDRES CARRES
8  INPUT "LE NBRE DE CLASSES T=";
   T
10 INPUT "AMP. DE CHAQUE CLASSE K
   =" ; K
12 INPUT "LE NBRE DE JOURS NJ=";
   NJ
15 DIM B$(T,19),B(T,19),X$(19),X
   (19)
20 FOR JK = 0 TO T
25 FOR LX = 1 TO 19
30 B(JK,LX) = VAL (B$(JK,LX))
35 NEXT LX
40 NEXT JK
45 FOR JK = 0 TO T - 1
50 INPUT "FREQ. ABS SONT:";B(JK,2
   )
55 NEXT JK
60 REM :CALCUL FREQ. CUMULEES
65 FOR NK = 0 TO T
70 S = 0
75 FOR JK = NK TO T
80 S = B(JK,2) + S
85 NEXT JK
90 B(NK,11) = NK * K
95 B(NK,1) = S / NJ
100 NEXT NK
105 REM :CALCUL DES DIFF.ELEMT D
   U POLY.
110 FOR LX = 2 TO 10
115 FOR JK = 0 TO T
120 B(JK,LX) = B(JK,1) ^ LX
125 NEXT JK
130 NEXT LX
135 FOR LX = 12 TO 16
140 FOR JK = 0 TO T
145 B(JK,LX) = B(JK,11) * B(JK,LX
   - 11)
150 NEXT JK
155 NEXT LX
160 REM :CALCUL DES ELEMENTS DE
   LA MAT. DES M/CARRES
165 FOR J = 1 TO 19

```

```

170 X(J) = VAL (X$(J))
175 NEXT J
180 FOR LX = 1 TO 16
185 S = 0
190 FOR JK = 0 TO T
195 S = B(JK,LX) + S
200 NEXT JK
205 X(LX + 1) = S
210 NEXT LX
215 X(1) = T + 1
220 REM :RESOLUTION D'UN SYS. N
      EQUA.N          INCONNUES
225 INPUT "ENTREZ DIM. DU SYS.N?"
      ;N
230 DIM K$(N,N),K(N,N),C$(N),C(N)
      )
235 DIM L$(N),L(N),S$(N),S(N),Z$(
      (N),Z(N)
240 FOR I = 1 TO N
245 FOR J = 1 TO N
250 K(I,J) = VAL (K$(I,J))
255 C(I) = VAL (C$(I))
260 L(I) = VAL (L$(I))
265 S(I) = VAL (S$(I))
270 Z(I) = VAL (Z$(I))
275 NEXT J
280 NEXT I
285 FOR I = 1 TO N
290 FOR J = 1 TO N
300 K(I,J) = X(J + I - 1)
305 NEXT J
310 C(I) = X(11 + I)
315 NEXT I
320 REM :ALGORITHME DE GAUSS
325 FOR I = 1 TO N
330 L(I) = I
335 S(I) = 0
340 FOR J = 1 TO N
345 D = ABS (K(I,J))
350 IF D > S(I) THEN 370
355 NEXT J
360 NEXT I
365 GOTO 385
370 S(I) = D
375 NEXT J
380 NEXT I
385 FOR M = 1 TO N - 1

```

```

390 RM = 0
395 FOR I = M TO N
400 R = ABS (K(L(I),M)) / S(L(I)
)
405 IF R < = RM THEN 420
410 J = I
415 RM = R
420 NEXT I
425 LK = L(J)
430 L(J) = L(M)
435 L(M) = LK
440 FOR I = M + 1 TO N
445 XM = K(L(I),M) / K(LK,M)
450 K(L(I),M) = XM
455 FOR J = M + 1 TO N
460 K(L(I),J) = K(L(I),J) - XM *
    K(LK,J)
465 NEXT J
470 NEXT I
475 NEXT M
480 FOR J = 1 TO N - 1
485 FOR I = J + 1 TO N
490 C(L(I)) = C(L(I)) - K(L(I),J)
    * C(L(J))
495 NEXT I
500 NEXT J
505 Z(N) = C(L(N)) / K(L(N),N)
510 FOR I = 1 TO N - 1
515 SU = C(L(N - I))
520 FOR J = N - I + 1 TO N
525 SU = SU - K(L(N - I),J) * Z(J)
)
530 NEXT J
535 Z(N - I) = SU / K(L(N - I),N -
    I)
540 NEXT I
545 PRINT "LES SOLUTIONS SONT:"
550 FOR I = 1 TO N
555 PRINT "Z(",I,")=",Z(I)
560 NEXT I
565 FOR JK = 0 TO T
568 W = Z(1)
570 FOR I = 1 TO N - 1
575 DEF FN A(X) = Z(I + 1) * X ^
    I
580 W = FN A(B(JK,1)) + W

```

```
585 NEXT I
590 B(JK,17) = W
595 NEXT JK
600 MY = X(12) / (T + 1)
605 FOR JK = 0 TO T
610 B(JK,18) = (B(JK,11) - MY) ^
  2
615 B(JK,19) = (B(JK,17) - MY) ^
  2
620 NEXT JK
625 FOR LX = 18 TO 19
630 S = 0
635 FOR JK = 0 TO T
640 S = B(JK,LX) + S
645 NEXT JK
650 X(LX) = S
655 NEXT LX
660 CR = X(19) / X(18)
665 PRINT "COEFF.DETER.=",CR
670 END
```

3.3. MODELE DE PERRIN DE BRICHAMBAUT POUR L'EVALUATION DE L'IRRADIATION GLOBALE PAR CIEL CLAIR.

Le programme donné ci-après permet de calculer la moyenne décadaire de l'irradiation globale par ciel clair, en se basant sur les moyennes mensuelles des coefficients de trouble T de VALKÖ, mesurés à ALGER.

mois	JANV	FEVR	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOV	DEC
T	2.7	3	3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.5	4	3.6	3.2	2.7

Les résultats de ce programme sont donnés par le tableau suivant.

MOIS	1 ^{ère} decade H _{hc} (J/cm ²)	2 ^{ème} decade H _{hc} (J/cm ²)	3 ^{ème} decade H _{hc} (J/cm ²)
JANVIER	1082.7	1082.1	1180.5
FEVRIER	1272.5	1424.4	1580.6
MARS	1751.5	1951.7	2165.7
AVRIL	2264.1	2445.7	2610.9
MAI	2697.8	2817.0	2915.6
JUIN	2928.5	2969.5	2985.6
JUILLET	2921.7	2888.7	2827.4
AOUT	2739.6	2631.8	2492.5
SEPTEMBRE	2410.1	2235.2	2048.6
OCTOBRE	1914.1	1719.3	1524.8
NOVEMBRE	1397.3	1247.6	1125.1
DECEMBRE	1082.8	1027.1	938.3

LIST

```

5  REM :FORMULE DE FERRIN DE BRICHAMBAUT
8  INPUT "LATITUDE DU LIEU L=";L
10 INPUT "L'ANNEE B=";B
15 INPUT "LE MOIS C=";C
20 INPUT "FIRST DAY OF DECADE:";I
25 INPUT "LAST DAY OF DECADE:";M
30 INPUT "COEFF.TROUBLE T=";T
35 DIM K$(M - I + 1),K(M - I + 1)
40 FOR JK = 1 TO M - I + 1
45 K(JK) = VAL (K$(JK))
50 NEXT JK
55 FOR J = I TO M
60 IF B / 4 - INT (B / 4) = 0 THEN 75
65 F = 28
70 GOTO 80
75 F = 29
80 IF C > 2 THEN 100
85 N = INT (C / 2)
90 D = J + 31 * N
95 GOTO 150
100 IF C < 8 THEN 138
105 IF C / 2 - INT (C / 2) = 0 THEN 125
110 N = INT (C / 2)
115 D = J + F + 31 * (N + 1) + 30 * (N - 2)
120 GOTO 150
125 N = C / 2
130 D = J + F + 31 * N + 30 * (N - 2)
135 GOTO 150
138 IF C / 2 - INT (C / 2) = 0 THEN 146
140 N = INT (C / 2)
142 D = J + F + 31 * N + 30 * (N - 1)
144 GOTO 150
146 N = C / 2
148 D = J + F + 31 * N + 30 * (N - 2)
150 DE = 0.409 * SIN (0.017 * (D + 284))
155 X = - TAN (DE) * TAN (L)
160 WS = 1.5708 - ATN (X / SQR (1 - X * X))
165 IG = 3721.017 * COS (DE) * COS (L) * ( SIN (WS) - WS * COS (WS)
170 ID = IG * EXP (( - T / 7.5) * ( COS (L - DE) ^ - 0.75))
172 PRINT "ID.CIEL CLAIR",ID
175 DF = IG * (T / 31.6) * ( COS (L - DE) ^ - 0.5)
180 K(J - I + 1) = ID + DF
182 PRINT "H. CIEL CLAIR:";K(J - I + 1)
185 NEXT J
195 S = 0
200 FOR JK = 1 TO M - I + 1
205 S = S + K(JK)
210 NEXT JK
220 MD = S / (M - I + 1)
225 PRINT "MOY.DECAD.DE.L'IRRADIATON.GLOBALE.MD=";MD

```

CHAPITRE - V

APPLICATION DE QUELQUES
RESULTATS OBTENUS

1. LES PROBLEMES POSES PAR LE DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS.

1.1. Les grandeurs en présence.

Une fois définis les éléments de la chaîne photovoltaïque, depuis le capteur jusqu'aux charges à alimenter en passant par les éventuels interfaces, il faut associer à chacun de ces éléments des valeurs numériques : puissance crête pour les modules, capacité pour le stockage, puissance pour un convertisseur, etc.

Pour effectuer ce dimensionnement, il faut considérer la demande énergétique d'une part et l'apport énergétique solaire d'autre part, sans oublier la gestion intermédiaire de cette énergie [13].

1.2. La chaîne photovoltaïque.

Le rendement η de la chaîne photovoltaïque est défini comme étant le rapport de l'énergie transmise aux charges sur l'énergie incidente. Ce rendement n'est pas constant, il dépend des différents rendements de chaque élément.

Le rendement des photopiles η_{ph} dépend de la température.

En couplage direct η_d varie en fonction du flux lumineux.

Si un convertisseur C.C.-C.C. ou C.C.-C.A. est utilisé, son rendement η_c ou η_{ca} est fonction de la charge.

Le rendement η_{st} des accumulateurs est pratiquement constant, mais ne concerne que la seule énergie transitant effectivement par les accumulateurs.

Il faut considérer un rendement η_{od} , entre générateur et stockage, qui tient compte de l'énergie perdue par

inadaptation entre capteurs et accumulateurs.

La figure (1.V) montre combien il est difficile de prévoir le bilan énergétique d'une installation et très souvent il faut effectuer de très grosses approximations.

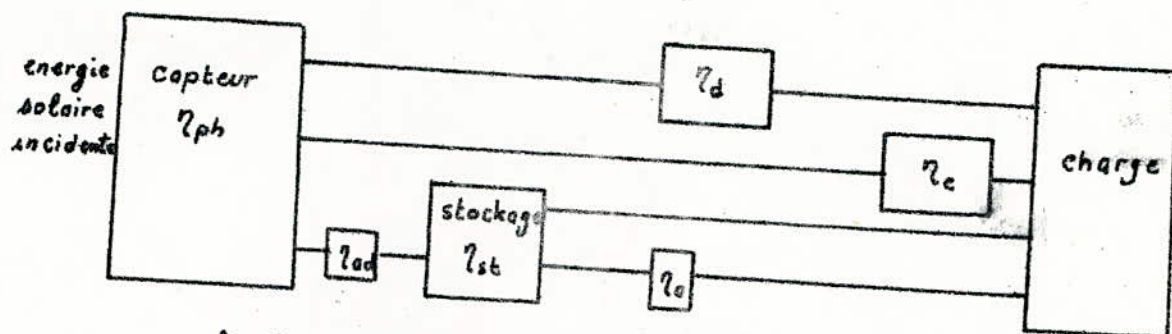


fig (1.V) : rendement des divers chaînes photovoltaïques

1.3. Estimation de l'apport énergétique solaire.

Pour un site donné, le moyen le plus simple de déterminer l'énergie solaire incidente sur un capteur, est d'installer sur place un appareil d'enregistrement.

Pour obtenir des résultats significatifs, les mesures doivent être prises pendant une durée assez longue (une année minimum). Il n'est pas toujours possible d'attendre trop longtemps des statistiques sur le terrain, ni même de placer un appareil de mesure. Une solution est alors l'utilisation des données météorologiques fournies par les aéroports ou les stations de la météorologie. Il faut toutefois prendre garde à la possibilité de microclimats lors de l'extrapolation d'un site à un autre. De tels microclimats sont très fréquents en zone montagneuse ou près de la mer.

V.2. CALCUL DU VOLUME D'EAU POMPE PAR UNE STATION DE POMPAGE PHOTOVOLTAÏQUE.

2.1. Introduction.

Pour l'étude d'une station de pompage de l'eau alimentée par photopiles solaires et plus particulièrement s'il s'agit d'un couplage direct des photopiles au moteur, l'utilisation des courbes de fréquences cumulées présente un grand intérêt car on est dans le cas d'un système à seuil et à réponse non linéaire.

On peut à partir de ces courbes estimer le volume d'eau pompé en moyenne pendant une journée pour n'importe quelle installation [11].

Nous allons dans ce qui suit, donner un exemple d'une station de pompage solaire qui assure les besoins en eau d'une ferme isolée pour l'élevage et l'irrigation. Ses panneaux solaires sont directement reliés au moteur à courant continu, sans intermédiaires de batteries. Ce moteur actionne une pompe centrifuge immergée à 23 m de profondeur.

2.2. Evaluation du volume d'eau pompé en moyenne sur une journée:

On considérera que les points de démarrage et d'arrêt du système sont confondus. Le volume V d'eau pompé sur une journée peut se calculer par la relation :

$$V = \int_0^{h(P_n^D)} D(P_n(nh)) dn. \quad (1.V)$$

où P_n^D représente l'éclairement de démarrage exprimé en W/m^2 et D le débit, exprimé en m^3/h .

On utilisera pour ce calcul, la courbe de fréquences cumulées

de la figure (21. III) et pour simplifier les calculs, on ajustera celle-ci par un polynôme du premier degré de la forme :

$$P_n = -79.45 nh + 865.23 \quad (2.V)$$

Le coefficient de détermination $R^2 = 0.98$ apprécie la validité de cet ajustement.

De (2.V) on a : $nh = g(P_n) = -\frac{1}{79.45} P_n + \frac{865.25}{79.45}$

La relation (1.V) devient :

$$V = \int_{P_n^M}^{P_n^D} D(P_n(nh)) \cdot g'(P_n) dP_n \quad (3.V)$$

où P_n^M représente l'éclairement maximal sur la journée.

Le débit D est donné, pour cette pompe, par la relation

$$D = \sqrt{5 \cdot 10^{-3} P_n - 1} \quad (4.V)$$

Avec, dans notre cas, $P_n^M = 900 \text{ w/m}^2$ et $P_n^D = 200 \text{ w/m}^2$, le volume d'eau est donc :

$$V = \int_{200}^{900} \sqrt{5 \cdot 10^{-3} P_n - 1} \cdot \left(-\frac{1}{79.45}\right) dP_n$$

On trouve par intégration :

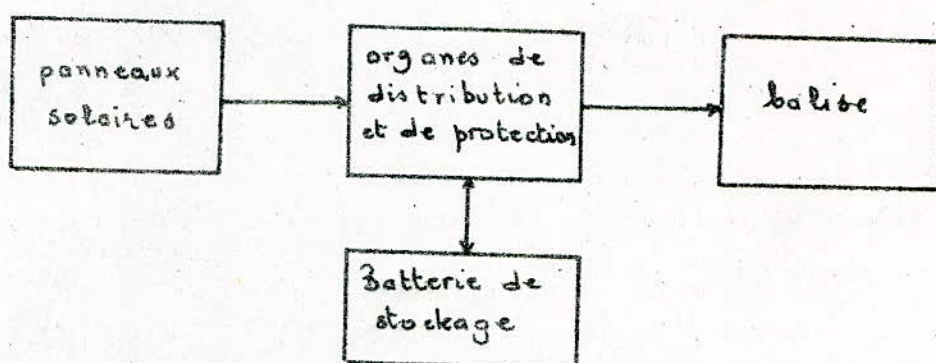
$$V = 18.3 \text{ m}^3$$

Et en faisant le calcul à partir des courbes de fréquences cumulée pour chaque mois de l'année, on trouve le volume total pompé sur toute l'année.

V.3. DIMENSIONNEMENT D'UNE BALISE RADIO-ELECTRIQUE ALIMENTEE PAR CONVERSION PHOTOVOLTAÏQUE

3.1. Introduction

L'alimentation par conversion photovoltaïque d'une balise radio-électrique est décrite par le schéma suivant:



Pour dimensionner une telle installation, il faut déterminer au préalable la demande en énergie de la balise, l'énergie convertie et consommée par le système.

Dans cet exemple, on suppose que la demande est bien définie : la balise est prévue pour fonctionner 24 heures sur 24 heures avec une puissance $P_0 = 24\text{W}$.

L'apport énergétique solaire présente, par ailleurs, des fluctuations temporelles. Par conséquent, son estimation se fait, alors, par le choix de la moyenne journalière sur une longue durée (minimum une année) de l'irradiation globale, soit $(H)_{\text{moy}}$ ainsi que la durée d'insolation, soit $(SS)_{\text{moy}}$.

L'analyse statistique des données d'irradiation globale et de la durée d'insolation sur la période 1979-1982, a donné les résultats suivants:

$$(H)_{\text{moy}} = 1618 \text{ J/cm}^2 \quad (SS)_{\text{moy}} = 6.7 \text{ heures}$$

3.2. Dimensionnement du système:

a) Calcul du nombre de panneaux:

L'énergie moyenne convertie en une journée est:

$$W_c = \eta_p \cdot N \cdot S \cdot (H)_{\text{moy}} \quad (4.V)$$

avec η_p et N respectivement, le rendement et le nombre des panneaux, S étant la surface de chaque panneaux.

Soient W_a et W'_a les énergies consommées respectivement par le système et la balise pendant la journée.

Soit W''_a l'énergie convertie dans les accumulateurs, alors

$$W_a = W'_a + W''_a \quad (5.V)$$

avec :

$$W'_a = P_a \cdot (ss)_{\text{moy}} \quad (6.V)$$

L'énergie débitée par les accumulateurs pendant la nuit est :

$$W_d = \eta_a \cdot W''_a = P_a (24 - (ss)_{\text{moy}}) \quad (7.V)$$

avec η_a le rendement des accumulateurs. Alors

$$W''_a = \frac{P_a (24 - (ss)_{\text{moy}})}{\eta_a} \quad (8.V)$$

Ce qui donne :

$$W_a = P_a \cdot (ss)_{\text{moy}} + \frac{P_a}{\eta_a} (24 - (ss)_{\text{moy}}) \quad (9.V)$$

Pour que le système fonctionne convenablement il faut que :

$$W_a \leq W_c$$

soit :

$$\eta_p \cdot N \cdot S \cdot (H)_{\text{moy}} \geq \frac{P_a}{\eta_a} (24 - (ss)_{\text{moy}}) + P_a (ss)_{\text{moy}} \quad (10.V)$$

d'où

$$N \geq \frac{P_a}{S \cdot \eta_p \cdot (H)_{\text{moy}}} \cdot \left((ss)_{\text{moy}} + \frac{24 - (ss)_{\text{moy}}}{\eta_a} \right) \quad (11.V)$$

Application numérique : $\eta_p = 9\%$; $S = 0.37 \text{ m}^2$; $\eta_a = 80\%$; $P_a = 24 \text{ W}$

On trouve : $N = 5$ panneaux

b) Calcul de la capacité des accumulateurs nécessaire à la consommation quotidienne :

Cette capacité concerne uniquement les besoins énergétiques nocturnes de la balise.

De la relation (8.V), on a :

$$C U_0 \geq \frac{P_a}{\eta_a} (24 - (SS)_{\text{moy}})$$

avec U_0 la tension nominale des accumulateurs, d'où

$$C \geq \frac{P_a}{\eta_a U_0} (24 - (SS)_{\text{moy}}) \quad (12. \nabla)$$

Application numérique: $U_0 = 24 \text{ V}$.

On trouve $C = 22 \text{ A.H.}$

Remarque:

Cette capacité n'est pas définitive pour le bon fonctionnement de la balise, il faudrait considérer en outre les fluctuations mensuelles et saisonnières.

CONCLUSION

Le travail entrepris a permis de mettre au point une approche d'évaluation de l'irradiation globale disponible à BOUZAREAH.

Les modèles utilisés donnent des résultats proches de ceux expérimentaux mais demandent à être affinés par une analyse approfondie des résultats.

L'étude de la structure probabiliste des données chronologiques d'irradiation journalière permet une prévision météorologique au sens d'un seuil pouvant aller jusqu'à deux jours.

L'approche par un modèle MARKOVIEEN à deux états est à considérer pour BOUZAREAH et une éventuelle augmentation de l'ordre et du nombre des états pourra apporter un gain de précision.

On notera aussi la mise au point de quelques programmes de statistiques et d'analyse numérique dont l'exploitation peut, au besoin s'étendre à des domaines autres que celui de l'énergie solaire.

Les applications étudiées ne mettent pas en évidence l'intérêt et l'importance des résultats obtenus. Un écho des concepteurs des systèmes solaires à conversion photovoltaïque pourra servir de guide à cet effet.

Le cahier de charge que représente cette conclusion, essaie de sensibiliser le lecteur aux possibilités multiples que la recherche ouvre dans ce domaine.

NOTATIONS UTILISEES

I_0	Constante solaire
α	angle d'azimuth
h	hauteur angulaire du soleil
δ	declinaison solaire
j	ordre du jour dans l'année
L	latitude
ω	angle horaire
ω_s	angle solaire au lever et au coucher du soleil
T_s	heure solaire au lever et au coucher du soleil
I_{0h}	composante normale du flux solaire en dehors de l'atmosphère terrestre.
H_0	irradiation journalière en dehors de l'atmosphère terrestre.
Q	puissance solaire absorbée par la vapeur d'eau
m	masse atmosphérique
$\bar{\omega}$	hauteur d'eau condensable
P	pression atmosphérique
P_{vs}	pression de vapeur d'eau saturante au sol
T	coefficient de trouble de VALKO
β	coefficient de trouble d'ANGSTRÖM
$\overline{\sin h}$	moyenne journalière de $\sin h$
$\overline{H_{bc}}$	irradiation journalière directe par ciel clair
$\overline{H_{dc}}$	irradiation journalière diffuse par ciel clair
$\overline{H_{hc}}$	irradiation journalière globale par ciel clair
σ	fraction d'insolation

s_s	durée d'insolation expérimentale
s_{s_0}	durée du jour
H	irradiation globale par ciel couvert
I_b	rayonnement solaire direct
R	coefficient de corrélation
σ_r	écart résiduel
$\overline{(H/H_0)}$	moyenne mensuelle de la fraction d'irradiation globale
G	moyenne géométrique
σ_G	écart géométrique
n_i	fréquence observée des fractions d'irradiation
n'_i	fréquence théorique des fractions d'irradiation
S	seuil
H_0	hypothèse d'indépendance des données journalières d'irradiation globale
H_1	hypothèse de dépendance à 1 jour
H_2	hypothèse de dépendance à 2 jours
$N(k)$	nombre de séquence de beau temps qui ont duré k jours
$M(r)$	nombre de séquence de mauvais temps qui ont duré r jours
$f(k)$	fréquence observée de séquence de k jours de beau temps
$f'(r)$	fréquence observée de séquence de r jours de mauvais temps
f_{ik}	fréquence théorique de séquence de k jours de beau temps relative à l'hypothèse H_i
f'_{ir}	fréquence théorique de séquence de r jours de mauvais temps relative à l'hypothèse H_i
$[F_{k_1} - F_{k_2}]_i$	intervalle de confiance pour les séquences de beau temps, relatif à l'hypothèse H_i

BIBLIOGRAPHIE

- [1] - THEKAEKARA M.P.
Solar energy outside the earth's atmosphere.
Solar energy, VOL 14, 1973
- [2] - KONDRATIEV
Radiation in the atmosphere.
Academic press.
- [3] - A-A-SFEIR, G-GUARRACINO.
Ingénierie des systèmes solaires.
Technique et Documentation, Paris, 1981
- [4] - CH-PERRIN DE BRICHAMBAUT
Rayonnement solaire et échange radiatifs naturels.
Gauthier-Villars, Paris, 1963.
- [5] - Relevés mensuels des irradiances globale, directe et
de la durée d'insolation, d'octobre 1978 à décembre
1982.
Station d'énergie solaire de BOUZAREAH
- [6] - M-J-MEJON, J-GOUSSEBAIKE, PH-BOIS,
G-VACHAUD.
Etude des liaisons entre l'irradiation solaire
journalière et quelques variables météorologiques
Publication du C.N.R.S., 1979

- [7] - J. BARRANGER
Introduction à l'analyse numérique
Collection Méthodes, Herman, Paris, 1977
- [8] - MARRAY R-SPIEGEL
Théorie et applications de la statistique
Edition MC GRAW HILL, 1982.
- [9] - R-ARLERY, H-GRISOLLET, B-GUILMET
Climatologie - Methodes et Pratiques.
Edition Gautier-Villars, Paris, 1973.
- [10] - M-J-MEJON, J-GOUSSEBAIKE, PH-BOIS, G-VACHAUD
Critique et analyse de données journalières
d'insolation et de rayonnement
Publication du C.N.R.S., 1979
- [11] - J-ADNOT, B-BOURGES, D-CAMPONA et R. GICQUEL
Utilisation de courbes de fréquences cumulées
d'irradiation globale pour le calcul des installations
solaires.
Publication du C.N.R.S., 1979
- [12] - APPLE-II
The DOS and APPLESOFT MANUELS
- [13] - A. LAUGIE et J. A. ROGER
les photopiles solaires.
Le dimensionnement des installations, PP 279-286
Edition technique et documentation, PARIS 1981.