

**OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
CENTRE D ADIOPODOUME
B.P V 51 ABIDJAN Cote d'Ivoire**

Laboratoire de Bioclimatologie

**ETUDE DU CLIMAT RADIATIF
DE LA REGION SUD-OUEST DE COTE D'IVOIRE (Zone TAï)**

MONTENY, B.A.; LHOMME, J.P.

Février 1981

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
CENTRE D ADIODOUME
B.P V 51 ABIDJAN Cote d'Ivoire

Laboratoire de Bioclimatologie

ETUDE DU CLIMAT RADIATIF
DE LA REGION SUD-OUEST DE COTE D'IVOIRE (Zone TAï)

MONTENY, B.A.; LHOMME, J.P.

Février 1981

COPYRIGHT-ORSTOM

L'analyse de la fraction d'énergie solaire reçue dans la région de Taï montre une forte réduction de la quantité totale annuelle : à peine 41 % de l'énergie extraterrestre arrive au sol. Cette réduction est en relation avec l'importance de la formation thermique prédominante des nuages et des brouillards dans cette zone de convergence intertropicale.

La distribution empirique des valeurs journalières est unimodale et présente une asymétrie généralement négative.

L'ajustement analytique par la loi beta incomplète permet d'estimer les seuils énergétiques pour différentes probabilités, tout comme il est possible de fournir le nombre de jours du mois pour lequel le seuil énergétique est supérieur ou inférieur à une valeur donnée.

La variation horaire du rayonnement global est très inégale selon les saisons :

- en période sèche, les brouillards atténuent fortement l'énergie solaire le matin
- en période de saison des pluies, ce sont les nuages qui occultent les rayons solaires, principalement au cours de la matinée.

La région de Taï peut être associée à la zone géographique de Zagné et Soubré et formée une entité climatique dont le caractère radiatif est homogène.

I. INTRODUCTION

Le climat d'une région résulte de l'équilibre entre les différents échanges énergétiques sol-atmosphère. Il dépend d'une part de la quantité de rayonnement solaire (direct-diffus) reçue et des caractéristiques physiques de la surface réceptrice ; et d'autre part des quantités de chaleur et d'humidité présentes dans les masses d'air et de la formation des nuages et brouillards qui conditionnent la transparence de l'atmosphère aux rayons solaires.

Au sol, cette énergie solaire est partiellement utilisée par les écosystèmes végétaux en tant que producteurs d'énergie chimique (réaction de photosynthèse). Compte tenu de la faible fraction d'énergie ainsi transformée (0,5 à 1,0% de R_g) une part importante est restituée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau (évapotranspiration) et de chaleur par la végétation, modifiant les caractéristiques des masses d'air (température et tension de vapeur d'eau). Les variations vont à leur tour influencer le comportement animal puisque tributaire de certains paramètres du milieu pour la maintenance de leur pérennité.

On comprend dès lors l'intérêt à mesurer le rayonnement solaire global dont les données permettent de déterminer les potentialités agricoles de la région ainsi que d'estimer les possibilités de valori-

sation par transformation de cette source d'énergie "gratuite". Pour ce faire, il est fondamental de connaître les variations journalières, mensuelle et annuelle de ce paramètre (MONTENY et *al.*, 1979).

Les mesures du rayonnement solaire global sont réalisées dans la région forestière du SW de la Côte d'Ivoire, à l'aide de différents appareils actinométriques depuis 1978. Nous rapportons les corrélations établies entre eux et analysons ensuite la distribution empirique des valeurs enregistrées du rayonnement. L'ajustement fréquentielle permet de déterminer les différents seuils énergétiques selon certaines probabilités. Nous terminerons par un essai de régionalisation de ce paramètre climatique.

II. INSTALLATION ET APPAREILLAGES UTILISES

Une station de Recherches Ecologiques a été installée par le Ministère de la Recherche Scientifique dans la région du SW de la Côte d'Ivoire. Cette région, près de Taï, se situe dans une zone forestière dense et humide, dont les paramètres climatiques sont peu connus. Pour y remédier, un parc météorologique a été mis en place et fonctionne en continu depuis avril 1978 (CARDON, 1979). Nous nous intéresserons plus particulièrement aux données concernant l'énergie solaire.

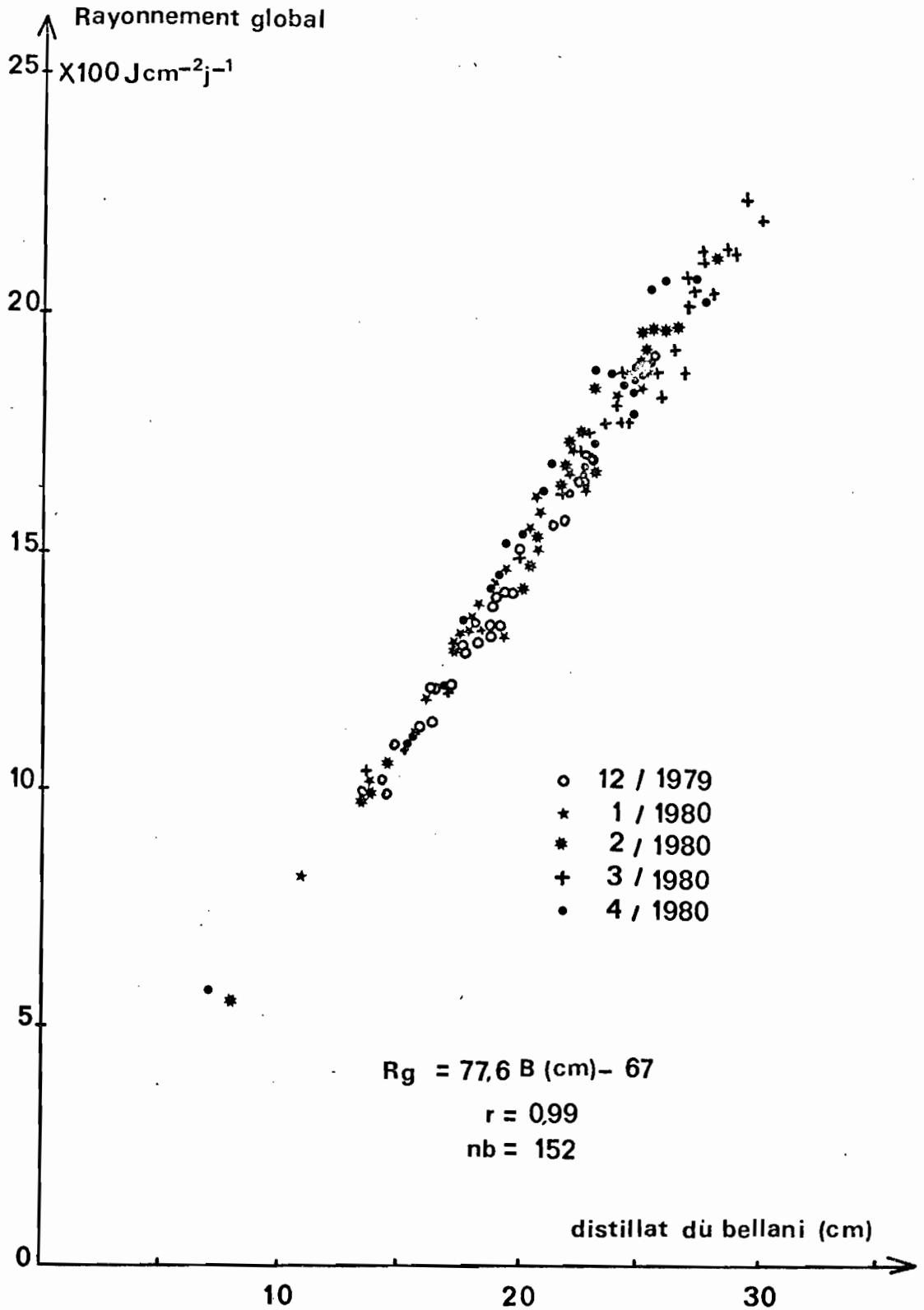


Fig. 1: Relation entre la fraction de distillat du Bellani (cm). et la quantité d'énergie globale R_g reçue sur une surface horizontale.

2.1. Rayonnement solaire global (Rg)

Le rayonnement solaire global (Rg) est la somme des rayonnements direct (I_{sinh}) et diffus (D) arrivant au sol après la traversée de l'atmosphère. Cette donnée est la plus utile pour caractériser le climat radiatif d'une région. Il est exprimé en unité de puissance W_m^{-2} pour les valeurs instantanées, ou en $cal.cm^{-2}.j^{-1}$ ou $J.cm^{-2}.j^{-1}$ pour les valeurs intégrées sur la période diurne.

Le rayonnement global est mesuré :

- 1) à l'aide d'un pyranomètre thermoélectrique Kipp et Zonen (type Moll) couplé à un enregistreur intégrateur alimenté par batterie.

L'ensemble a été étalonné par rapport à un pyranomètre Eppley de référence avant d'être installé en novembre 1979. Le capteur Kipp et Zonen a été fixé au sommet d'un mât d'une hauteur de 12 m.

- 2) à l'aide d'un pyranomètre à distillation (type Gun-Bellani), moins complexe et plus robuste. Il totalise la somme du rayonnement global par lecture différentielle des volumes de liquide distillé (ELDIN et *al.*, 1972). Cet appareil a été installé à 1,70 m au-dessus d'une surface engazonnée en avril 1978.

Cet appareil s'étalonne aisément car la quantité de liquide distillé est proportionnelle à la quantité d'énergie globale enregistrée par le pyranomètre thermoélectrique (fig. 1).

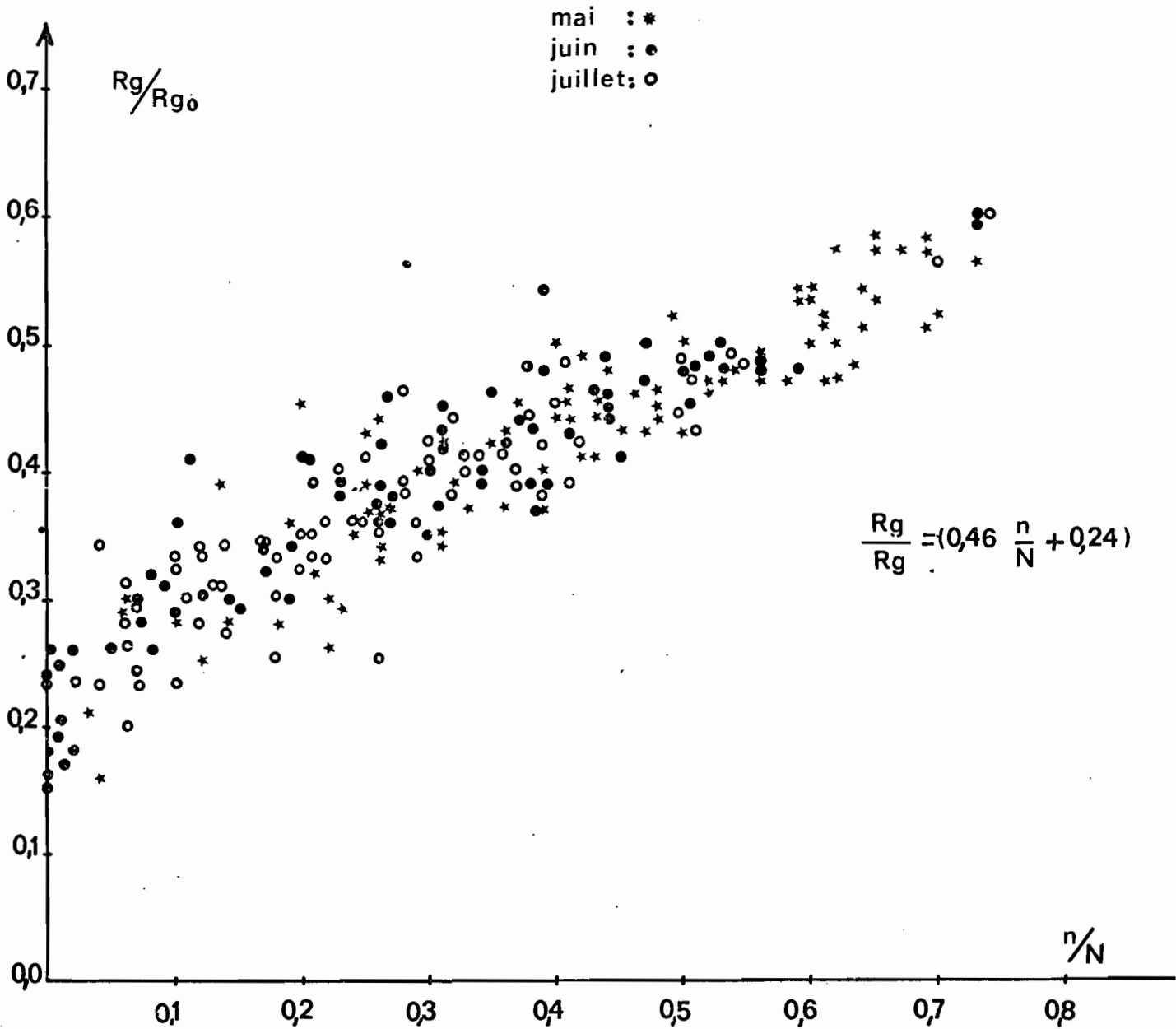


Fig. 2: Relation entre la durée d'insolation relative et la fraction de l'énergie solaire extraterrestre reçue au sol.

2.2. Durée d'insolation

Depuis avril 1978, l'enregistrement des heures d'ensoleillement (n) est effectué à l'aide d'un héliographe Campbell-Stoks installé sur un support à 1,70 m au-dessus du sol. Les héliogrammes, fournis par la M.N.F., sont dépouillés selon les recommandations de l'OMM (MONTENY et *al.*, 1976). Compte tenu du grand nombre d'héliographes installés en Côte d'Ivoire, il est utile de pouvoir traduire le nombre d'heures d'insolation en une quantité énergétique comme le rayonnement global ($J.cm^{-2}, j^{-1}$).

L'expression empirique utilisée (BLACK-PRESCOTT, 1964) est celle qui répondrait le mieux à cette transformation (fig. 2). Elle s'écrit :

$$R_g = \left(a \frac{n}{N} + b \right) R_{g_0}$$

R_g = rayonnement solaire global reçu sur une surface horizontale au sol

n = durée d'insolation mesurée

N = durée du jour astronomique

R_{g_0} = rayonnement solaire global reçu sur une surface horizontale au sommet de l'atmosphère

a et b sont les coefficients déterminés statistiquement et qui varient selon la saison et le lieu de mesure.

L'erreur commise dans l'estimation de la valeur du rayonnement global à partir d'un tel type de formule est variable suivant la période d'intégration et surtout du type de temps en relation avec la déclinaison.

son solaire (MONTENY et *al.*, 1979). Le tableau I illustre cette variation des coefficients.

Tableau I : Variation des coefficients a et b
en fonction des saisons.

période	a	b	n/N	nb	r
nov. à janv.	0,43	0,22	0,55	115	0,84
fév. à avril	0,42	0,24	0,60	210	0,86
mai à juil.	0,46	0,24	0,40	263	0,91
août à oct.	0,39	0,26	0,25	180	0,83
annuel	0,44	0,25	0,40	768	0,89

La meilleure corrélation obtenue (mai à juillet) traduit le mieux la répartition des valeurs de la durée d'insolation (entre 0,00 et 0,80). Quant aux résultats des autres groupes, on est en présence d'un nuage de points situé respectivement entre 0,40 et 0,80 pour nov.-janv. et févr.-avril et 0,00 et 0,50 pour août-octobre.

Pour l'ensemble des données, les coefficients $a = 0,44$ et $b = 0,25$ sont très voisins de ceux proposés précédemment (MONTENY et *al.*, 1979) à savoir : $a = 0,46$ et $b = 0,23$ établis sur les données de 3 stations actinométriques. Les variations des coefficients proviennent du fait que la relation entre la fraction de l'énergie solaire reçue et la durée d'insolation

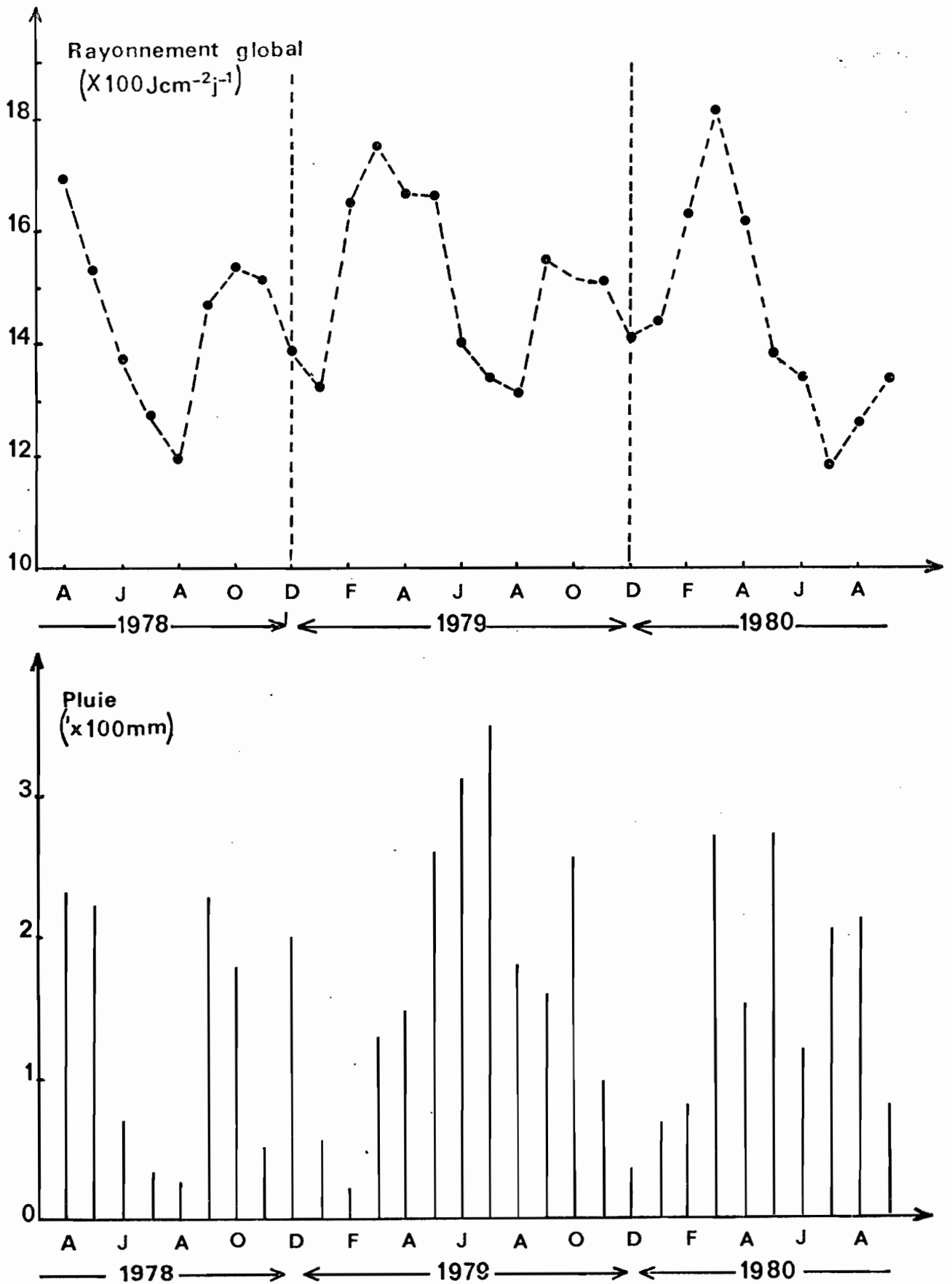


Fig. 3: Evolution du rayonnement global (moyenne mensuelle) durant la période considérée, pour la région de Taï.

relative n'a pas exactement le caractère linéaire que l'on veut lui donner mais elle a plutôt l'allure d'une courbe (PERRIN de BRICHAMBAUT (1978). RIETVELD (1978) , passant en revue les différentes formules proposées, constate une certaine dépendance des coefficients a et b à la valeur moyenne de la durée d'insolation relative mais il ne fait pas mention de la variation de la pente de la relation en fonction de la déclinaison solaire, valeur qui pour une même station, passe de 0,50 en été à 0,74 en hiver. Il estime que leur détermination, faite à partir des données mesurées dans la région, permet le calcul du rayonnement global avec plus de précision que l'utilisation de formules existantes dont l'extrapolation fournit des valeurs erronées.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Evolution de la fraction d'énergie transmise

Les variations des moyennes mensuelles du rayonnement global peuvent atteindre 30 à 40% et ce en fonction de l'état de transparence de l'atmosphère et du balancement apparent du soleil. On constate (fig. 3) que les moyennes présentent deux maxima (mars-avril et oct.-nov.) et deux minima (juil.-août et dec.-janv.). C'est la position de la zone de convergence intertropicale (Z.C.I.T.) qui influence d'une manière prépondérante sur les propriétés de transparences des masses d'air :

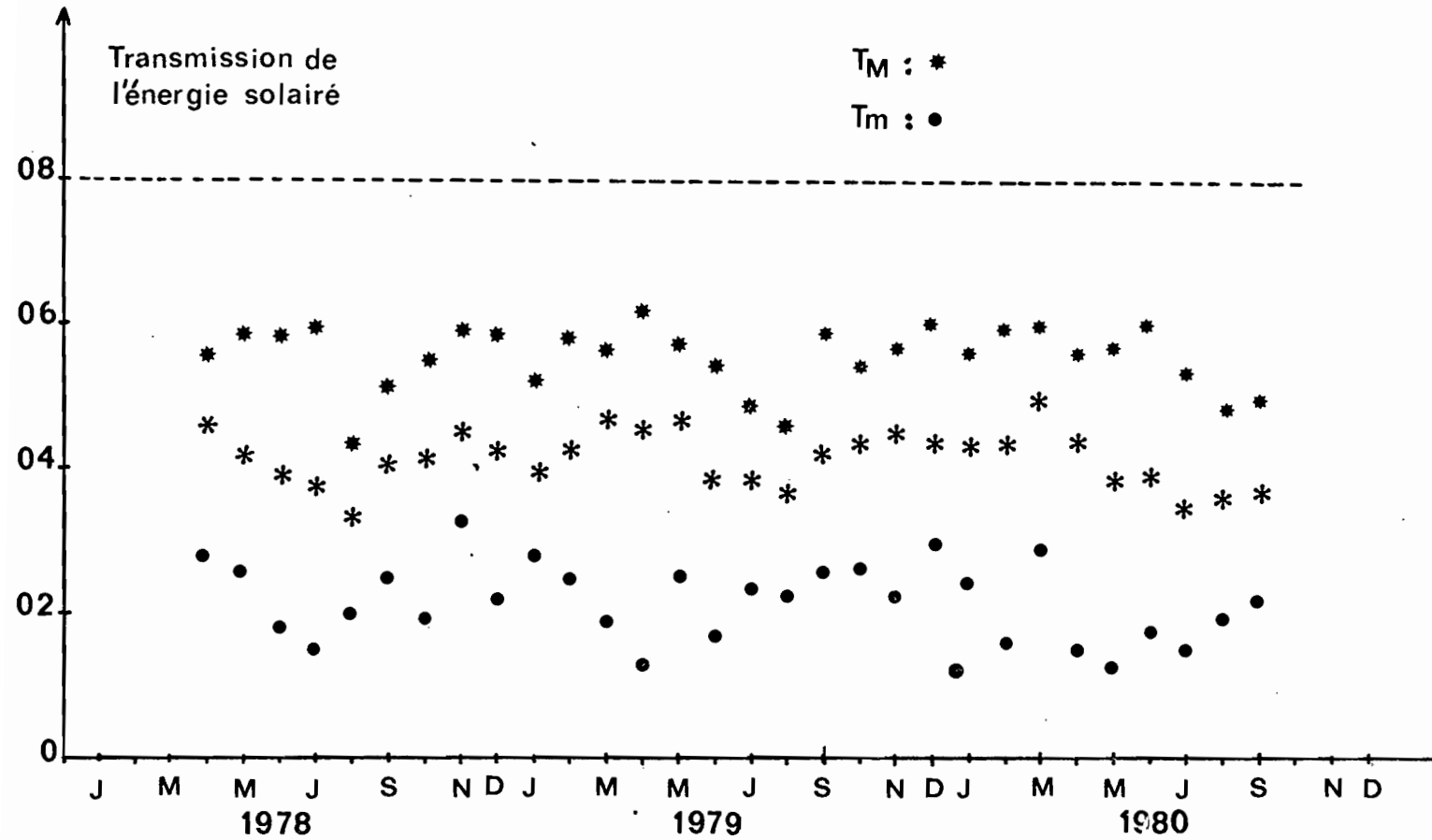


Fig. 4: Evolution de la fraction d'énergie reçue au sol après passage dans l'atmosphère:

T_M : transmission maximale

T_m : transmission minimale

$T_{\bar{m}}$: transmission moyenne mensuelle

- dans sa limite australe, la Z.C.I.T. est caractérisée par la superposition de deux masses d'air, maritime au sol et continentale en altitude. Les refroidissements nocturnes de la masse d'air continentale sont responsables de la formation des brouillards dans les masses d'air humide. Les masses d'air continentales sont généralement chargées de poussière. Brouillards et aérosols atténuent fortement les quantités d'énergie du rayonnement solaire.
- quand la Z.C.I.T. remonte vers le nord, c'est l'importance de la couverture nuageuse qui déterminera la fraction d'énergie transmise au sol.

La transmission de l'énergie solaire par l'atmosphère est une caractéristique radiative du climat. La figure 4 représente l'évolution des valeurs maximales et minimales de la quantité d'énergie transmise pour la période étudiée. Ce mode de représentation permet de distinguer le rôle respectif des aérosols et des nuages sur la réduction de l'énergie solaire (MONTEITH, 1972).

En effet, la transmission maximale (T_M), correspondant à la valeur journalière la plus élevée du rayonnement global mesuré durant le mois, caractérise l'effet de l'atténuation des rayons solaires par la présence principalement des aérosols en la quasi absence de nuages. Les plus fortes valeurs (0,62) ont été relevées après des périodes d'orages importants (mai et nov.-déc.) qui lessivent l'atmosphère des poussières et des aérosols de gros diamètre qu'il contient.

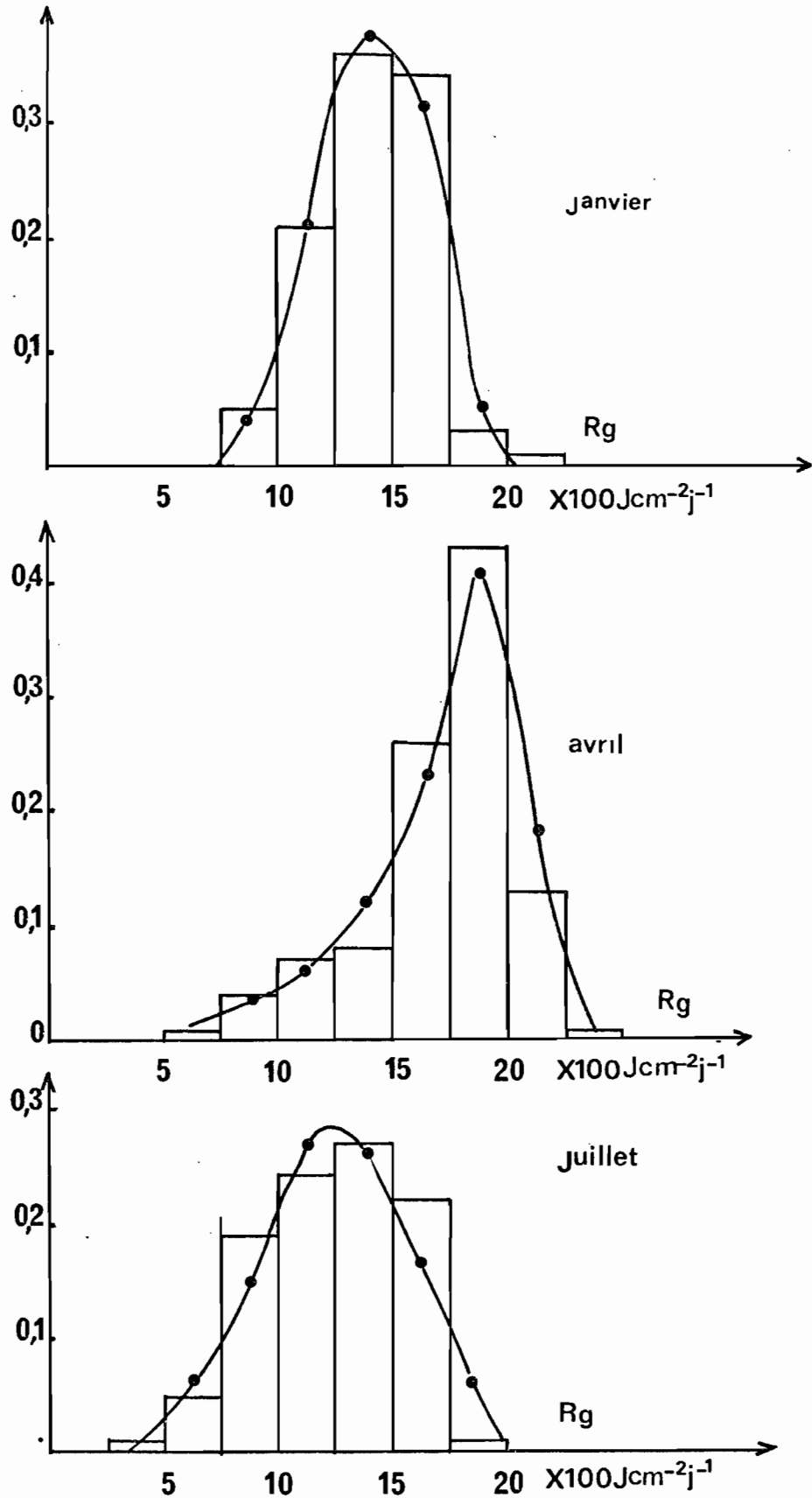


Fig. 5: Histogrammes de la distribution du rayonnement global R_g pour trois mois distincts et leur courbe de fréquence correspondante.

Les valeurs minimales (T_m), correspondant à la plus faible valeur journalière du rayonnement global mensuel, traduisent l'importance de l'enneigement (saison des pluies) qui peut *réduire* 85 % de la fraction de l'énergie solaire extraterrestre. Les valeurs moyennes mensuelles de la transmission de l'atmosphère varient en fonction des saisons.

La valeur moyenne annuelle est de 0,41 comparée à 0,44 pour la région d'Abidjan, 0,48 pour Kinshasa (Zaïre) et 0,58 à Samaru (Nigeria).

3.2. Distribution empirique et courbe de fréquence

L'évolution des valeurs moyennes mensuelles du rayonnement global au cours de l'année ne donne aucune indication quand à la variation même de ce rayonnement durant les différents mois.

L'analyse de la distribution des valeurs journalières du rayonnement global peut fournir l'information nécessaire. Le tableau II chiffre la distribution empirique des données du rayonnement solaire global avec des intervalles de classe de 250 J cm^{-2} et la figure 5 montre les histogrammes de fréquence pour 3 mois (janvier, avril et juillet) choisis en relation avec le mouvement de la zone de convergence intertropicale. Les distributions sont unimodales et présentent une asymétrie le plus souvent négatif, phénomène déjà observé précédemment en deux autres localités (LHOMME et *al.*, 1980).

Tableau II - Distributions empiriques des valeurs journalières du rayonnement global (Taï).

Mois	Classes								
	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250
Janvier			0,05	0,20	<u>0,36</u>	0,34	0,03	0,01	
Février		0,02	0,04	0,02	0,16	<u>0,40</u>	0,33	0,04	
Mars			0,02	0,05	0,03	0,31	<u>0,34</u>	0,23	0,02
Avril		0,01	0,03	0,07	0,08	0,26	<u>0,43</u>	0,13	0,01
Mai		0,03	0,01	0,11	0,18	<u>0,37</u>	0,21	0,08	
Juin		0,07	0,09	0,17	<u>0,31</u>	0,27	0,04	0,04	
Juillet	0,01	0,05	0,19	0,24	<u>0,27</u>	0,22	0,01		
Août		0,01	0,15	0,26	<u>0,42</u>	0,16			
Septembre			0,09	0,13	0,32	<u>0,37</u>	0,07	0,02	
Octobre		0,02	0,03	0,10	0,19	<u>0,47</u>	0,19		
Novembre			0,02	0,07	0,32	<u>0,50</u>	0,08	0,02	
Décembre		0,02	0,03	0,19	<u>0,47</u>	0,21	0,08		

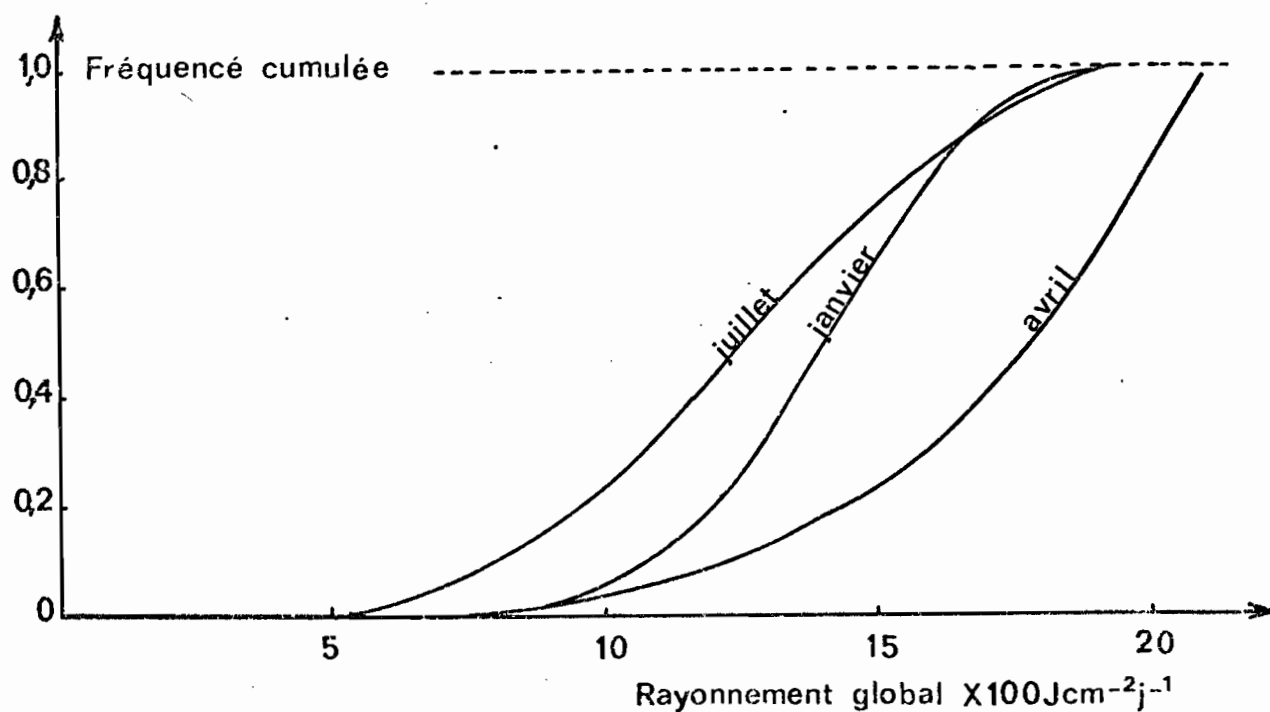


Fig. 6: Courbes de fréquence cumulée du rayonnement global selon trois mois de l'année.

A l'examen des histogrammes, la loi beta incomplète est celle qui rend mieux compte des distributions empiriques. Elle est représentative des distributions unimodales à asymétrie positive ou négative (γ^1) avec un certain aplatissement (γ^2) (BRUNET-MORET, 1969).

La fonction de répartition de la loi beta s'écrit :

$$F(x) = \frac{1}{B(p,q)} \int_0^u u^{p-1} x (1-u)^{q-1} du$$

$$\text{avec } u = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}$$

- p et q sont deux paramètres de forme, strictement positifs
- x_0 et x_1 les deux bornes de l'intervalle de définition de la variable
- $B(q, p) = \Gamma(p) \cdot \Gamma(q) / \Gamma(p + q)$ avec Γ fonction gamma complète.

Lorsque x varie de x_0 à x_1 , $F(x)$ croît de 0 à 1. L'ajustement a été réalisé par la méthode des moments. Elle consiste à écrire les équations donnant les moments en fonction des paramètres de la loi. Comme il y a quatre paramètres (x , x_0 , p et q) à estimer, on a besoin des quatre premiers moments.

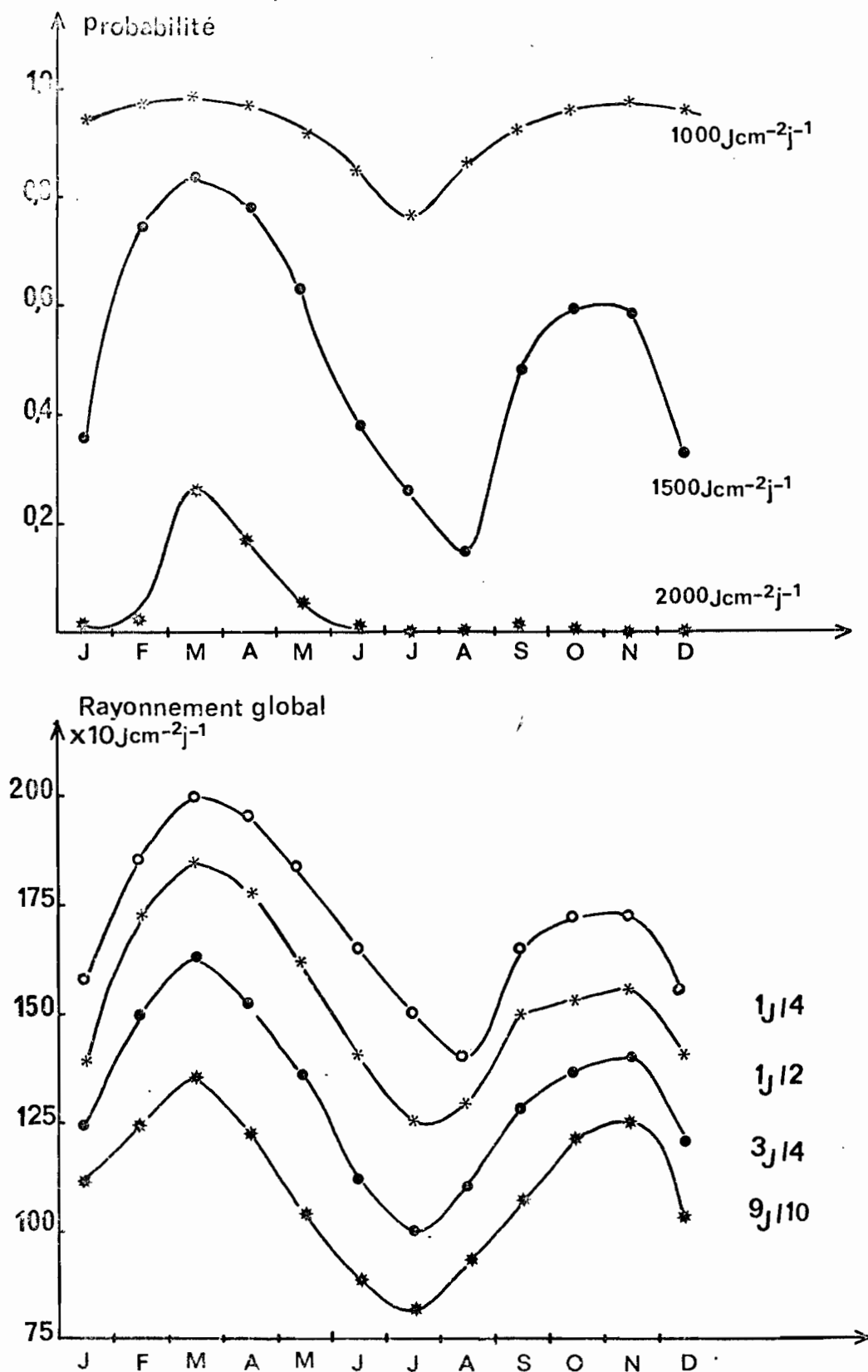


Fig. 7: Evolution annuelle des probabilités selon une puissance énergétique déterminée ou le nombre de jours par mois où le rayonnement solaire est égal à une valeur donnée.

Tableau III - Nombre de jours espéré dans un mois dont la valeur du rayonnement global est compris dans un intervalle déterminé.

	<1000	1250	1500	1750	2000	>2
Janvier	2	4	<u>13</u>	10	2	0
Février	1	2	4	9	<u>11</u>	1
Mars	1	2	3	6	<u>12</u>	7
Avril	1	2	3	7	<u>11</u>	6
Mai	3	3	6	<u>9</u>	9	1
Juin	5	6	<u>8</u>	7	5	0
Juillet	7	8	<u>8</u>	5	3	0
Août	4	10	<u>12</u>	4	1	0
Septembre	2	5	8	<u>10</u>	4	1
Octobre	1	3	8	<u>12</u>	7	0
Novembre	1	3	9	<u>14</u>	3	0
Décembre	1	8	<u>12</u>	7	2	2

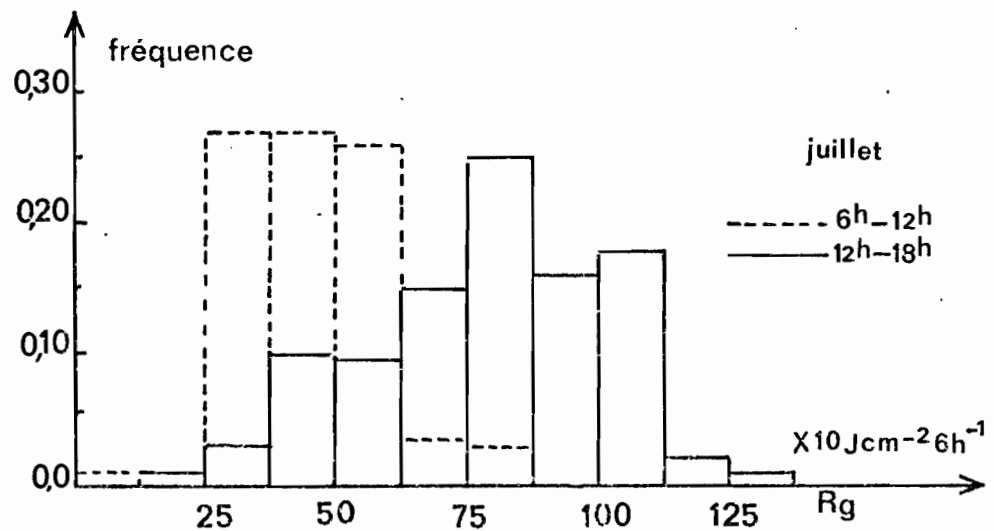
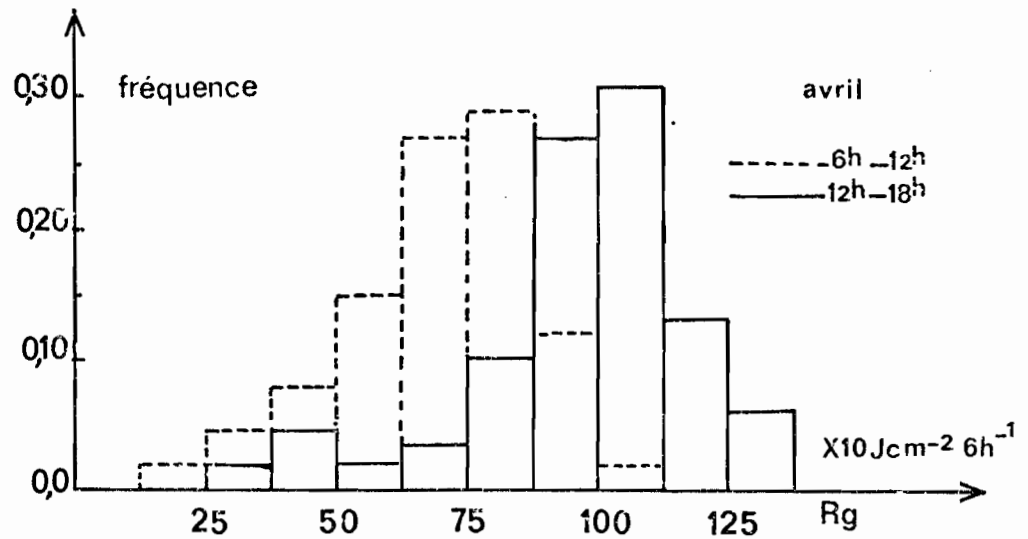
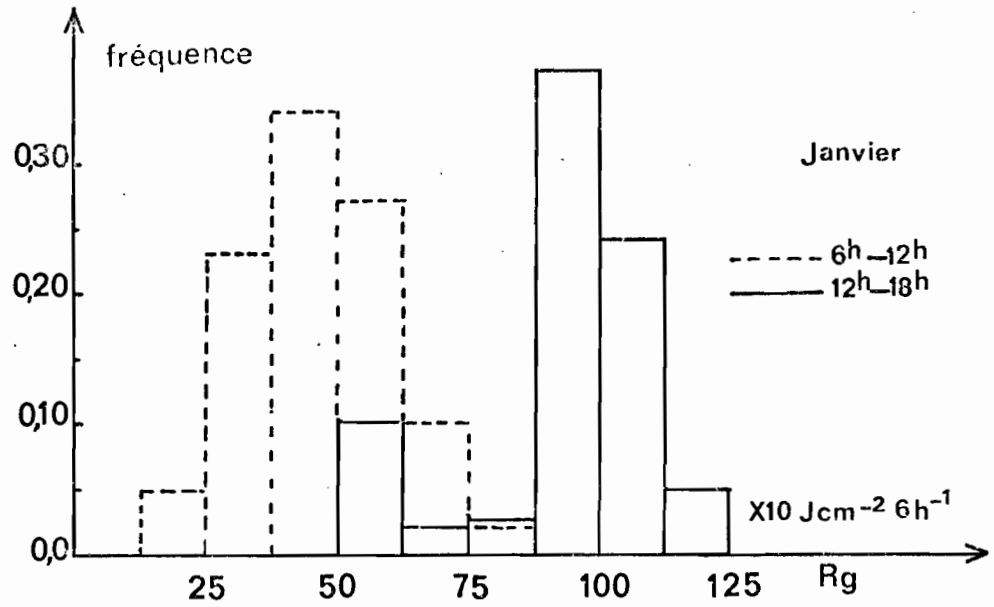


Fig. 8: Distribution empirique du rayonnement global mesuré avant et après midi.

L'ajustement analytique à partir de cette loi a permis la détermination des courbes de fréquence (fig. 5) ainsi que les courbes de fréquences cumulées (fig. 6). Il est dès lors aisé de déterminer le seuil énergétique pour une certaine fréquence et inversement.

Effectivement, il est important de savoir le nombre de jours probables pour un mois donné, pour lesquels la valeur du rayonnement global est comprise entre deux limites ou est supérieure à un seuil imposé. C'est ce qui ressort du tableau III où la probabilité est convertie en nombre de jours du mois considéré. L'évolution annuelle de la probabilité pour que le rayonnement solaire global journalier soit supérieur à une certaine valeur est montrée dans la figure 6. Quant à la figure 7, elle représente l'évolution du rayonnement global selon que l'on peut espérer voir dépassé 1 jour sur 4 ou 9 jours sur 10.

Ceci est intéressant en agriculture pour une détermination correcte des besoins en eau et pour une estimation de la productivité. Quant à une utilisation rationnelle de l'énergie solaire par des systèmes de conversion, il convient de mieux préciser certaines caractéristiques climatiques qui influent sur la quantité totale reçue au sol. En effet, l'installation de capteurs solaires doit être réalisée pour que les conditions de conversion donnent les meilleurs rendements. L'analyse de la variation horaire du rayonnement

solaire montre une dissymétrie importante de la répartition énergétique au cours de la journée (fig. 8).

- En janvier, la zone de convergence intertropicale se situe dans sa limite australe et souvent au-dessus de ces régions forestières, les masses d'air maritime au sol et continentale en altitude se superposent. Au cours du refroidissement nocturne, des brouillards importants provenant de la condensation de la vapeur d'eau se forment et atténuent fortement les rayons solaires. Ils ne se dégagent que progressivement au cours de la matinée. La distribution énergétique est très nettement asymétrique entre le matin et l'après-midi.

- En avril, la formation de brouillards n'est observée que par suite de pluie et leur dissipation est rapide.

- En juillet, c'est principalement l'occultation par le système nuageux qui intervient dans la réduction de la quantité d'énergie solaire reçue au sol.

IV. ESSAI DE REGIONALISATION

Différentes stations climatiques dans le sud-ouest effectuent également des relevés d'ensoleillement : Zagné et Soubré par l'IFCC, San Pedro et Tabou par l'ASECNA.

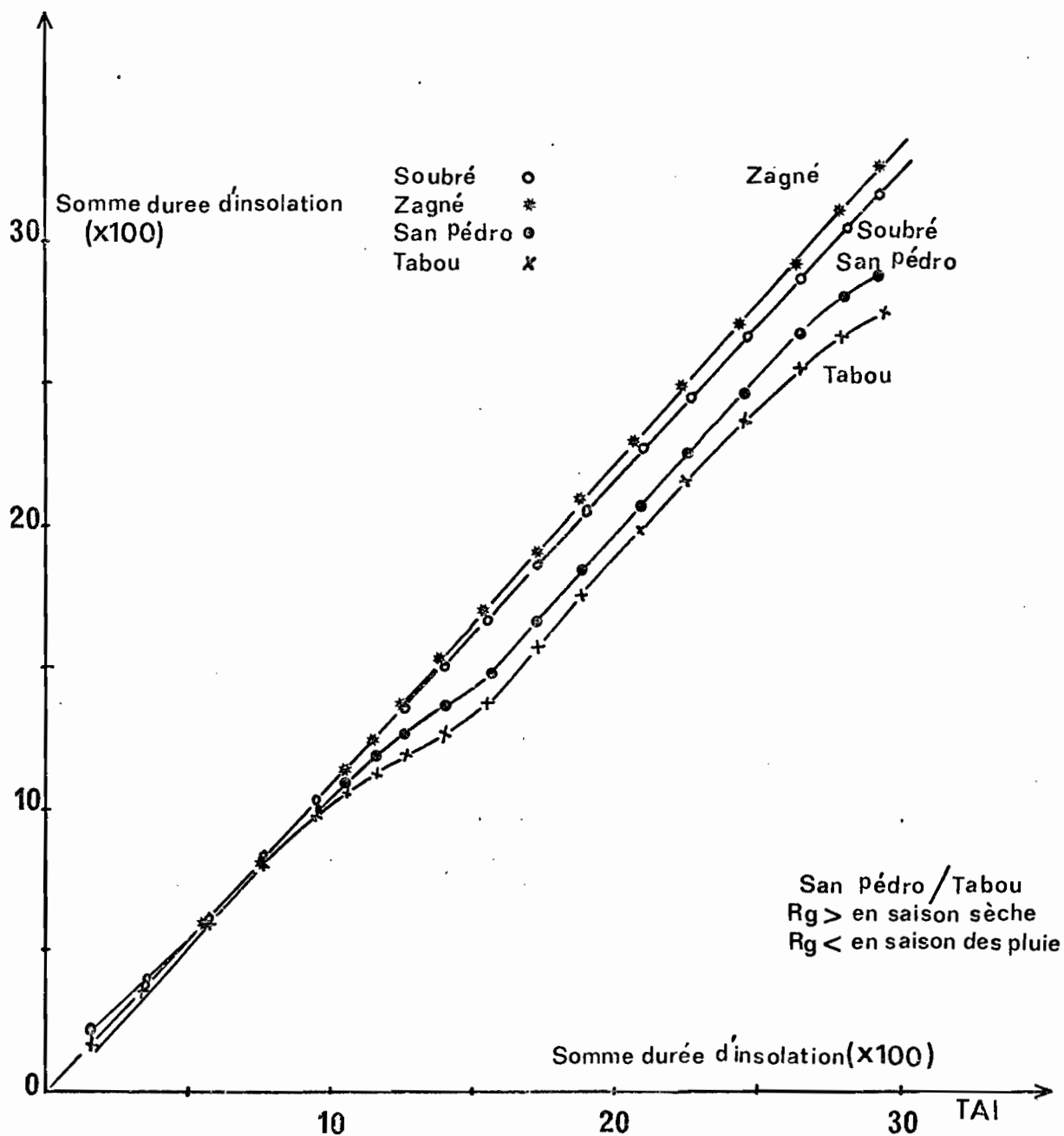


Fig. 9: Evolution des sommes de la durée d'insolation mensuelle des différentes stations par rapport à celles de la région de Tai.

Afin de se rendre compte si ces stations font partie d'une zone climatique homogène, il faut s'assurer de la quasi constance des rapports des valeurs mensuelles en prenant la station de Taï comme référence. La figure 9 représente l'évolution des sommes de la durée d'insolation mensuelle des différentes stations par rapport aux valeurs de Taï. San Pedro et Tabou subissent des réductions plus importantes de l'ensoleillement durant la saison des pluies (juin à septembre), alors que la somme totale est peu différente. Ces stations ne sauraient dès lors appartenir à la zone climatique de Taï. Par contre, le climat radiatif de la région de Soubré et de Zagné se rapprocherait davantage de celui de la région de Taï, tout en recevant respectivement 9% et 12% plus d'énergie solaire systématiquement. Cette constance des rapports permet de considérer ces zones comme faisant partie de la même zone climatique.

VI. CONCLUSION

Compte tenu du nombre de postes héliographiques dans la région du Sud-Ouest, il a été établi, à partir du seul poste radiométrique existant, une corrélation entre la durée d'insolation et le rayonnement solaire global. Elle constitue une bonne approche pour la détermination du climat radiatif régional.

Au cours de l'année, l'évolution générale des valeurs moyennes mensuelles du rayonnement global présente des variations importantes en relation directe avec les caractéristiques de la zone de convergence intertropicale qui influent sur la transparence de l'atmosphère.

L'étude de l'affaiblissement du rayonnement solaire montre l'importance des brouillards matinaux (décembre et janvier) et de la fréquence des formations nuageuses en début de journée (juin-juillet).

Les distributions empiriques des valeurs du rayonnement global sont unimodales avec une asymétrie négative ; l'analyse fréquentielle fournit les seuils énergétiques selon certaines probabilités.

Les régions de Zagné et Soubré peuvent être considérées comme faisant partie de la même zone climatique sur le plan radiatif.

BIBLIOGRAPHIE

- MONTENY, B.A., DJOULET, B. et LHOMME, J.P. - 1979 -
L'énergie solaire, paramètre important du
climat et sa mesure.
Ann. Serv. Meteorol. 1 : 21-25.
- CARDON, D. - 1979 - Quinze mois de mesures climatiques
en forêt de Taï. Rapport MRS, 28 p.
- ELDIN, M. et MONTENY, B. - 1972 - Utilisation du pyrano-
mètre sphérique à condensation du type Bellani
pour la mesure du rayonnement global et la con-
duite des irrigations en basse Côte d'Ivoire.
Agron. Tropic. 27 : 388-395.
- MONTENY, B.A., ELDIN, M. et LHOMME, J.P. - 1976 - La
mesure de la durée d'insolation et du rayonne-
ment global en Côte d'Ivoire. Rapport ORSTOM,
80 p.
- BLACK, J. et PRESCOTT, J. - 1964 - Solar radiation and
duration of sunshine.
Q. J. Roy. Meteorol. Soc. 80 : 231-242.
- MONTENY, B.A. et LHOMME, J.P.- 1979 - Synthèse d'ana-
lyse bioclimatique.
Colloque Informatique et Biosphère, Abidjan, nov. 79.
- RIETVELD, M. - 1978 - A new method for estimating the
regression coefficients in the formula rela-
ting solar radiation to sunshine.
Agric. Meteorol. 19 : 243-252.

MONTEITH, J. - 1972 - Solar radiation and productivity in tropical ecosystems.

J. Appl. Ecol., 9 : 747-766.

LHOMME, J.P. et MONTENY, B.A. - 1981 - Etude fréquentielle du rayonnement global journalier en deux localités de Côte d'Ivoire.

Archiv für Meteorol. und Bioklimat. (B) publication demandée.

BRUNET-MORET, Y. - 1969 - Etude de quelques lois statistiques utilisées en hydrologie.

Cah. ORSTOM, VI, 3, 1-99.

PERRIN de BRICHAMBAUT, Ch. - 1978 - Estimation solaire au sol. La Météorol. 15 : 5-45.