

Mesures du rayonnement solaire à Nouméa

J.-P. BRUNEL
Chercheur Hydrologue Contractuel
au Centre ORSTOM de Nouméa

RÉSUMÉ

Cette note s'inscrit dans le cadre des études entreprises par l'ORSTOM pour une meilleure connaissance de l'évapotranspiration dans le Pacifique-Sud. Les premiers résultats concernant les mesures de rayonnement solaire à Nouméa sont ainsi présentés.

ABSTRACT

This paper produced within the framework of the studies carried out by ORSTOM for a better knowledge of the evapotranspiration in the South Pacific area presents the first results concerning the measurements of solar radiation at Noumea.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre d'une étude de l'évapotranspiration entreprise à partir de juillet 1977 à Nouméa, des mesures permanentes du rayonnement solaire sont effectuées depuis cette date à la station climatologique située au lieu-dit « la crête 117 » (lat. : 22°16'S, long. : 166°27'E, alt. : 100 m).

Ces mesures concernent le rayonnement solaire global, le rayonnement diffus, l'albédo et le rayonnement net au-dessus d'une pelouse régulièrement irriguée et tondue.

Le rayonnement net est mesuré à l'aide d'un pyrromètre différentiel Middleton et enregistré sur un enregistreur potentiométrique. Les autres rayonnements mesurés au moyen de solarimètres Kipp et Zonen ont été enregistrés dans un premier temps sur un enregistreur galvanométrique en ce qui concerne les rayonnements global et diffus, et sur un enregistreur potentiométrique pour le rayonnement réfléchi. Depuis la fin de l'année 1978, ces divers rayonnements sont intégrés par des intégrateurs électroniques.

L'étalonnage des solarimètres est régulièrement contrôlé par un actinomètre de Linke-Feussner, lui-même rattaché à l'étalon régional du sud-ouest du Pacifique à Melbourne (W.M.O. - région V).

La durée d'insolation est également mesurée à la station à l'aide d'un héliographe de Campbell-Stokes (Diagrammes Météorologie nationale).

2. LE RAYONNEMENT GLOBAL

2.1. RAPPELS

Le rayonnement solaire parvient au sol soit directement (rayonnement direct), soit après diffusion par la voûte céleste et les nuages (rayonnement diffus). Le rayonnement global est la somme de ces deux rayonnements, reçue

sur une surface horizontale. Rappelons qu'il s'agit d'un éclaircissement énergétique et que celui-ci est exprimé soit en calories par cm^2 et par minute, soit en joules par cm^2 par minute soit encore en watts par cm^2 .

La relation liant ces deux composantes du rayonnement global est la suivante :

$$RG = I \sin h + D$$

RG désigne le rayonnement global, $I \sin h$ est la composante verticale du rayonnement direct (h étant la hauteur du soleil), D représente le rayonnement diffus. Ces divers rayonnements sont des rayonnements de courtes longueurs d'onde.

2.2. RAYONNEMENT GLOBAL MAXIMUM « THÉORIQUE » À LA LIMITE DE L'ATMOSPHÈRE

Le rayonnement global théorique à l'entrée de l'atmosphère peut être facilement calculé à l'échelle journalière, connaissant la constante solaire, à partir de la latitude du lieu (φ), la déclinaison du soleil (δ) et la distance terre-soleil.

Les valeurs calculées pour Nouméa figurent dans le tableau I (RG_0). La constante solaire a été prise ici égale à $1,94 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$.

2.3. RAYONNEMENT GLOBAL MAXIMUM AU SOL

Le rayonnement global calculé ci-dessus est atténué lorsqu'il traverse l'atmosphère, principalement par absorption par les constituants de celle-ci et par diffusion vers l'espace, si bien que même par journée parfaitement ensoleillée avec « ciel pur sans nuage », il ne parvient au sol qu'une fraction de ce rayonnement initial. C'est cette fraction qui est mesurée, que nous appelons ici « rayonnement global maximum au sol ».

Si les journées entièrement couvertes sont rares à Nouméa, les journées parfaitement ensoleillées sont également peu nombreuses dans l'année. De juillet 1977 à mai 1979 nous n'avons pu trouver au maximum que 5 à 6 journées pour chaque mois au cours desquelles les enregistrements du rayonnement se sont présentés sous forme de courbes parfaites. Ce rayonnement global maximum est compris entre $1\,662 \text{ joules cm}^{-2}$ par jour (397 cal cm^{-2} par jour ou $0,462 \text{ Wh cm}^{-2}$ par jour) au mois de juin et $3\,257 \text{ joules cm}^{-2}$ par jour (778 cal cm^{-2} par jour ou $0,904 \text{ Wh cm}^{-2}$ par jour) en décembre. Ces moyennes mensuelles figurent au tableau n° 1 en Annexe.

Les valeurs moyennes mensuelles du rapport entre ce rayonnement maximal mesuré au sol et le rayonnement théorique suivent une évolution saisonnière. Ce rapport peut traduire l'importance de l'absorption. Il est compris entre 0,78 et 0,71 et passe par un maximum au cours des mois de septembre, octobre, novembre et par un minimum en avril, mai, juin. Mais il peut s'agir également du cumul des erreurs d'azimut et de cosinus. Celles-ci conduiraient en effet à une sous-estimation du rayonnement pour les mois d'hiver.

2.4. LE RAYONNEMENT GLOBAL MOYEN MESURÉ AU SOL

En moyenne pour l'année il serait de l'ordre de $2\,000 \text{ joules cm}^{-2}$ par jour ($2\,000$ pour la période août 1977-juillet 1978, et 1980 pour la période août 1978-mai 1979), soit $478 \text{ calories par cm}^2$ et par jour, ou encore $0,555 \text{ Wh par cm}^2$ et par jour. La figure 1 montre la répartition des valeurs moyennes journalières à l'échelle décadaire qui sont par ailleurs consignées dans le tableau II. Les valeurs les plus fortes sont observées au cours de l'été austral, mais comme cette époque de l'année est aussi la plus pluvieuse, la nébulosité entraîne une diminution du nombre d'heures d'ensoleillement et donc de rayonnement. Il est possible également que la qualité du rayonnement soit altérée par la présence d'un trouble atmosphérique. Les valeurs maximales du rapport RG_{MAX}/RG_0 sont effectivement observées en septembre, octobre, novembre et non pendant l'été.

Les valeurs moyennes les plus faibles sont mesurées entre mai et juillet.

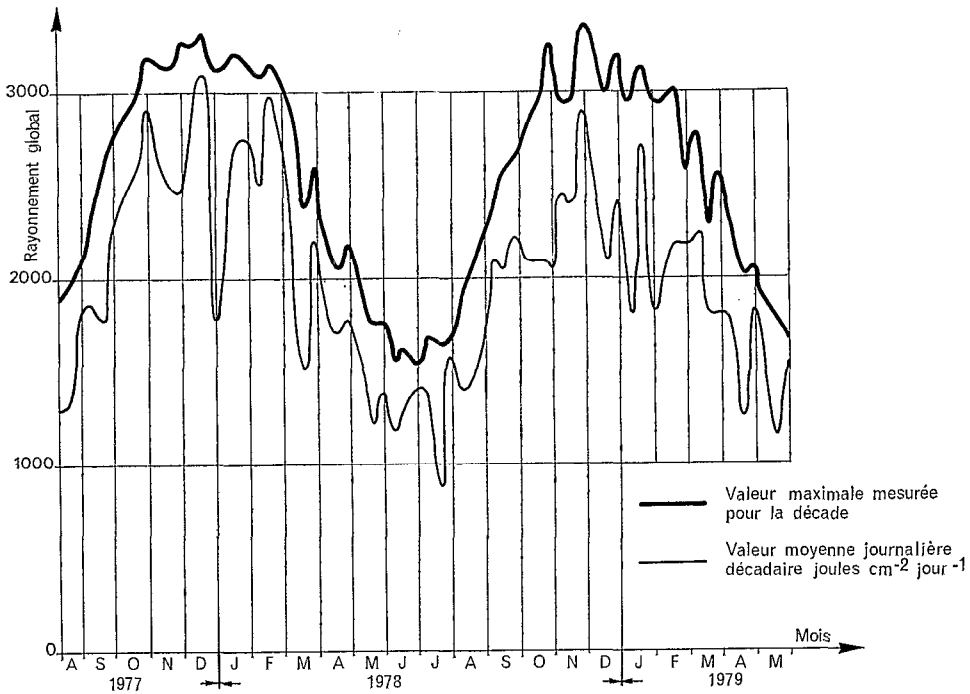


Fig. 1. — Rayonnement global moyen journalier décadaire

2.5. ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE GLOBAL

De nombreuses relations ont été testées avec plus ou moins de succès pour tenter de relier le rayonnement global à diverses données couramment mesurées ou plus faciles à obtenir.

La première qui vient à l'esprit est celle qui lie le rayonnement global et la hauteur du soleil en fonction de l'époque de l'année. Le rayonnement global mesuré par journée parfaitement ensoleillée avec « ciel pur sans nuage », ce que nous avons appelé « rayonnement global maximum au sol » peut s'exprimer en fonction de la hauteur du soleil h . Rappelons que :

$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos AH$, AH étant l'angle horaire, φ la latitude et δ la déclinaison du soleil. Nous avons obtenu pour Nouméa la relation suivante (fig. n° 2).

$$RG_{MAX} = 540 \sin h - 128 \sqrt{\sin h} + 4 \text{ en joules cm}^{-2} \text{ heure}^{-1}$$

L'intégration de cette courbe entre le lever et le coucher du soleil pour chaque jour de l'année fournit les valeurs moyennes mensuelles suivantes :

Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
3 138	3 011	2 754	2 368	2 005	1 820	1 885	2 181	2 580	2 909	3 098	3 166

La moyenne annuelle est de $2\,576 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$.

Les valeurs ainsi calculées sont soit légèrement surestimées (mars à septembre) soit légèrement sous-estimées (octobre à février). La moyenne annuelle reste cependant très voisine de la moyenne obtenue à partir des valeurs mesurées.

La relation la plus communément utilisée reste celle du type « formule d'Angström ». Elle se présente sous la forme suivante :

$$RG/RG_0 = a + b S/S_0$$

dans laquelle RG et S désignent le rayonnement global et la durée d'insolation. RG_0 peut désigner soit le rayonnement global maximum théorique (appelé aussi rayonnement global extra-terrestre) soit le rayonnement maximal réellement mesuré au sol par ciel clair sans nuage (RG_{MAX}).

En théorie si $S = 0$, $RG = a RG_0$ ou encore $RG/RG_0 = \text{constante}$, ce qui n'est pas vérifié dans la réalité. Si $S = S_0$, $RG = (a + b) RG_0$ ou encore $RG/RG_0 = \text{constante}$, ce qui n'est pas vérifié dans la réalité.

Pour Nouméa nous avons utilisé les valeurs journalières de RG_0 correspondant au rayonnement global « extra-terrestre ». Les valeurs de S_0 (durée maximale du jour) ont été calculées à l'aide de la relation suivante :

$$S_0 = 24 \cdot \text{ARCOS} \left[\frac{-(\text{tg } \varphi) \cdot (\text{tg } \delta)}{\tau} \right] + 0,22$$

A partir des valeurs journalières nous avons obtenu $a = 0,30$ et $b = 0,52$. Avec les moyennes décadaires $a = 0,29$ et $b = 0,54$. Dans les deux cas, le coefficient de corrélation est 0,92. La figure 3 montre la répartition des valeurs expérimentales journalières. Sur ce graphique on peut constater, toujours à l'échelle journalière, que lorsque le rapport S/S_0 tend vers zéro, le rapport RG/RG_0 ne tend plus linéairement vers une valeur constante a . Rayonnement global et durée d'insolation sont en réalité obtenus à partir de capteurs de sensibilité très différente. Le brûlage ou la décoloration d'un diagramme d'héliographe ne se produit qu'à partir d'une certaine intensité du rayonnement solaire. Lorsque cette intensité n'est pas atteinte la durée de l'insolation est considérée comme nulle, or le rayonnement solaire n'est jamais nul même par journée totalement couverte. En effet, pour des journées où la durée d'insolation était considérée comme nulle, nous avons obtenu des valeurs de rayonnement global allant de 100 à 1 000 joules/cm².

3. LE RAYONNEMENT DIFFUS

Le rayonnement diffus est mesuré depuis mai 1978. On dispose donc d'une année complète d'observations.

Par journées ensoleillées sans nuage, seules interviennent la diffusion moléculaire et l'absorption par les constituants gazeux de l'atmosphère, la vapeur d'eau en particulier.

Lors de telles journées, le rayonnement diffus représente de 7 à 18% du rayonnement global. Bien entendu ce rapport est plus élevé lors de passages nuageux. Les valeurs minimales du rapport Diffus/Global ont été observées en septembre, les valeurs les plus fortes en février. Le tableau III regroupe les moyennes décadaires et mensuelles exprimées en totaux moyens journaliers et en pour cent du rayonnement global moyen. Les valeurs du diffus qui représentent en moyenne 28% du global de juin à novembre passent à 40% à partir de décembre 1979. La considération des rapports moyens S/S_0 (durée d'insolation mesurée/durée d'insolation maximale) ne permet pas de conclure affirmativement qu'il s'agit ici d'une évolution naturelle due aux seules conditions météorologiques. Le remplacement en décembre de l'enregistreur par un intégrateur plus sensible entre peut-être pour une certaine part dans l'explication. Il nous faudra attendre que la série d'observations soit plus étoffée pour lever cette incertitude.

4. LE RAYONNEMENT RÉFLÉCHI — ALBEDO

L'albédo moyen mesuré au-dessus de la pelouse régulièrement irriguée est de 0,23. Il varie peu au cours de l'année.

5. LE RAYONNEMENT NET

Aux rayonnements solaires direct, diffusé par l'atmosphère ou réfléchi par la surface du sol, qui sont des rayonnements de courtes longueurs d'ondes, s'ajoute un rayonnement infrarouge émis soit par l'atmosphère (ascendant ou descendant) soit par le sol (toujours ascendant). Les rayonnements « ascendants » émis par l'atmosphère et par le sol sont difficilement dissociables avec les instruments couramment utilisés.

A un niveau de référence donné, le rayonnement net est la résultante de ces divers rayonnements. Le bilan radiatif à ce niveau peut schématiquement se résumer ainsi en comptant positivement ce qui est émis vers le sol et négativement ce qui est émis par le sol et par la couche d'air située entre le sol et le niveau considéré :

$$RN = RG (1 - a) + RA (1 - a') - RT.$$

RN désigne le rayonnement net.

RG désigne le rayonnement global de courtes longueurs d'onde.

RA désigne le rayonnement atmosphérique de grandes longueurs d'onde.

RT désigne le rayonnement de grandes longueurs d'onde émis par le sol.

a et a' sont les rapports des rayonnements réémis aux rayonnements reçus respectivement de RG et RA.

Les résultats des mesures de RN effectuées à Nouméa au-dessus d'une pelouse régulièrement irriguée et tondue sont regroupés dans le tableau IV.

Ces valeurs ont été représentées sur un graphique (fig. 4) où sont reportées également les valeurs maximales du rayonnement net positif. Ces valeurs maximales de $R +$ peuvent être comparées à celles du rayonnement global maximum mesuré. On constate que le rapport $R +_{MAX}/RG_{MAX}$ subit une variation saisonnière régulière : de 0,60 en décembre-janvier, il diminue jusqu'à 0,54 en juin-juillet-août. Les causes de cette variation peuvent être soit d'ordre instrumental (les mêmes que pour les autres rayonnements : erreur d'azimut et de cosinus) soit d'ordre naturel (diminution relative en « hiver » ou augmentation relative en « été » du rayonnement thermique atmosphérique lié à la teneur en vapeur d'eau de l'air).

Le bilan radiatif annuel a été en moyenne de 960 joules par cm^2 et par jour d'août 1977 à juillet 1978 et de 1 012 joules par cm^2 et par jour de juillet 1978 à mai 1979. Les valeurs les plus faibles étant observées en juin et juillet, ce dernier bilan sera probablement voisin du précédent.

A l'échelle mensuelle on peut constater que si les valeurs de $R +$ varient régulièrement avec la saison de 700 à 800 joules $cm^{-2} jour^{-1}$ pendant les mois d'« hiver » à 1 400-1 500 $J \cdot cm^{-2} j^{-1}$ pendant les mois d'« été », le rayonnement « négatif » (principalement émis par le sol la nuit) reste beaucoup plus constant d'un mois à l'autre.

5.1. RAYONNEMENT NET ET RAYONNEMENT GLOBAL

Il existe une liaison assez étroite entre la composante positive du rayonnement net ($R +$) et le rayonnement global. Cette relation établie à l'échelle décadaire pour Nouméa au-dessus d'une pelouse régulièrement irriguée est la suivante :

$$R + = 0,575 RG + 2,0 J \cdot cm^{-2} \cdot j^{-1}$$

Le coefficient de corrélation est : 0,98.

La liaison est moins étroite entre le rayonnement net et le rayonnement global mais reste acceptable :

$$RN = 0,543 RG - 94 J \cdot cm^{-2} \cdot j^{-1}$$

Le coefficient de corrélation est : 0,92.

Remarque. Les valeurs mentionnées ci-dessus ont été obtenues à partir de l'ensemble de données recueillies depuis l'origine des mesures. La modification apportée dans l'acquisition des données de rayonnement global, c'est-à-dire le remplacement en décembre 1978 de l'enregistreur par un intégrateur électronique horaire et par conséquent la suppression du dépouillement manuel de cette donnée a introduit une hétérogénéité dans la série, hétérogénéité qu'il nous a précisément été possible de mettre en évidence par corrélation avec le rayonnement net toujours mesuré et dépouillé dans les mêmes conditions depuis l'origine.

Pour la série août 1977-novembre 1978 inclus, la relation qui lie RN et RG est la suivante :

$$RN = 0,534 RG - 102 \text{ avec } r = 0,964$$

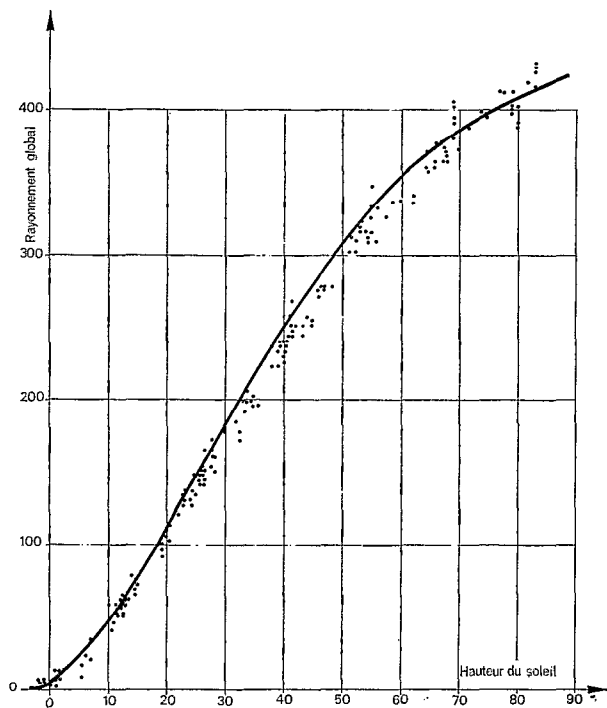


Fig. 2. — Rayonnement global et hauteur du soleil pour quelques journées parfaitement ensoleillées

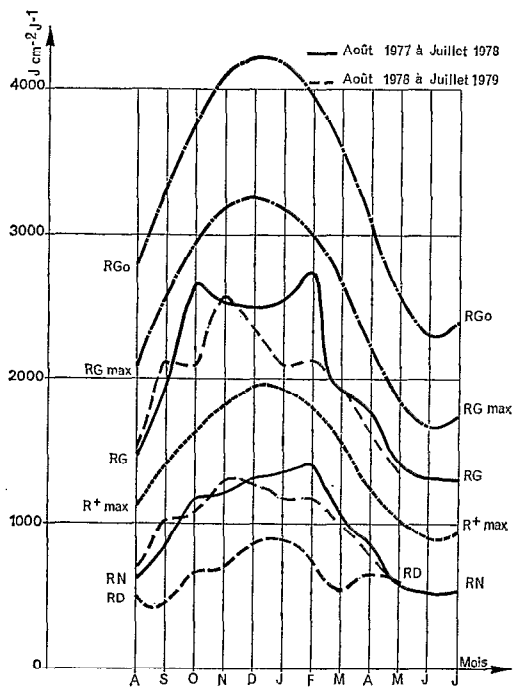


Fig. 4. — Valeurs maximales et valeurs moyennes de quelques rayonnements

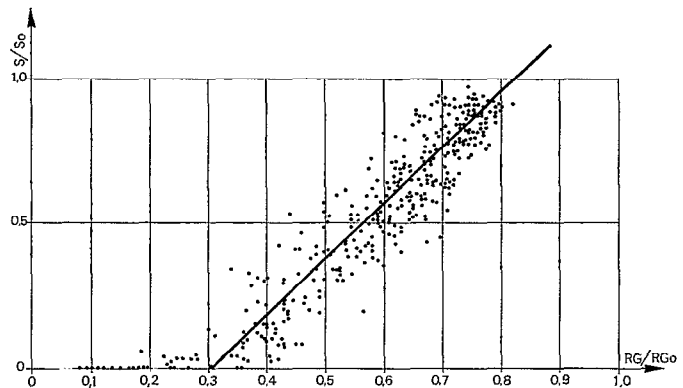


Fig. 3. — Rayonnement global relatif et durée d'insolation relative

Pour la série décembre 1978-mai 1979 cette relation devient :

$$RN = 0,645 \text{ RG} - 228 \text{ avec } r = 0,960$$

Il conviendra donc d'homogénéiser les données du rayonnement global dès que la série mesurée sur l'intégrateur sera plus étendue. Il est en effet probable que les mesures enregistrées et dépouillées manuellement sont surestimées, particulièrement pour les fortes valeurs de RG. La correction ne devrait cependant pas excéder 6 à 7% sur la valeur moyenne annuelle.

6. COMPARAISON AVEC QUELQUES DONNÉES OBTENUES DANS LA RÉGION

Cette comparaison ne concerne que le rayonnement global.

Les stations de mesures ou d'estimation du rayonnement global les plus proches situées sous des latitudes comparables à celle de Nouméa (22°16') se trouvent sur la côte Est de l'Australie ou aux îles Fidji.

A Brisbane (27°28'S-153°02'E), le rayonnement journalier annuel est de $1\,890 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$. A Alice Spring (23°48'S-233°53'E), le rayonnement global moyen annuel (mesuré avec un pyranographe type Robitzsch) est de $2\,179 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ mais cette localité est située au cœur d'une région désertique.

A Nandi (Fidji - 17°45' - 177°27 E) la moyenne annuelle est de $2\,114 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$. Les mesures sont effectuées à l'aide d'un pyrhéliomètre Eppley. A Raoul Island (29°15'S - 177°55'W) dans l'archipel des Kermadec, la moyenne est de $1\,796 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$.

Rappelons que la valeur moyenne pour Nouméa est un peu inférieure à $2\,000 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{j}^{-1}$ (sur 22 mois d'observations et que cette valeur qui est en réalité probablement plus proche de 1 900 reste tout à fait comparable aux valeurs mesurées dans cette région du Pacifique.

BIBLIOGRAPHIE

- LÖF (S. O. G.), DUFFIE (J. A.), SMITH (C. O.). — *World distribution of Solar radiation*. The University of Wisconsin. 1966.
- PERRIN DE BRICHAMBAUT (Ch.). — *Rayonnement solaire et échanges radiatifs naturels*. Gauthier-Villars. Paris, 1963.

TABLEAU I
VALEURS MAXIMALES MOYENNES JOURNALIÈRES MENSUELLES DE QUELQUES RAYONNEMENTS

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
RG _O	4.189	3 989	3 596	3 056	2 560	2 301	2 382	2 772	3 303	3 784	4 092	4 221	3 354
RG _{MAX}	3 175	3 041	2 639	2 206	1 827	1 662	1 757	2 059	2 566	2 934	3 191	3 257	2 526
$\frac{RG_{MAX}}{RG_O}$	0,758	0,762	0,734	0,722	0,714	0,722	0,738	0,743	0,777	0,775	0,780	0,772	0,753
R ⁺ _{MAX}	1 928	1 795	1 552	1 260	1 020	894	945	1 110	1 404	1 618	1 803	1 958	1 440
$\frac{R^+_{MAX}}{RG_{MAX}}$	0,607	0,590	0,588	0,571	0,558	0,538	0,538	0,539	0,547	0,551	0,565	0,601	0,57

TABLEAU II
RAYONNEMENT GLOBAL MOYEN DÉCADAIRE ET MENSUEL
en $J \cdot cm^{-2} \cdot j^{-1}$

Décade	Août 1977	Sept. 1977	Oct. 1977	Nov. 1977	Déc. 1977	Jan. 1978	Fév. 1978	Mars 1978	Avr. 1978	Mai 1978	Juin 1978
1	1 292	1 867	2 463	2 669	2 788	2 103	2 447	2 002	1 752	1 537	1 178
2	1 311	1 759	2 586	2 514	3 081	2 746	2 981	1 509	1 688	1 221	1 312
3	1 758	2 270	2 921	2 440	1 755	2 749	2 799	2 203	1 776	1 388	1 413
Moy.	1 463	1 965	2 665	2 541	2 516	2 540	2 740	1 914	1 739	1 382	1 301

Décade	Juil. 1978	Août 1978	Sept. 1978	Oct. 1978	Nov. 1978	Déc. 1978	Jan. 1979	Fév. 1979	Mars 1979	Avr. 1979	Mai 1979
1	1 375	1 390	2 010	2 099	2 436	2 644	1 788	2 026	2 243	1 764	1 429
2	883	1 480	2 052	2 104	2 412	2 086	2 710	2 192	1 802	1 238	1 150
3	1 573	1 605	2 230	2 062	2 896	2 409	1 793	2 176	1 821	1 846	1 586
Moy.	1 287	1 495	2 125	2 087	2 581	2 380	2 087	2 128	1 951	1 616	1 442

TABLEAU III
 RAYONNEMENT DIFFUS MOYEN DÉCADAIRE ET MENSUEL
 en $J \cdot cm^{-2} \cdot j^{-1}$ et en % de RG

Décade	Août 1977		Sept. 1977		Oct. 1977		Nov. 1977		Déc. 1977		Jan. 1978		Fév. 1978		Mars 1978	
	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%
1																
2																
3																
Moy.																

Décade	Avr. 1978		Mai 1978		Juin 1978		Juil. 1978		Août 1978		Sept. 1978		Oct. 1978		Nov. 1978	
	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%
1					371	31,0	268	19,5	418	30,1	424	20,3	617	29,4	740	30,4
2			391	32,0	366	27,0	373	42,3	543	36,7	412	20,1	657	31,2	742	30,8
3			395	28,5	314	22,0	403	25,6	495	30,8	467	20,9	769	37,3	605	20,9
Moy.					350	26,0	350	27,2	486	32,5	434	20,4	684	32,8	696	27,0

Décade	Déc. 1978		Jan. 1979		Fév. 1979		Mars 1979		Avr. 1979		Mai 1979	
	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%	RD	%
1	724	27,4	943	52,7	787	38,8	768	34,3	719	40,8	660	46,0
2	924	44,3	803	29,6	654	29,8	988	54,8	744	60,1	628	54,0
3	988	41,0	937	52,2	828	38,1	706	38,8	521	28,2	514	35,0
Moy.	882	37,1	896	42,9	751	35,3	817	41,9	661	40,9	598	44,0

TABLEAU IV
RAYONNEMENT NET. MOYENNES JOURNALIÈRES DÉCADAIRES ET MENSUELLES
en $J \cdot cm^{-2} \cdot j^{-1}$

Décade	Août 1977	Sept. 1977	Oct. 1977	Nov. 1977	Déc. 1977	Jan. 1978	Fév. 1978	Mars 1978	Avr. 1978	Mai 1978	Juin 1978
1	553	734	1 078	1 138	1 466	(1 021)	1 221	1 083	906	670	506
2	554	819	1 144	1 214	(1 543)*	(1 364)	1 549	905	855	491	489
3	762	1 000	1 298	1 274	(835)	(1 366)	1 462	1 181	823	540	606
Moy.	628	851	1 177	1 209	(1 267)	(1 254)	1 417	1 060	861	576	534

Décade	Juil. 1978	Août 1978	Sept. 1978	Oct. 1978	Nov. 1978	Déc. 1978	Jan. 1979	Fév. 1979	Mars 1979	Avr. 1979	Mai 1979
1	580	597	1 020	1 080	1 204	1 353	1 009	1 147	1 137	896	666
2	406	732	971	1 063	1 280	1 173	1 488	1 197	974	603	538
3	693	755	1 075	1 073	1 452	1 350	1 044	1 176	934	855	597
Moy.	564	696	1 022	1 072	1 312	1 294	1 176	1 173	1 012	785	600

* Les valeurs entre () ont été estimées à partir de la relation $RN = 0,534 RG - 102$.