



Le gisement solaire en Nouvelle-Calédonie



METEO FRANCE

**LE GISEMENT SOLAIRE
EN NOUVELLE
CALEDONIE**

Etude réalisée par :
Luc Maitrepierre
Lionel Divoul

Décembre 2001

LE GISEMENT SOLAIRE EN NOUVELLE CALEDONIE

1. Généralités sur l'énergie solaire

1.1 Définition

2. Les mesures d'insolation et de rayonnement en Nouvelle-Calédonie

2.1 Le rayonnement

- L'absorption
- La diffusion

2.2 L'insolation

2.3 Le réseau de mesure en Nouvelle-Calédonie

3. Le rayonnement global

3.1 Les cycles du soleil

3.1.1 Le cycle annuel

3.1.2 Le cycle journalier

3.2 Influence de la nébulosité sur les mesures de rayonnement global

3.2.1 Comparaison entre le Nord et le Sud, la côte Ouest et la côte Est

3.2.2 Comparaison entre Nouméa et Le Dzumac

3.2.3 Comparaison entre le rayonnement observé et le rayonnement théorique

3.2.4 Conclusion sur l'influence de la nébulosité

3.2.5 Relations entre le rayonnement et le SOI

3.3 Caractéristiques statistiques du rayonnement global journalier

3.3.1 Analyse fréquentielle

3.3.2 Statistiques mensuelles et annuelles du rayonnement global

3.4 Résumé

4. Le rayonnement diffus

4.1 Les cycles annuel et journalier

4.2 Influence de la nébulosité dans les mesures de rayonnement

4.3 Caractéristiques statistiques du rayonnement diffus journalier

4.3.1 Analyse fréquentielle

4.3.2 Statistiques mensuelles et annuelles du rayonnement diffus

4.4 Résumé

5. L'insolation

- 5.1 Les cycles annuel et journalier
- 5.2 Influence de la nébulosité sur les mesures d'insolation
- 5.3 Caractéristiques statistiques de l'insolation quotidienne
 - 5.3.1 Analyse fréquentielle
 - 5.3.2 Statistiques mensuelles et annuelles d'insolation
- 5.4 Résumé

6. Rayonnement reçu par des surfaces inclinées

- 6.1 Introduction
 - 6.1.1 Les formules
 - 6.1.2 Les résultats
- 6.2 Etude du cas de Koumac
- 6.3 Comparaison entre Nouméa et Koumac
- 6.4 Conclusion

Références

Annexes

1. GENERALITES SUR L'ENERGIE SOLAIRE

1.1 DEFINITION

Le rayonnement perçu au niveau de la Terre est principalement émis par le Soleil. Le rayonnement solaire est constitué par une gamme continue de radiations dont la longueur d'onde varie entre 0,1 micron ($1 \mu\text{m} = 0,000001 \text{ mètre}$) et 24 microns. L'énergie du rayonnement solaire se décompose selon la longueur d'onde β de la manière suivante :

L'Ultraviolet	$\beta < 0,40 \mu\text{m}$	9,2%
Le Visible	$0,40\mu\text{m} \leq \beta \leq 0,75\mu\text{m}$	42,4%
L'Infrarouge	$0,75 < \beta$	48,4%

L'atmosphère, de part sa constitution moléculaire et ses caractéristiques physiques, a pour effet la séparation du rayonnement solaire arrivant à la surface terrestre en deux types :

- Le rayonnement solaire direct
- Le rayonnement solaire diffus

La somme des deux est le rayonnement solaire **global** que l'on mesure à l'aide d'un appareil appelé **pyranomètre** (*Figure 1.1*).



Figure 1.1

Le pyranomètre est le capteur qui permet de mesurer l'intensité du rayonnement solaire global reçu par une surface horizontale ou inclinée. Lorsque le pyranomètre est muni d'un écran destiné à occulter le rayonnement direct, il permet de mesurer l'éclairement énergétique du rayonnement solaire diffus sur une surface horizontale ou inclinée.

Les différentes composantes du rayonnement solaire global, noté R_G , peuvent être schématisées dans le graphique ci-dessous.

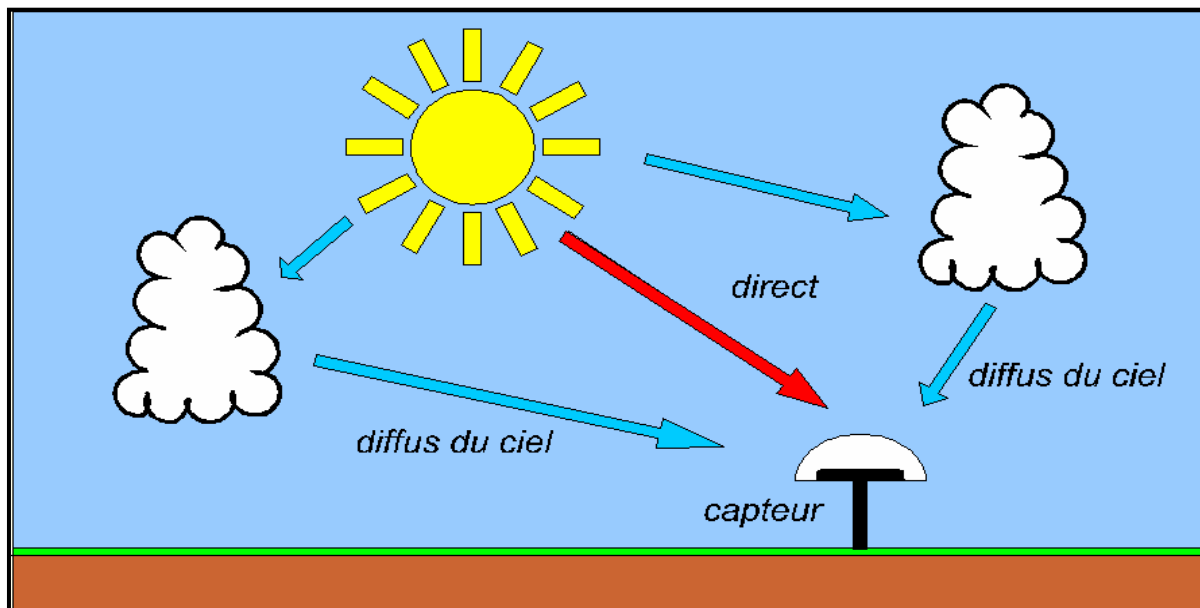


Figure 1.2 : Composantes du rayonnement solaire global (R_G) reçu par une surface horizontale : $R_G = R_{\text{direct}} + R_{\text{diffus}}$

2. LES MESURES D'INSOLATION ET DE RAYONNEMENT EN NOUVELLE-CALEDONIE

2.1 LE RAYONNEMENT

Les mesures du rayonnement solaire effectuées par le pyranomètre sont exprimées en Joules/cm².

La Terre reçoit en permanence un flux régulier d'énergie qui est différent suivant la latitude, la saison et l'heure du lieu d'observation. Bien que le rayonnement solaire soit uniforme, il se répartit sur une surface plus grande aux latitudes élevées qu'à l'équateur (*Figure 2.1*).

En traversant l'atmosphère terrestre, le rayonnement solaire subit deux transformations importantes : l'absorption et la diffusion. Plus on descend en latitude et plus les rayons solaires auront une couche atmosphérique importante à traverser. La diffusion et l'absorption seront proportionnelles à l'épaisseur de cette couche.

L'atmosphère, les nuages et la Terre émettent par ailleurs du rayonnement invisible infrarouge, appelé rayonnement tellurique.

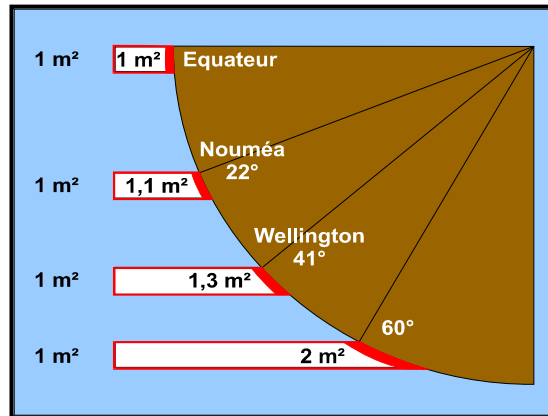


Figure 2.1

- **L'absorption :**

L'absorption atmosphérique est sélective, car elle dépend d'une part de la présence dans l'air de certains constituants tels que l'ozone, la vapeur d'eau, etc.. et d'autre part de la longueur d'onde des radiations incidentes. Les nuages absorbent une partie de la radiation solaire. Cette absorption est assez faible, elle croît avec l'épaisseur du nuage et atteint 7 à 8% de l'énergie incidente pour les nuages les plus épais.

- **La diffusion :**

Ce phénomène est complexe puisqu'il intègre à la fois la diffraction, la réfraction et la réflexion par les particules.

Les particules atmosphériques responsables de la diffusion sont :

- Les molécules
- Les aérosols (fumées, poussières, cristaux ...)
- Les gouttelettes d'eau et cristaux de glace des nuages.

Les valeurs du rayonnement nous concernant sont maximales autour du solstice d'été, elles sont minimales au solstice d'hiver.

Indépendamment de la latitude du lieu concerné, les variations du rayonnement sont uniquement fonction du cycle solaire (diurne et annuel) et de la nébulosité.

2.2 L'INSOLATION :

La mesure de la durée d'ensoleillement journalière s'effectue grâce à un appareil appelé héliographe et est exprimée en heures et dixièmes d'heure. La durée maximale théorique d'insolation, par ciel clair, est le temps compris entre le lever du soleil et le coucher du soleil. L'héliographe (*figure 2.2*) se présente sous la forme d'un cylindre incliné en fonction de la latitude et orienté sur son socle.

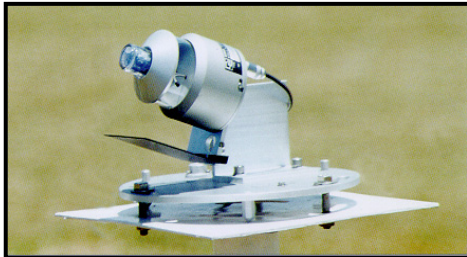


Figure 2.2

Une fibre optique capte le rayonnement solaire direct à chaque rotation (toutes les 36 secondes pour avoir le total en centième d'heure). La mesure est définie comme le temps pendant lequel l'éclairement énergétique solaire direct est supérieur à un seuil fixe de 120 Wm^2 .

2.3 LE RESEAU DE MESURES DE L'INSOLATION ET DU RAYONNEMENT

Les stations mesurant du rayonnement et/ou de l'insolation figurent sur la carte de la Nouvelle-Calédonie (page suivante). Celles retenues dans cette étude sont les suivantes :

Côte Ouest

- NOUMEA Lat : $22^{\circ}16'34''$ Sud Lon : $166^{\circ}27'10''$ Est Altitude : 69m
- KOUMAC Lat : $20^{\circ}33'31''$ Sud Lon : $164^{\circ}17'03''$ Est Altitude : 23m

Côte Est

- POINDIMIE Lat : $20^{\circ}55'56''$ Sud Lon : $165^{\circ}19'41''$ Est Altitude : 11m

Iles Loyauté

- OUANAHAM Lat : $20^{\circ}46'39''$ Sud Lon : $167^{\circ}14'26''$ Est Altitude : 28m

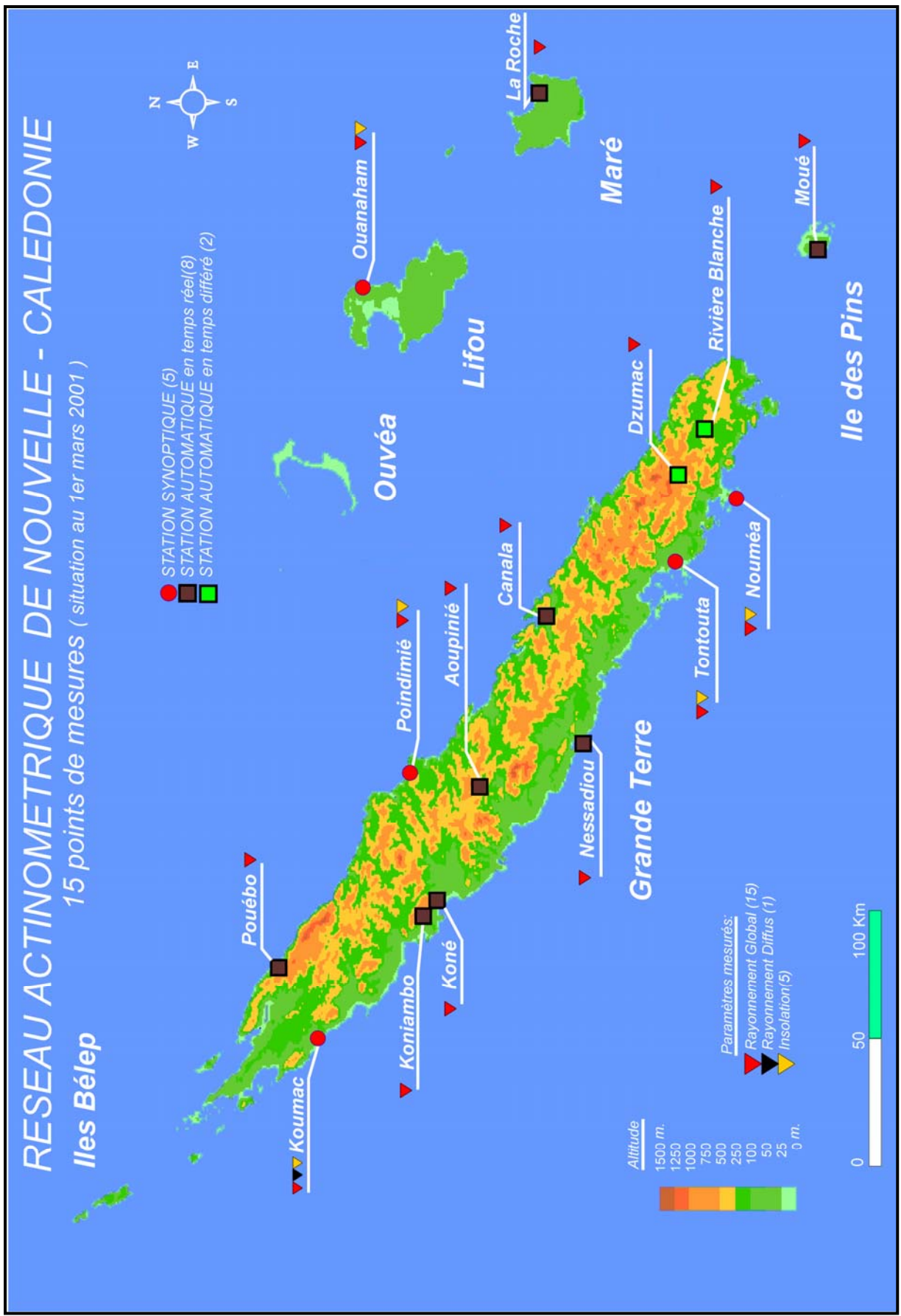
Chaîne Centrale

- DZUMAC Lat : $22^{\circ}02'31''$ Sud Lon : $166^{\circ}30'15''$ Est Altitude : 891m

La carte (en page suivante) permet de visualiser les caractéristiques de la Nouvelle-Calédonie. La Chaîne Centrale, un massif montagneux sépare la Grande Terre longitudinalement. Ce relief et les vents dominants (alizé d'est-sud-est) ont une grande influence sur le climat en organisant un contraste est/ouest bien marqué : la côte Est est beaucoup plus arrosée que la côte Ouest. Par contre, les Loyauté sont des îles basses où règne un climat, qualifié de tropical maritime, non perturbé par le relief.

RESEAU ACTINOMETRIQUE DE NOUVELLE - CALEDONIE

15 points de mesures (situation au 1er mars 2001)



3. LE RAYONNEMENT GLOBAL

Tous les postes ont été sélectionnés pour leur situation géographique ainsi que pour la longueur de leur période de mesures (plus de 10 ans de données). Il semblait intéressant d'utiliser aussi la station du Dzumac du fait de son implantation au milieu de la Chaîne.

Les valeurs annuelles moyennes du rayonnement global quotidien suivantes, calculées sur la période 1991-2000, montrent des variations importantes entre les différents postes :

Koumac	→	1990 J/cm ²
Noumea	→	1884 J/cm ²
Poindimié	→	1739 J/cm ²
Ouanaham	→	1868 J/cm ²
Dzumac	→	1473 J/cm ²

Ces valeurs moyennes ne reflètent que la variabilité spatiale, or la variabilité temporelle est plus importante. En effet, le maximum absolu horaire théorique se situe aux alentours de 430 J/cm²/heure entre 11 heures et 13 heures locales alors qu'il n'y a évidemment pas de rayonnement la nuit. En outre, les plus fortes valeurs quotidiennes sont enregistrées en été (d'octobre à janvier) et les plus faibles en hiver. Ces valeurs extrêmes sont la manifestation des cycles annuels et journaliers que nous allons aborder.

3.1 LES CYCLES DU SOLEIL

Ces deux cycles sont visualisables sur la **figure 3.1.1** illustrant la répartition horaire mensuelle moyenne du rayonnement global à la station de Koumac. Les plus faibles valeurs (0 à 100 J/cm²) sont naturellement au lever et au coucher du soleil, alors que les plus fortes (300 à 400 J/cm²) se concentrent entre 10 et 14 heures lors de l'été austral.

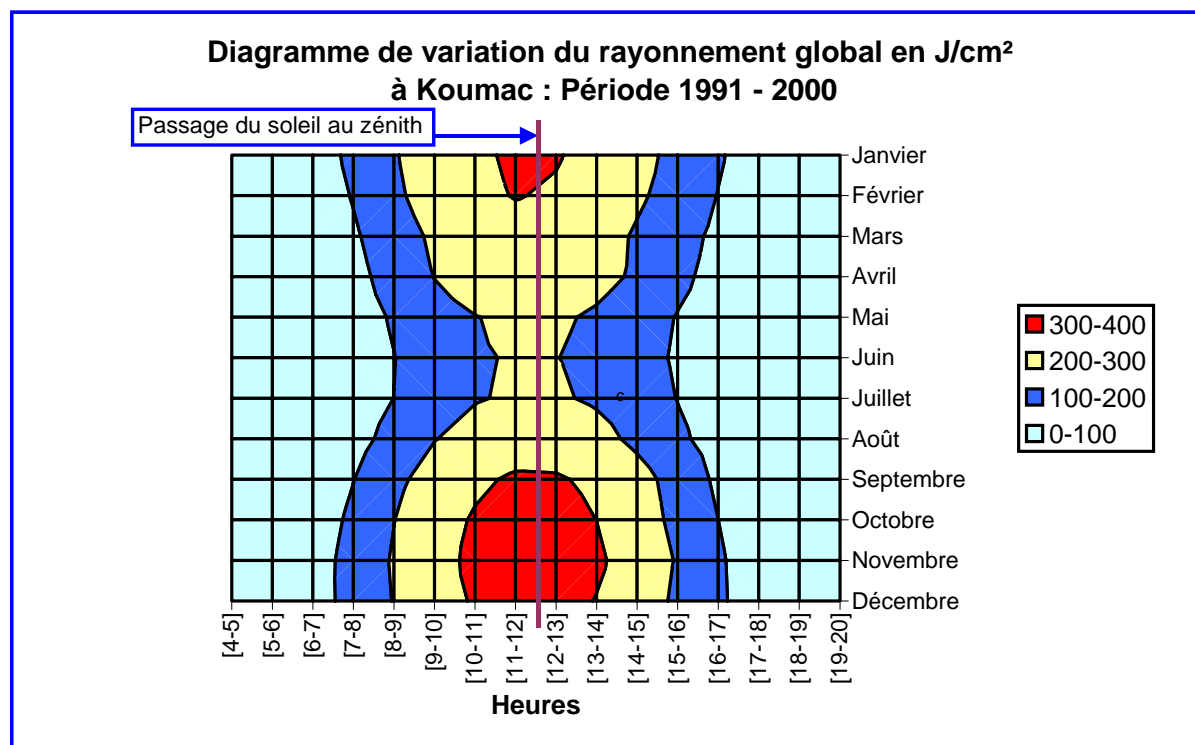


Figure 3.1.1 : Variations diurne et saisonnière du rayonnement global à Koumac

La répartition théorique des valeurs mesurées devrait être symétrique par rapport à midi, lorsque le soleil est au zénith. En fait, la croissance et la décroissance du rayonnement sont légèrement dissymétriques par rapport à midi. Le rayonnement horaire est légèrement plus fort le matin que l'après-midi (*figure 3.1.1*).

3.1.1 Le cycle annuel

Il est directement lié au mouvement relatif du soleil par rapport au plan de l'équateur. C'est pour cela que la durée du jour varie au cours de l'année.

On observe sur la *figure 3.1.1.1*, que le minimum a lieu au mois de juin (solstice d'hiver). De même, le maximum est observé au mois de décembre lors du solstice d'été.

On remarque néanmoins que la différence est faible entre les deux derniers mois de l'année, certains postes enregistrant même leur maximum annuel en novembre. Ceci s'explique par une couverture nuageuse moins importante au mois de novembre, le mois de décembre étant déjà sous l'influence de la ZCIT (Zone de Convergence Inter-Tropicale), mais aussi par le fait que la hauteur du soleil est maximale en novembre et en janvier (voir chapitre 6, *figure 6.1*).

Les variations annuelles moyennes sont très importantes comme le montre la *figure 3.1.1.1*. Par exemple, à Koumac, les valeurs du rayonnement moyen journalier s'échelonnent de 1326 J/cm² en juin à 2518 J/cm² en décembre, soit pratiquement du simple au double.

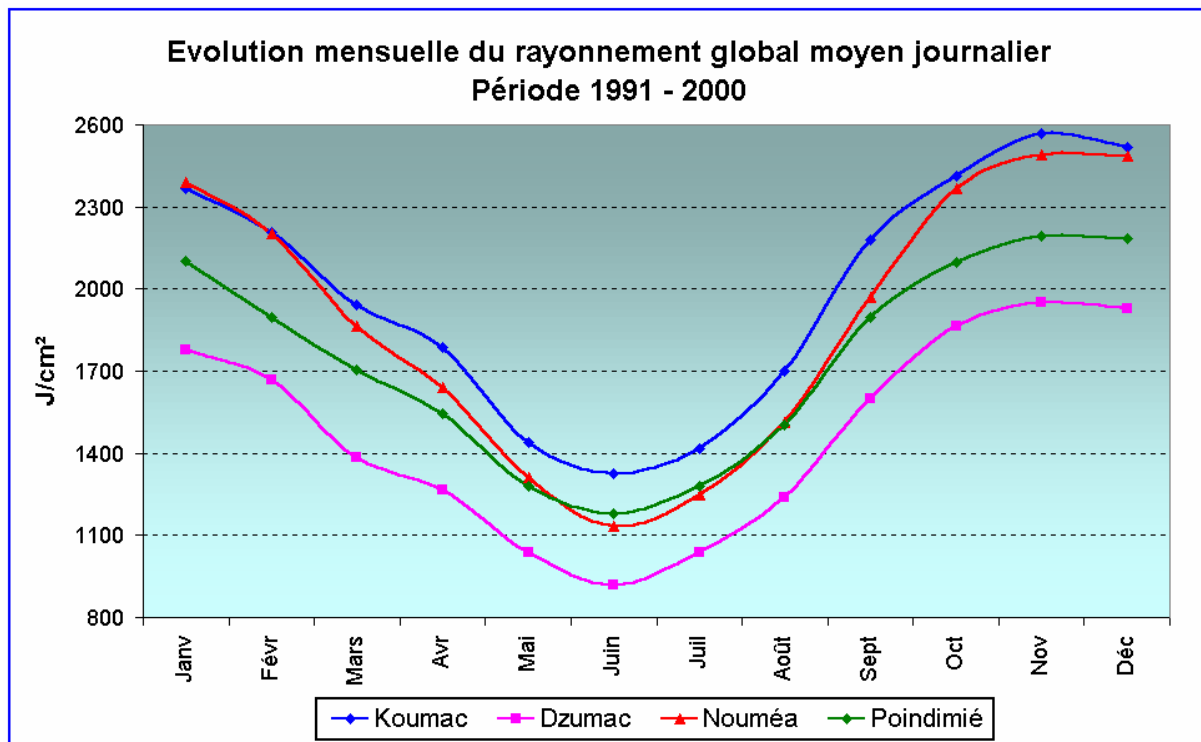


Figure 3.1.1.1 : Cycle annuel du rayonnement global journalier

3.1.2 Le cycle journalier

Il est le résultat du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même, organisant l'alternance entre le jour et la nuit.

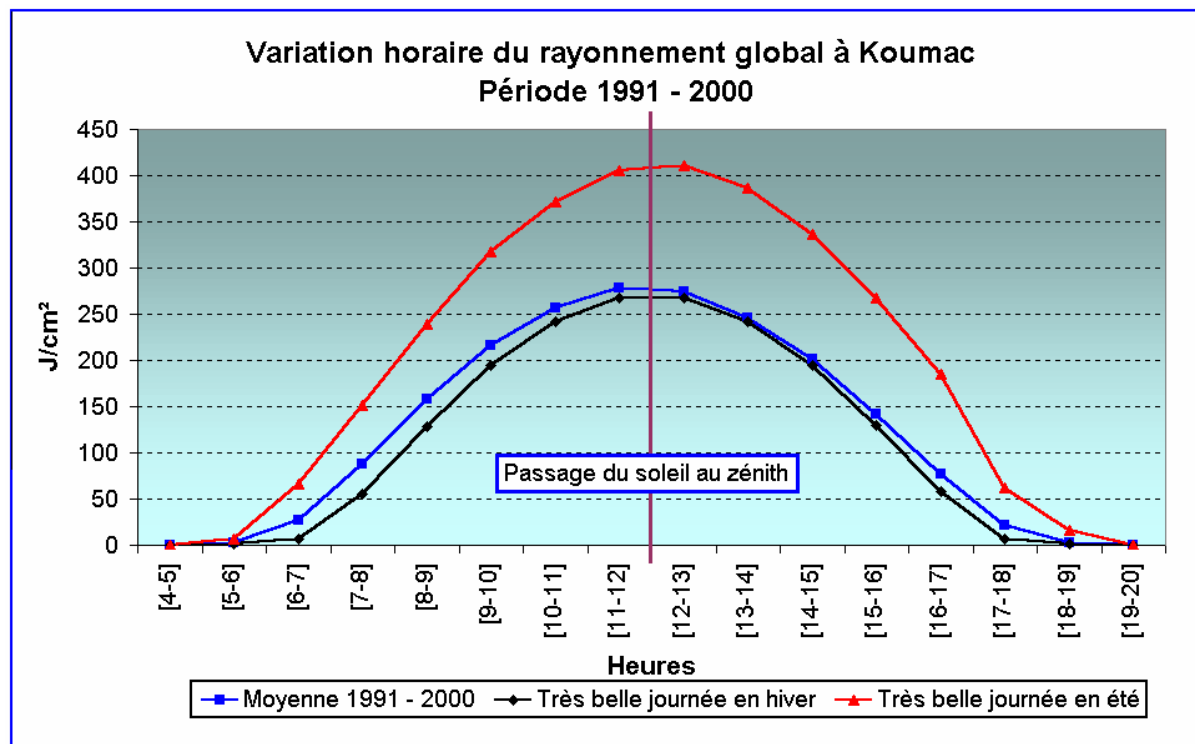


Figure 3.1.2.1 : Cycle journalier du rayonnement global

Pendant le cycle journalier, *figure 3.1.2.1*, nous avons évidemment des valeurs nulles la nuit (qui ne sont pas toutes représentées sur cette figure), une croissance progressive jusqu'au maximum atteint vers midi et une décroissance pratiquement symétrique l'après-midi.

Au mois de juin, le rayonnement maximum journalier vaut un peu plus de la moitié de celui d'une journée de décembre. En effet nous avons mesuré, à Koumac, un maximum de 3223 J/cm² le 18 décembre 1992 et 1803 J/cm² le 28 juin 1991.

La durée du jour est bien mise en évidence par les 2 courbes intitulées "Très belle journée en hiver" et "Très belle journée en été", avec le début des valeurs non nulles en début et fin de journée. La différence d'intensité du rayonnement global pendant la journée, entre l'hiver et l'été, est liée à la variation de la hauteur angulaire du soleil par rapport au plan de l'écliptique lors du cycle annuel.

Comme pour la *figure 3.1.1*, on retrouve ici une dissymétrie entre le matin et l'après-midi. Par exemple la valeur du rayonnement moyen horaire (courbe intitulée "Moyenne 1991-2000" sur la *figure 3.1.2.1*) de la tranche [9-10] heures est plus élevée que celle de la tranche [14-15] heures : avec respectivement 217 J/cm² et 201 J/cm².

3.2 INFLUENCE DE LA NEBULOSITE SUR LES MESURES DE RAYONNEMENT GLOBAL

3.2.1 Comparaison Nord-Sud et côte Ouest-côte Est

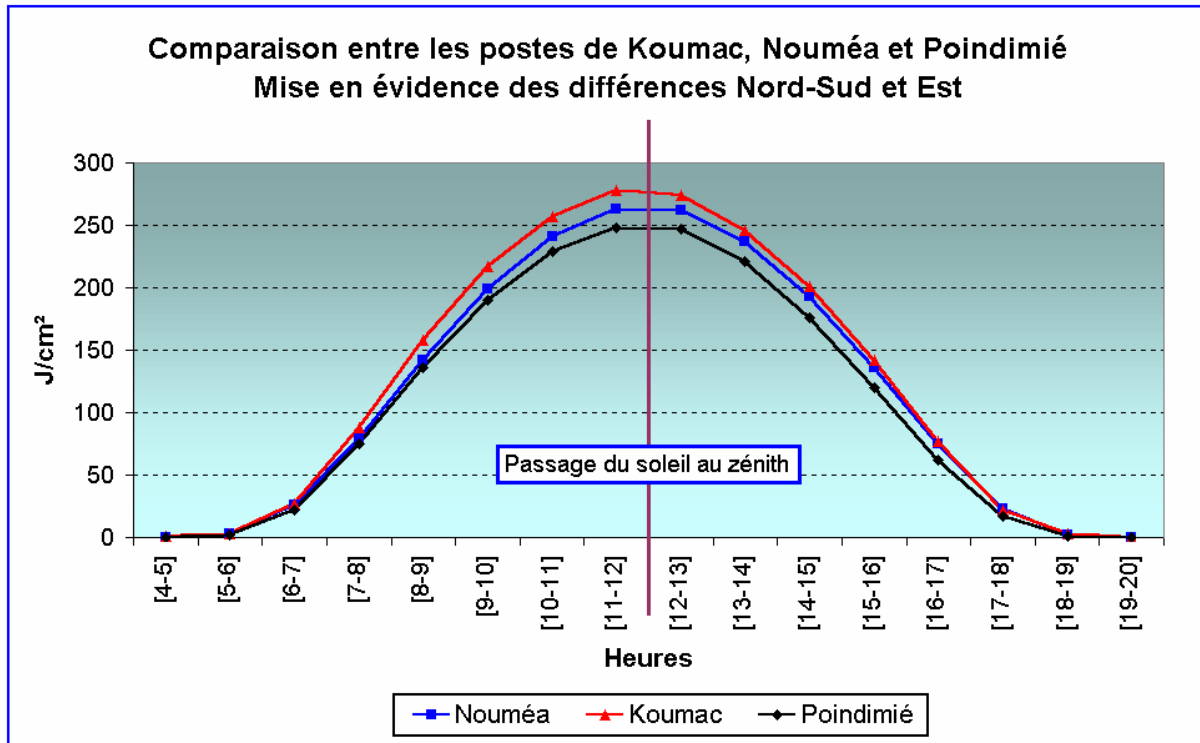


Figure 3.2.1.1 : Comparaison entre le rayonnement global horaire moyen de Koumac, Nouméa et Poindimié

La différence côte Est – côte Ouest s’explique par le fait que la côte Est située au vent dominant, en l’occurrence l’alizé (vent de sud-est), a généralement une nébulosité plus importante. En effet la côte Ouest subit un effet de fœhn, alors que le versant Est de la Chaîne est propice à la formation de nuages par soulèvement orographique (figure 3.2.1.2). C’est pourquoi le rayonnement moyen de Poindimié est plus faible que celui de Koumac.

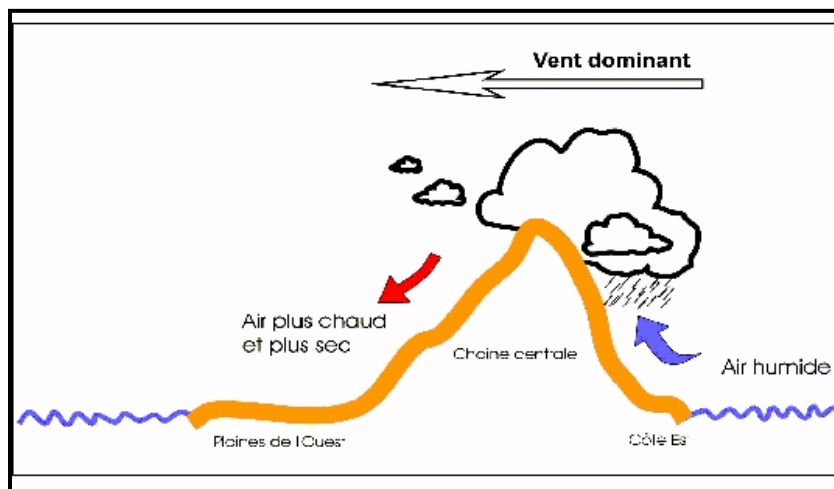


Figure 3.2.1.2 : L’effet de fœhn

Le sud de la Nouvelle-Calédonie est, quant à lui, plus concerné par les masses nuageuses en provenance de systèmes dépressionnaires évoluant dans la zone du pacifique Sud et remontant dans l'alizé, ce qui explique la différence entre Koumac et Nouméa.

3.2.2 Comparaison entre Nouméa et le Dzumac

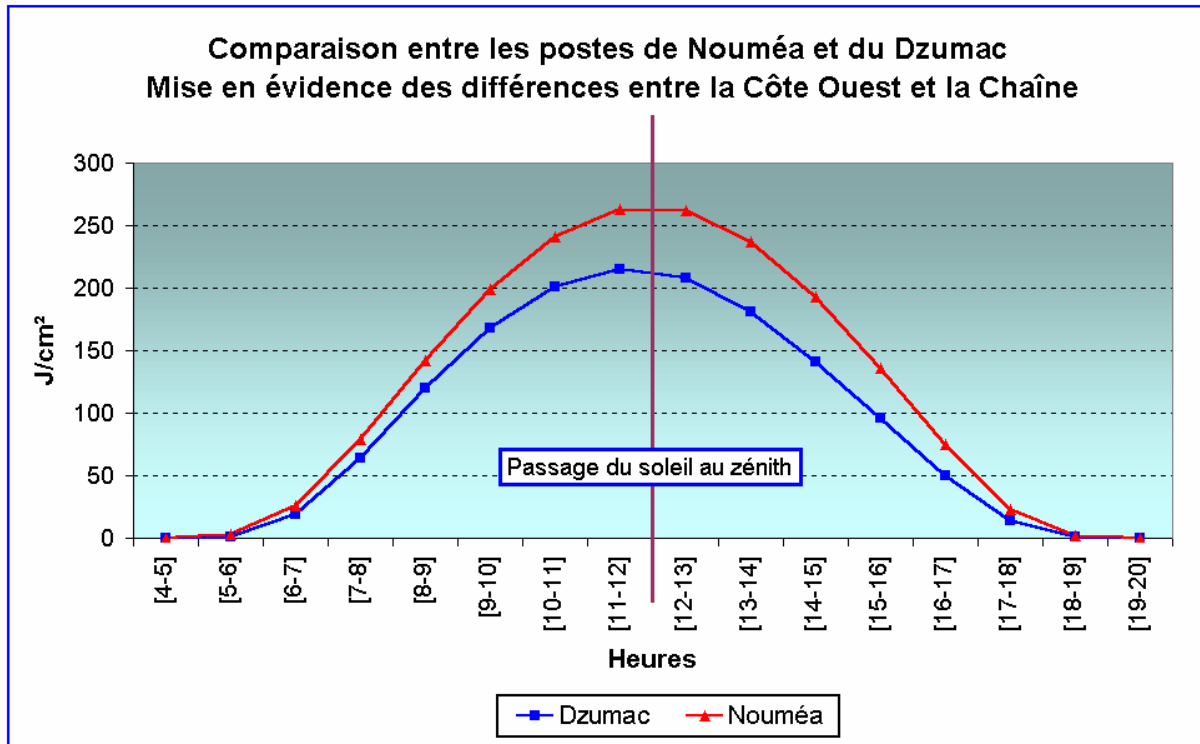


Figure 3.2.2.1 : Comparaison entre le rayonnement global horaire moyen de Nouméa et du Dzumac Période 1991 - 2000

Au regard de la **figure 3.2.2.1**, on constate une différence importante entre un poste situé sur la côte Ouest et un poste situé au milieu de la Chaîne Centrale. Alors que ces postes ne sont distants que de 25 kilomètres à vol d'oiseau, des différences d'une cinquantaine de J/cm² sont observées aux périodes les plus ensoleillées (12 et 13 heures).

Ce déséquilibre en faveur de Nouméa ne peut s'expliquer que par l'influence de la nébulosité évidemment beaucoup plus important sur les reliefs que sur le littoral.

Notons également, au Dzumac, l'importante dissymétrie entre le matin et l'après-midi qui est la signature des masses nuageuses convectives se formant en cours de journée sur les reliefs.

3.2.3 Comparaison entre le rayonnement observé et le rayonnement théorique

Afin de mieux appréhender l'importance de la nébulosité sur le rayonnement global, nous pouvons comparer le rayonnement observé et le rayonnement maximum théorique. Pour cela nous définissons l'indice **In** qui est le rapport entre le rayonnement global observé et le rayonnement global maximum théorique (considéré comme étant égal à 78% du rayonnement extra terrestre). Dans le tableau ci-dessous, les données de rayonnement sont exprimées en Joules/cm² et In en pourcentage.

Stations	Mois Rayonnement	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
		Koumac	Moyen observé	2369	2208	1944	1789	1439	1326	1418	1700	2180	2413
	Max théorique	3196	3066	2785	2397	2032	1846	1934	2254	2645	2980	3166	3222
	In	74,1	72,0	69,8	74,6	70,8	71,8	73,3	75,4	82,4	81,0	81,2	78,2
Nouméa	Moyen observé	2390	2201	1863	1641	1311	1133	1248	1512	1972	2368	2489	2486
	Max théorique	3217	3063	2749	2333	1950	1757	1849	2183	2597	2964	3180	3251
	In	74,3	71,8	67,8	70,3	67,2	64,5	67,5	69,2	75,9	79,9	78,3	76,5
Poindimié	Moyen observé	2100	1895	1704	1546	1281	1179	1281	1505	1896	2097	2196	2183
	Max théorique	3202	3066	2775	2379	2009	1821	1910	2234	2632	2976	3170	3230
	In	65,6	61,8	61,4	65,0	63,7	64,7	67,1	67,4	72,0	70,5	69,3	67,6
Ouanaham	Moyen observé	2351	2120	1879	1674	1356	1159	1302	1585	1921	2284	2392	2391
	Max théorique	3201	3066	2778	2384	2015	1828	1917	2240	2636	2977	3168	3228
	In	73,5	69,1	67,6	70,2	67,3	63,4	67,9	70,8	72,9	76,7	75,5	74,1

Figure 3.2.3.1 : Tableau regroupant les valeurs moyennes, maximales théoriques et l'indice In pour diverses stations sur la période 1991 - 2000

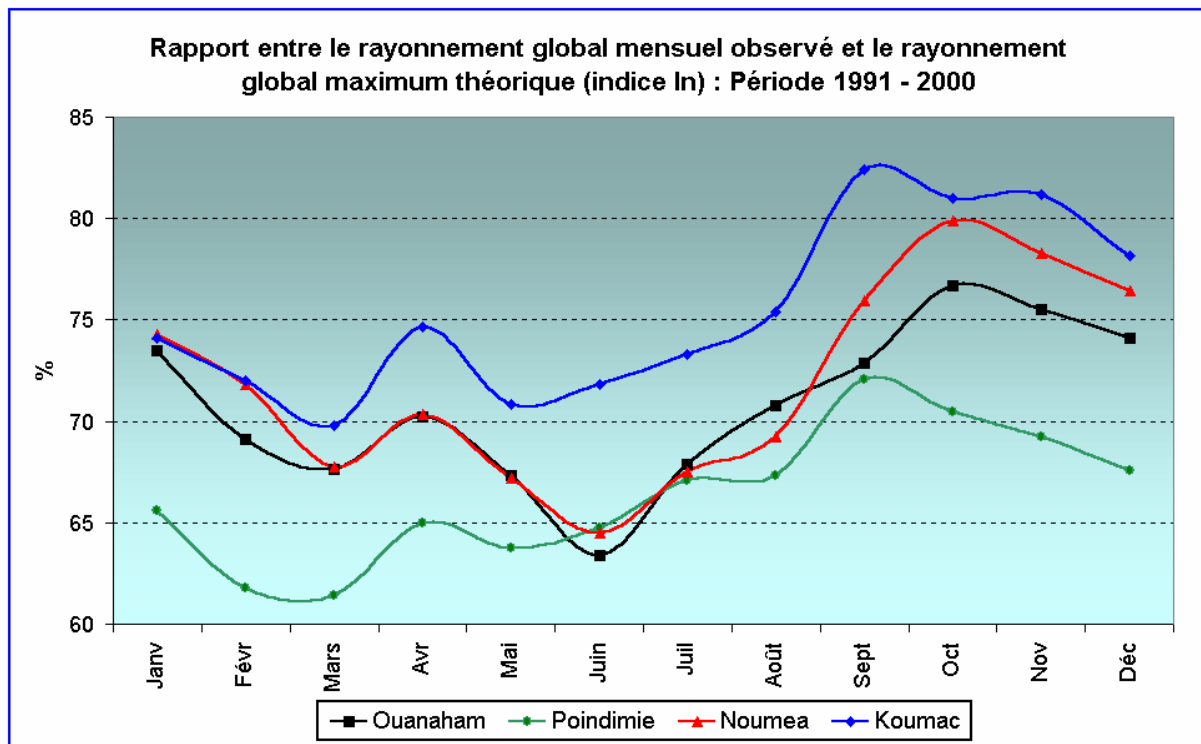


Figure 3.2.3.2 : Cycle annuel de l'indice In

Sur la **figure 3.2.3.2**, on constate des variations importantes de l'indice In. Celles ci ne peuvent s'expliquer que par la variation de nébulosité : plus In est élevé, plus le rayonnement observé se rapproche du rayonnement théorique parce que la nébulosité est faible ; inversement, In diminue lorsque la nébulosité augmente.

On constate à nouveau que les mois les plus "beaux" sont les mois de septembre à novembre, période durant laquelle l'indice In atteint son maximum compris entre 69% à Poindimié et 82% à Koumac. La baisse observée aux mois de février-mars, est le fait de la saison des pluies, période durant laquelle l'indice In est près de 10% inférieur à celui de la belle saison. Notons que pour Nouméa et Ouanaham, le minimum annuel de In est enregistré au mois de juin et que l'amplitude annuelle maximale de In dépasse 15% à Nouméa.

3.2.4 Conclusion sur l'influence de la nébulosité

Pour se persuader que la nébulosité est le facteur essentiel influençant le rayonnement, le graphique ci-dessous (**figure 3.2.4.1**) permet la comparaison entre In et la nébulosité. La nébulosité est exprimée en octas (les octas définissent l'indice de couverture nuageuse : de 0 pour un ciel clair jusqu'à 8 pour un ciel couvert).

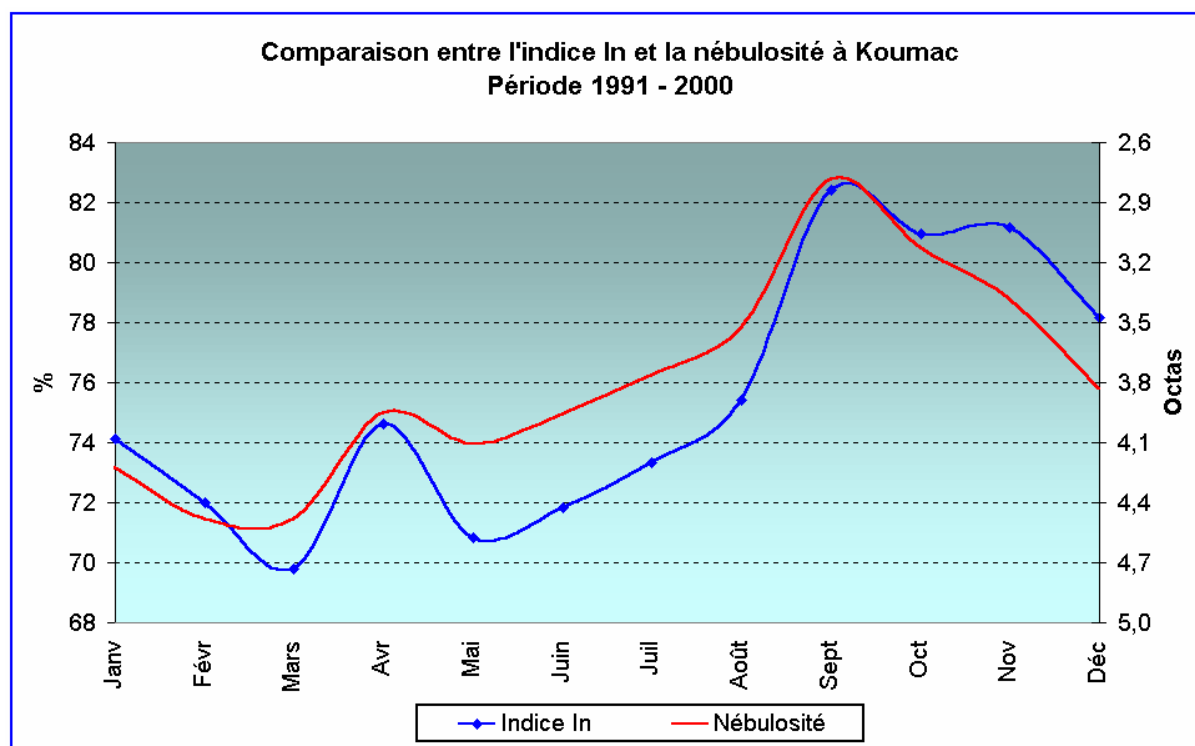


Figure 3.2.4.1 : Comparaison entre l'indice In et la nébulosité

Au regard du graphique 3.2.4.1, on peut remarquer l'interaction évidente entre la nébulosité et l'indice In. Lorsque la nébulosité augmente, l'indice In (donc le rayonnement global) diminue. La relation est telle que l'on pourrait envisager de calculer la nébulosité à l'aide du rayonnement.

3.2.5 Relations entre le rayonnement et le SOI

Le rayonnement global est très sensible aux phases climatiques observées dans la région. Les phases ENSO (El Niño Southern Oscillation) sont les plus nettement observées en Nouvelle-Calédonie. Elles sont bien identifiables à l'aide du SOI (Southern Oscillation Index) calculé à partir des pressions de Tahiti et de Darwin. Quand cet index est négatif, nous sommes dans une phase El Niño (périodes de sécheresses ou de déficit de précipitations en Nouvelle-Calédonie) et dans une phase La Niña lorsqu'il est positif (périodes pluvieuses).

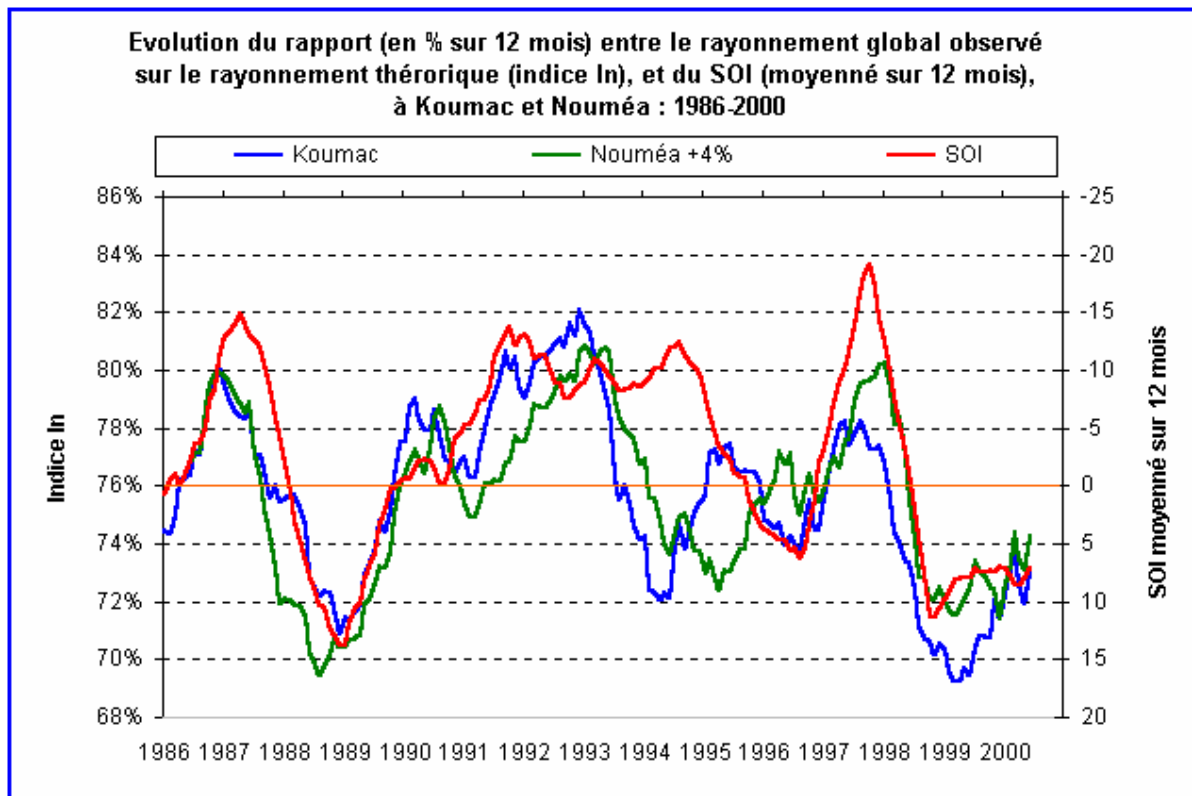


Figure 3.2.5.1 : Influence des phases climatologiques ENSO sur l'indice In

Pour cette *figure 3.2.5.1*, l'indice In a été augmenté de 4% à Nouméa pour être comparable à celui de Koumac. On y observe que l'indice In est en phase avec le SOI (l'échelle du SOI est inversée sur la figure). Il est plus faible pendant les phases La Niña (SOI positif) avec moins de 70% en 1999 à Koumac : cela signifie que le rayonnement observé est plus faible. Inversement, lors des phases El Niño (SOI négatif), l'indice In augmente pour atteindre des valeurs maximales (82% en 1993 à Koumac) : le rayonnement est alors plus fort.

Ce paramètre climatique n'est pas négligeable puisque l'on observe des variations de plus de 10% du rapport In (RG-observé sur RG-théorique) lors de ces phases. Pour situer l'importance de ces variations saisonnières il faut savoir qu'elles sont presque aussi fortes que celles observées pour le cycle annuel. En effet, à Koumac on observe une amplitude maximale de In proche de 12% pour les phases climatiques alors qu'elle est de 14% pour le cycle annuel moyen.

Il faut donc s'attendre à des variations annuelles importantes qui correspondent à plus ou moins 130 J/cm² pour le rayonnement global moyen journalier annuel qui est de 1993 J/cm² à Koumac et 1880 J/cm² à Nouméa.

3.3. CARACTERISTIQUES STATISTIQUES DU RAYONNEMENT GLOBAL JOURNALIER

Le but de ce chapitre est de donner certaines grandeurs statistiques liées à la répartition du rayonnement quotidien. Tous les tableaux de toutes stations ne pouvant être présentés dans ce chapitre, ils ont donc été mis en annexe à la fin du document.

Des cinq stations étudiées, c'est à Koumac que l'on observe le plus fort pourcentage de jours ayant des valeurs supérieures ou égales à 1500 J/cm², et au Dzumac qu'il est le plus faible. Inversement, pour le nombre de jours avec des valeurs faibles comprises entre 1000 J/cm² et 1500 J/cm², c'est au Dzumac qu'il est le plus fort et à Koumac le plus faible.

	Proportion de jours où le rayonnement quotidien est :	
	Supérieur ou égal à 1500 J/cm ²	Compris entre 1000 et 1500 J/cm ²
Koumac	76 %	14 %
Nouméa	68 %	19 %
Ouanaham	69 %	18 %
Poindimié	65 %	20 %
Dzumac	45 %	28 %

Le rayonnement passe par un minimum pendant les mois de Mai, Juin et Juillet. Durant ce trimestre, la probabilité d'avoir une valeur inférieure ou égale à 500 J/cm² est donc la plus forte de l'année avec : 5,5% (2 jours par mois) pour la côte Ouest, 8,4% (3 jours par mois) pour la côte Est, 6,7% (2 jours par mois) pour les Iles Loyauté et 13,2% (4 jours par mois) pour la Chaîne Centrale.

Pendant la saison sèche (septembre et octobre), la probabilité d'avoir une journée avec une valeur inférieure ou égale à 1000 J/cm² est de 3,2% pour la côte Ouest (1 jour par mois), 5,7% pour la côte Est (2 jours par mois), 4,3% pour les Iles Loyauté (1 jour par mois) et 11,8% pour la Chaîne Centrale (4 jours).

Durant la saison de l'été austral (décembre à février), la probabilité d'une valeur inférieure ou égale à 1000 J/cm² est de 5,6% pour la côte Ouest (2 jours par mois), 7,8% (3 jours par mois) pour la côte Est, 5,7% (2 jours par mois) pour les Iles Loyauté et 15,0% (5 jours par mois) pour la Chaîne Centrale.

Pour la station du Dzumac, la plus grande proportion des données se situe entre 1000 et 1750 J/cm². Cette station, de par sa situation sur un massif montagneux, est donc plus particulièrement sous l'influence des nuages de convection (genre cumuliformes) ainsi que des autres systèmes nuageux qui ont tendance à " s'accrocher " au relief.

3.3.1 Analyse fréquentielle

Le tableau des fréquences ci-dessous (*figure 3.3.1.1*) regroupe le nombre de jours (en pourcentage) pendant lesquels le rayonnement global journalier a été compris entre des bornes délimitant des classes de valeurs.

Répartition du rayonnement global journalier (en J/cm ²) par classes à Koumac : période 1991 - 2000													
Classes	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
<=500	1,3%	0,7%	2,6%	3,2%	3,7%	6,7%	5,2%	3,6%	1,0%				2,3%
500/750	1,3%	2,1%	1,3%	1,1%	6,3%	6,0%	1,6%	2,6%	1,3%	0,3%	0,7%	0,7%	2,1%
750/1000	3,2%	3,5%	2,6%	3,2%	8,0%	5,7%	10,0%	4,5%	1,3%	1,0%	1,7%	2,3%	3,9%
1000/1250	2,3%	2,5%	9,0%	5,1%	9,7%	15,7%	13,2%	7,1%	3,0%	4,8%	2,0%	1,6%	6,4%
1250/1500	2,3%	7,1%	5,8%	10,8%	18,3%	19,0%	14,5%	9,4%	2,3%	3,5%	1,7%	4,6%	8,3%
1500/1750	7,1%	7,1%	12,9%	16,2%	23,7%	42,7%	38,1%	15,5%	5,0%	1,6%	4,1%	5,2%	15,0%
1750/2000	8,4%	7,8%	9,7%	19,1%	26,7%	4,3%	17,4%	23,9%	6,7%	6,5%	5,7%	5,2%	11,8%
2000/2250	9,4%	13,8%	16,8%	27,8%	3,7%			31,4%	18,7%	8,1%	5,1%	7,5%	11,7%
2250/2500	13,5%	15,9%	23,5%	13,0%				1,9%	42,7%	14,2%	9,8%	10,8%	12,1%
2500/2750	14,5%	17,7%	13,9%	0,4%					17,7%	34,5%	17,2%	13,8%	10,9%
2750/3000	21,9%	17,3%	1,9%						0,3%	24,5%	36,5%	23,9%	10,6%
>3000	14,8%	4,6%								1,0%	15,5%	24,3%	5,1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

*Figure 3.3.1.1 : Répartition du rayonnement global journalier par seuils à Koumac
Période 1991 - 2000*

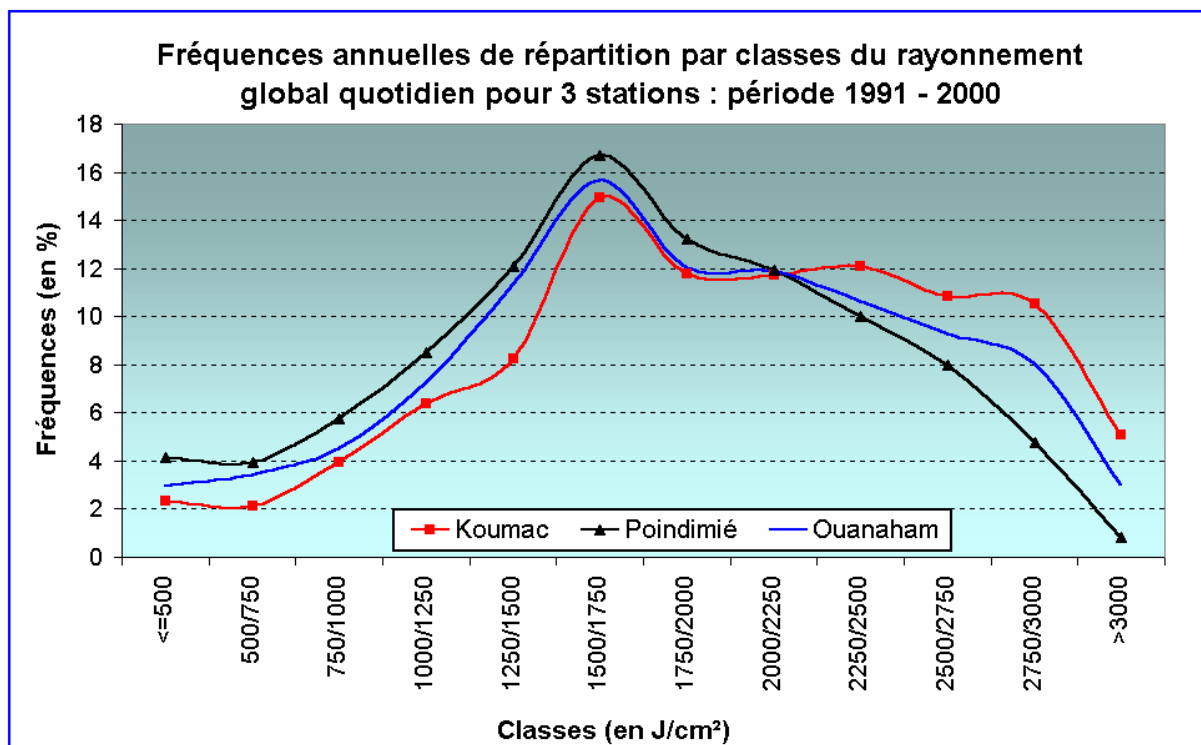


Figure 3.3.1.2 : Comparaison des fréquences annuelles du rayonnement global quotidien à Koumac, Ouanaham et Poindimié sur la période 1991 - 2000

Les *figures 3.3.1.2* et *3.3.1.3* permettent de visualiser les différences dans la répartition fréquentielle du rayonnement global entre les différentes stations.

Les caractéristiques climatiques, et plus particulièrement la nébulosité (*chapitre 3.2*), des stations sont ainsi clairement mises en évidence :

- Le contraste côte Est / Côte Ouest matérialisé par les courbes de Koumac et Poindimié. Koumac enregistrant une plus forte proportion de jours à fort rayonnement que Poindimié. Notons que la courbe de Ouanaham, situé sur l'île de Lifou dépourvue de relief important, se trouve entre ces 2 extrêmes (*figure 3.3.1.2*).
- Le contraste entre le littoral et la Chaîne Centrale matérialisé par la *figure 3.3.1.3* et les courbes de Nouméa et du Dzumac. La différence est très marquée entre ces deux postes, et nous avons déjà montré que ce résultat et la cause d'une nébulosité plus importante dans la Chaîne

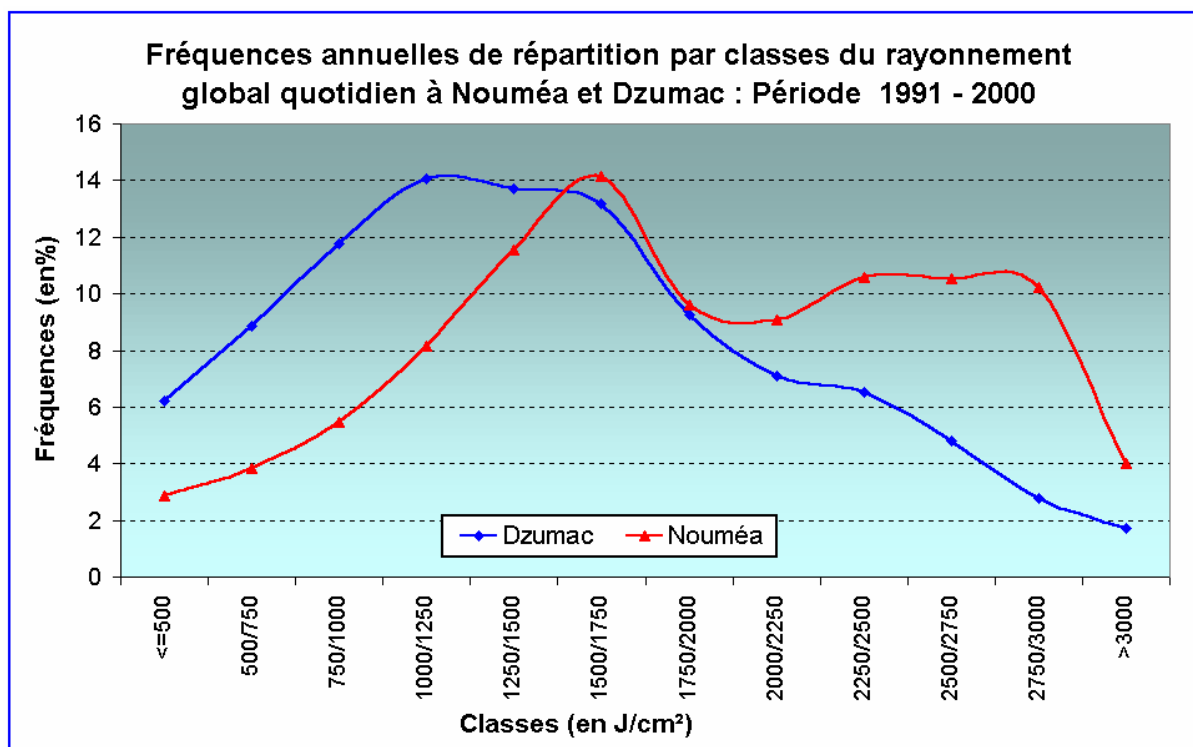


Figure 3.3.1.3 : Comparaison des fréquences annuelles du rayonnement global quotidien à Nouméa et au Dzumac sur la période 1991 - 2000

3.3.2 Statistiques mensuelles et annuelles du rayonnement global

Pour tous les postes, nous avons calculé les différents paramètres statistiques (*figure 3.3.2.1*) des données journalières. La colonne année concerne les valeurs moyennes des paramètres (pour les autres postes, voir en annexe) :

Statistiques de rayonnement global journalier à Koumac (en J/cm²) : période 1991-2000													
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Mini	373	358	196	268	189	70	95	150	361	738	505	531	320
Centile 20	1823	1689	1480	1404	1053	1023	1082	1330	1970	2084	2244	2023	1600
Moyenne	2369	2208	1944	1789	1439	1326	1418	1700	2180	2413	2570	2518	1990
Centile 80	2944	2773	2471	2199	1809	1672	1742	2100	2494	2786	2969	3032	2416
Maxi	3216	3087	2789	2533	2149	1803	1981	2357	2757	3067	3170	3223	2678

Figure 3.3.2.1 : Paramètres statistiques du rayonnement global à Koumac.

3.4. RESUME

Voici les principales constatations sur le rayonnement global. Les chiffres suivants sont données pour la station de référence (Koumac) :

- Au cours du cycle journalier, le rayonnement global horaire atteint son maximum lors du passage du soleil au zénith. Le maximum horaire absolu est proche de 430 J/cm^2 .
- Le rayonnement global moyen journalier suit un cycle annuel lié au mouvement de la terre par rapport au soleil avec un maximum en novembre et décembre et un minimum en juin.
- Le rayonnement global journalier maximum observé est de 3222 J/cm^2 en décembre, alors qu'il n'est que de 1846 J/cm^2 en juin.
- Pour indication, le rayonnement moyen journalier à Koumac est de 2570 J/cm^2 en novembre et de 1326 J/cm^2 en juin.
- Le rapport du rayonnement global moyen journalier sur le rayonnement maximum théorique (Indice I_n) suit un cycle annuel lié à la nébulosité. Le maximum de ce rapport se situe entre les mois de septembre et d'octobre (saison sèche) et le minimum se situe au mois de mai et pendant le premier trimestre (la saison des pluies).
- Lorsque la nébulosité augmente, le rayonnement global diminue.

A la lumière des différents exemples et arguments que nous avons pu fournir, nous pouvons confirmer que la nébulosité est un paramètre qui a une influence notable sur les variations du rayonnement global pour un lieu et une période donnée. Les autres sont bien évidemment les cycles solaires, mais aussi le trouble de l'atmosphère pour lequel nous n'avons aucune mesure actuellement.

D'un point de vue climatique, seule la nébulosité représente un élément tangible pour lequel nous pouvons définir des lois de distributions spatiales et temporelles. Ce paramètre sera donc à prendre en compte en vue d'optimiser toute implantation de système mettant en œuvre des panneaux solaires ou de tout autre appareil de captation du flux solaire.

4. LE RAYONNEMENT DIFFUS

Dans la partie précédente de l'étude, nous avons vu que le rayonnement global se composait du rayonnement direct et du rayonnement diffus (**Figure 1.2**). Nous allons maintenant mettre en évidence l'importance du rayonnement diffus dans le rayonnement global. En Nouvelle-Calédonie, seule la station de Koumac mesure cet élément. Il ne sera donc pas possible de faire une étude complète, le but de ce chapitre étant uniquement de montrer les variations moyennes du rayonnement solaire diffus de Koumac.

4.1 LES CYCLES ANNUELS ET JOURNALIERS

Le rayonnement diffus étant une partie du rayonnement global ($R_{diffus}=R_G-R_{direct}$), il est soumis de la même façon aux cycles du soleil. La figure ci-dessous permet de visualiser les valeurs moyennes horaires du rayonnement diffus à Koumac suivant les mois, les heures, la période d'étude étant de 10 ans.

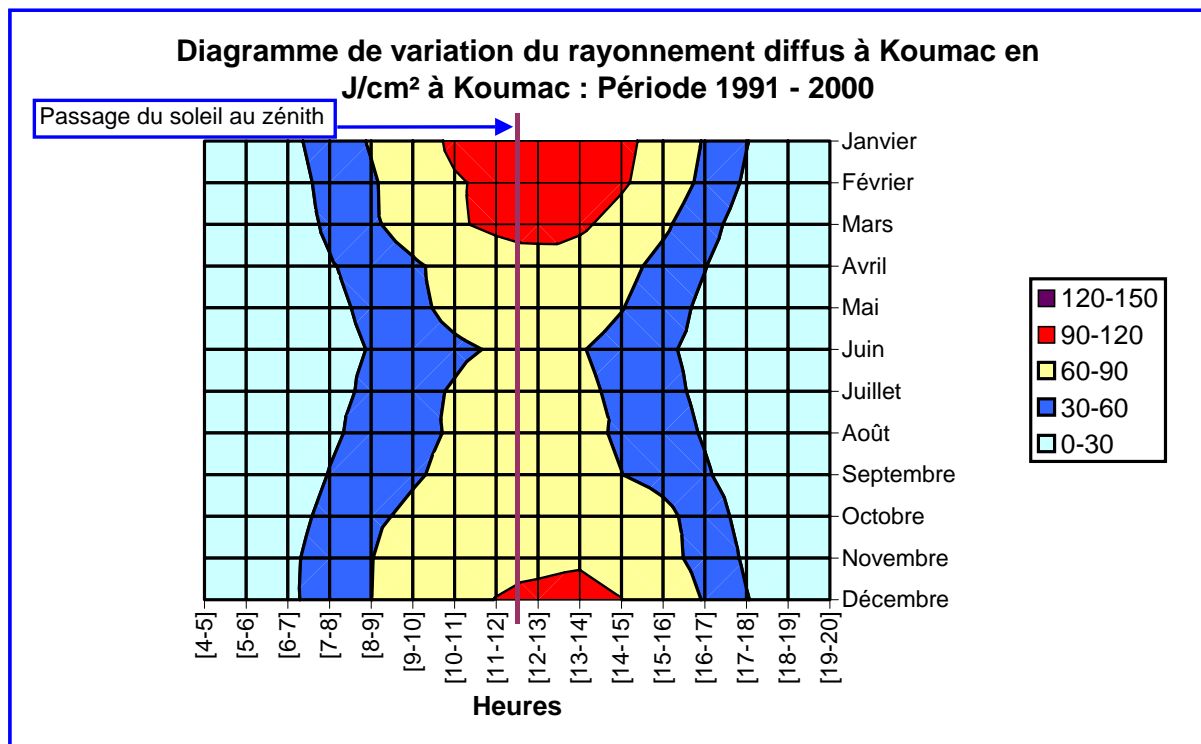


Figure 4.1.1 : Tableau des valeurs horaires moyennes du rayonnement diffus à Koumac

Si l'on compare la **figure 4.1.1** à la **figure 3.1.1** montrant le rayonnement global moyen horaire de Koumac, hormis l'intensité des valeurs, on constate une grande similitude. Cependant certaines variations dans la distribution de ces deux grandeurs existent :

- Les valeurs les plus fortes de rayonnement diffus sont observées en début d'année alors qu'elles le sont en fin d'année pour le rayonnement global.
- La dissymétrie matin-soir est plus marquée pour le rayonnement diffus, mais surtout les valeurs de l'après-midi sont distinctement plus fortes, principalement en été.

Bien que très proches, les cycles annuels du rayonnement diffus et du rayonnement global font apparaître certaines différences (**figure 4.1.2**). La période la plus nuageuse (premier trimestre) est, toutes proportions gardées, celle où la courbe du rayonnement diffus passe par son maximum. Par contre, le rayonnement global passe par son maximum lors de la

belle saison (septembre à novembre). Pour le minimum enregistré en hiver (solstice d'hiver le 21 juin), les deux courbes sont bien en phase. Notons que les mêmes constatations ont été faites à partir des *figures 4.1.1* et *3.1.1*.

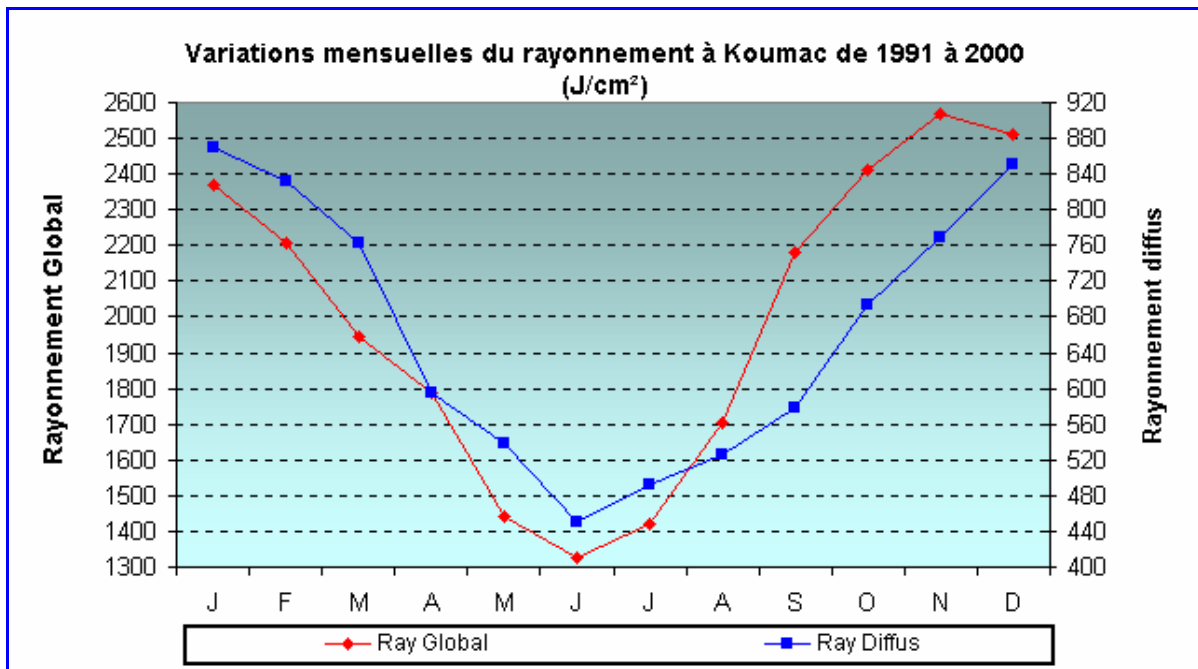


Figure 4.1.2 : Cycles annuels du rayonnement global et diffus à Koumac

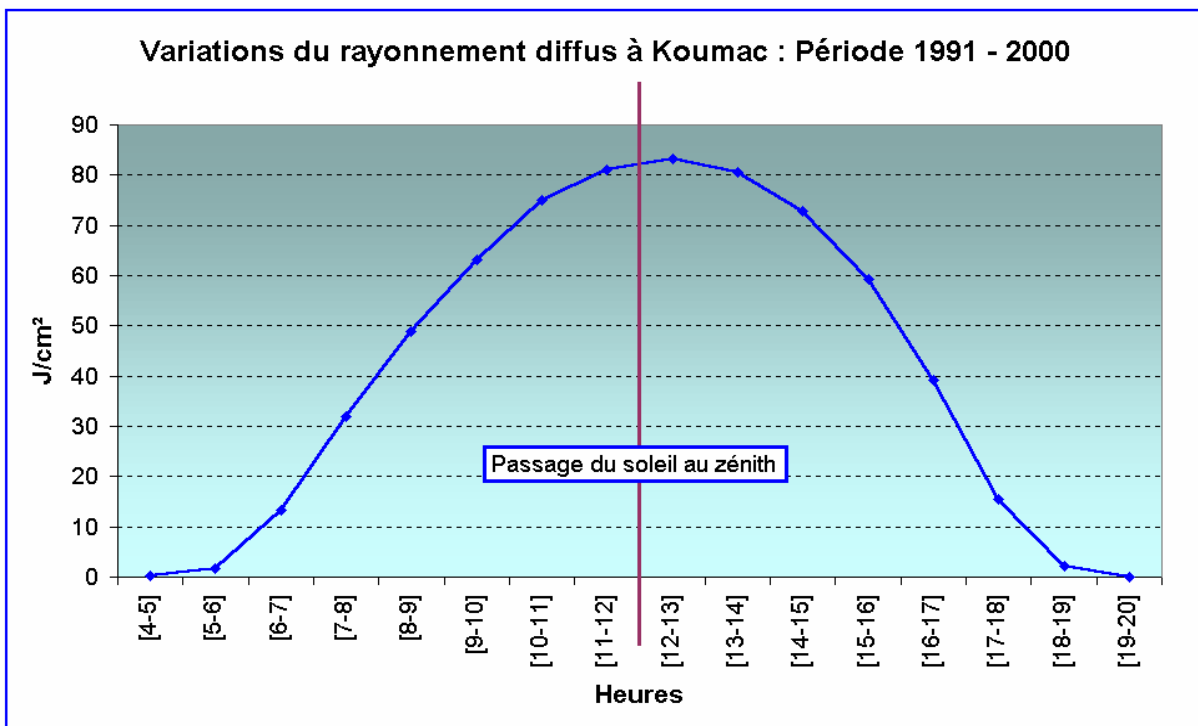


Figure 4.1.3 : Variations horaires du rayonnement diffus à Koumac

La *figure 4.1.3.* illustre parfaitement la dissymétrie importante du cycle journalier, les valeurs du rayonnement horaire moyen du matin étant inférieures à celles de l'après-midi.

4.2 INFLUENCE DE LA NEBULOSITE

Seule la variation de nébulosité peut expliquer la dissymétrie de la *figure 4.1.3*. En effet, la nébulosité moyenne à Koumac, sur la période 1991-2000, est de 3,1 octas à 5 heures, 3,7 à 11 heures et 4,6 octas à 17 heures.

A une augmentation de la nébulosité moyenne correspond donc une augmentation du rayonnement diffus moyen. Nous avons observé le contraire pour le rayonnement global, puisque l'indice I_n diminue lorsque la nébulosité augmente (*figure 3.2.4.1*). Il faut donc tempérer la première constatation, puisque lorsque la couverture nuageuse est très dense, le rayonnement global diminue fortement, et le rayonnement diffus aussi, puisqu'il est une partie du rayonnement global. Il faut donc bien insister sur le fait que c'est une augmentation de la nébulosité moyenne qui est responsable de l'augmentation de la moyenne du rayonnement diffus.

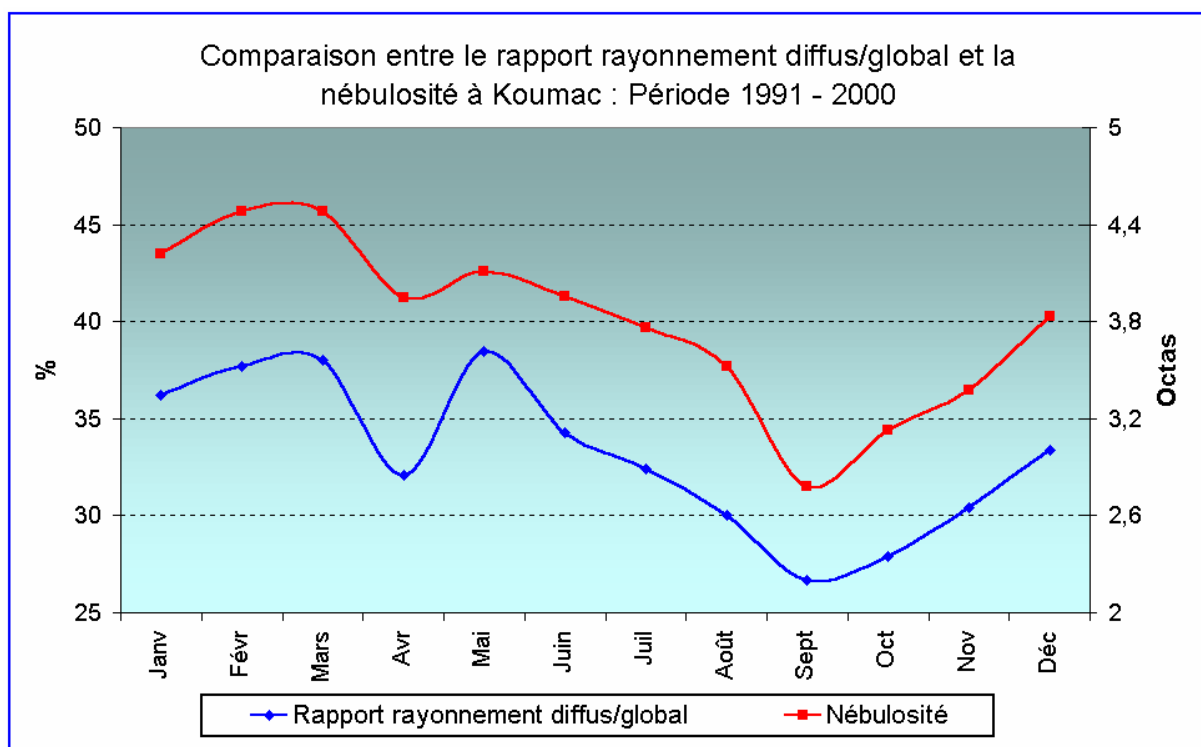


Figure 4.2.1 : Mise en évidence de la relation nébulosité – rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est une partie du rayonnement global, l'autre étant le rayonnement direct (voir le *chapitre 1* : généralités sur l'énergie solaire). Comme la nébulosité semble avoir une influence sur le rayonnement diffus, nous avons comparé un indice, calculé en faisant le rapport entre le rayonnement diffus et le rayonnement global, d'une part, et la nébulosité (en octa) d'autre part (*figure 4.2.1*).

On obtient alors, pour cet indice, un cycle annuel avec un maximum en février-mars (plus le mois de mai) et un minimum en septembre-octobre. Ce cycle n'est plus du tout comparable au cycle annuel du rayonnement global. Par contre, force est de constater que les variations de ce rapport suivent de très près celles de la nébulosité.

Les variations du rayonnement diffus sont donc directement liées à celles de la nébulosité. La part du rayonnement diffus dans le rayonnement global augmente lorsque la nébulosité augmente.

4.3 CARACTERISTIQUES STATISTIQUES DU RAYONNEMENT DIFFUS

4.3.1 Analyse fréquentielle

Le tableau des fréquences ci-dessous (*figure 4.3.1.1*) regroupe le nombre de jours (en pourcentage) pendant lesquels le rayonnement diffus journalier a été compris entre des bornes délimitant des classes de valeurs.

Répartition du rayonnement diffus journalier (en J/cm ²) par classes à Koumac : période 1991 - 2000													
Classes	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
<=200			0,4%		2,1%	6,5%	4,0%	1,1%					1,2%
200/300	0,3%	0,4%	2,9%	11,1%	10,1%	19,5%	17,3%	18,3%	7,5%	1,4%	2,6%	0,7%	7,6%
300/400	3,1%	3,5%	6,5%	11,9%	14,3%	15,3%	17,6%	13,3%	19,6%	13,3%	7,1%	4,0%	10,7%
400/500	6,3%	7,1%	7,6%	18,9%	16,4%	18,0%	16,2%	19,4%	16,7%	15,1%	10,4%	7,9%	13,2%
500/600	10,1%	10,2%	9,4%	10,7%	18,5%	19,2%	12,6%	12,2%	14,6%	14,0%	10,8%	8,3%	12,4%
600/700	10,5%	10,2%	11,9%	13,5%	15,1%	11,9%	13,3%	9,4%	13,3%	10,4%	12,7%	13,3%	12,1%
700/800	9,1%	14,5%	13,3%	13,5%	12,6%	7,7%	11,2%	12,6%	10,4%	9,7%	11,2%	14,4%	11,7%
800/900	13,3%	14,5%	16,9%	9,0%	10,1%	1,9%	6,8%	9,4%	6,7%	10,0%	10,1%	10,1%	10,0%
900/1000	11,5%	10,6%	15,5%	7,4%	0,8%		1,1%	2,5%	5,4%	11,5%	12,3%	11,5%	7,6%
1000/1100	13,3%	11,8%	6,1%	2,9%				1,1%	3,3%	4,3%	8,6%	9,4%	5,2%
1100/1200	12,9%	10,6%	5,8%	1,2%				0,7%	2,1%	5,0%	6,7%	7,9%	4,5%
1200/1300	4,5%	3,9%	2,5%							2,5%	3,0%	5,4%	1,9%
>1300	4,9%	2,7%	1,4%						0,4%	2,9%	4,5%	7,2%	2%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Figure 4.3.1.1 : Répartition du rayonnement diffus journalier par seuils à Koumac.

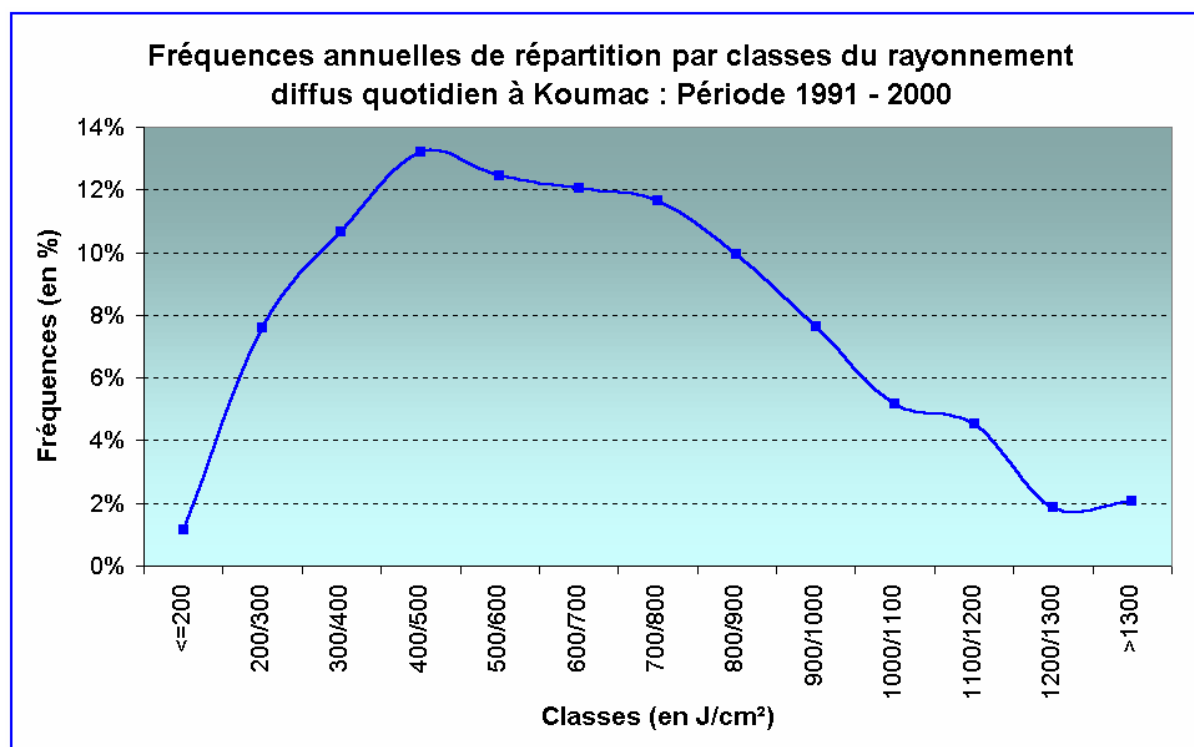


Figure 4.3.1.2 : Fréquences annuelles du rayonnement diffus à Koumac

Le cycle annuel est bien visible sur la *figure 4.3.1.1.* Par exemple, durant la saison fraîche, plus de 80% du rayonnement diffus quotidien est inférieur à 700 J/cm², alors que pendant la saison sèche et l'été, cette valeur descend aux alentours de 30%.

4.3.2 Statistiques mensuelles et annuelles du rayonnement diffus

Les variations saisonnières du rayonnement diffus journalier sont représentées sous forme de tableau dans la *figure 4.3.2.1* et sous forme de graphique dans la *figure 4.3.2.2.*

Statistiques de rayonnement diffus journalier à Koumac (en J/cm ²) : période 1991-2000													
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Mini	282	285	148	220	174	66	86	179	225	265	281	287	208
Centile 20	605	595	522	378	356	263	294	302	358	434	494	593	433
Moyenne	870	832	764	596	538	451	492	525	578	703	772	842	663
Centile 80	1108	1077	978	811	724	606	695	734	766	946	1027	1106	882
Maxi	1527	1559	1441	1162	960	866	973	1163	1487	1438	1597	1592	1314

Figure 4.3.2.1 : Paramètres statistiques du rayonnement diffus à Koumac.

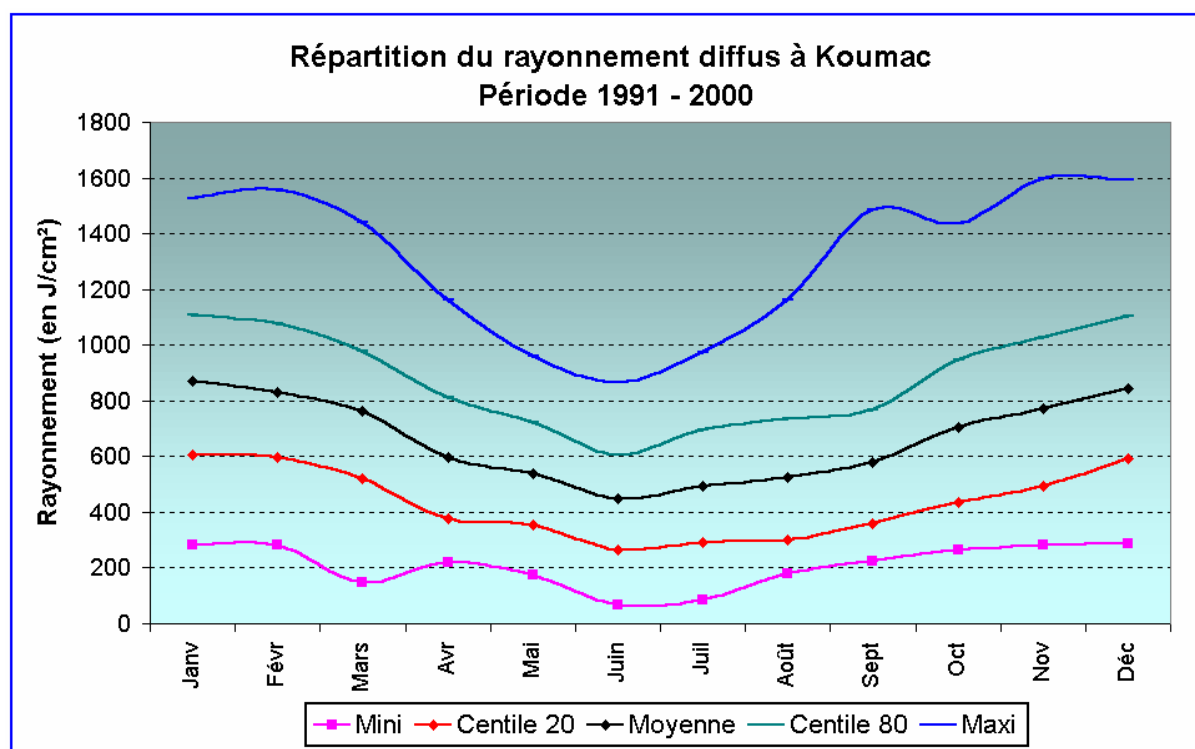


Figure 4.3.2.2 : graphique des éléments statistiques concernant le rayonnement diffus.

4.4 RESUME

Le rayonnement diffus est, comme le rayonnement global, soumis aux cycles du soleil. Par contre, l'influence de la nébulosité est bien différente puisqu'elle favorise les valeurs fortes du rayonnement diffus alors qu'elle diminue les valeurs du rayonnement global. **La part du rayonnement diffus dans le rayonnement global augmente donc avec la nébulosité.**

5. L'INSOLATION

Nous allons analyser les cinq stations mesurant ce paramètre. Cependant, la station de Koumac sera privilégiée pour rester compatible avec l'analyse du rayonnement. Toutefois des tableaux et graphiques seront disponibles en annexe pour les autres postes.

5.1 LES CYCLES ANNUELS ET JOURNALIERS

Contrairement au rayonnement, l'insolation ne décrit pas un véritable cycle journalier hormis la présence ou l'absence de l'astre solaire. Par contre le cycle annuel est le résultat de la variation de la durée du jour. Cependant la couverture nuageuse joue un rôle si important qu'elle en arrive à créer son propre signal. Ainsi, si l'on regarde les valeurs comprises entre 45 et 50 minutes sur la **figure 5.1.1**, on constate qu'elles sont comprises entre août et décembre soit la saison la moins pluvieuse.

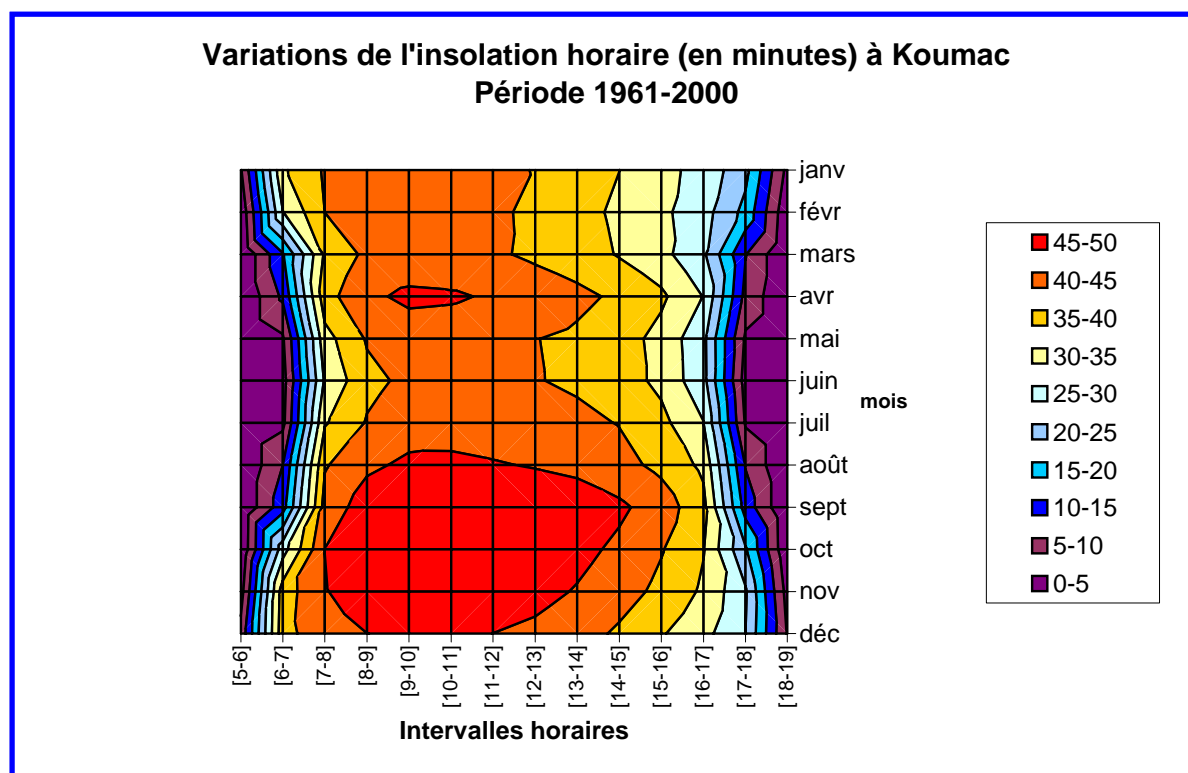


Figure 5.1.1 : Variations diurne et saisonnières de l'insolation horaire à Koumac

Le cycle annuel est plus visible sur la **figure 5.1.2** qui permet de comparer l'insolation à la durée du jour sur une période de 18 mois pour une meilleure représentation visuelle. Les constatations sont :

- Il y a un fort déficit entre l'insolation et la durée du jour pendant la période estivale de décembre à mars.
- Le minimum est atteint au mois de juin pour les deux courbes.
- Par contre le maximum est observé en novembre pour l'insolation et en décembre pour la durée du jour.

Pour le cycle journalier, **figure 5.1.3**, on remarque que la valeur de l'insolation croît rapidement pour arriver à une valeur plateau. Elle a ensuite tendance à décroître très légèrement surtout à partir de 14-15 heures pour enfin chuter brutalement.

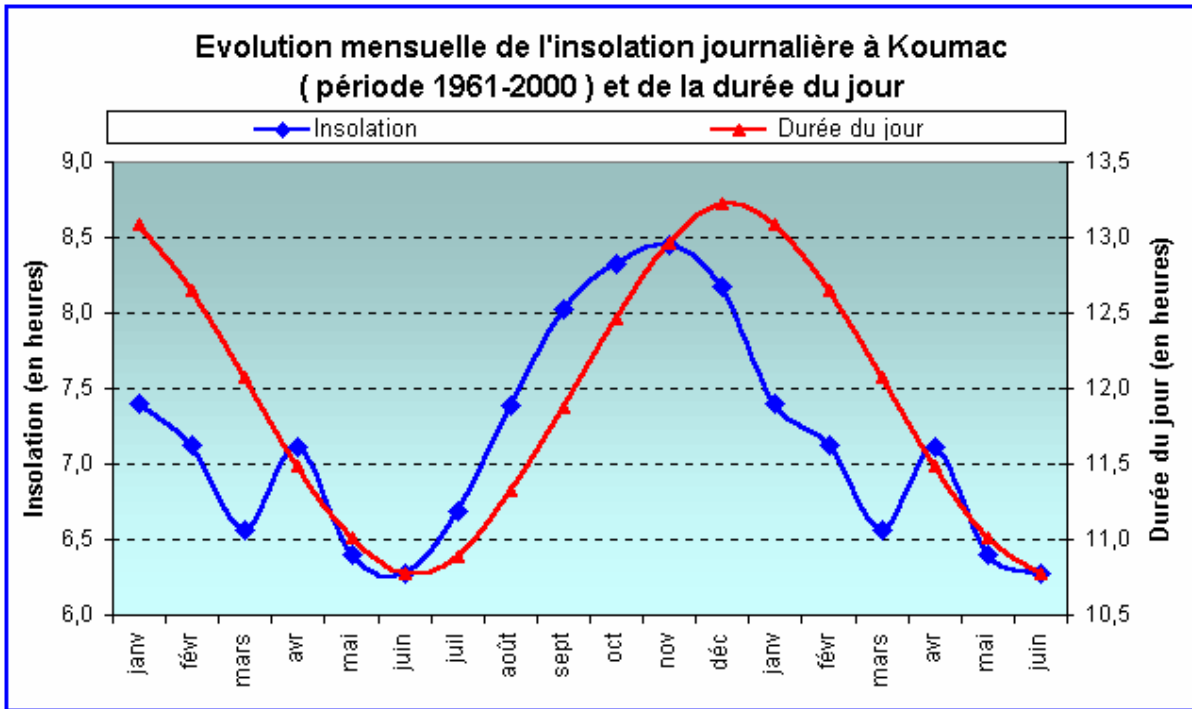


Figure 5.1.2 : cycle annuel de l'insolation à koumac

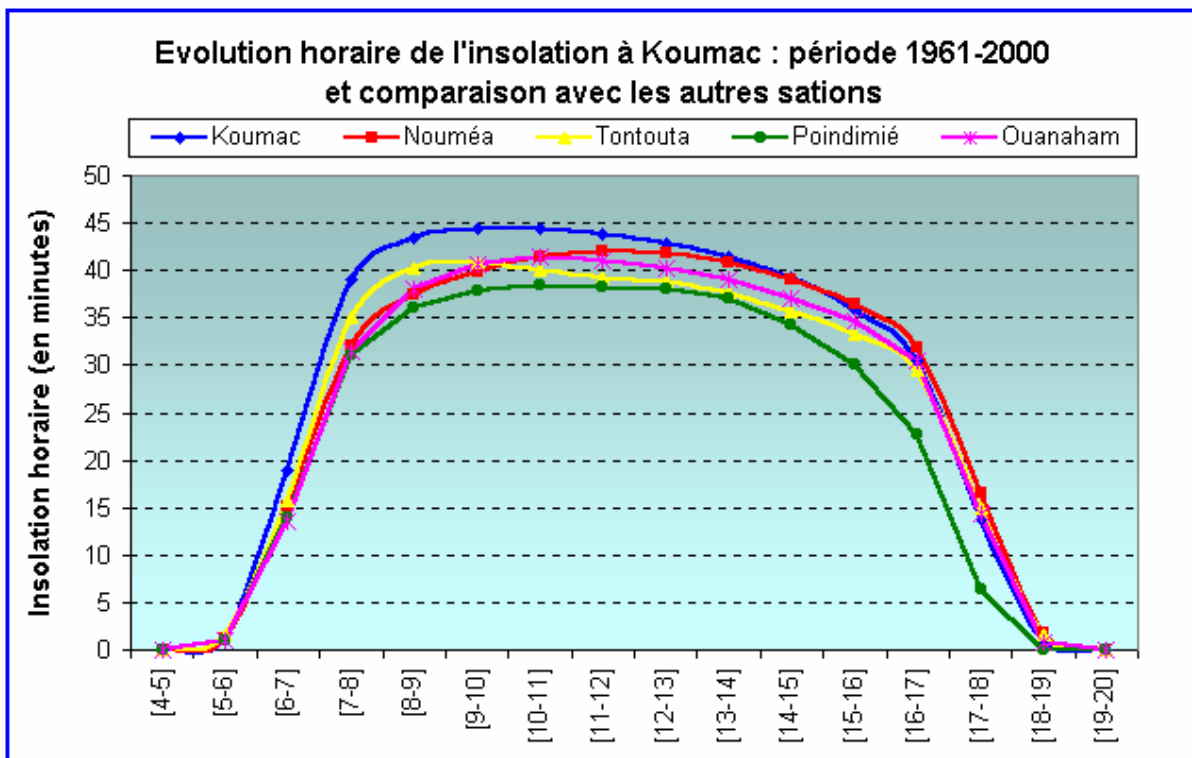


Figure 5.1.3 : Cycle annuel de l'insolation

Les constatations faites sur le cycle annuel et la décroissance observée, l'après midi, sur le cycle journalier mettent en évidence l'influence très importante de la nébulosité.

5.2 INFLUENCE DE LA NEBULOSITE SUR LES MESURES D'INSOLATION

Pour mettre en évidence le rôle de la nébulosité, nous allons utiliser le paramètre "**fraction d'insolation**" qui est le rapport entre l'insolation observée sur la durée du jour.

Sur la **figure 5.2.1**, la relation entre la nébulosité moyenne et la fraction d'insolation moyenne est particulièrement évidente (l'échelle de la nébulosité est inversée sur la figure). Lorsque la nébulosité est forte, la fraction d'insolation diminue logiquement. Nous pouvons donc identifier les périodes bien ensoleillées, d'août à novembre, et les périodes où le soleil est souvent occulté, de janvier à mars, correspondant à la saison des pluies.

Pour le cycle journalier, nous avons noté que la nébulosité augmente au cours de la journée à Koumac. Elle est de 3,1 octas à 5 heures, 3,7 à 11 heures et 4,6 octas à 17 heures. L'insolation moyenne horaire a tendance à fléchir dans l'après-midi : maximale entre 9 et 10 heures avec 44,5 minutes elle diminue pour n'être plus que de 35,8 minutes entre 14 et 15 heures (**figure 5.1.3**). Sur cette même figure on s'aperçoit que c'est encore plus net pour Poindimié qui se trouve au vent d'un relief important, donc à un lieu où la nébulosité convective est favorisée en cours de journée et plus particulièrement l'après-midi. Par contre à Nouméa, qui se trouve sur une presqu'île loin de la Chaîne Centrale, il n'y a que peu d'évolution de l'insolation horaire moyenne au cours de la journée.

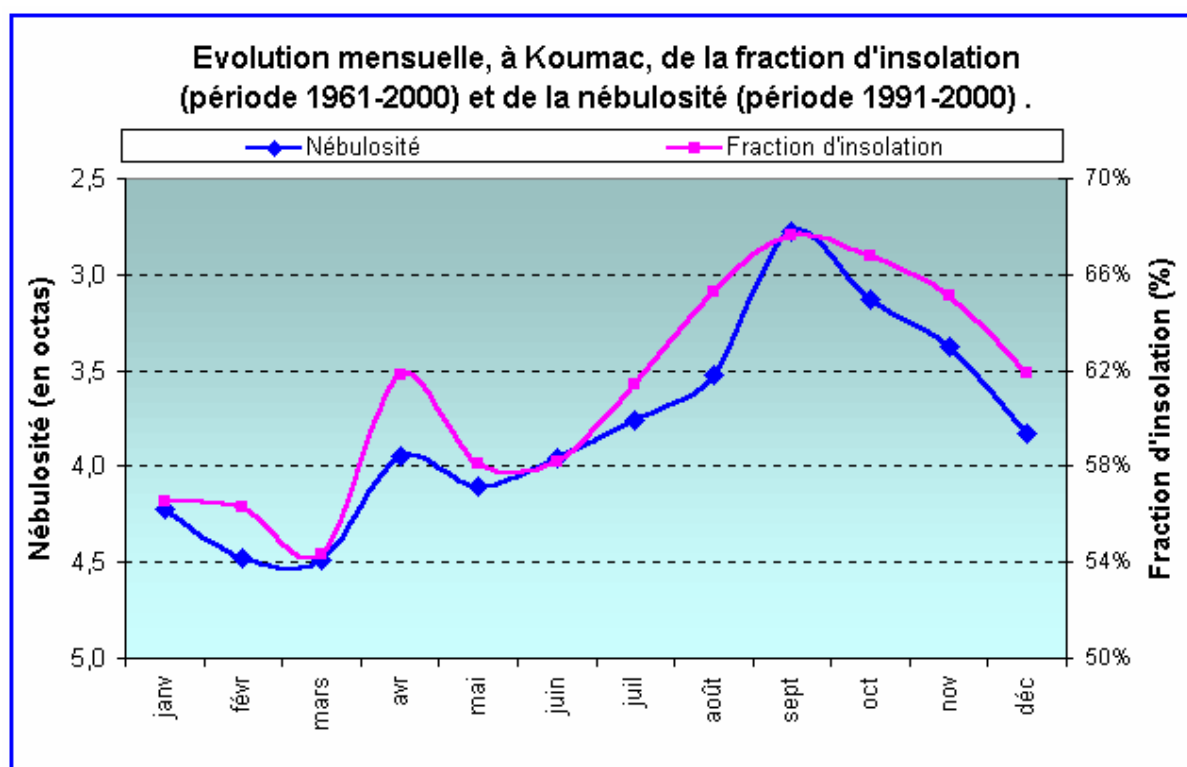


Figure 5.2.1 : Comparaison entre la nébulosité et la fraction d'insolation

A une augmentation de la nébulosité moyenne correspond donc une diminution de la fraction d'insolation, donc de l'insolation observée. Ceci est valable pour le cycle annuel comme pour le cycle journalier.

5.3 CARACTERISTIQUES STATISTIQUES DE L'INSOLATION

5.3.1 Analyse fréquentielle

Le tableau de fréquences ci-dessous (*figure 5.3.1.1*) regroupe le nombre de jours (en pourcentage) pendant lesquels l'insolation journalière de Koumac a été supérieure, égale ou inférieure à un seuil.

KOUMAC	Nombre de jours d'insolation journalière par seuils (en %)												Période 1961-2000
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	
Insolation nulle (= 0 heure)	5,4%	4,5%	4,8%	4,7%	5,8%	7,9%	5,7%	5,2%	3,1%	2,5%	2,3%	3,6%	4,6%
Insolation faible (<= 2 heures)	14,5%	14,0%	16,4%	12,3%	16,4%	18,8%	15,4%	12,5%	8,5%	9,3%	8,2%	10,9%	13,1%
Insolation médiocre (<= 5 heures)	28,5%	28,2%	33,0%	26,5%	32,1%	33,5%	27,9%	23,3%	17,5%	18,0%	18,3%	21,7%	25,7%
Insolation forte (>= 7 heures)	60,1%	57,0%	53,7%	59,1%	52,9%	52,0%	57,3%	65,5%	72,0%	72,4%	70,8%	67,1%	61,7%
Insolation très forte (>= 10 heures)	33,5%	28,6%	20,3%	23,0%	14,3%	13,8%	16,9%	30,3%	36,1%	44,0%	43,5%	42,3%	28,9%

Figure 5.3.1.1 : Répartition de l'insolation journalière par seuils à Koumac

Sur la *figure 5.3.1.2*, les insulations nulles sont les moins fréquentes de octobre à décembre et les plus fréquentes en juin, mais toutes les stations ont à peu près la même forme de courbe. On remarquera toutefois que la proportion de journées avec un soleil totalement occulté est relativement faible : 9% au maximum, soit moins de 3 jours par mois.

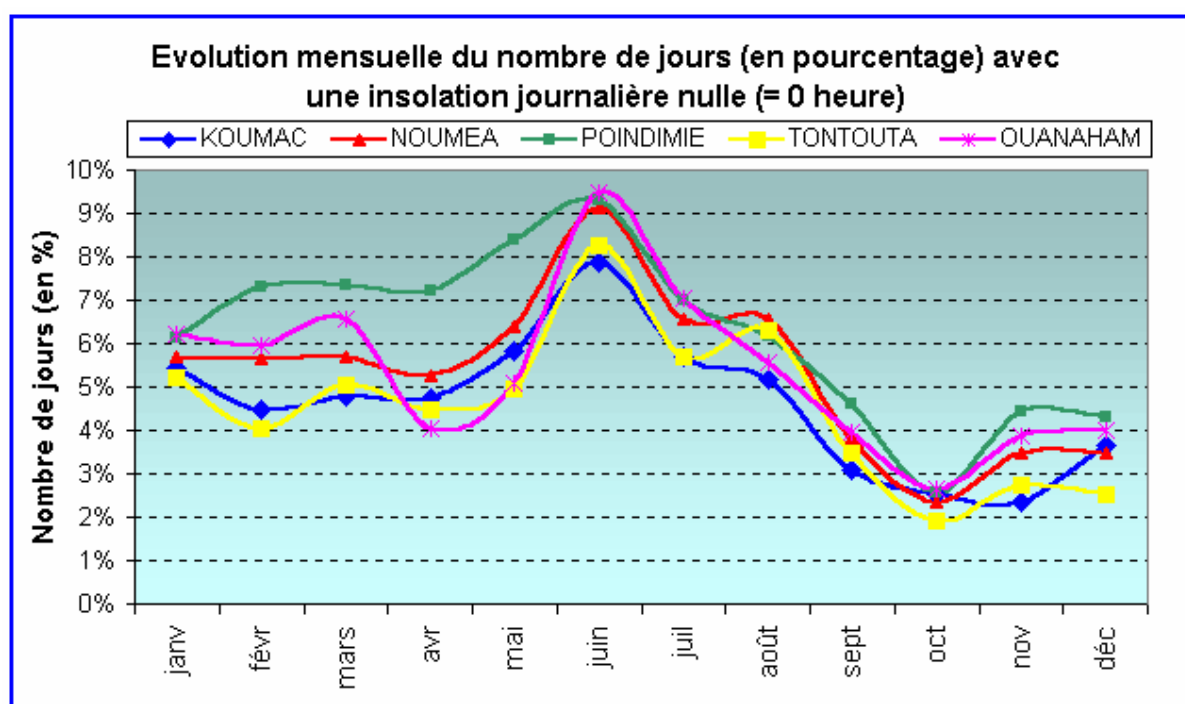


Figure 5.3.1.2 : Fréquences de journées à insolation nulle

Par contre sur la *figure 5.3.1.3*, les fortes insulations sont très différemment réparties en fonction des stations. Surtout à Poindimié, où même durant la belle saison, les fortes insulations dépassent difficilement 20%. Encore une fois, cela est causé par la localisation de ce poste près d'une zone propice aux nuages convectifs. Le maximum dépasse 45% à

Nouméa soit plus de 13 jours au mois de novembre. Notons que les valeurs faibles en hiver sont le fait de la nébulosité mais aussi de la durée du jour qui est inférieure à 11 heures.

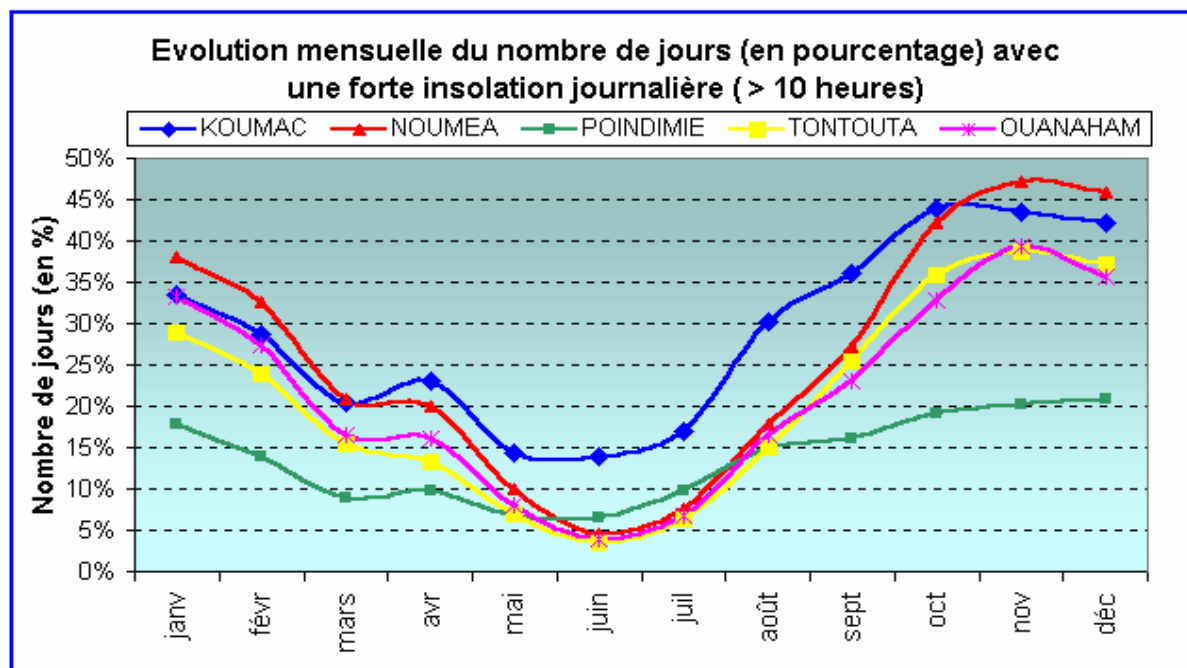


Figure 5.3.1.3 : Fréquences de journées à forte insolation

5.3.2 Statistiques mensuelles et annuelles d'insolation

KOUMAC	Statistiques d'insolation journalière (en heures)												Période 1961-2000
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	
Moyenne des valeurs minimales mensuelles	4,9	4,9	4,8	5,7	3,8	4,5	4,8	5,1	6,5	6,2	5,6	5,7	3,8
Centile 20 de la moyenne mensuelle	6,0	6,5	5,6	6,4	5,8	5,5	6,0	6,5	7,6	7,3	7,7	7,0	6,2
Moyenne des moyennes mensuelles	7,2	7,0	6,4	6,9	6,2	6,1	6,5	7,2	7,8	8,1	8,2	8,0	7,2
Centile 80 de la moyenne mensuelle	8,5	7,8	7,3	7,7	7,2	7,1	7,3	8,3	8,7	9,1	9,4	9,2	7,7
Moyenne des valeurs maximales mensuelles	10,0	9,0	8,9	9,2	8,1	8,1	8,2	9,6	10,0	10,6	10,4	10,5	8,2
Maximum journalier absolu observé	12,9	12,4	11,9	11,3	11,0	10,6	10,7	11,3	11,5	12,5	12,8	13,0	13,0

Figure 5.3.2.1 : Statistiques d'insolation journalière à Koumac.

5.4 RESUME

L'insolation est, comme le rayonnement, soumise au cycle annuel du soleil. Par contre, le cycle journalier est très différent puisque lié à la présence de l'astre mais non à l'intensité de son rayonnement. L'influence de la nébulosité est aussi très importante puisque, fort logiquement, lorsque celle ci augmente l'insolation diminue car le soleil se trouve plus souvent occulté.

6. RAYONNEMENT REÇU SUR DES SURFACES INCLINEES

L'énergie reçue sur une surface dépend de l'angle d'incidence du rayonnement solaire, de l'intensité de ce rayonnement direct et du rayonnement diffus.

L'angle d'incidence du rayonnement dépend de la hauteur angulaire du soleil, de son azimut et de l'orientation du récepteur.

Cette hauteur angulaire varie en fonction de la rotation de la Terre autour du soleil et de la latitude du lieu. Sur la **Figure 6.1**, nous pouvons visualiser cette hauteur angulaire lors du passage au zénith (à midi en temps solaire), pour différentes latitudes de l'hémisphère Sud, sur une période de 18 mois (450 jours). Lorsque l'on se trouve dans la zone intertropicale, on observe 2 maxima au cours de l'année alors qu'il n'y en a qu'un seul ailleurs (voir courbe "30° Sud"). Pour les postes de l'hémisphère Sud situés entre le tropique et l'Equateur, la direction du soleil lors du passage au zénith est vers le nord entre les 2 maxima de hauteur angulaire encadrant le solstice d'hiver (21 juin) ; vers le sud entre les deux maxima encadrant le solstice d'été (21 décembre). Notons le cas extrême d'un poste situé à l'Equateur où les deux périodes sont égales et délimitées par les maxima enregistrés lors des équinoxes.

En Nouvelle-Calédonie, située au nord du tropique du Capricorne, le soleil est le plus souvent orienté vers le nord au moment du passage au zénith (**Figure 6.1**). Il n'est orienté vers le sud que pendant une période très brève : du 24 novembre au 17 janvier pour Koumac (voir aussi en annexe le diagramme solaire de Koumac). Cette période est encore plus courte au sud de ce poste : du 5 décembre au 7 janvier à Nouméa.

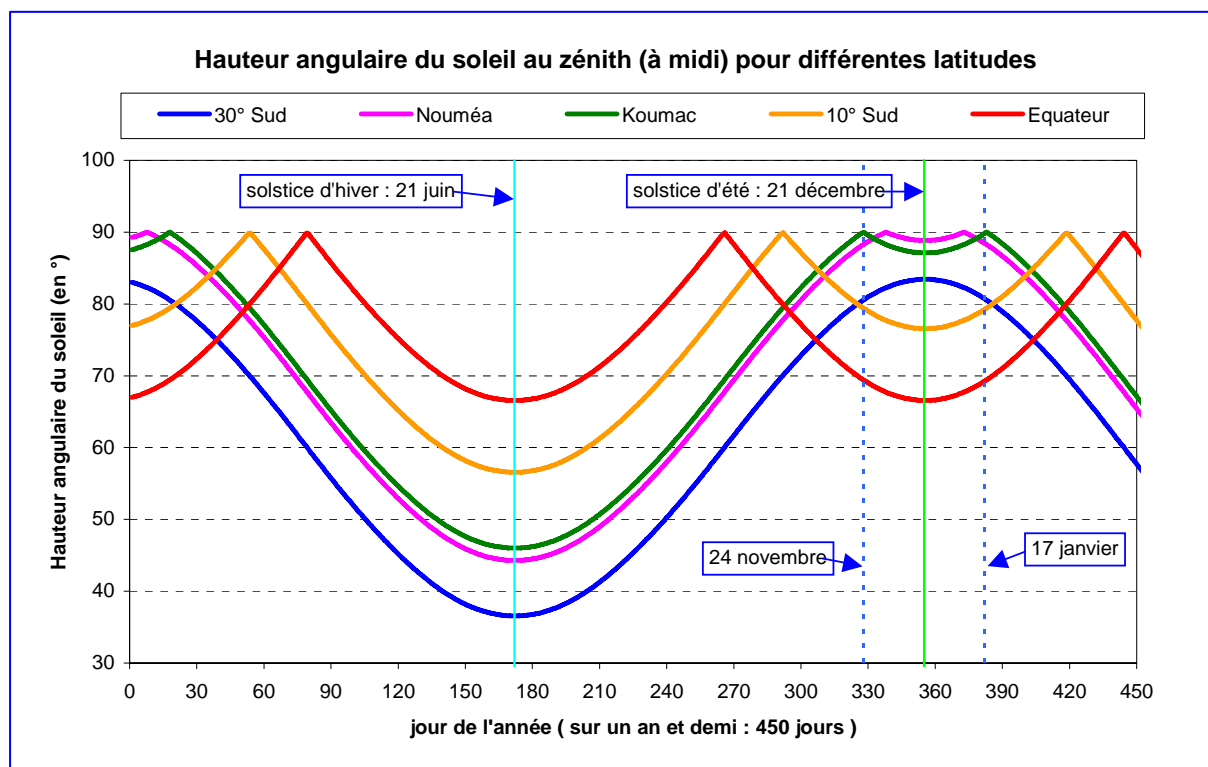


Figure 6.1 : Hauteur angulaire du soleil lors du passage au zénith.

De ce fait, pour obtenir un gain d'énergie solaire en Nouvelle-Calédonie sur une surface inclinée d'un angle constant, **on orientera toujours le récepteur vers le nord**. Nous étudierons donc quel est le meilleur angle d'inclinaison à utiliser pour répondre aux besoins des utilisateurs.

Dans le cas d'un poste situé à l'Equateur, on se doute qu'il est inutile d'incliner le capteur car le soleil y est orienté vers le nord la moitié de l'année, et vers le sud l'autre moitié (voir la remarque faite précédemment).

6.1.1 Les formules

La théorie est décrite dans la note technique N°172 de l'OMM. Pour mémoire, nous utiliserons les formules et les notations suivantes :

$$RG(\beta) = K_{gl}(\beta) * RG = K_d(\beta) * RD + R_{diff} * (1 + \cos(\beta)) / 2 + Alb * RG * (1 - \cos(\beta)) / 2 \quad (1)$$

Avec $RG(\beta)$: rayonnement global sur une surface inclinée d'un angle β

β : angle d'inclinaison par rapport à la surface dans la direction du nord

$K_{gl}(\beta)$: coefficient de correction utilisé pour retrouver $RG(\beta)$ à partir de RG

RG : rayonnement global sur une surface horizontale

$K_d(\beta)$: coefficient de correction utilisé pour retrouver $RD(\beta)$ à partir de RD

RD : rayonnement direct sur une surface horizontale

R_{diff} : rayonnement diffus sur une surface horizontale

Alb : albédo de la surface autour du capteur (0,25 en moyenne)

Il est impossible de calculer directement $K_{gl}(\beta)$, par contre nous pouvons calculer $K_d(\beta)$ et les valeurs théoriques de RD et RG (donc $R_{diff} = RG - RD$) pour résoudre l'équation (1) :

$$K_d(\beta) = \cos(\beta) + \sin(\beta) * \cos(\psi) / \text{tg}(\gamma) \quad (2)$$

Avec β : angle d'inclinaison par rapport à la surface dans la direction du nord

ψ : azimut du soleil

γ : hauteur angulaire du soleil

L'intensité du rayonnement direct est :

$$I = (1390 - 31 * T) * \text{EXP}(-T / (12,6 * \sin(\gamma + 2^\circ))) \quad (3)$$

Avec T : trouble de l'atmosphère. La valeur moyenne de 2,9 a été utilisée dans cette étude.

γ : hauteur angulaire du soleil

Donc le rayonnement direct sur une surface horizontale est :

$$RD = I * \sin(\gamma) \quad (4)$$

Le rayonnement global sur une surface horizontale se calcule à l'aide de la formule :

$$RG = (1300 - 57 * T) * \sin(\gamma)^{(36 + T) / 33} \quad (5)$$

La hauteur angulaire et l'azimut sont calculés à partir des formules astronomiques classiques. Il n'y a aucun intérêt de toutes les reproduire ici.

6.1.2 Les résultats

Dans un premier temps, on calculera les valeurs théoriques du rayonnement global (RG), direct (RD) et diffus (Rdiff) sur une surface horizontale. A l'aide du coefficient $K_d(\beta)$, on pourra extrapoler le coefficient $K_{gl}(\beta)$ à partir de l'équation (1).

Voici le tableau récapitulatif du coefficient $K_d(\beta)$ recalculé pour l'hémisphère sud.

Rapport moyen mensuel ($K_d(\beta)$) entre le rayonnement direct sur une surface inclinée vers le nord et le rayonnement direct sur une surface horizontale pour diverses latitudes (hémisphère Sud) et diverses inclinaisons.													
Angle d'inclinaison	Latitude	Janv.	Févr.	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
30°	0° Sud	0,61	0,71	0,85	0,99	1,10	1,16	1,13	1,03	0,90	0,76	0,64	0,58
	10° Sud	0,71	0,80	0,93	1,08	1,21	1,28	1,25	1,13	0,99	0,85	0,73	0,68
	20° Sud	0,79	0,89	1,03	1,19	1,35	1,43	1,39	1,25	1,09	0,93	0,82	0,76
	30° Sud	0,87	0,97	1,13	1,33	1,53	1,65	1,59	1,41	1,20	1,02	0,90	0,84
	40° Sud	0,95	1,06	1,25	1,52	1,83	2,02	1,93	1,63	1,35	1,13	0,98	0,92
	50° Sud	1,03	1,17	1,42	1,82	2,37	2,78	2,57	2,01	1,55	1,25	1,07	1,00
60°	0° Sud	0,11	0,24	0,46	0,71	0,90	1,00	0,95	0,79	0,56	0,32	0,14	0,07
	10° Sud	0,25	0,39	0,62	0,87	1,10	1,21	1,16	0,96	0,71	0,47	0,29	0,21
	20° Sud	0,39	0,54	0,78	1,07	1,34	1,48	1,41	1,17	0,88	0,62	0,43	0,35
	30° Sud	0,52	0,69	0,96	1,31	1,66	1,86	1,76	1,44	1,08	0,78	0,57	0,48
	40° Sud	0,67	0,85	1,17	1,64	2,16	2,51	2,34	1,83	1,34	0,95	0,71	0,62
	50° Sud	0,81	1,03	1,46	2,16	3,11	3,82	3,45	2,48	1,69	1,17	0,87	0,75
90°	0° Sud			0,02	0,24	0,47	0,58	0,52	0,33	0,08			
	10° Sud			0,14	0,43	0,69	0,82	0,76	0,53	0,25	0,02		
	20° Sud		0,08	0,32	0,66	0,97	1,13	1,05	0,78	0,44	0,15	0,01	
	30° Sud	0,09	0,24	0,53	0,93	1,34	1,57	1,45	1,09	0,67	0,33	0,13	0,06
	40° Sud	0,23	0,42	0,78	1,31	1,92	2,32	2,12	1,53	0,96	0,53	0,28	0,19
	50° Sud	0,39	0,63	1,11	1,91	3,01	3,83	3,40	2,29	1,38	0,78	0,45	0,34

Tableau 6.1.2.1 : Coefficient $K_d(\beta)$ tel que $RD(\beta) = K_d(\beta) * RD$

Quelques remarques à propos du **Tableau 6.1.2.1** :

- Ces valeurs représentent le rendement : les fortes valeurs indiquent un gain important, par contre celles qui sont inférieures à 1 correspondent à une perte d'énergie par rapport à une surface horizontale.
- Plus nous descendons en latitude plus il faut incliner le capteur pour obtenir un bon rendement.
- Dans de nombreux cas, $K_d(\beta)$ est inférieur à 1, ce qui prouve que l'on n'a pas forcément un gain toute l'année. Il faut donc en tenir compte dans le choix de l'angle d'inclinaison.
- Plus la latitude est basse plus les gains peuvent être importants. Par exemple, pour la latitude 50° Sud au mois de juin, en inclinant le capteur de 60° vers le nord, on recueille 3,82 fois plus de rayonnement direct que pour une surface horizontale.
- Le rayonnement direct subit un cycle annuel, il est donc souhaitable d'avoir un gain important pendant les périodes où il est le plus faible (en hiver).

Du **Tableau 6.1.2.1** on peut déduire le **Tableau 6.1.2.2** en utilisant la formule (1). Ce tableau ne représente pas beaucoup de changements par rapport au précédent. On remarque tout de même que le coefficient $K_{gl}(\beta)$ est plus atténué que $K_d(\beta)$ car le rayonnement diffus ne varie pas beaucoup avec l'inclinaison du récepteur contrairement au rayonnement direct.

En multipliant le rayonnement global observé par $K_{gl}(\beta)$, on obtient une estimation du rayonnement global que l'on enregistrera effectivement sur notre capteur incliné d'un angle β .

Rapport moyen mensuel ($K_{gl}(\beta)$) entre le rayonnement global sur une surface inclinée vers le nord et le rayonnement global sur une surface horizontale pour diverses latitudes (hémisphère Sud) et diverses inclinaisons.													
Angle d'inclinaison	Latitude	Janv.	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
30°	0° Sud	0,70	0,79	0,92	1,04	1,13	1,17	1,15	1,07	0,96	0,84	0,73	0,67
	10° Sud	0,79	0,88	0,99	1,11	1,22	1,27	1,24	1,15	1,04	0,92	0,82	0,77
	20° Sud	0,87	0,95	1,06	1,20	1,32	1,38	1,35	1,25	1,11	0,99	0,89	0,85
	30° Sud	0,93	1,02	1,15	1,30	1,45	1,54	1,50	1,36	1,20	1,06	0,96	0,91
	40° Sud	1,00	1,09	1,24	1,44	1,65	1,76	1,71	1,52	1,31	1,14	1,02	0,97
	50° Sud	1,08	1,20	1,42	1,80	2,35	2,95	2,61	1,97	1,55	1,27	1,11	1,05
60°	0° Sud	0,26	0,38	0,58	0,79	0,96	1,04	1,00	0,86	0,66	0,45	0,29	0,22
	10° Sud	0,39	0,52	0,71	0,93	1,12	1,21	1,17	1,00	0,79	0,58	0,43	0,35
	20° Sud	0,52	0,65	0,85	1,09	1,31	1,42	1,37	1,17	0,94	0,71	0,55	0,48
	30° Sud	0,63	0,77	1,00	1,28	1,55	1,71	1,63	1,39	1,10	0,85	0,67	0,59
	40° Sud	0,75	0,90	1,17	1,53	1,91	2,12	2,02	1,67	1,30	0,99	0,79	0,71
	50° Sud	0,81	1,03	1,46	2,16	3,11	3,82	3,45	2,48	1,69	1,17	0,87	0,75
90°	0° Sud	0,16	0,17	0,19	0,38	0,57	0,67	0,62	0,46	0,24	0,17	0,16	0,16
	10° Sud	0,17	0,17	0,29	0,54	0,76	0,88	0,82	0,63	0,38	0,19	0,17	0,17
	20° Sud	0,18	0,24	0,45	0,73	0,99	1,13	1,07	0,83	0,55	0,30	0,19	0,17
	30° Sud	0,25	0,38	0,62	0,96	1,29	1,47	1,38	1,09	0,75	0,45	0,28	0,22
	40° Sud	0,37	0,53	0,83	1,27	1,72	1,98	1,85	1,44	0,99	0,62	0,41	0,33
	50° Sud	0,51	0,71	1,10	1,70	2,35	2,74	2,55	1,94	1,31	0,83	0,56	0,46

Tableau 6.1.2.2 : Coefficient $K_{gl}(\beta)$ tel que $RG(\beta) = K_{gl}(\beta) * RG$

6.2 Etude du cas de Koumac

On procède de la même façon mais en calculant les coefficients pour la latitude exacte du poste (20° 33,5' Sud pour Koumac).

Il reste alors à choisir sa stratégie :

1. On souhaite obtenir le maximum de rayonnement annuellement. Dans ce cas, on fait varier l'angle β jusqu'à obtenir la valeur de rayonnement global ($RG(\beta)$) maximale. Dans le cas, de Koumac elle est obtenue pour 18° d'inclinaison.
2. On souhaite obtenir un rayonnement le plus constant possible pour éviter des périodes de relatives pénuries. On fait alors varier l'angle β jusqu'à obtenir la valeur minimale de l'écart type du rayonnement direct sur la surface inclinée (35° pour Koumac).
3. On a des contraintes d'utilisation particulières (on peut faire varier l'angle β). Ces cas sont un peu plus long à traiter mais le procédé est la même.

Dans tous les cas, on obtient un coefficient $K_{gl}(\beta)$ mensuel qui permet d'obtenir le rayonnement global corrigé ($RG_{cor}(\beta) = K_{gl}(\beta) * RG_{observé}$), qui est une estimation assez réaliste de l'énergie que l'on pourra capter.

La **Figure 6.2.1** illustre bien ce processus : on calcule le rayonnement global théorique sur une surface plane ($RG(0^\circ)$), puis on calcule le rayonnement global sur une surface inclinée ($RG(18^\circ)$) d'un angle de 18° dans notre exemple, on trouve $K_{gl}(\beta)$ en faisant le rapport entre

les 2 valeurs précédentes ; enfin on calcule le rayonnement global corrigé comme indiqué ci-dessus ($RG_{cor}(18^\circ)$).

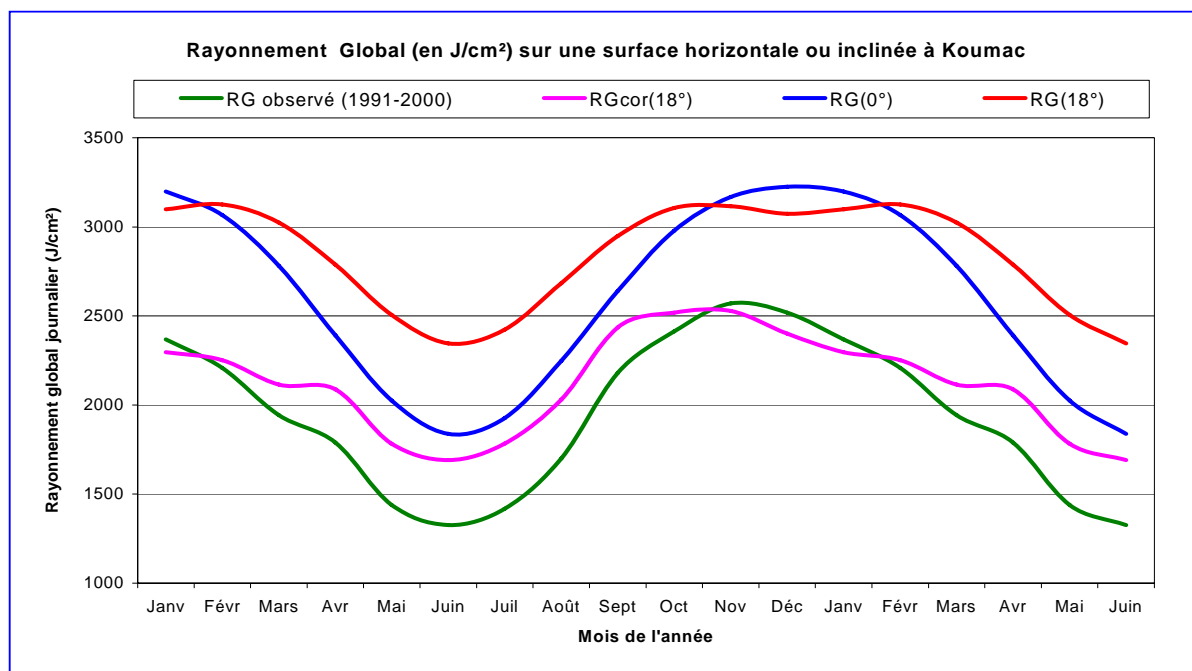


Figure 6.2.1 : Rayonnement global corrigé pour une surface inclinée à Koumac.

La figure 6.2.2 permet de comparer la courbe du rayonnement global mensuel observé à Koumac et les courbes de "rayonnement global corrigé" obtenues pour des inclinaisons de 18° et 35° . Le premier angle permet d'obtenir un rayonnement annuel maximal, alors que le deuxième permet d'enregistrer un rayonnement pratiquement constant toute l'année.

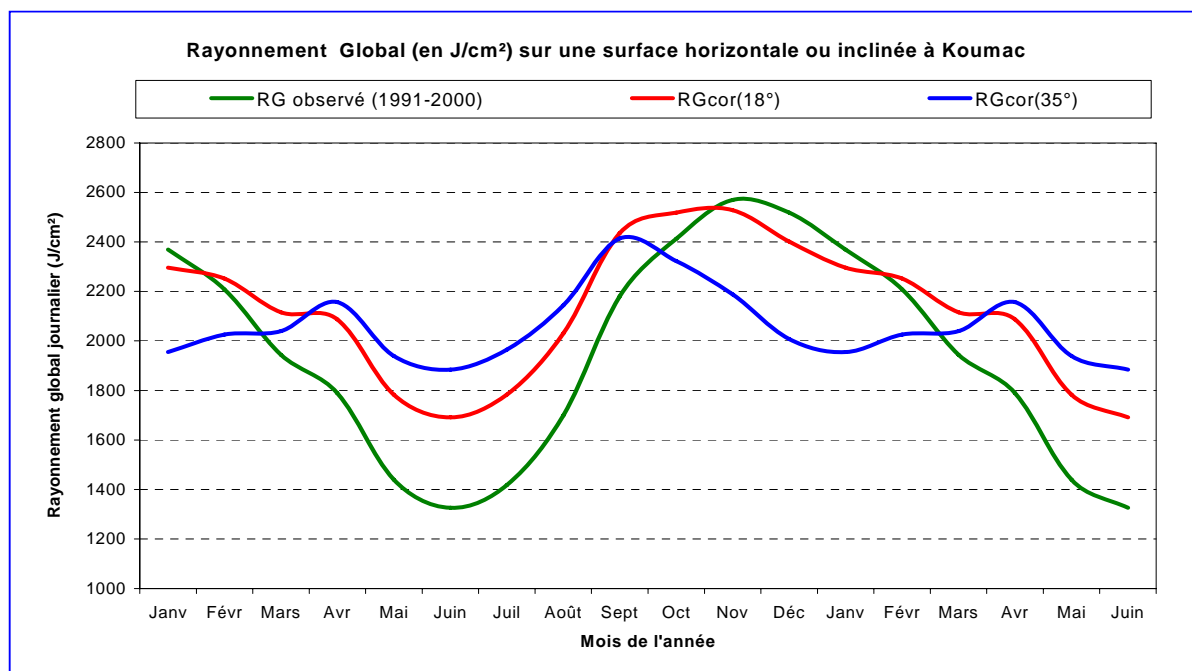


Figure 6.2.2 : Comparaison entre le rayonnement global corrigé pour une surface inclinée de différents angles à Koumac.

6.3 Comparaison entre Nouméa et Koumac

On calcule les mêmes éléments pour le poste de Nouméa situé à 22°16,6' Sud. On remarque que l'angle optimal pour enregistrer le maximum de rayonnement annuellement est un peu différent (20° au lieu de 18° pour Koumac). Il en est de même pour l'option recherchant une énergie constante (37° au lieu de 35° à Koumac).

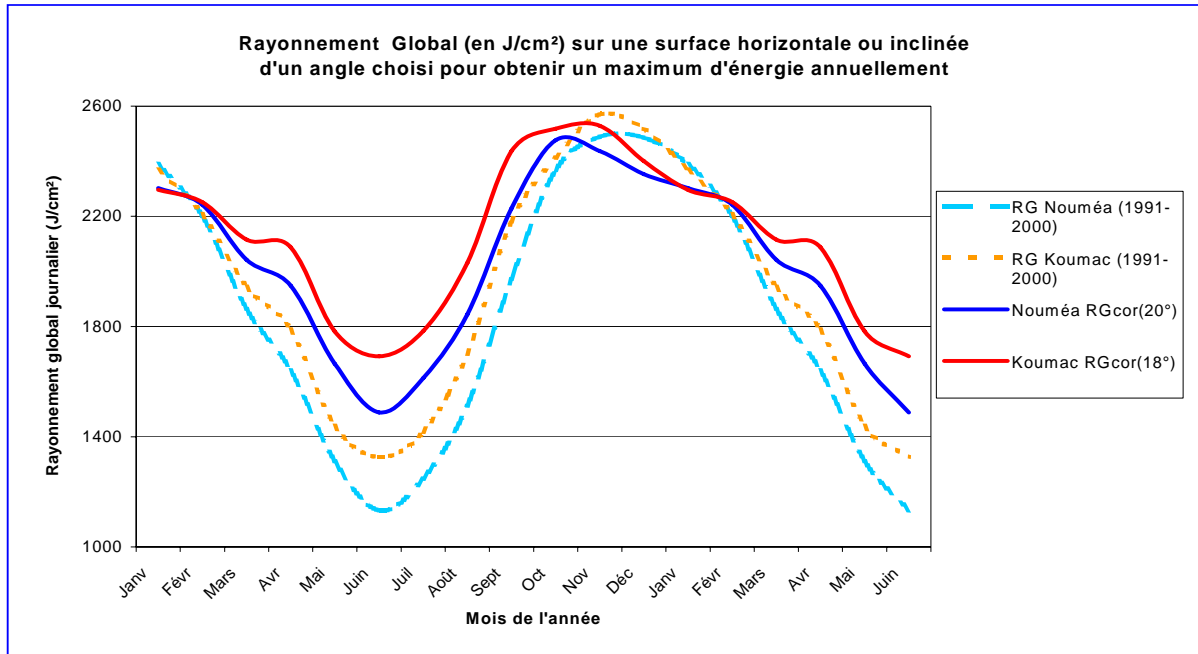


Figure 6.3.1 : Comparaison entre le rayonnement global corrigé pour être maximal et le rayonnement observé à Koumac et Nouméa

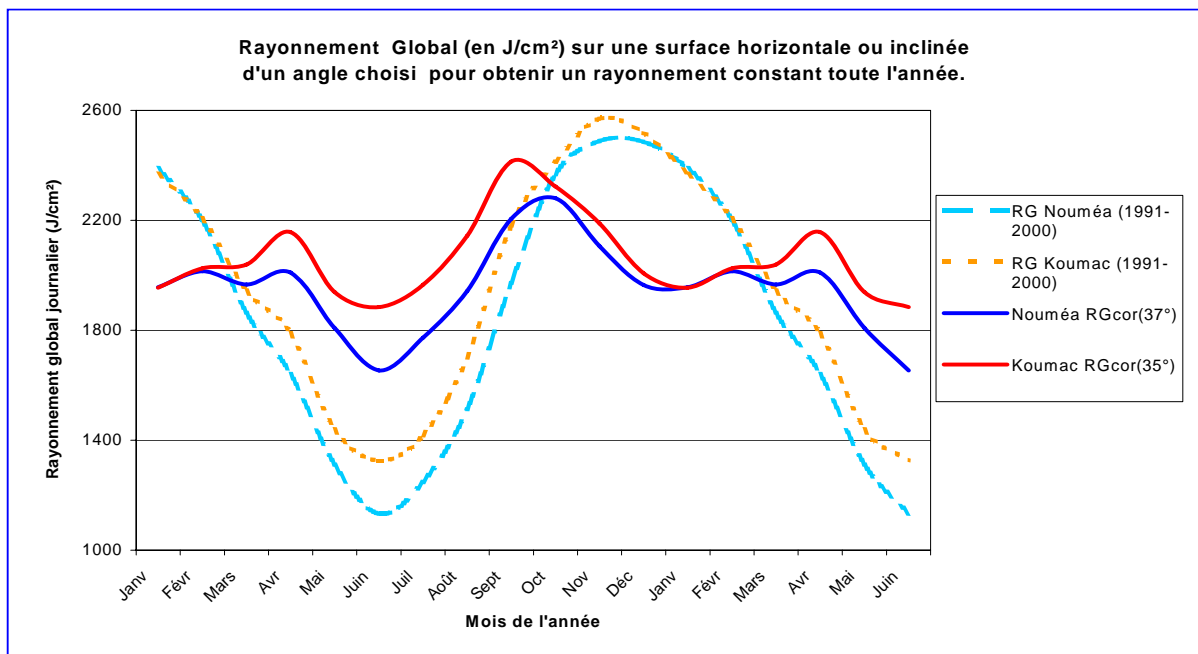


Figure 6.3.2 : Comparaison entre le rayonnement global corrigé pour être constant et le rayonnement observé à Koumac et Nouméa

Pour les deux postes, le gain global annuel est de +9% lorsque l'on fixe l'angle de façon à obtenir un rayonnement maximum annuel. Ceci peut paraître faible, mais il faut observer que ce gain est de 30% en juin, le mois où le rayonnement solaire passe par son minimum (*Figure 6.3.1*). Nous obtenons donc un rendement très intéressant à une période où l'énergie solaire risque de ne pas être suffisante pour répondre à la demande.

De la même façon, lorsque l'on choisit de fixer l'angle de façon à obtenir une énergie constante toute l'année (*Figure 6.3.2*), le gain annuel n'est que de +5% mais le gain pour le mois de juin est de +44%, ce qui est considérable. Notons que l'on enregistre alors une perte de -21% au mois de décembre.

6.4 CONCLUSION

Si l'idéal est bien sûr de pouvoir orienter son récepteur perpendiculairement aux rayons du soleil, il est malgré tout intéressant de choisir une bonne inclinaison pour une installation fixe. L'angle devra être calculé pour répondre à des besoins bien précis selon les utilisations souhaitées.

Pour des chauffe-eau solaires, on pourra privilégier une puissance relativement constante toute l'année, alors que certains utilisateurs seront plutôt intéressés par la récupération d'une énergie maximale.

En Nouvelle-Calédonie, l'angle d'orientation au nord sera compris entre 18° et 37° selon les besoins, 30° étant un compromis assez satisfaisant.

Il faut surtout souligner que ces formules permettent de nombreuses applications. En effet, il est possible de calculer :

- le meilleur angle journalier pour des capteurs (panneaux solaires, chauffe-eau)
- des angles pour utiliser une position "été" et une position "hiver"
- l'énergie absorbée par la façade d'un bâtiment, etc.

Références

Blaize S. et Lacoste D., 1995. Atlas climatique de la Nouvelle Calédonie. Météo-France, Direction Interrégionale de Nouvelle-Calédonie et de Wallis et Futuna, Nouméa. 104 p.

Fortune D., Falgayrettes R. et Ducouret J.M., 1985. Le gisement solaire en Guyane. Météo-France, Service météorologique de la Guyane, Cayenne. 65 p.

Collectif d'auteurs, 1987. Note Technique N°172 : "Aspects météorologiques de l'utilisation du rayonnement solaire comme source d'énergie". Organisation Mondiale de la Météorologie, Genève. 294 p.

Jan J., 1983. Cours et Manuels N°2 : "Rayonnement solaire : aspects géométriques et astrologiques". Direction de la Météorologie, Paris. 46 p.

Perrin de Brichambaut Ch. et Vauge Ch., 1982. Le gisement solaire, évaluation de la ressource énergétique. Technique et Documentation (Lavoisier), Paris. 222 p.

Roche G. et J.-P. Triplet, 1971. Météorologie Générale. Météorologie Nationale, Paris. 317 p.

ANNEXES

Tableaux des fréquences du rayonnement global

Répartition du rayonnement global journalier (en J/cm²) par classes à Nouméa : période 1991 - 2000													
Classes	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
<=500	1,0%	1,4%	2,6%	3,0%	5,5%	7,3%	4,5%	6,5%	1,7%	0,3%	0,3%		2,9%
500/750	1,3%	3,6%	3,5%	4,0%	6,8%	12,3%	7,4%	2,9%	1,0%	0,3%	1,7%	1,3%	3,8%
750/1000	3,9%	2,5%	7,1%	4,7%	9,4%	12,7%	10,3%	4,5%	2,7%	1,9%	2,3%	3,2%	5,5%
1000/1250	2,3%	4,0%	7,4%	9,0%	13,9%	21,0%	21,6%	9,7%	2,3%	1,6%	2,0%	2,6%	8,1%
1250/1500	3,9%	4,7%	8,1%	11,0%	25,5%	29,7%	26,8%	14,8%	6,7%	2,3%	2,3%	2,3%	11,6%
1500/1750	5,5%	8,0%	10,0%	21,0%	30,3%	17,0%	26,1%	25,8%	10,0%	5,2%	6,3%	3,9%	14,2%
1750/2000	5,8%	6,5%	10,6%	21,0%	8,7%		3,2%	27,4%	16,7%	5,8%	3,3%	5,8%	9,6%
2000/2250	8,4%	8,3%	10,3%	21,7%				8,4%	28,3%	11,0%	4,0%	9,0%	9,1%
2250/2500	11,9%	15,9%	25,8%	4,7%					26,0%	20,7%	13,3%	9,0%	10,6%
2500/2750	17,1%	26,1%	13,2%						4,7%	33,3%	17,3%	15,8%	10,5%
2750/3000	22,6%	17,4%	1,3%							17,5%	36,0%	28,4%	10,2%
>3000	16,5%	1,4%									11,0%	18,7%	4,0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

*Tableau de fréquences à Nouméa.
Période 1991 - 2000*

Répartition du rayonnement global journalier (en J/cm²) par classes à Poindimié : période 1991 - 2000													
Classes	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
<=500	2,3%	2,5%	4,2%	5,0%	7,1%	11,4%	6,8%	6,1%	2,8%	0,3%	1,0%	0,3%	4,2%
500/750	2,6%	5,0%	3,2%	3,3%	7,5%	7,4%	7,1%	4,8%	1,7%	1,0%	2,0%	1,6%	3,9%
750/1000	2,3%	4,3%	3,6%	5,3%	12,0%	12,0%	12,3%	5,8%	3,1%	2,6%	3,3%	2,6%	5,8%
1000/1250	2,6%	7,5%	11,0%	9,7%	16,6%	15,1%	12,6%	9,0%	5,5%	4,2%	3,0%	5,5%	8,5%
1250/1500	4,5%	7,1%	12,0%	18,7%	19,5%	24,7%	20,3%	13,5%	7,2%	6,8%	5,0%	5,5%	12,1%
1500/1750	12,0%	11,0%	13,9%	18,7%	22,4%	29,4%	33,9%	23,5%	12,1%	8,8%	6,7%	7,4%	16,7%
1750/2000	12,6%	12,5%	16,8%	21,0%	14,0%		7,1%	21,9%	14,8%	12,0%	11,7%	14,2%	13,2%
2000/2250	13,9%	16,4%	16,2%	16,0%	1,0%			15,2%	24,1%	19,2%	11,7%	10,7%	11,9%
2250/2500	20,4%	12,5%	14,9%	2,3%					22,8%	17,5%	17,0%	13,3%	10,0%
2500/2750	12,0%	16,4%	4,2%						5,9%	21,1%	19,0%	17,8%	8,0%
2750/3000	12,3%	4,6%								6,5%	17,3%	16,5%	4,8%
>3000	2,6%	0,4%									2,3%	4,5%	0,8%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

*Tableau de fréquences à Poindimié.
Période 1991 - 2000*

Tableaux de fréquences par classes du rayonnement global

Répartition du rayonnement global journalier (en J/cm²) par classes au Dzumac : période 1991 - 2000													
Classes	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	An
<=500	3,6%	4,3%	8,2%	4,8%	10,9%	16,4%	12,4%	9,8%	2,9%	0,6%	1,7%	0,4%	6,2%
500/750	5,4%	7,0%	11,5%	12,6%	17,7%	19,0%	12,8%	8,7%	4,4%	1,3%	4,0%	3,3%	8,9%
750/1000	6,5%	8,7%	13,0%	14,8%	17,0%	19,4%	24,0%	14,9%	8,8%	5,5%	5,0%	5,9%	11,8%
1000/1250	10,0%	8,7%	8,9%	16,7%	20,1%	24,6%	17,8%	17,4%	12,1%	12,6%	9,3%	10,4%	14,1%
1250/1500	12,9%	12,6%	14,5%	15,9%	17,0%	13,8%	15,3%	16,7%	14,7%	12,3%	10,0%	8,9%	13,7%
1500/1750	13,6%	12,6%	13,0%	17,8%	13,9%	6,7%	15,7%	13,8%	15,1%	12,9%	10,7%	12,6%	13,2%
1750/2000	9,3%	13,9%	12,6%	9,3%	3,1%		2,1%	13,0%	15,8%	9,7%	12,0%	10,0%	9,2%
2000/2250	10,0%	8,3%	8,6%	5,9%	0,3%			4,7%	11,8%	12,6%	9,3%	12,6%	7,1%
2250/2500	7,9%	11,3%	6,3%	2,2%				1,1%	8,8%	14,5%	11,3%	13,8%	6,5%
2500/2750	9,0%	5,7%	3,0%						5,5%	12,6%	10,7%	9,7%	4,8%
2750/3000	8,2%	4,8%	0,4%							4,8%	8,7%	5,6%	2,8%
>3000	3,6%	2,2%								0,6%	7,3%	6,7%	1,7%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

*Tableau de fréquences au Dzumac.
Période 1991 – 2000*

Répartition du rayonnement global journalier (en J/cm²) par classes à Ouanaham : période 1991 - 2000													
Classes	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Total
<=500	1,4%	2,2%	3,6%	2,7%	5,2%	9,3%	5,8%	2,3%	1,0%	0,3%	1,0%	0,7%	2,9%
500/750	1,4%	2,5%	2,6%	2,3%	5,8%	10,3%	5,2%	3,2%	3,3%		2,3%	2,0%	3,4%
750/1000	2,1%	2,9%	3,3%	4,3%	7,7%	12,7%	7,8%	6,1%	3,0%	1,0%	1,3%	2,0%	4,5%
1000/1250	3,1%	3,2%	6,8%	7,3%	15,5%	17,9%	16,8%	8,4%	3,0%	2,6%	1,0%	1,0%	7,3%
1250/1500	5,2%	6,8%	5,9%	12,0%	19,0%	24,4%	28,5%	15,8%	8,0%	4,9%	2,3%	2,4%	11,3%
1500/1750	3,1%	6,8%	11,7%	20,3%	33,2%	25,1%	30,1%	22,6%	12,0%	6,8%	6,3%	7,8%	15,6%
1750/2000	6,9%	11,5%	15,3%	25,0%	12,3%	0,3%	5,8%	26,5%	17,0%	9,4%	7,0%	6,5%	12,0%
2000/2250	12,8%	12,9%	19,5%	21,3%	1,3%			13,9%	22,0%	15,5%	12,0%	11,6%	11,9%
2250/2500	11,0%	19,4%	21,8%	4,7%				1,3%	24,0%	17,8%	13,0%	15,3%	10,6%
2500/2750	20,7%	17,9%	8,5%						6,7%	23,9%	17,7%	17,3%	9,3%
2750/3000	23,1%	13,3%	1,0%							17,2%	26,7%	16,7%	8,0%
>3000	9,3%	0,7%								0,6%	9,3%	16,7%	3,0%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

*Tableau de fréquences à Ouanaham.
Période 1991 – 2000*

Statistiques de rayonnement global

Statistiques de rayonnement global journalier à Nouméa (en J/cm ²) : période 1991-2000													
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Mini	213	360	195	318	232	173	85	150	217	450	439	593	285
Centile 20	1855	1587	1221	1238	970	767	966	1168	1682	2075	2166	2065	1480
Moyenne	2390	2201	1863	1641	1311	1133	1248	1512	1972	2368	2489	2486	1884
Centile 80	2958	2747	2442	2066	1653	1464	1597	1904	2348	2733	2944	2984	2320
Maxi	3216	3027	2798	2399	1999	1684	1856	2208	2656	2991	3159	3197	2599

Paramètres statistiques du rayonnement global à Nouméa : Période 1991 – 2000

Statistiques de rayonnement global journalier à Poindimié (en J/cm ²) : période 1991-2000													
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Mini	203	106	75	148	84	64	126	199	142	172	446	421	182
Centile 20	1669	1273	1222	1186	913	776	860	1081	1499	1639	1709	1677	1292
Moyenne	2100	1895	1704	1546	1281	1179	1281	1505	1896	2097	2196	2183	1739
Centile 80	2645	2515	2231	1981	1717	1588	1671	1955	2344	2576	2745	2768	2228
Maxi	3216	3008	2674	2399	2033	1723	1857	2248	2629	2870	3074	3128	2572

Paramètres statistiques du rayonnement global à Poindimié : Période 1991 - 2000

Statistiques de rayonnement global journalier au Dzumac (en J/cm ²) : période 1991-2000													
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Mini	178	240	75	236	110	146	16	104	26	275	366	316	174
Centile 20	1160	1003	762	796	607	520	677	798	1100	1255	1260	1265	934
Moyenne	1776	1668	1387	1267	1039	917	1038	1240	1600	1862	1949	1930	1473
Centile 80	2550	2330	1956	1710	1473	1257	1476	1737	2155	2477	2662	2541	2027
Maxi	3216	3134	2862	2389	2147	1674	1792	2315	2749	3046	3293	3376	2666

Paramètres statistiques du rayonnement global au Dzumac : Période 1991 - 2000

Statistiques de rayonnement global journalier à Ouanaham (en J/cm ²) : période 1991-2000													
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moyenne annuelle
Mini	83	335	207	91	115	187	101	256	232	474	163	346	216
Centile 20	1861	1587	1380	1355	1022	773	1021	1249	1526	1915	1975	1960	1469
Moyenne	2351	2120	1879	1674	1356	1159	1302	1585	1921	2284	2392	2391	1868
Centile 80	2905	2677	2369	2058	1703	1566	1623	1952	2348	2711	2911	2947	2314
Maxi	3216	3074	2841	2491	2082	1765	1946	2356	2677	3027	3121	3229	2652

Paramètres statistiques du rayonnement global à Ouanaham : Période 1991 – 2000

Tableaux de fréquences par seuils d'insolation

NOUMEA	Nombre de jours d'insolation journalière par seuils (en %)												Période 1961-2000
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Insolation nulle (= 0 heure)	5,7%	5,7%	5,7%	5,3%	6,4%	9,1%	6,5%	6,5%	3,8%	2,3%	3,5%	3,5%	5,3%
Insolation faible (<= 2 heures)	16,6%	15,2%	19,0%	15,7%	21,1%	25,1%	19,8%	16,5%	10,9%	8,4%	10,8%	11,9%	15,9%
Insolation médiocre (<= 5 heures)	27,7%	27,9%	35,4%	30,7%	40,8%	44,8%	36,5%	31,1%	22,0%	19,2%	20,5%	21,7%	29,8%
Insolation forte (>= 7 heures)	61,0%	59,2%	50,7%	54,4%	42,8%	37,1%	45,5%	52,7%	66,3%	70,8%	69,7%	67,7%	56,5%
Insolation très forte (>= 10 heures)	38,0%	32,6%	20,9%	19,9%	9,9%	4,6%	7,6%	17,9%	27,2%	42,1%	47,2%	45,9%	26,2%

Tableau de fréquences à Nouméa. Période 1961 – 2000

POINDIMIE	Nombre de jours d'insolation journalière par seuils (en %)												Période 1971-2000
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Insolation nulle (= 0 heure)	6,2%	7,3%	7,3%	7,2%	8,4%	9,3%	7,0%	6,2%	4,6%	2,6%	4,4%	4,3%	6,2%
Insolation faible (<= 2 heures)	18,1%	22,1%	21,0%	17,6%	25,6%	27,6%	24,2%	15,5%	13,1%	12,0%	15,3%	16,0%	18,9%
Insolation médiocre (<= 5 heures)	36,6%	39,6%	40,0%	37,3%	47,1%	43,7%	39,1%	31,4%	27,6%	26,8%	31,4%	33,0%	36,0%
Insolation forte (>= 7 heures)	47,8%	43,8%	41,4%	45,8%	34,6%	39,8%	43,1%	52,9%	55,8%	56,9%	53,8%	51,9%	47,5%
Insolation très forte (>= 10 heures)	17,8%	14,0%	8,9%	9,8%	6,8%	6,4%	9,8%	15,0%	16,1%	19,2%	20,1%	20,8%	13,8%

Tableau de fréquences à Poindimié. Période 1971 – 2000

OUANAHAM	Nombre de jours d'insolation journalière par seuils (en %)												Période 1964-2000
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Insolation nulle (= 0 heure)	6,2%	5,9%	6,6%	4,1%	5,1%	9,5%	7,0%	5,6%	3,9%	2,6%	3,9%	4,0%	5,4%
Insolation faible (<= 2 heures)	15,3%	16,4%	17,6%	13,7%	19,0%	25,2%	18,6%	16,2%	12,6%	9,9%	11,8%	12,1%	15,7%
Insolation médiocre (<= 5 heures)	28,8%	28,6%	32,8%	26,9%	37,2%	44,4%	35,8%	31,6%	24,2%	21,0%	22,0%	23,0%	29,7%
Insolation forte (>= 7 heures)	60,0%	55,9%	48,1%	54,1%	44,3%	36,4%	45,3%	52,2%	58,9%	64,0%	66,9%	61,2%	54,0%
Insolation très forte (>= 10 heures)	33,2%	27,3%	16,4%	16,0%	8,0%	3,9%	6,8%	16,4%	23,0%	32,9%	39,3%	35,6%	21,7%

Tableau de fréquences à Ouaham. Période 1964 – 2000

Statistiques d'insolation

NOUMEA	Statistiques d'insolation journalière (en heures)												Période 1961-2000
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Moyenne des valeurs minimales mensuelles	4,8	4,8	4,3	4,6	3,8	3,5	4,1	4,8	4,8	6,3	5,3	5,1	3,5
Centile 20 de la moyenne mensuelle	6,3	6,5	5,4	5,8	4,8	4,5	4,9	5,7	6,8	7,4	7,3	7,4	5,6
Moyenne des moyennes mensuelles	7,4	7,1	6,2	6,4	5,6	5,1	5,7	6,3	7,3	8,1	8,2	8,1	6,8
Centile 20 de la moyenne mensuelle	8,8	8,3	7,4	7,6	6,5	5,7	6,6	7,3	8,3	9,1	9,6	9,4	7,4
Moyenne des valeurs maximales mensuelles	10,4	9,4	8,6	9,0	7,6	7,2	7,1	8,4	9,3	9,8	10,5	10,5	8,0
Maximum journalier absolu observé	12,9	12,5	12,0	11,3	10,8	10,3	10,8	11,4	11,7	12,3	13,0	13,0	13,0

Statistiques d'insolation à Nouméa. Période 1961 – 2000

POINDIMIE	Statistiques d'insolation journalière (en heures)												Période 1971-2000
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Moyenne des valeurs minimales mensuelles	4,4	4,3	3,8	4,1	2,6	3,5	3,3	4,1	3,7	4,3	4,5	4,4	2,6
Centile 20 de la moyenne mensuelle	4,9	5,2	4,6	5,2	4,2	4,4	4,8	5,3	6,1	5,6	5,8	5,7	4,9
Moyenne des moyennes mensuelles	6,0	5,7	5,4	5,7	5,0	5,1	5,4	6,2	6,5	6,7	6,5	6,4	5,9
Centile 20 de la moyenne mensuelle	7,3	6,5	6,6	6,5	6,0	5,9	6,4	7,5	7,4	8,1	7,6	7,4	6,6
Moyenne des valeurs maximales mensuelles	8,4	6,9	7,7	7,9	6,9	7,1	7,3	8,9	8,8	8,8	9,3	9,4	6,7
Maximum journalier absolu observé	12,4	11,8	11,1	11,1	10,8	10,5	10,6	11,0	11,0	12,1	12,4	12,4	12,4

Statistiques d'insolation à Poindimié. Période 1971 – 2000

Statistiques d'insolation

OUANAHAM	Statistiques d'insolation journalière (en heures)												Période 1964-2000
	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Moyenne des valeurs minimales mensuelles	4,9	4,4	4,3	4,9	3,4	3,4	3,6	3,8	4,6	5,9	4,5	5,2	3,4
Centile 20 de la moyenne mensuelle	6,1	6,2	5,4	6,0	5,0	4,5	5,3	5,7	6,5	6,6	6,9	7,0	5,6
Moyenne des moyennes mensuelles	7,1	6,7	6,1	6,5	5,7	5,0	5,7	6,3	6,9	7,5	7,7	7,5	6,6
Centile 20 de la moyenne mensuelle	8,2	7,5	7,3	7,1	6,8	6,1	6,5	7,5	7,8	8,6	9,0	8,8	7,2
Moyenne des valeurs maximales mensuelles	10,5	8,8	8,1	9,0	7,6	7,2	7,8	8,5	9,2	9,4	9,8	9,6	7,6
Maximum journalier absolu observé	12,7	12,3	11,7	11,5	10,9	10,5	10,7	11,1	11,6	12,3	12,6	12,8	12,8

Statistiques d'insolation à Ouanaham. Période 1964 – 2000

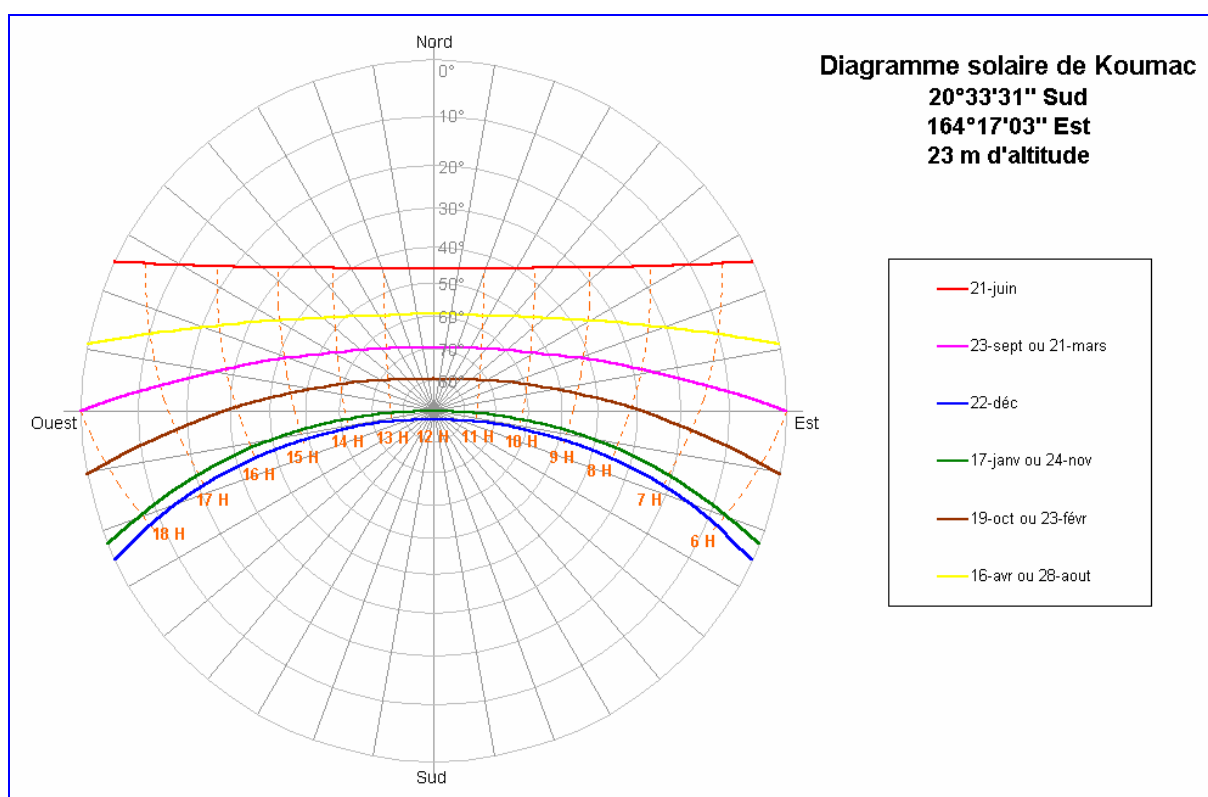


Diagramme solaire de Koumac

Ce diagramme représente la course du soleil en site, azimut et heure solaire. L'azimut est repéré par les rayons de 10° en 10° (nord=0°, sud=180°) et le site par les cercles de 0° à 90°.