

# VARIATION TEMPORELLE DU TROUBLE ATMOSPHERIQUE DETERMINE SUR UN SITE TUNISIEN A PARTIR DES MESURES SOLAIRES

M. Chaâbane<sup>1</sup> - M. Masmoudi<sup>1</sup> et F. Elleuch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département de Physique, Faculté des Sciences de Sfax, B.P 802, 3018, Tunisie  
Fax : 216 74 274 437 - Email : mabrouk.chaabane @ fss.rnu.tn  
<sup>2</sup>Institut National de la Météorologie, Subdivision de Sfax, B.P 107, 3028, Tunisie

## RESUME

Pour une atmosphère sans nuages, la transmission du rayonnement solaire direct dépend de la masse d'air ( quantité d'aérosols et de la vapeur d'eau) rencontré au cours de sa traversée jusqu'au sol. Cette influence est caractérisée globalement par des coefficients de trouble atmosphérique tels que le facteur de trouble de Linke et le coefficient d'angström.

En absence de mesures in situ de ces paramètres, une méthode d'estimation du facteur de Linke à partir des données solaires, a été utilisée dans le but d'étudier la variation temporelle de la turbidité atmosphérique sur le site de Sidi Bou Saïd ( Nord Tunisien ).

Les variations du trouble atmosphérique étudié sur trois mois d'été, nous ont informé sur l'état de concentration en vapeur d'eau et en aérosols de l'atmosphère locale à l'échelle journalière et mensuelle. L'analyse des données atmosphériques et météorologiques montre une forte corrélation entre la turbidité et certains paramètres climatiques spécifiques du site. Une telle étude est envisagée.

**Mots clés :** rayonnement solaire direct, trouble atmosphérique, aérosols, vapeur d'eau, facteur de trouble de Linke.

## NOMENCLATURE

$E_{sc}$  : facteur d'excentricité dû à la variation de la distance terre-soleil.

$h$  : hauteur du soleil ( en degrés ).

$I_N$  : éclairement solaire direct reçu sur un plan normal aux rayons solaires.

$I_0$  : éclairement solaire direct hors atmosphère reçu sur un plan normal aux rayons solaires.

$m$  : masse d'air atmosphérique.

$T_L$  : facteur de trouble de Linke.

$d$  : épaisseur optique totale pour une masse d'air optique égale à l'unité. L'indice  $R$  est pour la diffusion Rayleigh.

## 1. INTRODUCTION

La structure de la radiation solaire reçue au niveau du sol dépend du site. Par conséquent, en étudiant les systèmes de conversion de l'énergie solaire, aussi bien la qualité que la quantité de la radiation solaire incidente doivent être prises en considération. autrement, le système sera incapable de fournir l'énergie requise ou son coût sera inutilement élevé.

Quand la radiation solaire traverse l'atmosphère terrestre, elle subit une atténuation due à la fois à la diffusion par les molécules d'air et les aérosols et à l'absorption par divers composants atmosphériques notamment l'ozone, la vapeur d'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone. L'extinction de la radiation dépend fortement de l'état du ciel (nuageux ou clair), de la pureté de l'atmosphère et de la quantité de gaz absorbants. Quelques atténuateurs de la radiation solaire sont permanents et presque constants dans l'atmosphère, d'autres changent d'un lieu à un autre ou varient en fonction du temps. L'atténuation causée par les deux mécanismes : l'absorption par la vapeur d'eau et la diffusion par les aérosols est connue comme turbidité atmosphérique représentée par les coefficients de trouble d'Angström  $\beta$  [1] ou par le facteur de trouble de Linke  $T_L$  [2]. Ce dernier est défini comme étant le nombre d'atmosphères pures et sèches (sans aérosol ni vapeur d'eau) qu'il serait nécessaire d'accumuler au-dessus du lieu de mesure pour aboutir, dans les mêmes conditions géoastonomiques, au même affaiblissement du rayonnement solaire direct produit par l'atmosphère trouble étudié.

L'objectif de ce papier est de reporter des données sur la turbidité atmosphérique utilisant le facteur de trouble de Linke calculé à partir de mesure des irradiances solaires directes sur un site tunisien. Ses variations journalières et mensuelles sont étudiées et analysées.

## 2. MESURES DES IRRADIATIONS SOLAIRES

Dans ce travail, nous avons utilisé les données actinométriques pour une période de trois mois : Juin, juillet et août 1999. Les mesures ont été effectuées de façon régulière à l'aide d'un pyréliomètre installé à la station météorologique de Sidi Bou Saïd ( latitude Nord :  $36^{\circ} 56'$ , longitude Est  $10^{\circ} 21'$  ). Les données actinométriques représentent les mesures instantanées de la radiation solaire directe normale pour les élévations solaires angulaires suivantes :  $31^{\circ}$ ,  $43^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ ,  $66^{\circ}$  et  $74^{\circ}$  durant la matinée et l'après midi, correspondant à une mesure par heure entre 7 h 30 et 16h30 TSV (Temps Solaire Vrai).

Pour éliminer l'effet des nuages, nous avons sélectionné les mesures effectuées au cours des journées dégagées. Ainsi, le nombre de données par mois est : 163, 242 et 130 pour les mois de juin, Juillet et Août 1999 respectivement. Le nombre total de données enregistrées durant toute la période d'étude est 535.

## 3. FORMULE PYRHELIOMETRIQUE

La radiation solaire directe, intégrée sur tout le spectre, et reçue à la surface terrestre peut être exprimée de la manière suivante:

$$I_N = I_0 \cdot E_{sc} \cdot \exp(-d \cdot m) \quad (1)$$

où  $E_{sc} = (R_0/R)^2$ ,  $R$  et  $R_0$  sont respectivement la distance terre-soleil moyenne et instantanée.  $I_0 = 1380 \text{ W/m}^2$  est la constante solaire [3].

$d$  est l'épaisseur optique totale pour une masse d'air optique égale à l'unité. Pour une élévation angulaire solaire  $h > 10^{\circ}$ , l'approximation suivante est acceptable:

$$m = 1/\sin h \quad (2)$$

Le facteur de trouble de Linke  $T_L$  est défini par l'expression :

$$I_N = I_0 \cdot E_{sc} \cdot \exp(-T_L \cdot d_R \cdot m) \quad (3)$$

où  $d_R$  est l'épaisseur optique de la diffusion Rayleigh ( par les molécules d'air atmosphérique ). Ainsi,  $T_L$  peut être exprimé comme suit:

$$T_L = 1 / (d_R \cdot m) \cdot \ln (I_0 \cdot E_{sc} / I_N) \quad (4)$$

La formule suivante proposée par Kasten [4]:

$$1 / (d_R \cdot m) = 0.9 + 9.4 / m \quad (5)$$

a été généralement utilisée pour le calcul du facteur de trouble de Linke dans la majorité des travaux récents. Les équations (2), (5) et (4) donnent lieu à la formule simplifiée :

$$T_L = (0.9 + 9.4 \sin h) \cdot \ln (I_0 \cdot E_{sc} / I_N) \quad (6)$$

#### 4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'étude de la variation du facteur de trouble de Linke calculé à la station de Sidi Bou Saïd durant les trois mois d'été 1999 ( Juin, Juillet et août ) montre des valeurs relativement élevées au début et a la fin de la saison (figure 1). Les valeurs minimales son généralement compris entre 3.5 et 5.5 alors que les maximales s'étendent de 6.0 à 8.0. Ces valeurs élevées peuvent être expliquées par la contribution importante de la vapeur d'eau et de la brume intéressant cette région. En effet, le site de mesure est situé près des côtes et les vents provenant de la mer ( essentiellement du secteur Est) favorisent un apport important d'humidité. La contribution des aérosols est relativement faible vu que la fréquence enregistrée des vents du secteur Sud pouvant alimenter l'atmosphère en aérosols est réduite.

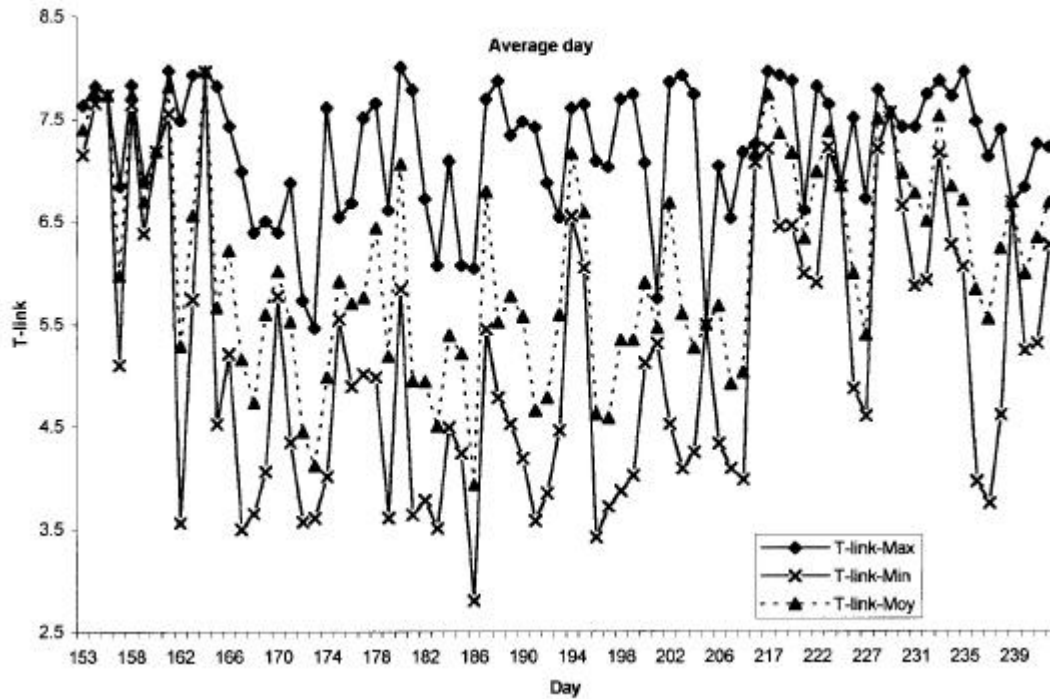
La figure 2 illustre l'évolution du facteur de trouble de Linke pour une journée moyenne relative à chaque mois d'étude. Les valeurs calculées correspondent aux masses d'air optique relatives  $m = 1.94, 1.47, 1.22, 1.09$  et  $1.04$  pour la matinée et l'après midi. Les valeurs de  $T_L$  de l'après midi sont généralement supérieur à celles de la matinée. Ce fait peut être expliqué, entre autres, par la croissance du trafic routier durant les après midi de la saison estivale ce qui peut alimenter l'atmosphère en poussières et particules en suspension. En plus, suite à une évaporation importante de l'eau de mer, au cours de la matinée, des phénomènes de brise de mer peuvent avoir lieu l'après midi favorisant ainsi, un apport de vapeur d'eau dans l'atmosphère locale.

Outre l'évolution diurne du facteur  $T_L$  , une variation mensuelle montrant globalement une évolution similaire pour les trois mois est aussi remarquée sur la figure 2. Les valeurs maximales sont observées au mois d'Août et les minimales sont enregistrées au mois Juillet. Notons aussi qu'en général le facteur de Linke est relativement constant durant les premières heures de la journée avec une augmentation remarquable à partir de midi TSV. Les valeurs de  $T_L$  pour la matinée et l'après midi de la saison d'été 1999 sont respectivement 5.59 et 6.29 [5].

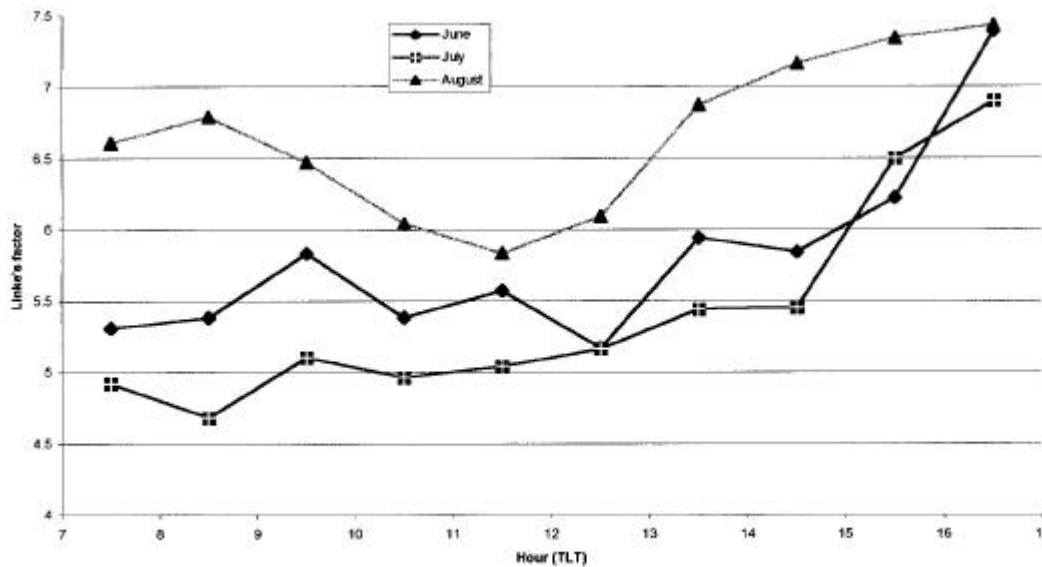
Le tableau 1 illustre la fréquence des vents du secteur Est ( favorisant un apport de vapeur d'eau dans l'atmosphère) et celle des vents du secteur Sud ( pouvant alimenter l'atmosphère en aérosols ) pour les trois mois d'étude. Les fréquences minimales et maximales sont observées respectivement aux mois de Juillet et d'Août 1999. Une croissance notable des vents d'Est est également remarquée au cours des après midi pour les trois mois d'étude. La fréquence relativement élevée des vents du Sud enregistrée au cours des matinées du mois d'Août, explique les valeurs assez importants observées sur la figure 2.

**Tableau 1** : Distribution journalière des fréquences du vent des secteurs Est et Sud durant les trois mois d'été 1999 à la station de Sidi Bou Saïd (Tunisie).

	Vent de Secteur Est ( NE- ENE- E- ESE- SE)			Vent de secteur Sud (SW- SSW- S- SSE )		
	<i>matin</i>	<i>midi</i>	<i>après-midi</i>	<i>matin</i>	<i>midi</i>	<i>après-midi</i>
<b>Juin</b>	18	15	29	6	0	0
<b>Juillet</b>	13	13	24	5	0	1
<b>Août</b>	17	17	34	11	3	1



**Figure 1 :** Evolution journalière des valeurs moyennes, maximales et minimales de  $T_L$  calculées durant la saison d'été 1999 à la station de Sidi Bou Saïd (Tunisie)



**Figure 2 :** Variation moyenne journalière et mensuelle du facteur de trouble de Linke calculé pour les trois mois d'été 1999 à la station de Sidi Bou Saïd (Tunisie)

## 5. CONCLUSION

Pour caractériser l'extinction totale par l'atmosphère due à la diffusion par les aérosols et à l'absorption par la vapeur d'eau de la radiation solaire incidente, le facteur de trouble de Linke intégré sur tout le spectre solaire est considéré comme étant une mesure appropriée. Les valeurs déterminées du facteur de Linke  $T_L$  nous informent sur l'état de l'atmosphère locale au site de Sidi Bou Saïd ( Nord Est Tunisien ).

Des variations mensuelles et journalières du trouble atmosphérique ont été enregistrées durant les trois mois d'été avec un maximum pendant l'après midi du mois d'Août et un minimum au cours de la matinée du mois de Juillet. Ces variations dépendent de l'origine des masses d'air intéressant la région. Les vents d'Est provenant de la mer favorisent un apport de vapeur d'eau dans l'atmosphère et les vents de Sud d'origine saharienne alimentent ce dernier en aérosols. Des phénomènes locaux tel que la brise de mer peuvent aussi être à l'origine d'une charge supplémentaire dans l'atmosphère locale.

La turbidité atmosphérique d'un site dépend ainsi des paramètres météorologiques. Nous continuons à chercher et à analyser les corrélations entre le facteur trouble et les facteurs climatiques.

## 6. REFERENCES

- [1] Angström A., “ *Techniques of determining the turbidity of the atmosphere*”, Tellus **13** (1961) , pp. 214 - 223.
- [2] Linke F., “ *Transmissions-Koeffizient and Trübungsfaktor*”, Beitr. Phys. fr. Atmos. **10** (1922) , pp. 91 - 103.
- [3] Hussain M., Salma Khatun and Rasul M.G., “ *Determination of atmospheric turbidity in Bangladesh* ”, Renewable Energy **20** (2000), pp. 325 - 332.
- [4] Kasten F., “ *A simple parameterization of the pyrheliometric formula for determining the Linke turbidity factor* ”, Meteorol. Rdsch. **33** (1980), pp. 124 - 127.
- [5] Chaâbane M., Masmoudi M. and Elleuch F., “ *Use of direct solar radiation data for the evaluation of atmospheric turbidity in Tunisia* ”, In Proceedings of the World Renewable Energy Congress VII 29 June - 5 July 2002, Cologne, Germany, editor : A.A.M.Sayigh.