

## **CORRELATION ENTRE TEMPERATURE ET INSOLATION POUR LA REGION DE TIZI OUZOU (ALGERIE): APPLICATION AU CHAUFFAGE SOLAIRE**

**S. A M E U R A. AKIR <sup>(1)</sup> D. IDRES <sup>(1)</sup>, A. AD ANE <sup>(2)</sup>, ET H. SAUVAGEOT <sup>(3)</sup>**

*( 1 ) Université Mouloud Mammeri, Faculté de Génie Electrique et d'Informatique,  
L.I.E.P.H.E.M., Campus de Hasnaoua, B.P. N° 17RP 15000, Tizi Ouzou, Algérie.*

*(2) Université des Sciences et de la Technologie d'Alger (U.S.T.H.B.), Faculté d'Electronique et d'Informatique,  
Laboratoire de Traitement d'Images et Rayonnement, B.P. N° 32 , El Alia, Bab Ezzouar, Alger, Algérie.*

*(3) Université Paul Sabatier, Observatoire Midi Pyrénées, Laboratoire d'Aérodynamique,  
14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France.*

### **Résumé**

Les propriétés statistiques de la température de l'air et de l'insolation mesurées au niveau de la surface terrestre, ont été analysées. Les données à traiter, sont la température maximum et la température minimum enregistrées chaque jour à Tizi Ouzou au cours de la période 1987/96 et l'insolation mesurée quotidiennement dans ce site de 1990 à 1995. Les distributions de fréquence de températures qui en résultent, sont approximativement gaussiennes et les distributions de fréquence de l'insolation sont plutôt dissymétriques. L'étude des corrélations montre que les variations de l'insolation dépendent fortement des différences de températures. Aussi, des réseaux de neurones multi - couches à rétro - propagation d'erreur, ont été appliqués aux mesures de température pour générer des données d'insolation. On trouve que ce type de modèle reproduit convenablement les données solaires lorsque les variables d'entrée sont les mesures de température maximum et de température minimum. Ces données transformées en flux d'irradiation solaire, sont utilisables pour le calcul du chauffage solaire.

### **Abstract**

The ground measurements of air temperature and sunshine duration have been analysed using statistical approaches. The data to be processed, are minimum temperature and maximum temperature recorded every day in Tizi Ouzou during the 1987/96 period and daily sunshine duration measurements collected in this location from 1990 to 1995. The frequency distributions are found to be gaussian for temperature and asymmetric for sunshine duration. From the correlation computations, it is shown that the sunshine duration variations depend strongly on the temperature differences. Then, multilayer feedforward neural networks have been used to generate sunshine duration data from temperature measurements. This kind of model is found to suitably reproduce solar data provided that minimum and maximum temperature measurements are both used as inputs. These data transformed into solar radiation flux, are utilisable for the calculation of solar heating.

Mots clés : température atmosphérique ; insolation ; statistique ; réseaux de neurones.

Keywords : air temperature ; sunshine duration ; statistics ; neural networks.

### **Introduction**

En général, tous les phénomènes météorologiques observés dans l'atmosphère sont déterminés par l'interaction du rayonnement solaire avec l'environnement terrestre. Pour décrire les échanges d'énergie entre l'atmosphère et la Terre, deux paramètres importants sont couramment mesurés dans les stations météorologiques. Ce sont la température et l'insolation. Ces deux grandeurs se prêtent bien à une représentation par des modèles statistiques. Ces modèles peuvent alors servir à décrire l'évolution du climat au cours du temps et à résoudre les problèmes de prédiction météorologique dans une région donnée. Parmi les méthodes statistiques, l'approche basée sur les réseaux de neurones est l'une des plus efficace. En effet, grâce à leur caractère adaptatif, les réseaux de neurones permettent de décrire l'évolution de tout phénomène aléatoire avec une bonne précision. Dans ce papier, les

propriétés statistiques de la température et de l'insolation mesurées dans la région de Tizi Ouzou, sont étudiées. Puis, un modèle basé sur les réseaux de neurones est élaboré pour générer des données solaires à partir des mesures de température. L'impact visé à travers cette étude, est de trouver une approche permettant d'exprimer le rayonnement solaire en fonction de la température de l'air, de rendre compte de l'évolution du climat de la région de Tizi Ouzou (Algérie) et de rendre possible des applications solaires dans cette région.

## 1. Données expérimentales

Les données utilisées ont été archivées quotidiennement à la station météorologique de Tizi Ouzou sur plusieurs années. Ce sont les mesures de température maximum ( $T_m$ ) et de température minimum ( $T_m$ ) enregistrées de 1987 à 1996 et les données d'insolation ( $SS$ ) collectées de 1990 à 1995. Tizi Ouzou se trouve à une centaine de km d'Alger et à une dizaine de km de la côte méditerranéenne. Ses coordonnées géographiques sont  $36^{\circ}42'N$  de latitude,  $4^{\circ}03'E$  de longitude et 188m d'altitude. Son climat est principalement méditerranéen, avec des hivers parfois rudes et des étés chauds. A partir des données ainsi collectées, une année de référence a tout d'abord été établie pour voir comment varient la température et l'insolation au cours de l'année et pour connaître le régime saisonnier de la région de Tizi Ouzou. Ensuite, les variations saisonnières ont été soustraites aux données journalières de température et d'insolation. A cet effet, les données de température ont été transformées en variable aléatoire, centrée et réduite du type :

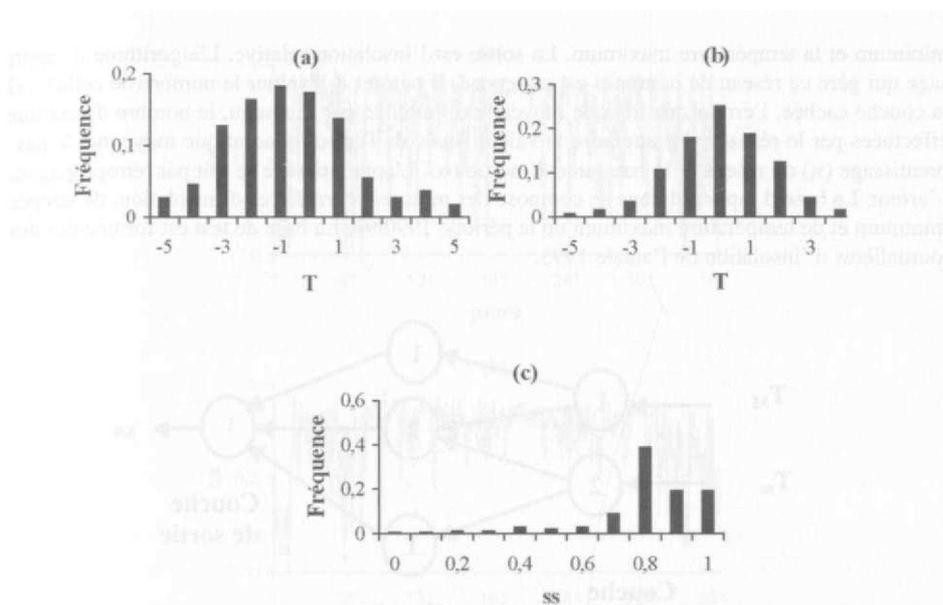
$$T = [T(m,j) - T(m)] / r_j(m) \quad (1)$$

où  $T(m,j)$  est la température mesurée au jour ( $j$ ) du mois ( $m$ ),  $T(m)$  est la moyenne des données du mois ( $m$ ) et  $cr(m)$ , leur écart - type (avec  $m = 1, \dots, 12$ ). Pour désaisonnaliser les données d'insolation, on divise celles-ci par leur valeur hors atmosphère ( $SS_0$ ). Soit :

$$ss = SS / SS_0 \quad (2)$$

## 2. Propriétés statistiques

Les distributions mensuelles de fréquences des données journalières de température et d'insolation ont alors été construites. La figure 1 donne un exemple de ces distributions. On trouve que les distributions de fréquence de températures sont approximativement gaussiennes alors que les distributions de fréquence d'insolation sont plutôt dissymétriques et présentent, dans la plupart des cas, un maximum aux fortes valeurs de l'insolation. Les paramètres statistiques extraits de ces distributions, sont la moyenne, la variance, le facteur d'aplatissement, le facteur de dissymétrie, le coefficient de corrélation existant entre la température maximum et la température minimum, et le coefficient de corrélation liant ces températures à l'insolation. En analysant les différentes corrélations, on constate que les variations de l'insolation dépendent fortement des écarts entre la température minimum et la température maximum (voir Tableau 1).



**Figure 1 : Exemples de distributions mensuelles de fréquences des données journalières (a) de température minimum (Mars), (b) de température maximum (Août) et (c) d'insolation (Juillet) pour la région de Tizi Ou/ou (avec T = température réduite et ss = insolation relative).**

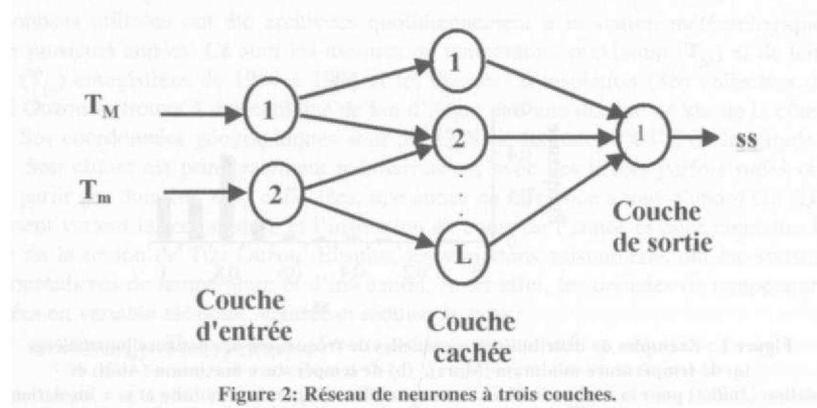
**Tableau 1 : Valeurs mensuelles des coefficients de corrélation entre la température maximum ( $T_M$ ), la température minimum ( $T_m$ ), l'insolation relative (ss) et les écarts de température  $(T_M - T_m)/(T_M + T_m)$ .**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$T_M = f(T_m)$	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	1	01	11	24	34	31	35	28	32	34	4	31
$ss = f(T_M)$	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	62	74	48	51	45	3	28	19	39	31	44	52
$ss = f(T_m)$	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	48	19	44	39	22	26	17	33	26	17	25	28
$ss = \frac{f(T_M - T_m)}{(T_M + T_m)}$	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	66	61	66	68	61	51	43	53	63	46	5	51

### 3. Modèle en réseaux de neurones

D'après les résultats précédents, on peut générer des données journalières d'insolation à partir des écarts de température. Pour ce faire, nous avons utilisé un modèle basé sur un réseau de neurones à trois couches: une couche d'entrée, une couche cachée et une couche de sortie (voir fig. 2). De façon générale, un réseau de neurones est un système dont les entrées (X) et la sortie (Y) sont liées par une fonction  $Y = f(X, W)$  faisant intervenir un poids (W) (Hornik *et al.*, 1994 ; Jodouin, 1994]. Le réseau de neurones de la figure 2 comporte deux entrées et une sortie. Ces entrées sont la température

minimum et la température maximum. La sortie est l'insolation relative. L'algorithme d'apprentissage qui gère ce réseau de neurones est supervisé. Il permet d'évaluer le nombre de cellules (L) de la couche cachée, l'erreur quadratique moyenne (e) atteinte par le réseau, le nombre d'itérations (U) effectuées par le réseau pour atteindre la valeur finale de l'erreur quadratique moyenne, le pas d'apprentissage du réseau et la constante d'inertie (a). L'apprentissage se fait par rétropropagation de l'erreur. La base d'apprentissage se compose des mesures journalières d'insolation, de température minimum et de température maximum de la période 1990/94. La base de test est formée des données journalières d'insolation de l'année 1995.

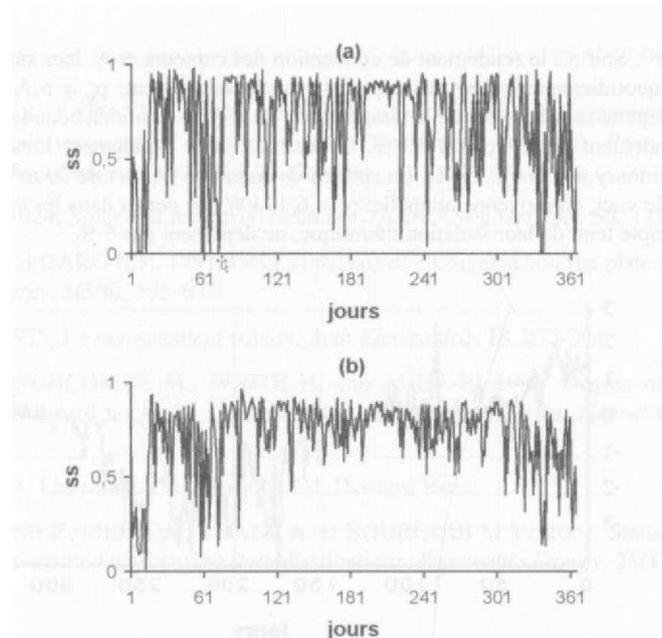


L'erreur commise par le réseau de neurones est l'écart quadratique moyen entre les sorties souhaitées (D) pour les vecteurs d'entrée (X) présentés pour apprentissage, et les sorties (S) calculées par le réseau pour ces mêmes vecteurs. Elle est évaluée en fonction de L, U, TI et a. Le traitement des données consiste à choisir les paramètres du réseau, à appliquer les vecteurs d'entrée à ce réseau, à vérifier les résultats obtenus en utilisant les vecteurs d'entrée appris, puis des vecteurs non appris à sauvegarder les derniers poids qui ont contribué à rendre l'écart quadratique moyen proche de 1 limite fixée après apprentissage. Ensuite, ces poids permettent de tester la capacité de généralisation du réseau aux cas des vecteurs non appris. Les paramètres utilisés pendant la phase d'apprentissage sont  $L = 20$ ,  $T = 0,1$  et  $a = 0,9$  [Akir *et al.*, 2002]. La courbe de la figure 3a décrit les variations journalières de l'insolation mesurées au cours de l'année 1995 et celle de la figure 3b donne le résultat de l'estimation par le réseau de neurones dont les entrées sont les températures minimum et maximum. L'erreur d'estimation étant proche de 5 %, ces deux courbes ont pratiquement la même allure.

#### 4. Application au chauffage solaire

Soit H, le flux global d'irradiation solaire collecté, jour par jour, par un capteur horizontal dans 1 région de Tizi Ouzou et  $H_0$ , sa valeur obtenue hors atmosphère. Pour simuler les données solaire (H), l'équation d'Angström a été appliquée aux données journalières d'insolation (SS) générées par le réseau de neurones de la figure 2. Cette équation s'écrit [Angström, 1924]:

$$H/H_0 = a (SS/SS_0) + b$$



**Figure 3 : Variations journalières de l'insolation (a) mesurées au cours de l'année 1995 et (b) résultant de l'estimation par le réseau de neurones dont les entrées sont les températures minimum et maximum.**

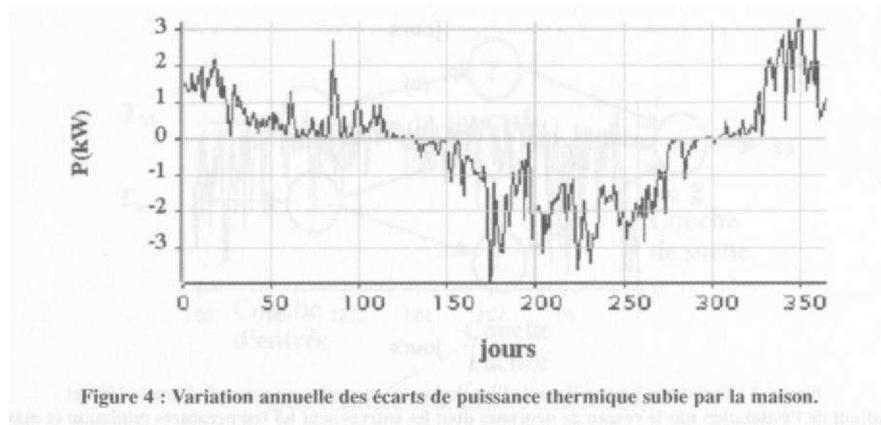
Les coefficients de régression a et b que nous avons utilisés pour générer de telles données, sont ceux calculés pour la région d'Alger. Le choix de ces coefficients se justifie par la similarité des caractéristiques d'ensoleillement pour Alger et Tizi Ouzou [Youcef Ettoumi *et al.*, 2001]. Leurs valeurs mensuelles sont données par la Table II. D'un jour à l'autre, le flux global d'irradiation solaire qui en résulte, varie pratiquement de la même manière que l'insolation. La moyenne annuelle de ce flux est de  $5,4 \text{ kWhm}^{-2}\text{jour}^{-1}$  et celle de l'insolation vaut pratiquement  $10 \text{ h jour}^{-1}$ .

**Tableau 2 : Paramètres de régression a et b pour Alger.**

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
<b>a</b>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	45	48	48	54	47	43	41	38	41	44	44	44
<b>b</b>	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	24	25	26	23	25	26	28	30	28	26	26	24

Ces résultats ont été appliqués au calcul du chauffage d'un pavillon de 5 m de longueur, 4 m de largeur et 3 m de hauteur. Ce pavillon est muni de capteurs héliothermiques fixés à son toit, d'une installation de chauffage par circulation d'eau et d'un réservoir de stockage de chaleur. Les capteurs héliothermiques dont le rôle est de convertir le rayonnement solaire en chaleur, sont inclinés vers le sud avec un angle (a) égal à la latitude de Tizi Ouzou. Une telle orientation permet de collecter le maximum de rayonnement solaire et de minimiser ses fluctuations saisonnières. Le flux global d'irradiation solaire (G) reçu quotidiennement par ces capteurs a été estimé en opérant, en première approximation, une transformation de données de la forme :  $G = H G_0 / H_q$ , où  $G_0$  est la valeur hors atmosphère de ce flux pour l'inclinaison (a) [Desvignes, 1975]. L'éclairement utile collecté chaque jour par les capteurs héliothermiques, vaut alors  $E (G/SS$ . En moyenne annuelle, il représente

$0,54 \text{ kWhm}^{-2}\text{jour}^{-1}$ . Soit  $n$ , le rendement de conversion des capteurs et  $A$ , leur surface. La puissance utile convertie quotidiennement par ces capteurs, vaut pratiquement:  $p_u = n A E$ . En pratique, le rendement ( $n$ ) dépend sensiblement de la température. En régime nominal, cette température avoisine  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  et le rendement est d'environ 60 %. Ce dernier chute rapidement lorsque la température augmente [Choudhury and Garg, 1991]. La surface de captation ( $A$ ) est de  $20 \text{ m}^2$ . Pour chaque jour, la puissance utile vaut, en moyenne annuelle:  $p_u = 6,48 \text{ kW}$ . les pertes dans les canalisations et dans le réservoir, compte tenu de leur isolation thermique, ne dépassent pas 5 %.



La puissance stockée est donc :  $p_s = 0,95 p_u = 6,16 \text{ kW/jour}$ . Pendant la saison froide, le pavillon doit être chauffé de façon à porter sa température interne à une température de confort  $T_c = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pendant cette période, les déperditions de chaleur se font à travers les parois et par renouvellement d'air. Le pavillon étant construit en béton, ses parois internes sont revêtues de matériaux agglomérés et enduits de plâtre. Pour améliorer l'isolation thermique, une lame d'air a été prévue dans les murs. La surface des parois en contact avec l'atmosphère est de  $74 \text{ m}^2$  et le volume habitable est de  $60 \text{ m}^3$ . Soit  $T_a$  la température ambiante régnant à l'extérieur du pavillon. Après calcul de la conduction thermique des murs et du plafond, on trouve que les déperditions thermiques à travers les parois valent  $P_p = 226 (18 - T_a)$  Watts. Les pertes par renouvellement d'air sont :  $P_a = 20 (18 - T_a)$  Watts. Les besoins en chaleur de la maison sont donc:  $P = P_p + P_a = 246 (18 - T_a)$  Watts. La courbe de la figure 4 décrit les variations journalières des écarts de puissance thermique ( $P$ ) au cours de l'année. Les jours pour lesquels  $P > 0$ , sont ceux où  $T_a < 18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Durant ces journées, la maison doit être chauffée. Le recours à la conversion héliothermique permet de maintenir la température interne du pavillon à  $18 \text{ }^\circ\text{C}$  même lorsque la température externe se situe au voisinage de  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Lorsque  $T_a > 18 \text{ }^\circ\text{C}$ , on a un excédent de puissance thermique se traduisant par des écarts  $P < 0$ . Dans ce cas, l'excédent d'énergie doit être évacué pour refroidir la maison. Il peut aussi être stocké pour des besoins sanitaires ou converti en vue d'applications ultérieures.

## Conclusion

L'étude précédente a mis en évidence le fait que l'écart entre la température minimum et la température maximum est fortement corrélé aux caractéristiques journalières du rayonnement solaire et que les réseaux de neurones à trois couches gérés par un algorithme d'apprentissage supervisé reproduisent convenablement les données solaires de la région de Tizi Ouzou. De telles données peuvent alors être appliquées utilement au chauffage solaire dans cette région.

## **Bibliographie**

- AKIR A. , AM EU R S. et A DAN E A., 2002. Application of neural networks to estimate solar radiation features from air temperature measurements in Tizi Ouzou (Algeria). *Proc. Seventh World Renewable Energy Congress (WREC VII)*, Cologne.
- ANGS TROM A., 1924. Solar and terrestrial radiation, *Quart.J .Roy.Met.Soc*, **50**, 121-125.
- CHOUDHURY C. et GARG H.P., 1991. Design analysis of corrugated and flat plate solar air heaters. *Renewable Energy*, **1(5/6)**, 595-607.
- DESVIGNES F., 1975. Le rayonnement solaire, *Acta Electrónica*, **18**, 275-294.
- HORNIK K., STINCHCOMBE M., WHITE H. and AUER P., 1994. Degree of approximation results for feedforward networks approximating and their derivatives. *Neural Computation*, **6**, 1262-1275.
- ODOUIN J.F., 1994. Les réseaux de neurones, Ed. Hermes, Paris.
- YOUCEF ETTOUMI F, MEFTI A., ADANE A. et BOUROUBI M.Y., 2001. Statistical analysis of solar measurements in Algeria using Beta distributions, *Renewable Energy*, **26(1)**, 47-67.