

# REALISATION D'UNE INTERFACE DE SIMULATION DES PERFORMANCES DES INSOLATEURS PLANS

S.BENLAHMIDI\*, N.MOUMMI\*\*, A.MOUMMI\*\*, K.AOUES\*\*\*, A.LABED\*\*

\*Ecole Nationale Supérieure de Technologie ROUIBA, Alger, Algérie  
\*\*Laboratoire de Génie Mécanique-LGM- Université de Biskra-Algérie  
\*\*\*Département de Génie Mécanique-LGM- Université de Biskra-Algérie  
benlahmidis@yahoo.fr

## RESUME

L'utilisation des énergies renouvelables comme sources d'énergie dans les processus énergétiques industriels permet de réduire la demande énergétique en matière d'hydrocarbures et la diminution des gaz à effet de serre ainsi que d'encourager l'utilisation des ressources durables en énergies propres. Dans ce travail nous nous intéressons à la valorisation du gisement solaire dans divers sites, de climats différents, par la réalisation de cet outil de simulation du rayonnement solaire, de la température ambiante et de la température de sortie de l'insolateur. Il permettra à tout utilisateur simple ou potentiel d'avoir des informations préalables avant d'entamer un projet solaire.

**MOTS CLÉS:** Energie solaire, rayonnement, insolateur, simulation

## 1 INTRODUCTION

L'Algérie appartient aux régions situées dans la ceinture solaire : Afrique du nord, sud ouest des états unis d'Amérique, Australie, (voir Figure.1). Ces régions disposent des gisements solaires les plus élevés au monde. Pour l'Algérie, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 h (hauts plateaux et Sahara). L'énergie acquise quotidiennement sur une surface horizontale de  $1 \text{ m}^2$  est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/ $\text{m}^2/\text{an}$  au nord et 2263 kWh/ $\text{m}^2/\text{an}$  au sud du pays [3-2].

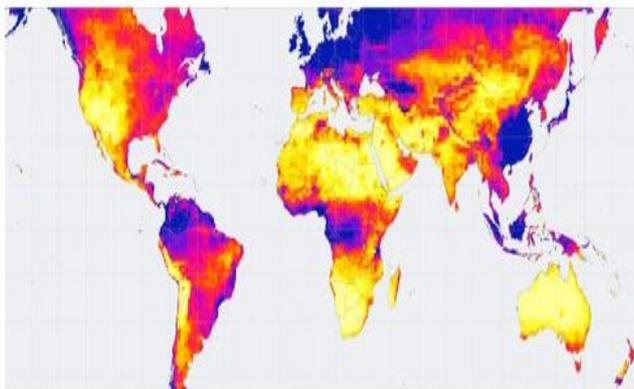


Figure 1: Ceinture solaire, régions du globe pour lesquelles l'ensoleillement moyen annuel excède 2000 kWh/ $\text{m}^2/\text{an}$

Il est donc pertinent d'envisager toutes les possibilités considérables pour le développement de sa conversion thermique pour des utilisations industrielles. Ces applications font appel aux insolateurs à air ou à eau conçus à part ou intégrés dans les habitations pour le chauffage des locaux ou le chauffage de l'eau sanitaire ou encore pour le séchage des produits agro alimentaires [9] ou même le séchage des matériaux de construction [5]. Ces applications dépendent de la température à la sortie, qui pourra être fournie par ces insolateurs. Cette dernière dépend essentiellement de leurs performances [6] et de la situation géographique du site d'installation de ce système solaire [7].

L'étude du gisement solaire est le point de départ de toute investigation dans le domaine de l'énergie solaire. Pour cela on a proposé deux modèles semi empiriques, le modèle de PERRIN DE BRICHAMBAUT qui emploie le facteur de trouble total de Linke très peu utilisé et le modèle de LIU JORDAN qui est à l'encontre du précédent le plus fréquemment employé.

Toutefois, l'exploitation de ces ressources énergétiques inépuisables, passe impérativement par la conjugaison des efforts pour la connaissance et la maîtrise, la création des banques de données accessibles à l'exploitation par les différents secteurs concernés. Dans cette étude nous présentons une interface graphique (langage VBA), développée à cet effet, susceptible de fournir les informations suivantes : le rayonnement global selon deux modèles, la température ambiante du site et la température du fluide caloporteur à la sortie de l'insolateur.

## 2 ANALYSE THÉORIQUE

### 2.1 Le rayonnement incident

Plusieurs spécialistes ont proposé des modèles pour caractériser le rayonnement solaire. Dans cette étude on a considéré deux modèles qui s'avèrent proches de la réalité [1].

Ces deux modèles sont donnés par les expressions suivantes [3] :

#### 2.1.1 Modèle global de Perrin de Brichambaut

Le rayonnement global est donné sous la forme :

$$g_h = A.(\sinh)^D \quad (1)$$

Avec :

	A	D
Ciel très pur	1150	1,15
Ciel moyen	1080	1,22
Ciel pollué	990	1,25

$$\text{Sinh} = \sin \delta. \sin \phi + \cos \delta. \cos \phi. \cos \omega$$

$$\omega = 15(t - 12)$$

$$\delta = 23.45 \sin(360/365)(J + 284)$$

#### 2.1.2 Modèle de Hottel, Liu et Jordan

Ce modèle considère la notion d'atmosphère normalisée, définie par les concentrations des gaz, les conditions de pression, de température, d'humidité, de concentration de particules et des propriétés optiques. Ce modèle est valable pour des altitudes inférieures à 2.5 Km. Les rayonnements direct et diffus sont donnés respectivement par :

$$S_h = gne.(\sinh). \tau_1 \quad (2)$$

$$d_h = gne.(\sinh). \tau_2 \quad (3)$$

Avec :  $\tau_1$  et  $\tau_2$  sont les transmissions pour le rayonnement direct et

$$\text{diffus. } gne = 1353. \left[ 1 + 0.0334. \cos \left( \frac{360}{365}. J - 2 \right) \right]$$

$$\begin{cases} \tau_1 = a_0 + a_1. \exp \left[ \frac{-k}{\sinh} \right] \\ \tau_2 = 0.2710 - 0.2939. \tau_1 \\ a_0 = 0.4237 - 0.0082. (6 - z)^2 \\ a_1 = 0.5055 + 0.00595. (6.5 - z)^2 \\ k = 0.2711 + 0.01858. (2.5 - z)^2 \\ z : \text{altitude (km)} \end{cases}$$

### 2.2 La température à l'entrée de l'insolateur (Température ambiante du site)

L'évolution théorique de la température à l'entrée de l'insolateur est donnée par :

$$T_e(t) = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} + \left( \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right). \cos \left( \frac{2. \pi. t}{\Delta t} \right) \quad (4)$$

$T_{\max}$  et  $T_{\min}$  sont les températures ambiantes maximale et minimale de la journée considérée.

Dans ce modèle la température maximale est atteinte au midi solaire vrai. Ce modèle ne correspond pas à la réalité car on considère que la température maximale n'est atteinte qu'au midi thermique qui correspond en temps solaire vrai, au midi solaire vrai plus 1/8 de la durée du jour solaire ( $\Delta t$ ), cela est dû à l'inertie thermique du sol, l'équilibre thermique entre le milieu ambiant et le sol. Le modèle théorique a été remplacé par un modèle qui introduit le midi thermique ; instant de la journée où la température ambiante atteint sa valeur maximale. La valeur minimale est au lever du soleil. Ainsi la température ambiante peut être modélisée par deux branches graphiques de fonctions sinusoidales [4].

- la première partie étant les 5/8 de  $\Delta t$
- la deuxième partie étant les 3/8 de  $\Delta t$

Ce qui permet de modéliser la température ambiante par l'expression suivante:

$$T_e(t) = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} + \left( \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right). \cos \left( \frac{2. \pi. (t - 12 - \Delta t / 8)}{\Delta t} \right) \quad (5)$$

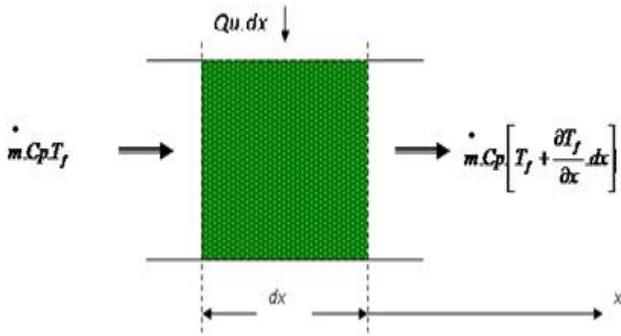
### 2.3 La température à la sortie de l'insolateur

Le bilan thermique d'un insolateur rapporté à l'unité de surface est :

$$\phi g = Qu + Qp + Qs$$

Le flux  $\phi g$  reçu par l'insolateur se répartit en flux utile  $Qu$ , transmis au fluide, en flux perdu lors des différents modes de transfert vers le milieu ambiant et en flux stocké dans le système. En régime thermique permanent et pour les capteurs à air, la quantité du flux stocké dans les différentes parties de l'insolateur est négligeable, ce qui permet d'écrire :  $\phi g = Qu + Qp$

On considère la tranche "dx" voir (Fig. 2). La température de l'air est supposée uniforme au niveau de la section de la veine d'écoulement de l'insolateur :


 Figure 2: Tranche fictive de longueur  $dx$ 

La conservation de l'énergie dans cette tranche nous donne :

$$\begin{aligned} \dot{m}.Cp.T_f + Qu.l.dx &= \dot{m}.Cp \left[ T_f + \frac{dT_f}{dx} . dx \right] \Rightarrow \\ \frac{dT_f}{dx} &= \frac{Qu.l}{\dot{m}.Cp} \end{aligned} \quad (6)$$

Avec :  $\dot{m}$  débit massique [kg/s],  $l$  : Largeur du capteur

$Cp$  : Capacité calorifique massique du fluide à pression constante [J/kg. k]

On suppose que la température et le transfert de chaleur avec le fluide caloporteur de température  $T_f$  est uniforme le long du capteur de longueur  $L$  d'où :

$$\int_{x=0}^{x=L} \frac{dT_f}{dx} . dx = \int_{x=0}^{x=L} \frac{Qu.l}{\dot{m}.Cp} . dx$$

$$\text{Nous aurons: } T_f(x) = \left[ \frac{Qu.l}{\dot{m}.Cp} \right] . x + T_{fe}$$

$$\text{D'où: } T_{fs} = \left[ \frac{Qu.l}{\dot{m}.Cp} \right] . L + T_{fe} \quad (7)$$

#### 2.4 Algorithme de calcul des performances de l'insolateur plan à air

Les différentes étapes de calcul des performances thermiques de l'insolateur sont représentées sur la figure 3. En utilisant la méthode globale de Hottel, Whillier et Bliss, ces étapes de calcul sont les suivantes :

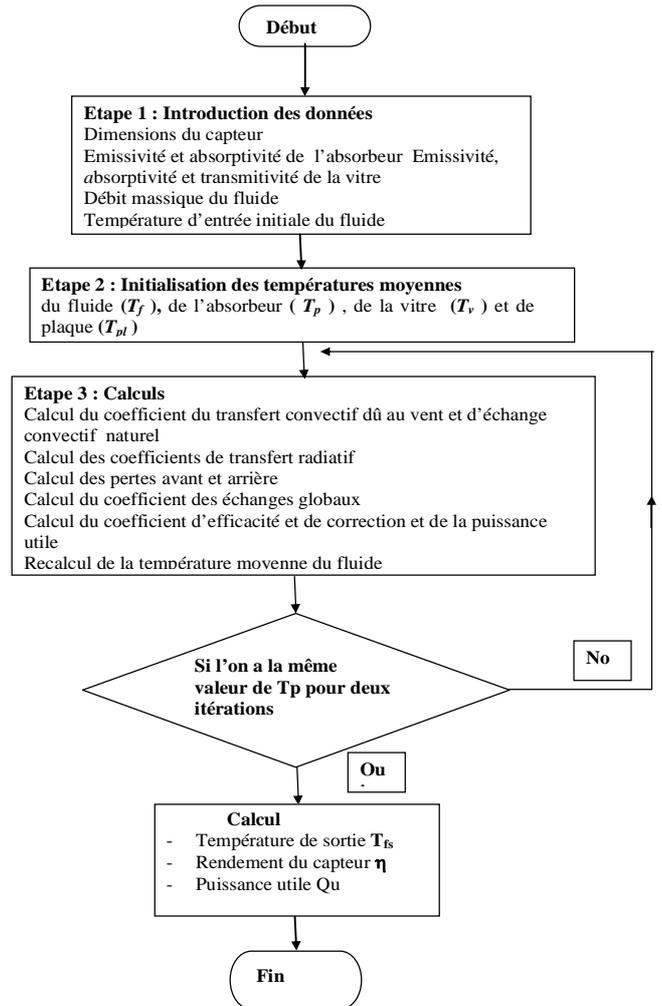


Figure 3: Algorithme simplifié de calcul des performances de l'insolateur

### 3 INTERFACE DE SIMULATION DES PERFORMANCES D'UN INSOLATEUR

L'évaluation précise du rayonnement reçu en un site donné exige des moyens humains et du matériel de mesure performant (capteurs de rayonnement, relevés automatisés par ordinateur, dépouillement des mesures par logiciel). Pour la réalisation de l'interface de simulation (figure 4) un code de calcul a été élaboré. Ceci permet de calculer :

- L'heure du lever et du coucher du soleil en temps solaire vrai.
- La température ambiante à n'importe quel instant de la journée.
- Le rayonnement global pour diverses situations climatiques et selon deux modèles (Perrin de Brichambaut et Liu et Jordan).

A l'exécution on aura :

- L'évolution du rayonnement global selon les deux modèles cités précédemment.
- L'évolution de la température ambiante du jour considéré.

- L'évolution de la température de sortie de l'insolateur.

Avant l'exécution il faut introduire les données suivantes :

- La date, les coordonnées du site (latitude, longitude et altitude).
- L'état du ciel : ciel très pur (CTP), ciel moyen (CM), ciel pollué (CP)
- La température minimale et maximale enregistrée le jour considéré
- Les caractéristiques géométriques de l'insolateur [m].
- La vitesse du vent [m/s].
- La température de l'absorbeur [°C].
- Le débit du fluide [kg/s]

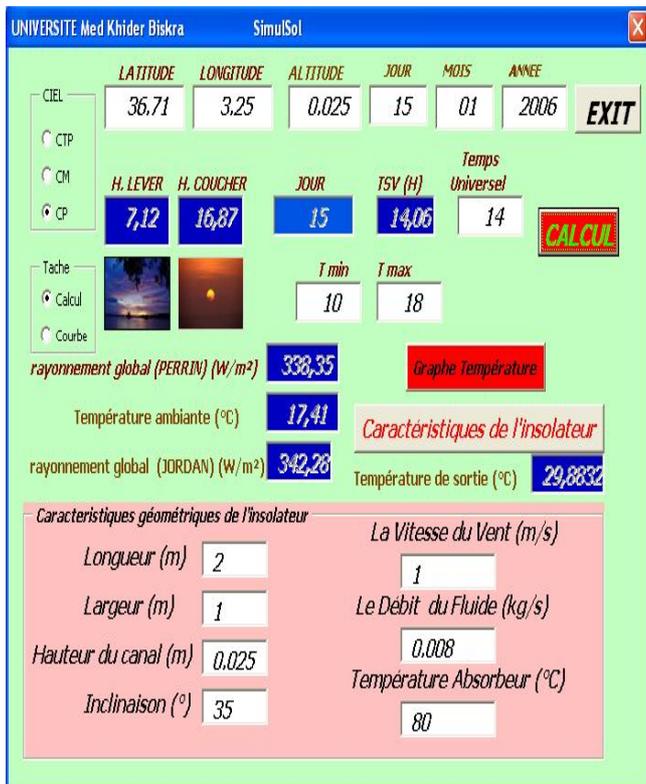


Figure 4: Interface graphique des calculs

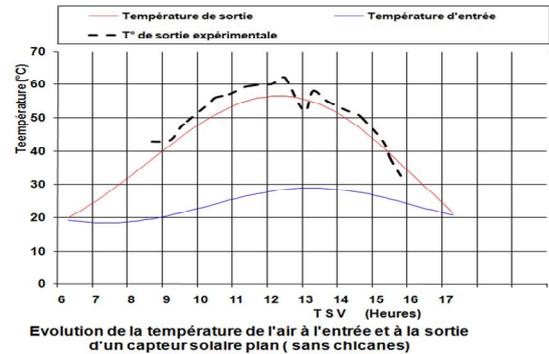
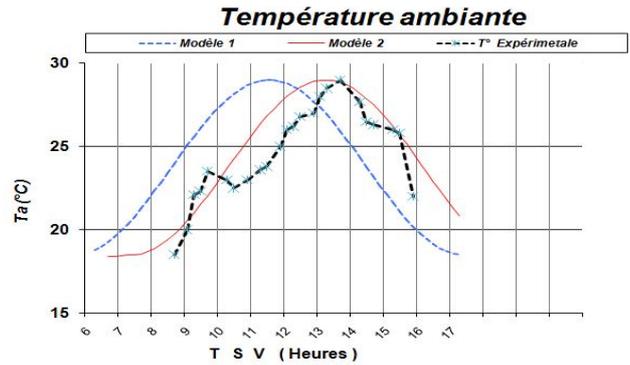


Figure 5: évolution du rayonnement, température ambiante et température du fluide à la sortie de l'insolateur (le 16/03/2009)

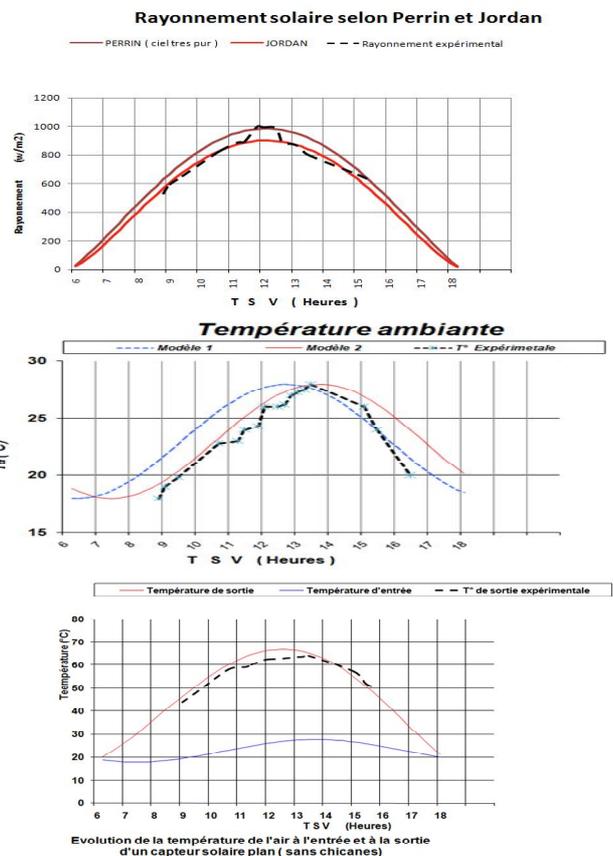


Figure 6: évolution du rayonnement, température ambiante et température du fluide à la sortie de l'insolateur (le 06/04/2009)

#### 4 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

En l'absence de mesures expérimentales, les résultats expérimentaux comparés à ceux de la simulation montrent que l'utilisation des modèles de Perrin de Brichambaut ainsi que celui de Liu et Jordan s'avère fiable pour la détermination du rayonnement solaire global. Selon d'autres travaux [1], [4], le même de Perrin de Brichambaut est le plus performant à l'approche du midi solaire, l'écart existant entre ce dernier étudié comparativement aux valeurs expérimentales n'est pas important et ne dépassant pas  $90 \text{ w/m}^2$ , par conséquent ce modèle peut être considéré pour une simulation de l'éclairement solaire. Quant à la température ambiante, les résultats obtenus à travers le modèle théorique corrigé, sont proches de ceux expérimentaux avec un écart maximum de  $3^\circ$ , par conséquent ce modèle peut être adopté. En ce qui concerne la température à la sortie de l'insolateur, le modèle obtenu à partir du bilan thermique reflète bien l'évolution journalière de cette dernière (écart de plus ou moins  $5^\circ$ , cela est dû à la variation de la vitesse du vent ainsi que le passage des nuages), mais il pourra être considéré lors de réalisation d'un projet solaire.

#### 5 CONCLUSION

Cette étude vise à donner aux utilisateurs simples et potentiels une vision très exhaustive sur un réel projet solaire à travers la prévision des paramètres de caractérisation des sites et éventuellement par la suite, la modélisation des performances des systèmes solaires.

Un programme est élaboré permettant ainsi de donner grâce à une interface très simple à utiliser, tous les paramètres de caractérisation sous divers contextes géographiques et climatiques, ainsi on aura la possibilité d'avoir des données au préalable pour tous les sites dépourvus de toutes mesures.

#### 6 NOMENCLATURE

$g_h$  : Rayonnement solaire global sur un plan horizontal au sol [ $\text{w/m}^2$ ]

$s_h$  : Rayonnement direct sur un plan horizontal reçu au sol [ $\text{w/m}^2$ ]

$d_h$  : Rayonnement diffus sur un plan horizontal reçu au sol [ $\text{w/m}^2$ ]

$gne$  : Rayonnement hors atmosphère [ $\text{w/m}^2$ ]

$h$  : Angle zénithal ou hauteur du soleil [ $^\circ$ ]

$T_e$  : Température ambiante [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{\max}$  : Température maximale de la journée. [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{\min}$  : Température minimale de la journée. [ $^\circ\text{C}$ ]

$t$  : Temps solaire vrai. [Heure]

$T_{fe}$  : Température sèche de l'air à l'entrée du capteur [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_f$  : Température moyenne de l'air dans la veine d'air mobile du capteur [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_{fs}$  : Température sèche de l'air asséchant à la sortie du capteur [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_p$  : Température moyenne de l'absorbeur [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_v$  : Température de la vitre [ $^\circ\text{C}$ ]

$V_f$  : Vitesse de l'air dans la veine d'air mobile du capteur plan [m/s]

$V_v$  : Vitesse du vent [m/s]

$\delta$  : Déclinaison du soleil

$\varphi$  : Latitude du lieu

$\phi_g$  : Flux global reçu par le capteur plan à air [ $\text{w/m}^2$ ]

$Qu$  : Puissance utile

$Z$  : altitude du lieu en Km

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] A.Moummi, N.Hamani, N.Moummi & Z.Mokhtari, 'Estimation du rayonnement solaire par deux approches semi-empiriques dans le site de Biskra', 8ième séminaire international sur la physique énergétique, SIPE'8 Béchar 11-12 Novembre 2006, Algérie
- [2] K.MESSAIFA, 'Evaluation de l'Apport Quantitatif des inclinaisons d'un système de photovoltaïque, Enersole'01- 30-31 Oct, ADRAR, pp 255-272, (2001)
- [3] M. Capderou : 'Atlas solaire de l'Algérie', OPU Alger 1988
- [4] N.Moummi ,A. Moummi ,K. Aoues ,C. Mahboub and S. Youcef Ali,(2010) 'Systematic forecasts of solar collector's performance in various sites of different climates in Algeria', International Journal of Sustainable Energy, 29: 3, 142 — 150
- [5] N.Moummi, A.Moummi, N.Chouchane, K.Aoues, T.Bouziane & A. Aliouali, 'Modélisation et Simulation des performances des insolateurs plans en vue de la Valorisation du gisement solaire dans divers contextes climatiques et géographiques', 18ème Congrès Français de Mécanique, Grenoble, 27-31 août 2007.
- [6] N. Moummi, S. Youcef-Ali, A. Moummi, J.Y. Desmons, 'Energy analysis of a solar air collector with rows of fins'. Renewable Energy 29 (2004) pp.2053–2064.
- [7] R.Giblin : 'Transfert de chaleur par convection naturelle', collection de l'A.N.R.T, EYROLLS 1974

- [8] SACADURA J. F, 'Initiation aux transferts thermiques', INSA de Lyon, Technique et Documentation de Paris, 1980
- [9] S.Youcef Ali, N. Moumni, J.Y.Desmons,A.Abene, H.Messaoudi, M.Leray; Numerical and Experimental Study of Dryer in Forced Convection', International Journal of Energy Research, Int, J.Energy Res. 2001; 25:537-553 (DOI:10.1002/er.707).