

## **ANALYSE DE L'EFFET DE L'ÉPAISSEUR DE LA DALLE CHAUFFANTE SUR L'EFFICACITÉ THERMIQUE D'UNE INSTALLATION DE PLANCHER SOLAIRE DIRECT (PSD) IMPLANTÉE À ADRAR**

Oudrane A.<sup>1</sup>, Aour B.<sup>1</sup>, Benhamou M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Biomécanique Appliquée et Biomatériaux, ENP ORAN, BP1523 El'Mnaour, Oran, 31000

<sup>2</sup>Unité de recherche des énergies renouvelables aux milieux sahariens d'Adrar  
Adrar, Algérie

**E-mail:** ben\_aour@hotmail.com; abdellatif.hbadat@gmail.com

**Résumé**— L'objectif principal de ce travail est la détermination de l'épaisseur optimale de la dalle chauffante en béton afin d'obtenir un rendement mensuel maximal de l'installation à Plancher Solaire Direct (PSD). Pour atteindre cet objectif, un programme de simulation numérique a été développé pour faciliter le dimensionnement et la simulation des paramètres géométriques et thermique du PSD. L'étude a été menée en se basant sur des données climatiques de la région d'Adrar en utilisant un système composé d'une dalle épaisse et d'un capteur solaire plan. L'effet des différents paramètres, à savoir, l'énergie solaire reçue et la température ambiante extérieure sur l'efficacité thermique d'un tel système a été illustré graphiquement et discutée. Les résultats obtenus, nous ont permis de déduire l'épaisseur de la dalle chauffante et la surface nécessaire des capteurs solaires optimales.

**Mots clé :** Energie solaire; Transfert de chaleur; PSD; Dalle chauffante; Rendement thermique.

**Abstract** — The main objective of this work is the determination of the optimum thickness of a heated concrete slab to obtain a maximum monthly performance of a Direct Solar Floor (DSF). To achieve this goal, a simulation program has been developed to size and to simulate of the thermal and geometric parameters of such facility. The study was conducted based on climate data from the Adrar region using a system consisting of a thick slab and a solar plane. The effect of different parameters, namely, the solar energy received and the outdoor ambient temperature on the thermal efficiency of such a system was graphically illustrated and discussed. The results have allowed us to deduce the thickness of the hot slab and the area required for optimal solar collectors.

**Keywords :** Solar energy; Heat transfer; DSF; heating pad; thermal efficiency.

### **INTRODUCTION**

Le chauffage par les planchers solaires est un procédé ancien qui utilisait majoritairement un tube en acier sous forme de grilles chauffantes noyées dans l'épaisseur d'une dalle pleine [1]. Sur le plan historique, trois périodes ont véritablement marqué l'histoire du plancher chauffant, à savoir, l'époque de l'Empire romain, les années 1960-1980 et l'après-1980. Quoique le plancher chauffant moderne fasse son apparition au début des années 1980, le principe de chauffage par le sol est connu depuis plus de 2000 ans (III-II siècles av. J.-C.). En Europe, les Romains étaient ainsi les premiers à utiliser notamment, dans des hypocaustes, un système de chauffage par le sol à l'aide de l'air chaud circulant dans des canalisations. A peu près en même temps, en Asie, les premiers ondules coréens apparaissent. Ces systèmes représentent un premier exemple non seulement de l'utilisation d'un intermédiaire pour chauffer un local, mais également de la mise en place d'un chauffage central. Le principe du PSD consiste à intégrer au toit, les capteurs solaires. La

surface des capteurs à installer doit être d'environ le un dixième de la surface de la dalle à chauffer. Ils seront raccordés au plancher afin de transmettre l'énergie solaire. Cette énergie s'accumulera dans la dalle du plancher en restituant la chaleur dans la maison d'une façon douce [2,3]. Le fluide réchauffé dans les capteurs solaires, circulera directement dans le plancher chauffant. Il est à noter que le principal avantage de cette nouvelle technique du PSD est l'usage d'une énergie naturelle non polluante, gratuite et inépuisable.

L'Algérie dispose d'un des plus grands gisements solaires au monde, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m<sup>2</sup> est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m<sup>2</sup>/an au Nord et 2263 kWh/m<sup>2</sup>/an au sud du pays.

Les diverses études entreprises jusqu'à présent sur le potentiel énergétique solaire en Algérie font apparaître un potentiel considérable pour l'utilisation et l'exploitation de cette forme d'énergie. En effet, l'Algérie avec plus de deux millions de km<sup>2</sup> de superficie, reçoit l'équivalent de 300 milliards de Tep par an en énergie solaire [4].

Il est primordial de noter qu'Adrar est une ville très riche en énergie solaire, vu son taux d'ensoleillement moyen qui atteint environ 9963Wh/m<sup>2</sup>.j. Pour cette raison, nous avons choisi cette région afin de mettre au point une installation avec un rendement maximale en jouant sur les paramètres géométriques et thermiques. Ce présent travail a été focalisé sur la détermination de l'épaisseur optimale de la dalle chauffante en faisant varier l'inclinaison du capteur pour différents mois de l'année.

## STRUCTURE DU SYSTEME

### A. Description du système

La suppression de la cuve de stockage et de ses sujétions par le couplage direct de capteurs solaires sur la dalle-plancher ne peut être obtenue qu'en donnant à celle-ci une épaisseur sensiblement supérieure à la pratique courante [5]. Le système en cours de considération se compose des éléments suivants (Fig. 1):

- *Capteur solaire*: permet de capter l'énergie solaire,
- *Plancher hydraulique*: circuit hydraulique noyé dans une couche de béton et alimenté par le capteur solaire, pour permettre le chauffage (*PSD en hiver*).
- *Circulateur de fluide caloporteur*.

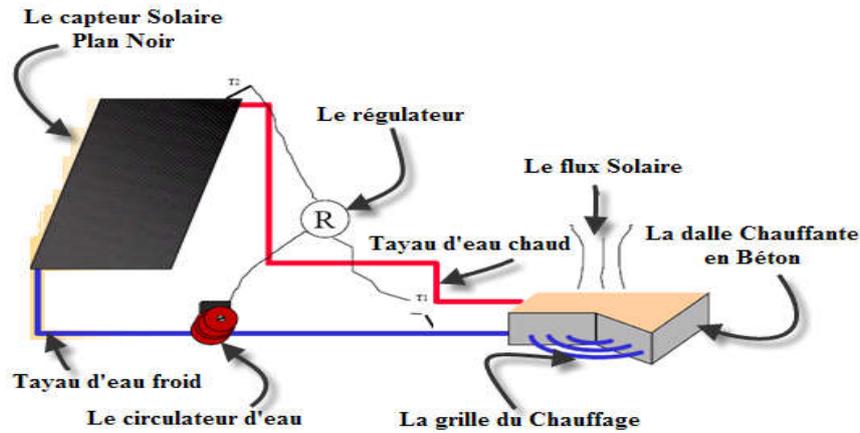


Figure 1 : Schéma descriptif du problème étudié [6].

De plus le PSD, dans son principe, offre des atouts décisifs que nous rappelons brièvement [7]:

- Stockage thermique de l'énergie solaire dans le plancher en béton, intérieur au volume habitable,
- Inertie thermique importante,
- Régulation simplifiée, généralement réduite à un thermostat différentiel contrôlant un circulateur unique,
- Confort basse température, uniformité de température et de l'air ambiant,
- Economie d'investissement importante.
- Gain d'espace et suppression possible des radiateurs muraux.

#### B. Descriptive de la dalle et hypothèses

Grâce à une forte inertie de la dalle, le fluide peut stocker et restituer la chaleur produite [8]. Du strict point de vue du déphasage, la conduction de la chaleur tendrait à faire préconiser l'utilisation d'épaisseurs de béton de l'ordre de 30cm au-dessus des tubes enrobés, ce qui correspond à des poids de structure importants [5]. A partir de cette contrainte, nous définissons la dalle de notre système de planchers solaires directs, les «dalles épaisses», essentiellement utilisées sur terre-plein et constituées comme illustre la Figure 2.

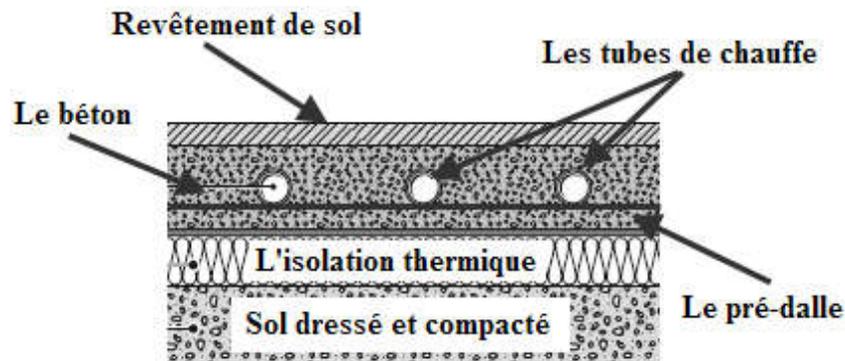


Figure 2 : Schéma descriptive de la dalle épaisse du plateforme [5].

- Sol convenablement dressé et compacté, muni d'un film étanche contre les remontées d'eau;
- Isolation thermique rigide résistante à la compression, de 4cm d'épaisseur minimale ;
- Pose des tubes de chauffe soit directement sur l'isolant, avec treillis carré d'armature, soit sur une première épaisseur de béton d'environ 5cm, coulée directement sur l'isolant et formant une prédalle ;
- Coulage d'une épaisseur de béton qui peut varier entre 10 et 40cm au-dessus des tubes;
- Revêtement de sol.

**Hypothèses** : On suppose que tous les paramètres géométriques et thermiques sont fixes à leurs valeurs optimales sauf l'épaisseur de la dalle qui peut varier dans l'intervalle :  $e_{Dalle} \in [10, 20, 30, 40]$  cm, et à chaque fois on calcule le bilan thermique du système afin de faire une comparaison et déterminer le rendement optimale.

Les tableaux ci-dessous présentent les différents paramètres de référence, dans lequel on peut varier le paramètre que nous volons optimisé.

**TABLE I : LES PARAMETRES DE REFERENCE DE L'INSTALLATION SOLAIRE PSD [5].**

Les paramètres géométriques	Les paramètres thermiques
Epaisseur de la dalle en béton: $e_{Dalle} = 30\text{cm}$	Résistance thermique d'isolation: $R_{th\_is} = 1\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$
Diamètre des tubes du chauffage: $D_{tubes} = 20\text{mm}$	Résistance du revêtement du sol: $R_{th\_rev} = 0.15\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$
Ratio de captation solaire: $R_0 = 0.1$	Conductivité thermique du béton: $\lambda_{béton} = 1.75\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Surface de la dalle chauffante: $S_{plan} = 150\text{m}^2$	Coefficient d'échange superficiel: $h_i = 11.6\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

**TABLE II : LES PROPRIETES THERMIQUES DU CAPTEUR SOLAIRE PLAN DE REFERENCE [5].**

<b>Le rendement optique du capteur</b>	$\nu = 0.8$
Le coefficient de perte thermique du capteur solaire	$K = 8.2\text{W} / \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
La surface unitaire du capteur solaire	$S_{Capteur} = 1.25\text{m}^2$

## DESCRIPTION DE LA MÉTHODE DU CALCUL "E.S.I.M"

Afin de calculer le rendement thermique optimal d'un plancher relié directement à un capteur solaire plan et la température superficielle du confort, nous avons utilisé la méthode E.S.I.M du calcul des planchers solaires directs pour des raisons d'efficacité et de simplicité [1]. Cette technique permet de calculer les performances énergétiques du plancher en fonction des paramètres suivants:

- L'énergie moyenne reçue par mètre carré de capteur et par jour pour le mois considéré.
- L'écart de températures moyennes intérieure et extérieure du mois considéré.
- La surface du capteur rapporté à la surface du plancher équipé (ratio de captation).

## FORMULATION DU PROBLÈME

La dalle plancher est considérée comme un solide homogène auquel on applique l'équation classique de la diffusion de la chaleur [5].

### C. Calcul analytique du rendement mensuel de plancher

Le rendement du PSD peut être calculé à partir de la relation suivante [5] :

$$\eta_p = \rho_o - \frac{a}{(E_R)^n} \quad (1)$$

Pour les dalles épaisses équipées de capteurs solaires noirs plans, nous avons:

$$\rho_o = 0.574 + 0.0025.\Delta T - 0.44.R_0 \quad (2)$$

$$a = (0.0398.\Delta T + 0.0273).(0.6 - R_0)^{0.25} \quad (3)$$

où  $n=0.6$ ,  $\rho_o$  et  $a$  sont des fonctions du rapport capteurs/dalle ( $R_0$ ) et de l'écart moyen de température ( $\Delta T$ ). Ces expressions varient en fonction du type de système concerné, de même que l'exposant ( $n$ ) [5].

### D. Calcul d'énergie journalière reçue par le capteur

L'ensoleillement moyen reçu  $E_R$ , pour un mois par mètre carré de capteur, peut être calculé comme suit:

$$E_R = E_{Max} \cdot (0.25 + 0.75.\sigma) \quad \text{en (KWh/m}^2\text{.j)} \quad (4)$$

Où  $E_{Max}$  : est l'énergie solaire maximale journalière en (KWh/m<sup>2</sup>.j), et  $\sigma$  : la fraction d'insolation moyenne mensuelle.

### E. Calcul des températures superficielles de plancher

Pour un mois donné, on connaît, pour la configuration réelle, l'énergie solaire moyenne reçue  $E_R$ , et le rendement corrigé, le produit de ces deux valeurs représente l'énergie solaire réellement fournie par jour et par mètre carré de capteur qui se trouve distribuée par une surface de plancher ( $E_U$ ), égale à  $1/R_0$  en dalle épaisse [5]. La quantité d'énergie émise par jour pour 1m<sup>2</sup> de plancher est donc:

$$E_U = E_R \times \eta_p \times F_i \times R_0 \quad \text{en KWh/m}^2\text{.j} \quad (5)$$

Où  $F_i$  : Est le facteur correctif global du système.

Soit un total pour un mois donné par:

$$E_{Total} = E_U \times N \text{ en (KWh/mois)} \quad (6)$$

avec N: Est nombre des jours.

En supposant les pertes thermiques entre le capteur et la dalle négligeables, la chaleur cédée à la dalle est égale à l'énergie captée par le capteur (la puissance utile), on peut donc écrire [5] :

$$24 \times h_i \times (T_{pla} - T_{in}) \times S_{pla} = \eta_p \times F_i \times E_R \times S_{cap} \quad (7)$$

Donc:

$$\Delta T = T_{pla} - T_{in} = \frac{\eta_p \times F_i \times E_R \times R_0}{24 \times h_i} \quad (8)$$

avec  $T_{in}$  : La température moyenne intérieure de consigne (pour ce cas 20° C) ;  $T_{Max}$  : La température superficielle maximale de plancher en (°C) ;  $T_{Min}$  : La température superficielle minimale de plancher en (°C) ;  $T_{plan}$  : La température du plancher en (°C) ;  $S_{cap}$  : Surface du capteur en (m<sup>2</sup>) ;  $h_i$  : Coefficient d'échange superficiel global ( $h_i=11.6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ ) ;  $R_0$  Ratio de captation ( $R_0 = 0.1$  pour ce cas).

Pour connaître les températures maximale et minimale du plancher en conditions normales, on ajoute à la température moyenne ci-dessus, l'amplitude relative ( $a$ ) comme suit :

$$\Delta T_a = (1 \pm a) \cdot \frac{\eta_p \times F_i \times E_R \times R_0}{24 \times h_i} \quad (9)$$

Par la suite:

$$T_{Max} = T_{in} + (1 + a) \cdot \frac{\eta_p \times F_i \times E_R \times R_0}{24 \times h_i} \text{ en (°C)} \quad (10)$$

et

$$T_{Min} = T_{in} + (1 - a) \cdot \frac{\eta_p \times F_i \times E_R \times R_0}{24 \times h_i} \text{ en (°C)} \quad (11)$$

#### F. Corrélation de l'épaisseur de la dalle

En dehors du rendement thermique, le choix d'épaisseurs différentes modifie également l'amplitude et le déphasage du flux restitué. On comptera dans l'épaisseur tous les revêtements lourds dont les propriétés thermiques se rapprochent suffisamment de celles du béton: ainsi un carrelage sur ciment-colle, sur béton maigre ou sur bain de sable, sera compté dans l'épaisseur [5]. Le facteur correctif est indépendant du ratio de captation et n'est donné qu'en fonction de l'épaisseur. En appelant  $e$  l'épaisseur réelle de la dalle est  $e_0 = 30\text{cm}$  comme une épaisseur de la dalle standard. Dans ce cas, le facteur correctif  $F_c$  de l'épaisseur de la dalle est donné comme suit :

$$F_c = \left( \frac{e_0}{e} \right)^{0.13} \quad (12)$$

De plus, il ne serait naturellement pas légitime d'utiliser cette formule en dehors de l'intervalle  $(10 \leq e_{Dalle} \leq 40)\text{cm}$ .

**Remarque importante :** La multiplication des facteurs correctifs des paramètres constructifs de l'installation solaire P.S.D, formant un produit, s'appelle *le facteur correctif global*, qui est influé directement sur bilan énergétique du P.S.D. L'expression du calcul de ce facteur correctif globale est [5]:

$$F_t = F_D \times F_P \times F_{Pré-dalle} \times F_{épaisseur} \times F_{\lambda_{béton}} \times F_{R_{th-is}} \times F_{R_{th-rev}} \quad (13)$$

avec:

- $F_t$  : Est le facteur correctif global de l'installation solaire PSD.
- $F_D$  : Est le facteur correctif de diamètre des tubes du chauffage.
- $F_P$  : Est le facteur correctif d'écartement des tubes du chauffage.
- $F_{Pré-dalle}$  : Est le facteur correctif de la prédalle du plancher chauffante.
- $F_{épaisseur}$  : Est le facteur correctif de l'épaisseur de la dalle chauffante.
- $F_{\lambda_{béton}}$  : Est le facteur correctif de conductivité thermique du béton.
- $F_{R_{th-is}}$  : Est le facteur correctif de résistance thermique de l'isolation.
- $F_{R_{th-rev}}$  : Est le facteur correctif du revêtement du sol.

#### SIMULATION DU SYSTÈME THERMIQUE

Pour la simulation du système, nous avons élaboré un code de calcul pour le dimensionnement des installations des planchers solaires directs en se basant sur l'analyse de l'influence des paramètres géométriques et thermiques. Ce code de calcul a été écrit en langage *FORTRAN* avec une interface graphique en *DELPHI* pour faciliter l'introduction des données. Les paramètres à introduire sont (Fig. 3) :

- Type de la dalle: épaisse (de la plateforme) avec ou sans pré-dalle ;
- Le ratio de captation des rayonnements solaires;
- Le coefficient d'échange superficiel global;
- La résistance thermique du revêtement ;
- La résistance thermique d'isolation de la dalle;
- Le diamètre intérieur des tubes du chauffage;
- L'écartement des tubes du chauffage;
- La conductivité thermique du béton;
- Le type de capteur solaire : noir plan/sélectif;
- La température moyenne intérieure (l'ambiance) ;
- L'inclinaison du capteur solaire plan ( $\beta$ );
- L'énergie solaire maximale journalière reçue par un mètre carré de capteur solaire.

**Calcul PSD : Les paramètres de Plancher**

Le type de dalle : Dalle épaisse (1)    Le pré-dalle : Non (0)

**Les Paramètres Géométriques de la dalle**

La surface du plancher S (Plancher) (m2) : 100

L'épaisseur de la dalle e(dalle) (cm) : 20

L'écartement des tubes de plancher P(tubes) (cm) : 25

Le diamètre des tubes de plancher D(tubes) (mm) : 30

**Les Paramètres thermiques de la dalle**

Le coefficient d'échange convectif h<sub>j</sub> (W/m2 . °C) : 11.6

La résistance thermique d'isolation de la dalle R<sub>th\_is</sub> (m2 . °C/W) : 1

La résis. thermi. de revêt. du sol R<sub>th\_rev</sub> (m2 . °C/W) : 0.06

La conductivité thermique du béton Lambda (W/m2 . °C) : 1.25

Buttons: Quittez, Annulez, Suivant

**Figure 3 :** Fenêtre d'entrée des paramètres géométriques et thermiques par le code du calcul élaboré.

**Calcul PSD : Les Paramètres de Capteur solaire Plan**

Le type de capteur solaire plan : Les capteurs solaire sélectifs (2)

**Les Capteurs solaires plans noirs standards**

**Les caractéristiques thermiques de capteur :**

Le rendement optique de capteur V

Le coefficient de perte thermique de capteur K (W . m2 . °C)

Le ratio de capteur R0

**Les capteurs solaire sélectifs**

Type de capteur sélectif :  Capteur solaire TUBES SOUS VIDE     Capteur solaire ST2000    **Actif**

**Capteur solaire TUBES SOUS VIDE :**

Le rendement optique de capteur V : 0.74

Le coefficient de perte thermique de capteur K (W . m2 . °C) : 2.46

Le ratio de capteur R0 : 0.2

**Capteur solaire ST2000 [2.10 m2 - 24 °C] :**

Le rendement optique de capteur V

Le coefficient de perte thermique de capteur K (W . m2 . °C)

Le ratio de capteur R0

Buttons: Quittez, Annulez, Suivant

**Figure 4 :** Fenêtre d'entrée des propriétés thermiques des capteurs solaires par le code de calcul élaboré.

Après la simulation et les calculs, on obtient les résultats des différents types d'énergies solaires (utile, totale, reçue fictif, maximale), les rendements mensuels de l'installation solaire PSD dans la saison de chauffage (hiver), les températures superficielles maximale et

minimale du plancher en fonction de cinq angles ( $\beta$ ) d'inclinaison du capteur solaire orienté vers le sud. Ces résultats sont sous forme de tableaux comme suit (Fig. 4).

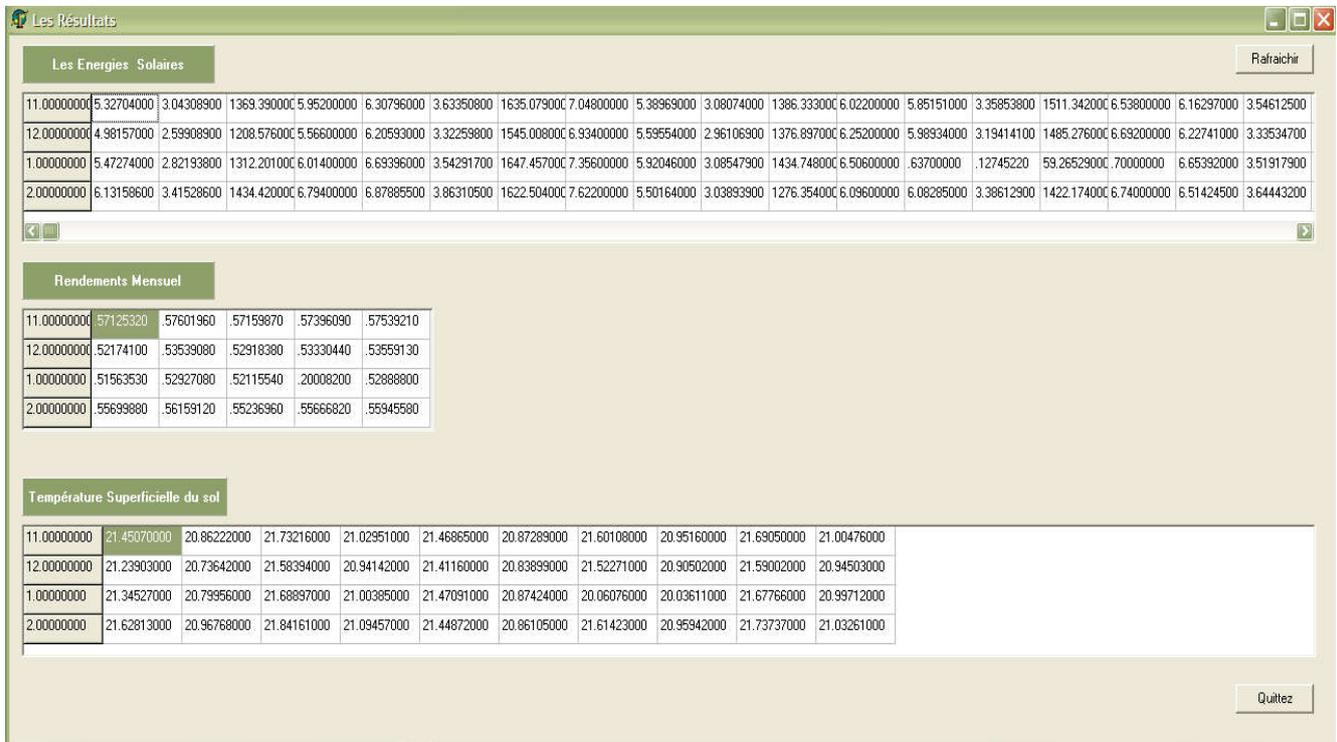


Figure 5 : Fenêtre d'affichage des résultats obtenus par le code élaboré pour le calcul du PSD.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

### A. Données climatique de la région

Le tableau III présente la fraction d'insolation moyenne mensuelle à Adrar:

TABLE III : FRACTION D'INSOLATION MOYENNE MENSUELLE D'ADRAR [9].

Mois	JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI.	JUL.
Sigma	0.88	0.87	0.93	0.93	0.89	0.92
Mois	JUIL.	AOU.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
Sigma	0.94	0.91	0.88	0.86	0.86	0.86

L'énergie solaire maximale journalière, pour cinq angles d'inclinaison du capteur solaire dirigé vers le sud est donnée par le tableau IV ci-dessous:

**TABLE IV : L'ENERGIE SOLAIRE CUMULEE REÇUE PAR LE CAPTEUR DURANT TOUTE LA JOURNEE EN FONCTION DE L'INCLINAISON DU CAPTEUR SOLAIRE [9].**

Mois	L'énergie solaire par (Wh/m <sup>2</sup> .j) en fonction des inclinaisons du capteur				
	0°	20°	40°	60°	90°
<b>Janvier</b>	4334	6014	7088	7430	6506
<b>Février</b>	5386	6794	7536	7514	6096
<b>Mars</b>	6806	7794	8028	7472	5338
<b>Avril</b>	7706	8004	7566	6434	3762
<b>Mai</b>	8006	7738	6806	5310	2666
<b>Juin</b>	8268	7726	6548	4860	2308
<b>juillet</b>	8176	7744	6660	5034	2406
<b>Août</b>	7546	7574	6926	5662	3052
<b>Septembre</b>	6582	7196	7132	6386	4208
<b>Octobre</b>	5520	6660	7150	6938	5366
<b>Novembre</b>	4456	5952	6856	7056	6022
<b>Décembre</b>	3928	5566	6650	7040	6252

Les températures extérieures moyennes mensuelles d'Adrar sont données par le tableau V:

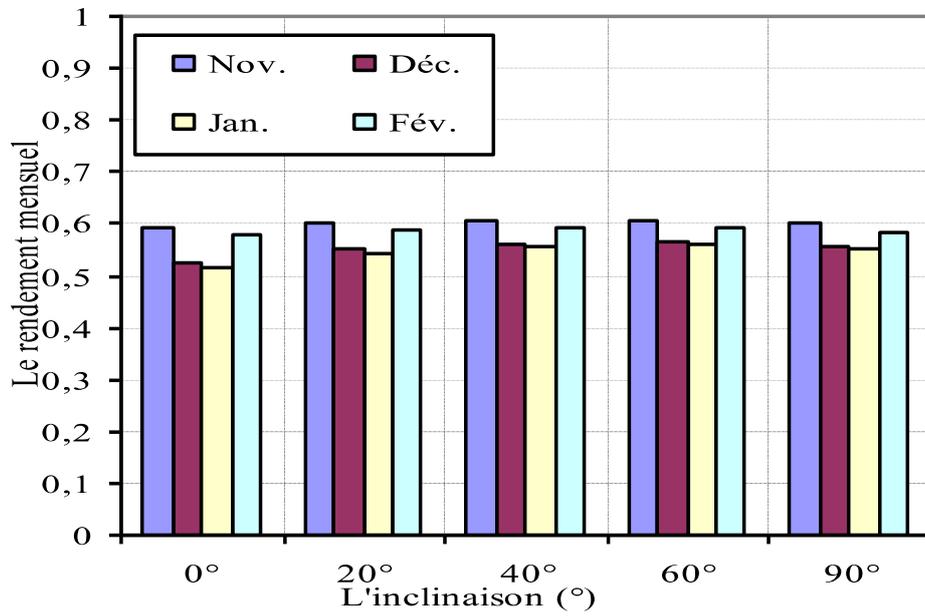
**TABLE V : LES TEMPERATURES EXTERIEURES MOYENNES MENSUELLES D'ADRAR (SOURCE METEO D'ADRAR) [10].**

Mois	JAN.	FEV.	MAR.	AVR.	MAI.	JUI.
T <sub>ex</sub> moy(°C)	12.1	15.4	19.6	24.3	28.4	34.4
Mois	JUIL.	AOU.	SEP.	OCT.	NOV.	DEC.
T <sub>ex</sub> moy(°C)	36.5	36	31.8	24.5	17.2	13.2

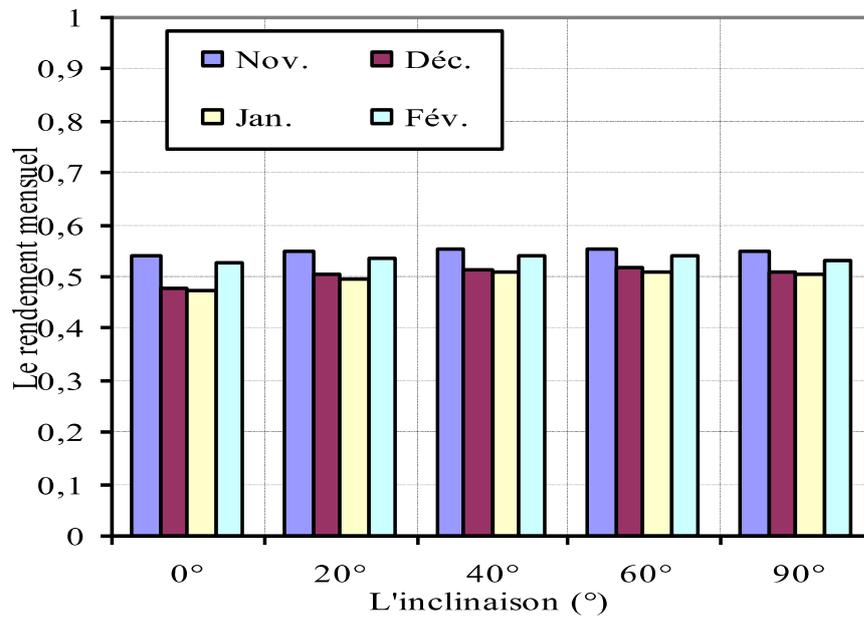
### B. Résultats de la simulation

A partir des résultats présentés dans la figure 6, on constate que le rendement mensuel optimal, pour les quatre mois pris en considération (saison d'hiver), est obtenu avec une inclinaison de 60° et une épaisseur de dalle de 10cm (voir Fig. 6a). En outre, la valeur maximale du rendement a été repérée au mois de novembre (61%) avec ces mêmes paramètres géométriques (voir Tab. IV). Par contre la plus faible valeur a été remarquée au mois de janvier (43%) avec une inclinaison de 0° et une épaisseur de la dalle de 40cm.

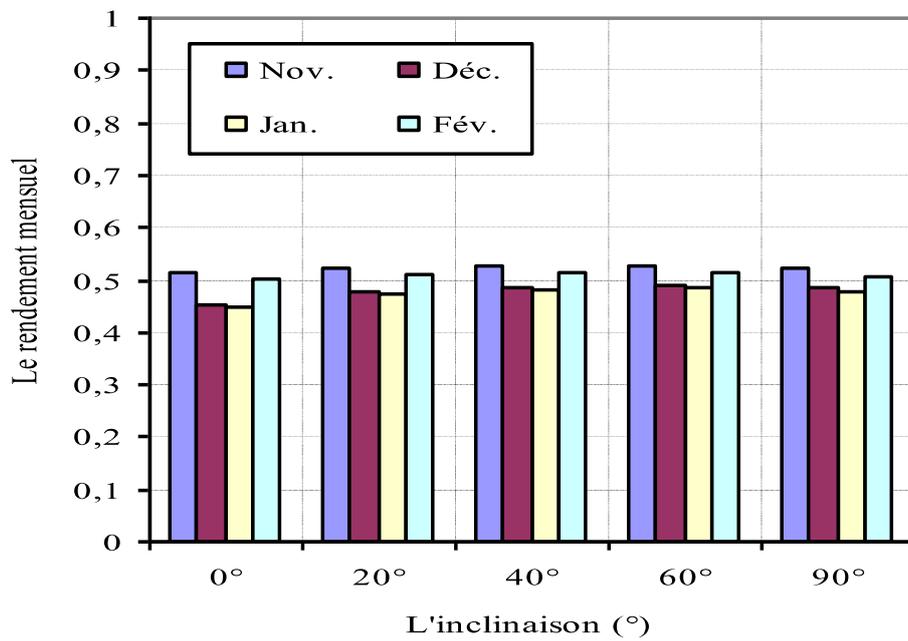
La figure 7 illustre l'évolution de la température superficielle maximale du plancher en fonction de l'inclinaison du capteur solaire pour différentes épaisseurs de la dalle :  $e = \{10, 20, 30 \text{ et } 40\text{cm}\}$ . On peut remarquer que la valeur la plus importante de la température superficielle maximale est de 23.11°C. Cette valeur a été obtenue au mois de février avec une inclinaison de 40° et une épaisseur de 10cm. Ceci explique que l'installation PSD a reçu une grande énergie solaire par le capteur plan au mois de février avec cette inclinaison de 40°.



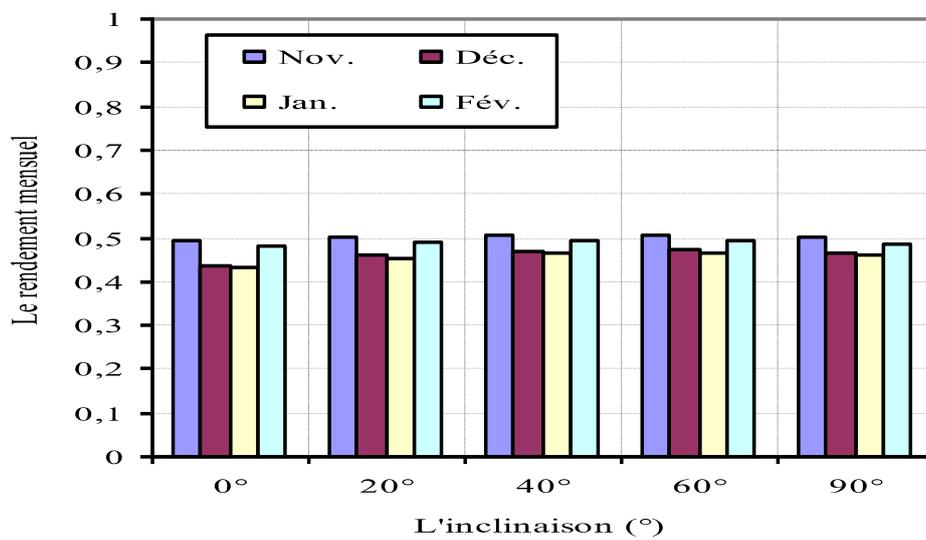
(a)



(b)

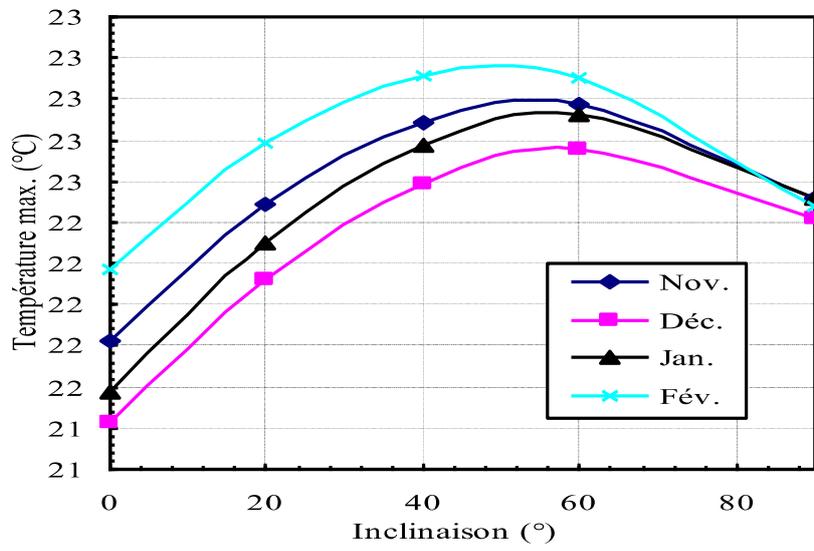


(c)

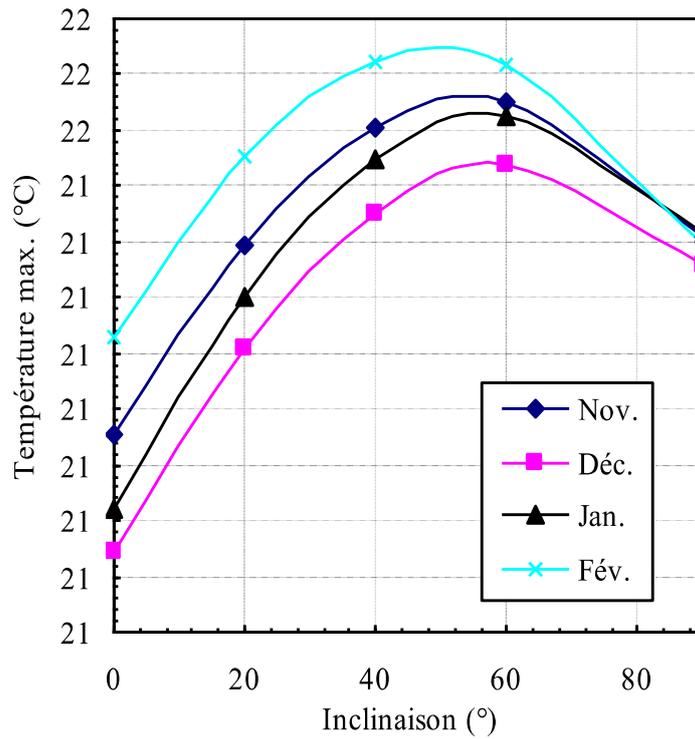


(d)

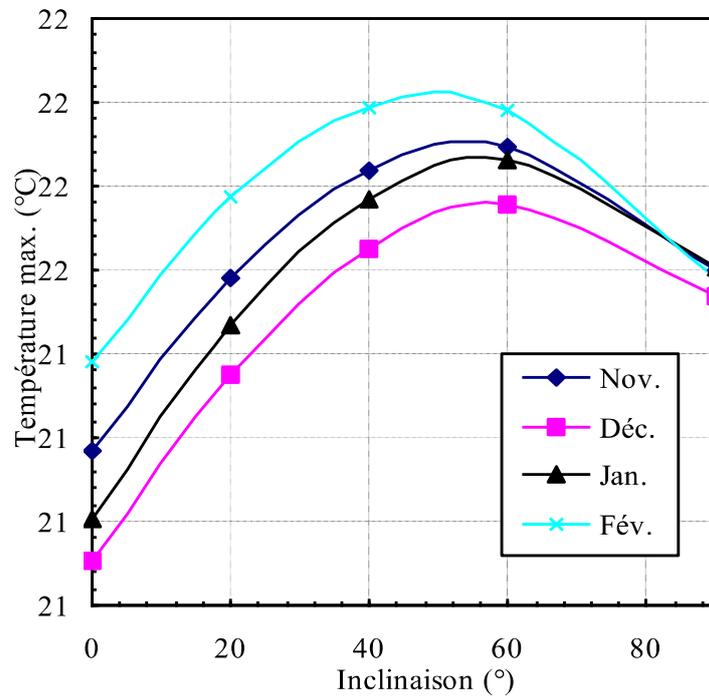
**Figure 6 :** Evolution du rendement mensuel en fonction de l'inclinaison du capteur solaire pour : (a)  $e = 10\text{cm}$ , (b)  $e = 20\text{cm}$ , (c)  $e = 30\text{cm}$  et (d)  $e = 40\text{cm}$ .



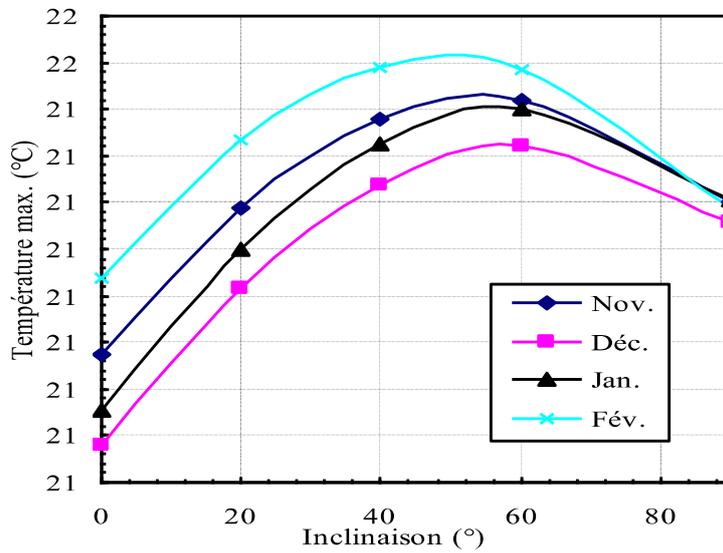
(a)



(b)



(c)



(d)

**Figure 7 :** Evolution des températures superficielles maximales du plancher en fonction de l'inclinaison du capteur solaire pour : (a)  $e = 10\text{cm}$ , (b)  $e = 20\text{cm}$ , (c)  $e = 30\text{cm}$  et (d)  $e = 40\text{cm}$

**TABLE VI :** RESULTATS DE SIMULATION DE L'EFFET DE L'ÉPAISSEUR DE DALLE SUR LE BILAN THERMIQUE DE PSD EN FONCTION DE L'INCLINAISON DU CAPTEUR SOLAIRE PLAN.

l'épaisseur de la dalle en (cm)	le rendement mensuel de PSD			La température superficielle maximale en (°C)		
	Mois	$\beta$	$\eta_p$	Mois	$\beta$	$T_{Max}$
10	November	60°	<b>61%</b>	Février	40°	<b>23.11°C</b>
20	November	60°	56%	Février	40°	21.10°C
30	November	60°	53%	Février	40°	21.62°C
40	November	60°	51%	Février	40°	21.5°C

Notant que la valeur minimale de la température superficielle maximale est de 23.1°C. Cette valeur a été obtenue au mois de décembre avec une inclinaison de 40° et une épaisseur de 10cm. Alors que, la valeur la plus faible ( $T=21,50^{\circ}\text{C}$ ) est obtenue au mois de décembre avec une inclinaison de 40° et une épaisseur de 40cm. Le tableau IV représente un récapitulatif des résultats obtenus pour l'étude de l'influence de l'épaisseur de la dalle sur le bilan thermique du PSD.

## CONCLUSION

On se référant au tableau IV, qui englobe tous les résultats de notre étude préalable de l'influence de l'épaisseur de la dalle épaisse sur l'efficacité thermique et la température superficielle de l'installation PSD, on peut conclure que :

- La variation d'épaisseur de la dalle a une influence très importante sur le rendement et la température du plancher, c'est-à-dire quand l'épaisseur augmente le rendement diminue et aussi la température superficielle maximale diminue;
- La valeur la plus importante de la température maximale du plancher a été obtenue au mois de février avec une inclinaison de 40° et une épaisseur de 10cm, étant donné que cette énergie solaire maximale journalière accumulé par le capteur solaire et plus grand.
- Finalement, pour fournir un chauffage constant tout au long de la période d'hiver, malgré l'intermittence du rayonnement solaire, le PSD utilise l'inertie et la capacité de stockage de la dalle en béton. Pour cette raison, il est conseillé dans cette région d'utiliser une épaisseur comprise entre 10 et 15cm avec une inclinaison comprise entre 60° et 40° et une orientation vers le sud.

## REFERENCES

- [1]. Kharchi R., Aït Messaoudène N., Belhamel M., Hamid A., 2001 - Etude Expérimentale du Comportement Thermique d'un Plancher Solaire Direct, Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique, 115-119.
- [2]. Chauffage solaire: le plancher solaire direct (PSD): [www.maison-climatisation-chauffage.com](http://www.maison-climatisation-chauffage.com).
- [3]. Mokhtari A., Kazeoui H., Boukezzi Y., Achard G., 1998 - Utilisation d'un Circuit Hydraulique dans un Plancher pour le Chauffage et le Rafraîchissement des Locaux, Rev. Energ. Ren. Vol.1, 17-27.
- [4]. Kabouche A., 2012 - Architecture et efficacité énergétique des panneaux solaires : Cas d'étude : Simulation sous TRNSYS16.1 d'un appartement d'une tour multifonctionnelle à Constantine, Thèse de magister, Université Mentouri de Constantine.

- [5]. Roux D., Mandineau D., Chateauminois M. Calcul des Planchers Solaires Directs, Tech-Doc., Lavoisier.
- [6]. Fleche B., 2007 - Énergies renouvelables : Solaire Thermique, N° spécial sur le solaire thermodynamique : observer - Systèmes solaires - Journal des énergies renouvelables n° 182 .
- [7]. Abbaz D., 2013 - Optimisation des paramètres de fonctionnement d'un plancher solaire direct (PSD), Thèse de magister, université Université de Constantine 1.
- [8]. Djaffar S., 2013 - Simulation d'un plancher chauffant solaire dans un habitat, 16èmes Journées Internationales de Thermique (JITH 2013) Marrakech (Maroc), du 13 au 15 Novembre, 2013.
- [9]. Atlas solaire de l'algerie, tome 2; Aspect énergétique; Michel capderou:15 juin1985.
- [10]. Météorologie d'Adrar. Année 2000.