

# MODELE DE RAFRAICHISSEMENT DES LOCAUX D'HABITATION PAR PLANCHER HYDRAULIQUE

**Y. BOUKEZZI**

CHercheur en 1ère Post-Graduation Génie Civil, U.S.T.ORAN

**A. MOKHTARI**

Maître de conférence, Institut de génie civil, U.S.T.ORAN

**G. ACHARD**

Professeur, ESIGEC, Chambéry - France

## Résumé

*Cet article rend compte d'une étude théorique menée en cellule climatique à oran. Le but est d'étudier la faisabilité de la technique des planchers hydrauliques dans le rafraîchissement des ambiances en climat Algérien.*

**Mots clés :** plancher rafraîchissant • transferts thermiques • condensation • couplage • source froide • confort thermique.

## 1 INTRODUCTION

L'idée d'utiliser l'eau froide pour assurer le rafraîchissement des bâtiments est fort ancienne puisque des chercheurs [1] ont découvert au Kurdistan turcs les restes d'un village, remontant au 7ème millénaire avant J.C, avec des systèmes de canalisations encastrées dans le sol en pierre et alimentées par l'eau froide d'un torrent proche.

Plus près de nous en 1959, André Missenard [2] avait posé les premières bases de la technique du plancher rafraîchissant dans son livre "Le chauffage et le rafraîchissement par rayonnement".

Il faut rappeler que le plancher rafraîchissant doit son existence au chauffage par le sol dont il est issu. L'utilisation de températures basses (40°C environ) en mode chauffage a amené les professionnels [3] à imaginer un fonctionnement en "confort été" avec l'eau envoyée à 18°C environ.

Le plancher rafraîchissant se développe aujourd'hui dans le monde occidental. Dans le tiers-monde en général et particulièrement en Algérie, cette technique

n'est pas encore appliquée. Dans le présent article nous essaierons d'étudier sa faisabilité en exploitant le logiciel de conception thermique TRANSYS [4] sous climat Algérien (Oran).

## 2 LES CRITERES DE CONFORT

L'une des principales causes d'inconfort pour les personnes en position statique provient de la sensation de froid au pied. Des études [3] ont montrées que les hommes sont capables de maintenir une température de pied plus élevée que celle des femmes, pour qui une température de plancher de 18.3°C est insuffisante. Il faudra donc tenir compte de cette température limite lors de l'envoi du fluide dans la salle.

Une autre cause potentielle d'inconfort est un gradient de température verticale trop élevée. Ce gradient est généralement mesuré entre 1.1m (niveau de la tête pour une personne assise) et 0.1m (niveau des chevilles) au dessus du sol. Des expériences [3] ont montré qu'il ne doit pas dépasser 3°C pour éviter les sensations de chaud à la tête ou au contraire de froid aux pieds. Quant à l'écart entre la température de la pièce et celle extérieure, il ne doit pas dépasser 6°C afin d'éviter les chocs thermiques. La température résultante sèche se situe entre 22 et 24°C environ.

## 3 PROBLEMES LIES AU RAFRAICHISSEMENT

Le principal problème intervenant au niveau du fonctionnement des planchers rafraîchissants est lié aux risques de condensation [3][5][6].

En effet une température de surface du plancher trop basse peut provoquer la condensation de ce dernier. Il convient donc de réguler la température

d'entrée du fluide dans la dalle à partir d'une température limite (température de rosée). Cette dernière est déterminée à l'aide du diagramme de l'air humide.

#### 4 MODELISATION THERMIQUE DU PLANCHER

La bibliothèque de TRANSYS n'inclue pas le modèle de plancher chauffant. Ultérieurement, un composant a été développé [7] en intégrant la géométrie bidimensionnelle approchée du plancher chauffant afin d'étudier numériquement les planchers solaires directs, et prenant en compte correctement les échanges entre les différentes surfaces (tube, face supérieure, face inférieure).

Par souci de cohérence avec le module bâtiment et afin de limiter les temps de calcul, les transferts conductifs au sein de la dalle sont traités par un modèle convolutif [8] (facteurs de réponse).

Nous allons dans notre exposé, exploiter toutes les données concernant le plancher chauffant et en y envoyant des températures basses (17 à 21°C environ) pour le faire fonctionner en mode rafraîchissement. Il s'agit surtout de valoriser l'installation de plancher chauffant en la faisant fonctionner avec de l'eau froide l'été.

##### 4.1 Hypothèse

- nous considérons une température de fluide identique et constante en tout point de la boucle hydraulique [7] ;
- nous considérons qu'il n'y a pas de pertes thermiques sur le pourtour des zones du plancher ;
- les propriétés thermophysiques de la dalle sont supposées indépendantes de la température ;
- au niveau du plancher, l'étude des transferts conductifs est limitée à une demi-section droite (Figure 1) par raison de symétrie.

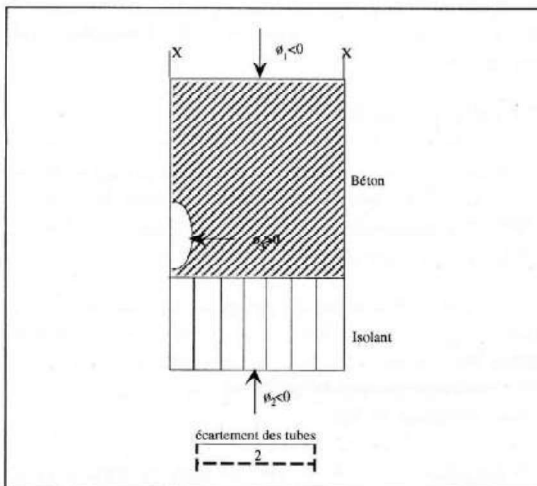


Figure 1 : Section de plancher étudiée.

PC-BAT ou  $\Phi 1$  : flux échangé avec le bâtiment [kwh]

PC-FLU ou  $\Phi 2$  : flux échangé avec le fluide [kwh]

PC-SOL ou  $\Phi 3$  : flux échangé avec le sous-sol [kwh]

##### 4.2 Couplage avec le bâtiment

Les transferts thermiques au sein de l'enveloppe sont de trois types :

- la conduction ;
- la convection ;
- le rayonnement.

Le couplage plancher-bâtiment se fait par la température équivalente et le flux conductif. Le flux conductif est calculé au niveau du modèle plancher en supposant connues les températures équivalentes. Ce flux est ensuite traité comme une variable d'entrée du module bâtiment qui donne une nouvelle estimation de la température équivalente. Ce processus est répété jusqu'à obtention de la convergence.

La température équivalente est calculée au sein du module bâtiment. C'est une température fictive qui donnerait le même flux de chaleur que tous les phénomènes pris en compte dans le bilan thermique de la surface de paroi excepté la conduction.

Les transferts conductifs au niveau de la paroi sont traités par un modèle convolutif, celui de la transformée en Z.

Ce choix a été fait pour deux raisons [7] :

- le nombre de coefficients de la transformée en Z est restreint par rapport à la méthode des facteurs de réponse.
- cette méthode était déjà utilisée dans le modèle de bâtiment livré avec TRANSYS.

#### 5 PRESENTATION DE LA CELLULE

Afin de mener cette étude, une cellule de dimensions 3.75x4.75x2.80m et de parois fortement calorifugées (Tableau 1) est montrée à Oran. La dalle (Figure 2) est composée d'une couche de béton et une autre d'isolant, des tubes en PER (polyéthylène réticulé) sont posés sur cette dernière dès la construction du bâtiment et sont alimentés en eau fraîche. Nous testons la dalle sur vide sanitaire.

Matériau	épaisseur (m)	conductivité (kj/m°C)	masse vol. (kg/m³)	chaleur sp (kj/kg °C)	résistance air (m² °C/kj)
Air	-	-	-	-	0.0278
Enduit	0.01	4.14	1800	1.00	-
Brique	0.10	1.80	1100	0.92	-
Polystyrène	0.04	0.108	38	0.92	-
Air	-	-	-	-	0.0444
Brique	0.10	1.80	1100	0.92	-
Enduit	0.01	4.14	1800	1.00	-
Air	-	-	-	-	0.0694

Tableau 1 : Caractéristiques du mur extérieur (de l'extérieur vers l'intérieur).

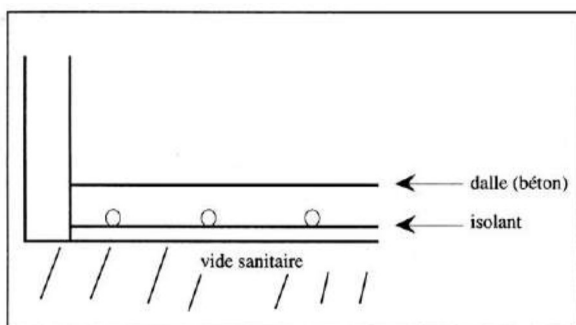


Figure 2 : Coupe schématique d'un plancher hydraulique.

## 6 CHOIX DE LA SOURCE FROIDE

L'eau fraîche qui alimente le plancher provient d'une source froide. La source froide conditionne l'installation [5], [6]. Son coût, sa fiabilité, son entretien sont autant de facteurs qui conduisent à la satisfaction ou non du système plancher rafraîchissant.

Du moment qu'elle fournit une eau froide, il peut s'agir d'un groupe de production d'eau glacée, d'une pompe à chaleur ou encore d'un groupe à absorption. Il est également possible d'utiliser un simple puisage d'eau dans une source d'eau froide (puits, rivière, eau de ville).

Néanmoins, il n'existe pas de sources froides spécialement conçues pour la technique de rafraîchissement par le sol. Il n'y a pas non plus de classement possible qui donnerait la solution la plus avantageuse.

Devant cette difficulté, nous ne nous sommes pas préoccupés dans notre cas du choix de cette source qui sera déterminée dans des études ultérieures. Notre travail est basé essentiellement sur la faisabilité de la technique du plancher hydraulique dans le rafraîchissement des ambiances. Nous supposons donc avoir une température froide constante au préalable.

## 7 EXPLOITATION ET RESULTATS

Les exploitations suivantes ont été réalisées en tenant compte de :

- influence de la température d'eau ;
- influence du débit d'eau ;
- influence de l'épaisseur de dalle (béton) ;
- influence de l'épaisseur de l'isolant ;
- problème de condensation ;
- influence du site.

### 7.1 Influence de la température d'entrée

Pour voir l'influence de la température d'entrée du fluide sur le confort thermique de l'occupant, nous avons alimenté le plancher à des températures variables prises constantes séparément (Tableau 2, figure 3). Les dimensions de la dalle et sa composition restent invariables ainsi que le débit envoyé dans le plancher.

Les résultats sont la moyenne relevée sur l'ensemble de la période de rafraîchissement (juin, juillet, août, septembre), des températures de surface de plancher et la température résultante sèche.

T.d'entrée (°C)	10	12	14	16	18	18
Tsp (°C)	15.83	17.08	18.33	19.59	20.84	22.10
Trs (°C)	17.76	18.75	19.94	20.73	21.72	22.72

Tableau 2 : Influence de la température d'entrée du fluide.

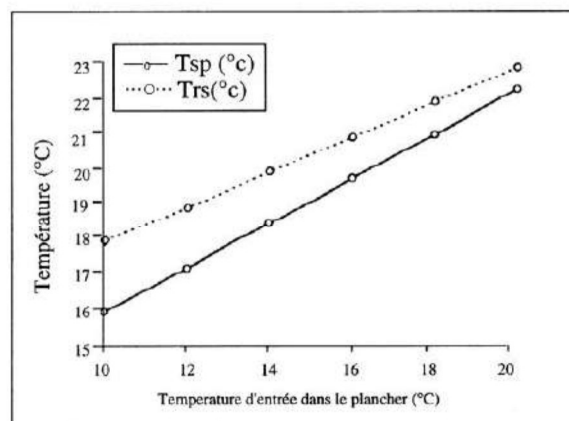


Figure 3 : Variation des températures (Trs et Tsp) en fonction de la température d'entrée du fluide.

On remarque que pour des températures basses (de l'ordre de 10 à 16°C), les critères de confort ne sont pas respectés. Ce n'est qu'à partir d'une température d'entrée de 18°C que nous obtenons des résultats satisfaisants : une température moyenne de surface plancher de l'ordre de 20.84°C et température résultante sèche d'environ 21°C.

Cependant, pour avoir plus de précision, quant à la détermination de ces températures, nous devons suivre leurs évolutions par pas horaire (voir plus loin problème de condensation) et ainsi répondre à tous les critères de confort.

### 7.2 Influence du débit d'eau

Pour des débits variables utilisés (Tableau 3, figure 4), nous considérons la même configuration de la dalle. La température d'entrée du fluide est fixée à 19°C tout au long de la simulation.

On constate une baisse remarquable aux niveaux de températures et des énergies échangées et ce entre un débit de 0 et 60 kg/h car de cette manière on a rafraîchi un local qui a été "au repos", c'est-à-dire qui évoluait librement en été.

En envoyant un débit de 160 kg/h, la différence de température est de 1°C, la variation d'énergie est de 21-25% par rapport à un débit de 60 kg/h.

Débit (kg/h)	000	60	160	260	360
Tam (°C)	25.32	22.87	22.24	22.09	22.02
Tsp (°C)	25.42	22.27	21.47	21.27	21.18
Trs (°C)	25.34	22.85	22.22	22.06	22.00
PC-BAT (kwh)	-69.38	-414.1	-501.7	-523.7	-532.8
PC-FLUI (kwh)	000.0	398.9	500.3	525.5	536.2
PC-SOL (kwh)	65.71	13.69	0.446	-2.841	-4.246

Tableau 3 : Influence du débit d'eau.

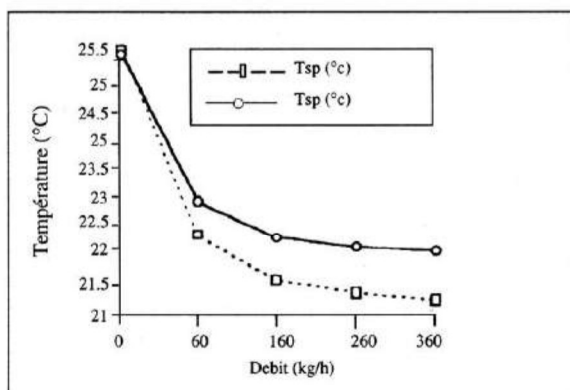


Figure 4 : Variation des températures en fonction du débit.

En augmentant encore le débit (260, 360 kg/h), on observe une variation entre les paramètres, cependant elle n'est pas significative par rapport à la précédente.

D'après les résultats obtenus, on dira qu'il y a un plafonnement de l'efficacité du débit (160kg/h dans notre cas), résultats approuvés par l'expérience [5].

### 7.3 Influence de l'épaisseur de dalle

Pour des épaisseurs variables de la dalle, nous suivons l'évolution des différents paramètres (Tableau 4). L'épaisseur de l'isolant, la température d'entrée du fluide ainsi que le débit envoyé dans le plancher sont pris constants le long de la simulation.

Epaisseur (cm)	07	10	15	20	25	30
Tambiante (°C)	21.90	22.00	22.16	22.30	22.44	22.57
Tsp (°C)	21.03	21.15	21.36	21.54	21.72	21.89
Trs (°C)	21.87	21.97	22.13	22.28	22.42	22.55
PC-BAT (kwh)	-550.1	-536.2	-513.9	-493.4	-474.6	-456.1
PC-SOL (kwh)	0.6401	-0.01636	0.9381	-1.785	-2.574	-3.238

Tableau 4 : Influence de l'épaisseur de la dalle, I=10cm.

La température d'ambiance varie de 21 à 22.5°C environ, la température du plancher ne descend pas dessous de 20°C, la température sèche varie entre 21 et 23°C, la différence de température entre l'intérieur ne dépasse pas 2°C, le gradient de température verti-

cale n'excède pas 2°C. Toutes ces conditions réunies évitent la sensation d'inconfort.

Si nous analysons nos résultats de simulation sur l'énergie cédée par le plancher au bâtiment (Figure 5) nous remarquons ainsi que lorsque l'épaisseur de la dalle augmente, le flux cédé à l'ambiance diminue, ce qui favorise les déperditions vers le sous-sol (vers le bas). Une dalle de 30cm présente un stockage d'énergie de 17% par rapport à celle de 07cm. Ce stockage n'est que de 04% entre 15 et 10cm, donc sans grande incidence sur la variation des températures; résultats qui nous permettent de dire qu'il est possible de concevoir une dalle de 10 cm d'épaisseur tout en respectant les critères de confort.

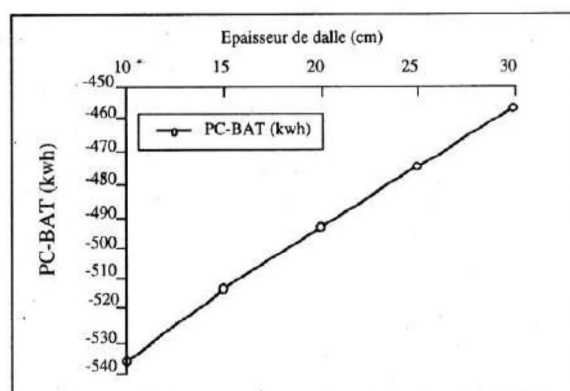


Figure 5 : Energie cédée à l'ambiance en fonction de l'épaisseur de la dalle, I=10cm.

### 7.4 Influence de l'épaisseur de l'isolant

La procédure d'essai est celle utilisée pour influencer de "l'épaisseur de dalle". La seule différence réside dans l'épaisseur de l'isolant : elle est fixée à 05cm (Tableau 5) contre 10 cm pour l'exploitation précédente (Tableau 4).

Epaisseur (cm)	15	20	25	30
Tamb (°C)	22.16	22.30	22.44	22.57
Tsp (°C)	21.36	21.55	21.72	21.89
Trs (°C)	22.13	22.28	22.42	22.55
PC-BAT (kwh)	-513.7	-493.1	-474.1	-455.6
PC-SOL. (kwh)	-1.697	-3.234	-4.666	-5.871

Tableau 5 : Influence de l'épaisseur d'isolant, I=05cm.

Pour une épaisseur d'isolant de 10 cm, les déperditions vers le sol sont de 44% environ en moins par rapport à une épaisseur d'isolant de 05cm. Plus l'épaisseur d'isolant augmente, moins les déperditions vers le sol sont importantes (Figure 6).

Cependant, les flux cédés au bâtiment sont pratiquement les mêmes pour les deux épaisseurs donc l'influence sur les différentes températures ne sera pas sentie.

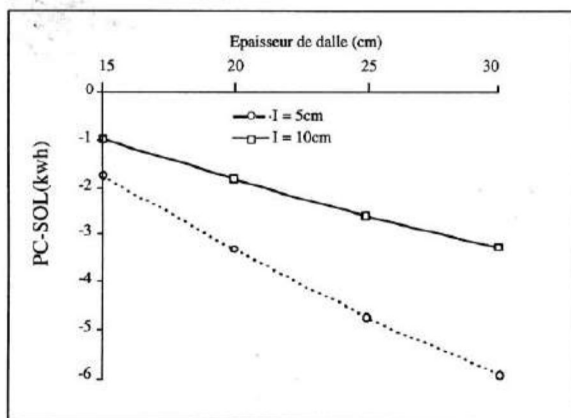


Figure 6 : Flux cédé au sol.

Malgré ces déperditions vers le sol, on peut se contenter d'une épaisseur de 05 cm d'isolant vu que le confort lié aux températures est assuré.

### 7.5 Problème de condensation

Afin d'analyser le problème de condensation, nous avons étudié l'évolution des températures (Trs, Tsp, gradient vertical de température).

Un certain nombre de journées représentatives ont été retenues : c'est le cas du 02 et 05 Août (Figure 7 et 8). Nous considérons séparément deux températures d'entrée du fluide, 19 et 21°C.

Pour le 02 Août, la condensation du sol peut s'observer (Figure 7) en envoyant une température de 19°C, là où la température de surface plancher est inférieure à celle de rosée (entre 1h et 5h et entre 7h et 10h du matin).

Pour une température de 21°C, le problème de condensation ne se pose plus.

Pour la journée du 05 Août (Figure 8), le problème de condensation est accentué pour une température d'entrée de 19°C. les températures de rosée sont élevées, de l'ordre de 23°C.

Le risque de condensation est diminué avec une température de départ de 21°C, cependant il n'est pas éliminé. On rencontre ce risque à 3h du matin. Une température d'entrée plus grande, de l'ordre de 22°C, écartera ce problème.

Globalement, on peut dire que les critères de confort ont été respectés :

- une température de sol supérieure à 21°C,
- un gradient vertical de température entre le sol et l'ambiance maximum de 2°C, la température résultante sèche ne dépasse pas 25°C.

Néanmoins pour éviter les problèmes liés à la condensation pendant toute la période de rafraîchissement, nous devons augmenter la température d'entrée dans le plancher (22°C).

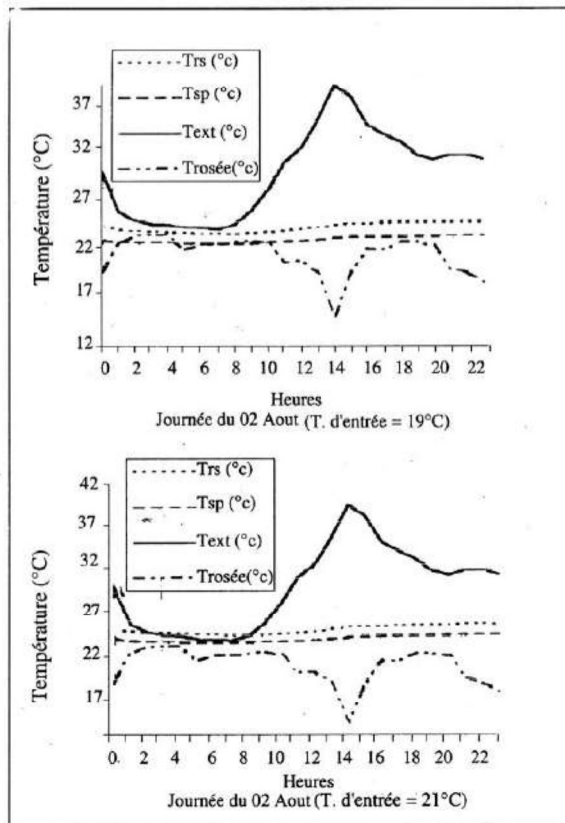


Figure 7 : Evolution des températures. (Oran).

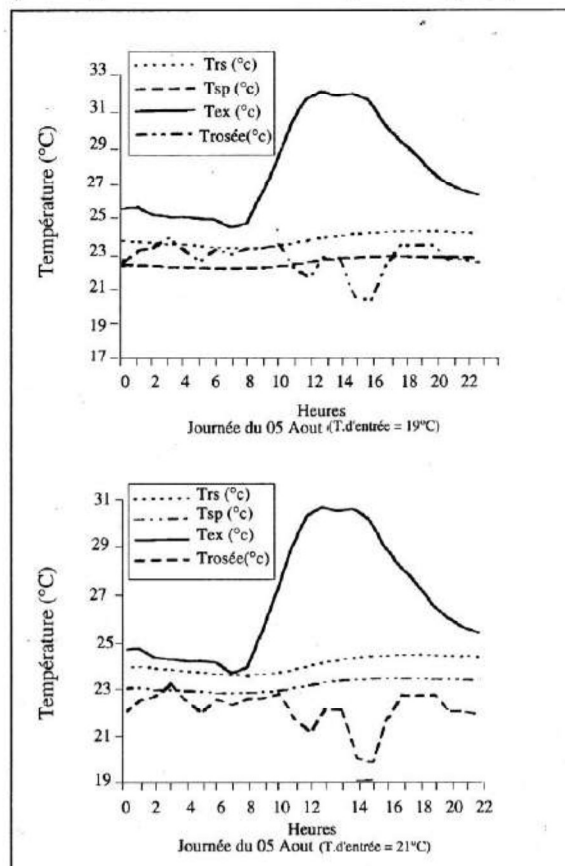


Figure 8 : Evolution des températures. (Oran).

## 7.6 Influence du site

Nous avons en notre possession un fichier météorologique de Carpentras (France), il représente le climat continental. Nous l'avons comparé à celui d'Oran Algérie, ce dernier représente le climat méditerranéen.

Pour la région d'Oran, nous avons pu voir précédemment qu'une température d'entrée de fluide dans le plancher avoisinant 22°C éliminera le problème de condensation.

La même procédure d'essai est appliquée pour Carpentras seulement nous alimentons le plancher avec des températures différentes 17 et 19°C. Les deux journées représentatives sont le 13 et 14 Juillet (Figure 9 et 10). Les températures de rosée sont relativement faibles, exceptionnellement 20°C.

La condensation est observée pendant la journée du 14 juillet, entre 12h et 14h, lorsque la température d'entrée est de 17°C. Le risque est dépassé assez largement pour une température d'entrée de 19°C. Une température de 18°C pourrait suffire.

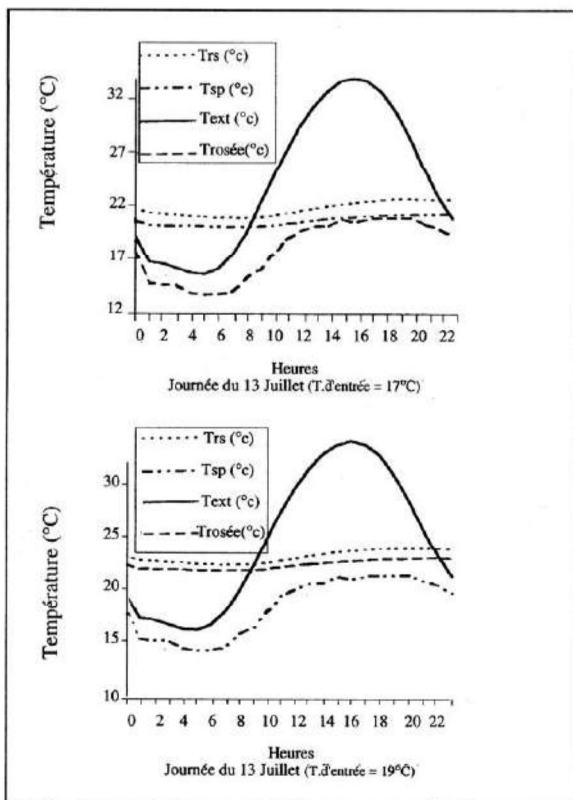


Figure 9 : Evolution des températures, (Carpentras).

Pour conclure, nous pourrions dire que le site a une incidence sur la détermination de la température d'entrée du fluide dans le plancher. En effet, s'il faut alimenter à une température de l'ordre de 22°C dans une zone à hygrométrie forte (Oran), une température de 18°C semblerait suffire dans le cas d'une zone à

hygrométrie faible (Carpentras) et l'ensemble des critères de "confort été" étant respecté.

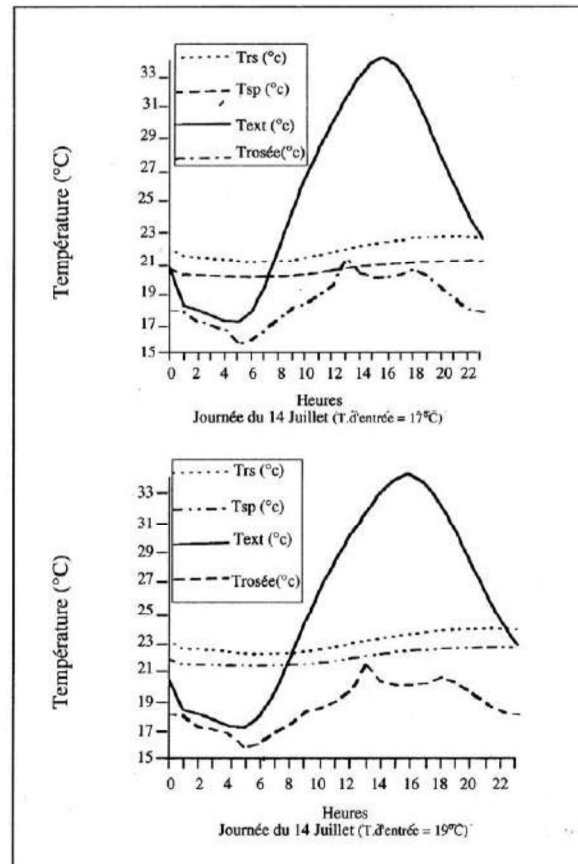


Figure 10 : Evolution des températures, (Carpentras).

## CONCLUSION

L'étude théorique de plancher rafraîchissant réalisée en cellule climatique à Oran a mis en évidence que le procédé pouvait effectivement donner satisfaction en matière de rafraîchissement des ambiances, un abaissement de 4°C des températures d'air étant possible avec une température d'eau relativement élevée, de l'ordre de 22°C.

La température d'eau doit-être choisie en fonction :

- du confort thermique (température du sol, gradient vertical, température résultante sèche);
- des risques de condensation.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. Bienfait, C. Feldman : "La climatisation par plafonds rafraîchissants". revue promoclim, tome 25 N°6, Oct/Nov. 1994.
- [2] F.A. Missenard : "Le chauffage et le rafraîchissement par rayonnement". 1ère Edition Eyrolles (Paris 1959).

- [3] M.T. : "Une alternative à la clim légère": RFP N°749, Avril 94/2. *par le sol".4 revue promoclim tome 25 N° 2, mars/Avril 1994.*
- [4] TRANSYS : "A Transient System Simulation Program". Manual Laboratory, Université of Wisconsin, USA.
- [5] E. Michel, J.P Isoardi : "Dossier rafraîchissement par le sol". Le journal CCI N°3, édition Française, 15 Mars 1994.
- [6] E. Michel : "Les installations de rafraîchissement
- [7] P. Papillon : "Contribution à l'amélioration de la technique du plancher solaire direct". Thèse de doctorat, Université de Savoie, 1992.
- [8] J. Brau, J. Sornay, B. Berges & A. Neveu : "Méthodes de transferts convolutives. Facteurs de réponses, coefficients de fonctions de transfert, coordonnées normales". Energétiques des bâtiments, PYC Edition, 1988.

## DANS LE PROCHAIN NUMERO

• ANALYSE DE LA REPOSE SISMIQUE DE FONDATIONS  
FILANTES SOLLICITEES PAR L'INCIDENCE D'ONDES  
PLANES DE TYPES P, SV ET RAYLEIGH EN UTILISANT LA  
METHODE DES EQUATIONS INTEGRALES AUX FRONTIERES

**H. Hadid & M.K. Berrah**

• CLACUL ET ANALYSE DE LA REPOSE DYNAMIQUE DES  
FONDATIONS ENTERREES PAR UNE METHODE  
APPROXIMATIVE AU SOL DE RENFORCEMENT

**Z. Harrichane & M. Ghrici**

• IDENTIFICATION DES CENDRES DE BOUES  
DE STATION D'EPURATION

**A. Guezouli, J. Gielly, L. Curtil & D. Kerdal**

• VERS UNE MEILLEURE CONNAISSANCE  
DE LA BRIQUE SILICO-CALCAIRE

**H. Khellafi, A. Mokhtari & L. Kara Mohamed**