METHODE DE CHAUFFAGE PAR PLANCHER SOLAIRE DIRECT
Bilan d'une campagne de mesures

Par
A. TAHAKOURT
Docteur en Génie Civil, Centre Universitaire de Béjaïa

Résumé

Le travail présenté illustre l'utilisation de l'énergie solaire comme moyen de chauffage en bâtiment. Il concerne particulièrement la technique de chauffage par plancher solaire direct. L'étude s'appuie sur les résultats de mesures réalisées sur une maison équipée d'un tel système de chauffage.

Le fonctionnement des planchers et le bilan énergétique global de l'installation sont présentés.

Mots clés : énergie solaire - chauffage - plancher solaire direct - apports solaires actifs et passifs - bilan énergétique.

1 INTRODUCTION

Le soleil nous envoie une énergie noble, utilisable pour de multiples usages, sous forme de rayonnements ultraviolets, et surtout, dans une proportion sensiblement égale, de la lumière et de la chaleur (infrarouge). L'énergie produite par le soleil n'arrive que partiellement à la surface de la terre. Une part importante de cette énergie est réfléchie par l'atmosphère ou absorbée par celle-ci. La part de cette énergie que nous recevons nous parvient sous forme directe ou diffuse.

La récupération de l'énergie solaire et son utilisation pour répondre aux besoins domestiques, tout en respectant l'environnement, est un domaine varié. Nous nous intéressons dans cette étude à une technique particulière qu'est le plancher solaire direct (PSD). L'étude comporte une grande partie expérimentale, basée sur les résultats d'une campagne de mesures. Cette dernière concerne une maison équipée d'un système de chauffage par le sol (plancher solaire direct), construite en Bretagne (ouest de la France) où le climat est de type océanique. Un bilan énergétique de l'installation solaire est présenté.

2 L'HABITAT CLIMATIQUE

La principale caractéristique d'un habitat consiste à valoriser les apports solaires gratuits par l'orientation, une architecture adaptée, un environnement, et à diminuer les déperditions d'énergie par des techniques et des matériaux de construction adéquats [1]. Quatre principes de base doivent guider la construction de ce type d'habitat :

a/ <u>se protéger des vents dominants</u> :

- bâtiments compacts,
- création d'espace tampon au nord, garages, caves, zones non chauffées,
- végétations persistantes au nord,
- réduction des ouvertures au nord.

b/ <u>capter le soleil</u> :

- baies vitrées au sud, sud-est et sud-ouest,
- utilisation d'une serre.

c/ <u>stocker et restituer</u> :

- utiliser des matériaux lourds, à forte inertie thermique à l'intérieur,
- peindre les surfaces réceptives de couleurs sombres,
- limiter les déperditions thermiques des parois extérieures par une bonne isolation, le traitement des ponts thermiques et l'isolation nocturne des vitrages.

Les apports solaires gratuits (passifs) valorisés par les principes précédents sont additionnés aux apports solaires actifs apportés par une installation de chauffage solaire comme par exemple le PSD.

3 PRINCIPES DES PLANCHERS SOLAIRES DIRECTS

3.1 Le plancher solaire direct (PSD)

Les systèmes héliothermiques classiques utilisant un stockage d'eau permettent de bien maîtriser les conditions de confort, car l'énergie solaire n'est utilisée qu'en fonction des besoins. L'excédent éventuel d'énergie est stocké dans un réservoir. Toutefois, ces systèmes sont coûteux en raison de leur complexité.

L'idée des planchers solaires directs (PSD) consiste à utiliser l'énergie solaire par l'intermédiaire d'émetteurs inertes. Cela permet de simplifier le schéma du système (Figure 1). L'eau sortant des capteurs solaires peut circuler directement dans le plancher. La seule possibilité de stockage est alors le plancher lui-même. Si le plancher accumule de la chaleur, sa température de surface s'élève et ceci peut entraîner des surchauffes et un inconfort en mi-saison. Cependant, le plancher chauffant est un émetteur de grande surface, il peut fournir l'énergie nécessaire au chauffage avec une température de surface assez basse.

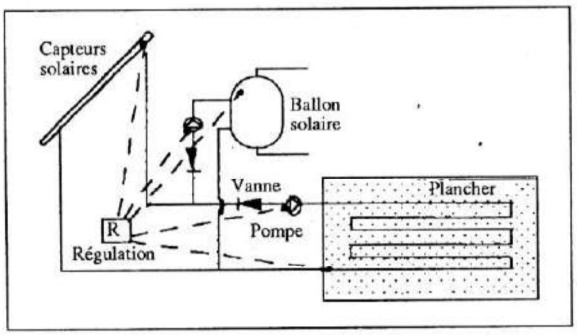


Figure 1 : Exemple d'un schéma général d'une installation de PSD.

L'objectif est donc de gérer au mieux l'énergie solaire disponible des capteurs et de fournir de l'énergie aux locaux sans avoir de surchauffes en surface. Pour cela, une régulation automatique est intégrée au système. Celle-ci permet d'arrêter la circulation d'eau chaude dans le plancher quand la température de surface dépasse une valeur maximale (exemple 24°C), et de rétablir la circulation de l'eau quand la température de surface est inférieure à une température minimale (exemple 22 °C). La capacité de stockage du plancher, compte tenu de ce réglage, va donc dépendre de son épaisseur. Plus la dalle est épaisse (jusqu'à 30 cm), plus les variations de température à l'intérieur sont faibles. L'énergie solaire, sous forme d'eau chaude circulant dans le PSD, sera restituée au volume habitable avec un décalage dans le temps (5 à 10 heures pour une dalle de 15 à 30 cm).

3.2 Les capteurs solaires

Les capteurs solaires sont généralement intégrés en toiture des maisons. Avec cette position, les capteurs servent en même temps de couverture, ce qui permet une certaine économie sur la couverture classique (tuiles, ardoise,...). Le ratio moyen pour calculer la surface des capteurs par rapport à la surface du plancher à chauffer s'établit entre 0.1 et 0.25. Bien sûr une orientation "sud" est indispensable (avec une tolérance de ± 15°). Quant à l'inclinaison de ces capteurs par rapport à l'horizontale, on recommande des inclinaisons de 30 à 90° selon la position géographique et le type du climat.

3.3 Chauffage d'appoint

Pour relayer (partiellement ou totalement) le PSD pendant les périodes d'hiver les plus défavorables (plusieurs jours sans soleil), il est nécessaire de prévoir un système de chauffage d'appoint (chauffage au gaz, convecteurs électriques,...).

3.4 Remarque

Le PSD étant couplé à un ballon solaire, en période de mi-saison, où les besoins en chauffage ne sont pas importants, une partie de l'énergie captée est utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS). En période estivale, l'installation solaire est utilisée uniquement pour la production de l'ECS.

4 SUIVI EXPERIMENTAL D'UNE MAISON EQUIPEE DE (PSD)

L'étude que nous présentons s'appuie sur le suivi expérimental d'un pavillon construit dans la commune de Chartres de Bretagne près de la ville de Rennes (France). La région jouit d'un climat océanique où dominent la modération des températures, une humidité relativement abondante et la présence quasi-permanente de vents. L'agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (AFME) a chargé le laboratoire GTMa (Géomécanique, Thermique et Matériaux) de l'INSA de Rennes, du suivi expérimental que nous avons réalisé pendant deux saisons de chauffage 1989-90 et 1990-91.

4.1 Présentation de la réalisation

4.1.1 Composition de l'enveloppe

L'ensemble du projet correspond à une maison d'habitation construite sur terre-plein et comprenant un étage sous toiture. La façade sud de la maison comporte une serre de 15 m^2 séparée du coin "Repas" par une baie vitrée (Figure 2). La réduction des déperditions thermiques de l'enveloppe est obtenue par :

- un renforcement de l'isolation thermique des murs,
- une construction sur terre-plein avec une isolation uniforme,
- une mise en place de vitrages isolants équipés de volets roulants.

4.1.2 Plancher solaire direct

Le plancher solaire direct est constitué de 12.15 m^2 de capteurs solaires intégrés en toiture et inclinés à 30 degrés. Ceux-ci sont reliés par l'intermédiaire d'un groupe de transfert à 140 m^2 de plancher chauffant dont 55% sur terre-plein et 45% en dalle intermédiaire. Le ratio est de 1 m^2 de capteur pour 12 m^2 de plancher. Le chauffage d'appoint est assuré par des convecteurs électriques.

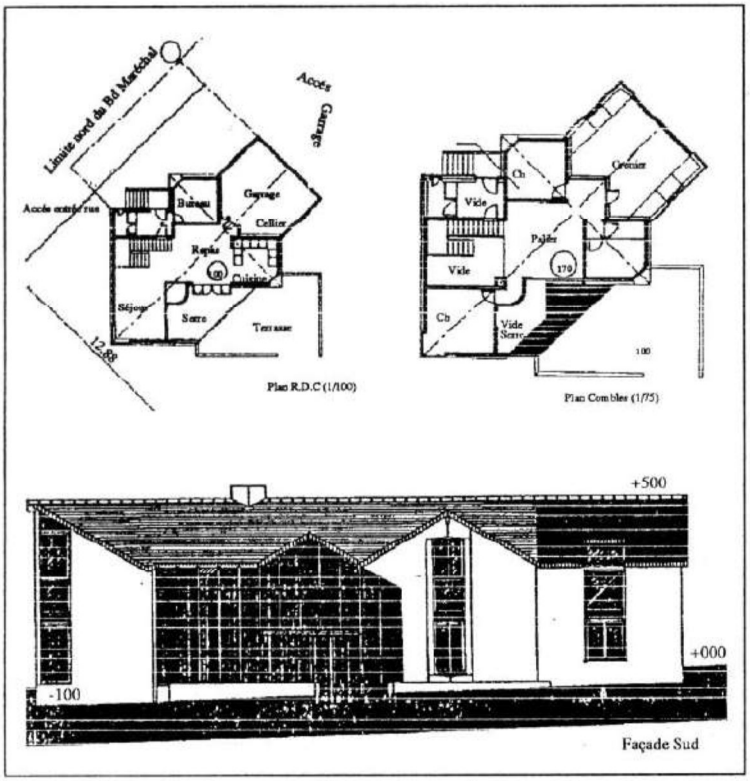


Figure 2 : Plans et façade Sud de la maison expérimentée.

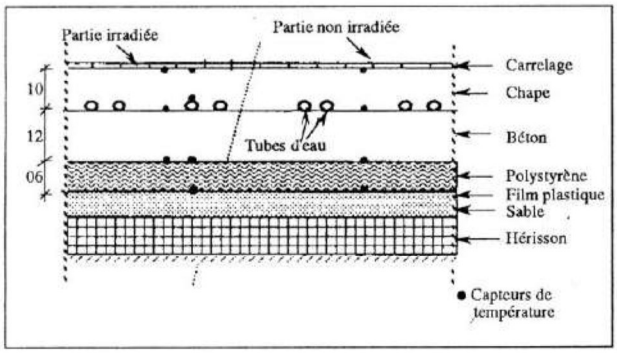


Figure 3 : Coupe du plancher sur terre-plein.

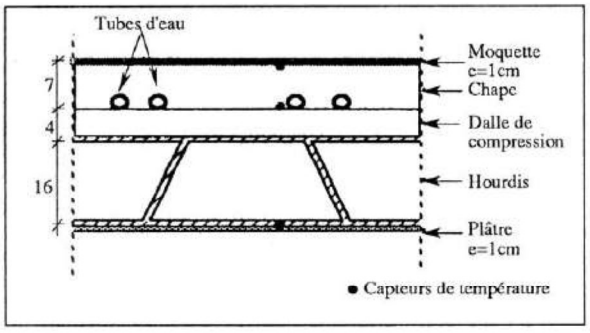


Figure 4 : Coupe de la dalle intermédiaire.

4.1.3 Métrologie et système d'acquisition automatique

Ce pavillon a été instrumenté au fur et à mesure de sa construction. La métrologie comprend essentiellement des capteurs de température, des débitmètres à impulsion et des compteurs électriques à impulsion servant à mesurer la consommation des convecteurs électriques. La majorité des capteurs concerne les dalles chauffantes du rez-de-chaussée et de l'étage dont le comportement faisait l'objet du suivi (Figures 3 et 4). Au rez-de-chaussée, deux points de mesure, l'un soumis aux apports solaires directs et l'autre situé en zone non ensoleillée, servent à comparer et à mesurer l'influence d'un flux solaire incident.

Le système d'acquisition se compose de deux centrales de mesures de vingt voies chacune, de type IMPs Schlumberger, pilotées par un micro-ordinateur PC (Figure 5). Les mesures enregistrées sont stockées sur des disquettes toutes les 15 minutes. Ceci permet des enregistrements en continu pendant une semaine.

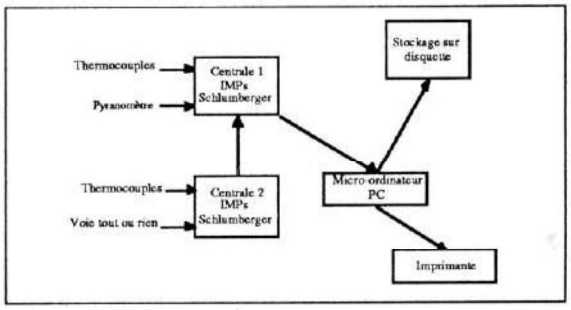


Figure 5 : Chaîne automatique de mesures.

L'hiver 1989-90, particulièrement doux, ne nous a pas permis d'enregistrer des séquences significatives ; par contre, la deuxième saison de chauffage, 1990-91, a été caractérisée par des conditions climatiques normales. Pour cette dernière, plusieurs séquences significatives ont été enregistrées [2] ; nous avons sélectionné deux périodes de mesures particulières.

4.2 Analyse du fonctionnement du plancher solaire direct

Le comportement et les performances du système solaire "capteurs-plancher chauffant" sont étudiés à travers deux périodes significatives correspondant à des journées ensoleillées et sans soleil d'hiver.

4.2.2 Période froide et ensoleillée (du 5 au 7 Février 1991)

Lors de la deuxième journée, quelques passages nuageux provoquent des déclenchements successifs (arrêt-démarrage) du système solaire et le temps de fonctionnement du système n'est que de 5 heures au maximum à cette période de l'année. Consécutivement, la température de la dalle (Tdalle-rdc, mesurée dans le béton au niveau des tubes d'eau) ne remonte que de 2 à 3 °C et sa température moyenne est de 17 °C (Figure 6). Excepté pendant les heures où il y a fonctionnement du système solaire, la température de la dalle est inférieure de 1 °C à celle de l'air ambiant et leurs évolutions sont similaires. Lors de la phase de restitution de chaleur, le transfert de chaleur s'effectue presque exclusivement par rayonnement vers les parois froides du logement (baies vitrées, murs extérieurs,...). La température de sol (Tsol) en dessous de l'isolant, compte tenu des pertes par conduction, reste à une température légèrement supérieure à 15 °C (Figure 7).

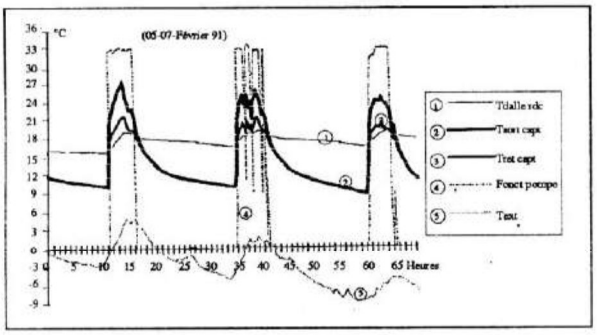


Figure 6 : Fonctionnement du PSD.

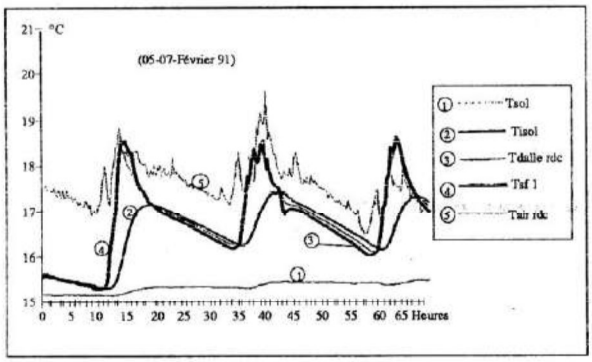


Figure 7 : Températures du plancher sur terre-plein.

- **Comparaison entre zones de plancher ensoleillée et non ensoleillée**

La figure 8 présente les évolutions des températures d'air intérieur (rez-de-chaussée et étage) ainsi que les variations des températures de surface du plancher bas sur terre-plein, en deux points d'une même boucle, les capteurs de température étant placés sous le carrelage. L'un des points est soumis à un flux solaire direct, Tsf1, l'autre non, Tsf2, parce que placé en partie "nord" du séjour. En raison du rayonnement solaire reçu par la surface du plancher, la température dans la zone située près des baies vitrées "sud" est supérieure de 1.5 °C à celle de la zone masquée Tsf2. Par contre, pendant la nuit, la décroissance est plus rapide dans la première zone, compte tenu d'échanges radiatifs plus intenses dans cette partie proche des baies vitrées. Cette courbe montre l'intérêt de disposer de protections nocturnes des portes-fenêtres donnant sur la serre. En période de demi-saison (Mars, Avril) l'écart entre les températures Tsf1 et Tsf2 est plus important (environ 3 °C).

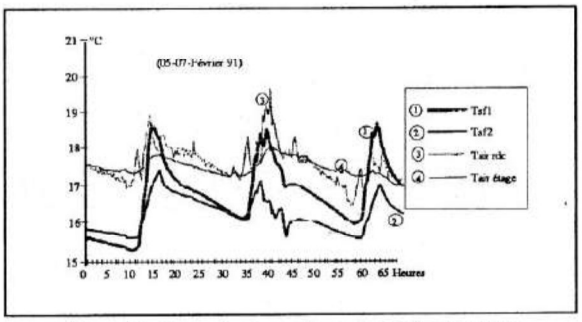


Figure 8 : Températures de surface du plancher sur terre-plein.

- **Fonctionnement de la dalle intermédiaire**

La température intérieure à l'étage fluctue beaucoup moins qu'au rez-de-chaussée (Figure 8). Ceci est dû aux mouvements d'air plus importants au rez-chaussée (ouverture des portes, garage, serre,...) et aux apports solaires également plus élevés qu'à l'étage. En période hivernale, le profil de température (Figure 9) correspond à :

$$T_{plafond} > T_{dalle\text{-}étage} > T_{surface\ dalle\ étage} > T_{air\ étage}$$

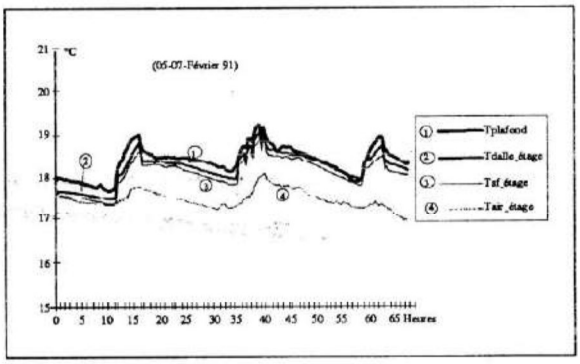


Figure 9 : Températures de la dalle intermédiaire.

La présence d'un matelas d'air chaud en sous-face de la dalle intermédiare, limite les transferts de chaleur vers le bas, tandis que l'échange en partie supérieure correspond à un transfert convectif et radiatif. Compte tenu à la fois du fonctionnement des convecteurs électriques et de déperditions thermiques plus faibles, la restitution de la chaleur par la dalle d'étage se fait plus lentement que pour le plancher chauffant sur terre-plein. La température moyenne du plancher haut est de 18.3 °C contre 17 °C pour le plancher sur terre-plein.

4.2.2 Période froide non ensoleillée (du 28 au 30 Janvier 1991)

Lors de ces journées, les dalles chauffantes restent à températures constantes et n'émettent pratiquement aucune chaleur vers l'ambiance (Figure 10, 11 et 12). La température de la dalle d'étage est sensiblement analogue à celle de l'air intérieur à l'étage, 17 °C environ, tandis que le plancher sur terre-plein est, à cause des déperditions thermiques, à une température de 15 °C.

Les pics réguliers qui apparaissent sur la courbe d'évolution de la température d'air du rez-de-chaussée sont dus aux déclenchements fréquents des convecteurs électriques.

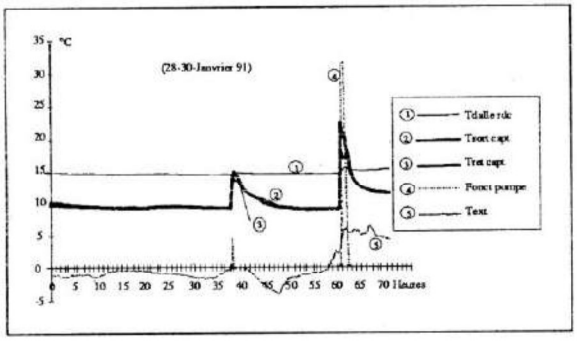


Figure 10 : Fonctionnement du PSD.

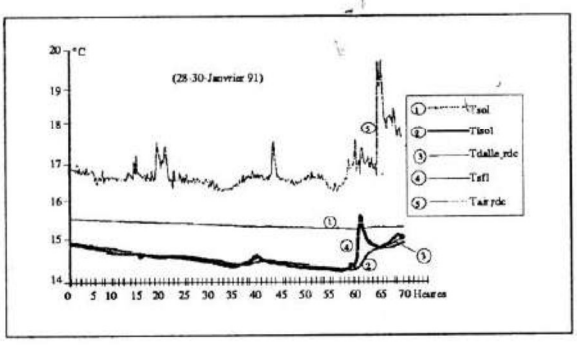


Figure 11 : Températures du plancher sur terre-plein.

4.2 Bilan global

4.2.1 Coefficients thermiques réglementaires

La présence de deux planchers lourds, rez-de-chaussée sur terre-plein et dalle intermédiaire, ainsi

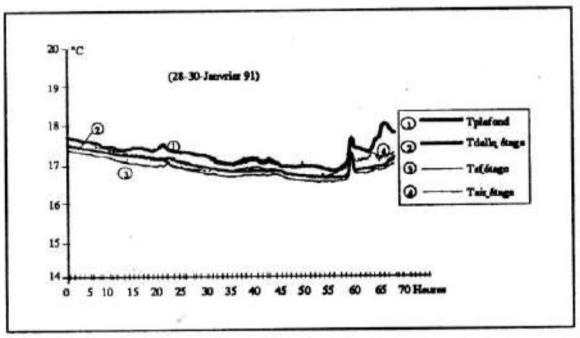


Figure 12 : Températures de la dalle intermédiaire.

que l'isolation thermique par l'extérieur des parois opaques font que cette maison peut être classée dans la catégorie "*inertie forte*".

Les calculs thermiques réglementaires [3], des déperditions thermiques et des besoins en chauffage, effectués conduisent aux valeurs suivantes des coefficients GV et BV :

GV = 320 W/°C	GVréf = 319.2 W/°C
BV = 198 W/°C	BVréf = 236.2 W/°C

L'inertie forte de la construction, la serre sud encastrée et une majorité de vitrages orientés dans le secteur sud-est à sud-ouest, expliquent la valeur importante du taux de récupération d'apports solaires directs (surface sud équivalente Sse = 8.3 m^2, coefficient F = 0.38).

4.2.2 Importance des apports solaires actifs et passifs

Une estimation des apports solaires passifs et actifs globaux durant la saison de chauffage (22/11/90 au 24/5/91) a pu être établie comme suit : une évaluation expérimentale du coefficient GV a été faite à partir des mesures effectuées durant des périodes peu ensoleillées. Elle a confirmé la valeur fournie par les calculs thermiques réglementaires, ce qui a permis d'évaluer les besoins de chauffage de la maison durant cette période à partir de la valeur du coefficient BV précédemment calculé (198 W/°C) et des données expérimentales de températures intérieures et extérieures, qui ont permis de calculer le nombre de degrés heures (DH) de la période correspondante soit 47 815 DH ainsi que les besoins de chauffage qui s'élèvent à :

198 x 47 815 = 9 467 kWh

Les apports internes ont été évalués pour la consommation électrique autres usages à 2 000 kWh. La consommation totale d'électricité durant cette période ayant été de 7 642 kWh, la consommation électrique de chauffage a été de 5 642 kWh, ce qui donne un apport du PSD de 9 467 - 5 642 = 3 825 kWh. Quant aux apports solaires directs, on les déduit de

(GV - BV) x DH moins les apports internes. Pour ces derniers, on les a évalué à la même valeur que la consommation électrique autres usages, en estimant que la fraction non récupérée était compensée par l'apport dû au métabolisme des habitants. Le calcul des apports solaires directs donne donc :

((320 - 198) x 47 815) - 2 000 = 3 833 kWh

Le bilan énergétique est résumé dans le tableau suivant ainsi que sur la figure 13.

Apports internes	2 000 kWh	13%
Apports solaires directs	3 833 kWh	25%
Apports dus au PSD	3 825 kWh	25%
Chauffage élect d'appoint	5 642 kWh	37%
TOTAL	15 300 kWh	100%

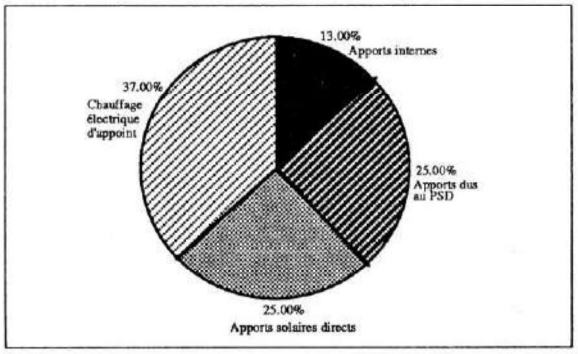


Figure 13 : Répartition des apports énergétiques.

Pour les mois froids et peu ensoleillés (Décembre et Janvier), l'apport par le plancher solaire direct reste relativement faible, soit environ 10%. Cette part augmente d'une façon sensible à partir du mois de Février. Globalement, l'installation solaire couvre sur l'ensemble de la saison de chauffage environ 30% des besoins totaux d'énergie. A l'échelle d'une année, avec un hiver sensiblement conforme aux valeurs statistiques moyennes, les mesures montrent que les apports d'énergie par l'installation solaire (plancher chauffant en hiver, eau chaude sanitaire en été), représentent près de 40% de la facture énergitique.

Le comportement thermique en régime transitoire des planchers solaires directs reste difficile à appréhender. Afin de mieux comprendre ce phénomène, des études sur modèles réduits s'avèrent nécessaires [4]. A partir de ces études (théoriques et expérimentales), les apports énergétiques seront connus avec une meilleure précision [5], permettant ainsi d'affiner certains logiciels de simulation connus en thermique du bâtiment mais qui ne contiennent pas l'élément "*Plancher chauffant*", comme par exemple "*TRNSYS*" [6].

CONCLUSION

L'utilisation de l'énergie solaire comme moyen de chauffage doit être développée car c'est un domaine qui est caractérisé par la disponibilité d'une énergie renouvelable et écologique. Le chauffage par plancher solaire direct présente l'avantage de mieux cerner le problème du confort des personnes utilisant ce système, à condition de maîtriser le comportement thermique de l'émetteur.

L'étude présentée a montré que les apports solaires actifs et passifs sont en bonne complémentarité. Durant deux saisons de chauffage nous n'avons pas enregistré de surchauffes marquées malgré un fonctionnement simultané du PSD et des apports solaires directs. L'étude a montré aussi que pour le climat particulier Breton, l'installation solaire couvre 40% de la facture énergétique. En Algérie, l'irradiation solaire globale et la durée annuelle d'insolation sont beaucoup plus importantes. Le rendement des installations du type PSD sera meilleur et il serait intéressant d'expérimenter ce type de système surtout dans les zones montagneuses et les hauts plateaux où les besoins de chauffage sont importants en hiver ❷

BIBLIOGRAPHIE

[1] R.M Lebens : "*Habitat solaire passif. Méthode de conception et de calcul*". Edition du Moniteur 1983.

[2] A. Tahakourt :"*Etude du comportement thermique en régime transitoire des planchers solaires directs par la méthode des facteurs de réponse. Validations expérimentales*". Thèse de Doctorat, INSA de Rennes, Juillet 1992, France.

[3] D.T.U : "*Règles ThG et ThK 1988 et ThBV 1989*".

[4] A. Tahakourt : "*Détermination numérique et expérimentale des facteurs de réponse d'un plancher chauffant*". Algérie EQUIPEMENT, pp. 19 à 24, n°10, Octobre 1993.

[5] A. Tahakourt, J. Miriel & J. Schmouker : "*Modèle de simulation des planchers chauffants : Application de la méthode des facteurs de réponse et validation expérimentale*". Revue Générale de Thermique, France, pp. 433 à 438, Août-Septembre 1993.

[6] TRNSYS : "*A transient simulation program*". Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA.