

ETUDE D'UN BATIMENT BASSE ENERGIE ; DEVELOPPEMENT ET APPLICATION DU PRINCIPE DE RAFRAICHISSEMENT SOLAIRE

Thibaut Vitte– thibaut.vitte@insa-lyon.fr

Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA) – CETHIL

20 Av. A. Einstein 69621 Villeurbanne – France

Alexia Novacq– alexia.novacq@insa-lyon.fr

Jean Brau– jean.brau@insa-lyon.fr

Abstract. *This article presents the study done on an individual house located in Macon, France. From the model of a house called 'reference house', in conformity with French thermal regulation, different parameters concerning the walls, the screenings or the ventilation are modeled separately in TRNSYS in order to assess the ones which influenced most thermal comfort. Special attention is given to summer conditions.*

In that specific context of summer conditions and renewable energies, a dehumidification wheel model is developed and introduced in a solar desiccant cooling system.

Simulations show that good and clever individual house conception is enough to get a reasonable level of thermal comfort on the whole year, without using any active cooling technologies such as traditional air conditioning or solar cooling.

However solar desiccant cooling is still accurate for office buildings where internal loads are higher.

Keywords: *low-energy building, building conception, solar energy, desiccant cooling, TRNSYS.*

1. INTRODUCTION

Le secteur du logement a consommé 47% de l'énergie totale produite en France en 2002. Ce chiffre va aller grandissant avec la généralisation de l'utilisation de la climatisation.

Dans ce contexte et dans l'objectif de limiter les besoins en énergie afin de préserver l'environnement, il est primordial de bien concevoir les maisons individuelles et de les équiper de systèmes basés sur les énergies renouvelables.

Ce document présente les résultats des simulations effectuées sous TRNSYS après avoir montré l'intérêt du rafraîchissement solaire.

2. LE LOGICIEL DE SIMULATION : TRNSYS15

TRNSYS (TraNscient SYstems Simulation programm) est un outil flexible conçu pour simuler les performances énergétiques de systèmes dynamiques. Développé par l'Université de

Wisconsin et l'Université du Colorado, TRNSYS était à l'origine utilisé pour simuler des composants relatifs à l'utilisation des énergies solaires. La spécificité du logiciel consiste en son aspect modulaire. En effet, il est bâti à partir d'une liste de sous-programmes en Fortran constituant des modules ou types. Chaque type est un objet informatique indépendant : il correspond à un élément du système thermique et se compose d'entrées, de sorties et de paramètres. Pour simuler le fonctionnement d'un système dans sa globalité, l'utilisateur doit d'abord définir les différents composants de ce système à partir d'une bibliothèque de types et de les connecter entre eux pour constituer le système complet. Une interface graphique appelée ISIBAT permet de visualiser tous les composants d'un système.

3. LE RAFRAICHISSEMENT SOLAIRE

Le rafraîchissement solaire, terme antinomique, consiste à produire du froid à partir de l'énergie solaire. L'intérêt d'une telle technique est immédiat. En effet, les besoins en terme de rafraîchissement des locaux apparaissent lorsque les apports solaires sont importants, ceux-ci régissant la puissance de réfrigération.

Le système présenté ici (Fig. 1) est l'adsorption en phase solide par cycle ouvert, ou dessiccant cooling.

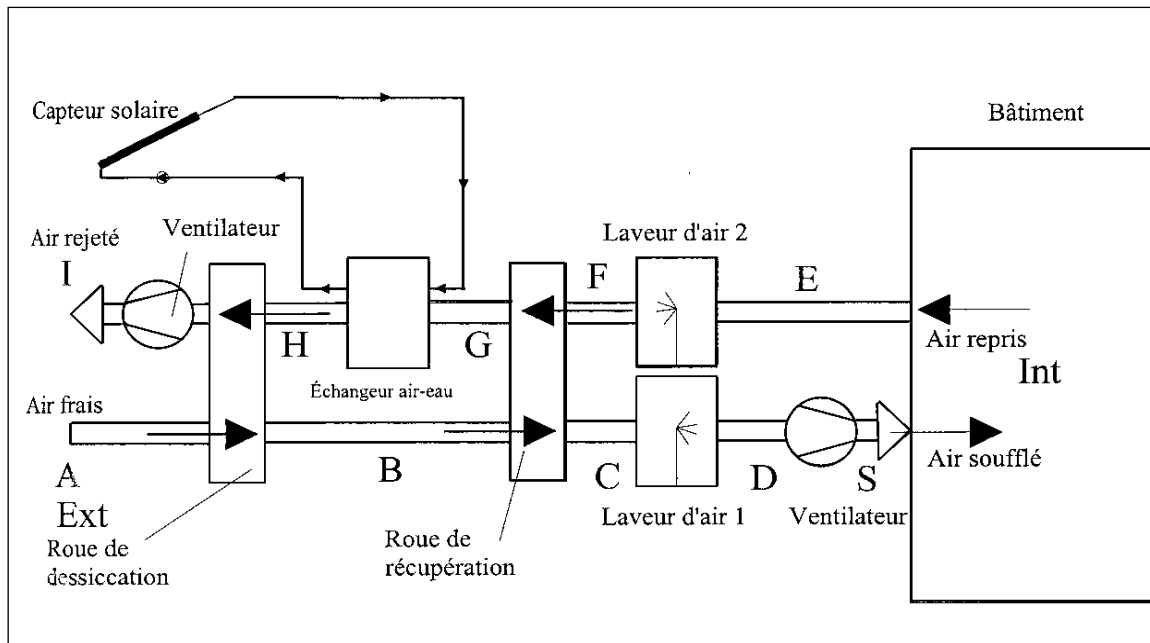


Figure 1 – Schéma de l'installation

Le flux d'air à rafraîchir est d'abord desséché au moyen d'une roue à dessiccation. Cette roue, composée d'une matrice recouverte de Silicagel – matériau adsorbant – est séparée en deux parties, une veine pour le process, une autre pour régénérer le matériau adsorbant au moyen d'un flux d'air à haute température (60 à 150°C) chauffé par un panneau solaire thermique.

Une fois l'air du process desséché (état B), celui-ci est refroidi (état C) dans un échangeur rotatif de chaleur sensible, la roue de récupération, qui préchauffe également l'air de régénération (état F). Ensuite un laveur d'air ré-humidifie de manière adiabatique l'air de

process et abaisse ainsi (état D) fortement la température de l'air de régénération. Un autre laveur est utilisé au début de la veine de régénération pour optimiser l'échange thermique dans la roue de récupération. On peut voir les transformations de l'air humide pour la veine de process et de régénération sur un diagramme psychrométrique.

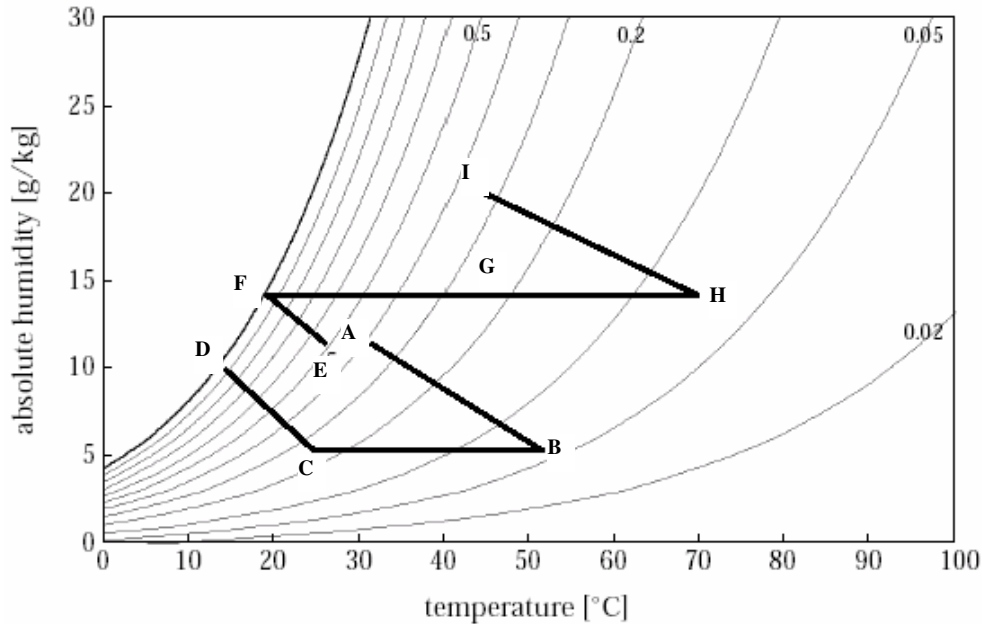


Figure 2 – Transformations de l'air humide dans le système

3.1 Le modèle

Le comportement de cette roue a été modélisé au moyen du modèle FINUT tiré de la thèse de Stabat (2003). Ce modèle se base sur l'analogie avec un échangeur rotatif de chaleur sensible. Il est paramétrable uniquement à partir de catalogues constructeurs qui n'indiquent que des points de fonctionnement, et aucun paramètre physique (chaleur de sorption, coefficient global de transfert de chaleur...).

L'algorithme a été traduit en FORTRAN pour en faire un *type* utilisable sous TRNSYS. Sa validation du modèle à partir des données expérimentales de Czachorski (1997), bien qu'incomplète en raison de données manquantes (température de sortie du process) donne des résultats satisfaisants, surtout à des humidités assez hautes (Fig. 3).

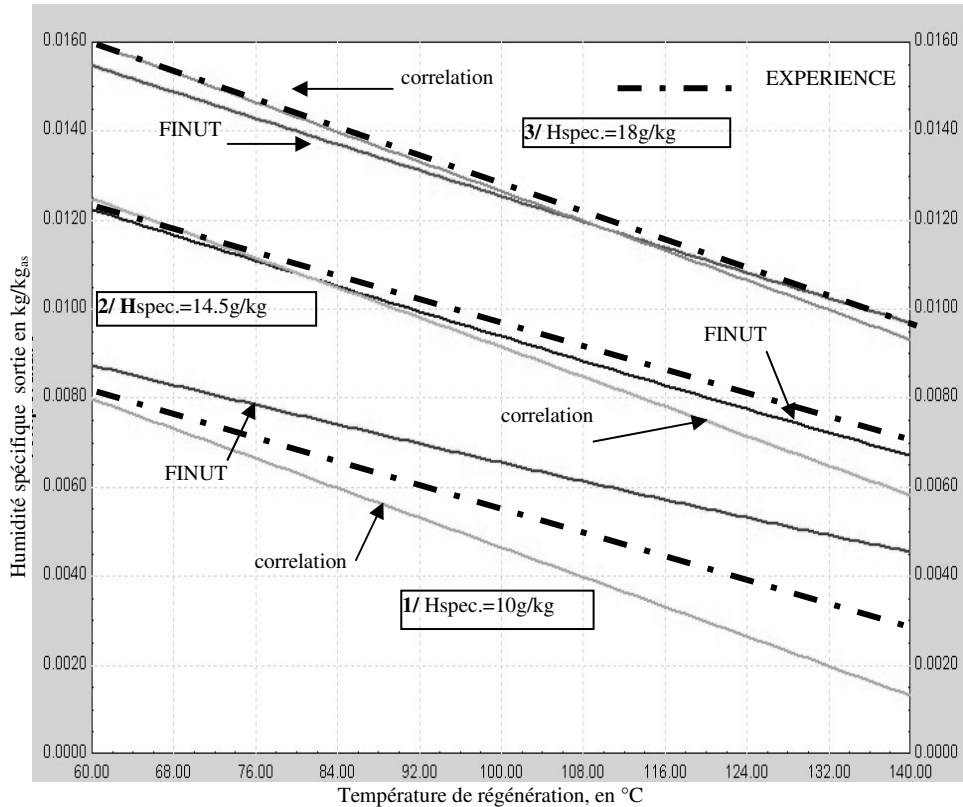


Figure 3 – Validation du type TRNSYS (humidité spécifique de sortie en fonction de la température de régénération)

3.2 Résultats

Les résultats obtenus sont concluants puisqu'ils permettent d'éviter la surchauffe dans une maison particulière « basse énergie » – définie dans la suite de cet article – avec de forts gains internes en chaleur sensible, du type d'un bâtiment. En effet pour tirer profit de cette installation, il a été nécessaire de s'approcher de la thermique des bâtiments de bureau.

L'installation est dimensionnée avec 10 m² de capteurs solaires sous vide, et un taux de renouvellement d'air de 4 vol/h en fonctionnement, et de 0.5 vol/h lorsque la température de régénération est trop faible, i.e inférieure à 50 °C. Les résultats sont présentés à la Fig. 4 pour une journée type (10 juillet à Macon, France).

La température intérieure ne dépasse pas 26.5 °C dans la pièce, et cela arrive en début de soirée, le rayonnement solaire n'est pas assez grand pour chauffer suffisamment l'air de régénération, l'air ventilé n'est pas refroidi.

Lorsque le système se met en marche, la température de l'air soufflé oscille entre 19 °C et 23 °C, soit 8 à 10 °C de moins que l'air extérieur, et pendant 12h il fait plus frais dans la maison qu'à l'extérieur. A l'opposé, sans le système, la température atteint 32 °C soit une différence de 6 °C par rapport à la maison équipée du desiccant cooling.

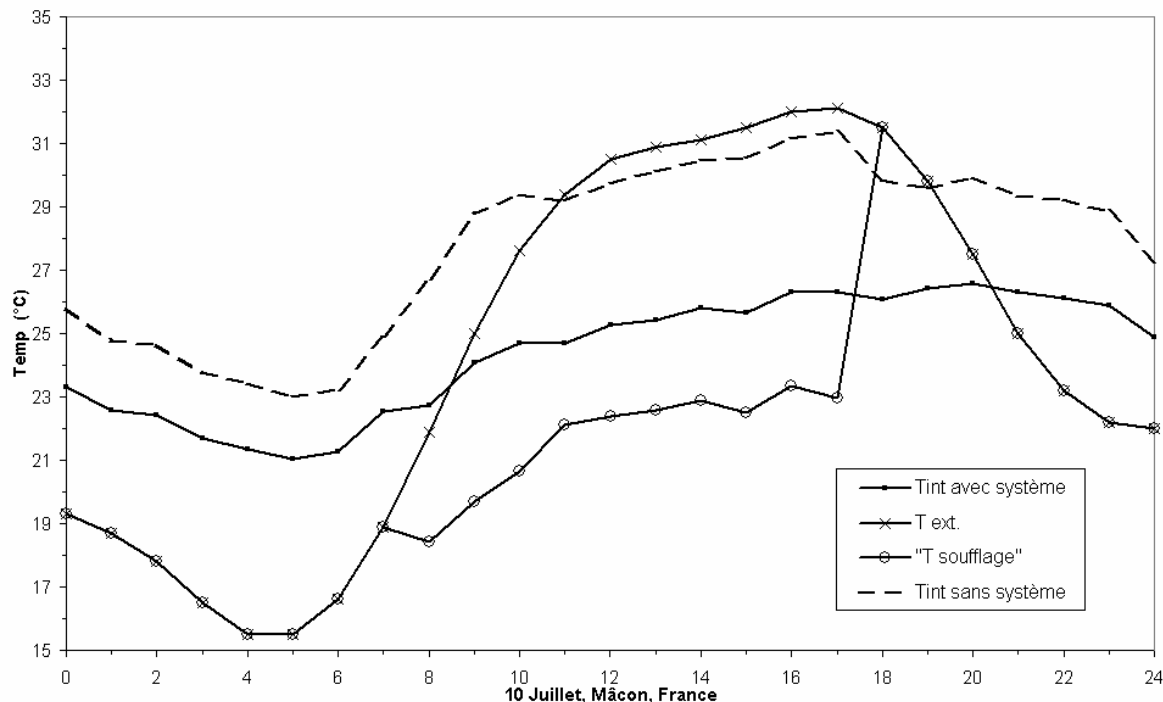


Figure 4 – Résultats sur une journée type

Deux stratégies de régulation ont été mises en œuvre : la première où le contrôleur, se déclenche lorsque la température intérieure est inférieure à 25°C et la deuxième lorsque la température de l'air de régénération devient trop faible.

L'étude montre que la première est plus efficace pour le contrôle de la température mais induit parfois un taux d'humidité intolérable dans l'habitation. La seconde, certains jours, refroidit l'ambiance trop ou pas assez au vu des conditions intérieures de la pièce : Il faudrait donc une régulation basée conjointement sur ces deux paramètres.

Cette modélisation montre en définitive la nécessité de ne négliger aucun aspect du système de refroidissement solaire.

Par exemple, il sera intéressant d'étudier son fonctionnement en thermique d'hiver et les économies induites sur le préchauffage de l'air ventilé.

En outre, dans une démarche de réduction des dépenses d'énergie, il est primordial d'estimer la consommation en eau et en électricité de l'installation. Enfin, pour prolonger la durée d'utilisation de celle-ci dans la journée, l'implémentation d'un réservoir permettant de stocker la chaleur pour la restituer en fin d'après-midi pourrait être étudiée.

4. RECHERCHE D'UN BATIMENT 'BASSE CONSOMMATION D'ENERGIE'

4.1 Le modèle

La maison de référence (Cf. Plan Fig. 5) a été élaborée dans le souci d'être la plus réaliste possible. Le type 56 ou bâtiment multi-zone de TRNSYS a été utilisé en mono-zone.

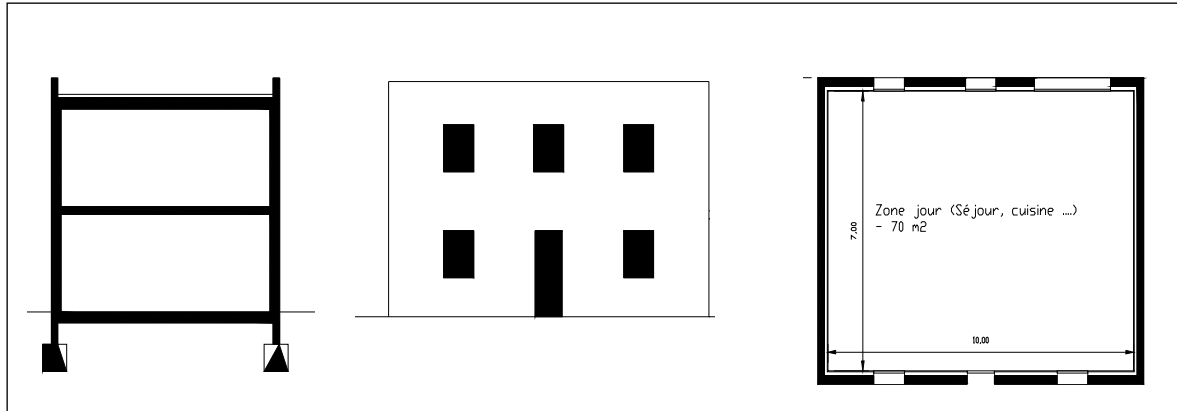


Figure 5 – Coupe, façade ouest et plan du rez-de-chaussée.

La maison se compose de 2 niveaux de 70m² pour un volume de 364 m³.

L'enveloppe opaque est constituée d'un mur en agglomérés de béton creux de 20 cm protégé par un enduit, d'une isolation intérieure de 10 cm en polystyrène et de plâtre. La toiture terrasse avec isolation inversée a une structure en béton armé. Le dallage est isolé en sous-face.

Les fenêtres se répartissent sur les façades Est et Ouest. Aucune ouverture ne se trouve sur les façades Sud et Nord. Les fenêtres sont constituées de double-vitrage sans aucune occultation.

Les infiltrations d'air sont prises en compte.

Le débit de renouvellement d'air respecte la réglementation.

La maison est chauffée selon un emploi du temps : 20°C le jour et 17°C la nuit.

La climatisation fonctionne à 27°C lorsqu'elle est activée.

Les charges internes ont été estimées à l'aide d'emplois du temps : 5 personnes, présentes ou non, un ordinateur, de l'éclairage artificiel, de l'électroménager ...

4.2 Les simulations effectuées

Cinq familles de paramètres ont été identifiées pour cette étude. A chaque simulation, une seule caractéristique est testée afin de mettre en évidence l'impact réel du paramètre.

Enveloppe opaque. Des variations sur la nature des murs, sur l'épaisseur et la position de l'isolant. Au total, 14 cas dont la maison de référence. Chaque cas respecte la réglementation thermique française : la RT2000.

Vitrages. Influence de la nature du vitrage sans aucune variation sur la menuiserie en PVC.

Masques. Prise en compte de volets, de rideaux et de brise-soleils horizontaux ou verticaux

Dispositifs techniques particuliers. Rafraîchissement solaire et mur Trombe en hiver ou en été.

Ventilation. Augmentation du débit de renouvellement d'air en été, free-cooling et ventilation à partir d'un puits canadien.

Au total, 17 cas d'étude ont été simulés. Les indicateurs jugés significatifs et évalués pour chaque cas sont les suivants :

Besoins de chauffage sur l'année. C'est la demande en chauffage pour maintenir la température de consigne.

Température maximale sans climatisation. La température maximale relevée sans dispositif de climatisation active.

Besoins en climatisation. C'est la demande en production de froid pour maintenir la température de consigne.

Indicateur d'inconfort d'été sans climatisation. Il s'agit de comptabiliser, lorsqu'il n'y a pas de climatisation, le nombre d'heures dans l'année où la température est supérieure à une température estimée maximale pour conserver un certain confort. C'est un système analogue aux « degré-jour », mais une pondération est appliquée puisqu'une heure à 35°C est beaucoup plus inconfortable qu'une heure à 28°C. Dans cette étude, 27°C a été considérée comme la température maximale de confort. Le système de pondération W_i est le suivant :

Table 1 – Système de pondération pour l'inconfort d'été

T_i [°C]	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
W_i	1	2	3	4	6	8	12	16	20	30
Ni [h] si $T_i > T_{max}$								

4.3 Résultats et analyse

A partir de ces paramètres et de ces indicateurs, la table 2 a pu être élaborée. Une analyse famille par famille s'impose pour définir les paramètres les plus pertinents.

Enveloppe opaque. La configuration apparaissant comme la plus performante sur toute l'année est la suivante : structure à forte inertie composée de 20 cm de béton banché et de 10 cm de polystyrène en isolation extérieure. Elle assure un meilleur confort d'été (-6,2 % sur la température maximale et -39,3% sur le degré d'inconfort d'été) sans perdre en confort d'hiver (-0,1%).

Vitrages. Les double-vitrages peu émissifs ou les triple-vitrages permettent de faire des économies d'énergie assez conséquentes, surtout en été. Ainsi, avec un double-vitrage peu émissif, on économise 42,9% de l'énergie de climatisation par rapport à un double vitrage classique.

Masques. Tous les masques testés augmentent la consommation de chauffage puisqu'ils limitent en hiver les apports gratuits du soleil. En revanche, en été, ils protègent tous la maison des surchauffes. L'élément le plus efficace semble être le brise-soleil horizontal puisqu'il fait chuter les besoins de froid de 85,4%. Tous ces dispositifs peuvent être cumulés.

Dispositifs particuliers. Le rafraîchissement solaire permet de ne dépasser 27°C que quelques heures dans l'année : il fait plus de 27°C 2 heures dans l'année et la température maximale vaut 27,3°C.

Le mur Trombe en fonctionnement hiver permet de faire 21,5% d'économie sur les besoins en chauffage. En été, la température n'est pas supportable puisque la température maximale est de 52,0°C. En fonctionnement été, c'est-à-dire lorsque la lame d'air est ventilée sans échange d'air avec la maison, la température intérieure augmente considérablement. Ce dispositif, même s'il présente des atouts en thermique d'hiver, doit être proscrit au vu des résultats qu'il donne en été.

Ventilation. Augmenter la ventilation est un point très intéressant pour la thermique d'été car, que ce soit la nuit sous forme de free-cooling ou le jour, cela permet d'abaisser considérablement le degré d'inconfort d'été, c'est-à-dire que la température moyenne est plus faible. La ventilation à partir du puits canadien permet de faire des économies en hiver ainsi qu'en été mais ces résultats sont contestables dans la mesure où une hypothèse faite dans le type est fautive : la température du sol à proximité du tuyau n'est pas constante.

Table 2 – Récapitulatif des résultats exprimés en %

	Consommation hiver	Puissance maximale de chauffage	Temp. max. clim.	Degré d'inconfort sans clim.	Consommation été	Puissance maximale de froid
	kW.h	kW	°C	heures	kW.h	kW
Bâtiment de référence	9652	6.13	34	0	826	3.81
Famille 1: Enveloppe opaque						
Structure très inerte (béton banché) - Faible isolation intérieure	1.1	-1.0	-0.6	-5.5	-7.1	-4.7
Structure très inerte (béton banché) - Faible isolation extérieure	-0.1	-4.7	-6.2	-39.3	-24.7	-8.4
Structure très inerte (béton banché) - Forte isolation intérieure	-14.1	-9.8	1.5	44.5	17.1	-3.4
Structure très inerte (béton banché) - Forte isolation extérieure	-14.8	-12.4	-4.7	-2.7	-8.4	-8.4
Structure inerte (agglos béton creux) - Faible isolation intérieure	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Structure inerte (agglos béton creux) - Faible isolation extérieure	-0.3	-2.6	-2.4	-17.5	-14.2	-3.1
Structure inerte (agglos béton creux) - Forte isolation intérieure	-14.2	-9.0	1.8	46.9	18.9	-1.8
Structure inerte (agglos béton creux) - Forte isolation extérieure	-14.4	-11.7	-0.9	24.3	9.8	-2.4
Structure sans inertie (bois contrecollé) - Faible isolation intérieure	27.0	20.9	0.6	-27.5	-12.3	7.9
Structure sans inertie (bois contrecollé) - Faible isolation extérieure	26.8	18.1	-0.6	-34.4	-19.6	5.2
Structure sans inertie (bois contrecollé) - Forte isolation intérieure	10.4	9.3	1.8	3.6	5.0	4.5
Structure sans inertie (bois contrecollé) - Forte isolation extérieure	9.9	6.5	0.6	-6.1	-2.4	2.4
Structure en béton cellulaire - Ep 30 cm	25.3	9.0	-5.6	-59.2	-42.9	-11.0
Structure en béton cellulaire - Ep 37,5 cm	15.8	3.6	-5.3	-53.4	-35.7	-10.8
Famille 2: Nature du vitrage						
Double peu émissif	-4.8	-5.4	-3.8	-48.0	-42.9	-15.0
Triple	-6.1	-5.2	-1.8	-23.5	-18.3	-7.3
Double peu émissif avec lame d'argon	-7.7	-7.2	-3.5	-42.8	-39.1	-15.0
Famille 3: Influence des masques						
Occultation nuit	1.7	0.2	-3.2	-47.7	-35.2	-8.4
Rideaux	1.3	0.3	-1.5	-22.7	-17.3	-6.6
Brise-soleil horizontal - casquette	10.0	1.3	-10.3	-92.6	-85.4	-28.3
Brise-soleil vertical	9.7	2.3	-5.9	-73.3	-63.0	-18.4
Famille 4: Dispositif particuliers						
Rafraîchissement solaire	0.0	0.0	-17.6	-100.0	-81.0	28.6
Mur Trombe hiver	-21.5	-1.6	52.9	3742.4	1635.5	346.5
Mur Trombe été	44.4	48.3	22.6	911.5	633.3	210.8
Famille 5: Ventilation						
Ventilation régulée (free cooling)	0.9	0.2	-4.4	-67.3	-49.8	-10.0
Ventilation augmentée	1.4	0.0	-4.7	-74.6	-50.4	1.8
Ventilation à partir de puits canadiens	-6.9	-7.5	-2.6	-35.8	-28.5	-10.8

4.4 La recherche d'une maison optimale

Ces observations permettent de rechercher une solution optimale pour la maison de référence. L'objectif est de définir dans un premier temps un confort d'été qui consiste à ne pas dépasser 27°C.

Toutes les caractéristiques de la maison de référence sont conservées sauf les points suivants :

Enveloppe opaque. La configuration apparaissant comme la plus performante sur toute l'année est la suivante : structure à forte inertie composée de 20 cm de béton banché et de 10 cm de polystyrène en isolation.

Effets de masque en supposant que les vitrages sont positionnés au nu intérieur du mur : les tableaux et le linteau font office de casquette et de brise-soleils latéraux.

Des casquettes dépassant de 50 cm sur toutes les fenêtres.

Des masques réalisés par des volets avec le fonctionnement suivant : à l'Est, ils sont fermés la nuit et partiellement clos le matin tandis qu'à l'Ouest, ils sont partiellement clos l'après-midi et fermés la nuit.

Les vitrages les plus performants sont des doubles-vitrages peu émissifs avec lame d'argon.

Du free-cooling la nuit : 4 vol / h de 23h00 à 6h00.

Un débit de renouvellement d'air dans la journée de 1 vol / h au lieu du débit minimal de renouvellement d'air qui vaut 0,37 vol / h.

Dans cette configuration, la température maximale ne dépasse pas 27,3°C alors qu'elle était de 34,0 °C pour la maison de référence. Mais plus significatif que la température maximale, l'indicateur d'inconfort d'été n'est plus que de 3 h.

Pour ne jamais dépasser l'objectif de 27°C, un système de rafraîchissement solaire est mis en place avec une consigne à 25°C. La simulation montre que le système ne se met en route que quelques heures par an, ce qui n'en justifie pas l'installation.

Le système décrit ci-dessus atteint un confort d'été tout à fait satisfaisant sans aucun dispositif particulier si ce n'est un système de ventilation légèrement travaillé.

4.5 Thermique d'hiver

Il faut également s'intéresser à la thermique d'hiver. Les hypothèses sont cette fois-ci peu nombreuses puisque l'enveloppe opaque et les vitrages ont été choisis en fonction de la thermique d'été. Il faut à nouveau considérer le débit minimal de renouvellement d'air pour limiter les besoins en chauffage.

La simulation montre que les besoins de chauffage sur l'année représentent 9955 kWh, ce qui est de 3,1% supérieur aux besoins de la maison de référence. Ce résultat s'explique par la présence de casquettes et d'effets de masque qui limitent les apports gratuits du soleil.

La meilleure solution sur l'année est un compromis entre différents paramètres. Il faut savoir perdre un peu d'un côté pour gagner beaucoup de l'autre et ce, tout en restant dans des valeurs raisonnables : la maison ainsi proposée respecte la réglementation thermique française en hiver même si ces performances sont inférieures à la maison de référence.

5. CONCLUSION

L'un des intérêts de cette étude est de pouvoir mesurer et comparer les économies d'énergie de nombreuses solutions techniques connues à l'heure actuelle.

A partir de cette comparaison, il est possible de proposer une maison avec des performances similaires à une maison de référence pour la thermique d'hiver et de très bonnes prestations pour la thermique d'été.

Sur cette maison peut se greffer le modèle de rafraîchissement solaire par dessiccation développé. Les tests effectués montrent que l'installation permet de réduire sensiblement la

température (-7 à -8°C) d'un bâtiment classique ('de référence') pour un jour très chaud (32°C), et ceci avec une température de soufflage à 21 °C en moyenne.

Mais la conception de la maison est si satisfaisante que les tests démontrent l'inutilité d'un système de climatisation actif pour une maison d'habitation. En effet, dans la maison optimale définie, la température ne dépasse 27°C que 3 heures dans l'année. La conception des maisons individuelles semble donc être au cœur des problèmes thermiques de celle-ci : apporter une attention à la compacité de la maison, aux matériaux, à la nature des vitrages et à leurs masques ainsi qu'à la ventilation semble permettre d'assurer un confort sur toute l'année à moindre coût énergétique.

En France, le système de rafraîchissement solaire conserve cependant tout son intérêt pour des applications visant des immeubles de bureaux par exemple, où les charges thermiques sont plus importantes.

REFERENCES

Czachorski M., Wurm J., Worek W.M., Mierke J., Brillhart P., 1997, Dynamic testing of dessiccant matrices and computerized Evaluation of performance maps, ASHRAE Transaction, PH-97-11-1, pp. 833-840.

Stabat P., 2003, Modélisation de composants de systèmes de climatisation mettant en œuvre l'adsorption et l'évaporation de l'eau. Thèse de Doctorat, Ecole des Mines, Paris, France.

“STUDY OF AN LOW ENERGY BUILDING; DEVELOPMENT AND APPLICATION OF SOLAR COOLING”