
Bulletin de l'Union des Physiciens

Association de professeurs de Physique et de Chimie

Une maison solaire performante en Béarn

par Michel HAUSARD
Lycée Louis Barthou, 64000 PAU

1. INTRODUCTION - RÉSUMÉ

Nous sommes tous concernés par les problèmes relatifs à la production et à la consommation d'énergie, aux pollutions qui en découlent et aux intérêts financiers, économiques et politiques qui leurs sont liés. De tout temps et pour tous les peuples, le problème énergétique a été, est et sera un des problèmes majeurs.

Dans les pays occidentaux, le chauffage des locaux (privés ou publics) représente un pourcentage important des bilans énergétiques nationaux. Suivant les auteurs, les modes de calcul, les années, suivant que l'on parle d'énergie primaire ou de vecteurs énergétiques, ce pourcentage semble osciller en France entre 20 et 30 %. D'où l'intérêt évident des économies d'énergie dans le domaine du chauffage domestique.

Cela fait bien vingt ans que l'on parle en France de maisons solaires ou bio-climatiques et l'on ne voit toujours pas de percée significative de ce mode de chauffage. La raison du peu de succès de cette technique

est que beaucoup d'expériences se sont révélées bien peu convaincantes : efficacité très moyenne, investissement trop important, mauvaise climatisation estivale, esthétique douteuse, etc...

La maison réalisée en Béarn et habitée depuis juillet 1986 est d'une remarquable efficacité, très agréable à vivre hiver comme été, facile à entretenir et d'un prix de revient à peine supérieur (à surface égale) à celui d'une autre maison. Pour l'hiver on pourrait parler d'un rendement thermique supérieur à 93 % (pour respecter les normes actuelles de confort, la maison consomme 15 à 20 fois moins qu'une maison conventionnelle bien isolée). Et le surcoût des aménagements bio-climatiques est compris entre 4 et 6 % du prix total de la construction, ce qui conduit, au prix actuel de l'énergie, à une durée d'amortissement de l'ordre de 7 à 8 ans pour des éléments de construction quasiment inusables (serres en aluminium, murs remplis de sable, etc...).

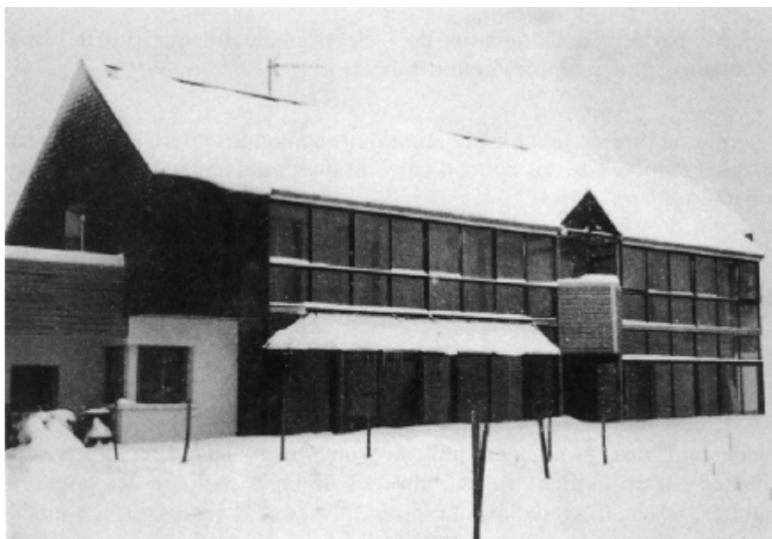
Bien sûr, en Béarn, les hivers sont en général doux et humides ; cela n'empêche que les Béarnais se chauffent chaque année. Et un climat froid mais sec et ensoleillé est certainement préférable pour réaliser une maison solaire ! Par contre, dans une région froide et humide, la quasi autonomie énergétique d'une telle maison serait sans doute plus délicate à réaliser ; mais l'expérience vécue sur les coteaux de Pau a montré que ce modèle pouvait être sensiblement amélioré afin d'affronter des conditions climatiques plus défavorables.

La maison solaire considérée est du type bio-climatique ou solaire passif : la maison, très lourde et isolée extérieurement, ouvre sur une immense serre placée au Sud. Il n'y a pas de capteurs solaires indépendants. Il n'y a donc aucun entretien particulier, aucune usure autre que celle de la dégradation des bâtiments.

Le principe de cette maison ne fait pas appel à un procédé révolutionnaire mais seulement à des techniques bien connues. La seule innovation est peut-être le fait d'avoir isolé thermiquement les serres de la maison : autrement dit, il n'y a pas de mur Trombe ni d'équivalent. L'inertie des serres étant très faible, leur réponse thermique est très rapide (nervosité). Et en cas de mauvais temps prolongé, les pertes calorifiques sont très réduites, alors que le mur Trombe serait plutôt du type passoire !

En tout cas, ça marche ! Pendant l'hiver 1986-1987, cette grande villa (800 m³ d'air climatisé correspondant à 292 m² de surface

réellement habitable, sans compter donc les 52 m² de serres et les 110 m² de combles) n'a utilisé pour son chauffage que 2,5 stères de bois et 300 KWh électriques. Et au cours de l'hiver 1987-1988, plus doux que la moyenne (1850 degrés jours unifiés, alors que la moyenne à Pau est de 2050), la consommation énergétique a été limitée à 1,3 stère de bois et 65 KWh électriques. Ces résultats sont d'autant plus remarquables que la villa est édifée juste au sommet d'un coteau et donc exposée à tous les vents.



Le concepteur de la maison (qui est l'auteur de cet article) n'étant pas architecte, mais seulement professeur de physique dans un lycée, on comprendra aisément le pourquoi des formes simples de cette villa. Mais on peut imaginer que l'idée soit reprise par des architectes compétents et l'on obtiendrait alors des formes plus originales, plus audacieuses, plus esthétiques.

2. DE L'INTÉRÊT ÉVIDENT DU CHAUFFAGE SOLAIRE

Économie d'énergie, diminution des pollutions, économie financière pour l'heureux propriétaire, indépendance énergétique de ce dernier avec beaucoup de soucis en moins et une maison fraîche l'été

grâce à une importante inertie thermique. Voilà pour les principaux avantages de la maison bio-climatique.

2.1. **Économies d'énergie**

Nous n'allons pas revenir sur les graves problèmes mondiaux liés à la gestion à moyen et long terme des ressources énergétiques fossiles, ni sur les tout aussi angoissants problèmes de pollution liés à leur exploitation et à leur utilisation.

Ne parlons pas non plus de l'électronucléaire qualifié de «mal nécessaire» par ses promoteurs français.

Et que dire de la multiplication outrancière des micro-centrales sur les plus humbles de nos cours d'eau ? Et du réseau tentaculaire de lignes à haute-tension ?

Oui, vraiment, économiser l'énergie est un devoir national et un devoir écologique.

2.2. **Économies financières**

L'être humain étant plutôt égoïste par nature, c'est-à-dire plutôt insouciant des problèmes qui ne concernent pas directement ses finances, il est évident qu'en l'absence de réelle volonté des pouvoirs publics, le chauffage solaire ne prendra vraiment son essor que quand on aura démontré, preuves à l'appui, qu'il permet d'économiser de l'argent (beaucoup d'argent !) quitte à consentir au départ à un certain investissement. Cet investissement (surcoût de construction) ne doit pas être prohibitif (5 à 10 % du prix total de la construction paraît acceptable afin d'assurer un temps de retour relativement court à l'échelle de l'individu (10 à 15 ans environ).

Il est important de noter le lien étroit qui existe souvent entre énergie et finance. Par exemple, mettre 20 cm d'isolant au lieu de 10 coûte plus cher mais aussi utilise davantage de matériaux dont l'élaboration est énergivore. Ce surcoût, qu'on peut appeler investissement, aura peut-être, en climat béarnais, pour un usage bien précis, un temps de retour de 50 ans en considérations énergétiques et de 30 ans en considérations financières (avec certaines hypothèses sur l'évolution des prix de l'énergie).

Il faut noter également que la mise en œuvre de matériaux est énergivore et financevore. Par exemple, un mur de refend en terre crue n'est absolument pas neutre à cet égard. Et dans notre maison, cet aspect des choses a été omniprésent : certains matériaux plus chers ont été utilisés car plus faciles à mettre en œuvre.

Dans le bilan financier visant à établir le surcoût solaire de la maison, nous considérons le prix de la serre au Sud et de l'utilisation de murs de refends remplis de sable, mais nous déduisons le prix d'une installation de chauffage conventionnel au gaz ou au mazout.

2.3. Indépendance énergétique de la maison

Pas de grève surprise EDF ou GDF, pas de livraison qui arrive en retard, pas de chaudière qui tombe en panne ! Que de soucis en moins !

2.4. Une maison agréable à vivre : bien ventilée et fraîche l'été

Les menuiseries extérieures des serres sont en aluminium ; elles sont très peu étanches et assurent donc un renouvellement de l'air beaucoup plus rapide que dans une maison ordinaire, dès que l'on est en position de chauffage. D'où l'absence d'odeurs, de buée ou de problèmes liés au radon.

L'été, en pleine canicule, la maison demeure fraîche. Cela provient de la très grande inertie thermique de la maison, du fait qu'elle est partiellement enterrée et non séparée thermiquement du sol, du fait qu'on peut la déconnecter des serres (ces dernières étant bien aérées) et de petites ouvertures au Nord, à ras de terre, permettant une entrée d'air frais nocturne.

3. ÉTUDE THÉORIQUE D'UNE MAISON BIO-CLIMATIQUE

3.1. Principe généraux relatifs aux pertes de chaleur

Une maison perd sa chaleur essentiellement par conduction à travers les murs, les vitres, la toiture et par renouvellement de l'air des pièces à travers les défauts de menuiserie ou par usage d'une VMC (ventilation mécanique contrôlée).

a) Pertes par conduction

La puissance thermique perdue par conduction à travers un élément de paroi de surface S est donnée par la formule :

$$P = K.S.\Delta\Theta$$

où $\Delta\Theta$ est la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur et K est un coefficient d'échange de chaleur relatif à la paroi considérée et qui dépend de sa nature (plus ou moins isolante), de son épaisseur et des pertes par convection naturelle ou forcée (s'il y a du vent) à l'interface paroi/milieu extérieur.

Dans notre maison bio-climatique, une partie importante des parois sépare la maison de la serre : aux heures où il n'y a pas vraiment d'apport solaire, l'écart de température $\Delta\Theta$ est cependant très réduit... et comme dans la serre il n'y a ni vent, ni air humide, les pertes par convection sont limitées (le coefficient K est réduit).

A travers cette paroi, la puissance perdue est donc très fortement réduite par rapport à une maison conventionnelle ou une maison solaire qui utiliserait des capteurs dits actifs placés ailleurs (sur le toit par exemple).

Pour les autres murs, on limite au maximum les pertes tout simplement en enterrant le plus possible la maison. Cela impose des contraintes architecturales sérieuses mais parfaitement acceptables dans beaucoup de cas.

Reste à minimiser les pertes au niveau de la toiture : c'est là qu'il faut surisoler. Chez nous, les combles sont isolés sous le plancher (entre hourdis et plancher) puis de nouveau sous les ardoises. Ces combles jouent un rôle d'espace-tampon dont l'efficacité est indiscutable.

b) L'énergie perdue par renouvellement de l'air

Pour un logement standard, on admet que l'air se renouvelle une fois par heure. Cela représente environ 40 % des pertes thermiques*.

Chez nous presque tout l'air qui passe de l'extérieur à l'intérieur transite par la serre. En période de chauffage (par le soleil), le bilan de

* cf. : «La maison autonome» de Robert Chareyre - Ed. Alternatives, 1978.

cet échange est positif. Et le reste du temps nous prélevons de l'air qui est déjà réchauffé. Là encore, il y a une évidente supériorité de la maison bio-climatique sur du solaire actif.

c) Conclusion

Une maison enterrée le plus possible sur trois côtés et qui communique avec l'extérieur à travers une serre, et à condition bien sûr qu'il y ait une isolation entre la serre et le mur sud (donc exit le mur Trombe et ses variantes modernes), une telle maison perd donc infiniment moins vite la chaleur qu'une maison traditionnelle et cela sans avoir à augmenter l'épaisseur de l'isolation.

Avant d'être une maison chauffée par le soleil, une maison bio-climatique et surtout une maison qui perd peu de chaleur. Même avec un très mauvais rendement du chauffage solaire, une maison bio-climatique est plus performante qu'une maison traditionnelle que l'on équiperait de capteurs solaires ultra-sophistiqués. En outre, elle revient beaucoup moins cher, est plus simple et sûrement plus esthétique.

«Plutôt que de chauffer, éviter de se refroidir !»

On retrouve un grand principe des écologistes :

«Plutôt que de dépolluer, éviter les pollutions».

3.2. Principes généraux relatifs à la captation et au stockage de l'énergie solaire au niveau d'une maison

La puissance captée dépend de la surface des capteurs, de leur orientation et de leur rendement. A dépense égale, il est souvent préférable d'augmenter la surface de captation que de chercher à améliorer le rendement (à partir du moment où celui-ci n'est pas ridicule).

Le principe est simple : le verre extérieur de la serre laisse passer le visible mais est opaque aux infrarouges lointains. Les rayons solaires traversent ensuite une épaisseur d'air de quelques centimètres (dans le mur Trombe) ou de un à trois mètres (chez nous), frappent le carrelage assez sombre de la serre ou le bardage des murs et sont partiellement absorbés par ces surfaces. La partie du rayonnement réfléchi par le mur ou le sol et qui repart vers l'extérieur, est perdue pour la captation. Un sol pas trop sombre dans la serre permet d'éclaircir et de chauffer par rayonnement les pièces qui donnent sur cette serre ; par contre, l'efficacité maximum des murs est atteinte avec la couleur noire. Chez

nous, le bardage des murs donnant sur la serre est réalisé en lambris de pin des Landes pour des raisons esthétiques ; son albédo (pouvoir réflecteur) est d'environ 50 %, ce qui peut sembler franchement ridicule. En période de grands froids, nous aurons toujours la possibilité de disposer des tentures sombres devant ce lambris afin d'augmenter le pouvoir absorbant de nos «capteurs». La maison est donc loin d'être optimisée ! Le sol ou les murs chauffés réémettent leur chaleur sous formes d'infrarouges loitains qui sont arrêtés par le verre (ils sont piégés) et qui servent par conséquent à chauffer l'air de la serre. Le mélange de l'air chaud et de l'air des pièces atteint une température qui varie suivant les jours entre 20° et 26°C, ce qui est fort agréable. Cet air lèche la maçonnerie intérieure de la maison : murs, refends et cloisons plâtrés, plafonds-hourdis également plâtrés et sols carrelés au rez-de-chaussée. Cette maçonnerie va s'échauffer très lentement (1 degré par jour dans les cas les plus favorables).

Il va de soi que le rendement de cette opération de stockage est d'autant plus grand que l'air des pièces est chaud et que la maçonnerie est froide, d'où l'intérêt d'une énorme inertie thermique de la maison.. et de capteurs sans grande inertie qui chauffent vite et fort. Par contre, le rendement du capteur est d'autant plus grand qu'il contient de l'air peu chauffé (à cause des pertes). D'où des contraintes contradictoires, une optimisation difficile à faire, sans oublier les conditions de vie qui doivent être agréables. Chez nous, il aurait sans doute mieux valu recouvrir ce bardage en lambris d'une bonne épaisseur de crépi sombre (il est toujours très facile de le faire !) afin d'augmenter sensiblement le pouvoir absorbant de nos «capteurs» et légèrement leur inertie thermique. Mais telle quelle, la maison est déjà quasiment autonome pour le chauffage (environ 94 % d'autonomie).

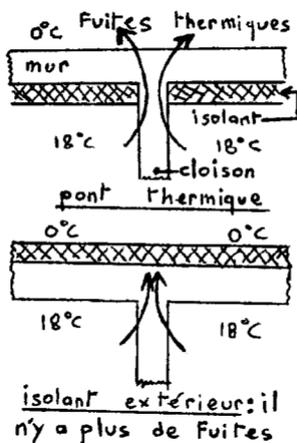
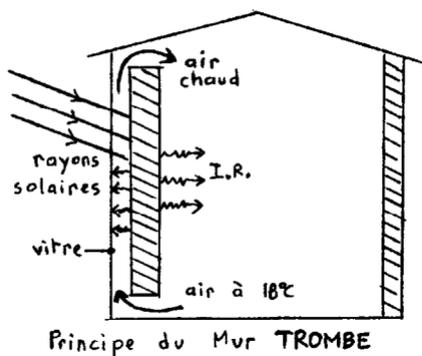
Notons que l'aptitude de la maison au stockage de chaleur dépend de sa grande inertie thermique mais également de la grande surface d'échange entre l'air peu chauffé et cette maçonnerie accumulatrice. Des galets mis dans la cave ou une énorme citerne d'eau enterrée avec les fondations augmenteraient bien sûr la masse de la maison mais n'interviendraient pas dans les échanges thermiques journaliers ou hebdomadaires qui sont de loin les plus utiles. De la masse thermique... d'accord, mais à condition d'y avoir accès !

3.3. Où l'on ne fait pas l'apologie du mur Trombe

Ce mur traîne dans tous les livres d'architecture solaire ou manuels du parfait petit écologiste : un mur épais et sombre, exposé au sud,

devant lequel on met un vitrage ; quelques centimètres entre verre et mur pour que l'air chauffé puisse circuler par convection naturelle et aller chauffer la pièce qui se trouve derrière grâce à deux ouvertures, une en haut et une en bas (voir schéma). Ça marche bien : le jour, c'est presque comme notre serre et en plus la grande inertie thermique du mur lui permet de continuer à rayonner une partie de la nuit qui suit. Hélas, la nuit justement, ce mur chauffe plus l'extérieur que l'intérieur. Et quand on a une période de 5 ou 6 jours de pluie (ce qui arrive fréquemment l'hiver en Béarn), le mur Trombe se comporte tout simplement comme un défaut d'isolation. Bien sûr, on peut fermer les entrées d'air pour empêcher la convection naturelle, mais une lame d'air, même immobilisée, isole beaucoup moins que 8 à 10 cm de laine de verre haute densité recouverte d'un ou deux centimètres de bois. Et ne parlons pas des problèmes délicats de l'intégration architecturale ou des contraintes pour le propriétaire (pas d'armoire devant le mur Trombe !).

Dans un climat sec et ensoleillé, le mur Trombe est sans conteste fort efficace. Mais en climat humide, même doux, il n'est absolument pas évident que son bilan hivernal soit positif.



3.4. De l'intérêt de l'isolation extérieure

Il est double : cette isolation permet d'inclure les murs dans la masse thermique (accumulateurs de chaleur) et, en outre on évite tous les ponts thermiques au niveau des refends, cloisons et hourdis (voir schéma).

3.5. De l'intérêt de la grande inertie thermique

Soit M la masse de la maison comprise à l'intérieur de l'isolant, c sa chaleur massique moyenne.

Un apport d'énergie W (chauffage) augmente sa température de $\Delta\Theta = W/Mc$. Mc peut être appelé inertie thermique et M masse accumulatrice.

Chez nous, $M \sim 400$ tonnes = $4 \cdot 10^5$ Kg (c'est très grand !) et $c \sim 800$ J Kg⁻¹ K⁻¹.

Pour $\Delta\Theta = 1^\circ$ il faut :

$$W = 4 \cdot 10^5 \times 800 \times 1 = 3,2 \cdot 10^2 \text{ J} \sim 89 \text{ KWh}$$

Une très bonne journée de chauffage solaire peut apporter cette énergie. Une journée froide et sans soleil peut nous prendre cette énergie (et même plus). Donc en conditions extrêmes, notre maison gagne ou perd environ un degré par jour et par temps plus doux et plus ou moins ensoleillé, elle gagne ou perd 1/4 ou 1/2 degré par jour. En acceptant de vivre entre 16 et 22 degrés (mais le plus souvent entre 18 et 20°), nous pouvons accumuler l'énergie pendant 5 ou 6 jours. Si l'inertie thermique était moins grande beaucoup de journées de soleil seraient perdues pour le bilan hivernal ! Et le chauffage d'appoint devrait fonctionner beaucoup plus souvent.

Après une période froide où la température de la maison avoisine les 16 degrés, dès que le soleil revient, l'air dans les pièces remonte à 22° ou 23° jusqu'à 17 heures et est encore à 19 degrés vers 20 heures. La température de confort (ou température résultante sèche) est prise comme étant la moyenne entre celle de l'air et celle des parois environnantes, ce qui fait donc 17,5 à 18° dès le premier soir de chauffe, ce qui est fort satisfaisant.

Il faut noter que dans une région très froide mais bien ensoleillée, la recherche d'une très grande inertie thermique n'est pas nécessaire. Il suffit de pouvoir passer une nuit et pendant les périodes sans soleil, on chauffe de façon traditionnelle. Dans ces régions, le principe de la maison bio-climatique reste cependant valable pour sa possibilité de captation, ses pertes limitées et le renouvellement d'air à travers l'espace tampon de la serre.

Pour un stockage de la chaleur sur une période plus longue, le principe de l'inertie de la maison ne semble plus utilisable (épaisseur des murs trop importante). Il faudrait alors utiliser d'autres méthodes : stockage à température plus élevée (30°C) dans des galets ou de l'eau isolés de la masse thermique de la maison. Mais il faut alors des capteurs plus performants (donc beaucoup plus chers), une convection forcée du fluide caloporteur, un mécanisme plus complexe. On parle également d'utiliser des changements de phase de «sels fondus» mais on sort là de l'architecture bio-climatique (solaire passif).

Pour notre climat béarnais, ce stockage à long terme ne paraît pas économiquement intéressant.

4. DÉTAILS DE LA CONSTRUCTION DE NOTRE VILLA

Pour des raisons financières et de goût personnel, j'ai assuré la conception de la maison et le suivi des travaux. N'étant pas du tout qualifié en architecture, j'ai choisi des formes simples qui d'ailleurs ne s'harmonisent pas trop mal avec les maisons anciennes qui peuplent notre coteau.

Il s'agit donc d'une construction traditionnelle réalisée par une petite entreprise locale (pour le gros œuvre) et quelques artisans (menuisier, plombier, plâtrier, carreleur, électricien) et enfin par moi-même pour les finitions (isolation, lambris, parquets, peinture, crépis).

Le terrain est en légère pente vers le sud. L'aménagement de la terrasse a permis de récupérer de la terre arable (pour le potager-bio) et de la terre profonde pour remblayer au nord jusqu'à concurrence de deux mètres (un mètre en déblai et un en remblai). Bon drainage périphérique. Fondations traditionnelles et dalle de béton posée sur un hérisson (lit de galets) recouverts d'un pare-vapeur (film de PVC). Pas d'isolation sous la dalle sauf en périphérie.

Murs d'enceinte en moellons creux de 27 cm au rez-de-chaussée, et de 20 cm à l'étage. Isolation et drainage vertical (marmites) pour les murs nord et ouest partiellement enterrés. Nombreux murs de refend en moellons de 20 cm creux montés à l'envers et remplis de sable (un moellon de 20 cm passe ainsi de 20 kg à 40 kg. Hourdis (marmites et dalle de compression) entre rez-de-chaussée et premier étage puis entre

premier étage et comble. Le hourdis supérieur assure une fonction thermique indispensable (été comme hiver). Ce hourdis supérieur est isolé par dessus (4 cm de laine de verre et plancher en aggloméré de 22 mm). Charpente traditionnelle. Couverture en ardoises. Isolation sous le toit par une couche de laine de verre (8 cm) entre les chevrons puis par une couche de plaques de polystyrène (4 cm) avec plâtre.

Les murs apparents de la maison sont recouverts de chevrons extérieurs verticaux (tous les 60 cm) afin de mettre 8 cm de laine de verre (ou de roche) haute densité (isolation extérieure). Cet isolant est protégé par un bardage : ardoises au nord et à l'ouest ; contreplaqué marine crépi au rouleau à l'est ; et lambris au sud dans les serres (problème déjà évoqué).

La maison est toute en longueur (23 m de long et 7 m de large) afin que toutes les pièces habitables donnent au sud.

La serre mesure 16 m de long et 5 m de haut. Elle est divisée en 4 unités totalement indépendantes. Les pièces sont groupées par 2 ou 3 pour chaque élément de serre de façon à assurer un brassage rapide de l'air en temps de chauffage solaire (ce n'était peut-être pas nécessaire).

La menuiserie extérieure des serres est en aluminium et coulisse sur un triple rail (en été on peut ouvrir près des 2/3 des vitrages). Le verre des serres est simple (6 mm) ou feuilleté.

Les pièces ouvrent sur les serres par de larges baies (coulissantes ou ouvertures à la française) avec des menuiseries en bois avec double vitrage. Volets en bois (roulants ou persiennes) pour toutes les ouvertures.

Les quelques petites fenêtres donnant directement vers l'extérieur peuvent être bourrées de coussins emplis de laine de verre.

Sols : dans les serres, carrelages en grès assez sombre ; dans la maison, carrelages clairs au rez-de-chaussée et parquet de chêne collé sur les chappes à l'étage.

Murs, refends, cloisons et plafonds sont plâtrés et peints en blanc (peinture à l'eau, perméable).

5. CALCUL DES ÉCHANGES THERMIQUES DE NOTRE MAISON

5.1. Formules fondamentales

a) *Puissance transmise par un élément de paroi dS* soumis à une différence de température $\Delta\Theta$:

$$dP = K dS \Delta\Theta$$

où K est le coefficient d'échange thermique.

b) *Puissance perdue par renouvellement de l'air*

Soit $\Delta\Theta$ l'écart de température entre intérieur et extérieur et T la durée d'un renouvellement complet de l'air :

$$P = \frac{\rho_{\text{air}} C_{\text{air}} \Delta\Theta}{T} = \frac{\rho_{\text{air}} C_{\text{air}} V \Delta\Theta}{T} \quad \rho_{\text{air}} \approx 1,3 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_{\text{air}} \approx 1200 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

V est le volume intérieur de la maison et T est en général pris égal à une heure. En réalité, pour maintenir le taux de CO_2 en dessous de 0,1 %, il suffit de réaliser un débit d'air de 37 m^3 par heure et par personne, * ce qui chez nous correspond à T = 4,3 heures les jours où nous sommes tous les cinq enfermés dans la maison.

c) *Puissance totale perdue*

$$P = \int_{\text{parois}} K \Delta\Theta dS + \frac{\rho_{\text{air}} C_{\text{air}} V \Delta\Theta}{T}$$

que l'on peut écrire $P = G V \Delta\Theta$ où G est le coefficient de déperdition volumique de la maison.

Pour une maison standard très bien isolée, ce coefficient peut atteindre $G \approx 0,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$.

Pour une maison solaire avec des capteurs actifs placés sur le toit, on pourrait calculer le coefficient ; par contre, pour une maison bio-climatique comme la nôtre, avec des espaces tampons qui peuvent chauffer (serres), cela ne signifie plus rien.

* cf. «Architecture et climat artificiel» de Jacques Olivet.

d) *Énergie perdue en une journée par une maison classique*

$$W = \int_{1 \text{ jour}} P dt = GV \int_{1 \text{ jour}} \Delta\Theta dt$$

e) *Énergie perdue en un hiver (octobre à mai) par une maison classique*

$$W = GV \int_{1 \text{ an}} \Delta\Theta dt$$

où les $\Delta\Theta$ ne sont pris en compte que si l'air extérieur est plus froid que l'air de la maison.

$\int_{1 \text{ an}} \Delta\Theta dt$ est appelé nombre de degrés jours unifiés (D.J.U.) dans le cas où $\Theta_{\text{intérieur}} = +18^\circ\text{C}$.

A Pau, $\int \Delta\Theta dt \approx 2050$ D.J.U. pour une année moyenne.

Au cours de l'hiver 1986-1987, on a eu à Pau-Uzein :

$\int \Delta\Theta dt = 2070$ D.J.U. (d'octobre à mai)* et pour l'hiver 1987-1988

$\int \Delta\Theta dt \approx 1850$ D.J.U.*.

f) *Apport solaire*

Un capteur solaire ayant un rendement r , une surface S et recevant le soleil sous un angle d'incidence α , capte : $P = F_0 S r \cos\alpha$ où F_0 est le flux solaire qui, par ciel clair et à basse altitude, est de l'ordre de 1 KW/m^2 (la constante solaire valant $1,3 \text{ KW/m}^2$ en haute altitude).

Le rendement r est d'autant plus grand que le fluide dans le capteur (air ou eau) est à une température peu élevée.

5.2. **Données relatives à notre maison (garage exclu)**

* Surface au sol (non compris les serres) 160 m²
deux niveaux d'habitation + combles

* cf. Météorologie Nationale - Station de Pau-Uzein

Surface habitable des pièces climatisées	292 m ²
Surface du plancher des serres	52 m ²
Surface des combles (dont 50 m ² mansardés)	110 m ²
* Volume d'air effectivement climatisé	800 m ³
Volume des serres	140 m ³
Volume des combles	165 m ³
* Surface vitrée (aluminium + verre) des serres	105 m ²
Surface de verre des serres bien exposées aux rayons solaires à midi	78 m ²
* Masse totale de la maison effectivement climatisée ≈ 400 tonnes	
Chaleur massive moyenne des matériaux utilisés :	
$C_{\text{maison}} \approx 800 \text{ J. Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	
* Surfaces d'échanges thermiques :	
160 m ² avec le sol (dalle sur lit de graviers)	
50 m ² de murs isolés extérieurement et enterrés	
160 m ² entre maison et combles (espace tampon) avec un coefficient d'échange $K = 0,4 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$	
180 m ² de toiture entre combles et extérieur avec $K \approx 0,3 \text{ S.I.}$	
50 m ² de murs entre maison et garage souterrain avec $K = 0,4 \text{ S.I.}$	
50 m ² de murs entre maison et serre avec $K \approx 0,4 \text{ S.I.}$	
85 m ² de murs donnant sur l'extérieur avec $K \approx 0,4 \text{ S.I.}$	
65 m ² de murs ou toiture entre maison et extérieur avec $K = 2,5 \text{ S.I.}$	
20 m ² de fenêtres donnant sur l'extérieur avec $K = 2,5 \text{ S.I.}$ (en période froide cette surface est ramenée à 10 m ² par des coussins remplis de laine de verre)	
35 m ² de portes-fenêtres donnant sur les serres avec $K = 2,5$ (volets la nuit)	

- * Un calcul précis et complet donnent un coefficient G voisin de $0,8 \text{ W m}^{-3} \text{ K}^{-1}$ pour la maison sans les serres (ce qui est très bon) soit une consommation moyenne annuelle pour assurer 18°C dans les pièces :

$$W = GV \int \Delta\theta dt$$

$$W \approx 0,8 \times 800 \times (2050 \times 24 \times 3600) = 1,13 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

$$\approx 31\,500 \text{ KWh}$$

5.3. Étude comparative de 4 journées d'hiver (janvier)

Ces résultats proviennent de calculs longs et approximatifs mais qui semblent vérifiés par l'expérience (la réalité est cependant un peu plus favorable à l'usager que ces estimations).

		Très froid sans soleil	Pluie froide et sans soleil	Froid sec ensesoleillé	Assez doux et ensesoleillé
$\Theta_{\text{extérieur}}$	$^\circ\text{C}$	-5	+5	0	+8
Θ_{maison}	$^\circ\text{C}$	+16	+18	+17	+18
Pertes par conduction	KWh	86	52	58	45
Pertes par renouvellement de l'air	KWh	150	87	95	62
Apport solaire	KWh	0	0	95	120
W Bilan journalier (apport solaire - pertes)	KWh	-150	-87	0	+58
Variation de la température (1) de la maison en l'absence de chauffage	$^\circ\text{C}/\text{jour}$	-1,7	-1	0	+0,65
W Bilan journalier (2) de la maison sans serres ($K \approx 0,8 \text{ SI}$)	KWh	-320	-200	-260	-150
Variation de la température de la maison sans serres et non chauffée	$^\circ\text{C}/\text{jour}$	-3,6	-2,2	-2,9	-1,7

$$(1) \quad \Delta\Theta = \frac{W}{M_{\text{maison}} C_{\text{maison}}} = \frac{W \times 3,6 \cdot 10^6}{400 \cdot 10^3 \times 800}$$

$$(2) \quad W = GV \int_{1 \text{ jour}} \Delta\Theta dt = -\frac{0,8 \times 800 \times 24 \times 3600}{3,6 \times 10^6} (\Theta_{\text{maison}} - \Theta_{\text{ext}})$$

La serre non seulement permet un apport solaire (chauffage), mais limite fortement les pertes par conduction et par renouvellement de l'air.

Il faut noter que les journées sans aucun apport solaire sont exceptionnelles et les bilans relatifs à notre maison sont en réalité nettement moins défavorables que ce qui ressort du tableau. En effet, un ciel nuageux mais clair réchauffe sensiblement l'air des serres. Pratiquement, la température de la maison baisse de 0,25 à 1 degré au cours d'une triste journée d'hiver. Il faut une grosse vague de froid pour que la baisse quotidienne de température dépasse 1,5 degré (en l'absence de chauffage).

Du tableau précédent, il ressort que les serres apportent entre 110 et 260 KWh par jour (moyenne pondérée de l'ordre de 180 KWh) et cela 5 à 6 mois par an (novembre à avril), soit environ 30 000 KWh pour la période de chauffage. La consommation de la maison sans serre étant de l'ordre de 31 500 KWh, on conçoit que l'autonomie énergétique de notre maison solaire est quasiment établie... ce que démontrent irréfutablement les faits (que nous allons examiner au chapitre suivant).

6. ÉCONOMIES RÉALISÉES RECHERCHE D'UN RENDEMENT

6.1. Équivalences KWh, fuel, bois, francs

Notre chauffage d'appoint essentiel est un poêle à bois GODIN. Le stère de bois utilisé nous coûte 120 F. (1987) et pèse 400 kg. Ce bois a un pouvoir calorifique de 3,7 KWh/Kg, soit 1 500 KWh par stère. Le rendement du Godin étant estimé à 50 %, le stère de bois nous apporte donc 750 KWh.

Remarque : 120 F pour 750 KWh, cela fait 16 centimes le KWh.

Un litre de fuel apporte, via une chaudière, 7 500 Kcal, soit 8,7 KWh aux radiateurs. A 2,00 F. le litre (1987) on obtient 23 centimes le KWh.

Le chauffage électrique revient plus cher et impose de s'abonner à des puissances élevées (ce qui serait ridicule comme appoint unique dans une maison solaire, car on paierait plus en abonnement qu'en consommation).

Pour notre étude, nous utiliserons la relation énergétique suivante :

$$\underline{1 \text{ stère de bois}} \approx 750 \text{ KWh} \approx 86 \text{ l de fuel}$$

6.2. Consommation et rendement énergétique de notre maison

Nous allons comparer notre maison à une maison équivalente (de même volume) et, ayant les mêmes surfaces d'échange (soit l'excellent coefficient $G \approx 0,8 \text{ S.I.}$, précédemment calculé). Nous appellerons «maison standard» cette maison de référence.

Pour l'hiver 1986-1987, on a eu à Pau 2070 D.J.U. (degrés jours unifiés). La maison standard a consommé :

$$W = GV \int \Delta\Theta \, dt = \frac{0,8 \times 800 \times 2070 \times 24 \times 3600}{3,6 \cdot 10^6} = 32000 \text{ KWh}$$

Notre maison a réellement consommé 2,5 stères de bois et 300 KWh électriques (4 convecteurs électriques ont fonctionné partiellement pendant 8 jours), soit un total de 2 200 KWh pour un prix de 450 F. T.T.C.

Le rendement énergétique des aménagements bio-climatiques est :

$$r = \frac{32\,000 - 2\,200}{32\,000} = 93 \%$$

Pour l'hiver 1987-1988, on a eu à Pau 1850 D.J.U. Consommation de la maison standard : 28 400 KWh. Consommation réelles : 1,3 stère de bois et 65 KWh, soit un total de 1 040 KWh (180 F. T.T.C.).

Rendement énergétique : $r = 96 \%$.

Pour un hiver moyen (2 050 D.J.U.) nous estimerons nos besoins à 2 ou 3 stères de bois et 200 KWh électriques, soit environ 2 000 KWh alors que la maison standard consomme 31 500 KWh.

Pour passer convenablement un hiver très rude, la maison nécessiterait quelques aménagements. Mais pourrions-nous jamais les amortir ? Si ce n'est au bout de plusieurs siècles ? Mieux vaut stocker 7 ou 8 stères de bois en prévision d'une vague de froid comme celle de février 1956 ou de janvier 1985 et peut-être installer un deuxième GODIN.

6.3. Amortissement financier des aménagements solaires

Notre serre (aluminium bronzé et verre plus montage) nous a coûté 150 000 F. (en août 1986). Nous aurions pu faire pour moins cher (110 000 F.) mais nous avons choisi le confort et l'esthétique.

Mais nous avons ainsi créé une véritable pièce à côté du séjour et nous avons économisé la pose de rambarde aux balcons et la construction d'une petite serre horticole pour les semis du jardin. Le surcoût relatif à cette serre peut être estimé à 90 000 F. environ.

Surcoût de terrassements et de drainage pour enterrer partiellement la maison : 6 000 F.

Surcoût d'isolation vers le toit : 8 000 F. (travail personnel), mais ces deux aménagements ont amélioré le coefficient G de la maison de référence et ne devraient donc pas être pris en compte.

Remplissage des moellons avec du sable afin d'alourdir les murs de refend : 3 000 F.

Chauffage central au fuel (cuve, chaudière, radiateurs, régulation) : environ 60 000 F. économisés.

Six convecteurs électriques utilisés et un poêle GODIN : 15 000 F.

Surcoût solaire global :

$$90\,000 + 3\,000 + 15\,000 - 60\,000 \approx \mathbf{48\,000\,F.}$$

En tenant compte des surisolations (qui ont amélioré G), on arrive à peine à un surcoût de 70 000 F.

La maison standard, sans serre, équipée d'un chauffage au fuel, consommerait 31 500 KWh, soit 3 600 l de fuel, soit 7 200 F. par an (si le litre de fuel reste à 2 F.).

L'installation de chauffage au fuel ayant une durée de vie limitée et nécessitant un entretien, on peut estimer à 8 500 F. par an le coût réel de ce chauffage, outre l'investissement initial.

Alors que notre maison consomme environ 450 F. par an.

Le temps de retour des aménagements bio-climatiques (durée d'amortissement) est donc :

$$48\ 000 / (8\ 500 - 450) \approx 6 \text{ ans}$$

En refaisant le calcul avec le prix total de la serre, on trouverait 13,4 ans, mais alors la maison de comparaison serait nettement moins confortable. Il serait plus juste de faire la comparaison en prenant le prix total du devis le moins cher (110 000 F.) proposé par l'artisan qui a effectivement réalisé nos travaux. Le temps de retour devient alors 8,5 ans.

En tout état de cause, nous pouvons estimer que la durée d'amortissement des aménagements solaires, en tenant compte du prix actuel de l'énergie (plutôt bas), est comprise entre 6 et 10 ans.

6.4. Surcoût des aménagements bio-climatiques

Le prix total T.T.C. de la maison (sans le terrain) avec plans, terrassements, accès, branchements, assainissement, clôtures, grand garage enterré, serres, chauffe-eau solaire, taxe locale d'équipement, etc... est d'environ 1,3 millions de francs en 1986. Il faudrait rajouter à cette somme ma contribution manuelle aux travaux (environ 1 an de travail d'un ouvrier). On arrive ainsi à 1,4 million de francs en 1986.

Le surcoût bio-climatique, suivant qu'il est comparé à la maison seule ou à l'ensemble maison-garage-branchements etc..., oscille entre 4 et 6 % des coûts de construction.

Vu la qualité des matériaux utilisés et le sérieux des équipes qui ont travaillé sur le chantier et vu l'importance des surfaces habitables et non habitables, le prix de la maison est très raisonnable et même compétitif sur le marché actuel des maisons ou autres pavillons de grande diffusion. Il suffit de comparer les prix au mètre carré. Et pour ce prix nous avons en plus chauffage et chauffe-eau solaires !

Vu la taille imposante de notre maison on obtiendrait une bonne idée des coûts, consommations et économies pour une confortable villa solaire, habitable par une famille de 5 à 6 personnes, en divisant par 2 tous les résultats chiffrés présentés dans cet article.

Le surcoût relatif à la surisolation au niveau du toit et à l'enterrement partiel de la villa est à comparer aux économies réalisées par amélioration du coefficient G de la maison standard.

Avec un coefficient déjà très convenable $G = 1 \text{ S.I.}$, la maison standard consommerait 39 400 KWh par an, soit 1 800 F. de plus (dans le cas du fuel) que la maison utilisée pour la comparaison.

Il va sans dire qu'une augmentation importante des prix de l'énergie diminuerait sensiblement la durée d'amortissement.

7. LA VIE DANS UNE MAISON BIO-CLIMATIQUE

Est-ce différent d'une autre maison ? Est-ce intenable pendant les heures de chauffage solaire ? Y a-t-il de grosses contraintes ? Peut-on automatiser, conduire par ordinateur une telle maison ?

Nous allons répondre à toutes ces interrogations bien légitimes de la part de non initiés !

7.1. L'été

A la belle saison, de mai à octobre, les serres sont ouvertes et la maison se comporte exactement comme une bonne vieille maison bien lourde, avec une bonne inertie thermique. Des pièces au rez-de-chaussée bien fraîches (et encore très agréables à l'étage), une maison très lumineuse, donc un confort tout-à-fait haut de gamme !

7.2. Contraintes hivernales

En période de fonctionnement solaire, de novembre à avril, notre maison, telle qu'elle est actuellement, nécessite un minimum de « pilotage » : il faut ouvrir les portes-fenêtres qui donnent sur les serres quand la température de ces dernières est supérieures à la température de la maison et les refermer dans le cas contraire.

En pratique, les jours sans soleil, la maison reste isolée des serres et les jours de beau temps bien franc, nous ouvrons les serres vers 9 h 30 - 10 h et les refermons vers 17 h - 18 h. Et les jours de giboulées, il peut nous arriver de tout ouvrir et refermer deux fois. L'inertie des serres, bien que faible, est suffisante pour ne pas avoir à effectuer d'autres manipulations.

Si nous oublions d'ouvrir, eh bien, nous ne profitons pas vraiment du chauffage solaire, quoique les renouvellements d'air à travers une serre chauffée (entre 35° et 50°C !) et les fuites thermiques de la serre vers la maison apportent cependant une contribution non négligeable. Pour augmenter cette contribution, je suis en train d'installer des ventilateurs qui chassent l'air du haut des serres vers la maison, cette dernière étant mise en dépression par une VMC (ventilation mécanique contrôlée) le tout étant déclenché par un thermostat mis dans la serre et réglé sur 22°C.

Si nous oublions de refermer la maison sur la serre, c'est peut-être un peu plus grave. Nous nous trouvons ramenés aux maisons bio-climatiques traditionnelles équipées de murs Trombe ou d'équivalents (serre non séparée thermiquement de la maison). L'oubli n'est donc pas rédhibitoire.

Nous voyons donc qu'il y a des consignes pour le bon fonctionnement de la maison, mais leur non respect n'est pas trop grave et la tolérance relative aux heures d'ouverture ou de fermeture, fort grande (une heure de décalage est sans conséquence mesurable). Il aurait cependant été souhaitable de n'installer que des baies coulissantes entre la maison et la serre et de les équiper de vérins afin d'automatiser ces ouvertures-fermetures. La contrainte n'est pas d'ouvrir et fermer mais d'être présent pour le faire !

7.3. Températures hivernales

* En période de beau temps, doux ou froid, peu importe, il fait très bon dans la maison. Dans la journée, l'air chauffé dans les serres envahit toutes les pièces. Dans les serres, les thermomètres indiquent entre 28° et 35°C et dans la maison de 20 à 26°C, suivant l'heure et la température extérieure. Le soir, après 18 heures, les thermomètres installés dans la maison (posés sur des meubles et non contre les murs) descendent assez vite et vers 21 heures on se retrouve à peine un degré ou deux au-dessus de la température des murs (l'équilibre thermique étant réalisé au cours de la nuit).

En moyenne au cours de ces deux hivers, la température des murs a oscillé au cours des périodes de beau temps entre 18° et 21°.

* Quand il pleut ou que le ciel est bien gris, la maison se refroidit peu à peu. Elle perd de 0,25 à 1°C par jour suivant les circonstances. Quand la température chute en dessous de 18°C dans le séjour, nous allumons un peu le Godin chaque soir. Quand la température atteint 17°C dans le séjour (et environ 15°C dans les chambres à l'étage le Godin tourne à plein régime de 10 h à 20 h (si nous sommes là !)) afin de ramener la température de l'ensemble de la maison à 17° ou 18°C. Le Godin est installé dans le séjour qui communique directement avec le reste de la maison par la cage d'escalier. Cela permet donc de bien chauffer l'ensemble de la maison.

Ces jours assez rares de chauffage intensif nous pouvons brûler de 30 à 50 kg de bois (1/10 de stère représente 40 kg). L'apport thermique quotidien du Godin est donc d'environ 75 KWh. Pendant la vague de froid de janvier 1986, il y eut quelques jours (7 ou 8) où la consommation fut de l'ordre de 150 KWh (bois + convecteurs), la température extérieure avoisinant les -10°C par temps couvert ; mais dès qu'il y eut un peu de soleil sur la neige, les serres se remirent à bien chauffer et la consommation de bois chuta aussitôt.

7.4. Est-ce intenable dans les serres en période de chauffage solaire ?

La réponse est oui ! Ces serres ne sont pas habitables ! Il peut y faire 3 ou 4°C la nuit et 35°C le jour qui suit (avec des pointes à 45° ou 50°C si on oublie d'ouvrir la maison pour utiliser l'air chaud).

Et pourtant les géraniums n'ont pas cessé d'y fleurir tout l'hiver et le citronnier y a fort bien résisté sans parler des plants de tomates qui apprécieraient particulièrement. Par contre, au printemps et en automne ou au cours des soirées d'été, les serres sont fort agréables à vivre.

7.5. Faut-il un ordinateur pour décider d'ouvrir ou fermer les serres et régler la consommation du Godin ?

Si vous avez les connaissances, le temps et les disponibilités financières, pourquoi pas ! Mais après tout, la maison n'est pas plus dure à «conduire» qu'une mobylette et les erreurs de conduite y sont beaucoup moins dangereuses !

7.6. Est-ce difficile d'entretenir toutes ces vitres ?

C'était une de nos inquiétudes ! Finalement, le travail est très limité car tout le verre hors de portée des enfants ou des animaux ne demande qu'un entretien minime : nul à l'extérieur (la pluie s'en charge) et deux nettoyages annuels (avec une éponge) à l'intérieur.

8. LE CHAUFFE-EAU SOLAIRE (AVEC APPOINT ÉLECTRIQUE)

De très nombreuses études ont été faites sur les chauffe-eau solaires et nous n'y reviendrons pas. Excellents d'avril à octobre, leur efficacité laisse à désirer au cours des cinq mois de la mauvaise saison. En hiver, une résistance d'appoint placée dans le cumulus assure le complément indispensable. Voilà pour la théorie.

Pratiquement, les jours de temps incertain, l'eau qui sort des capteurs peut être portée facilement à 30° ou 40° ; mais si l'eau qui se trouve dans le cumulus est à 45°C (ou plus), l'apport solaire sera inutilisable, et cela se produit fort souvent ! La solution que nous avons adoptée consiste à mettre en série deux cumulus : un ballon de 200 litres avec échangeur solaire puis un ballon de 150 litres avec la résistance d'appoint. On effectue donc un préchauffage solaire. L'apport solaire étant maintenant toujours utilisé le rendement de l'installation augmente sensiblement. Et pour les cas exceptionnels (quand nous sommes 10 ou 12 à la maison) une résistance d'appoint placée dans le premier cumulus assure une quantité d'eau chaude suffisante, quel que soit le temps qu'il fasse. Pratiquement, plutôt que d'avoir un seul chauffe-eau de 350 litres, il en vaut deux mis en série (et surisolés par de grosses épaisseurs de laine de verre) ; cela revient à peine plus cher mais le système est beaucoup plus souple d'emploi plus confortable et beaucoup plus performant. Le surcoût financier (moins de 1 000 F) est amorti en peu d'années.

Chez nous, la surface totale des capteurs solaires pour le chauffe-eau est de 4 m².

Le prix global de l'installation (terrasson en zinc posé sur le toit, capteurs, ballons, sécurité, etc...) est d'environ 20 000 F., soit un surcoût solaire de plus de 17 000 F.

En estimant à 250 litres d'eau chaude (à 45° ou 50°C) notre consommation quotidienne pour les besoins sanitaires, et cela 300 jours

par an, avec un rendement solaire de 75 % (ce rendement est de 100 % l'été et chaque fois que nous coupons l'appoint électrique) et en supposant que l'eau d'adduction est en moyenne échauffée de 35 degrés, on effectue une économie :

$$W = 75/100 \text{ m c } \Delta\Theta = 75/100 \times (250 \times 300) \times 4180 \times 35 = 8,2 \cdot 10^9 \text{ J} \\ = 2 \text{ 300 KWh}$$

A 33 centimes le KWh électrique (tarif heures creuses), l'économie annuelle est donc de 750 F.

Le temps de retour de cet investissement financier est :

$$t = 17 \text{ 000 F} / 750 \text{ F / an} \sim 23 \text{ ans}$$

Et à condition de vraiment utiliser régulièrement ce chauffe-eau.

Le matériel tiendra-t-il 23 ans ? Peut-être.

L'intérêt financier de ce type de chauffe-eau n'est absolument pas démontré. Sans doute serait-il préférable d'employer des chauffe-eau solaires tout simples, sans double échangeur (pas d'antigel dans les panneaux) et de les purger avant l'hiver. Ces chauffe-eau simples (très nombreux en Israël) ne fonctionneraient que l'été mais ils seraient vite amortis et leur maintenance ne poserait guère de problèmes. Alors pourquoi avoir mis un tel chauffe-eau ? Pour l'image de marque de la maison !

Imaginez vous la maison d'un écologiste sans chauffe-eau solaire et sans éolienne ? Non ! Alors comme je n'ai pu trouver de chauffe-eau israélien, je me suis rabattu sur le marché français ! Et puis mon plombier était si sympathique et si consciencieux que je ne pouvais le décevoir.

Et puis, après tout, quel plaisir de pouvoir se doucher sans avoir à compter ! Mais le côté pernicieux de la chose est que, justement, on est tenté de gaspiller de la bonne eau potable, alors qu'on sait que dans certaines régions de France, il y a un problème relatif à la consommation excessive d'eau.

Nota : Si le prix du KWh augmentait rapidement, mon chauffe-eau solaire deviendrait une bonne affaire !

Mais dans l'état actuel de la technique et des prix de l'énergie, tout système solaire actif qui utilise l'eau (avec antigel ou non) comme fluide caloporteur afin de réchauffer des accumulateurs de chaleurs (dalles de béton ou chapes de mortier), n'est pas vraiment rentable (sauf si l'on fait soi-même le travail !).

9. COMMENT ADAPTER NOTRE MAISON À UN CLIMAT FROID ET HUMIDE ?

Telle quelle, notre maison permettrait de substantielles économies dans un climat moins propice. Il y a cependant moyen d'améliorer nettement ses performances de façon à encore obtenir une quasi autonomie sur les 9/10^{ème} du territoire français. Il faudrait :

- 1) L'enterrer complètement au Nord et à l'Ouest.
- 2) Mettre une serre ou une pièce tampon à l'Est (garage, atelier, etc...).
- 3) Mettre un crépi sombre dans les serres.
- 4) Remplacer les menuiseries alu des serres par des menuiseries en bois avec doubles vitrages (coulissants ou ouvrants à la française). Cela ne coûterait pas plus cher et augmenterait énormément le rendement du chauffage solaire. Par contre, il y aurait des problèmes d'entretien.
- 5) Isoler les serres la nuit avec des rideaux réflecteurs d'infrarouges ou en tissus épais (placés contre les vitres extérieures de ces serres).
- 6) Étudier sérieusement les besoins de renouvellement de l'air pour les limiter à une juste valeur pendant les périodes de grand froid.

10. GÉNÉRALISATION DU CHAUFFAGE SOLAIRE DES LOCAUX

Les principes appliqués à notre maison pourraient bien sûr s'appliquer à des immeubles collectifs. Les performances seraient bien moindres car il semble peu réaliste de rendre borgnes les façades nord (et encore moins de les enterrer !). Cependant les économies réalisées seraient conséquentes.

Et transformer une maison existante en maison bio-climatique ? Ça dépendrait beaucoup des cas. Cela semble assez facile pour de vieilles maisons béarnaises ayant leurs façades sud largement ouvertes et ne présentant au nord que de minuscules fenêtres. Et les serres placées plein sud existaient déjà au début du siècle pour bien des maisons

paloises ou d'autres villes du Béarn. Et l'esthétique dans tout ça ? C'est à étudier au coup par coup et il existe des réalisations exemplaires en ce domaine.

11. CONCLUSION

Voici deux années passées dans notre villa. Nous avons essuyé une vague de froid (-11°C en janvier 1987) avec une chute de neige exceptionnelle (60 cm), nous avons passé également quelques journées caniculaires (38°C en août 1987) et une période de 15 jours sans soleil avec des pluies froides (mars 1988). Les épreuves du climat sont tout à fait concluantes : notre villa brave les intempéries sans difficultés et avec un confort certain pour l'utilisateur. La maison est rustique (c'est-à-dire solide, fiable, sans entretien) et remarquablement économe. Les pièces sont lumineuses et bien agencées (pas de contraintes désagréables liées à la technique utilisée).

Chaque année, nous avons l'impression de gagner 8 000 F. de chauffage et nous n'avons pas à attendre la venue d'un camion de fuel ou d'un réparateur de chaudières. Pas d'inquiétude quand on annonce une grève EDF. Pas de crainte d'un nouveau choc pétrolier. Juste un peu de bois à scier ou à refendre (2 à 3 stères par an). Notre maison est vraiment sympathique !