



## Maison individuelle à .....(31)

---

Etude thermique du projet

Analyse thermique par simulation dynamique

<i>Maître d'ouvrage</i>	<i>Maître d'oeuvre</i>
Nom : M. B.	Qualité : Ph. C. et M. C.
Architectes	:
Adresse : Hte Garonne	Adresse
:	
Tél. :	Tél. :
<i>Thermicien ou bet</i>	<i>Lieu de construction</i>
Nom : Gefosat	Adresse :
Adresse : Maison de la Mer	
Quai Baptiste Guitard	
34140 MEZE	
Tél. :	

## 1 - Objectifs de l'étude.

La maison de M. B., près de Toulouse , construite dans le courant de l'année 1999, répond aux principaux critères bioclimatiques. Elle associe à la fois du solaire passif et du solaire actif par un système de ventilation. Les principaux éléments adoptés pour limiter les besoins de chauffage en hiver et assurer le confort en été sont les suivants :

- une serre orientée au sud.
- une forte inertie assurée par une isolation extérieure.
- un stockage par galets situé sous la maison.
- un réseau aéraulique reliant la serre, le stockage et l'habitat.
- un chauffage d'appoint par un poêle bois relié au stockage galets

La présente étude a pour but de préciser les points suivants :

1/ évaluer l'intérêt des principaux systèmes de récupération solaire en hiver :

- serre seule.
- serre avec soufflage direct dans l'ambiance dès que les conditions le permettent.
- serre avec stockage intersaisonnier dans le stock de galets.

2/ vérifier si le taux de récupération solaire optimal en hiver correspond au taux de 70 % annoncé par le concepteur.

3/ vérifier le confort thermique en été dans les cas suivants :

- sans stockage intersaisonnier et sans ventilation nocturne.
- sans stockage intersaisonnier et avec ventilation nocturne.
- avec stockage intersaisonnier et ventilation nocturne.

4/ comparer les températures calculées en différents points de l'installation avec celles mesurées manuellement par l'occupant en automne.

5/ Analyse d'un puits canadien en comparaison avec le stockage intersaisonnier utilisé pour le préchauffage de l'air neuf en hiver et pour le rafraîchissement en été.

## 2 - Méthodologie générale.

Une visite sur place a permis de réunir les informations nécessaires à la réalisation de cette étude.

Les logiciels utilisés pour les différentes simulations thermiques sont "COMFIE" (version PC 2.0) développé et validé par l'École des Mines de Paris associé à l'environnement-utilisateur "PLEIADES" développé par GEFOSAT (dans version de développement au 15/5/98).

L'analyse d'optimisation énergétique a été conduite en trois étapes :

### Etape 1 - Sélection des données météorologiques.

#### Fichier TRY :

Les calculs ont été effectués à partir des données météorologiques horaires moyennes types issues de la Station Météo France situé à Agen qui correspond le mieux au climat Toulousain .

#### Détermination du pourcentage d'heures pour des température > à 27° C :

Ce paramètre définit une durée d'inconfort. Il a été calculé durant une période d'été comprise entre le 20 Mai et le 20 Septembre soit pour les 4 mois les plus chauds de l'année ( semaines 21 à 37 ).

### Etape 2 - Analyse globale sur toute l'année et détermination des besoins.

Décomposition de la totalité de la maison en différentes zones thermiques avec saisie détaillée des données constructives et thermiques puis analyse par simulation dynamique sur toute l'année sur ces zones.

Les résultats obtenus permettent d'évaluer les besoins réels de chauffage et les températures respectives de chaque pièce de la maison en tenant compte de façon rigoureuse :

- de la récupération des apports gratuits (occupants, éclairage, équipement).
- de l'intermittence selon les hypothèses de scénarii de fonctionnement et de ventilation.
- de la performance de récupération des apports solaires.

### Etape 3 - Analyse détaillée sur le confort thermique.

Analyse sur le comportement thermique des différentes options sur les séquences critiques définies précédemment.

### 3 - Descriptif et hypothèses de calcul .

#### Variantes étudiées :

Afin de bien évaluer l'intérêt des options retenues dans le projet, nous avons étudiés plusieurs variantes :

#### "Standard"

Cette maison "standard" est de forme parallèpipédique, a la même surface habitable, le même niveau d'isolation, le même nombre d'occupants que le projet étudié et, bien entendu, est situé sur le même site mais avec une orientation quelconque. Elle diffère du projet par sa conception non bioclimatique.

#### "Base" ou serre seule

Cette option reprend exactement les plans du projet mais sans les systèmes de récupération solaire par ventilation et stockage intersaisonnier.

Elle n'intègre pas non plus les options permettant de se protéger des surchauffes d'été comme la ventilation nocturne et les protections solaires.

#### "Base plus" ou serre avec récupération directe

Cette variante correspond à l'option précédente avec récupération par ventilation forcée de la chaleur produite dans la serre.

Dans cette version, une ventilation nocturne est effectuée. Les protections solaires sont simplement assurées par les masques architecturaux et par la treille végétale comme dans l'option précédente.

#### "Projet" ou serre avec stockage intersaisonnier

L'option "projet" correspond au projet étudié avec l'intégration des principaux critères bioclimatiques et de mode de récupération solaire prévu par le concepteur.

Elle intègre aussi une bonne gestion de la ventilation avec les mêmes protections solaires que l'option précédente.

Les principales caractéristiques de l'option "Standard" et de l'option "Projet" sont résumées dans le tableau suivant :

	<i>Standard</i>	<i>Projet</i>
Orientation du bâtiment	Est/Ouest avec des vitrages uniformément répartis sur toutes les façades du bâtiment	Sud avec des vitrages concentrés plus fortement sur cette façade
Inertie	Faible	Forte
Isolation des murs	8 cm de polystyrène	idem
Nature des vitrages	Alu à rupture de pont thermique - 4/16/4	idem
Protections solaires architecturales	Non	Débords + treille formant une casquette sur les vitrages Sud-Ouest et auvent au Nord-Ouest
Équipement de protections solaires	Non	Non
Renouvellement d'air	Simple flux	Préchauffage par la serre ou le stock
Récupération serre	Non	Récupération de la chaleur de la serre par ventilation forcée direct ou vers le stockage
Ventilation nocturne	Non	Oui
Intermittence sur le chauffage	Non	Non

### Les matériaux :

- Mur extérieur : blocs RTH 85 composé de l'intérieur vers l'extérieur de 15 cm d'aggloméré ciment, 8 cm de polystyrène, 2 cm de lame d'air et de 8 cm d'une planelle d'aggloméré ciment.
- Cloison intérieure : parpaing de 20 cm et brique plâtrière.
- Plancher du rez de chaussée : dalle béton de 16 cm sur hérisson avec carrelage.
- Plancher sur cave : plancher type entrevous standard.
- Toiture : écran réfléchissant + isolant laine de roche de 145 mm + panneau de particule de 12 mm.
- Fenêtre : alu à rupture de pont thermique - 4/16/4.
- Vitrage serre : simple vitrage de 6 mm - Menuiserie bois en red cedar.

### Les protections solaires :

Pour les protections solaires étudiées dans le projet , les valeurs d'affaiblissement sont calculées automatiquement suivant les saisons par le logiciel :

- débords de toiture : masque architectural .
- treille : protection végétale .

### Définition des zones :

Le bâtiment a été divisé en 8 zones dont les principales caractéristiques sont les suivantes :

<i>Zone</i>	<i>Pièces associées</i>	<i>Surface</i>	<i>Volume</i>
1	Séjour	31.60	152
2	Serre	19.80	57
3	Salle de bain	10.20	41
4	Chambre Sud-Est	08.90	24
5	Chambres Nord-Est	36.30	96
6	Cellier-WC	04.90	24
7	Cave	22.30	53
8	Galets	0	10
<i>Total bâtiment</i>		<b>134.00 m2</b>	<b>457 m3</b>
<i>Total chauffé</i>		<b>105.30 m2</b>	<b>337 m3</b>

### Les scénarios de fonctionnement :

Puissance dissipée	Celle-ci prend en compte les apports internes par les occupants et les équipements de la maison : cuisine, éclairage, électroménager.
Nombre maximal d'occupants	4 personnes.
Définition des zones	Nous avons découpé le projets en 8 zones : Séjour-cuisine-couloir, serre, salle de bain, chambre Sud-Est, chambres Nord-Est et bureau, cellier-wc, cave et stockage galets.
Répartition de l'occupation	Scénario standard hebdomadaire d'une famille de 4 personnes.
Chauffage	L'énergie principale utilisée est le bois à partir d'un poêle. Un radiateur électriques soufflant est placé dans la salles de bain. Consigne de chauffage de 18 °C.
Ventilation interne	Prise en compte suivant la variante étudiée.
Ventilation externe	Ventilation assurée par le système de ventilation Nous avons considéré une ventilation moyenne de 0.6 vol/h.

## 4 - Analyse en simulation dynamique .

### Les performances thermiques en hiver

#### Bilan global

##### Résultats

	"Standard"	"Base" Serre seule	"Base plus" Serre avec récupération directe	"Projet" Serre avec stockage intersaisonnier
<i>Besoins de chauffage (kWh/an)</i>	10300	7600	5400	2800
<i>Ratio besoins en kWh/m3</i>	31	23	16	8
<i>Apports solaires (kWh/an)</i>	5400	6300	8700	11400
<i>Apports internes (kWh/an)</i>	1800	1600	1400	1300
<i>Ratio besoins en kWh/m2</i>	99	72	51	27
<i>Puissance chauffage ((kW)</i>	6400	5400	4900	4300
<i>Gain</i>		-26%	-48%	-73%

##### Commentaires :

Le taux de récupération optimal de **73%** par rapport à la version de référence confirme le taux de 70% annoncé par le concepteur.

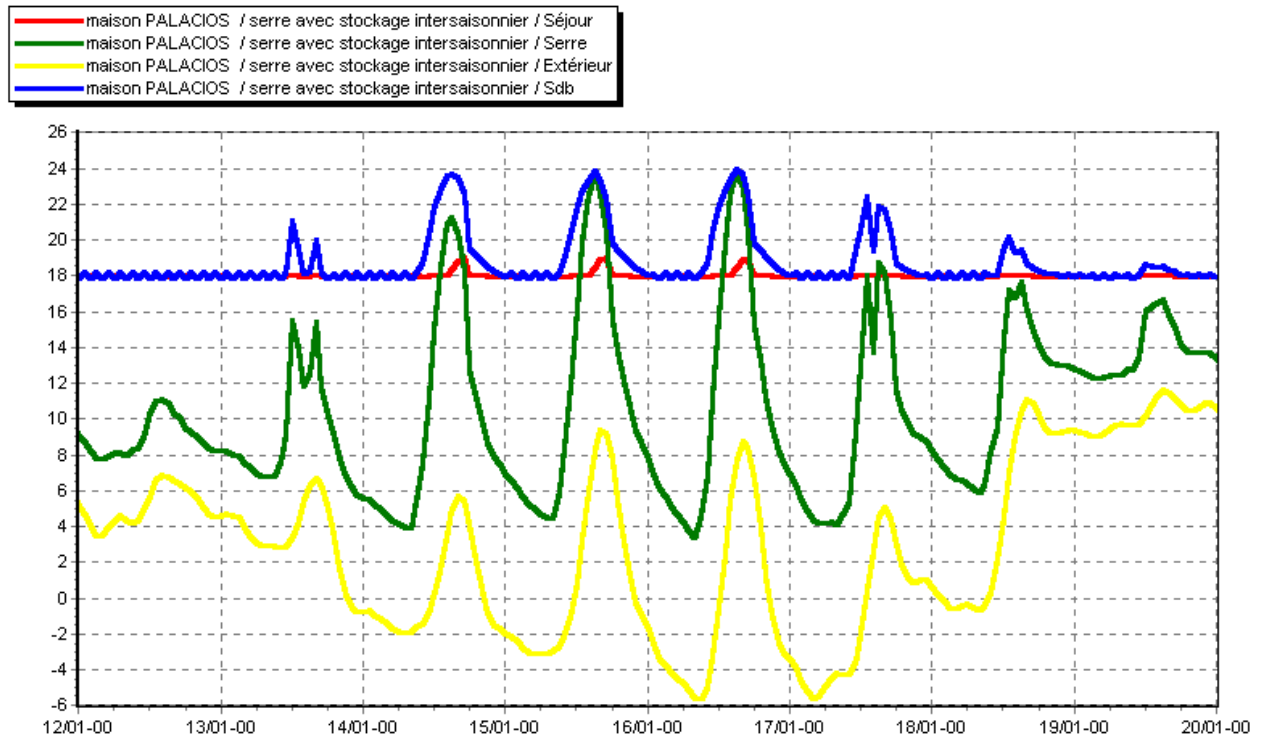
Par rapport à la version de base (serre seule), la ventilation et le stockage intersaisonnier permettent un gain de **63%**, résultat qui montre la pertinence des choix réalisés dans le projet.

Pour résumer, on peut dire que les besoins de chauffage baissent d'environ un quart entre chaque version.

Ainsi, sur une baisse totale de trois quarts à partir de la version de référence, un quart est dû à la conception bioclimatique associée à la présence de la serre, un autre quart est dû à l'optimisation de la ventilation directe de la serre vers le volume habitable et un dernier quart est associé au stockage intersaisonnier.

## Confort thermique au début de l'hiver

### Courbes de températures entre le 12 janvier et le 20 janvier



#### Commentaires :

Durant le jour le plus froid de l'hiver, bien que la température extérieure descende jusqu'à  $-6^{\circ}\text{C}$ , la serre reste hors-gel et atteint même  $24^{\circ}\text{C}$  en journée (écart de  $15^{\circ}\text{C}$  entre la serre et l'extérieur). Ces bonnes performances confirment l'intérêt d'une serre. Elles sont aussi en partie dues à la corrélation existant entre journées froides et bon ensoleillement.

La salle de bain bénéficie à la fois de la chaleur issue de la serre mais aussi des apports solaires directs à travers la paroi de brique de verre située au sud.

Ces conditions favorables permettent à la salle de bain d'atteindre  $24^{\circ}\text{C}$  sans chauffage pour une température extérieure de  $9^{\circ}\text{C}$  seulement.

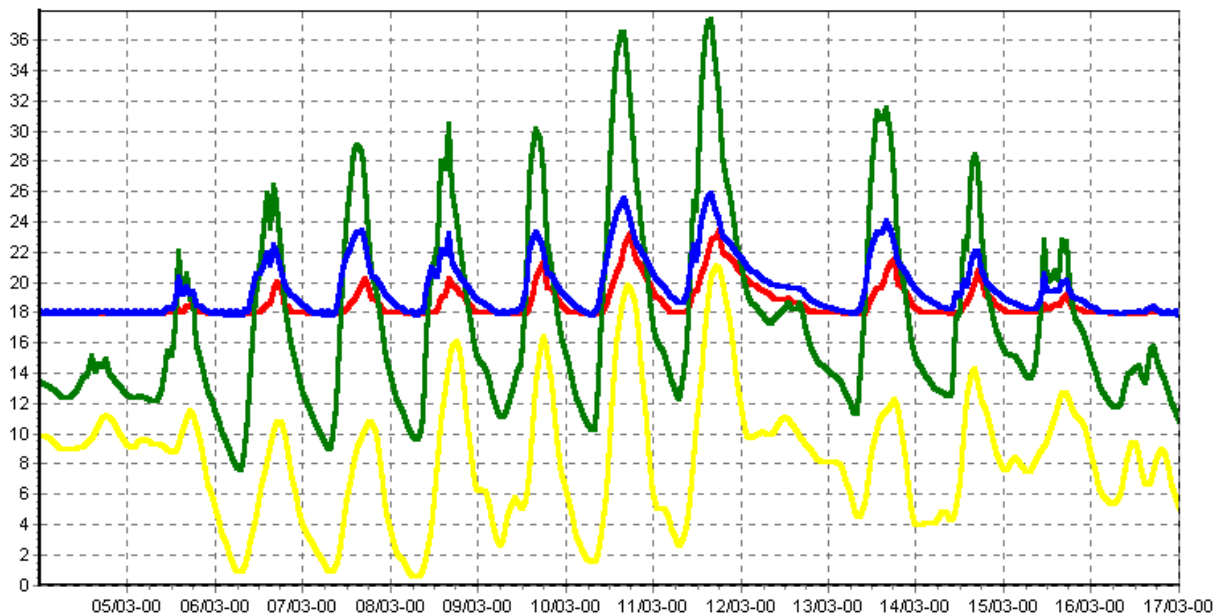
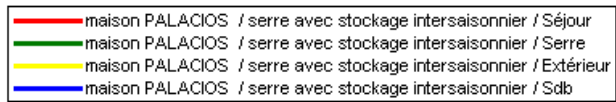
Pour le séjour, dont le volume est plus important et davantage en contact avec l'extérieur, cet effet est beaucoup moins marqué puisque la température ne dépasse pas  $19^{\circ}\text{C}$ .

Les autres pièces, moins bien exposées au soleil hivernal, restent à  $18^{\circ}\text{C}$  qui est la température de consigne du chauffage.



## Confort thermique à la fin de l'hiver

### Courbes de température entre le 5 mars et le 17 mars



#### Commentaires :

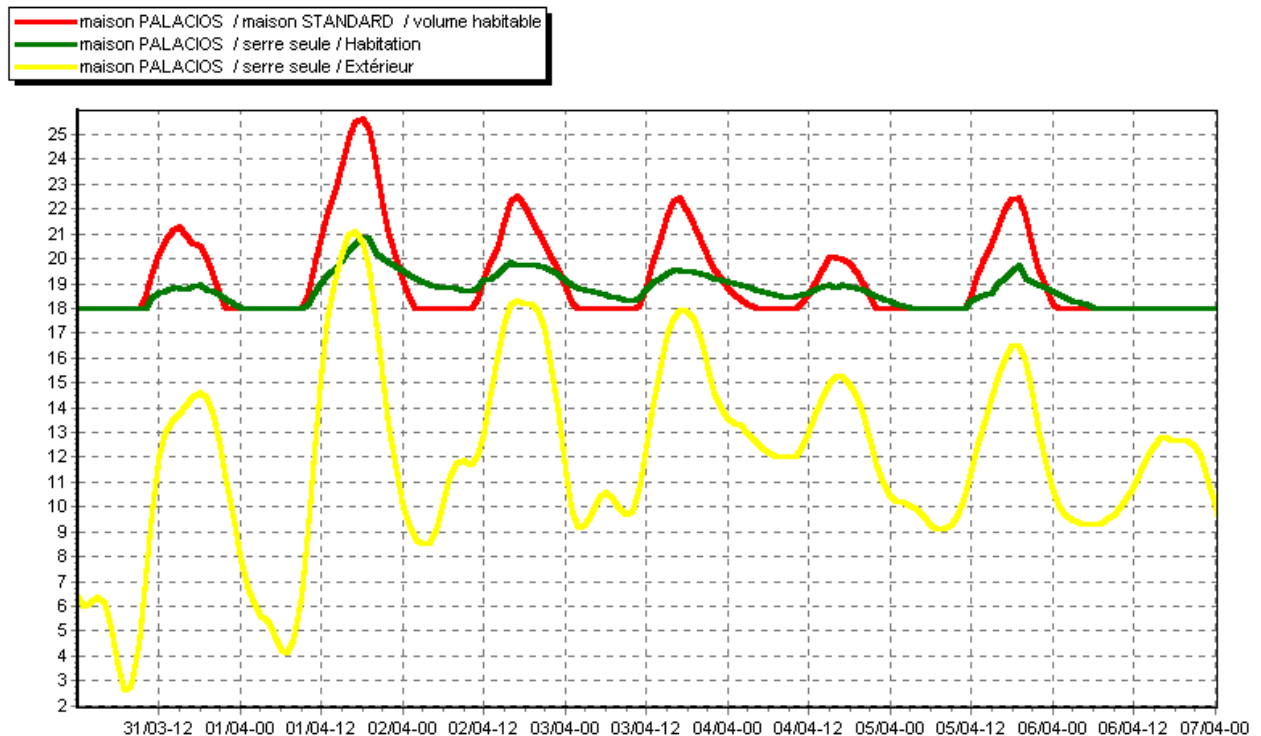
Pour une température extérieure supérieure à 18 °C, la serre dépasse largement 30 °C, Cette température élevée entraîne l'augmentation de la température des pièces avoisinantes les plus exposées comme la salle de bain et le séjour.

Les températures maximales de ces dernières atteignent respectivement 26 °C et 23 °C, mais elles restent encore inférieures à la température de 27 °C, seuil au-delà duquel l'inconfort est notable.

Ainsi durant cette période, les besoins de chauffage sont très faibles voire nuls pour certains jours.

## Intérêt de l'inertie au début du printemps :

Courbes de température entre une maison à forte inertie et une maison à faible inertie entre le 31 mars et le 7 avril



### Commentaires :

Dans cette comparaison entre la maison "standard" et la version "base" du projet, le volume habitable a été regroupé dans une même zone.

Ces courbes montrent l'intérêt de l'inertie due à l'isolation intégrée du bloc RTH 85 par rapport à la faible inertie d'une maison traditionnelle. Elle permet non seulement d'atténuer les surchauffes pendant la journée, mais aussi de récupérer cet excédent d'énergie pour le restituer la nuit.

L'autonomie totale de chauffage est ainsi assurée sur la période concernée.

Ceci explique qu'à niveau d'isolation équivalent, la période de chauffage d'une maison bioclimatique est plus courte que pour une maison traditionnelle.

## Les performances thermiques en été

### Bilan global

#### Résultats

	"Standard"	"Base" Serre seule	"Base plus" Serre avec récupération directe	"Projet" Serre avec stockage intersaisonnier
<i>Température maximale en °C</i>				
<i>Serre</i>		57.8	50.6	43.5
<i>Stock</i>		20.2	17.9	28.5
<i>Habitation</i>	38.0	31.6	29.3	29.2
<i>Séjour, zone la plus chaude</i>		34.1	31.6	31.4
<i>Chambre Nord, zone la plus froide</i>		30.5	28.2	28.1

#### *% de temps pour T > 27 °C*

<i>Habitation</i>	46	41	1	2
<i>Séjour</i>		48	4	7
<i>Chambre Nord</i>		21	1	1

#### Commentaires

La zone habitation correspond à l'ensemble du volume habitable. Il a été nécessaire de la simuler afin de pouvoir comparer le confort thermique des différentes options du projet avec la maison standard qui sert de référence.

Bien que la température maximale estivale soit une information intéressante pour évaluer l'inconfort atteint dans une zone donnée, elle demeure insuffisante pour caractériser la fréquence des périodes d'inconfort durant tout l'été.

Voilà pourquoi nous avons intégré dans l'étude une donnée représentant le pourcentage de temps où la température de 27 °C, considérée comme seuil d'inconfort, est dépassée. On estime que ce pourcentage caractérise une sensation d'inconfort s'il dépasse 5 %. Cela représente en moyenne un dépassement de température au delà de 27 °C durant 1 h 10 mn par jour.

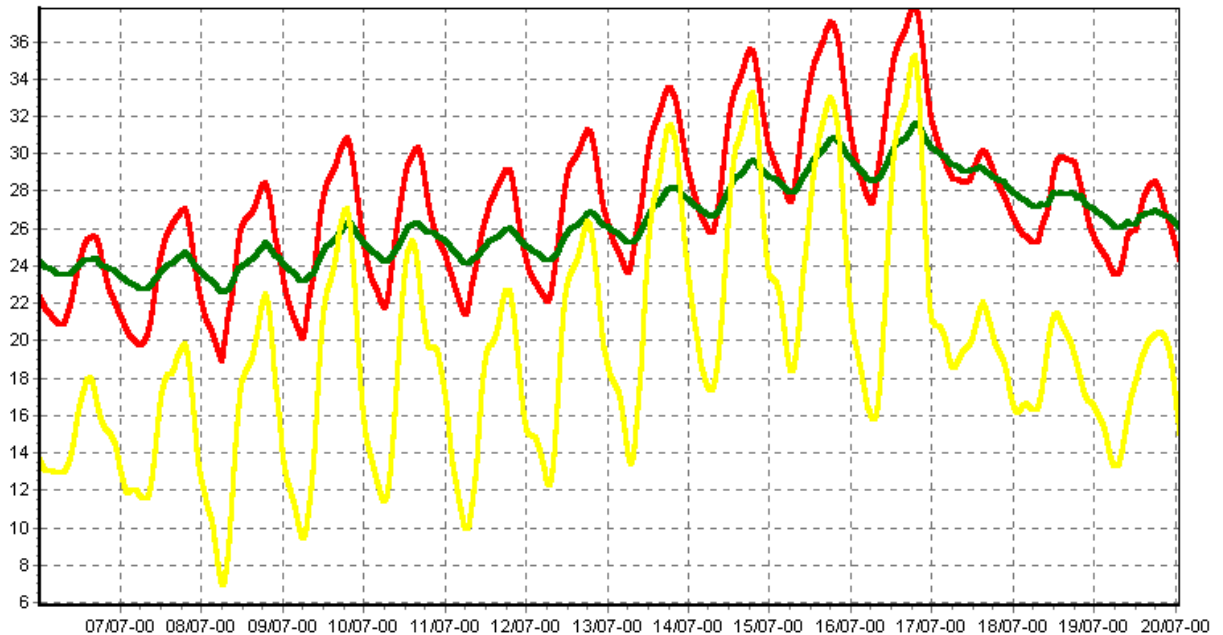
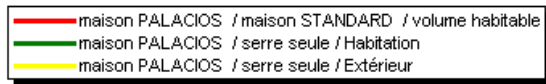
Ainsi, on remarque que pour la maison "standard" et l'option " base" du projet cette valeur est largement dépassée. Ces maisons peuvent donc être considérées comme totalement inconfortables en été.

L'option "Base plus" montre que le confort est atteint avec une ventilation nocturne de l'habitation, et cela dans toutes les pièces de la maison.

Le stockage intersaisonnier a pour conséquence de rendre légèrement inconfortable le séjour, les autres pièces restant en dessous du seuil d'inconfort. Cette augmentation de température est due à la chaleur emmagasinée dans le stockage de galets qui remonte à la surface du sol en fin de période estivale (compte tenu du déphasage ). Néanmoins, les températures maximales sont quasiment identiques à celles qui sont atteintes avec une ventilation nocturne uniquement. Afin de retrouver un confort suffisant dans le séjour, il suffira de fermer les stores ou les volets directement exposés aux rayons du soleil durant les quelques jours d'inconfort (façades ouest et nord-ouest).

## Intérêt de l'inertie en été

### Courbes de température du 7 juillet au 20 juillet



### Commentaires

Tout comme nous avons étudié précédemment l'intérêt de l'inertie au début du printemps, nous étudions ici l'intérêt de l'inertie en été.

Il faut tout d'abord noter que ces températures correspondent au volume habitable pris dans sa globalité et ne correspondent pas aux températures respectives de chacune des différentes pièces prise individuellement et qui seront étudiées dans les graphiques suivants.

Nous pouvons tout d'abord remarquer que l'inertie permet une forte atténuation de l'amplitude journalière de la température à l'intérieur de l'habitation. Ceci caractérise un bon indice de confort thermique avec une amplitude thermique passant de 9 °C à seulement 3 °C entre le jour et la nuit.

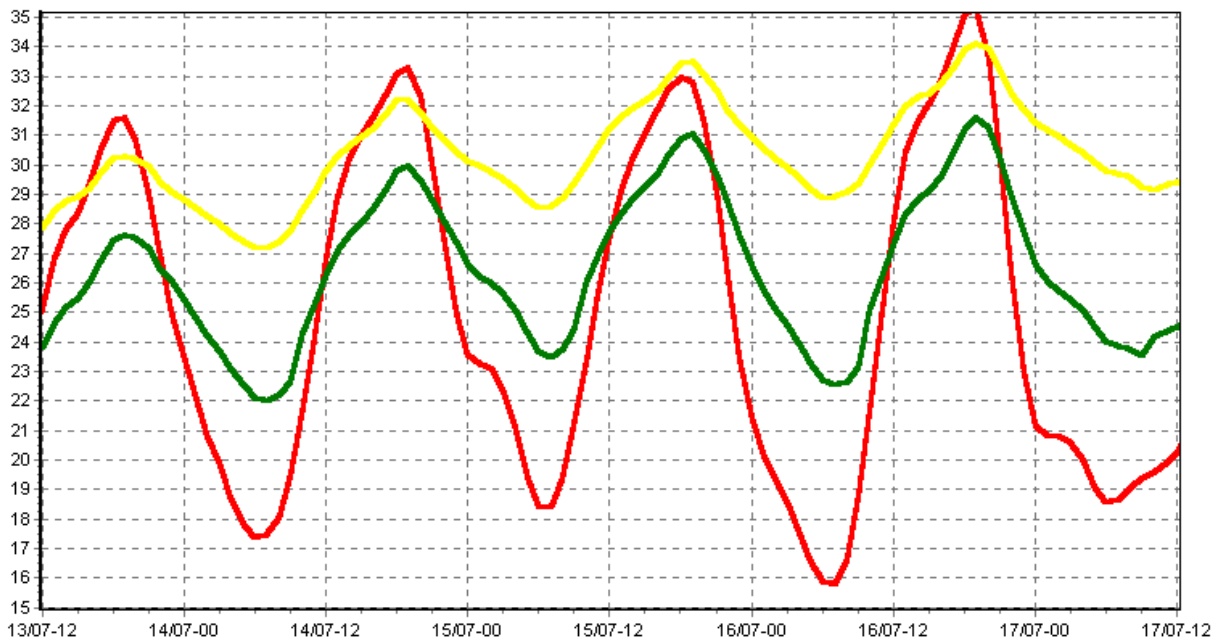
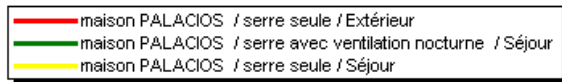
L'inertie permet de diminuer de 6 °C la température maximale durant la journée.

Par ailleurs, la température de l'option "projet" reste souvent inférieure à 27 °C. Durant les jours les plus chauds, la température intérieure dépasse 27 °C tout en restant inférieure de 2 à 4 °C par rapport à la température extérieure. On estime qu'un écart de 5 °C est suffisant pour créer une sensation de fraîcheur en rentrant dans le logement. On est donc proche de cette condition. Au-delà de 7 °C, écart souvent constaté dans des volumes climatisés, des risques d'affections respiratoires peuvent exister.

La maison sans inertie atteint dans tous les cas une température intérieure supérieure à la température extérieure. Cet effet "amplificateur" génère des températures pouvant atteindre certains jours 38 °C.

## Intérêt de la ventilation nocturne

### Courbes de température du 13 juillet au 17 juillet



### Commentaires

Ce graphique représente, pour les différentes options du projet, les variations de la température du séjour qui est la pièce la plus chaude de la maison ainsi que la température extérieure.

L'option "projet" avec stockage intersaisonnier a été volontairement omise. En effet, au début de l'été, il n'y a encore aucune influence du sol sur la température intérieure compte tenu du déphasage avec lequel la chaleur stockée dans les galets remonte jusqu'à la surface. Aussi, cette option est identique à l'option avec ventilation nocturne représentée ici.

L'option serre seule correspond ici à notre base : ventilation normale, pas d'occultation mobile (volets), serre non ventilée.

Dans cette version de base, on se trouve constamment (et même la nuit) au-dessus du seuil d'inconfort de 27 °C. On atteint même 34 °C...!

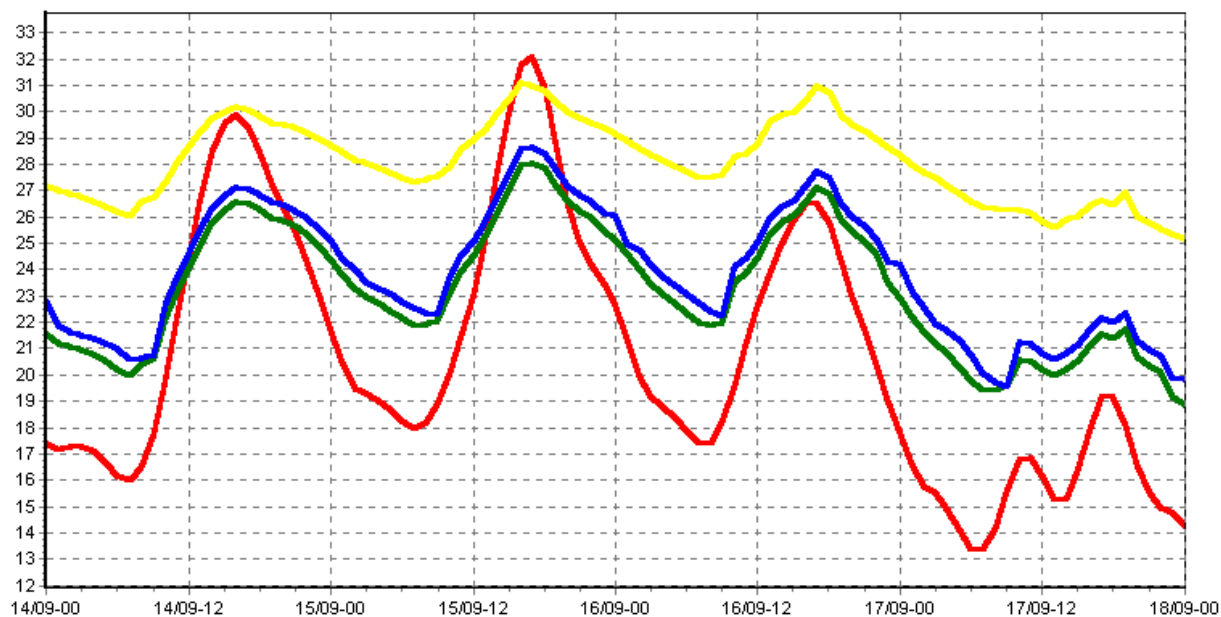
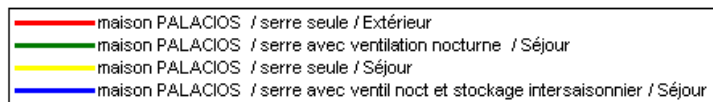
Dans l'option avec ventilation nocturne, par simple ouverture des ouvrants la nuit, ce qui correspond à un renouvellement d'air de l'ordre de 6 volumes/heure, on redescend vite au-dessous de 27 °C la nuit.

En journée, l'inconfort se fait sentir l'après-midi et pendant la soirée où la température atteint 31 °C durant le jour le plus chaud.

Cependant, comme pour l'étude précédente, la température intérieure reste inférieure à la température extérieure de 2 à 4 °C, réduisant ainsi l'inconfort en rentrant dans le logement.

## Températures maximales dans le séjour à la fin de l'été

Courbes du 14 septembre au 18 septembre



### Commentaires

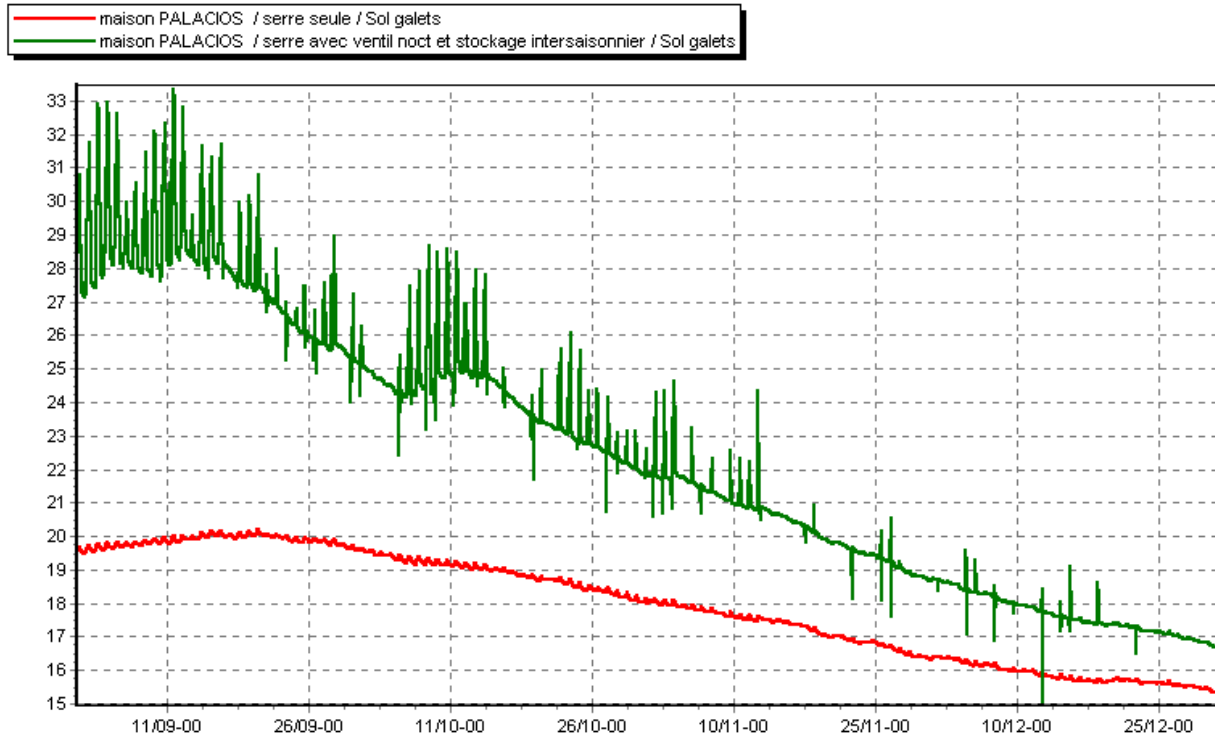
Ces courbes permettent de visualiser l'influence du stockage intersaisonnier sur le confort thermique.

On remarque que celui-ci engendre une hausse de seulement 1 °C de la température dans le séjour.

On peut donc dire que le stockage intersaisonnier a une influence négligeable sur le confort d'été.

## Températures du stockage de galets

Courbes du 1<sup>o</sup> septembre au 31 décembre



### Commentaires

Le graphique ci-dessus représente les températures du stockage de galets avec et sans ventilation. La période considérée débute au moment de l'arrêt du stockage jusqu'à la fin de l'année.

Sans stockage, la température de la zone galet dépasse difficilement 20 °C à la fin de l'été et décroît très lentement jusqu'à atteindre 15 °C à la fin de l'année.

Avec stockage, la température de la zone dépasse 28 °C à la fin de l'été pour décroître plus rapidement jusqu'à atteindre 17 °C à la fin de l'année.

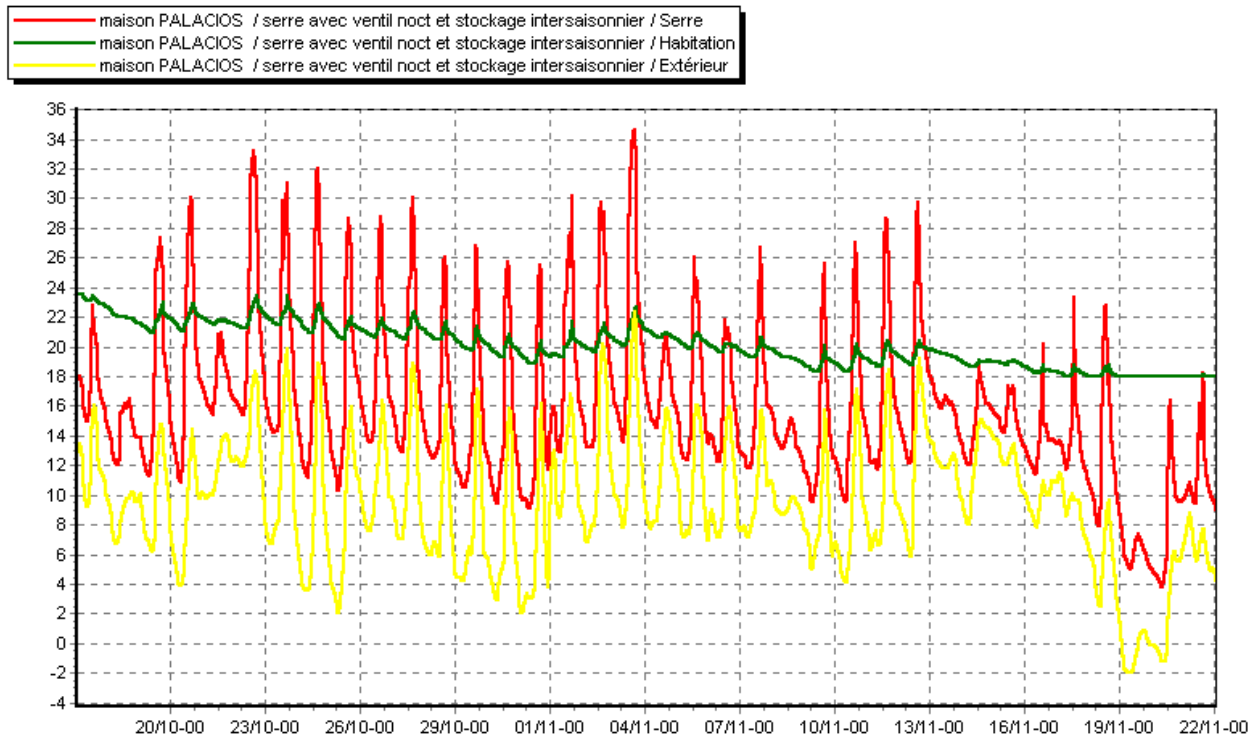
Ainsi à une baisse de 5 °C sans stockage correspond une baisse de 11 °C avec stockage, soit un gain de 6 °C !

Ce dernier chiffre n'apparaît à première vue pas très élevé mais il doit être associé à la masse considérable que représente les galets et les 250 m<sup>3</sup> de terre.

Remarque : les discontinuités verticales de la courbe lorsqu'il y a stockage sont dues à l'incapacité du stockage de galets à amortir rapidement les fortes amplitudes de températures lorsque la ventilation forcée est actionnée.

## Comparaison entre les mesures effectuées et les calculs

Courbes du 18 octobre au 22 novembre



### Commentaires

Nous avons pris ici la période de notre fichier météo pendant laquelle la température extérieure correspondait le mieux au relevé automnal des occupants.

Cette période critique se situe entre la fin de la période estivale et le début de la période de chauffage.

En ce qui concerne la serre, le relevé manuel indique une température maximale comprise entre 16 °C pour les jours couverts et 34 °C pour les plus ensoleillés. Ces valeurs correspondent tout à fait aux valeurs de la simulation dynamique.

Les températures mesurées dans le séjour oscillent entre 20 °C et 24 °C. Elles correspondent aussi assez fidèlement aux températures calculées qui vont de 19 à 24 °C.



## Analyse d'un puits canadien

Le principe du puits canadien ou "puits provençal" est de faire passer l'air neuf dans un ou plusieurs tuyaux enterrés dans le sol à une profondeur de 1 à 2 m.

En hiver, le sol étant plus chaud que l'air extérieur, l'air froid est préchauffé au contact des tubes.

En été, c'est l'inverse qui se produit. Le sol plus froid va permettre le rafraîchissement de l'habitation.

### Fonctionnement hiver

L'étude est réalisée à partir de l'option "Base - Serre seule". Afin de bien isoler la part d'énergie récupérable par le puits canadien, nous n'avons pas considéré la récupération par la serre.

### Dimensionnement retenu

Longueur du tube : 30 m

Nombre de tubes : 1

Diamètre : 160 mm

Nature du tube : PVC

Profondeur du tube : 1,50 m

Débit : 200 m<sup>3</sup>/h correspondant à un renouvellement d'air de 0,6 vol/h

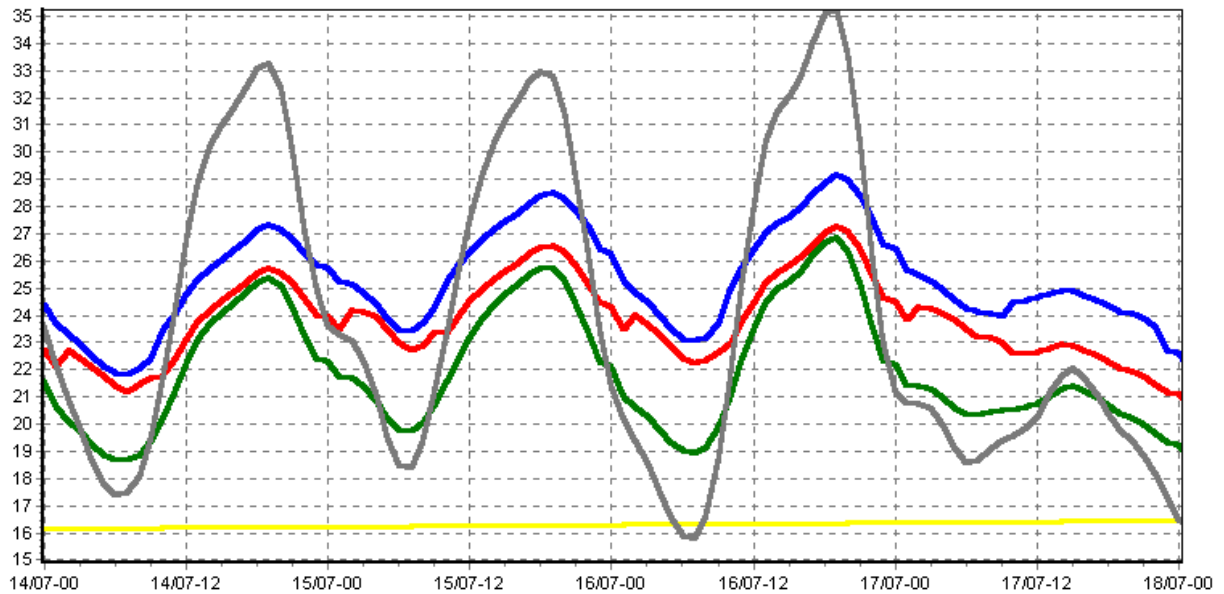
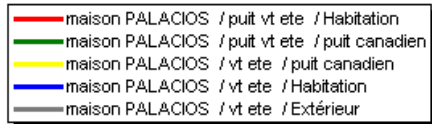
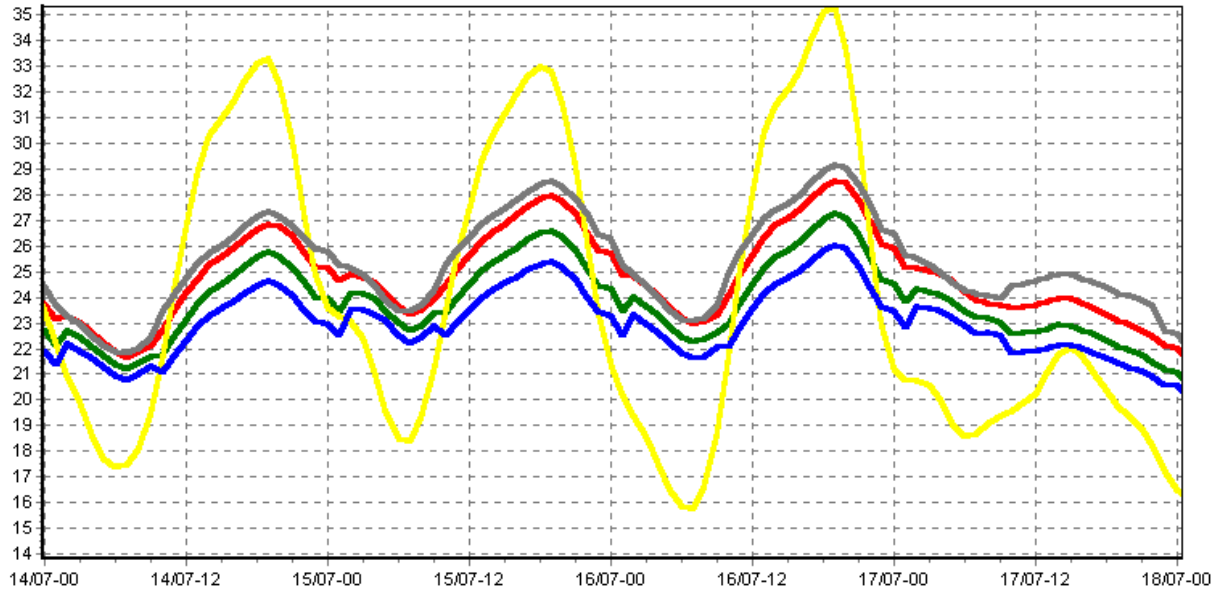
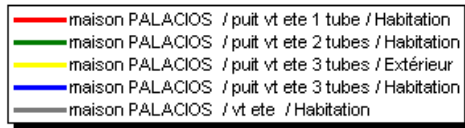
### Résultats

Le renouvellement d'air représente 45 % des besoins de chauffage de la maison soit 3 300 kWh/an.

Le passage de l'air par le puits canadien permet un gain de 1 500 kWh/an.

Cette valeur est à comparer à l'énergie récupérée par le stock de galets évaluée à 2 600 kWh/an.

## Fonctionnement été



## 5 - Conclusion

En divisant par 4 les besoins de chauffage par rapport à une maison standard, on peut en conclure que cette habitation répond parfaitement aux exigences d'économies d'énergie et donc de protection de l'environnement souhaitées par le maître d'ouvrage et l'architecte.

Les calculs en simulation dynamique ont confirmé les évaluations faites par le maître d'œuvre.

Le stockage intersaisonnier montre son intérêt puisqu'il permet d'améliorer de 34 % les performances thermiques du projet (par rapport au projet avec la serre sans ventilation ni stockage).

On a pu constater aussi qu'il avait une très faible incidence sur le confort d'été malgré l'augmentation de température du sol sous la maison.

Néanmoins, la diffusion de cette technique solaire peut, nous semble-t-il, se heurter à certaines contraintes :

- sa réalisation technique peut difficilement être standardisée comme peut l'être par exemple le plancher solaire direct. Elle demande une grande rigueur dans la réalisation des plans ainsi que dans la mise en œuvre complexe des réseaux de gaines et du stockage galets. Ce dernier doit être parfaitement étanche et sec pour éviter toute prolifération bactérienne.

*Nous avons pu vérifier dans le cas présent que le système avait été réalisé avec beaucoup de soins et de minutie.*

- les systèmes de chauffage à air peuvent générer du bruit et brasser les poussières s'ils sont mal conçus.

*Par la mise en place d'un ventilateur silencieux et d'un filtre sur le réseau, ce problème n'a pas été ressenti dans la maison étudiée.*

- la serre est véritablement considérée comme un capteur solaire. Elle peut difficilement être utilisée par l'occupant en mi-saison et durant l'été du fait de sa température élevée.

*Cette particularité est acceptée par les occupants.*

- A moins d'installer un échangeur air/eau sur le réseau, le système ne permet pas de faire de la production d'eau chaude sanitaire comme peut le faire plus facilement un chauffage solaire à eau.

*Nota : il est prévu d'installer sur le trajet de l'air venant de la serre une batterie d'échange air-eau courant 2008 ou 2009*