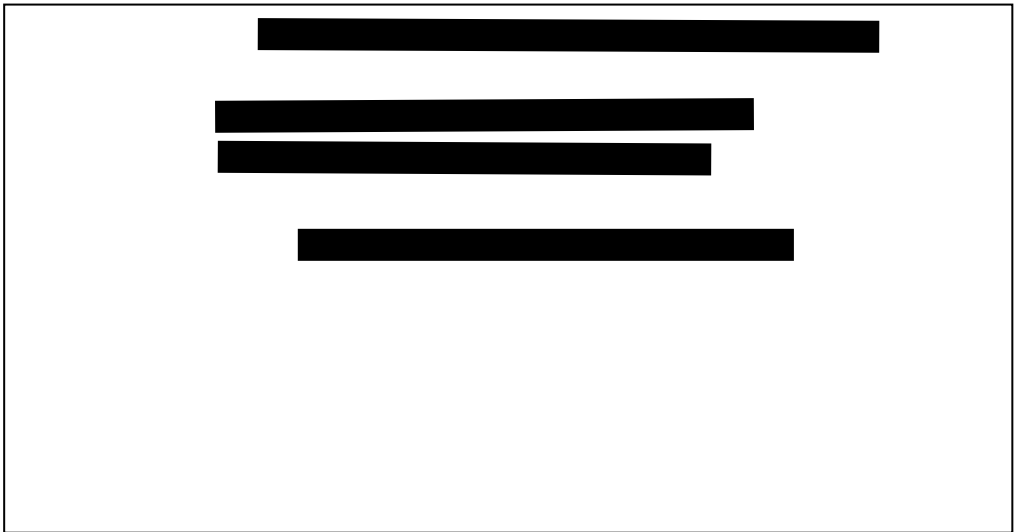




F
E
B
U
S

é
c
o
-
h
a
b
i
t
a
t





SOMMAIRE

INFORMATIONS GÉNÉRALES	P3
NOTRE MISSION	P5
LE MODÈLE THERMIQUE	P6
CONFORT D'ÉTÉ	P9
CONFORT D'HIVER	P13
DIFFERENTS SYSTÈMES DE CHAUFFAGE	P20
INSTALLATIONS PARTICULIÈRES	P23
CONCLUSION	P27
ANNEXES	P28

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Objectifs poursuivis

Cette étude thermique a pour objectif d'identifier les différents choix techniques et de constater leur influence sur le comportement thermique du bâtiment.

Les informations significatives de notre approche sont de différentes natures : architecturales (composition des parois et des ouvrants, orientation...), comportementales (nombre de personnes, occupation du bâtiment, utilisation des ouvrants,...), fonctionnelles (consigne de chauffage, type de ventilation, choix du matériel,...) et géographiques (site météorologique, altitude, masques solaires,...). Elles s'adaptent à votre cas particulier.

Les données comportementales et fonctionnelles utilisées sont des valeurs théoriques ou issues de schéma classique correspondant au mieux à votre usage. Aussi, les résultats obtenus peuvent être quantitativement différents de la réalité. En revanche, notre approche permet de comparer l'influence de tel ou tel paramètre sur le confort, les températures, les consommations énergétiques du bâtiment.

C'est toujours au terme de l'étude une décision humaine qui devra être effectuée par le propriétaire en pesant les avantages et les inconvénients associés à son objectif et à ses moyens.

Ce rapport présente surtout des résultats de simulations numériques : il ne saurait en aucun cas constituer le seul fondement d'un dimensionnement technique qui est de la responsabilité du maître d'oeuvre.

Contenu de ce rapport

Ce rapport contient les informations qui, à nos yeux, semblent pertinentes et indispensables. Elles vous aideront à appréhender les enjeux et les mécanismes présents dans votre bâtiment et ainsi à mieux comprendre son fonctionnement.

Nous faisons donc le choix de ne pas submerger le lecteur de chiffres techniques superflus. **L'ensemble de ces informations est naturellement disponible sur simple demande de votre part.**

Vous trouverez donc dans ce rapport :

- *Une description succincte des données thermiques utilisées et des hypothèses les plus importantes ;*
- *Les résultats les plus marquants des simulations réalisées ;*
- *Les différentes solutions envisageables ;*
- *Des conseils d'utilisation de votre bâtiment.*

Le but de ce document n'est pas de vous donner un avis ferme et définitif, mais de servir de base à une discussion vivante et constructive. N'hésitez pas à nous demander toutes les précisions complémentaires qui vous semblent nécessaires.

Qui sommes-nous ?

Il a été créé en octobre 2007. Notre activité est née de la volonté de deux ingénieurs conseils d'associer leurs expériences pour travailler en accord avec leurs valeurs.

Notre devise résume notre engagement :

« ***Pour concilier économie, confort et écologie.*** »

Nos deux activités principales sont aujourd'hui:

- *L'aide à la décision dans les domaines :*
 - *des économies d'énergie dans les bâtiments ;*
 - *des énergies renouvelables ;**pour le confort des hommes et le respect de l'environnement.*
- *la formation et la recherche dans la simulation de procédés.*



NOTRE MISSION

Notre mission consiste à simuler le comportement thermique de votre bâtiment dans les cas suivants :

- de référence que nous avons défini ensemble ;
- des modifications que vous souhaitez.

Le logiciel que nous utilisons est le logiciel protégé PLEIADES-COMFIE de la société IZUBA ENERGIE (www.izuba.fr) avec qui nous avons un contrat de licence.

Le logiciel nous permet d'estimer :

- Les surchauffes éventuelles liées au **confort d'été** ;
- Les besoins et puissance de chauffage liés au **confort d'hiver**.

Il nous permet également d'évaluer la consommation énergétique des modifications que vous souhaitez. Nous listons aussi celles qui minimisent votre consommation afin de tendre vers celle d'un bâtiment basse consommation.

Nous vous soumettons aussi une étude technico-économique des différents systèmes de chauffage existants issue de la littérature. Elle constitue une base de réflexion et de discussion pour vous orienter vers la solution qui vous semblera la plus adaptée.

En réponse à vos attentes, nous vous renseignons sur les installations particulières suivantes :

- La ventilation : débits **réglementaires** ;
- L'Eau Chaude Sanitaire (ECS) : état de l'art. Dans le cas de l'ECS solaire, nous utilisons le logiciel libre d'accès CALSOL de l'institut national de l'énergie solaire INES (www.ines.solaire.free.fr) ;

LE MODÈLE THERMIQUE

Une simulation dynamique consiste à analyser le comportement thermique du bâtiment dans son environnement (climat, ensoleillement, etc.), en fonction des habitudes des personnes, des appareils présents et des consignes de thermostat.

La simulation est effectuée heure par heure sur une année complète.

Représentation du bâtiment

Nous avons, à partir de plans, construit les zones thermiques du bâtiment (figure 1). Vous pouvez constater que nous incluons dans notre approche :

- *tous les murs intérieurs et extérieurs, le sol et la toiture ;*
- *toutes les ouvertures (portes, fenêtres, etc.).*

Chacun de ces éléments possède les propriétés thermiques :

- *que nous avons définies selon vos renseignements lorsqu'elles sont connues (composition des parois, vitrages, etc.)*
- *les plus « réalistes » possibles lorsqu'elles n'étaient pas connues (réflexion du sol, données météo, etc.)*

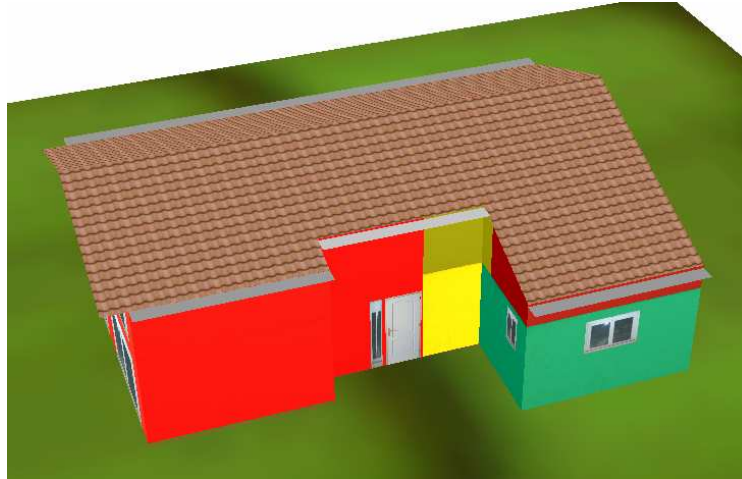


Figure1 : Vue 3D des zones thermiques

Nous avons découpé le bâtiment (voir plans en ANNEXE IV) en dix zones thermiques distinctes (chacune représentées par une couleur).

Composition du bâtiment

La composition des différentes parois du bâtiment est énumérée dans le tableau ci-dessous. Ces données ont été prises en compte pour effectuer les calculs des besoins de chauffage et des températures intérieures toute l'année.

PARAMETRE	VALEUR DU CALCUL DE REFERENCE
Murs extérieurs	chaux 20 mm + fibre de bois 20 mm + laine de bois 100 mm + brique 200 mm + plâtre 20 mm
Toiture	Toiture en tuiles, pare pluie souple + ouate de cellulose 300 mm + placo
Plancher bas	Maison sur « terre plein » : hérisson + polyuréthane 80 mm + dalle 120 mm
Plancher intermédiaire	Plancher hourdi isolant : béton lourd 120 mm + 80 mm de polystyrène extrudé
Fenêtres	Double vitrage bois performant
Cloisons intérieures	Plâtre 10 mm + brique creuse 70 mm + plâtre 10 mm
Portes	Portes donnant sur l'extérieur en bois massif
Chauffage	Chauffage au bois, pompe à chaleur, gaz...
Ventilation	VMC simple flux par insuflation

Tableau 1 : Composition des parois et du système de chauffage

A votre demande, nous avons effectué les variantes suivantes à partir de la référence :

	VARIANTE 1 : Puits CANADIEN
Ventilation	Puits canadien (1 tubes de 20 m à 1 m de profondeur)

	VARIANTE 2 : Puits CANADIEN
Ventilation	Puits canadien (1 tubes de 20 m à 1,70 m de profondeur)

Environnement et Climat

Site

Nom : HABAS

Altitude : 107 m, longitude : 0° 55' 42" O, latitude : 43° 34' 21" N.

Station météorologique

Nom : PAU UZEIN Nom du fichier : PAU.try

Altitude : 180 m ; Longitude : 0° 42' O ; Latitude : 43° 6' N

Température minimale : -2.2°C

Température maximale : 32.4°C

Température moyenne : 10°C

Janv	Févr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dece
6.6	7.4	9.4	11.5	14.7	17.9	20.6	20.1	18.7	14.8	10.1	7.5

Précipitations 1200 mm/an

Selon les données que nous avons relevées, les masques solaires, bâtiments ou végétation cachant de manière conséquente le soleil, ont été pris en compte dans cette étude.

Gestion des surchauffes estivales

Pour le confort d'été, en toiture, il est préférable de privilégier les matériaux qui offrent une plus grande inertie thermique et une plus faible diffusivité thermique.

Par exemple :

- pour les parties horizontales, un isolant type ouate de cellulose avec une épaisseur de 25 cm et une densité comprise entre 45 et 60 kg/m³;
- pour les rampants, un isolant type fibre de bois en 18 cm et 130 kg/m³.

Ces matériaux, utilisés dans ces conditions, possèdent alors un déphasage de 10 h. Un déphasage est la période entre le moment le plus chaud de la journée et l'instant où la chaleur pénétrera dans le bâtiment. A ce moment là, c'est la nuit, les fenêtres peuvent être ouvertes pour évacuer la chaleur du bâtiment.

Un isolant de type laine de verre ou de roche (densité standard : 7 à 25 kg/m³) même avec une épaisseur supérieure à 25 cm possède un déphasage plus faible, de l'ordre de 3 à 4 h. La chaleur rentre dans le bâtiment quand la température extérieure est la plus forte, donc quand il est impossible d'aérer.

De plus, par temps très ensoleillé, la fermeture partielle ou complète des volets en façade sud et ouest réduit la température interne.

Une sur-ventilation nocturne par ouverture des fenêtres facilite l'évacuation de la chaleur accumulée dans les murs et la toiture.

Charges thermiques

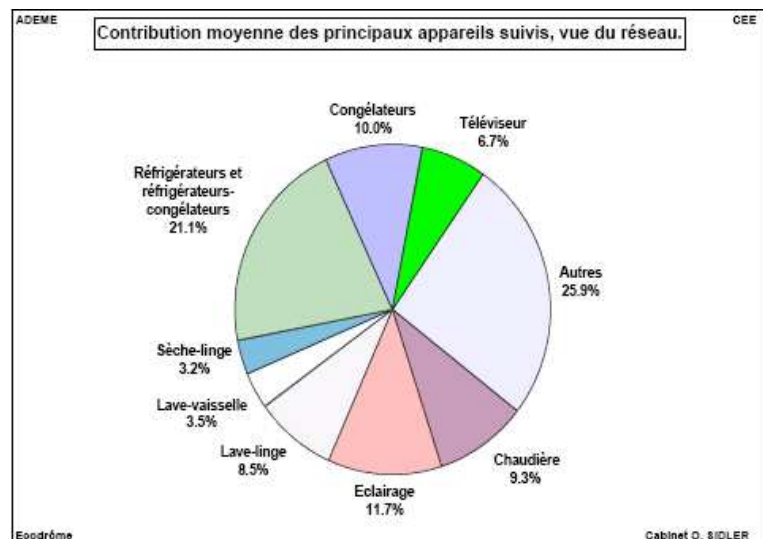
Le lien entre consommation électrique et risque de surchauffe a été démontré : tout appareil peu performant, en plus de consommer plus d'énergie, crée un risque accru de surchauffe et d'inconfort dans le bâtiment.

Selon l'ADEME, les appareils à surveiller plus particulièrement sont :

- *Les appareils de froid (réfrigérateurs et congélateurs) : à choisir de préférence de classe A. Ne pas les installer à proximité des fours. L'emplacement idéal est une pièce fraîche, permettant de diminuer les consommations de l'appareil.*
- *Les équipements de cuisson : en particulier les fours, à choisir de préférence de classe A.*
- *Les appareils TV : Vérifier à l'achat la puissance en usage. Comparer la pour les grands écrans, les appareils à plasma,...*
- *L'informatique : les tours d'ordinateurs ont une puissance de plusieurs centaines de Watts. Privilégier dans tous les cas les portables et les écrans LCD.*
- *L'éclairage : dans toutes les pièces de vie (séjours, chambres, salles de bain), utiliser des ampoules fluocompactes « économes ». Quelques ampoules à incandescences peuvent être tolérées dans les circulations, si les allumages sont brefs. Éviter au maximum les sources halogènes, y compris de type « spot ».*

D'une manière générale, tout appareil inutilisé et en veille doit pouvoir être complètement éteint, en utilisant par exemple une multiprise à interrupteur facilement accessible.

Les consommations liées au froid représentent près de 30% de la consommation électrique. Les veilles, incluses dans le poste « autres », représentent à elles seules de 10 à 15 % de la consommation, donc de la facture (source : Cabinet O. Sidler / ADEME).



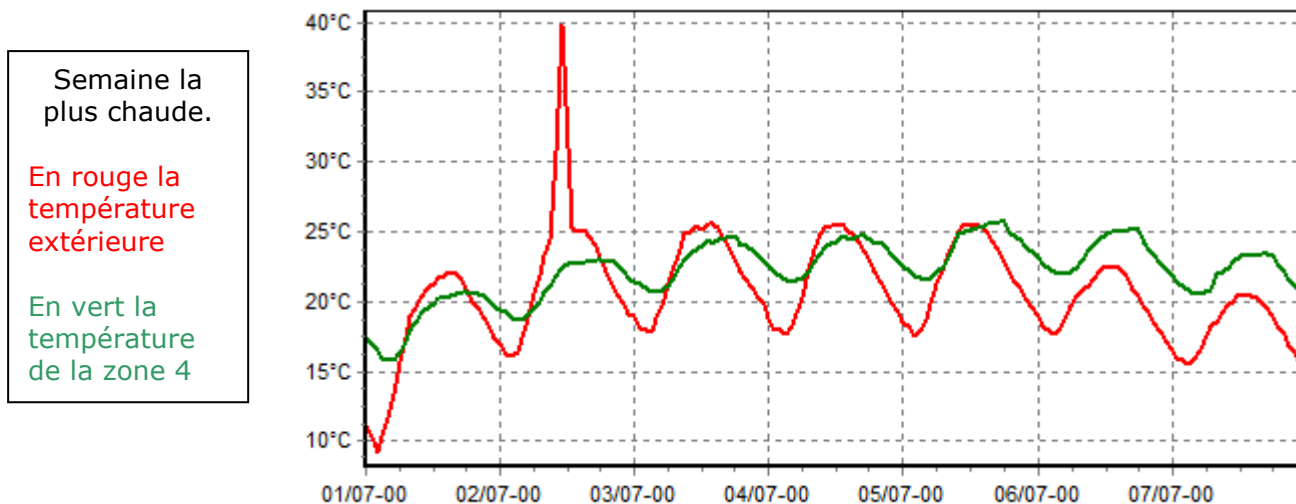
Graphique 1 : Contribution moyenne des principaux appareils

Résultats généraux

Nous simulons ici le comportement estival du bâtiment (période de mi-Mai à Septembre) avec le logiciel « Pleiades et Comfié ».

Nous regarderons les températures dans chaque zone thermique du bâtiment. Nous calculons également le taux d'inconfort de chaque zone. Le taux d'inconfort étant le pourcentage de temps où la température est supérieure à 27°C sur l'année.

Les graphiques ci-dessous montre l'évolution des températures intérieures du séjour (zone 2) lors de la semaine la plus chaude de l'année (début juillet).



Graphique 2 : Evolution des températures de la zone 4 et extérieur lors de la semaine la plus chaude

La température de la zone 2 lors de la semaine la plus chaude ne dépasse pas les 26°C. La forte inertie thermique du plancher bas et les qualités d'isolant en toiture et dans les murs permettent d'éviter les surchauffes l'été. En effet ceci permet d'obtenir un déphasage optimum de plus de 8h évitant ainsi à la chaleur de rentrer aux heures les plus chaudes de la journée. La sur-ventilation de nuit par ouverture des fenêtres permet de limiter l'amplitude des variations de température entre le jour et la nuit (maximum 5°C).

Ce graphique est représentatif du comportement des autres pièces du bâtiment.

Le tableau ci-dessous recense les températures maximales pour chaque zone tout au long de l'année dans la situation de référence du bâtiment.

Température maximale (°C)

Zone	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
SEJOUR	21,08	22,01	21,62	22,76	22,95	22,54	25,69	24,95	24,32	25,5	20,99	21
CELLIER	20,14	20,7	20,73	21,5	22,04	21,71	24,83	24,14	23,07	24,52	20,17	20,08
Chambre 1	20,64	21,44	21,4	22,4	22,83	22,51	25,72	24,92	24,26	25,32	20,73	20,56
Chambre 2	20,07	20,54	20,39	21,48	22,02	21,63	24,83	24,03	23,11	24,56	20,32	20,05
WC	20,15	20,89	20,69	21,65	22,2	21,82	24,93	24,19	23,29	24,53	20,18	20,1
Chambre ET 2	20,11	21,08	20,98	22,27	22,52	22,55	25,7	24,6	23,92	24,74	20,38	20,3
Chambre ET 1	20,41	21,61	21,49	22,46	22,86	22,55	25,72	24,92	24,33	25,3	20,53	20,57
Bain ET	20,72	21,47	21,48	22,62	23,09	23	25,96	25,06	24,25	25,24	20,93	20,71
Placard	20	20,24	20,23	21,25	21,69	21,89	24,95	23,99	23,01	23,86	20,05	20
Garage	17,77	17,95	18,08	18,51	18,77	18,41	20,14	20,37	19,85	20,39	18,48	17,84

Tableau 2 : Températures maximales de chaque mois pour chaque zone

Ce tableau récapitulatif montre que le bâtiment présente un bon comportement en été. En effet, il n'y a quasiment pas de problème de surchauffe et la température moyenne maximale est de l'ordre de 25°C : ce qui est tout à fait acceptable pour les personnes durant l'été.

Les besoins de climatisation sont donc inexistants dans cette étude car nous avons privilégié le rafraîchissement naturel (sur-ventilation la nuit par ouverture des fenêtres) à une climatisation mécanique.

CONFORT D'HIVER

Résultats généraux

Nous simulons ici le comportement hivernal du bâtiment avec le logiciel « Pleiades et Comfié ».

Pendant la saison de chauffe, du 8^{er} Octobre au 6 Mai, la maison est maintenue à une température de consigne de 20°C durant la journée et de 17°C pendant la nuit. Les pertes thermiques dues à un air extérieur plus froid sont estimées.

Le diagramme de Sankey, ci-dessous, est le bilan des différents gains et pertes de chaleur de l'habitat durant l'hiver.

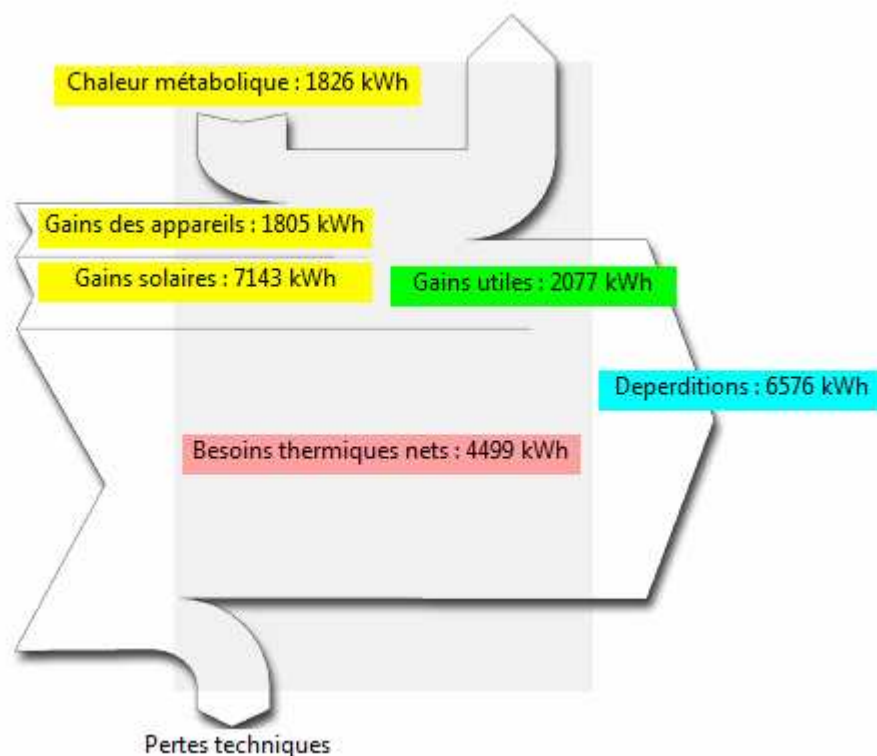
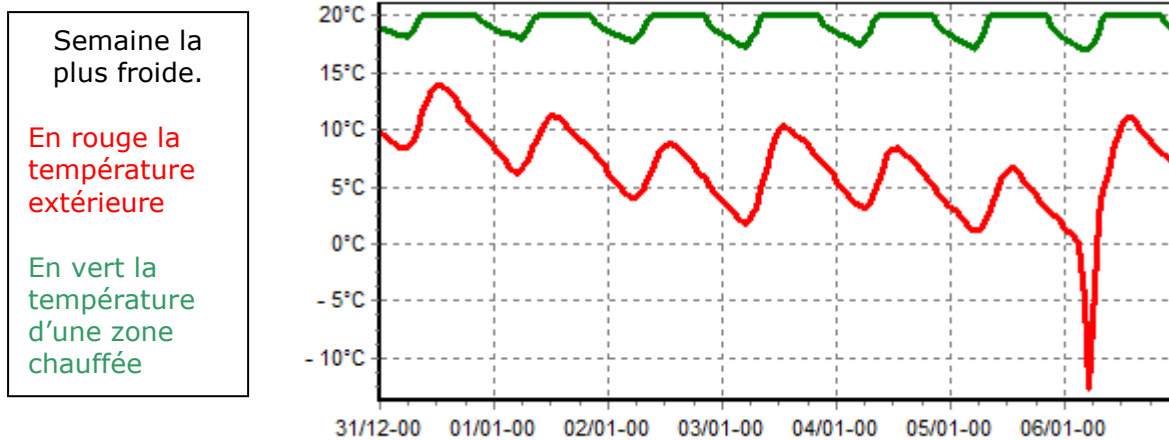


Figure 2 : Diagramme de Sankey

Une partie des apports thermiques gratuits est due à la chaleur corporelle des occupants et aux appareils électriques présents dans le bâtiment. L'autre partie provient du rayonnement solaire. Le système de chauffage devra donc être dimensionné pour compenser les déperditions de l'enveloppe moins les apports gratuits.

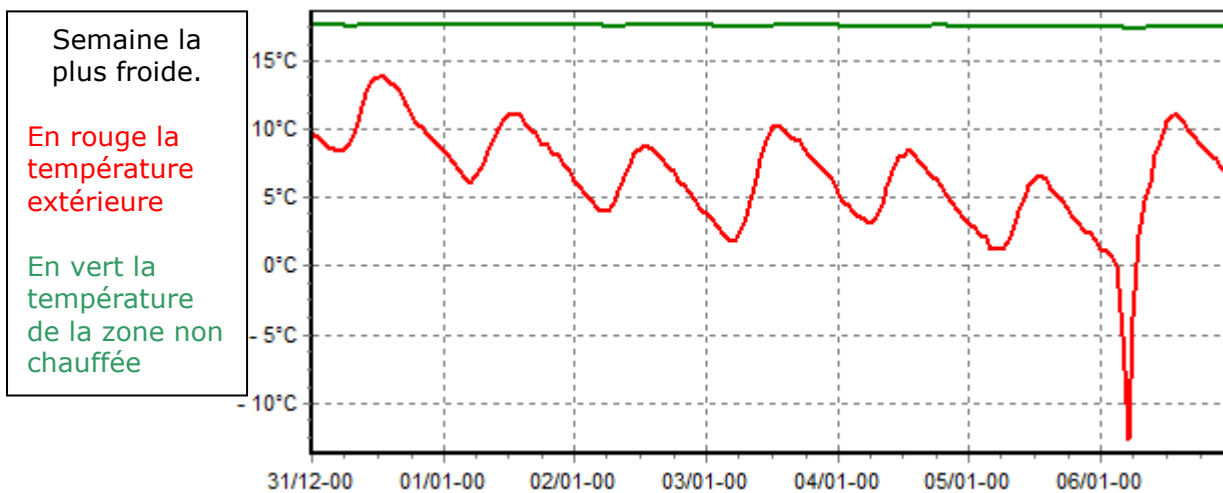
Ci-dessous, le graphique montre l'évolution des températures extérieurs et d'une zone chauffée représentative durant la semaine la plus froide. Nous observons bien les deux températures de consignes de 20°C le jour et 17°C la nuit et une montée en température progressive.



Graphique 3 : Evolution des températures des zones chauffées et de l'extérieur durant la semaine la plus froide

Cela correspond à un système de régulation permettant au chauffage de fonctionner uniquement quand cela est nécessaire et de minimiser la puissance de chauffe.

Le comportement de la cave est différent de celui des zones précédentes car il n'est pas chauffée dans cette étude (voir graphique ci-dessous).



Graphique 4 : Evolution des températures de la zone non chauffée et de l'extérieur durant la semaine la plus froide

La température, dans cette zone, reste constante à 17°C durant la semaine la plus froide.

Cas particulier du poêle:

Si un système de chauffage par poêle (dans le séjour) est souhaité, les températures ne seront pas uniformes dans toute la maison. Les pièces les plus froides durant la période de chauffe sont les pièces les plus éloignées.

Pour simuler le comportement d'un poêle de masse, une consigne de 20°C le jour et la nuit a été imposée dans le salon, cuisine, escalier, rochelle, l'entrée, et le dégagement à l'étage. On observe ensuite le comportement de chaque pièce en considérant les portes constamment ouvertes. Ceci nous permet d'estimer les températures des autres pièces avec ce type de chauffage. Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous :

Températures minimales au RDC :

CHAMBRE 1 :	18,1°C
CHAMBRE 2 :	17,9°C
WC :	19,1°C
CELLIER :	18,6°C

Températures minimales au 1^{er} Etage :

CHAMBRE ET 1 :	18,3°C
CHAMBRE ET 2 :	18,1°C
BAIN ET :	18,8°C

Les températures dans chaque pièce sont suffisantes pour assurer un bon confort d'hiver.

La configuration de la maison permet de chauffer l'ensemble des pièces avec un poêle unique dans le séjour. Sa position quasi centrale par rapport au bâtiment favorise une bonne répartition de la chaleur.

Besoins et puissances de chauffage

Il faut savoir qu'une maison mal isolée consomme pour le chauffage autour de 300 kWh par m² habitable et par an, et que les normes actuelles imposent pour une maison neuve une consommation inférieure à 80 kWh/m²/an.

Attention : Les besoins et puissances mentionnés dans cette étude sont des grandeurs « utiles », c'est à dire qu'elles ne prennent pas en compte les rendements de production, de distribution et des émetteurs. Ceux-ci sont très variables suivant les options techniques de chauffage choisies.

Comme précédemment pour les températures, nous allons maintenant préciser, dans le tableau suivant, les besoins de chauffage mensuels de **la référence** dans les zones thermiques du bâtiment.

Besoins de chauffage (kWh)

Zone	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
SEJOUR	631	427	256	58	4	0	0	0	0	40	338	598
CELLIER	27	21	16	7	0	0	0	0	0	3	17	26
Chambre 1	102	73	47	14	1	0	0	0	0	6	54	96
Chambre 2	161	118	83	24	1	0	0	0	0	10	92	153
WC	14	11	8	4	0	0	0	0	0	1	9	13
Chambre ET 2	88	65	49	19	1	0	0	0	0	11	56	85
Chambre ET 1	94	69	53	24	1	0	0	0	0	12	59	90
Bain ET	16	10	6	1	0	0	0	0	0	1	8	15
Placard	27	21	18	8	1	0	0	0	0	4	18	26
Garage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	1161	814	536	160	9	0	0	0	0	88	652	1101

Tableau 3 : Besoins de chauffage pour chaque zone par mois

Nous rappelons que les zones non chauffées par définition n'ont pas de consommation d'énergie.

Le tableau, ci-dessous, indique les besoins et puissances annuels de chauffage nécessaires au confort des occupants et les températures minimales, moyennes et maximales.

Zones	Besoins Ch.	Besoins Ch.	Puiss. Chauff.	T°Min	T°Moyenne	T°Max
	<i>kWh</i>	<i>kWh/m²</i>	<i>W</i>	°C	°C	°C
<i>Année</i>	0	0	0	0	0	0
<i>SEJOUR</i>	2374	20	4741	13,1	19,95	25,69
<i>CELLIER</i>	118	27	261	14,72	20,18	24,83
<i>Chambre 1</i>	398	32	819	14,02	20,16	25,72
<i>Chambre 2</i>	653	28	1307	14,12	20,07	24,83
<i>WC</i>	60	34	130	14,26	20,03	24,93
<i>Chambre ET 2</i>	376	26	593	13,09	19,8	25,7
<i>Chambre ET 1</i>	404	26	629	13,08	19,8	25,72
<i>Bain ET</i>	59	8	276	14,69	20,49	25,96
<i>Placard</i>	123	13	239	14,81	20,05	24,95
<i>CAVE</i>	0	0	0	16,23	18,37	20,39
Total	4565	22	8994	0	0	0

Tableau 4 : Besoins de chauffage total, ratio de consommation et puissance de chauffe

Les besoins de chauffage actuels s'élèvent à environ **4 565 kWh d'énergie utile** sur l'année. Le ratio de consommation donné dans le tableau est de **22 kWh/m²/an**. Ce ratio est obtenu en divisant les besoins de chauffage par la surface chauffée.

Toutes les simulations ont été réalisées en tenant compte des apports dus aux personnes présentes et aux appareils ménagers. Une consommation moyenne type est alors attribuée à chaque zone. La puissance de chauffe globale maximale ainsi calculée est de **8.994 kW**.

Amélioration des performances thermiques

Afin d'améliorer les performances thermique du bâtiment, diverses solutions ont été envisagées :

- **Amélioration de la ventilation**

- **Variante 1 : Le Puits canadien a 1 m de profondeur**

Celui-ci permet également de réduire les besoins de chauffage en préchauffant l'air entrant dans le bâtiment grâce à son passage dans le sol. En effet, la terre à 1.50 m de profondeur a une température qui varie entre 10°C et 16°C selon les saisons. Lors de son cheminement, l'air peut se réchauffer d'une dizaine de degrés par rapport à la température extérieure.

Le système est composé : d'une entrée d'air, munie de grilles pour empêcher les rongeurs et impuretés de pénétrer dans le puits ; d'une canalisation enterrée sur 30 à 50 m, lisse sur sa face intérieure et pentue pour l'écoulement des eaux de condensation ; d'un siphon ou d'un regard étanche pour leur récupération et d'un ventilateur pour l'insufflation dans le bâtiment.

Les besoins de chauffage diminuent : **3 579 kWh** pour l'année, cela permet **d'économiser plus de 21 %** sur la facture. Le ratio de consommation est dans ce cas de **17 kWh/m²/an**. La puissance de chauffe est alors de **8.734 kW**.

De plus, cette solution permet de rafraîchir les pièces du bâtiment naturellement. En effet, l'air entrant dans le puits canadien durant les périodes chaudes se rafraîchit au contact de la terre.

L'investissement de cette solution est d'environ 3 500 € sans les frais de terrassement (fonctions des conditions locales du terrain).

- **Variante 2 : Le Puits canadien a 1,7 m de profondeur**

Les besoins de chauffage diminuent : **3 354 kWh** pour l'année, cela permet **d'économiser plus de 26 %** sur la facture. Le ratio de consommation est dans ce cas de **16 kWh/m²/an**. La puissance de chauffe est alors de **8.628 kW**.

Ainsi nous arrivons à une maison neuve peu consommatrice d'énergie et un bon confort d'été.

Le tableau ci-dessous compare le gain énergétique et le coût financier des différentes variantes.

Ces tarifs indicatifs ne peuvent se substituer à un devis détaillé du fournisseur car il sera conforme aux spécificités de votre bâtiment.

	MODIFICATIONS	BESOINS DE CHAUFFAGE	RATIO	PUISSANCE	GAINS / REFERENCE
		kWh/an	kWh/m ² /an	kW	%
REFERENCE	-	4 565	22	9,0	-
VARIANTE 1	PUITS CANADIEN PROFONDEUR 1 M	3 579	17	8,7	-21,6%
VARIANTE 2	PUITS CANADIEN PROFONDEUR 1,70 M	3 354	16	8,6	-26,5%

Tableau 5 : Evaluation de la rentabilité des solutions proposées

* **L'investissement par kWh économisé en 20 ans** permet de comparer l'intérêt de faire la variante avec le prix du kWh d'énergie qu'il faudrait dépenser sans la faire.
Si l'investissement par kWh économisé en 20 ans est inférieur au prix actuel du kWh d'énergie utilisée pour chauffer, alors la variante est de suite rentable.
Sinon il faut comparer avec le prix futur et probable de l'énergie.

** **Différence de coût au m² de la variante par rapport à la référence**

Par exemple, le gain énergétique de la variante 9 (Ventilation double-flux) est de 26 kWh/m²/an par rapport à la situation de référence, soit un gain de consommation d'environ 33 %.

Le prix actuel des énergies étant supérieur à 5.3 cts € / kWh, l'installation de la ventilation simple-flux hygroréglable ou double-flux est donc rentable dès maintenant.

DIFFERENTS SYSTÈMES DE CHAUFFAGE

Généralités

Rappel : Nous présentons ici les différentes technologies et en aucun cas la conception de l'installation qui est du ressort du maître d'oeuvre.

La production de la chaleur peut être assurée par une chaudière, pour les énergies fossiles (gaz, fuel,...) ou renouvelables (bûches, granulés bois), par une pompe à chaleur à partir de l'électricité, par des panneaux solaires (EnR). L'autonomie du système choisi est fonction du type d'énergie.

Il existe deux principaux systèmes de distribution de la chaleur : hydraulique ou aéraulique. Dans le cas d'un système hydraulique, le dimensionnement des émetteurs est fonction du principe de distribution : basse ou haute température. Une plus grande surface d'échange est nécessaire pour l'utilisation de la basse température. Par convention nous spécifions quand le système est à basse température.

- Pour une distribution hydraulique de la chaleur par radiateur ou plancher chauffant, de nombreux systèmes de production de chaleur peuvent être envisagés :
Les chaudières au gaz ou au bois ou au fuel
Les pompes à chaleur sol/eau ou air/eau
Les panneaux solaires thermiques
- Pour une distribution aéraulique (aérotherme, ventilateur,...), ne nécessitant pas d'émetteurs, les différents systèmes suivants sont possibles :
La pompe à chaleur air/air
Les poêles à granulés ou à bûches
La VMC thermodynamique

Tous ces systèmes sont détaillés en ANNEXE II.

Un crédit d'impôt jusqu'à 50% du prix du matériel peut être obtenu si le matériel a un rendement suffisamment élevé et si il est installé par un professionnel (voir ANNEXE I).

Etude économique

Les besoins utiles annuels de chauffages sont d'environ **4 478 kWh** dans la situation de référence.

Le tableau, ci-dessous, donne un ordre de grandeur des différents coûts d'investissement en fonction des différents types de chauffage mentionnés en ANNEXE II.

Ces tarifs indicatifs ne peuvent se substituer à un devis détaillé du fournisseur car il sera conforme aux spécificités de votre bâtiment, tiendra compte de la main d'œuvre et des mises en service,...

SYSTEMES DE CHAUFFAGE	TYPE DE COMBUSTIBLE	INVESTISSEMENT EN €
CHAUDIERE GAZ BASSE TEMPERATURE	gaz de ville	3 000 € à 7 000€
	propane	
CHAUDIERE GAZ A CONDENSATION	gaz de ville	3 000 € à 8 000€
	propane	
CHAUDIERE BOIS A GRANULE	granulé bois vrac	7 000 à 25 000 €
CHAUDIERE FUEL : CHANGEMENT DU BRULEUR	granulé bois vrac	3 000 € à 4 000€
POELE A GRANULE	granulé bois sac	1 800 à 6 000 €.
	granulé bois vrac	
POELE A BOIS	bûche (poêle de masse)	4 000 à 15 000 €
	bûche	450 à 4 500 €.
INSERT BOIS	bois bûche	450 à 4 500 €.
POMPE A CHALEUR AIR/AIR	électricité	65 à 90 €/m ² chauffé
POMPE A CHALEUR EAU/EAU	électricité	85 à 185 €/m ² chauffé
POMPE A CHALEUR SOL/EAU	électricité	70 à 100 €/m ² chauffé
VMC THERMODYNAMIQUE	électricité	10 000 à 20 000 €

Tableau 6 : Coût d'investissement, de fonctionnement de différentes solutions de chauffage

Le tableau, ci-dessous, donne un ordre de grandeur des différents coûts de fonctionnement en fonction des différents types de chauffage mentionnés pour la **référence**.

Ces tarifs indicatifs peuvent être différents du tarif en vigueur de votre fournisseur et ne tient pas compte de l'abonnement.

SYSTEMES DE CHAUFFAGE	COMBUSTIBLE	RENDEMENT	COUT DU COMBUSTIBLE	COUT DE FONCTIONNEMENT	*COUT DE FONCTIONNEMENT SUR 20 ANS
BESOINS UTILES: 4565	-	%	centimes €/kWh	€/an	€
CHAUDIERE GAZ BASSE TEMPERATURE	gaz de ville	90%	5,3	269 €	5 387 €
	propane	90%	9,4	475 €	9 495 €
CHAUDIERE GAZ A CONDENSATION	gaz de ville	110%	5,3	220 €	4 407 €
	propane	110%	9,4	388 €	7 769 €
CHAUDIERE BOIS A GRANULE	granulé bois vrac	90%	4,6	233 €	4 656 €
CHAUDIERE FUEL: CHANGEMENT DU BRULEUR	granulé bois sac	90%	6,2	315 €	6 300 €
	granulé bois vrac	90%	4,6	233 €	4 656 €
POELE A GRANULE	granulé bois sac	90%	6,2	315 €	6 300 €
	granulé bois vrac	90%	4,6	233 €	4 656 €
POELE A BOIS	bûche (poêle de masse)	80%	3,0	171 €	3 424 €
	bûche	80%	3,0	171 €	3 424 €
INSERT BOIS	bois bûche	70%	3,0	196 €	3 913 €
POMPE A CHALEUR AIR/AIR	électricité	200%	11	251 €	5 022 €
POMPE A CHALEUR AIR/EAU	électricité	300%	11	167 €	3 348 €
POMPE A CHALEUR SOL/EAU et EAU/EAU	électricité	300%	11	167 €	3 348 €
VMC THERMODYNAMIQUE	électricité	400%	11	126 €	2 511 €

Tableau 7 : Coût d'investissement, de fonctionnement et d'entretien de différentes solutions de chauffage

* Coûts calculés en considérant le prix des énergies fixes dans le temps.

INSTALLATIONS PARTICULIERES

Ventilation

Dans une maison relativement « étanche » à l'air, l'installation d'une ventilation naturelle ou mécanique correcte est indispensable pour éviter les moisissures dues à l'humidité et pour limiter les diverses pollutions domestiques internes au bâtiment. Lors de la mise en place d'un tel système, il faut que l'air circule des pièces de vie vers les pièces humides :

- Les entrées d'air sont dans les pièces de vie : bureau, salons et chambres. Il faut penser à détalonner leurs portes de 1 cm.
- Les sorties sont dans les pièces humides : cuisine, salles de bain, WC et lingerie. Il faut penser à détalonner leurs portes de 2 cm.

Le débit de ventilation réglementaire dans le bâtiment est : 225 m³/h (dans notre étude, étant donné le volume de la maison, nous avons donc un débit d'air de 0,5 V/h). Nous l'avons répartie dans les pièces de vie et les pièces humides selon les données du tableau suivant :

	ENTREES	SORTIES
	M3/H	M3/H
SALON	60	
CHAMBRE 1	22	
CHAMBRE 2	22	
CHAMBRE ET 1	22	
CHAMBRE ET 2	22	
ROCHELLE	45	
DEGAGEMENT ET	32	
WC		30
BAIN		30
BAIN ET		30
CUISINE		135
TOTAL	225	225


Tableau 8 : Débit de ventilation dans les pièces de vie et humides

Les pertes thermiques d'une habitation se font principalement par deux modes distincts : les pertes par les parois et les pertes par renouvellement d'air. Ces dernières peuvent représenter plus de 50% des besoins de chauffage dans les habitations correctement isolées. Ces pertes sont plus ou moins importantes selon le système de ventilation utilisé.

Type de ventilation:

Il existe différents types de systèmes de ventilation, dont les principaux sont présentés ci-dessous :

- **Ventilation naturelle** : Dans cette catégorie on distingue les ventilations par défaut d'étanchéité, par ouverture des fenêtres et par tirage thermique (une combinaison des trois étant possible).
Le principe de fonctionnement de la ventilation par tirage thermique repose sur le fait que l'air chaud (moins dense) monte de manière naturelle. Il suffit donc de placer un conduit en partie haute des pièces que l'on souhaite ventiler et de le relier à l'extérieur par un point d'extraction haut (au dessus du toit).
Ce système fonctionne très bien en hiver et permet d'obtenir un air sain. Mais les débits de renouvellement d'air sont souvent très importants et augmentent considérablement les besoins de chauffage. Durant l'été ou la mi-saison ce système n'est pas suffisant car le tirage thermique est limité voire inexistant et il doit être complété par une ouverture régulière des fenêtres.
Les pertes thermiques engendrées dans ce cas peuvent représenter de 30% à plus de 50% des déperditions totales.
- **Ventilation simple flux** : Ici la ventilation est obtenue à l'aide d'un ventilateur qui extrait l'air des pièces humides (salle de bain, WC, cuisines). Les entrées d'air neuf se font dans les pièces sèches par dépression via des grilles d'entrée d'air et les défauts d'étanchéité du bâtiment. Le ventilateur fonctionne en permanence et peut posséder une vitesse (débit important) ou deux (débit faible et important) afin de moduler manuellement les débits selon les besoins. Il est possible d'automatiser le passage de la petite à la grande vitesse du ventilateur à l'aide d'un capteur de présence (infra rouge).
Ce système permet un bon renouvellement d'air et fonctionne en toute saison à l'inverse de la ventilation naturelle.
Mais encore les volumes extraits restent importants et peuvent représenter de 20% à 40% des besoins de chauffage.
- **Ventilation simple flux hygro-réglable** : Ce type de ventilation fonctionne selon le même principe que la ventilation simple flux de base, sauf que dans ce cas les variations de vitesses du ventilateur sont fonctions, non plus de la présence, mais du taux d'humidité présent dans l'air.
Cette solution permet de réduire le temps de fonctionnement à grande vitesse à son minimum. Ce système détectant l'humidité permet de produire une meilleure qualité d'air tout en évitant les gaspillages. En effet l'humidité est, à la fois, un véhicule de la pollution et un générateur de polluants et de moisissures. La part des déperditions due à la ventilation est ici comprise entre 20 et 30% des pertes totales.

- 
- Ventilation double flux avec récupérateur : Contrairement aux simple flux, ce sont deux réseaux de conduits qui font circuler l'air mécaniquement. Le premier est destiné à l'extraction de l'air vicié et concerne la salle de bains, la cuisine et les WC. Le second, concerne l'insufflation de l'air neuf dans les pièces principales (séjour et chambres). Ils sont reliés à un bloc de distribution équipé d'un échangeur thermique qui préchauffe et filtre l'air neuf. L'air entrant se réchauffe en puisant les calories dans l'air sortant. Cette solution est très intéressante car elle permet de réduire considérablement les pertes du au renouvellement de l'air (environ 10% des besoins de chauffage). L'inconvénient majeur de la VMC double flux est qu'elle utilise un ventilateur supplémentaire par rapport à toutes les autres solutions de ventilation mécanique et donc une consommation électrique plus importante.

Eau Chaude Sanitaire (ECS)

Le nombre de personnes dans le bâtiment est de 4. Conventionnellement, il faut stocker 50 litres d'eau par jour et par personne. Le volume du cumulus doit être de 200 litres.

La solution classique consiste à installer un ballon électrique indépendant pour un coût de matériel de 800 € environ pour un ballon de 200 litres. Certains systèmes de chauffage tels que les chaudières produisent aussi l'ECS.

Le cumulus thermodynamique utilise les calories de l'air extrait du bâtiment pour chauffer l'ECS : c'est le principe de la pompe à chaleur. Le coût d'investissement, dans ce cas, est de l'ordre de 3 000 à 4 000 € avec un rendement 4 à 5 fois supérieur à celui des cas précédents.

L'ECS solaire est fonction de l'ensoleillement, de l'orientation et de l'inclinaison des panneaux solaires. Le volume du cumulus doit être dimensionné au plus juste en fonction des besoins car un appoint, par exemple électrique, est nécessaire.

Le coût de cette solution est d'environ 1 200 €/m². Le dimensionnement détaillé des besoins d'ECS est présenté dans l'ANNEXE III ([CALSOL](#)). La surface des capteurs solaires est de l'ordre de 4,5 m² et le coût d'investissement estimé à 5 400 €. Le taux de couverture annuel des besoins est de 62.9 %.



Figure 3 : Ballon d'ECS thermodynamique



Figure 4 : ECS solaire

CONCLUSION

Notre mission a consisté à simuler le comportement thermique de votre bâtiment. Les différents cas sont :

- Le bâtiment de référence
- La variante 1 : Puits canadien a 1 m de profondeur
- La variante 2 : puits canadien a 1.70 m de profondeur

Nous résumons dans le tableau suivant le ratio des besoins énergétiques, la puissance de chauffe et la présence ou non d'inconfort en été (température supérieure à 27°C pendant une longue période).

CAS	RATIO kWh/m ² /an	PUISSANCE kW	INCONFORT
REFERENCE	22	8,99	NON
VARIANTE 1	17	8,7	NON
VARIANTE 2	16	8.6	NON

Tableau 10 : Récapitulatif des résultats

Nous vous avons soumis une étude technico-économique des différents systèmes de chauffage existants issue de la littérature. Nous sommes à votre disposition pour tous renseignements complémentaires.

ANNEXE I) Aides et Crédits d'impôt:

CREDIT D'IMPOT :

Le crédit d'impôt ne s'applique que si les travaux sont réalisés et facturés par un professionnel.

ENERGIE RENOUVELABLES

Pour les équipements de **production d'énergie renouvelables** (panneaux solaires photovoltaïques et thermiques ; éolienne ; turbine hydraulique), le taux de **crédit d'impôt est de 50%**.

Pour les **chaudière bois, poêle, insert**, et les **pompes à chaleur** (sauf les PAC air/air) dont la finalité essentielle est la production de chaleur, le taux de **crédit d'impôt est de 40%**.

Les équipements en question doivent correspondre à certaines normes de qualité, en particulier en ce qui concerne les rendements.

Tous les pourcentages exprimés ici sont sur le prix du matériel TTC uniquement sans la main d'œuvre. Le montant maximum des travaux TTC à prendre en compte est de 8000 euros par adulte et 500€ par enfant habitant le logement, cumulés du 01/01/2005 au 31/012/2009.

Pour plus d'informations, vous pouvez consulter le site Internet de l'**ADEME** ou contacter l'**Espace Info Energie** le plus proche de chez vous.

AUTRES AIDES :

LE PRET A TAUX ZERO achat de logement neuf, donné sous conditions de ressources, ne pas avoir été propriétaire de son logement 2 ans avant, pas cumulable avec ANAH, maxi 20% des travaux ou 50% des autres prêts, avec un plafond.

PRET 1% LOGEMENT salariés du privé voir site www.uesl.fr

ANNEXE II) Différents systèmes de chauffage:

Rappel : Les gammes de prix sont indicatifs et extraits de « La Maison écologique n°42 dec.2007-janv.2008 et n°43 fev-mars.2008 ». Le prix des machines seules est une moyenne extraite des catalogues des fabricants.

Ces tarifs ne peuvent se substituer à un devis détaillé du fournisseur car il sera conforme aux spécificités de votre bâtiment.

CHAUDIERE AU GAZ (à condensation et à basse température) :

L'utilisation d'une chaudière à condensation ou à basse température est recommandée car elles possèdent un rendement élevé. Leur coût est compris entre 4 000 € à 8 000 € pour une chaudière à condensation et entre 3 000 € à 7 000 € pour une chaudière basse température pour une puissance de 12 kW. Il faut ajouter à ces tarifs le prix de la distribution basse température qui est de l'ordre de 45 €/m² pour un plancher chauffant et de 45 €/m² pour des radiateurs ; ou le prix de la distribution haute température et des radiateurs de l'ordre de 90 €/m².

Ces chaudières sont moins onéreuses que celles au bois tout en présentant les mêmes avantages de confort et de souplesse d'utilisation. Par contre, l'évolution du prix du gaz risque d'augmenter dans les années à venir. Enfin, le gaz n'est pas une énergie renouvelable.

POELE A GRANULES :

La gamme de prix de l'investissement est de 1 800 à 6 000 €.

Il est nécessaire d'avoir une bonne circulation d'air afin d'uniformiser le plus possible les températures des pièces. Certains poêles à air pulsé peuvent pallier à cet inconvénient en répartissant mieux l'air chauffé à l'aide de gaines de ventilation. Il faut ajouter le prix du gainage éventuellement nécessaire qui est fonction des distances et de la complexité de leur mise en place.

Le poêle à granulés, comme une chaudière traditionnelle, peut adapter la quantité de bois consommé aux besoins réels de chauffage.

L'inconvénient majeur de cette solution est sa capacité limitée de stockage du combustible. En effet, le réservoir intégré au poêle ne permet qu'une autonomie maximale de 24h à 48h à pleine puissance.

Le problème ne se pose plus si on le couple à un silo de stockage.



Figure 5 : Poêle à granulés

POELE A BUCHE TYPE INSERT:

La gamme de prix de l'investissement est de 450 à 4 500 €.

La technique est proche de celle du poêle à granulés. Il en est de même d'un point de vue financier.

Il ne possède pas de réserve lui permettant d'être autonome pendant plusieurs jours. De plus, la différence majeure réside dans l'absence de régulation du chauffage : il faut l'alimenter quand on souhaite chauffer.

POELE DE MASSE A BUCHE:

La gamme de prix de l'investissement est de 4 000 à 15 000 €.

La température ressentie dans une maison est pour moitié due à la température des murs et donc à leur inertie, et pour l'autre moitié par la température de l'air. La sensation d'inconfort est liée à la température des murs et aux mouvements d'air.

Dans un bâtiment avec une forte inertie, un système par rayonnement est préconisé car il augmente la température des murs en opposition aux systèmes précédents de type convectif augmentant la température de l'air ambiant.

Nous recommandons dans ce cas d'être en présence d'un mur intérieur de 10 cm environ dont la conductivité thermique est proche de 0,42 W/m.K et une masse volumique de 650 kg/m³.

Le poids du poêle de masse est élevé. Il faut tenir compte de cette forte contrainte.

L'un des inconvénients majeurs est l'absence de régulation.

CHAUDIERE A GRANULES :

La gamme de prix de l'investissement est de 7 000 à 25 000 €.

C'est un investissement plus coûteux mais il offre un confort et une souplesse d'utilisation appréciable. Ces coûts de fonctionnement sont près de 2 fois inférieur à ceux d'une chaudière gaz traditionnelle. Son aspect écologique n'est pas non plus à négliger car elle utilise une source d'énergie renouvelable. De plus le prix du bois devrait moins augmenter que celui du gaz dans les années à venir.



Figure 6: Chaudière à bois avec son silo de stockage

POMPE À CHALEUR :

L'investissement est important au départ. Il faut compter pour une PAC entre :

- 70 à 100 €/m² chauffé pour une PAC non réversible Sol/Eau ;
- 85 à 135 €/m² chauffé pour une PAC (chauffage et rafraîchissement) Eau/Eau avec capteurs horizontaux ;
- 145 à 185 €/m² chauffé pour une PAC Eau/Eau avec capteurs verticaux ;
- 80 à 130 €/m² chauffé pour une PAC Eau/Eau sur nappe.
- 65 à 90 €/m² chauffé pour une PAC (chauffage et rafraîchissement) Air/Air.

Le prix moyen de la machine seule est de :

- 9 000 € pour une PAC Sol/Sol, Sol/Eau, Eau/Eau et Air/Eau ;
- 2 500 € pour une PAC Air/Air de petite puissance (2 à 3 kW).

Elle fonctionne à l'électricité et son coût est lié à l'évolution du prix du gaz. Par contre, sa consommation est faible, en général le COP (correspondant au rendement) est supérieur à 3.

L'entretien est important et la fragilité plus élevée que les autres systèmes

VMC THERMODYNAMIQUE :

La VMC thermodynamique est une VMC double flux couplée à une pompe à chaleur.

Cette solution est très intéressante car elle permet de récupérer encore plus de chaleur sur l'air extrait du bâtiment.

Les performances de la pompe à chaleur sont plus importantes (rendement ou COP de 4 à 5).

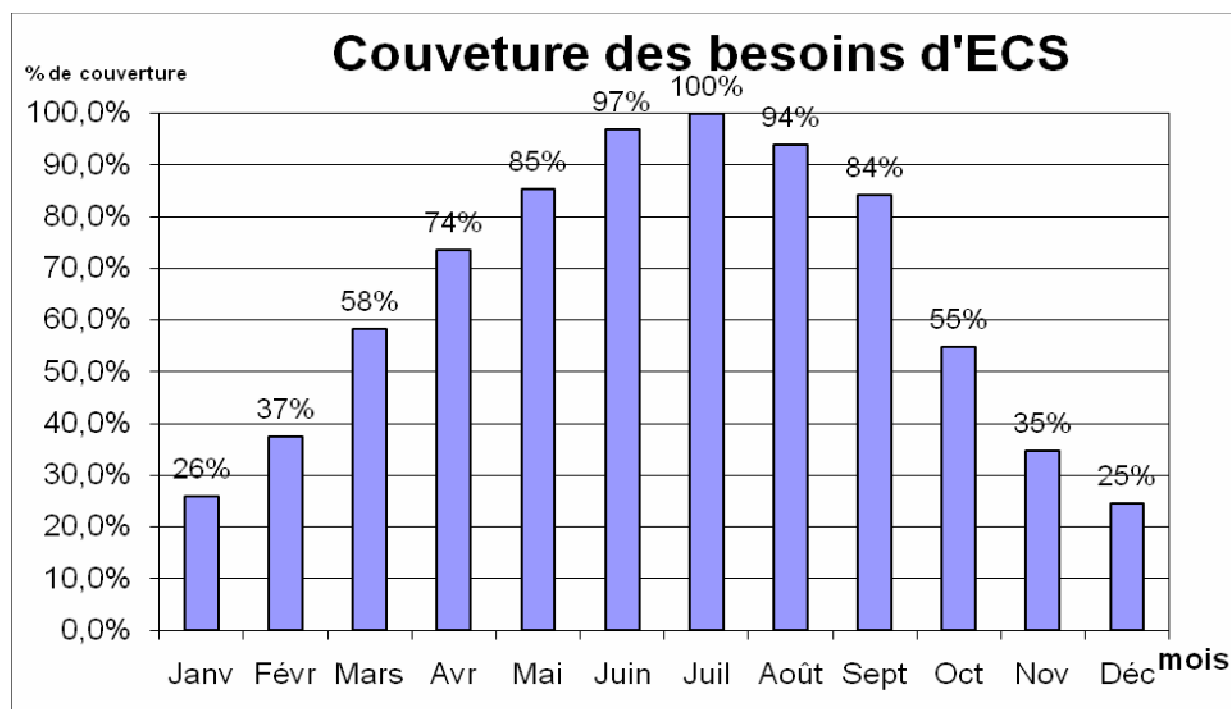
La gamme de prix de l'investissement est de 10 000 à 20 000 €.

Il existe des systèmes combinés qui ont la possibilité de produire l'ECS.

ANNEXE III) ECS Solaire (Calsol) :

A l'aide du logiciel CALSOL et en tenant compte des contraintes liées à la toiture (inclinaison : 20° et orientation : -60° sud) nous avons calculé la surface optimale de capteur pour 4 personnes. On estime que les besoins journaliers en eau chaude par personne s'élèvent à 50 litres. Nous avons donc considéré un ballon de stockage de 200 litres dans nos calculs.

Les résultats obtenus sont présentés dans le graphique ci-dessous :

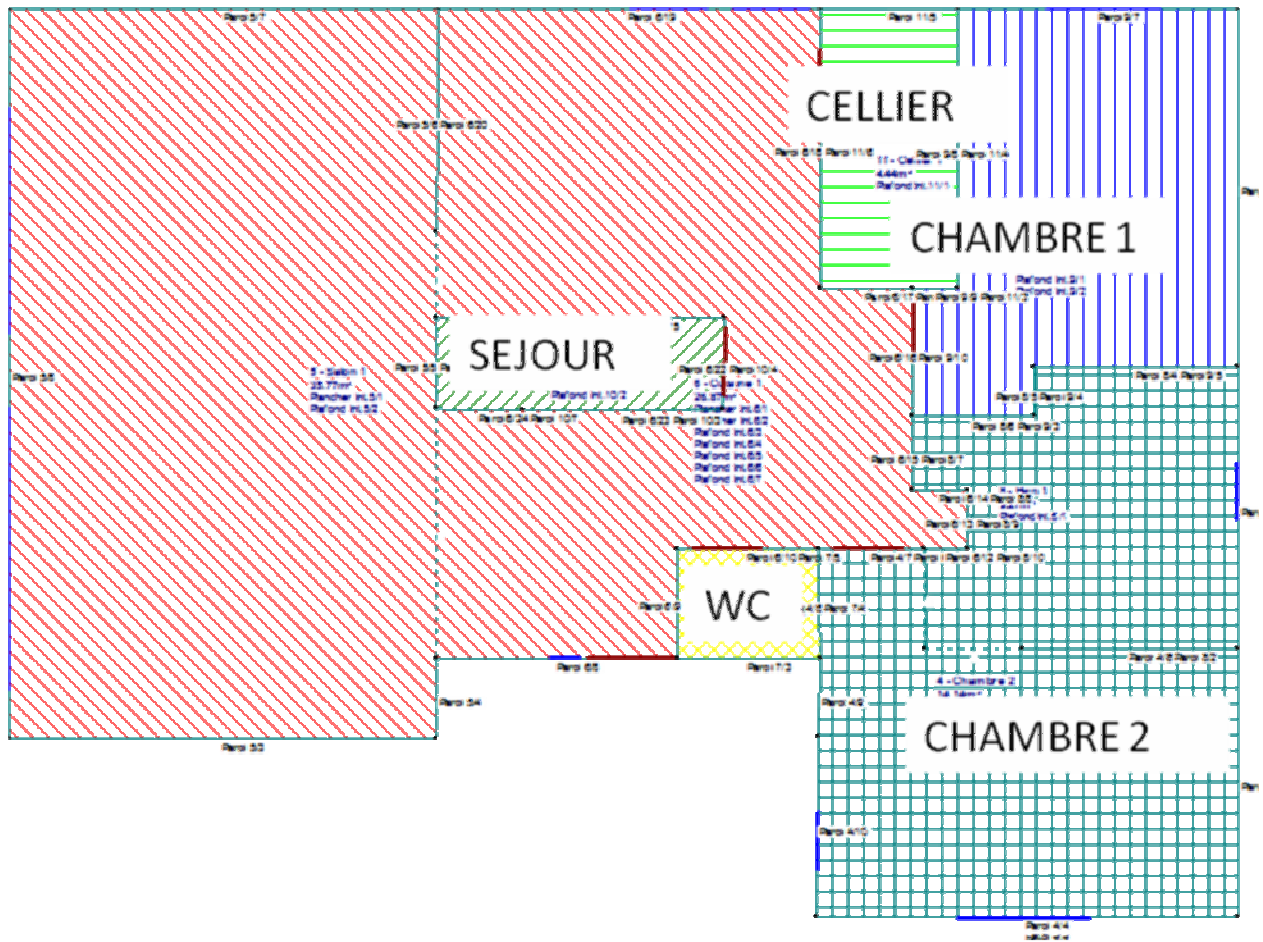


Graphique 5 : Couverture des besoins d'ECS pour 4,5 m² de panneaux

Ce graphique montre la part des besoins d'eau chaude sanitaire produite par 4,5 m² de panneaux solaires pour chaque mois. Les apports solaires représentent plus de 64 % des besoins annuels d'ECS.

ANNEXE IV) Plans:

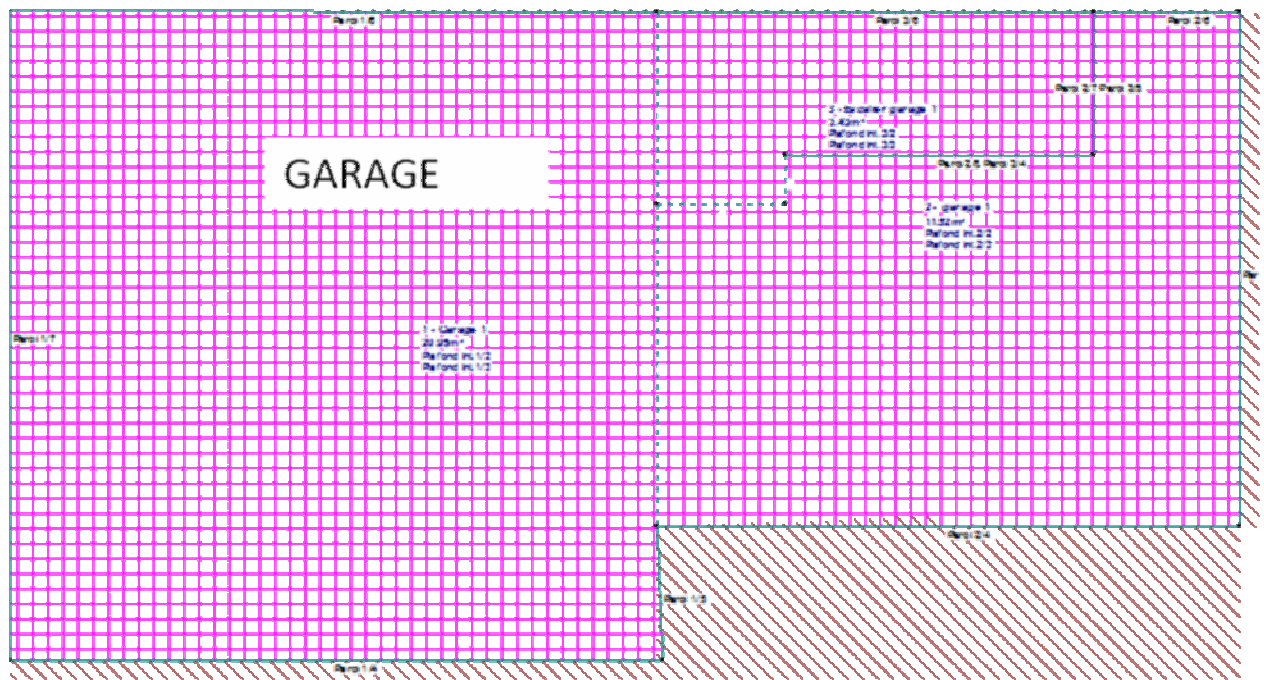
REZ DE CHAUSSEE :



Zones thermiques SOUS SOL :

- Zone 1 :** RDC CHAMBRE 1
- Zone 2 :** RDC CHAMBRE 2
- Zone 3 :** RDC SEJOUR
- Zone 4 :** RDC WC
- Zone 5 :** RDC CELLIER

SOUS SOL:



Zone thermique Sous-Sol :

Zone 10 : R-1 GARAGE

QUELQUES CONSEILS ET RÉFÉRENCES

Vous allez entamer la construction des travaux d'isolation et d'amélioration thermique de votre logement.

Il est essentiel de garder à l'esprit que l'optimisation énergétique est en réalité un travail de relation entre le bâtiment et ses habitants. C'est pourquoi nous listons ci-dessous quelques éléments et documents complémentaires vous permettant de vous impliquer au mieux dans la construction la rénovation de votre bâtiment :

La maison des [néga] watts, Le guide malin de l'énergie chez soi de Thierry Salomon et Stéphane Bedel

La conception bioclimatique de OLIVIA, Collection Terre Vivante (www.terrevivante.org)

La maison écologique (Bimestriel) (www.lamaisonecologique.com)

SITES Internet : www2.ademe.fr; www.cler.org; www.perseus-ecoenergie.org; www.citemaison.fr

Enfin, permettez nous de vous rappeler qu'un bâtiment économe est avant tout un bâtiment que l'on surveille, afin de détecter au plus tôt les dysfonctionnements possibles. Nous vous recommandons donc de suivre attentivement vos consommations énergétiques, par exemple en utilisant un tableau de bord (relevés de compteurs électriques, comptage des sacs de granulés, des consommations d'eau, etc.)

Nous vous souhaitons de vivre agréablement dans votre maison, en relation heureuse et respectueuse avec notre environnement à tous.

N'hésitez pas à nous contacter pour toute question concernant ce pouvez trouver des renseignements sur notre site Internet