



Enthalpie

Samuel Champouillon

Coudert de la Foire

43160 LA CHAISE DIEU

06 75 49 32 64

s.champouillon@enthalpie.org

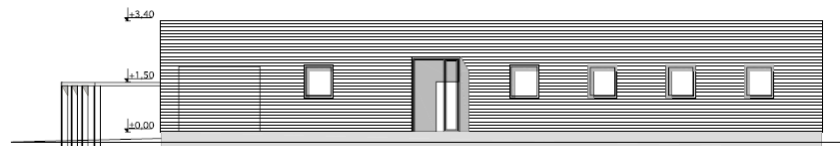
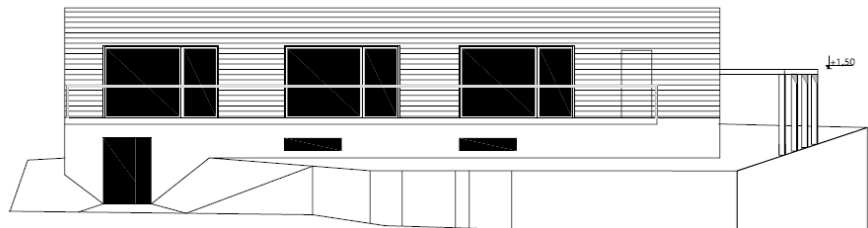
www.enthalpie.org

Mai 2008

Etude thermique

Pavillon à Domptail (88)

- Note de synthèse -



Oxalis SCOP
Broissieux
73340 Bellecombe en Bauges
04 79 63 31 11
SA à capital variable
Siret : 410 829 477 00034
Code APE : 8299Z
Organisme de formation
n° 827 300 657 73

Maître d'ouvrage : Société Linde-lorr
Rue de 146^{ème} RIF
88700 DOMPTAIL

SOMMAIRE

SOMMAIRE	1
Choix des matériaux	2
1- Murs	2
Murs extérieurs.....	2
Mur intérieurs.....	2
2- Sol	3
3- Toiture	3
4- Vitrage	4
Résultats thermique	5
1- Comportement d'hiver	5
2- Comportement d'été	6
Equipements	8
1- Production de chaleur	8
2- Production d'eau chaude.....	9
3- Ventilation Double Flux	10
4- Le puits canadien	11
5- Surventilation Nocturne :	12
6- Appareil électroménager	12
CONCLUSION	13
ANNEXES	14

Choix des matériaux

Choix des matériaux et la dimension des vitrages sont prépondérant dans le comportement thermique d'une maison. Le projet de Domptail, présente quelques caractéristiques fortes qui jouent un rôle important dans la thermique de cette maison :

- Forme parallépipédique simple
- Exposition presque Ouest
- Vitrage important en façade ouest

1- Murs

Murs extérieurs

<ul style="list-style-type: none">- Parement int- Lame d'air- Ossature bois de 120mm remplie de laine de bois- MFP 12mm- Laine de bois 50mm- Lame d'air ventilée- Bardage bois	$U = 0,23 \text{ W/m}^2.\text{K}$ $R = 4,34 \text{ m}^2.\text{K/W}$
--	--

Pour ce genre de construction il est conseillé de choisir une laine de bois de bonne densité pour favoriser un déphasage thermique entre extérieur et intérieur. Dans un souci d'économie, il est possible de différencier le contenu des parois : laine de bois de densité faible (50 à 60kg/m³) en façade Nord, Est et Sud, et laine très dense en façade Ouest.

Je conseille de conserver le même complexe de parois pour le garage en cas de besoin d'extension. Si pour des raisons de budget cela devenait nécessaire de réduire l'isolation, je conseille de poser au moins les 50mm de peau extérieure pour maintenir la continuité d'épaisseur de parois pour le bardage. Le remplissage des caissons d'ossature pourront être rempli ultérieurement.

Mur intérieurs

<ul style="list-style-type: none">- plâtre de part et d'autre- Brique creuse de terre cuite type "Argelis" (20cm)	Densité : 160kg/m ²
<ul style="list-style-type: none">- Cloison ossature bois vide- Parement Fermacell de chaque côté	Densité : 37kg/m ²

D'un point de vue thermique dans une maison ossature bois il est préférable de renforcer au maximum son inertie en choisissant des cloisons "lourdes". Une partie des cloisons a déjà été choisie en brique de terre creuse de 20cm : cloison séjour/Chambres, Gde Chambre/Salle de Bains.

Le Séjour-Cuisine est la partie de la maison qui est la plus exposée aux risques de surchauffe il faut donc lui renforcer son inertie en passant la cloison séjour/garage en brique de terre cuite avec isolation côté garage.

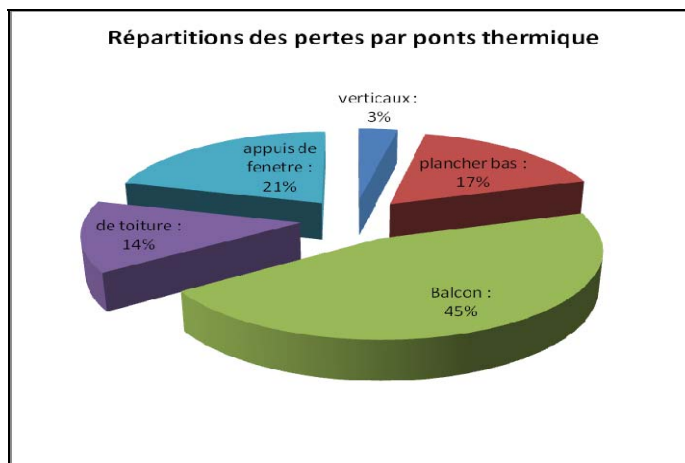
Le reste peu être en ossature bois facilitant l'insertion des gaine de la VMC double flux.

2- Sol

<ul style="list-style-type: none">- Dalle béton- Isolation en sous-face : polystyrène 10cm	$U = 0,35 \text{ W/m}^2.K$ $R = 2,84 \text{ m}^2.K/W$
<ul style="list-style-type: none">- Chape de 5cm- Hourdis polystyrène Rector	$U = 0,33 \text{ W/m}^2.K$ $R = 3,03 \text{ m}^2.K/W$

Décomposé en 2 parties pour des raisons techniques, la dalle sera côté Ouest en béton plein isolé en sous face pour équilibrer le porte-à-faux du balcon et en hourdis de polystyrène type Rector (voir doc ci-jointe).

Des rupteurs de pont thermique ont été considérés pour les hourdis polystyrène mais pas pour la dalle béton qui se prolonge en balcon. Dans la mesure du possible il serait préférable de supprimer ce pont thermique qui représente à lui tout seul 45% des pertes par ponts thermiques soit 6% des déperditions de la maison et qui pourrait être réduites d'un facteur 3.



D'un point de vue environnemental, un autre isolant pourrait être envisagé pour la dalle, il n'y a pas de difficulté technique particulière à part le fait d'être fixable par en dessous : isolant en plaque : liège expansé, laine de bois. Pour la partie ouest, des hourdis OSB pourraient être utilisés et de la ouate de cellulose pourraient être insufflée dans un faux plafond.

3- Toiture

<ul style="list-style-type: none">- Isolation sous étanchéité : 50mm- Isolation entre chevron : 200mm- Parement intérieur	$U = 0,14 \text{ W/m}^2.K$ $R = 7,12 \text{ m}^2.K/W$
---	--

La toiture est un élément important dans le comportement thermique d'été de cette maison. Celle-ci a une toiture plate et l'été le soleil vient la frapper presque perpendiculairement équivalent à 90% de sa puissance maximale à 14h. Il faut donc freiner la transmission de cette chaleur vers l'intérieur. Il faut constituer une paroi lourde et isolante :

- toiture végétalisée + 25cm d'isolant
- toiture de 25cm de laine de bois à 240kg/m²

4- Vitrage

<ul style="list-style-type: none">- Châssis bois : 68 mm + parement alu- Double vitrage : 4/16/4 argon peu émissif ($U_g = 1,1$) type planilux de chez St Gobain- Facteur solaire = 60%	$U_w = 1,3 \text{ W/m}^2.\text{K}$ $R = 0,77 \text{ m}^2.\text{K/W}$
--	---

Les vitrages ont eux aussi un rôle très important dans le fonctionnement d'été de cette maison. Les 3 grandes ouvertures à ouest sont frappées en fin de journée par un soleil bas à l'horizon, laissant rentrer une importante quantité de chaleur. Les essais en simulation montre que les apports solaire sont la première cause de surchauffe d'été et parfois même en intersaison.

3 possibilités :

- Réduire la taille de ces ouvertures : déconseillé architecturalement
- Poser des stores à lamelles extérieurs qui peuvent couvrir jusqu'à 100% de la surface vitrée : coûteux mais les plus efficaces sans altérer les apports solaire en hiver.
- Prendre des vitrages réfléchissant (facteur solaire < 35%), ces vitrages renvoient une grande partie des rayons du soleil. Ce pouvoir réfléchissant fonctionne aussi l'hiver réduisant fortement les apports solaires utiles...

Un document en annexe montre le bilan énergétique annuel de différents vitrages en fonction de leur orientation. Ce tableau doit aider au dimensionnement des vitrages : si le bilan est positif cela veut dire que le vitrage permet de gagner plus de kWh qu'il n'en perd. On peut donc augmenter sa surface les performances du bâtiment seront accrues (dans la limite des surchauffes d'été).

Voir en annexe la répartition des déperditions entre les différents éléments du bâtiment.

Résultats thermique

1- Comportement d'hiver

Le comportement d'hiver est décrit dans l'ensemble du document les éléments important participant à une efficacité thermique hivernale sont dans les parois et la VMC double flux.

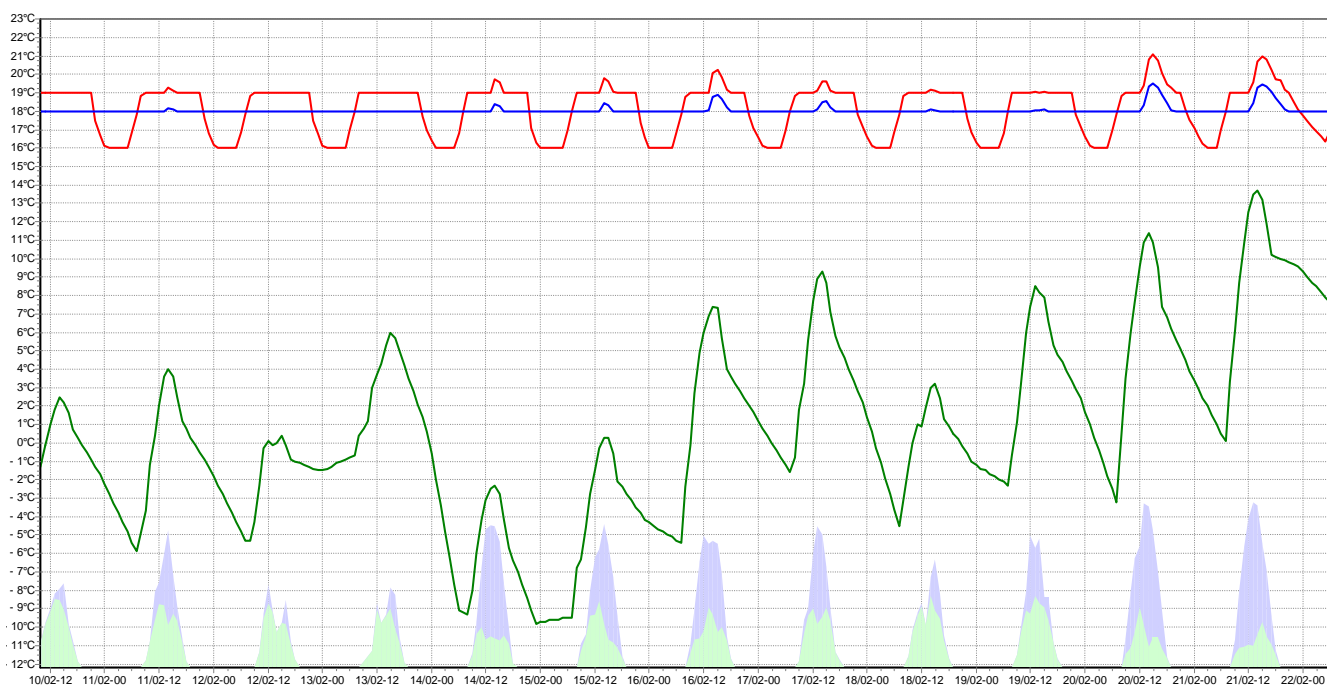
Voici un graphique montrant le comportement en plein hiver :

En vert : la température extérieure

En rouge : le séjour-cuisine

En bleu : la grande chambre

Tout en bas l'ensoleillement : on voit ici l'effet qu'il a sur les baies vitrées, même à -9°C le soleil arrive à réchauffer ces 2 pièces.



2- Comportement d'été

Le pavillon a un comportement thermique d'été qui a tendance à surchauffer. Ceci est dû aux rayonnements solaires (notamment du soir) et aux apports de chaleur internes (corps humain + éclairage + cuisson + électroménager...).

On vient de voir que le choix des éléments des parois est judicieux pour une bonne maîtrise des consommations de chauffage, mais il va falloir assurer une température intérieure confortable en été (< 27°C).

Le graphique ci-dessous montre l'effet des différents équipements proposés pour la maison :

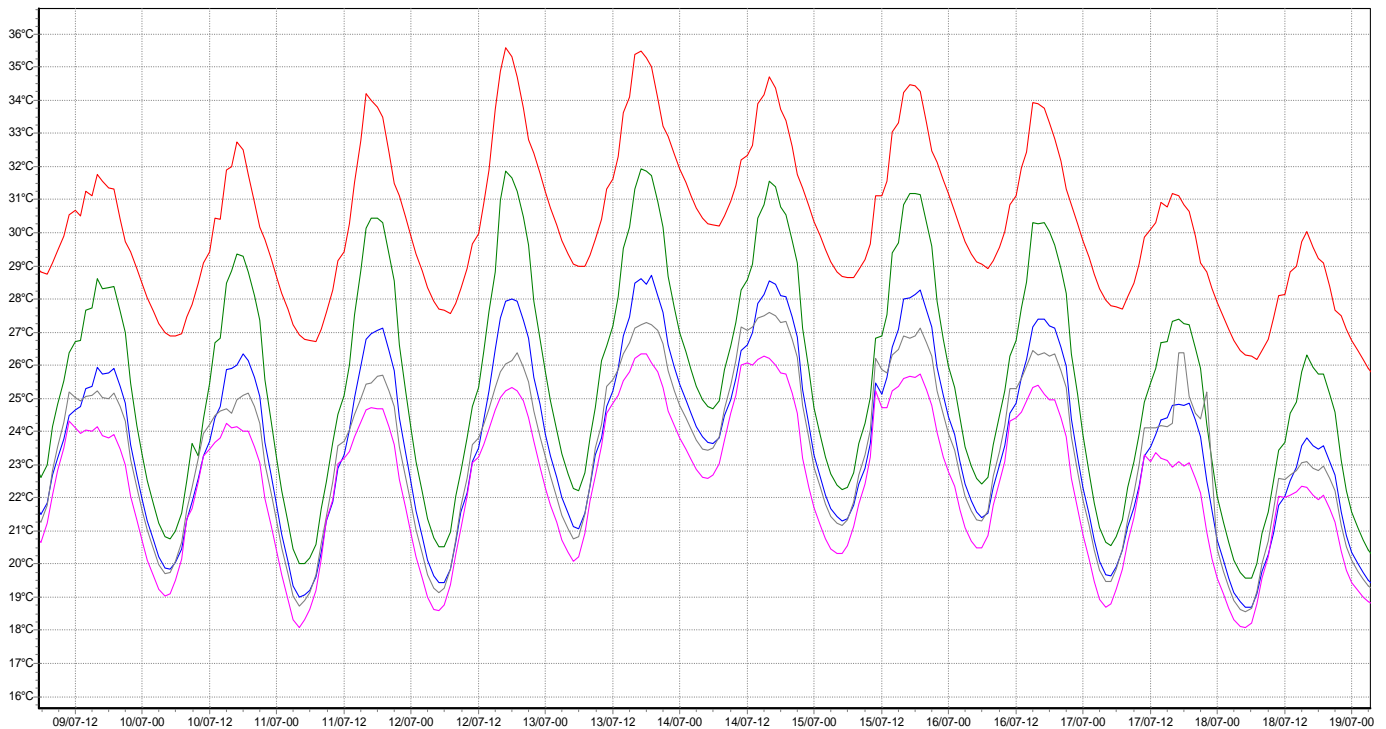
En rouge : la maison avec un vitrage sans protection, sans ventilation de la maison la nuit, sans puits canadien.

En vert : même cas de figure avec une surventilation nocturne (3vol/h = fenêtres ouvertes). On voit ici la moyenne inertie de la maison qui arrive à chuter de 7 à 8°C dans la nuit et remonter d'autant en journée.

En bleu : j'ai ajouté un film réfléchissant sur les baies vitrées pour empêcher le soleil de rentrer (Facteur solaire 35% au lieu de 60%). On gagne 3° sur l'élévation de température de l'après midi.

En gris : j'ai remplacé le film par des stores vénitiens extérieurs baissés de 14h à 19h. Ils sont plus efficace l'été et laisseront le soleil rentrer pleinement l'hiver.

En rose : surventilation nocturne + stores extérieurs + puits canadien. Ce dernier semble avoir peu d'effet mais c'est parce qu'il est présenté en 3^{ème} position. Seul on verrait mieux son impact.



Le graphique suivant montre la même période de juillet :

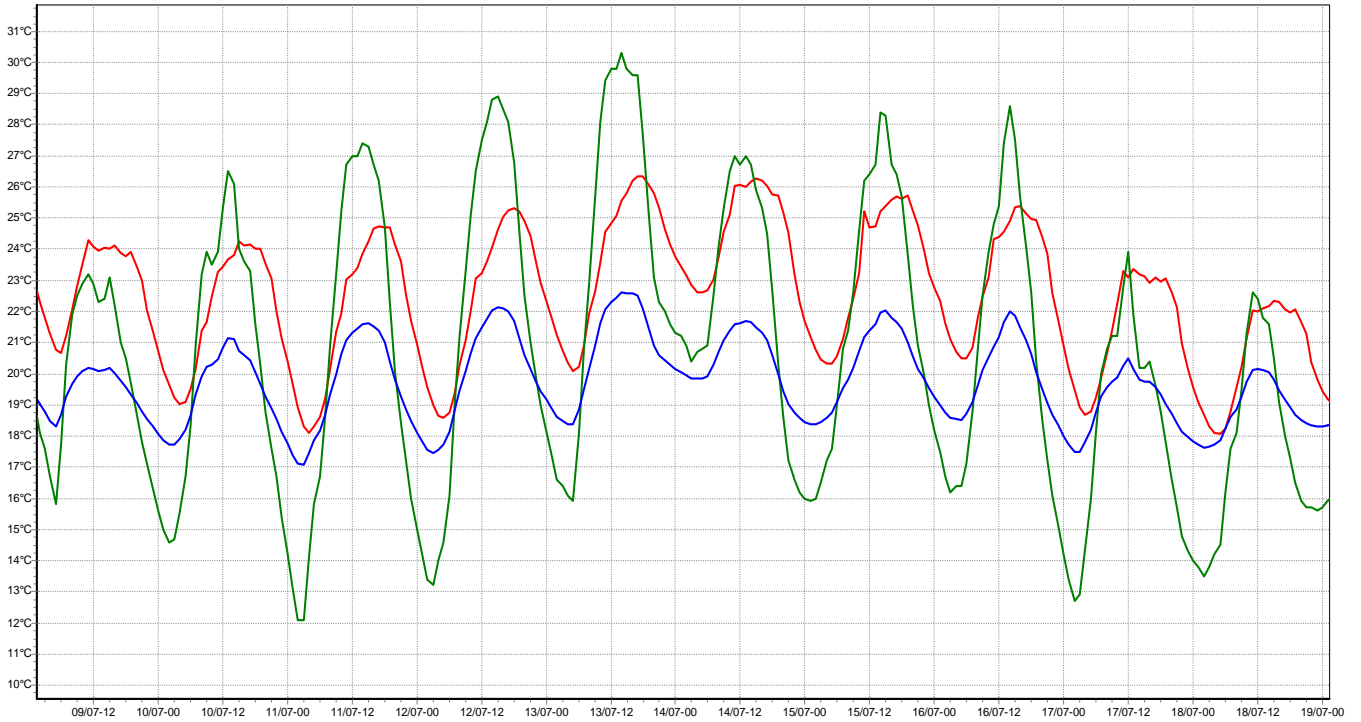
En rouge : température du séjour avec surventilation nocturne + stores extérieurs + puits canadien.

En vert : La température extérieure

En bleu : La température de l'air extérieur à la sortie du puits canadien.

Cette courbe met en évidence l'écrêtage du PC : le 13 juillet l'air rentre dans le puits à 30°C et arrive dans la maison à 22°C alors que la pièce est à 26°C.

Cette courbe montre aussi l'importance d'un by-pass sur le puits canadien: la nuit du 11/07 la maison pourrait être refroidie directement par un air extérieur à 12°C, sans by-pass on refroidira la maison avec un air à 17°C.



Malgré tout ces efforts le confort d'été n'est véritablement assuré, ce qui confirme la nécessité de mettre en place l'ensemble des équipements suivants.

Equipements

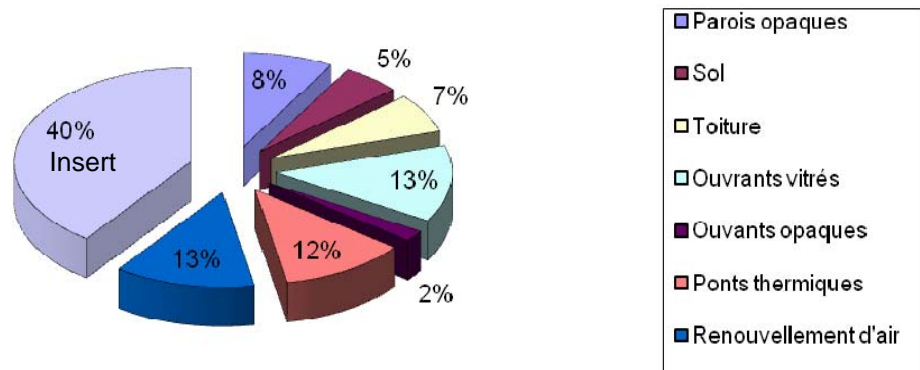
Dans un bâtiment dont les performances de l'enveloppe sont correctement travaillées, la répartition de ses consommations est très inégale. Ce ne sont plus les parois les plus énergivores mais bien souvent les systèmes de production de chaleur (chauffage, eau chaude) ou le renouvellement d'air. Il est donc pertinent de se pencher sur ces potentiels d'économie d'énergie...

1- Production de chaleur

Le choix du maître d'ouvrage s'est porté sur un système de chauffage par insert à bois bûche placé contre le mur qui sépare la grande chambre et le séjour. Ce système pourra aisément apporter la puissance nécessaire de la maison : 8,3kW.

Toutefois on peut s'interroger sur 3 points :

- Répartition de la chaleur dans la maison : le volume était assez allongé et la cheminée à une extrémité du séjour, il n'est pas garanti que la chaleur va correctement circuler jusqu'à la cuisine. Il faudra déplacer cette chaleur mécaniquement par exemple à l'aide de la VMC double flux (voir plus bas).
- Le rendement énergétique des inserts n'est pas très bon en moyenne 60% sur l'année pour les meilleurs. Celui-ci est donc responsable de 40% des déperditions de la maison :



Le choix d'un autre système de chauffage : poêle à granulés (rendement de 80%) serait plus adapté (d'un point de vue énergétique). De plus celui-ci pourrait assurer un fonctionnement hors gel pendant un certain temps.

- Comment assurer une température d'environ 12°C en période d'inoccupation ? je viens de proposer l'utilisation d'un poêle à granulé qui viendrait en remplacement de l'insert... mais si l'insert est conservé cela signifie qu'il faut un autre appoint permanent (d'ailleurs, ça ne s'appelle plus un appoint). une telle installation nous donnera une couverture des besoins de chauffage à 52% pour le système permanent et 48% en bois. cela devient un chauffage à appoint bois. Dans notre cas de figure, le système électrique est le plus simple. Mais il serait alors plus logique de faire installer une pompe à chaleur air/air de faible puissance (5 kW), cette puissance est trop juste pour les besoins hivernaux mais ce sera le poêle qui fera l'appoint : pour réchauffer la maison et les jours de grand froid.

Extrait de l'arrêté du 13 nov. 2007 sur l'éligibilité au crédit d'impôt :

*" 5° Les pompes à chaleur air/air de type multisplit (y compris DRV) ou gainable, ayant un **coefficient de performance supérieur ou égal à 3,3** pour une température d'entrée d'air de 7 °C à l'évaporateur et de 20 °C au condenseur, selon le référentiel de la norme d'essai 14511-2, et remplissant les critères suivants :*

L'appareil, centralisé sur une ou plusieurs unités extérieures, assure le chauffage des pièces composant le logement telles que mentionnées à l'article R. 111-10 du code de la construction et de l'habitation, dès lors que leur superficie est au moins égale à 8 m². Les pièces de service, telles que celles affectées à l'usage exclusif de cuisines, de toilettes ou de salles de bains, ne sont pas prises en compte ; Chaque pièce équipée doit disposer de son propre organe de régulation automatique, quel que soit le principe de diffusion retenu ;

Le fonctionnement normal de l'équipement est garanti par le fabricant à une température extérieure de - 15 °C ;

*La puissance calorifique thermodynamique restituée de l'unité extérieure est **supérieure ou égale à 5 kW** à une température extérieure de 7 °C. En cas d'installation simultanée de plusieurs unités extérieures, cette condition doit être remplie par au moins l'une d'entre elles ;"*

Attention le crédit d'impôt ne s'applique pas aux résidences secondaires... Il faut se rapprocher des espaces infos énergies pour connaître exactement les aides qui existent, notamment les aides locales : région, conseil général, etc.

2- Production d'eau chaude

Dans le cas de la maison de Domptail occupée essentiellement le WE par 1 ou 2 couples, les consommations d'eau chaude ne sont pas suffisantes pour envisager système de chauffe eau solaire, même si le climat le permet. Je ne voudrais pas empêcher le maître d'ouvrage de faire des économies d'énergies, mais si j'étais à leur place je ferais poser une chauffe eau solaire en priorité sur ma résidence principale (dans la mesure du possible...).

Pour situer la part de consommation d'énergie liée à la production d'eau chaude elle serait d'environ 2000kWh/an (le chauffage consommant 11000kWh/an avec l'insert). Un chauffe-eau solaire permet de couvrir 50% des besoins énergétique, faire des économies sur l'eau chaude peut vite être significatif, ici 1000kWh.

Il serait à mon avis préférable de prévoir au moment de la construction tout ce qu'il faut pour réaliser une installation performante lorsque l'occupation sera permanente :

- Choisir un emplacement du chauffe-eau au plus près des points d'eau pour limiter les pertes de sous tirage. Emplacement dans un local tempéré pour éviter les pertes thermique inutile (10% d'économie)
- Prévoir un programmeur simple permettant facilement de couper l'alimentation électrique du ballon et de le remettre en route avant le début du WE (pour 5 jours d'absence, c'est intéressant de laisser le ballon se refroidir).
- Choisir un ballon d'eau chaude prêt à être connecté à des panneaux solaires : c'est-à-dire équipé d'un serpentin et d'un appoint électrique. 150 litres suffisent.
- Prévoir des points de fixation en toiture pour poser un châssis avec les panneaux. Il est plus facile de gérer l'étanchéité au moment de la construction...

3- Ventilation Double Flux

Dans les maisons bien isolées le renouvellement d'air qui apporte de l'air froid, représente 25 à 40% des consommations énergétiques, c'est le poste le plus déperditif.

Dans notre cas, le renouvellement représente 25% et tombe à 13% avec une VMC DF (échangeur à 85% d'efficacité nominale) branchée sur un puits canadien (voir plus bas). Celui-ci nous fait gagner environ 2 000 kWh !



Attention dans le choix de la VMC double flux car celle-ci doit posséder un by-pass automatique qui shunt l'échangeur en cas de beau temps.

D'autre part la VMC DF va nous permettre de prélever de l'air chaud à proximité de l'insert pour l'amener dans la petite chambre et la cuisine.

Je préconiserais une installation en sous sol avec des boucles de ventilation au sol (voir photo ci-contre). Ainsi que des gaines techniques pour les prises d'aspiration en hauteur entre les salles de bains, entre les WC et la cuisine et dans le placard de la grande chambre pour aspirer l'air chaud de l'insert.

Attention : la VMC DF n'est véritablement efficace que si l'étanchéité (au courant d'air) de la maison l'est aussi. C'est à dire frein-vapeur bien posé : large recouvrement entre les laies et pincement par le contre-lattage, utilisation de mastic...

4- Le puits canadien

Le puits canadien fonctionne très bien pour des climats tranchés (très froid et très chaud), il écrête les variations de températures importantes. Dans le cas de Domptail, Il joue un rôle efficace en hiver où les températures sont régulièrement en dessous de 0.

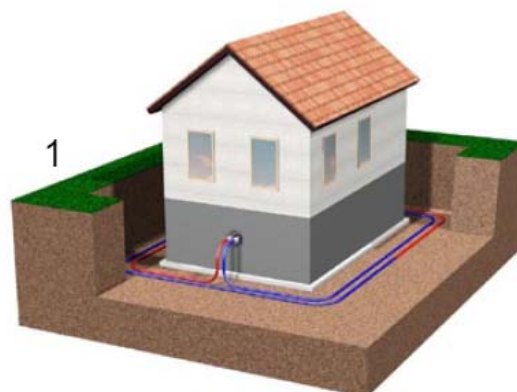
Il est aussi très adapté comportement d'été du bâtiment qui a tendance à surchauffé. Il assure une baisse de température de 1 à 2°C, ce qui peu paraître faible, mais c'est en fait très important.

Le puits canadien doit assurer si possible un renouvellement d'air de :

- 0,6 Vol/h en journée hiver,
- 0.2 Vol/h les nuits d'hiver,
- 1 Vol/h en journée d'été,

Il doit être équipé d'un by-pass pour puiser directement l'air extérieur lorsque les nuits d'été sont plus fraîches que le sol.

Etant donné que les travaux ont déjà commencé et que le terrassement est terminer, le seul type de VMC encore envisageable est la sonde géothermique de chez NED AIR (voir photo ci-dessous).



5- Surventilation Nocturne :

Ceci consiste à renouveler 3 à 5 fois par heure le volume d'air de la maison pendant la nuit. Cela a pour effet de décharger les murs de la chaleur accumulée la journée pour repartir le matin avec des températures raisonnables de 18 ou 20°C. On peut obtenir ce brassage par un ventilateur (trop onéreux pour une maison) ou simplement en ouvrant les fenêtres la nuit (Le taux de brassage de 5 Vol/h correspond à 2 fenêtres opposées grandes ouvertes).

Je préconise donc dans le choix des vitrages, des fenêtres permettant d'être ouvertes sans pour autant craindre de vol. Les oscillo-battants sont très appropriés. Il faut permettre à l'air de traverser la maison, ce qu'il signifie que ces oscillo-battants seraient pour la cuisine, les baies vitrées Ouest et peut-être le dessus de la porte d'entrée.

6- Appareil électroménager

C'est une rubrique courante dans un dossier de maison à faible consommation. L'expérience montre que la plus grande difficulté dans l'optimisation du comportement thermique de ces maisons consiste à assurer un bon confort d'été. Cette difficulté est accentuée dans le cas du projet de Domptail par une orientation Ouest des baies vitrées laissant rentrer beaucoup de soleil le soir.

On sait que ce projet est limité en confort d'été, qu'il est nécessaire de mettre un puits canadien et des protections solaires. Cependant il est possible de limiter les risques de surchauffe en limitant les apports internes c'est-à-dire tout ce qui dégage de la chaleur à l'intérieur de la maison, et notamment les appareils électroménagers. Je préconiserais donc l'achat d'appareil électroménager de classe A voir A+ ou A++. Pour les trouver facilement, il suffit de consulter les sites www.guide-topten.com (WWF) ou www.topten.ch plus complet (attention prix en francs suisses).

Pour les appareils de cuisson : utiliser de préférence des plaques à induction.

Je conseille fortement la pose et l'utilisation d'une hotte aspirante
ATTENTION : éviter les hottes qui fonctionnent en recyclage car elles n'évacuent pas la chaleur qui se dégage de la cuisson.

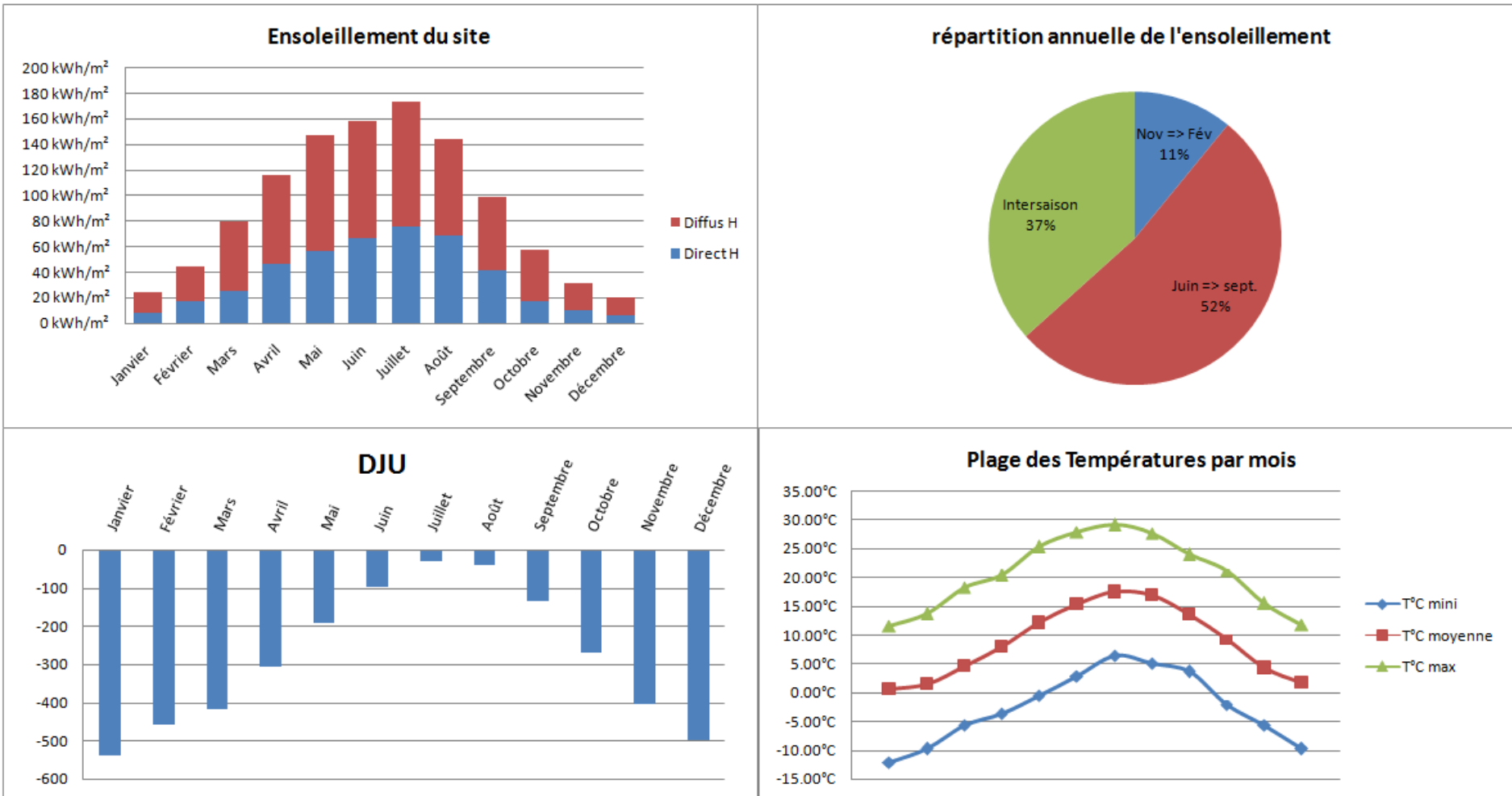
CONCLUSION

Par cet ensemble de solution, le projet à un besoin net énergétique d'environ 9200kWh/an (chauffage + ECS + ventilation) soit 70 kWh/m².an. Si j'exprime la consommation totale en énergie primaire (tenant compte des différents rendements) la maison devrait consommer autour de 11700kWh_{ep}/an soit 88kWh_{ep}/m².an (occupation à l'année).

Malgré les efforts portés sur certains équipements et sur l'isolation la performance du bâtiment n'est pas aussi bonne qu'on aurait pu l'imaginer. Ceci montre l'importance de l'intégration des règles de bioclimatique dans la conception architecturale, pour optimiser les bons apports solaires passifs, qui ici nous contraignent à suréquiper la maison pour se protéger sans en avoir les bénéfices. La même simulation a été faite avec le bâtiment exposé plein Sud, le gain est de 15% et les températures maximales sont inférieures d'au moins 2°C (sans avoir mis de masques solaires). Le bâtiment à un comportement thermique naturel plus adapté à notre besoin.

ANNEXES

Données météorologiques du projet – basé sur la station météo de Nancy



Estimations des Déperditions

Parois opaques

surface :	147 m ²	
résistance thermique :	4.342 m ² .°K/W	=>
Puissance perdue :	902 W	7%

Sol

surface :	132 m ²	
résistance thermique :	2.941 m ² .°K/W	=>
Puissance perdue :	583 W	4%

Toiture

surface :	132 m ²	
résistance thermique :	7.000 m ² .°K/W	=>
Puissance perdue :	732 W	6%

Ouvrants vitrés

Surface :	30 m ²	
Résistance thermique :	0.737 m ² .°K/W	=>
puissance perdue :	1437 W	11%

Ouvrants opaques

Surface :	4 m ²	
Résistance thermique :	0.867 m ² .°K/W	=>
puissance perdue :	211 W	2%

Ponts thermiques

Longueur :	119 m	=>
Psi moyen :	0.38	
coffre de volets roulants :	0 W	
Puissance perdue :	1263 W	10%

Renouvellement d'air

taux de renouvellement :	0.6	=>
Puissance perdue :	2811 W	21%

Total	7939 W	
Rendement chaudière = 0.60	13232 W	40%

=> 80% rendement des inserts

majoration de 20%	9527 W	
-------------------	--------	--

=> majoration de sécurité pour choisir la puissance d'un futur insert

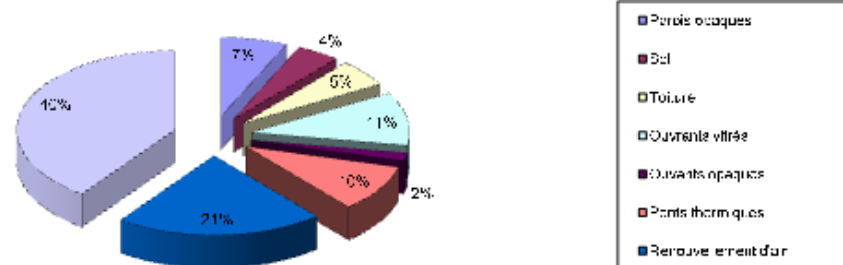
Gv	380 W/K	0.96
Apports solaires utiles	5900 kWh/an	
Besoins annuels approximatifs	22282 kWh/an	169
équivalent en stères de bois *	10	

* bois de feuillus sec à 25%

T °C de base départementale :	-15.0 °C	station de ref. :	Nancy
Altitude du projet :	310 m	altitude de ref. :	212 m
T °C de base corrigée :	-15.8 °C	DJU 18 de ref. :	3031
Température intérieure :	19.0 °C	DJU du projet :	3088
T °C sous-sol :	6.0 °C		

Parois opaques	902 W
Sol	583 W
Toiture	732 W
Ouvrants vitrés	1437 W
Ouvrants opaques	211 W
Ponts thermiques	1263 W
Renouvellement d'air	2811 W
Rendement chaudière = 0.60	5293 W
TOTAL	13232 W

Répartition des déperditions



NANCY

Latitude	48.6°	Longitude	6.2°	Altitude	212 m	DJU 18	3106
----------	-------	-----------	------	----------	-------	--------	------

J'ai simulé une pièce (5m x 5m, h=2,5m) faite de murs béton et d'une isolation de 10cm par l'extérieur . L'une de ses faces est équipée d'une fenêtre (1,40m x 1,20 m).
 le tableau ci-dessous, compare 4 vitrages pour 8 orientations différentes. La valeur indiquée dans ce tableau est la différence entre les besoins de chauffage de la pièce avec et sans vitrages. autrement dit, si la valeur est positive, le fait de mettre une fenêtre est énergétiquement plus intéressant que de laisser cette parois opaque isolée.

- Remarques :
- plus le vitrage est performant et moins les volets classiques sont pertinent.
 - ces valeurs sont valables pour une efficacité de mur de $U = 0.36 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, si le mur est plus performant les valeurs diminuent
 - ce tableau est un indicateur pour optimiser les apports solaires passifs, mais ne prévient pas des risques de surchauffe d'été...

Orientation	Ug	Uw	FS	Besoin annuel de chauffage en kWh pour 19°C constant								Somme des 8 orientations
				Nord-Ouest	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est	Nord	
DV 4-16-4 PE argon - alu sans Volet	1.50	2.35	69%	● -149	● -94	● -38	● -28	● -67	● -122	● -160	● -171	-829
DV 4-16-4 PE argon - alu + Volet	1.50	2.35	69%	● -76	● -21	● 35	● 46	● -2	● -60	● -94	● -97	-269
DV RT2005 - bois sans volet	1.55	1.8	65%	● -72	● -21	● 32	● 43	● 5	● -47	● -83	● -92	-235
DV RT2005 - bois + volet	1.55	1.8	65%	● -31	● 20	● 72	● 82	● 38	● -17	● -49	● -52	63
DV 4-16-4 krypton PE bois + sans volet	1.00	1.34	59%	● -19	● 28	● 76	● 85	● 50	● 4	● -29	● -38	157
DV 4-16-4 krypton PE bois + volet	1.00	1.34	59%	● 4	● 51	● 100	● 109	● 67	● 17	● -12	● -14	322
DV 4-16-4 krypton PE bois + volet isolant	1.00	1.34	59%	● 29	● 82	● 137	● 149	● 102	● 44	● 11	● 9	563
Triple vitrage - bois sans volet	0.80	0.8	50%	● 40	● 82	● 125	● 134	● 103	● 61	● 32	● 24	601
triple vitrage - bois + volet	0.80	0.8	50%	● 45	● 86	● 128	● 135	● 99	● 56	● 31	● 29	609

La différence Est et Ouest est certainement liée aux masques lointains causés par le relief

Fenêtres : 1.40m x 1.20m, allège de 1m, dans une pièce de 5m x 5m en béton plein de 16cm avec 10cm d'isolant extérieur.
 Volets = volet bois épaisseur 25mm + lame d'air 10cm (R=0,25 m².K/W)
 Volet isolant = volet sandwich : bois + 4cm isolant + bois (R= 1 m².K/W)
 les volets sont fermés tous les jours de 20h à 8h
 Ug = valeur déperditive de la partie vitrage
 Uw = valeur déperditive de toute la fenêtre (housse + vitre)
 FS = Facteur solaire : taux d'énergie solaire traversant la partie vitrée pour une incidence de 0°