

MAISON SOLAIRE DU "CLOS" Deux logements locatifs mitoyens

Objectifs :

- 40 kWh_{ep}/m²/an pour chauffage et eau chaude.
- Utilisation de matériaux sains
- Utilisation d'énergies renouvelables (solaire)
- Systèmes d'économie d'énergie et d'eau (éclairage, limiteurs de débit, chasses d'eau à double vitesse)
- Utilisation simple et la plus passive possible : ces logements sont destinés à la location, leur fonctionnement ne doit pas être complexe ni technique, et ne demander que très peu d'entretien.
- Date prévue d'achèvement des travaux : 01 /09/2007



Ce projet a été primé lors du Salon Européen du Bois à Grenoble en avril 2006 dans la catégorie ECO² (Ecologique et économique)

MAISON SOLAIRE DU "CLOS" Deux logements locatifs mitoyens



DESCRIPTIF

La Maison Solaire du Clos est située dans le sud de l'Ardèche à mi-pente de colline en sortie d'un hameau. Surface : 132 m² habitables constitués de 2 logements locatifs (2 chambres par logement).

Matériaux utilisés :

- Bois (Douglas) : charpente, structure porteuse centrale, cloisons, équipements extérieurs (douglas).
- Panneaux OSB : parois verticales
- Mélèze : bardage au sud.
- Ouate de cellulose : isolation des murs extérieurs bois et de la toiture.
- Brique à joints minces + isolation extérieure en liège : murs périphériques.
- Dalle béton sur terre plein isolé.

Les intentions : réaliser deux logements locatifs basse consommation d'énergie. Nous avons choisi de concevoir la maison toute entière comme un grand capteur solaire, en favorisant au maximum les apports solaires passifs, et en minimisant les surfaces de déperditions. Les deux logements sont donc mitoyens, sans que cela ne soit gênant : un décalage permet de préserver l'intimité de chaque locataire. On crée ainsi un bâtiment compact et assez massif, qui n'est pas sans rappeler le style des constructions traditionnelles du sud Ardèche.

LE BOIS COMME EPINE DORSALE DU PROJET

- Souplesse de mise en œuvre :

Le bois répond à la difficulté structurelle imposée par la forme organique de la toiture. Ce parti pris architectural permet de libérer une très large façade sud qui suit la course du soleil. Deux serres contiguës surplombées par des capteurs solaires thermiques intégrés au bâti structurent la façade sud.

Les murs intérieurs et les cloisons en briques remplies de sable, pour en augmenter l'inertie, viennent s'adapter à la toiture sans difficulté.

- Qualités esthétiques :

La sous face de toit est réalisée en voliges rabotées, laissées naturelles, et servant à la fois d'élément de parement et de caisson d'isolation. Le bardage mélèze sur la façade sud renforce la lisibilité du projet et place le bois en son centre. Les terrasses est et ouest, en lames de douglas, sont équipées de pergolas réalisées dans le même bois.

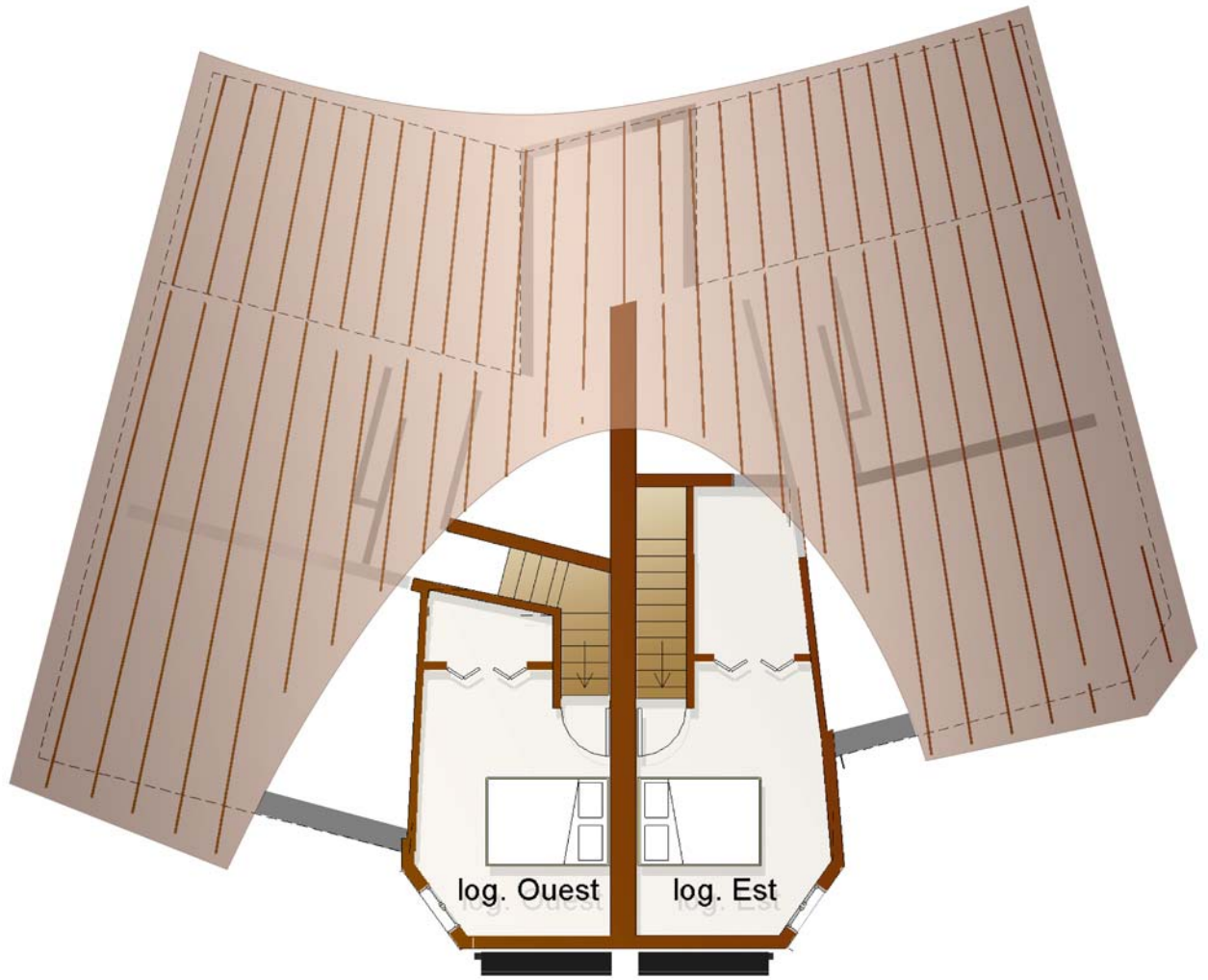
- Performances des matériaux :

Des panneaux de liège sont utilisés comme isolation extérieure. Le liège, imputrescible et respirant, est chevillé/collé sur les murs de briques puis enduit à la chaux. Le complexe brique-liège ainsi créé assure, grâce à une continuité de la capillarité, une régulation hygrométrique des locaux.

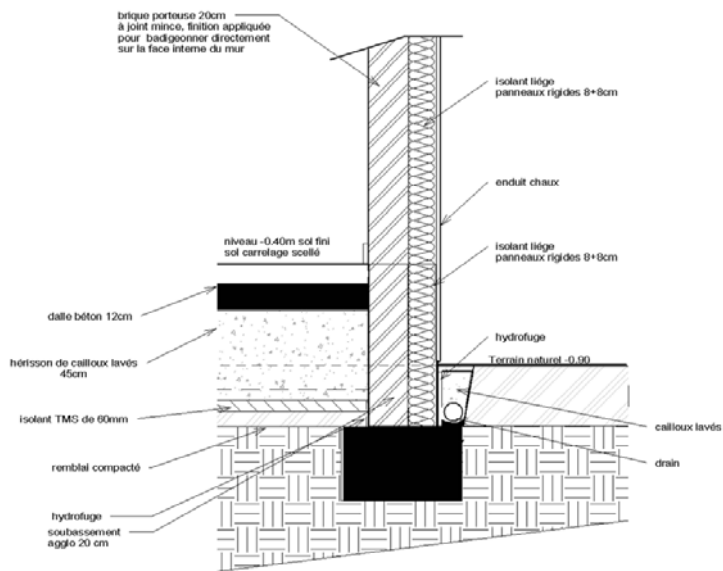
PLANS et DETAILS



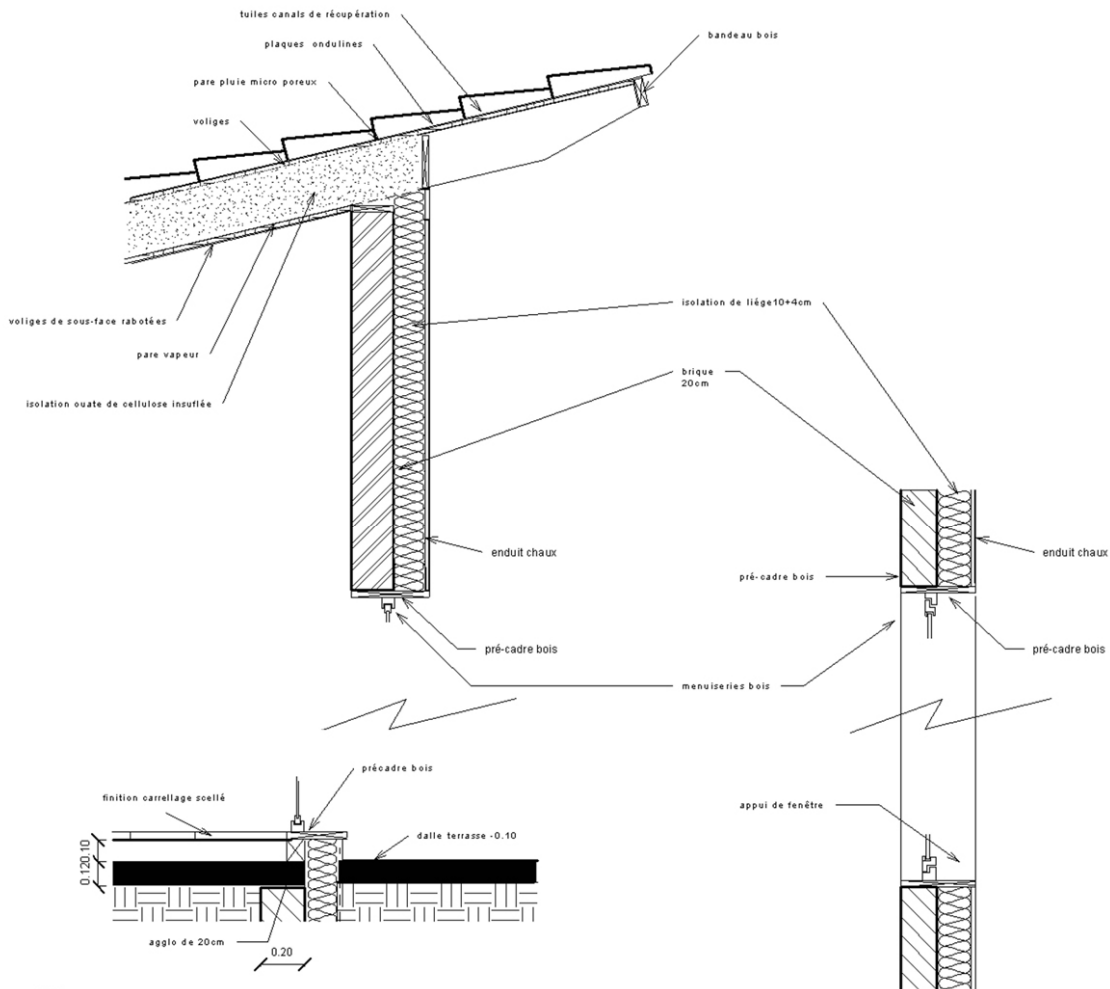
Rez-de-chaussée



Plan de l'étage.



1 détail fondations



1 détails toiture et menuiseries

LA MAISON SOLAIRE EN CHIFFRE :

Solaire passif :

- Vitrage au sud : 28m²

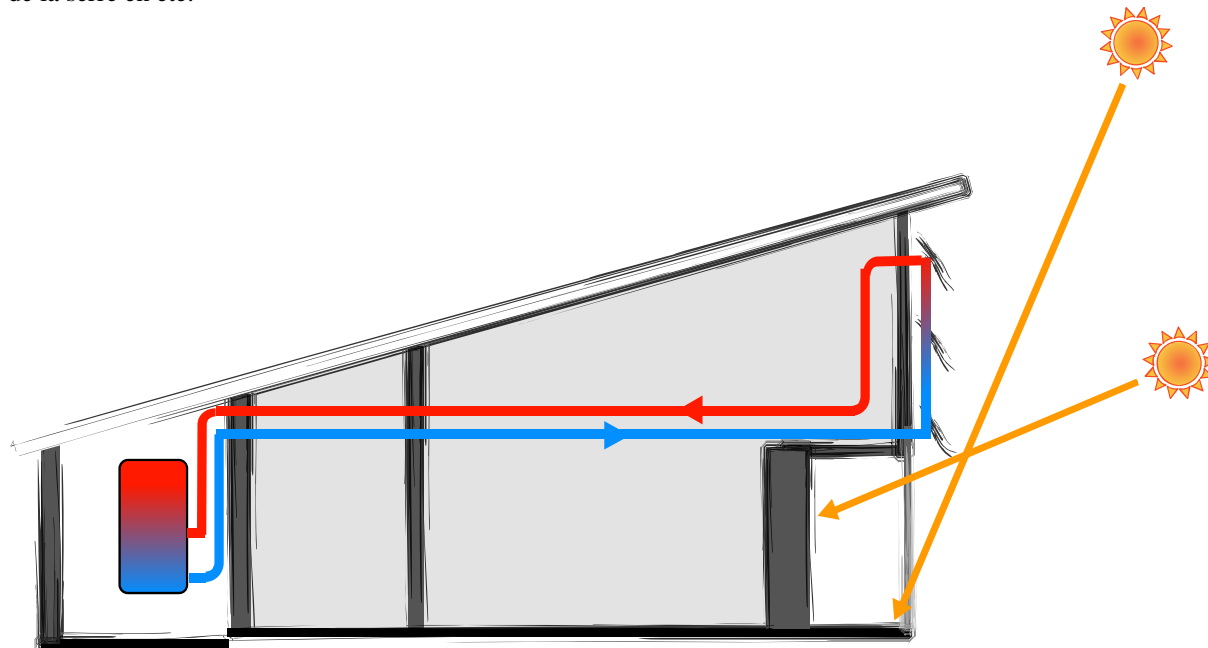
- Serres ventilables semi-encastées utilisées pour le renouvellement de l'air en hiver : 9m² au sol, 18 m² de vitrage s'ouvrant à 50% en été. Cet espace n'est pas considéré comme habitable.

Solaire actif :

- Capteurs solaires thermiques : 7.2m²

- Hydro-accumulation pour l'eau chaude sanitaire : 2 x 350L

Le taux de couverture solaire de l'eau chaude sanitaire a été évalué à 74 %. Les capteurs, intégrés en façade, sont inclinés à 60° pour privilégier la production d'hiver, éviter les surchauffes en été, et servent de casquettes au baies sud de la serre en été.



En été, les vitrages de la serre et les baies au sud sont ombragées, en hiver elles captent au contraire tout le rayonnement direct. Les panneaux solaires sont orientés de manière à privilégier la production d'hiver, et éviter les surchauffes en été.

Ventilation

- Insufflation de l'air neuf préchauffé par la serre, à travers un mur lourd (entre serre et cuisine) dès que la température de l'air neuf est suffisante. Le mur lourd restitue pendant la nuit les calories emmagasinées pendant la journée.

- Extraction par convection naturelle hygro-réglable assistée pour minimiser les pertes dues au renouvellement de l'air (voir schéma de principe en annexe). Le tirage naturel nominal faible permet une ventilation douce (par bouche hygro-réglables conçues pour la ventilation naturelle). Ponctuellement, au moment de la cuisine ou le matin après une douche, lorsque l'air est trop humide (>60%) un hygromètre allume alors un extracteur mécanique de faible puissance situé en sortie de conduit de ventilation. On arrive alors à diminuer fortement les débits de ventilation nécessaires. Voir à ce sujet le paragraphe « murs respirants ».

Inertie

- Inertie thermique du bâtiment suffisante pour garantir un bon confort estival, stocker la chaleur captée en hiver, et empêcher le refroidissement pendant théoriquement au moins 8 jours sans soleil.

- Dalle béton lourde + terre plein isolé : 120 Tonnes

- Briques des murs de refends intérieures à joints minces remplies de sable : 40 Tonnes. (captage solaire face au baies vitrées).

MURS RESPIRANTS et VENTILATION

Le choix des matériaux est fondamental dans ce projet. En effet, lorsque l'enveloppe du bâtiment devient très efficace du point de vue thermique, la principale source de déperditions est causée par le renouvellement de l'air.

A titre de comparaison, une VMC simple flux classique, de débit $80\text{m}^3/\text{h}$, représente une perte énergétique de près de 1500 kWh pendant un hiver, soit **plus que la consommation totale** de la Maison du Clos.

La maîtrise de ce renouvellement d'air est donc fondamentale

Pourquoi ventiler ?

On ventile pour trois raisons :

- d'abord et surtout pour éliminer la vapeur d'eau produite par les habitants.
- ensuite pour maintenir un taux d'oxygène correct dans le logement, ou, ce qui revient au même, maintenir un taux de CO_2 suffisamment bas pour qu'aucune gêne ne soit occasionnée aux habitants.
- enfin, pour éliminer les polluants (Composés Organiques Volatils, notamment). Ces polluants sont en grande partie issus des matériaux de construction, mais aussi dans une moindre mesure des meubles ou des différents objets présents dans la maison.

Comment déterminer le taux de renouvellement d'air le plus juste ?

Le paramètre le plus important étant l'hygrométrie des logements, on essaye d'abord de quantifier la quantité de vapeur d'eau émise en 24 h par les occupants ou leurs activités.

- Quantité de vapeur d'eau émise par une personne ayant une activité moyenne : 55 g/h
- Quantité de vapeur d'eau dégagée dans l'habitation par 5 personnes l'occupant en permanence : 275 g/h soit 6600 g/jour
- Quantité de vapeur d'eau dégagée par les douches (pour cinq personnes) : $300\text{ à }500\text{ g/jour}$
- Quantité de vapeur d'eau dégagée par la cuisine et la vaisselle : $1\ 500\text{ à }2000\text{ g/jour}$
- Quantité totale de vapeur d'eau dégagée dans le logement (hors lavage du linge et des sols) : **environ 9100 g/jour .**

1- Renouvellement par l'action des parois :

Il convient donc d'évacuer au pire (cas de l'occupation permanente) **$9,1\text{ kg}$** de vapeur d'eau chaque jour. Cette valeur étant très importante, nous avons cherché d'abord à maximiser la **capacité des parois à transférer la vapeur d'eau vers l'extérieur**. Pour se faire, nous n'avons utilisé que des matériaux « perméants » c'est-à-dire dont la résistance à la diffusion de vapeur d'eau est faible.

Rappels : μ est le rapport entre la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air et la perméabilité à la vapeur d'eau du matériau examiné (nombre sans dimension).

Le flux de vapeur d'eau à travers une paroi (exprimé en $\text{kg}/\text{m}^2.\text{h}$) peut être calculé par la relation suivante :

$$q = (\text{Pression partielle de vapeur côté intérieur} - \text{Pression partielle de vapeur côté extérieur}) / \text{Résistance à la diffusion}$$

$$\text{soit } q = (P_{v_{\text{int}}} - P_{v_{\text{ext}}}) / R_d$$

La résistance à la diffusion d'une paroi est égale à la somme des résistances (exprimées en $\text{m}^2.\text{h}.\text{Pa}/\text{kg}$) des différents composants de la paroi. Ces résistances peuvent être calculées par la relation suivante :

$$R_d = 1,5 \times 1\ 000\ 000 \times \mu \times \text{épaisseur du composant (en m)} .$$

Les murs périphériques sont composés comme suit (intérieur vers extérieur) :

- enduit chaux sable hydraulique ($\mu=10$) épaisseur $0,5\text{ cm}$
- brique à joint mince 20 cm ($\mu=10$)
- liège 16 cm ($\mu=10$)
- enduit de finition chaux aérienne ($\mu=5$) épaisseur $0,5\text{ cm}$

R_d pour ces murs :

$$R_{d_{\text{mur}}} = 5\ 500\ 000$$

On en déduit grâce à la relation ci-dessus la quantité de vapeur d'eau évacuée par les murs en brique en 24 h : $Q=450\text{ g}$ environ.

La toiture est composée comme suit (intérieur vers extérieur) :

- Volige rabotée de 15mm ($\mu=20$)
- pare poussière (Kraft mince de résistance négligeable)
- ouate de cellulose 25 cm ($\mu=1$ à 2 suivant la densité)
- Volige non jointive de 15mm ($\mu=10$)
- lame d'air faiblement ventilée
- pare pluie (type onduline)
- tuiles

Pour le calcul, on ne tient compte que des 3 premiers éléments, puisque la lame d'air est somme toute ventilée. (pas de risque d'accumulation d'humidité).

Rd pour la toiture :

Rd_{toit}=1 250 000

On en déduit grâce à la relation ci-dessus la quantité de vapeur d'eau évacuée par la toiture en 24 h :

Q=1 600 g environ.

Hypothèses de calcul :

- Température intérieure : 20°C
- Humidité relative intérieure : 50%
- Teneur en eau de l'air intérieur : 7,4 g de vapeur d'eau par kg d'air sec
- Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air intérieur : 1 178 Pa
- Température extérieure : 0°C
- Humidité relative extérieure : 80%
- Teneur en eau de l'air extérieur : 3,1 g de vapeur d'eau par kg d'air sec
- Pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air extérieur : 491 Pa
- Surface des murs : 150 m
- Surface de toiture 120 m²

On évacue donc déjà plus de 2 kg de vapeur d'eau uniquement grâce aux parois. En outre, la présence de matériaux poreux et capables de stocker l'humidité dans le volume habité permet une meilleure régulation de l'humidité (lissage des pics de fort pourcentage humidité).

Il est bien entendu que la nature des matériaux utilisés est fondamental : il doivent laisser passer la vapeur d'eau sans pour autant perdre leurs qualités structurelles ou isolantes, ce qui est le cas de la brique, du liège, du bois ou de la cellulose.

2- Renouvellement par fuites de l'enveloppe :

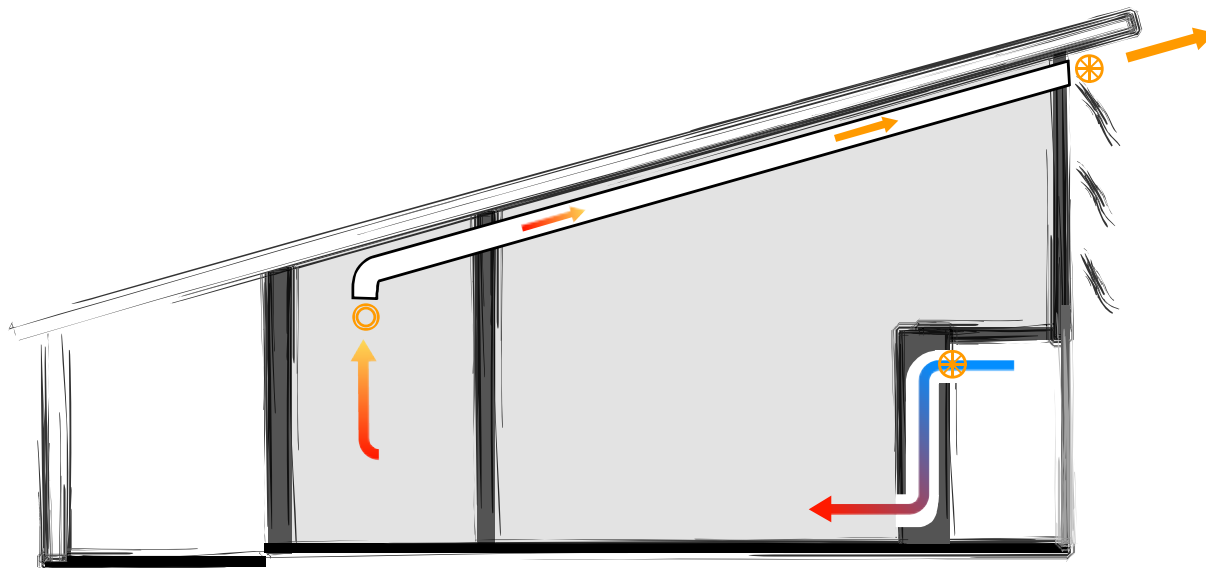
Le renouvellement par les défauts d'étanchéité à l'air de l'enveloppe doit également être pris en compte. Le bâtiment étant naturellement protégé des vents dominants par son environnement proche, les menuiseries, fenêtres et portes, étant toutes de bonne qualité, les portes donnant sur des espaces protégés, et un grand soin devant être apporté à la réalisation de l'enveloppe (détails constructifs tels que seuils et appuis de fenêtres traités par des précadres, isolation continue par l'extérieur, pas de combles perdus donc pas de trappe d'accès, pas de VMC continue pour l'extraction de l'air donc jamais de dépression importante) le taux de renouvellement moyen sera cependant assez faible. Nous l'avons estimé à seulement 0,1 m³/h.m² de surface déperditive en moyenne, soit seulement 25 m³/h.

Dans les hypothèses que nous avons choisie pour notre étude, le différentiel d'humidité entre air intérieur évacué et air extérieur qui le remplace fait apparaître une capacité d'évacuation d'humidité supplémentaire de 2,6 kg par jour.

3- Renouvellement par ventilation naturelle assistée.

Nous avons vu que l'enveloppe est capable d'éliminer passivement une partie de la vapeur d'eau produite dans les logements. Dans le cas d'une occupation intermittente (absence en journée pendant la semaine, par exemple), les besoins en ventilation supplémentaire seront très faibles.

Nous avons donc choisi un système mixte pour une ventilation douce continue pouvant augmenter fortement en cas de besoin : la ventilation naturelle assistée.



- Chaque logement ne possède qu'une entrée d'air, située au niveau de la serre. L'air amené dans le logement est préchauffé par la serre le jour, transite par un mur lourd (isolé par l'extérieur – côté serre) auquel il cède ses calories excédentaires. Un ventilateur avec thermostat à 18°C permet de forcer le débit jusqu'à 60m³/h en journée. La nuit, le mur restitue lentement la chaleur accumulée pendant la journée, le ventilateur s'arrête et le tirage passif le remplace.

- L'unique bouche d'extraction de chaque logement se situe dans la pièce la plus humide (la salle de bain/WC) et est hygro-réglable pour ventilation naturelle (Type Aereco GHN735, débit taré à pression atmosphérique normale). Son débit peut varier de 15 m³/h à 75 m³/h en fonction de l'humidité de la pièce.

Pour toute information supplémentaire, visiter le site du fabricant : <http://www.aereco.fr/product.php?product=ghn>.

- En cas de demande ponctuelle de surventilation, un extracteur mécanique situé en sortie de conduit se déclenche et permet par exemple un désembuage rapide de la salle de bain. Il est couplé à un hygrostat qui le met en marche au-delà de 60% d'humidité.

- Toutes les pièces (chambres) disposent d'une ventilation haute et basse dans les cloisons afin de bénéficier d'une légère circulation d'air par convection.

CONCLUSION :

Les choix décrits plus haut (murs perméants, ventilation naturelle assistée, préchauffage de l'air neuf) nous permettent de nous affranchir d'un système de ventilation lourd (VMC double flux) et d'arriver à des rendements énergétiques équivalents.

Le CO₂ et les polluants ne sont pas le facteur déterminant pour calculer le taux de renouvellement de l'air.

- En effet, la quantité de CO₂ rejetée par un individu au repos en 24 h n'est que de 420 l en moyenne, soit pour un logement de 190 m³ et 2.5 habitants, 1,2 m³ de CO₂ rejeté par jour. En admettant que l'air ne soit pas du tout renouvelé, le taux d'oxygène ne baisserait que de 3% au bout de 24h. La ventilation décrite ci-dessus sera suffisante pour éliminer le CO₂ excédentaire.

- Éliminer les polluants du logement commence d'abord par l'utilisation de matériaux sains, ce qui sera fait ici : brique, enduits chaux/sable sans additifs, peintures remplacées par des badigeons à la chaux, menuiseries bois huilées, pas d'isolants en intérieur, pas ou peu d'utilisation de colle, pas de revêtement synthétique.

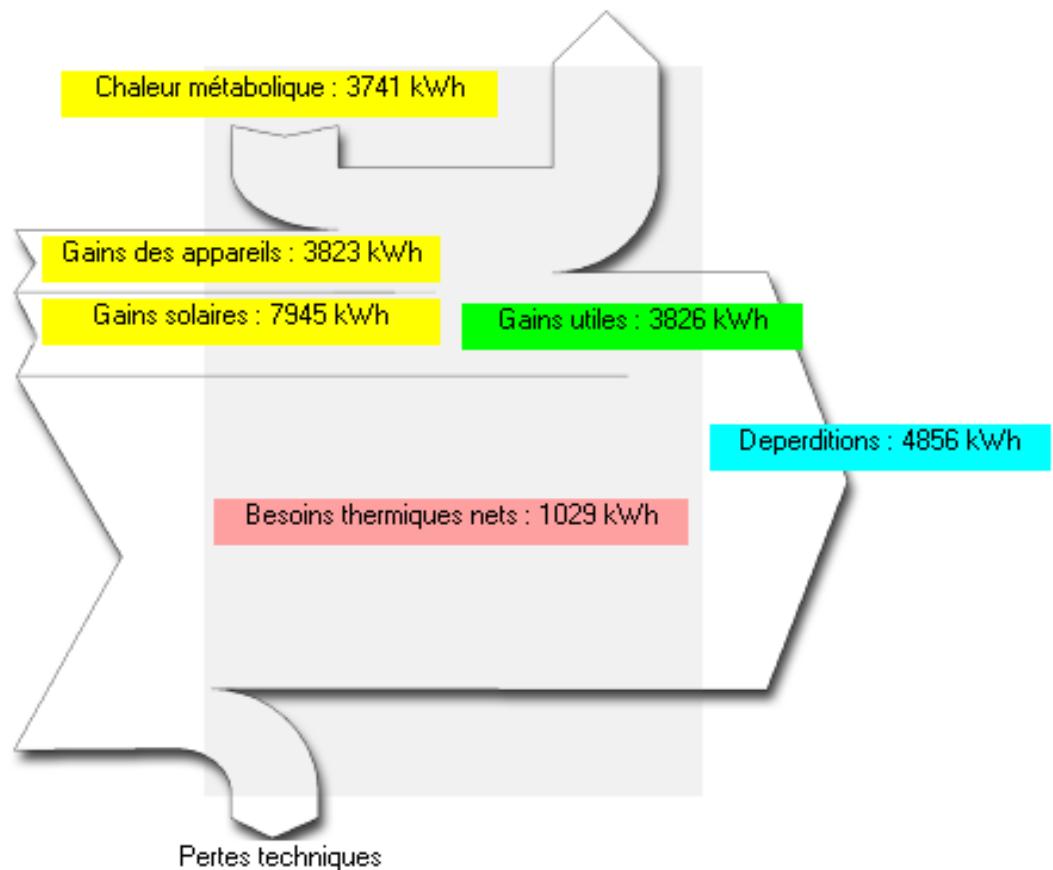
BILAN THERMIQUE ET HYPOTHESES DE CALCUL

Lorsque l'on arrive à de hauts niveaux de performances thermiques, les facteurs les plus déterminants ne sont plus les pertes énergétiques dues au bâtiment lui-même, ce qu'on arrive très bien à quantifier, mais plutôt les apports dus aux occupants eux-mêmes, qui dépendent étroitement de leur habitudes de vie.

(Voir bilan thermique en annexe pour les résultats complets)

Les apports dus à l'activité humaine sont de trois ordres :

- Chaleur métabolique (chaleur utile dégagée par le corps humain)
- Gains des appareils dans le volume habitable
- Gains solaires, qui peuvent dépendre de l'ouverture ou de la fermeture des volets.



Dans le diagramme de Sankey ci-dessus, qui résume le fonctionnement de la maison d'un point de vue énergétique, on peut voir en jaune les gains apportés par ces trois postes.

NB : On n'a pas ici de pertes techniques car on n'a pas de système de chauffage central notamment.

Ainsi, nous avons été amenés à faire des hypothèses :

- Les logements étant prévus pour 2 ou 3 personnes, nous avons fixé le nombre de locataires à 2,5 par logement. On considère que les deux logements sont toujours occupés.

- Présence des occupants : elle a été définie pièce par pièce, pour tenir compte au mieux des apports métaboliques. Les chambres sont occupées de 23h à 7h, les salles de bain de 7 à 8h par 1 personne et de 22 à 23h, les pièces de vie de 7 à 8h et de 18 à 23h. En journée, les pièces de vie sont occupées à 25% (cas d'une personne restant au foyer).

NB : si les logements étaient occupés à 100% en permanence, le bilan serait légèrement meilleur car les apports métaboliques sont un peu supérieurs aux pertes dues à la nécessité de ventilation.

- Nous avons également considéré que les volets restaient ouverts de 7 h à 18h en hiver. Cependant, si les volets des baies vitrés devaient rester fermées en journée (pour raison de sécurité, par exemple) la ventilation de la serre, automatisée et ne nécessitant pas l'ouverture de volets, limiterait le déficit d'apport solaire. En cas d'absence prolongée des habitants, elle permet également le maintien en température des logements.

- Les gains des appareils : nous avons pris comme hypothèse que tous les éclairages utiliseraient des lampes basse consommation, qui chauffent peu, que les circuits électriques seraient assez limités grâce au mur mitoyen technique qui permet de regrouper le câblage (peu de pertes par effet Joule) et que les habitants adopteraient un comportement exemplaire en matière d'économie d'énergie (extinction des appareils possédant des veilles, appareils de classe A). On applique en général un ratio au m² pour évaluer l'énergie dissipée. Ici, les logements sont assez petits, il faut donc tenir compte de la présence de 2 cuisines, de deux salons (2 TV, etc...) donc d'une puissance globale dissipée légèrement supérieure à la normale. (maison individuelle classique)

Détermination de la température de confort

La loi française impose théoriquement une température opérationnelle de 19°C dans les pièces de vie en journée, et 16 °C dans les chambres ou en température réduite. La température ressentie n'est pas déterminée que par la température

de l'air, mais aussi par la température rayonnée par les parois. Ici, les parois étant isolées par l'extérieur, et des matériaux faiblement effusif étant utilisés (brique, bois) la température de confort sera assez basse, la température de surface des murs étant à la température de l'air.

On peut évaluer la température ressentie (ou température opérative) par la formule suivante :

Moyenne pondérée de la température de l'air T_a et de la température radiante T_r

$$T_{op} = (T_a + T_r)/2$$

Le système de ventilation douce utilisé permet de considérer que la vitesse de l'air est faible, donc influe peu sur la sensation de confort, et les murs sont à température ambiante.

$$T_{op} = 19^{\circ}\text{C}$$

Nous avons donc choisi de conserver 19°C comme température de confort, ce qui est en principe suffisant dans ce cas de figure.

COMPORTEMENT DU BATIMENT EN ETE

Malgré des températures estivales souvent très élevées dans cette région, les températures intérieures restent relativement agréables. (voir bilan thermique d'été) On notait cependant des pointes très ponctuelles en journée à 28 ou 29 °C au mois d'août, mais qui ne durent pas. C'est pourquoi nous avons opté pour l'adjonction d'un puits provençal, qui permet de faire chuter la température d'environ 3°C.

Le choix de matériaux induisant un fort temps de transfert de chaleur (ouate de cellulose de densité supérieure à 50 kg/m³ en toiture, brique et liège) ainsi que l'importante masse inertielle contenue par le volume habitable permettent de lisser efficacement les pics de chaleur.

Une ventilation nocturne plus importante permettrait sans doute de gagner encore quelques degrés.