

RETOUR D'EXPERIENCE

MAISON SOLAIRE DU "CLOS"

Deux logements locatifs mitoyens

(Enregistrements des températures et humidité relative intérieures et extérieures effectués entre le 28/09/2008 et le 12/04/2009)



Objectifs initiaux :

- 40 kWh_{ep}/m²/an pour chauffage et eau chaude.
- Utilisation de matériaux sains
- Utilisation d'énergies renouvelables (solaire pour l'eau chaude)
- 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 de mise en service : 01/06/2008 pour le logement ouest, 28/09/2008 pour le logement est.

Méthode utilisée pour les mesures :

Deux mini-enregistreurs de température et d'humidité ont été positionnés pour le logement EST: l'un sous l'escalier de la pièce principale, l'autre à l'extérieur, sous l'avancée de toit au nord du bâtiment.

Une mesure a été enregistrée toutes les heures, depuis le 28/09/2008 jusqu'au 1/04/2009. Les données sont ensuite récupérables sous forme de fichier texte ou tableur, et sont facilement exploitables.



MAISON SOLAIRE DU "CLOS"

Deux logements locatifs mitoyens

1. DESCRIPTIF

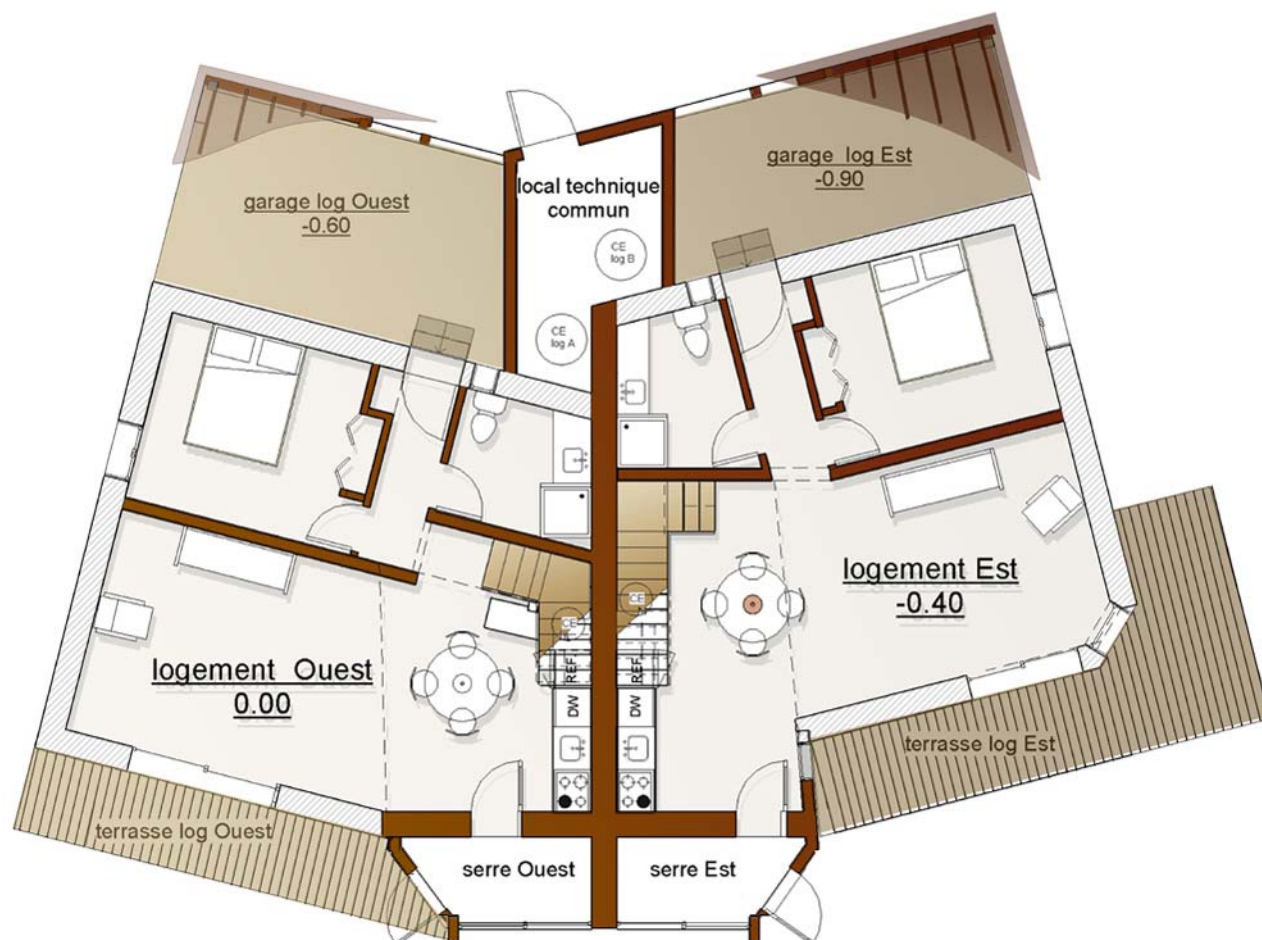
La Maison Solaire du Clos est située dans le sud de l'Ardèche à mi-pente de colline en sortie d'un hameau.
Surface : 157m² de SHON, 135 m² habitables nets constitués de 2 logements locatifs (2 chambres par logement).

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 lourd isolé.

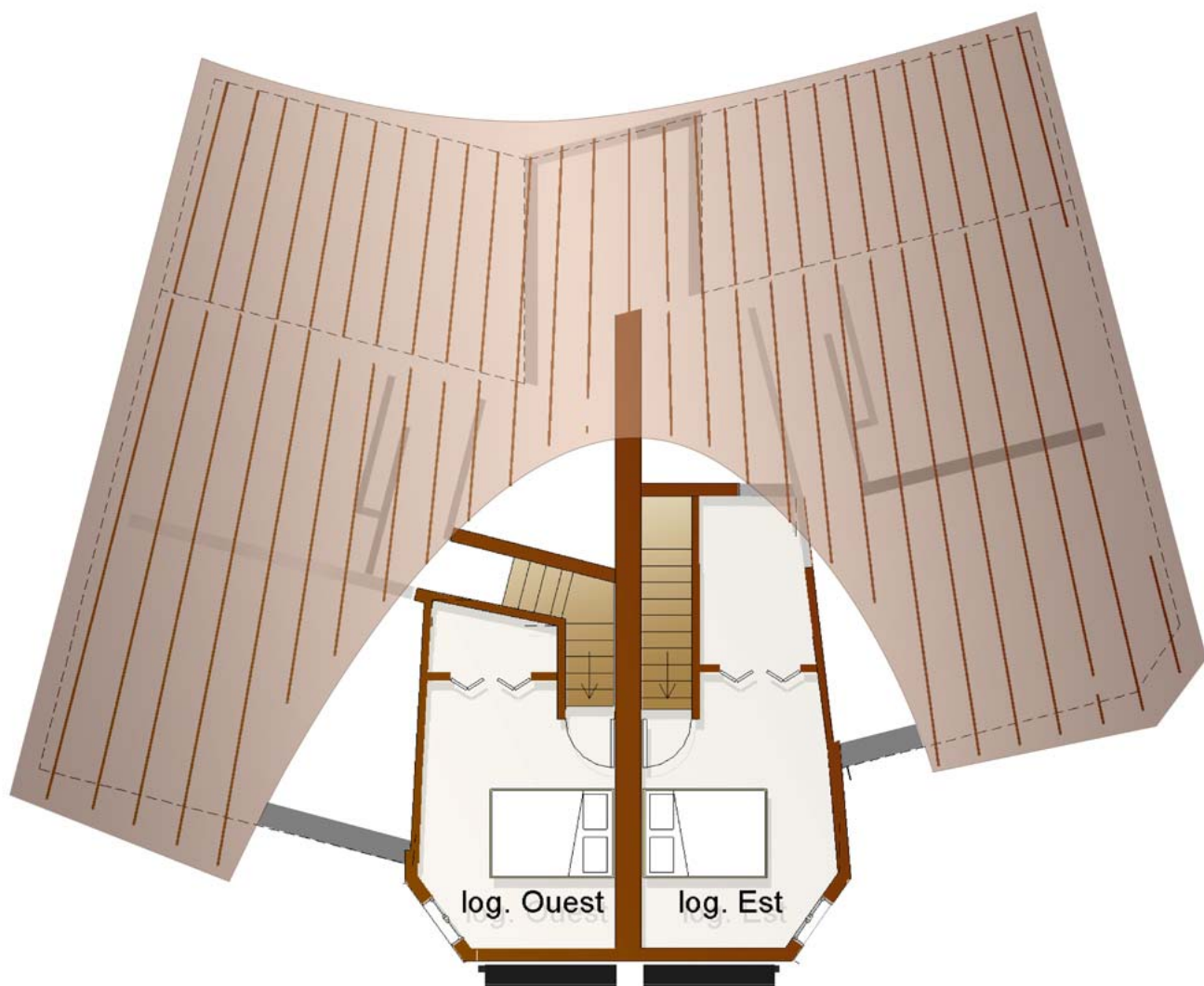
Les intentions : réaliser deux logements locatifs basse consommation d'énergie. Nous avons choisi de concevoir la maison tout entière comme un grand capteur solaire, en favorisant au maximum les apports solaires passifs, et en minimisant les surfaces de déperditions. Les deux logements sont donc mitoyens, sans que cela soit gênant : un décalage permet de préserver l'intimité de chaque locataire. On crée ainsi un bâtiment compact et assez massif.

2. PLANS et DETAILS



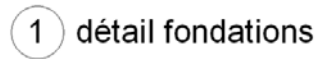
Rez-de-chaussée

Les pièces de vie comportent un coin cuisine avec hotte. Au nord de la partie habitable, une salle de bain et une chambre. Une remise/garage non isolée et non étanche à l'air est adossée au nord de chaque logement.



Plan de l'étage.

A l'étage, deux chambres surplombent partiellement la serre et se logent sous la courbure de la toiture. Elles sont ouvertes sur le RDC, contrairement à ce qui est indiqué sur le plan : à l'ouest en mezzanine, tandis qu'à l'est le volume est cloisonné mais ne possède pas de porte.



3. LA MAISON SOLAIRE EN CHIFFRES :

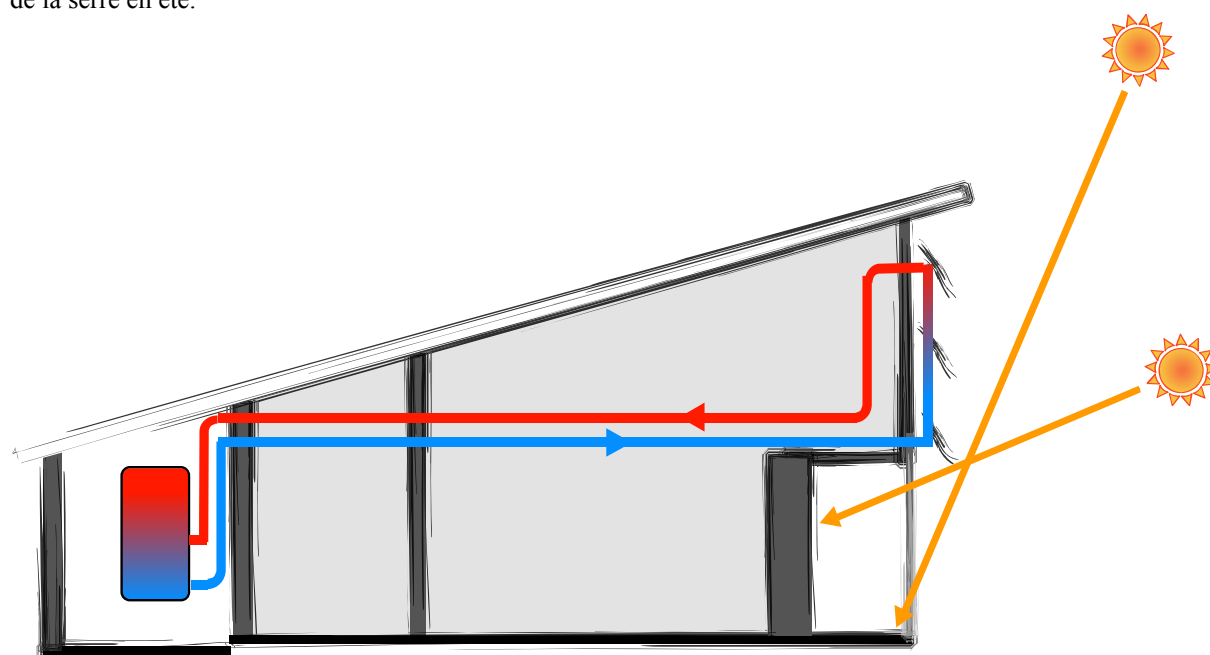
Solaire passif :

- Surface de vitrage totale 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 :

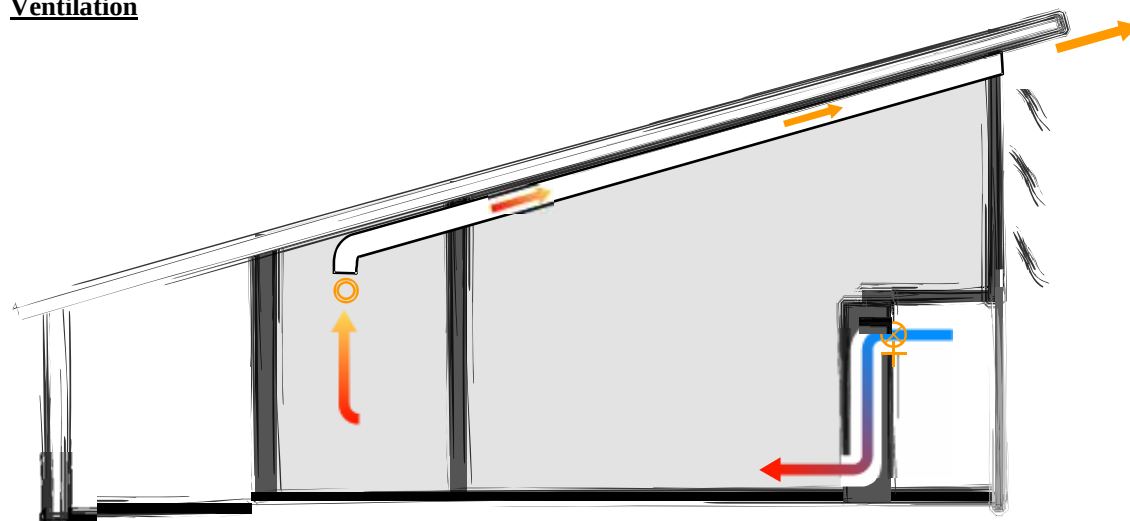
- Capteurs solaires thermiques : 7.2m²
- Hydro-accumulation pour l'eau chaude sanitaire : 2 x 350L

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



En été, les vitrages de la serre et les baies au sud sont ombragés, en hiver ils 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.

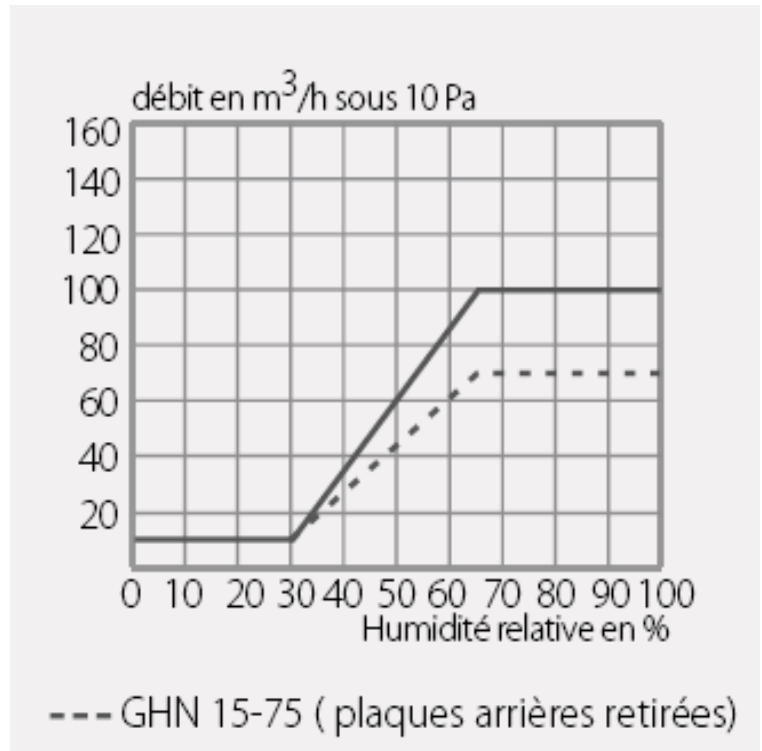
Ventilation



- 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. Un ventilateur avec thermostat à 19°C permet de forcer le débit jusqu'à 80m³/h en journée. La nuit, la ventilation se fait par convection naturelle seule.
- Le tirage naturel nominal faible permet une ventilation douce (par bouches hygroréglables conçues pour la ventilation naturelle).

-L'unique bouche d'extraction de chaque logement se situe dans la pièce la plus humide (la salle de bain/WC) et est hygroréglable 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.

Voir graphique ci-contre (courbe en pointillés)



- 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.

Recherche de l'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).

4. SIMULATION THERMIQUE INITIALE ET HYPOTHESES DE CALCULS

La simulation thermique dynamique multi-zone a été effectuée sur le logiciel PLEIADES+COMFIE.

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, qu'on arrive très bien à quantifier, mais plutôt les apports dus aux occupants, qui dépendent étroitement de leurs habitudes de vie.

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.

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 fermés 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 veilleuses, 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 effusifs 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. La température réduite pour la nuit et les chambres est de 16°C. (Conformément à la RT française).

Choix des données météo :

C'est la station météo de Lanas, en Ardèche, située à 23 km environ du lieu de la construction, qui a été choisie comme référence. Les données météo utilisées sont des moyennes décennales sur la période 1995 à 2004 et sont assez complètes.

Résultats de la simulation du comportement du bâtiment en été

Malgré des températures estivales souvent élevées dans cette région, les températures intérieures restent relativement agréables. On note cependant des pointes très ponctuelles en journée à 28 ou 29 °C au mois d'août, mais qui ne durent pas.

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 semblent permettre de lisser efficacement les pics de chaleur.

Résultats de la simulation du comportement du bâtiment en hiver

- Consommation prévisionnelle en énergie finale : 1250 kWh au total, **665 kWh** pour le logement Est.
- Période de chauffe estimée: du 20/11 au 17/02.
- Puissance de chauffe nécessaire estimée : 7100 W au total, 3700 W pour le logement Est, les chambres sont en principe quasiment autonomes.

NB : ces estimations supposent bien entendu que les habitants aient un comportement exemplaire.

5. CONDITIONS EXPERIMENTALES, MESURES ET RESULTATS

Seul un des deux logements a fait l'objet d'enregistrement de température et d'humidité relative, à raison d'une mesure par heure. Un enregistreur a été placé dans la pièce de vie, un autre à l'extérieur sous abri. **Un compteur d'énergie a été placé sur le circuit de chauffage**, qui ne comporte qu'un radiateur (radiant de 750 W) situé dans la pièce principale.

Par rapport aux hypothèses utilisées pour la simulation thermique dynamique, un certain nombre de paramètres ont changé :

- Le logement n'a été occupé que par une seule personne, ce qui a limité les apports internes.
- Pendant la période considérée, l'occupation n'a pas été tout à fait permanente, plusieurs absences prolongées sont à noter, pendant lesquelles les volets ont été fermés.
- Les températures de consignes ont été plus hautes que prévu dans la simulation, et n'ont pas été réduites pendant la nuit, **le radiateur d'appoint étant réglé sur 20.5°C environ.**
- Les travaux n'étant pas totalement terminés lors de l'aménagement de la locataire, les volets n'ont été installés que vers début décembre pour la pièce de vie, et mi-janvier pour les chambres.
- La ventilation forcée entre la serre et la pièce de vie n'a pas été installée, seul le conduit était en place.
- La teinte des murs de la serre, initialement prévue ocre foncé, a été choisie par la locataire, qui a préféré le blanc. Evidemment, l'accumulation de chaleur s'en est ressentie.
- Le hors d'air n'a été effectué que début mai 2008, ce qui influe sur le stockage de chaleur sur les longues périodes. Le logement est en outre resté inoccupé jusqu'à fin septembre 2008.
- Les conditions météorologiques de la période considérée ont été assez difficiles : avec un épisode extrêmement pluvieux entre la mi-octobre et la fin novembre, et une vague de froid accompagnée de neige en janvier.

Bilan de l'hiver 2008-2009

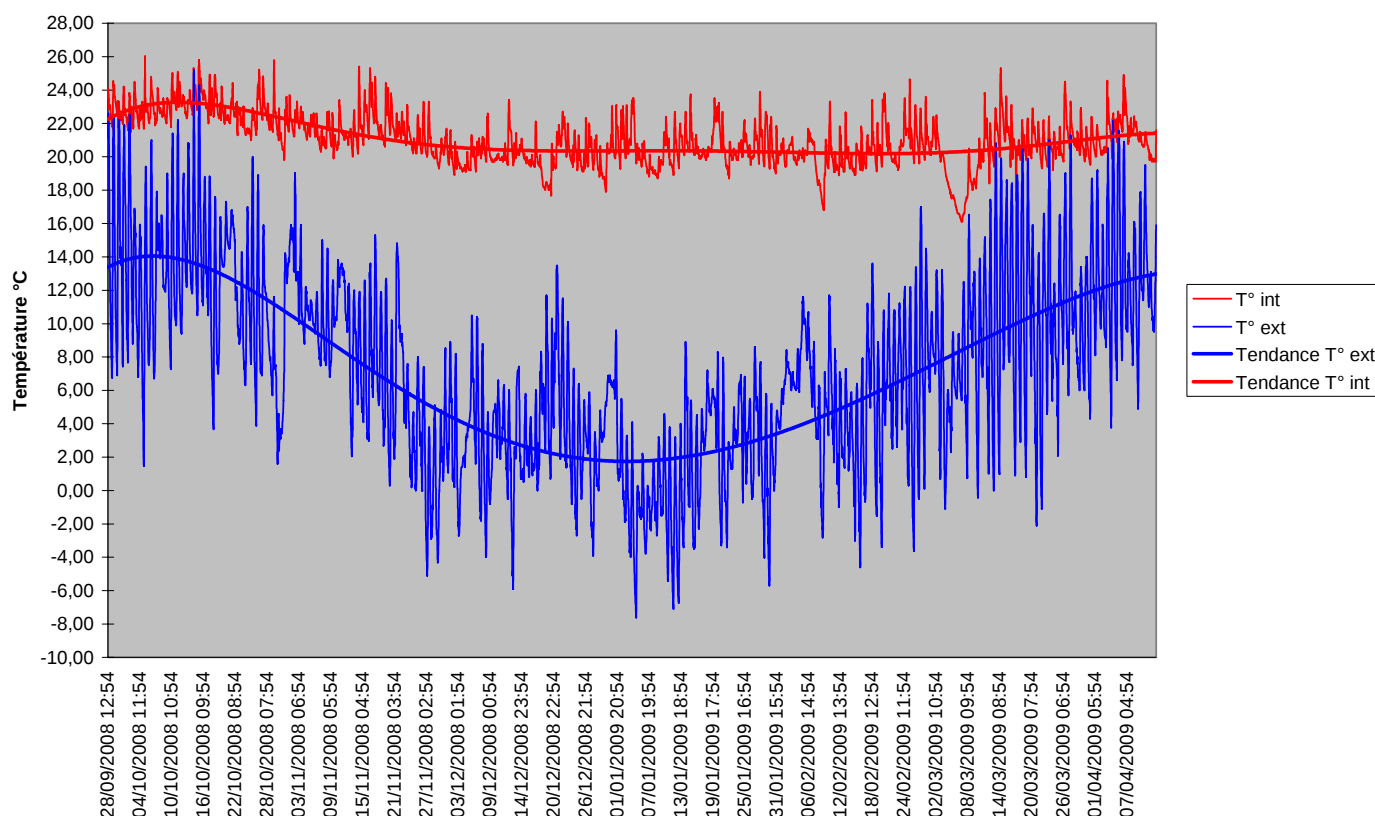
L'hiver 2008-2009 a été particulièrement agité en France métropolitaine. Le mois de janvier a été marqué par une vague de froid sur le pays, un épisode neigeux exceptionnel dans le Sud-Est et une tempête sur le Sud-Ouest d'une intensité rarement atteinte. Février a connu ensuite une seconde tempête, moins sévère mais beaucoup plus étendue, touchant toute une grande moitié nord de la France.

Sur l'ensemble de l'hiver, la température moyenne saisonnière se situe 1,2 °C sous la normale ce qui le positionne au troisième rang des hivers les plus froids de ces vingt dernières années, derrière les hivers 2005-2006 et 1990-1991 (-1,6 °C). Comparé à son prédécesseur, l'hiver qui s'achève a été nettement plus froid avec une température moyenne 2,3 °C plus basse. Et comparé à l'hiver 2006-2007, cet écart est même de l'ordre de 3 °C.

Les précipitations ont été excédentaires sur l'extrême sud, tout particulièrement sur le Sud-Est où les cumuls ont été parfois une fois et demie supérieurs à la normale. Elles ont été à l'inverse nettement déficitaires sur la plupart des régions situées plus au nord. Ces déficits font suite à un automne déjà relativement sec sur certaines de ces régions.

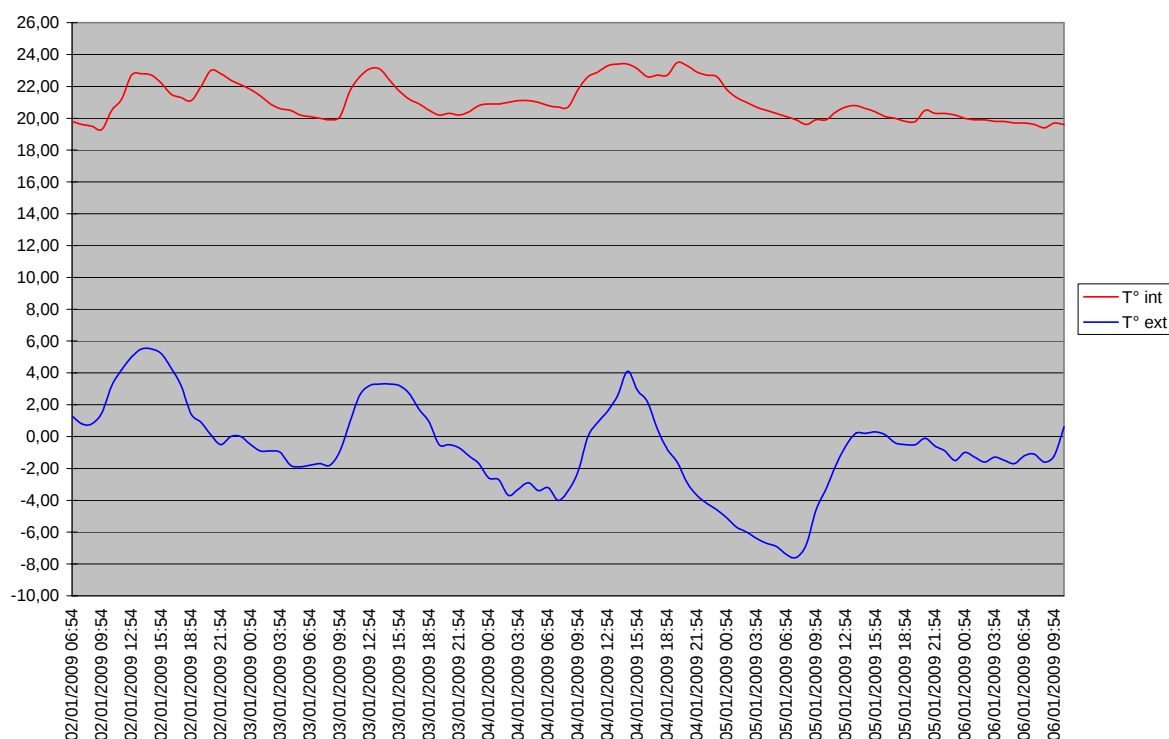
Source : Météo France

Résultats des mesures de températures

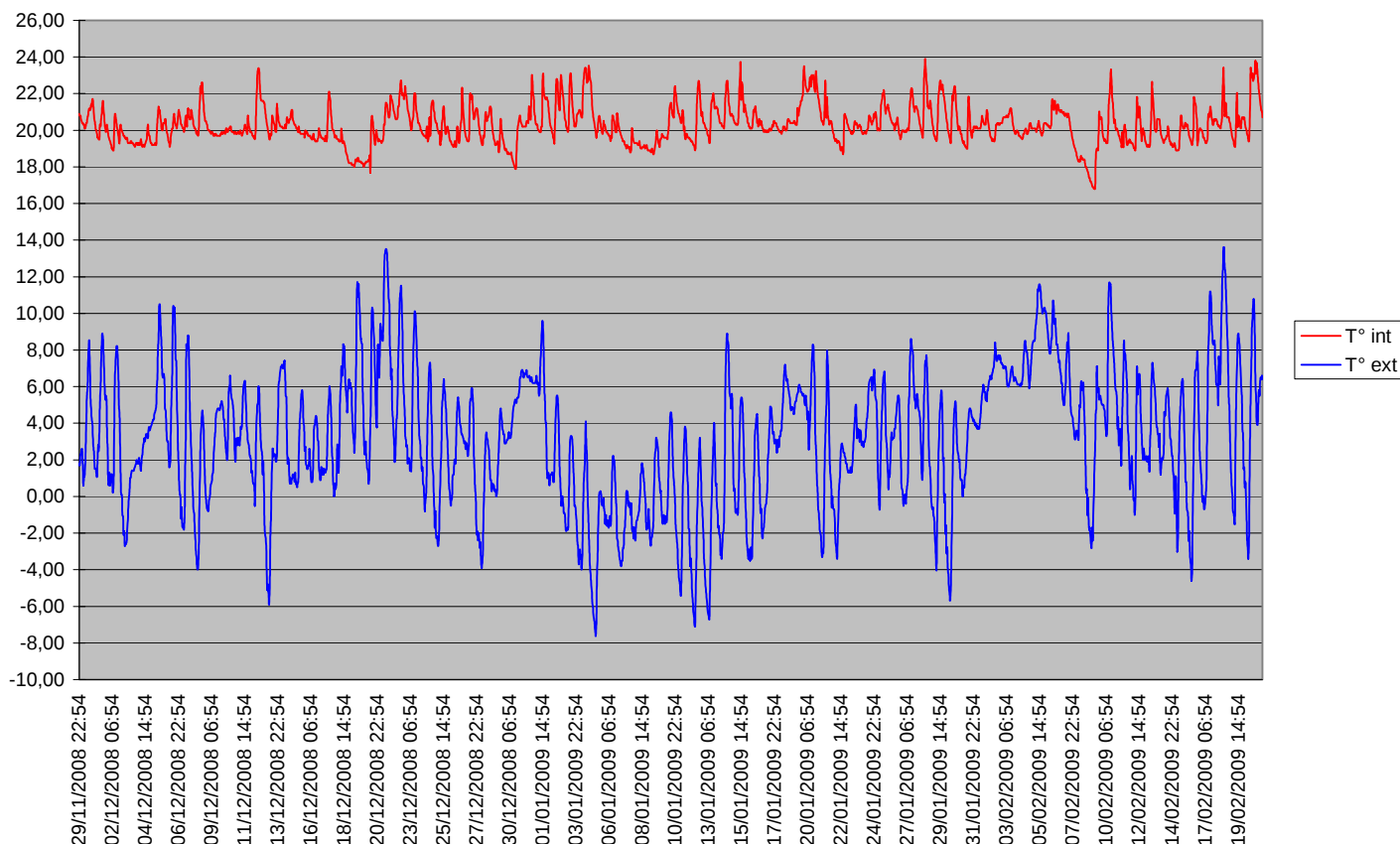


Ci-dessus, l'évolution des courbes de températures intérieures et extérieures est assez parlante :

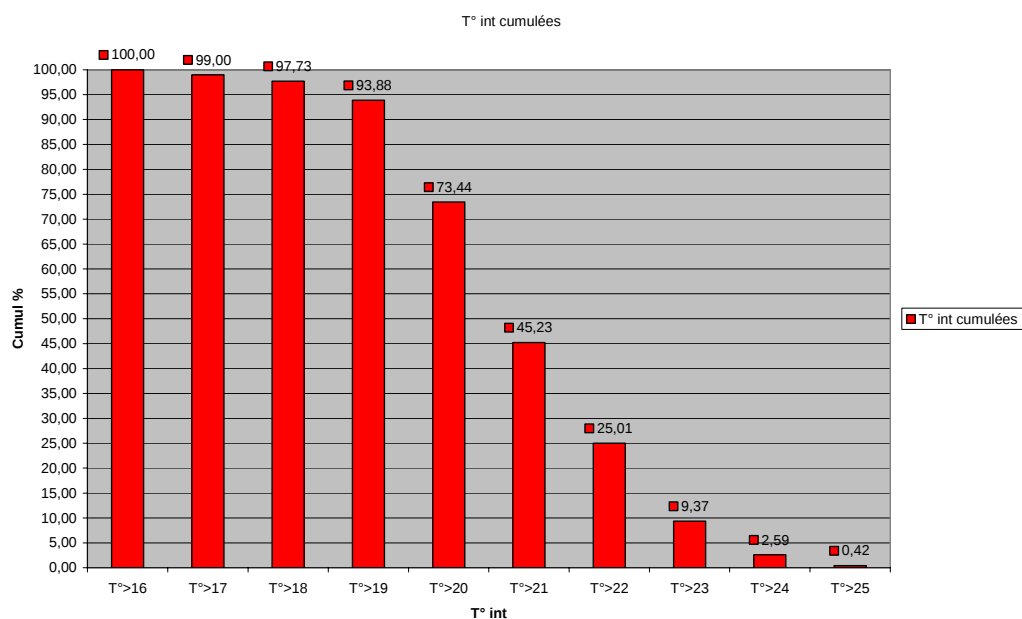
- La température intérieure est assez stable : la forte inertie du bâtiment et son isolation performante y sont pour quelque chose. **La température moyenne est de 21.01 °C sur la période considérée, avec un écart type de 1.2 °C (période de mesure de 1 h).**
- Des pics de températures apparaissent régulièrement en milieu de journée, correspondant aux apports solaires, brièvement, la température peut parfois atteindre plus de 24 ou 25°C avant de redescendre en fin d'après-midi. Ci-dessous, un zoom sur la semaine la plus froide de l'année montre que le chauffage s'est très peu déclenché, les apports solaires étant suffisamment importants malgré le froid.



- Pendant la saison de chauffe (voir zoom ci-dessous sur la période considérée) les journées les moins froides sont rarement les plus ensoleillées, et sont souvent celles qui nécessitent un appoint en chauffage, car pluvieuses ou brumeuses. La semaine du 09/12/2008, par exemple, est assez caractéristique : le palier horizontal de la température intérieure est dû à une absence d'apports solaires. Les chutes de températures aux alentours de 18 ou 19°C sont dues à des absences prolongées de l'habitant (chauffage laissé en marche mais volets fermés). La chute plus brutale de température vers le 10/02/2009 est due à une absence+volets fermés+chauffage coupé.



- Ci-dessous, le cumul des températures intérieures indique que la température opérative est assez facilement atteinte (94% du temps environ) et même souvent dépassée. Les surchauffes sont cependant assez rares, la température ne dépassant 24°C que 2.6% du temps.



La consommation d'énergie de l'appoint de chauffage reste cependant beaucoup plus élevée que prévu par la simulation. Le compteur d'énergie installé sur le circuit de chauffage indique 1374 kWh en fin d'hiver, soit 17.5 kWh/m²/an en énergie finale, c'est-à-dire le double de ce qui était prévu par la simulation. Pourquoi une telle différence ? Les causes sont multiples :

- La première par ordre d'importance est le comportement de la locataire, qui a utilisé l'appoint de chauffage au même niveau de température de jour comme de nuit dans la pièce de vie. En adoptant cette nouvelle hypothèse et en refaisant la simulation sous PLEIADES, on peut quantifier le surplus d'énergie théorique par rapport à la solution de base : **240 kWh supplémentaires par an en admettant que les conditions météorologiques soient dans la moyenne.**

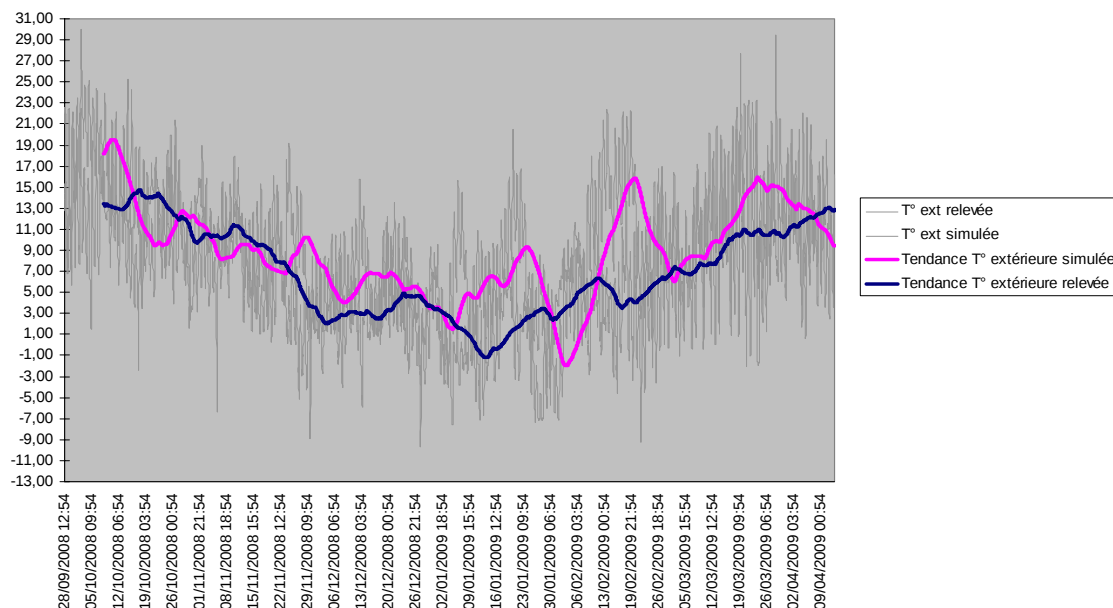
On peut cependant noter que le choix du système de régulation intégré au radiateur a été peu judicieux : une position jour/nuit permet de basculer de la température de consigne (en journée) à la température réduite. Mais ce basculement doit être effectué manuellement, et n'est pas piloté par une horloge (système Chronopass : ce système sera donc installé dès l'hiver prochain). L'automatisation aurait été un plus indéniable, permettant à l'occupante de se décharger de cette tâche. La position « t° réduite » n'a ainsi jamais été utilisée.

Enfin, après discussion avec l'occupante des lieux, il apparaît qu'elle ne s'est pas réellement préoccupée de sa consommation d'énergie, sachant qu'elle serait de toute façon faible. Par rapport à son logement précédent, ancien et mal isolé, la consommation a en effet été largement plus basse (rapport de 1 à 10 au moins) pour un confort très supérieur.

C'est un effet pervers de la logique bioclimatique : il est possible d'avoir des températures parfois assez élevées en journée (>23°C) qui redescendent doucement en soirée, pour atteindre leur minimum en début de matinée. Mais le comportement de l'occupant est souvent de chercher à conserver une température stable en permanence et d'adapter son mode de vie à une température élevée : tenue d'été en toute saison, les jours les plus froids étant compensés par une température de consigne un peu plus haute que nécessaire.

- **Attention également à la consommation de la régulation électronique du radiateur :** sensée être plus précise qu'un simple thermostat bilame, elle est aussi beaucoup plus gourmande en énergie. En effet, même lorsque le radiateur ne produisait pas de chaleur, une consommation résiduelle de 43 W était mesurée par le compteur d'énergie, qui correspond donc à l'énergie consommée en permanence par les composants électroniques de la régulation. Cela semble assez énorme et peu justifié, mais pourtant bien réel. **Le surplus de consommation du radiateur sur la période de chauffe est donc de 125 kWh environ, ce qui augmente de 10 % la consommation totale !** L'impact de la régulation est donc tout sauf négligeable dans ce cas de figure.
- Les conditions climatiques 2008/2009 comptent également pour beaucoup dans ce résultat : un hiver long, froid et très pluvieux a logiquement nécessité plus d'énergie pour le chauffage. Voir ci-dessous le comparatif entre les T° extérieures utilisées pour la simulation et celles réellement relevées. Par le calcul, on obtient une différence de +342 degrés-jours, ce qui porte cette année à 2660 DJU (base18), ce qui reste assez exceptionnel pour la région et correspond au climat habituel de la Marne.

Comparaison T° simulée / reléevée



- L'absence des volets pendant la première partie de l'hiver a augmenté les déperditions nocturnes, et augmenté la température opérationnelle dans la pièce de vie, la baie de 5.5 m² en double vitrage créant un effet de paroi froide.
- L'absence de ventilation forcée a limité les apports de chaleur de la serre, notamment pendant les périodes d'absences prolongées. Cette ventilation sera installée d'ici l'hiver prochain par le propriétaire.
Le reste du temps, l'occupante n'était pas forcément présente en permanence pendant la journée. Lorsqu'elle était là, elle ouvrait fréquemment la porte de communication entre la serre et la pièce de vie.
- Bien que la serre ait une faible surface (5 m² environ) et soit en principe destinée à créer un sas d'entrée permettant aussi de préchauffer l'air neuf, elle a été rapidement transformée en petit bureau, les températures, même par temps couvert, y étant souvent agréable. L'entrée s'est alors faite par la porte de service au nord.
Seule ombre au tableau : les températures de cette pièce passant très souvent les 25 °C, et pouvant atteindre plus de 45 °C (maximum relevé en décembre par la locataire elle-même) les baies en ont souvent été entrebâillées en journée, ce qui a limité l'efficacité de la serre.
- Le volume tampon de la remise, au nord, n'a été fermé qu'en décembre, et n'est pas isolé, ce qui ne sera pas fait dans l'immédiat.
- Divers petits détails (finitions) ont contribué, dans une moindre mesure, à dégrader les performances : un pont thermique non traité dans la salle de bain (qui fera l'objet de travaux dans un futur proche), un joint pas totalement terminé sur la porte de service.
- Autre raison plus difficile à quantifier : la très forte inertie du bâtiment et sa mise hors d'eau hors d'air en mai 2008 ont joué sur les résultats. Les dizaines de tonnes constituant la masse inertielle du bâtiment (murs lourds et terre-plein) ne peuvent pas atteindre leur température d'équilibre sur une seule saison, le hors d'air ayant été réalisé au printemps, et le logement habité seulement en septembre. Il faudra comparer sur plusieurs hivers, les résultats devant logiquement s'améliorer pour se stabiliser au bout de 2 à 3 années.
- Les murs de briques ont en outre été saturés d'eau lors de la réalisation des enduits intérieurs à la chaux, et ont sans doute mis plusieurs mois à sécher.

Puissance de chauffe réelle

La puissance de chauffe est simple à connaître puisqu'un seul radiateur a été utilisé : **750 W**.

Elle est donc très inférieure à ce que prévoyait la simulation : 3700 W, soit un rapport de 1 à 5. Cependant, les conditions d'utilisation du logement sont différentes également : la température réduite n'a jamais été utilisée. Or, c'est précisément en début de journée, pour passer de la température nuit à la température jour, que la puissance à fournir est importante.

En prenant ces nouvelles hypothèses et en refaisant la simulation sous PLEIADES avec une température de consigne de 20.5 °C, on obtient une puissance de chauffe théorique de 1280 W. On s'approche donc de la réalité.

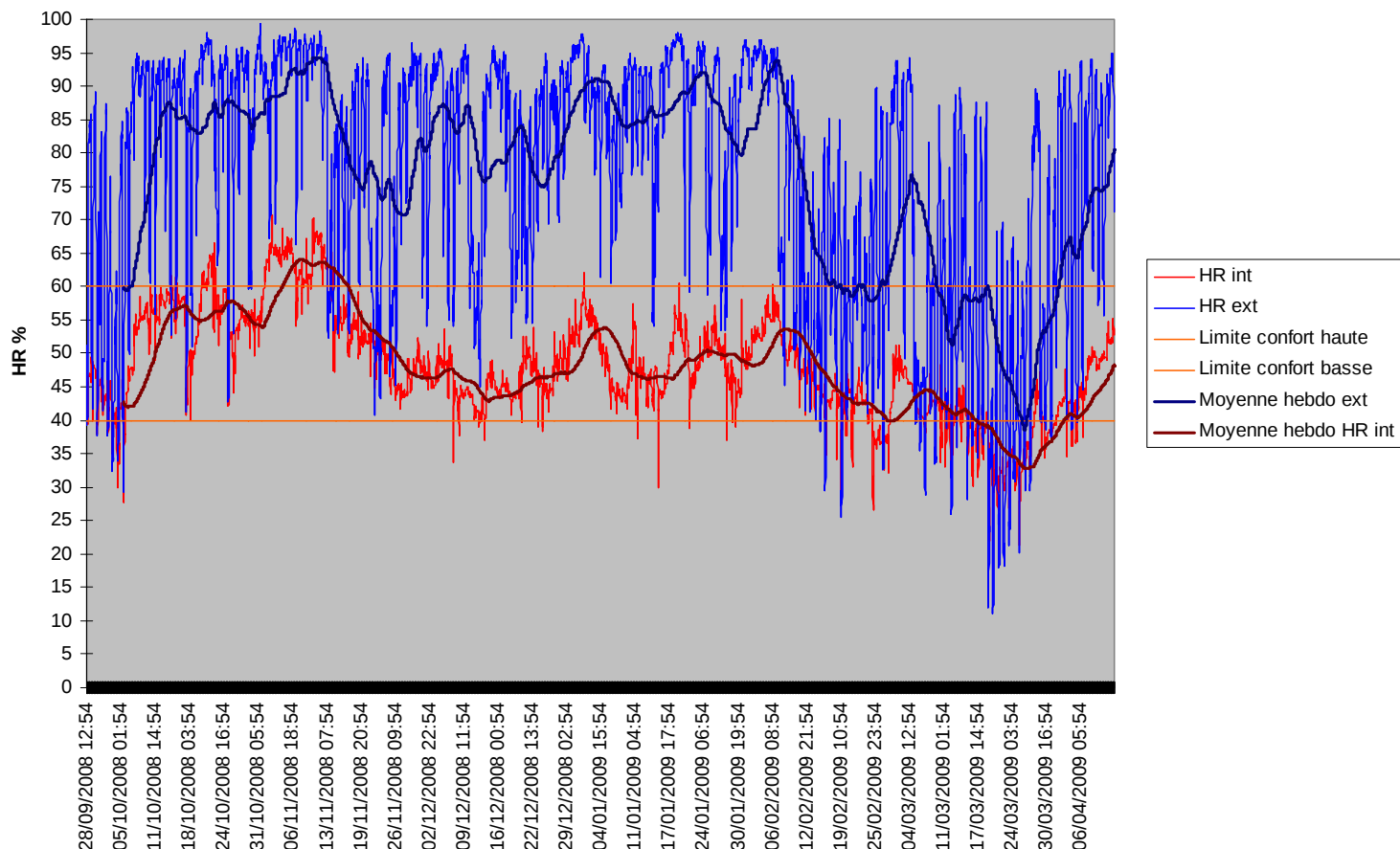
Remarque sur la détermination des puissances de chauffe :

La méthode classique utilisée pour déterminer la puissance de chauffe est en général la suivante : on considère la température de référence du lieu de la construction, qui correspond grosso modo à la température minimale annuelle, puis on effectue la simulation en supprimant les apports solaires, les apports internes, et en utilisant un scénario de température intérieure constant (19°C en permanence). On en déduit une puissance à installer qui correspond en principe au cas le plus défavorable pouvant survenir. Par sécurité, on ajoute 20% à la valeur obtenue.

Si l'on avait appliqué cette méthode pour ce projet, il aurait fallu prévoir une installation de 2200 W environ, qui, bien que de faible puissance, aurait été trois fois trop importante. C'est la limite de ce genre de méthode lorsque l'on s'intéresse à des constructions bioclimatiques à forte inertie : ne pas tenir compte des apports solaires n'a plus aucun sens, c'est le moteur principal du bâtiment, surtout si une serre permet de maintenir la température intérieure même en cas d'absence prolongée. De même, supprimer totalement les apports internes, lorsque l'on arrive à un niveau de performance élevé, n'a plus vraiment lieu d'être : ils font partie intégrante du bilan thermique.

Résultats des mesures d'humidité relative

Les conditions de confort sont assez variables d'un individu à l'autre, on considère cependant que l'être humain se sent « bien » lorsque l'humidité relative d'une pièce est comprise entre 40 et 60%.



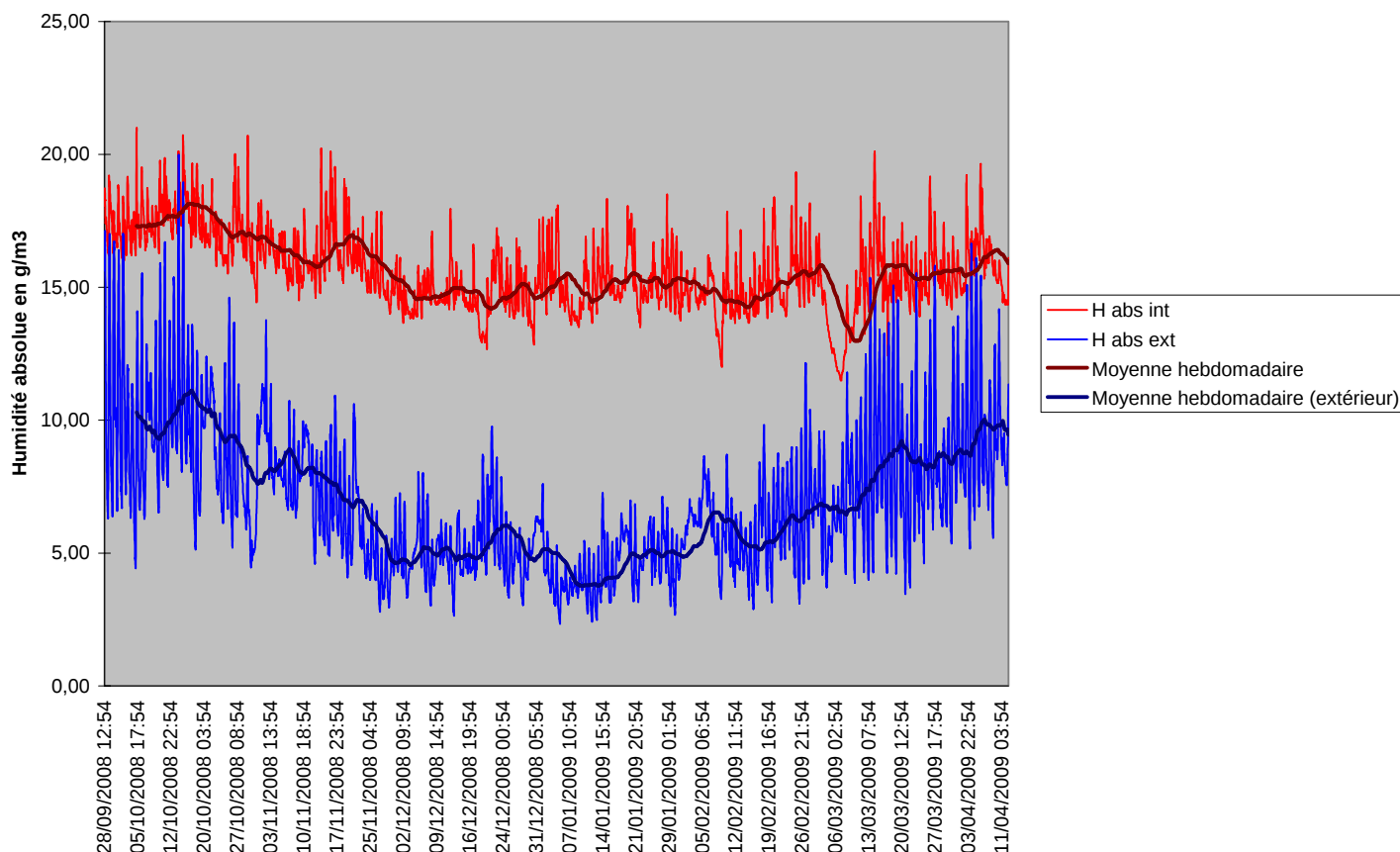
Le graphique ci-dessus montre l'évolution des humidités relatives intérieures (rouge) et extérieures (bleu). Les lignes horizontales oranges montrent les limites théoriques de confort basse et haute (40 et 60%).

On parle ici d'humidité relative, c'est-à-dire le pourcentage de vapeur d'eau contenue dans l'air. Plus la température de l'air est élevée, plus celui-ci peut contenir de vapeur d'eau. En hiver, il est donc logique que l'humidité relative extérieure soit plus importante, l'air étant plus froid.

L'automne et le début de l'hiver ont été exceptionnellement pluvieux, ce qui explique des taux d'humidité relative avoisinant les 100% très fréquemment à l'extérieur. On remarque aussi que, courant novembre, l'humidité intérieure a souvent passé la limite haute. (voir explication ci-dessous).

En revanche, l'humidité intérieure chute rarement sous la barre des 40%, sauf mi-mars, suite à une période d'inoccupation de 8 jours environ, pendant laquelle la température intérieure a également baissé. Cette absence a en outre été suivie d'une période assez sèche, ce qui explique pourquoi le taux d'humidité intérieure a mis un certain temps à repasser au dessus des 40%.

L'humidité relative nous donne déjà beaucoup d'informations, mais il est encore plus intéressant de regarder les courbes d'humidité absolue.



Ces valeurs d'humidité absolue intérieures et extérieures sont données en g de vapeur d'eau par m³ d'air, elles représentent la quantité réelle de vapeur d'eau contenue dans l'air. L'hygrométrie intérieure reste relativement stable, aux alentours de 16 g/m³ en moyenne, sur la période début décembre à mi-avril. En revanche, elle a tendance à augmenter beaucoup en octobre et novembre.

Ici, plusieurs facteurs entrent en ligne de compte pour expliquer ce phénomène :

- sur cette période, l'air extérieur est très humide (fortes précipitations), on note même parfois que des pics d'humidité extérieure dépassent brièvement les valeurs d'humidité intérieure. **La ventilation, en principe destinée à assécher l'air intérieur, atteint donc ses limites ici : l'air extérieur étant pas suffisamment sec, le renouvellement d'air entraîne une augmentation progressive du taux d'humidité intérieure.**
- autre aspect plus marginal, mais qui a dû y contribuer : en ce début de période d'utilisation, les murs, enduits à l'intérieur courant août, ne sont pas encore tout à fait secs et pénalisent vraisemblablement la régulation hygrométrique.

Remarques :

L'objectif visé est atteint malgré des périodes pluvieuses rarement rencontrées dans la région : le bâtiment semble réguler très correctement l'humidité intérieure sans aucun besoin de ventilation mécanique supplémentaire.

La seule bouche d'extraction hygro-réglable située dans la salle de bain est suffisante : **d'après les données du fabricant, elle a assuré un débit variant de 25 à 75 m³/h sur la période considérée, le débit moyen étant de 38.9 m³/h** (moyenne calculée grâce aux mesures d'humidité intérieure).

L'usage de matériaux perméants et régulateurs permet une relative stabilité de l'hygrométrie intérieure tout au long de l'hiver : les parois internes jouent le rôle d'amortisseur, les parois externes également mais leur composition permet en plus un transfert de vapeur vers l'extérieur. **Les variations brutales sont donc lissées, on constate également un décalage d'environ 15 jours entre les variations intérieures et extérieures.**

Les données recueillies ne permettent cependant pas de calculer précisément l'action des parois de l'enveloppe dans la régulation hygrothermique : il faudrait tenir compte du renouvellement d'air dû aux fuites de l'enveloppe, à l'ouvertures des fenêtres et à la hotte de cuisine.

Une ventilation mécanique aurait-elle été pertinente ?

Les données nous permettent de calculer heure par heure sur la période considérée l'énergie perdue par renouvellement d'air. Au total, 1120 kWh. Sur la période de chauffe (1^{er} décembre au 1^{er} mars) ce chiffre tombe à seulement **615 kWh**. **C'est uniquement sur cette période que la ventilation devient pénalisante et engendre une dépense énergétique.**

Le tableau ci-dessous présente le bilan énergétique d'autres solutions de ventilation (mécaniques).

Solution technique	Pertes par ventilation	Energie finale consommée par le groupe de ventilation pendant 7 mois sur 12.	Total énergie finale	Energie primaire consommée par la ventilation (Ef *2.58)	Energie primaire consommée par l'appoint de chauffage électrique (Ef *2.58)	Total énergie finale chauffage appoint dû à la ventilation +énergie primaire du groupe de ventilation
VMC Double Flux Conso 40 W Débit constant 100 m3/h Rdt 90%	163 kWh	202 kWh	365 kWh	521 kWh	421 kWh	942 kWh
VMC Simple Flux Conso 30 W Débit 80m3/h	1300 kWh	151 kWh	1451 kWh	390 kWh	3354 kWh	3744 kWh
Ventilation naturelle	614 kWh	-	614 kWh	-	1584 kWh	1584 kWh

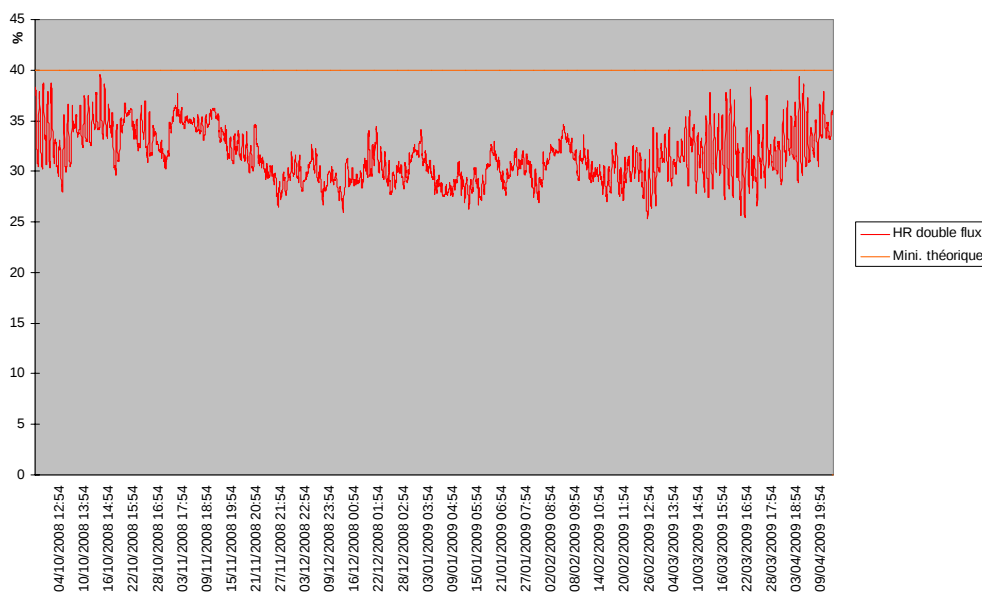
Remarque : ces estimations restent cependant très approximatives et ne sont extrapolées que statiquement à partir des données recueillies (t°int. et ext.) et des données du fabricant (ALDES). Dans la réalité, la ventilation (surtout continue) aurait une influence plus complexe sur le comportement du bâtiment, en particulier la ventilation simple flux qui allongerait la période de chauffe.

Dans le cas de figure de ce projet, la ventilation double flux reste sur le papier la solution la plus performante **au fonctionnement, en prenant cependant comme hypothèse que 5 mois sur 12 elle est arrêtée (ventilation par ouverture de fenêtres uniquement)**. En coût global (installation+maintenance+consommation+fin de vie) il est à peu près certain que ce ne serait pas le cas.

Enfin, si l'appoint de chauffage n'est plus électrique, mais par exemple au bois, alors la solution par ventilation naturelle devient presque équivalente en terme d'énergie primaire. De même, si l'hiver est plus conforme aux normales saisonnières ou si l'habitant adopte un comportement économe, la dépense énergétique liée à l'appoint de chauffage diminuera, alors que celle liée à la ventilation mécanique restera la même.

Du point de vue financier, les coûts d'installation et de maintenance rendent de toute façon la solution VMC double flux totalement inamortissable, même en considérant une forte augmentation du prix de l'énergie : en prenant comme hypothèse une augmentation annuelle de 10% du prix du kWh électrique et même en considérant que l'énergie d'appoint de chauffage reste l'électricité, il faut environ 32 ans pour que la solution VMC double flux devienne rentable (en supposant un coût d'entretien nul) ce qui excède la durée de vie du matériel.

Enfin, il est à noter que ventiler à des débits de l'ordre de 100 m3/h perturberait le confort hygrométrique, rendant l'air intérieur trop sec une grande partie de l'hiver, ce qui est classiquement constaté avec l'emploi de ventilations mécaniques. Voir ci-dessous la courbe d'humidité relative intérieure théorique obtenue avec une ventilation double flux (extrapolation à partir des données recueillies sur la base d'une température intérieure identique à celle des relevés).



6. CONCLUSIONS

Le but recherché dans ce projet n'est pas totalement atteint aujourd'hui, la consommation d'énergie primaire excédant celle prévue par les simulations. Le tableau ci-dessous récapitule les différents postes de consommations.

NB : pour l'ECS, le solaire semble donner de meilleurs résultats dans la réalité que ceux estimés ci-dessous, la consommation d'eau étant moindre et le matériel plus performant que prévu.

Consommation d'énergie	Energie finale (kWh/m²/an)	Energie primaire avec chauffage électrique (kWh/m²/an)	Energie primaire avec chauffage par pompe à chaleur air/air (COP=3) (kWh/m²/an)	Energie primaire avec chauffage bois (rendement de 80%) (kWh/m²/an)
Chauffage et auxiliaires (régulation)	17.5	45	15	13
ECS (estimation car pas de données, système installé trop tard dans la saison) sur la base de 2.5 personnes et 50l/jours/pers à 55 °C	7.5	19.5	19.5	19.5
Eclairage (Estimation pour ampoules basse consommation partout)	1.5	4	4	4
TOTAL	27.5	68.5	38.5	36.5

Le point critique reste le chauffage, largement dominant, ce qui est dû, nous l'avons vu, à un ensemble de paramètres dont certains peuvent être corrigés. Il semble donc possible d'améliorer les performances du bâtiment pour arriver, avec des conditions climatiques proches des normales habituelles pour la région, à une consommation conventionnelle de l'ordre de 45 kWh ep/m²/an tout en conservant l'appoint de chauffage électrique.

Ce qui restera plus difficile à modifier, en revanche, est bien sûr le comportement des occupants, qui demeurent libres d'adopter le mode de vie de leur choix. **Une attitude énergivore est d'autant plus compréhensible qu'ils ne disposent d'aucun outil pour quantifier l'impact énergétique de leurs actions**, et que les quantités d'énergie mises en jeu sont somme toute assez faibles. Une piste de réflexion serait par exemple de rendre visible en permanence la consommation instantanée d'énergie utilisée par le chauffage, en installant un compteur d'énergie à proximité du radiateur, et d'afficher également le cumul de consommation directement en euros.

Remarque : le deuxième logement, mitoyen de celui-ci, est occupé par 2 personnes ayant un mode de vie assez différent, beaucoup plus sensibilisés par la problématique environnementale et les économies d'énergie. L'année prochaine, nous effectuerons en parallèle les mêmes séries de mesures pour les deux logements, ce qui permettra d'avoir un point de comparaison et d'estimer l'impact du facteur humain sur la consommation d'énergie du bâtiment.

Choix de l'appoint de chauffage :

L'électricité reste bien sûr, en regard du coefficient de conversion de l'énergie finale vers l'énergie primaire de l'électricité de 2.58, le moins bon des choix pour l'appoint de chauffage. En revanche, il a l'avantage de présenter un coût d'installation et d'entretien très faible, ce qui est compatible avec l'usage de la construction (logements locatifs).

Il est à noter que le passage au bois (poêle à pellet, par exemple) permettrait de diviser presque par 2 la consommation conventionnelle. En revanche, et même en considérant une augmentation forte du prix de l'électricité, l'investissement dans un poêle à pellet (et ses accessoires, conduit, sortie de toit, etc...) d'une part n'apporterait pas de confort supplémentaire, et d'autre part ne serait jamais amortissable (achat initial et entretien).

De même, une pompe à chaleur permettrait un résultat similaire, sur le papier tout du moins. Cependant, comme pour le bois, l'investissement n'en vaut pas la chandelle.

L'énergie grise liée à la production de ces systèmes de chauffage lourds et peu adaptés à ce cas de figure (dépense en énergie finale très faible) semble également difficilement compensable par le service qu'ils apportent.

NB : Le «coût global» n'est malheureusement jamais abordé par les référentiels Effinergie, Minergie ou PassivHaus, ce qui est à déplorer, notamment parce que la majeure partie des équipements de ventilation ou de chauffage utilisés pour les bâtiments à basse consommation sont importés, souvent depuis l'Asie.

Les différents labels :

Ce bâtiment peut-il prétendre à une labellisation BBC-Effinergie, Minergie ou PassivHaus ?
Voici les principaux critères nécessaires pour obtenir chaque label :

Passiv Haus

- Besoin de chauffage $< 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$ (énergie finale)
- Etanchéité de l'enveloppe : $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Energie primaire totale consommée $< 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$ (toutes applications confondues à l'intérieur de l'enveloppe, y compris électroménager et usages tertiaires)

Minergie P

- Besoin de chauffage $< 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$ énergie finale ou 60% de la consommation totale (soit $18 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$)
- Consommation totale pour eau chaude, aération et chauffage $< 30 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$ (énergie finale)
- Etanchéité de l'enveloppe : $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
- Aération douce (mécanisée)

BBC-Effinergie

- Consommation conventionnelle en énergie primaire $< 45 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$ dans cette zone
- Etanchéité de l'enveloppe $< 0.6 \text{ vol/h}$ sous 4 Pa

Du point de vue de la consommation d'énergie finale, les valeurs peuvent être atteintes dans les conditions climatiques habituelles de la région sans réel problème pour les standards PassivHaus et Minergie P (c'est déjà le cas avec les données recueillies cette année pour Minergie P). Cela est notamment dû à l'absence de consommation électrique de la ventilation.

Remarque : le respect de la borne haute des $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$ en énergie primaire imposée par le standard PassivHaus dépend essentiellement de l'électroménager, qui devra être de classe A+. Il est à noter que cette limite avantage en premier lieu les grands logements, une habitation de 80 m^2 contenant à peu près le même électroménager qu'une de 150 . Une consommation maximale absolue (et non un ratio) en énergie primaire par unité d'habitation serait plus logique et égalitaire.

Pour le standard BBC, qui s'intéresse à l'énergie primaire consommée, c'est en revanche plus délicat, mais pas impossible comme nous l'avons vu plus haut. Il est en revanche regrettable qu'aucune exigence ne soit formulée quant à l'énergie finale, contrairement aux autres référentiels. Ce manquement risque d'induire un effet collatéral indésirable : il est parfois techniquement plus simple, plutôt que de chercher à réduire la consommation du bâtiment, de préférer utiliser un système de chauffage avantageux en terme d'énergie primaire. Les pompes à chaleur, dont les coefficients de performance (COP) peuvent être supérieurs à 4, permettent par exemple d'avoir une énergie primaire allouée au chauffage plus faible que l'énergie finale ! C'est aussi le cas du bois, le coefficient de conversion d'énergie finale vers énergie primaire du bois étant de 0.6. Il y a donc fort à parier qu'une grande partie des futurs bâtiments respectant le référentiel BBC seront équipés de pompes à chaleur, des systèmes coûteux à installer et entretenir, dont les COP sont rarement à la hauteur de ceux annoncés par les fabricants et s'écroulent lorsque les températures extérieures chutent trop (essentiellement pour l'aérothermie).

Enfin, si l'étanchéité à l'air du bâtiment n'a pas été testée (elle ne le sera pas) il semble évident qu'elle n'est pas optimale : les menuiseries plutôt bon marché et les baies coulissantes n'offrent sans doute pas la possibilité de passer le test de la porte soufflante avec succès. Mais à quoi bon s'évertuer à parfaitement étanchéifier l'enveloppe lorsque aucune récupération de chaleur sur l'air extrait n'est prévue ?

Ces logements ne semblent donc pas éligibles à l'un de ces trois labels, non pas à cause d'une consommation trop élevée, mais surtout parce que les techniques employées ne sont pas conventionnelles : le captage solaire passif a été maximisé, l'enveloppe est performante mais les niveaux d'isolation restent assez modestes en regard de ce qui se pratique en général pour les constructions à basse énergie ($R=4.3$ en murs, $R=6$ en toiture, les menuiseries sont à double vitrage). Ces choix ont ainsi permis de maîtriser l'économie de la construction et de limiter le coût de la maintenance, quasi nul pour le chauffage et la ventilation.

NB : Le budget total estimé pour la construction est de $230\,000 \text{ € TTC}$. En fait, le budget réel n'est que de $160\,000 \text{ € TTC}$ mais une partie des travaux a été prise en charge par le maître d'ouvrage (plomberie, électricité, solaire, et diverses finitions intérieures).