

Une maison solaire instrumentée

Philippe Heitz
Journaliste indépendant
Burdignes, France



Leo Morche
Service technique
MOLL pro clima France
Paris, France



1. Motivations et objectifs du projet

Le projet est situé à 960 m d'altitude en bordure Est du Massif Central, au Sud du département de la Loire. Il est l'une des premières maisons de l'éco-hameau créé par la commune de Burdignes, petit village agricole de 360 habitants.

Autoconstructeur en 1992 du premier bâtiment isolé en paille de Rhône-Alpes, aujourd'hui journaliste technique du bâtiment, le maître d'ouvrage de cette maison individuelle en est aussi le maître d'oeuvre et l'autoconstructeur partiel.

La motivation première de cette construction est de permettre le vieillissement à domicile, dans un logement confortable, adaptable PMR si nécessaire, avec un niveau de charges très faible. L'objectif économique de zéro facture de chauffage se conjugue avec un objectif zéro-carbone zéro particules fines pour la production de chaleur, en cohérence avec, d'une part, le parcours personnel pour l'écoconstruction engagé en 1992 et, d'autre part, la volonté de la commune qui a travaillé 6 années à la création de l'éco-hameau de Miroisse. Le défi est de se chauffer uniquement avec du solaire thermique en climat de montagne. La volonté de diffuser le retour d'expérience de ce projet, visant la frugalité énergétique et économique et un haut niveau d'autonomie solaire en climat montagnard, conduit à chercher à objectiver le fonctionnement de la maison, à passer de l'expression qualitative du confort ressenti à l'évaluation quantitative de critères mesurables.

Conscient des enjeux du bon fonctionnement hygrothermique des parois, le maître d'ouvrage a proposé à la société allemande Moll proclima GmbH, fabricant réputé de solutions d'étanchéité à l'air et de pare-pluie, d'instrumenter la maison.

Le dialogue entre Philippe Heitz, maître d'ouvrage, et Leonhard Morche, ingénieur de l'assistance technique de proclima en France, a conduit à décider d'instrumenter la toiture pour en caractériser le fonctionnement au niveau des flux de chaleur et d'humidité. En complément, quand la période d'habitation sera commencée (avril 2018), il est prévu de mesurer également la température et l'hygrométrie du logement, ainsi que la température extérieure. Enfin, les consommations électriques seront ventilées par poste.

2. Projet et chantier

2.1. Écoconstruction solaire, bois, paille, terre

La construction est conçue pour valoriser au mieux les apports solaires thermiques, s'approcher du standard passif et utiliser en priorité les matériaux biosourcés (bois, paille, ouate de carton, coton recyclé, liège, fibre de bois) ou naturels (toit végétal, enduits terre).

En adaptation à la pente du terrain, deux volumes sont séparés : le logement de plain-pied de 86 m² surmonte le sous-sol de 54 m² non-chauffé. L'architecture très simple consacre toute la façade sud à la captation solaire : passive par les vitrages et active par les 20 m² de panneaux solaires thermiques en façade et bordure de terrasse.

Le sous-sol abrite un ballon isolé de stockage de la chaleur solaire de 2 000 litres, qui alimente le plancher chauffant du logement, ainsi qu'un chauffe-eau solaire de 500 litres. La cage d'escalier isolée et étanche à l'air est la limite du volume chaud.

L'enveloppe du volume chaud est en ossature bois isolée en bottes de paille en murs extérieurs et isolée en ouate de carton Novidem en toiture, mur du sous-sol et cage d'escalier. Toutes les menuiseries sont équipées de triple vitrage. Pas d'ouverture au nord. Le parement extérieur est un bardage bois peint à l'ocre. Les volets sont coulissants, à lames orientables pour la régulation des apports solaires et la ventilation nocturne passive en été. Le parement intérieur est un enduit épais de terre crue, pour apporter l'inertie et le confort hygrothermique en complément de la chape du plancher chauffant. Un récupérateur des calories de l'évacuation de la douche est installé. Les cloisons sont isolées phoniquement par du coton recyclé Métisse m+, fabriqué par l'entreprise Le Relais Métisse. La toiture végétalisée est à deux pans symétriques inclinés à 25° (47%), implantée en graminées et vivaces (prairie fleurie), sur une étanchéité EPDM, fournie par EPDM-TPO. Aucune cheminée n'est prévue : pas question de rejeter du CO₂, fut-il d'origine végétale, ni de particules fines. Au contraire, par ses matériaux biosourcés variés, la maison sera un stockage de CO₂, et par son toit végétal sera même productrice d'oxygène.

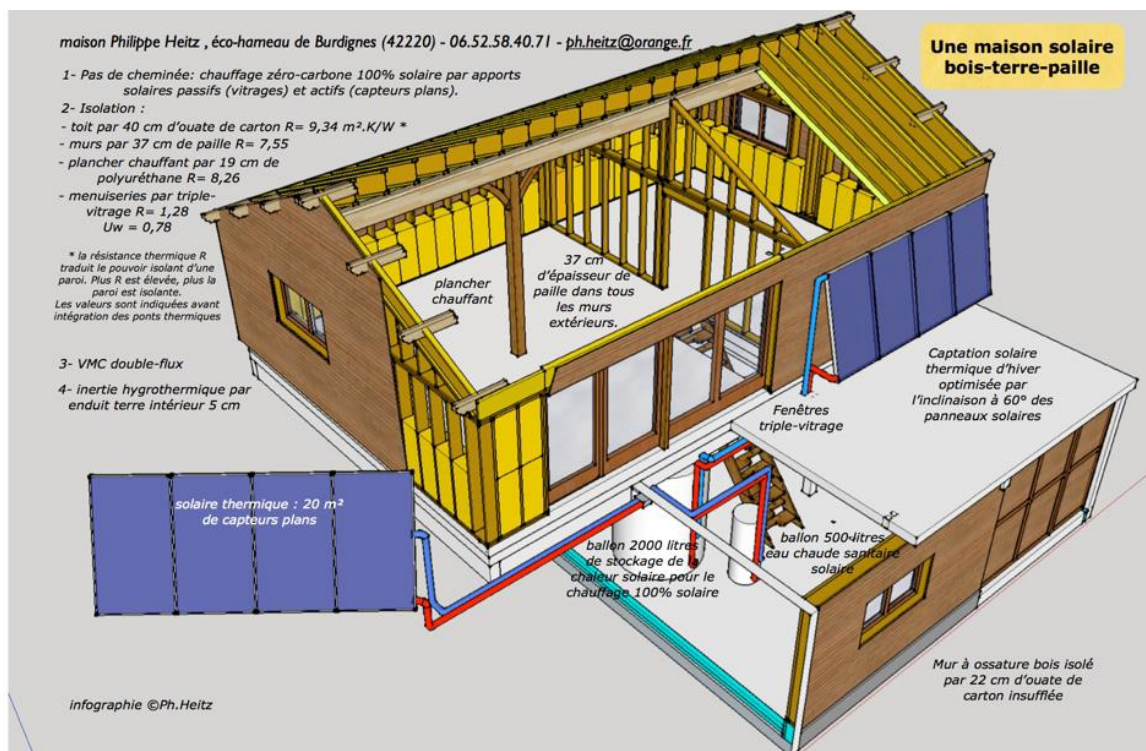


Figure 1 : L'enveloppe très isolée réduit le besoin de chauffage pour en permettre la couverture par les apports solaires, passifs par les vitrages et actifs par les capteurs plans inclinés à 60°.

La toiture végétalisée est à deux pans symétriques inclinés à 25° (47%), implantée en graminées et vivaces (prairie fleurie), sur une étanchéité EPDM, fournie par EPDM-TPO. Aucune cheminée n'est prévue : pas question de rejeter du CO₂, fut-il d'origine végétale, ni de particules fines. Au contraire, par ses matériaux biosourcés variés, la maison sera un stockage de CO₂, et par son toit végétal sera même productrice d'oxygène.

Figure 2 : l'ossature bois, conçue pour la botte de paille et la ouate, est agrémentée pour l'esthétique d'éléments de charpente traditionnels (liens cintrés, faux abouts de panne)



Figure 3 : chantier en cours en mars 2018. L'inclinaison à 60° des capteurs solaires optimise la captation hivernale.

2.2. Le système solaire thermique



Le principal défi du projet est l'objectif d'un chauffage 100% solaire, en moyenne montagne (960 m), avec stockage multiple de la chaleur solaire. L'objectif du stockage est de continuer à maintenir le confort thermique et la fourniture d'eau chaude sanitaire (ECS) les jours sans soleil.

La stratégie est d'associer l'hydro-accumulation de chaleur au stockage des calories dans la masse (9,5 t) de la chape du plancher chauffant, ainsi que dans la masse des enduits terre intérieurs (6,4 t). Le choix de la technologie solaire de l'entreprise savoyarde Solisart permet un gain significatif de rendement thermique solaire en privilégiant le chauffage direct du plancher chauffant sans échangeur, le stockage dans le ballontampon de 2 000 litres n'intervenant que pour la chaleur excédentaire.

L'autonomie solaire semble atteignable pour le besoin de chauffage évalué par la simulation thermique dynamique initiale à 30 kWh/m².an : disposer d'une source chaude à 25°C en permanence est réaliste avec un tampon de 2000 litres. Par contre, disposer d'une eau chaude sanitaire à 45°C en permanence avec 500 litres de stockage est plus aléatoire. Aussi, un appoint électrique (4 kW) d'origine renouvelable (Énercoop) est prévu dans le circuit hydraulique. Sa consommation éventuelle sera enregistrée afin d'évaluer le degré d'autonomie solaire du système solaire combiné.

Illustrations 4 et 5 : installation de la chaufferie solaire Solisart.

Le pilotage informatique des circulateurs gère l'équilibre des apports par les deux champs solaires et la distribution de la chaleur dans le plancher chauffant, le ballon d'ECS et le ballon-tampon du chauffage. Le système est connecté à internet pour la maintenance et le réglage à distance.

2.3. Acteurs du projet

Maître d'ouvrage, maître d'oeuvre et autoconstructeur partiel

Philippe Heitz 42220 Burdignes ph.heitz@orange.fr

Études

- béton armé : Guivibat ingénierie 42160 Andrézieux-Bouthéon
- thermique : Heliasol 69390 Vourles
- infiltrométrie : Consult'imm 38110 St-Victor-de-Cessieu
- transferts chaleur et humidité : Moll proclima D-68723 Schwetzingen

Gros oeuvre

- terrassement : Mazet TP 43220 Riotord
- maçonnerie : Neyron 43290 Montregard
- ossature bois, charpente, zinguerie :
 - Stéphane Robert, Cabestan 38350 St-Laurent-en-Beaumont
 - Alti-charpente, Cabestan 42220 Burdignes
 - scierie Chorain 42660 Marlhes

- étanchéité air, eau : Moll proclima D-68723 Schwetzingen
- insufflation ouate de carton Novidem :
 - fabricant Idem 71530 Fragnes
 - insufflateur Coteco 42340 Veauche
- isolation bottes de paille : fournisseur JCL Agri 38150 Bougé-Chambalud
- couverture EPDM : fournisseur EPDM-TPO 94510 La Queue-en-Brie
- menuiseries :
 - triple-vitrage menuiserie André 26260 Chavannes
 - Cyril Quiblier 42220 St-Sauveur-en-Rue

Système solaire

- fabricant Solisart 73490 La Ravoire
- installateur Dominique Girard, Cabestan 38350 La-Salle-en-Beaumont

VMC DF

- fournisseur Femat 69570 Dardilly
- installateur Julien Danel, Cabestan 43240 St-Just-Malmont

3. Instrumentation de la toiture

3.1. Le complexe de toiture

Une toiture chaude isolante est séparée par des chevrons de 10 cm d'une toiture froide support de l'étanchéité EPDM et de la végétalisation.

La ouate a été insufflée dans des caissons formés par des poutres en I Steico Joist de 40 cm de retombée. Le fond du caisson est fermé par une membrane *f r e i n*-vapeur armée hygrovariable Intello de proclima. Cette membrane *h y g r o v a r i a b l e p o u r* L'étanchéité intérieure a une valeur S_d variant de 0,25 à plus de 25 mètres, ce qui permet le séchage vers l'intérieur en période estivale.

Le haut du caisson est fermé par des dalles de 16 mm de fibre de bois dense Agepan DWD, contrevenantes et parapluie ouvert à la diffusion de la vapeur. Un écran de sous-toiture soudé à froid proclima Solitex Weldano protégé l'ensemble. Cette membrane étanche à l'eau grâce à un soudage homogène des lés est ouverte à la migration de vapeur d'eau avec une valeur S_d de 0,18 m.

Des chevrons de 10 cm forment une importante lame d'air ventilée en sous-face de la couche d'étanchéité. La faîtière est ouverte (capotage acier laqué). Des dalles d'OSB 18 mm sont le support contreventant de l'étanchéité, en bâche EPDM de 1,5 mm. Un complexe de végétalisation (prairie fleurie) couvrira l'ensemble de la toiture.



Figure 6 : le pont thermique des poutres Steico Joist est réduit par la structure en I avec une âme minceliant deux membrures en lamibois.



Figure 7 : l'étanchéité air et eau du vissage des chevrons est assurée par la pose en sous-face du chevron d'une bande de caoutchouc butylique double-face proclima Tescon Naidec.

3.2. Capteurs et enregistreurs

En vue de la validation de ce système constructif, des capteurs ont été placés pour vérifier le respect des critères attendu en matière d'humidité et de température dans la paroi. Pour avoir un éventail de données représentatif de l'ensemble de la toiture, les capteurs ont été placés en haut et en bas des chevrons, au faîtage, à la gouttière, au sud, au nord, dans deux pièces classiques et une pièce humide (salle de bain). Deux enregistreurs reliés aux capteurs par fils relèvent et stockent les mesures de température et teneur en eau des poutres en I dans la couche isolante avec un pas de temps d'une demi-heure.

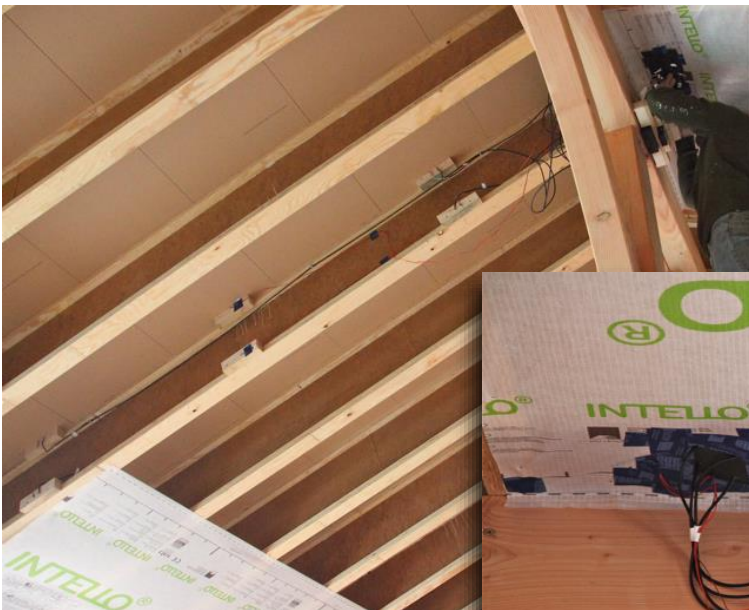


Figure8 : les sondes sont fixées sur les membrures haute et basse des poutres en I



Figure9 : 2 centrales de mesure collectent toutes les demi-heures les données des 20 capteurs

3.3. Étude théorique

Préalablement, les équipes de pro clima ont procédé à une étude WUFI pour simuler les transferts thermiques, de vapeur d'eau et d'eau liquide, en déterminant la température et l'humidité en tout point de la paroi en fonction de paramètres réalistes (prise en compte de défauts éventuels de la couche d'étanchéité à l'air et des transferts d'air). La captation du rayonnement solaire est fortement diminuée dans le cas d'une toiture végétalisée, car la couche de substrat offre une telle inertie thermique que les températures superficielles au niveau de l'écran de sous-toiture sont relativement modérées. Ce phénomène a une influence importante sur la migration inverse de vapeur d'eau, définie par le potentiel de séchage.

La toiture "chaude" comprise entre le frein-vapeur hygrovariable intérieur et le pare pluie extérieur est séparée de la toiture "froide" support de l'étanchéité EPDM et de la végétalisation par des chevrons de 10 cm qui assurent une importante lame d'air en sous-face de la couverture.

Pour respecter une certaine marge de sécurité lors des calculs, une infiltration d'humidité par convection a été respectée et placée à la position cruciale de la configuration de toiture, la sous-face du panneau de contreventement DWD. Cette source simule un apport d'humidité par des défauts dans la couche d'étanchéité à l'air et prend en compte un débit de 3 m³ par mètre carré de surface déperditive et par heure - une infiltration qui ne devrait pas avoir lieu en réalité car les recommandations concernant l'étanchéité à l'air selon la Réglementation thermique 2012 sont largement dépassées. En plus, le taux de renouvellement d'air dans la couche de ventilation a été fortement diminué pour respecter le scénario le plus défavorable lors des calculs de transfert transitoire de chaleur et d'humidité.

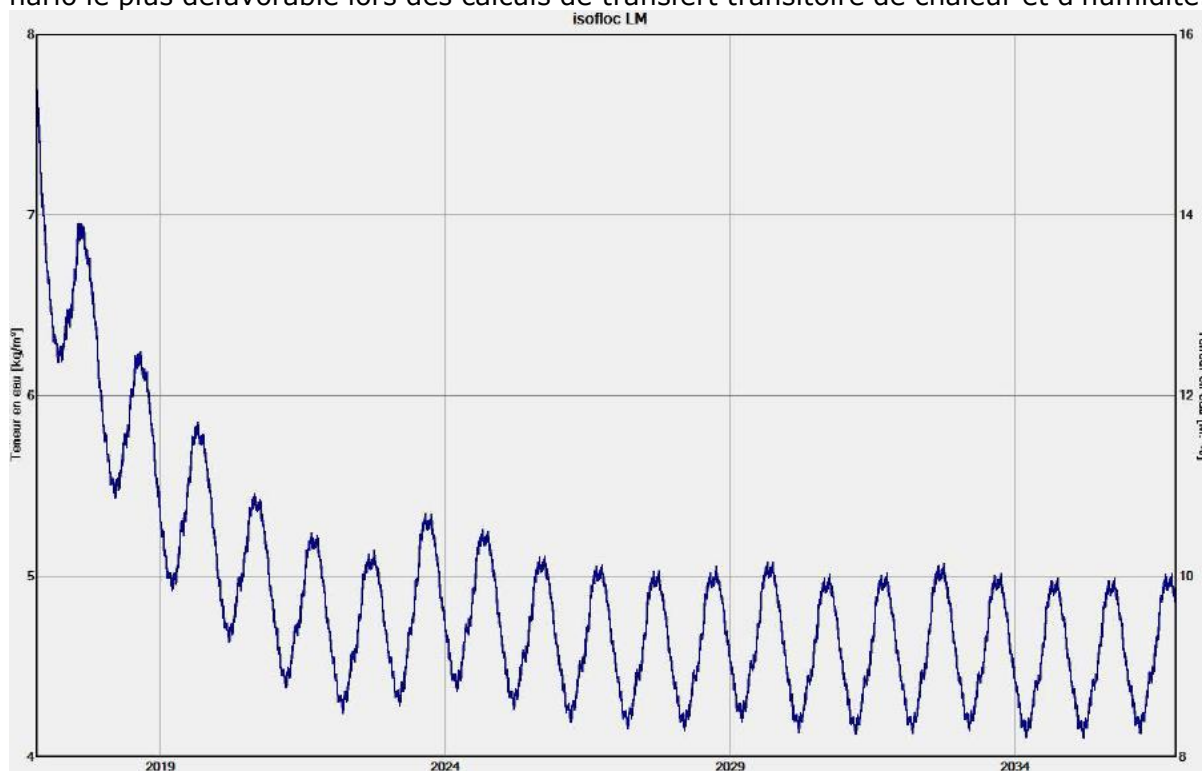


Figure10 : étude WUFI : teneur en eau de la ouate de carton sur 20 ans

L'étude porte sur une durée théorique de 20 ans et ses résultats confirment que la construction gère facilement l'humidité dans la paroi et que les matériaux sèchent suffisamment pour empêcher le développement de moisissures et de champignons malgré les conditions-cadres de l'analyse dynamique de toiture et les hypothèses initiales de calcul transitoire, défavorables en ce qui concerne l'ensoleillement, l'étanchéité à l'air et la ventilation.

3.4. Résultats du début de chantier

Quelle que soit la position du capteur, la teneur en eau dépasse, uniquement au début de l'enregistrement et sur de très courtes périodes, le point de saturation des fibres. On peut donc conclure que ce système constructif ne présente aucun risque du point de vue du développement de moisissures ou de champignons. La pose des capteurs date de fin mars 2017. En à peine 4 mois la teneur en eau s'est stabilisée aux alentours de 11%, ce qui est déjà une humidité compatible au bon fonctionnement du système constructif. Dès la phase chantier, les choix techniques préconisés sont donc validés et par la théorie et par la pratique !

La suite des mesures permettra d'observer le comportement de la construction dans le temps, avec un chantier de second oeuvre qui se poursuit jusqu'en avril 2018. Tout laisse à penser que les résultats recueillis vont à terme rejoindre les prédictions qui ont été faite à l'aide du logiciel WUFI.

