

# BÂTIMENT ISOLATION PAILLE

RETOURS D'EXPÉRIENCES EN LORRAINE

*Econome mais demandant une maîtrise technique certaine, la construction paille trouve de plus en plus d'adeptes, grâce notamment à la publication de règles professionnelles pour l'utilisation de ce matériau comme isolant. Cette fiche a pour objet de vous présenter 4 bâtiments lorrains, construits en paille et dans lesquels des mesures de qualité de l'air intérieur ont pu être effectuées. Merci à notre partenaire ATMO Grand Est de nous avoir prêté l'appareillage nécessaire.*



© LQE

**Maison Prudent  
à Art-sur-Meurthe (54)**

**Maître d'ouvrage :**  
M. Mathieu Prudent  
**BET thermique :**  
Terranergie  
**Début des travaux :** mai  
2014  
**Hors d'eau hors d'air :**  
octobre 2014



© LQE

**Maison Hantz  
à Gérardmer (88)**

**Maître d'ouvrage :**  
M. et Mme Hantz  
**Architecte :** Jean-Luc  
THOMAS  
**BET thermique :**  
aucun  
**Livraison :** 1985



© LQE

**Centre de secours de  
Colombey-les-Belles (54)**

**Maître d'ouvrage :**  
SDIS 54  
**Architecte :** FFW  
**BET thermique :**  
OTE ingénierie et OTELIO  
**Livraison :** 2017



© Frédéric MARION

**Centre d'examen du  
permis de conduire  
Belleville- sur-Meuse (55)**

**Maître d'ouvrage :**  
ETAT/DDT 55  
**Architecte :** Frédéric  
MARION & Dominique  
PETIT Architectes  
**BET thermique :**  
Lorr-Enr  
**Livraison :** 2014

Implantée dans un lotissement, la maison paille de Mathieu Prudent s'intègre parfaitement avec son voisinage. Hormis ses deux façades habillées de bois et un angle arrondi, rien ne distingue cette maison de structure et d'isolation atypique, de son voisinage standard. Celle-ci s'intègre parfaitement dans son environnement proche. M. Prudent, formateur Propaille, a auto-construit sa maison. Le gros œuvre s'est étalé sur 5 mois. Habitée depuis plus de deux ans, il reste quelques travaux de finition.

Seul un œil averti distinguerait cette maison en paille de ses voisines. Construite en 1985, cette maison fait figure de pionnière en Lorraine et plus généralement en France (2ème maison paille construite après les chocs pétroliers des années 70). Initialement recouverte d'un toit en paille, végétalisé, elle a été modifiée il y a une dizaine d'année du fait d'un défaut d'étanchéité.

Fait de bois et de paille, le centre de secours et d'incendie de Colombey-les-Belles est de conception innovante. Construit selon les principes du bioclimatisme, celui-ci ne consomme que très peu d'énergie. Le parti architectural du projet s'inscrit à la fois dans la démarche environnementale, couplée à une forte volonté d'utiliser des matériaux durables, issus des filières locales.

Dès l'origine du projet, le maître d'ouvrage a souhaité inscrire la construction de ce bâtiment dans une démarche environnementale globale. Les matériaux de construction biosourcés en améliorent le confort et la qualité. Dans un département essentiellement agricole et forestier et dans une logique d'écologie territoriale, le choix de la construction bois et de la paille comme isolant ont été voulus dès le départ dans un but d'expérimentation et de mise en pratique.

## Maison de M. Mathieu PRUDENT à Art-sur-Meurthe (54)



### Autres éléments techniques et financiers

**Surface** : 180 m<sup>2</sup> de SHON

**Consommations réelles** :

Chauffage (année 2017) : 14.6 kWh/m<sup>2</sup>

**Coût des travaux** : 250 k€ HT soit 1388 € HT/m<sup>2</sup>

**Qualité de l'air intérieur** : compte tenu de la très bonne étanchéité à l'air, la qualité de l'air intérieur est bonne lorsque la VMC double flux fonctionne pendant les heures d'occupation.

**Volume de paille utilisé** : environ 100 m<sup>3</sup>

**Provenance de la paille** : Meurthe-et-Moselle

### L'opération

Type de projet : construction neuve

Type de bâtiment : maison individuelle

Début construction : mai 2014

Fin du chantier gros œuvre : novembre 2014

Depuis finition progressive en site occupé

Orientation : sud/est et sud/ouest

### Enveloppe

**Structure** : ossature bois contreventée coté intérieur par des planches de bois à 45° au rdc et par de l'OSB à l'étage - enduit chaux coté intérieur - bottes de paille 36 cm - Agepan - pare-pluie - bardage bois sur le mur ouest. Les autres murs sont enduits à la chaux coté extérieur.

**Toiture** : caisson de bois OSB - bottes de paille - Agepan - pare-pluie - lattage et tuiles.

**Menuiseries** : triple vitrage bois

### Systemes

**Chauffage** : un radiateur électrique à bain d'huile pour l'ensemble de la maison

**ECS** : chauffe-eau électrique

**Ventilation** : double flux avec échangeur thermique Zehnder 350

### Retour d'expérience

Lors de la première visite, la ventilation n'était pas installée. Il régnait toutefois une sensation de confort dans le logement, du fait notamment du très faible différentiel de température entre les parois et l'air intérieur. La ventilation naturelle était alors assurée par l'ouverture des fenêtres. Une première semaine de mesure sans ventilation mécanique a néanmoins mis en évidence une Qualité de l'Air Intérieur (QAI) médiocre, avec une concentration en CO<sub>2</sub> > 1000 ppm et une humidité relative > 65%. Une deuxième campagne de mesure, avec la VMC en fonctionnement cette fois, a permis

de retrouver une QAI nettement améliorée, avec une concentration en CO<sub>2</sub> retombée sous les 800 ppm. La température et l'humidité de l'air étaient très stables lors de cette deuxième période de mesures, avec une température de 19°C et une humidité relative de l'ordre de 55%. L'arrêt de la ventilation conduit à une élévation instantanée du taux de CO<sub>2</sub> intérieur, preuve de la très bonne étanchéité à l'air des parois.

En conclusion, un projet en auto-construction demande une réelle motivation et même si elle n'a pas fait d'émules, la maison en bois paille de M. Prudent suscite une grande curiosité. Le matériau paille confère à l'habitation un réel confort, avec une température stable et un besoin en chauffage amoindri. Compte tenu de l'étanchéité à l'air, la ventilation mécanique double flux est nécessaire pour préserver une bonne qualité d'air intérieur.



## Maison de M. et Mme HANTZ à Gérardmer (88)



### Autres éléments techniques et financiers

**Surface** : 180 m<sup>2</sup> de surface habitable (120 m<sup>2</sup> de logement principal + 60 m<sup>2</sup> pour un logement annexe)

#### Consommations réelles :

Du fait de l'utilisation de la paille, la consommation énergétique s'avère relativement raisonnable, même si l'ensemble des aspects thermiques n'a pas été pris en compte. Aujourd'hui, la maison chauffée à 22/24°C, consomme entre 25 et 30 stères de bois, soit environ 40 000 kWh/an d'où un besoin de chauffage estimé à 114 kWh/m<sup>2</sup> (rendement 50%).

**Étanchéité à l'air** : non mesurée mais perméabilité visiblement forte

**Coût de l'opération** : en 1985, le budget de l'ensemble de l'opération était de 40 000 F

**Qualité de l'air intérieur** : excellente, sur la semaine de test, la concentration en CO<sub>2</sub> n'a jamais dépassé 600 ppm. Une personne sensible retrouve un bon sommeil et un mieux être. L'humidité relative de l'air a toujours été comprise entre 30 et 45%

#### Volume de paille utilisé :

90 m<sup>3</sup> ou 900 bottes de paille de seigle (réputée mieux tenir à la pourriture) provenant des environs de Corcieux (88). La réfection de la toiture et la création d'une salle de guitare à porté le nombre de bottes utilisées à plus de 1200.

### Retour d'expérience

C'est suite à un chantier expérimental en paille, que Jean-Luc THOMAS (architecte) a proposé à M. et Mme HANTZ de construire leur maison avec ce matériau. Le principe constructif a très vite évolué avec les constructions suivantes. Il y a eu au total 5 maisons qui ont été construites à partir de la paille.

### L'opération

Type de projet : construction ancienne  
Type de bâtiment : maison individuelle  
Livraison : 1986  
Orientation : sud  
Architecte : Jean-Luc THOMAS  
Chantier en auto-construction

#### Enveloppe

**Structure** : conception alvéolaire en paille porteuse isolante, associée à un mortier/pisé de chaux. La paille est enrobée de mortier sur ses 6 faces (4 faces structurelles et 2 faces enduites). Lors du chantier, la paille est porteuse et sert de coffrage à la structure cellulaire. Puis en durcissant, c'est la structure cellulaire qui devient porteuse, la paille n'assurant plus qu'un rôle d'isolant.

**Toiture** : initiale, en paille végétalisée et convertie au bout de 20 ans en toiture tuile « classique ».

**Murs intérieurs** : en bois cordé et carreaux de plâtre

**Menuiseries extérieures** : en bois double vitrage. A l'origine, les menuiseries avaient été auto-construites avec du verre de récupération (calepinage en fonction du verre récupéré).

#### Systèmes

**Chauffage** : l'insert et les radiateurs électriques d'origine ont été remplacés par un chauffage central bois-fuel et radiateurs dans toutes les pièces

**Ventilation** : naturelle

Concernant ces projets, Jean-Luc THOMAS est particulièrement fier de l'aspect organique obtenu et de la qualité sculpturale rendus possibles par l'utilisation de ce matériau.

La paille enduite peut se prêter à une mise en œuvre artistique particulière, appropriable par les constructeurs de tout poil. C'est l'aspect sensible du projet fini, crépi, enduit, qui lui donne son apparence organique et artistique.

**Points de vigilances** : pour ce type de construction, il est souhaitable d'observer quelques règles strictes de mise en œuvre et notamment : de protéger les stocks de paille et les murs de la pluie lors du montage et de construire sous une charpente couverte étanche - d'être attentif à la qualité des liens serrant les bottes de paille et à la densité des ballots lorsqu'ils sont « recoupés » - être patient et attendre le séchage complet d'une rangée de paille maçonnée avant de passer à la suivante.

Par ailleurs, même si le ballot a une forme parallélépipédique proche de celle de la pierre, il n'en est pas moins mou et se maçonne donc tout différemment : non pas à joints croisés, mais à joints alignés.

Le conseil de l'architecte : une bonne préparation en amont pour éviter les complexités de continuité d'isolant en relation avec la charpente, qui doit être adaptée à la technique paille porteuse.

## Centre de d'incendie et de secours de Colombey-les-Belles (54)



© Fred Hurst

### Autres éléments techniques et financiers

**Surface :** 1550 m<sup>2</sup> de plancher (zone vie)

**Coût de l'opération :** 1 500 k€ HT ; soit 1300 € HT/m<sup>2</sup> dont études 118 k€ HT

#### Consommations prévisionnelles RT2012

(5 usages : chauffage, ECS, éclairage, rafraîchissement et auxiliaires) de la zone vie : 51.5 kWhep/m<sup>2</sup>.an dont 15 kWh EP/m<sup>2</sup> pour le chauffage seul.

Étanchéité à l'air : n50 = 0.47 vol/h

#### Consommations réelles :

La répartition des besoins de chauffage est de 44% pour la zone vie 56% pour la remise. depuis octobre 2017, 3 tonnes de granulés, soit pour une année entière environ 4.5 tonnes et environ 20 565 kWh, soit 9049 kWh pour la zone vie (44%) soit 18 kWhep/m<sup>2</sup>.an pour le chauffage seul de la zone vie. La surconsommation de 15 à 18 kWh/m<sup>2</sup>.an est lié à la rigueur de cet hiver et à l'énergie consommée pour sécher la nouvelle construction.

**Qualité de l'air intérieur :** très bonne dans les pièces testées, mais la ventilation double flux n'est pas encore bien équilibrée avec un taux de renouvellement d'air de la zone vie d'environ 0.38 vol/h et une légère mise en dépression du bâtiment. (débit d'aspiration mesuré à 568 m<sup>3</sup>/h pour un débit de soufflage de 511 m<sup>3</sup>/h).

L'humidité relative de l'air mesurée sur la semaine de test a été comprise 20% (air très sec) et 40%. L'humidité basse s'explique en partie par la température extérieure très froide cet hiver ayant pour effet d'abaisser le niveau d'hygrométrie absolue, et encore plus de l'humidité relative mesurée dans les locaux chauffés.

La concentration de CO<sub>2</sub> a été proche de celui de l'air extérieur à savoir 400 ppm la majeure partie du temps.

#### Volume de paille utilisé :

Environ 120 m<sup>3</sup> de paille soit entre 600 et 700 bottes de paille pour une masse totale d'environ 12 tonnes

**Provenance de la paille :** Moselle

**Charpente - isolation paille :** Entreprise SER-TELET Sarl (88)

Bardage : Entreprise SOPREMA

**Menuiseries extérieures:** Entreprise HUNSINGER (67)

**Chauffage ventilation :** IDEX (55)

### L'opération

Type de projet : construction neuve

Type de bâtiment : centre d'incendie et de secours

Livraison : 2017

Orientation : nord et sud

Architecte : FFW

BET : OTE ingénierie et OTELIO

**Enveloppe** (conçue pour être passive)

**Structure :** bois / béton

**Parois verticales de la zone vie :** Bardage en bardeaux de mélèze sur mur ossature bois isolé en laine de bois et contreventé en intérieur par un panneau agepan DWD 16 mm. Isolation intérieure en paille de 40 cm en caisson bois préfabriqués. Membrane d'étanchéité à l'air sous vide technique isolé intérieur et finition plâtre.

**Toiture de la zone vie :** Caisson bois constitué de panneau intérieur OSB et d'un panneau supérieur en laine de bois rigide, isolé en intérieur par de la ouate de cellulose (40 cm) R=10 m<sup>2</sup>.K/W. Couverture en bac acier ventilé.

**Menuiseries extérieures :** Bois aluminium U<sub>w</sub>=1.1W/m<sup>2</sup>.K

#### Systemes

**Chauffage :** chauffage granulés de bois sur radiateurs en zone vie et aérotherme dans la remise

**ECS :** négligeable (sanitaire)

**Ventilation :** double flux avec échangeur thermique de rendement > 82% certifiée PassivHaus.

### Retour d'expérience

Le projet se décompose en deux parties distinctes ayant chacune une vocation claire : une zone vie regroupant les bureaux, vestiaires, salle des sports et de formation, local d'alerte... et la remise, baignée de lumière ou sont entreposés les véhicules d'intervention.

La zone vie a été étudiée pour fournir le plus grand confort possible aux occupants dans un environnement sain.

L'ensemble du bâtiment est en structure bois / béton. La zone vie est la partie du centre qui bénéficie d'une structure bois et d'une isolation paille. Compte tenu du procédé constructif utilisé, faisant appel à des murs pré-montés en atelier, à aucun moment la paille n'a été visible sur chantier et donc soumise aux intempéries. La façade extérieure a été réalisée en bardeaux de mélèzes. C'est la partie du chantier qui a été la plus délicate à gérer, du fait notamment du manque de pratique de l'entreprise. La zone vie est composée d'un mur longitudinal béton en partie centrale appelée « Mur Masse » se chargeant de chaleur grâce à la belle captation solaire assurée par la baie du R+1 en toiture « shed ». Le centre de secours de Colombey-les-Belles est un bâtiment où l'atmosphère intérieure est agréable, lumineuse.

Le taux de renouvellement d'air mesuré est de l'ordre de 0.35 vol/h, ce qui est satisfaisant et suffisant pour une occupation maximum de 21 personnes.

Le réglage de la ventilation double flux permettra d'optimiser la répartition des débits d'air, ce qui augmentera le confort de tous les espaces.

## Centre d'examen du permis de conduire de Belleville-sur-Meuse (55)



© Frédéric MARION

### Autres éléments techniques

**Surface** : 263 m<sup>2</sup> de plancher

**Consommations prévisionnelles RT2012** (5 usages : chauffage, ECS, éclairage, rafraîchissement et auxiliaires) : 79 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

**Consommations réelles tous usages confondus** : 10 241 kWh en 2016 ; soit 100 kWh ep/m<sup>2</sup>.an

**Étanchéité à l'air** : Q4 = 0.18 (m<sup>3</sup>/h)/m<sup>2</sup>

**Coût de l'opération** : 610 k€ HT, dont études 89 k€ HT, soit 1957 € HT / m<sup>2</sup>

**Qualité de l'air intérieur** : malgré une ventilation double flux en panne les mesures de qualité d'air intérieur on montré une très grande stabilité des paramètres à un niveau très bas tant du point de vue de l'humidité relative qui n'excède jamais 55% que du point de vue du CO<sub>2</sub> qui n'est jamais monté au-delà de 2500 ppm en pleine occupation.

Hors occupation ces paramètres retombent en quelques heures à 45% d'humidité relative et 500 ppm de CO<sub>2</sub>.

**Volume de paille utilisé** : 85 m<sup>3</sup> paille (12 tonnes)

**Provenance de la paille** : Bouzonville (Moselle)

**Charpente - bardage - isolation paille** : Entreprise PALLAZZO Sarl (55)

**Menuiseries extérieures**: Entreprise LAURENT (55)

### L'opération

Type de projet : construction neuve

Type de bâtiment : locaux administratifs

Livraison : 2014

Orientation : bureaux au sud, salle d'examen au nord

Architecte : Frédéric MARION et Dominique Petit avec la participation de Anne THOMAS architecte formée aux Règles Professionnelles pour la construction Paille (RPCP)

BET thermique : Lorr'EnR—John PINON (54)

#### Enveloppe

**Parois verticales** : structure bois avec contreventement extérieur par panneaux pare-pluie fibre de bois DWD AGEPAN 16 mm – isolation bottes de paille - caisson intérieur par OSB KRONOBOIS 18 mm R=7 m<sup>2</sup>.K/W

**Toiture** : Plancher poutrelles bois avec contreventement panneaux pare-pluie fibre de bois DWD AGEPAN 16 mm – remplissage ouate de cellulose + plancher ventilé avec solivage bois massif et panneau support de couverture CTBH 19 mm (toiture végétalisée)

**Menuiseries extérieures** : mélèze Français U<sub>w</sub>=1.1W/m<sup>2</sup>.K

#### Systèmes

**Chauffage** : Chauffage électrique par plafond rayonnant (conso prévu 4450 kWhEF/an)

**ECS** : négligeable (sanitaire)

**Ventilation** : Double flux avec échangeur thermique

### Retour d'expérience

La conception des murs isolés par la paille a fait l'objet d'études hygrothermique et de confort thermique d'été afin de déterminer le comportement des parois. Un bilan carbone de la construction a également été réalisé. Les matériaux mis en œuvre ont permis de piéger 46 tonnes de CO<sub>2</sub> quand la même construction en matériaux traditionnels aurait produit 42 tonnes de CO<sub>2</sub>.

Un défaut est apparu au fil des mois : l'enduit terre paille, bien que protégé par l'auvent de l'entrée, est néanmoins soumis à des remontées capillaires, qui dégradent la base du mur d'entrée et risquent de dégrader la structure si aucune mesure corrective n'est prise.

Le montage de la structure a été très rapide. Le remplissage



©LQE

par la paille s'est fait à l'abri sur chantier. Hormis les pièces situées à l'Est (sas d'entrée, ainsi qu'un bureau soumis à des surchauffes), le bâtiment est considéré par ses occupants comme confortable, stable et homogène en température.

www.lqe.fr

## À retenir

L'utilisation de la paille dans la construction a fait l'objet d'un regain d'intérêt ces dernières années. Grâce à la publication en 2012 de règles professionnelles, la construction en paille a reçu une reconnaissance technique auprès de l'administration et des assureurs. Elle est aujourd'hui considérée officiellement comme une **technique courante**.

Quelques pionniers ont construit en paille dès le milieu des années 80. Ces réalisations ont aujourd'hui plus de 30 ans. La pérennité du matériau est donc largement démontrée, puisque ces maisons sont toujours dans un bon état général et démontrent tout l'intérêt de ces techniques constructives.

La paille est un matériau disponible localement à un coût modéré. Il permet de construire des bâtiments stables en température au bon comportement hygrothermique, sismique et au risque au feu. Le matériau paille n'émet pas de COV toxiques.

Les épaisseurs des bottes de pailles mises en œuvre, classent ces éléments de bâtiments comme compatibles passifs pour peu que certaines autres prescriptions soient respectées (étanchéité à l'air, absence de pont thermique, etc...).

Le point délicat du matériau paille est sa sensibilité à l'eau. Si la paille a une bonne capacité à gérer la vapeur d'eau, elle se dégrade vite en présence d'eau liquide. La paille mouillée pourrit très vite.

Conscient de cette faiblesse, il est indispensable de protéger la paille tout au long du chantier et tout au long de la vie du bâtiment. Durant le chantier, on veillera à protéger la paille des intempéries soit grâce à des bâches tendues, soit en prévoyant un espace couvert qui permette de mettre en œuvre la paille au sec. Une autre technique de plus en plus courante, consiste à réaliser des murs préfabriqués et isolés en atelier. Le chantier gagne en efficacité puisque le montage in situ est rapide, tout en conservant la paille bien sèche. Cela nécessite par contre des moyens de levage importants.

Pour conclure, la conception d'un bâtiment pérenne en paille nécessite que la paille mise en œuvre soit bien sèche et qu'elle le reste grâce à « **un bon chapeau et de bonnes bottes** ».

Le **réseau Français de la construction paille** ([www.rfcp.fr](http://www.rfcp.fr)) fédère les acteurs de la construction paille en France. Il réalise un très important travail d'élaboration, de suivi, de formation, de diffusion et d'évolution des Règles Professionnelles de la Construction Paille (RPCP).

## Qualité de l'air intérieur (QAI)

Est considéré un air intérieur sain lorsque :

- ⇒ L'humidité relative est comprise entre 40 et 70% d'humidité relative (pour la santé et le confort des occupants) et inférieure à 70% pour la pérennité du bâtiment,
- ⇒ La concentration en CO<sub>2</sub> < 1000 ppm (au-delà on commence à observer des phénomènes de somnolence et d'inattention). Une Valeur Limite d'Exposition Professionnelle de 5000 ppm en moyenne sur 8h est communément admise en France et en Europe.

Le Centre de Ressources Qualité Environnementale du Cadre Bâti est aidé financièrement par



Fiche retours d'expériences rédigée par LQE en avril 2018

