

BÂTIMENT PASSIF

RETOURS D'EXPÉRIENCES EN LORRAINE

Les bâtiments passifs sont de plus en plus nombreux dans le paysage bâti, en Lorraine notamment. Issu d'un label d'origine allemande, la conception des bâtiments passifs conduit à une consommation d'énergie dédiée au chauffage très faible (moins de 15kWh/m².an), ainsi qu'à une consommation d'énergie globale maîtrisée (moins de 120 kWh/m².an). Cette fiche recense 4 bâtiments lorrains de niveau passif, pour des focus riches d'enseignements, de 1 à 5 ans après leur livraison.



Maison de santé à Badonviller (54)

Maître d'ouvrage :
Commune de Badonviller
Architecte : Agence Mil
Lieux Architecture
BET thermique :
ENERGICO
Livraison : mars 2013

Maison individuelle à La Forge (88)

Maître d'ouvrage :
Xavier GERMAIN
Constructeur : Gico
BET thermique : Gico
Livraison : 2016

Ecole la Marelle à Cutry (54)

Maître d'ouvrage :
Commune de Cutry
Architecte :
Husser & D'Form
BET thermique :
Terranergie
Livraison : 2012

Logements collectifs à Chantraine (88)

Maître d'ouvrage :
Vogelis
Architecte : Lausecker
BET thermique :
Fluid Concept
Livraison : 2015

Issue d'une volonté de regrouper en un même lieu les professionnels de santé de Badonviller (médecins, kinésithérapeute, infirmières...), la maison de santé a été conçue pour avoir un impact aussi limité que possible sur l'environnement extérieur, de même que sur la santé des usagers du bâtiment. Des matériaux de construction réduisant au maximum les pollutions de l'atmosphère intérieure ont ainsi été privilégiés.

Le bâtiment est certifié BE-Pos Effinergie et a été lauréat du PREBAT en 2010.

La maison de M. GERMAIN, de l'entreprise GICO, est certifiée CEPH (Certified European Passive House). Le maître d'ouvrage et constructeur s'est tourné vers ce choix de conception dans le but de démontrer que les maisons GICO étaient compatibles avec la construction passive. Après quelques ajustements et un soin particulier sur le traitement de l'étanchéité à l'air, le résultat est énergétiquement probant.

L'école primaire la Marelle à Cutry compte deux classes de maternelle au rez-de-chaussée et quatre classes de primaires au rez-de-jardin (soubassement de l'école). Lors de sa conception, la nouvelle école a fait l'objet d'une large concertation entre tous les acteurs et utilisateurs du bâtiment. Elle répond aujourd'hui de façon optimale aux besoins exprimés, le tout à un niveau passif.

Bâtiment de 18 logements en R+2, la résidence Pierre Lhuillier a été réalisée dans l'objectif de réduire les charges énergétiques, de maîtriser les coûts de construction et de permettre une accessibilité intégrale PMR.

Ce bâtiment à ossature et plancher bois est certifié Passivhaus.

Il fait l'objet d'un suivi et d'une analyse de son comportement thermique et énergétique par les étudiants de l'ENSTIB, dans le cadre d'un partenariat avec le bailleur social Vogelis.

Maison de santé à Badonviller (54)



Autres éléments techniques et financiers

Surface : 801 m² de SHON
Réglementation applicable : RT 2005
Ubat : 0,24 W/m².K
Étanchéité à l'air : n50 = 0,4 vol/h
Certification : Bepos Effinergie
Consommation prévisionnelle :
TOTAL Cep = 45,6 kWhep/m².an, dont:

- Chauffage (PAC sur sonde) : 7,6 kWhep/m².an à 19°C
- ECS (électrique décentralisée) : 9,7 kWhep/m².an
- Ventilation : 6,9 kWhep/m².an
- Eclairage : 18,4 kWhep/m².an
- Auxiliaires : 3,1 kWhep/m².an

Production photovoltaïque : 50,2 kWhep/m².an
Consommation réelle (1ère année d'exploitation) : TOTAL Cep = 69,5 kWhep/m².an, dont :

- Chauffage (PAC sur sonde) : 21,7 kWhep/m².an à 21°C
- ECS (électrique décentralisé) : 5,2 kWhep/m².an
- Ventilation : 36,3 kWhep/m².an
- Eclairage : 2,3 kWhep/m².an
- Auxiliaires : 4 kWhep/m².an

Production photovoltaïque : 73,5 kWhep/m².an
Vente d'électricité photovoltaïque en 2016 : 5 807 €
Coût d'opération : 1 734 k€ HT soit 2 165 €/m² HT
Facture prévisionnelle : 1 512 €/an
Facture réelle 2016 : 4 920 €

L'opération

Type de projet : Construction neuve
Type de bâtiment : Immeuble de bureaux
Année de livraison : 2013
Orientation principale des surfaces vitrées : Sud et Ouest

Enveloppe

Structure : Ossature bois

Murs : isolation des murs extérieurs par double couche de laine de bois (26cm) et ouate de cellulose (26 cm), pour un U = 0.113 W/(m².K) ; mur intérieur en pisé (terre crue)

Plancher bas sur terre plein : Isolation continue de la dalle par 10 cm de polystyrène expansé, pour un U = 0.171 W/(m².K)

Toiture végétalisée avec isolation par 30 cm de ouate de cellulose et 10 cm de polyuréthane, pour un U = 0.117 W/(m².K)

Menuiseries : Triple vitrage bois

Protections solaires : Stores textiles en façade sud et brise-soleil verticaux orientables en façade ouest

Systèmes

Chauffage : Pompe à chaleur géothermique et poutre chaude

ECS : Chauffe-eau électrique individuel

Rafraîchissement : Pompe à chaleur géothermique et poutre froide

Ventilation : Double flux avec échangeur thermique

Energies renouvelables (91%) :

- Solaire photovoltaïque

- PAC géothermique sur sondes

Bâtiment intelligent : Mise en place d'une GTB contrôlant l'ensemble des équipements énergétiques, des protections solaires, du contrôle de la qualité de l'air intérieur et de l'éclairage du bâtiment, avec en plus, la mise en place du cahier des charges de l'instrumentation .

Retour d'expérience

Le confort intérieur hivernal est bon, mis à part dans deux bureaux situés en bout de réseau (moins bien irrigués et surtout à proximité immédiate de l'entrée). Le confort estival est maîtrisé. L'an dernier, lorsque des températures de 35°C étaient enregistrées à l'extérieur, la température maximale intérieure n'a pas dépassé 27°. Globalement et durant les deux premières années de suivi, le bâtiment a consommé plus que la consommation annoncée dans l'étude réglementaire. Cependant, la production d'électricité des panneaux photovoltaïques a été aussi plus importante. Ainsi, le bâtiment produit au global bien plus que ce qu'il ne consomme.

Ce surplus de consommation est dû à un dépassement sur les postes de chauffage (température de consigne plus élevée et dysfonctionnement de la PAC), de ventilation (dysfonctionnement de la régulation de la ventilation double flux) et des auxiliaires associés. Par contre, pour les postes d'ECS et d'éclairage, les consommations mesurées sont plus faibles que pour les consommations issues de l'étude réglementaire. Entre les deux années de suivi, la consommation mesurée de ventilation et la consommation de chauffage ont diminué, bien que l'hiver de la 2ème année ait été plus rigoureux que celui de la 1ère année. Aux vues des différentes parts de consommation, le poste le plus consommateur est de loin la ventilation ; la part dédiée au chauffage reste également importante. Il existe donc un écart entre la modélisation issue de l'étude thermique réglementaire et la réalité. Le bâtiment étant lauréat du PREBAT 2010, le suivi du CEREMA permet d'optimiser année après année le fonctionnement de la maison de santé, ce qui permet de réduire petit à petit les consommations d'énergie, tout en augmentant le confort.

Maison individuelle à La Forge (88)



Autres éléments techniques et financiers

Surface : 169 m² de SHON

Certification : aucune

Consommations prévisionnelles (par PHPP) :

- Chauffage (poêle bois) : 11 kWh/m².an
- Energie primaire non renouvelable : 89 kWh/m².an

Consommations réelles :

- Chauffage (poêle bois) : 35 kWh/m².an
- Energie primaire non renouvelable : 39 kWh/m².an

Étanchéité à l'air : n50 = 0,3 vol/h

Coût d'opération : 340 k€ HT, soit 2 000 €/m² HT

Facture prévisionnelle :

- Chauffage bois : <100 €/an
- Electricité : 896 €/an

Facture réelle extrapolée depuis les premiers relevés de consommations (année partielle) :

- Chauffage bois : 325 €
- Electricité : 415 €

L'opération

Type de projet : Construction neuve

Type de bâtiment : Logement individuel

Année de livraison : 2016

Orientation principale des surfaces vitrées : Sud

Enveloppe

Structure : Ossature bois

Murs extérieurs : Isolation par laine de verre (24 cm) et 16 cm de laine de bois, pour un U = 0,093 W/(m².K)

Plancher bas sur terre plein : Isolation continue de la dalle par 20,6 cm de mousse polyuréthane, pour un U = 0,112 W/(m².K)

Toiture 1 pan : Isolation par laine de verre entre chevrons (14 cm) et 32 cm de laine de bois, pour un U = 0,081 W/(m².K)

Toiture 2 pans : Isolation par laine de roche en vrac entre fermettes (122 cm) et 37 cm de laine de roche + 4 cm de laine de roche entre poutres au vent, pour un U = 0,075 W/(m².K)

Menuiseries : Triple vitrage 4-18-4-18-4 bois/aluminium à dormant caché: Ug = 0,53 W/m².K et Uw = 0,65W/m².K

Protections solaires : volets roulants extérieurs

Systèmes

Chauffage : Poêle à bois

ECS : Chauffe-eau thermodynamique (entrée d'air dans garage et rejet en toiture)

Rafrâichissement : Sans objet

Ventilation : Double flux avec échangeur thermique Zehnder Novus 300, rendement NF 98 %.

Retour d'expérience

Dans les faits, la consommation électrique tous usages confondus, entre novembre 2016 (date d'entrée dans les lieux) et février 2017 (date de visite), pour un chauffage à 20°C, a été de 867 kWh. En extrapolant à une année entière, cela représente environ 2 601 kWh soit 39 kWh/m² (électricité). La consommation de bois sera faible (< 5 stères/an), soit environ 6000 kWh et 35 kWh/m².an (consommation supérieure au prévisionnel du fait du choix d'un poêle à bois esthétique, mais trop puissant et fonctionnant de fait avec des performances dégradées). Le bilan total toutes consommations énergétiques confondues est de 74 kWh/m².

Au total, on peut estimer que la consommation annuelle sera conforme au prévision du logiciel PHPP.

Le confort intérieur est bon. Il y a très peu d'écart de température entre le RDC et l'étage. La température moyenne relevée cet hiver a été de 18°C. En été 2016, après mise en œuvre de la couverture et de l'isolation, la température, volets fermés, restait globalement à 21°C. Celle-ci est montée ponctuellement à 26°C pour une température extérieure de 35°C.

Groupe scolaire à Cutry (54)



Autres éléments techniques et financiers

Surface : 1210 m² de SHON
Réglementation applicable : RT 2012
Certification : aucune

Consommations prévisionnelles RT 2012 :

TOTAL Cep = 48 kWhep/m².an, dont :

- Chauffage (chaudière granulés) : 13 kWhep/m².an à 19°C
- ECS : 16 kWhep/m².an
- Ventilation : 13 kWhep/m².an
- Eclairage : 5 kWhep/m².an
- Auxiliaires : 1 kWhep/m².an

Outre le calcul réglementaire, un calcul PHPP a été mené et une simulation thermique dynamique réalisée. Voici les résultats des besoins de chauffage estimés par :

- le **PHPP** à 9,4 kWhep/m².an
- la **STD** à 10 kWhep/m².an
- la **RT 2012** à 13 kWhep/m².an

Consommations réelles :

- Chauffage + ECS : 15,1 kWhep/m².an à 21°C
- Électricité (tous usages) : 40,8 kWhep/m².an

Étanchéité à l'air : n50 = 0,42 vol/h

Coût d'opération : 1 810 k€HT, soit 1 495€ /m² HT

Facture prévisionnelle :

- Chauffage + ECS : 1 707 €/an
- Electricité : 1 115 €/an
- TOTAL : 2 822 € soit 2,33 €/m².an

Facture réelle :

- Chauffage + ECS : 1 079 € (moyenne 2015-2016)
- Total électricité : 2 868 € (moyenne 2015-2016)
- TOTAL : 3 947 € soit 3,26 €/m².an

L'opération

Type de projet : Construction neuve
Type de bâtiment : Bâtiment scolaire
Année de construction : 2012
Année de livraison : 2012
Orientation principale des surfaces vitrées : Sud

Enveloppe

Structure : Béton

Murs extérieurs : Isolation extérieure par double couche de polystyrène extrudé(2 x100 mm), pour un U = 0,153 W/m².K

Plancher bas sur terre plein : Isolation continue de la dalle par 50 cm de mousse de verre Technopor, pour un U = 0.144 W/(m².K)

Toiture zinc : Isolation par 32 cm de ouate de cellulose (26+6) et 8 cm de laine de bois, pour un U = 0.103 W/(m².K)

Menuiseries : Bois/aluminium triple vitrage (Uw=0,85 W/m².K et Ug = 0,56 W/m².K)

Protections solaires : Casquettes intégrées au bâti (caissons colorés)

Systemes

Chauffage :

Chaudière bois à granulés de 35 kW, installée dans le volume étanche à l'air avec arrivée d'air de combustion étanche, KWB Easyfire 8.

ECS : Ballon 150 litres sur chaudière à granulés.

Ventilation : Double flux avec échangeur thermique

Retour d'expérience

L'écart entre les calculs théoriques et la réalité sont, en valeur absolue, relativement faibles.

Le calcul PHPP et la STD donnent a priori les valeurs les plus fiables. Quant au calcul réglementaire, c'est celui qui présente le plus d'écart avec la réalité.

Compte tenue de l'excellent confort de l'école, cette dernière est **nettement plus utilisée hors périodes scolaires que prévu initialement.**

Cela explique d'une part, la hausse des consommations électriques et en contrepartie, la baisse des consommations de chauffage. Les retours des usagers sont bons concernant le confort intérieur.

On peut citer dans ce sens l'incident survenu lors de l'hiver 2016-2017, en pleine période froide : la chaudière est tombée en panne un dimanche. C'est le personnel de la cantine, qui s'est rendu compte que quelque chose ne fonctionnait plus le vendredi suivant, du fait qu'il n'y avait plus d'eau chaude. Ainsi, le bâtiment a fonctionné durant 5 jours, sans chaudière, en plein hiver, sans que personne ne se rende compte de rien.

Résidence Pierre Lhuilier à Chantraine (88)



Autres éléments techniques et financiers

Surface : 1 485 m² de SHON
Réglementation applicable : RT 2012
Bbio : 19,6 et 22,5
Ubat 0,24 W/m².K
Étanchéité à l'air : n50 = 0,3 vol/h et
Q4 = 0.11 m³/h/m²
Certification : Passivhaus

Consommation RT 2012 :

TOTAL Cep = 59,1 kWhep/ m².an, dont:

- Chauffage : 8 kWhep/m².an à 19°C
- ECS : 30,3 kWhep/m².an
- Eclairage : 4,4 kWhep/m².an
- Auxiliaires : 16,4 kWhep/m².an

Besoins calculé par le PHPP :

- 13 kWh/m².an pour le chauffage
- TOTAL toutes consommations en énergie primaire : 78 kWhep/m².an (chauffage, ECS, électricité spécifique et auxiliaires)

Modélisation STD :

Chauffage : 9,5 kWhep/m².an à 21°C

Consommations réelles :

TOTAL conso. = 41,9 kWhep/ m².an, dont:

- Chauffage : 14,7 kWhep/m².an à 22°C
- ECS : 17 kWhep/m².an
- Eclairage : 5,8 kWhep/m².an
- Auxiliaires : 4,4 kWhep/m².an

Coût d'opération : 2 444 k€ HT, soit 1 654 € HT/m²

Facture prévisionnelle de chaleur bois

(chauffage + ECS) : 3 412 € /an
soit 2,29 €/m².an

Facture réelle de chaleur bois (chauffage + ECS) : 2 716 € /an soit 1,83 €/m².an

L'opération

Type de projet : Construction neuve
Type de bâtiment : Logements collectifs
Année de construction : 2013
Année de livraison : 2015
Orientation principale des surfaces vitrées : Est-Ouest

Enveloppe

Structure : Ossature bois

Murs extérieurs : Isolation laine de bois 60 mm + laine de verre 20 cm + laine de verre 10 cm, pour un U = 0,111 W/(m².K)

Plancher bas sur terre plein : Isolation continue de la dalle par 20 cm de mousse de polyuréthane, pour un U = 0.106 W/(m².K)

Toiture zinc : Isolation par 40 cm de laine de verre (32+8cm), pour un U = 0.088 W/(m².K)

Menuiseries Bois/aluminium triple vitrage (Uw=0,93 W/m².K
Et Ug = 0,6 W/m².K)

Protections solaires : BSO brise soleil à lames orientables

Systèmes

Chauffage : Chaudière bois à granulés de 32 kW + ballon d'hydro-accumulation de 3000 litres, maintenus à haute température. L'ensemble est raccordé à un réseau primaire de distribution de chaleur, qui assure en temps normal le chauffage des locaux à basse température et trois fois par jour (matin, midi et soir), le rechargement des ballons individuels de chaque appartement par train de chaleur à haute température.

ECS : Ballon individuel branché sur circuit primaire de chaleur

Ventilation : Double flux individuelles avec échangeurs thermiques

Retour d'expérience

La production d'ECS par trains de chaleur sur le réseau de chauffage permet l'installation d'un unique circuit primaire de « chaleur ». Celui-ci fonctionne principalement à basse température, ce qui limite drastiquement les pertes de distribution. Le modèle STD « Pléiades », affiné par les étudiants de l'ENS-TIB, reproduit fidèlement le comportement thermique et énergétique réel du bâtiment sur la période de chauffe. Le suivi énergétique mené par l'ENSTIB a permis de correctement paramétrer les trains de chaleur destinés à la production d'ECS. Un train supplémentaire a été ajouté dans la programmation, soit trois trains au total, afin de garantir un confort optimal pour l'ensemble des résidents.

La modélisation STD est très fiable lorsque les hypothèses de calculs reflètent fidèlement les usages réels. Le prochain travail en partenariat avec l'ENSTIB consistera à trouver les meilleures préconisations pour limiter la surchauffe estivale. Sans être excessive, cette dernière est pour l'instant le point faible du bâtiment.

Un « mode d'emploi » a par ailleurs été distribué aux résidents. Il a fallu un temps d'adaptation aux nouveaux locataires pour bien comprendre et s'approprier les particularités de ce bâtiment.

À retenir

Lors de la conception, un **carnet de détails** précis et complet de tous les points « thermiques » délicats (jonctions, traversées, etc.) devra être réalisé. Il est impératif d'anticiper, en concertation avec tous les corps de métiers, les particularités et les points délicats, ainsi que les limites de prestation de chacun. Le suivi de chantier doit être minutieux.

Un des postulats de base de la conception d'un bâtiment passif, est que le système de ventilation doit être suffisant pour assurer la **distribution de chaleur**. Il en découle les règles de certification suivantes :

- une consommation de chauffage inférieure à 15 kWh/m².an,
- une puissance spécifique inférieure à 10W/m²,
- une consommation tous usages confondus inférieure à 120 kWh/m².an.

Cela suppose un niveau d'isolation des parois opaques proche de $R = 10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, une ventilation mécanique double flux, une étanchéité à l'air poussée ($n_{50} < 0,6 \text{ vol/h}$) et l'usage d'éléments certifiés, tels que les menuiseries ou les modules de ventilation.

L'outil de certification et de conception nécessaire pour un bâtiment passif est le **PHPP**.

Le PHPP, outil empirique basé sur des retours d'expériences prend en compte dans ses algorithmes les particularités des bâtiments passifs. Le calcul des consommations prévisionnelles réalisé avec le PHPP est généralement proche de la réalité. L'outil PHPP est également un bon outil prédictif du confort obtenu. Il rejoint en cela le calcul par simulation thermique dynamique (STD) tout en étant plus simple d'emploi et plus rapide (tableur).

La **STD** peut être très fidèle à la réalité pour peu que les paramètres et les hypothèses de calculs soient également conformes aux usages réels.

Le calcul réglementaire **RT 2012** se base lui sur des hypothèses et des paramètres « standards », qui peuvent être différents de la réalité.

Le **coût d'investissement** d'un bâtiment passif n'est pas nécessairement élevé. Un des bâtiments présentés dans cette fiche a un coût d'opération de 1 495 € HT/m².

Les coûts liés à la consommation énergétique sont très faibles (< 3,5 €/m².an pour l'école de Cutry).

Un point de vigilance contraignant concerne **l'étanchéité à l'air**, qui doit être inférieure à 0,6 vol/h sous 50 Pa de différence de pression ($n_{50} < 0,6 \text{ vol/h}$). La bonne réalisation de l'étanchéité à l'air concerne tous les corps de métiers, soit pour la réaliser, soit pour ne pas la dégrader.

Une attention particulière devra être portée au **confort estival**. Comme les bâtiments passifs sont généralement très réactifs aux apports d'énergie, il est nécessaire de :

- bloquer le rayonnement solaire estival avant qu'il ne pénètre dans les locaux (stores, BSO, casquettes, etc.),
- ventiler à bon escient pour profiter des périodes les plus fraîches,
- correctement régler les by-pass des ventilations double flux afin de ne pas réchauffer l'air frais du dehors avant de le souffler à l'intérieur.
- limiter les apports internes liés aux appareils électriques (électroménager, informatique, etc.).

La **ventilation double flux** est le cœur du système énergétique d'un bâtiment passif. Son entretien doit être soigné : nettoyage régulier des bouches et remplacement des filtres, afin de garantir la pérennité des performances du système.

A noter enfin que le matériaux pisé est particulièrement adapté dans un bâtiment de type passif. Les murs en pisé de la maison de santé de Badonviller apporte de l'inertie au bâtiment, contribue à la gestion de l'humidité et à l'isolation phonique des cabinets médicaux.

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

Fiche retours d'expériences rédigée
par LQE en juillet 2017

AVEC LE SOUTIEN DE
climaxion
anticiper • économiser • valoriser



LQE
POUR LA CONSTRUCTION
www.lqe.fr