

## École élémentaire à énergie positive de Burnhaupt-le-Haut



L'appel à projets 2010 « bâtiments économes en énergie » de la Région Alsace et de l'ADEME accompagne financièrement et techniquement les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre volontaires dans une démarche de réflexion globale pour réduire l'empreinte énergétique et environnementale des bâtiments.

Un travail en étroite relation entre architecte et thermicien a été nécessaire afin de trouver une forme architecturale esthétique et thermiquement efficiente. C'est grâce à l'important développement de vitrage orienté Sud que la performance thermique de ce bâtiment a été atteinte. D'importants débords de toitures évitent le risque de surchauffe en été et laissent pénétrer directement le rayonnement solaire en hiver.

Plus qu'un enjeu énergétique, le concept du passif nécessite un travail accru à la conception pour obtenir des projets performants à coût maîtrisé.

### → Les acteurs du projet

**Maître d'ouvrage :** Commune de Burnhaupt-le-Haut  
**Architecture :** Ateliers d-Form, Mathieu Husser (associé)  
**BET :** Terranergie

### → Composition du bâtiment

• 1 120 m<sup>2</sup> SHON<sub>RT</sub>  
• 5 salles de classe élémentaires, 1 salle informatique et 1 salle de pluriactivité.

### → Coût

**Construction (hors VRD) :** 1 733 300 € HT, soit 1 282€ HT/m<sup>2</sup> SDP  
**Investissement Panneaux PV :** 117 100 € HT, soit 87 € HT/m<sup>2</sup>  
**Charges estimatives (chauffage) :** 1 € TTC/m<sup>2</sup>/an

### → Consommation et production d'énergie

**Cinq postes réglementaires RT2005 :**  
371 kWh ep/m<sup>2</sup> SHON<sub>RT.an</sub>

**Chauffage :**  
16.5 kWh ep/m<sup>2</sup>. SHON<sub>RT.an</sub>

**Production d'énergie renouvelable**  
Estimation de l'étude : 33 000 kWh, production 2013 : 36 717 kWh.

L'habitat passif est une notion désignant un bâtiment dont les besoins de chauffage sont très bas et la consommation énergétique globale faible. Il repose sur un concept global de construction à basse consommation d'énergie : architecture bioclimatique, isolation et étanchéité à l'air très performante, contrôle de la ventilation, traitement des ponts thermiques et limitation de la consommation des appareils ménagers.

## Description de la qualité de l'enveloppe

L'un des points clé de la réalisation d'une enveloppe de qualité repose sur **l'association et la coopération des différents acteurs du projet**.

Lors de la phase de conception, les échanges entre l'architecte et le bureau d'études thermiques permettent d'élaborer une enveloppe performante à coût maîtrisé grâce à un ensemble de **choix techniques validés par les simulations thermiques dynamiques**.

Lors de la phase de construction, **les performances énergétiques finales sont directement dépendantes de la bonne gestion des interfaces entre les corps de métier**, notamment pour éviter les défauts d'étanchéité à l'air et les ponts thermiques. La maîtrise d'œuvre doit garantir une **forte implication des entreprises** et une bonne organisation entre elles tout au long du chantier. En effet, les entreprises intervenant sur le bâti doivent respecter une mise en œuvre précise et rigoureuse des matériaux de construction.

### → ISOLATION DU TOIT ET DES MURS EXTÉRIEURS

Les parois extérieures du bâti sont composées **d'ossature bois fortement isolée** (murs 46 cm, toiture 56 cm d'isolant). Le bardage extérieur est en terre cuite.

#### Mise en œuvre

Pour ce projet, le mandataire charpente a assuré :

- la préfabrication en atelier de l'ossature bois,
- la mise en œuvre de l'enveloppe mur par mur sur le chantier, représentant 4 jours.
- l'isolation (insufflation de la ouate de cellulose et pose de la laine de bois), la pose du frein vapeur et du parepluie sur le chantier.

#### Focus

La ouate de cellulose et la laine de bois sont des matériaux biosourcés obtenus réciproquement à partir de papiers recyclés et de fibres végétales, auxquels sont ajoutés des additifs pour assurer la résistance au feu et aux moisissures du produit.

### → MAÎTRISE DES POINTS SINGULIERS

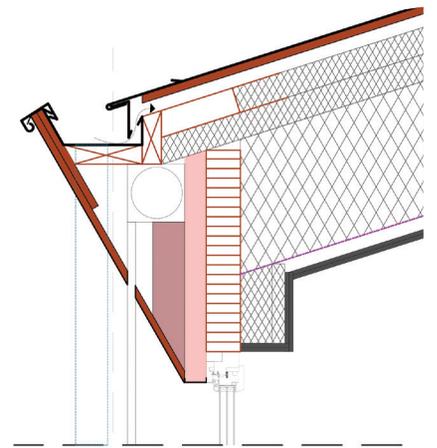
Les solutions pour traiter les ponts thermiques sont étudiées dès le démarrage de la phase de conception. Sur ce projet, plusieurs aspects généralisables amènent à une maîtrise des points singuliers.

- Compacité du bâtiment.
- Liaison au sol sur radier isolé par l'extérieur.

#### Performances techniques

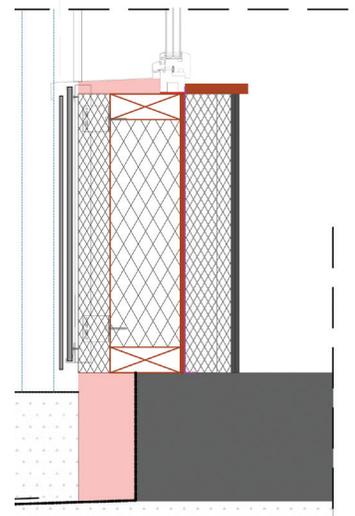
Toiture e = 61 cm,  
U = 0.08 W/(m².K) :

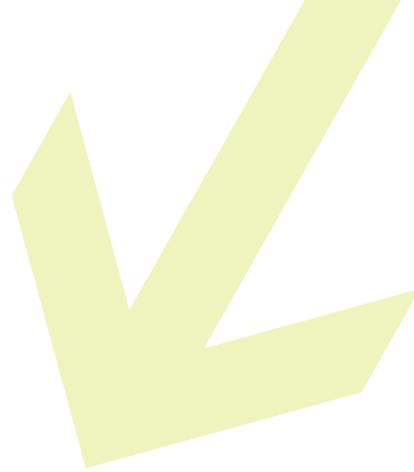
- frein vapeur,
- 5 cm de panneau de bois coté intérieur,
- 40 cm de poutre en I + ouate de cellulose,
- 16 cm de laine de bois rigide coté extérieur,
- pareluie + lame d'air + zinc.



Murs extérieurs e = 50 cm,  
U = 0.09 W/(m².K) :

- frein vapeur,
- 2.6 cm de plaque de plâtre + contre latte,
- 14 cm de laine de bois,
- 1.5 cm de panneau de bois OSB,
- 22 cm d'ossature bois + ouate de cellulose,
- 0 cm de laine de bois rigide coté extérieur,
- pareluie + contre latte + terre cuite.





## → ISOLATION DU SOL

Le bâtiment ne repose pas sur des fondations classiques mais sur un radier en béton de 40 cm coulé sur un remblai isolant en mousse de verre cellulaire de 60 cm. Ce procédé d'isolation permet de **supprimer les déperditions par le sol** et d'obtenir une enveloppe isolante continue sur l'ensemble de la périphérie du bâtiment.

## Mise en œuvre

Le matériau isolant a été directement déversé sur le sol terrassé et nivelé. Le compactage de l'isolant est réalisé à la plaque vibrante. Un géotextile a été déposé entre l'isolant et le radier.

## Performances techniques

**Plancher bas e = 100 cm, U = 0.12 W/(m<sup>2</sup>.K) :**

- 60 cm de granulats de verre soufflé (mousse de verre recyclée),
- 40 cm de béton,
- géotextile.

## → ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

L'étanchéité à l'air performante est obtenue grâce à une attention particulière sur les points suivants.

En phase conception :

- Maîtrise de la continuité du frein vapeur par l'étude spécifique des points singuliers,

En phase de construction :

- Etanchéification de chaque traversée des gaines techniques, de la distribution électrique et des réseaux,
- Réduction au minimum des percements de l'enveloppe étanche.

## Résultat des tests

Valeur n50 = 0,38 Vol/h. Référence du label Passivhaus : n50 < 0.6 Vol/h.

## → ISOLATION THERMIQUE DES PORTES ET FENÊTRES

Les fenêtres en bois-aluminium sont de type triple vitrage et quadruple vitrage pour le toit. Les dimensions variées des fenêtres donnent un coefficient de transfert thermique compris entre  $0.68 \leq U_w \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  (vitrage et châssis).

## → INERTIE ET APPORTS NATURELS

L'inertie du bâtiment est renforcée grâce à la forte masse de la dalle basse en béton et des murs de refend situés au cœur de l'enveloppe chauffée. Une fois portés à température ambiante, ces ouvrages maintiendront un niveau de chaleur continu dans le bâtiment et réduiront l'amplitude des variations thermiques.

Les apports naturels de lumière et de chaleur sont optimisés par une enveloppe faiblement vitrée côté nord mais généreusement côté sud.



# L'optimisation des équipements

La conception d'une enveloppe extérieure très performante est couplée avec des équipements (chauffage, eau chaude sanitaire et ventilation mécanique) optimisés dans leurs choix et leurs dimensionnements. Elle tient compte des particularités techniques et naturelles (déperditions, orientation du bâtiment, apports solaires passif) du projet.

## → CHAUFFAGE SUR AIR

L'innovation du projet consiste à chauffer intégralement le bâtiment par un système de chauffage sur l'air avec une modulation des débits de ventilation en fonction de la qualité de l'air par l'intermédiaire de sonde CO<sub>2</sub>.

La production de chaleur est assurée par une chaudière à granulés de bois de 22 kW équipée d'une arrivée d'air étanche. Un ballon tampon de 400 L permet à la chaudière de fonctionner à charge partielle pendant un temps suffisamment long pour brûler l'ensemble des granulés acheminés dans le foyer. La chaudière est associée à la ventilation double flux par l'intermédiaire de batteries chaudes hydrauliques assurant l'émission de la chaleur dans les salles et les circulations.

## Mise en œuvre

Le besoin de chaleur d'un bâtiment passif est tellement faible que les pertes thermiques dues à la distribution de chaleur peuvent représenter une part importante de la production. Les rendements de distribution ont été maximisés par :

- une diminution du linéaire de distribution,
- un cheminement unique (en faux plafond du RDC) pour desservir les chauffages des deux niveaux,
- une isolation maximale des conduites.

## Performances techniques

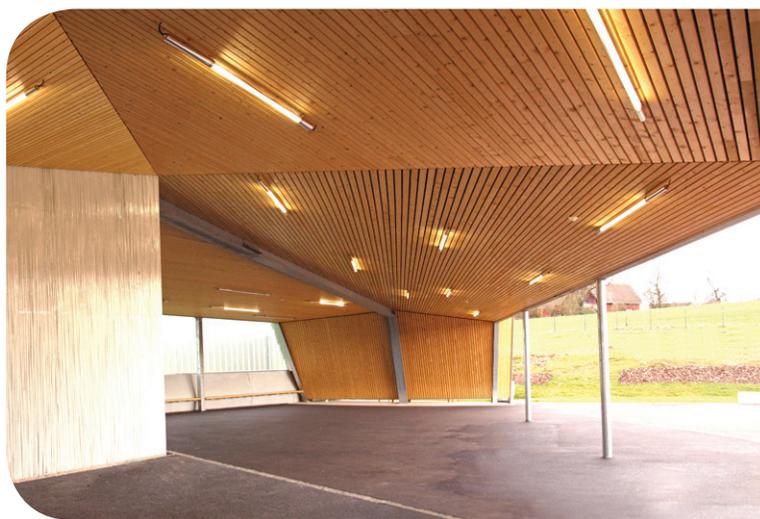
- Chaudière à granulés de bois de 22 kW.
- Rendement de la production de 95 %.
- Rendement du stockage de la distribution de 100 %.
- Arrivée d'air étanche.
- Silo situé dans le volume chauffé.
- Dégivrage assuré par une batterie hydraulique.

## → ECS

La production d'ECS est prévue uniquement pour une partie du bâtiment. Ces besoins étant réduits, la production est assurée par un **chauffe-eau électrique à accumulation de 10 L**. Le reste de la production est apporté par une eau tempérée par l'intermédiaire d'une **conduite d'eau potable enterrée à une profondeur de 2 m**.

**La phase de conception a apporté :**

- le regroupement des locaux ayant un besoins ECS,
- la suppression de bouclages,
- l'installation de réducteur de débits afin de limiter la consommation d'eau.



## → ÉCLAIRAGE

L'éclairage du bâtiment est constitué de tubes de néons T5 avec ballast électronique gradable (réglage de l'intensité lumineuse en fonction de l'éclairage naturel). Des détecteurs de présence sont installés dans les sanitaires et locaux annexes.



## → VENTILATION

Le renouvellement d'air de l'ensemble du groupe scolaire est assuré par une ventilation mécanique **double flux haute performance** permettant la récupération de la chaleur de l'air extrait. Cette centrale de ventilation est entièrement programmable par horloge hebdomadaire (permettant d'avoir des débits réduits les week end et de couper la ventilation la nuit).

Des sondes thermiques couplées à des sondes CO<sub>2</sub> permettent également de réguler les débits d'air en fonction de l'occupation des salles de classe et des apports passifs.

### Focus

Une enveloppe étanche à l'air requiert la continuité du renouvellement d'air pour garantir une bonne qualité de l'air intérieur. Un système de ventilation performant est composé de deux ensembles.

### La ventilation mécanique contrôlée

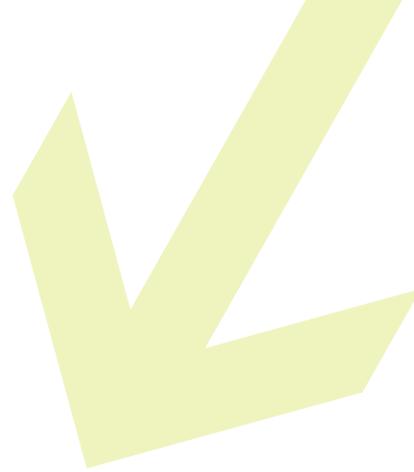
La VMC double flux avec récupération d'énergie diminue de 70 à 90 % les déperditions de chaleur dues au renouvellement d'air. Cette performance permet une économie d'énergie de 20 à 30%. L'entretien régulier de la VMC permettra d'assurer les performances d'origine et une bonne qualité d'air. Les filtres doivent être changés une à trois fois par an selon l'environnement extérieur, la saison, la classe du filtre.

### Le réseau aéraulique

La distribution et l'extraction de l'air sont réalisées par un système (gainés, collecteurs, bouches...) très étanche. Selon le même principe que pour la perméabilité à l'air des bâtiments, la perméabilité à l'air des réseaux aérauliques permet de réduire fortement les fuites du réseau.

### Performances techniques

- Rendement de l'échangeur de chaleur : **90%**.
- Consommation électrique de **0.45 Wh/m<sup>3</sup>**.
- Niveau d'étanchéité du circuit aéraulique : pertes < 5%.



## → CONFORT D'ÉTÉ

Le confort d'été est un paramètre thermique dont il faut tenir compte dans les bâtiments à isolation et étanchéité performantes. Si la phase de conception apporte des solutions au confort d'été, une programmation du fonctionnement hebdomadaire de la ventilation mécanique est à adapter durant les congés d'été pour protéger le bâtiment de la surchauffe.

### La phase de conception a apporté :

- la maîtrise des apports et usages interne,
- une protection contre l'ensoleillement direct, brise soleil,
- une ventilation performante,
- une bonne isolation thermique du bâtiment.

## → PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

Le toit de l'école est composé de 156 modules représentant 280 m<sup>2</sup>, soit une production annuelle prévue de 33 000kWh. La pente de la toiture est optimisée afin de garantir un rendement optimal tout au long de l'année.

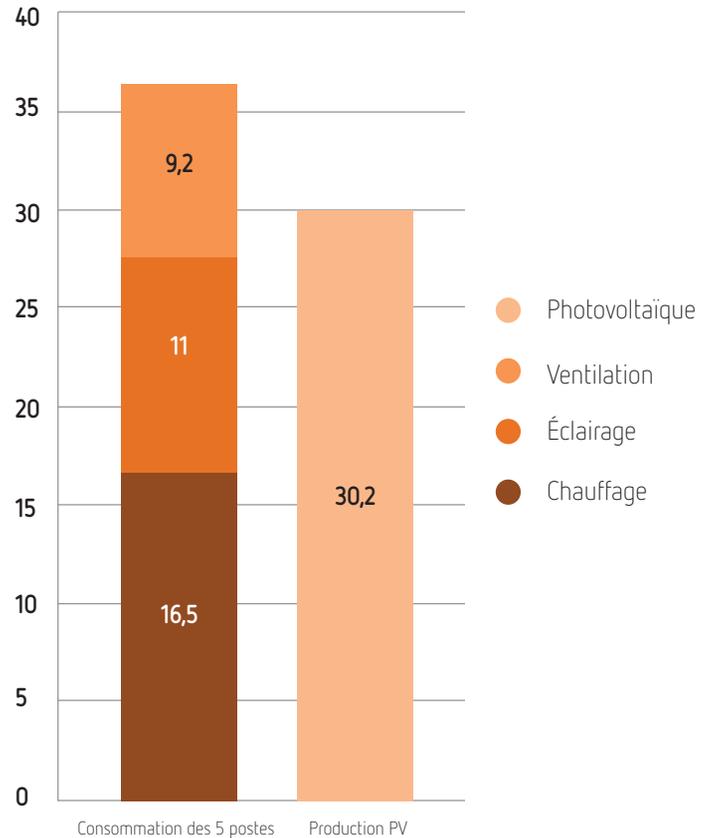


# Analyse énergétique & économique

## → ESTIMATION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

### Projet de Burnhaupt-Le-Haut – Groupe scolaire

- Travaux : construction - Labellisé PassivHaus
- Estimation des 5 postes = 37,1 kWh ep/m<sup>2</sup> SHONRT.an
- Zone : H1b



Décomposition de la consommation d'énergie primaire (Cep -RT2005) comparée à la production photovoltaïque estimée. Valeurs exprimées en kWh ep/m<sup>2</sup> SHONRT.an.

## → MAÎTRISE DES CHARGES

Les faibles besoins en énergie ainsi que la prise en charge de l'entretien des équipements par les services de la mairie permettront de maîtriser les charges. De plus, la revente de l'énergie produite par les panneaux photovoltaïques permettra d'obtenir un **bilan financier positif**.

## → PLAN DE FINANCEMENT DE L'OPÉRATION

Coût des travaux (hors VRD) : 1 733 300 € HT, **soit 1 282 € HT/m<sup>2</sup> de SDP**

Coût de la maîtrise d'œuvre : 205 500 € HT

- Aide ADEME – Région Alsace : 124 000 €, soit 92 € HT/m<sup>2</sup> de SDP
- Montage global de l'opération : 2 022 900 € HT

## Équipes du projet

- Maître d'ouvrage : **Commune de Burnhaupt-le-haut**  
68520 BURNHAUPT-LE-HAUT - tregis@estvideo.fr
- Architecte : **Ateliers d-Form – Thomas Weulersse**  
68230 Soultzbach les bains - contact@atelier-d-form.com
- Architecte associé : **Mathieu Husser**  
67000 Strasbourg

- B.E.T Thermique, Fluides, Eco-construction: **TERRANERGIE**  
88580 SAULCY SUR MEURTHE - terranergie@aliceadsl.fr



## “La construction d’une nouvelle école élémentaire s’est très vite imposée”

### → Le mot du maître d’ouvrage

«Dans le cadre des réflexions de mise en accessibilité de la mairie / école, la construction d’une nouvelle école élémentaire s’est très vite imposée à l’équipe municipale en place. Son emplacement à proximité de l’école maternelle, de l’accueil périscolaire, du plateau sportif et du stade, dans un cadre de verdure idéal, a fait l’unanimité. La municipalité, sensible aux enjeux énergétiques et à l’utilisation de matériaux de construction innovants, a retenu le projet présenté par l’architecte Thomas Weulersse des Ateliers d-Form de Turckheim. Orienter le bâtiment plein sud pour récupérer le maximum de chaleur grâce au soleil, installer une chaufferie à granulés bois, choisir une dalle béton sous laquelle a été posé un lit de mousse de verre, isoler à l’aide de produits à base de ouate de cellulose et de laine de bois sont autant d’arguments qui nous ont séduits. Après deux années d’exploitation du bâtiment, nous ne pouvons que nous féliciter pour la pertinence de notre choix, tant au niveau des faibles coûts énergétiques qu’au niveau architectural.»

Véronique SENGLER, Maire  
Commune de Burnhaupt-Le-Haut

## “L’architecture donne à voir et à vivre”

### → Le mot de l’architecte

« Le projet prévoit la construction de plain-pied d’une école de cinq classes destinée à accueillir les élèves du CP au CM2. L’atelier d-Form mène depuis ses débuts une recherche architecturale dans laquelle chaque nouveau projet est une opportunité de pousser un peu plus loin l’expérimentation. Celle-ci se place à la convergence de plusieurs préoccupations récurrentes : la mise en œuvre de principes constructifs et techniques innovants, l’utilisation de matériaux sains, la basse consommation énergétique (allant de paire avec la maîtrise de l’isolation, de l’orientation et de l’éclairage), la morphogenèse des espaces, justifiée et contextualisée, c’est-à-dire l’intégration des spécificités du projet comme éléments déterminants de sa forme.

Notre attention est d’autant plus aiguisée dans le cadre de la construction d’une nouvelle école, du fait qu’au-delà d’accueillir des enfants sous son toit, l’architecture prend, en elle-même, une pleine dimension pédagogique. Elle est support, référence, elle donne à voir et à vivre, elle accompagne la construction de l’enfant, son mouvement, son développement dans l’espace, son rapport à l’environnement, son rapport à l’autre.»

Thomas Weulersse  
Architecte d.p.l.g., gérant

### → Le mot du thermicien

**Enjeux :** Faire une petite école passive de plain-pied (optimiser la forme), chauffer sur l’air de manière optimale (compromis entre réduction de débit et puissance nécessaire).

**Point clef de la réalisation :** La continuité thermique et d’étanchéité à l’air de l’enveloppe, la qualité de mise en œuvre des circuits aérauliques.

**Enseignement du projet :** La régulation CO<sub>2</sub> par classe pourrait être remplacée par une régulation générale horaire dans le cas des écoles primaires (à occupation très régulière des salles de classe).

Vincent PIERRE,  
Thermicien, Terranergie

# Contacts et documents utiles pour monter votre projet

## Maîtres d'ouvrages :

contactez les accompagnateurs de projets energivie.info :

- Marie-Dominique PARANIER (Région Alsace) - Agence de Saverne  
[marie-dominique.paranier@region-alsace.eu](mailto:marie-dominique.paranier@region-alsace.eu) - 03 88 03 40 82
- Sébastien LAUB (Région Alsace) - Agence de Strasbourg  
[sebastien.laub@region-alsace.eu](mailto:sebastien.laub@region-alsace.eu) - 03 88 15 65 12
- Rémy GENDRE (Région Alsace) - Agence de Sélestat  
[remy.gendre@region-alsace.eu](mailto:remy.gendre@region-alsace.eu) - 03 88 58 40 68
- Gautier PERRIN (Région Alsace) - Agence de Mulhouse  
[gautier.perrin@region-alsace.eu](mailto:gautier.perrin@region-alsace.eu) - 03 89 36 29 96

## Professionnels du bâtiment :

contactez le centre de ressources energivie.pro  
à l'INSA de Strasbourg  
[energivie.pro@insa-strasbourg.fr](mailto:energivie.pro@insa-strasbourg.fr)



Retrouvez également dans la docuthèque du site [energivie.info](http://energivie.info) :



**energivie.info**  
Construire, rénover, économiser  
avec la Région Alsace et l'ADEME

Programme  
energivie.info



energivie.info est un programme de la Région Alsace et de l'ADEME avec l'Union européenne pour développer l'efficacité énergétique en Alsace.