

LES ESSENTIELS DU

# BOIS

AVRIL 2009

N°6

**BÂTIMENTS BOIS BASSE  
CONSOMMATION ET PASSIFS**



“Vivant”, “chaleureux”, “naturel”, autant de qualificatifs associés au bois, matériau tendance qui revient en force sur le devant de la scène. Cette impulsion prend toute son importance à l’heure où les nouveaux enjeux énergétiques et environnementaux, liés à une volonté d’appliquer le concept de développement durable au bâtiment, nécessitent de reconsidérer l’acte de construire.

La collection “Les Essentiels du Bois” s’adresse à tous les acteurs de la construction : maîtres d’ouvrage, architectes, bureaux d’études, entreprises, économistes... Ce guide “Bâtiments bois basse consommation et passifs” démontre comment les solutions constructives en bois, systèmes déjà par nature peu déperditifs, permettent d’anticiper les nouvelles exigences de demain. Il détaille également les précautions à prendre pour concilier confort d’hiver, confort d’été et économies d’énergie. Les réalisations présentées sont autant de preuves que les constructions en bois offrent la possibilité d’atteindre de très hautes performances énergétiques.

Construction durable en bois, résistance au feu, confort acoustique et revêtements extérieurs sont les thèmes explorés dans chacun des autres guides pratiques avec schémas, exemples et témoignages à l’appui.

Bonne lecture !

Jean-Vincent Boussiquet  
Président du CNDB

Jan Söderlind  
Directeur du programme  
international Skogsindustrierna

## PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE, UN ENJEU DE LA FILIÈRE

**Face aux enjeux d’un monde en perpétuel mouvement, mettre en place les modalités d’un développement à la fois performant sur le plan économique, responsable sur le plan social et respectueux de notre environnement est un défi qui doit être relevé. Le bâtiment en est un levier important.**

En France, le bâtiment représente 40 % de l’énergie finale totale consommée et 25 % des émissions nationales de CO<sub>2</sub><sup>(1)</sup>. Les débats du Grenelle de l’Environnement ont abouti à l’adoption par le Sénat de la loi Grenelle 1 en février 2009.

Cette nouvelle loi stipule que toutes les constructions neuves faisant l’objet d’une demande de permis de construire, déposée à compter de la fin 2012, devront présenter une consommation d’énergie primaire<sup>(2)</sup> inférieure à 50 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an en moyenne. Cette même règle s’applique dès la fin 2010 pour les bâtiments publics et tertiaires. Dès 2020, les constructions neuves devront présenter une consommation d’énergie primaire inférieure à la quantité d’énergie renouvelable produite in situ.

Enfin, pour le parc existant, la consommation d’énergie primaire devra être réduite de 38 % d’ici 2020 avec l’objectif de rénover 400 000 logements chaque année à compter de 2013.

Le défi est énorme et ne pourra être relevé que si les acteurs font de la construction une démarche intégrée et globale. Les professionnels de ce secteur doivent se former aux techniques nouvelles de performance énergétique et changer les pratiques actuelles.

Pour les systèmes constructifs bois il s’agit d’une opportunité de développement sans précédent : le matériau bois a la capacité de stocker du carbone, de se substituer à des matériaux énergivores et il est incontournable pour élaborer des systèmes constructifs performants.

(1) Source : Grenelle de l’Environnement

(2) Énergie primaire : C’est la première forme de l’énergie directement disponible dans la nature : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique, géothermique...

## SOMMAIRE

Page 2

Performance énergétique,  
un enjeu de la filière

Page 3

Les principales exigences  
de la RT 2005

**Les labels de la performance  
énergétique**

Page 4

En France...

Page 5

...et à l’étranger

Pages 6-7

Approche et conception  
globale pour rendre  
un bâtiment performant

Pages 8-9

Comment évaluer l’isolation  
d’une paroi ?

Pages 10-11-12 -13

Solutions constructives bois  
pour des bâtiments basse  
consommation et passifs

**Étanchéité à l’air  
des bâtiments bois**

Page 14

Un système continu  
indispensable...

Page 15

Principaux points de fuite

Page 16

Démarche à suivre...

Page 17

Le test d’infiltrométrie

Page 18

Le confort d’été

**Analyse de cycle de vie**

Pages 19

Les constructions bois

Pages 20-21

Exemple du Green-Office

Pages 22-26

Exemples de réalisations

Pages 27

Logiciels  
En savoir +

# LES PRINCIPALES EXIGENCES DE LA RT 2005

La réglementation thermique française RT2005 impose une performance thermique minimale dans les bâtiments neufs ou rénovés et définit une méthode de calcul des consommations énergétiques. Au vue de l'urgence environnementale actuelle, il est nécessaire d'aller bien au-delà de ces exigences minimales.

## Bâtiments neufs

La réglementation thermique française RT2005 s'applique aux bâtiments neufs résidentiels et tertiaires depuis le 1<sup>er</sup> septembre 2006.

Cette réglementation se focalise sur les **économies d'énergies** et le **confort d'été**, en évaluant le résultat et en laissant donc libre le concepteur de trouver la solution adéquate en terme d'isolation, d'équipements, etc, tout en respectant les garde-fous imposés.

Une **étude thermique réglementaire** doit être effectuée sur les bâtiments neufs afin d'assurer que :

- la consommation d'énergie des bâtiments pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire est inférieure à une valeur limite qui dépend du type de chauffage et du climat (découpe de la France en 8 zones climatiques) ;
- et la consommation globale d'énergie primaire

du bâtiment, incluant en plus les auxiliaires, et l'éclairage dans le cas d'un bâtiment tertiaire, est inférieure à la consommation de référence de ce bâtiment ( $C_{\text{épréf}}$ , en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an) ;

- la température intérieure conventionnelle atteinte en été est inférieure à la température de référence ;
- les garde-fous sont respectés pour l'isolation, les déperditions par ponts thermiques, la ventilation, le système de chauffage, etc.

Depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2008, le maître d'ouvrage d'une opération de construction de surface hors œuvre nette supérieure à 1 000 m<sup>2</sup> doit réaliser, avant le dépôt du permis de construire, une **étude de faisabilité** technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie du bâtiment. Cette mesure est destinée à favoriser le recours aux énergies renouvelables et aux systèmes les plus performants.

## Bâtiments existants

Lorsque des travaux de rénovation visant à améliorer la performance énergétique sont entrepris par le maître d'ouvrage sur un bâtiment existant résidentiel ou tertiaire, une réglementation thermique s'applique également.

Les mesures réglementaires sont différentes selon l'importance des travaux entrepris par le maître d'ouvrage :

- pour les rénovations lourdes de bâtiments de plus de 1 000 m<sup>2</sup>, achevés après 1948, la réglementation définit un objectif de performance globale pour le bâtiment rénové et une étude de faisabilité doit être réalisée ;
- pour tous les autres cas de rénovation, la réglementation définit une performance minimale à atteindre pour l'élément remplacé ou installé.



Pour une réussite du projet, les professionnels doivent se concerter le plus en amont possible et élaborer des solutions globales.

# LES LABELS DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE EN FRANCE...

Si la réglementation thermique française contraint la conception ou la rénovation des bâtiments à répondre à un objectif de performance énergétique, certains labels permettent d'entreprendre une démarche encore plus poussée. C'est le cas du label BBC...

Les différents niveaux de label énergétique expliqués dans le tableau ci-dessous sont délivrés par des organismes privés (Promotelec, Cerqual, Cequami, Certivea...) ayant passé une convention spéciale avec le ministère en charge de la construction, et sont associés à une certification plus large portant sur la sécurité, la durabilité et les conditions d'exploitation des installations de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire, de climatisation et d'éclairage ou encore sur la qualité globale du bâtiment.

D'autres labels de performance énergétique émergent en France, en déclinaison de ceux existants

dans les pays frontaliers, comme Minergie ou encore le standard passif (cf. page 5).

Différentes aides pour favoriser la construction de ces bâtiments performants sont mises en place ou sont en cours, comme :

- un bonus de 20 % sur le COS (coefficient d'occupation des sols) ;
- des subventions lors d'appels à projet de la part des régions ou de certains organismes (cf. page 27) :
  - une subvention d'environ 70 % des études ou diagnostics thermiques (hors étude réglementaire), ou d'une mission d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage (avec

des assiettes maximum selon le type de bâtiment) ;

- une aide à l'investissement : de 30 à 80 €/m<sup>2</sup> de surface habitable selon la typologie du bâtiment ;
- ou, dans d'autres cas, une prise en charge de 40 à 50 % des surinvestissements (avec plafond) par rapport à un bâtiment conventionnel RT2005 ;
- un suivi des performances sur deux ans peut également être réalisé.
- des prêts bonifiés de la part des banques aux particuliers pour un logement neuf performant ou des travaux de rénovation portant sur l'isolation.

NIVEAUX DE BASE QUI TENDENT À DISPARAÎTRE	ACTUELLEMENT	À VENIR
HPE <sup>(*)</sup> = RT2005 - 10 %	THPE <sup>(**)</sup> = RT 2005 - 20 %	BEPAS (bâtiment passif) : consommation chauffage < 15 kWh/m <sup>2</sup> /an (m <sup>2</sup> de surface habitable)
HPE EnR <sup>(***)</sup> = HPE + énergies renouvelables	THPE EnR = RT2005 - 30 % + énergies renouvelables	BEPOS (bâtiment à énergie positive) = BEPAS + production d'énergie
	<b>BBC-Effinergie : 50 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an</b>	

(\*) Haute performance énergétique

(\*\*) Très haute performance énergétique

(\*\*\*) Haute performance énergétique et énergies renouvelables

Il coexiste encore différents niveaux pour les labels énergétiques, mais à terme cela devrait se recentrer sur les bâtiments basse consommation et passifs.

$$a \times (b + c)$$

a

## Consommation de référence

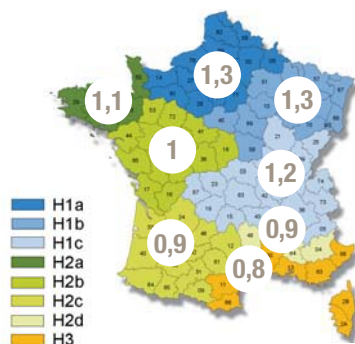
Consommation de tous les usages : chauffage, refroidissement, production d'ECS, ventilation et éclairage, hors usage domestique en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an en énergie primaire

**Résidentiel neuf**  
50 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an

**Résidentiel rénové**  
80 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an

b

## Coefficient selon la zone climatique



c

## Coefficient selon l'altitude du projet

< 400 m : 0  
 400 m - 800 m : 0,1  
 > 800 m : 0,2

**Tertiaire** : performance énergétique améliorée d'au moins 50 % pour les bâtiments neufs et 40 % pour la rénovation par rapport à la performance réglementaire

Le niveau exigé par le label BBC-Effinergie se décline selon la typologie du bâtiment, les zones climatiques et l'altitude. Exemple : un bâtiment résidentiel neuf situé à Rennes ne doit pas dépasser 55 kWh d'énergie primaire par m<sup>2</sup> de SHON par an : 50 x (1,1 + 0) = 55.

# LES LABELS DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE ... ET À L'ÉTRANGER

Les labels portant sur la performance énergétique sont développés depuis de nombreuses années dans des pays frontaliers : Minergie et Minergie P en Suisse ou Passivhaus en Allemagne<sup>(1)</sup>. Ces certifications s'élargissent aujourd'hui pour prendre en compte d'autres critères tels que l'énergie grise des matériaux ou la qualité de l'air intérieur, par exemple Minergie Eco (cf. page 20). Celles-ci se développent également en France.

Dans chaque pays coexistent généralement réglementation, label basse consommation et label passif pour bâtiments neufs et rénovation, répondant à des besoins et des exigences diverses aussi bien en termes de performance thermique, de faisabilité économique, et de typologie de bâtiment.

En Suisse, par exemple, le label basse consommation Minergie, qui a trouvé sa déclinaison en France (association Prioriterre), impose une exigence sur la consommation en énergie primaire, mais également le recours à une ventilation contrôlée. Pour éviter les compensations abusives (exemple d'un bâtiment passoire recouvert de panneaux photovoltaïques) et être reproductible à grande échelle, le standard




impose également un surcoût maximum de 10 % par rapport à une construction conventionnelle.

D'autre part, les labels basse consommation et passif s'accompagnent généralement d'une exigence forte en terme d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment (cf. page 14 à 17).

Pour faciliter la conception d'un bâtiment répondant à ces critères, des « modules » sont mis en place. Par exemple, les industriels ont la possibilité de faire certifier par le label des systèmes de performance énergétique. Ils peuvent également proposer, pour orienter la conception, des "packages" de solutions (isolation des parois, ventilation, systèmes) à adapter

au cas particulier du bâtiment et de son environnement.

La construction bois est souvent associée à la réalisation de bâtiments performants répondant à ce type de labels. Il a été estimé qu'un tiers des bâtiments répondant au standard Minergie en Suisse était réalisé avec un système constructif bois et le même constat a été fait en région Languedoc-Roussillon suite au premier appel à projet pour des bâtiments basse consommation. On remarque que l'évolution du marché de la construction bois suit la même tendance que les constructions labellisées basse consommation ou passive.

kWh <sub>énergie primaire</sub>	Consommation annuelle en énergie primaire		
	Minergie 	BBC Effinergie 	Passivhaus 
Surface de référence	SRE <sup>(*)</sup>	SHON	SHAB
Température de référence	20° C	19° C	20° C
Coeff. de conversion <sup>(1)</sup> électrique	2	2,58	2,7
Coeff. de conversion <sup>(1)</sup> bois	0,5	0,6	0,2
Chauffage	38	50 <sup>(**)</sup>	120 (dont besoin de chauffage < 15 kWh <sub>énergie finale</sub> /m <sup>2</sup> .an)
Eau chaude sanitaire			
Auxiliaires	Pas pris en compte		
Ventilation	Pas pris en compte	Pas pris en compte	
Electro domestique performant	Pas pris en compte		

(\*) Conversion d'énergie finale en énergie primaire  
 (\*\*) Surface de référence énergétique  
 (\*\*\*) BBC Effinergie : selon régions coefficient de 0,8 à 1,3

Source graphique : Effinergie

(1) Aujourd'hui, en Suisse, pas loin de 11 000 bâtiments ont été certifiés selon Minergie, 250 selon Minergie P, environ 30 selon Minergie Eco et une dizaine selon Minergie P-Eco, et en Allemagne environ 1 000 bâtiments certifiés Passivhaus.

(2) Énergie primaire : C'est la première forme de l'énergie directement disponible dans la nature : bois, charbon, gaz naturel, pétrole, vent, rayonnement solaire, énergie hydraulique, géothermique...

(3) Énergie finale : L'énergie primaire n'est pas toujours directement utilisable et fait donc souvent l'objet de transformations : exemple, raffinage du pétrole pour avoir de l'essence ou du gazole ; combustion du charbon pour produire de l'électricité dans une centrale thermique. L'énergie finale est donc cette forme d'énergie livrée au consommateur pour sa consommation finale (essence à la pompe, électricité au foyer...).

# APPROCHE ET CONCEPTION GLOBALE POUR RENDRE UN BÂTIMENT PERFORMANT

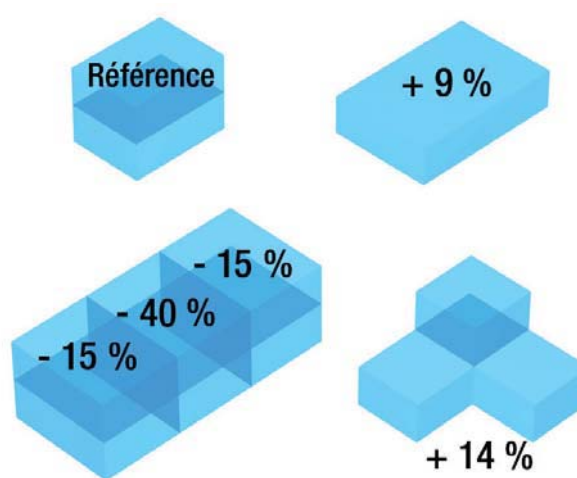
Pour réaliser un bâtiment performant d'un point de vue énergétique, sain et confortable pour ses occupants et pour un coût acceptable, il est nécessaire d'adopter une démarche globale dès la conception, plutôt que d'empiler des solutions techniques plus complexes les unes que les autres. Le bâtiment bois en particulier, idéal pour répondre à cet objectif de performance, doit être vu comme un système où s'enchevêtrent structure, enveloppe, isolation, système d'étanchéité, etc. et être traité dans son ensemble.

## Compacité du bâtiment

Afin de réduire les déperditions de chaleur par les parois, il est évident qu'il faut réduire les surfaces en contact avec l'extérieur. La compacité du bâtiment se définit comme le rapport entre le volume et la surface de parois froides. Plus cette valeur, exprimée en mètre, est grande, moins le bâtiment aura de déperditions.

De plus concevoir un habitat mitoyen ou collectif influe sur la consommation de l'espace, réduit le déplacement des habitants et le coût de construction au m<sup>2</sup>.

Déperditions comparées de l'enveloppe de différents logements de 96 m<sup>2</sup> ▲



Source: Solenté - guide Efficergie

## Orientation et insertion dans l'environnement

Une orientation qui maximise les apports solaires l'hiver est à privilégier. Ce choix se couple avec la répartition du vitrage sur les façades, de préférence au sud lorsque cela est possible. Il faudra, en revanche, bien veiller à se protéger des surchauffes estivales et en saison par des protections solaires adéquates (cf. page 18).

L'orientation du bâtiment tiendra également compte d'autres paramètres de l'environnement proches : réseaux, bruits extérieurs, paysage, relief, etc. afin d'optimiser le confort des occupants.



Une bonne compacité ne nuit pas forcément à la qualité architecturale du bâtiment.

## Étanchéité à l'air

Une mauvaise étanchéité à l'air peut être responsable de 25 % des déperditions du bâtiment. Il est donc indispensable de concevoir pour l'ossature bois, un système performant et pérenne, ceci étant un point sensible du système ossature bois (cf. pages 14 à 17). Les calculs thermiques et les labels énergétiques prennent en compte ce paramètre.

## Isolation des parois et menuiseries

Le coefficient d'isolation d'une paroi opaque ou vitrée est un des paramètres à maîtriser pour concevoir un bâtiment performant thermiquement. Le système ossature bois permet en particulier une forte isolation entre montants pour une faible épaisseur de murs, et le risque de ponts thermiques est faible (cf. pages 8 et 9).

Le choix des menuiseries extérieures devra être fait en tenant compte non seulement des performances thermiques du vitrage mais également de celles du châssis. Il est important d'avoir toujours à l'esprit que, même performante, une menuiserie extérieure sera toujours 5 à 6 fois plus "déperditive" qu'un mur opaque correctement

isolé. Un juste compromis est donc à trouver en phase de conception entre apport solaire et déperdition thermique.

## Choix des systèmes techniques : ventilation et chauffage

Une fois les déperditions réduites à leur minimum et les apports solaires gratuits optimisés, on peut alors définir les systèmes chauffage et de renouvellement d'air nécessaires au confort et à la santé des occupants.

Le recours à un système de ventilation mécanique double-flux couplé à un échangeur calorifique permet une économie de chauffage importante. Correctement dimensionnées et judicieusement positionnées dans la construction, les bouches insufflent l'air frais dans les pièces à vivre (séjours, chambres) qui sera ainsi réchauffé, par l'air vicié extrait des pièces humides (cuisine, toilette, salle de bains).

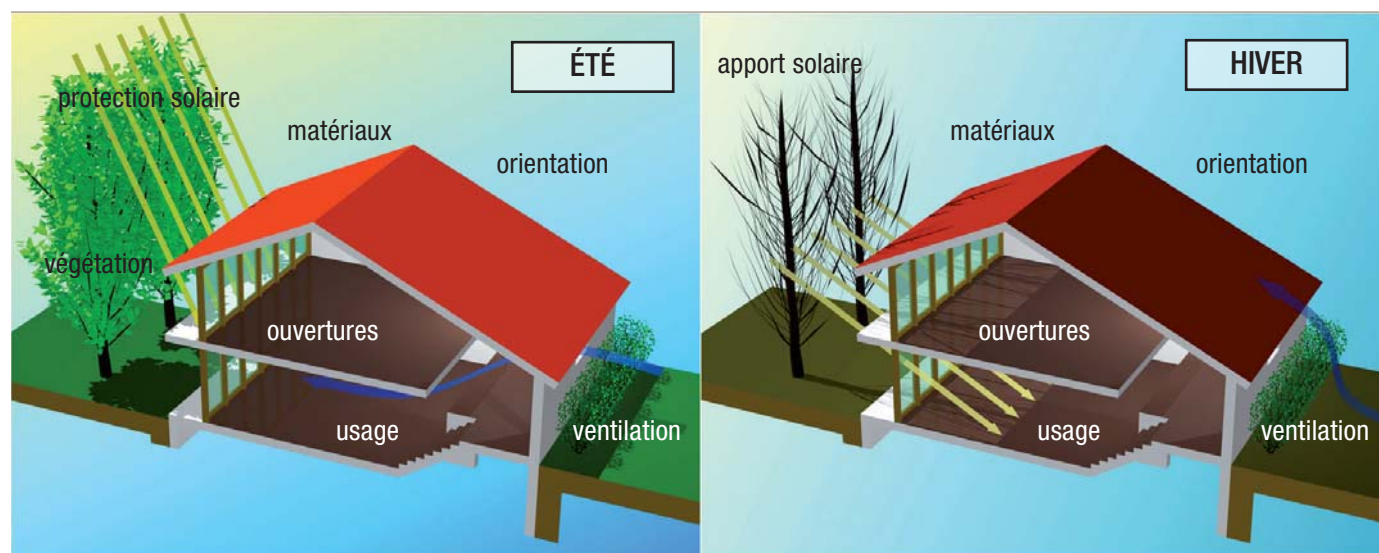
Dans les régions chaudes (Méditerranée) ou dans les habitations secondaires, le recours à une ventilation simple flux hygro-réglable (hygro B) peut être le compromis idéal pour la performance thermique et l'économie.

## Un coût raisonnable...

Les retours d'expérience dans d'autres pays ont montré que les mesures les plus efficaces en terme de performance énergétique étaient celles prises dès la phase de conception du projet comme la compacité, l'orientation ou la répartition du vitrage et des protections solaires sur le bâtiment. Ces diverses dispositions prises lors de la définition du projet impacteront peu le coût de la construction. Une autre économie importante, qui peut être réalisée, est de s'affranchir du système de chauffage traditionnel dès lors que le bâtiment est passif.

Par ailleurs, lors du montage d'un projet, il est indispensable de raisonner en coût global et de ne pas se limiter au simple coût de la construction. Les charges d'exploitation, pour une durée de vie du bâtiment de cinquante ans et plus, représentent plus de 70 % de la totalité des coûts. Les dépenses énergétiques grandement diminuées dans un bâtiment thermiquement performant raccourcissent le temps de retour sur investissement. Les banques ont d'ailleurs mis en place des prêts immobiliers à taux bonifiés pour faciliter ce type de projets.

## LES PARAMÈTRES DU CONFORT DANS UN BÂTIMENT



Beaucoup d'économies d'énergie peuvent être faites lors de la phase de conception et le recours à des systèmes techniques complexes et coûteux n'est alors pas nécessaire.

# COMMENT ÉVALUER L'ISOLATION D'UNE PAROI ?

Le maître d'ouvrage souhaite construire un bâtiment basse consommation. Sa demande est prise en compte dès la conception par l'équipe de maîtrise d'œuvre avec l'architecte et les bureaux d'études qualifiés. Le bureau d'étude thermique réalise une simulation prenant en compte l'implantation du bâtiment (climat, orientation, environnement proche) et sa typologie. Il estime que pour respecter le niveau d'exigence d'un bâtiment BBC, les parois verticales doivent avoir une valeur U de 0,17 W/(m².K).

**exemple** Comment déterminer rapidement la composition de paroi pouvant répondre à cette performance d'isolation ?

(cf. pages 10 à 12 pour d'autres exemples)  
Prenons l'exemple d'un système de paroi verticale en ossature bois, soit la majorité des constructions actuelles.

**explication** La valeur U

Il s'agit du coefficient de transmission surfacique, valeur qui caractérise le pouvoir isolant d'une paroi et s'exprime en W/(m².K). Il s'agit de l'inverse de la résistance thermique de la paroi :  $U = 1/R$ . Plus U est faible, plus la paroi est performante.

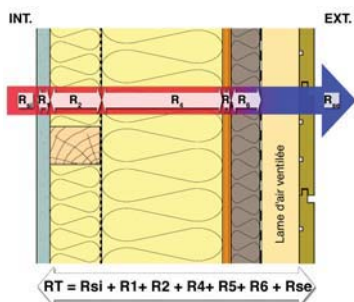
C'est cette valeur que l'on retrouve dans la RT2005 avec des garde-fous et des valeurs références, et sur laquelle on peut donner des valeurs cibles pour les bâtiments basse consommation et passifs (cf. page 10).

**exemple** Dans notre exemple de parois, la performance à atteindre équivaut à  $R=1/U=1/0,17=5,88$  m².K/W. Le but est de combiner les matériaux en fonction de leur épaisseur et de leur conductivité thermique pour parvenir à cette performance, sachant que par définition, le choix des isolants sera prépondérant.

**explication** Résistance thermique de la paroi : R

La résistance thermique d'une couche de matériau se définit à partir de la conductivité thermique ( $\lambda$ ) et de l'épaisseur (e) du matériau par la formule :  $R = e/\lambda$ , et s'exprime en m².K/W.

Pour obtenir la résistance thermique d'une composition multicouche, on somme l'ensemble des résistances de chaque couche, et on y ajoute des résistances superficielles intérieures et extérieures qui tiennent compte des phénomènes thermiques se produisant sur les extrémités de la paroi.



- Réalisons la composition suivante :
- 1 : Plaque de plâtre
  - 2 : Tasseau pour constituer un vide technique isolé de 60 mm
  - 3 : Pare-vapeur
  - 4 : Montant ossature 45/145, entraxe 600 mm + isolant
  - 5 : Isolant du vide technique 60 mm et OSB 10 mm
  - 6 : Isolant par l'extérieur
  - 7 : Pare-pluie
  - 8 : Lattage (lame d'air ventilée)
  - 9 : Bardage

Sens de la paroi	Sens du flux	R <sub>si</sub>	R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub> + R <sub>se</sub>
Verticale		0,13	0,04	0,17
			0,13*	0,26
Horizontale		0,10	0,04	0,14
			0,70	0,21

Résistances thermiques superficielles intérieures et extérieures données par la RT2005

Matériau	Conductivité thermique ( $\lambda$ en W/(m.K))	Épaisseur (e en m)	Résistance thermique (R en m².K/W)
Résistance superficielle intérieure (R <sub>si</sub> )			0,130
1 Plaque de plâtre	0,200	0,013	0,062
2 Isolant du vide technique	0,038	0,060	1,579
4 Isolant entre montants	0,038	0,145	3,816
5 Contreventement	0,130	0,009	0,069
6 Isolant par l'extérieur	0,049	0,035	0,714
Résistance superficielle extérieure (R <sub>se</sub> ) (*)			0,130
<b>Résistance thermique totale de la paroi (sans pont thermique)</b>			<b>6,500</b>

► Ce premier calcul nous a donc permis de définir les caractéristiques nécessaires en isolation : conductivité thermique et épaisseur. Dans ce calcul nous n'avons pas tenu compte de la présence des montants en bois qui viennent créer des discontinuités dans l'isolant et donc des **ponts thermiques linéiques**.

(\*) Dans le cas de la présence d'un lattage (lame d'air ventilée) et d'un bardage côté extérieur de la paroi, pour simplifier le calcul, la réglementation thermique ne prend pas en compte chaque couche du revêtement extérieur, mais simule son influence en introduisant une résistance superficielle extérieure égale à la résistance superficielle intérieure. D'autre part, on ne prend pas en compte les membranes (pare-vapeur et pare-pluie) pour le calcul de la résistance thermique puisqu'elles ont un impact négligeable sur l'ensemble de la paroi.

**Note :** les calculs thermiques sur les parois ont été réalisés à l'aide du logiciel Lesokai.

La couche « 4 » comportant les montants bois (45/145 mm) et l'isolation, avec un entraxe de 600 mm se trouve modifiée selon plusieurs critères :

Matériau	Conductivité thermique ( $\lambda$ en W/(m.K) x Proportion (%))	Conductivité thermique résultante ( $\lambda_{res}$ en W/(m.K))	Épaisseur (e en m)	Résistance thermique totale de la couche 4 (R en m <sup>2</sup> .K/W)
Isolant	0,038 x 92,5 %	0,046	0,145	3,18
Montant bois	0,14 x 7,5 %			

La même procédure est appliquée pour prendre en compte les tasseaux en bois dans le vide technique isolé.

La résistance thermique totale de la paroi est alors de 5,714 m<sup>2</sup>.K/W en prenant en compte les faiblesses thermiques de la paroi, ce qui répond bien à notre exigence de départ :  $U = 0,175 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ .

### Conclusion :

Dans l'exemple, nous avons donc déterminé que nous avons besoin d'un isolant ayant une conductivité thermique de 0,038 W/(m.K) pour l'isolation entre les montants de l'ossature bois et du vide technique. D'après le tableau ci-contre, on voit que la laine de bois, la cellulose ou encore la laine de verre peuvent répondre à ce besoin. L'isolant que l'on placera côté extérieur doit avoir une conductivité thermique de 0,051 W/(m.K) pour une épaisseur de 35 mm, caractéristiques que l'on trouve pour les fibres de bois dense.

On comprend donc que si on choisit un isolant plus performant, on pourra soit en diminuer l'épaisseur pour arriver à la même exigence d'isolation de la paroi, soit améliorer la valeur U de la paroi pour obtenir un bâtiment passif. Les autres critères à prendre en compte seront alors le coût, l'approvisionnement, la facilité de mise en œuvre, les caractéristiques mécaniques et l'impact environnemental (cf. page 19).

### Des ponts thermiques ?

Un pont thermique, ponctuel (angle de mur) ou linéaire (ex : jonction entre un plancher bas et un mur extérieur, ou le pourtour des menuiseries) est dû à une rupture de l'isolation ou à un changement de matériaux avec une conductivité thermique différente. Il représente une perte de chaleur localisée importante dans un bâtiment. De plus il peut contribuer au développement de pathologies telles que les moisissures, et apporter une sensation d'inconfort à l'occupant.

L'emploi du matériau bois permet d'éviter d'importants ponts thermiques, puisque c'est un matériau peu conducteur.<sup>(\*)</sup> Il est très facile de compenser la légère faiblesse thermique amenée par chaque montant d'ossature (dans le cas de l'ossature panneaux) par une isolation continue à l'intérieur ou encore mieux en « manteau » par l'extérieur. D'autre part, il faudra particulièrement bien traiter les jonctions entre parois verticales et parois horizontales : mur/dalle béton, plancher d'étage,...

Le bureau d'étude thermique dispose d'un catalogue spécifique pour prendre en compte précisément les ponts thermiques dus à la présence du matériau bois (cf. page 27). Pour une première approximation il est possible d'effectuer un calcul par ratio pour tenir compte de la présence des montants en bois.

### Conductivité thermique d'un matériau $\lambda$

Elle caractérise la capacité d'un matériau à transmettre la chaleur par le phénomène de conduction. Son symbole est  $\lambda$  (lambda), et elle s'exprime en W/(m.K).

Matériau	Conductivité thermique $\lambda$ en W/(m.K)
Isolant organique (polystyrène, polyuréthane, etc.)	0,024 à 0,038
Isolant minéral (laine de verre, laine de roche)	0,030 à 0,040
Isolant végétal (fibre de bois, cellulose, chanvre, etc.)	0,038 à 0,042
Isolant fibre de bois dense	0,047 à 0,051

Un matériau est considéré comme isolant lorsque sa conductivité ( $\lambda$ ) est inférieure à  $< 0,060 \text{ W/(m.K)}$ .

*(\*) Le matériau bois selon son emploi (massif, panneau, etc.) a une conductivité comprise entre 0,10 et 0,15 W/m.K. Même s'il est peu conducteur de chaleur et évitera donc l'apparition de ponts thermiques importants, il ne peut être considéré à lui seul comme un matériau isolant.*

# SOLUTIONS CONSTRUCTIVES BOIS

## BÂTIMENTS BASSE CONSOMMATION ET PASSIFS

**Avant de réfléchir à la composition de parois pour des bâtiments basse consommation ou passifs, il faut d'abord s'assurer que toutes les fonctions réglementaires de l'enveloppe soient remplies : isolation thermique et acoustique, protection au vent et aux intempéries, sécurité incendie, étanchéité à l'air et stabilité de la construction. Les systèmes constructifs bois permettent de répondre à toutes ces exigences.**

Une construction bois basse consommation voire passive a de nombreux atouts. Elle permet en effet d'obtenir des parois extérieures hautement isolées tout en gardant des épaisseurs raisonnables, et son système multicouche facilite l'installation de systèmes de ventilation performants. En revanche, ce système constructif demande une attention particulière pour l'étanchéité à l'air, particulièrement aux raccords entre les différents éléments et aux passages des gaines.

La construction mixte (bois/béton, bois/brique, etc.) permet de coupler les avantages de chacun de ces matériaux : résistance et inertie pour des systèmes lourds, isolation avec gain de place pour les systèmes légers.

### En basse consommation... et en passif

Dans le cas du système ossature bois, le plus répandu en France, une isolation complémentaire des murs par l'extérieur permet d'améliorer la valeur U et de couper les ponts thermiques dus aux montants. À l'intérieur, le vide technique d'épaisseur suffisante pour y installer gaines et prises électriques sans percer le frein-vapeur, peut également être isolé.

D'autres systèmes constructifs utilisant des poutres en I en guise de montants d'ossature permettent une plus forte épaisseur d'isolation tout en réduisant les ponts thermiques ainsi que la quantité de bois utilisé.

Dans le cas d'un système en panneaux bois massif, l'isolation se fait par l'extérieur, en fonction de l'exigence thermique. L'étanchéité à l'air est a

priori plus facile à réaliser, puisqu'elle est située entre le panneau porteur et l'isolation : il y a donc moins de raccords à gérer. Dans certains cas, il est possible que le panneau porteur soit utilisé comme couche de finition intérieure : il faut alors prêter une attention particulière au passage des câbles et gaines dans la structure.

Dans le cas particulier des toitures dites "sarking", la pose de la membrane d'étanchéité à l'air (pare-vapeur) peut être facilitée lorsqu'elle prend appui sur une surface plane (lambris, panneau...). Ce mode de mise en œuvre présente en outre l'avantage de supprimer tous les ponts thermiques. L'épaisseur de l'isolant sera cependant limitée par la longueur des vis de fixation du contre-lattage qui devront le traverser pour s'ancrer dans la structure.

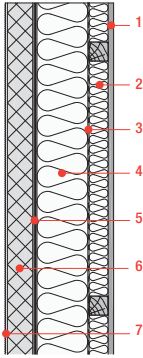
*Pour les exigences minimales RT2005, se référer aux Essentiels n°3*

Élément	Solutions courantes BBC-Effinergie U en W/(m <sup>2</sup> .K)	Solutions courantes Minergie U en W/(m <sup>2</sup> .K)	Solutions courantes bâtiment passif U en W/(m <sup>2</sup> .K)
Toit	0,10 - 0,15	0,12-0,20	< 0,15
Mur	0,18 - 0,31	0,15 - 0,25	< 0,16
Sol sur terre-plein	0,25 - 0,42		< 0,16
Sol sur vide-sanitaire	0,20 - 0,29	0,20 - 0,30	
Menuiseries (U <sub>w</sub> )	0,7 - 1,7	U <sub>g</sub> * : 0,8 - 1,1	< 0,8

*Ces valeurs sont données à titre indicatif et elles sont à adapter en fonction du climat, de l'altitude et de l'environnement du lieu d'implantation du bâtiment. Il est important de conserver une cohérence entre l'isolation des différentes parois : les déperditions sont plus importantes en toiture. Celle-ci doit donc être isolée plus fortement que les parois verticales par exemple. Une forte isolation ne peut garantir à elle seule la performance énergétique d'un bâtiment.*

*\* Minergie donne des recommandations sur la valeur U<sub>g</sub> et non U<sub>w</sub>.*

## MUR OSSATURE BOIS



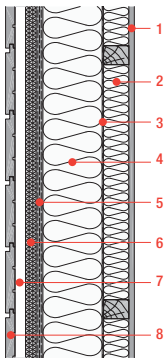
- 1 : Plaque de plâtre 12,5 mm
- 2 : Lattage bois 45/45 mm, laine de verre  $\lambda=0,032$
- 3 : Pare-vapeur ( $S_v=20$  m)
- 4 : Ossature bois 45/120 mm, entraxe 600 mm, laine de verre  $\lambda=0,035$
- 5 : Panneau contreventant OSB 10 mm
- 6 : Polystyrène expansé 60 mm,  $\lambda=0,032$
- 7 : Enduit

- **U = 0,17 W/(m².K)**
- 63 % de mieux que la valeur garde-fou réglementaire : 0,45 W/(m².K)
- **Épaisseur : 25,4 cm**

### Pour le standard passif :

Augmenter les épaisseurs d'isolant (ex : 60/145/60 mm)  
Employer des isolants plus performants

## MUR OSSATURE BOIS PERSPIRANT



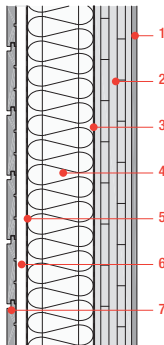
- 1 : Plaque de plâtre 12,5 mm
- 2 : Lattage bois 45/60 mm, entraxe 600 mm, fibres de bois  $\lambda=0,042$
- 3 : Frein-vapeur  $S_v=2,3$  m
- 4 : Ossature bois 45/145 mm, entraxe 600 mm, fibres de bois  $\lambda=0,042$
- 5 : Panneau contreventant MDF 16 mm
- 6 : Pare pluie isolant fibres de bois 25 mm,  $\lambda=0,049$
- 7 : Lattage 25/45 mm
- 8 : Bardage 22 mm

- **U = 0,20 W/(m².K)**
- 56 % de mieux que la valeur garde-fou réglementaire : 0,45 W/(m².K)
- **Épaisseur : 30,6 cm**

### Pour le standard passif :

Augmenter les épaisseurs d'isolant (ex : 60/145/60 mm)  
Employer des isolants plus performants

## MUR PANNEAU BOIS MASSIF



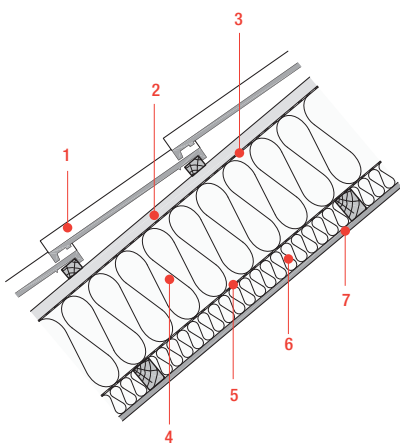
- 1 : Plaque de plâtre 12,5 mm
- 2 : Panneau bois massif 90 mm
- 3 : Frein-vapeur  $S_v=2,3$  m
- 4 : Fibres de bois 160 mm avec poutres en I non porteuses, entraxe 570 mm,  $\lambda=0,042$
- 5 : Pare-pluie
- 6 : Lattage 25/45 mm
- 7 : Bardage 22 mm

- **U = 0,21 W/(m².K)**
- 52 % de mieux que la valeur garde-fou réglementaire : 0,45 W/(m².K)
- **Épaisseur : 31 cm**

### Pour le standard passif :

Augmenter l'épaisseur d'isolation entre les poutres en I : 200 à 300 mm

## TOITURE INCLINÉE AVEC ISOLATION SOUS RAMPANT



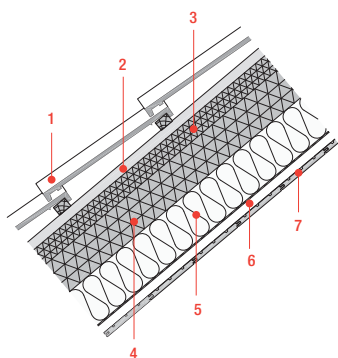
- 1 : Tuile
- 2 : Lattage 27/45 mm et contre-lattage 27/45 mm
- 3 : Pare pluie HPV (haute perméance à la vapeur)
- 4 : Chevrons bois massif 45/220 mm, entraxe 600 mm, laine de verre  $\lambda=0,035$
- 5 : Pare-vapeur  $S_v=20$  m
- 6 : Lattage 45/60 mm, entraxe 600 mm, laine de verre  $\lambda=0,032$
- 7 : Plaque de plâtre 12,5 mm

- **U = 0,15 W/(m².K)**
- 46 % de mieux que la valeur garde-fou réglementaire : 0,28 W/(m².K)
- **Épaisseur : 34,7 cm**

### Pour le standard passif :

Mettre une deuxième couche d'isolation sur les chevrons (ex : 60 mm) pour couper les ponts thermiques  
Utiliser des poutres en I de 220 mm pour limiter les ponts thermiques du bois  
Augmenter l'isolation intérieure avec des chevrons de 45/70 mm

## TOITURE INCLINÉE TYPE SARKING



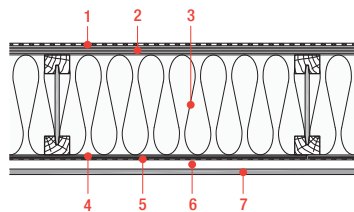
- 1 : Tuile
- 2 : Lattage 27/45 mm et contre-lattage 27/45 mm
- 3 : Pare pluie isolant fibres de bois 52 mm,  $\lambda=0,049$
- 4 : Isolant fibres de bois 100 mm,  $\lambda=0,042$
- 5 : Chevron 75/120 mm; entraxe 600 mm, fibres de bois  $\lambda=0,042$
- 6 : Pare-vapeur  $S_a=20$  m
- 7 : Lattage 25/45 mm, entraxe 400 mm, lame d'air non ventilée
- 8 : Lambris bois 14 mm

- **U = 0,16 W/(m².K)**
- 43 % de mieux que la valeur garde-fou réglementaire : 0,28 W/(m².K)
- **Épaisseur** : 36,5 cm

### Pour le standard passif :

Employer des isolants plus performants ( $\lambda = 0,032$  à  $0,036$  W/(m.K))

## TOITURE PLATE NON ACCESSIBLE



- 1 : Étanchéité membrane PVC
- 2 : Panneau OSB 22 mm
- 3 : Solive poutre en I 45/240 mm remplie de cellulose, entraxe 600 mm,  $\lambda=0,039$
- 4 : Panneau OSB 9 mm
- 5 : Pare-vapeur  $S_a=70$  m
- 6 : Lattage 25/45 mm, entraxe 600 mm
- 7 : Plaque de plâtre 13 mm

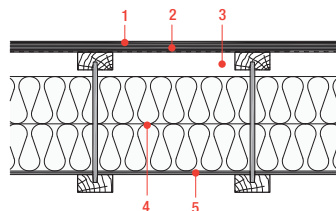
- **U = 0,15 W/(m².K)**
- 46 % de mieux que la valeur garde-fou réglementaire : 0,28 W/(m².K)
- **Épaisseur** : 31,5 cm

### Pour le standard passif :

Mettre une deuxième couche d'isolation sur les solives (ex : 60 mm) pour couper les ponts thermiques

Épaissir le vide technique pour l'isoler (ex : 40 ou 60 mm)

## DALLE BOIS SUR VIDE SANITAIRE



- 1 : Revêtement de sol
- 2 : Panneau contreventant OSB 18 mm, jointoyé pour l'étanchéité à l'air
- 3 : Pare-vapeur  $S_a=78$  m
- 4 : Poutre en I 360 mm, entraxe 400 mm, laine de verre 240 mm,  $\lambda=0,038$
- 5 : Panneau OSB 9 mm

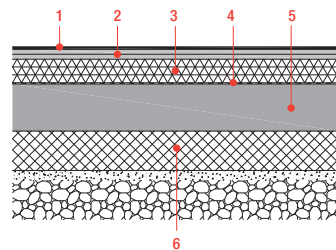
- **U = 0,15 W/(m².K)**
- 60 % de mieux que la valeur garde-fou réglementaire : 0,36 W/(m².K)
- **Épaisseur** : 31,7 cm

### Pour le standard passif :

Augmenter l'épaisseur de l'isolant jusqu'à remplir toute la cavité (300 mm)

Ajouter un isolant de haute densité au-dessus des poutres en I

## DALLE BÉTON SUR TERRE-PLEIN



- 1 : Revêtement de sol
- 2 : Plaque de chape sèche 25 mm
- 3 : Fibres de bois 60 mm
- 4 : Protection contre l'humidité – type film polyéthylène
- 5 : Dalle béton 120 mm
- 6 : Isolation en polystyrène expansé 100 mm

- **U\* = 0,22 W/(m².K)**
- 45 % de mieux que la valeur garde-fou réglementaire : 0,40 W/(m².K)
- **Épaisseur** : 31,5 cm

### Pour le standard passif :

Augmenter l'épaisseur de l'isolant sous ou sur la dalle béton, en fonction de la hauteur disponible

\* Le calcul ne prend pas en compte l'isolation périphérique en tête de dalle.

Les calculs ont été réalisés à l'aide des logiciels Lesokai et PHPP qui appliquent une méthode par ratio pour prendre en compte la présence des montants en bois, et non celle des ponts thermiques linéiques répertoriés par le FCBA (cf. page 27)

Les isolants utilisés pour ces exemples sont tous au moins fabriqués par une société qui a reçu un avis technique, sauf pour la fibre de bois qui a un certificat Acermi pour certaines marques. Les valeurs de conductivité thermique ne sont donc pas pénalisées dans le calcul réglementaire.

Les valeurs de conductivité thermique prises en compte sont :

Plaque de plâtre :  $\lambda = 0,20$  W/(m.K)

Isolant (laine minérale, laine de bois, cellulose) :  $\lambda = 0,038$  W/(m.K)

Isolant laine de bois dense :  $\lambda = 0,051$  W/(m.K)

Isolant polystyrène expansé :  $\lambda = 0,036$  W/(m.K)

Bois (montant, tasseau, etc.) :  $\lambda = 0,14$  W/(m.K)

Panneau OSB :  $\lambda = 0,13$  W/(m.K)

Panneau MDF :  $\lambda = 0,09$  W/(m.K)

Les solutions de parois bois qui permettent d'aller vers le label BBC, doivent intégrer environ 200 mm d'isolant. On dispose de 3 typologies pour élaborer ce type de mur : le mur de forte épaisseur, le mur de moyenne épaisseur avec une contre isolation intérieure, et le mur de moyenne épaisseur avec une contre isolation extérieure. On peut ajouter à ces typologies, pour des ouvrages passifs, le mur de moyenne épaisseur combinant isolation extérieure et isolation intérieure.

#### Le mur de forte épaisseur :

Le mur de forte épaisseur intégrera l'épaisseur d'isolant nécessaire. Il sera généralement constitué de poutres en I verticales. Les produits pour réaliser ce type de mur sont disponibles sur le marché, mais leur coût d'achat tend à renchérir le coût de fabrication du mur.

#### Points délicats :

- Généralement plus chère qu'une technique traditionnelle,
- Technique moins répandue pour laquelle on trouve moins d'entreprises ayant de l'expérience.

#### Le mur de moyenne épaisseur avec une contre isolation intérieure :

Le mur d'épaisseur moyenne, de 140 mm, intègre une première couche d'isolant. Sur la face intérieure, il reçoit un pare-vapeur qui participera à l'étanchéité à l'air. Un espace vide permet ensuite le passage facile des réseaux sans abîmer le pare-

vapeur, puis une seconde couche d'isolant vient compléter l'isolation.

#### Points forts :

- On peut intégrer des caissons de volet roulant extérieur, en jouant sur l'épaisseur de la contre-isolation intérieure, qui peut être constituée d'un isolant à haute performance au droit du bloc volet roulant;
- Elle est généralement la plus économique.

#### Points délicats :

- L'isolation en pied de mur peut s'avérer trop faible pour des ouvrages à hautes performances;

NB: Cette solution fonctionne particulièrement bien avec un plancher dont le solivage est posé sur une muraille en applique sur le mur. Cela permet une excellente continuité du pare-vapeur au droit du plancher, et assure ainsi une parfaite étanchéité à l'air.

#### Le mur de moyenne épaisseur avec une contre isolation extérieure

Le mur d'épaisseur moyenne, souvent d'environ 140 mm, intègre une première couche d'isolant. Sur la face extérieure, il reçoit un complément d'isolant, généralement sous forme rigide.

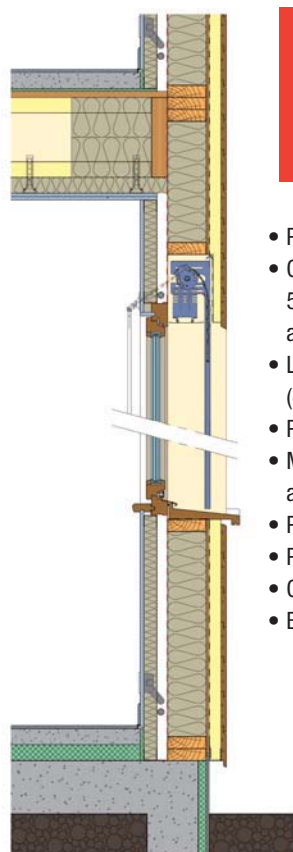
#### Points forts :

- L'isolation en pied de mur est parfaitement gérée;
- Le décalage de l'isolant extérieur permet l'intégration d'occultations à lames, sans pont thermique.

#### Points délicats :

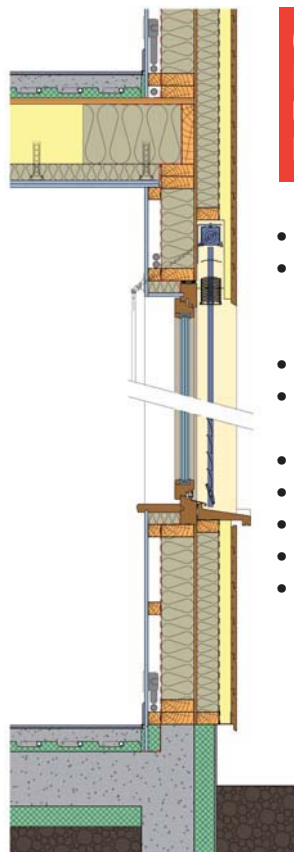
- Il faut veiller à la pose d'un élément pare vapeur au droit du plancher, pour assurer la continuité de la membrane pare vapeur;

NB: Cette configuration se prête particulièrement bien à la pose d'un enduit minéral à l'extérieur.



**COUPE A :**  
**ISOLATION PAR L'INTÉRIEUR**  
 $U_p = 0,216 \text{ W/m}^2.\text{K}$   
 $R = 4,62 \text{ m}^2.\text{K/W}$

- Plaque de plâtre BA 13
- Ossature métallique type Placo Stil M48 50/0,6 mm entraxe 600 mm avec laine de roche 50 mm  $\lambda=0,035$
- Lame d'air non ventilée 40 mm (convection horizontale)
- Pare-vapeur ( $S_v=20 \text{ m}$ )
- Montant ossature bois 45/145 mm avec laine de roche de 145 mm  $\lambda=0,035$
- Panneau OSB3 10 mm
- Pare-pluie HPV
- Contre lattage bois 45 mm
- Bardage bois 21 mm



**COUPE B :**  
**ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR**  
 $U_p = 0,187 \text{ W/m}^2.\text{K}$   
 $R = 5,34 \text{ m}^2.\text{K/W}$

- Plaque de plâtre BA 13
- Ossature bois 45/45 mm entraxe 600 mm avec lame d'air 45 mm non-ventilée (convection horizontale)
- Pare-Vapeur ( $S_v=20 \text{ m}$ )
- Ossature bois 45/120 mm entraxe 600 mm avec laine de verre  $\lambda=0,035$
- Panneau OSB 10 mm
- Fibres de bois rigide 80 mm  $\lambda=0,042$
- Pare-pluie HPV
- Contre lattage bois 45 mm
- Bardage bois 21 mm

# ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES BÂTIMENTS BOIS

## UN SYSTÈME CONTINU INDISPENSABLE...

**Un paramètre impératif à maîtriser est l'étanchéité à l'air. Elle contribue à rendre les constructions performantes et pérennes. C'est en outre une des exigences dans l'obtention des labels énergétiques.**

Facteur clé de la réussite de l'isolation, l'étanchéité à l'air demande une attention toute particulière. Point sensible dans toute construction, elle est l'affaire de tous les corps d'état ainsi que de l'utilisateur final du bâtiment.

### Performance thermique

En hiver, une bonne étanchéité à l'air réduira jusqu'à 20 % les déperditions de chaleur du bâtiment, et par conséquent la consommation énergétique. De même, en été, le passage d'air en toiture contribueront à la surchauffe des combles. Une bonne étanchéité à l'air évitera cet inconfort.

D'autre part, une bonne étanchéité à l'air permettra un meilleur contrôle des flux et améliorera le rendement d'une ventilation contrôlée, en particulier dans le cas d'une double-flux à récupération de chaleur.

### Pérennité du bâtiment

L'air intérieur d'une habitation contient toujours une forte quantité de vapeur d'eau, générée par les occupants. En migrant au travers des parois extérieures cette vapeur d'eau peut, en se refroidissant, se transformer en eau liquide et générer des pathologies (moisissures).

Une parfaite étanchéité à l'air, associée à une ventilation mécanique contrôlée, adaptée au volume d'air à traiter, garantiront la pérennité de l'ouvrage.

### Confort et santé pour les occupants

Au niveau du confort, l'étanchéité à l'air contribue ainsi à améliorer le confort thermique du bâti. Elle supprime les flux d'air parasites parfois désagréables et contribue à l'amélioration de l'acoustique vis-à-vis des bruits aériens.

Au niveau de la santé, les matériaux isolants se trouvent parfaitement confinés à l'intérieur des parois ce qui supprime le risque de propagation de fibres vers l'intérieur (fibre minérale, ouate, chanvre...) et la qualité de l'air intérieur s'en trouve améliorée.



Source photo: Benjamin Sevessant - Energie Positive

# ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES BÂTIMENTS BOIS

## PRINCIPAUX POINTS DE FUITE

Le DTU 31.2 relatif à la construction bois recense les principaux points de fuites que représentent les liaisons entre les parois verticales et horizontales (lisse basse, plancher intermédiaire et toiture), les menuiseries extérieures et les coffres de volets roulants, le passage des gaines, câbles et fluides au travers des parois.

Le tableau ci-dessous présente quelques cas courants rencontrés dans une construction bois, et propose des solutions adéquates. Des produits spécifiques comme scotchs, colles, manchons... pour réaliser les jonctions et donc la continuité du système d'étanchéité à l'air existent et sont généralement distribués par les fabricants de membrane.



© Wigvam



© Wigvam



© Wigvam



© Wigvam

### Jonction des membranes

La mise en œuvre des membranes de type pare-vapeur ou frein vapeur constitue un élément clef du système d'étanchéité à l'air. Il faut donc en assurer la continuité, en jointoyant les lés avec les scotchs et colles adéquats selon le support. Ces produits performants doivent être mis en place rigoureusement (éviter les plis, les déchirures, etc.) et à la juste quantité au bon endroit.

### Raccord dalle / mur

Une des continuités les plus délicates à réaliser se situe entre le mur ossature bois et la dalle béton, puisqu'il s'agit de deux matériaux qui ne travaillent pas de la même manière. Un surplus de membrane frein-vapeur devra par exemple être prévu pour redescendre sur la dalle et être fixé à l'aide d'une colle ou d'un apprêt plus ainsi qu'un scotch adéquat.

### Menuiserie

Le produit lui-même doit être performant (classement AEV) et sa pose doit être réalisée de manière à couper les ponts thermiques, assurer l'étanchéité à l'eau à l'extérieur et l'étanchéité à l'air à l'intérieur.

### Passage de gaine

Le nombre de pénétrations entre l'extérieur et les parties chauffées du bâtiment doit être limité. Par exemple, le boîtier électrique et les systèmes techniques (eau chaude sanitaire, ventilation) peuvent être placés dans un local chauffé si possible, et l'utilisation d'un vide technique est recommandée (en paroi et plafond).



© Wigvam



© Wigvam



© Siga



© Proclima

# ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES BÂTIMENTS BOIS

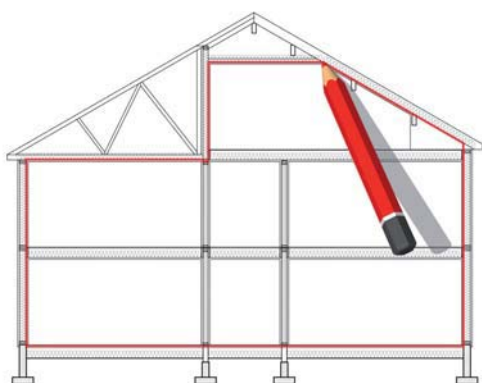
## DÉMARCHE À SUIVRE...

### Une volonté du maître d'ouvrage

L'exigence en termes d'étanchéité à l'air doit être exprimée par le client dès la phase de programmation du bâtiment. Ainsi chaque acteur du projet connaît dès l'amont l'objectif à atteindre en fin de chantier et peut y associer les moyens nécessaires : compétences, coût, produits, etc.

### En phase conception : élaboration d'un carnet de détails

L'architecte doit pouvoir identifier une ligne continue représentant le système d'étanchéité à l'air sur les plans et coupes du bâtiment. Il élaborera ensuite, en concertation avec les entreprises, un carnet de détails représentant la solution retenue à chaque point singulier, en veillant particulièrement aux endroits où plusieurs corps d'état interviennent.



*Un trait de crayon continu doit pouvoir être tracé sur toutes les coupes du bâtiment autour du volume chauffé et donc étanche à l'air.*

### En phase construction : suivi de chantier de qualité

L'ensemble des entreprises jouant un rôle dans la mise en place du système d'étanchéité à l'air : charpentier, menuisier, couvreur, électricien, plaquiste... doit être sensibilisé à cet enjeu pour le prendre en compte lors de la réalisation de ses travaux. Une des entreprises, le charpentier par exemple, peut prendre en charge cette mission de suivi, afin de s'assurer de l'utilisation correcte des produits choisis et de leur bonne mise en œuvre.

### Réception du bâtiment et pérennité du système d'étanchéité à l'air

Dans une démarche qualité un test d'infiltrométrie (cf. page 17) est réalisé en cours puis en fin de chantier pour vérifier si l'exigence souhaitée en début de projet est respectée. Dans un objectif de construction durable, il est important que le système soit pérenne et efficace dans le temps. Il peut donc être intéressant de réitérer ce test, tous les cinq ans, afin d'apporter des corrections si nécessaire.

### IDÉES REÇUES : VENTILATION $\neq$ ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

La ventilation du bâtiment assure une bonne qualité de l'air intérieur aux occupants et les prises d'air à l'extérieur sont dimensionnées pour ce renouvellement précis. Rendre l'enveloppe d'un bâtiment étanche à l'air consiste à éliminer toutes fuites et pénétrations d'air parasites. Une bonne étanchéité à l'air contribue donc au fonctionnement au plus juste du système de ventilation prévu.

### PAROLE D'EXPERT



**Marika Frenette**  
Architecte Wigwam  
à Nantes

### Comment doit-on aborder cette nouveauté en France ?

« La construction en bois et les bâtiments exigeants en termes de performance thermique sont des nouvelles manières de construire en France, alors qu'elles sont déjà courantes et répandues dans d'autres pays (Canada, Suède, Allemagne). Les méthodes, les produits et la formation des intervenants pour l'étanchéité à l'air existent et sont appliqués depuis plus de 20 ans. Il ne s'agit donc pas d'innover, mais d'adapter ces ressources au marché français et d'accompagner les acteurs. »

### Quels acteurs doivent prendre part à la conception et mise en œuvre de l'étanchéité à l'air ?

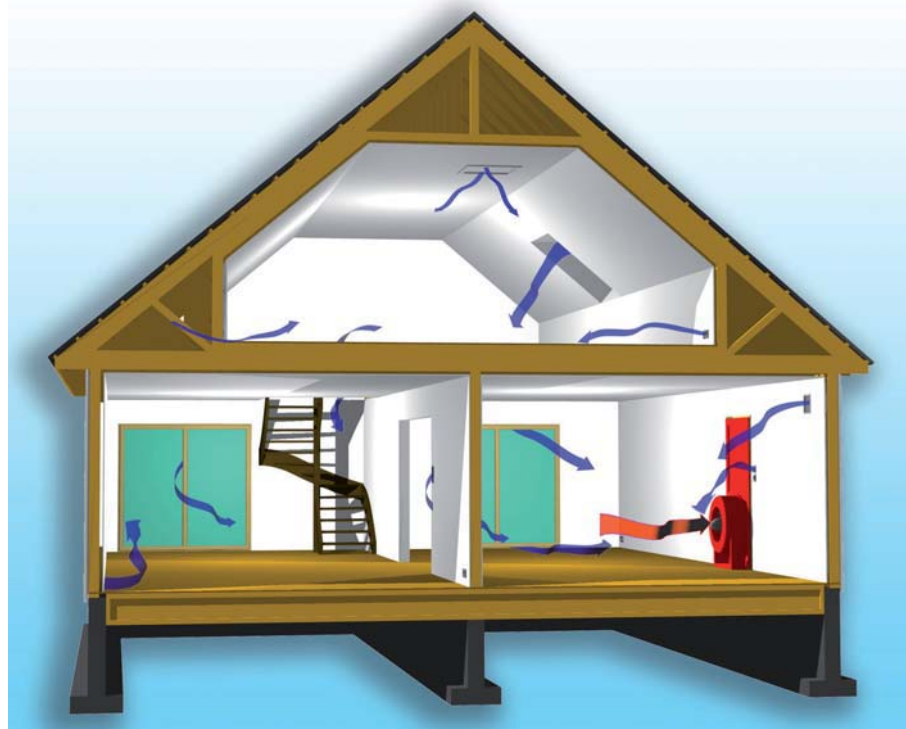
« Par transposition, on a conservé le mode d'allotissement défini pour la construction traditionnelle sur les projets bois. Or, cela amène à décortiquer les parois entre beaucoup d'intervenants, ce qui rend plus complexe la réalisation d'une bonne étanchéité et ceci dès l'amont du projet pour l'architecte. Dans les pays où cela s'effectue depuis longtemps, le charpentier supervise cette mission globalement pour ne pas prendre de risque sur la pérennité, entre autres structurelle, de son bâtiment. De plus, un bâtiment étanche à l'air contribuera au bon fonctionnement de la ventilation et donc à un air intérieur sain pour les occupants. »

# ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES BÂTIMENTS BOIS

## LE TEST D'INFILTROMÉTRIE

Le test d'infiltrométrie a pour but de mesurer les fuites et pénétrations d'air parasites au travers des surfaces en contact avec l'extérieur ou un local non chauffé. Il peut être réalisé en cours de chantier (bâtiment hors d'eau et hors d'air) avec une recherche des fuites d'air pour apporter les corrections nécessaires et en fin de chantier, pour vérifier si le bâtiment atteint les exigences fixées (obtention du label BBC-Effinergie par exemple).

Ce test peut également être réalisé dans des bâtiments existants pour détecter les fuites d'air à colmater, autour des menuiseries par exemple, et servir d'outils pour un diagnostic de qualité de l'air intérieur.



Principe du test d'étanchéité à l'air : la porte soufflante et le flux d'air engendré par le ventilateur sont représentés en rouge. Les flèches bleues, allant de l'extérieur vers l'intérieur, représentent les fuites détectées lorsque le bâtiment est mis en dépression.

### Principe de la mesure

Les tests d'infiltrométrie sont réalisés conformément à la norme européenne EN 13829. Afin de tester uniquement l'enveloppe du bâtiment, le système de ventilation est obturé temporairement. Une fausse porte « soufflante » est encastrée dans une ouverture extérieure, et le bâtiment est mis en dépression à 50 Pa (vent d'environ 30 km/h simultanément sur toutes les faces du bâtiment) pour la recherche des fuites. Le taux de renouvellement d'air par les fuites est ensuite obtenu par une séquence de mesures en dépression puis en surpression, avec des paliers entre 20 et 70 Pa.

### Résultat de la mesure

Deux unités sont principalement utilisées pour exprimer le résultat du test :  $n_{50}$  en vol/h pour une différence de 50 Pa, et  $Q_{4Pa-Surf}$  en  $m^3/h/m^2$  de paroi froide selon la réglementation française pour une différence de pression de 4 Pa. La seconde unité permet de prendre en compte la quantité de fuite d'air par mètre carré de parois froides, en lien avec le calcul réglementaire RT 2005.

### Étanchéité à l'air, réglementation et labels

La réglementation thermique française RT 2005 prend en compte la valeur d'étanchéité à l'air du bâtiment dans les calculs de consommation énergétique. Une valeur par défaut est prise, sauf dans le cas d'une mesure effectuée en fin de chantier.

	Maison individuelle		Logement collectif		Bâtiment tertiaire	
	$Q_4$ (en $m^3/h/m^2$ )	$n_{50}$ (en vol/h)	$Q_4$ (en $m^3/h/m^2$ )	$n_{50}$ (en vol/h)	$Q_4$ (en $m^3/h/m^2$ )	$n_{50}$ (en vol/h)
<b>RT2005</b> (valeur cible *)	0,8	≈ 3,1	1,2	≈ 2,6	1,2	≈ 2,8
<b>BBC-Effinergie</b>	0,6	≈ 2,3	1	≈ 2,2	pas d'exigences	
<b>Passif</b>	≈ 0,16	0,6	≈ 0,28	0,6	≈ 0,26	0,6

Pour l'obtention du label BBC, il est demandé d'être meilleur de  $0,2 m^3/h/m^2$  en  $Q_4$  que la valeur cible de la RT 2005. Pour un bâtiment passif, l'ensemble des fuites des parois ramené en un seul endroit ne doit pas dépasser la taille d'une carte bleue pour une maison individuelle.

(\*) La valeur cible est entrée dans la feuille de calcul thermique lorsqu'une procédure qualité est réalisée. Dans les autres cas, la valeur par défaut prise en compte est de  $1,3 m^3/h/m^2$  en  $Q_4$  pour les maisons individuelles et de  $1,7$  pour  $m^3/h/m^2$  en  $Q_4$  pour les logements collectifs et le tertiaire.

Les équivalences entre  $Q_4$  et  $n_{50}$  sont données à titre indicatif, en se basant sur des compacités moyennes de 1,4 pour des maisons individuelles, 2,5 pour le logement collectif et 2,3 pour les bâtiments tertiaires (source : CETE Lyon)

### OÙ TROUVER LES DIAGNOSTIQUEURS ?

Le site internet du collectif Effinergie ([www.effinergie.org](http://www.effinergie.org)) recense les sociétés aptes à faire des tests en vue de l'obtention du label. D'autre part, il existe un réseau des entreprises de thermographie et d'infiltrométrie : Aactime ([www.aactime.com](http://www.aactime.com))

# LE CONFORT D'ÉTÉ

La construction bois répond bien aux exigences thermiques d'hiver. Mais pour gérer le confort d'été, des stratégies spécifiques doivent être mises en place, notamment pour limiter les apports solaires.

Tout comme le confort d'hiver, le confort d'été d'un bâtiment vise au maintien d'une température intérieure souhaitée. Plusieurs facteurs sont à prendre en compte dès la conception pour gérer le confort d'été :

La forte résistance thermique globale de la paroi peut diminuer de 2 à 4° C la température intérieure. Les surfaces vitrées jouent un rôle prépondérant. Pour éviter les surchauffes en été elles ne devront pas dépasser 20 à 25 % de la surface habitable. Bien orientées, équipées de protection solaire (brise-soleil, stores réfléchissants extérieurs) elles ont une influence de 2 à 4° C. La ventilation par surventilation nocturne est un

élément essentiel du confort d'été. Elle peut ainsi diminuer la température intérieure de 2 à 5° C.

Contrairement à une idée reçue, l'inertie du bâtiment est le facteur le moins influent, de 1 à 3° C. La faible inertie des constructions à ossature bois peut être un atout car elles bénéficient d'une très forte réactivité thermique.

Facile à chauffer en hiver, il y sera également plus facile et surtout plus rapide d'y abaisser la température intérieure en été. Différents systèmes de rafraîchissement peu énergivores peuvent être mis en place : VMC double flux avec puits provençal, plancher hydraulique chauffant/rafraîchissant, emplois de matériaux à changement de phase.

D'autres stratégies pour éviter les surchauffes : concevoir... une lame d'air plus large permettant une sur-ventilation du bardage bois et de la toiture, ou encore de couvrir la toiture ou les façades d'une végétalisation.

## QUELLES EXIGENCES ?

Le référentiel du label BBC Effinergie ne prévoit pas d'exigence supplémentaire par rapport à la réglementation thermique en matière de confort d'été. Les solutions choisies pour un bâtiment basse consommation doivent donc être au moins aussi performantes que pour un bâtiment conforme à la RT2005.

## UNE MENUISERIE PERFORMANTE...

Afin d'opter pour une menuiserie performante au plan thermique (le meilleur compromis entre gain solaire maximal et déperditions minimales), plusieurs coefficients sont à prendre en compte :

- Le coefficient  $U_w$  ( $W/(m^2.K)$ ) ( $w$  pour window) caractérise la performance de l'ensemble de l'ouvrant. Il doit être inférieur à 1,7  $W/(m^2.K)$  pour un bâtiment basse consommation et inférieur à 1  $W/(m^2.K)$  pour un bâtiment passif. Ce coefficient résulte de la somme pondérée entre :

- Le coefficient  $U_g$  ( $W/(m^2.K)$ ) ( $g$  pour glass) qui caractérise la performance du vitrage ;

- Le coefficient  $U_f$  ( $W/(m^2.K)$ ) ( $f$  pour frame) qui caractérise la performance du châssis. Il est d'environ 2  $W/(m^2.K)$  pour les châssis bois, 7  $W/(m^2.K)$  pour les châssis aluminium ou acier et 4  $W/(m^2.K)$  s'il y a rupteur de ponts thermiques ;

- Le coefficient  $\psi$  ( $W/(m.K)$ ) qui représente les faiblesses thermiques dues aux intercalaires du vitrage.

- Le facteur solaire  $g$  (ou  $s$ ).

Le facteur solaire d'une baie vitrée, exprimé en % est la proportion de l'énergie solaire qui entre à l'intérieur d'un bâtiment comparée à

l'énergie reçue à l'extérieur de la baie vitrée. Une baie ayant un facteur solaire élevé permet ainsi, en hiver, de bénéficier des apports solaires, alors qu'une baie ayant un facteur solaire bas permet, en été, d'éviter les surchauffes.

D'autre part, pour éviter les ponts thermiques de mise en œuvre, il faudra privilégier une pose dans l'axe de l'isolation, réduire le linéaire de châssis, et prévoir d'isoler le pourtour des menuiseries.

## PAROLE D'EXPERT



Hubert Fèvre  
Gaujard Technologies à Avignon

### Quelles sont les solutions les plus efficaces pour le confort d'été en construction bois ?

Les réponses apportées par la conception bioclimatique sont maintenant bien connues. Orientation des bâtiments et des parties vitrées, protections solaires, inertie du sol, permettent de limiter les risques de surchauffe.

Les conditions estivales sont particulières. Une toiture peut atteindre plus de 60° C en plein soleil.

Nous devons imaginer pour le confort d'été des solutions qui tirent parti de la forte amplitude journalière, de l'excellente isolation du bâtiment bois et de la faible masse thermique qui les caractérisent.

Les isolants d'origine végétale en fibre de bois et cellulose, denses, apportent un déphasage satisfaisant qui ralentit la progression de l'onde de chaleur dans la paroi et évite qu'elle n'atteigne l'intérieur du bâtiment aux heures les plus chaudes de la journée.

Le bâtiment bien isolé, avec des matériaux qui assurent un déphasage et une conception adéquate, répond déjà en partie au confort d'été.

Il faut alors amortir l'amplitude de variation de température sur le cycle de 24 heures. La masse thermique nécessaire pour atténuer l'amplitude journalière de température se situe dans les premiers centimètres de parement intérieur. Une étude thermique poussée nous a montré que pour le confort d'été seuls les 6 premiers centimètres de masse rapportée sur un plancher bois sont réellement utiles.

L'effusivité du parement en contact avec l'air intérieur est un facteur important. C'est la capacité du matériau à échanger une quantité importante de calories avec le milieu extérieur. Un matériau effusif donne une impression de froid au contact avec la main (en hiver).

La surventilation nocturne prévue dès la conception du bâtiment, permet de tirer parti des heures les plus fraîches de la journée pour évacuer les calories. Là encore effusivité, répartition et surfaces importantes des masses thermiques jouent un rôle majeur.

# ANALYSE DE CYCLE DE VIE DES CONSTRUCTIONS BOIS

L'Analyse de cycle de vie (ACV) ou écobilan évalue l'impact environnemental d'un produit (exemple: un matériau de construction) ou d'un système (exemple: un bâtiment). Cette analyse va de l'extraction des matières premières jusqu'au traitement en fin de vie (mise en décharge, incinération, recyclage, etc.) du produit. Ce cycle de vie est souvent qualifiée de « berceau au tombeau ».

Cette méthode permet d'identifier les points sur lesquels un produit ou un système peut être amélioré et sert également à comparer l'empreinte environnementale de différents produits ou systèmes entre eux.

Plusieurs normes (cf. page 27) dans la série des ISO 14000 (Management environnemental) encadrent le marquage, les déclarations environnementales (ISO 14020) et l'analyse de cycle de vie (ISO 14040).

La norme ISO 14025 par exemple définit les principes à respecter pour effectuer une déclaration environnementale basée sur une ACV. La norme française NF P01010 en est une déclinaison dans le domaine des produits de construction et définit la méthode pour réaliser les **Fiches de déclaration environnementale et sanitaire** (FDES, en accès libre sur le site [www.inies.fr](http://www.inies.fr)). Cette méthode aboutit à l'évaluation de dix indicateurs d'impacts, comme la consommation des ressources, la pollution de l'air et de l'eau, la production de déchets, etc. Les aspects confort et santé sont également pris en compte (radon, COV...) mais ne sont encore mentionnés que rarement dans les FDES.

Une dizaine de produits dérivés du bois y sont recensés : poutre lamellé-collé, menuiserie, panneau isolant en fibre de bois, contreplaqué...

Afin de pouvoir comparer différents produits ou systèmes, il est nécessaire de définir une unité commune selon la fonction remplie : **l'unité fonctionnelle**. Par exemple, pour le système d'un mur ossature bois, ce serait d'assurer la fonction de mur porteur sur 1 m<sup>2</sup> de paroi pendant une durée de vie typique (DVT) de 50 ans. À cela peuvent s'ajouter d'autres fonctions comme une exigence d'isolation thermique ou acoustique.

## Et le bois...

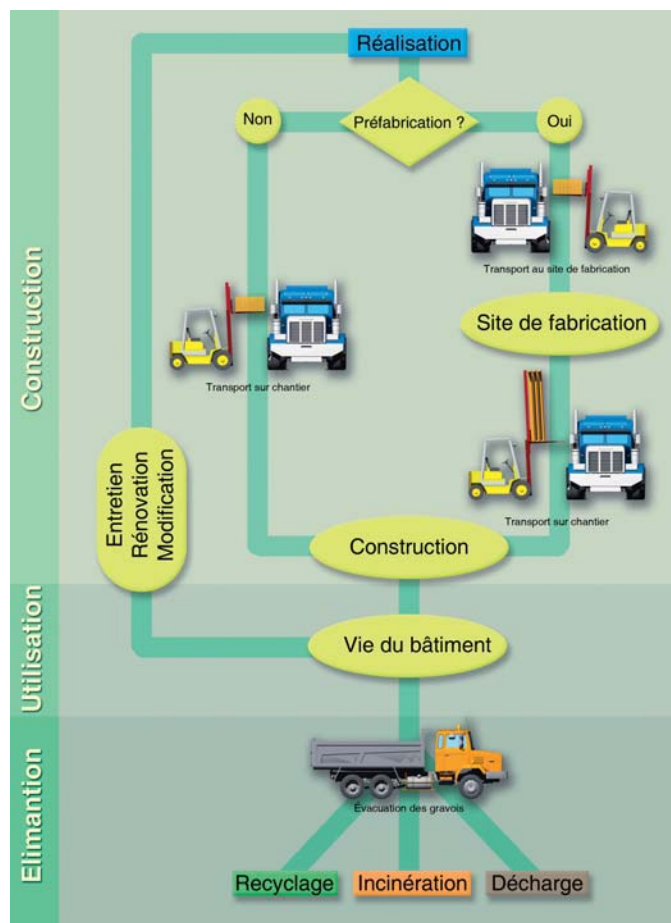
Le bois est connu pour être une ressource renouvelable qui ne s'épuise donc pas contrairement aux ressources fossiles, dès lors qu'il est prélevé dans des forêts en croissance et gérées durablement. D'autre part il a un effet bénéfique sur le potentiel de réchauffement global puisque durant sa phase d'utilisation, il permet de stocker une importante quantité de carbone (entre 12 et 30 tonnes pour une maison individuelle<sup>(\*)</sup>). Il faudra en revanche prêter une attention particulière à l'origine des bois pour pouvoir

comptabiliser les effets environnementaux dus au transport entre le lieu de sylviculture, l'industrie et le chantier de construction.

Le matériau bois a de multiples usages : construction, panneau, papeterie, bois énergie, etc. ce qui lui permet d'avoir un cycle de vie en plusieurs phases et de valoriser les déchets en fin de vie. Par exemple, lors des phases de transformation du bois (sciage, fabrication des poutres, etc.), des déchets sont générés et peuvent être réutilisés sur place en source

d'énergie pour le séchage du bois ou le chauffage des locaux.

La filière de réutilisation et de recyclage du bois est rendue complexe par l'ajout au matériau brut de divers traitements, finitions, colles et fixations. Ces produits modifiés doivent donc répondre au plus près à l'usage qui en est fait. À une échelle plus globale, le système constructif bois répond bien aux exigences environnementales, puisqu'il permet de construire des bâtiments performants thermiquement.



(\*) source : Tackle Climate Change, Arno Frühwald - Université de Hambourg

# ANALYSE DE CYCLE DE VIE DES CONSTRUCTIONS BOIS

## L'EXEMPLE DU GREEN-OFFICE

Green-Office est le premier bâtiment administratif de Suisse à avoir obtenu le très exigeant label Minergie P-Eco. Celui-ci ne prend pas seulement en compte l'énergie utilisée lors de son exploitation, mais également celle consommée pour la fabrication de ses composants et de sa construction.



Le bâtiment est entièrement construit en bois, à l'exception de la dalle basse et des murs du sous-sol. Le système constructif est une structure en poteaux-poutres en bois lamellé-collé. La plupart des éléments ont été préfabriqués en atelier, ce qui a permis un temps de montage de cinq jours seulement.

### Un choix de matériaux judicieux

Les matériaux ont été choisis en fonction de leur impact sur l'environnement et de leur transformation. Le sapin blanc, utilisé pour la structure, vient des environs de Fribourg et le bardage extérieur est constitué de lames verticales de la même essence. Les lames ont été préalablement exposées au soleil à une certaine altitude et arrosées avec de l'eau contenant un champignon qui accélère le vieillissement. Avec cette technique les lames ont été mises en œuvre pré-grisées. Les murs et cloisons intérieurs sont recouverts d'un enduit à l'argile. Les isolants thermiques, en papier recyclé et en fibre de bois, proviennent de matières entièrement renouvelables.

Les calculs effectués montrent que Green-office a consommé deux fois moins d'énergie grise pour sa mise en œuvre que s'il avait été exécuté avec des matériaux traditionnels.

### Une enveloppe performante

Une bonne compacité permet de limiter les déperditions thermiques. Un soin particulier a été apporté à l'enveloppe du bâtiment : une surisolation permet d'atteindre des valeurs U très performantes au niveau du plancher du rez-de-chaussée ( $U=0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), de la toiture ( $U=0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) et du mur ( $U=0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), et les fenêtres en bois sont munies d'un triple

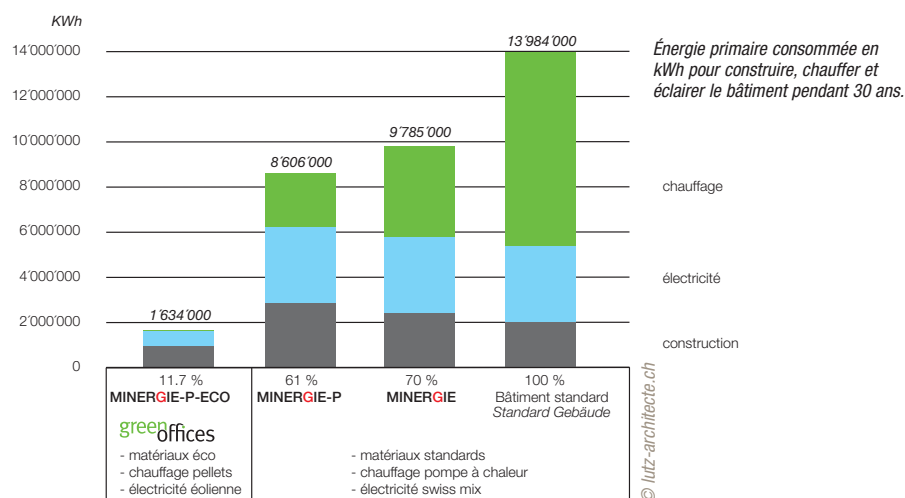
vitrage. L'étanchéité à l'air a été testée deux fois : lors de la mise hors d'eau, hors d'air et lors de la réception du bâtiment, avec un résultat  $n_{50}$  de 0,4 vol/h.

### Un équipement adapté

Une ventilation mécanique contrôlée double flux assure un bon renouvellement d'air. L'air frais est aspiré par un puits canadien et passe à travers un échangeur de chaleur où il est préchauffé. Des capteurs solaires thermiques assurent la production d'eau chaude sanitaire et un petit poêle à bois suffit pour faire l'appoint de chauffage.

Des appareils à faible consommation électrique, des interrupteurs centralisés et des détecteurs de présence aident à économiser l'énergie électrique.

Le bâtiment est doté de toilettes sèches afin d'éviter le gaspillage – les copeaux de bois remplacent la chasse d'eau et un système de dépression permet d'éviter les mauvaises odeurs. Les eaux de pluie de la toiture plate sont récupérées et alimentent les robinets des vasques et du lave-vaisselle.

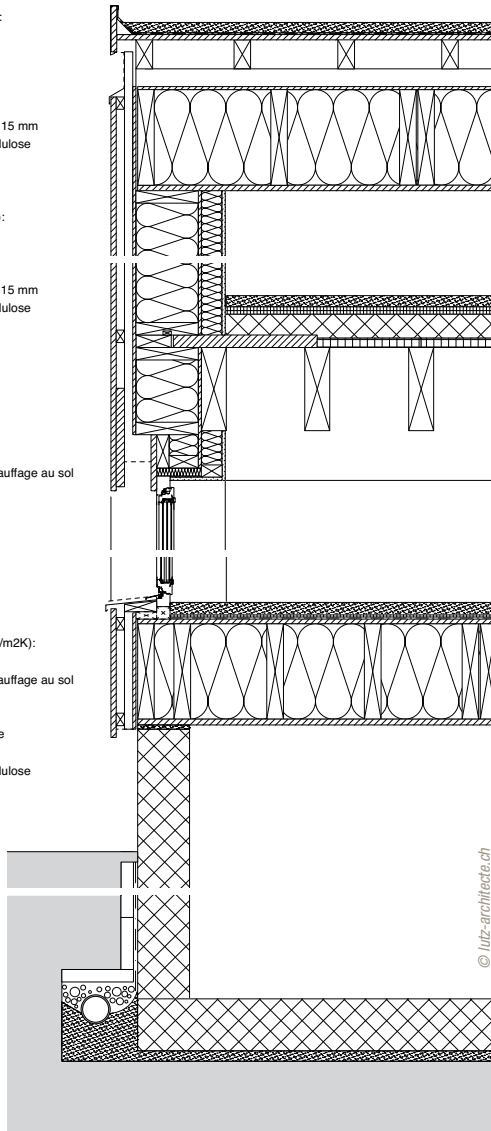


composition toiture (valeur U 0,10 W/m2K):  
 gravier 50 mm  
 natte de protection  
 étanchéité bicouche  
 panneau particules 19 mm  
 ventilation 140-200 mm avec pente 1%  
 panneau de fibre de bois mi-dur, diffusant, 15 mm  
 ossature bois b/c 80/460 mm / isolation cellulose  
 panneau trois plis 27 mm

composition façade (valeur U 0,11 W/m2K):  
 lambris vertical sapin blanc prépatiné  
 lattage horizontal 40 mm  
 lattage vertical 40 mm  
 panneau de fibre de bois mi-dur, diffusant, 15 mm  
 ossature bois b/c 80/300 mm / isolation cellulose  
 panneau osb 15 mm  
 isolation fibre de bois 100 mm  
 plaques de plâtre armé de fibres 15 mm  
 crépi argile

composition plancher 1er et 2ème étage:  
 huile minérale  
 chapes teintées dans la masse 55 mm/ chauffage au sol  
 couche de séparation  
 isolation phonique 2 x 18 mm  
 béton léger 100-115 mm  
 couche de séparation  
 dalles ciment 45 mm  
 solivage bois b/c 120/400 mm

composition plancher rez (valeur U 0,10 W/m2K):  
 huile minérale  
 chapes teintées dans la masse 55 mm/ chauffage au sol  
 couche de séparation  
 isolation phonique 10 mm  
 lé d'étanchéité bitumineux avec toile de jute  
 panneau osb 22 mm  
 ossature bois b/c 80/460 mm / isolation cellulose  
 panneau aggloméré lié au ciment 28 mm



**Maître d'ouvrage et architecte:** Conrad Lutz architecte sarl, Givisiez  
**Ingénieur bois:** Ing bois SA  
**Lieu:** Givisiez, Suisse  
**Année de construction:** 2007  
**Surface utile:** 1 255 m<sup>2</sup>  
**Exigence Minergie P:** 25 kWh<sub>sp</sub>/m<sup>2</sup><sub>SRE</sub>/an \*  
**Indice pondéré Minergie-P, réalisé:** 9,1 kWh<sub>sp</sub>/m<sup>2</sup><sub>SRE</sub>/an

\* SRE = surface de référence énergétique, c'est-à-dire la surface chauffée

## PAROLE D'EXPERT



**Conrad Lutz**  
 Architecte à Fribourg  
 en Suisse

### ***Que faut-il concevoir différemment pour un bâtiment « éco » (par rapport à un bâtiment performant thermiquement) ?***

« Le bâtiment éco, par rapport à un bâtiment performant thermiquement, est constitué de matériaux ayant un faible impact environnemental. Avant la construction de notre bâtiment, nous avons fait différents calculs avec des matériaux dits "traditionnels" ou des matériaux nécessitant peu d'énergie grise, la différence peut varier d'un facteur de 1 à 3. Le Green-Office, réalisé avec des matériaux dits "traditionnels" comme des murs en béton en façade, une isolation en polyuréthane, des barrières-vapeur, des fenêtres en matériaux synthétiques, etc., aurait consommé

2 millions de kW/h. L'utilisation de matériaux écologiques comme le bois non traité en façade, le crépis en argile naturelle, des isolants à base de fibre de bois, des peintures naturelles... a réduit la consommation d'énergie grise à moins de 1 million de kW/h. Cette économie entre les deux variantes correspond à 100 ans de consommation de chauffage pour ce même bâtiment (consommation annuelle 10 000 kW/h). Ce message doit être diffusé auprès du public, il faut être vigilant quant aux choix des matériaux. »

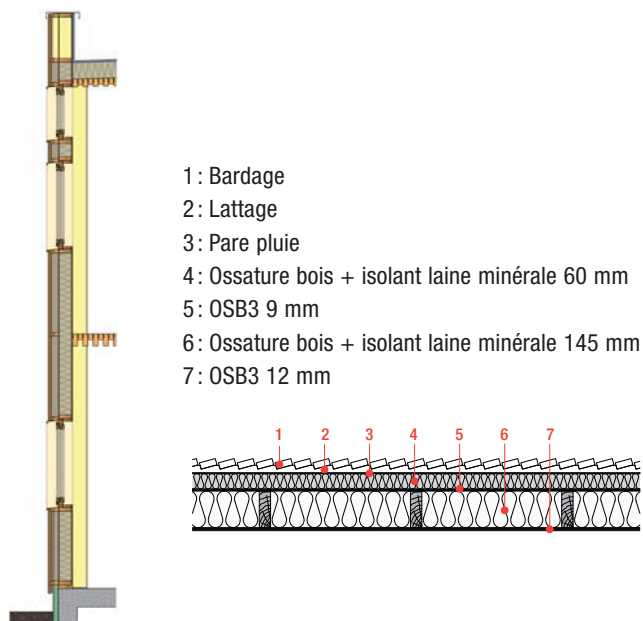
# EXEMPLES DE RÉALISATIONS

## BÂTIMENT TERTIAIRE À BUSSY-SAINT-MARTIN



Le bâtiment de bureaux d'Alto Ingénierie, situé dans une ZAC de Seine-et-Marne, s'inscrit dans une démarche qui vise à satisfaire les objectifs traditionnels de qualité (qualité architecturale, qualité d'usage, qualité d'ambiance, qualité technique) en limitant l'impact environnemental du bâtiment. Pour cette opération, Alto Ingénierie a voulu mettre en place une démarche environnementale en cohérence avec son activité de conseil environnemental dans les opérations de construction de bâtiment.

Une attention particulière est portée sur la gestion de l'énergie et du confort hygrothermique car l'objectif est d'obtenir un label de certification Passivhaus. L'étanchéité à l'air de l'enveloppe a donc été réalisée avec soin afin d'atteindre l'objectif mesuré de 0,6 vol/h sous 50 Pa. Pour cela, il a été explicitement demandé aux entreprises de s'engager sur la qualité de leur intervention vis-à-vis de l'étanchéité de l'enveloppe. Deux tests d'infiltrométrie seront réalisés par la maîtrise d'ouvrage. Lors de ces tests, les entreprises des différents lots doivent être présentes et s'engagent à corriger dans les règles de l'art les défauts d'étanchéité identifiés liés à leurs travaux respectifs.



Une ventilation naturelle nocturne assure le confort d'été et est associée à une circulation d'eau rafraîchie dans les émetteurs (eau rafraîchie par circulation dans les sondes géothermiques, sans mise en marche de la pompe à chaleur).

### FICHE D'IDENTITÉ

**Architecte :** AA Feraru  
**Maîtrise d'ouvrage :** Alto Ingénierie via SCI Laeca  
**Entreprise bois :** Charpentes du Gatinais  
**Lieu :** Bussy St Martin (77)  
**Années de construction :** 2008-2009  
**Surface :** 1 115 m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>  
**Système constructif :** mur en ossature bois ; plancher bois massif

---

**Label visé :** Passivhaus  
**Étanchéité à l'air :** > à 0,6 vol/h  
**Besoins de chauffage (estimation) :** < 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an  
**Consommation en énergie primaire (estimation) :** 45 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>  
**U<sub>mur</sub> = 0,16 W/(m<sup>2</sup>.K)**



## SALLE COMMUNALE À SAVIGNY-LE-SEC



Le bâtiment communal de Savigny-le-Sec assure trois fonctions principales : une salle à usages multiples, un dojo et des ateliers municipaux. L'ensemble de ces fonctions sont réunies dans un volume compact de forme très simple, largement ouvert au sud, modérément à l'est et à l'ouest et faiblement ouvert au nord.

La majeure partie du bâtiment est préfabriquée en atelier et assemblée sur place. Il s'agit d'une construction mixte où chaque matériau est employé là où il assure le meilleur compromis entre solidité, durabilité, impact environnemental et économie d'énergie. Ainsi, le béton est utilisé en fondations enterrées, en longrines et en prémurs pour la paroi verticale nord. Le bois est utilisé dans toutes les autres parois : mur, plancher et toiture. Il permet d'apporter à l'enveloppe ses qualités isolantes. L'insufflation de ouate de cellulose entre montants est complétée par un doublage par l'extérieur en panneau de fibres de bois isolant supprimant ainsi tous les ponts thermiques. Le plancher bois, sur un vide sanitaire

abondamment ventilé, est réalisé par des poutres en I formant un caisson généreusement rempli de ouate de cellulose en vrac.

Le plancher haut illustre également cette mixité de bois et de béton : le bois en planches clouées sert de support à la dalle de compression en béton. Au-delà de ses qualités mécaniques et environnementales, chaque matériau est employé pour ses qualités thermiques. Ainsi, le système constructif bois offre une forte isolation thermique tandis que le béton apporte la masse nécessaire au confort acoustique du bâtiment.

### FICHE D'IDENTITÉ

**Architecte :** Topoiein Studio

**Maîtrise d'ouvrage :** Commune de Savigny-le-Sec

**Entreprise bois :** Les charpentiers de Bourgogne

**Lieu :** Savigny-le-Sec (21)

**Année de construction :** 2008

**Surface :** 680 m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>

**Système constructif :** Dalle et ossature bois, plancher bois-béton

**Système constructif bois :** volume bois : 358 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>

**Niveau visé :** Effinergie, sans labellisation

**Étanchéité à l'air :**  $Q_v = 0,28 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ ;  $n_{50} = 0,81 \text{ vol}/\text{h}$

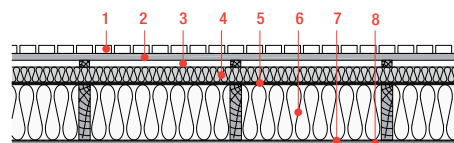
**Besoin de chauffage (estimation) :** 23 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>/an

**Consommation d'énergie primaire (estimation) :**  $\approx 40 \text{ kWh}/\text{m}^2_{\text{SHON}}/\text{an}$

**U<sub>mur</sub> = 0,13 W/(m<sup>2</sup>.K)**



- 1 : Bardage ajouré 32/63 mm
- 2 : Contre lattage 27/40 mm
- 3 : Lattage 27/40 mm
- 4 : Pare pluie fibres de bois 60 mm
- 5 : OSB3 10 mm
- 6 : Ossature bois + cellulose insufflée 220 mm
- 7 : Pare-vapeur
- 8 : Plaque de plâtre armé de fibres de cellulose 12,5 mm



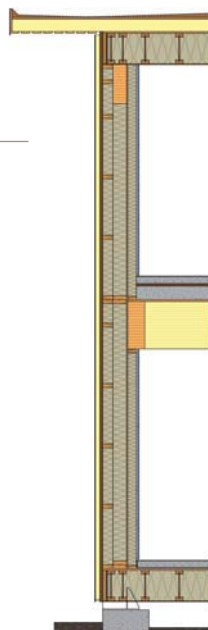
## MAISON POUR LA PLANÈTE À MEYTHET



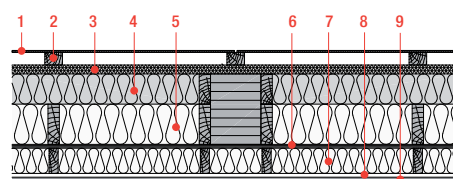
La Maison pour la Planète est un bâtiment de bureaux visant à accueillir l'ONG Prioriterre. La conception a pu être réalisée grâce au programme européen INTERREG IIIA franco-suisse. Ont ainsi participé au projet, l'école d'ingénieurs de Genève et un architecte spécialisé dans les bâtiments très basse consommation.

L'ambition de ce projet va bien au-delà de la seule performance énergétique. Ainsi, une attention particulière a été portée à l'analyse de l'impact environnemental des matériaux pour chacune des phases de la construction et de la vie du bâtiment, à savoir la conception, la réalisation, la maintenance, l'adaptation et la déconstruction. Seuls ont donc été retenus ceux qui présentaient un moindre impact en matière de consommation d'énergie et en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Pour la première fois en Haute-Savoie, un bâtiment a été conçu en associant la très haute performance énergétique et l'analyse du cycle de vie des matériaux. La Maison pour la Planète sera ainsi labellisée MINERGIE-P-ECO®. Un suivi est programmé pour s'assurer de l'évolution des consommations en phase d'utilisation.

La conception de ce bâtiment de 633 m<sup>2</sup> de surface utile est basée sur des principes de construction simples, à partir de matériaux et d'équipements facilement disponibles sur le marché, ce qui en fait un bâtiment reproductible dans tous ses principes et pour tout type d'usage. La mise en œuvre de ce chantier a nécessité le recours à



- 1 : Panneau fibres-ciment 8 mm
- 2 : Lattage 50/70 mm
- 3 : Pare pluie fibres de bois 35 mm
- 4 : Ossature bois + isolant fibres de bois 120 mm
- 5 : Ossature bois + isolant fibres de bois 160 mm
- 6 : OSB3 15 mm
- 7 : Ossature bois + isolant fibres de bois 100 mm
- 8 : Lattage 15 mm
- 9 : Plaque de plâtre 13 mm



des entreprises innovantes, n'ayant pas peur de remettre en cause leurs habitudes de travail. La consultation d'entreprises s'est faite sous forme d'appel à candidatures.

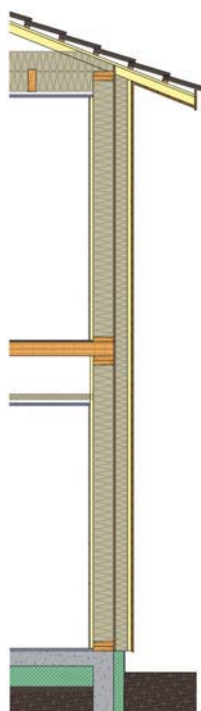
### FICHE D'IDENTITÉ

**Architecte :** Beauquier Architectes  
**Architecte associé :** Conrad Lutz  
**Maîtrise d'ouvrage :** Ville de Meythet  
**Entreprise bois :** Dunoyer  
**Lieu :** Meythet (74)  
**Année de construction :** 2008/2009  
**Surface :** 742 m<sup>2</sup><sub>SHON</sub>  
**Système constructif :** Poteaux poutres

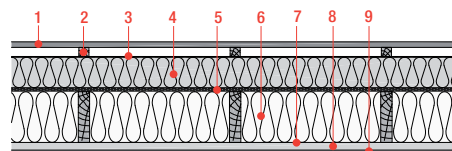
**Label visé :** Minergie P ECO  
**Étanchéité à l'air :** < 0,6 vol/h  
**Besoins de chauffage (estimation) :** < 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>SRE</sub>/an  
**Consommation d'énergie primaire (estimation) :** < 30 kWh/m<sup>2</sup><sub>SRE</sub>/an  
**U<sub>mur</sub> = 0,10 W/(m<sup>2</sup>.K)**



## LOGEMENTS SOCIAUX À LA TERRASSE



- 1 : Bardage
- 2 : Lattage
- 3 : Pare pluie
- 4 : Ossature bois + isolant fibres de bois 120 mm
- 5 : MDF 16 mm
- 6 : Ossature bois + isolant fibres de bois 200 mm
- 7 : Pare vapeur
- 8 : Lattage 30 mm
- 9 : Plaque de plâtre 13 mm



Implantés dans une zone à climat rigoureux, ces six logements HLM à la Terrasse, dans l'Isère, prévoient en 2006 une consommation énergétique de 50 kWh/m<sup>2</sup>/an. L'implantation des logements en deux blocs a conduit à privilégier une solution passive permettant de se passer d'une chaudière collective et d'un réseau de chaleur entre blocs de logements.

Les éléments structuraux et d'enveloppe sont en ossature bois isolée en fibres de bois de faible densité entre montants et doublée d'une isolation extérieure en fibres de bois de moyenne densité supprimant les ponts thermiques. Ceci apporte une performance thermique très élevée autorisant une régulation par un système de ventilation à double flux avec récupération de chaleur. Une pompe à chaleur fait l'appoint pour le chauffe-eau à préchauffage solaire.

Les surchauffes estivales sont réduites par différents dispositifs, à savoir le tampon thermique de la toiture froide, l'isolation thermique extérieure en fibre de bois forte densité, ayant une capacité thermique élevée, propriété permettant d'assurer une meilleure isolation à la chaleur.

Dans ce programme, situé dans une commune où la température diurne en hiver peut descendre en dessous de -20° C, les menuiseries extérieures sont en bois, équipées d'un triple vitrage, apportant une isolation complémentaire. De manière à ne pas risquer de détérioration de l'étanchéité à l'air, celle-ci est assurée par un pare-vapeur posé en continu sur les montants d'ossature et écarté du parement intérieur par un contre-lattage bois. Ceci permet en outre d'y passer les différents réseaux, électrique et hydraulique.

L'étanchéité à l'air a fait l'objet d'un lot spécifique qui comprenait également une session de formation théorique et pratique sur chantier pour les principaux corps d'état concernés.



### FICHE D'IDENTITÉ

**Architecte :** Vincent Rigassi  
**Maîtrise d'ouvrage :** Pluralis (Société d'Habitation des Alpes)  
**Entreprise bois :** Royans Charpente  
**BET structure :** Gaujard Technologies  
**Lieu :** La Terrasse (38)  
**Surface :** 328 m<sup>2</sup><sub>SDOH</sub>  
**Année de construction :** 2008  
**Système constructif :** Ossature bois

---

**Label :** Minergie P  
**Objectif d'étanchéité à l'air :** < 0,6 vol/h sous 50 Pa  
**Besoins de chauffage (estimation) :** < 11,9 kWh/m<sup>2</sup><sub>SRG</sub>/an  
**Consommation d'énergie primaire (estimation) :** 19,5 kWh/m<sup>2</sup><sub>SRG</sub>/an  
**U<sub>mur</sub> = 0,14 W/(m<sup>2</sup>.K)**

## CENTRE HÉBERGEMENT "LITS HALTE SOINS SANTÉ" À MARSEILLE



Le projet de "Lits halte soins santé" à Marseille a pour vocation de proposer des chambres, une infirmerie, un restaurant, des salles de soin, le tout 24h/24h à des SDF en besoin mais ne justifiant pas une hospitalisation.

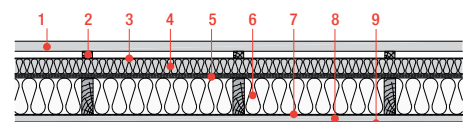
Le bâtiment est composé de murs porteurs en ossature bois de section 45/145 mm, avec panneaux de contreventement de 16 mm. Les cavités des murs ossature bois sont remplies par insufflation d'un isolant en ouate de cellulose. Un complément d'isolation en fibre de bois sur la face extérieure des murs permet d'augmenter le déphasage de la paroi et donc d'améliorer le confort d'été.

Les parois verticales en ossature bois sont « perspirantes », c'est-à-dire qu'elles régulent non seulement les échanges thermiques mais aussi les échanges hygrométriques avec l'extérieur. Ces parois améliorent sensiblement le confort des usagers et la pérennité des performances thermiques des parois.

Les planchers du R+1 et du R+2 sont en bois massif contrecollé (KLH) d'une épaisseur de 162 mm, sur lesquels est coulé un plancher rafraîchissant. La toiture est composée de caissons d'une hauteur de 300 mm, remplis de ouate de cellulose insufflée.



- 1: Bardage ajouré 40/40
- 2: Lattage 27/40
- 3: Pare pluie
- 4: Isolant fibres de bois 60 mm
- 5: MDF 16 mm
- 6: Ossature bois + cellulose projetée 145 mm
- 7: Pare vapeur
- 8: Lattage 30 mm
- 9: Plaque de plâtre 13 mm



### FICHE D'IDENTITÉ

**Architecte :** Plans Séquences Architectures

**Maîtrise d'ouvrage :** Alliance Immobilière

**Entreprise bois :** Charpente Azuréenne

**BET structure :** Gaujard Technologies

**Lieu :** Marseille (13)

**Année de construction :** 2008

**Système constructif :** Ossature bois

**Niveau visé :** THPE Enr

**Étanchéité à l'air :** pas de test effectué

**Besoin de chauffage (estimation) :** 53 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHOW</sub>/an

**Consommation d'énergie primaire (estimation) :** 275 kWh/m<sup>2</sup><sub>SHOW</sub>/an

**U<sub>mur</sub> = 0,15 W/(m<sup>2</sup>.K)**

## LES LOGICIELS

### LES LOGICIELS D'AIDE À LA CONCEPTION POUR DES BÂTIMENTS BASSE CONSOMMATION ET PASSIFS

Les logiciels réglementaires sont en cours d'évolution mais n'intègrent aujourd'hui pas toujours très bien les nouvelles solutions qui émergent pour les bâtiments basse consommation et passifs. Les architectes et bureaux d'études peuvent donc avoir recours à des outils d'accompagnement à la conception tels que PHPP (Passive House Planning Package),

élaborée par le Passivhaus-Institut de Darmstadt en Allemagne, et qui existe en version française. Conçu sous un format Excel il est relativement facile à prendre en main et les données peuvent être affinées au fur et à mesure de l'avancement du projet. L'influence d'un paramètre (vitrage, ventilation, isolation, etc.) sur la consommation globale peut être

instantanément analysée.

Lorsque l'équipe comprend un bureau d'étude thermique, il pourra alors travailler avec des outils précis en simulation dynamique (Comfie-Pleiades, Designbuilder...), pour affiner l'ensemble du bâtiment, en concertation avec l'architecte.

### LES LOGICIELS POUR RÉALISER UNE ACV D'UN BÂTIMENT

Plusieurs logiciels existent pour évaluer l'impact d'un bâtiment dans son ensemble : ELODIE, logiciel développé par le CSTB, permet d'exploiter directement les FDES présentes dans la base INIES. Pour les produits non présents dans cette base, l'utilisateur peut gérer sa propre base de données. Il permet actuelle-

ment de tenir compte des matériaux de construction mais pas encore des consommations dues à l'exploitation du bâtiment. EQUER est un outil d'évaluation de la qualité environnementale des bâtiments (12 paramètres environnementaux), ayant pour but d'aider les acteurs à mieux cerner les conséquences

de leurs choix. Il est associé au logiciel de simulation thermo-dynamique Comfie-Pleiades, et permet donc de tenir compte de toutes les phases de vie du bâtiment : construction, exploitation et fin de vie.

## POUR EN SAVOIR +

### Normes :

#### Performance thermique et enveloppe :

DTU 31.2, annexe 3 sur l'étanchéité à l'air

#### Analyse de cycle de vie :

ISO 14040 et 14044 : Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes, cadre, exigences et lignes directrices.  
ISO 14021 : Marquage et déclarations environnementales de type II (Autodéclaration environnementale du fabricant).  
ISO 14024 : Marquage et déclarations environnementales de type I (Exemple : label Ange bleu, Ecolabel européen, Nature plus...).  
ISO 14025 (version projet) : Marquage et déclarations environnementales de type III. Cette déclaration doit être basée sur une ACV.  
NF P01010 (2004) : Norme française définissant le contenu et le mode de réalisation de la Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES).

### Sites Internet :

Effinergie : [www.effinergie.org](http://www.effinergie.org)  
Minergie France : [www.minergie.fr](http://www.minergie.fr)  
La maison passive France : [www.lamaisonpassive.fr](http://www.lamaisonpassive.fr)  
Base FDES : [www.inies.fr](http://www.inies.fr)

### Organismes pouvant attribuer des aides :

ADEME : [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)  
ANAH : [www.anah.fr](http://www.anah.fr)  
ANRU : [www.anru.fr](http://www.anru.fr)  
PUCA : <http://rp.urbanisme.equipement.gouv.fr/puca/>  
Conseils régionaux

### Logiciels :

Pleiades + Comfie, EQUER : [www.izuba.fr](http://www.izuba.fr)  
PHPP : [www.lamaisonpassive.fr](http://www.lamaisonpassive.fr)  
Elodie : <http://ese.cstb.fr/elodie/>  
Designbuilder : [www.batisim.net/](http://www.batisim.net/)

### Documents techniques :

La performance énergétique : enjeux et solutions pour la construction bois (Abibois, en partenariat avec Atlanbois), à télécharger sur le site [www.abibois.com](http://www.abibois.com)

Détermination et calcul des ponts thermiques linéiques et intégrés des constructions en bois, CSTB et FCBA, à télécharger sur : [www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT2005/publications/maisons\\_ossatures\\_bois.pdf](http://www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT2005/publications/maisons_ossatures_bois.pdf)

Lignatec 16/2003 : Minergie et construction bois, Lignum, à commander auprès de [www.lignum.ch](http://www.lignum.ch)

Maison basse consommation - guide de conception et de mise en oeuvre pour la maison à ossature bois. [www.cndb.org](http://www.cndb.org)

## À PROPOS DU CNDB

(COMITÉ NATIONAL POUR LE DÉVELOPPEMENT DU BOIS)

Le CNDB est l'organisme national de promotion du bois.

Il assure la promotion et la valorisation du matériau bois et contribue à une plus grande notoriété de l'ensemble de la filière bois.

Association à but non lucratif créée en 1989 et régie par la loi de 1901, le CNDB regroupe les fédérations professionnelles nationales et les interprofessions régionales de la filière bois. Il est soutenu par les pouvoirs publics qui s'associent à son action.

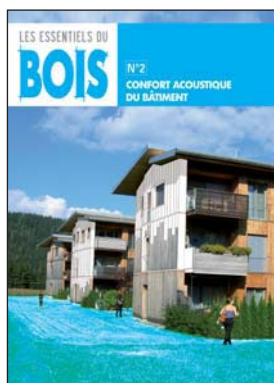
## À PROPOS DE SKOGSINDUSTRIERNA

(LA FÉDÉRATION DES INDUSTRIES FORESTIÈRES SUÉDOISES)

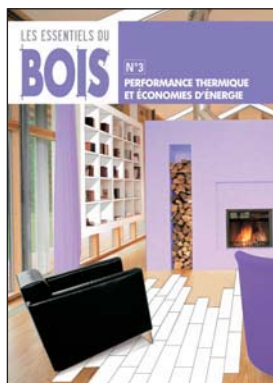
La Fédération des industries forestières suédoises - Skogsindustrierna - est un organisme de promotion des industries de papier et de bois. Son rôle est de favoriser une plus grande utilisation des produits à base de bois et elle s'associe, à ce titre, à d'autres organismes nationaux partout en Europe pour promouvoir des campagnes de promotion générique du bois et pour diffuser de l'information concernant les multiples atouts de ce matériau, notamment dans la construction.



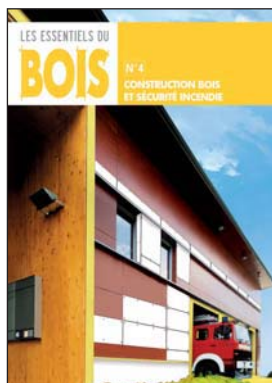
**Construire en bois,  
un choix durable**



**Confort acoustique  
du bâtiment**



**Performance thermique  
et économies d'énergie**



**Construction bois  
et sécurité incendie**



**Revêtements  
extérieurs en bois**

Brochures téléchargeables sur le site [www.bois.com](http://www.bois.com)



**Le bois c'est essentiel**

[www.bois.com](http://www.bois.com)

Cette collection est une publication conjointe du CNDB (Comité national pour le développement du bois) et de la Fédération des industries forestières suédoises (Skogsindustrierna) réalisée dans le cadre de la campagne "Le bois, c'est essentiel!", avec le soutien financier du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, et de France Bois Forêt.



Publication éditée par le CNDB et la Fédération des industries forestières suédoises (Skogsindustrierna) - CNDB RCS Paris B 392 632 055 - Rédactrices en chef: Bettina Horsch et Delphine Saint Quentin, Wigwam, Nantes - Comité de rédaction: CNDB et Skogsindustrierna - Conception, maquette, mise en page: ICQM - RCS Toulouse B 393 658 760 - © CNDB: schémas pages 11 et 12 et pages 20 à 26 - Couverture: Centre de soins de suite et de réadaptation au Bourget (93) © Hervé Abbadie (photographe) et Bruno Hubert et Michel Roy (maîtres d'œuvre) - 25681208 - [icom-com.fr](http://icom-com.fr) - Document imprimé par imprimerie Rochelaise Nouvel R, entreprise Imprim'vert®, procédé CIP avec des encres à base végétale - Papier Condat Silk 250 g et 170 g PEFC/10-31-1240.