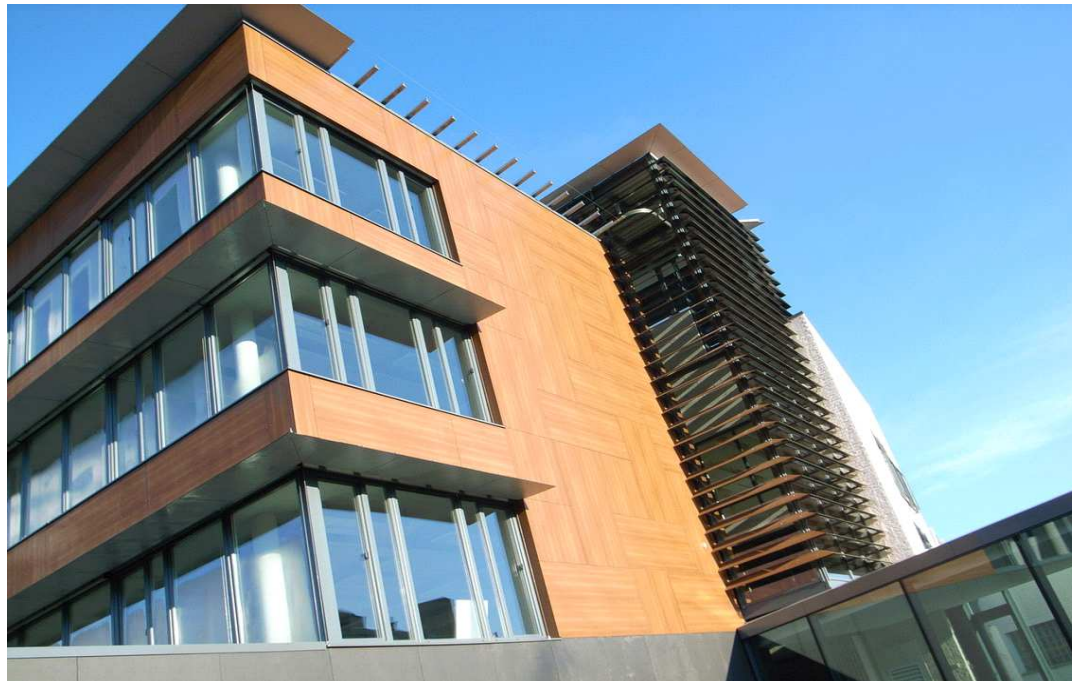


# La problématique hygro-thermique d'un bâtiment en bois : IFPC – Nivelles 2007

Projet de diffusion de bonnes pratiques  
[volet scientifique de la Formation *le Bois dans la Construction* ]



(Source de l'illustration : A2M)

**Auteurs** : Nyssen-Dehaye Damien ;Haynes, Jeremy ; Zastavni, Denis

**Comité scientifique** : Frère, Hugues\* ; Vincke, Caroline\*\* ; Zastavni, Denis\*\*\*

[\* : Hout Info Bois ; \*\* Eaux et Forêts, UCL ; \*\*\* : Architecture, Ingénierie et Urbanisme, UCL]

# Les dossiers de Diffusion de bonnes pratiques

Dans le cadre du volet scientifique de la formation continuée de l'UCL *Le Bois dans la Construction*, un projet de diffusion de bonnes pratiques concernant l'utilisation du bois dans la construction a été imaginé afin de guider les concepteurs à l'abord d'un projet de construction avec le bois.

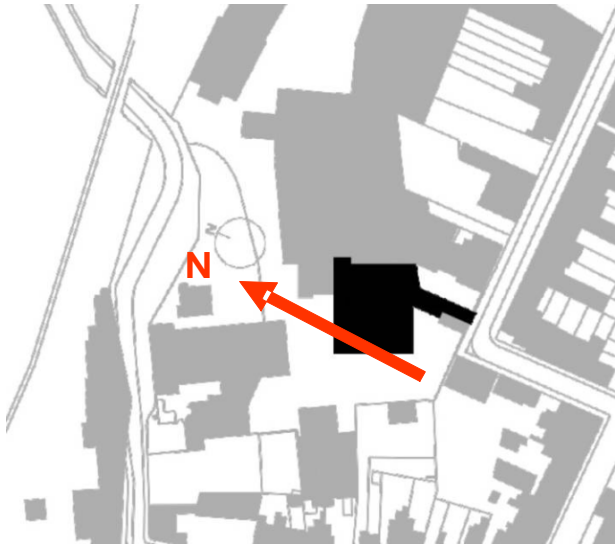
Ce projet comprend les analyses de cinq bâtiments en bois, exemplaires par leur démarche, tous implantés en Wallonie. Ces analyses ont pour objectif de récapituler les difficultés rencontrées pour atteindre de bonnes performances dans un bâtiment en bois si l'approche du concepteur est mauvaise. Chaque dossier récapitule les différents aspects de l'une de ces problématiques et illustre l'approche qui a été suivie par le concepteur pour viser à la performance souhaitée. Ils illustrent au travers des plans, des coupes et des détails techniques les particularités du projet et l'approche qui a été suivie par les concepteurs pour viser à la performance étudiée.

**Les dossiers d'étude de cas n'ont pas pour vocation de donner des règles, des détails types ou un quelconque mode d'emploi eu égard à une performance. Ils ont pour objectif d'illustrer une approche possible de la problématique avec une illustration des solutions auxquelles cette approche a mené.**

# Fiche récapitulative

– Programme :	Institut Professionnel de Formation Continuée – Rénovation basse-énergie et agrandissement passif.
– Situation :	1, rue Demulder à Nivelles, Brabant Wallon
– Surface du bâtiment :	2580 m <sup>2</sup> (1168 m <sup>2</sup> passif)
– Emprise au sol :	1125 m <sup>2</sup>
– Auteur(s) de projet :	A2M sprl – Arch. Moreno-Vacca Sebastian
– Maître d'ouvrage :	Province du Brabant Wallon
– Entreprise(s) :	TWT sa
– Bureau(x) d'études spécialisé(s) :	Cenergie SCRL (énergie)  Ney & Partners sa (stabilité)  Solyremi sprl (techniques spéciales)
– budget total :	2.753.000 €

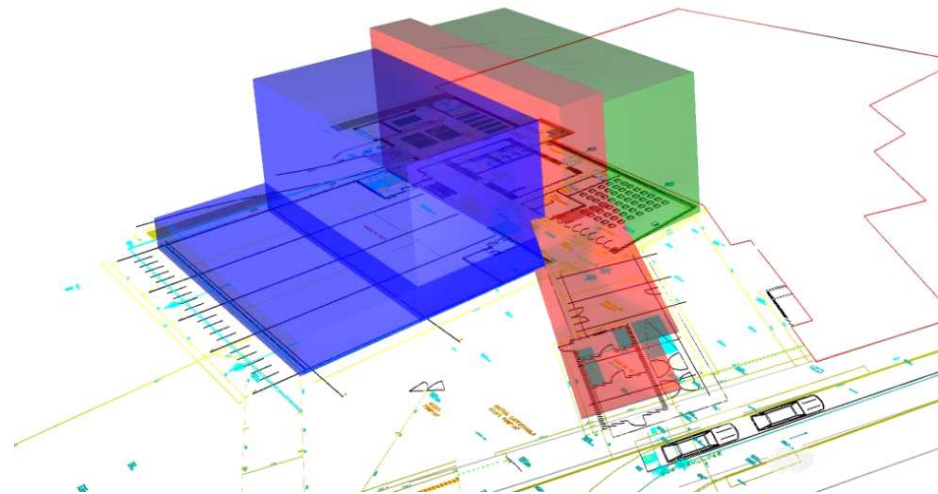
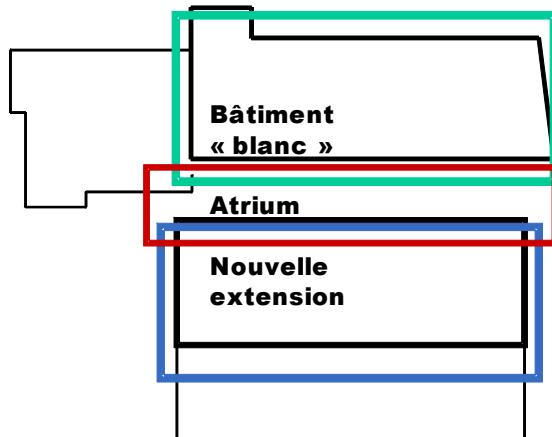
# Plan de situation et présentation du bâtiment



Le bâtiment est situé au cœur d'un complexe scolaire à mi-chemin entre la gare et le centre-ville de Nivelles et comprend deux volumes.

Le premier a été conservé et rénové sur les critères d'un bâtiment « basse-énergie ».

Le second volume, neuf, est construit selon le standard passif. Les deux parties sont reliées entre elles par un atrium.



(Source A2M)

# Plans et coupes du bâtiment

## Rez de chaussée, étage-type, coupe A-A

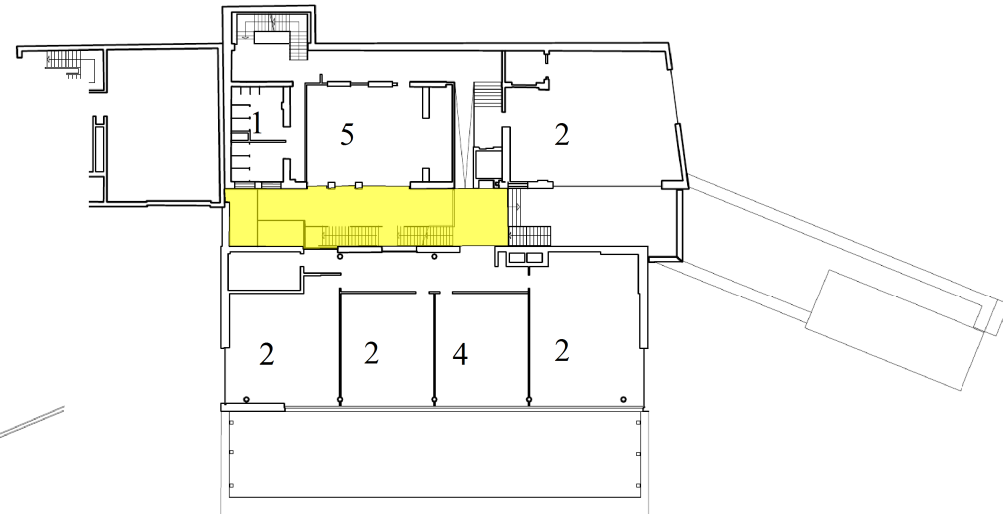
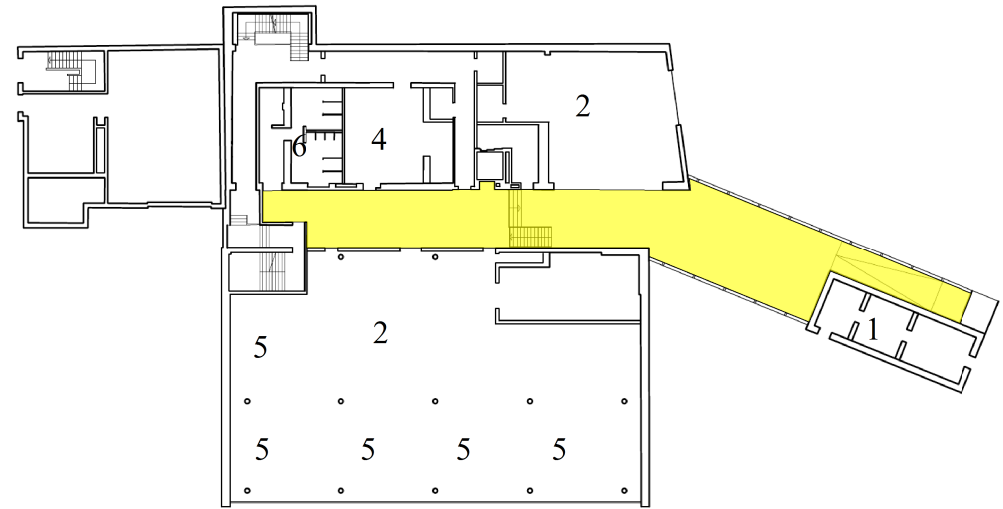
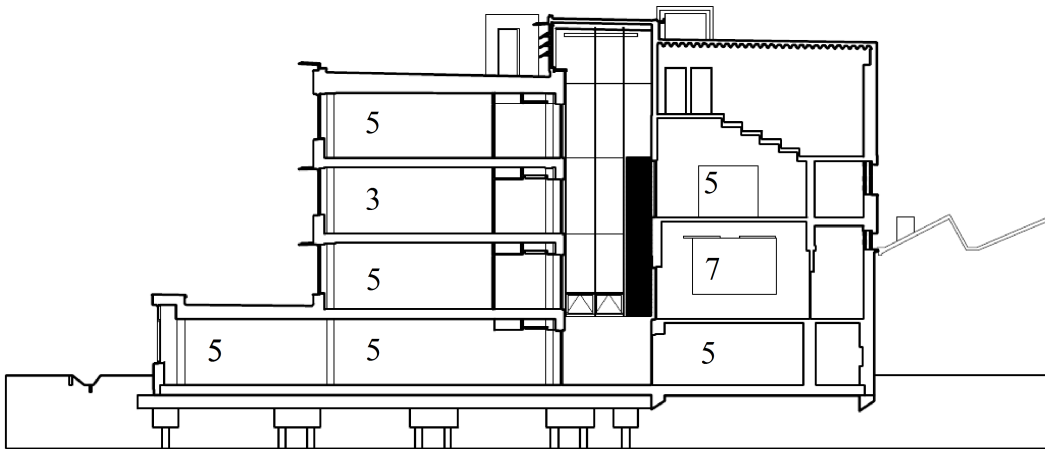
La partie passive du bâtiment abrite les salles de cours généraux et pratiques ainsi que les bureaux administratifs tandis que la partie rénovée abrite des fonctions moins flexibles (archives, locaux informatiques,...).

### Rez-de-chaussée et coupe

- Cabine haute tension (1)
- Cafétéria (2)
- Espace administratif (3)
- Stockage (4)
- Salle de cours (5)
- WC (6)
- Salle informatique (7)

### 1er étage

- WC (1)
- salle informatique (2)
- Archives (3)
- laboratoires de langues (4)
- local vidéo (5)



# Stratégies mises en œuvre pour obtenir de bonnes performances hygrothermique.

Les stratégies générales en matière d'hygrothermie sont :

- Minimiser les déperditions par transmission en assurant une bonne isolation thermique des différentes parois
- Minimiser les pertes par ventilation en assurant une bonne étanchéité à l'air du bâtiment.
- Éviter les ponts thermiques
- Réguler l'hygrométrie de l'air à l'intérieur du bâti.

## 1. Déperditions par transmission

Une paroi est caractérisée par son coefficient de transmission thermique  $U$ .

$$U = \frac{1}{R_t} \quad [W/m^2K] \quad \text{avec} \quad R_t = R_{si} + R_h + \sum R_g + \sum R_{nh} + R_{se}$$

$R_t$  = Résistance thermique totale de la paroi [ $m^2K/W$ ]

$R_{si}$ ,  $R_{se}$  = Résistance thermique d'échange aux surfaces (conditions intérieures et extérieures)

$$R_h = \sum \left( \frac{d}{\lambda} \right) : \text{Résistance thermique des couches homogènes}$$

avec  $d$  : épaisseur du matériau [m]  
 $\lambda$  : conductivité thermique du matériau [ $W/mK$ ]

$R_g$  = Résistance thermique des lames d'air

$R_{nh}$  = Résistance thermique des couches non homogènes

La détermination de la résistance thermique des couches de construction est développée dans l'annexe VII de l'arrêté du Gouvernement wallon du 17 avril 2008 déterminant la méthode de calcul et les exigences, les agréments et les sanctions applicables en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments.

Le tableau ci-contre reprend les valeurs  $U$  maximales dans le cadre de la réglementation PEB applicable pour les bâtiments résidentiels neufs en Région Wallonne.



Photo A2M)

Parois de la surface de déperdition du bâtiment	$U_{max}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$R_{min}$ [m <sup>2</sup> K/W]
<b>Fenêtres et autres parois translucides</b>		
- Valeur spécifique pour la partie centrale vitrée de chaque élément	1.6	
- Valeur globale pour l'élément	2.5	
<b>Portes et portes de garage</b>	2.9	
<b>Murs et parois opaques</b>		
- En contact avec tout environnement à l'exception d'un vide sanitaire d'une cave et du sol	0.4*	
- Entre le volume protégé et un vide sanitaire ou une cave		1*
- Entre le volume protégé et le sol		1*
<b>Toitures et plafonds</b>	0.3	
<b>Planchers</b>		
- Entre le volume protégé et l'air extérieur ou les EANC (Espaces Adjacents Non Chauffés)	0.6	
- Entre le volume protégé et le sol, un vide sanitaire, une cave ...	0.4*	1*
<b>Parois mitoyennes (parois entre 2 volumes protégés ou 2 appartements)</b>	1	

(Source Région Wallonne)

Dans ce projet, afin de diminuer les déperditions par transmission des parois et de respecter les critères passifs (voir cadre ci-dessous), de fortes épaisseurs d'isolation ont été mises en œuvre.

En toiture, le coefficient de transmission thermique se calcule comme suit avec les données reprises ci-dessous :

$$R_t = R_{si} + R_{hourdis} + R_{chape\ compression} + R_{chape\ de\ pente} + R_{Pu} + R_{se}$$

$$R_t = 0,10 + \frac{0,32}{2,60} + \frac{0,04}{2,60} + \frac{0,1}{0,85} + \frac{0,21}{0,024} + 0,04 [m^2K/W]$$

$$U = \frac{1}{R_t} = 0,109 [W/m^2K]$$

	Direction du flux de chaleur		
	ascendant	horizontal <sup>1</sup>	descendant
$R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$ [m <sup>2</sup> K/W]	0,04	0,04	0,04

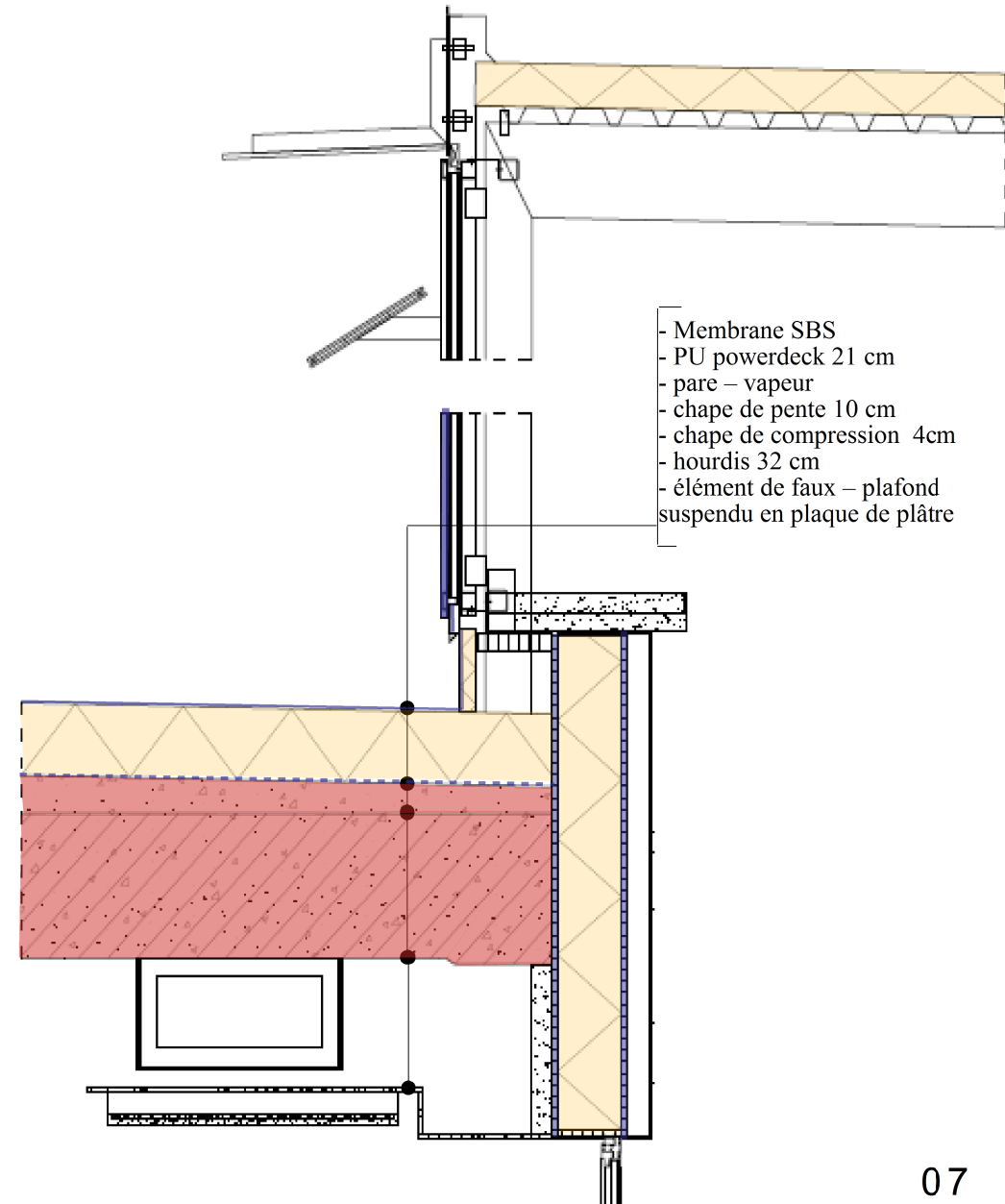
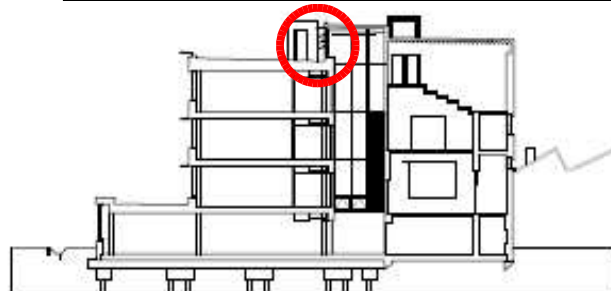
<sup>1</sup> valable pour une direction du flux de chaleur qui ne dévie pas plus de 30° du plan horizontale

Conductivité thermique des matériaux :

$\lambda_{hourdis}$	= 2,60	[W/mK]
$\lambda_{chape\ de\ compression}$	= 2,60	[W/mK]
$\lambda_{chape\ de\ pente}$	= 0,85	[W/mK]
$\lambda_{Pu\ powerdeck}$	= 0,024	[W/mK]

Critères passifs :

- 1 - Besoins nets en énergie de chauffage < 15kWh/m<sup>2</sup>.an
- 2 - Étanchéité à l'air du bâtiment :  $n_{50} < 0,6\ h^{-1}$
- 3 - Pourcentage de temps de surchauffe < 5%





Pour les murs extérieurs,

$$R_t = 0,13 + \frac{0,10}{0,52} + \frac{0,015}{0,17} + \frac{0,30}{0,041} + \frac{0,022}{0,05} + 0,04 [m^2K/W]$$

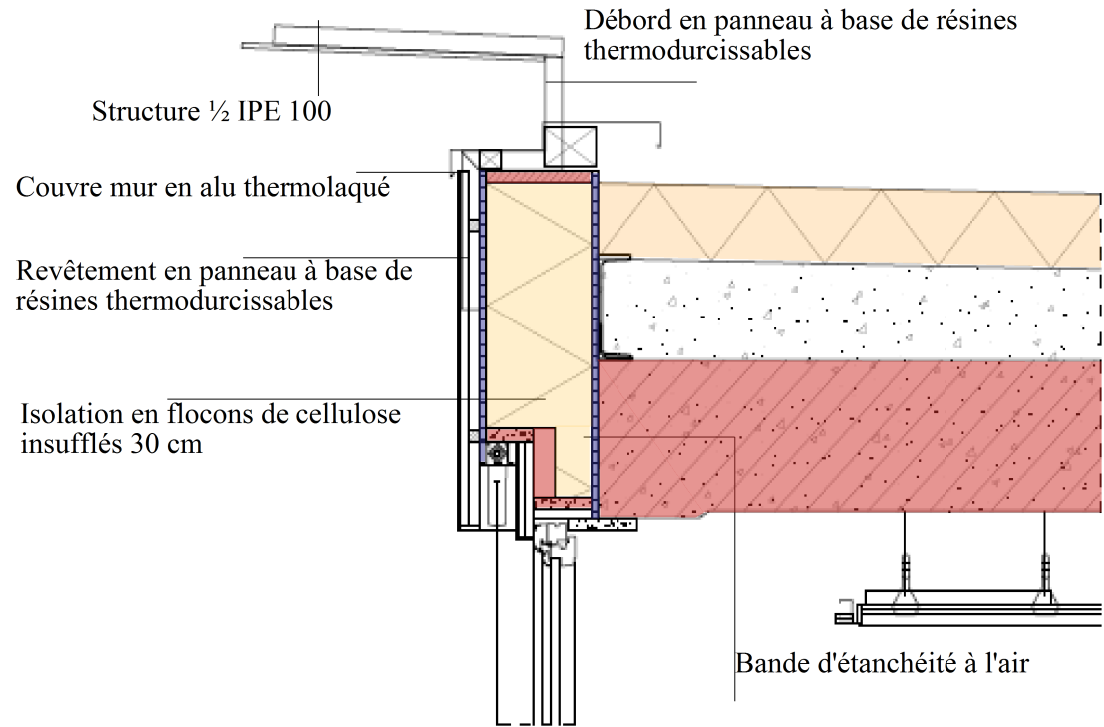
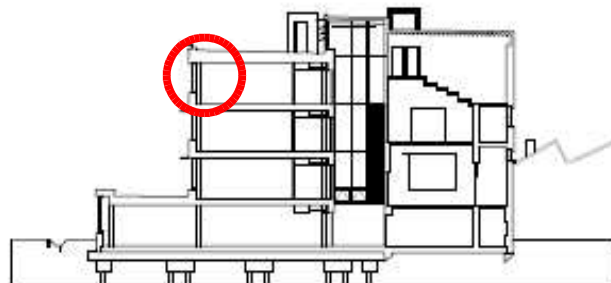
$$U = \frac{1}{R_t} = 0,122 [W/m^2K]$$

Conductivité thermique des matériaux :

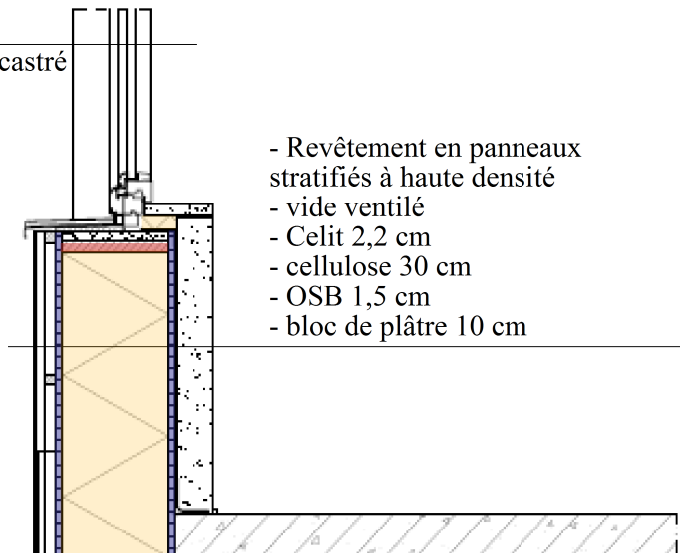
$\lambda_{\text{bloc plâtre}}$	= 0,52	[W/mK]
$\lambda_{\text{osb}}$	= 0,17	[W/mK]
$\lambda_{\text{cellulose}}$	= 0,041	[W/mK]
$\lambda_{\text{celit 4D}}$	= 0,05	[W/mK]



(Photo A2M)



- store à lamelles en alu orientables encastré
- châssis triple vitrage





Les châssis utilisés dans ce projet sont en bois et polyuréthane ayant un coefficient de transmission thermique de  $U_f=0,63$  W/m<sup>2</sup>K avec du triple vitrage ( $U_g=0,50$  W/m<sup>2</sup>K).

Le coefficient de transmission thermique de l'ensemble ( $U_w$ ) se calcule suivant la formule suivante :

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + A_p \cdot U_p + A_r \cdot U_r + l_g \cdot \Psi_g + l_p \cdot \Psi_p + l_{fen\grave{e}tre} \cdot \Psi_{mise\ en\ oeuvre}}{A_g + A_f + A_p + A_r}$$

- Avec
- $A_g, A_f, A_p$  et  $A_r$  : la surface, respectivement, du vitrage, du châssis, des panneaux et des grilles de ventilation en m<sup>2</sup>.
  - $U_g, U_f, U_p$  et  $U_r$  : le coefficient de transmission thermique, respectivement, du vitrage, du châssis, des panneaux et des grilles de ventilation en W/m<sup>2</sup>K.
  - $l_g, l_p, l_{fen\grave{e}tre}$  : périmètre, respectivement, du vitrage, des panneaux et de la fenêtre en m.
  - $\Psi_g, \Psi_p, \Psi_{mise\ en\ oeuvre}$  : le coefficient de transmission thermique linéique de l'intercalaire du vitrage, du panneaux, et de mise en oeuvre en W/mK.

Depuis la mise en place de la réglementation PEB, de plus en plus de fabricant de châssis indique la performance  $U_w$  de leurs fenêtres. La particularité de l'encodage en PHPP est la prise en compte de paramètres concernant leur mise en oeuvre

Les pertes par transmission de l'ensemble du bâtiment ( $Q_t$ ) sont évaluées suivant :

$$Q_t = \sum A_i U_i a_i G_t \quad \left[ \frac{Kwh}{an} \right]$$

- Avec
- $A_i$  : Surface de déperditions de la paroi i [m<sup>2</sup>].
  - $U_i$  : Coefficient de déperditions thermiques de la paroi i [W/m<sup>2</sup>K].
  - $a_i$  : Facteur de réduction dépendant de la température de certains locaux adjacent au volume protégé [-]
  - $G_t$  : Intégrale temps de la différence de température intérieure et extérieure durant la période de chauffe (la température intérieure est fixée à 20° et les températures extérieures sont fonction des données climatiques) [Kh].

Pour l'extension passive du bâtiment,  $Q_t = 30571$  kWh/an, soit 26,6 kWh/m<sup>2</sup>an. Pour parvenir au critère passif de 15kWh/m<sup>2</sup>an, il faut encore tenir compte des pertes par ventilation ainsi que les apports solaires et internes.



(Photo A2M)

## 2. Déperditions par ventilation

Les déperditions par ventilation sont de deux types :

- les pertes par infiltration/exfiltration d'air ;
- les pertes dues à la ventilation hygiénique.

### 1. Déperditions par infiltration/exfiltration

La stratégie applicable afin de diminuer ces déperditions est de veiller à obtenir une bonne étanchéité à l'air du bâtiment.

Cette dernière peut être obtenue de différentes manières :

- par la mise en œuvre de matériaux disposant d'une faible perméabilité à l'air ;
- par la mise en place d'une barrière étanche à l'air sur les différents parois de l'enveloppe.

Généralement, pour la construction traditionnelle, cette barrière est constituée par le plafonnage. Pour la construction à ossature bois, elle est constituée par le pare-vapeur. Des bandes adhésives sont utilisées afin de souder les lés et colmater les éventuels défauts ponctuels.

Une attention particulière sera portée aux joints autour des fenêtres, aux raccords mur-toiture, mur-plafond, mur-plancher, et aux divers percements nécessaires aux techniques (gaines de ventilation, prises de courants, éclairage,...). Dans ce projet, afin de ne pas percer la barrière étanche à l'air par les différentes techniques et pour obtenir une résistance au feu nécessaire, un mur en blocs de plâtre a été construit devant celle-ci.

**Mesure :** Les spécifications pour les mesures d'étanchéité à l'air d'un bâtiment sont définies dans la norme NBN EN 13829:2001.

Le principe du test d'infiltrométrie consiste à créer artificiellement une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment testé et de mesurer la quantité d'air entrant ou sortant par fuite (débit de fuite pour différence de pression de 50 Pa =  $v_{50}$ ).

Plusieurs valeurs permettent d'exprimer le niveau d'étanchéité de l'enveloppe.

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50} [m^3/h]}{V_{intérieure} [m^3]} [h^{-1}] [méthode Phpp] = \text{nombre de volume d'air renouvelé par heure.}$$

ou

$$\dot{v}_{50, heat} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_{test}} \left[ \frac{m^3}{h.m} \right] [méthode PEB] = \text{débit de fuite d'air total par m}^2 \text{ de surface de déperditions}$$

Le test d'infiltrométrie réalisé sur ce bâtiment a donné une valeur du taux de renouvellement de l'air  $n_{50}$  de  $0,54h^{-1}$  (le critère passif impose un  $n_{50}$  inférieur ou égal à  $0,6 h^{-1}$ ).

La norme NBN D 50-001 recommande un débit de fuite maximal  $n_{50}$  de :

- $3m^3/h.m^3$  lorsque la ventilation du bâtiment est assurée par un système mécanique à double flux ;
- $1m^3/h.m^3$  lorsque la ventilation du bâtiment est assurée par un système mécanique à double flux équipé d'un récupérateur de chaleur.

Lorsque la ventilation du bâtiment est assurée par un système simple flux, aucune norme ne recommande un niveau d'étanchéité à atteindre.



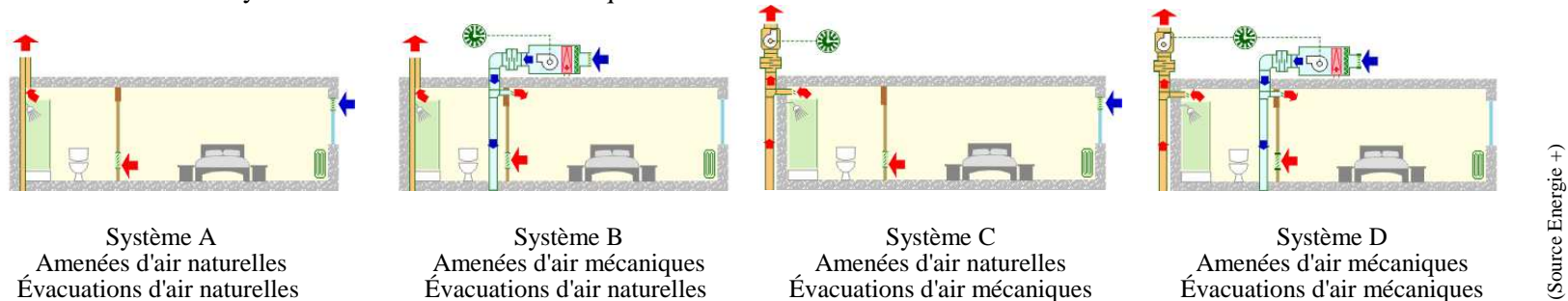
## 2. Déperditions par ventilation hygiénique.

Pour assurer une bonne qualité de l'air et limiter le taux d'humidité afin d'éviter les risques de dégradation, il est nécessaire de mettre en place une ventilation hygiénique efficace.

L'annexe 5 de AGW du 17 avril 2008 se base sur la norme NBN D 50-001 pour les bâtiments résidentiels tandis que l'annexe 6 se base sur la norme NBN EN 13779 pour les bâtiments tertiaires.

La NBN D 50-001 définit deux situations : une idéale dans laquelle l'air est amené et extrait de façon permanente dans chaque local et une pragmatique dans laquelle l'amenée d'air s'effectue dans les locaux dits « secs » (séjour, chambre, bureau,...), le transit par les locaux secondaires (couloir, palier,...) et l'évacuation via les locaux dits « humides » (salle de bain, cuisine, toilettes,...).

Elle définit aussi les 4 systèmes décrit ci-dessous ainsi que les débits minimaux à obtenir en fonction de la destination des locaux et de leur surface.



L'impact énergétique de la ventilation hygiénique peut être très important. Il sera d'autant plus grand que le bâtiment est bien isolé et étanche à l'air. Ainsi, si le bâtiment a un niveau d'isolation K35, les pertes énergétiques dues à la ventilation peuvent atteindre 50 % des besoins énergétiques.

Il est donc important d'opter pour le système D, dans lequel l'amenée et l'évacuation de l'air sont assurées mécaniquement (et de manière contrôlée), couplé à un échangeur de chaleur.

Avec l'installation de ce dernier, l'air vicié évacué transmettra une partie de sa chaleur à l'air neuf. Les pertes par ventilation hygiénique seront dès lors fortement diminuées.

Pour obtenir la prime de la Région Wallonne à la construction d'une maison unifamiliale passive, cet échangeur de chaleur doit être à contre-courant et doit avoir un rendement minimum de 85% suivant la norme NBN EN 308.

	Amenée d'air neuf	Evacuation d'air vicié
Locaux de séjour	3,6 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> (min : 75 [m <sup>3</sup> /h], peut être limité à : 150 [m <sup>3</sup> /h])	
Chambres, locaux d'étude et de loisir	3,6 [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ] (peut être limité à 72m <sup>3</sup> /h)	
Cuisines fermées, salle de bains, buanderie		3,6 [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ] (min : 50 [m <sup>3</sup> /h], peut être limité à : 75 [m <sup>3</sup> /h])
Cuisines ouvertes		3,6 [m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> ] (min : 75 [m <sup>3</sup> /h])
WC		25 [m <sup>3</sup> /h]

Débit minimaux pour les bâtiments résidentiels suivant l'annexe 5 de l'AGW du 17 avril 2008

### 3. Calcul des déperditions de ventilation suivant la méthode Phpp

Les déperditions thermiques dues aux pertes par ventilation se calcule suivant :

$$Q_L = V_L \cdot n_L \cdot c \cdot G_t \quad [kWh/an]$$

- avec  $V_L$  : Volume d'air effectif (surface de référence énergétique \* hauteur moyenne des locaux)  
 $c$  : capacité d'accumulation thermique de l'air : 0,33 Wh/m<sup>3</sup>K  
 $G_t$  : Intégrale temps de la différence de température intérieure et extérieure durant la période de chauffe (la température intérieure est fixée à 20° et les températures extérieures sont fonction des données climatiques). [Kh]  
 $n_L$  : Taux de renouvellement d'air thermiquement efficient suivant :

$$n_L = n_{L, système} \cdot (1 - \Phi_{WRG}) + n_{infiltration}$$

- Avec  $n_{L, système}$  : renouvellement d'air moyen fourni par l'installation de ventilation  
 $n_{infiltration}$  : Taux de renouvellement d'air par infiltration du à des in-étanchéités résiduelles (fonction du résultat du test d'infiltrométrie)  
 $\Phi_{WRG}$  : rendement effectif du récupérateur de chaleur du système de ventilation (fonction du rendement de l'échangeur de chaleur, des déperditions des tuyauteries situées hors du volume protégé, et du rendement de l'échangeur géothermique si il est présent).

A Nivelles, une ventilation double flux doté d'un échangeur de chaleur avec un rendement de 95% et un échangeur géothermique ont été installés, ce qui a permis de réduire pertes aérauliques à :

$$Q_L = 2870 [m^3] * 0,097 [1/h] * 0,33 [Wh/m^3K] * 72,1 [Kh/a] = 6653 [kW/an]$$

Soit 32,4 kWh/m<sup>2</sup>.an.

Les besoins nets en chauffage de la partie passive du bâtiment, si l'on prendre en compte les apports solaires (dépendant du type et de la surface des vitrages, de l'orientation, de la mise en œuvre, et de l'ombrage) et des apports internes (valeurs forfaitaires en fonction de l'utilisation des locaux) devient :

$$Q_H = Q_T + Q_L - Q_G = 26,6 + 5,8 - 24,2 = 8 kWh/m^2an < 15 \text{ (critère passif)}$$

Catégorie de qualité d'air	Débit d'air neuf
Excellente qualité (niveau ambiant de CO2 < 400 ppm au dessus du niveau extérieur)	> 54 [m <sup>3</sup> /h.pers.]
Qualité moyenne (niveau ambiant de CO2 400-600 ppm au dessus du niveau extérieur)	de 36 à 54 [m <sup>3</sup> /h.pers.]
Qualité médiocre (niveau minimal obligatoire) (niveau ambiant de CO2 600-1000 ppm au dessus du niveau extérieur)	de 22 à 36 [m <sup>3</sup> /h.pers.]
Qualité basse (niveau non autorisé) (niveau ambiant de CO2 > 1000 ppm au dessus du niveau extérieur)	< 22 [m <sup>3</sup> /h.pers.]

Débits minimaux pour les bâtiments tertiaires

### 3. Eviter les ponts thermiques

Définition : La norme EN ISO 10211-1 définit les ponts thermiques « comme étant une partie de l'enveloppe d'un bâtiment où résistance thermique par ailleurs uniforme est modifiée de façon sensible par :

- la pénétration totale ou partielle de l'enveloppe du bâtiment par des matériaux ayant une conductivité thermique différente
  - et/ou
  - un changement dans l'épaisseur de la structure
  - et/ou
  - une différence entre les structures intérieures et extérieure, comme il s'en produit aux liaisons paroi/plancher/plafond
- ».

Cette norme établit également les spécifications sur les modèles géométriques 3D et 2D d'un pont thermique pour le calcul numérique, des flux thermiques afin d'évaluer la déperdition thermique globale d'un bâtiment, des températures superficielles minimales afin d'évaluer le risque de condensation superficielle.

Les ponts thermiques peuvent être linéaires (symbole  $\Psi$  en W/mK) ou ponctuels (symbole  $\chi$  en W/K).

Ils peuvent être physique (cfr. définition ci-dessus) ou géométrique. Pour ces derniers, la couche isolante n'est pas interrompue elle est déformée (dans un coin d'un bâtiment, par exemple).

Calcul : un pont thermique linéaire  $\Psi$  est calculé selon :

$$\Psi = L^{2D} - \sum (l_i U_i) \quad [W/m.K]$$

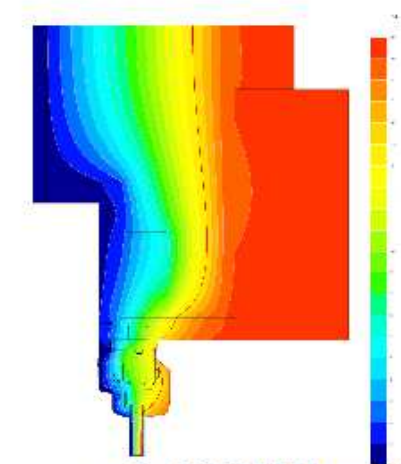
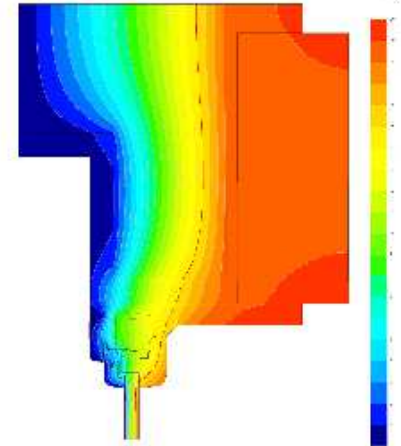
- avec  $L^{2D}$  : le coefficient de couplage linéique, obtenu par un calcul bidimensionnel de l'élément de bâtiment qui forme la séparation entre deux environnements [W/m.K]
- $U_i$  : la valeur U de l'élément de bâtiment unidimensionnel [W/m²K]
- $l_i$  : la longueur pour laquelle la valeur U est valable dans le modèle géométrique bidimensionnel [m].

Le détermination des valeurs  $\Psi$  et  $\chi$  peut s'effectuer selon différentes méthodes :

- par des mesures expérimentales
- par l'utilisation de logiciels de calcul (Trisco, Bisco, Therm,...)
- par l'utilisation de catalogues de ponts thermiques types (parfois éditables) tel que Kobra (CSTC), le catalogue suisse des ponts thermiques,...

A l'IPFC de Nivelles, les détails du dossier d'exécution ont été étudiés et simulés de manière à arriver à une absence stricte de ponts thermiques.

$\phi = 0.027 \text{ W/m.K}$



$\phi = 0.033 \text{ W/m.K}$

Calcul du pont thermique linéique au droit d'un linteau par le logiciel Bisco.



# 4. Réguler l'hygrométrie de l'air

## 1. Définitions

La quantité de vapeur d'eau dans l'air peut être exprimée par différentes grandeurs, à savoir :

- L'**humidité absolue** ( $x$ ) désigne la masse de vapeur d'eau en kilogramme (ou en grammes) de vapeur d'eau par kilogramme d'air sec (kg/kg ou g/kg).

- La **pression de vapeur** ( $p_v$ ) est la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air. Elle s'exprime en Pa. Lorsque la pression de vapeur atteint sa valeur maximale, il y a saturation de l'air et on parle de pression partielle de la vapeur d'eau à la saturation, ou de pression saturante  $p_{v,sat}$ .

- Le **taux d'humidité relative de l'air** (HR) désigne un rapport en pourcent entre la pression de vapeur décrite ci-dessus et la pression de vapeur de saturation) correspondant à une température déterminée.

Le **point de rosée** de l'air est la température à laquelle la pression partielle de vapeur d'eau est égale à sa pression de vapeur saturante.

Ces différentes caractéristiques de l'air sont liées par des relations telles que deux d'entre elles suffisent à définir un état donné, les autres s'en déduisant. Le diagramme de Mollier (ci-contre) ou diagramme psychrométrique constitue une représentation graphique de ces relations. Ces relations sont valables dans le cas d'un régime statique, il ne tient pas compte de la dynamique du système.

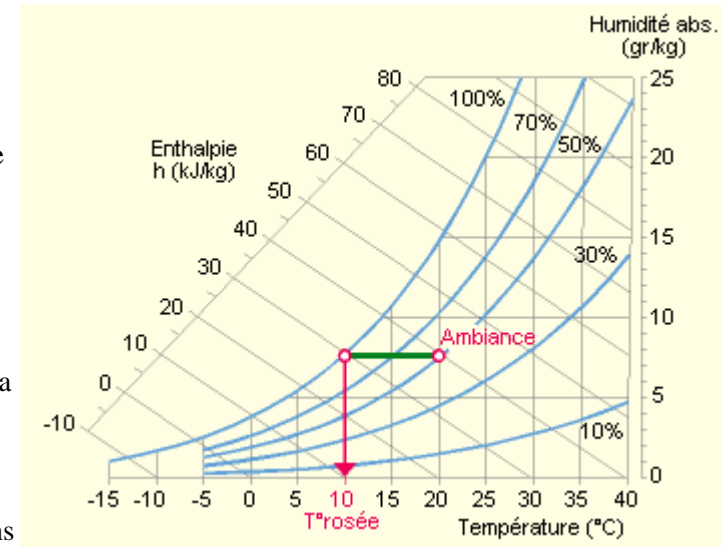


Diagramme de Mollier (Source Energie + - Architecture et Climat)

## 2. La condensation de surface

Pour une température donnée, l'air peut contenir une certaine quantité de vapeur d'eau maximale. Cette quantité diminue lorsque la température baisse. Ainsi, l'air peut contenir au maximum 3,78 gr de vapeur d'eau par kilo d'air à 0°C et 14,7g/kg à 20°C.

Si la température d'un local diminue, l'humidité relative de l'air augmente jusqu'à arriver à la saturation. A ce moment, la vapeur d'eau contenue dans l'air condense, c'est-à-dire qu'elle passe à l'état liquide (cfr. diagramme de Mollier ci-dessus)

Lorsque l'air d'un local entre en contact avec une paroi dont la température de surface est inférieure au point de rosée, une condensation sur la surface apparaît. Ce phénomène apparaît typiquement au droit des simples vitrages, des châssis métalliques sans coupures thermiques et des ponts thermiques et peut favoriser la formation de moisissures, la détérioration des éléments de surfaces,...

Pour lutter contre ce phénomène, trois actions peuvent être entreprises :

- isolation des parois : cette mesure a pour effet d'empêcher la température de surface des parois d'atteindre le point de rosée.
- chauffer la face intérieure de la paroi froide : cette mesure a pour conséquence d'augmenter la consommation énergétique du bâtiment et est donc à proscrire dans la mesure du possible.
- diminuer l'humidité relative de l'air en augmentant la ventilation du local : cette mesure augmente les pertes par ventilation.



### 3. La condensation interne

Lorsque la pression de vapeur d'eau dans l'air est différente de part et d'autre d'une paroi, un transfert de vapeur d'eau se produit à travers cette paroi.

En hiver, le nombre de molécules d'eau présent dans l'air des locaux intérieurs chauffés est généralement plus important que celui présent dans l'air extérieur.

La vapeur d'eau a donc tendance à migrer vers l'extérieur, ce transfert est d'autant plus important que la différence de pression est grande.

Lors de ce transfert, la vapeur d'eau, en se rapprochant de l'extérieur, peut atteindre son point de rosée et condenser. On parle alors de condensation d'hiver.

L'humidité, dès lors présente dans la paroi, peut provoquer la détérioration des matériaux la constituant, une diminution des performances, voire le développement de moisissures.

Une solution consiste à placer une barrière étanche à la vapeur (et à l'air) du côté chaud de la paroi. Il s'agit du pare-vapeur.

En été, c'est le phénomène inverse qui se produit. L'air peut avoir tendance à migrer de l'extérieur vers l'intérieur et la présence d'un pare-vapeur peut poser problème en bloquant la vapeur d'eau et empêcher le séchage du mur. Il y a dès lors possibilité de condensation contre la membrane. On parle alors de condensation d'été.

L'utilisation d'une membrane moins étanche est dès lors recommandé. On parle de « freine-vapeur ».

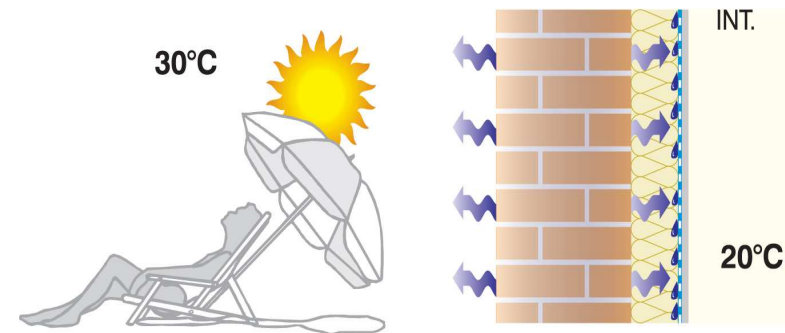
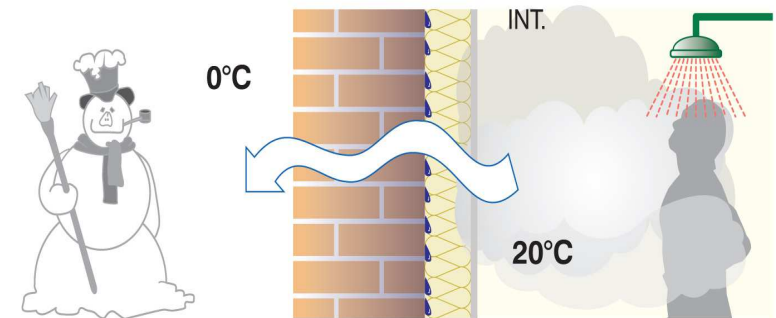
Pour caractériser comment un matériau se laisse traverser par la vapeur, on utilise le coefficient de résistance à la diffusion de la vapeur noté  $\mu$ . Plus celui-ci est petit, plus le matériau est ouvert au passage de vapeur. En multipliant ce coefficient par l'épaisseur (en m) du matériau, on arrive à évaluer la résistance à la diffusion d'une couche. Elle sera exprimée en mètre et correspondra à l'épaisseur qu'aurait une couche d'air stationnaire ayant la même résistance à la diffusion de vapeur. Elle sera notée  $S_d$  ou  $\mu_d$ .

Notons aussi l'existence de membranes dites « intelligentes » dont la perméabilité évolue avec l'humidité relative : elles sont relativement fermées à la vapeur lorsque l'humidité relative est faible et ouvertes lorsque celle-ci est forte. Le principe d'une telle membrane est illustrée ci-contre.

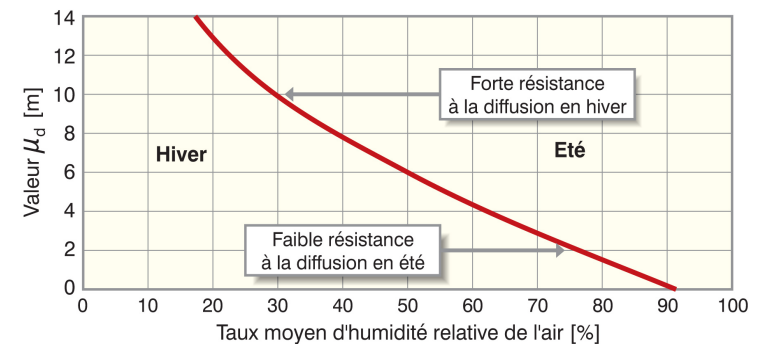
En pratique, la règle du « 5 pour 1 » tirée de la norme anglaise BS 5250:2002 propose de choisir un parement intérieur ayant un  $S_d$  au moins cinq fois supérieur à celui du parement extérieur, la couche intérieure devant toutefois avoir un  $S_d$  minimal de 1m.

Les panneaux d'OSB utilisés comme pare-vapeur dans ce projet ont un  $S_d$  de 2,55 m tandis que celui des panneaux en fibre de bois (Celit 4D) utilisés à l'extérieur est égale à 0,11 m. La règle est bien respectée.

Pour des études plus poussées, l'utilisation de logiciel capables d'évaluer le comportement des parois multicouches soumises à un régime climatique dynamique est préconiser. Leur utilisation dépasse le cadre de cette étude.



Source : isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines – Architecture et Climat



Source : Proclimat

# Sources bibliographiques

**Feist, W.** *Manuel « Logiciel de conception de maison passive »*, Passiv Haus Institut, Darmstadt, 2007 ;

**De Herde, A. Evrard. A, Branders A.** *Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines*, Architecture et Climat, UCL, 2011.

**NBN EN 13779.** *Ventilation dans les bâtiments non résidentiels – Spécifications des performances pour les systèmes de ventilation et de climatisation*, 2004 ;

**A.G.W. 17 avril 2008** *déterminant la méthode de calcul et les exigences, les agréments et les sanctions applicables en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments*. Bruxelles : Moniteur Belge;

**Künzel, H.M.** *Pare-vapeurs pour la protection de l'enveloppe des bâtiments contre un excès d'humidité*, VIe Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois, Québec, 2003.

**IBGE.** *Choisir un mode de ventilation énergétiquement efficace*, Info-Fiches Bâtiment durables, Bruxelles, juillet 2010

**Verekt, M.** *Architecture partagée*, Be.passive n°3, 2010. (<http://www.bepassive.be/viewer/03/fr/>)

Sites internet :

Energie + : <http://www.energieplus-lesite.be/> - Architecture et Climat

Ponts thermiques : <http://www.ponts-thermiques.be> - Plate-forme Maison Passive