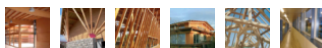


Les isolants « naturels »

Caractéristiques des différents isolants et produits commercialisés

**Les 5 à 7 de l'écoconstruction
Jeudi 18 juin 2009 – FFB**

**Marc DELORME
Inter Forêt-Bois 42 / Programme Eco-Bois Plus**



Eco-Bois Plus
programme pluriannuel
éco-construction et bois

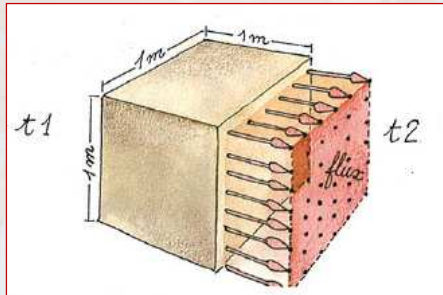
Plan de l'exposé

- **Caractéristiques techniques des isolants**
- **Quelques isolants « naturels » disponibles commercialement**
- **Et la mise en œuvre dans tout ça ?**
- **Conclusions**



Eco-Bois Plus
programme pluriannuel
éco-construction et bois

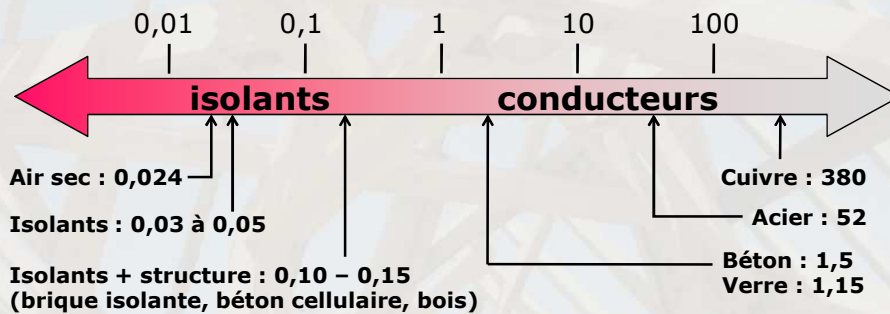
La conductivité thermique λ (lambda)



- La conductivité thermique λ est la puissance (en W) qui traverse 1m^2 de paroi et 1m d'épaisseur, lorsqu'elle est soumise à une différence de température de 1°C . Elle se mesure en $\text{W/m}^\circ\text{C}$
- La conductivité thermique est une caractéristique intrinsèque d'un matériau, indépendante de l'épaisseur



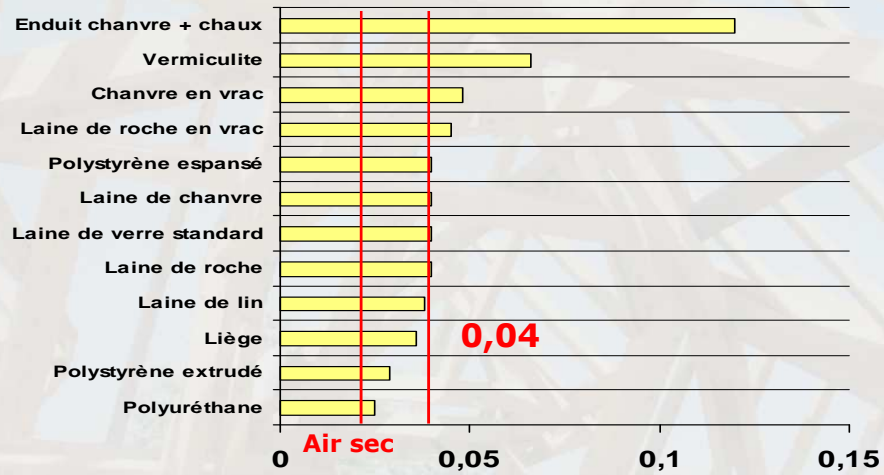
La conductivité thermique λ (lambda) Les ordres de grandeur (en $\text{W/m}^\circ\text{C}$)



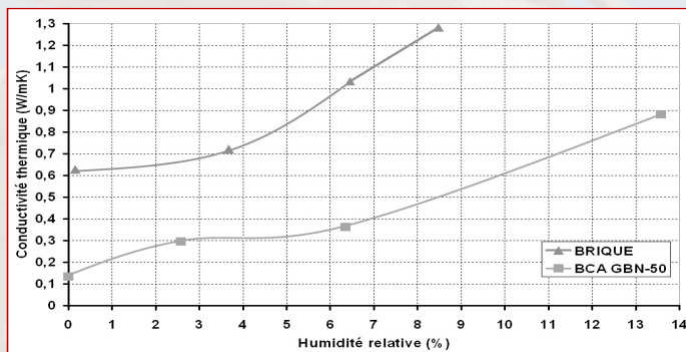
- Rapport de 1 à 37 entre un isolant et du béton
- Rapport de 1 à 1300 entre un isolant et de l'acier



La conductivité thermique λ (lambda) de quelques isolants



La conductivité thermique λ (lambda) et le taux d'humidité



Variation de la conductivité thermique en fonction de l'humidité
Pour le béton cellulaire autoclavé et la brique
(Université de Reims)

■ Attention à l'humidité dans les parois.... Un 5 à 7 sur le sujet.... ?



La résistance thermique R

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

épaisseur
conductivité

- La conductivité thermique est une caractéristique intrinsèque d'un matériau, indépendante de l'épaisseur
- La résistance thermique est une caractéristique d'une paroi (ou d'une couche dans une paroi). Elle dépend donc de l'épaisseur.
- L'unité est le $m^2 \cdot ^\circ C/W$



La résistance thermique R Quelques ordres de grandeur (en $m^2 \cdot ^\circ C/W$)

- Un mur en pierre non isolé : $R \sim 0,6$
 - Un mur en agglo de béton 20 cm isolé par 10 cm de laine de verre : $R \sim 3$
 - Mur d'une maison BBC/Effinergie : $3 < R < 5$
 - Mur d'une maison passive : $R > 6,5$
 - Toit d'une maison BBC/Effinergie : $6 < R < 10$
- Aujourd'hui (cf réglementation 2012) Intéressant de comparer les différents isolants pour une épaisseur telle que $R=5$



Inertie thermique et déphasage

■ La capacité thermique d'un matériau est la quantité d'énergie qu'il emmagasine lorsque l'on élève sa température de 1°C (ou qu'il déstocke lorsque sa température baisse de 1°C). Unité : Wh/kg.°C. On peut aussi raisonner par m² de paroi : Wh/m².°C.

■ Exemples :

- 10 cm de terre crue (1500 kg/m³) : C= 37 Wh/m².°C
- 10 cm de laine de verre (18 kg/m³) : C= 0,5 Wh/m².°C
- 10 cm fibre de bois dense (160 kg/m³) : C= 9,3 Wh/m².°C



Inertie thermique et déphasage

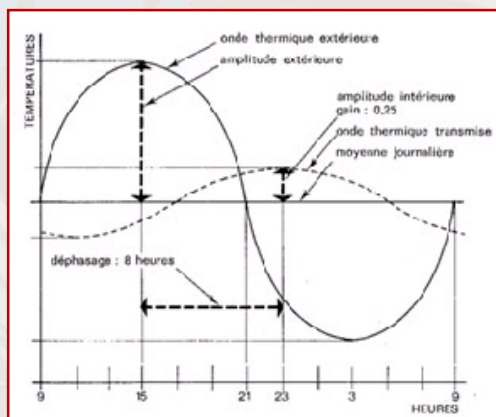
Il y a plusieurs formes d'inertie :

■ L'inertie qui permet de stocker et déstocker de l'énergie à l'intérieur du bâtiment sans variation importante de température : on utilise pour cela des matériaux « lourds » : béton, terre crue... placés à l'intérieur de l'enveloppe isolée. Les isolants ne peuvent pas jouer ce rôle (cf capacité thermique terre crue % fibre de bois dense)

■ L'inertie qui, associée à une faible conductivité thermique (bon isolant) amorti et déphase l'onde de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur.



Inertie thermique et déphasage



■ Le déphasage est surtout intéressant en confort d'été, dans la toiture.

■ Les isolants denses et végétaux (fibres de bois dense, ouate de cellulose) sont les plus performants.

■ 12h-15h de déphasage permet d'avoir le pic de température intérieur de la paroi au milieu de la nuit



Perméabilité à la vapeur d'eau

■ Ne pas confondre perméabilité à la vapeur d'eau et perméabilité à l'air. Paroi respirante ou perspirante ?

■ On sait réaliser des parois étanches à l'air, étanches à l'eau et pourtant très perméables à la vapeur d'eau : cf notre peau, Gore-Tex, constructions en terre...

■ Les membranes (pare-pluie, pare-vapeur, frein-vapeur) sont toutes « totalement » étanches à l'air. Mais elles ne sont pas toutes étanches à la vapeur d'eau. Certaines sont perspirantes (plus ou moins) et d'autres non.

■ Idem pour les enduits continus (enduits ciment % chaux).



Perméabilité à la vapeur d'eau

- La plupart des isolants sont assez ou très perméables à la vapeur d'eau. En effet, l'isolation est liée à la grande quantité d'air qu'ils contiennent, dans des pores connectés entre eux. En particulier tous les matériaux fibreux (laines minérales et végétales).
- Quelques exceptions notables : les isolants dont les pores sont fermés (occlus), non connectés entre eux. Ils sont en général peu ou très peu perméables à la vapeur d'eau. Exemples : les polystyrènes et le liège.
- L'aspect perspirant ou non d'une paroi n'est donc généralement pas lié à l'isolant (sauf exceptions précédentes), mais aux autres couches de la paroi (béton, agglo, briques, contreventement).



Perméabilité à la vapeur d'eau

- La résistance à la diffusion de vapeur d'eau se mesure essentiellement à l'aide de 2 coefficients :
- μ = rapport entre perméabilité de l'air immobile et perméabilité du matériau.
 - $\mu_{\text{air}} = 1$
 - matériau très perméable : $\mu < 1$; matériau peu perméable $\mu > 1$
 - le coefficient μ dépend du matériau, pas de son épaisseur (cf λ)
 - Plupart des isolants légers : $\mu = 1$ à 2
 - Liège : $\mu = 5$ à 30
 - Polystyrène : $\mu = 30$
- S_d : lame d'air équivalente en mètre. $S_d = \mu \cdot e$ (e étant l'épaisseur du matériau considéré, en mètre).
 - S_d dépend de l'épaisseur du matériau
 - Exemples : pare-vapeur : $S_d > 3$ m, plaque de plâtre : $S_d = 0,1$ m



La ouate de cellulose



La ouate de cellulose

Fabrication

- A partir de papier recyclé ou de chutes de papier, additionné généralement de sels de bore (feu, moisissures...) et de polyoléfinés pour les panneaux et rouleaux

Présentation

- Vrac, en sacs de 10 à 15 kg
- Panneaux semi-rigides de différentes épaisseurs, ou rouleaux

Caractéristiques

- $\lambda = 0,038$ à $0,044$
- 18 à 22 cm pour R = 5
- Déphasage : 10 h pour 20 cm

Coûts matière /m² pour R=5

- 10 à 15 euros en vrac
- 38 à 42 euros en panneaux



La ouate de cellulose

Utilisations

- Murs, combles, toitures.
- Panneaux entre chevrons

Mise en œuvre

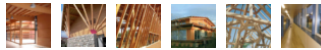
- Machine souffleuse-cardeuse
- Soufflage (combles perdus)
- Insufflation : caissons + freins vapeur
- Projection/flocage humide

Produits

- Univercell, Francefloc, Thermofloc, Cellisol, Bellouate, FineFloc, Isocell.....

Atouts

- Vrac = prix intéressant
- Produits de recyclage
- Applicateurs de plus en plus nombreux



Les isolants en fibres de bois



Les isolants en fibres de bois

Fabrication

- Défibrage thermo-mécanique de copeaux de bois
- Coulé, laminé, séché

Présentation

- Panneaux de laine de bois semi-rigides – 40 à 50 kg/m³
- Panneaux de fibre de bois denses (120 à 180 kg/m³).
- Panneaux denses pare-pluie (imprégnation latex-paraffine)
- Panneaux denses à enduire
- En vrac pour insufflation



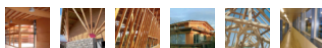
Caractéristiques

- $\lambda = 0,037$ à $0,045$
- 18 à 23 cm pour R = 5
- Déphasage pour 20 cm : 7- 9h (panneaux souples) à 15h (panneaux denses)



Coûts matière /m² pour R=5

- Panneaux souples : 25 à 35 euros/m²
- Panneaux denses : 35 à 75 euros/m²



Les isolants en fibres de bois

Utilisations

- Panneaux souples : même utilisation que panneaux semi-rigide de laines minérales
- Panneaux rigides : sur-toiture, isolation extérieure, isolation phonique...



Mise en œuvre

- Panneaux souples entre ossature (voire ossature croisée), entre chevrons....

Produits

- Pavatex, Gutex, Steico, Homatherm, Buitex, Actis...

Atouts

- Confort d'été (déphasage) en particulier panneaux denses
- Nombreuses présentations pour usages multiples
- Isolation extérieure + support d'enduit



Le liège

- L'écorce du chêne liège est récoltée : Portugal, Maroc, Algérie
- Réduit en granulé et expansé à la vapeur
- Les granulés s'agglomèrent entre eux (résine contenue dans le liège)
- Découpe en panneaux
- Le pouvoir isolant vient de l'air enfermé dans des pores fermés (plusieurs millions /cm³)
- Utilisé comme isolant depuis plus d'un siècle
- Imputrescible, incompressible, peu perméable à la vapeur d'eau



Le liège

- **Présentation**
 - Granulés de liège en vrac
 - Panneaux
- **Utilisation**
 - Panneaux : sous-face de dalles (incompressible), murs, toitures.
 - Vrac : combles, planchers phoniques, secteurs avec risque d'humidité...
- **Caractéristiques**
 - $\lambda = 0,038$ à $0,045$
 - 18 à 23 cm pour R = 5
 - Déphasage pour 20 cm : 9h (vrac) à 13h (panneaux)
- **Coûts matière /m² pour R=5**
 - 28 à 42 euros
 - 45 à 71 euros



Les isolants à base de chanvre

- Le chanvre, une plante cultivée depuis « la nuit des temps ». Plante très rustique. 176000 hectares en France fin 19^{ième}
- Cultivé pour son huile, ses fibres, et aujourd'hui sa « paille » (la chènevotte)
- Utilisation en croissance dans la construction, en particulier en rénovation



Les isolants à base de chanvre

- La fibre est utilisée pour réaliser des panneaux et rouleaux (laines de chanvre)



- La chènevotte est utilisée soit seule, en vrac, soit avec un liant : la chaux. Mortier chaux-chanvre (densité ~ 400 kg/m³) ou enduit chaux-chanvre (densité ~ 800kg/m³)



Les isolants à base de chanvre

Fabrication

- Défibrage mécanique peu gourmand en énergie, séparation des fibres et de la chènevotte
- Transformation des fibres en panneaux et rouleaux avec ajout de polyester (~ 15% environ)



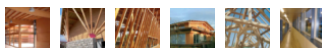
Caractéristiques

- $\lambda = 0,038$ à $0,042$ pour les laines de chanvre,
- $\lambda = 0,048$ pour la chènevotte
- $\lambda = 0,07$ à $0,075$ pour les mortiers légers et briques
- $\lambda = 0,10$ à $0,12$ pour les enduits
- 20 cm pour R = 5 pour les laines, 24 cm pour la chènevotte, 35 cm pour briques et mortiers
- Déphasage pour 20 cm : 7 à 8 heures



Coûts matière /m² pour R=5

- Laines : 20 à 40 euros
- Chènevotte : 17 à 20 euros



Les isolants à base de chanvre

Mise en œuvre

- Classique pour panneaux et rouleaux
- Banché ou projeté (machine spéciale) pour mortiers allégés.
- Briques préfabriquées
- Enduits manuels ou projetés

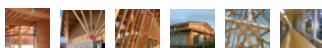


Produits

- Chènevotte : Chnavière du Belon, LCDA, Eurochanvre, Terrachanvre...
- Panneaux, rouleaux : Thermo-chanvre, Chanvre mellois, Isonat Chanvre, Natisol, Florapan...

Atouts

- Nombreuses utilisations, en particulier en rénovation
- Production française importante
- Coût chènevotte en vrac



Il y a beaucoup d'autres isolants « bio-sourcés »...

■ Les laines de lin : caractéristiques proches du chanvre

■ Les isolants mixtes :

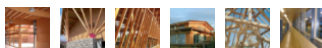
- Calin (lin-chanvre)
- Isonat + : Chanvre + bois + textile
- Métisse : recyclage de textiles
- Florapan : coton + chanvre
- Etc...

■ Les isolants « animaux » :

- Laine de mouton
- Plume de canard
- Etc...

■ Des isolants peu ou non transformés

- Les copeaux de bois
- La paille
- Les roseaux
- etc

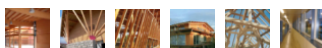


Energie grise et impact effet de serre : l'analyse du cycle de vie (ACV)

■ Attention : les grandeurs « physiques » (conductivité, résistance thermique...) se mesurent en laboratoire donc les résultats sont reproductibles.

■ Les « impacts environnementaux » sont le résultat d'une analyse en cycle de vie. Celles-ci nécessitent de nombreux choix, hypothèses : les résultats obtenus dépendent fortement des hypothèses initiales.

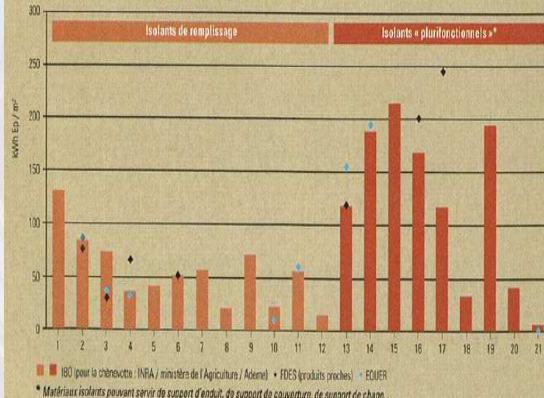
■ D'où des résultats très différents dans la littérature (par exemple : hypothèses différentes, limites d'études différentes, transports différents, produits « identiques » mais avec process de fabrication différents...



Energie « grise » des isolants

Contenu « énergie primaire » (non renouvelable) des matériaux d'isolation

Unité fonctionnelle : 1 m² d'isolant à R=5 m².K/W



Isolants de remplissage

- 1 : Isolant sous vide - Panneaux (190 kg/m³, λ = 0,008)
- 2 : Polystyrène expansé - Panneaux (17 kg/m³, λ = 0,035)
- 3 : Laine de verre - Rouleaux (28 kg/m³, λ = 0,038)
- 4 : Laine de roche (30 kg/m³, λ = 0,038)
- 5 : Laine de bois - Rouleaux (40 kg/m³, λ = 0,038)
- 6 : Laine de chanvre - Rouleaux (30 kg/m³, λ = 0,040)
- 7 : Laine de lin - Rouleaux (30 kg/m³, λ = 0,040)
- 8 : Laine de mouton - Rouleaux (25 kg/m³, λ = 0,040)
- 9 : Cellulose - Panneaux (70 kg/m³, λ = 0,040)
- 10 : Ouate de cellulose insufflée (55 kg/m³, λ = 0,040)
- 11 : Perlite - Vrac (85 kg/m³, λ = 0,050)
- 12 : Chênevotte - Vrac (110 kg/m³, λ = 0,048)

Isolants « plurifonctionnels »*

- 13 : Polyuréthane - Panneaux (30 kg/m³, λ = 0,028)
- 14 : Polystyrène extrudé⁶¹ - Panneaux (30 kg/m³, λ = 0,035)
- 15 : Laine de verre HD - Panneaux (80 kg/m³, λ = 0,039)
- 16 : Laine de roche HD - Panneaux (130 kg/m³, λ = 0,040)
- 17 : Verre cellulaire - Panneaux (120 kg/m³, λ = 0,045)
- 18 : Plaque isolation minérale - Bloc (115 kg/m³, λ = 0,045)
- 19 : Fibre de bois - Panneaux (180 kg/m³, λ = 0,040)
- 20 : Liège expansé - Panneaux (100 kg/m³, λ = 0,042)
- 21 : Paille - Botte (100 kg/m³, λ = 0,056)

Source : La Maison Ecologique (février – mars 2009) – BE Arcanne

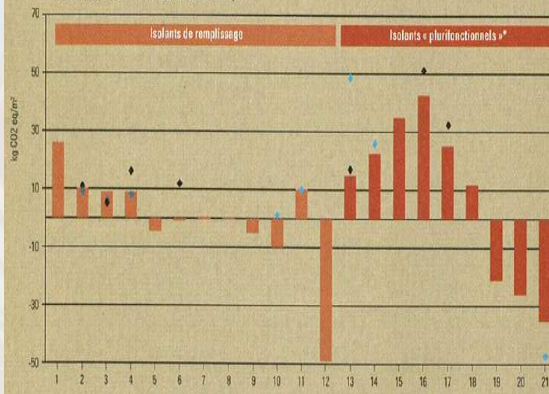


Eco-Bois Plus
programme pluriannuel
éco-construction et bois

Impact effet de serre des isolants

Contribution des matériaux d'isolation à l'effet de serre

Unité fonctionnelle : 1 m² d'isolant à R=5 m².K/W



Isolants de remplissage

- 1 : Isolant sous vide - Panneaux (190 kg/m³, λ = 0,008)
- 2 : Polystyrène expansé - Panneaux (17 kg/m³, λ = 0,035)
- 3 : Laine de verre - Rouleaux (28 kg/m³, λ = 0,038)
- 4 : Laine de roche (30 kg/m³, λ = 0,038)
- 5 : Laine de bois - Rouleaux (40 kg/m³, λ = 0,038)
- 6 : Laine de chanvre - Rouleaux (30 kg/m³, λ = 0,040)
- 7 : Laine de lin - Rouleaux (30 kg/m³, λ = 0,040)
- 8 : Laine de mouton - Rouleaux (25 kg/m³, λ = 0,040)
- 9 : Cellulose - Panneaux (70 kg/m³, λ = 0,040)
- 10 : Ouate de cellulose insufflée (55 kg/m³, λ = 0,040)
- 11 : Perlite - Vrac (85 kg/m³, λ = 0,050)
- 12 : Chênevotte - Vrac (110 kg/m³, λ = 0,048)

Isolants « plurifonctionnels »*

- 13 : Polyuréthane - Panneaux (30 kg/m³, λ = 0,028)
- 14 : Polystyrène extrudé⁶¹ - Panneaux (30 kg/m³, λ = 0,035)
- 15 : Laine de verre HD - Panneaux (80 kg/m³, λ = 0,039)
- 16 : Laine de roche HD - Panneaux (130 kg/m³, λ = 0,040)
- 17 : Verre cellulaire - Panneaux (120 kg/m³, λ = 0,045)
- 18 : Plaque isolation minérale - Bloc (115 kg/m³, λ = 0,045)
- 19 : Fibre de bois - Panneaux (180 kg/m³, λ = 0,040)
- 20 : Liège expansé - Panneaux (100 kg/m³, λ = 0,042)
- 21 : Paille - Botte (100 kg/m³, λ = 0,056)

Source : La Maison Ecologique (février – mars 2009) – BE Arcanne



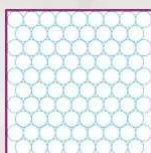
Eco-Bois Plus
programme pluriannuel
éco-construction et bois

Energie grise et impact effet de serre

- Isolants énergivores et fortement émetteurs de gaz à effet de serre : les isolants synthétiques et dense (double fonction incompressibilité)
- La transformation des matériaux bio-sourcés a un impact non négligeable sur leur bilan « énergie grise »
- La fibre de bois dense est assez consommatrice d'énergie (procédé énergivore) mais stocke du CO2...
- Les matériaux bio-sourcés peu transformés sont peu énergivores, et stockeur de CO2 (surtout s'ils sont denses) : Exemples : paille, chènevotte....



Performance de l'isolation et mise en œuvre



- Isolant protégé : aucun mouvement d'air n'est possible dans la structure poreuse, l'effet isolant est total.



- Isolant non protégé : le mouvement d'air dans la structure poreuse réduit l'effet isolant.

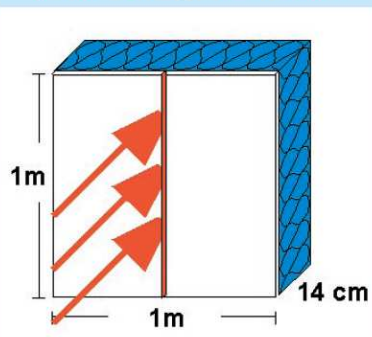
- L'isolant doit être protégé des flux d'air sur toutes ses faces. L'étanchéité au vent protège l'isolation de l'air extérieur, alors que l'étanchéité à l'air empêche la pénétration d'air intérieur humide dans l'isolant



Performance de l'isolation et mise en œuvre

➤ Seule une mise en œuvre soignée permet d'obtenir sur chantier ce que la théorie prévoit...

Fente de 1 mm = 800 g/24 h par m de longueur de fente



Transport d'humidité
par freine-vapeur: $0,5 \text{ g/m}^2 \times 24\text{h}$
par fente de 1 mm: $800 \text{ g/m}^2 \times 24\text{h}$
Augmentation par le facteur 1.600



En conclusion

- Il existe aujourd'hui de nombreux isolants naturels disponibles , à la fois chez les distributeurs spécialisés, et les distributeurs de matériaux plus classiques.
- De plus en plus d'entreprises (trop peu encore) mettent en œuvre ces produits.
- Les prix de certains de ces isolants se rapprochent des isolants conventionnels (ouate de cellulose par exemple).
- Les performances thermiques sont comparables en confort d'hiver, souvent supérieur en confort d'été.
- Les avantages environnementaux sont pour la plupart indéniables comparés aux isolants minéraux ou synthétiques (stockage CO2 en particulier).
- Mais la qualité « théorique » de l'isolation ne signifie absolument rien sans une mise en œuvre très soignée....



Sources

- Guide des isolants. Revue la Maison Ecologique Février-Mars 2009
- L'isolation écologique - Jean-Pierre Oliva – Editions Terre Vivante (nouvelle édition prévue...et attendue)
- <http://www.construction-chanvre.asso.fr>
- <http://archi.climatic.free.fr/>

Merci de votre attention

