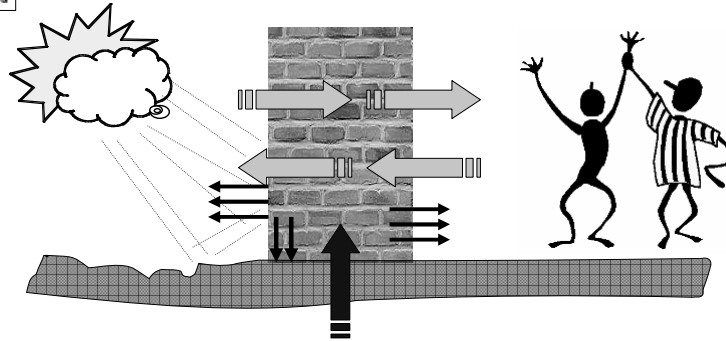




## PATRIMOINE BATI ET DEVELOPPEMENT DURABLE



**Comportement et compatibilité des matériaux  
pour le bâti ancien**



DEVELOPPEMENT  
TERRITORIAL ET RESEAU



Bruno JARNO



## AJENA Énergie et Environnement

Association "loi 1901" sans but lucratif

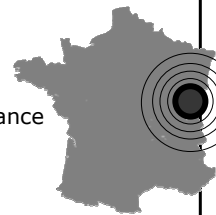


**30 années d'expérience**

**500 adhérents** répartis sur toute la France

**15 administrateurs**

**18 permanents**



### Travail en réseaux :

administrateur et membre fondateur du collectif Effinergie  
administrateur et membre fondateur de Résobat  
membre de l'association HQE  
administrateur du CLER  
...

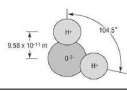


### de nombreux partenariats d'action :

Europe, Ministère de la Culture et de la Communication, Services de l'État, ADEME,  
Chambres consulaires, Association des Régions du Grand Est, Conseils régionaux,  
Conseils généraux, Communautés de communes, Communes, Parcs naturels, CAUE,  
Associations, Bureaux d'études, Entreprises...


3

## Les dommages causés par l'humidité




**Différents états : vapeur d'eau, eau liquide, neige, glace**


**Divers dommages : mécaniques, chimiques, bactériologiques, ...**



Sur les parements extérieurs



Sur les parements intérieurs



Dans les parois (matériaux isolants, structurels...)

➤ **Qualité de l'air intérieur ?**

➤ **Performance thermique ?**


➤ **Durabilité des performances ?**

➤ **Pérennité du bâti ?**

AJENA Energie & Environnement
16/10/2009

4

## Carte d'identité d'un matériau



Thermique

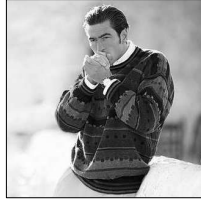
- **Conductivité thermique  $\lambda$**  (lambda) en W/m.K
- **Chaleur massique C** (cé) en J/kg.K ou chaleur spécifique
- **Densité  $\rho$  (ro)** en kg/m<sup>3</sup>

Hygrométrie

?

AJENA Energie & Environnement
16/10/2009

## Matériaux et vapeur d'eau



Pull



K-Way



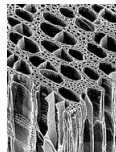
Gore-Tex

Matériaux	Epaisseur	$\mu$	Sd
Air (référence)	1 m	1	1 m
Plaque de plâtre	13mm	8	0,1 m
Laine de verre	150mm	1	0,15 m
Enduits (chaux-plâtre)	20mm	10	0,2 m
Mortier ciment	20mm	40	0,8 m
OSB	18mm	170	3 m
Brique	200mm	15	3 m
Polystyrène	150mm	40	6 m
Pierre calcaire ferme	400mm	40	16 m
Béton	200mm	180	36 m
Bitume	4mm	60000	240 m

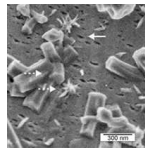
La résistance à la vapeur d'eau s'exprime en épaisseur de lame d'air équivalente Sd (en m) :  $Sd = \mu \times e$

## Matériaux et structure poreuse

### La structure poreuse

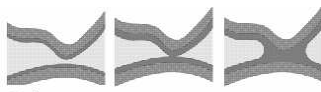


bois

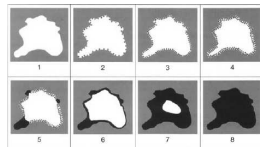


ciment

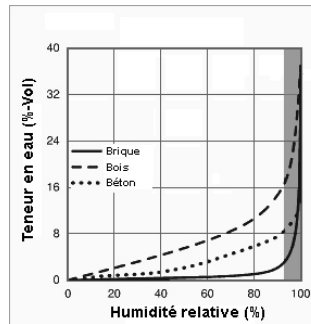
### La condensation capillaire



■ Matrice solide  
 ■ Air  
 ■ Couche d'eau adsorbée



### L'humidité dans les matériaux



Source : IBP

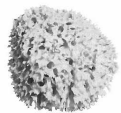
Certains matériaux sont capables de stocker et de déstocker de l'humidité lorsque l'humidité relative de l'air varie. On dit qu'ils sont hygroscopiques.

7

## Matériaux, hygroscopie, capillarité

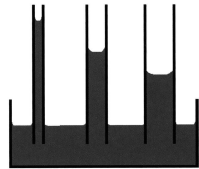
La plupart des matériaux anciens de construction sont **hygroscopiques**.

Ils 'composent' chacun à leur manière avec l'humidité :



**Comportement plus ou moins hygroscopique**

Le comportement hygroscopique permet **d'éviter que de « l'eau libre » ne se condense dans la paroi.**



**Comportement plus ou moins capillaire**

Le comportement capillaire permet de **répartir l'eau de condensation**, évitant ainsi de concentrer les problèmes d'humidité.

AJENA Energie & Environnement 16/10/2009

8


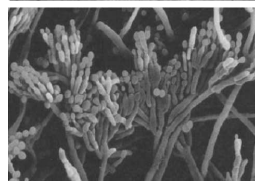
## Matériaux et sensibilité à l'humidité

**Altérations bactériologiques**

- ✓ Moisissures
- ✓ Bactéries
- ✓ Champignons

**Altérations mécaniques et chimiques**

- ✓ Corrosion
- ✓ Expansion / contraction
- ✓ Gel / Dégel





**La sensibilité à l'humidité** est indiquée, entre autre, par **la teneur en eau limite** d'un matériau qui est la quantité d'humidité au-delà de laquelle le risque d'altérations (mécaniques, bactériologiques) est réel.

AJENA Energie & Environnement 16/10/2009

9

## Carte d'identité d'un matériau



Thermique

- **Conductivité thermique  $\lambda$**  (lambda) en W/m.K
- **Chaleur massique C (cé)** en J/kg.K ou chaleur spécifique
- **Densité  $\rho$  (ro)** en kg/m<sup>3</sup>

Hygrométrie


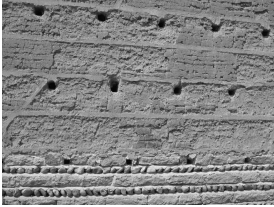
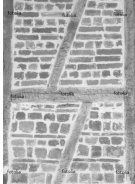
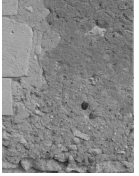


- Perméabilité à la vapeur d'eau**
- Hygroscopicité**
- Capillarité**
- Sensibilité**

AJENA Energie & Environnement
16/10/2009

10

## Matériaux anciens

- **Diversité des techniques de construction**
- **Matériaux : pierre, bois, terre, chaux, sable, paille**
- **Des similitudes dans leurs comportements hygrométriques**









AJENA Energie & Environnement
16/10/2009


11

## Matériaux d'isolation

**NON PERMEABLE A LA VAPEUR D'EAU**

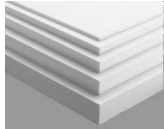


Verre cellulaire

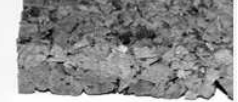


Polystyrène extrudé

**PEU PERMEABLE A LA VAPEUR D'EAU**




Polystyrène expansé




Panneau de liège

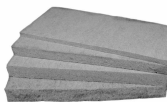
**PERMEABLE A LA VAPEUR D'EAU**




Ouate de cellulose




Laine minérale



Laine de chanvre



Panneau de fibre de bois



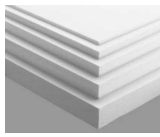
Plaque d'isolation minérale

AJENA Energie & Environnement 16/10/2009


12

## Matériaux d'isolation


**NON HYGROSCOPIQUE NON CAPILLAIRE**



Polystyrène expansé

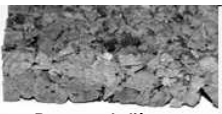


Polystyrène extrudé




Laine minérale


**HYGROSCOPIQUE CAPILLAIRE**



Panneau de liège




Verre cellulaire




Plaque d'isolation minérale

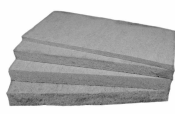
**PERMEABLE A LA VAPEUR D'EAU**



Ouate de cellulose



Panneau de fibre de bois




Laine de chanvre


AJENA Energie & Environnement 16/10/2009

13

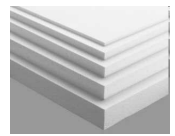
## Matériaux d'isolation




Polystyrène extrudé




Verre cellulaire



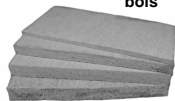
Polystyrène expansé




Ouate de cellulose



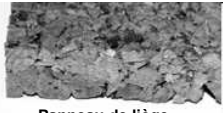
Panneau de fibre de bois




Laine de chanvre



Plaque d'isolation minérale



Panneau de liège



Laine minérale

**NON  
PUTRESCIBLE  
NON ALTERABLE**

**NON  
PUTRESCIBLE -  
ALTERABLE**  
Si condensation

**PUTRESCIBLE & ALTERABLE**  
si teneur en eau critique dépassée

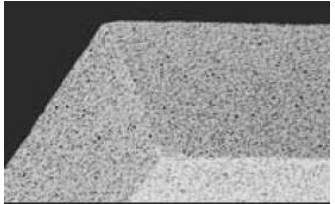
14

## Plaque d'isolation minérale


**Utilisées en Allemagne depuis quelques années,** les plaques d'isolation minérale viennent d'entrer sur le marché Français début 2009.

Imputrescibles (minéral), perméables à la vapeur d'eau, hygroscopiques et très capillaires, **elles sont particulièrement adaptés à l'isolation par l'intérieur du mur ancien.**


Elles ne nécessitent **pas de frein-vapeur.**



Plaques d'isolation minérale



$\lambda = 0,045 \text{ W/m.K}$   
 $\mu = 3 (-)$



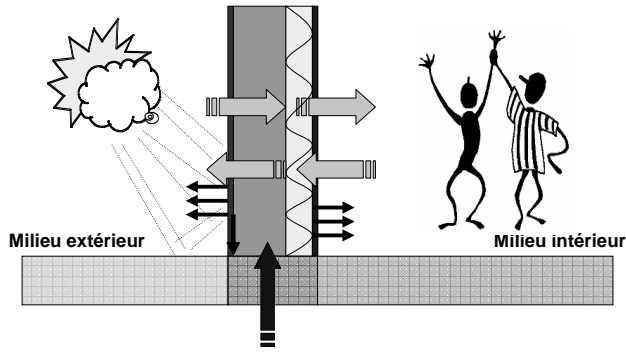
Umgebendehaus Ebersbach

AJENA Energie & Environnement
16/10/2009

### Optimiser le fonctionnement hygrothermique



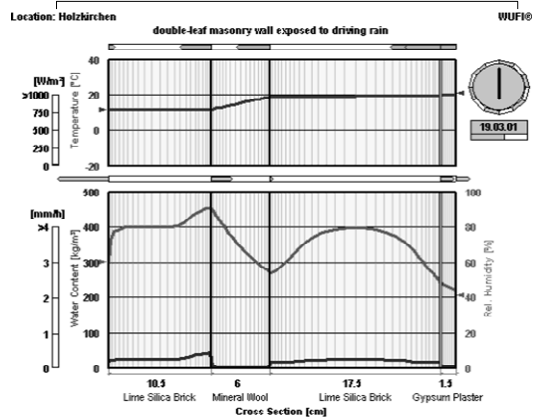
### La simulation hygrothermique dynamique



### Optimiser le fonctionnement hygrothermique



### La simulation hygrothermique dynamique



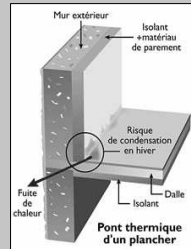
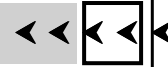
<http://www.wufi.de/>

Norme NF EN 15026





## Les risques sont faibles si...



### Suppression des fuites d'air et points froids :

3

- **L'étanchéité à l'air** est effective côté intérieur de la paroi  
*Parements, membranes, enduits intérieurs réellement continus...*

- **L'isolation thermique** des parois ne laisse pas de points froids

*Traitement des ponts thermiques pour éviter la condensation superficielle*



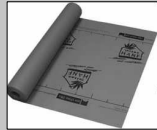
### Réduction de la vapeur d'eau :

4

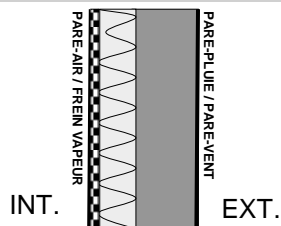
- Une **ventilation** des locaux efficace est en place  
*Ventilation permanente, au moins en période de chauffe.*

- On fait le choix de **limiter la vapeur d'eau** entrant dans le mur

*Par l'isolant lui-même, le parement ou la pose d'une membrane frein vapeur*



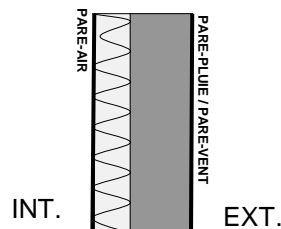
## Systèmes d'isolation par l'intérieur du mur ancien



### Isolant perméable à la vapeur d'eau FREIN VAPEUR

Isolation ouate de cellulose insufflée ou projetée + frein-vapeur + vide technique + parement

Variante Laine de bois, de chanvre,...



### Isolant capillaire SANS FREIN VAPEUR

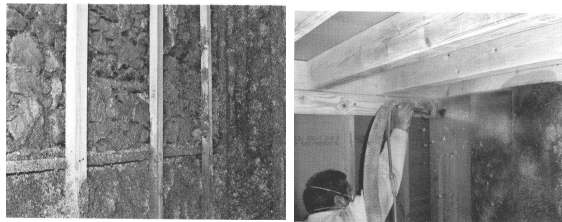
Plaque d'isolation minérale + enduit

## Mise en oeuvre

- ✓ Nettoyer les surfaces des murs existants
- ✓ Assurer une continuité capillaire entre le mur existant et l'isolant rapporté

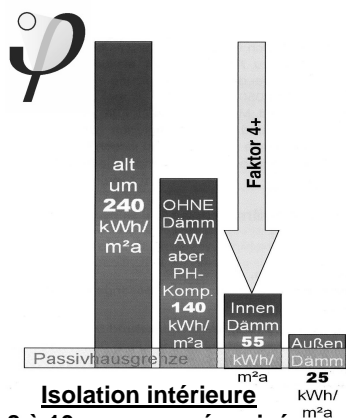


Plaque d'isolation minérale



Ouate de cellulose projetée

## Quelle épaisseur optimale d'isolation par l'intérieur pour le bâti ancien ?



**Isolation intérieure**  
**8 à 10 cm max préconisé**  
 (R= 2 à 2,5)  
 55 kWh/m².an pour le chauffage (énergie utile)



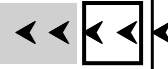
Pas d'épaisseur particulière préconisée en isolation par l'intérieur du mur ancien

96 kWh ep/m².an à Grenoble sur les 5 usages

### Compromis :

- ✓ pertinence thermique
- ✓ risques liés à l'humidité
- ✓ surface habitable

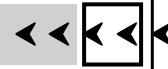
## Ressources



- Logiciels Glaser, Flixo, Trisco, WUFI, Delphin 5
- Normes NF EN ISO 13788, NF EN 15026, NF EN 12524, SIA 180, SIA 380, DIN 4108
- DTU 31.2, DTU 20.1, ACERMI
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)
- WTA – International Association for Science and Technology of Building Maintenance and Monuments Preservation
- Conseil National des Recherches Canada (CNRC)
- Energieagentur NRW
- Fraunhofer Institut für Bauphysik
- Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie (IBO)
- Passivhaus Institut
- Docs fabricants



## Merci de votre attention



En France, l'entretien des bâtiments représentait 90 à 97% du secteur de la construction avant la Révolution (Industrielle).

« *Bâtir la ville* », André Guillaume

**Et aujourd'hui ?**

