

Humidité dans les parois

Cycle de conférences – « *Fondamentaux de la rénovation* »



- **1. Pourquoi s'intéresser aux transferts d'humidité.**
- **2. Eléments de physique**
 - Air humide
 - Propriétés des matériaux
 - Méthodes de calcul
 - Estimation des transferts par la méthode de GLASER
 - Estimation des transferts par simulation dynamique
- **3. Etudes de cas – parois courantes**
- **4. Etudes de cas : cas du bâti ancien**
- **5. Bonnes pratiques**

1. POURQUOI S'INTERESSER AUX TRANSFERTS D'HUMIDITE ?

1.1 : Démarche de conception ou de rénovation énergétique

Réduire les besoins de chauffage *et de climatisation* :

- > Isolation thermique
- > Etanchéité à l'air

**Valoriser les apports gratuits / assurer un confort d'été
/ réduire les besoins de climatisation :**

- > Inertie thermique (capacité et effusivité
thermique des matériaux ...)

Assurer une qualité d'air intérieur :

- > Système de ventilation
- > Etanchéité à l'air

Mettre en œuvre des systèmes climatiques adaptés :

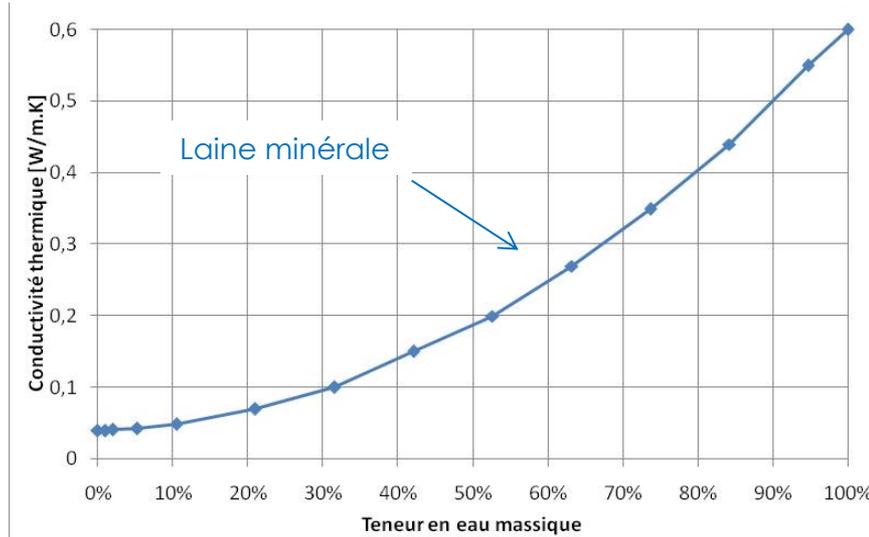
- > Commissionnement
- > Maintenance

1. POURQUOI S'INTERESSER AUX TRANSFERTS D'HUMIDITE ?

1.2 : Pérennité du bâti et de ses performances.

1.21 : Lien entre conductivité thermique et teneur en eau des matériaux :

Conductivité thermique en
fonction de la teneur en eau



Source des données : Fraunhofer IBP.

Valeur matériau sec : 0.04 [W/m.K]
 Valeur pour une teneur en eau
 de 20% : 0.07 [W/m.K]

Incidence sur le coefficient U d'une paroi :

plaque de plâtre 1 cm
 laine minérale 6 cm
 blocs béton 20 cm
 enduit mortier 2 cm

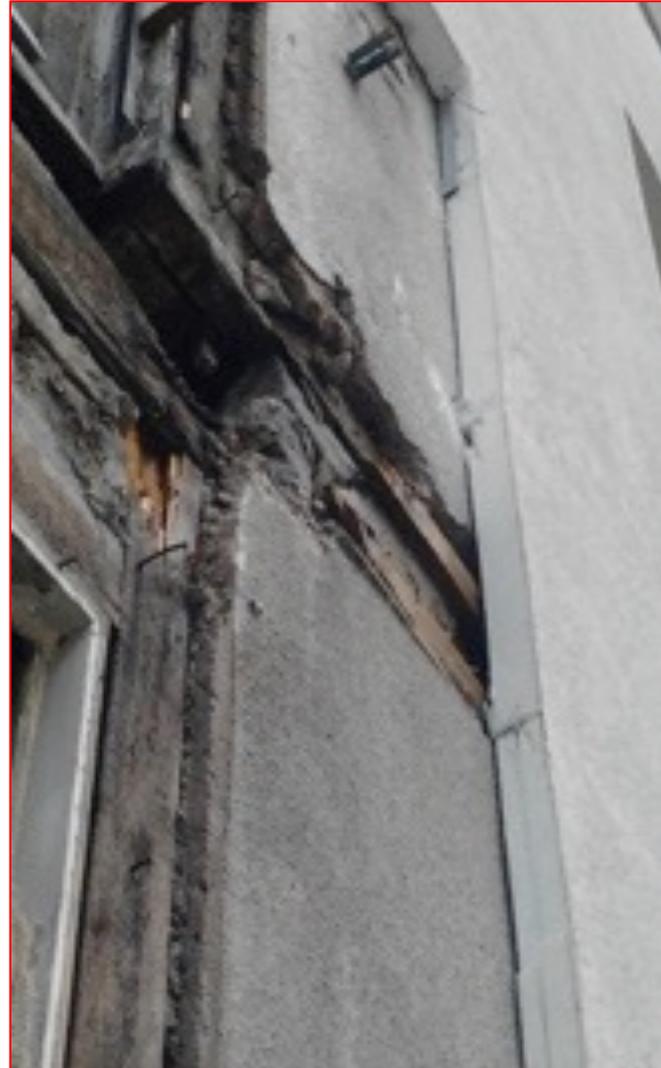
Valeur matériau sec U = 0,51 [W/m².K]
 Valeur pour une teneur en eau
 de 20% : U = 0.75 [W/m².K]

(soit une **augmentation de 47 %**)

1. POURQUOI S'INTERESSER AUX TRANSFERTS D'HUMIDITE ?

1.2 : Pérennité du bâti et de ses performances.

1.22 : Pérennité structurelle



1. POURQUOI S'INTERESSER AUX TRANSFERTS D'HUMIDITE ?

1.2 : Pérennité du bâti et de ses performances.

1.23 : Dégradation de la qualité d'air



1. POURQUOI S'INTERESSER AUX TRANSFERTS D'HUMIDITE ?

1.3 : Sources d'humidité dans une paroi.

Condensation de vapeur d'eau au sein des parois

Migration de vapeur d'eau

Exfiltrations / infiltrations d'air

Séchage de la construction

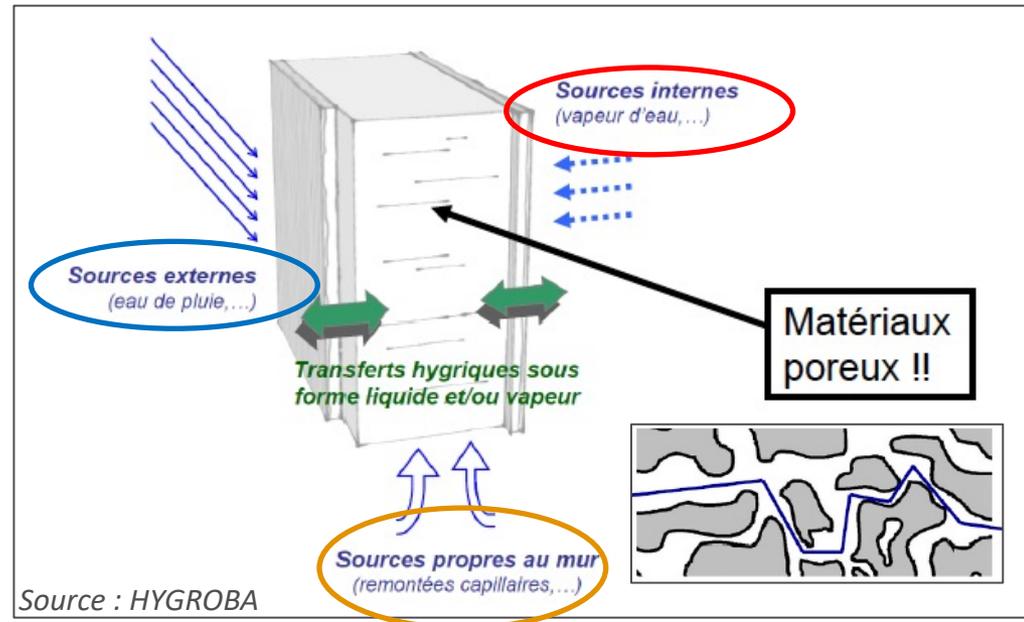
Saturation en humidité de l'air intérieur

=> condensation
au sein des parois

Pénétration d'eau de pluie

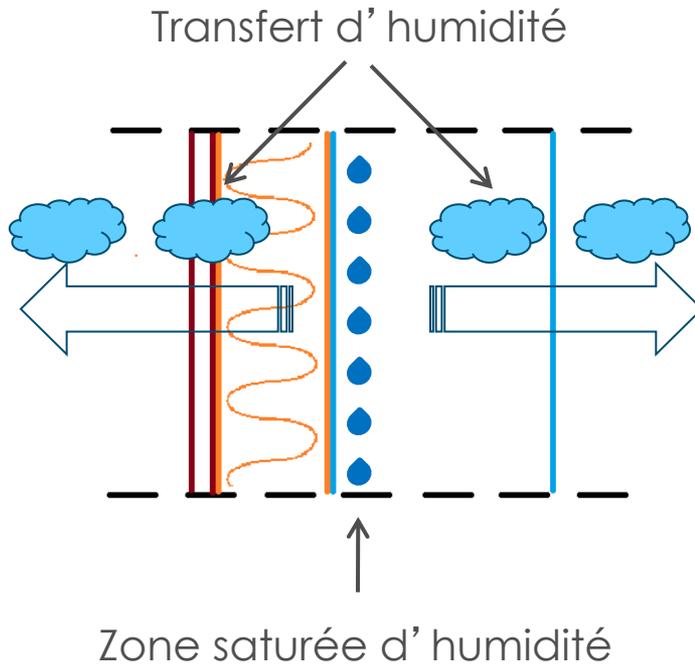
Remontées capillaires

1^{er} POINT DE VIGILANCE :
REDUIRE LES SOURCES D'HUMIDITE



1. POURQUOI S'INTERESSER AUX TRANSFERTS D'HUMIDITE ?

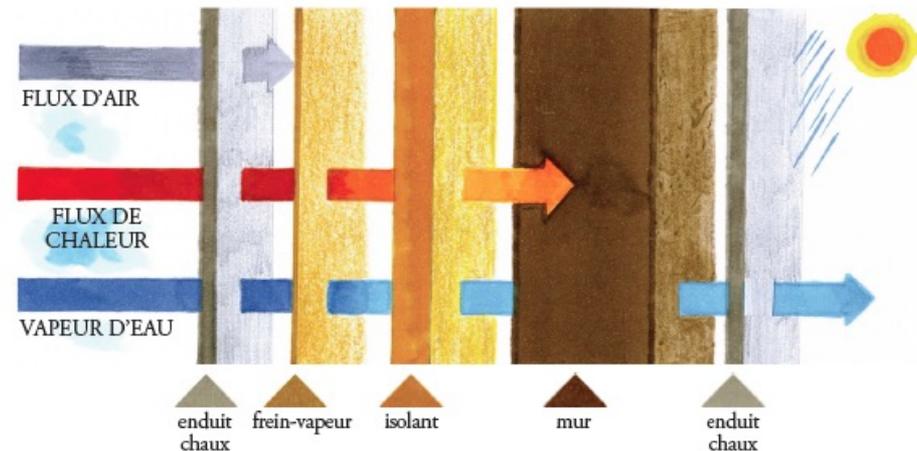
1.4 : Maîtrise des transferts d'humidité.



Quantification des transferts d'humidité

Principes physiques
Propriétés des matériaux

Choix et mise en œuvre des matériaux



Principes fondamentaux du fonctionnement des flux à respecter

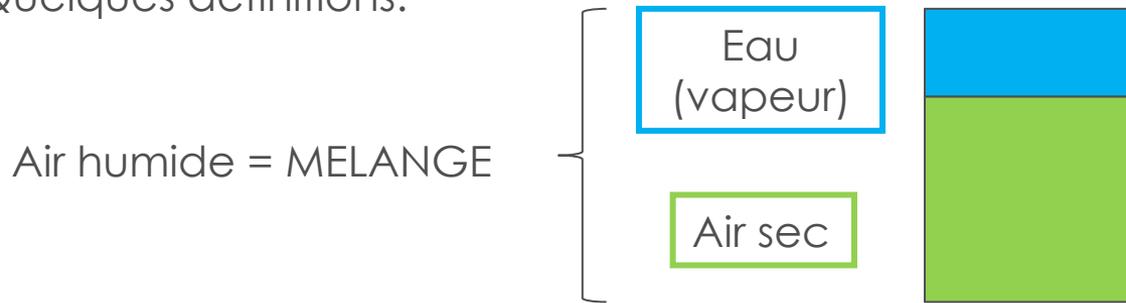
Source : Hygroba

2^{ème} POINT DE VIGILANCE :

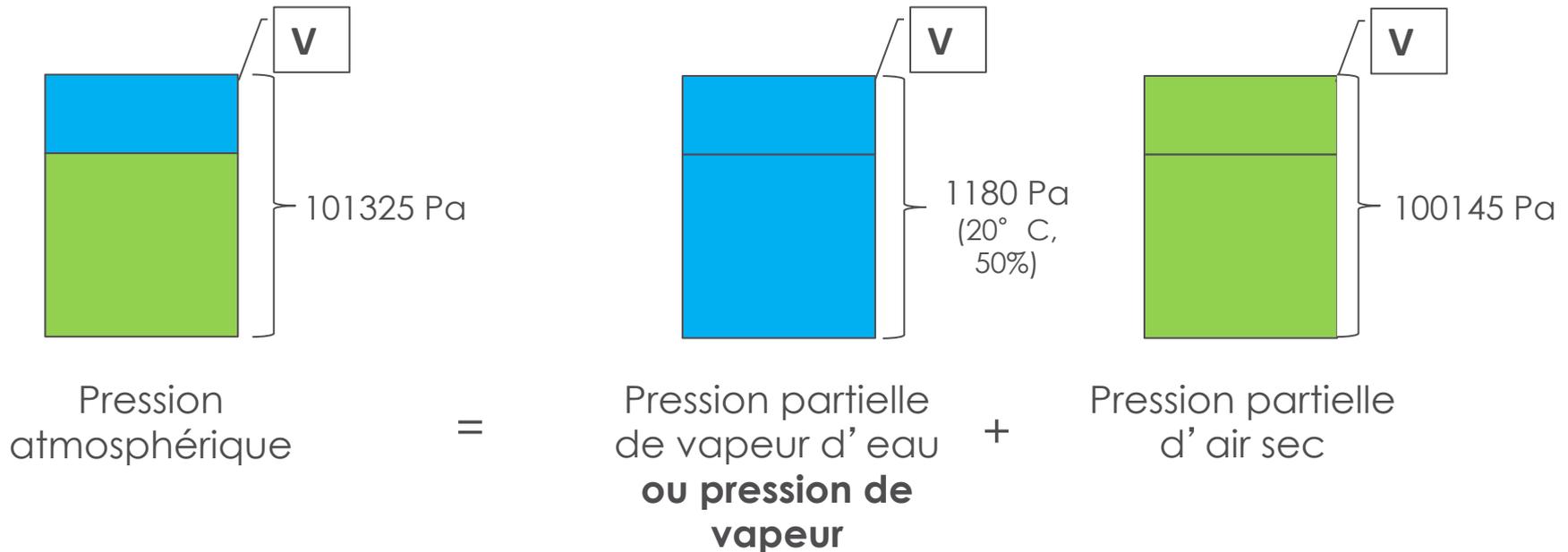
ADAPTER LES ACTIONS DE RENOVATION

2.1 : Air humide.

2.11 : Quelques définitions.



« Quantification » de la présence de vapeur ???

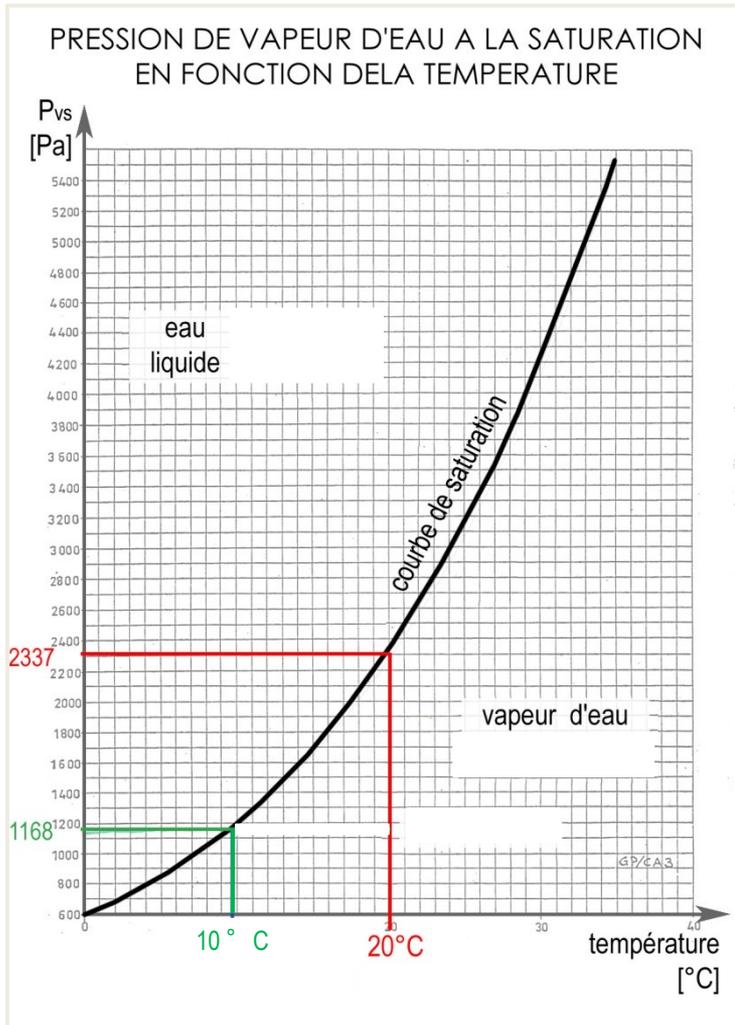


La pression de vapeur dépend de la quantité d'eau contenue dans l'air.

2.1 : Air humide.

2.11 : Quelques définitions (suite)

Pression de vapeur saturante

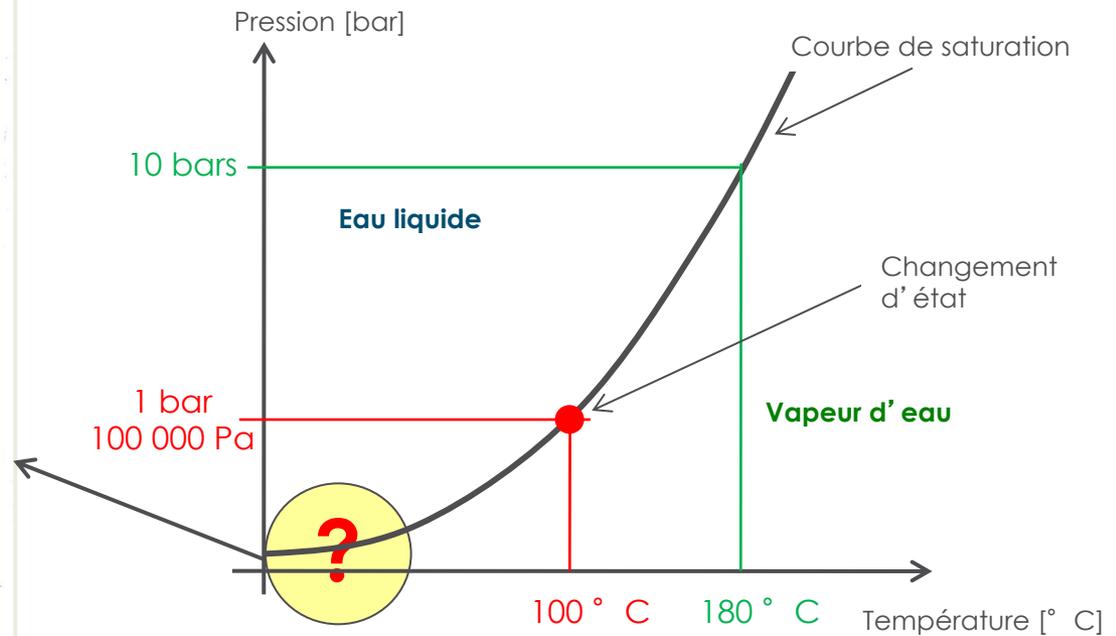


Il existe une **limite sur la quantité d'eau** (à l'état de vapeur) que peut contenir un air.

Cette limite dépend de la température de l'air.

Pour cette valeur limite, la pression de vapeur est dite **pression de vapeur saturante**.

Explications



2.1 : Air humide.

2.11 : Quelques définitions (suite)

Pression de vapeur saturante

Conséquences :

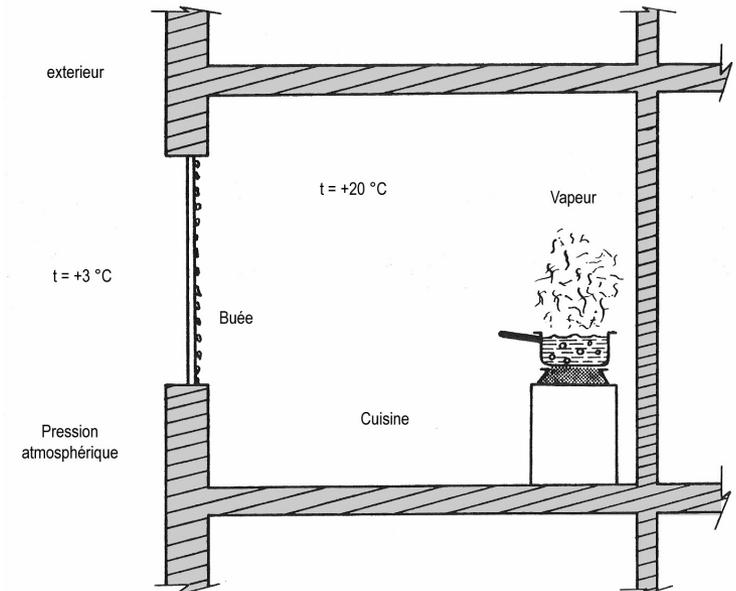
Lorsque la pression de vapeur atteint la pression de vapeur saturante, l'air ne peut contenir plus d'eau à l'état de vapeur. C'est le **début de la condensation** de la vapeur d'eau.

L'air est dit saturé.

Comment atteindre la saturation ?

Refroidir l'air.

Augmenter la quantité d'eau (humidification).



2.1 : Air humide.

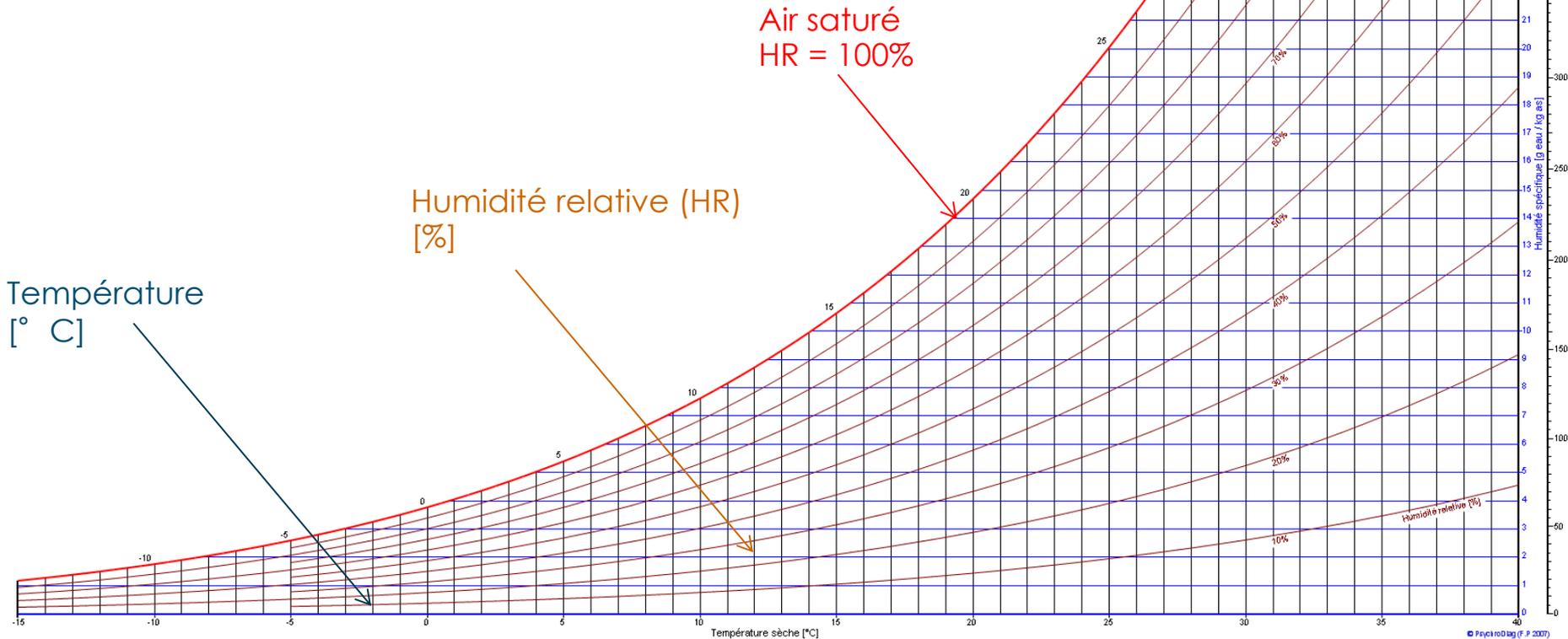
2.12 : Caractéristiques d'un air humide – Diagramme de l'air humide

DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE
Pression atmosphérique 101325 Pa Altitude 0 m

$$\text{Humidité relative (HR)} = \frac{\text{Pression de vapeur}}{\text{Pression de vapeur saturante}}$$

$$0 \% \leq \text{HR} \leq 100 \%$$

Poids d'eau
OU
Humidité absolue
[g eau /kg air sec]
≈ [g eau /m³ d'air]



2.1 : Air humide.

2.13 : Refroidissement d'un air humide – température de rosée.

DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE
Pression atmosphérique 101325 Pa Altitude 0 m

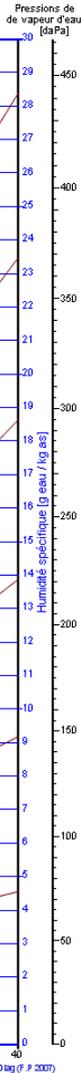
Il y aura condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air, lorsque la température de l'air devient **inférieure ou égale** à la température de rosée.

« Zone » de condensation

Point de rosée

+ 20 ° C / 50%

9,3 ° C



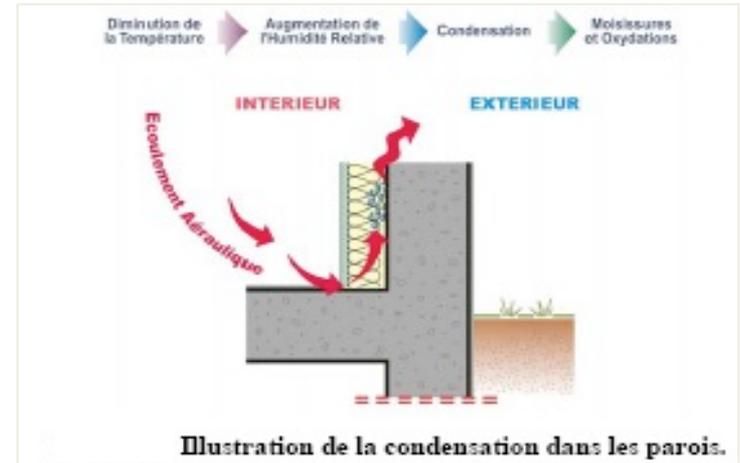
2.1 : Air humide.

2.14 : Illustration 1 : condensation au sein d'une paroi – cas d'exfiltration (hiver).

a) Données considérées.

Paroi extérieure à **isolation intérieure**

plaque de plâtre 1 cm
isolant 6 cm
blocs béton 20 cm
enduit mortier 2 cm



Source CEREMA Lyon

2.1 : Air humide.

2.14 : Illustration 1 : condensation au sein d'une paroi – cas d'exfiltration (hiver).

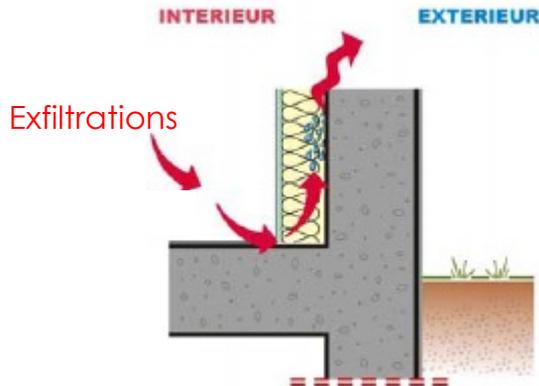
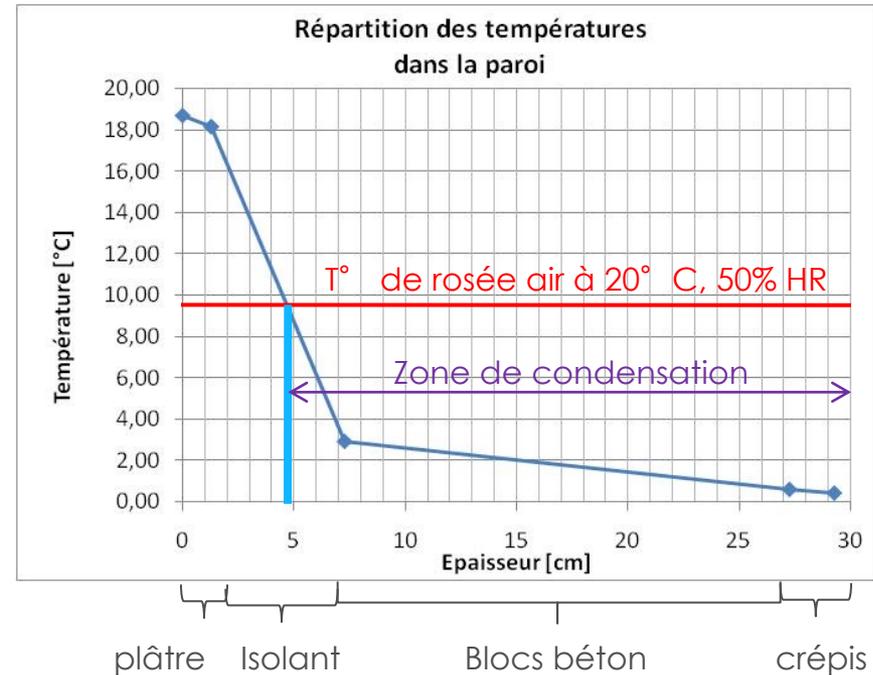
b) Calcul de la température au sein du mur :

Hypothèses :

t° intérieure : 20° C

t° extérieure : 0° C

régime stationnaire



Risque de condensation dans le mur si :

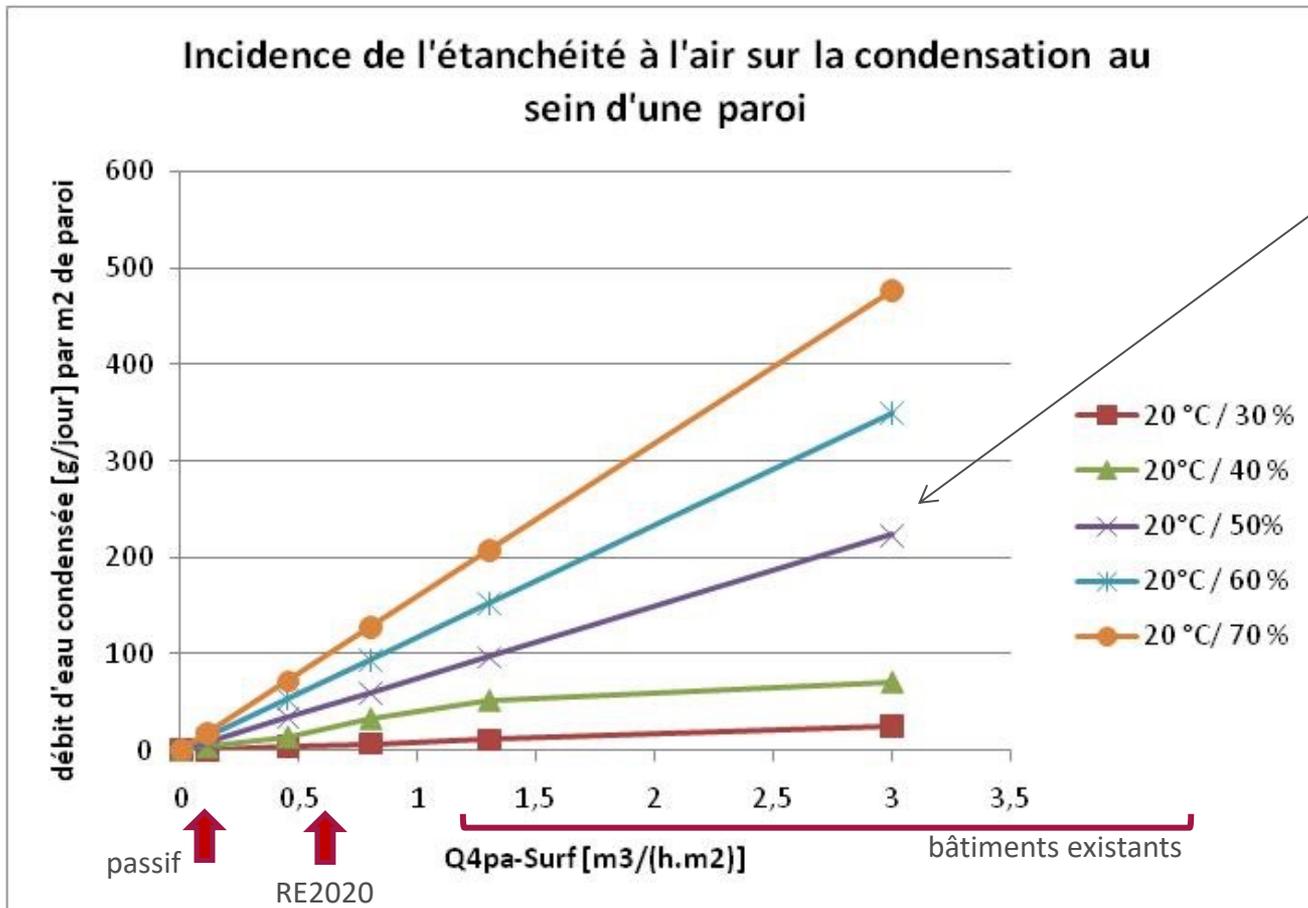
température au sein du mur inférieure à la température de rosée de l'air intérieur

(air à 20° C , 50 % HR : t° rosée = $9,3^{\circ} \text{ C}$)

2.1 : Air humide.

2.14 : Illustration 1 : condensation au sein d'une paroi – cas d'exfiltration (hiver)

- c) Calcul de la quantité d'eau condensée au sein du mur
- pour différentes humidités relatives intérieures
 - pour différentes perméabilité à l'air du bâtiment.



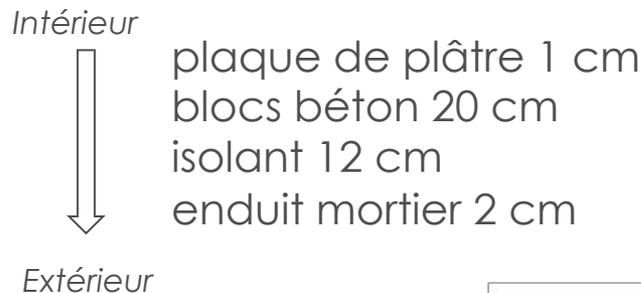
200 g par jour, pour 1m² de paroi

2.1 : Air humide.

2.15 : Illustration 2 : condensation au sein d'une paroi – cas d'infiltrations (été)

a) Données considérées.

Paroi extérieure à **isolation extérieure**



Hypothèses :

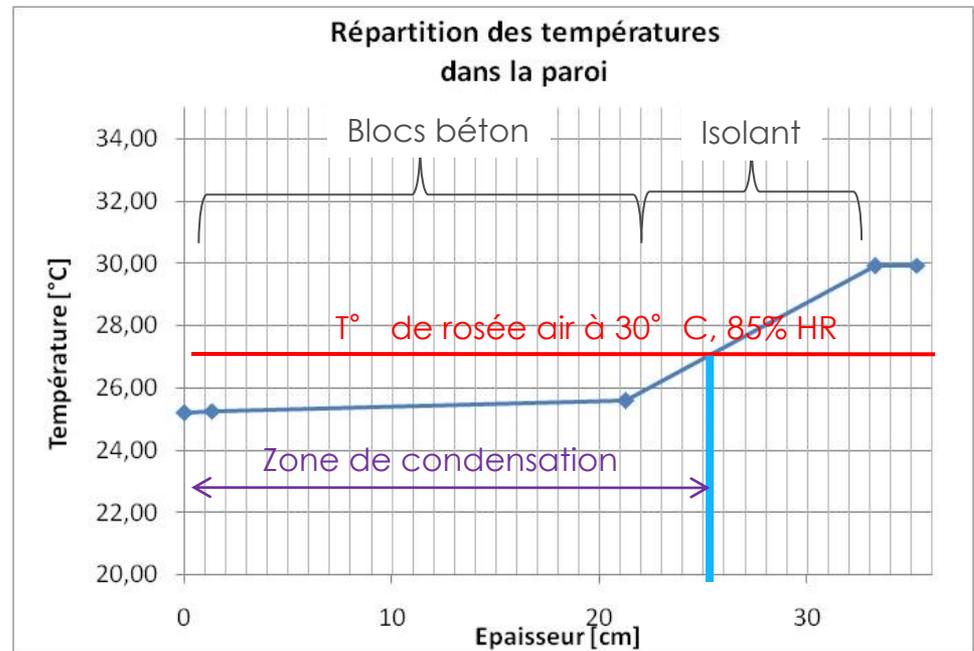
t° intérieure : 25° C

t° extérieure : 30° C

HR extérieure : 85 %

T° rosée air ext : 27° C

régime stationnaire



2.2 : Transfert d'humidité – propriétés des matériaux.

2.21 : Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau.

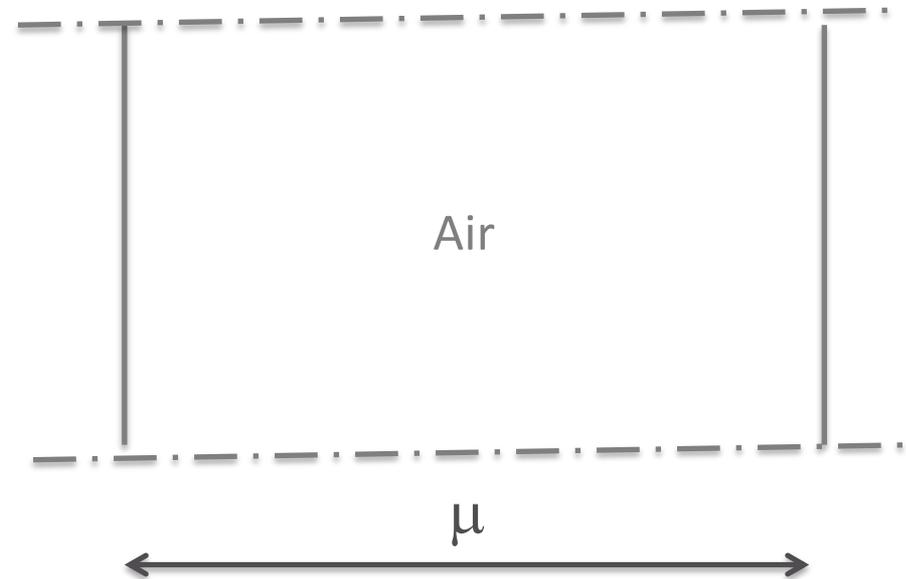
Ce facteur noté μ (mu), s'exprime sans unité. Il caractérise la capacité d'un matériau à diffuser la vapeur d'eau. Sa valeur peut être comprise entre **1 pour les matériaux très perméables (laine minérale)** et **l'infini pour les matériaux étanches à la vapeur d'eau (verre)**.

La valeur de ce facteur, pour un matériau donné, peut être assimilée à l'épaisseur d'une couche d'air équivalente qui aurait la même capacité de diffusion de la vapeur qu'un mètre de ce matériau.



1 mètre

≈



Matériau	Masse volumique	Teneur en eau à 23 °C, 50 % HR		Teneur en eau 1) à 23 °C, 80 % HR		Coefficient de conversion d'humidité		Facteur de résistance à la vapeur d'eau μ		Capacité thermique massique C_p
		ρ kg/m ³	u kg/kg	ψ m ³ /m ³	u kg/kg	ψ m ³ /m ³	f_u	f_ψ	sec	
Polystyrène expansé	10 - 50		0		0	4		60	60	1 450
Polystyrène extrudé, mousse	20 - 65		0		0	2,5		150	150	1 450
Mousse de polyuréthane, rigide	28 - 55		0		0	3		60	60	1 400
Laine minérale	10 - 200		0		0	4		1	1	1 030
Mousse phénolique	20 - 50		0		0	5		50	50	1 400
Verre cellulaire	100 - 150	0		0		0		∞	∞	1 000
Panneau de perlite	140 - 240	0,02		0,03		0,8		5	5	900
Liège expansé	90 - 140		0,008		0,01 1	6		10	5	1 560
Panneau de laine de bois	250 - 450		0,03		0,05	1,8		5	3	1 470
Panneau de fibres de bois	150 - 250	0,1		0,16		1,5		10	5	1 400
Mousse urée-formol	10 - 30	0,1		0,15		0,7		2	2	1400
Mousse de polyuréthane projetée	30 - 50		0		0	3		60	60	1 400
Laine minérale en vrac	15 - 60		0		0	4		1	1	1 030
Fibres de cellulose en vrac	20 - 60	0,11		0,18		0,5		2	2	1 600
Perlite expansée en vrac	30 - 150	0,01		0,02		3		2	2	900
Vermiculite exfoliée en vrac	30 - 150	0,01		0,02		2		3	2	1 080
Argile expansée en vrac	200 - 400	0		0,001		4		2	2	1 000
Billes de polystyrène expansé en vrac	10 - 30		0		0	4		2	2	1400
Terre cuite	1 000 - 2 400		0,007		0,012	10		16	10	1 000
Silicate de calcium	900 - 2 200		0,012		0,024	10		20	15	1 000
Béton de ponce sans autres granulats	500 - 1300		0,02		0,035	4		50	40	1 000
Béton de granulats lourds et pierre manufacturée	1 600 - 2 400		0,025		0,04	4		150	120	1 000
Béton de polystyrène	500 - 800		0,015		0,025	5		120	60	1 000
Béton d'argile expansée sans autres granulats	400 - 700	0,02		0,03		2,6		6	4	1000
Béton à base principalement d'argile expansée	800 - 1 700	0,02		0,03		4		8	6	1 000

2.2 : Transfert d'humidité – propriétés des matériaux.

2.23 : Epaisseur équivalente d'air (cas d'une couche de matériau d'épaisseur donnée).

L'épaisseur équivalente d'air, exprimée en mètre, **notée Sd**, caractérise la capacité d'une couche de matériau d'épaisseur donnée à diffuser la vapeur d'eau.

La valeur Sd se calcule en faisant le produit du facteur de résistance μ du matériau par l'épaisseur de matériau exprimée en mètre.

$$S_d = \mu_{\text{matériau}} \cdot e_{\text{matériau}} \quad [m]$$



e



≈



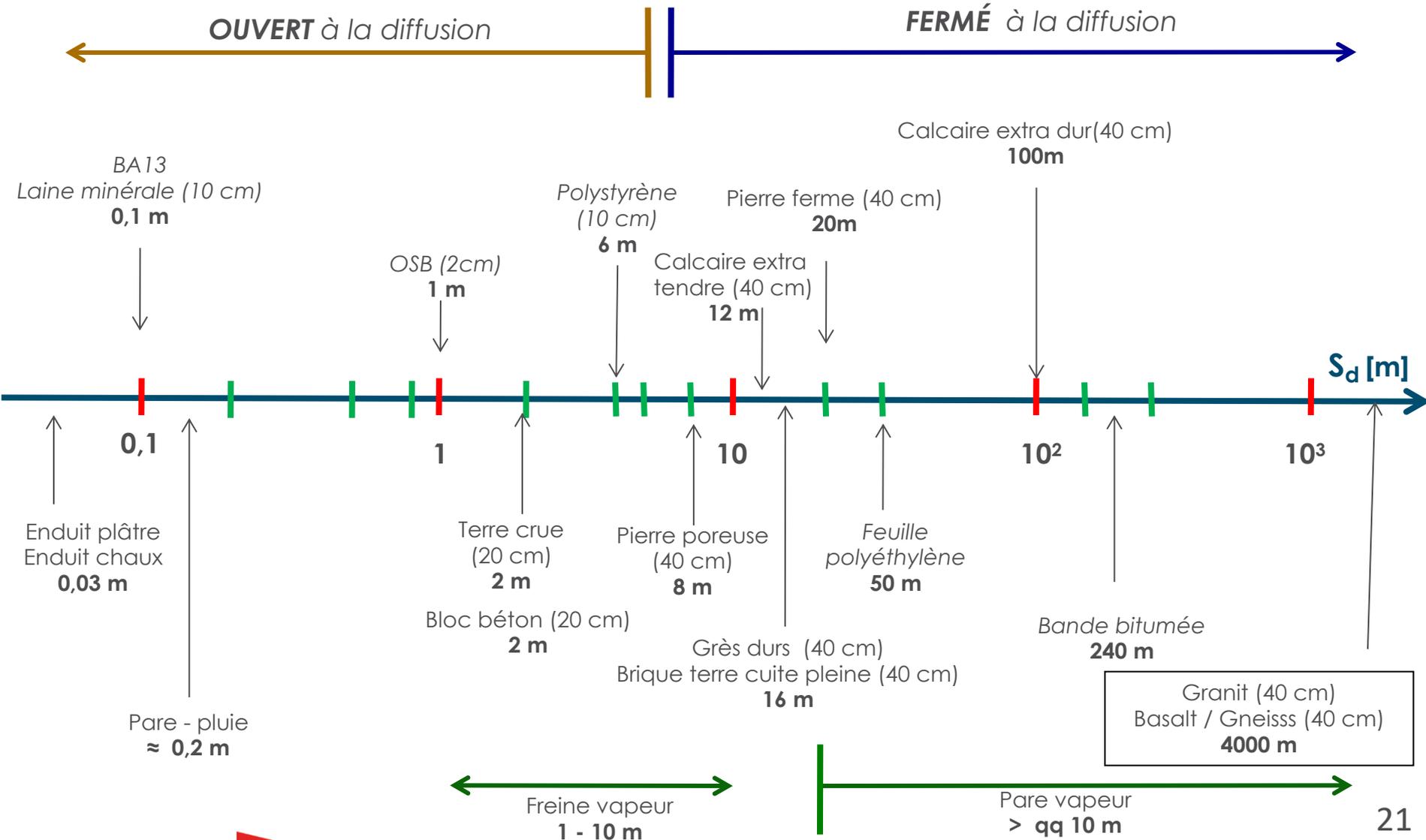
Air

Sd



2.2 : Transfert d'humidité – propriétés des matériaux.

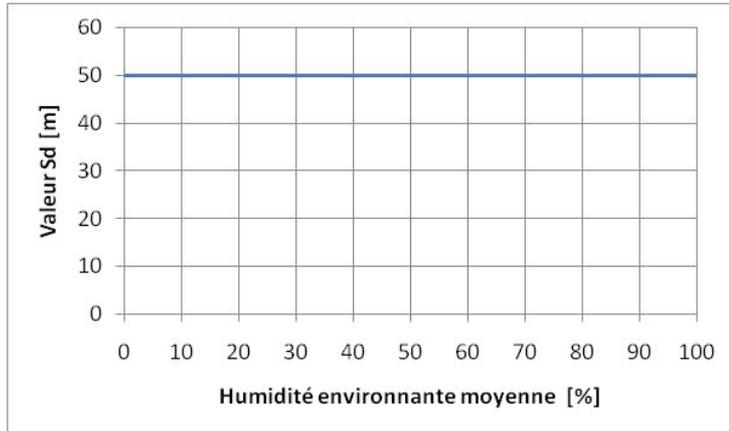
2.24 : Ordre de grandeur



2.2 : Transfert d'humidité – propriétés des matériaux.

2.25 : cas particulier : Pare vapeur / Frein vapeur

Pare vapeur



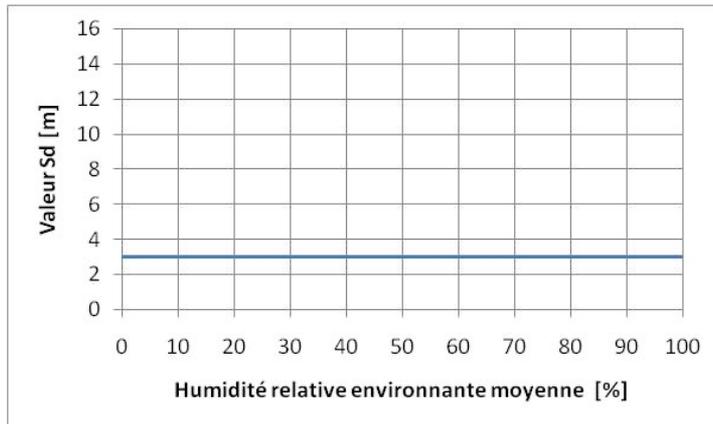
Résistance constante et élevée à la diffusion de vapeur

Pas de possibilité de séchage de la construction en cas d'humidité imprévue.

2.2 : Transfert d'humidité – propriétés des matériaux.

2.25 : cas particulier : Pare vapeur / Frein vapeur

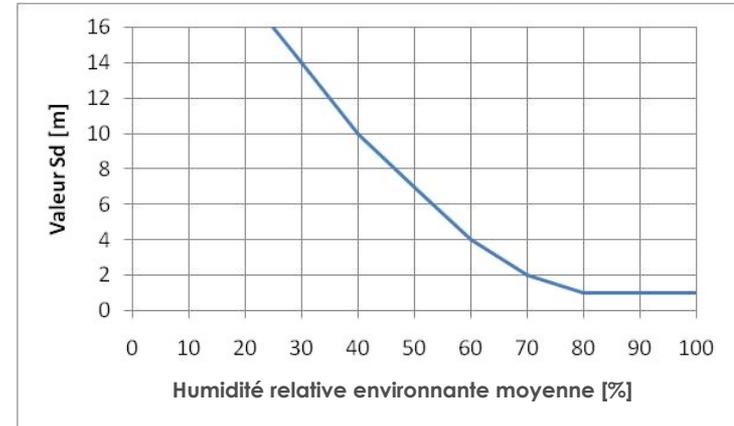
Frein vapeur à diffusion constante



Résistance constante et « limitée » à la diffusion de vapeur

Possibilité relative de séchage de la construction.

Frein vapeur à diffusion hygro-réglable



Résistance variable à la diffusion de vapeur en fonction de l'humidité environnant le freine vapeur

Possibilité accrue de séchage de la construction

2.3 : Transfert d'humidité – méthodes de calcul.

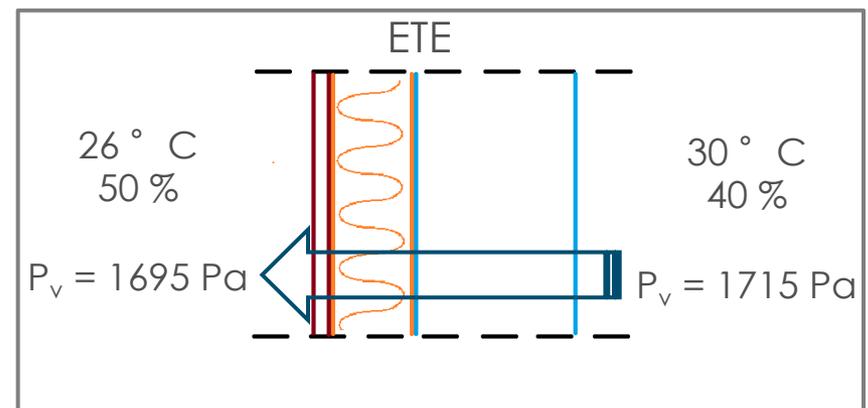
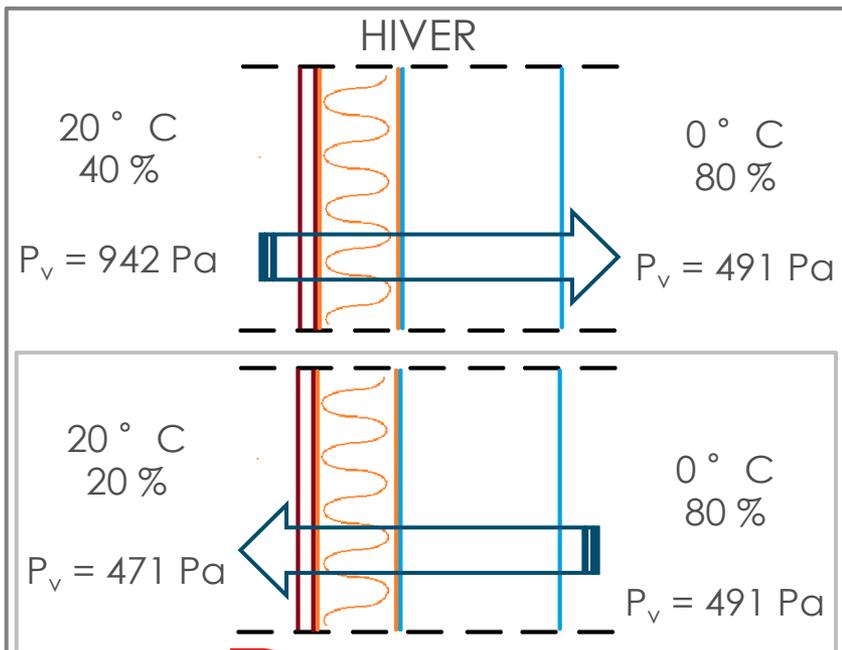
2.31 : Méthode simplifiée (Glaser).

Norme EN ISO 13 788 « *Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments - Température superficielle intérieure permettant d'éviter l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse - Méthodes de calcul* » (avril 2013)

Régime permanent.

Ne considère que les **phénomènes de diffusion** due à différence de concentration d'humidité (pression de vapeur) entre l'air intérieur et l'air extérieur.

Ne permet pas d'estimer la capacité de séchage d'une paroi.



Outils de calcul :
tableur

2.3 : Transfert d'humidité – méthodes de calcul.

2.32 : Méthode basée sur des simulations dynamiques

Norme EN 15 026 « *Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments - Évaluation du transfert d'humidité par simulation numérique* » avril 2008 – revue en septembre 2023.

Données climatiques horaires (rayonnement solaire, pluie battante ...).

Phénomènes de diffusion, de stockage et déstockage, capillarité.

Modèles thermo-hydriques en régime dynamique

A appliquer pour des cas spécifiques :

climats rudes (montagnes)

locaux à forte hygrométrie (piscines, ...)

bâtiments anciens (dits patrimoniaux).

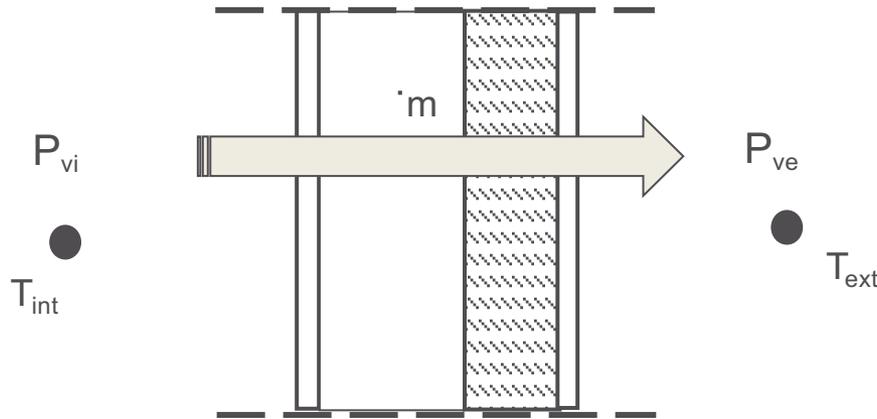
.....

Exemple : logiciel WUFI : www.wufi-pro.com

2.4 : Estimation des transferts par la méthode de GLASER

2.41 : Expression du débit de vapeur d'eau.

Cas d'une paroi multicouche :



$$\dot{m} = \frac{(P_{vi} - P_{ve})}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{e_i}{\Pi_i}} \cdot S \quad [\text{kg/s}]$$

Perméabilité π :

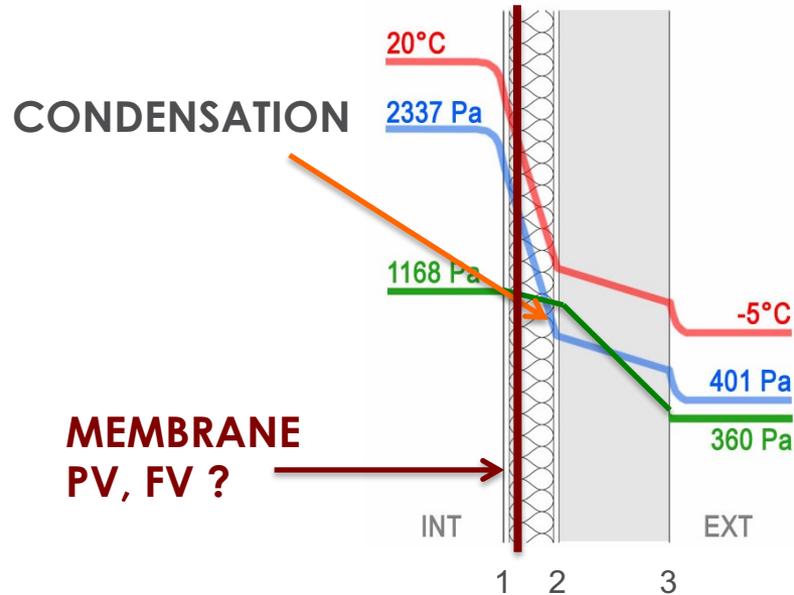
Quantité de vapeur d'eau pouvant traverser un matériau sur une épaisseur d'un mètre, durant un intervalle de temps de une seconde et pour une différence de pression partielle unitaire (**kg/m.s.Pa**).

$$\Pi_i = \frac{\Pi_{air}}{\mu} \quad \text{Avec } \Pi_{air} = 1.897 \cdot 10^{-10} [\text{kg s}^{-1} \text{ m}^{-1} \text{ Pa}^{-1}]$$

2.4 : Estimation des transferts par la méthode de GLASER

2.42 : Exemple.

Cas 1 : isolation intérieure



Données :

Ambiance intérieure : 20°C / 50%
Ambiance extérieure : -5°C / 90%

Composition :

laine minérale : 6 cm

$\lambda = 0.04 \text{ W/mK}$

$\Pi = 1.5 \cdot 10^{-10} \text{ kg/s.m.Pa}$

béton : 15 cm

$\lambda = 1.5 \text{ W/mK}$

$\Pi = 0.0624 \cdot 10^{-10} \text{ kg/s.m.Pa}$

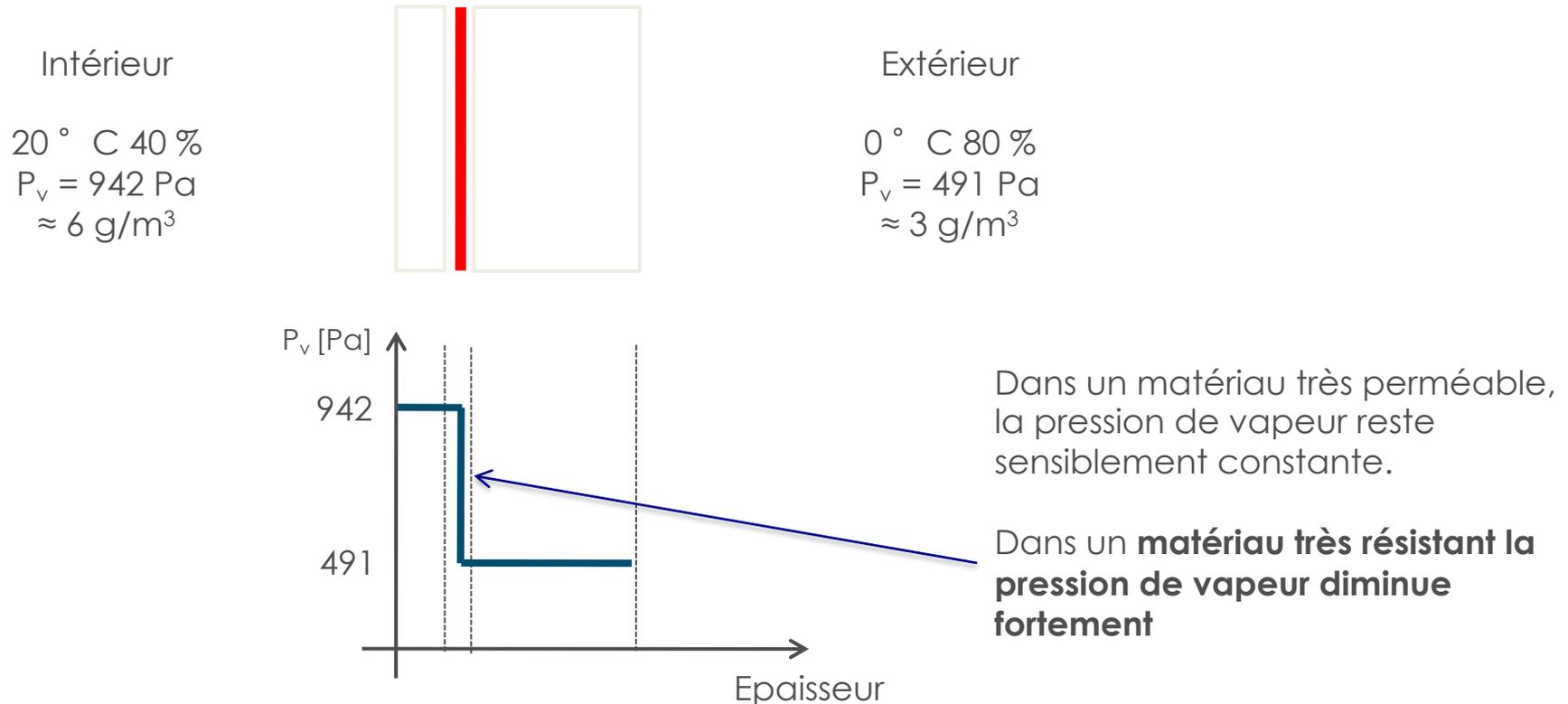
point	i	1	2	3	e
θ	20	18,2	-3,03	-4,4	-5
p_{vs}	2337	2090	476	416	401
p_v	1168	1168	1154	361	361

$$Pv_2 = Pv_1 - \dot{m} \cdot \frac{e_{isolant}}{\Pi_{isolant}}$$

2.4 : Estimation des transferts par la méthode de GLASER

2.43 : Effet de la présence d'une membrane PV ou FV.

Illustration : On considère une paroi constituée de matériaux très perméables à la vapeur d'eau ($S_d \approx 1$), entourant une membrane PV ou FV.

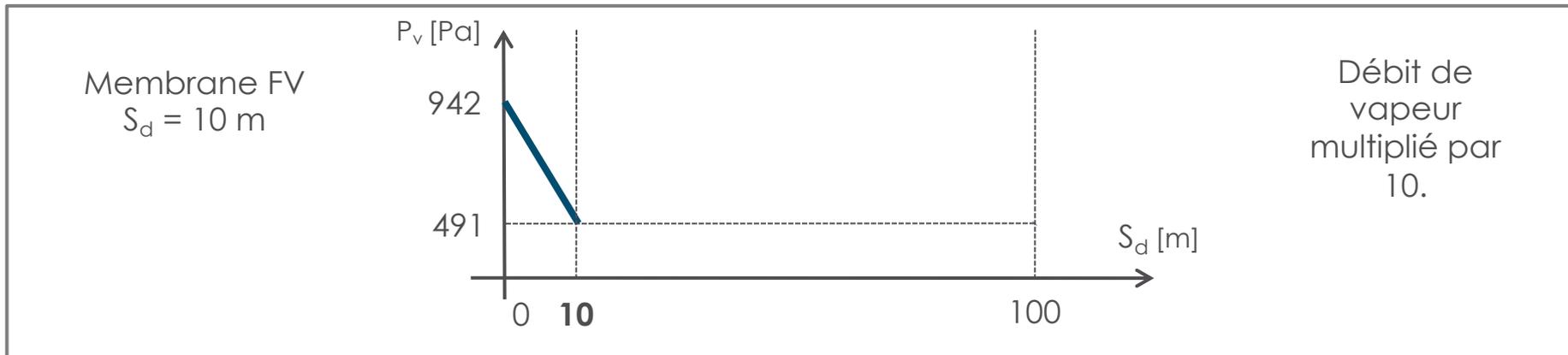
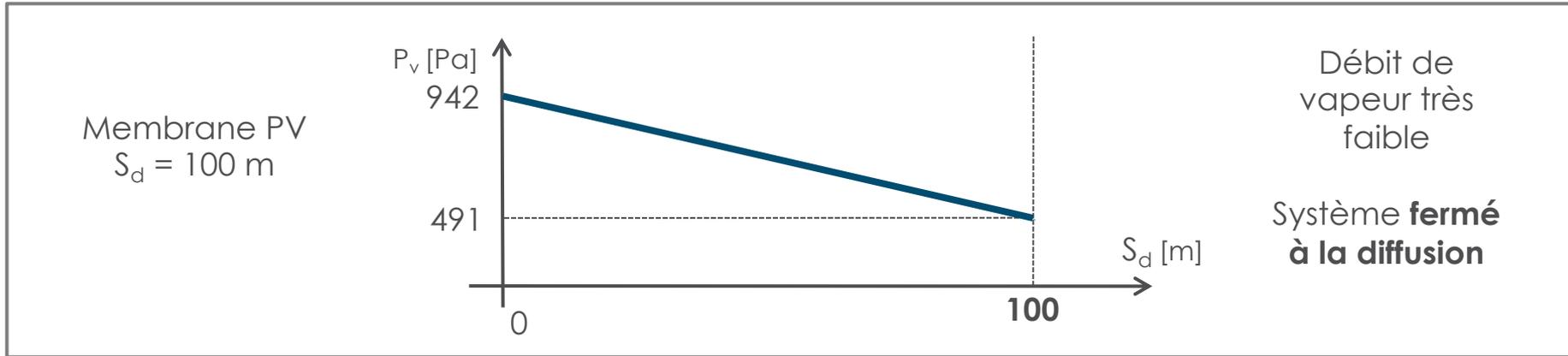


Quel est l'incidence de la valeur S_d de la membrane ?

2.4 : Estimation des transferts par la méthode de GLASER

2.43 : Effet de la présence d'une membrane PV ou FV.

Illustration suite : Incidence de la valeur S_d de la membrane.

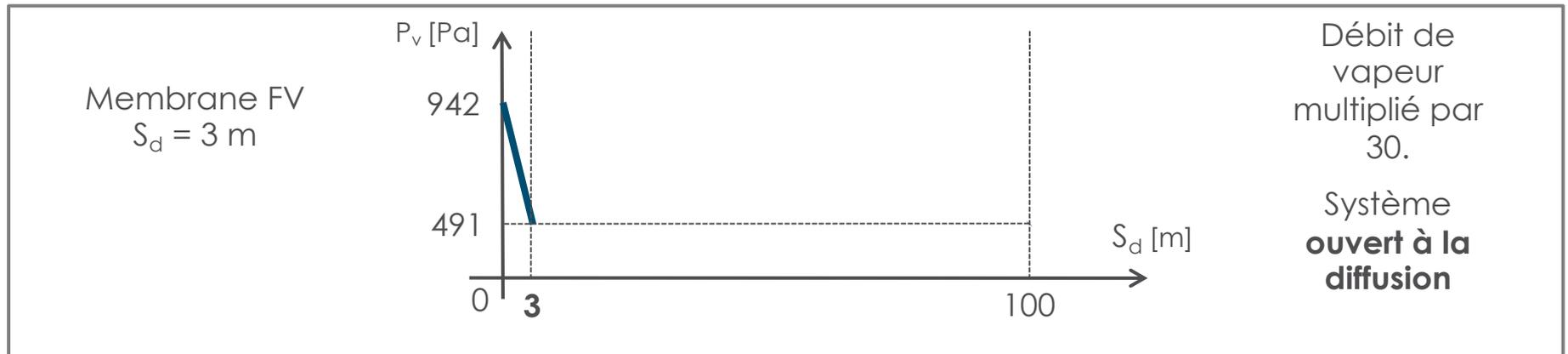


Dans ce diagramme les couches de matériaux très perméables n'apparaissent pas ($S_d \approx 0$).

2.4 : Estimation des transferts par la méthode de GLASER

2.43 : Effet de la présence d'une membrane PV ou FV.

Illustration suite : Incidence de la valeur S_d de la membrane.



En réalité :

Les couches constituant les parois ont une résistance plus ou moins élevée à la diffusion de vapeur d'eau. **Le choix de la valeur S_d** de la membrane s'effectue de telle sorte à trouver un **compromis** entre :

- la **chute de pression de vapeur à réaliser** pour limiter les phénomènes de condensation,
- les **possibilités de séchage** de la paroi.

2.5 : Estimation des transferts par une méthode de simulation dynamique

2.51 : Principe

Simulation des transferts couplés de chaleur et d'humidité (phase vapeur, phase liquide)
=> calcul de la température et de l'humidité en tout point d'une paroi

Calcul horaire sur une période de 3 à 10 ans

2.52 : Propriétés des matériaux à considérer

a) Porosité

Volume des vides

Volume total

2.5 : Estimation des transferts par une méthode de simulation dynamique

2.52 : Propriétés des matériaux à considérer

b) Teneur en eau

- Teneur en eau massique : $\mathbf{u} = \frac{\text{masse d'eau contenue dans le matériau}}{\text{masse du matériau sec}}$ [kg/kg]

- Teneur en eau volumique : $\mathbf{\psi} = \frac{\text{volume d'eau contenu dans le matériau}}{\text{volume du matériau sec}}$ [m³/m³]

- Teneur en masse par volume : $\mathbf{w} = \frac{\text{masse d'eau contenue dans le matériau}}{\text{volume du matériau sec}}$ [kg/m³]

2.5 : Estimation des transferts par une méthode de simulation dynamique

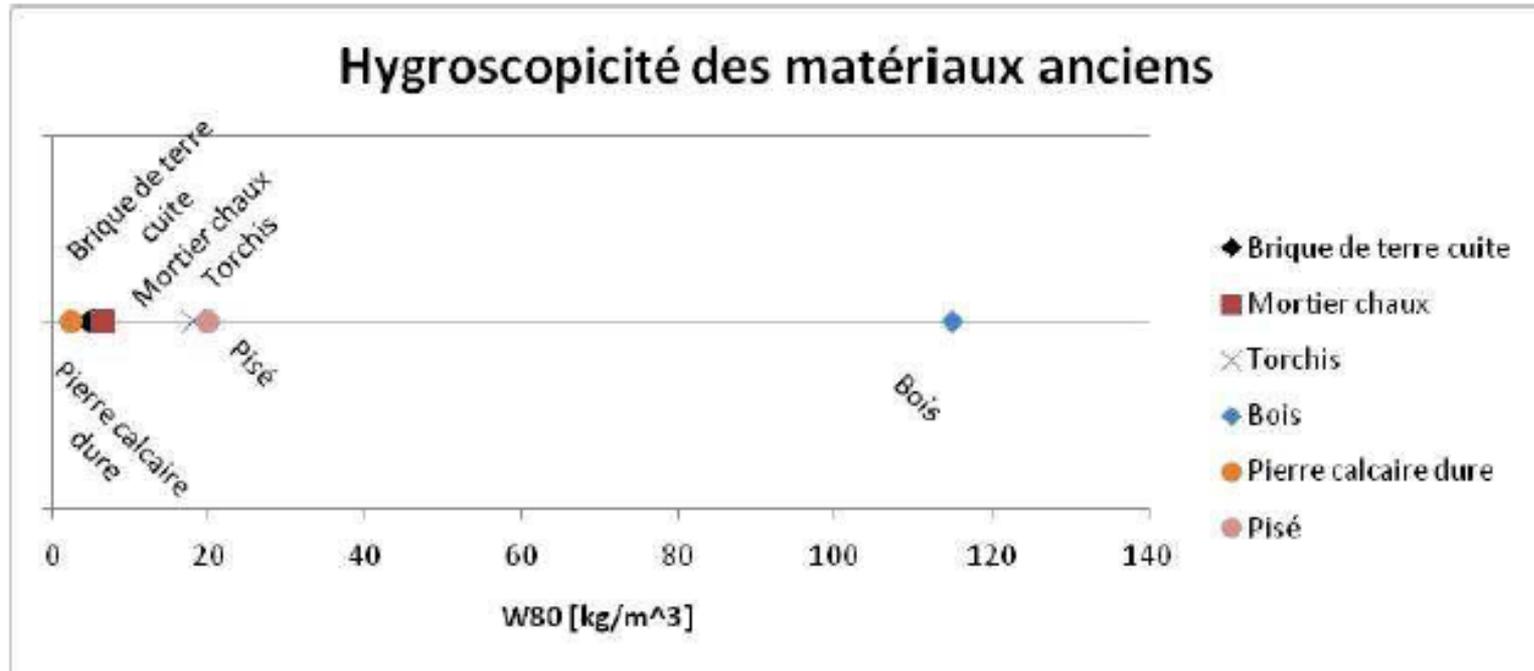
2.52 : Propriétés des matériaux à considérer

c) Teneur en eau de référence : caractère **hygroscopique** du matériau.

Teneur en eau (en masse par volume), du matériau lorsqu'il est maintenu dans une ambiance ayant une humidité relative de 80%.

Noté : w_{80} [kg/m³]

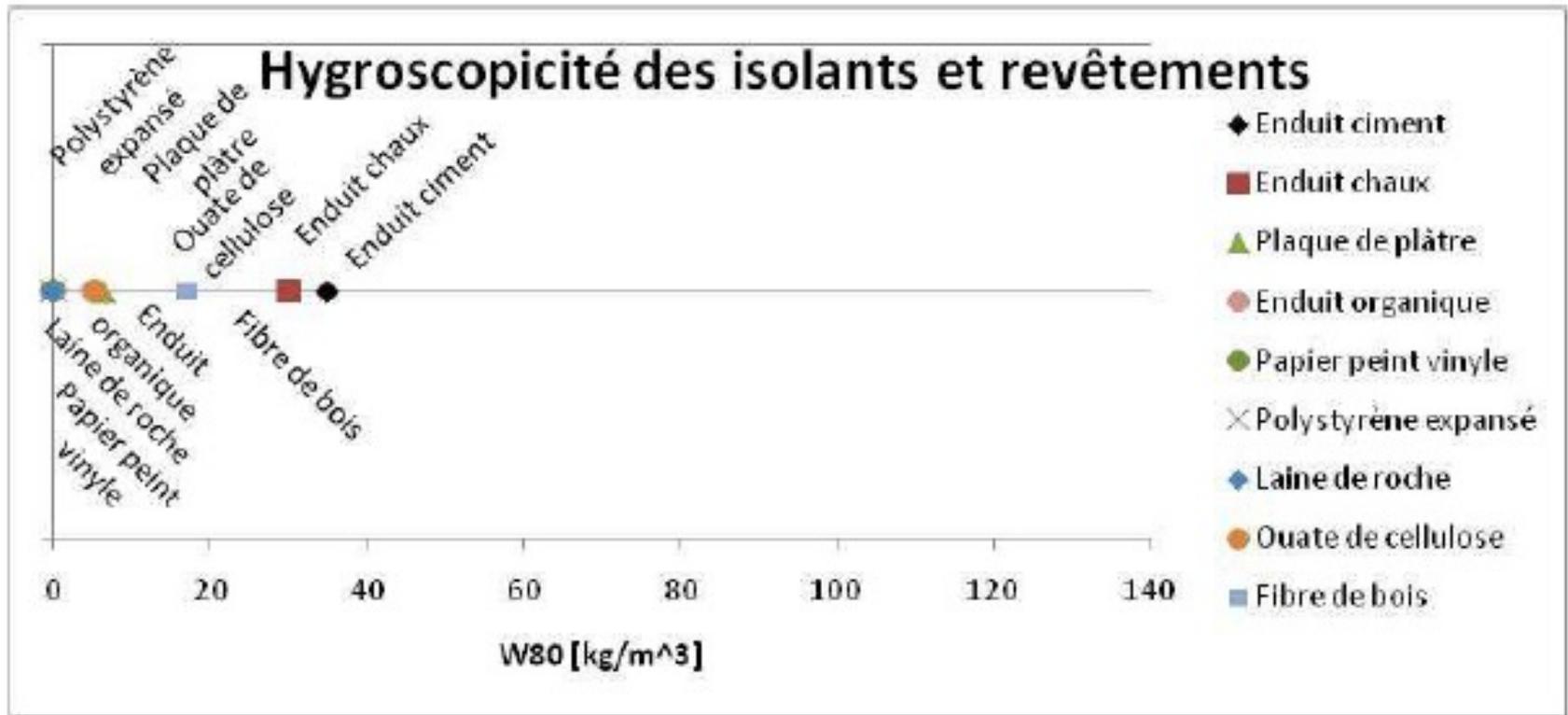
2. ELEMENTS DE PHYSIQUE.



Peu hygroscopique	Hygroscopique	Très hygroscopique
Pierre calcaire dure	Mortier chaux Brique de terre cuite	Pisé Bois

Source : étude HYGROBA

2. ELEMENTS DE PHYSIQUE.



Non hygroscopique	Hygroscopique	Très hygroscopique
Polystyrène expansé	Plaque de plâtre	Enduit chaux
Laine de roche	Ouate de cellulose	Enduit ciment
Papier peint vinyle	Enduit organique	Fibre de bois

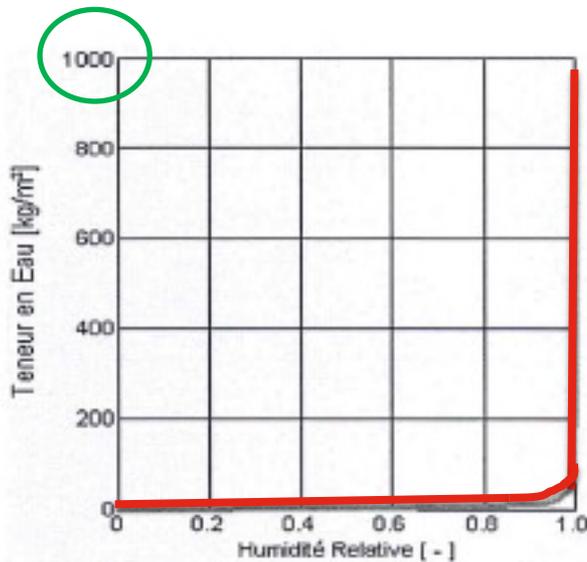
Source : étude HYGROBA

2.5 : Estimation des transferts par une méthode de simulation dynamique

2.52 : Propriétés des matériaux à considérer

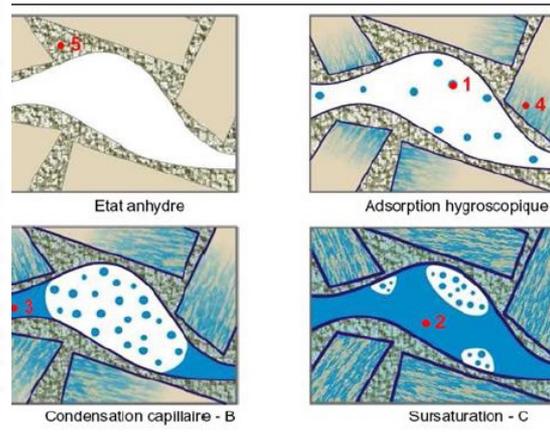
d) Courbe de sorption.

Evolution de la teneur en eau (w) en fonction de l'humidité relative.

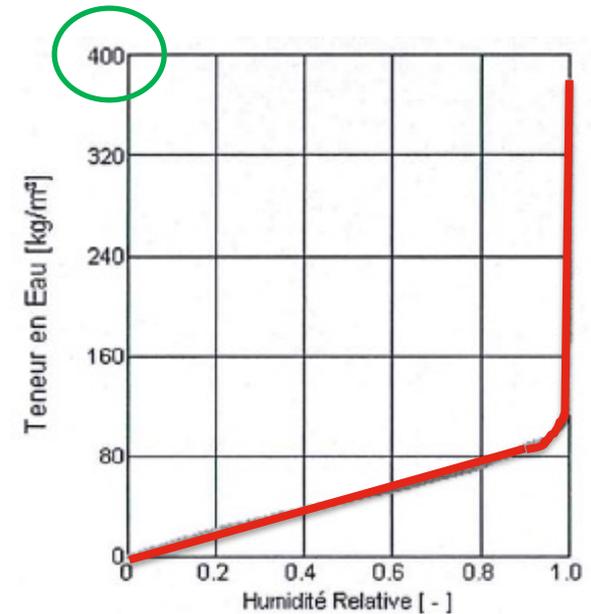


Courbe de sorption
de la ouate de cellulose

Source : Wufi



Source : Evrard 2005



Courbe de sorption
du bois de sapin

Source : Wufi

2.5 : Estimation des transferts par une méthode de simulation dynamique

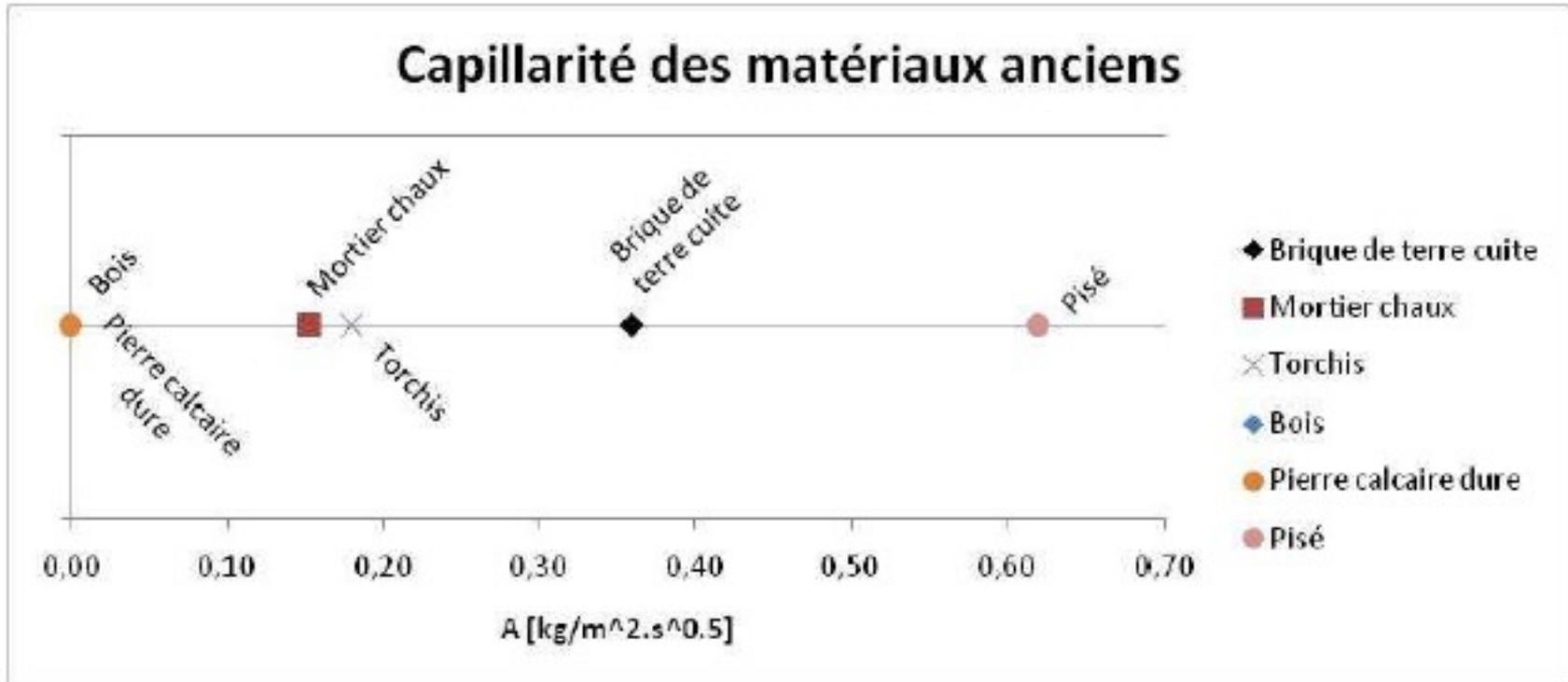
2.52 : Propriétés des matériaux à considérer

e) Coefficient d'absorption liquide.

Capacité d'un matériau à absorber de l'eau liquide par **capillarité** (en présence d'eau liquide).

Noté : A [kg/m² s^{0.5}]

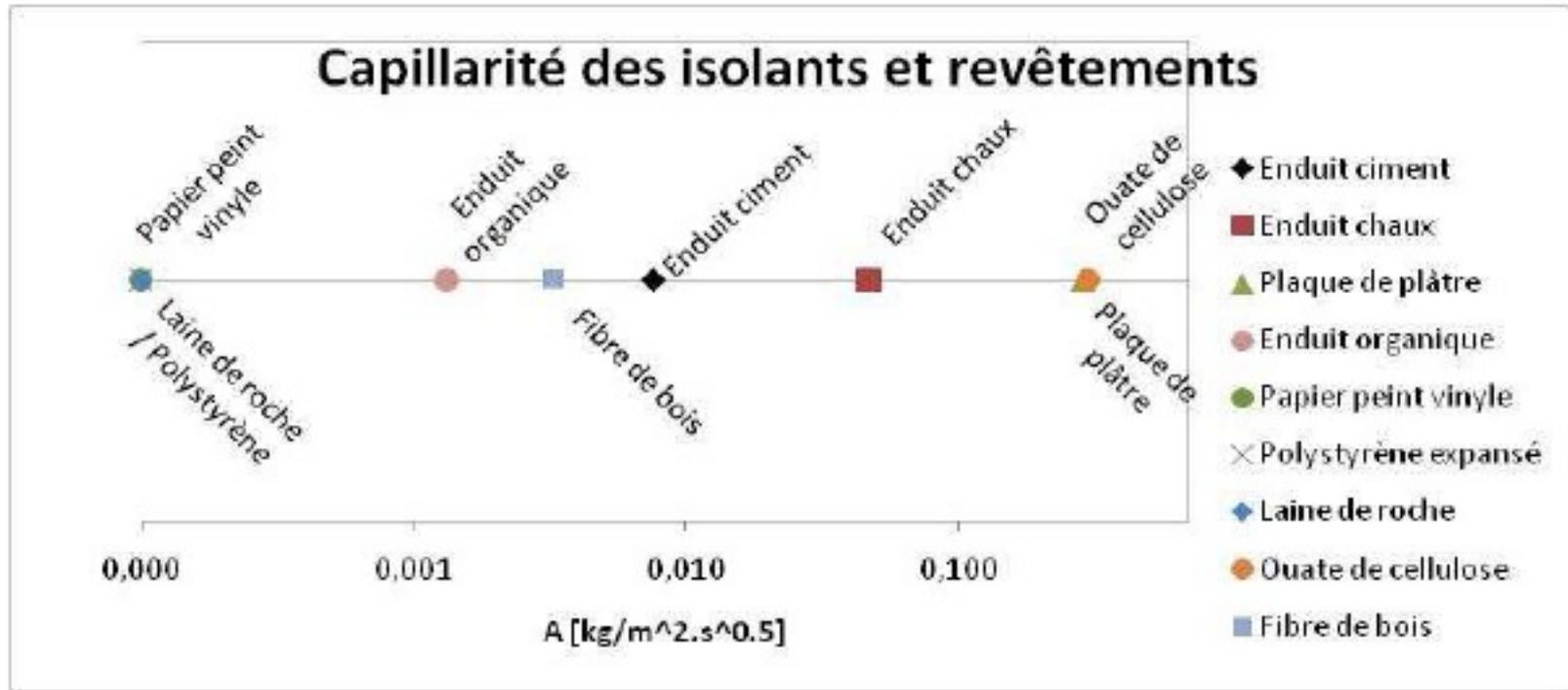
2. ELEMENTS DE PHYSIQUE.



Non capillaires	Capillaires	Très capillaires
Bois	-	Brique de terre cuite
Pierre calcaire dure		Pisé
		Mortier chaux
		Torchis

Source : étude HYGROBA

2. ELEMENTS DE PHYSIQUE.

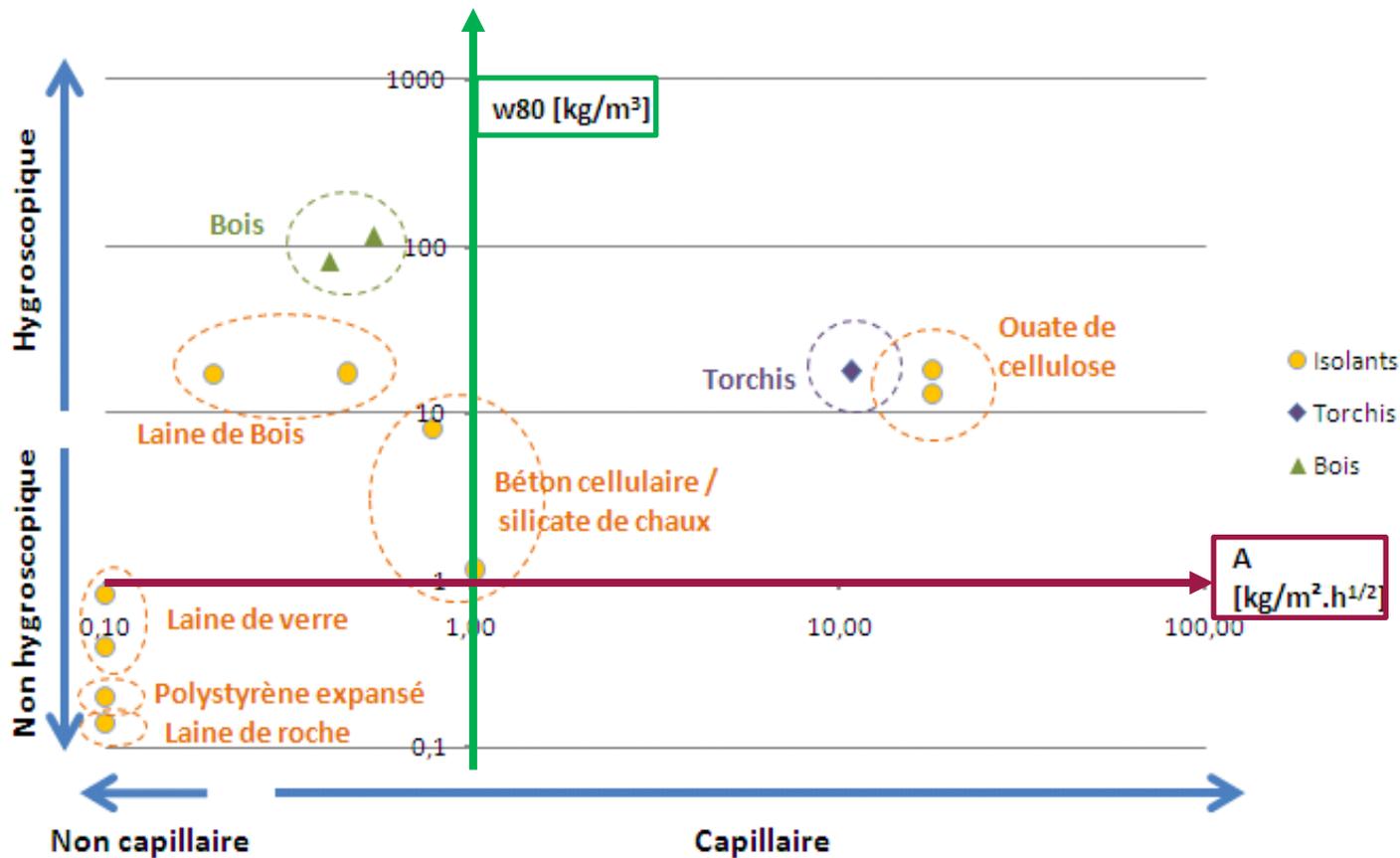


Non capillaires	Capillaires	Très capillaires
Polystyrène expansé	Enduit chaux	Plaque de plâtre
Enduit ciment		Ouate de cellulose
Laine de roche		
Fibre de bois		
Enduit organique		
Papier peint vinyle		

Source : étude HYGROBA

2. ELEMENTS DE PHYSIQUE.

2.53 : Capillarite vs Hygroscopicité : choix des isolants.



Source : étude Enertech

Isolants bio sourcés :

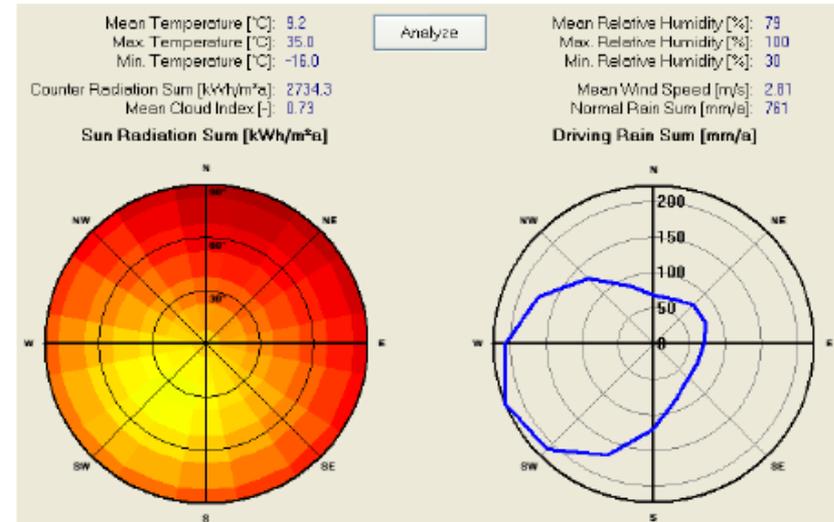
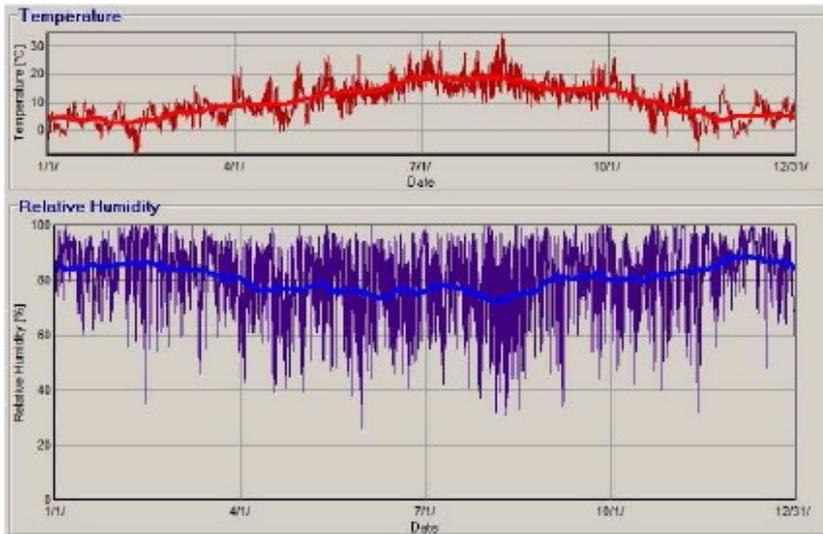
Avantage : redistribution capillaire => permet le séchage

Inconvénient : condensation capillaire (cf courbe de sorption) si HR > 85%
=> non adapté ITI mur en pierre dure

2.5 : Estimation des transferts par une méthode de simulation dynamique

2.53 : Conditions climatiques considérées.

Température extérieure
Humidité relative
Rayonnement solaire
Hauteur des précipitations
Intensité et direction du vent.



Source : WUFI

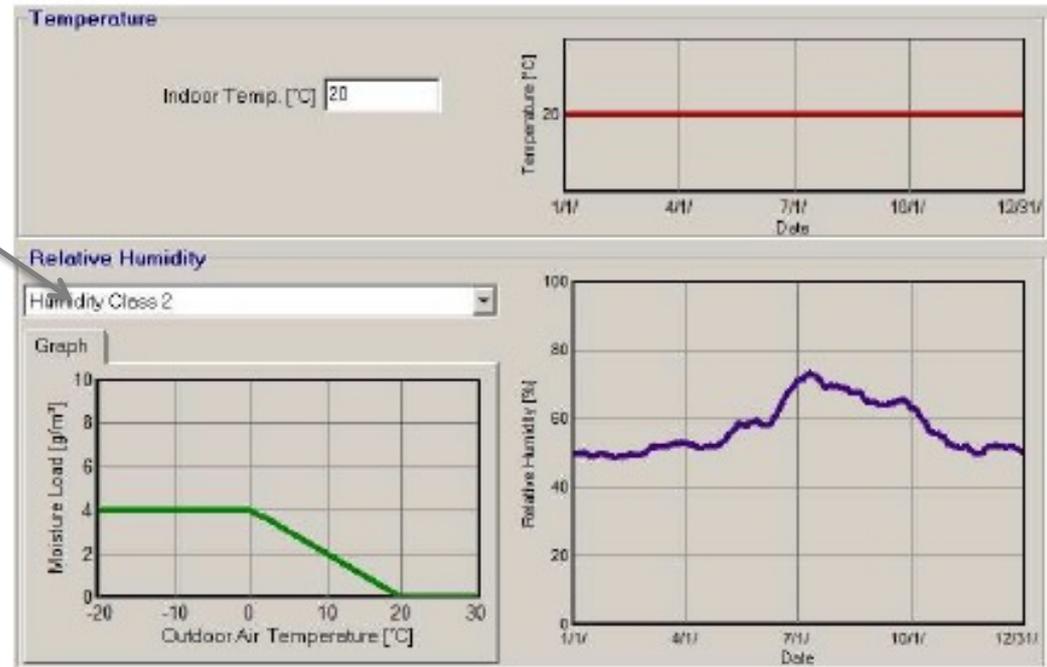
2.5 : Estimation des transferts par une méthode de simulation dynamique

2.53 : Conditions d'ambiance intérieure.

Prise en compte de la production de vapeur dans les locaux (norme EN 13788)

Classes d'hygrométrie :

1. Faible : Zone de stockage, bureaux, commerces.
2. Moyenne : logements à faible taux d'occupation
3. Forte : logements à fort taux d'occupation, gymnases, cuisines, cantines ...
4. Très forte : Piscines, laveries, ...



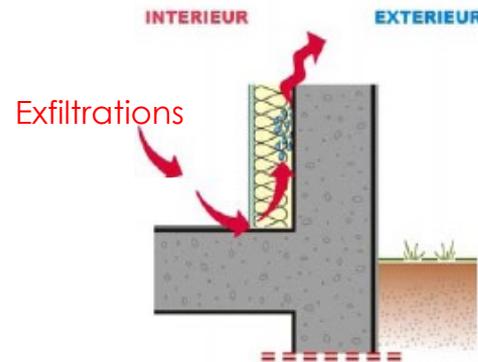
Source : WUFI

2.5 : Estimation des transferts par une méthode de simulation dynamique

2.54 : Prise en compte d'une source d'humidité.

Nécessité d'étudier le comportement hydrique de la paroi **en présence d'une source d'humidité**.

-> simulé comme un défaut de mise en œuvre d'une membrane



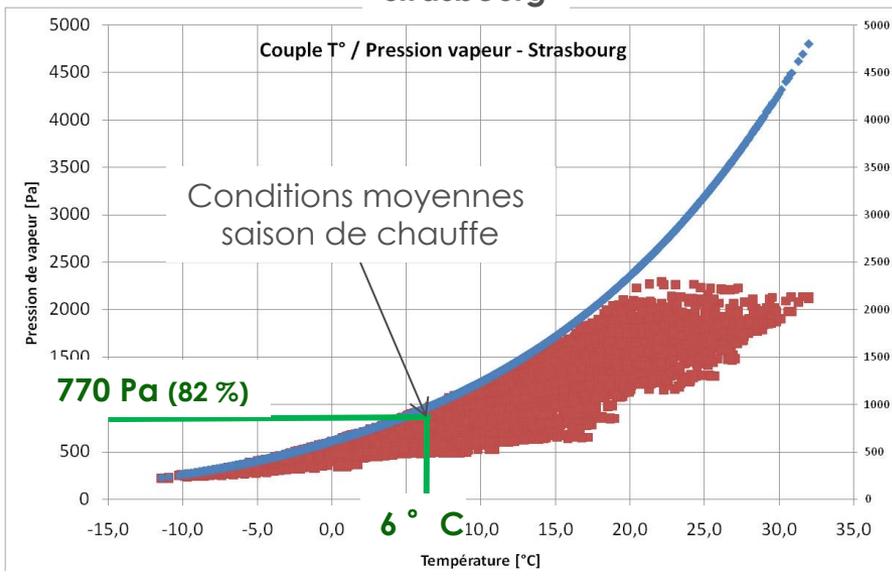
3.1 : Hypothèses

Etudes en régime permanent (méthode de Glaser)
Transfert par diffusion

Ambiance intérieure : 20 ° C, 50 %, 1180 Pa

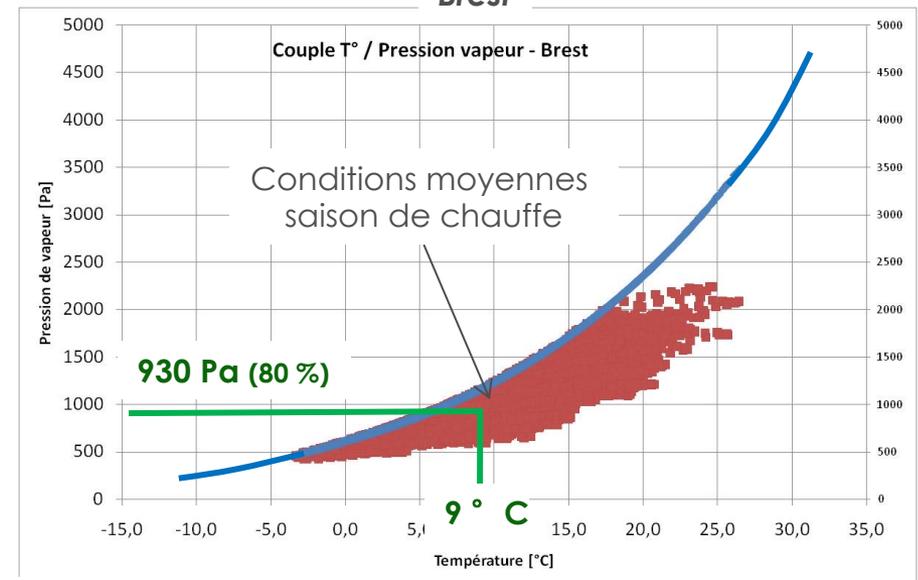
Conditions extérieures :

Strasbourg



Conditions extrêmes : -15 ° C, 90 %, 150 Pa

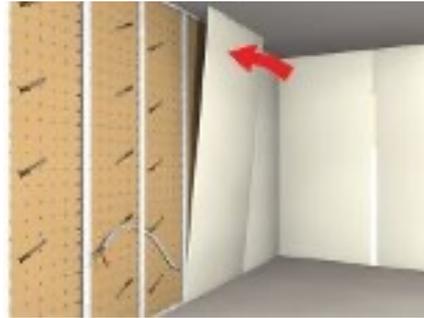
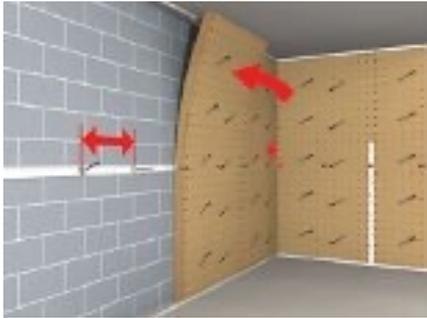
Brest



Conditions extrêmes : -2 ° C, 90 %, 470 Pa

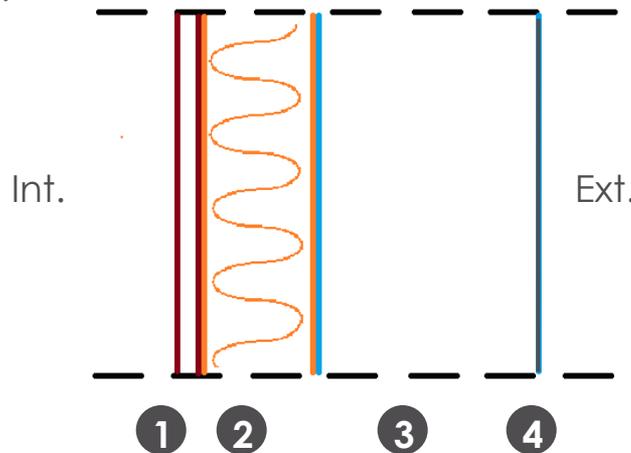
3.2 : Mur avec doublage isolant intérieur.

3.21 : Constructions traditionnelles – blocs béton.



Source: Knauf

Schéma simplifié :



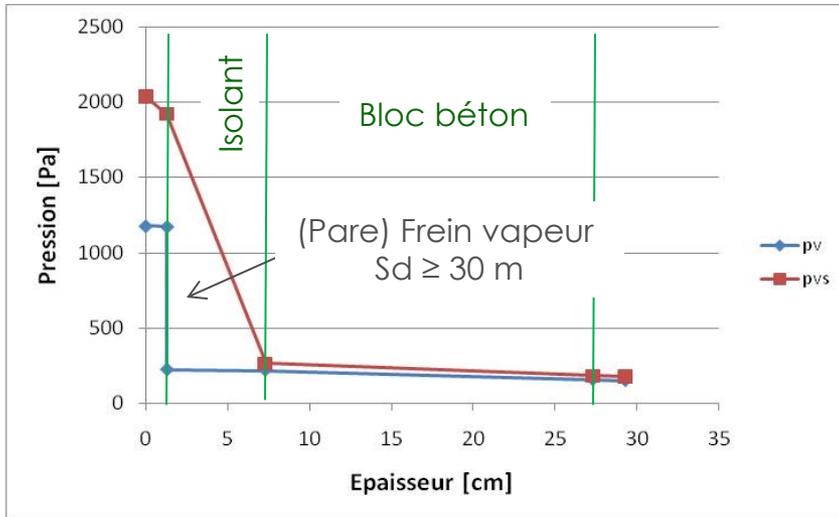
- 1 BA13
- 2 Isolant perméable (laine)
6 cm
- 3 Bloc béton
20 cm
- 4 Enduit mortier
2 cm

3.2 : Mur avec doublage isolant intérieur.

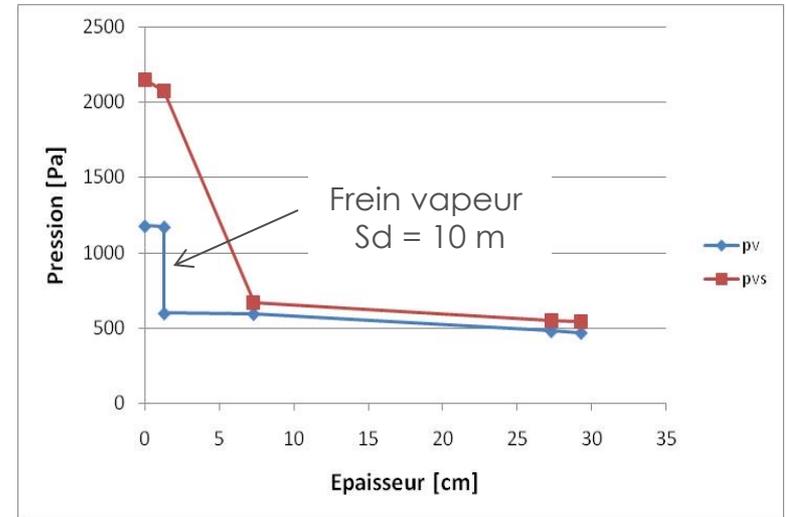
3.21 : Constructions traditionnelles – blocs béton.

=> Mise en place d'une membrane PV ou **FV**

Strasbourg : (-15° C, 90%, 150 Pa)

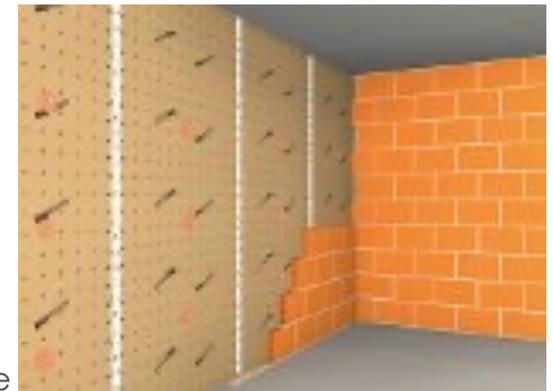


Brest : (-2° C, 90%, 470 Pa)



Commentaires :

- ⇒ Membrane indispensable pour assurer l'étanchéité à l'air de la paroi.
- ⇒ PB : Position critique de la membrane, susceptible d'être détériorée



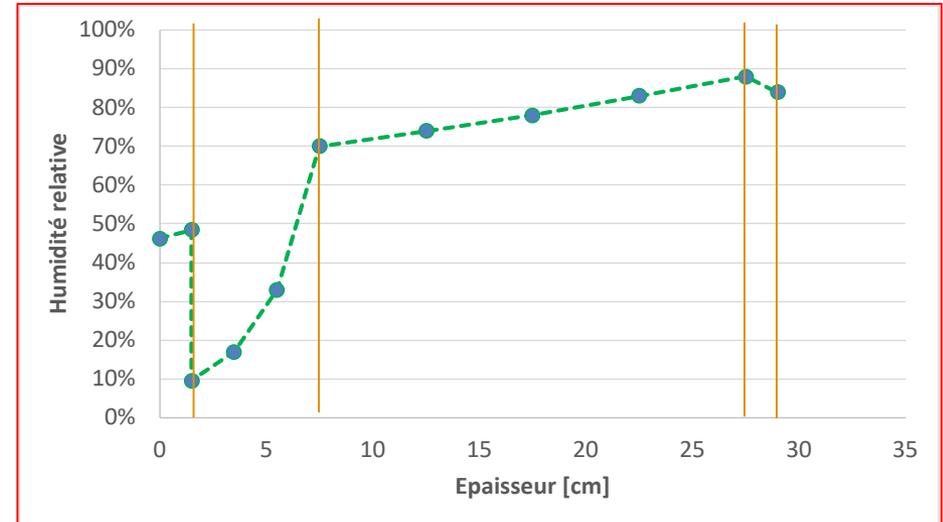
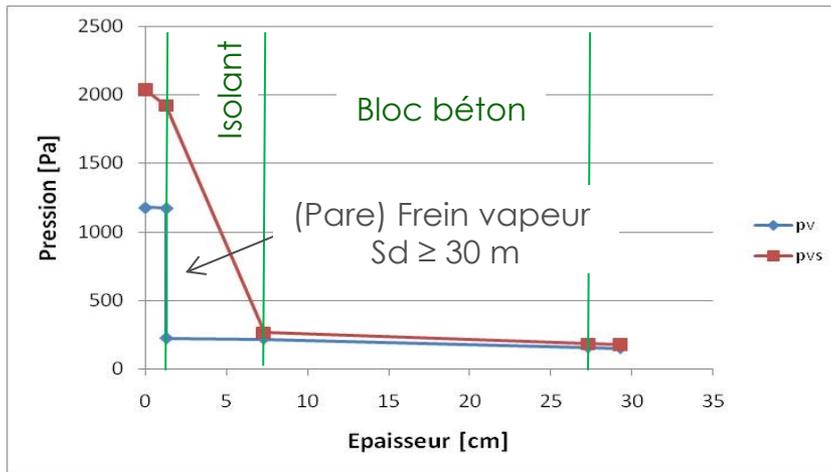
Contre cloison maçonnerie

3.2 : Mur avec doublage isolant intérieur.

3.21 : Constructions traditionnelles – blocs béton.

=> Complément d'analyse : évolution de l'humidité relative dans la paroi

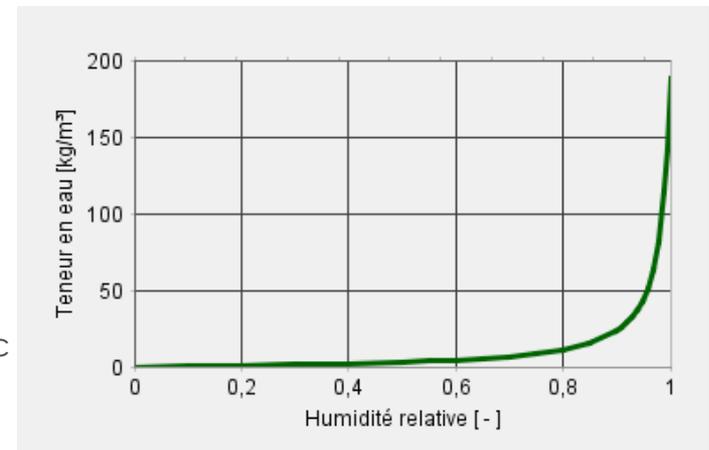
Strasbourg : (-15° C, 90%, 150 Pa)



Commentaires :

Possibilité de condensation capillaire
si $HR \geq 85\%$

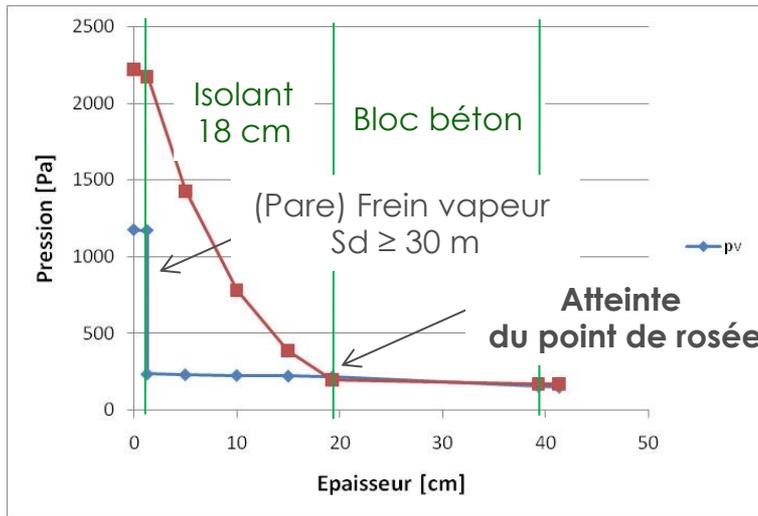
Courbe de sorption d'un bloc
de terre cuite alvéolé
Source : wufi



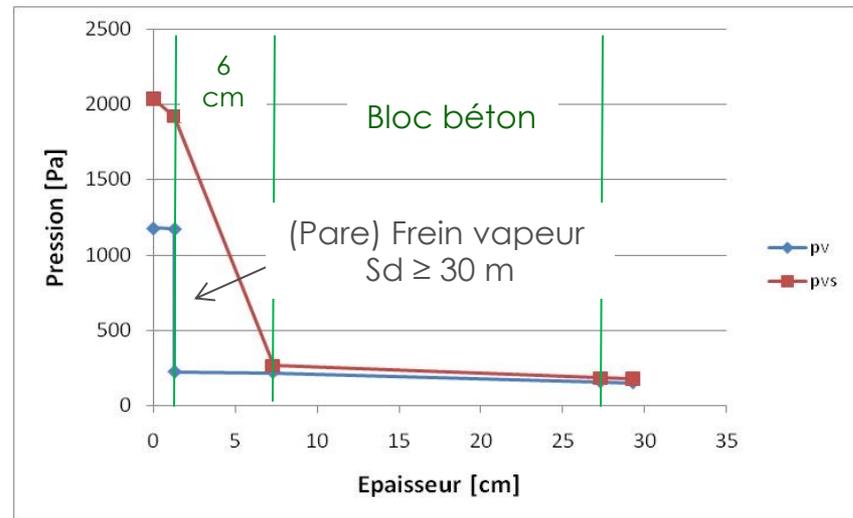
3.2 : Mur avec doublage isolant intérieur.

3.22 : Constructions traditionnelles – isolation BBC (neuf ou rénovation).

Strasbourg : (-15° C, 90%) - BBC



Strasbourg : (-15° C, 90%)



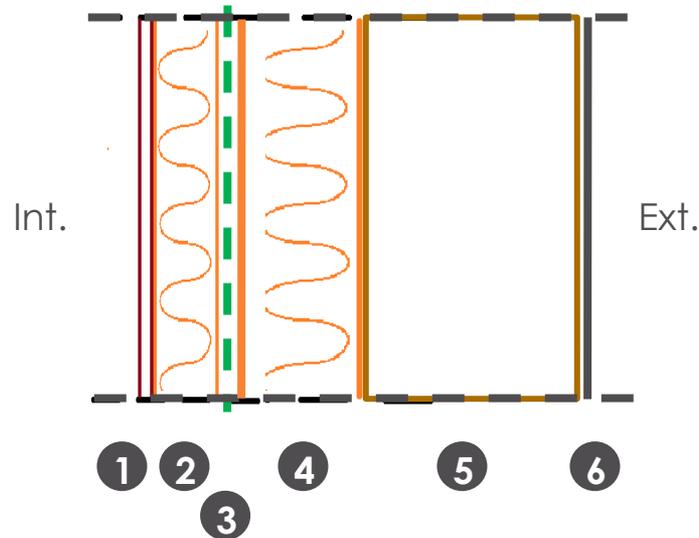
Commentaires :

- ⇒ **Augmenter l'épaisseur d'isolant** (en intérieur) **aggrave les risques de condensation** et les quantités d'eau condensée.
(diminution de la température à l'interface isolant / bloc béton)

3.2 : Mur avec doublage isolant intérieur.

3.22 : Constructions traditionnelles – **isolation BBC (neuf ou rénovation).**
PRECONISATIONS.

Schéma simplifié :



- 1 BA13 fixé sur contre lattage
- 2 Isolant perméable entre contre lattage 6 cm
- 3 Membrane FV sur contre lattage
- 4 Isolant perméable entre tasseaux 12 cm
- 5 Blocs béton 20 cm
- 6 Enduit extérieur ouvert à la diffusion de vapeur 2 cm

Degrés de liberté :

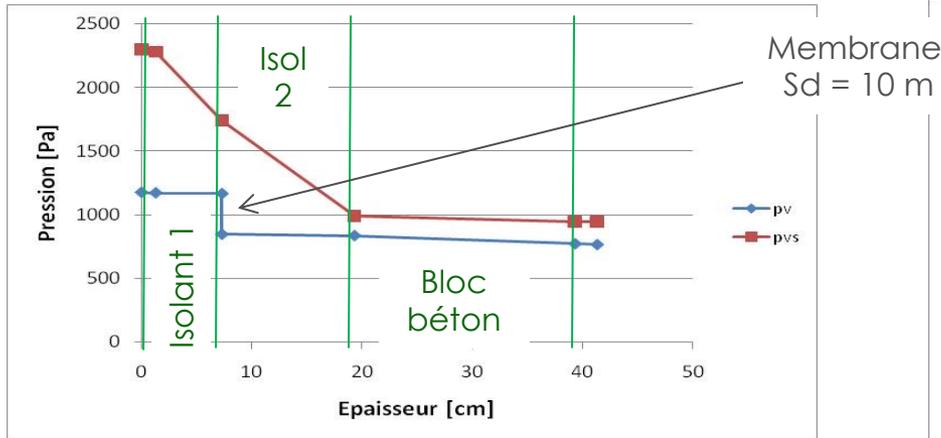
épaisseur des isolants (1/3 en 2 et 2/3 en 4 ,en première approximation)

résistance à la diffusion de la membrane

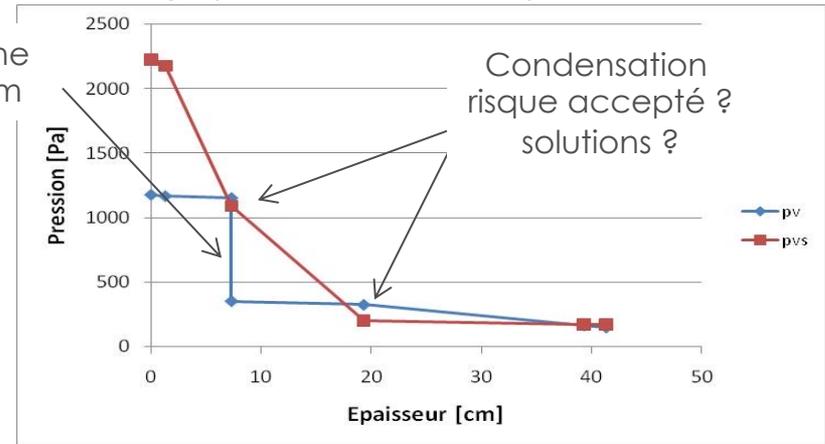
3.2 : Mur avec doublage isolant intérieur.

3.22 : Constructions traditionnelles – **isolation BBC (neuf ou rénovation).**
PRECONISATIONS.

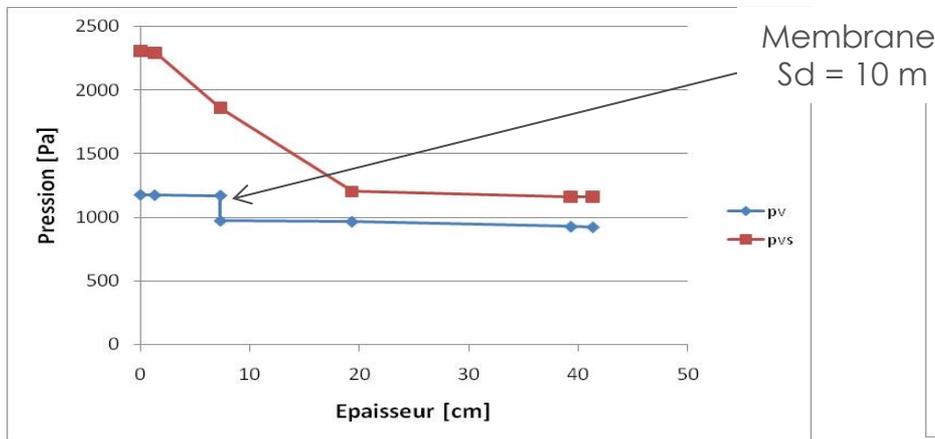
Strasbourg : (6° C, 80%, 770 Pa)



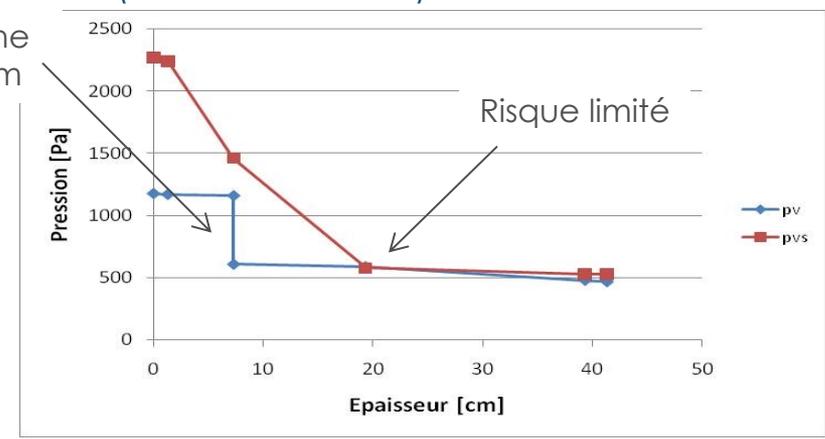
Strasbourg : (-15° C, 90%, 150 Pa)



Brest : (9° C, 80%, 930 Pa)



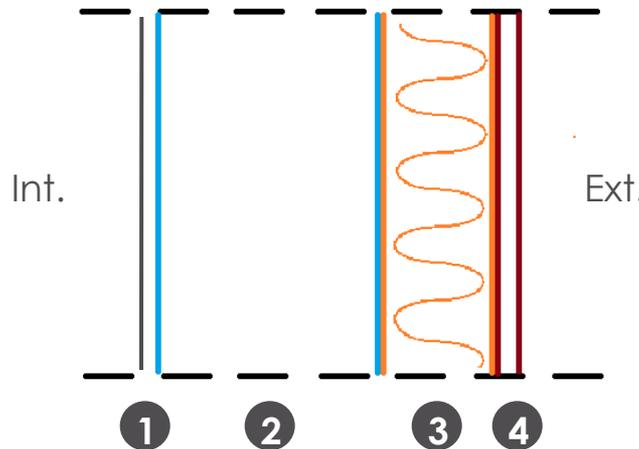
Brest : (-2° C, 90%, 470 Pa)



3.3 : Mur avec isolation extérieure.

3.31 : Constructions « traditionnelles » – béton - isolation BBC

Schéma simplifié :



- 1 Parement intérieur
- 2 Béton banché
20 cm
- 3 Isolant perméable (laine) entre
« structure » bois
18 cm
- 4 Revêtement extérieur :
enduit perméable
ou
lame d'air ventilée
et bardage

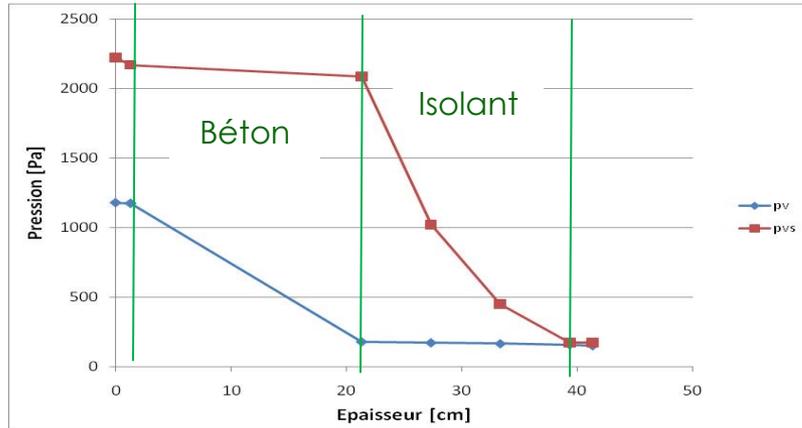


Source : M. GIES Architekten – Freiburg (D)

3.3 : Mur avec isolation extérieure.

3.31 : Constructions « traditionnelles » – béton - isolation BBC

Strasbourg : (-15° C, 90%, 150 Pa)



Risque limité de condensation suite à la **diffusion** de vapeur d'eau au sein de la paroi.

Risque possible si pénétration d'eau par d'autres voies :

=> favoriser la diffusion de vapeur d'eau au niveau de la peau extérieure.

Préconisations :

a) Système avec enduit extérieur appliqué sur l'isolant (suivant Agrément Technique Européen) :

S_d enduit < 2 [m] si isolation thermique à base de plastique alvéolaire.

S_d enduit < 1 [m] si isolation thermique à base de laine minérale.

b) Système avec bardage :

Prévoir une lame d'air ventilée entre l'isolant et le bardage avec une protection de l'isolant par un matériau perméable.

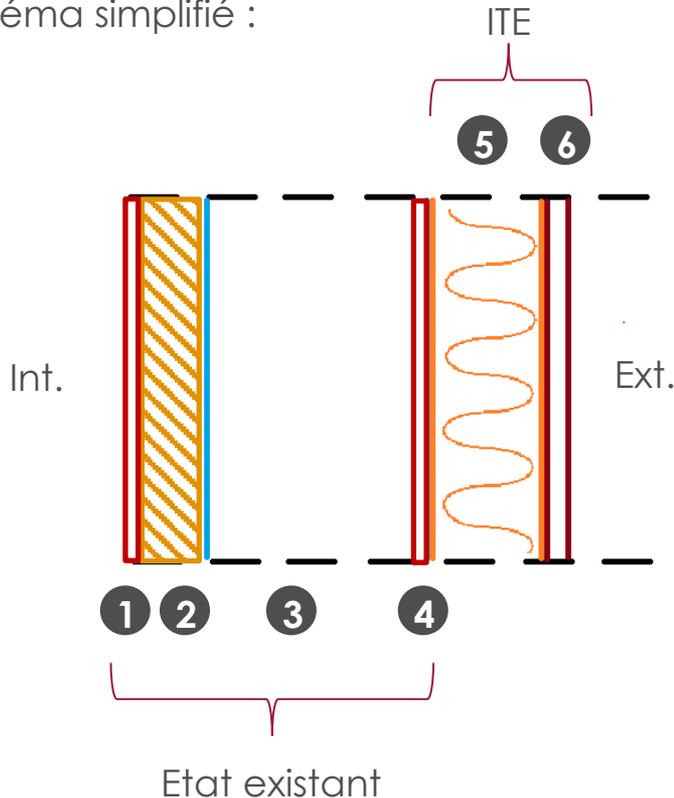
Epaisseur de la lame d'air > 2 [cm]

Entrées et sortie d'air de section > 50 [cm²] par mètre linéaire de paroi.

3.4 : ITE d'un mur existant comprenant une ITI.

3.41 : Isolants non perméables (avant et après rénovation)

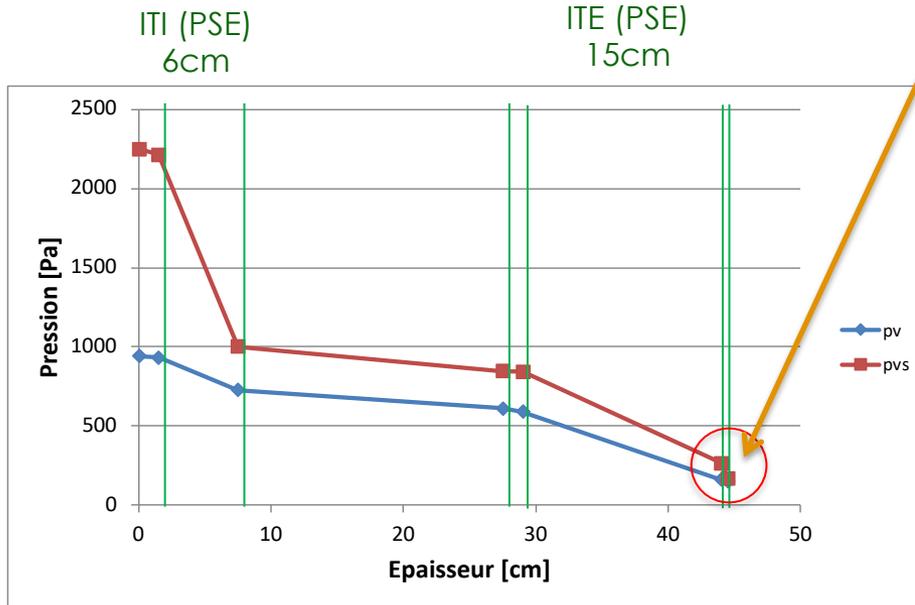
Schéma simplifié :



- ① Parement intérieur (placo 1,3 cm)
- ② Polystyrène expansé - 6 cm – $S_d = 3,6$ m
- ③ Briques rouges alvéolées – 20 cm – $S_d = 2$ m
- ④ Enduit mortier – 1,5 cm – $S_d = 0,37$ m
- ⑤ Polystyrène expansé (STO PS15-SE10)
15 cm – $S_d = 7,5$ m
- ⑥ Enduit STO ISPOLIT K – $S_d = 0,2$ m

3.41 : Isolants non perméables.

Strasbourg : (-15° C, 90%, 150 Pa)



Nécessité d'un enduit perméable

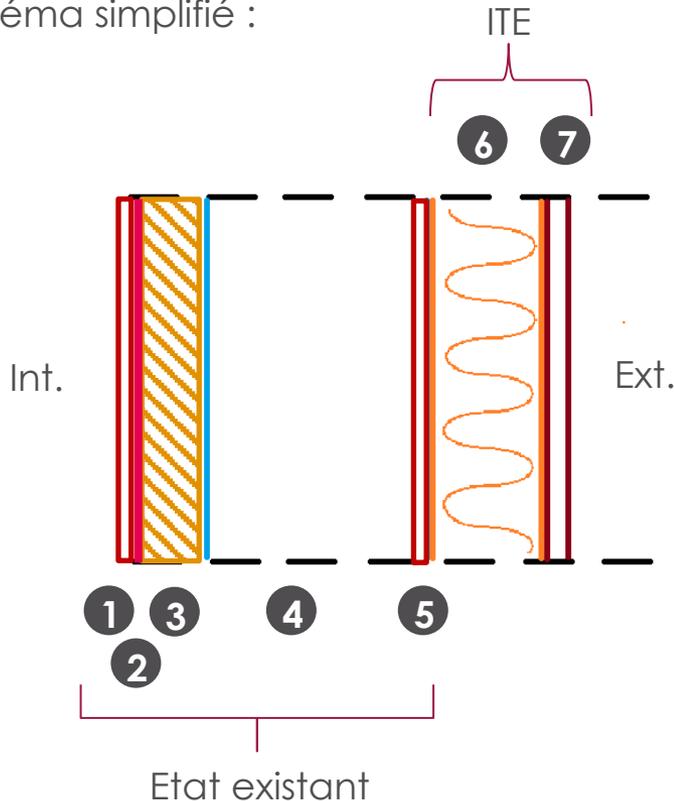
L'isolation par l'extérieur a augmenté la température de la brique alvéolaire, le risque de condensation se déplace alors potentiellement sur la face extérieure de l'isolant extérieur. Cela confirme l'intérêt de placer un enduit extérieur très perméable à la vapeur d'eau.

Les résultats obtenus avec cette méthode ne garantissent en aucun cas la capacité du mur à gérer des transferts hydriques liées à d'autres phénomènes tels que des inétanchéités à l'air ou des infiltrations d'eau et donc de donner un avis sur la possibilité de séchage de la paroi.

3.4 : ITE d'un mur existant comprenant une ITI.

3.42 : Isolant perméable en ITI et isolant non perméable en ITE.

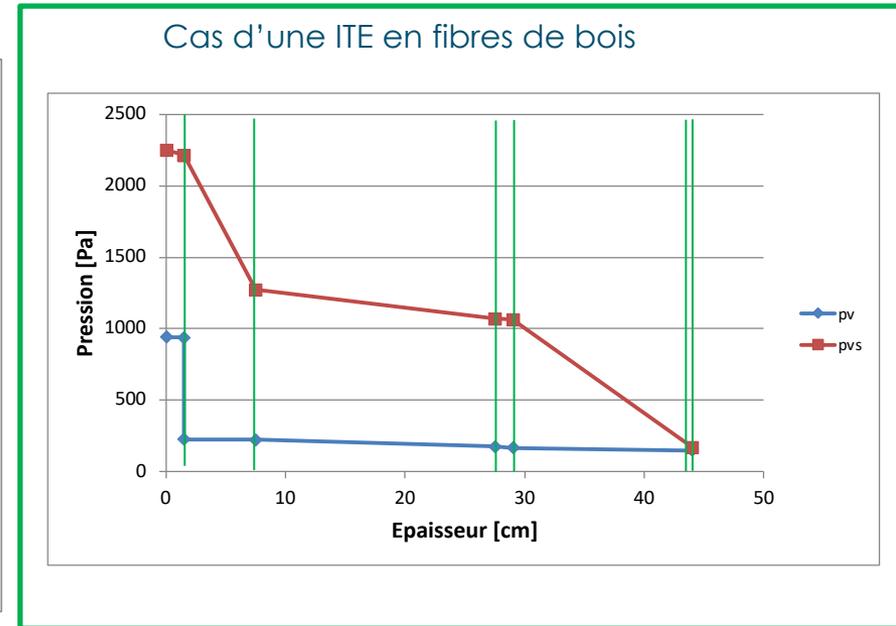
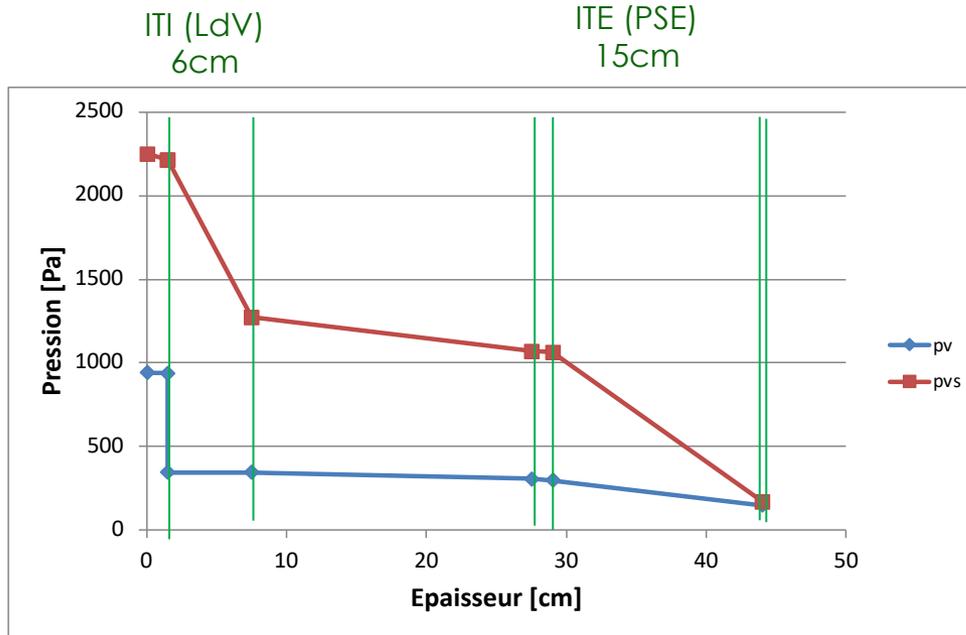
Schéma simplifié :



- ❶ Parement intérieur (placo 1,3 cm)
- ❷ Pare vapeur – $S_d = 30 \text{ m}$
- ❸ Laine de verre - 6 cm – $S_d = 0,06 \text{ m}$
- ❹ Briques rouges alvéolées – 20 cm – $S_d = 2 \text{ m}$
- ❺ Enduit mortier – 1,5 cm – $S_d = 0,37 \text{ m}$
- ❻ Polystyrène expansé (STO PS15-SE10) 15 cm – $S_d = 7,5 \text{ m}$
- ❼ Enduit STO ISPOLIT K – $S_d = 0,2 \text{ m}$

3.42 : Isolant perméable en ITI et isolant non perméable en ITE..

Strasbourg : (-15° C, 90%, 150 Pa)



Les résultats obtenus avec cette méthode ne garantissent en aucun cas la capacité du mur à gérer des transferts hydriques liés à d'autres phénomènes tels que des inétanchéités à l'air ou des infiltrations d'eau et donc de donner un avis sur la possibilité de séchage de la paroi.

4.1 : Etude via méthode de Glaser.

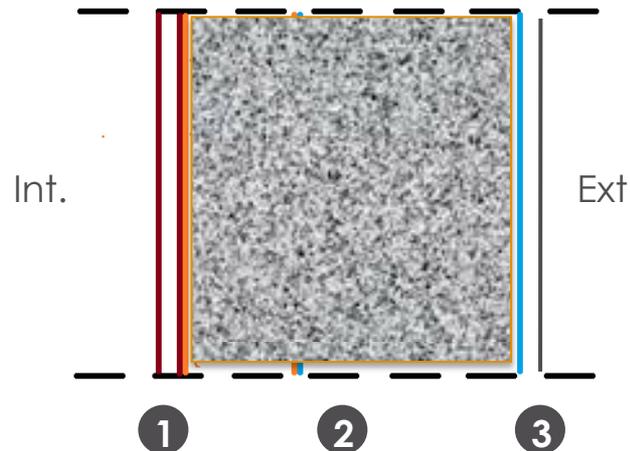
4.11 : Paroi extérieure Lycée Jules Verne (Saverne)



Paroi extérieure
épaisseur : 45 cm
composition : ???
chainage en gré

Schéma simplifié :

Ambiance
intérieure :
20 °C, 50 %,
1180 Pa



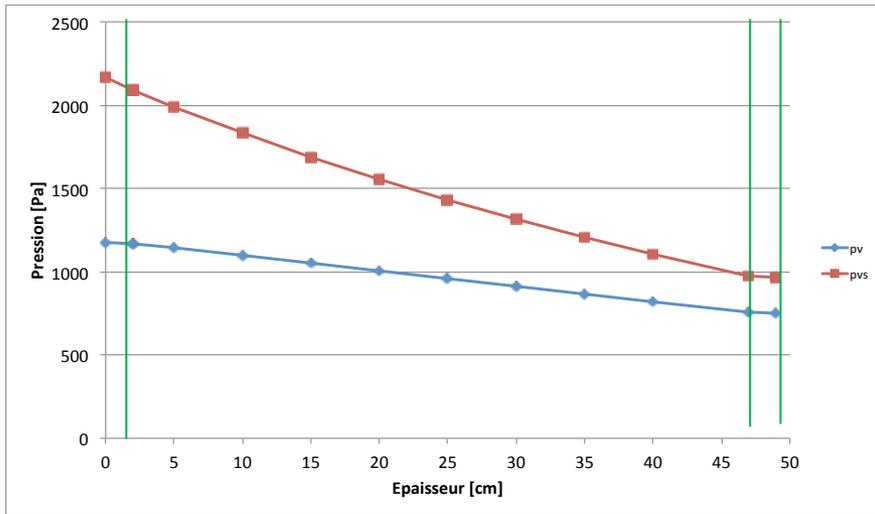
- ① Enduit plâtre (2 cm)
- ② Terre cuite (45 cm)
- ③ Enduit extérieur (2 cm)

4.1 : Etude via méthode de Glaser.

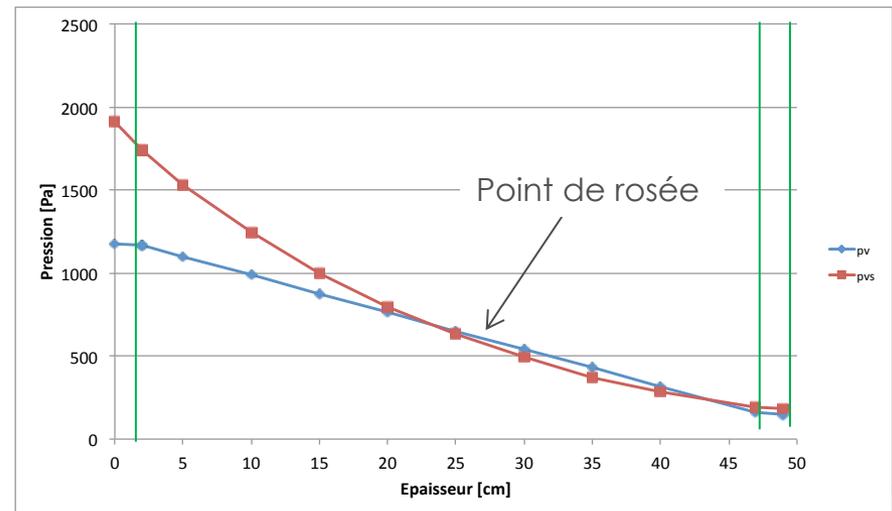
4.1.1 : Paroi extérieure Lycée Jules Verne (Saverne)

a) Comportement de la paroi

Strasbourg : (6° C, 80 %, 770 Pa)



Strasbourg : (-15° C , 90%, 150 Pa)

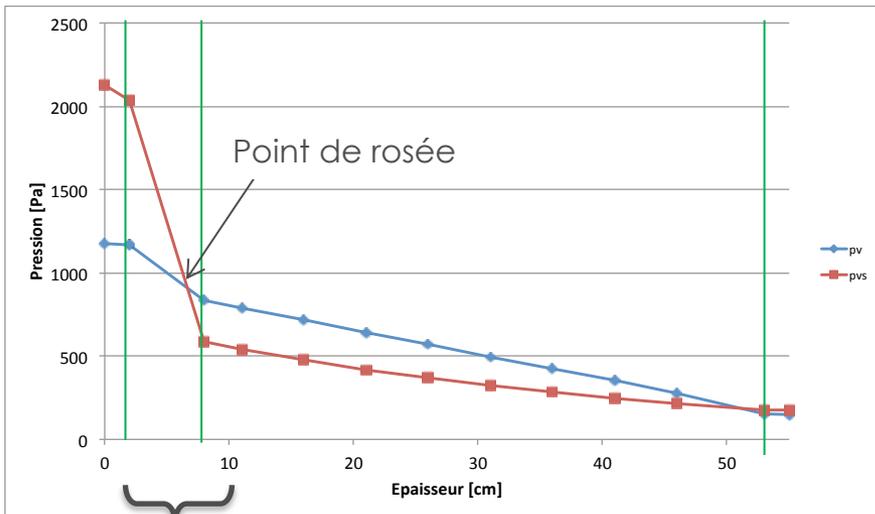


4.1 : Etude via méthode de Glaser.

4.11 : Paroi extérieure Lycée Jules Verne (Saverne)

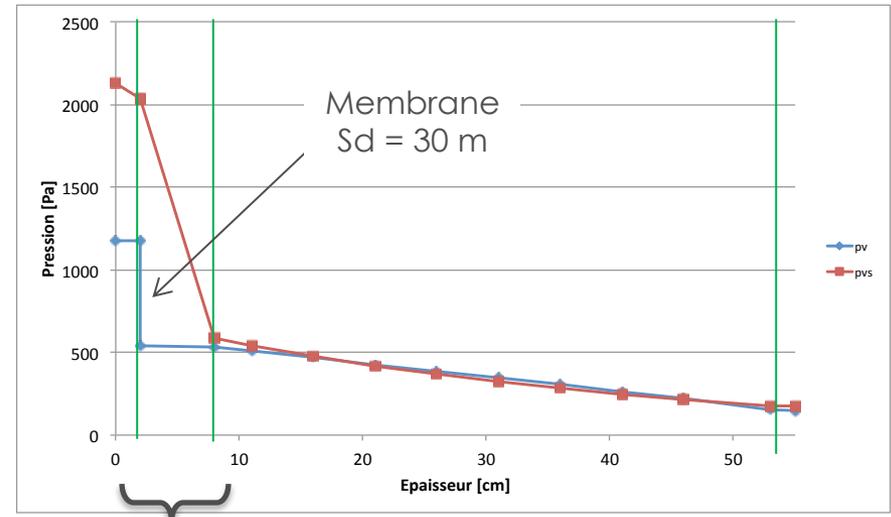
b) Incidence d'une isolation par l'intérieur.

Strasbourg : (-15° C , 90%, 150 Pa)



Isolation par 6 cm de polystyrène

Dégradation du comportement
hygrothermique

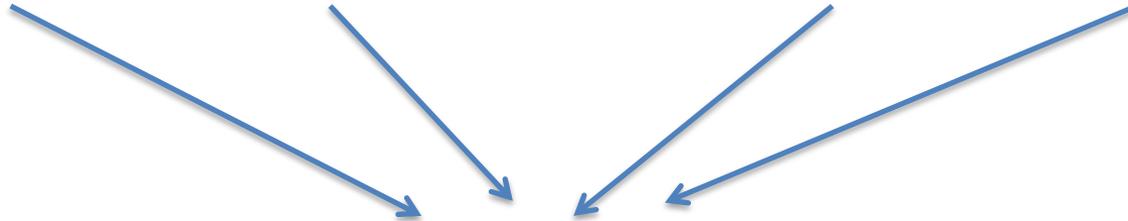


Isolation par 6 cm de laine minérale
(attention à la position de la membrane)

Solution possible si membrane de type « frein vapeur »

4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.21 : Parois extérieures cités ouvrières pays du bassin de Briey (57).



Mur en moellon de pierre calcaire
(pierre de Jeumont)

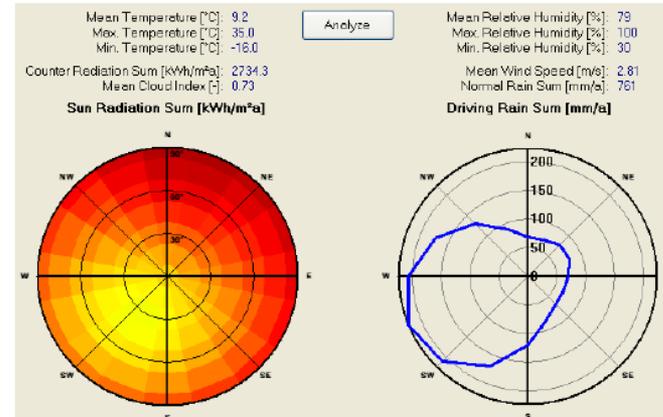
4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.22 : Hypothèses.

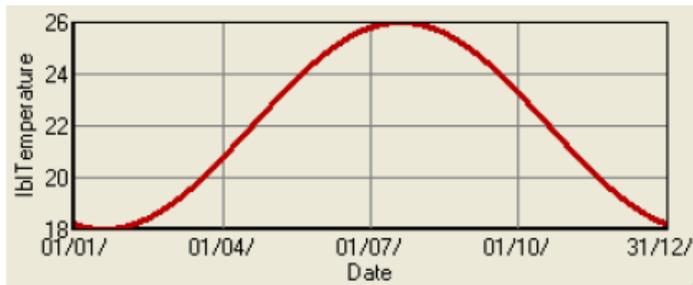
a) Climat extérieur.

Données météo de Nancy.

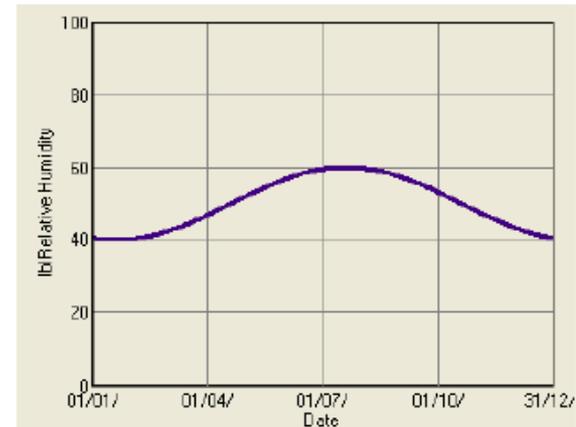
Orientation Ouest / Sud ouest



b) Ambiance intérieure



: Profil de température sur une année

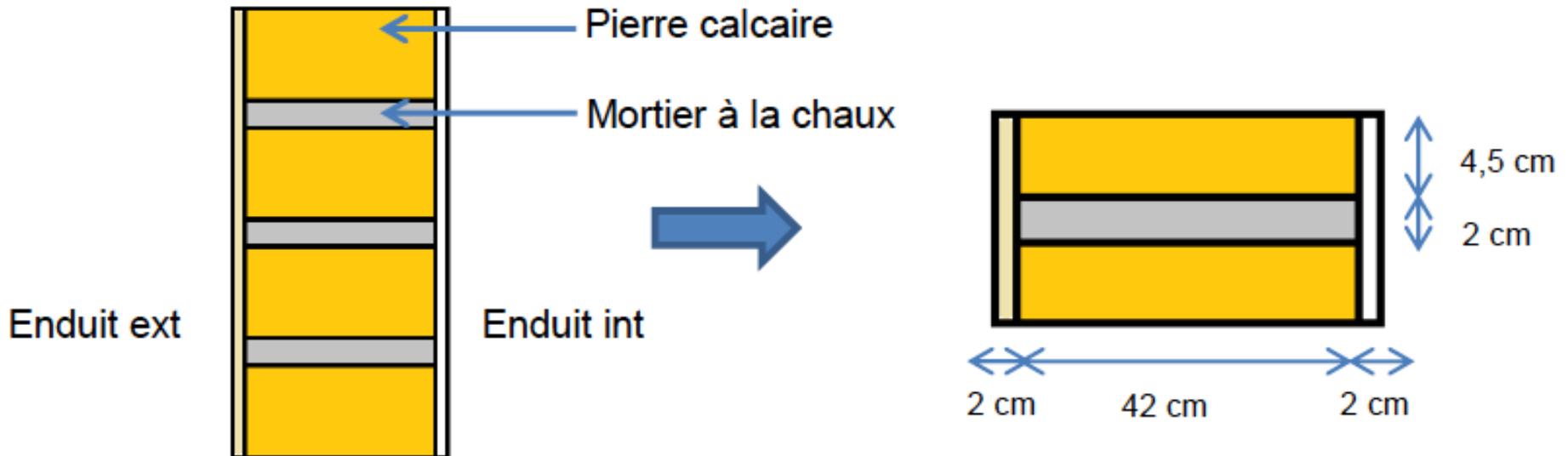


: Profil de l'humidité relative sur une année

4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.22 : Hypothèses.

c) Modélisation géométrique



4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.22 : Hypothèses.

d) Caractéristiques des matériaux.

MATERIAUX	POROSITE [%]	ρ [kg/m ³]	A [g.m ⁻² .s ^{-0,5}]	μ	λ [W/m.K]
Pierre calcaire	18,5	2070	45,1	50 - 300	1,4
Enduit chaux	30	1600	47	7	0,7
Mortier chaux	28	1785	150	15	0,7
Ouate de cellulose	95	50	300	2	0,04
Laine minérale	95	46	0	1	0,032
Polystyrène	99	1470	0	170	0,03
Enduit ciment	30	2000	7,6	85	1,2
Placo plâtre	65	850	28,7	8,3	0,2
Membrane INTELLO	8.6	115	0	Variable	2.4
Pare vapeur	0	130	0	100000	2.3

4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.23 : Grandeurs analysées (source Enertech)

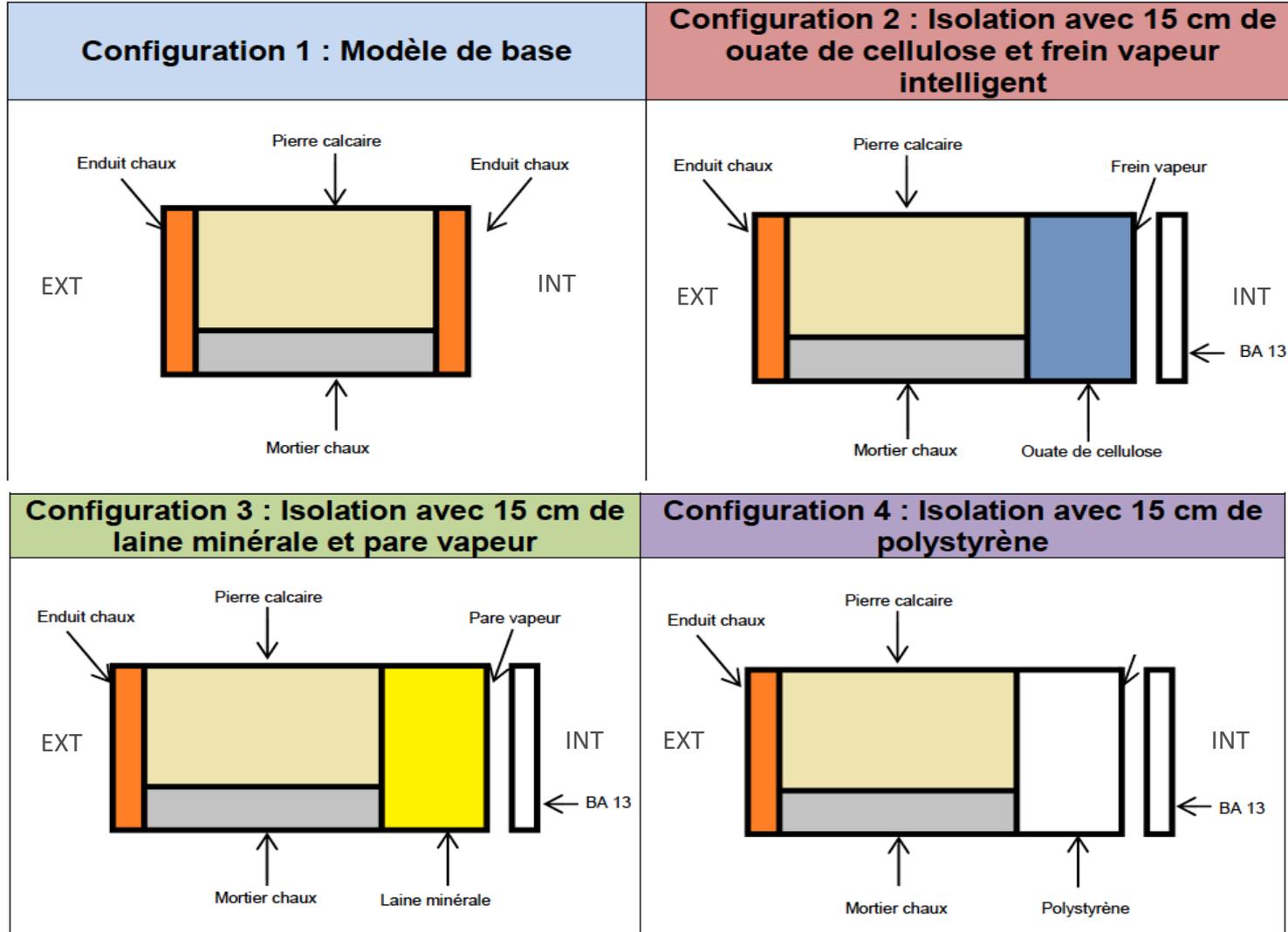
- a) **Teneur en eau dans la pierre** [kg/m³].
Valeur limite : 4,2 kg/m³ (w_{80} : teneur en eau de référence)

- b) **Capacité de séchage** en présence d'une infiltration d'humidité.

- c) **Risque de condensation à l'interface pierre/isolant**
 - < 85% : risque de condensation faible
 - 85 % < < 95% : risque de condensation modérée
 - >95 % : risque de condensation important.

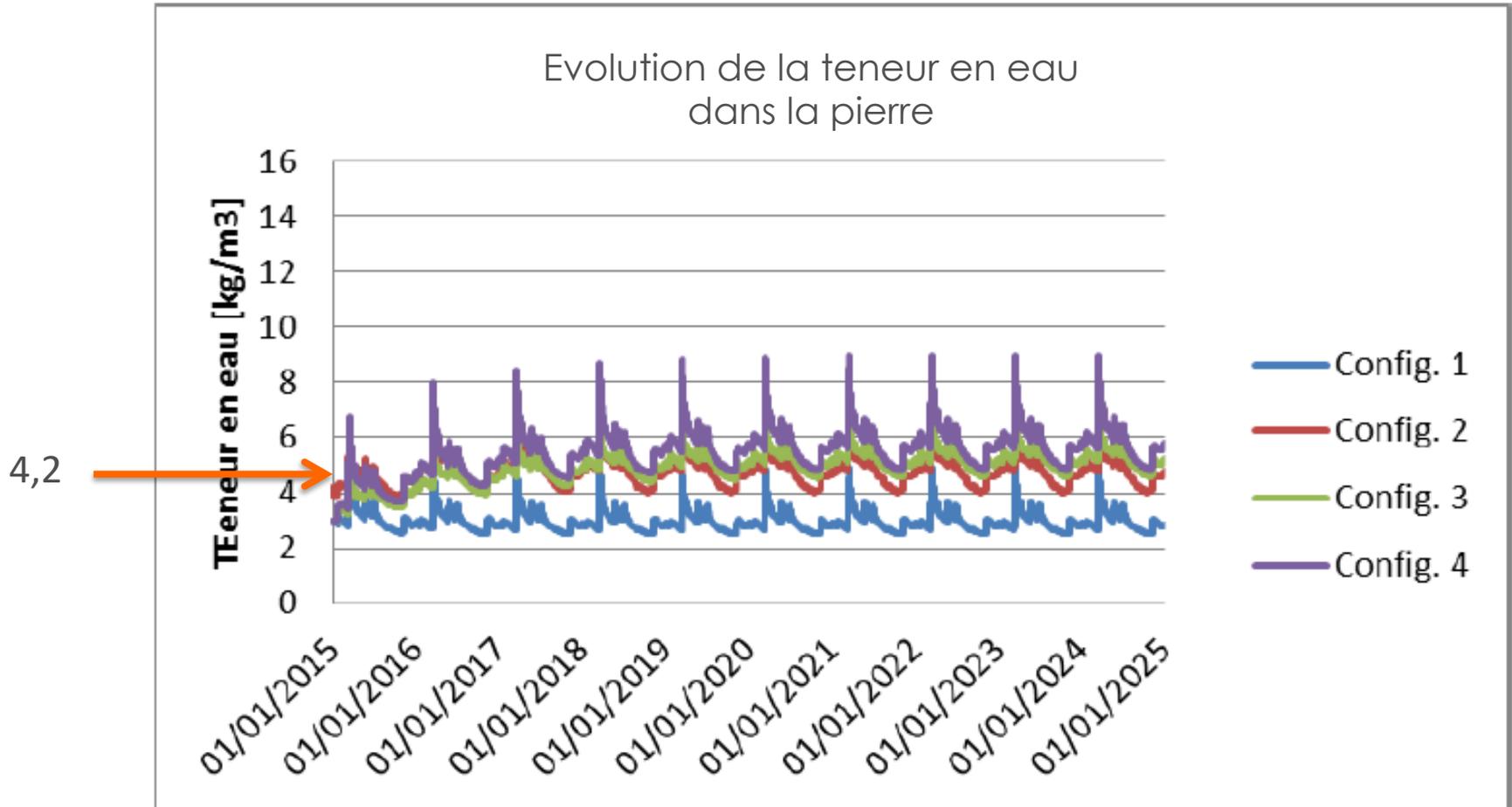
4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.24 : Configurations étudiées.



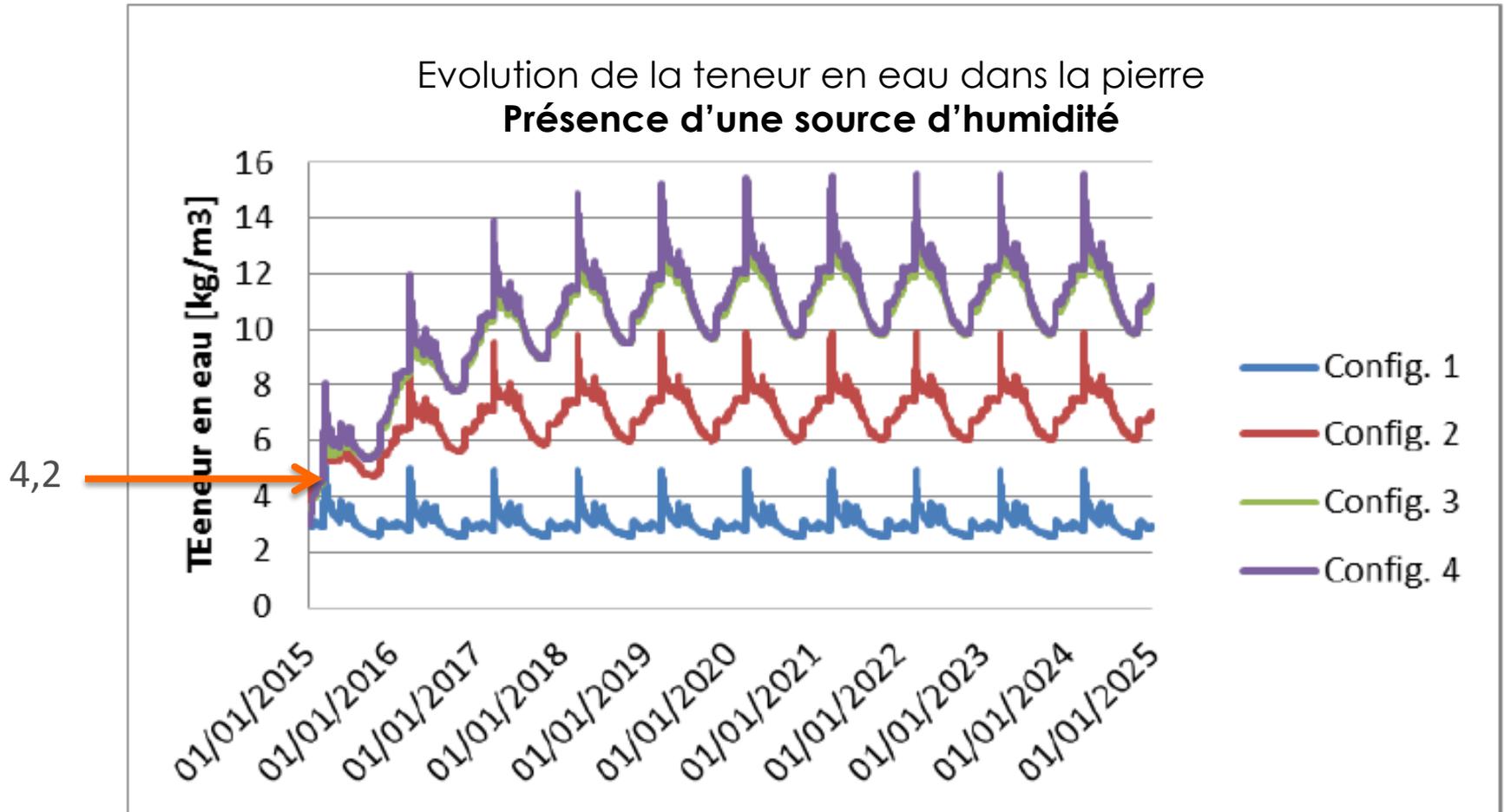
4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.25 : Résultats obtenus.



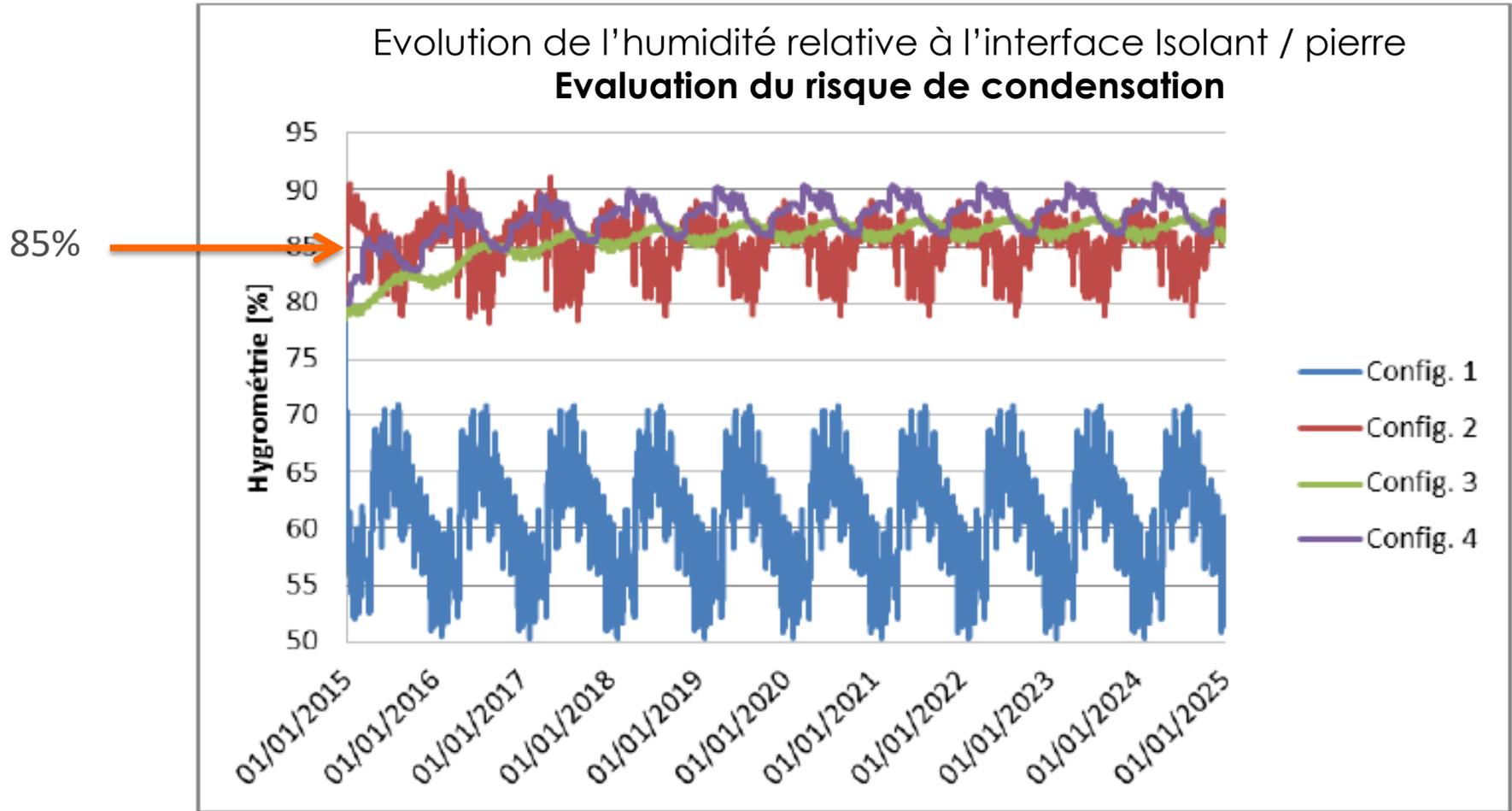
4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.25 : Résultats obtenus.



4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.25 : Résultats obtenus.



4.2 : Etude via méthode de simulation dynamique.

4.26 : Conclusion

Isolation possible par l'intérieur des parois extérieures avec de la ouate de cellulose (15 cm) et frein vapeur (hygro variable).

Précautions à prendre :

mise en œuvre soignée (membrane)
ajout d'un système de ventilation au logement.

climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Migration d'humidité et de vapeur d'eau dans les parois du bâti ancien

Synthèse bibliographique pour la rénovation performante
à destination des concepteurs et des artisans

Document rédigé par Enertech SCOP



Pour



En partenariat avec



Document long de 92 pages est une **synthèse bibliographique pour la rénovation performante à destination des concepteurs et des artisans**. Les études portent sur les murs anciens, qu'ils soient en béton, pierre, parpaing, pisé ou encore à pan de bois, et sur les toitures. Des bonnes pratiques et des points de vigilance illustrent ce document technique.

Document téléchargeable sur le site :

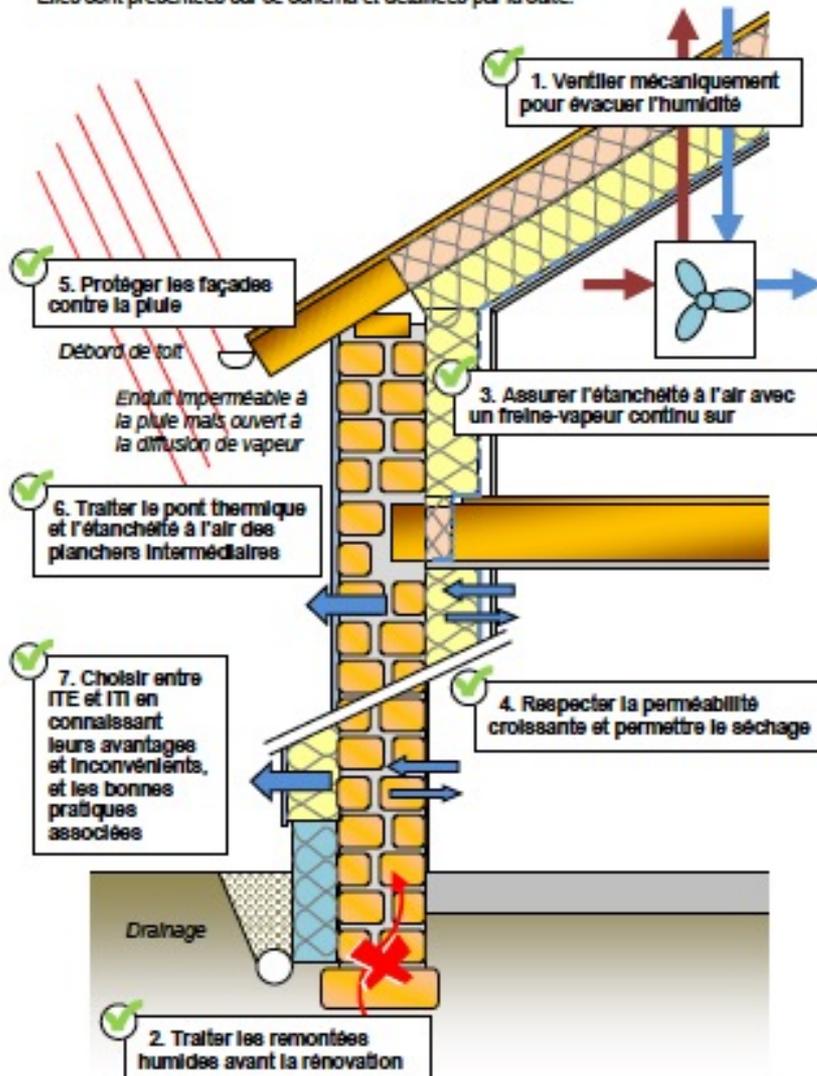
<https://www.climaxion.fr/actualites/bati-ancien-attention-migration-dhumidite-parois>

5. BONNES PRATIQUES.

Généralités applicables à tout ce qui suit

Cette partie présente 7 règles de bonne conception relatives à l'humidité dans les bâtiments, qui s'appliquent à toutes les solutions décrites par la suite.

Elles sont présentées sur ce schéma et détaillées par la suite.



Exemple de conseils :

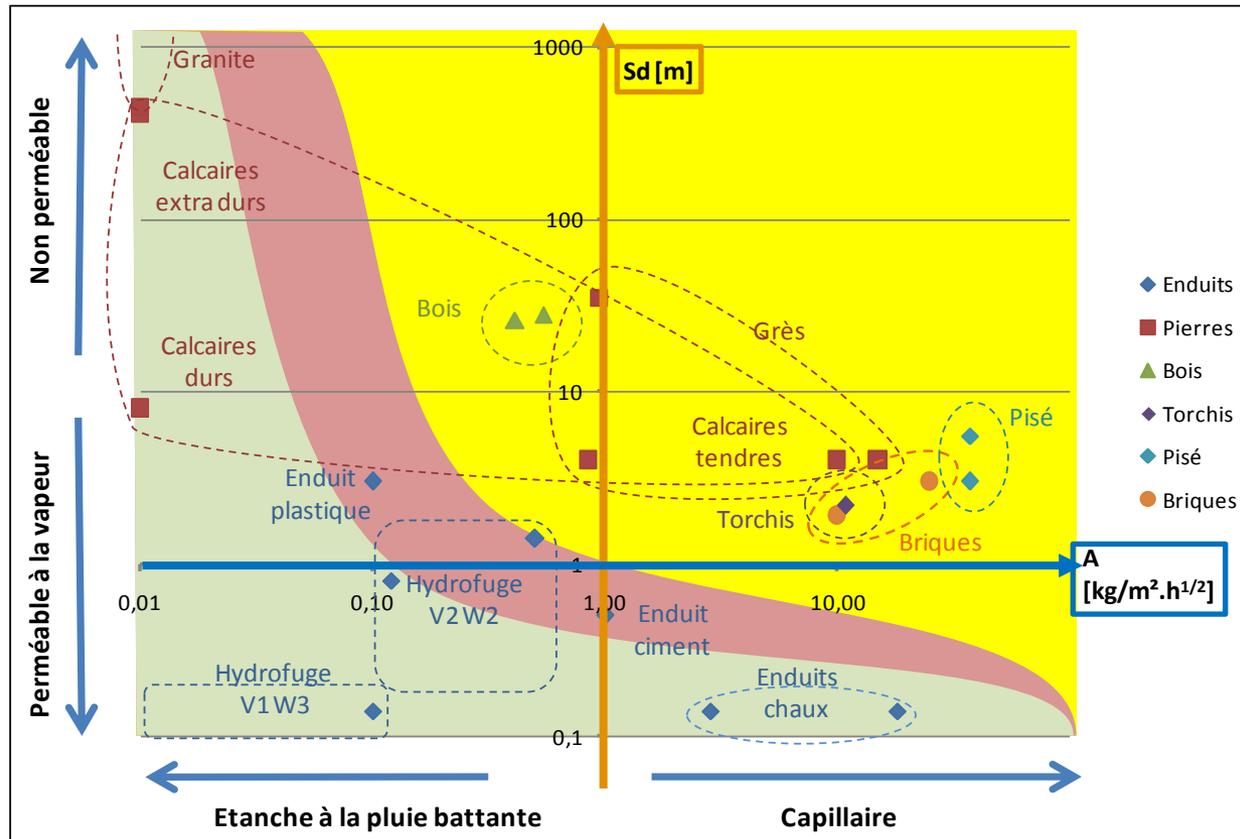
A RETENIR

Respecter la perméabilité croissante de l'intérieur vers l'extérieur.

Conserver une capacité de séchage : lacérer ou déposer si possible les pare-vapeurs existant, et privilégier les freine-vapeurs, notamment les freine-vapeurs hygrovariables.

5. BONNES PRATIQUES.

5.1 : Protection à la pluie battante



Source : étude Enertech

- Matériaux qui ne craignent pas la pluie battante (A faible ou A élevé et Sd faible)
- Matériaux qui protègent le mur de la pluie mais ne permettent pas à la paroi de sécher – **à remplacer**
- Matériaux qui doivent être protégés par un enduit ou un hydrofuge de la zone verte.

5. BONNES PRATIQUES.

5.1 : Protection à la pluie battante :

Choix enduit extérieur ou imperméabilisant :

Caractéristiques idéales

(source : guide RAGE « Evaluation des risques et pathologies liées à l'humidité - 2012 »)

$$S_d \leq 0,5 \text{ m}$$

$$A \leq 0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$$

Cas des enduits :

Exemple : enduit PAREXAL

FAÇADES

FAÇADES ANCIENNES

ENDUIT DE RESTAURATION À LA CHAUX

PAREXAL



DESCRIPTION

- Enduit de restauration tenu dans la masse.
- PAREXAL correspond à un enduit traditionnel dosé à 25 kg/m² de chaux.
- PAREXAL est respectueux des supports anciens. Sa forte teneur en chaux aérienne lui confère une grande souplesse (très bas module d'élasticité) et une forte perméabilité à la vapeur d'eau.
- Il assure l'imperméabilisation en 10 mm d'épaisseur.
- PAREXAL permet aussi de réaliser la régénération de maçonnerie (enduit à pierre vue), le rejointoiement de briques et permis de parerment.
- PAREXAL optimisé s'accompagne par "moulage" des éléments de maçonnerie.
- Il s'applique en passes successives dès raffraîchissement permettant la réalisation de l'enduit fin dans la journée.
- Produit sous DTA (DTA-3667).
- Il est adapté à l'environnement vicieux: Label Exocel Plus Gold.

EXCLUS

- Supports à base de plâtre
- Supports hydrophiles
- Enduits exclusivement à la chaux aérienne
- Peintures, revêtements plastiques épais
- Supports inclinés ou horizontaux
- Béton cellulaire

CARACTÉRISTIQUES

- Classement selon la norme

Composition

- Liant: chaux hydraulique, chaux aérienne, liants hydrauliques (chaux hydrauliques et chaux aériennes) liant à 85 % en volume
- Charges légères
- Additifs organiques < 0,4 %
- Pigments minéraux
- Granulométrique: 0 - 2,5 mm

PERFORMANCES

- Type: OC2
- Résistance à la compression: CS1
- Absorption d'eau: Vic 2
- Reaction au feu: A1
- Masse Volumique Apparente: 1 350 kg/m³
- Module d'élasticité: < 3 000 MPa
- Résistance à la flexion (propre à 18 jours): < 1 MPa
- Perméance à la vapeur d'eau: supérieure à 0,8 g/m²·h·mm Hg
- Perméabilité à la vapeur d'eau: < 12
- Valeur Sd: 0,2 m environ pour une épaisseur de 10 mm

MISE EN ŒUVRE

- Le produit est à mixer en assurance de PAREXAL se ferait conformément au DTA 3716-3667 ou au DTU 26.1 et aux Cahiers de Recommandations PAREXAL/ANKO

MATÉRIEL

Application manuelle

- Traçoir / Taloche

Application mécanique

- Pression pompe: 6 à 8 bars (eau)
- Respecter la valeur de réglage de la machine
- Bétonnière - Pot de projection
- Débit air: 40 m³/min minimum
- Pression air: 4 à 6 bars

ASPECTS DE FINITION

- Taloche
- Fouine
- Gratte
- Coupe
- Butoque
- Brosse
- Peut être personnalisé sur chantier par ajout de sable de pays ou de terres naturelles.

RECOMMANDÉS

- Maçonneries anciennes de moellons, de briques, de pierres naturelles y compris les pierres tendres montées au mortier peu résistant (DTU 26.1)
- Maçonneries anciennes enduites d'un simple enduit à la chaux conformes au DTU 26.1

PARLIUMIÈRE CLAIR ou PARLIUMIÈRE STH

- Compositions de prêt-à-mixer: mélangeur, torches, bauge, béton de chaux et blocs de chaux
- Maçonneries hourdies au mortier à base de plâtre préparée avec GOBETS SPÉCIAL A
- Maçonneries enduites avec un sous-enduit conforme au DTU 26.1
- Maçonneries neuves, de béton, de blocs de béton, briques R5 et D2

PARINTER RENOVATION

- Sécher conformes au DTU 21 et au DTU 23.1
- Mortier boussole PARNATUR CORPS D'ENDUIT CHANVRE

CONDOMINATION

- 14 kg/m² par mm d'épaisseur minimum

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- NF EN 998-1
- DTU 26.1
- PAREXAL fait l'objet d'un Brevet Français N° 964232
- Label Exocel Plus Gold
- DTA 3716-3667
- Certificat QB
- Cahier de Recommandations PAREXAL/ANKO

LES + PRODUIT

- Enduit de restauration respectueux des supports anciens
- Bas module d'élasticité
- Fort taux de chaux
- Applicable en forte épaisseur: 10 mm à 5 cm
- Application manuelle ou machine

DOSAGE EN EAU

- 5,25 à 6,25 litres par sac de 25 kg

TEMPS DE MÉLANGE MACHINE

- Bétonnière: 5 à 7 minutes
- Machine: 5 minutes

CONDOMINATION

- 14 kg/m² par mm d'épaisseur minimum

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- NF EN 998-1
- DTU 26.1
- PAREXAL fait l'objet d'un Brevet Français N° 964232
- Label Exocel Plus Gold
- DTA 3716-3667
- Certificat QB
- Cahier de Recommandations PAREXAL/ANKO

PAREXAL/ANKO

* Conformité de réalisation à la diffusion de vapeur d'eau de l'enduit.

Cas des imperméabilisants :

	Perméance à la vapeur	Absorption d'eau par capillarité
Imperméabilisants de façade NF EN 1062-1	V0 : non classé	W0 : non classé
	V1 : Sd < 0,14 m	W1 : A > 0,5 kg/m ² ·h ^{1/2}
	V2 : Sd de 0,14 à 1,4 m	W2 : A de 0,1 à 0,5 kg/m ² ·h ^{1/2}
	V3 : Sd ≥ 1,4 m	W3 : A ≤ 0,1 kg/m ² ·h ^{1/2}

Légende des couleurs :



Valeur conforme à
Sd ≤ 0,5 m et
A ≤ 0,2 kg/m²·h^{1/2}



Ce classement ne permet pas de conclure : rechercher la valeur A ou Sd



Produit non conforme aux valeurs citées.

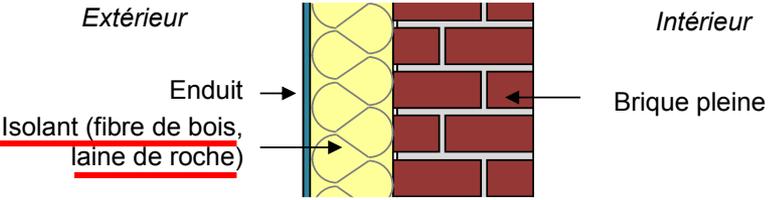
5.2 : Exemples de fiches de bonnes pratiques :

MURS ENTRE 1948 ET 1975		➤ Mur en parpaing (bloc de béton creux)	➤ Isolation par l'intérieur
Mur avant rénovation	Solutions d'isolation : bonnes pratiques		Points de vigilance
<p>Mur en parpaing. (épaisseur environ 20 cm, S_d d'environ 1m en partie courante)</p> <p>Tout parement intérieur et extérieur.</p>	<p><i>Extérieur</i></p> <p><i>Intérieur</i></p> <p>Tout enduit extérieur →</p> <p>Mur en parpaing →</p> <p>Tout enduit intérieur →</p> <p>Isolant perméable à la vapeur</p> <p>Appui à faible pont thermique</p> <p>Freine-vapeur hygrovariable</p> <p>Lame d'air</p> <p>Plaque de plâtre sur ossature</p>		<p>Proscrire les complexes isolants collés (voir § Généralités).</p> <p>Ponts thermiques : les ponts thermiques de liaison avec les murs en parpaing ne génèrent pas des points froids trop importants. Par ailleurs les dalles et refends en béton sont peu affectés par une condensation ponctuelle. Une bonne ventilation permet d'éviter toute pathologie du bâti.</p> <p>En présence de plancher bois et poutrelle hourdis : assurer l'étanchéité à l'air (semble impossible pour les hourdis), rompre le pont thermique (continuité de l'isolant dans le plancher bois), protéger le mur de la pluie et favoriser son séchage. Voir détail dans les généralités.</p>
	<p>Variante possible</p> <p>Les laines minérales fonctionnent également, mais présentent une capacité de séchage un peu moins bonne en raison de leur caractère non capillaire.</p> <p>Si l'enduit extérieur est capillaire et ouvert à la vapeur d'eau, un freine-vapeur classique est suffisant, dans le respect du DTU 20.1 : S_d minimal de 1,5 m en général, et de 6m en zone froide (température de base < -15°C ou altitude > 600 m).</p>		
Doc. de référence	<p>NF DTU 20.1 P4 (octobre 2008) : Travaux de bâtiment - Ouvrages en maçonnerie de petits éléments - Parois et murs - Partie 4 : Règles de calcul et dispositions constructives minimales.</p>		

MURS ENTRE 1948 ET 1975		➤ Mur en parpaing (bloc de béton creux)	➤ Isolation par l'extérieur
Mur avant rénovation	Solutions d'isolation : bonnes pratiques		Points de vigilance
<p>Mur en parpaing. (épaisseur environ 20 cm, S_d d'environ 1m en partie courante)</p> <p>Tout parement intérieur et extérieur.</p>	<p>Extérieur</p> <p>Enduit →</p> <p>Polystyrène expansé/ Laine de roche/ Fibre de bois</p> <p>Intérieur</p> <p>← Parpaing</p> <p>← Parement plâtre</p> <p>Enduit ouvert à la diffusion de vapeur (ordre de grandeur $S_d < 2m$) Tout isolant, (PSE, laine de roche, fibre de bois...) selon spécifications du système d'ITE (DTA / ETE).</p> <p>Variante possible</p> <p>ITE sous bardage, isolant assez ouvert à la vapeur d'eau.</p>		<p>Proscrire les isolants très peu ouverts à la diffusion de vapeur (Polystyrène extrudé, Polyuréthane, Mousse Phénolique...).</p> <p>Respecter les avis techniques / DTA / ETE : respecter les couples isolant-enduit préconisés par les fabricants.</p> <p>NB : l'étanchéité à l'air du bâtiment n'est pas assurée par l'ITE. Contrôler et reprendre le cas échéant la continuité du parement intérieur.</p>
Doc. de référence	<p>CPT 3035 – V2 : Systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé- juillet 2013 DTA /ETE des systèmes d'ITE polystyrène expansé et laine de roche sous enduit</p>		

5. BONNES PRATIQUES.

MUR D'AVANT 1948		➤ Mur en en brique de terre cuite pleine	➤ Isolation par l'intérieur
Mur avant rénovation	Solutions d'isolation : bonnes pratiques	Points de vigilance	
<p>Mur en briques pleines. (μ d'environ 10 à 16, épaisseur 30 à 40cm environ)</p> <p>Intérieur : enduit plâtre Extérieur : nu</p>	<p>Extérieur</p> <p>Intérieur</p>	<p>Proscrire les complexes isolants collés, voir généralités.</p> <p>Un hydrofuge fermé à la diffusion de vapeur, ou mal appliqué, peut être un remède pire que le mal... faire appel à un spécialiste !</p> <p>En présence de plancher bois et poutrelle hourdis : assurer l'étanchéité à l'air (semble impossible pour les hourdis), rompre le pont thermique (continuité de l'isolant dans le plancher bois), protéger le mur de la pluie et favoriser son séchage. Voir détail dans les généralités.</p> <p>Ponts thermiques : les ponts thermiques de dalle et de refend peuvent générer des points froids importants. Il convient d'évaluer les risques selon la nature des matériaux. Les dalles et refends en béton plein sont peu affectés par une condensation ponctuelle. Une bonne ventilation permet d'éviter les pathologies. Mais des moisissures peuvent se développer sur des refends en brique avec enduit torchis ou plâtre. Envisager dans ces cas une correction thermique.</p>	
	<p>Variante possible</p> <p>En présence de peinture de façade fermée à la diffusion de vapeur : une peinture de façade non perméante à la vapeur d'eau peut générer une accumulation d'eau dans le mur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si la peinture est en bon état et protège bien de la pluie, un freine-vapeur hydrovariable à l'intérieur permet de laisser sécher le mur. [Isolin] - Dans le cas contraire, sabler la peinture et la remplacer par une peinture ouverte à la diffusion de vapeur. 		
Doc. de référence	Avis technique du freine-vapeur hydrovariable		

MUR D'AVANT 1948		➤ Mur en brique de terre cuite pleine	➤ Isolation par l'extérieur
Mur avant rénovation	Solutions d'isolation : bonnes pratiques		Points de vigilance
<p>Mur en briques pleines. (μ d'environ 10 à 16, épaisseur 30 à 40cm environ)</p> <p>Intérieur : toute finition Extérieur : nu</p>	 <p>Extérieur</p> <p>Enduit →</p> <p>Isolant (fibre de bois, laine de roche)</p> <p>Intérieur</p> <p>← Brique pleine</p> <p>Isolant ouvert à la diffusion de vapeur (fibreux). Enduit également ouvert à la vapeur (ordre de grandeur $S_d < 2m$)</p>		<p>Bien choisir des chevilles adaptées à la brique</p> <p>NB : l'étanchéité à l'air du bâtiment n'est pas assurée par l'ITE. Contrôler et reprendre le cas échéant la continuité du parement intérieur.</p>
	Variante possible		
	ITE sous bardage, isolants ouverts à la diffusion de vapeur.		
Doc. de référence	DTA /ETE des systèmes d'ITE		

MUR D'AVANT 1948

➤ Mur à pan de bois

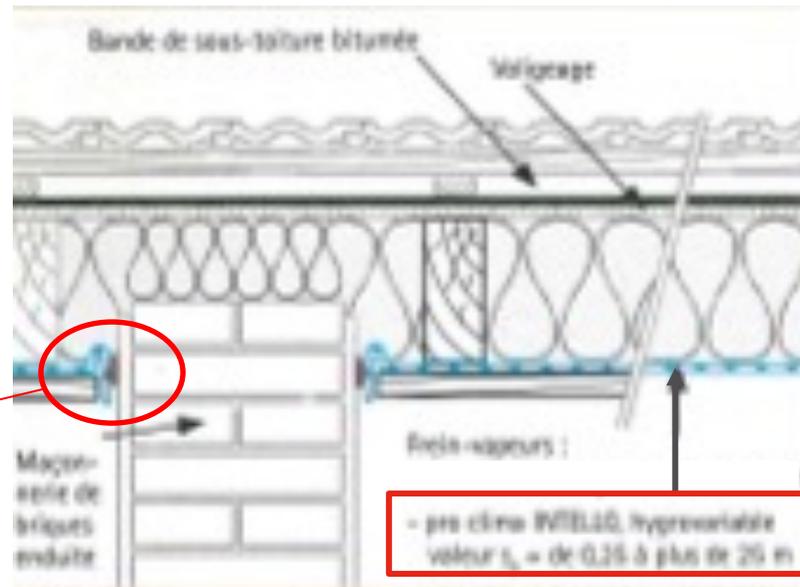
➤ Isolation par l'intérieur

Mur avant réno.	Solutions d'isolation : bonnes pratiques	Points de vigilance
<p>Mur à pan de bois (épaisseur d'environ 20cm, remplissage torchis μ d'environ 11, ou brique ancienne, μ d'environ 15)</p> <p>Intérieur : enduit plâtre Extérieur : bois nu / miroir avec enduit chaux</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><i>Extérieur</i></p> <p>Enduit chaux →</p> <p>Torchis ou Brique de remplissage →</p> <p>Structure pan de bois →</p> </div> <div style="width: 10%; text-align: center;"> </div> <div style="width: 45%;"> <p><i>Intérieur</i></p> <p>Isolant perméable à la vapeur ←</p> <p>Appui à faible pont thermique ←</p> <p>Freine-vapeur hygrovariable à fort Sd ←</p> <p>Plaque de plâtre sur ossature ←</p> </div> </div> <p>Isolant fibreux, de préférence non hygroscopique (laine minérale) et freine-vapeur hygrovariable à fort Sd.</p> <p>Il est impératif de protéger le mur de la pluie :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rétablir les débords de toiture s'ils ont été supprimés. • Supprimer les pièges à eau et fissures entre les miroirs et le bois. • Reprendre l'enduit des miroirs s'il est fissuré. Utiliser un enduit à base de chaux (adapté au support, voir à ce sujet l'annexe 3). <p>Soigner tous les détails d'étanchéité à l'air.</p> <p>Variante possible</p> <p>Les isolants hygroscopiques, dont la plupart des bio-sourcés, semblent possibles mais moins recommandés sur ce type de mur car ils accumulent un peu plus d'humidité que les laines non hygroscopiques (effet « éponge »), sans toutefois qu'un risque pathologique apparaisse. Par ailleurs, une laine minérale à faible conductivité permet de réduire l'encombrement, ce qui est particulièrement intéressant pour les maisons à pan de bois de centre-ville.</p> <p>Le béton cellulaire allégé type Calsitherm, Multipor, STDB, etc., (simulé de façon générique avec $\lambda=0,04$ et $\mu=4,1$) est une piste intéressante car il est très résistant à l'humidité, mais sa mise en œuvre nécessite absolument une continuité capillaire parfaite avec le mur existant, ce qui semble très difficile à mettre en œuvre en pratique (sur un mur non plan et non vertical).</p>	<p>Proscrire les complexes isolants collés, voir généralités.</p> <p>Dans tous les cas, l'adhérence et la continuité capillaire entre mur et isolant doivent être assurée. Veiller à ne pas créer de lame d'air.</p> <p>Neutraliser tout élément fermé à la diffusion de vapeur avant isolation : enduit ciment, papier peint vinyle, toile de verre, sinon la capacité de séchage du mur peut s'avérer insuffisante.</p> <p>En présence de plancher bois : Assurer la continuité de l'isolation et du freine-vapeur dans l'épaisseur du plancher et raccord autour des solives. Voir détail dans les généralités.</p> <p>Une correction thermique ($R = 1 \text{ m}^2.\text{KW}$ sur 60cm minimum) est vivement recommandée sur les murs de refend afin d'éviter tout risque de condensation voire de dégradation structurelle du pan de bois, notamment dans les pièces humides.</p>
<p>Doc. de référence</p>	<p>Avis technique du freine-vapeur hygrovariable</p>	

5. BONNES PRATIQUES.

5.3 : Traitement de points singuliers – exemples :

5.31 : Traitement d'un « pont hydrique » :



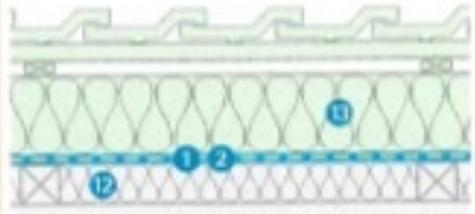
Garantir
l'étanchéité à
l'air

Source : Proclima

5.3 : Traitement de points singuliers – exemples :

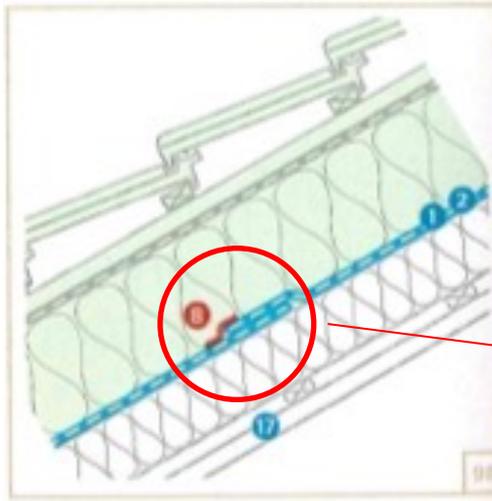
5.32 : Traitement des toitures – exemples :

Intégration du frein vapeur par l'extérieur (par-dessus les chevrons existants)



Degré de difficulté : Moyen
Exigence : Moyen
Sécurité constructive : Elevé

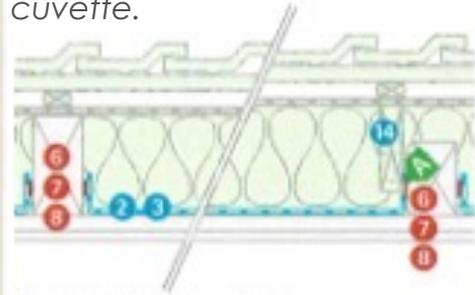
97



Point d'attention :
Collage des
chevauchements de
la membrane

98

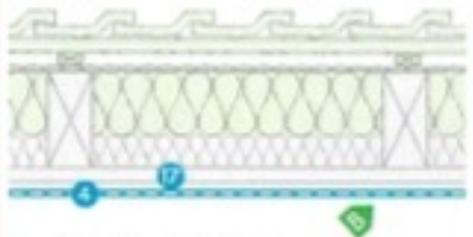
Intégration du frein vapeur par l'extérieur en forme de cuvette.



Degré de difficulté : Elevé
Exigence : Elevé
Sécurité constructive : Très élevé

99

Papier peint frein vapeur sur parement intérieur existant



Degré de difficulté : Faible
Exigence : Moyen
Sécurité constructive : Très élevé

103

Nécessité de considérer les transferts d'humidité.

2 approches :

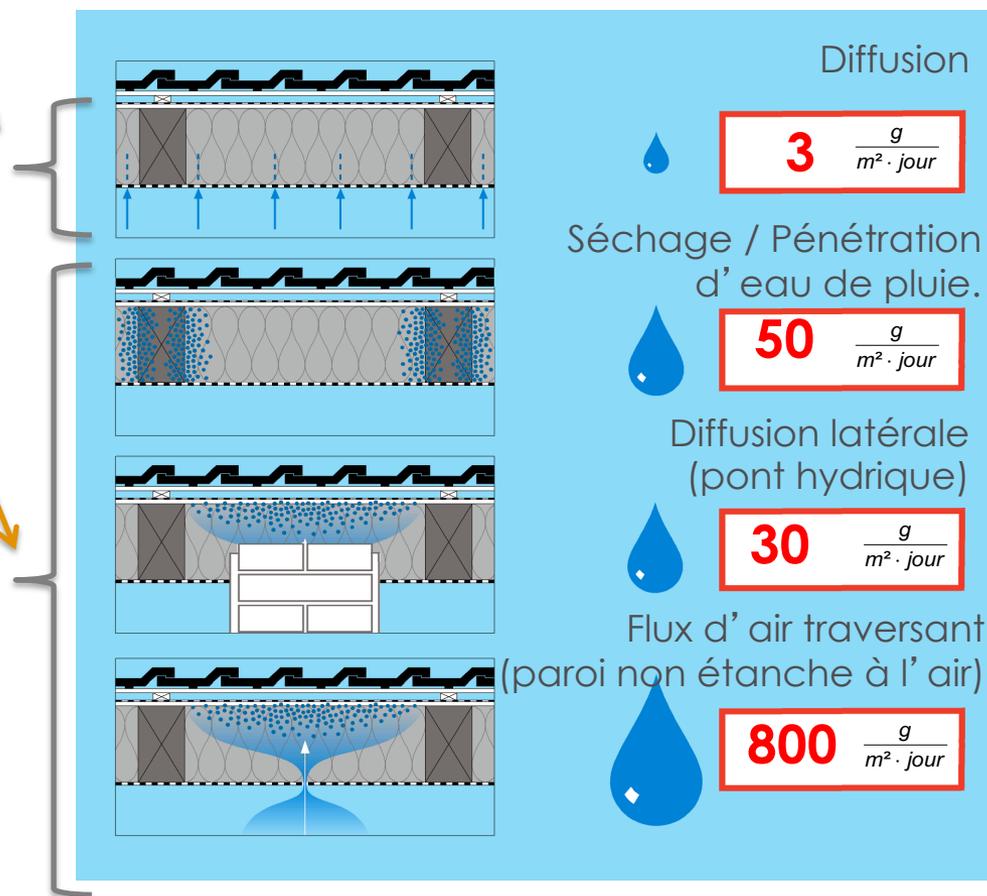
méthode simplifiée

simulation dynamique

Nature adaptée des isolants

Choix des membranes

Importance de la mise en œuvre



MERCI DE VOTRE ATTENTION