

FORMATION BATIMENT DURABLE

ENVELOPPE :
ISOLATION DE LA TOITURE

AUTOMNE 2022

Diffusion de vapeur d'eau



Pierre WILLEM
éCORCE
INGÉNIEUR CONSULTANT

- ▶ Ce livret est un complément théorique à la présentation intitulée « Se protéger de la pluie et du froid ».
- ▶ Il a pour objectif de mettre en évidence les aspects liés à la seule question de la **diffusion de vapeur d'eau**.
- ▶ L'orateur n'aura recours à ce document qu'en cas de question ciblée sur un point spécifique à cette thématique.



Pression partielle de vapeur d'eau (p_v) [Pa]

- ▶ L'air contient toujours un peu de vapeur d'eau (=gaz) participant à la pression atmosphérique. La partie provenant de la vapeur d'eau est appelée pression partielle.
- ▶ Ex : à 20°C et 50 %, $p_v = 1\,170$ Pa (et $p_{atm} = 101\,300$ Pa)

Pression de vapeur saturante ou tension de vapeur (p_{vs}) [Pa]

- ▶ Si la pression de la vapeur d'eau atteint sa valeur maximale, il y a « saturation de l'air » et on parle de pression partielle de la vapeur d'eau à la saturation, ou de pression saturante p_{vs}



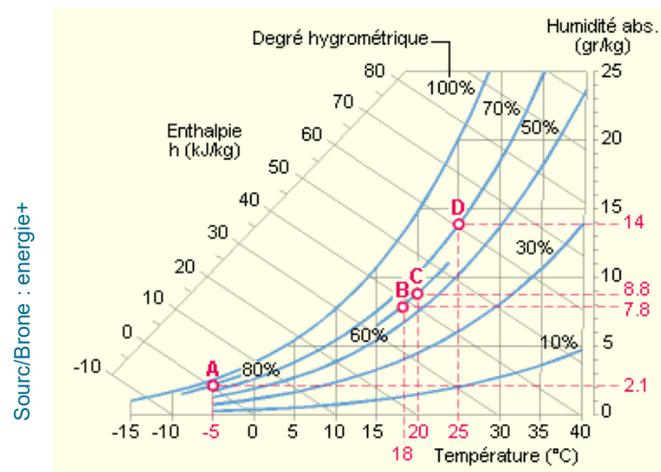
Humidité absolue

(x , w ou r)

$[g_{\text{eau}}/kg_{\text{air sec}}]$

- Nombre de grammes de vapeur d'eau présents dans un volume donné, rapporté à la masse d'air sec de ce volume exprimé en kg

		Température [°C]	Humidité absolue en [$g_{\text{eau}}/kg_{\text{air sec}}$]
A	à l'extérieur en hiver (HR = 80 %)	-5	2,1
B	dans un local (HR = 60 %)	18	7,8
C	dans un local (HR = 60 %)	20	8,8
D	à l'extérieur en été (HR = 70 %)	25	14

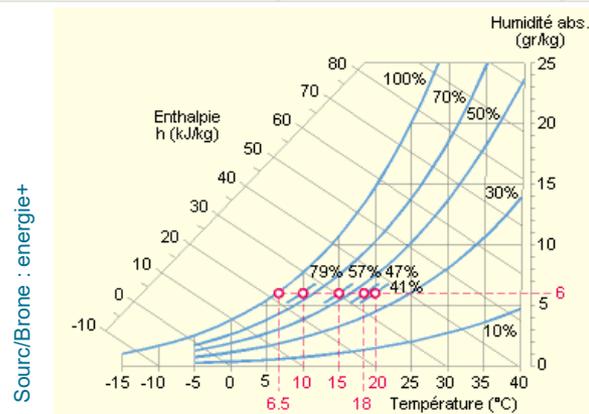


Humidité relative ou *degré d'hygrométrie* (ϕ) [%]

- Rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau "p_v" et la pression de saturation de la vapeur d'eau « p_{vs} »

$$\phi = 100 \times p_v / p_{vs}$$

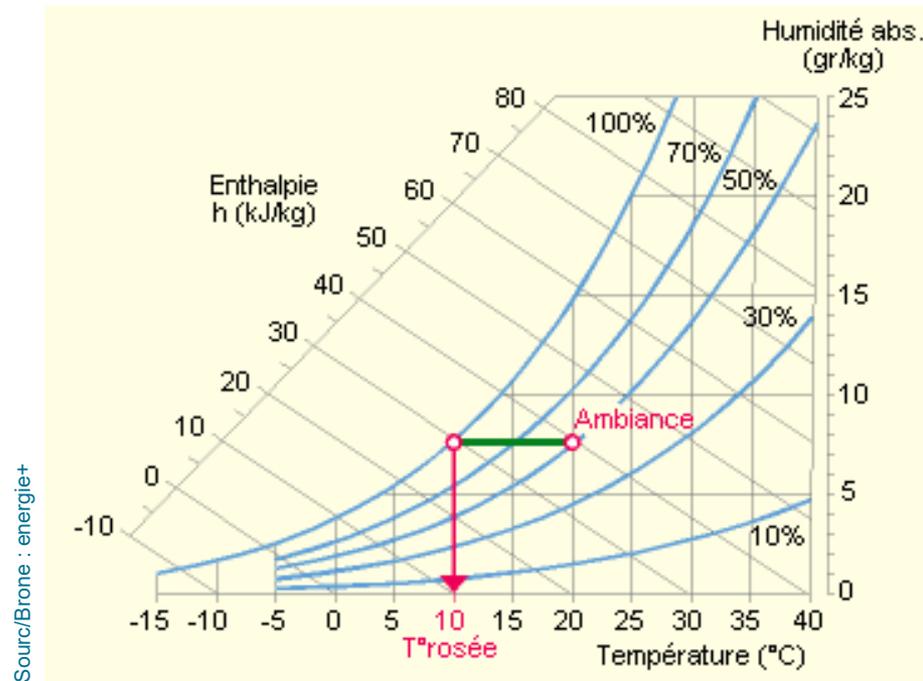
		Température [°C]	Humidité absolue [g _{eau} /kg _{airsec}]	Humidité relative [%]	Remarques
A	automne (matin)	6,5	6	100	brouillard ou pluie
B	automne	10	6	79	brouillard ou brume
C	chauffé à	15	6	57	
D	chauffé à	18	6	47	
E	chauffé à	20	6	41	



Température de rosée

($T_{\text{rosée}}$) [°C]

- ▶ En conservant une humidité absolue constante, on refroidit un air. Sur le diagramme de l'air humide, la température de rosée d'une ambiance correspond à l'intersection entre l'horizontale du point d'ambiance et la courbe de saturation.



Humidité de matériaux

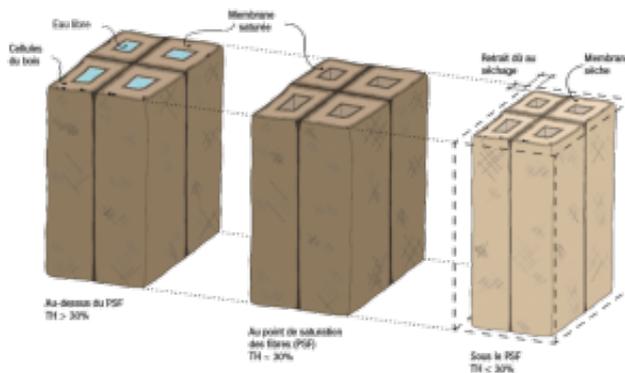
(W) [%]

- Indice pour déterminer la teneur en eau réelle des matériaux au moment de l'expérience.

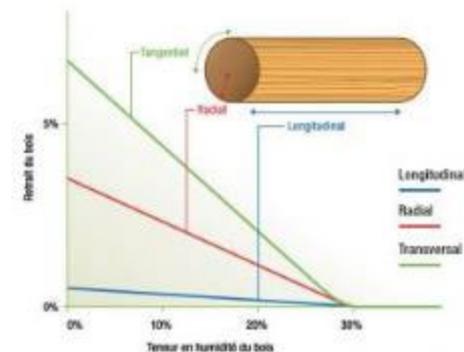
$$W = \frac{G_h - G_s}{G_s} \cdot 100\%$$

où G_s – est la masse sèche d'échantillon (après passage à l'étuve)
 G_h – est la masse humide d'échantillon.

- Le degré de l'humidité des matériaux dépend de beaucoup de facteurs, surtout de l'atmosphère où ils sont stockés, le vent, la température et de la porosité du matériau.



Sourc/Brone : cecobois.com





Détection de la présence d'humidité

► Humidimètre résistif

- < 100-200 €
- Pas cher mais attention à la sensibilité aux sels hygroscopiques

Humidimètre capacitif



Source/Bron : www.cdiscount.com

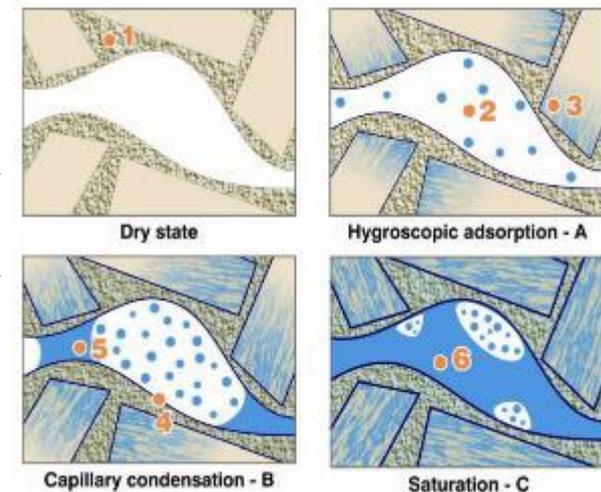
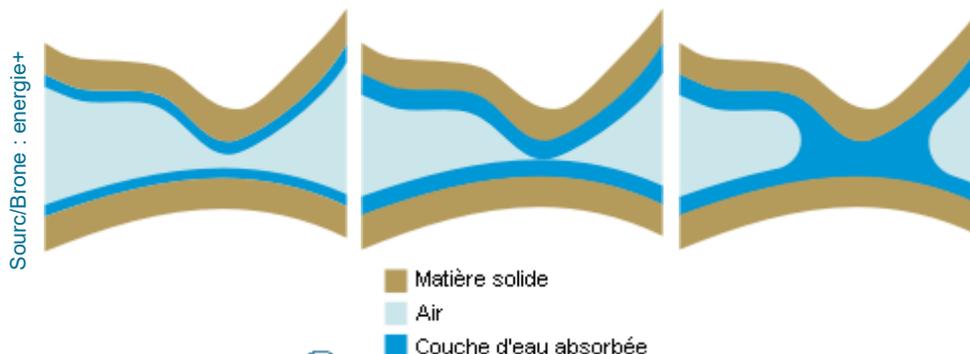


Source/Bron : www.conrad.fr



Hygroscopicité

- ▶ Un matériau **poreux et à pores ouverts** placé dans un air humide va absorber une certaine quantité d'humidité qui dépend uniquement de l'humidité relative de l'air et qui lui est proportionnelle. Ainsi, un matériau tout à fait sec placé dans l'air humide voit sa masse augmenter. Un état d'équilibre s'établit après un certain temps.
- ▶ Lorsque l'humidité relative de l'air est élevée, la teneur en humidité à l'équilibre des matériaux hygroscopique est si élevée qu'elle favorise le développement de moisissures.
- ▶ Des moisissures apparaissent :
 - sur des objets en cuir : pour une humidité relative (HR) à partir de 76 %
 - sur du bois et de la laine : pour $HR > 85 \%$
 - sur du coton et de la laine de verre : pour $HR > 96 \%$

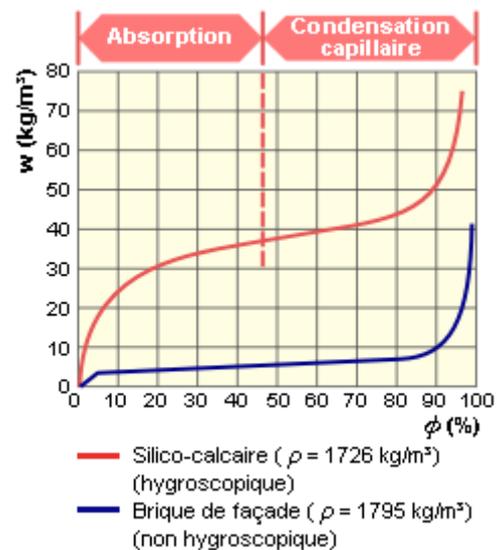


Hygroscopicité

- ▶ Matériau hygroscopique peu capillaire : le bois
 - oscillation annuelle du taux d'humidité suivant périodes humides et sèches
 - pas de problème tant que
 - * pas d'humidité résiduelle s'accumulant annuellement
 - * le taux d'humidité ne génère pas de développement de moisissures ou de putréfaction de la matière (< 20% pour le bois)
- ▶ Matériau capillaire peu hygroscopique : la brique
 - zone humide sur une certaine épaisseur
 - pas de problème tant que :
 - équilibre entre humidification et séchage (zone humide ne s'étend pas trop)
 - matériau résistant au gel
 - absence de sels → risque d'efflorescences
- ▶ Matériau non hygroscopique non capillaire : XPS
 - aucune capacité de stockage
 - gouttes restent accrochées à la surface jusqu'à ce que la quantité soit trop importante et l'eau s'écoule
 - dégâts si pas d'évacuation (exemple coulisse drainée)



Hygroscopicité



Matériau	Masse volumique (kg/m ³)	Pourcentage de micropores (% du volume de matériau) en (m ³ /m ³)
Brique	1 950	0,8 - 1,1
Béton cellulaire	40	4 - 12
Plafonnage de chaux	1 800	4,7
Plaques de plâtre	800 - 1 400	10
Bois résineux	500	12 - 15



Perméance

(W)

[ng/s·m²·Pa]

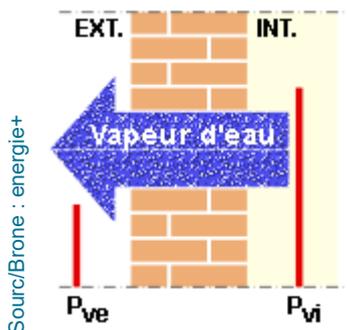
- ▶ degré auquel un matériau permet un flux de matière, dans ce cas-ci, de vapeur d'eau.
- ▶ On l'exprime en mesurant la masse d'eau qui traverse un matériau par unité de temps, de surface et de différence de pression de vapeur de part et d'autre du matériau.
- ▶ Plus cette valeur est élevée, plus la vapeur traverse aisément la paroi.
- ▶ UNITE [Perm]
 - « Perm US », utilisé aux États-Unis et encore au Canada, dans une certaine mesure, qui s'exprime en grains/pi²·h·po Hg*
 - « Perm métrique », en unité du SI (g/jour·m²·mmHg).

La correspondance entre les deux est simple :

1 perm US = 0,659045 perm métrique = 57 ng/s·m²·Pa

1 perm métrique ≠ 57 ng/s·m²·Pa.

1 perm métrique ≈ 86,8 ng/s·m²·Pa.

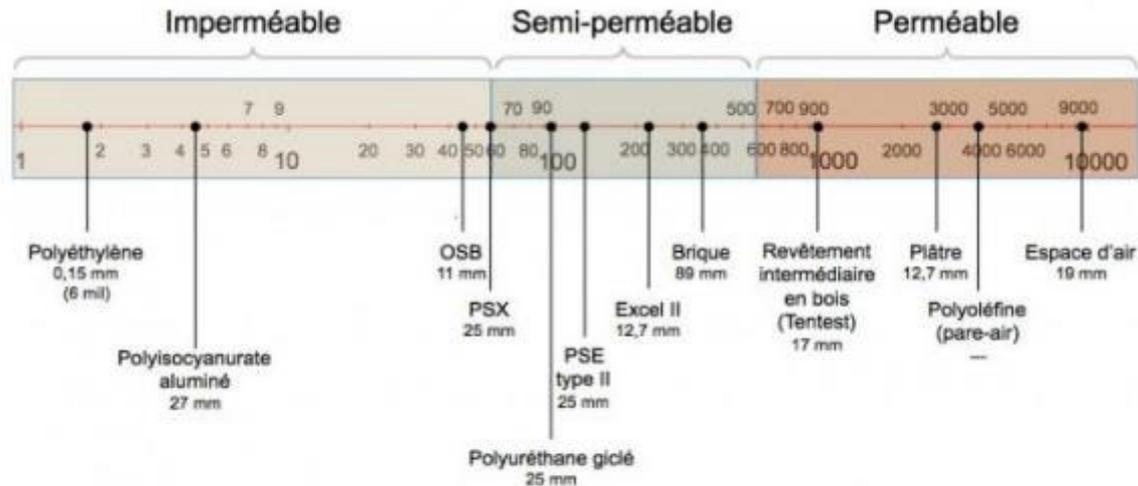


Perméance

(W)

[ng/s·m²·Pa]

- ▶ Un matériau est dit
 - « imperméable » si sa perméance < 1 perm US ou 57 ng/s·m²·Pa.
 - semi-imperméable entre 57 et 570 ng/s·m²·Pa (1 – 10 perm US).
 - perméable au-dessus de 570 ng/s·m²·Pa (> 10 perm US).

Figure 1 – Perméance de divers matériaux [ng/s·m²·Pa]

Résistance à la diffusion de vapeur d'eau (Z) [s·m²·Pa/ng]

- ▶ Inverse de la perméance

$$Z = 1/W$$

- ▶ // résistance thermique = difficulté pour la vapeur à traverser une paroi
- ▶ plus cette résistance est faible, plus la vapeur d'eau passera facilement à travers le matériau.
- ▶ une paroi = plusieurs couches, important de connaître la résistance à la diffusion de vapeur de chaque couche, puisque la résistance totale de la paroi est la somme des résistances de chaque couche.



Perméabilité à la vapeur d'eau

(δ)

[ng/s·m·Pa]

- ▶ quantité de vapeur d'eau traversant un matériau ayant un mètre d'épaisseur par unité de temps et de différence de pression de vapeur de part et d'autre du matériau.
- ▶ propriété intrinsèque d'un matériau (ne varie pas avec l'épaisseur)
- ▶ Plus la perméabilité d'un matériau est élevée, plus le matériau est apte à laisser la vapeur d'eau passer librement.
- ▶ On calcule la perméance W d'un matériau ayant une épaisseur d à partir de la perméabilité du matériau comme suit :

$$W = \delta_{\text{matériau}} / d$$



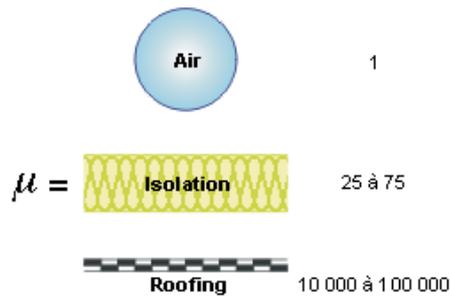
Coefficient de la diffusion à la vapeur d'eau

(μ) [-]

- ▶ Rapport entre la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air δ_{air} sur la perméabilité à la vapeur d'eau du matériau $\delta_{\text{matériau}}$.

$$\mu = \delta_{\text{air}} / \delta_{\text{matériau}} \quad \text{où } \delta_{\text{air}} = 187,5 \text{ ng/s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa}$$

- ▶ Ce coefficient détermine la perméabilité d'un matériau à la vapeur d'eau. Plus μ est élevé, plus la résistance est grande.
- ▶ Une valeur inférieure à 10 correspond à une bonne diffusion de la vapeur d'eau.



		<i>Résistance diffusion vapeur d'eau</i>
<i>Isolants écologiques</i>	<i>Chanvre</i>	1
	<i>Paille</i>	1
	<i>Bois</i>	5
	<i>Lin</i>	1
<i>Isolants non écologiques</i>	<i>polystyrène</i>	60(<i>expansé</i>) et 150(<i>extrudé</i>)
	<i>Polyuréthane</i>	150 (<i>mousse</i>)
	<i>Laine de verre</i>	1
	<i>Laine de roche</i>	1

Source/Brone : energie+



Valeurs S_d (S_d) [m]

- Épaisseur, en m, d'une couche d'air immobile ayant la même perméance que l'épaisseur spécifiée d'un matériau donné

$$S_d = \mu \cdot d_{\text{matériau}} = \delta_{\text{air}} / W,$$

où $d_{\text{matériau}}$ est l'épaisseur du matériau

- Plus S_d est grand, plus la résistance à la diffusion de vapeur du matériau est élevée.

Matériau	Épaisseur (e)	Valeur S_d ($\mu \times e$)
Air – valeur de référence	1m	1m
Plâtre	0,015 m	0.06 à 0,15 m
Laine minérale	0,2 m	0,2 m
Ouate de cellulose	0,2 m	0,4 m
Panneau de sous-toiture isolant en fibre de bois	0,022 m	0,11 m
Panneau OSB	0,022 m	0.066 à 4,4 m
Frein-vapeur	0,001 m	4,5 m
Frein-vapeur à S_d variable	0,0002 m	0,25 à 10 m*
Pare-vapeur	0,0002 m	10 m*
Béton armé	0,2 m	20 m
Polyéthylène	0,00015 m	50 m
Feuille d'aluminium	0,00005 m	1500 m
Feuille de PE (agrafée)	0.00015	8 m
Verre	0,006 m	+ ∞



Matériau	Ép. (mm)	W (ng/s·m ² ·Pa)	Z (s·m ² ·Pa/ng)	δ (ng/s·m·Pa)	μ (-)	Sd (m)
Plâtre	12,7	2600	0,000385	33	5,66	0,072
OSB	11	44	0,02273	0,484	387,4	4,26
EPS type II	25,4	123	0,008	3,12	60	1,52
Espace d'air	19	9870	0,0001	187,5	1	0,019

Pourquoi parler de toutes ces équivalences ?

- ▶ saisir ce que signifient les données techniques d'un matériau
 - ▶ savoir traduire ces données dans un autre système d'unités, si requis.
- ▶ la perméance d'un matériaux n'est généralement pas une constante, mais elle varie plutôt tant avec la température qu'avec le taux d'humidité !!!





STATIQUE : Glaser (fréquent)

Données de calcul:

Ri	Ti	HRi	pi	Re	Te	HRe	pe
0,125	25	60	1905	0,043	0	90	552

pvx : pression partielle d
psx : pression de saturati

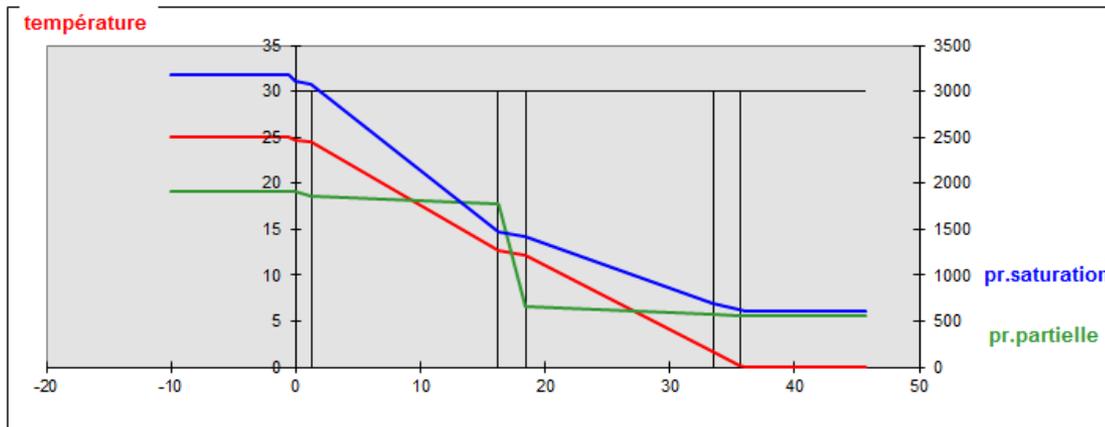
Caractéristiques de la paroi:

intérieur	épaisseur (m)	lambda (W/mK)	Rx (m ² .K/W)	Rtot (m ² .K/W)	mu	Zx (x 5,4.10 ⁹)	Ztot (x 5,4.10 ⁹)	T°x (°C)	pvx (Pa)	psx (Pa)	HR (%)
Ri			0,13	0,13				25	1905	3174	60%
1 Plaque plâtre	0,0125	0,2	0,06	0,19	8,3	0,1038	0,1038	24,6	1905	3108	61%
2 Laine de lin	0,15	0,036	4,17	4,35	1,5	0,225	0,33	24,5	1865	3076	61%
3 OSB	0,022	0,12	0,18	4,54	134	2,948	3,28	12,7	1780	1476	121%
4 Cellulose	0,15	0,04	3,75	8,29	1,5	0,225	3,50	12,2	662	1427	46%
5 Cellit	0,022	0,04	0,55	8,84	2,9	0,0638	3,57	1,7	576	692	83%
Re			0,04	8,88				0,1	552	619	89%
extérieur								0	552	613	90%

impossible, condensation !

k paroi 0,11 W/m².K Flux vap 7,0E-08 kg / m².s
flux chal. 2,8 W/m² 1,7026 0,4729 6,1 gr / m².jour

Remarque: les valeurs indiquées pour les pressions de saturation sont légèrement différentes de celles données par le diagramme de l'air humide (formule mathématique approchée)





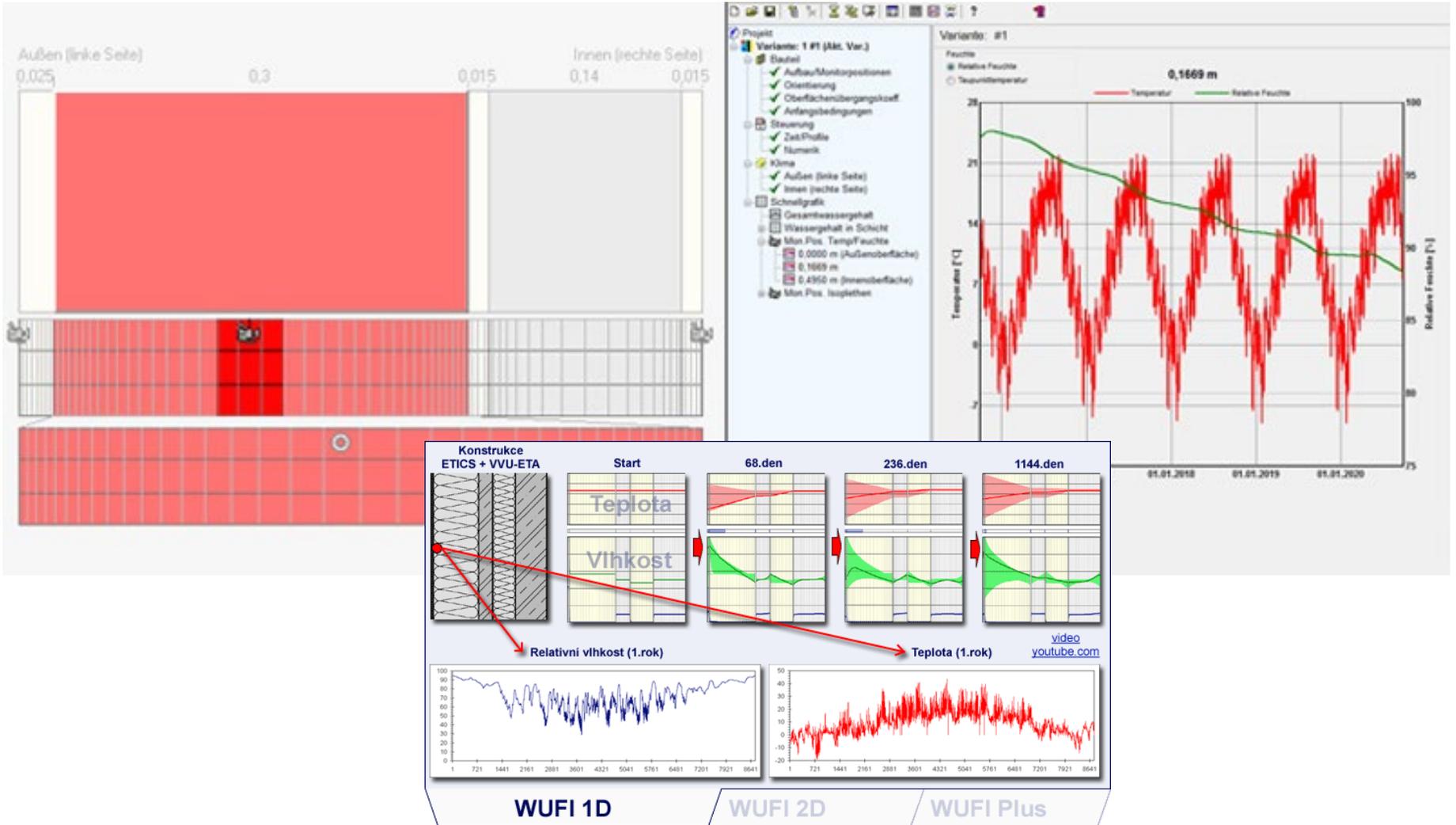
STATIQUE : Glaser (fréquent)

- ▶ à un instant T
- ▶ ne tient pas compte de l'état initial de la paroi
- ▶ plusieurs éléments négligés :
 - La teneur en eau d'un matériau heure après heure : si une migration de vapeur a lieu de l'intérieur vers l'extérieur, la teneur en eau de l'isolant ou de la brique peut progressivement augmenter, jour après jour, semaine après semaine.
 - l'absorption d'eau liquide depuis l'extérieur (pluie) et sa redistribution au sein de la paroi.
 - La quantité de vapeur d'eau qu'un matériau peut stocker en fonction de l'humidité relative à laquelle il est soumis : c'est pour cette raison qu'on parle de matériaux respirants. Ils peuvent stocker une partie de la vapeur d'eau et la restituer si les conditions hygrothermiques sont favorables. Cette caractéristique est exprimée par l'isotherme de sorption.
 - L'évolution du pouvoir isolant d'un matériau en fonction de l'humidité à laquelle il est soumis. Si, heure après heure, un matériau s'humidifie, sa conductivité thermique va augmenter, le rendant moins isolant.





Simulation dynamique



Sourc/Brone : WUFI©



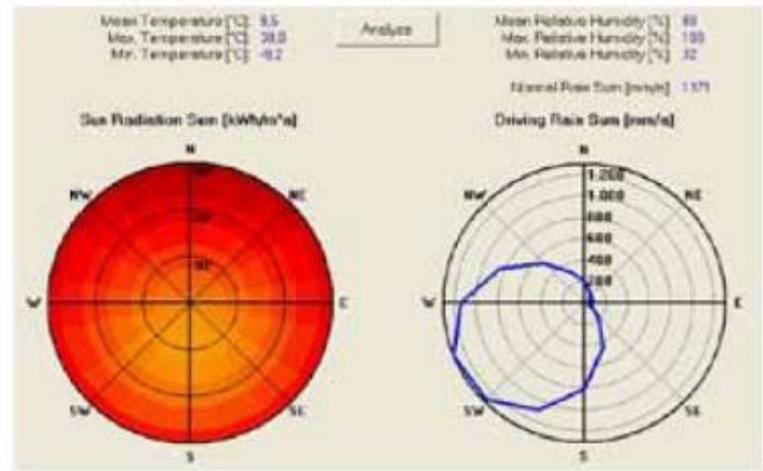
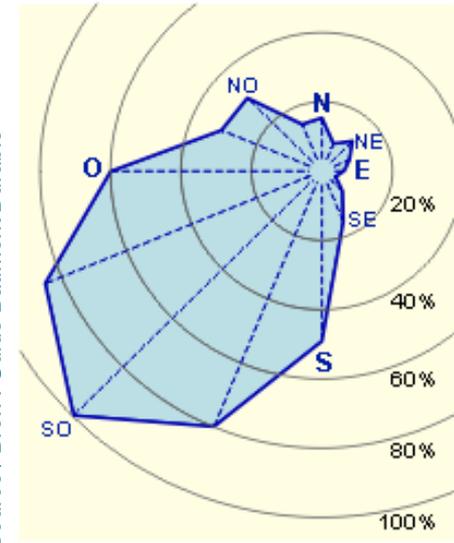
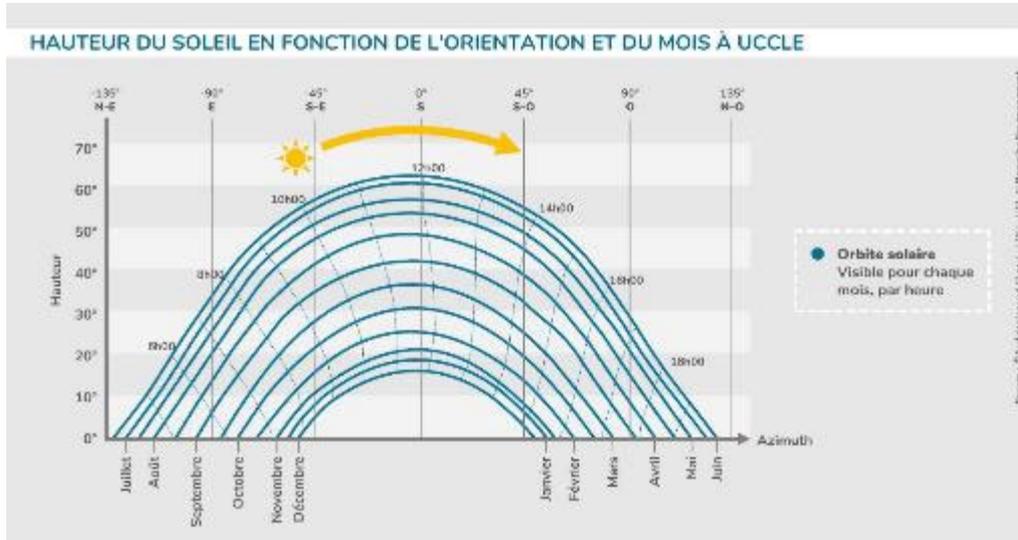


Simulation dynamique

- ▶ calcul pour chaque heure de chaque jour de chaque mois de l'année
- ▶ tient compte d'un comportement hygrothermique dynamique de la paroi, d'année en année.
- ▶ 5 ans (-> 10 ans)
- ▶ solution proposée répond à un objectif long-terme.
- ▶ visualiser sous forme d'un film l'ensemble des flux à l'échelle de la paroi (teneur en eau, chaleur et migration de vapeur d'eau en tout point de la paroi mais également les épisodes de pluie ou d'ensoleillement, etc.)

- ▶ Différents logiciels
 - WUFI (Pro – 2D – Bio)
 - Delphin
 - MOIST
 - MATCH





Analyse de l'environnement direct

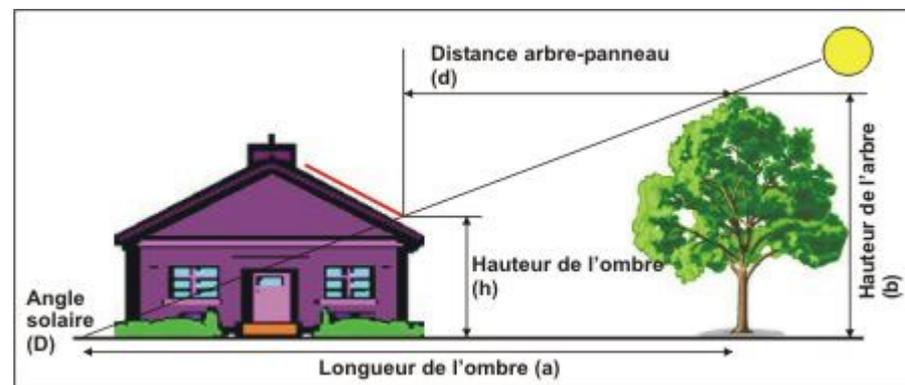
- ▶ hauteur du bâtiment
- ▶ vis-à-vis (végétation, existant ou... futur !,...)
- ▶ Techniques en toiture



Source / Bron : Guide Batiment Durable



Source / Bron : SMA France



Source / Bron : eclecticite.fr

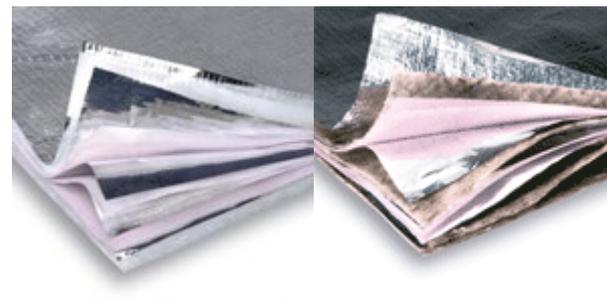


8 paramètres influençant le comportement hygrothermique

▶ densité	(ρ)	[kg/m ³]
▶ porosité	(ϵ)	[%]
▶ conductivité thermique	(λ)	[W/mK]
▶ facteur de résistance à la diffusion de vapeur	(μ)	[-]
▶ taux d'humidité à 80 % HR	(w80)	[kg/m ³]
▶ taux d'humidité à saturation capillaire	(w _f)	[kg/m ³]
▶ chaleur spécifique	(c)	[J/kg]
▶ coefficient d'absorption	(A)	[kg/m ² s ^{1/2}]



- ▶ dépend des performances à atteindre et de l'espace disponible dans les locaux à isoler → épaisseur et type d'isolant à mettre en œuvre.
- ▶ Nécessité d'un agrément technique (ATG, ETA, EN, ISO 10456)
- ▶ Eviter les produits minces réfléchissants
 - étude du CSTC confirmée par plusieurs études scientifiques dans divers pays européens.
 - L'affirmation d'un équivalent de 20 cm de laine minérale est fantaisiste. Dans le meilleur des cas, équivalent de 4 à 6 cm, souvent insuffisant.
 - Avantages mis en avant : pose très rapide (agrafage sous pression), grandes bandes continues, impression d'une certaine qualité pour l'occupant...





► Isolants

Densité	Epaisseur	Masse par m ²	Isolation	Inertie			Humidité			
ρ	d	m	λ	C	ρC	Diffusivité	Effusivité	μ sec	μ hum.	A
kg/m ³	m	kg/m ²	W/mK	J/kgK	kJ/m ³ K	m ² /s	J/m ² Ks ^{1/2}	/	/	kg/m ² s ^{1/2}

ISOLANTS A BASE MINERALE

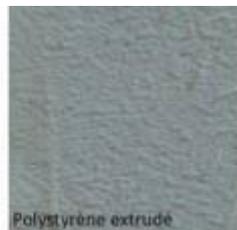
Panneau de laine de roche	100	0,09	9	0,035	1030	103,00	0,34	60,04	2	1	[0]
Panneau de laine de verre	50	0,09	4,5	0,035	1030	51,50	0,68	42,46	2	1	[0]
Panneau de verre cellulaire	110	0,10	11	0,040	1000	110,00	0,36	66,33	[∞]	[∞]	[0]
Panneau de silicate de calcium	270	0,18	48,6	0,070	1000	270,00	0,26	137,48	3	1	1,2

ISOLANTS A BASE SYNTHETIQUE

Panneau de polystyrène expansé (EPS)	25	0,09	2,25	0,035	1450	36,25	0,97	35,62	100	40	[0]
Panneau de polystyrène extrudé (XPS)	38	0,08	3,04	0,032	1450	55,10	0,58	41,99	200	80	[0]
Panneau de polyuréthane	30	0,06	1,8	0,023	1400	42,00	0,55	31,08	100	30	[0]

ISOLANTS A BASE DE FIBRES NATURELLES

Cellulose en vrac	40	0,11	4,4	0,041	2150	86,00	0,48	59,38	2	1	0,3
Matelas souple de cellulose	50	0,10	5	0,040	2150	107,50	0,37	65,57	2	1	0,3
Matelas souple de fibres de bois	75	0,10	7,5	0,038	2100	157,50	0,24	77,36	5	3	
Panneau rigide de fibres de bois	160	0,10	16	0,040	2100	336,00	0,12	115,93	5	3	0,007
Panneau de liège	120	0,10	12	0,040	1600	192,00	0,21	87,64	30	5	[0]
Panneau semi-rigide de fibres de chanvre	30	0,10	3	0,040	1600	48,00	0,83	43,82	2	1	
Mélange chaux-chanvre	440	0,28	123,2	0,110	1560	686,40	0,16	274,78	5	3	0,07



Source / Bron : architecture et climat



 μ

Verre cellulaire

XPS

EPS

Liège

Fibres de bois

Laine de chanvre

PUR

Béton cellulaire

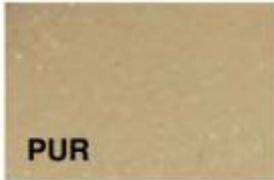
Laine de bois

Ouate de cellulose

Laine de roche

Laine de verre



	Hygroscopique et capillaire	Peu ou pas hygroscopique et capillaire
Non putrescible	 <p>Béton cellulaire</p>	   <p>EPS XPS PUR</p>   <p>Liège Verre cellulaire</p>
Non putrescible mais alterable (si forte presence d'eau)		  <p>Laine de verre Laine de roche</p>
Putrescible et alterable (si teneur critique dépassée)	  <p>Ouate de cellulose Laine de chanvre</p>   <p>Laine de bois Fibres de bois</p>	



Pare-air

- ▶ élément dont la perméabilité à l'air $< 0,1 \text{ m}^3/(\text{h}.\text{m}^2)$ sous une différence de pression de 50 Pa

Pare-vapeur

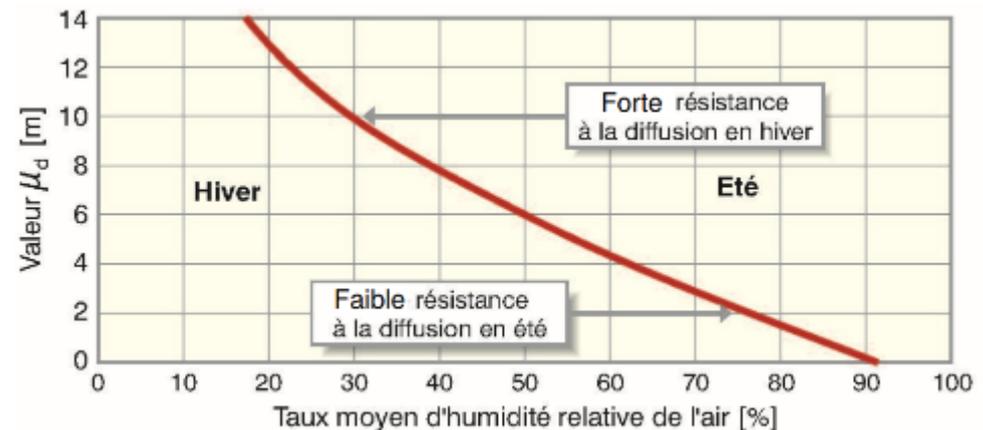
- ▶ généralement assimilé à une valeur S_d fixe élevée
- ▶ → va donc limiter de manière importante la diffusion de la vapeur, quelles que soient les conditions d'utilisation

Frein-vapeur

- ▶ appellation commerciale
- ▶ généralement assimilé à un coefficient S_d plus faible, dont la valeur limite n'est cependant pas fixée

Frein-vapeur hygrovariable

- ▶ caractérisé par une valeur S_d variable selon le taux d'humidité relative (HR) et la température des ambiances situées de part et d'autre du produit (ou de la couche)



Quand doit-on prévoir une étanchéité à la vapeur ?

- ▶ Si isolant perméable à la vapeur
→ OBLIGATOIRE !
- ▶ Si isolant peu ou pas perméable à la vapeur (EPS, XPS, PUR, CG) collé sur la maçonnerie, ET si air intérieur ne circule pas entre isolant et maçonnerie
→ ne nécessite pas obligatoirement une étanchéité à la vapeur
→ si isolant entre lattes → OBLIGATOIRE !

Quelle étanchéité choisir ?

- ▶ Si Glaser → pare-vapeur !
- ▶ Si dynamique : nuance → freine-vapeur 'intelligent' (suffisant en hiver, contre le phénomène en été)
- ▶ Influence de la finition (hygroscopique t.q. terre crue) → « inertie hydrique » mais difficilement quantifiable !
Exple : chanvre



Continuité de l'étanchéité

- ▶ Panneaux – rainure languette +
 - Soit avec bandes adhésives,
 - Soit avec mousse injectée,
 - Soit avec mastic.

- ▶ Si membrane : recouvrement +
 - Soit avec bandes adhésives,
 - Soit avec joints comprimés.

- ▶ Vérification : produit de jonction = classe de l'étanchéité demandée.





perméabilité à la vapeur d'eau \neq perméabilité à l'air



► Un pare-vapeur est-il pare-air ?

- Oui, dans tous les cas.

Le premier vecteur de transport de la vapeur est l'air;

Ainsi, le rôle principal d'un pare-vapeur est de faire barrière à l'air.

► Un pare-air est-il pare-vapeur ?

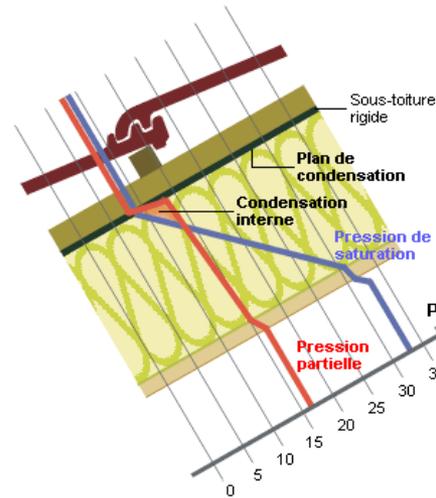
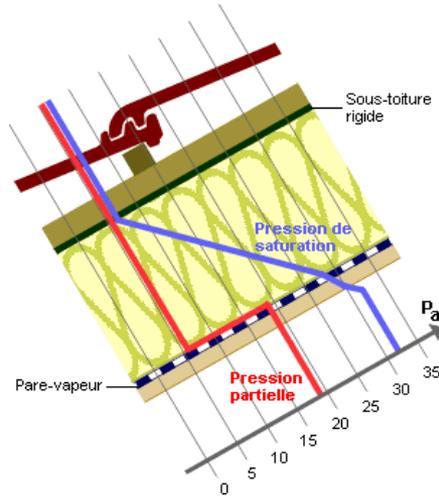
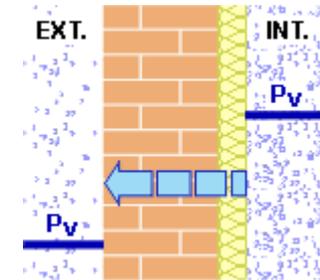
- Pas systématiquement.

Certaines sous-toitures, par exemple, peuvent constituer à la fois un bon pare-air et un bon pare-vent, mais elles doivent être suffisamment perméables à la diffusion de vapeur d'eau (et ne sont donc en aucun cas des pare-vapeur!)



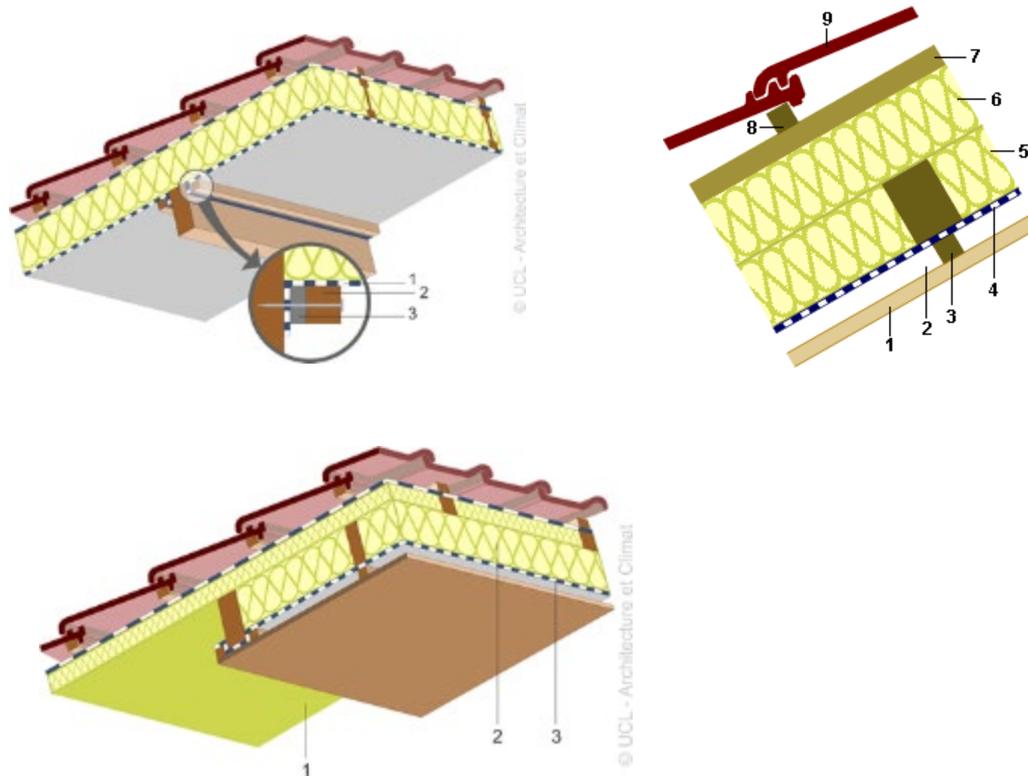
Pare-vapeur ? Sous-toiture ?

- ▶ $P_{vap.int} > P_{vap.ext}$ → migration de vapeur de l'int. vers l'ext.
- ▶ Comportement simple



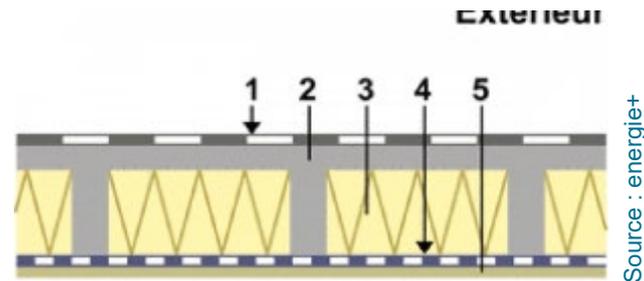
Pare-vapeur ? Sous-toiture ?

- ▶ $P_{\text{vap.int}} > P_{\text{vap.ext}}$ → migration de vapeur de l'int. vers l'ext.
- ▶ Comportement simple
- ▶ Continuité ?



Toiture compacte

- ▶ $P_{\text{vap.int}} > P_{\text{vap.ext}}$ → migration de vapeur de l'int. vers l'ext.
- ▶ Comportement simple

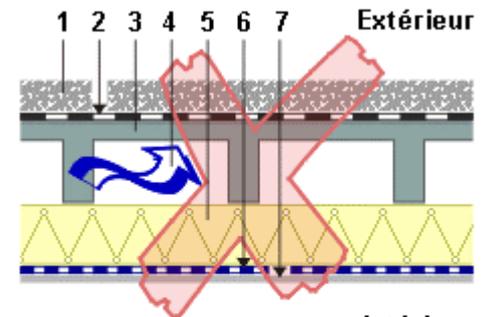
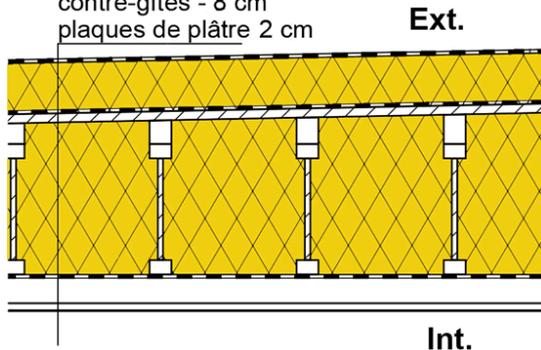


Source : energie+

- 1 : membrane d'étanchéité
- 2 : support
- 3 : isolant
- 4 : pare-vapeur étanche à l'air
- 5 : plafond

Intérieur

epdm
 fibre de bois 14 cm
 pare-vapeur
 voligeage
 calles de pente 0 à 15 cm
 gîtes en I 36 cm
 pare-vapeur db+
 contre-gîtes - 8 cm
 plaques de plâtre 2 cm



- 1 : lestage (éventuel)
- 2 : membrane d'étanchéité
- 3 : support
- 4 : lame d'air ventilée
- 5 : isolant
- 6 : pare-vapeur étanche à l'air
- 7 : plafond

Intérieur



Fonction du bâtiment

Définition du bâtiment	Exemples	p_i	Classe
Bâtiment avec une production de vapeur nulle ou faible.	<ul style="list-style-type: none"> • lieux de stockage pour marchandises sèches • églises • salles de sport d'utilisation modérée 	$1100 < p_i < 1165$	I
Bâtiment bien ventilé avec une production de vapeur limitée.	<ul style="list-style-type: none"> • habitations de grande dimension • écoles • magasins • bureaux non climatisés • unités de soins hospitaliers 	$1165 < p_i < 1370$	II
Bâtiment d'utilisation intense	<ul style="list-style-type: none"> • habitations sociales • flats • maisons de soins • bâtiments faiblement climatisés (HR < 60 %) 	$1370 < p_i < 1500$	III
Bâtiment avec une production de vapeur élevée.	<ul style="list-style-type: none"> • piscines • locaux industriels humides • blanchisseries • bâtiments fortement climatisés (HR > 60 %) 	$1500 < p_i < 3000$	IV





Sites internet

- ▶ <https://energieplus-lesite.be/ameliorer/isolation/ameliorer-isolation-toiture-a-versant/choisir-le-pare-vapeur-d-un-versant-isole/>





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brusse

- ▶ <https://www.guidebatimentdurable.brussels/isolation-linterieur-toitures-inclinesls>



Sites internet

- ▶ Energie+

[Diffusion de vapeur d'eau](#)

[Toiture inclinée](#)

Formations

Formation logiciel WUFI (construction21, PMP,...)



Pierre WILLEM

Ingénieur projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

