FORMATION BÂTIMENT DURABLE

MATÉRIAUX D'ISOLATION: COMMENT CHOISIR?

PRINTEMPS 2019

Comment choisir l'isolation d'un point de vue hygrothermique?

Aline BRANDERS
A2M

bruxelles environnement leefmilieu brussel .brussels

Objectifs de la présentation

- Comprendre, sur base des aspects hygrothermiques, les répercussions d'un choix d'isolant sur la pérennité du bâti.

- Connaître les outils de conception et de contrôle pour évaluer ces choix.

Plan de l’exposé

Introduction

01 Flux de chaleur

02 Flux d’air

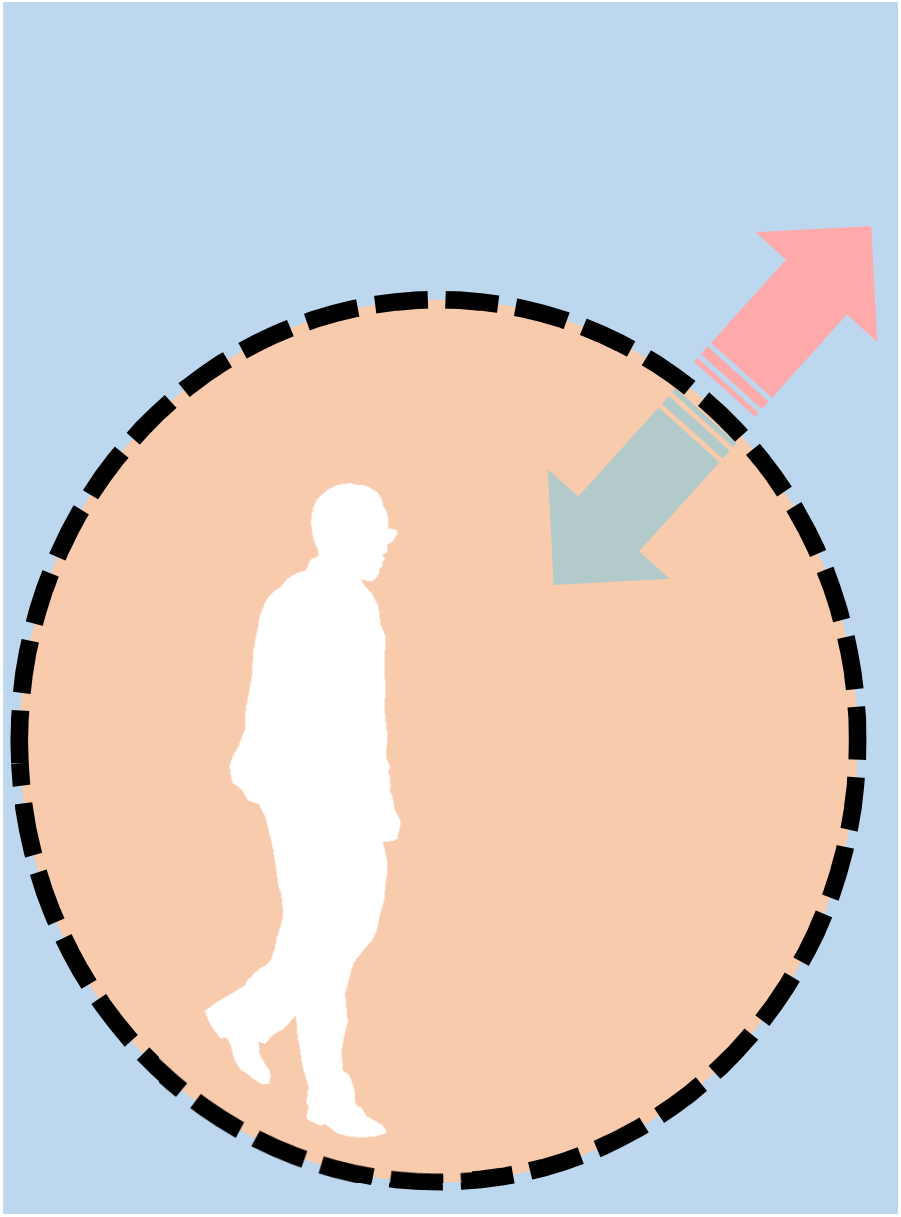
03 Flux d’humidité
- **> vapeur**
- **> eau liquide**
- **> stratégies de conception**
- **> outils de conception**

Conclusion

Introduction : bâtiment

© A2M

Introduction : bâtiment



Confort de l'occupant

- **Thermique** : 19,7 à 24, 7 °C
  rayonnement des parois
  température opérative
  …
- **Air :** vitesse < à 2m/s
- **Humidité** : 40 à 60 % HR
- ….

Efficience de l'enveloppe

Maintenir le confort avec un minimum d'énergie « active »

Qualité de la construction

Contrôler la qualité d'exécution de l'enveloppe

© A2M

Introduction : bâtiment

Les faiblesses de conception de l'enveloppe sont corrigées par des moyens mécaniques et technologiques

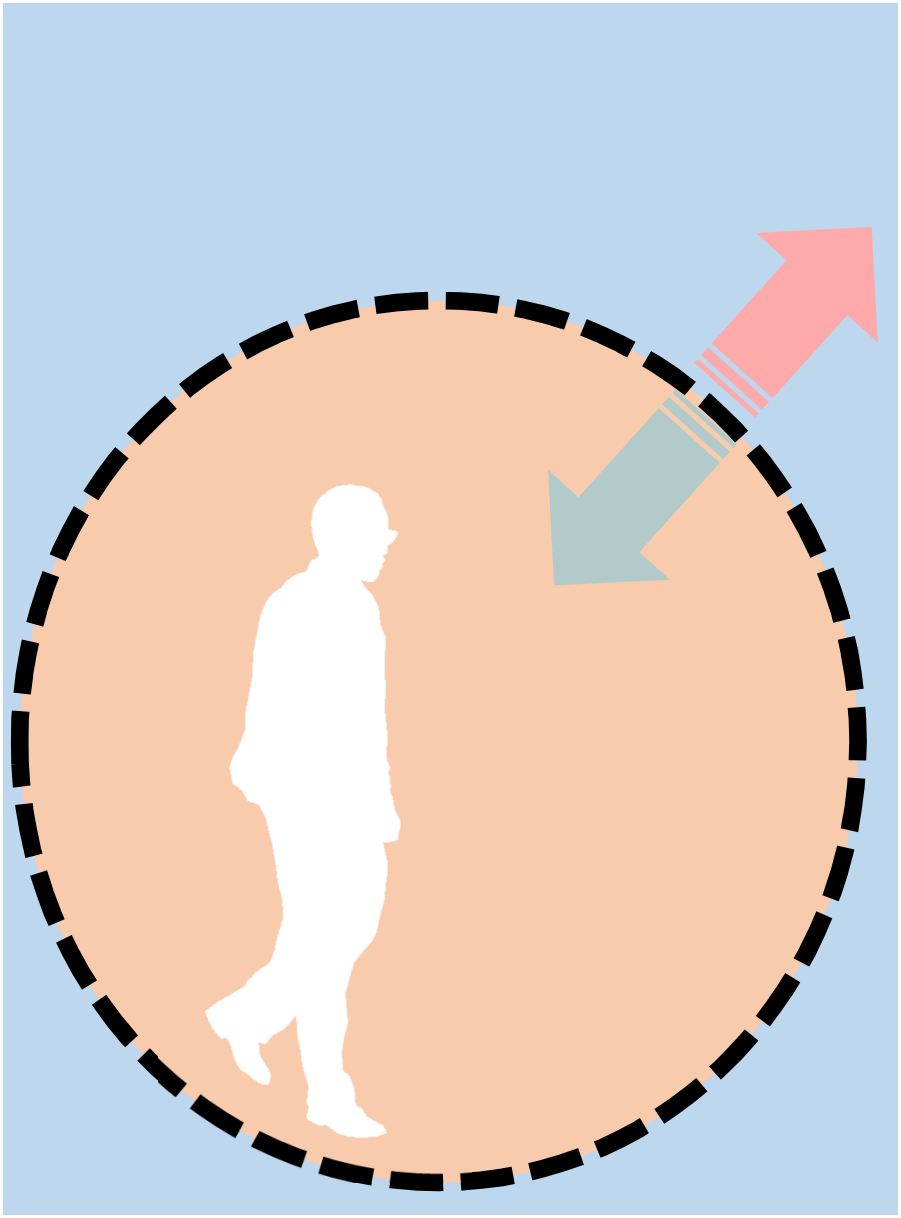
© A2M

Introduction : bâtiment

Les bâtiments à haute performance intègrent ces capacités directement dans l'enveloppe physique du bâtiment, diminuant le besoin d'énergie pour maintenir le confort de celui-ci.

© A2M

Introduction : bâtiment

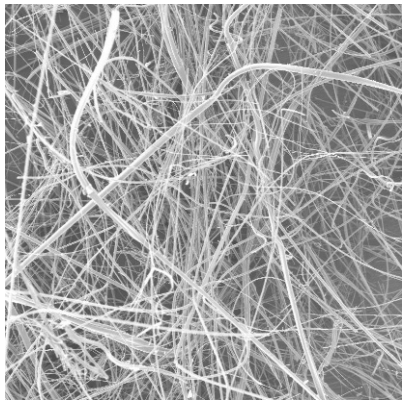
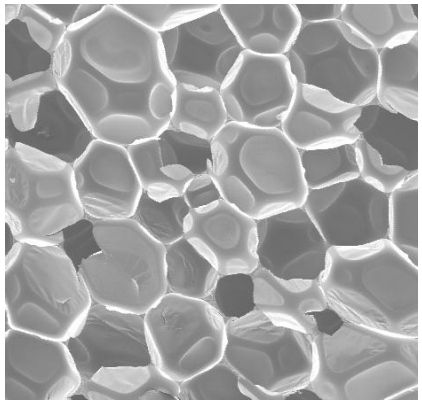
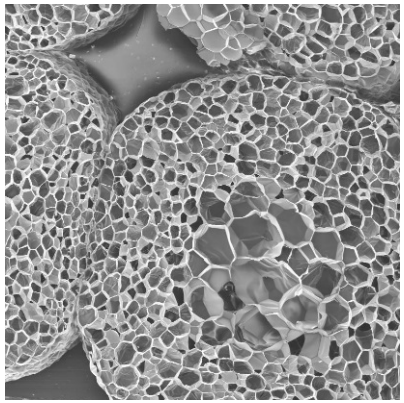


1. Flux de **chaleur**
2. Flux d'**air**
3. Flux d'**humidité**

© A2M

Introduction : matériaux

- Les phénomènes de transferts et de stockage sont principalement liés à la structure poreuse et à la nature des matériaux

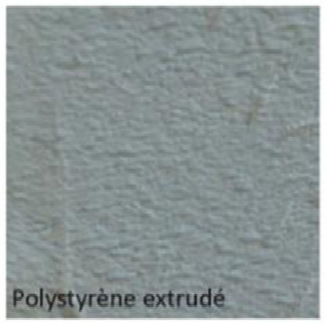




© Insulation materials, éd. Détails © A. Evrard

► Isolants

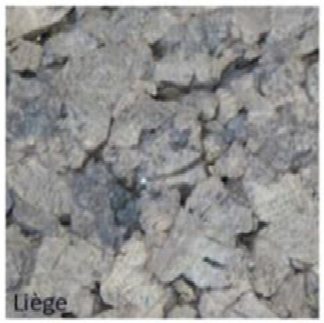
	Densité	Epaisseur	Masse par m²	Isolation	Inertie				Humidité		
	ρ	d	m	λ	C	ρC	Diffusivité	Effusivité	μ sec	μ hum.	A
	kg/m³	m	kg/m²	W/mK	J/kgK	kJ/m³K	m²/s	J/m²Ks½	/	/	kg/m²s½
ISOLANTS A BASE MINERALE											
Panneau de laine de roche	100	0,09	9	0,035	1030	103,00	0,34	60,04	2	1	[0]
Panneau de laine de 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 polyuréthanne	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

Laine de verre


Polystyrène extrudé

Cellulose

Fibres de bois

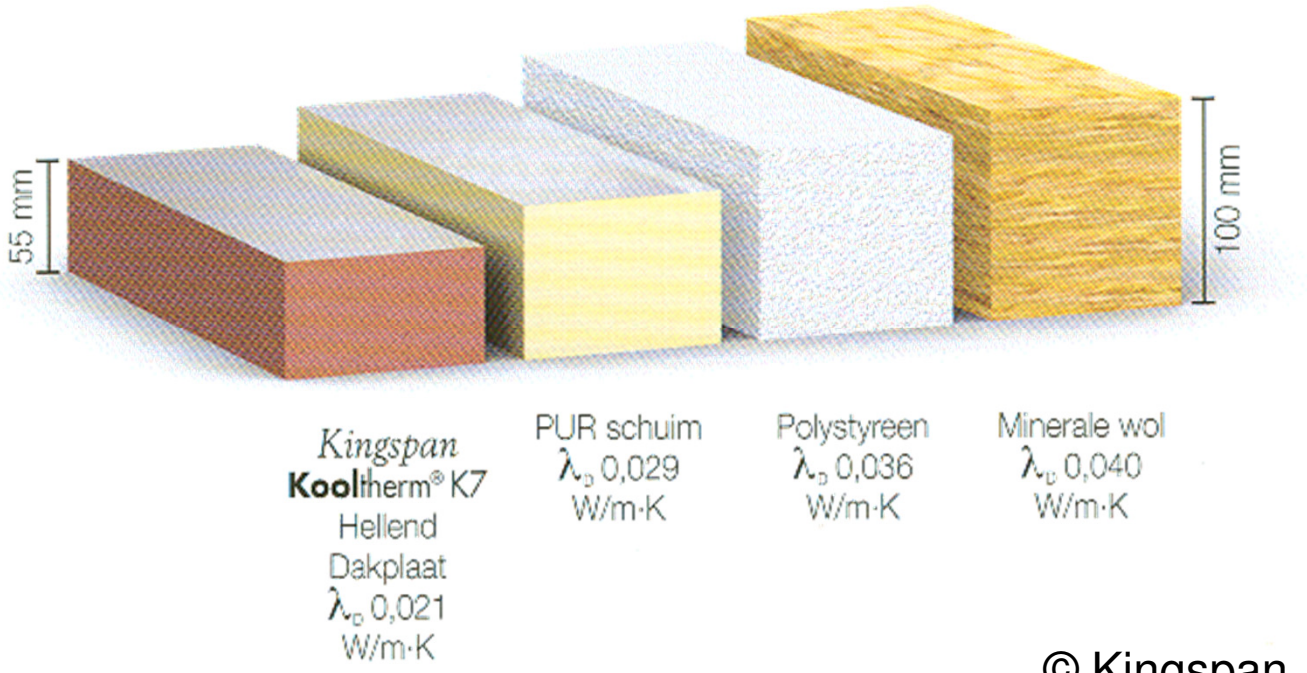

Liège

Chaux-chanvre

© Architecture et Climat

Introduction : matériaux

La conductivité thermique des matériaux est évidemment un paramètre important



© Kingspan

… mais il n'est pas le seul!

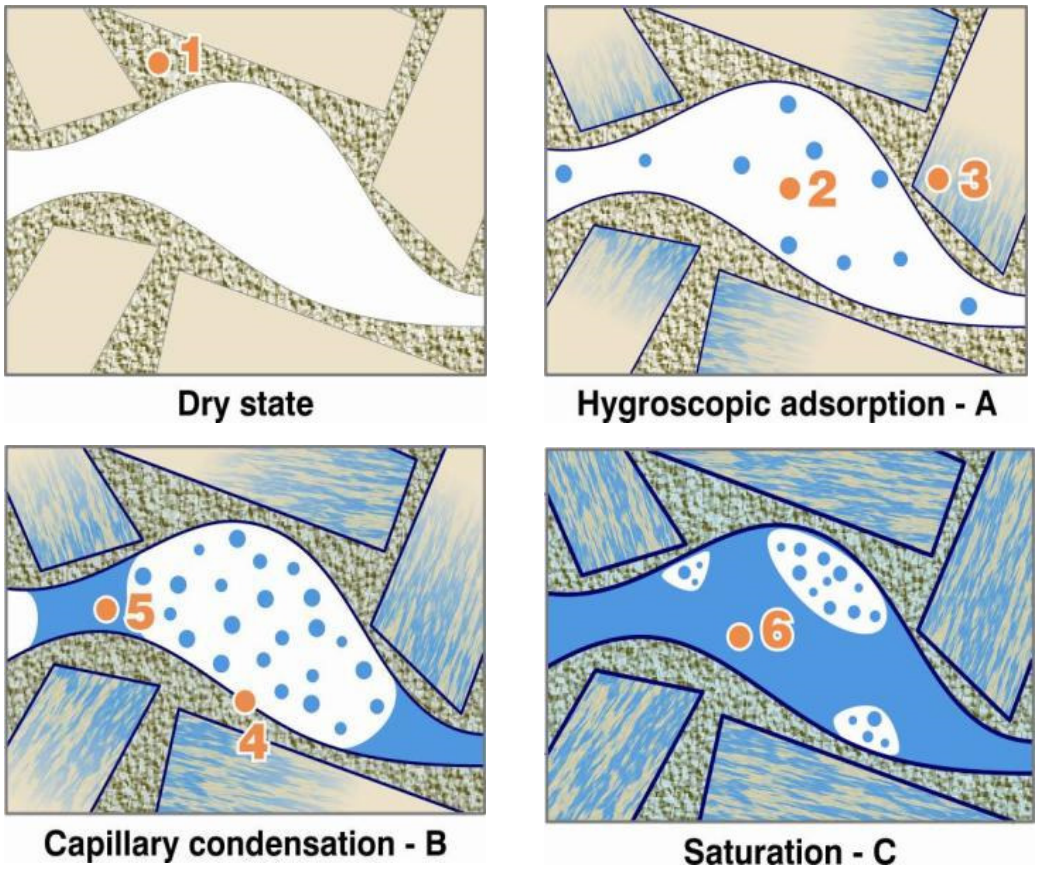
Introduction : matériaux

Huit paramètres sont indispensables aux calculs couplés du transfert et stockage dynamique de température et d'humidité dans les parois:

- **densité (ρ)** [kg/m³]
- **porosité (ε)** [%]
- **chaleur spécifique (c)** [J/kg]
- **conductivité thermique (λ)** [W/mK]
- **facteur de résistance à la diffusion de vapeur (μ)** [-]
- **taux d'humidité à 80 % HR (w_{80})** [kg/m³]
- **taux d'humidité à saturation capillaire (w_f)** [kg/m³]
- **coefficient d'absorption (A)** [kg/m²$s^{1/2}$]

Introduction : matériaux

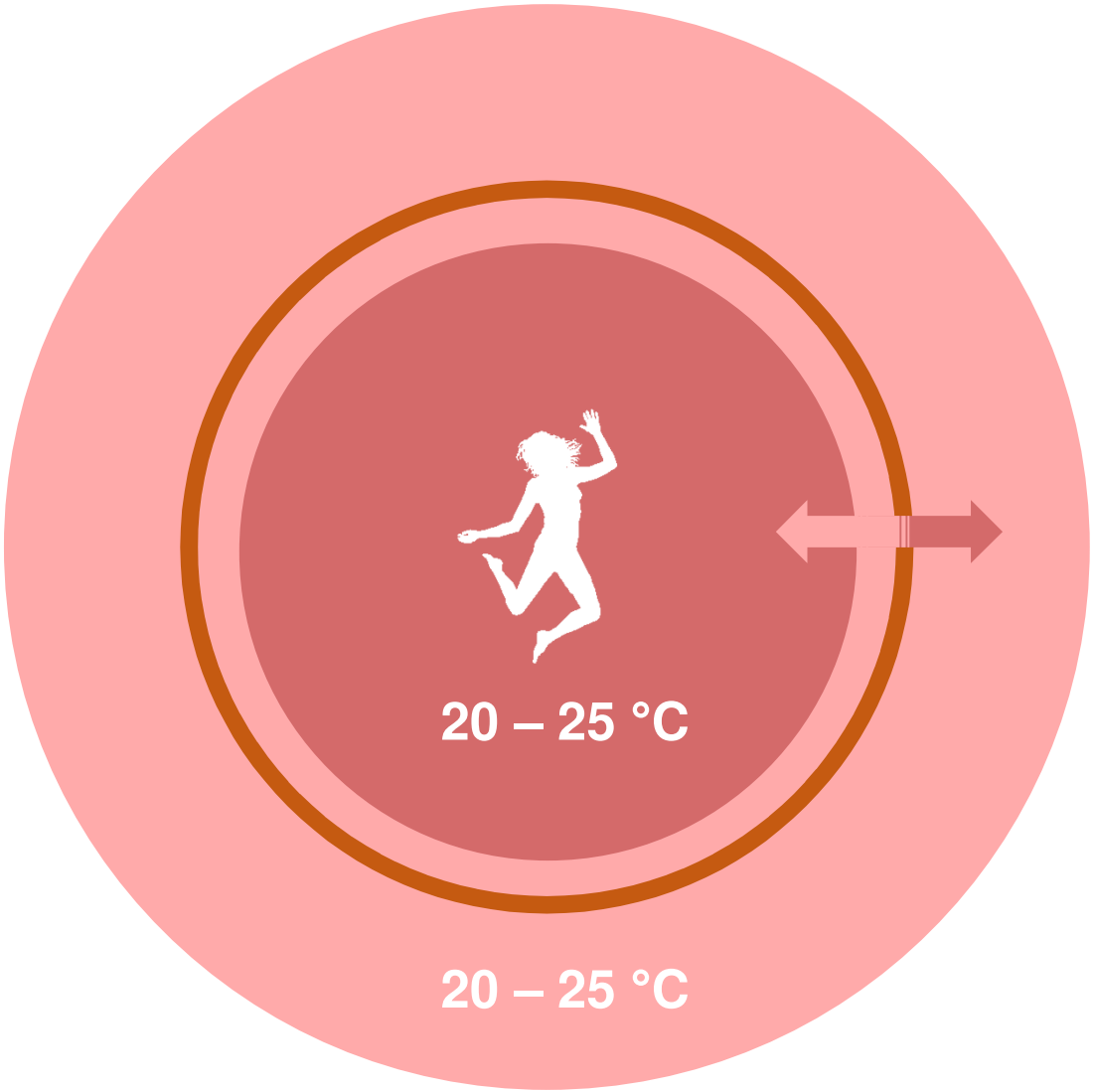
Pour certains matériaux, la présence d'humidité ne doit pas être négligée car elle influence les autres paramètres.

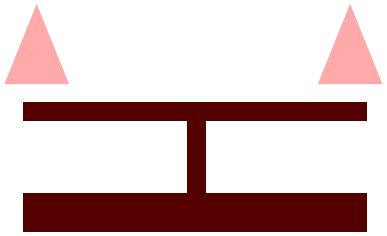


© A. Evrard, PhD UCL, 2008

1.Flux de **chaleur**

Flux de chaleur

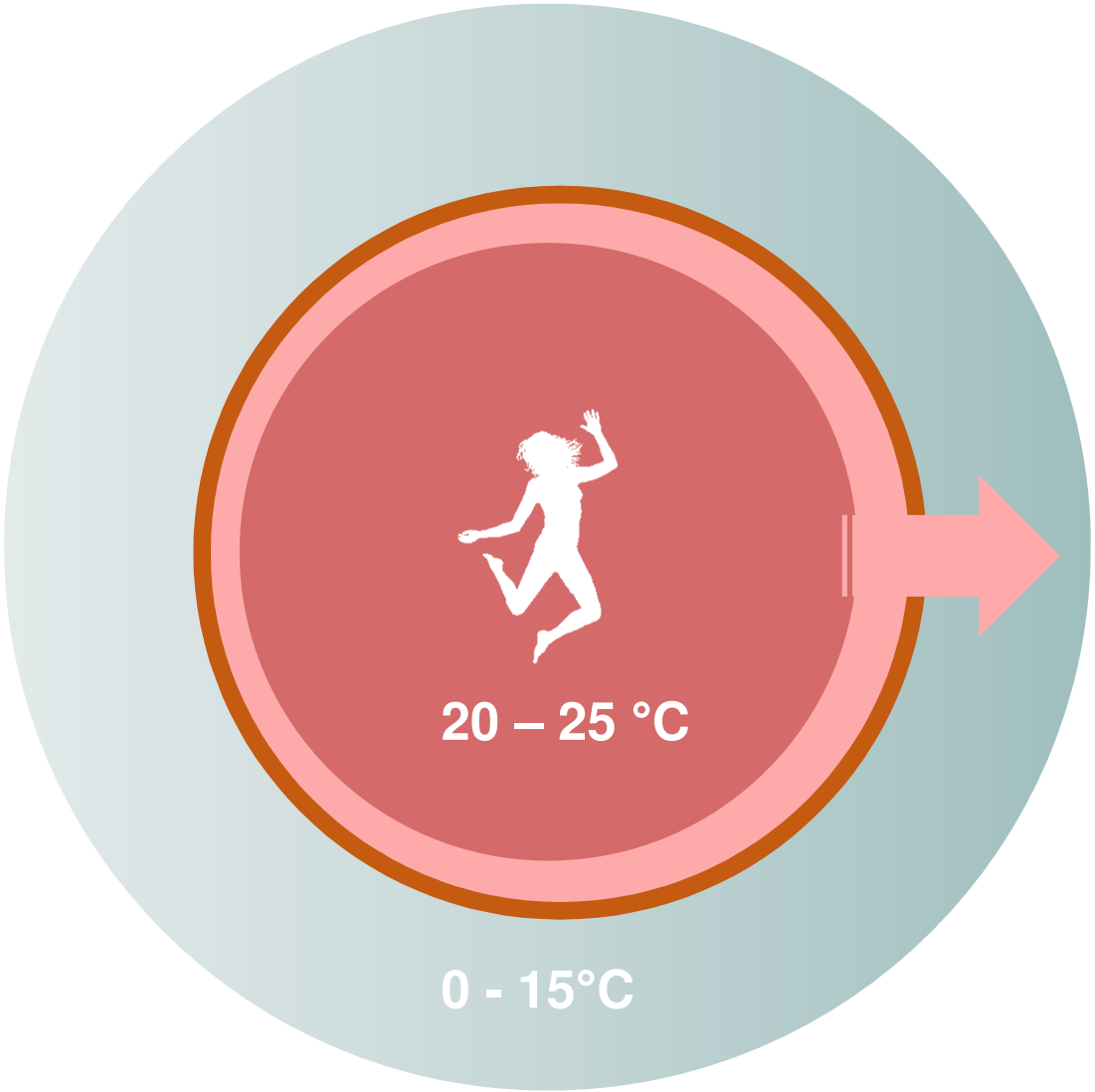


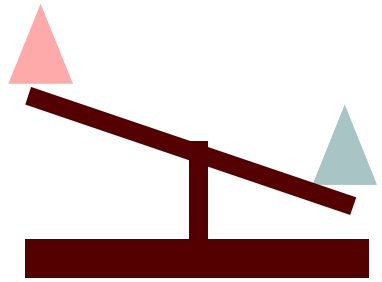


Une différence de température (ΔT), par exemple entre l'intérieur et l'extérieur, entraîne naturellement des flux de chaleur visant l'équilibre thermique.

© A2M

Flux de chaleur

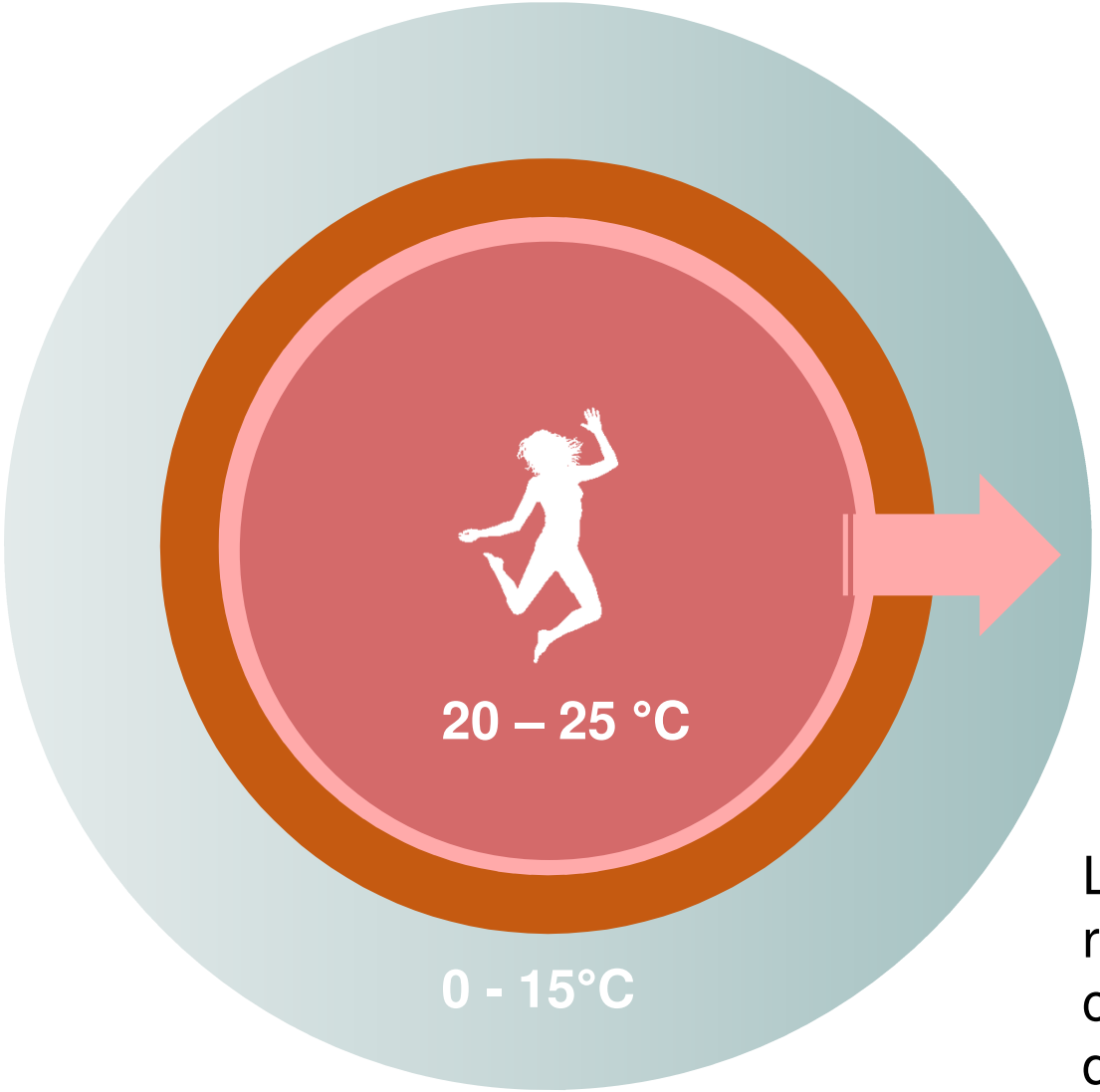


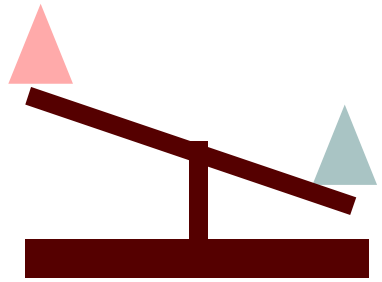


Une différence de température (ΔT), par exemple entre l'intérieur et l'extérieur, entraîne naturellement des flux de chaleur visant l'équilibre thermique.

© A2M

Flux de chaleur

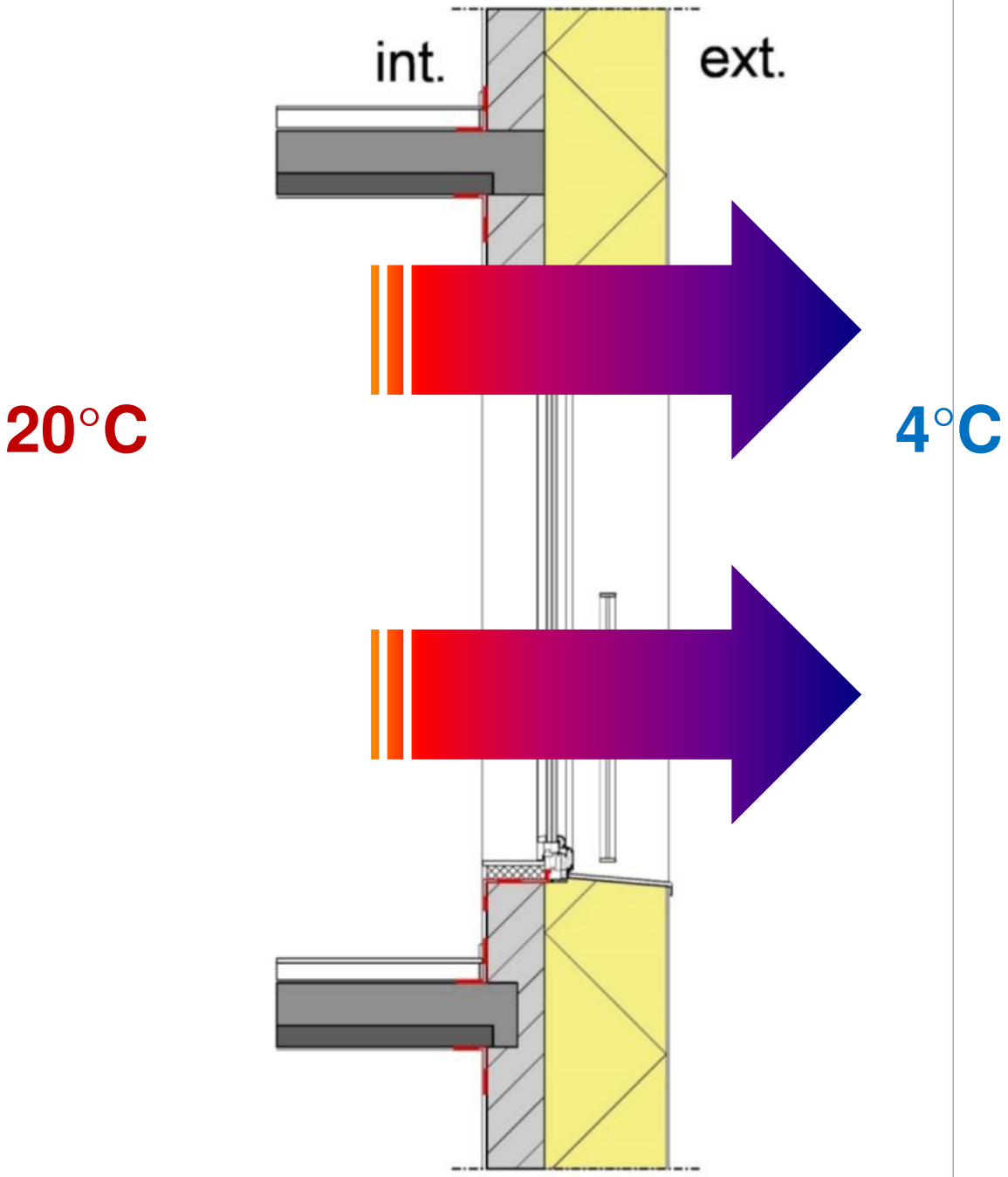




L'isolation des parois permet de résister à ces transferts, donc de conserver la chaleur (ou la fraîcheur) dans un volume défini.

© A2M

Flux de chaleur



© A2M

Flux de chaleur

U

Transmission thermique au travers d'une paroi

Flux de chaleur

U

Transmission thermique au travers d'une paroi

- Dépend des matériaux (épaisseur et valeur λ)
- Unité : W/m^2K

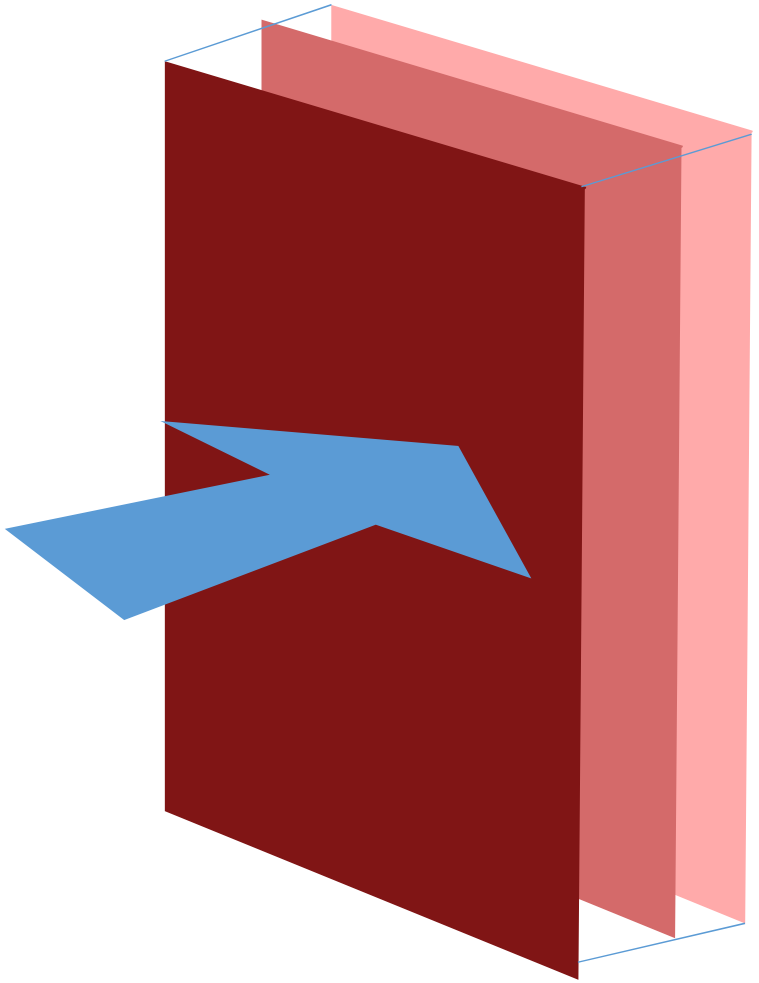
$U = 1/ (R1+R2+..)$

Avec

$R_i = d_i/\lambda_i$

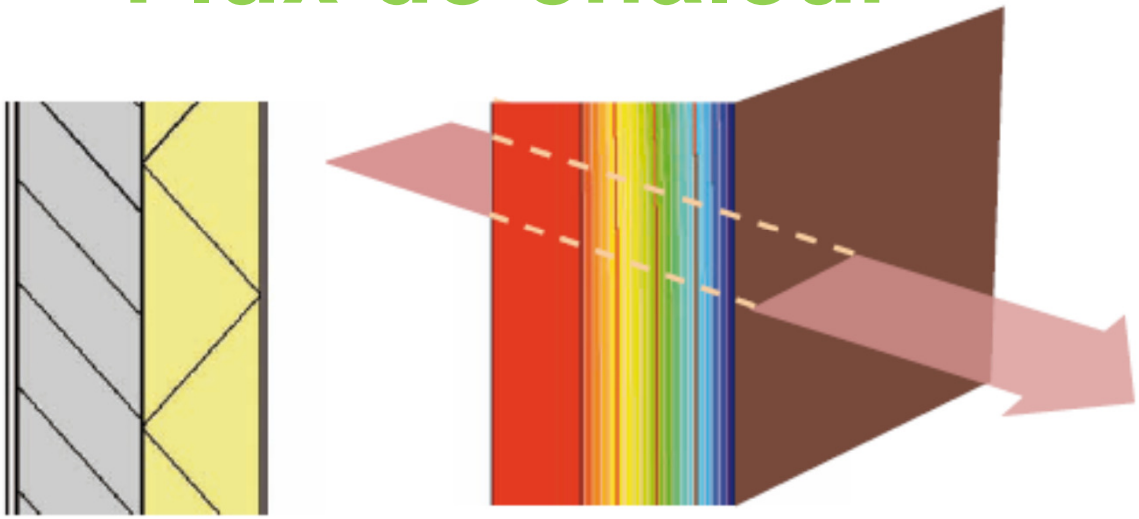
di = épaisseur

λi = conductivité thermique



© A2M

Flux de chaleur



© Architecture passive

- **ATG** (agrément technique belge)
- **ETA** (agrément technique européen)
- **certificat de conformité européen**
- valeur λ déterminée conformément à la **norme EN ISO 10456**

Valeur U moyennes paroi dans un bâtiment passif U = +/- 0,10 W/m²K

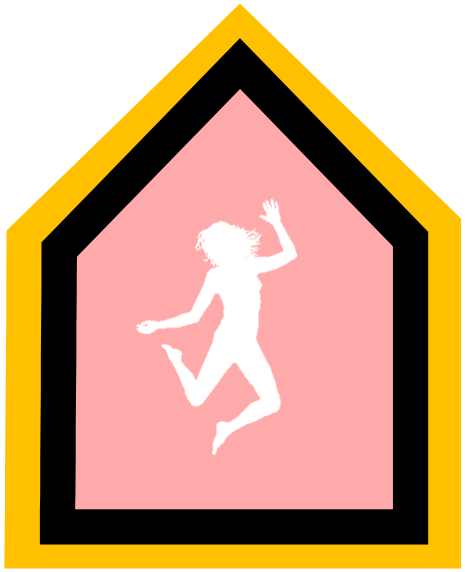
Flux de chaleur

Nombreux paramètres à prendre en compte :

- Conductivité thermique
- Résistance à la diffusion de vapeur d'eau
- Absorption et transfert d'humidité
- Capacité thermique
- Résistance à la compression
- Résistance au feu
- Impact écologique
- …

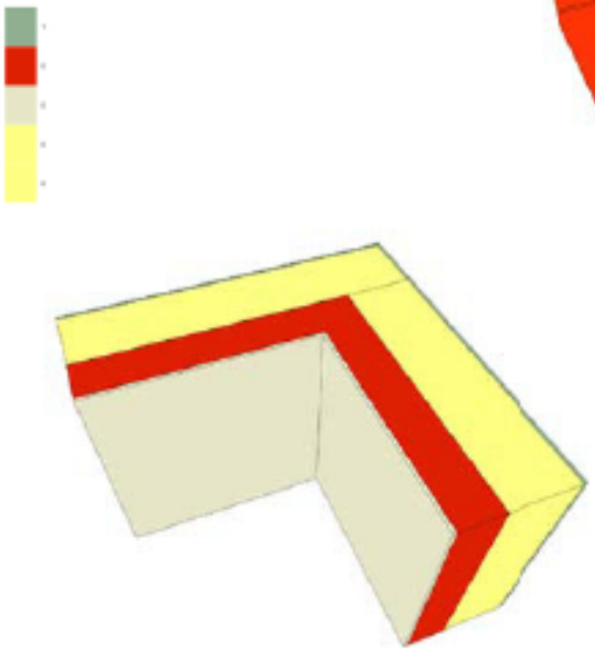
- Type de matériau suivant application (souple, rigide, en vrac, …)

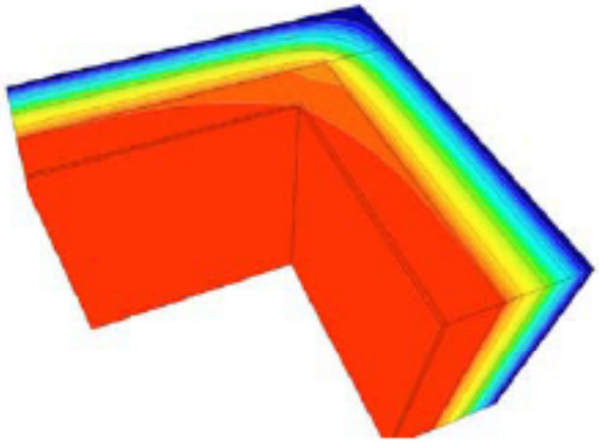
Flux de chaleur



Extérieure

© A2M





© Architecture passive

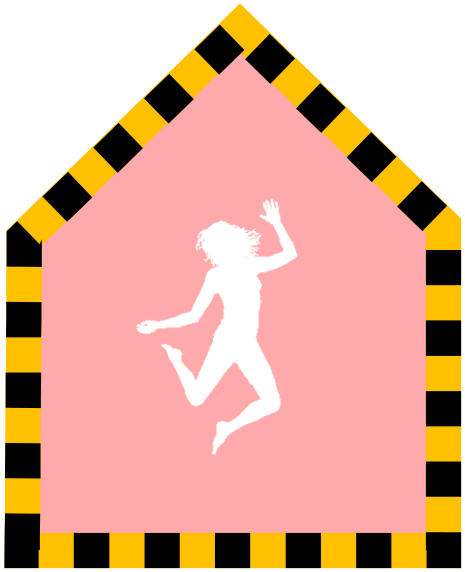
Flux de chaleur

© A2M

Flux de chaleur

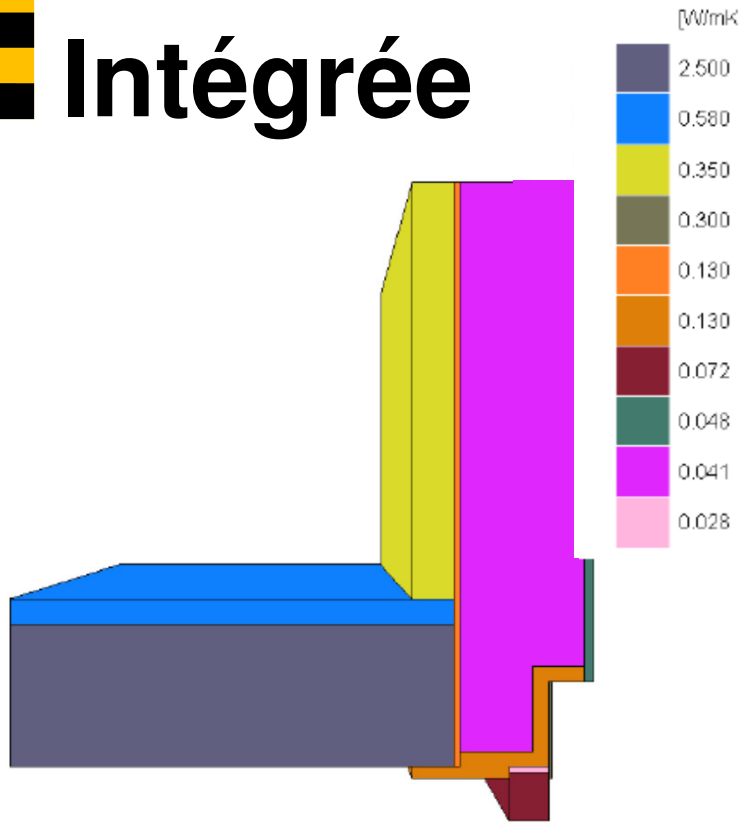
© A2M

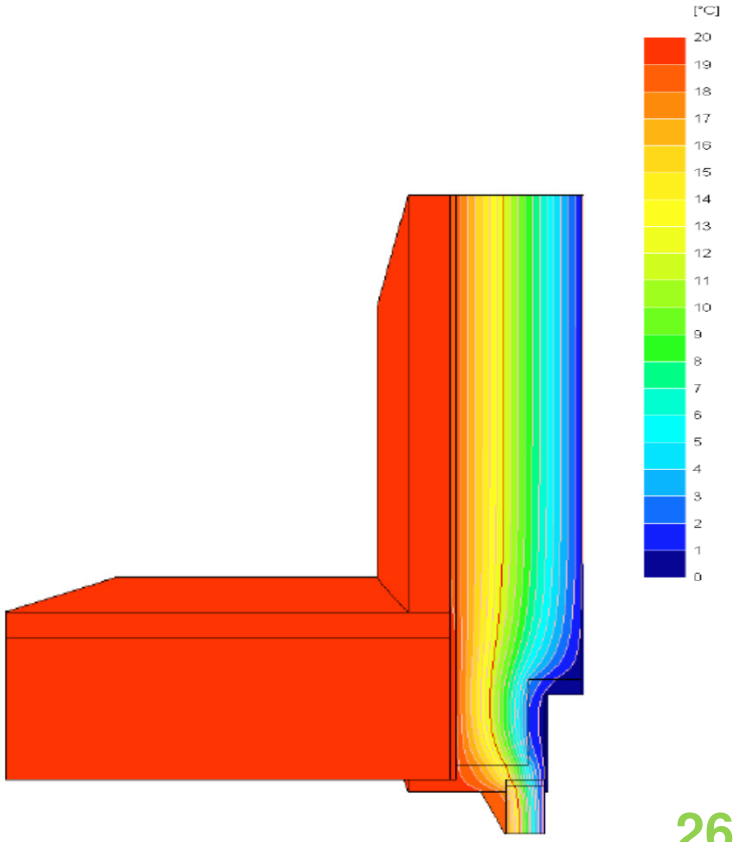
Flux de chaleur



Intégrée

© A2M



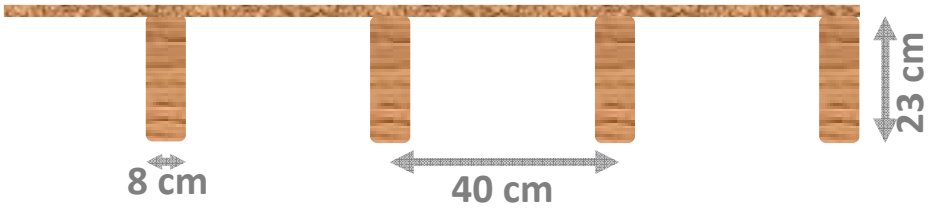


© Architecture passive

Flux de chaleur

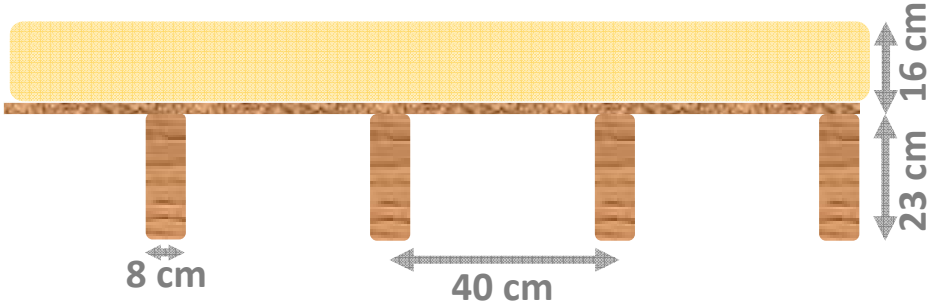
© A2M

Exemple : toiture plate



16 cm PU (λ = 0,024 W/mK)
+ 2,2 cm OSB (λ = 0,13 W/mK)

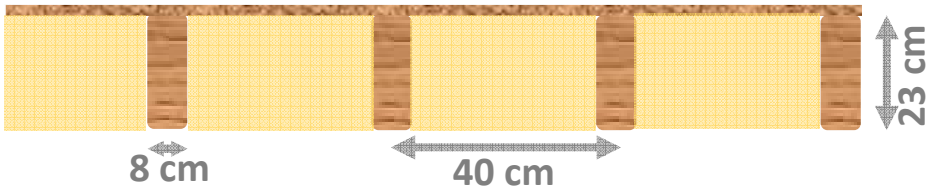
→ U total = 0,143 W/m²K

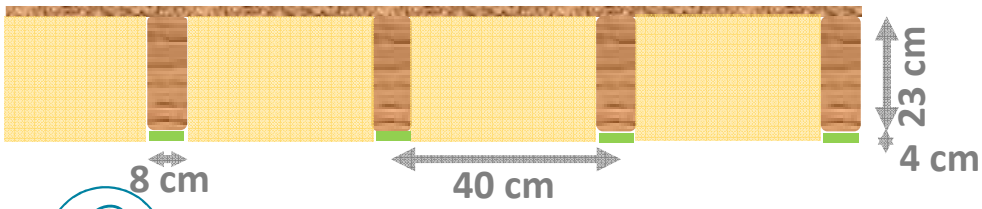


2,2 cm OSB (λ = 0,13 W/mK)
+ 23 cm cellulose (λ = 0,038 W/mK)
→ U total = 0,157 W/m²K

+ Gîtes bois entraxe 40 cm (λ = 0,15 W/mK)

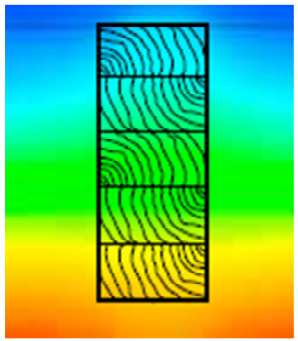
→ Si 20% bois : U total = 0,239 W/m²K

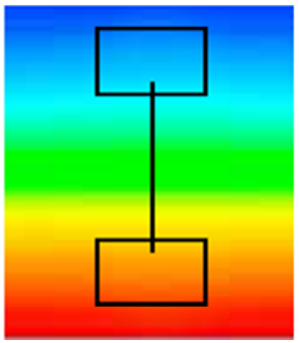




2,2 cm OSB (λ = 0,13 W/mK)
+ 27 cm cellulose (λ = 0,038 W/mK)
+ 4 cm celit (λ = 0,048 W/mK) au niveau des gîtes

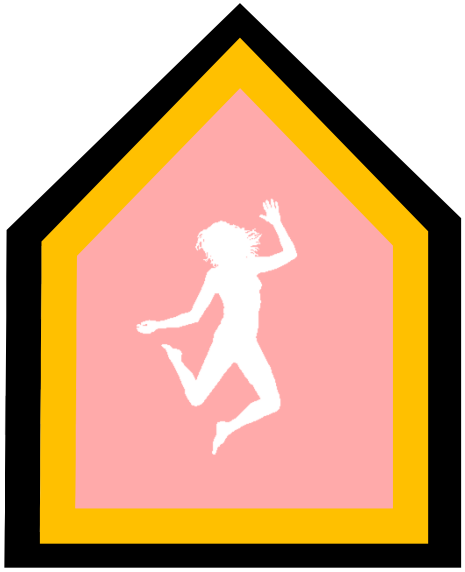
→ U total = 0,189 W/m²K





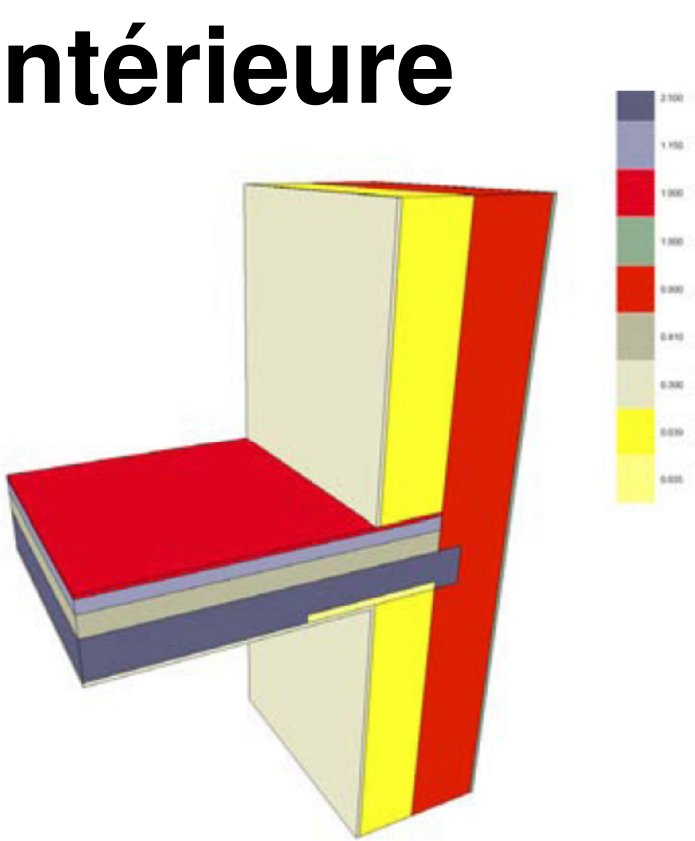
→ % de bois nettement réduit
→ +/- 2% →10 x moins!

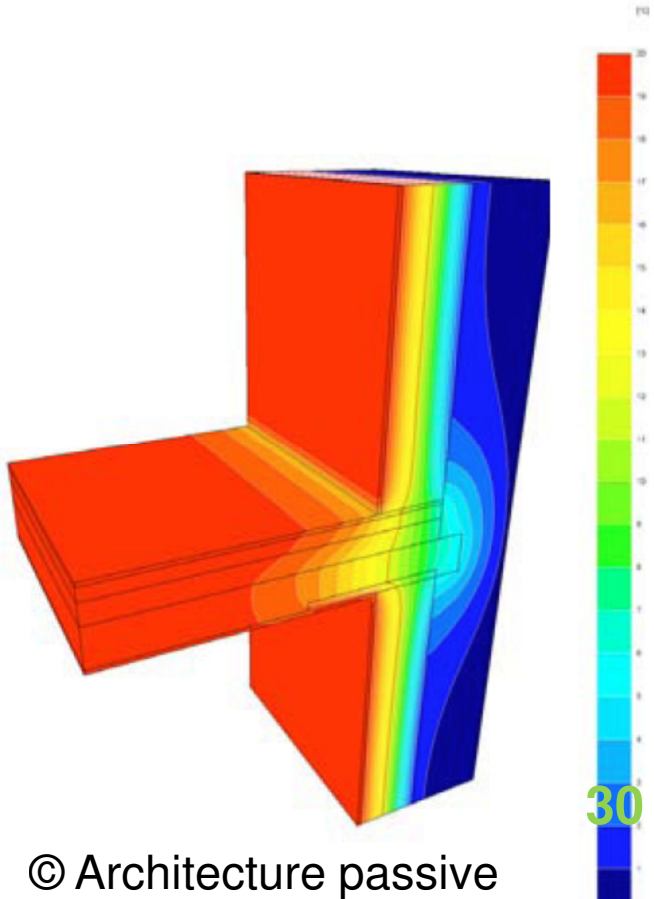
Flux de chaleur



Intérieure

© A2M





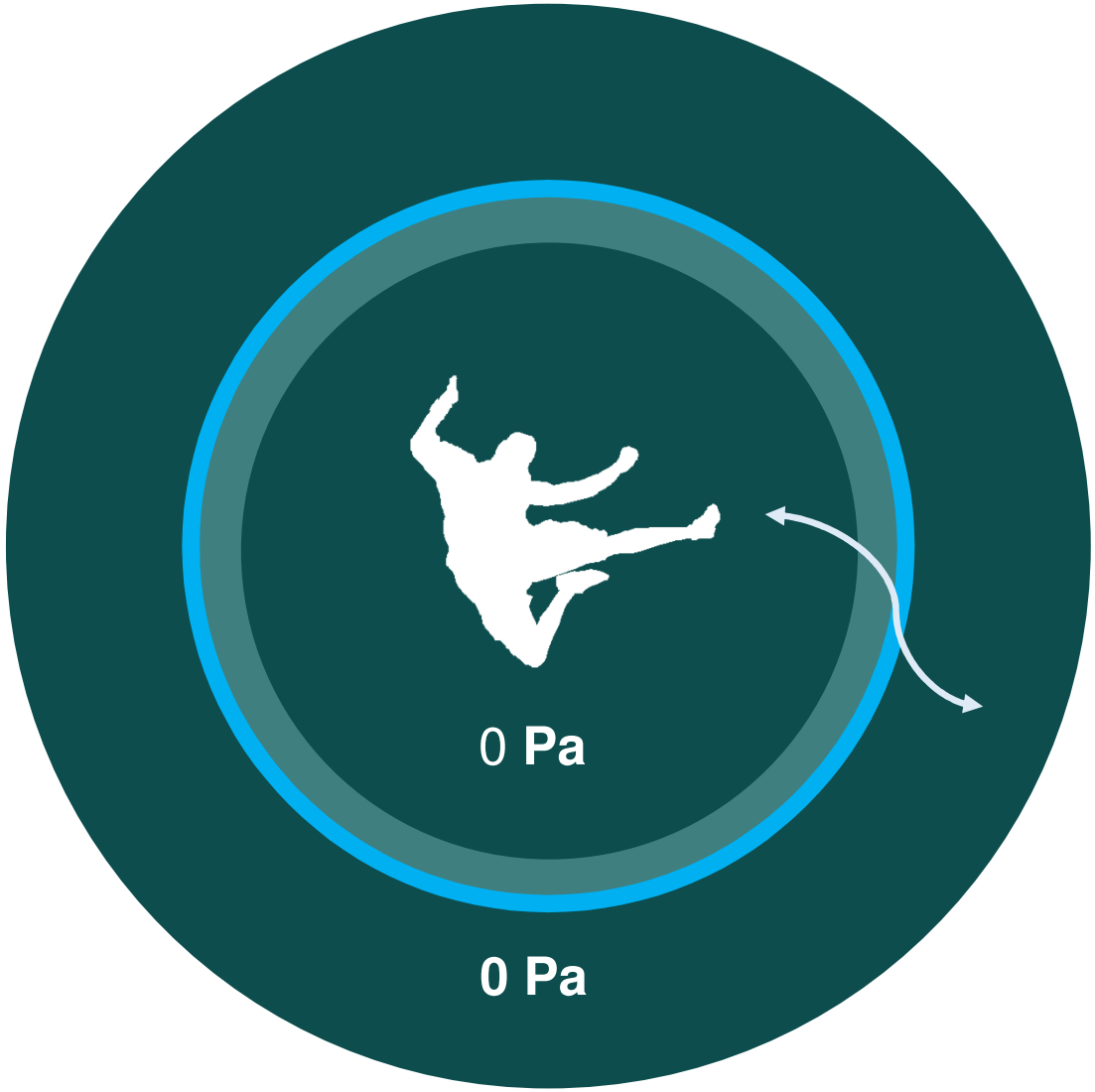
© Architecture passive

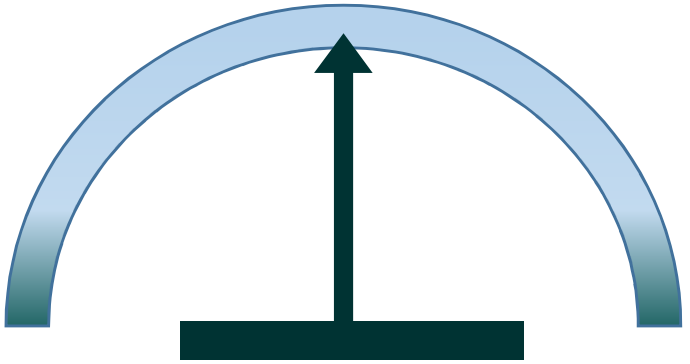
Flux de chaleur

© A2M

2.Flux d’**air**

Flux d’air

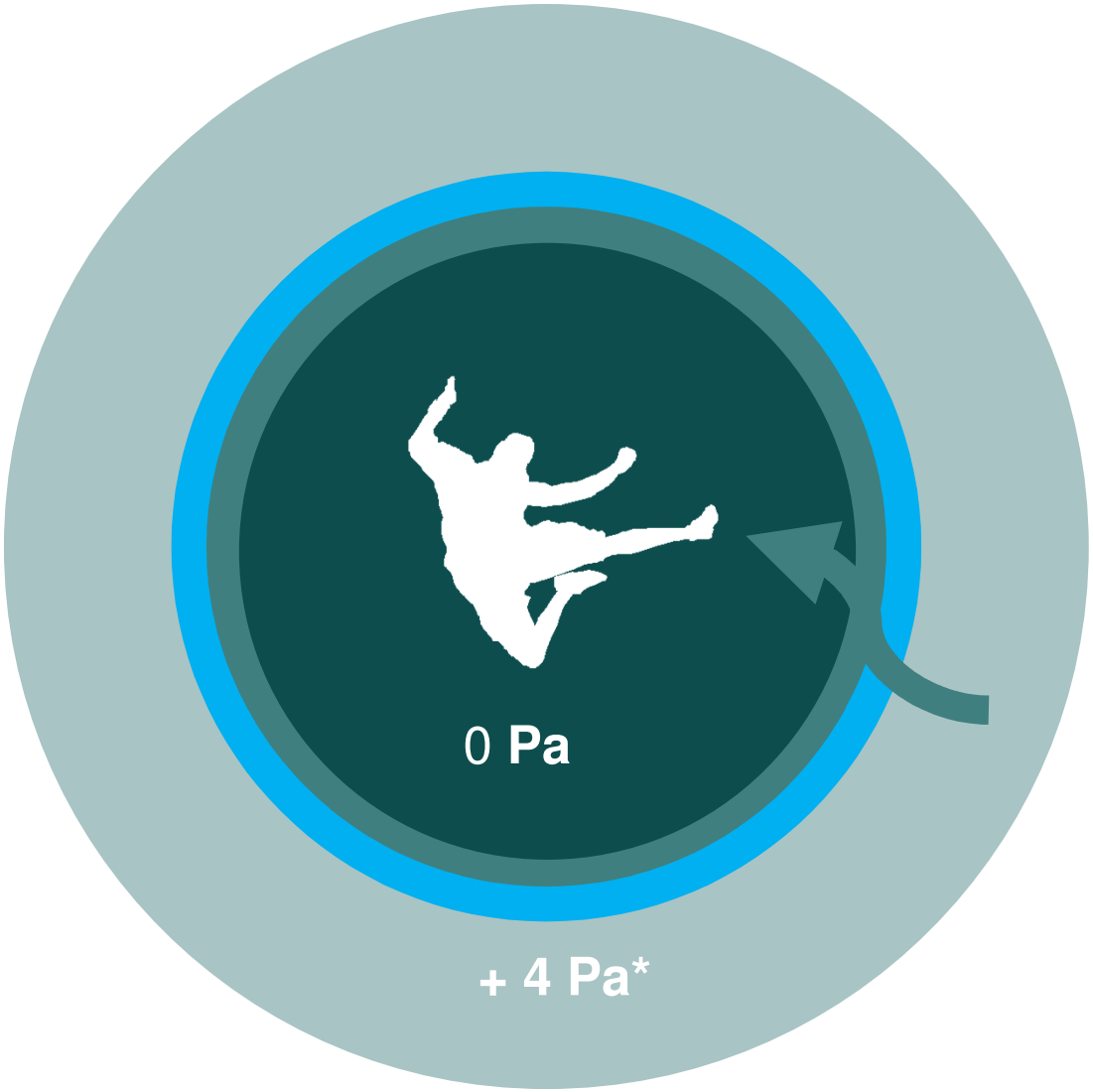


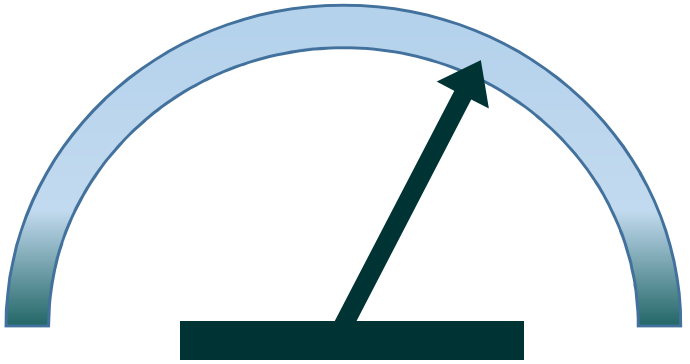


De la même manière qu'une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (ΔT) entraîne un flux de chaleur, une différence de pression d'air (Δp) entraîne des flux d'air à travers la paroi.

© A2M

Flux d’air





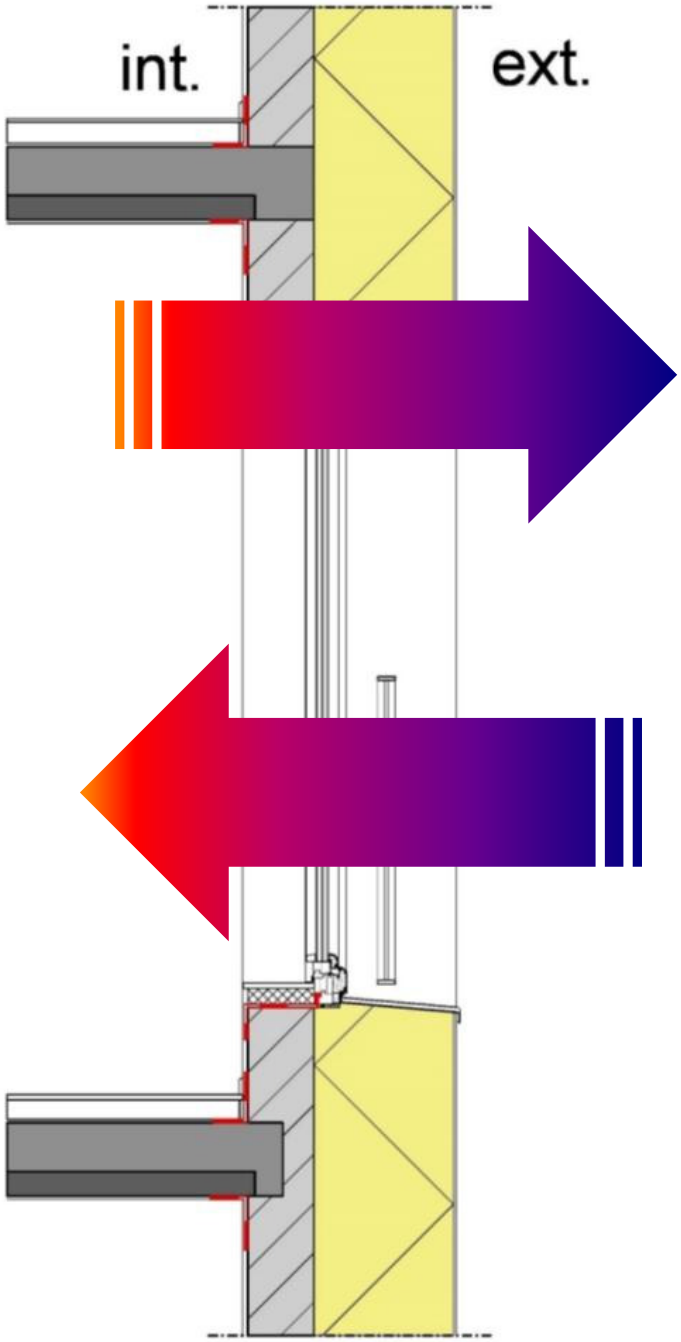
Ces flux d’air peuvent être soit contrôlés (via l’étanchéité à l’air et une ventilation mécanique), soit non contrôlés.
L’impact de flux non contrôlés est important point de vue

- Énergétique
- Sanitaire

* Différence de pression relative

© A2M

Flux d’air

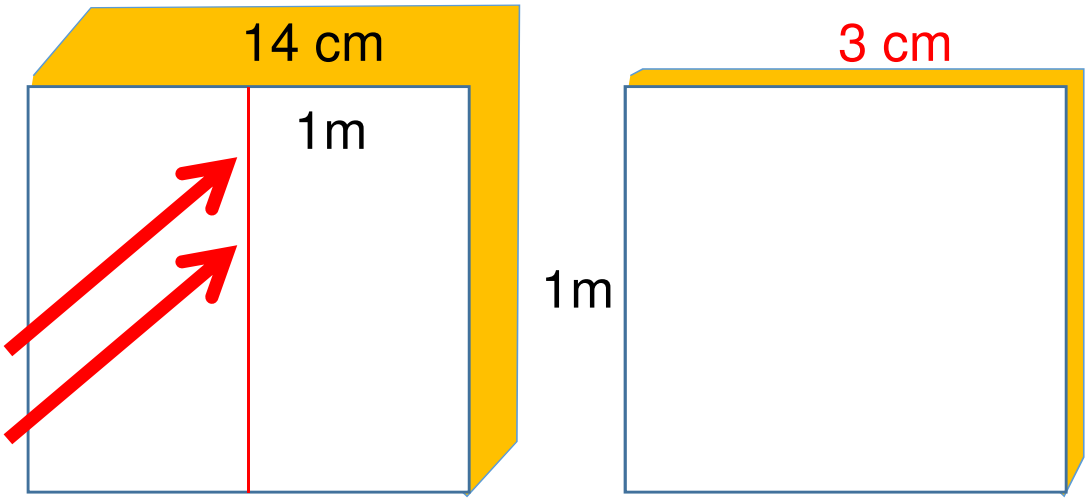


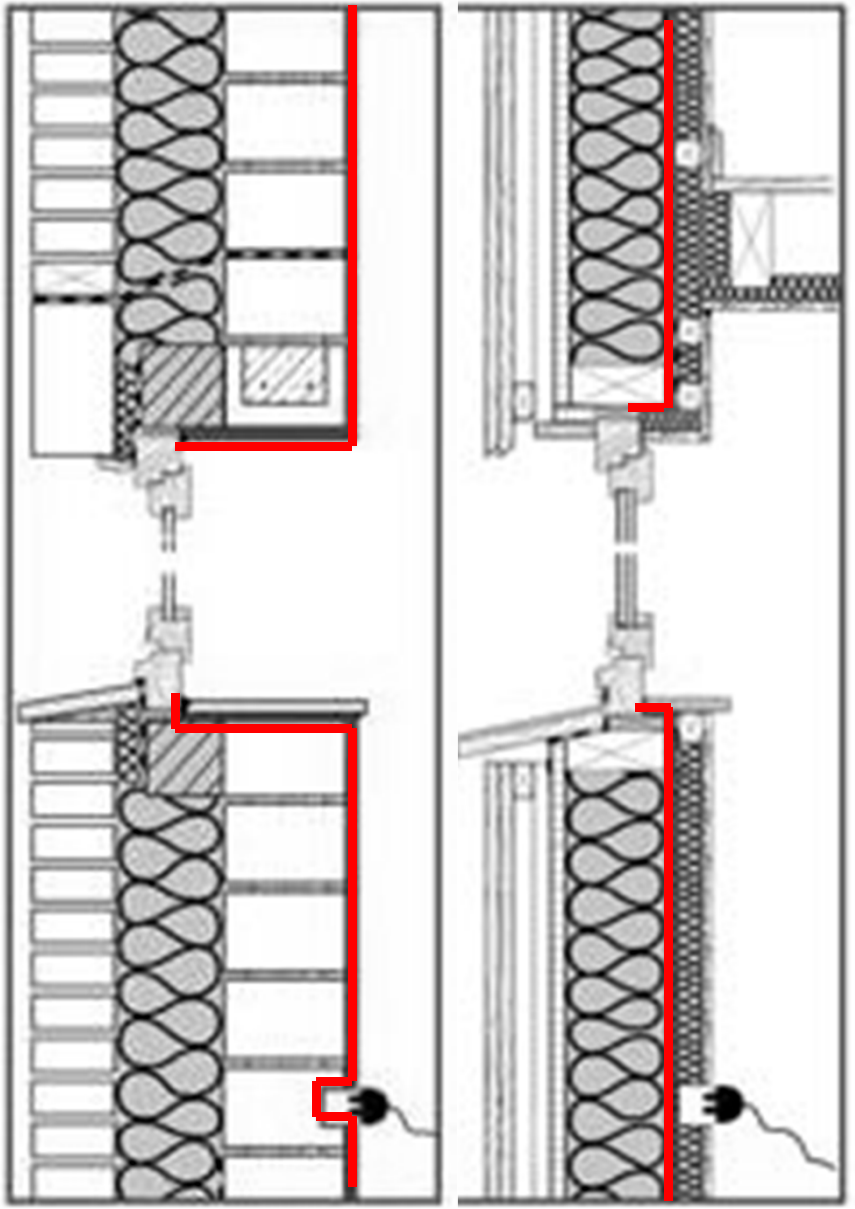
© A2M

Flux d’air

2 Etanchéité à l’air

Flux d’air





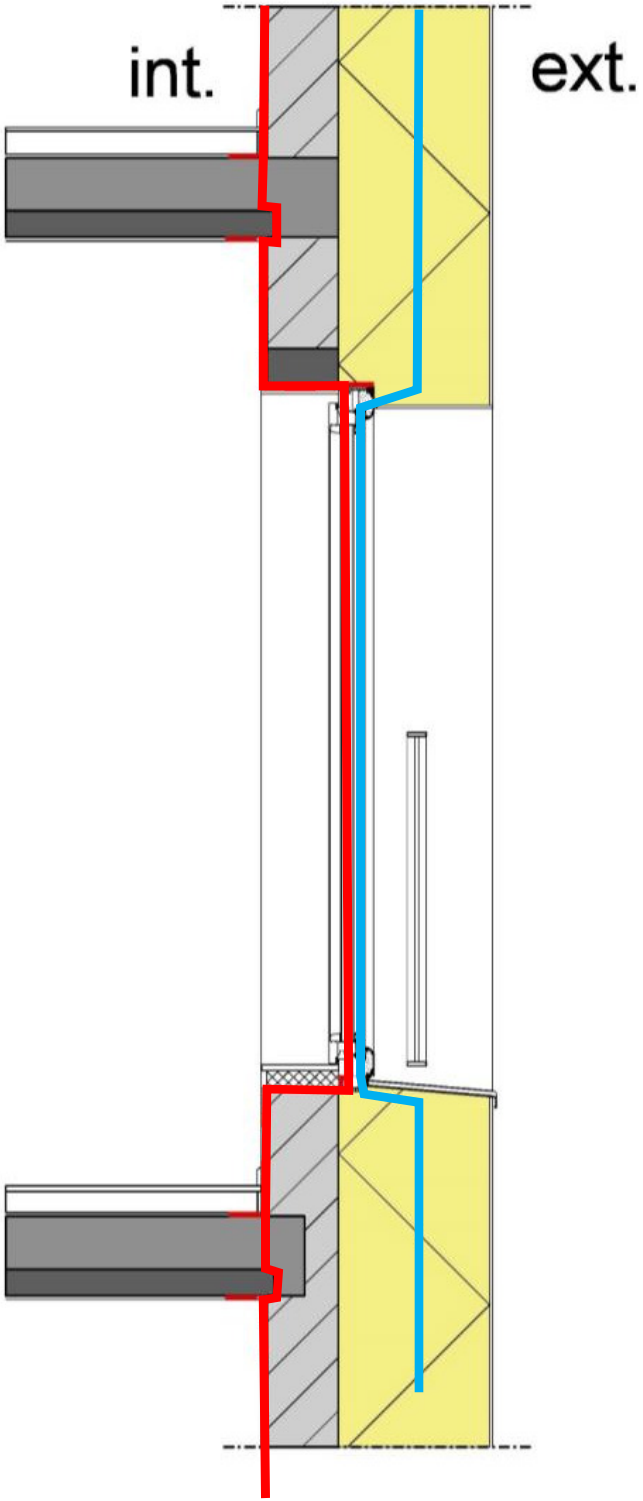
Fente de 1 mm

U = 0.3 W/m²K > U = 1.44 W/m²K ! Soit 4.8 x plus mauvais

© A2M

Calculé avec vent force 2-3 (20Pa), T° i= 20°C, T° e=-10°C

CONSTRUCTION LOURDE



CONSTRUCTION LEGERE

Flux d’air

NIT 255

Flux d'air

Pare-air

- Empêche l'air extérieur de pénétrer dans l'enceinte du bâtiment et l'air intérieur de s'en échapper
- Placé du côté chaud de l'isolant thermique (sauf cas particuliers)
- En général, les enduits intérieurs et les membranes pare-vapeur sont des pare-air.

Pare-vent

- Empêche les flux d'air générés par le vent de traverser l'isolant ou de s'infiltrer à l'arrière de celui-ci
- Placé du côté froid de l'isolation
- Une sous-toiture peut assurer à la fois le rôle de pare-pluie et de pare-vent.

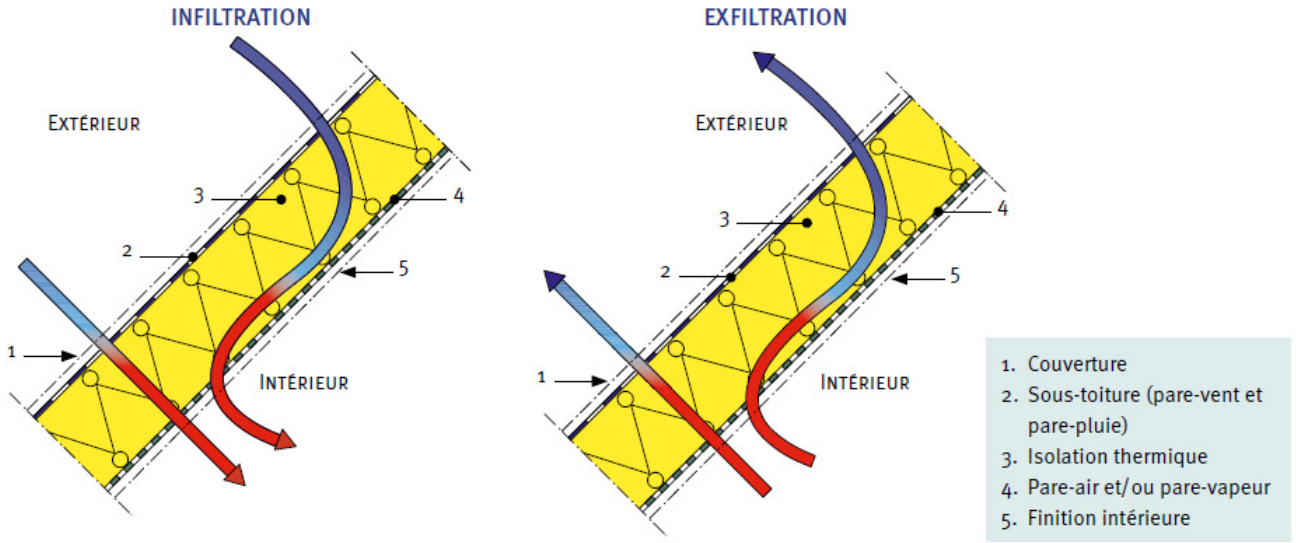


Fig. 3 Phénomènes d'infiltration et d'exfiltration d'air visés par cette NIT.

© CSTC - NIT 255

Flux d’air

Un pare-vent correctement mis en œuvre contre l’isolant thermique permettra de limiter les différences de pression de part et d’autre du pare-air. Il ne modifiera pas la présence éventuelle de fuites, mais contribuera à en limiter l’importance.

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

3.Flux d’**humidité**

Flux d’humidité

Le flux d’humidité peut prendre plusieurs formes :

- Liquide

- Gazeux (vapeur)

© A2M

Flux d’humidité

Flux de vapeur

Flux de vapeur

20°C

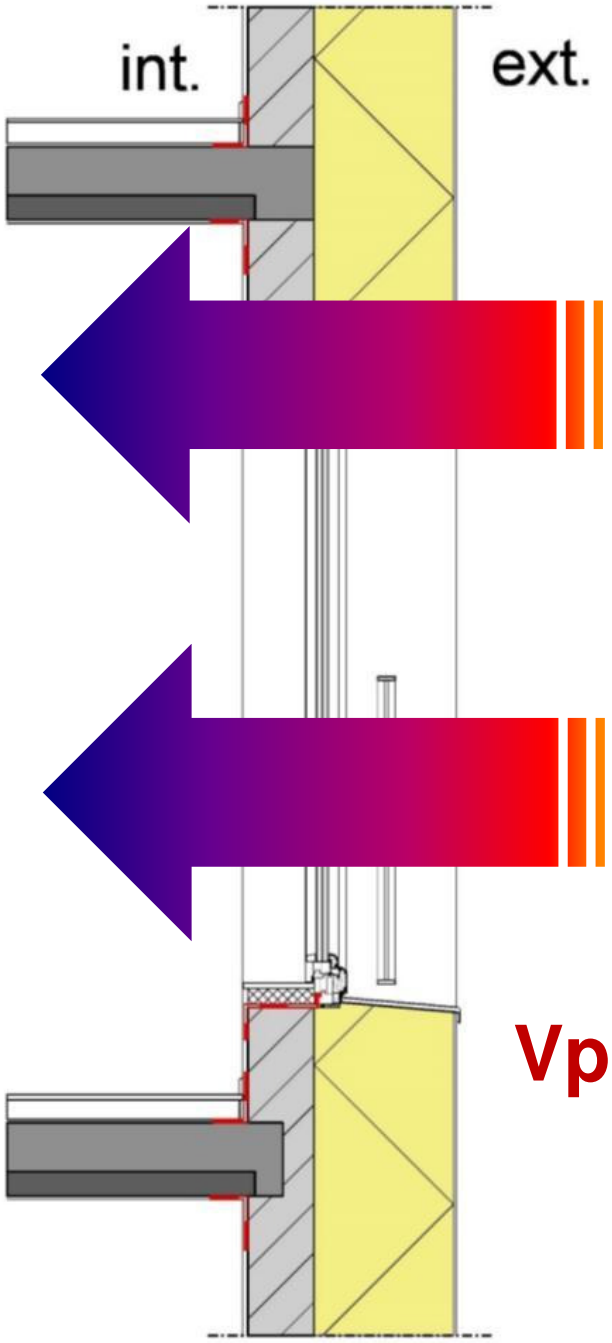
Vp : 120 Pa

4°C

Vp : 70 Pa

© A2M

Flux d’humidité : vapeur



20°C

28°C

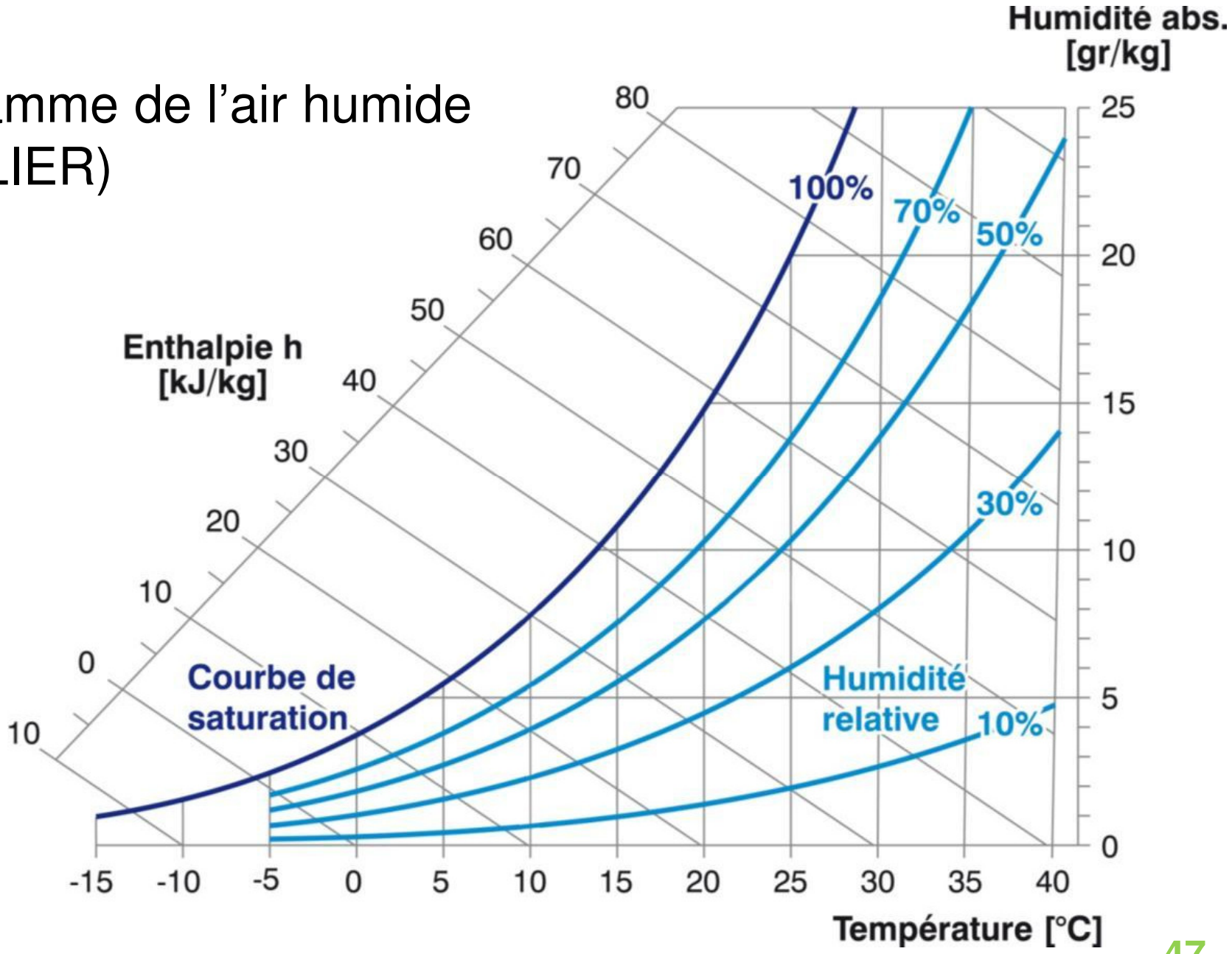
Vp : 120 Pa

Vp : 180Pa

© A2M

Flux d'humidité : vapeur

Diagramme de l'air humide (MOLLIER)

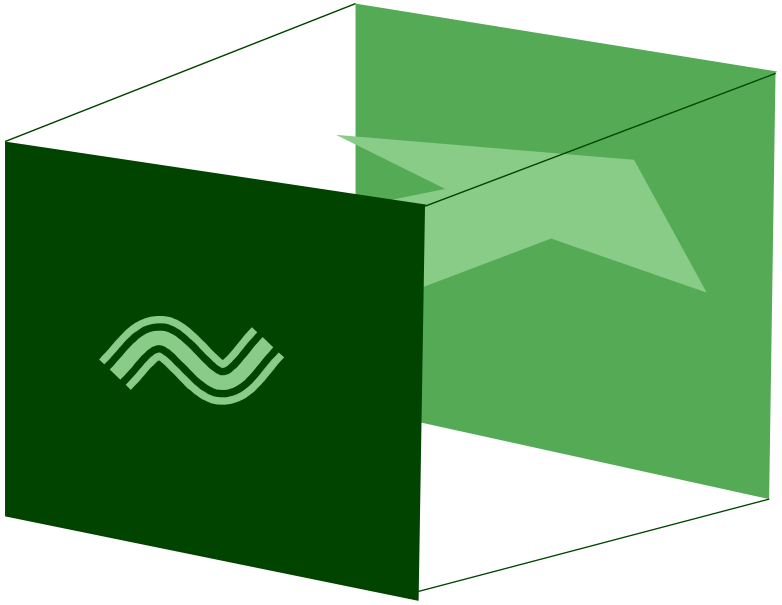


© Architecture et Climat

Flux d’humidité : vapeur

μ_d

= μ * épaisseur matériaux
Unité m
Avec
μ :
coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d’eau (par rapport à une couche d’air immobile)



© A2M

Flux d'humidité : vapeur

Matériau	Épaisseur (e)	Valeur Sd (μ x 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 Sd 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	+ ∞

* Valeurs commerciales n'ayant pas fait l'objet de vérification

Remarque : pour les matériaux très minces, souvent seule la valeur Sd est renseignée.

Par exemple

Intello : μd variable de 0,25 à 25 m

Vario : μd variable de 0,2 à 4 m…

Pare vapeur > 10m

Flux d’humidité : vapeur

perméabilité à la vapeur d'eau ≠ perméabilité à l'air

cf. NIT 255 :

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.

Flux d’humidité : vapeur

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

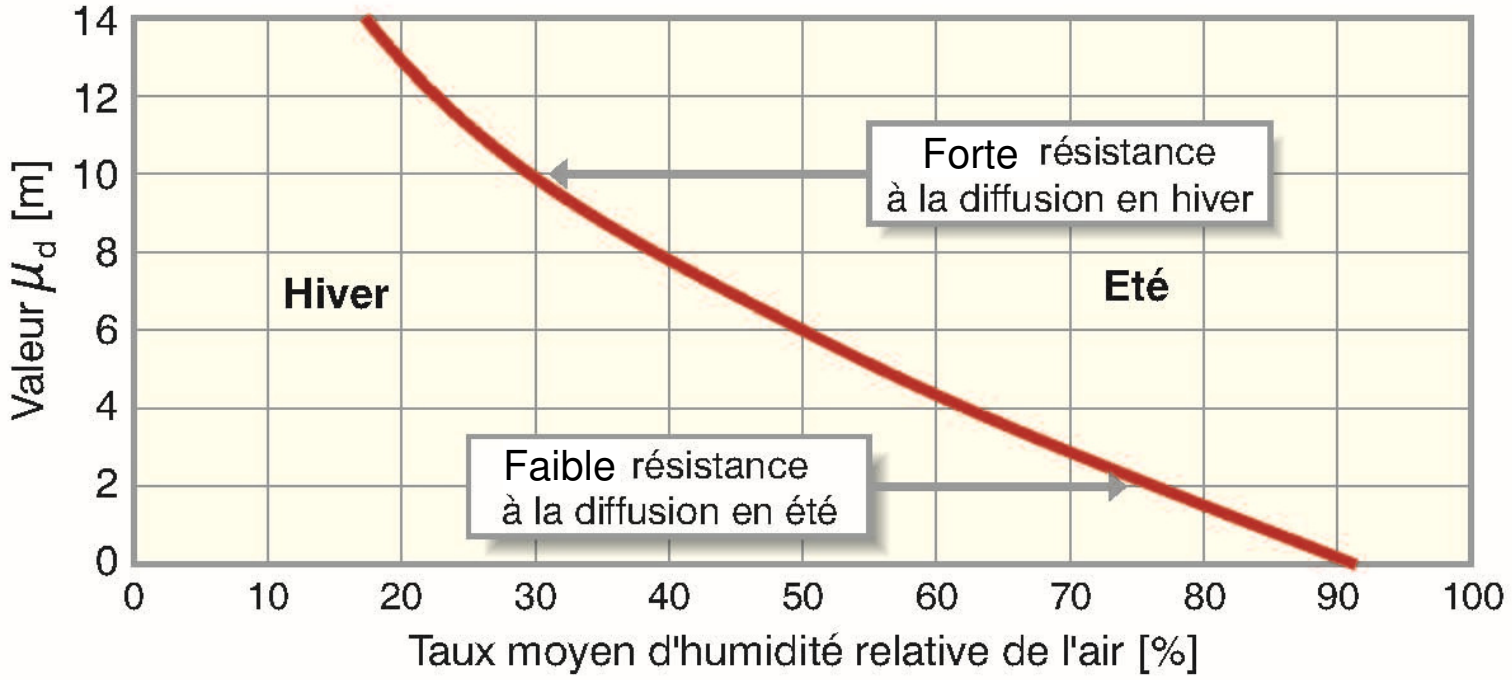
Pare-vapeur
généralement assimilé à une valeur µd fixe élevée
→ va donc limiter de manière importante la diffusion de la vapeur, quelles que soient les conditions d’utilisation

Frein-vapeur
(appellation commerciale)
généralement assimilé à un coefficient µd plus faible, dont la valeur limite n’est cependant pas fixée

Frein-vapeur hygrovariable
caractérisé par une valeur Sd 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)

Flux d'humidité : vapeur

Membrane freine-vapeur à Sd variable



© Architecture et Climat

Flux d’humidité : vapeur

Condensations

Superficielles

Internes

- Par convection
- Par diffusion

Certains systèmes constructifs présentent des risques plus importants : isolation par l’intérieur, ossature bois, toiture compacte, systèmes hybrides, grandes épaisseurs d’isolation, …

© A2M

Condensation superficielle

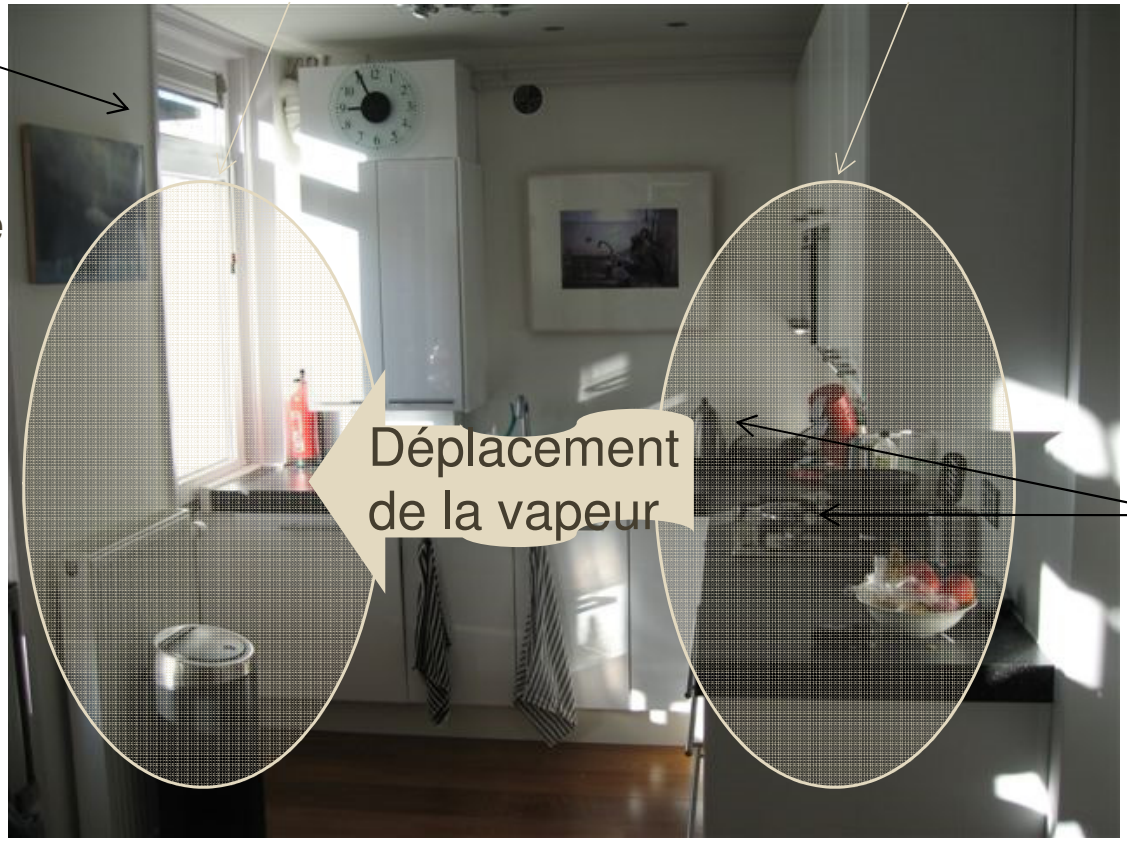
Exemple : Cuisine

Pression de vapeur faible

Pression de vapeur élevée (à la source)

Mur extérieur froid et fenêtre

Si la température à la surface est sous le **point de rosée** de l'ambiance, il y aura de la **condensation superficielle**.



Source de vapeur : Bouilloire et cuisson = haute température et grande quantité d'eau disponible.

Condensation superficielle

Exemple : Cuisine

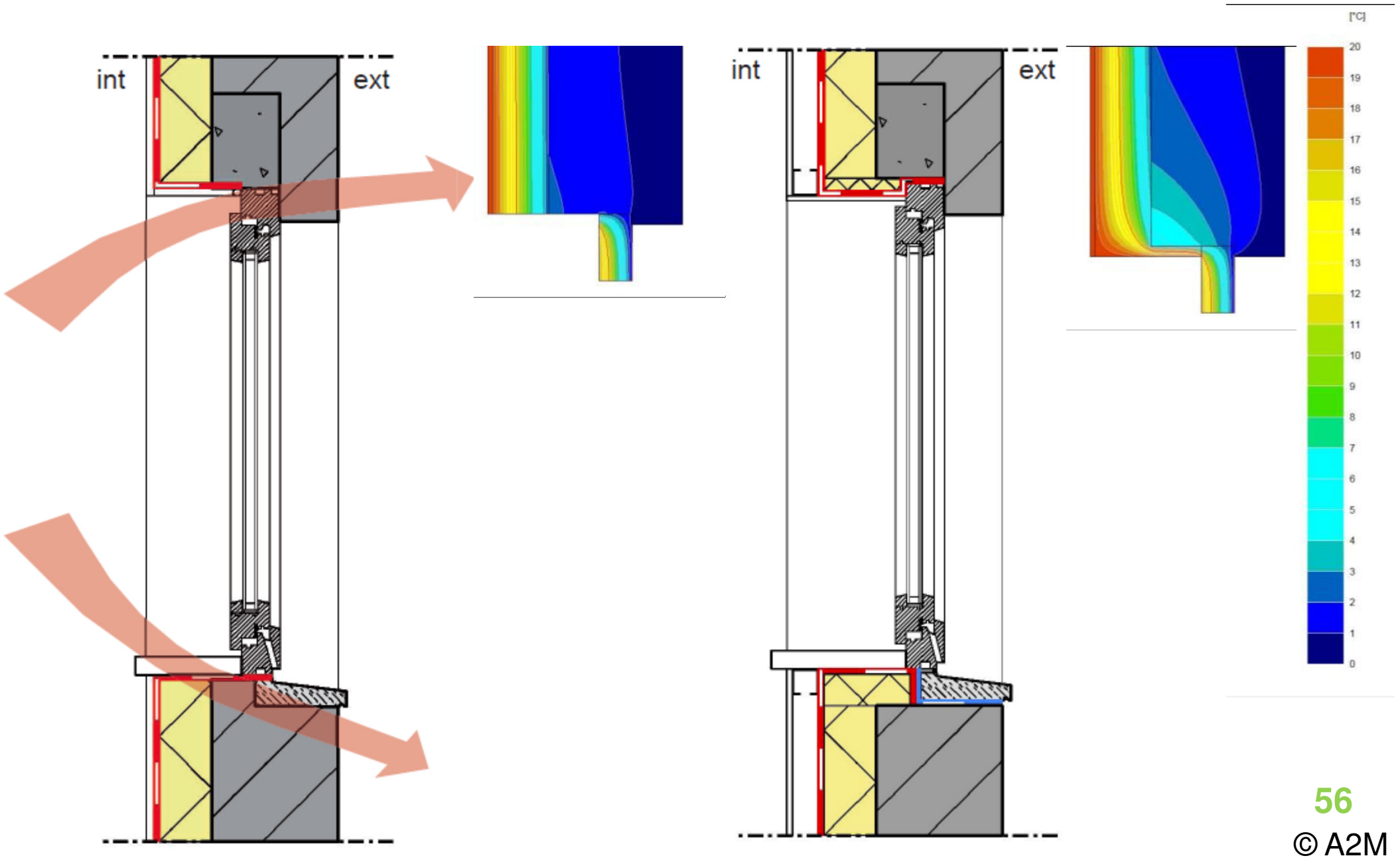
Pour éviter la condensation :

Ouverture de la fenêtre :
- crée un passage direct de la vapeur vers l'extérieur
- diminue la pression de vapeur intérieure

Hotte de cuisine :
- élimine la vapeur à la source
- diminue la pression de vapeur intérieure

Radiateur sur la surface froide pour maintenir la température au-dessus du point de rosée.

Condensation superficielle

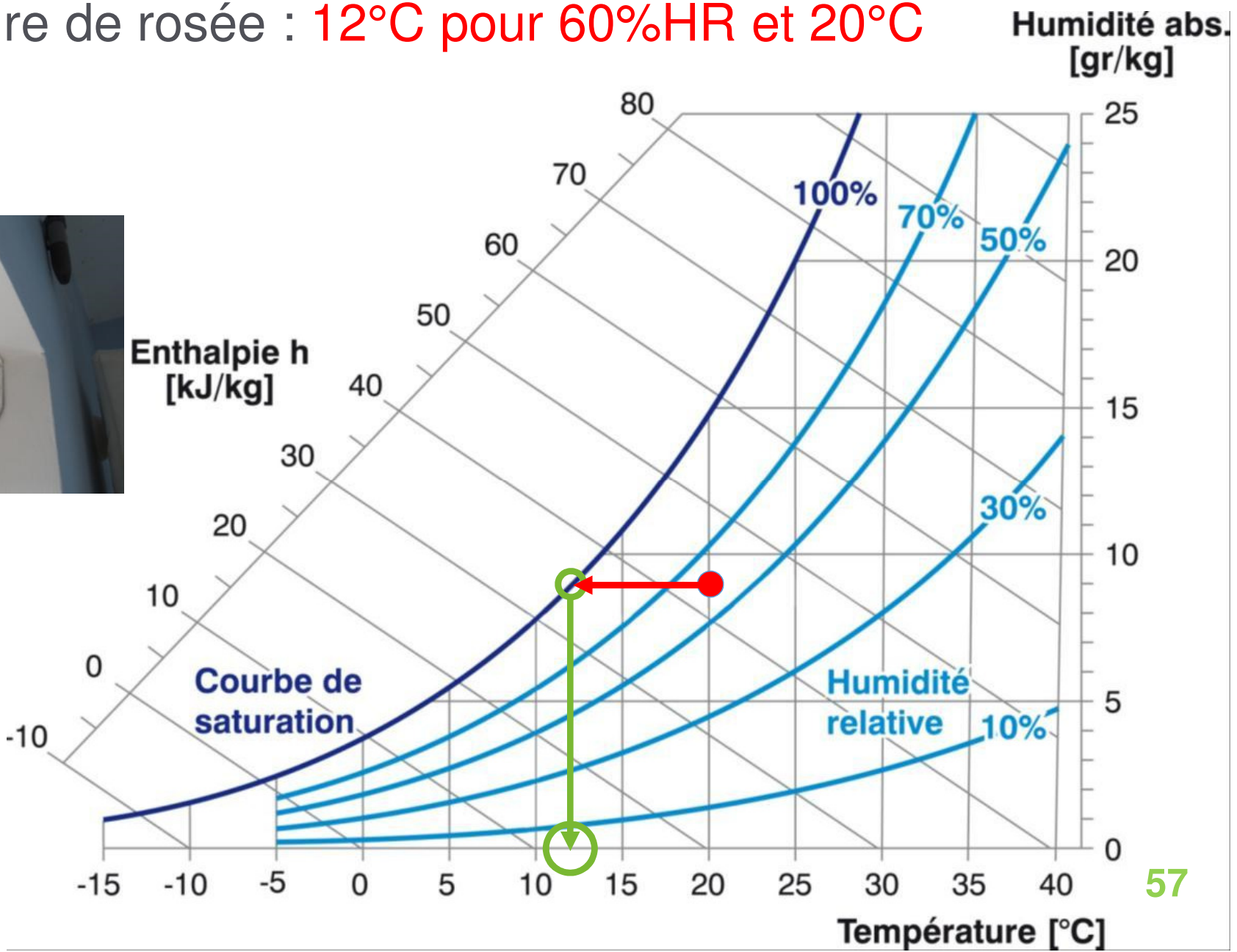


© A2M

Condensation superficielle

Température de rosée : 12°C pour 60%HR et 20°C

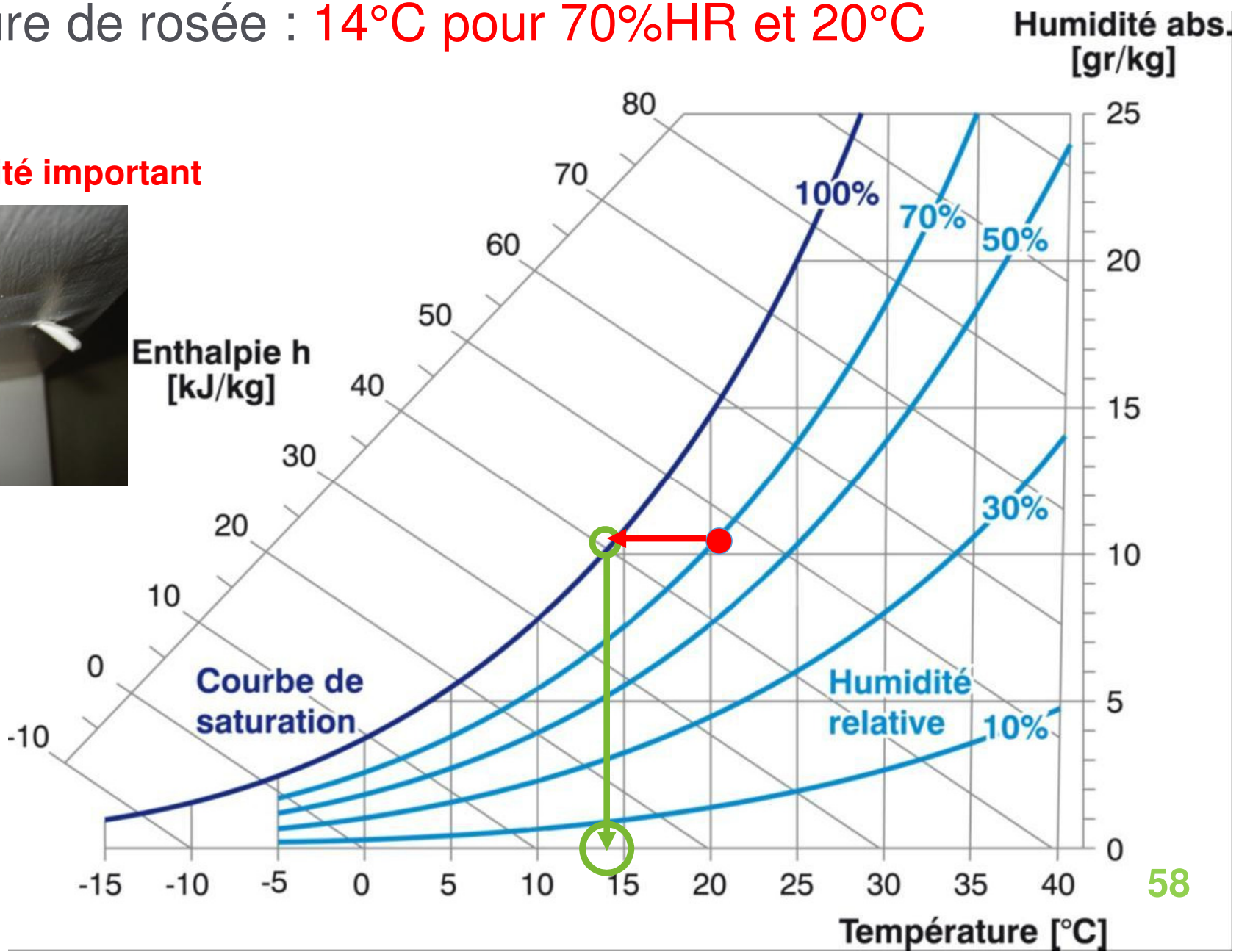
Surface froide



Condensation superficielle

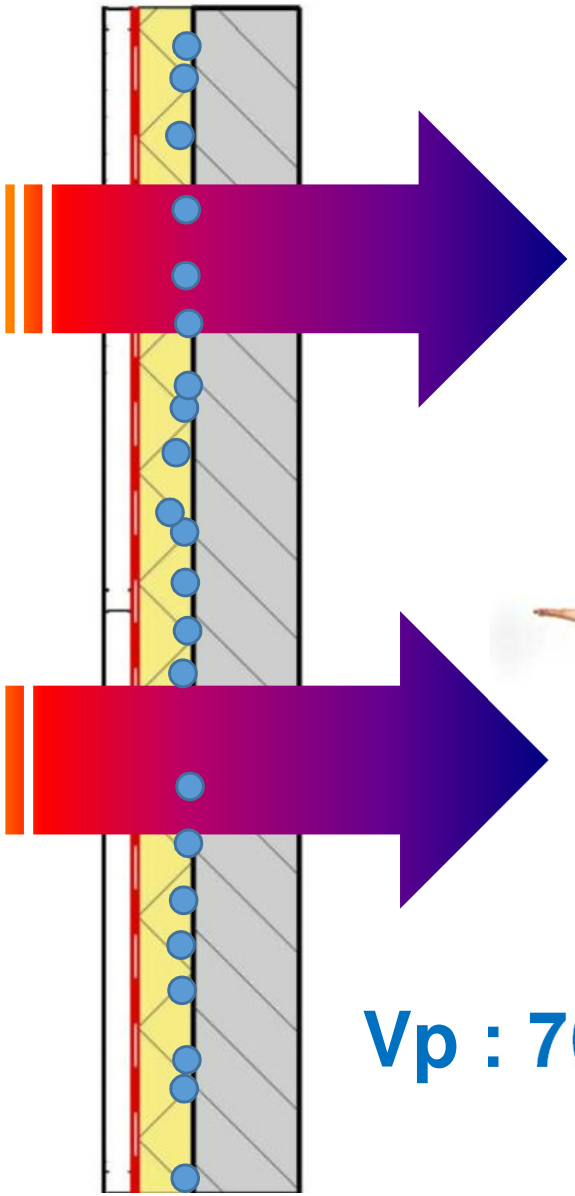
Température de rosée : 14°C pour 70%HR et 20°C

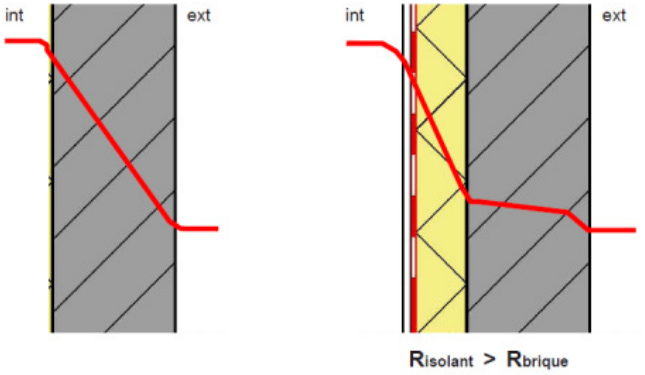
Surface froide
Ou degré d'humidité important



Condensation interne par diffusion

int. ext.





Risolant > Rbrique

20°C

4°C

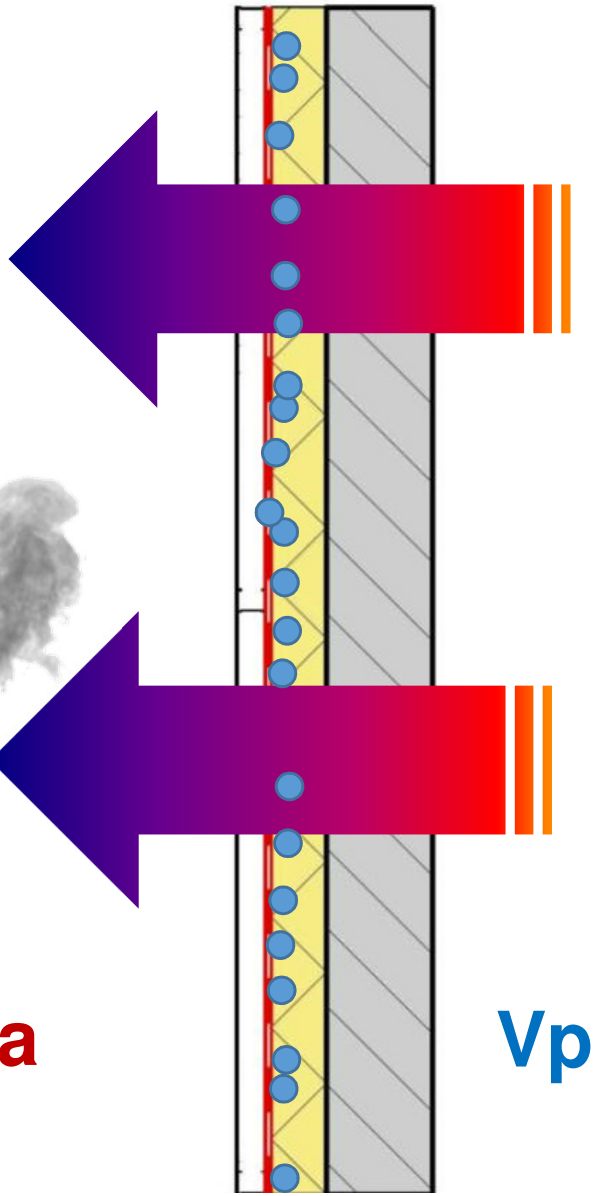
Vp : 120 Pa

Vp : 70 Pa

© A2M

Condensation interne par diffusion

int. ext.



19°C

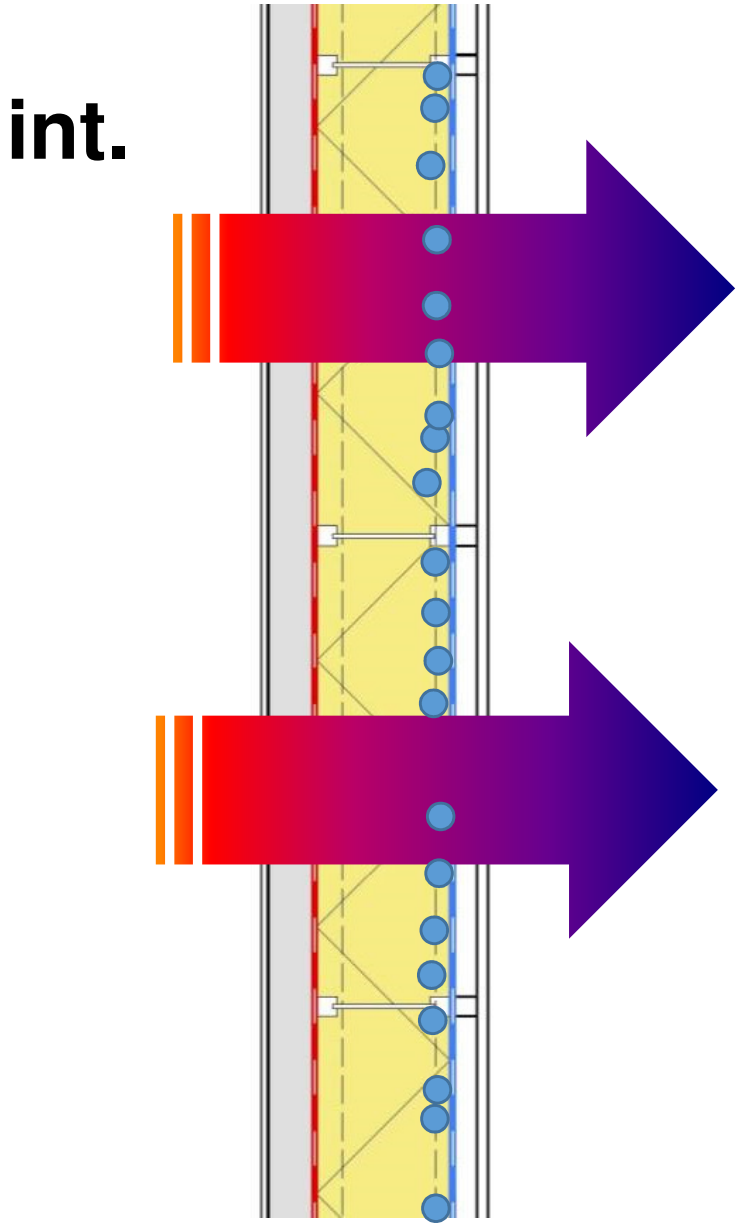
28°C

Vp : 120 Pa

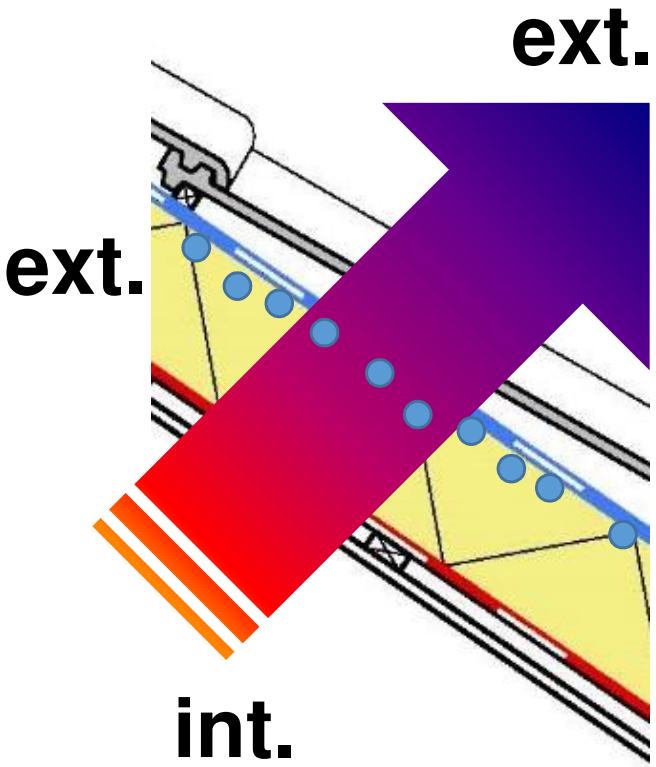
Vp : 180 Pa

© A2M

Condensation interne par diffusion

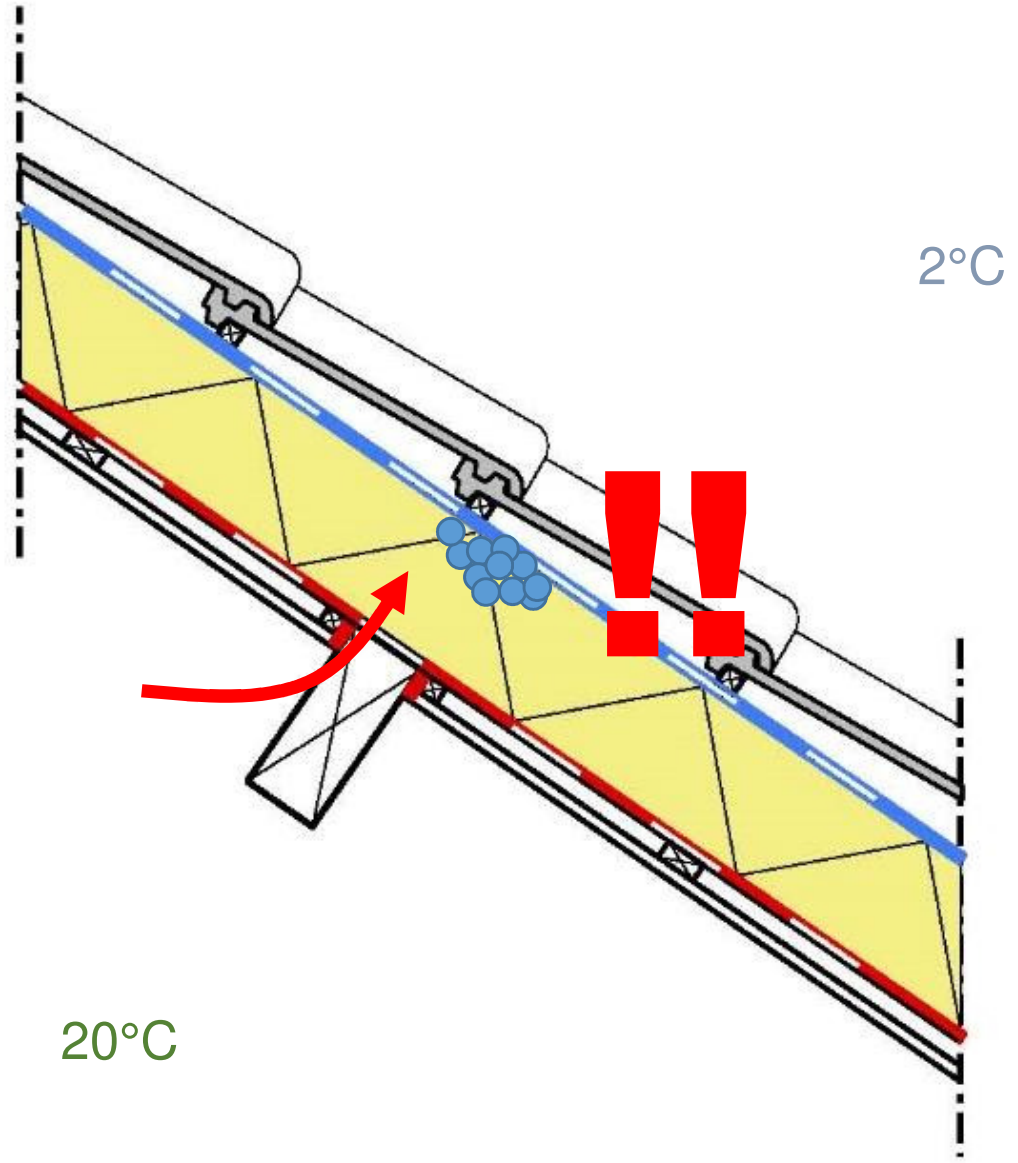


© A2M

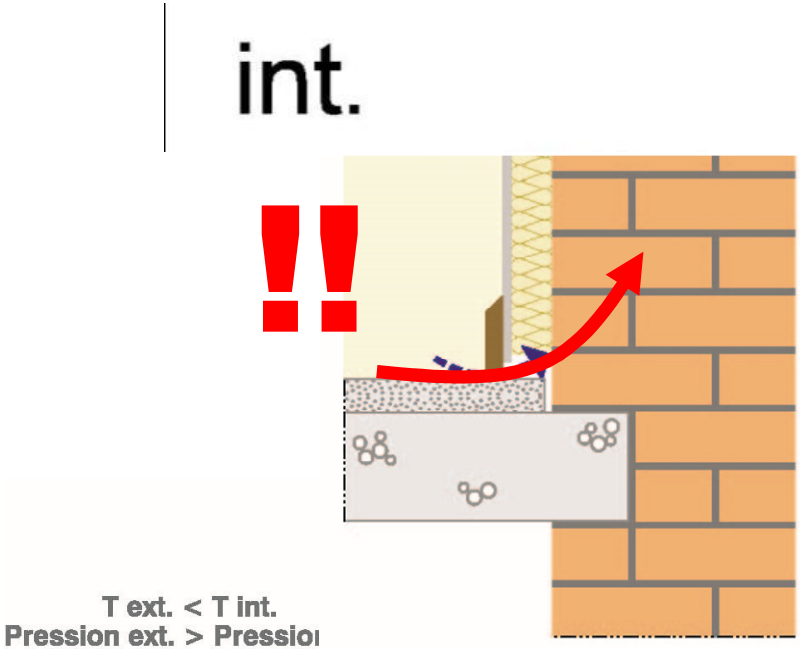


© A2M

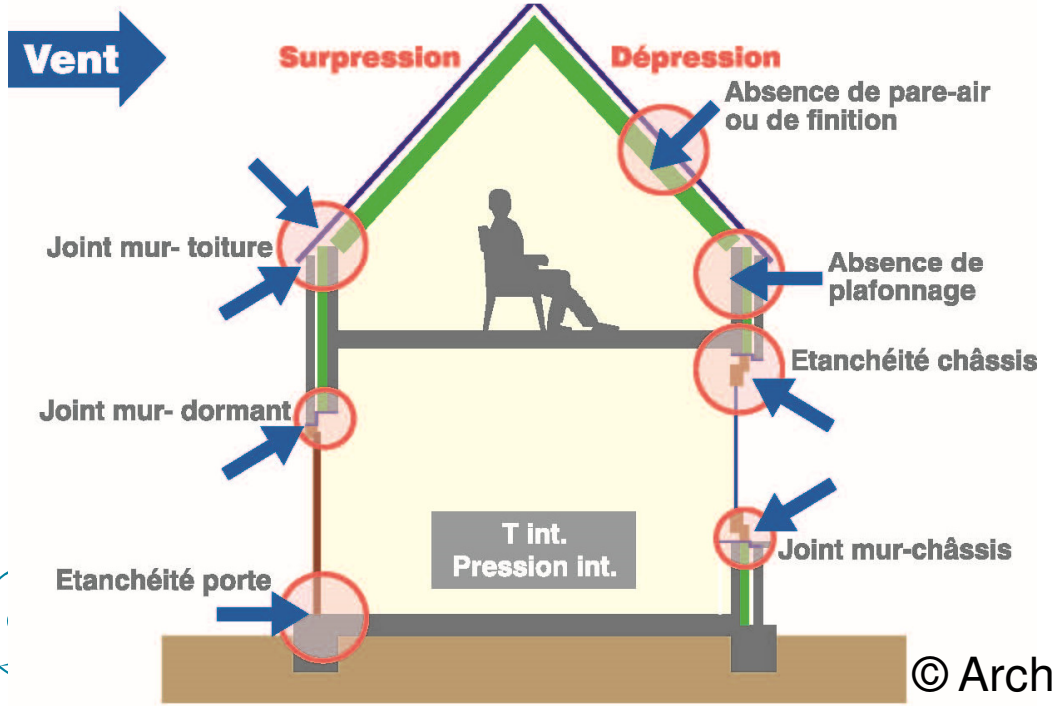
Condensation interne par convection



Condensation interne par convection



Etanchéité à l'air !



© Architecture et Climat

Synthèse flux

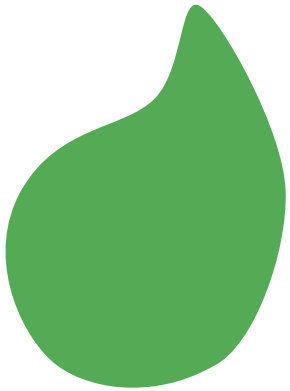
Flux de **chaleur → Δ T°**

Flux d'**air → Δ p**

Flux d'**humidité**

- **vapeur → Δ pv**
- **eau liquide → ??**

© A2M



Flux d’eau liquide

Flux d’humidité : eau liquide

Sources d’humidité diverses

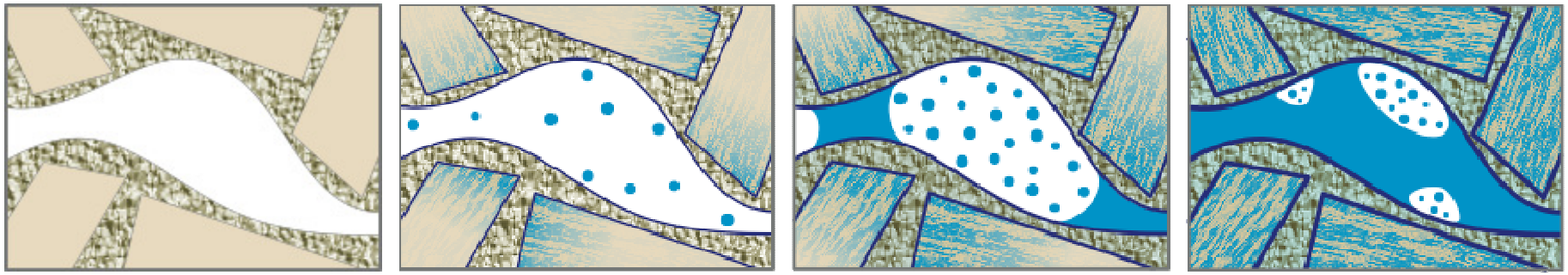
- Eau de constitution
- Pluie
- Humidité ascensionnelle
- Condensation
- Dégât des eaux

…

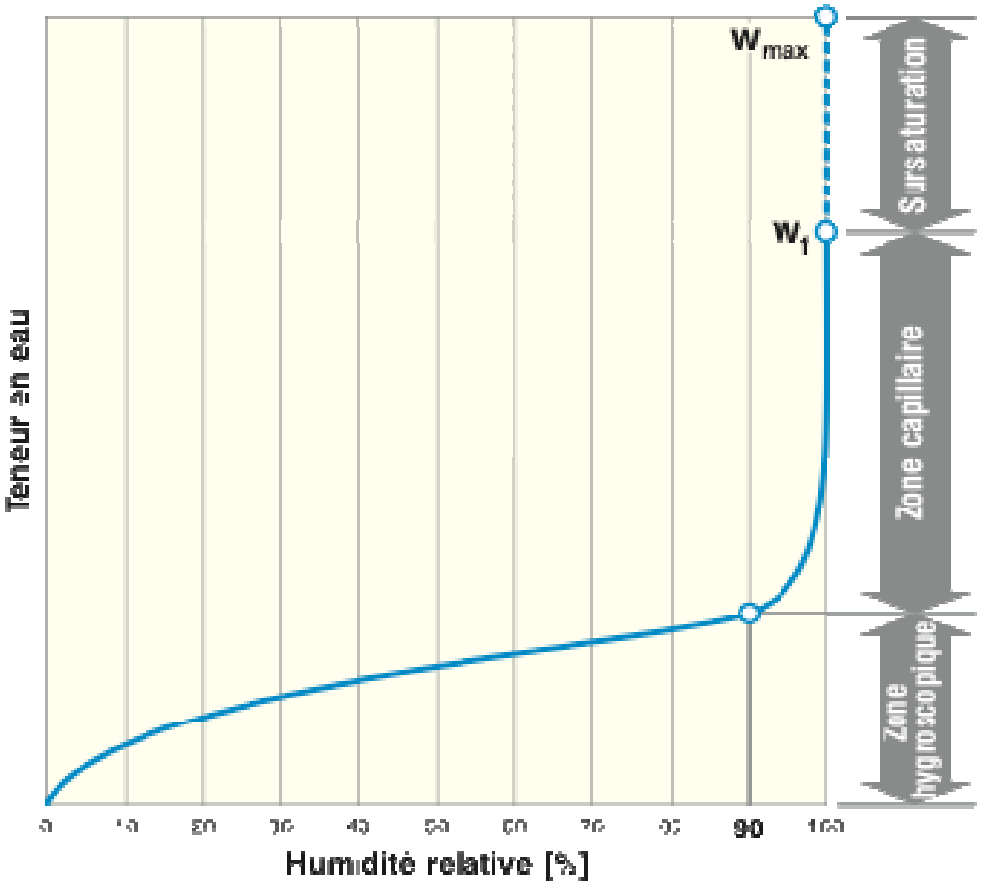
© A2M

Flux d'humidité : eau liquide

Teneur en eau



Etat sec | Zone hygroscopique | Zone capillaire | Sursaturation



Teneur en eau des matériaux = W [kg/m$_3$]

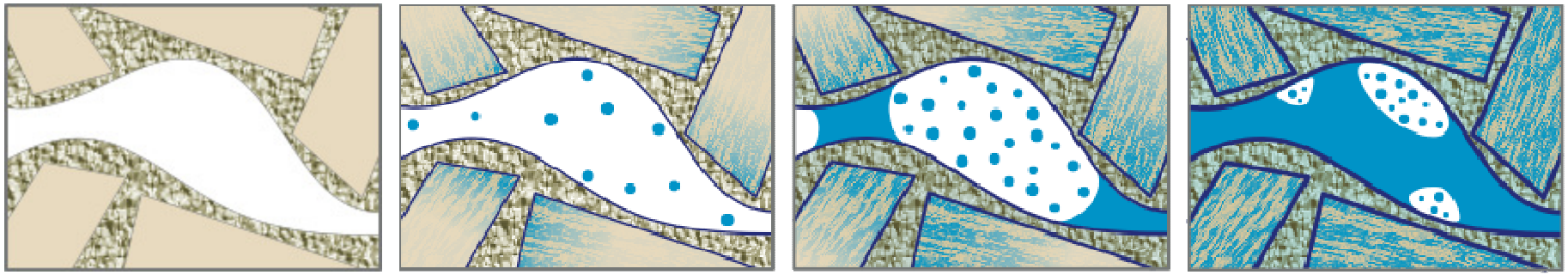
Influence l'ensemble des paramètres hygrothermiques des matériaux :

- Masse volumique
- Capacité thermique
- Conductivité thermique

Courbe de rétention d'humidité

© Architecture et Climat

Flux d'humidité : eau liquide



Etat sec | Zone hygroscopique | Zone capillaire | Sursaturation

Hygroscopicité d'un matériau :
Capacité à absorber l'humidité de l'air rapidement.
→ possède la propriété de fixer une certaine quantité d'humidité à son contact
→ matériaux possédant un pourcentage élevé de micropores

Capillarité d'un matériau :
Capacité à transférer l'humidité
→ au travers des matériaux à pores ouverts
→ vitesse variable suivant taille et forme des pores, …

Flux d'humidité : eau liquide

Matériau hygroscopique peu capillaire : exemple : 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 : exemple : 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 : exemple : XPS

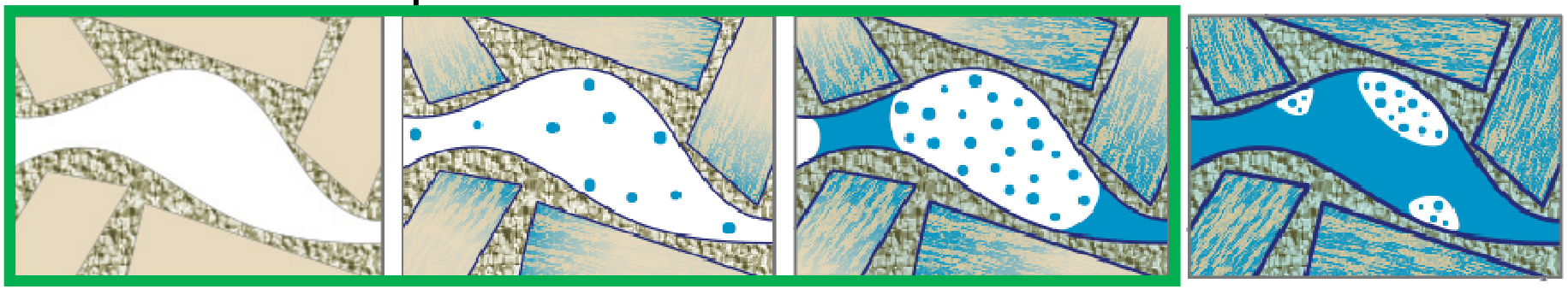
→ aucune capacité de stockage

→ gouttes restent accrochées à la surface jusqu'à ce que la quantité soit trop importante et l'eau s'écoule

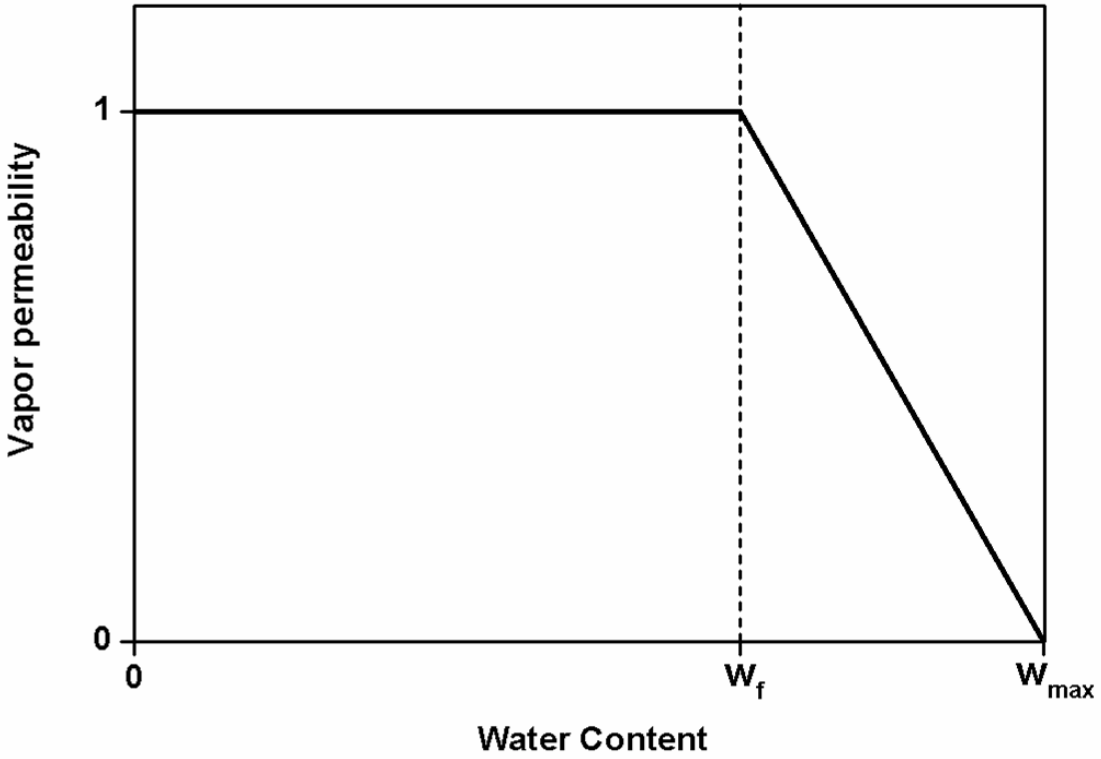
→ dégâts si pas d'evacuation (exemple coulisse drainée)

Flux d’humidité : eau liquide

Transfert de vapeur dans un matériau saturé d’eau



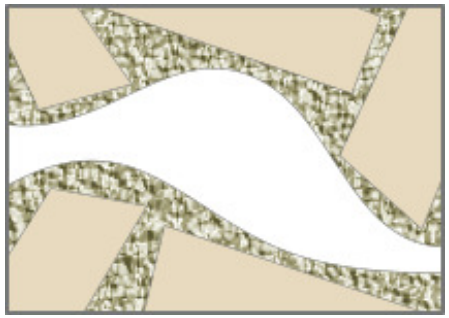
Etat sec | Zone hygroscopique | Zone capillaire | Sursaturation



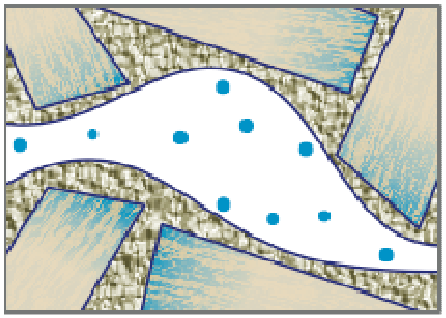
© Architecture et Climat

Flux d'humidité : eau liquide

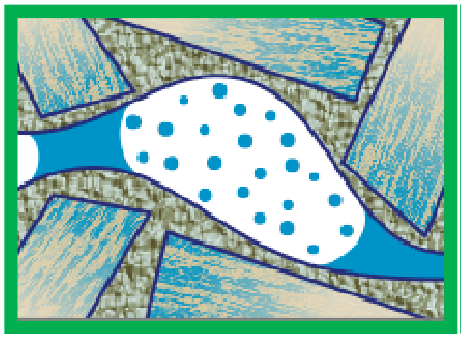
Transfert d'eau liquide



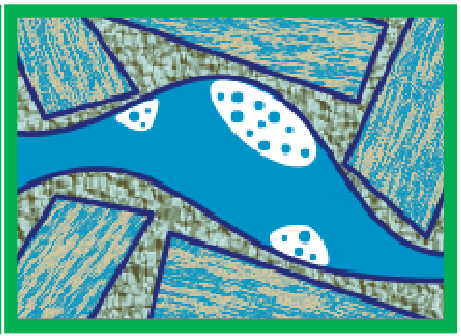
Etat sec



Zone hygroscopique



Zone capillaire

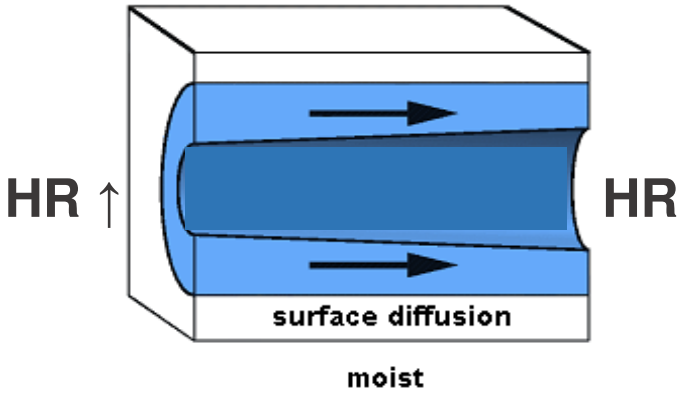


Sursaturation

Diffusion de surface

→ Eau adsorbée sur la surface des pores du matériau = couche de sorption

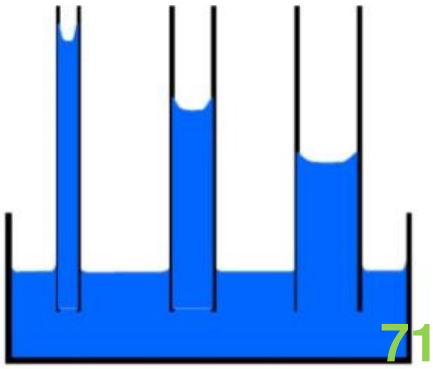
→ Transferts provoqués par une différence d'humidité relative au sein du matériau



Conduction capillaire

→ Pores remplis d'eau

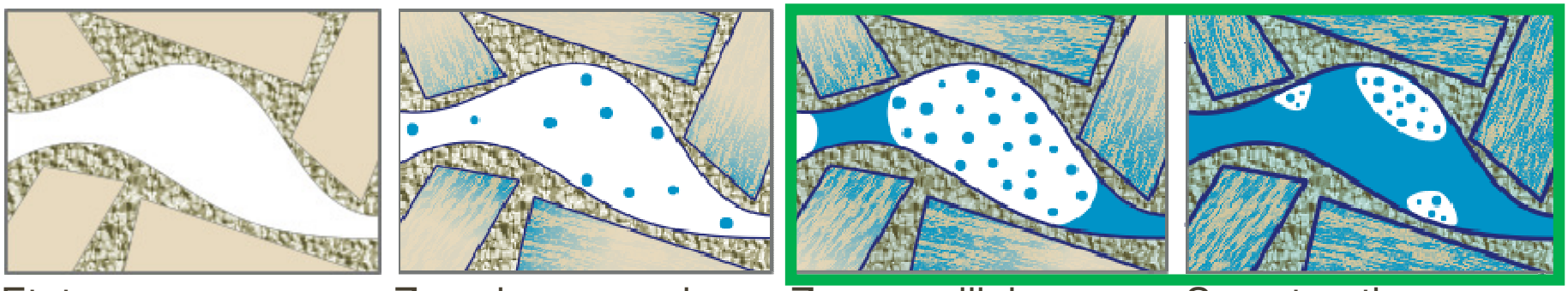
→ Transferts provoqués par une différence de pression capillaire au sein du matériau



© Architecture et Climat

Flux d’humidité : eau liquide

Transfert d’eau liquide



Etat sec | Zone hygroscopique | Zone capillaire | Sursaturation

→ Dans le même sens, quel que soit le type :

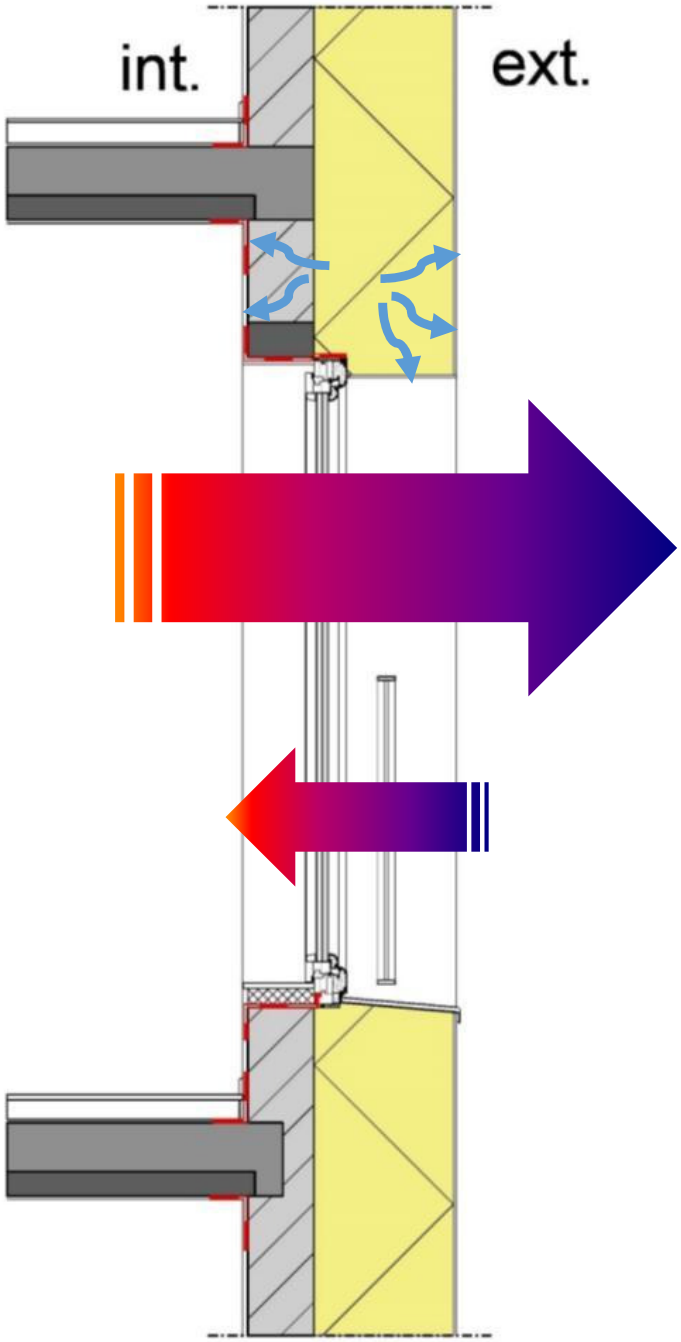
des zones à fortes humidité relative aux zones à faible humidité relative

© Architecture et Climat

Flux d’humidité : eau liquide

Transfert d’eau liquide

Transfert de vapeur



© A2M

Flux d'humidité : eau liquide

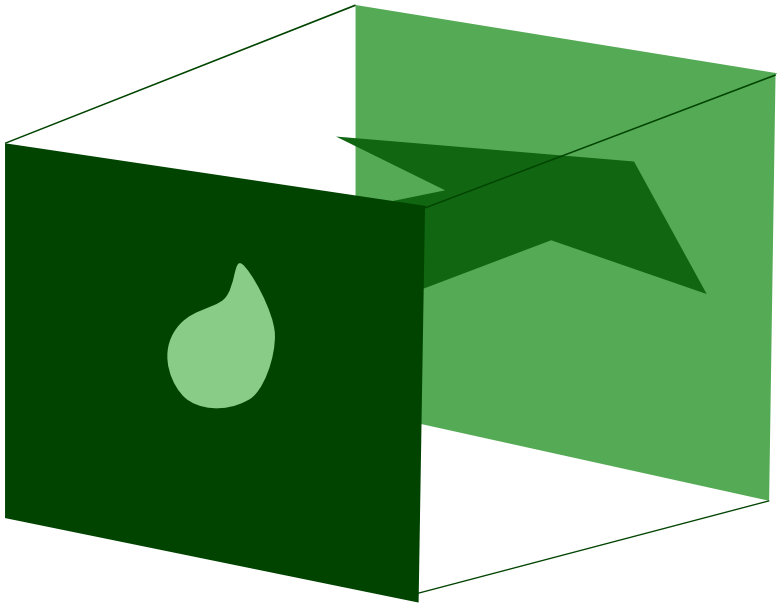
→ méthode simplifiée :

A

= coefficient d'absorption
Unité : kg / m^2 $s^{1/2}$

Deux coefficients :

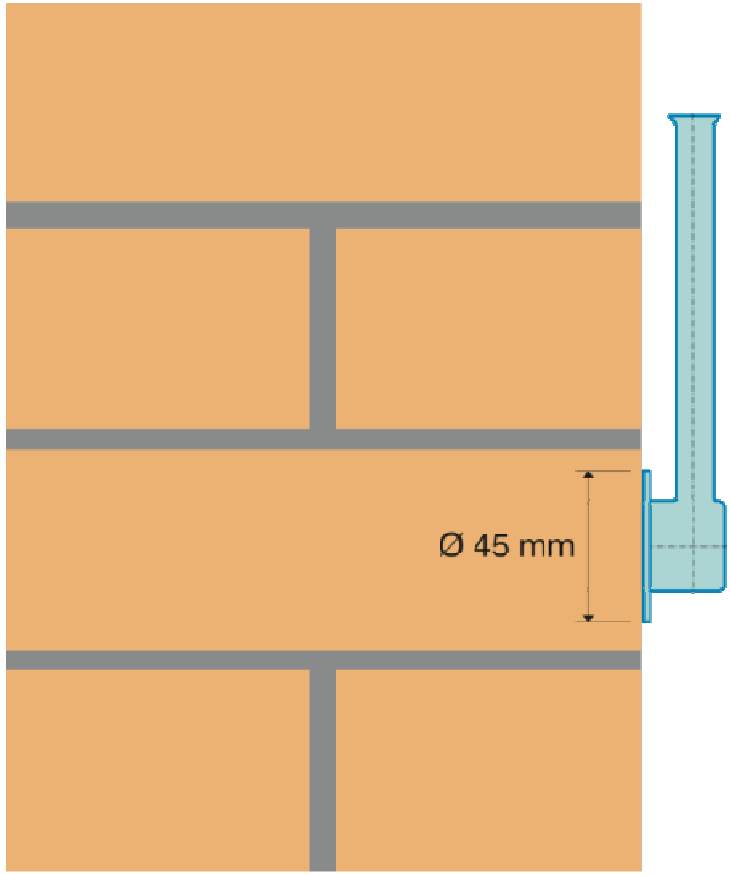
- Absorption d'eau qui entrerait en contact avec le matériau.
- Redistribution de l'humidité présente dans les pores du matériau

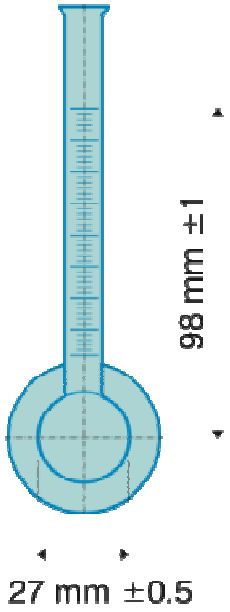


© A2M

Flux d'humidité : eau liquide

Méthode de Karsten





$$Q\ [\mathrm{N/m^2}] = \frac{v^2\ [\mathrm{m/s}]}{1.6}$$

Q = pression d'eau exercée sur la surface

v = vitesse de vent correspondante, perpendiculaire à la surface

On regarde la quantité d'eau absorbée entre et la 5è et la 15è minute.
/1000 (ml → kg)
x 2000(5 cm² → 1 m²)
/√600s

→ **Coefficient d'absorption : A (kg / m² $s^{1/2}$)**

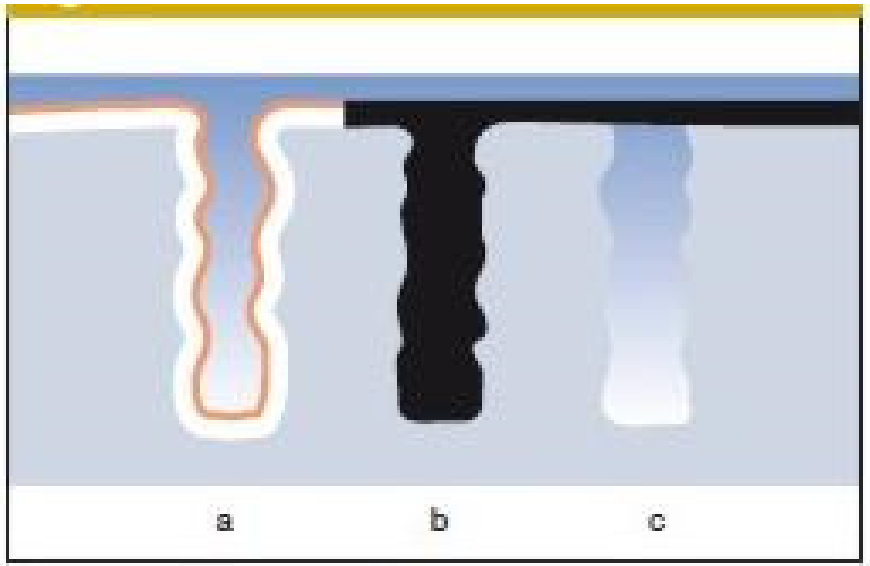
EN ISO 15148

Flux d'humidité : eau liquide

Hydrofuges

Contrairement aux revêtements filmogènes à base d'acryle, de polyuréthane ou de résine époxy par ex., les hydrofuges
à base de composés organosiliciés n'obturent pas les pores de la surface des supports minéraux, mais forment un film ultramince sur les parois des pores.
= Imprégnation hydrophobe à base de silane/siloxane (sans solvant)
Conforme EN 1504-2

Les « hydrofuges » doivent répondre à un certain nombre d'exigences :
- Réduction radicale de l'absorption d'eau
- Maintien de la perméabilité à la vapeur d'eau
- Bon pouvoir de pénétration
- Stabilité suffisante aux alcalis
- Résistance aux UV
- Ni jaunissement ni brillance ni adhésivité
- Innocuité
- Compatibilité avec l'environnement



hydrofugation (a)
remplissage des pores (b)
obturation filmogène (c)
de la surface d'un support minéral.

Produits:
-Tecnichem
-Wacker
-Sika
-Rainguard
- …

Synthèse

transferts de vapeur
transferts d'eau liquide

Flux d'humidité : synthèse

Transfert de **vapeur d'eau**

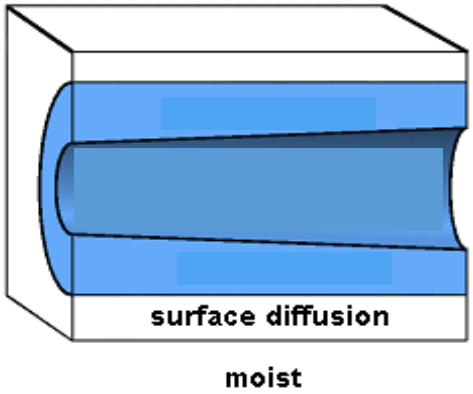
Pression de vapeur élevée → **Pression de vapeur faible**

Transfert d'**eau liquide**

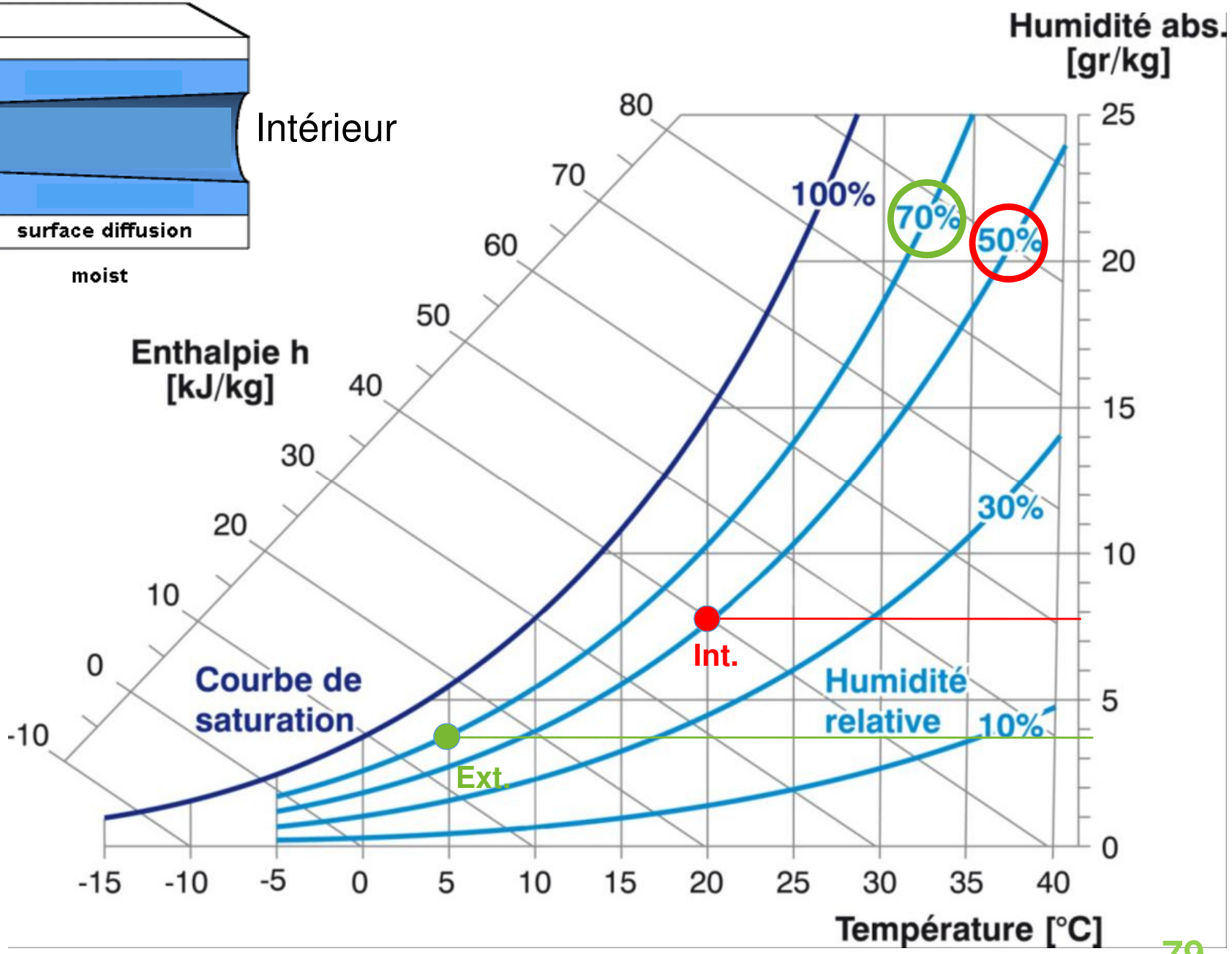
Humidité relative élevée → **Humidité relative faible**

Flux d'humidité : synthèse

Extérieur

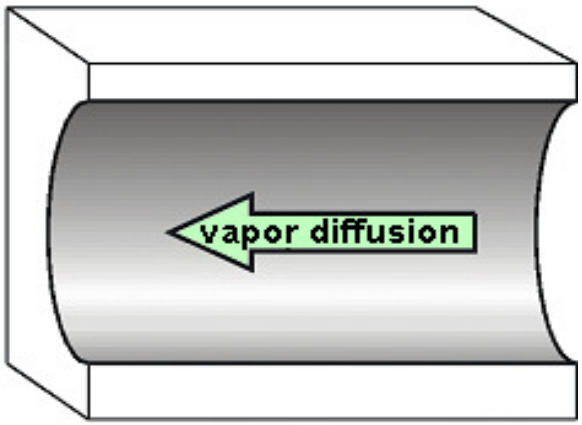


Intérieur



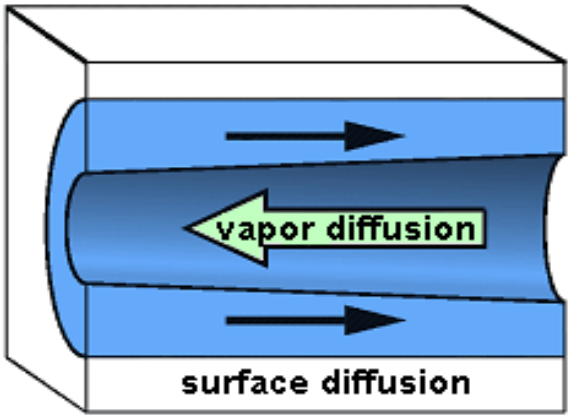
© Architecture et Climat

Flux d’humidité : synthèse



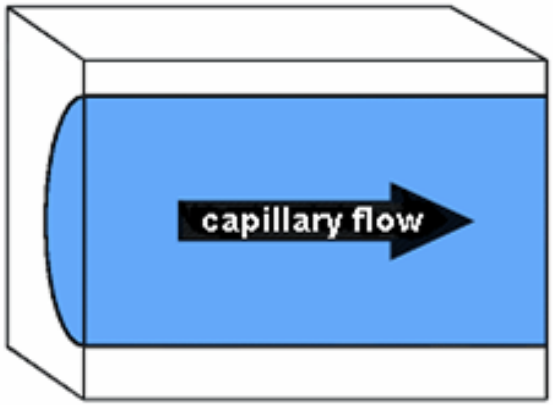
Sec

Vapeur



Humide

Vapeur et eau liquide



Saturé

Eau liquide

Migration d’humidité

Stratégies de conception

Flux d'humidité : stratégies

1. SUPPRIMER L'HUMIDITE A LA SOURCE

→ Humidité extérieure : pare-pluie, pare-vent, hydrofuge, injections, cuvelages, détails d'étanchéité, ...

→ Humidité intérieure : ventilation
(Essentiel! Surtout en construction passive!!)

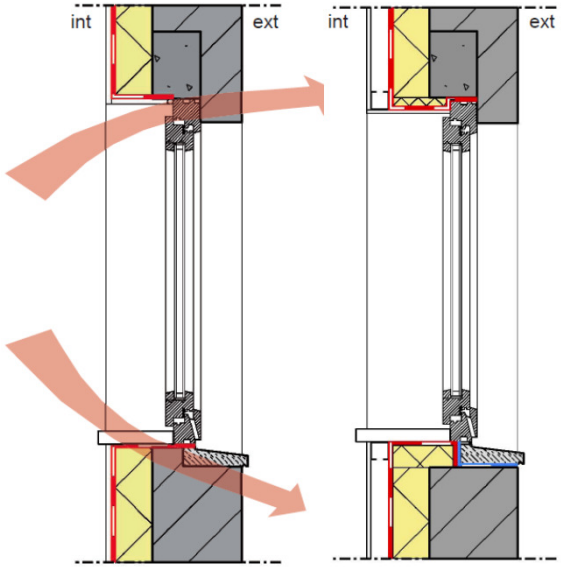
© A2M

Flux d’humidité : stratégies

2. EVITER LES CONDENSATIONS

→ Limiter les ponts thermiques

>< condensation superficielles



→ Limiter les défauts d’étanchéité à l’air

>< condensations internes par convection

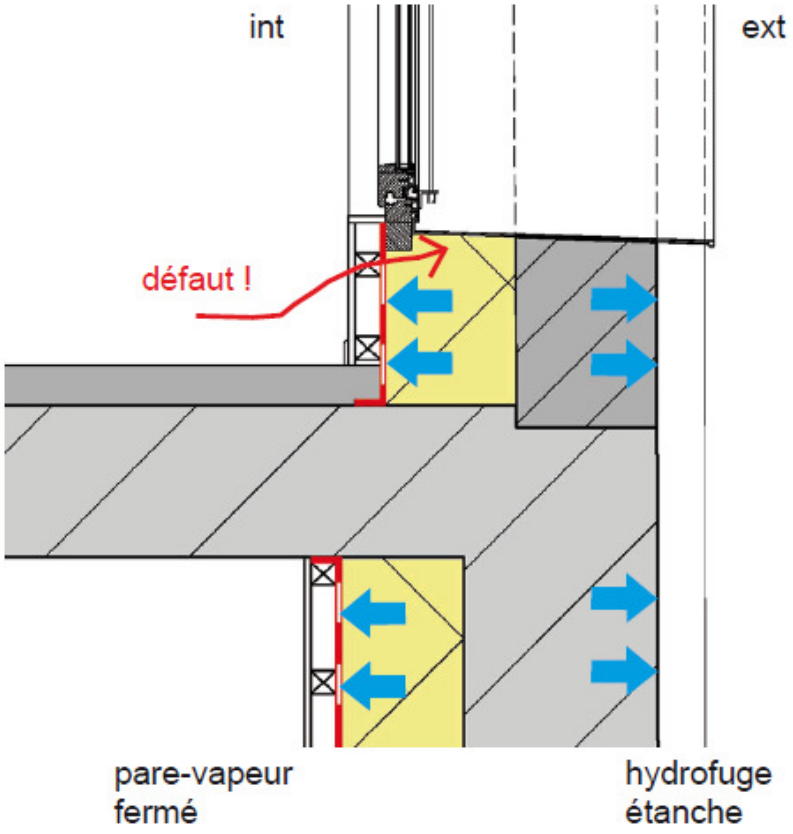
→ Limiter les transferts par diffusion

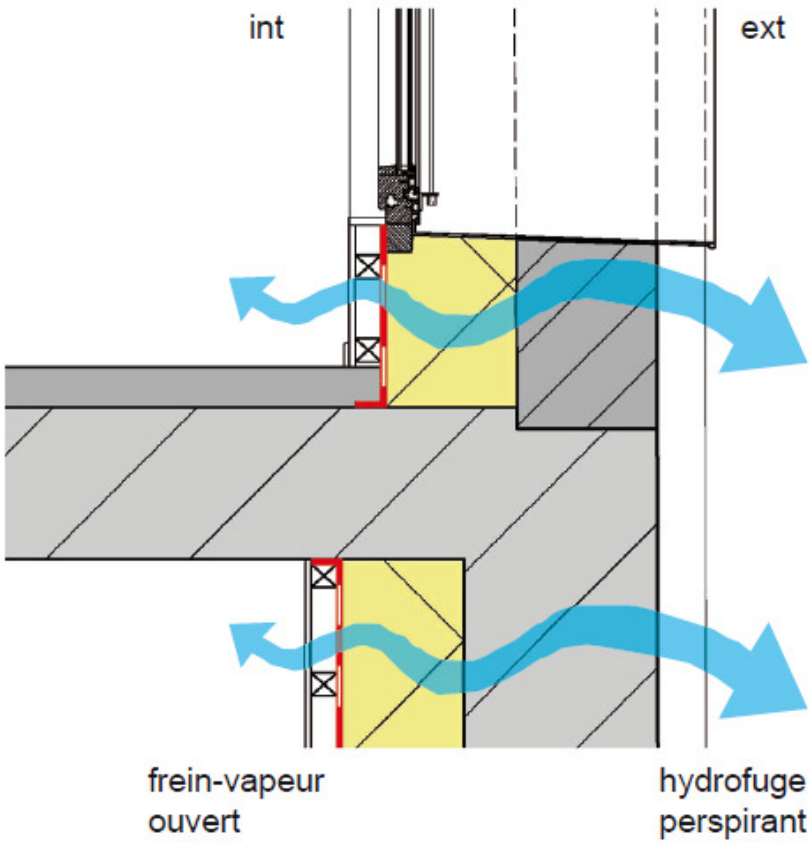
>< condensations internes par diffusion

Flux d’humidité : stratégies

3. GARANTIR LE POTENTIEL DE SECHAGE DES PAROIS

Idéal : Perméabilité à la vapeur dégressive de l’intérieur vers l’extérieur (Sd 5 à 6x supérieur côté intérieur)





© Architecture passive

Flux d’humidité : stratégies

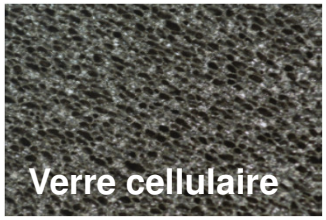
1. **SUPPRIMER L’HUMIDITE A LA SOURCE**
2. **EVITER LES CONDENSATIONS**
3. **GARANTIR LE POTENTIEL DE SECHAGE DES PAROIS**

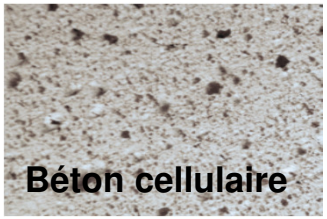
Migration d’humidité

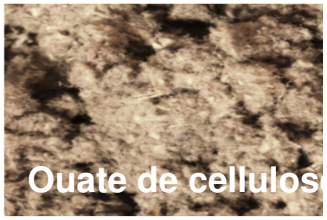
Paramètres importants

Flux d’humidité : paramètres importants

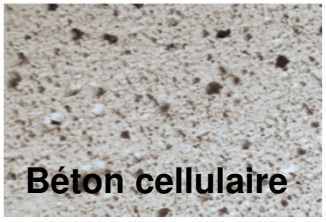
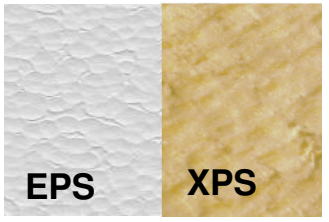
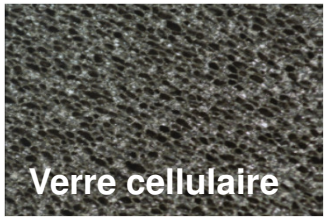
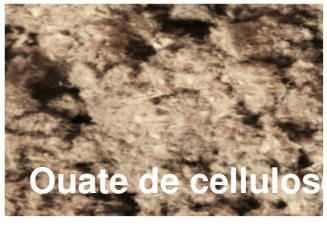
Perméable à la vapeur d’eau







Flux d'humidité : paramètres importants

	Hygroscopique et capillaire	Peu ou pas hygroscopique et capillaire
Non putréscible		 
Non putréscible mais altérable (si forte présence d'eau)		
Putréscible et altérable (si la teneur en eau critique est dépassée)		

Migration d’humidité

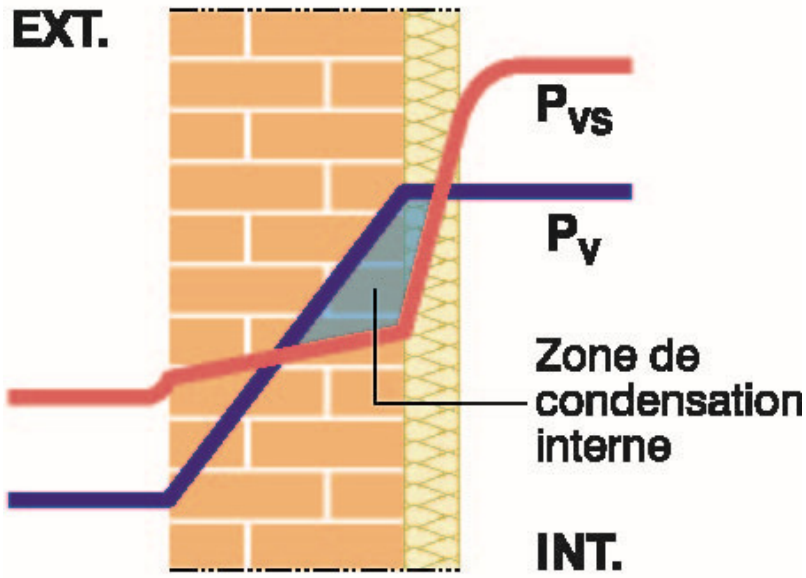
Outils de conception

Flux d’humidité : outils

Méthode statique

Méthode Glaser

- Rapide
- Régime hygrothermique statique
- Trop sécuritaire



La feuille Excel téléchargeable sur le site «http://www.energieplus-lesite.be > Calculs > La façade > La condensation interne d’une paroi » permet de faire cette analyse pour des parois de 1 à 5 couches.

Flux d'humidité : outils

Méthode de Glaser (statique, sans pluie, sans soleil)

Données de calcul:

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

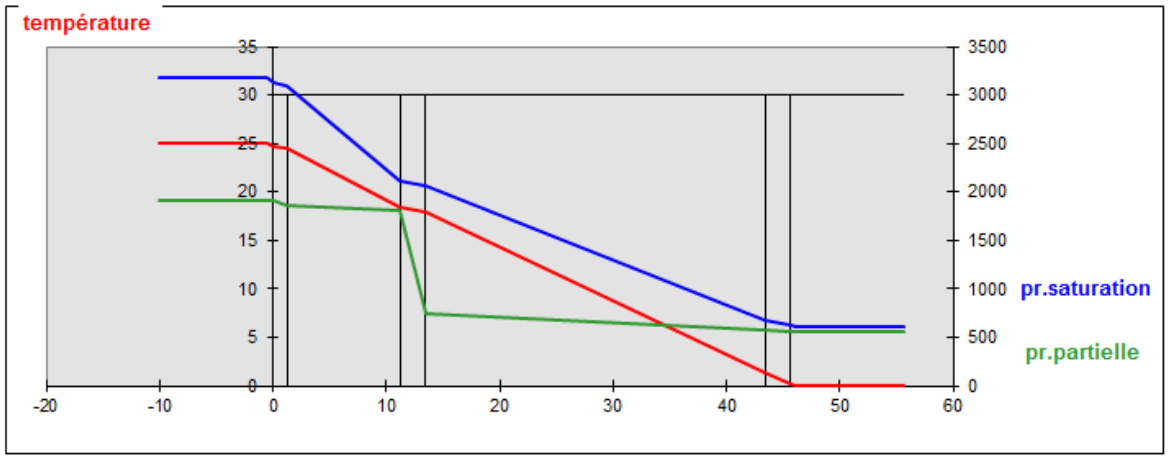
Caractéristiques de la paroi:

	intérieur	épaisseur (m)	lambda (W/mK)	Rx (m2.K/W)	Rtot (m2.K/W)	mu	Zx x 5,4.10⁹	Ztot x 5,4.10⁹	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	24,7	1905	3122	61%
2	Laine de lin	0,1	0,036	2,78	2,97	1,5	0,15	0,25	24,6	1867	3096	60%
3	OSB	0,022	0,12	0,18	3,15	134	2,948	3,20	18,4	1812	2121	85%
4	Cellulose	0,3	0,04	7,50	10,65	1,5	0,45	3,65	18,0	739	2068	36%
5	Cellit	0,022	0,04	0,55	11,20	2,9	0,0638	3,72	1,3	575	675	85%
	Re			0,04	11,24				0,1	552	618	89%
	extérieur								**0**	**552**	**613**	**90%**

k paroi 0,09 W/m2.K — **Flux vap** 6,7E-08 kg / m2.s

flux chal. 2,2 W/m2 — 1,345 — 0,3736 — 5,8 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)



http://www.energieplus-lesite.be > Condensations internes…

© Architecture et Climat

91

Flux d'humidité : outils

Méthode de Glaser (statique, sans pluie, sans soleil)

Données de calcul:

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

Caractéristiques de la paroi:

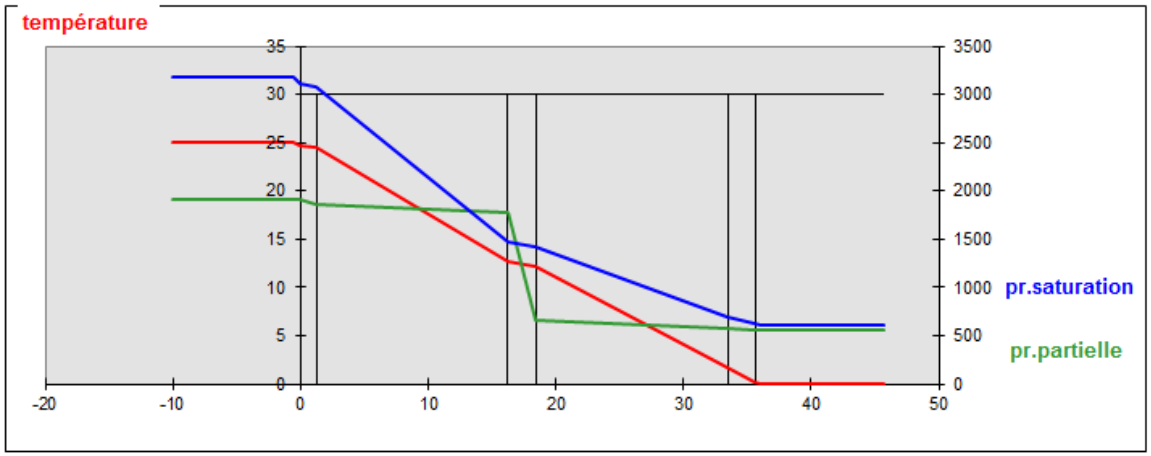
	intérieur	épaisseur (m)	lambda (W/mK)	Rx (m2.K/W)	Rtot (m2.K/W)	mu	Zx x 5,4.10⁹	Ztot x 5,4.10⁹	T°x (°C)	pvx (Pa)	psx (Pa)	HR (%)	
	Ri			0,13	0,13				**25**	**1905**	**3174**	**60%**	
1	Plaque plâtre	0,0125	0,2	0,06	0,19	8,3	0,1038	0,1038	24,6	1905	3108	61%	
2	Laine de lin	0,15	0,036	4,17	4,35	1,5	0,225	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%	**impossible,condensation !**
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%**	

k paroi **0,11** W/m2.K **Flux vap** **7,0E-08** kg / m2.s

flux chal. **2,8** W/m2 1,7026 **6,1** gr / m2.jour

0,4729

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)



http://www.energieplus-lesite.be > Condensations internes…

© Architecture et Climat

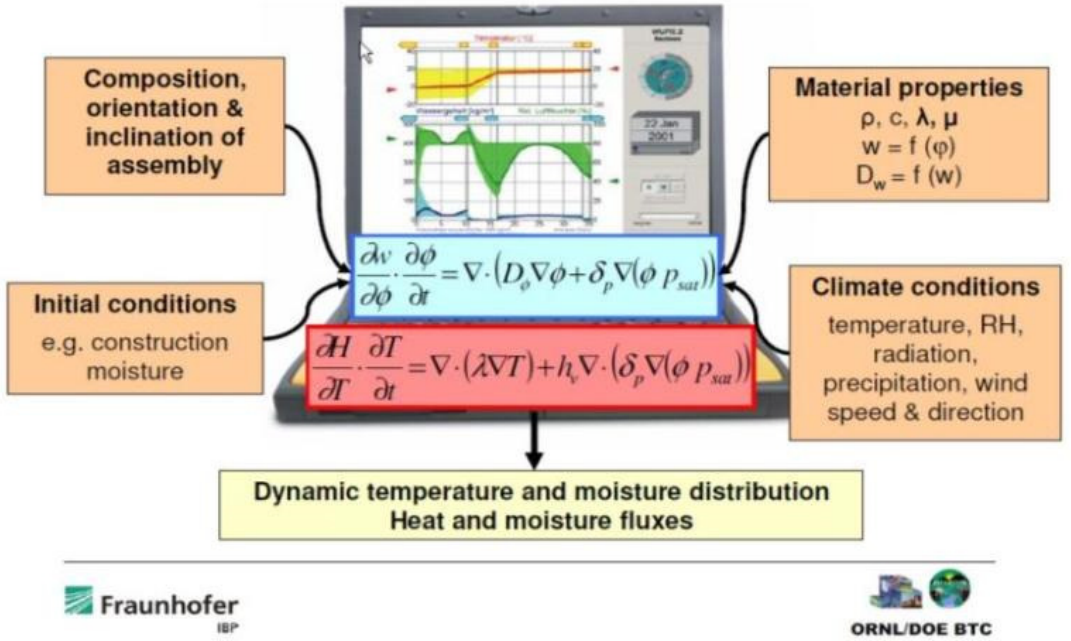
92

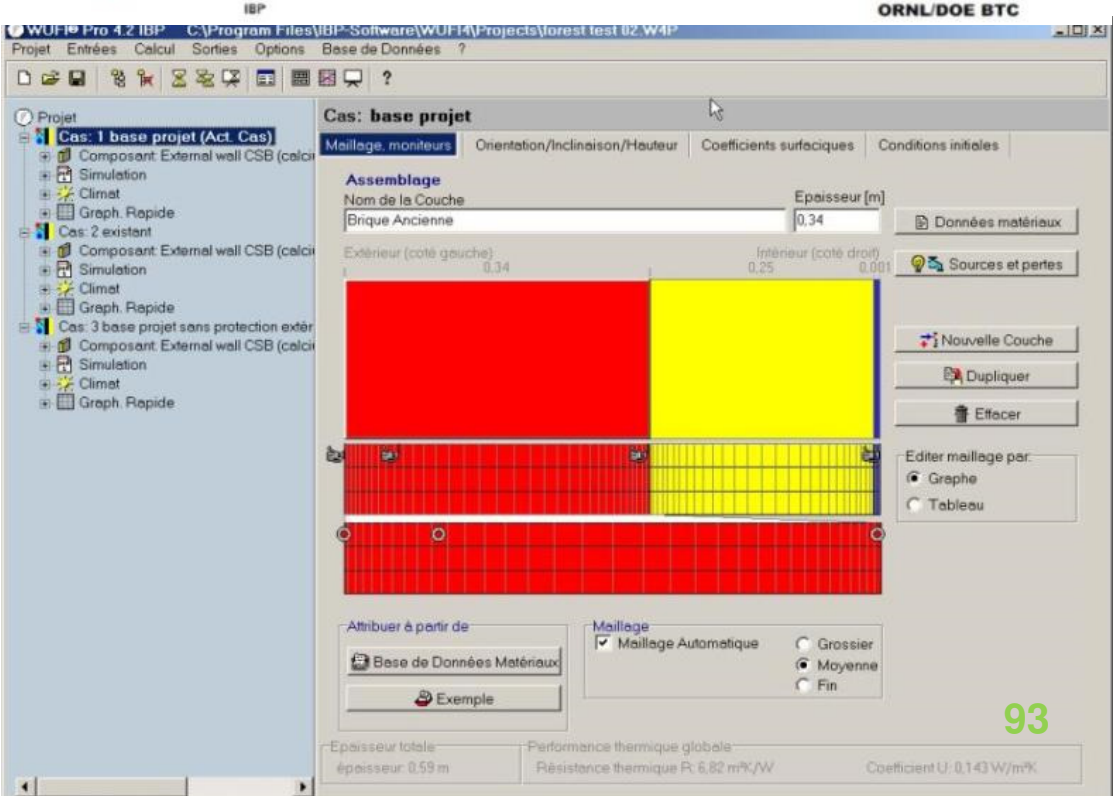
Flux d'humidité : outils

Méthode dynamique

WUFI Pro
WUFI 2D
WUFI Bio

Delphin
MOIST
MATCH





Wufi:
Calcul dynamique comportement Hygrométrique de la paroi

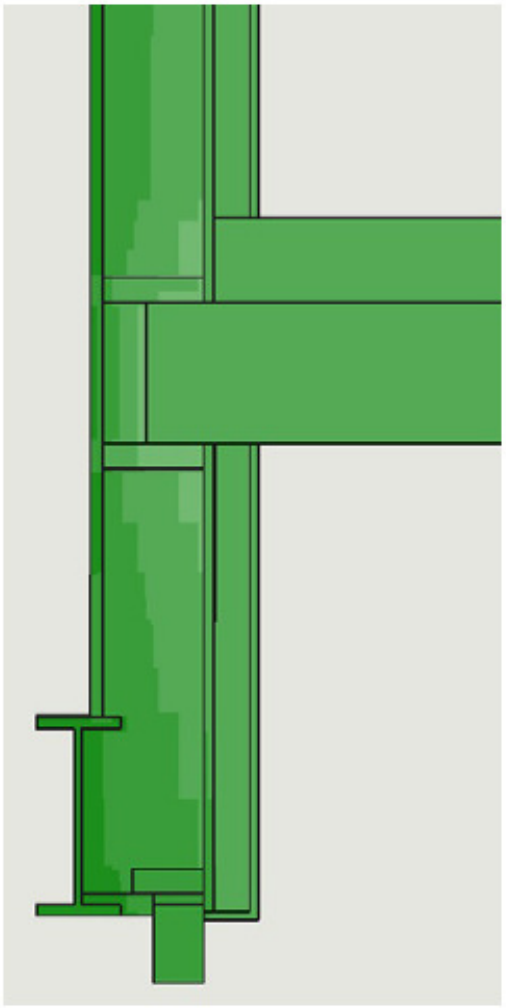
Flux d'humidité : outils

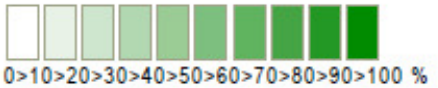
Méthode dynamique

WUFI Pro
WUFI 2D
WUFI Bio

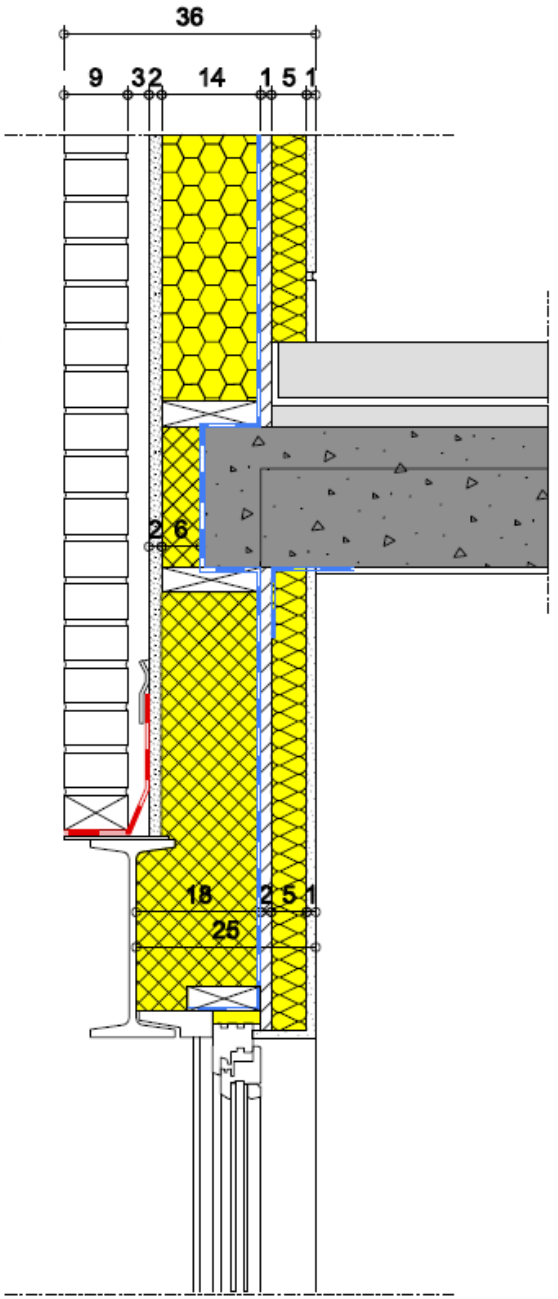
Delphin
MOIST
MATCH

résultat "Wufi" : teneur en eau simulée sur 3 ans





calcul "Wufi"

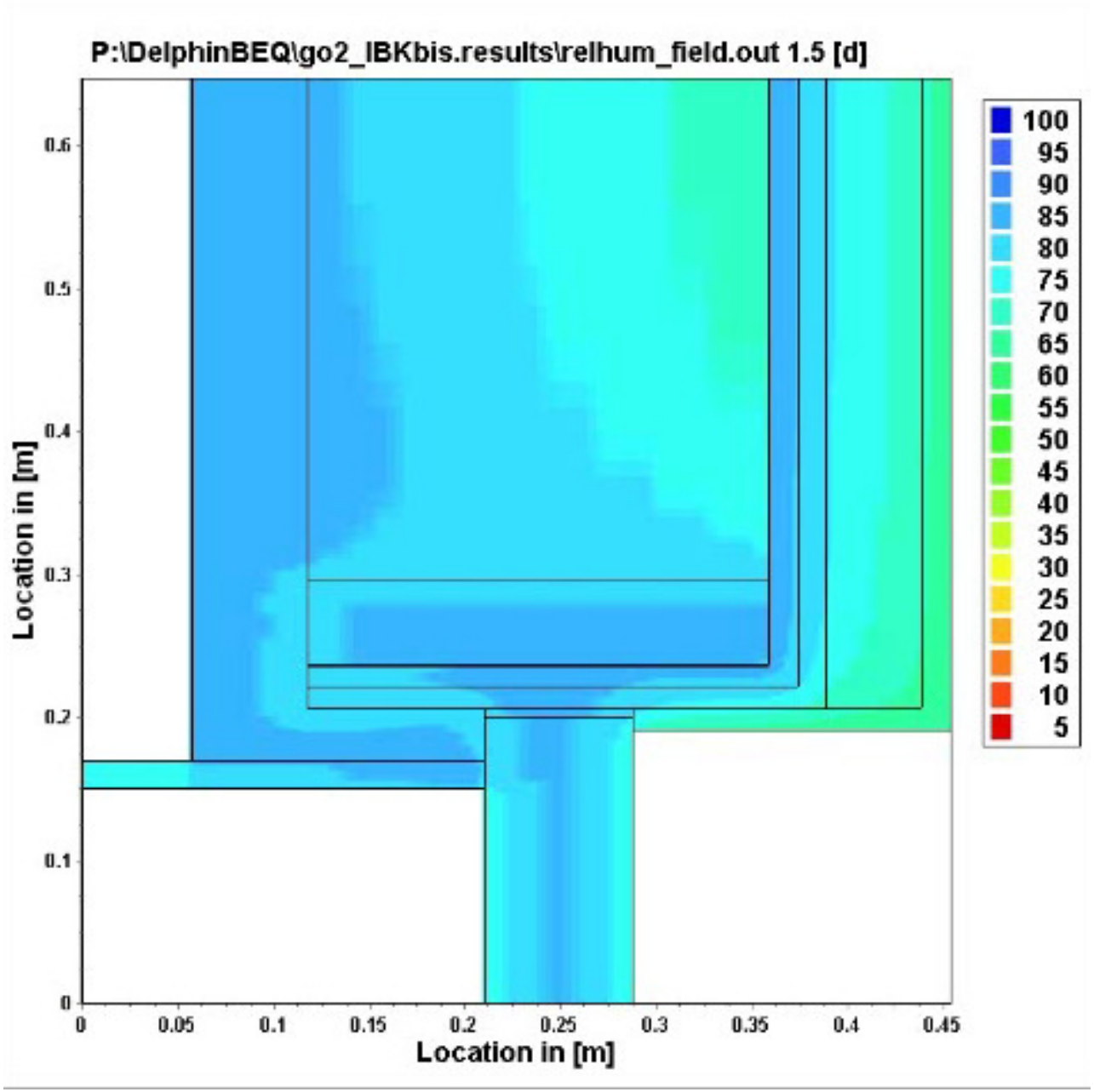


Détail MDW

Méthode dynamique

WUFI Pro
WUFI 2D
WUFI Bio

Delphin
MOIST
MATCH



Flux d’humidité : outils

ISOLIN

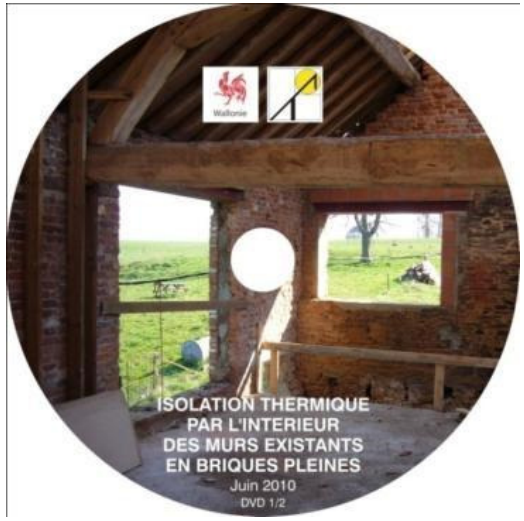
- GUIDE ISOLIN

Aline Branders / Arnaud Evrard / André De Herde

- OUTIL ISOLIN

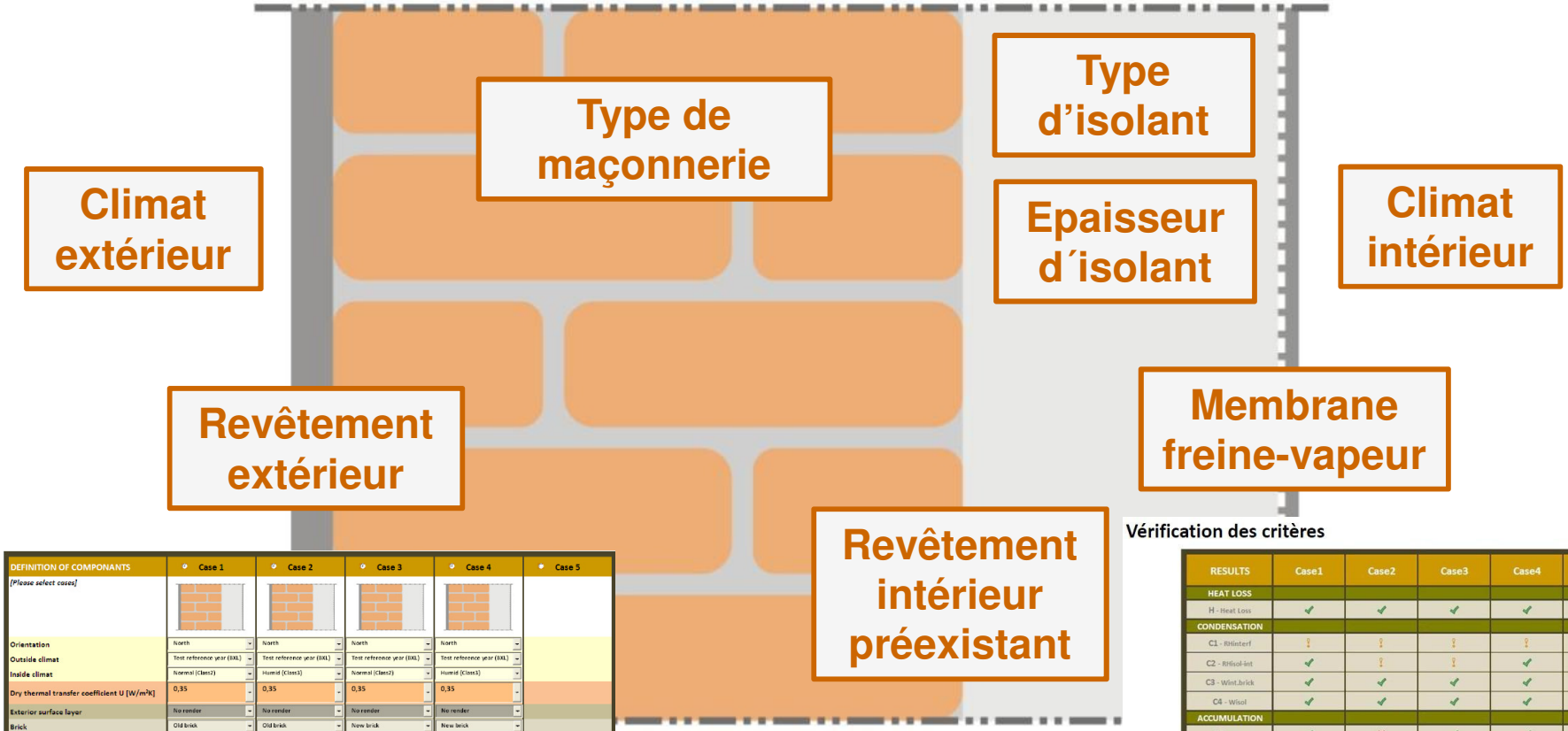
Arnaud Evrard / Cédric Hermand / André De Herde

Publication et DVD sur commande :
http://energie.wallonie.be/fr/isolation-thermique-par-l-interieur-des-murs-existants-en-briques-pleines.html?IDC=6099&IDD=41922



Flux d'humidité : outils

Outil ISOLIN: 7000 simulations WUFI Pro !



DEFINITION OF COMPONANTS	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
[Please select cases]					
Orientation	North	North	North	North	
Outside climat	Test reference year (BXL)	Test reference year (BXL)	Test reference year (BXL)	Test reference year (BXL)	
Inside climat	Normal (Class2)	Humid (Class3)	Normal (Class2)	Humid (Class3)	
Dry thermal transfer coefficient U [W/m²K]	0,35	0,35	0,35	0,35	
Exterior surface layer	No render	No render	No render	No render	
Brick	Old brick	Old brick	New brick	New brick	
Joint	Lime mortar	Lime mortar	Cement mortar	Cement mortar	
Insulation	Mineral wool	Mineral wool	Mineral wool	Mineral wool	
Vapour barrier	No vapour barrier	No vapour barrier	No vapour barrier	No vapour barrier	
Interior surface layer	Gypsum board	Gypsum board	Gypsum board	Lime plaster	
Other useful data :					
Thickness of insulation layer [cm]	8,5	8,5	8,5	8,5	
Mean heat transfert coefficient ext surf [W/m²K]	23	23	23	23	
Mean heat transfert coefficient int surf [W/m²K]	8	8	8	8	
Mean vapour transfert coefficient ext surf [kg/m²sPa]	1,17E-07	1,17E-07	1,17E-07	1,17E-07	
Mean vapour transfert coefficient int surf [kg/m²sPa]	2,52E-08	2,52E-08	2,52E-08	2,52E-08	
Rain water absorption factor [-]	0,7	0,7	0,7	0,7	
Short-wave radiation absortivity [-]	0,68	0,68	0,68	0,68	
Long-wave emissivity [-]	0	0	0	0	

Vérification des critères

RESULTS	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5
HEAT LOSS					
H - Heat Loss	✓	✓	✓	✓	!
CONDENSATION					
C1 - RHinterf	!	!	!	!	!
C2 - RHisol-int	✓	!	!	✓	✓
C3 - Wint.brick	✓	✓	✓	✓	✓
C4 - Wisol	✓	✓	✓	✓	✓
ACCUMULATION					
A1 - Atot	✓	✗	✓	✓	✓
A2 - Aext.brick	✓	✗	✓	✓	✓
A3 - Aint.brick	✓	✗	✓	✓	✓
A4 - Aisol	✓	✓	✓	✓	✓
FREEZING					
F - T-RHext.brick	✓	✓	✓	✓	✓
COMFORT					
T - Tint.surf	✓	✓	✓	✓	✓
IS THE CASE VALID ?	✓	✗	!	✓	!

Return to wall

© Architecture et Climat

97

Migration d’humidité

Outils de contrôle

DER SPEEDY-

EXTECH
COND
DEW
15.0
APO
59 °F
MOIST
RH
MODE
COND
ZERO
IRT
ADJUST
ALARM SET
Pinless
Moisture/Humidity Meter
Thermometer
MO290

10
15
5
0
20
PROTIMETER

Record
Alarm
EXTECH

Conclusion : flux et stratégies

Flux de **chaleur** → **Δ T°**

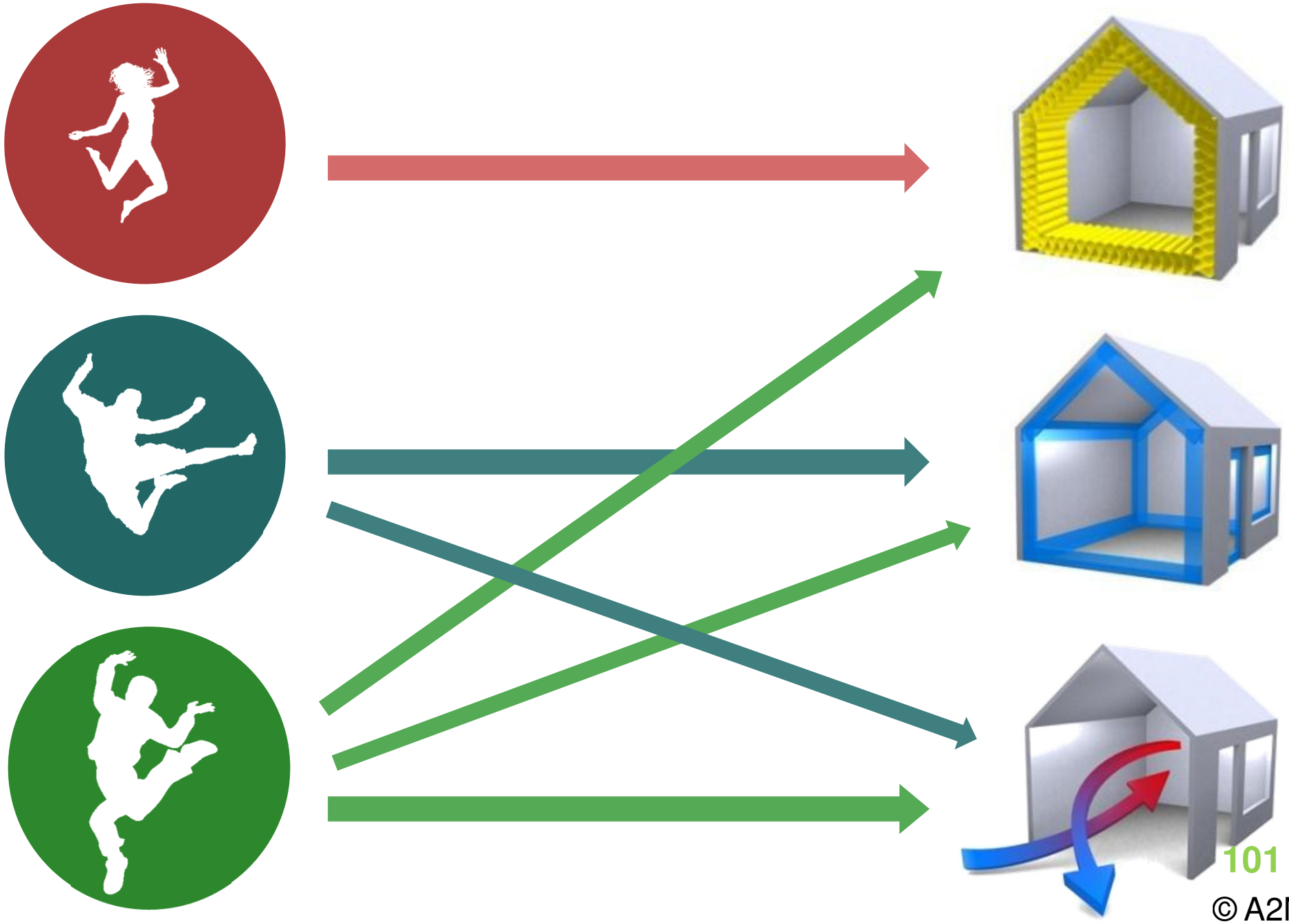
Flux d'**air** → **Δ p**

Flux d'**humidité**

- **vapeur → Δ pv**
- **eau liquide → Δ HR**

© A2M

Conclusion : flux et stratégies



© A2M

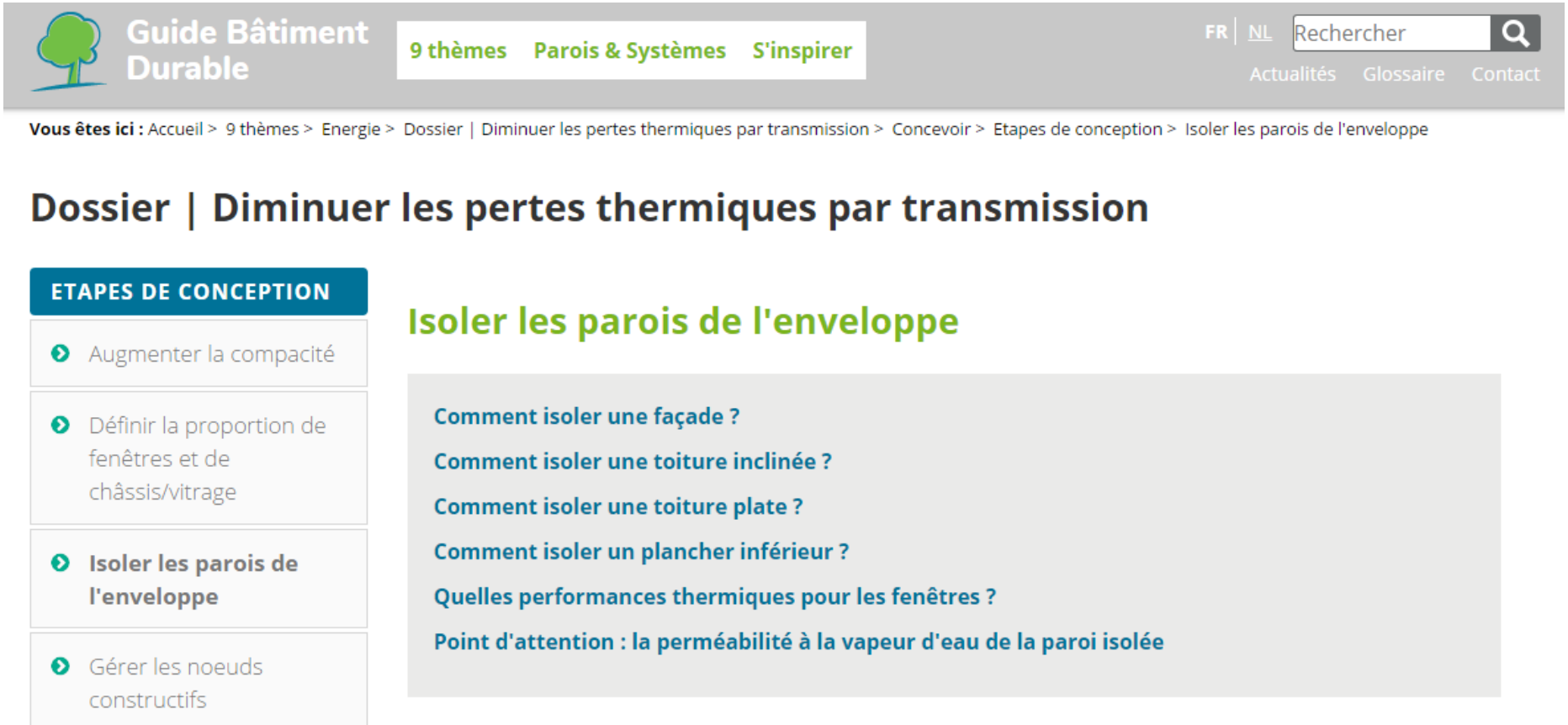
Conclusion : points d'attention

Pour une enveloppe performante :

- Connaître les principaux **paramètres hygrothermiques** des matériaux composant chaque élément.
- Voir l'impact de chaque élément sur le **complexe** dans lequel il s'insère.
- Dans le cas de configurations à risque, vérifier le comportement hygrothermique de la paroi à l'aide de **logiciels dynamiques**, tout en gardant à l'esprit les **principes de conception!**
- Une bonne **mise en œuvre** est essentielle!

Pour aller plus loin…

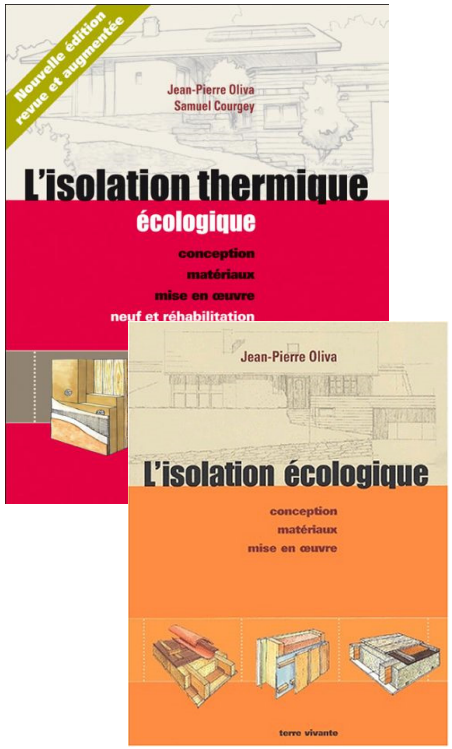
www.guidebatimentdurable.brussels/fr/isoler-les-parois-de-l-enveloppe.html?IDC=7404

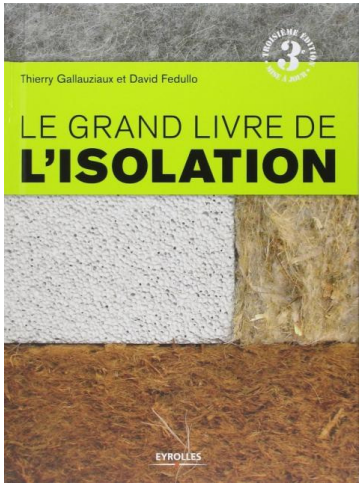


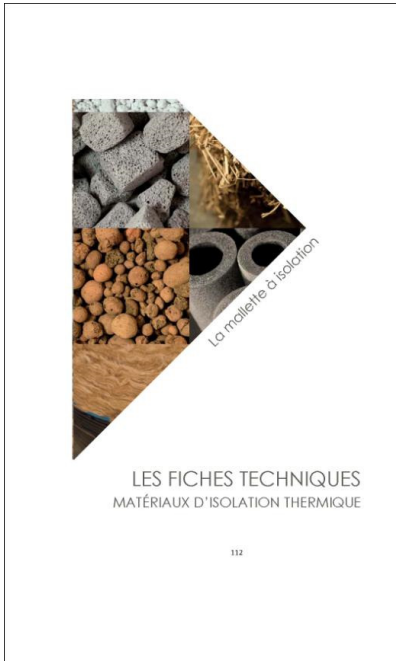
www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16810

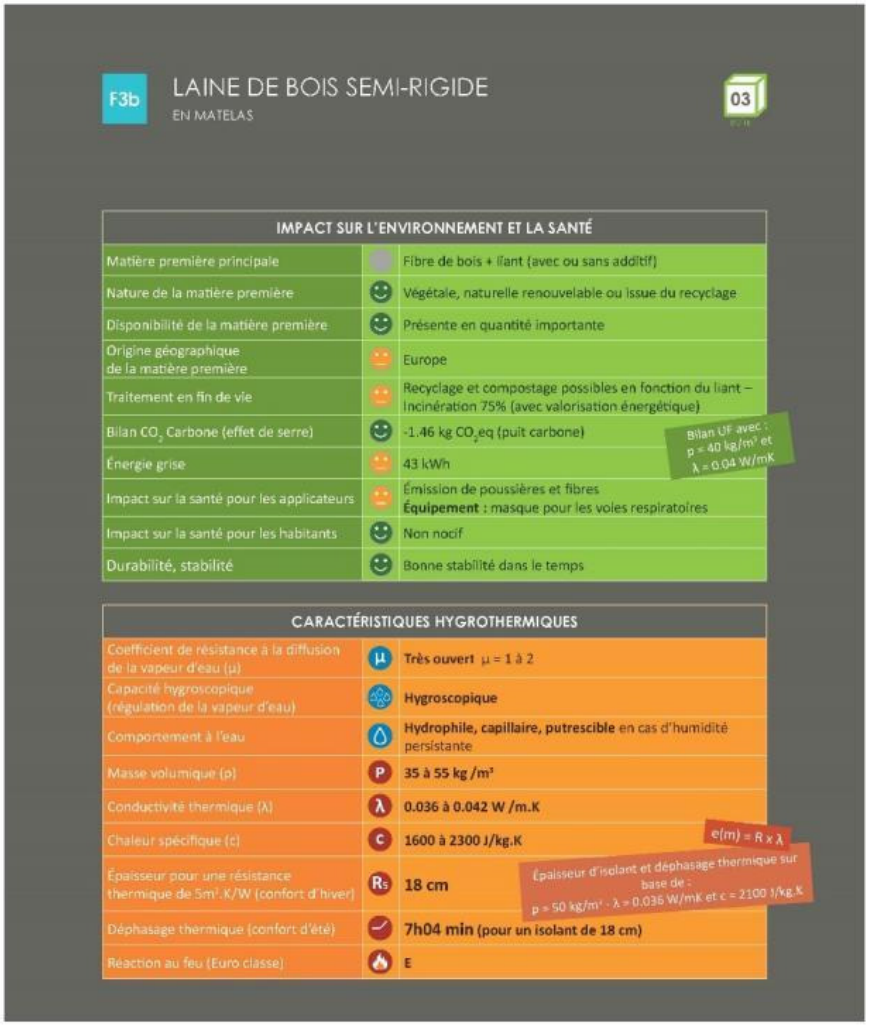
Pour aller plus loin…

Pour aller plus loin…









Contact

A2M

Aline BRANDERS

Architecte – Master en architecture et développement durable

Architecte partner chez A2M

Responsable du pôle Recherche & Développement

E-mail : branders@a2m.be

Site: http://www.a2m.be