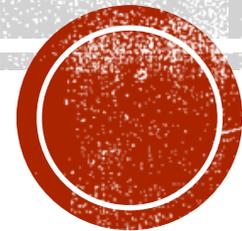


ENVELOPPE DU BÂTIMENT



Des objectifs à atteindre

Lorsqu'on construit ou rénove un bâtiment aujourd'hui, on poursuit trois objectifs importants :

- 1. assurer le confort thermique des occupants ;**
- 2. être économe en énergie ;**
- 3. être durable.**

En quoi l'enveloppe du bâtiment est-elle concernée par ces objectifs ?



Pour répondre à cette question nous allons nous rappeler quelques informations de base :

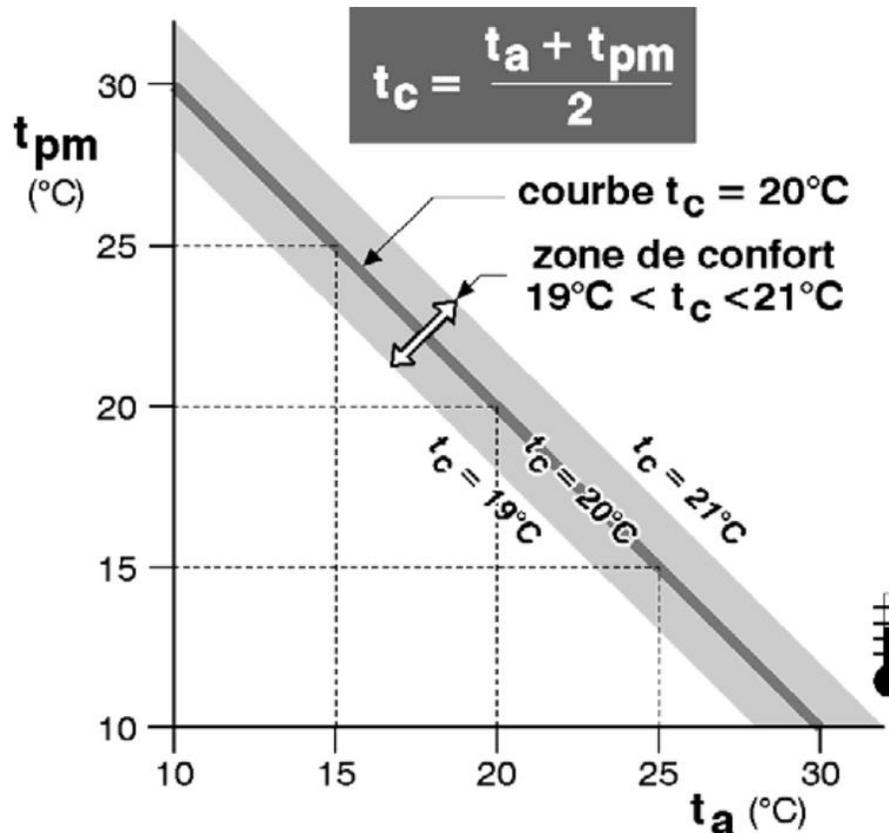
Le confort thermique

La physique du bâtiment

Les matériaux isolants disponibles sur le marché

Les méthodes de constructions des parois

Confort thermique



t_{pm} = température moyenne de surface intérieure de parois (°C)
 t_c = température de confort
 t_a = température de l'air (°C)

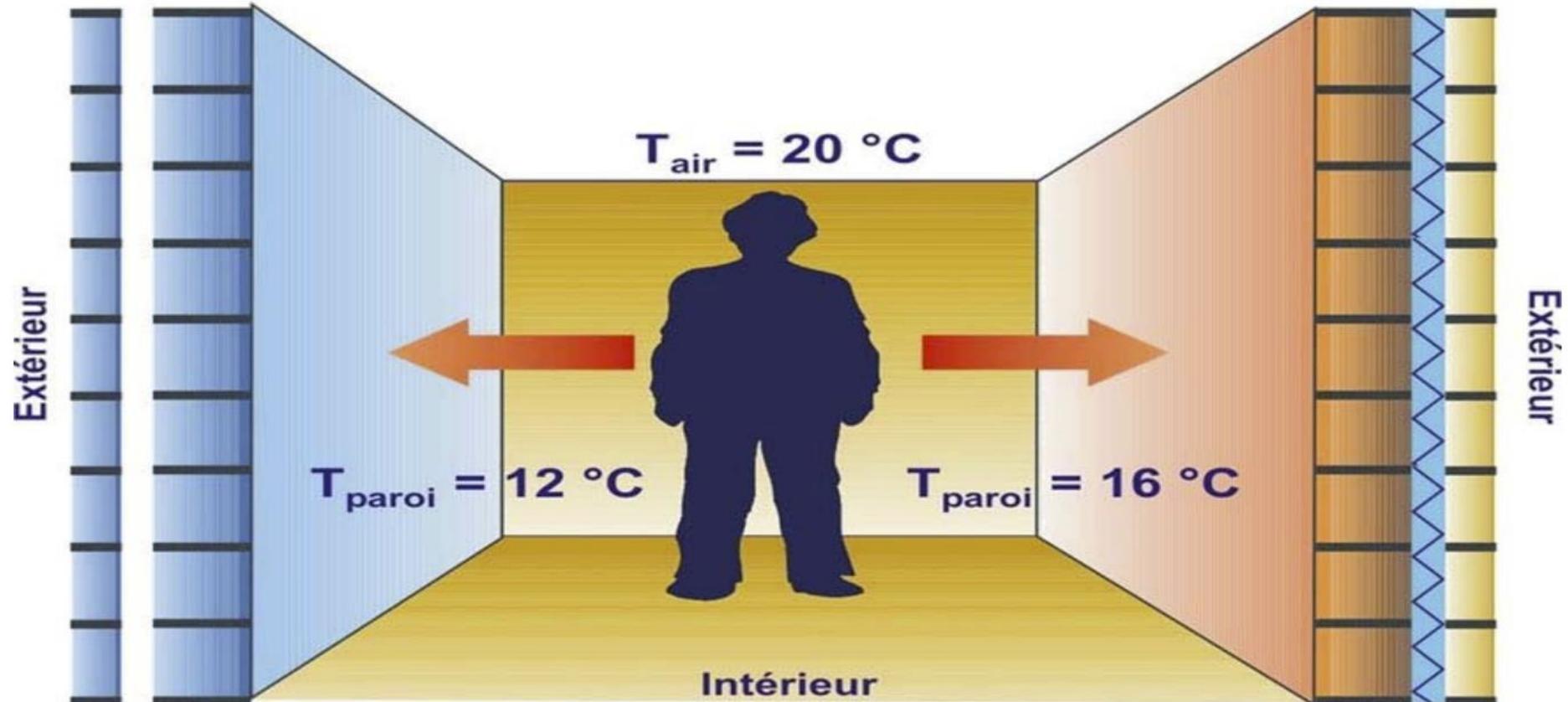
- ▶ Si sont ± constants :
 - habillement
 - vitesse d'air < 0,1 m/s
 - HR de 30 à 70 %
 - activité sédentaire
- ▶ Température de confort :
 - Moyenne de :
 - Température de l'air
 - Température moyenne de rayonnement des parois
 - t_{confort} autour de 20°C
 - si $t_{pm} \nearrow$ alors $t_a \searrow$
 - avec pour limites :
 - $t_a \leq 26^\circ\text{C}$
 - $t_{pm} \geq 14^\circ\text{C}$



Confort thermique

Paroi froide : $T_{rs} = 16\text{ °C}$

$T_{rs} = 18\text{ °C}$ Paroi chaude



Confort thermique

le confort local dépend aussi

- de la symétrie de radiation
- du gradient vertical de la température
- de la température aux pieds
- des courants d'air

L'enveloppe du bâtiment est donc concernée.

Mieux les parois extérieures seront isolées thermiquement,
plus leurs températures seront élevées en hiver et basses en été.
plus leurs températures seront homogènes
moins il y aura de risque de condensation

Plus étanches seront les parois, moins il y aura de courant d'air

Plus les parois seront chaudes, moins il sera nécessaire d'élever la température de l'air du local et moindres seront donc les déperditions thermiques



Un peu de physique

▶ 2^{ème} loi de la thermodynamique :

En absence de travail ou d'autres flux énergétiques, le transfert de chaleur a lieu de la température la plus haute vers la température la plus basse

▶ 3 modes de transfert de chaleur

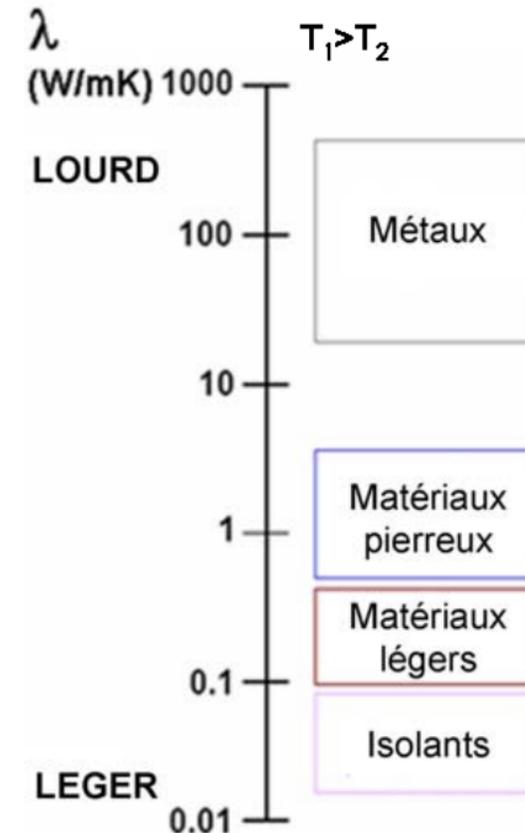
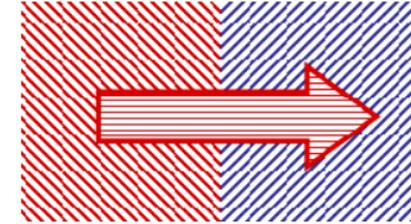
- Conduction
- Convection
- Rayonnement



Un peu de physique (transfert de chaleur)

CONDUCTION

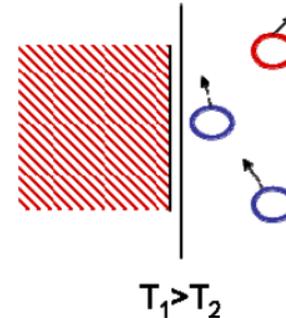
- ▶ transfert de chaleur dans les milieux solides, liquides ou gazeux *sans transfert de matière*
- ▶ transfert d'énergie
 - entre deux matériaux différents ayant des températures différentes
 - dans un même matériau, ayant des températures différentes
- ▶ λ : conductivité thermique [W/m.K]
- ▶ importance pour PEB : calcul des valeurs U



Un peu de physique (transfert de chaleur)

CONVECTION

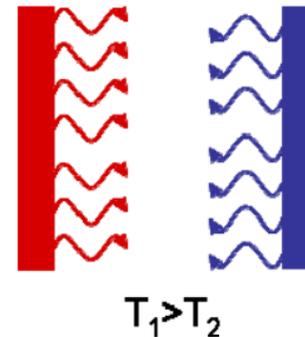
- ▶ transfert de chaleur dans un fluide ou un gaz *avec transfert de matière*
- ▶ convection naturelle : mouvement généré par un gradient de pression provenant des variations de densité liées aux différences de température
(l'air chaud est plus « léger » et monte)
- ▶ convection forcée : mouvement généré par un gradient de pression créé mécaniquement (p.ex. par un ventilateur)
- ▶ Influence sur la valeur U : courants d'air contre des parois ou dans des couches d'air
 - la résistance thermique d'échange à la surface varie en fonction de la direction du flux du chaleur, la vitesse de vent et la différence de température entre la surface et l'air
 - la résistance thermique des couches d'air diminue avec le taux de ventilation



Un peu de physique (transfert de chaleur)

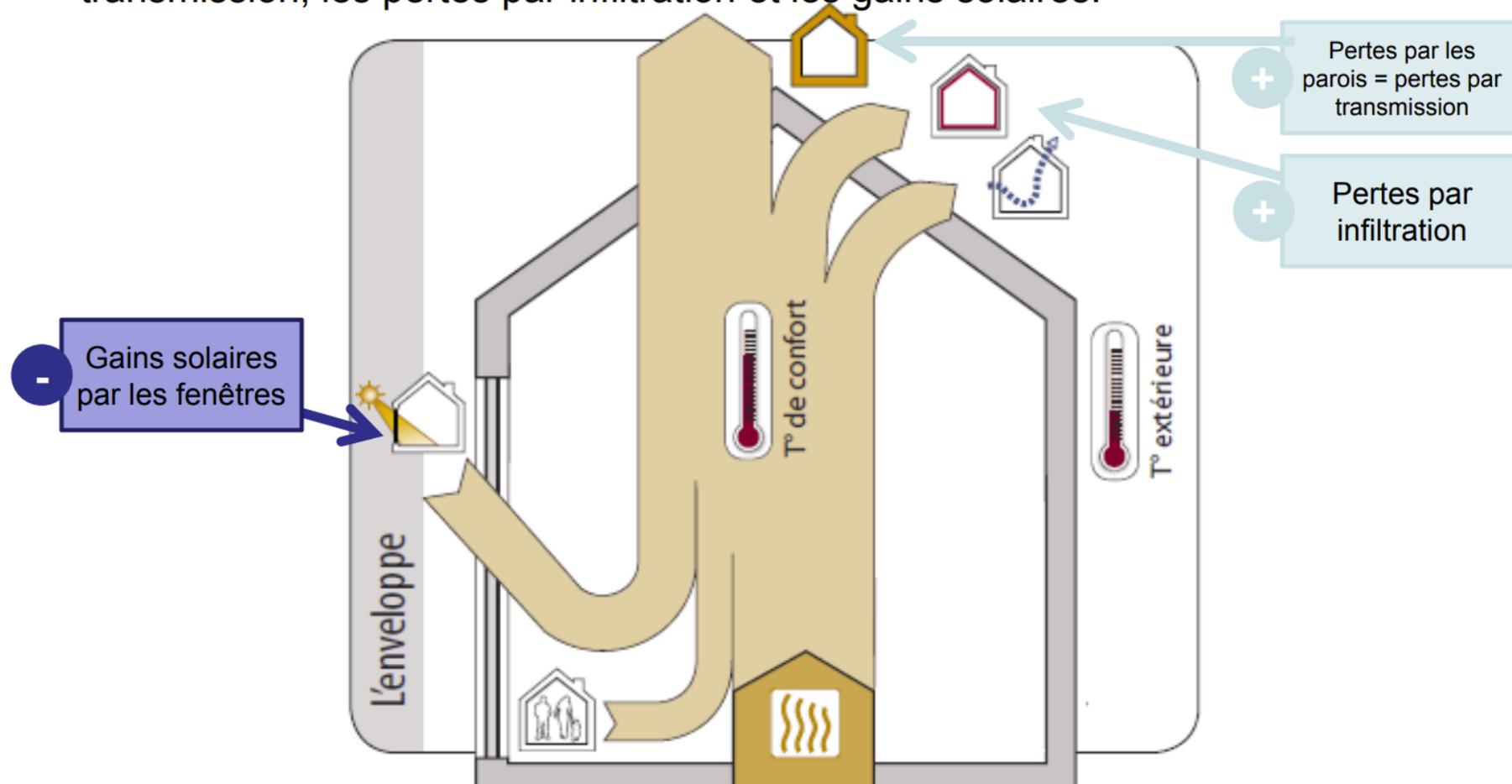
RAYONNEMENT

- ▶ transfert de chaleur par émission et absorption d'ondes *sans intermédiaire de la matière*.
(La chaleur du soleil nous parvient malgré le vide interstellaire)
- ▶ Un corps dont la température est supérieure au zéro absolu (0 °K) émet des ondes électromagnétiques. (Elles peuvent être détectées en thermographie infrarouge afin de définir la température du corps émetteur).
- ▶ transfert de chaleur entre les surfaces qui se trouvent à différentes températures
- ▶ Influence sur la valeur U
 - des couches réfléchissantes diminuent le transfert de chaleur par rayonnement :
 - le coating sur les vitrages
 - les écrans en alu derrière des radiateurs



Bâtiment économe en énergie

Le rôle des parois de de l'enveloppe est essentiel pour réduire au minimum les besoins net en énergie (BNE). Leurs qualités ont un impact sur les pertes par transmission, les pertes par infiltration et les gains solaires.



L'enveloppe du bâtiment est concernée.

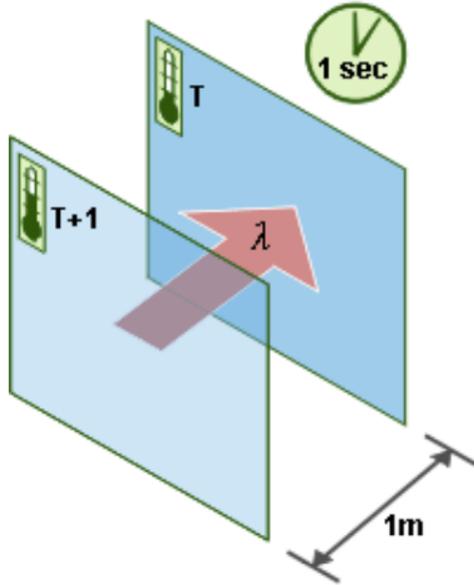


Les caractéristiques thermiques de l'enveloppe

- ▶ λ (lambda) la conductivité thermique
 - Caractérise un matériau
 - Plus petit est λ , plus isolant est le matériau
- ▶ R la résistance thermique
 - Caractérise une couche de matériau, d'air ou une surface d'échange
 - Plus R est élevé, plus la couche est isolante
- ▶ R_T la résistance thermique totale d'une paroi
 - Caractérise une paroi
 - Plus R_T est élevé, plus la paroi est isolante
- ▶ U le coefficient de transmission thermique
 - Caractérise une paroi
 - Plus petit est U, plus la paroi est isolante
- ▶ K le niveau d'isolation thermique globale
 - Caractérise le bâtiment
 - Plus petit est K, plus l'enveloppe du bâtiment est thermiquement efficace



λ (W/mk) La conductivité thermique



La conductivité thermique (λ) est une caractéristique propre à chaque matériaux.

Elle indique la quantité de chaleur qui se propage :

- à travers 1 m^2 d'un matériau,
- épais d'un 1 m ,
- lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 K ($1 \text{ K} = 1^\circ\text{C}$).

Plus la conductivité thermique est élevée, plus le matériau est conducteur de la chaleur. Plus elle est faible, plus le produit est isolant.

Ce coefficient n'est valable que pour les matériaux homogènes.



La conductivité thermique (intérieure et extérieure)

Pratiquement on distinguera :

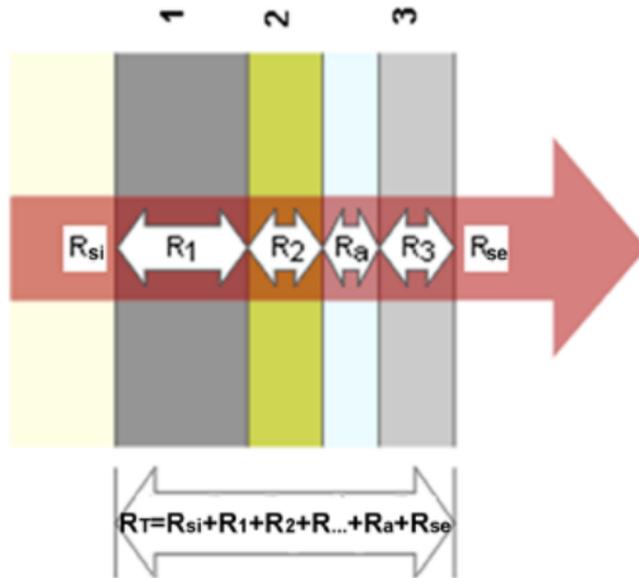
λ_i : Conductivité thermique d'un matériau dans une paroi intérieure ou dans une paroi extérieure, à condition que le matériau soit protégé contre l'humidité due à la pluie ou à la condensation.

λ_e : Conductivité thermique d'un matériau dans une paroi extérieure qui n'est pas protégé contre l'humidité due à la pluie ou à la condensation.

Remarque : λ est une caractéristique physique du matériau indépendant de sa forme.



Résistance thermique totale



Une paroi séparant deux ambiances de températures différentes, constitue un obstacle plus ou moins efficace, au flux de chaleur qui va s'établir depuis le côté chaud jusqu'au côté froid.

La chaleur va devoir :

- pénétrer dans la paroi,
- traverser les différentes couches de matériaux constituant la paroi,
- traverser des couches d'air éventuelles,
- et sortir de la paroi.

Résistance thermique des différentes couches de matériau ($R_1, R_2, R_3 \dots$)

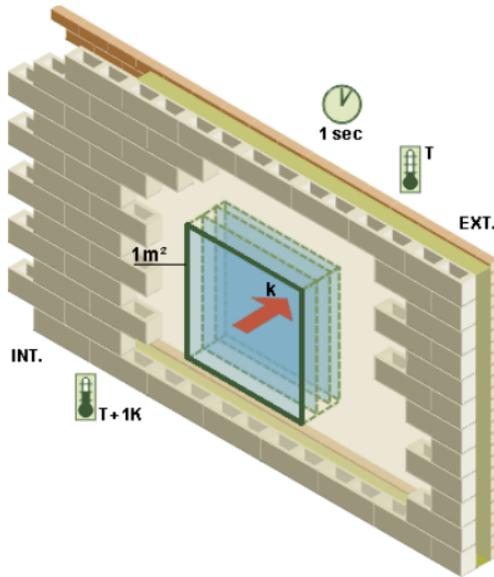
Résistance thermique d'échange superficiel (R_{si} et R_{se})

Résistance thermique des couches d'air (R_a)

Résistance thermique totale d'une paroi (R_T)



$$U \text{ (W/m}^2\text{K)} = 1 / R_T$$



Le coefficient de transmission thermique de la paroi est la quantité de chaleur traversant cette paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi.

Le coefficient de transmission thermique U est l'inverse de la résistance thermique totale (R_T) de la paroi.



Déperditions par transmission - K

- ▶ K = Niveau d'isolation thermique globale
- ▶ Principe : crédit énergétique par m^3 chauffé
- ▶ o.k. si on se limite aux seules transmissions de l'enveloppe
- ▶ Dépend de la compacité du bâtiment V/A_T
- ▶ Rappel code de mesurage : dimensions extérieures des parois

Définition du niveau d'isolation thermique globale K

Le niveau d'isolation thermique globale K caractérise la qualité thermique de l'enveloppe du volume protégé du bâtiment. Il globalise les déperditions par transmission à travers les parois qui constituent l'enveloppe qui entoure le volume protégé.



Déperditions par transmission - K

- ▶ Le niveau K d'un bâtiment est fonction :
 - des déperditions thermique totales de l'enveloppe qui entoure le volume protégé du bâtiment

$$= \sum a_j * U_j * A_j + \sum \psi_{lj} * l_j \quad [W / K]$$

Coefficient de transmission thermique de la paroi correspondante [W/m²K]

Coefficient correctif de la paroi correspondante

Surface de déperdition de la paroi correspondante [m²]

Longueur du pont thermique correspondant [m]

thermique linéaire du pont thermique correspondant [W/mK]



- ▶ Pour un même volume :
 - Déperditions plus importantes si la surface de l'enveloppe ↗
= Surface de déperdition
- ▶ La compacité volumique
 - = rapport entre le volume protégé et la surface totale de déperdition
- ▶ Pour obtenir une forte compacité → favoriser :
 - Les formes simples
 - Les bâtiments de grandes tailles
 - Les murs mitoyens



Matériaux isolants

Propriété	Laine minérale	Mousse synthétique	Verre cellulaire	Perlite, vermiculite	Liège
Conditionnement commercial	Flocons à insuffler, rouleaux, panneaux (semi-) rigides	Panneaux rigides avec /sans emboîtement	Panneaux rigides	Grains, panneaux rigides	Panneaux
Origine et fabrication	Fibres obtenues à partir de verre ou de roche en fusion	Moussage de matières plastiques (pétrochimie)	Verre pur expansé	Minéral expansé	Écorce de chênes-lièges
λ [W/mK] NBN	0,045	0,035 à 0,045	0,055	0,060	0,050
Comportement à l'eau	Non capillaire (n'absorbe pas l'eau)	Non capillaire (n'absorbe pas l'eau)	Non capillaire (n'absorbe pas l'eau)	Non capillaire (n'absorbe pas l'eau)	Légèrement capillaire
Comportement à la vapeur d'eau	Totalement perméable à la vapeur d'eau – Non hygroscopique	Quasiment imperméable à la vapeur d'eau – Non hygroscopique	Totalement imperméable à la vapeur d'eau – Non hygroscopique	Perméable à la vapeur d'eau – Non hygroscopique	Perméable à la vapeur d'eau – Non hygroscopique
Perméabilité à l'air	Totalement perméable à l'air	Quasiment imperméable à l'air	Imperméable à l'air	Perméable à l'air	Perméable à l'air
Réaction au feu	Non combustible	Combustible	Non combustible	Non combustible	Difficilement inflammable
Sensibilité à la vermine	Les rongeurs peuvent s'attaquer aux panneaux	Les rongeurs peuvent s'attaquer aux panneaux	Aucun attrait pour les rongeurs	Aucun attrait pour les rongeurs	Les rongeurs peuvent s'attaquer aux panneaux
Cancérigène ?	Non, parce que $\varnothing_{\text{fibreLM}} \gg \varnothing_{\text{fibre amiante}}$	Non	Non	Non	Non



Matériaux isolants

► Isolants synthétiques

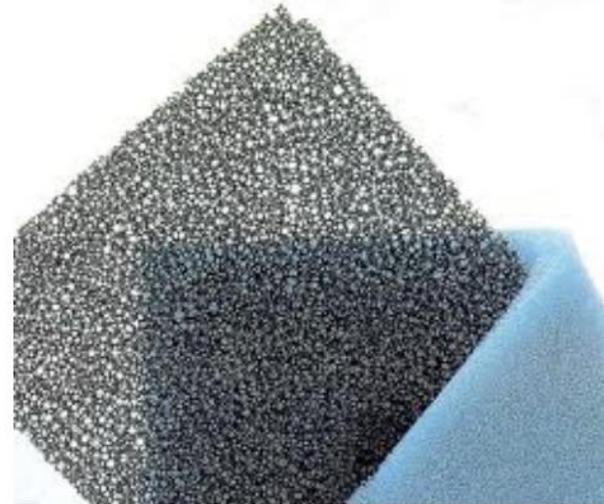
Isolant	densité ρ [kg/m ³]	λ certifié [W/mK]	λ ATG / CE [W/mK]	μ [-]	Comportement à l'eau / la vapeur d'eau	Imperméabilité à l'air ?	Résistance au feu	Energie de production [kWh/m ³]	Impact sur la santé	Impact sur l'environnement		Prix pour 5 cm HTVA [€/m ²]
										NIBE	Description	
Polyuréthane PUR	20 ► 40	0,035	0,024 ► 0,029	30	- Faiblement perméable à la vapeur d'eau - Non hygroscopique	- Quasi imperméable à l'air	M1 à M3	1 200	- Non exempt de toxicité : dégagement d'amines - Toxique en cas d'incendie (aucune capacité de respiration)	5A	- Non renouvelable, non recyclable mais réutilisable - Performance d'isolation durable dans le temps	15 ► 18 €/m ²
Polystyrène expansé EPS	7 ► 30	0,045	0,034 ► 0,04	60	- Faiblement perméable à la vapeur d'eau ► Convient pour les endroits à forte contrainte d'humidité	- Quasi imperméable à l'air	M1 à M3	450	- Dégagements de pentane et de styrène à la chaleur (irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires) - Toxique en cas d'incendie	2C	- Non renouvelable et non recyclable - Bonne tenue dans le temps	5 ► 8 €/m ²
Polystyrène extrudé XPS	20 ► 30	0,040	0,027 ► 0,034	150 ► 300	- Contient du benzène ► cancérigène	850		8 ► 11 €/m ²				
Mousse résolique Ex : Kooltherm	30 ► 60	-	0,020 ► 0,025		- Faiblement perméable à la vapeur d'eau	- Quasi imperméable à l'air	?	600	- Bien accepté par les milieux de l'éco-construction	-	- Composé de formaldéhyde nocif - Bonne tenue dans le temps	?
Mousse phénolique PF, urée-formol	8 ► 20	0,045	-	1,5 ► 3	- Absorbe l'eau	?	M1	?	- Si dégagement de formaldéhyde : nocif	-		
Polyisocyanurate PIR	20 ► 40	0,035	0,021 ► 0,025						- Engendre des problèmes de santé			



Matériaux isolants

► Polyuréthane **PUR** et Polyisocyanurate **PIR**

- Panneaux à base de mousse expansée de polyuréthane ou de polyisocyanurate
- *Le polyuréthane* : pouvoir isolant élevé mais résiste mal à la chaleur, au feu et au rayonnement ultraviolet
- *Le polyisocyanurate* possède un meilleur comportement au feu mais ses propriétés mécaniques sont plus faibles



Matériaux isolants

▶ Polystyrène expansé **EPS**

- Panneaux à base de mousse expansée de polystyrène
- Ne pas exposer à des $t^{\circ} > 70^{\circ}\text{C}$
- Résiste moins bien au feu



Matériaux isolants

► Polystyrène extrudé **XPS**

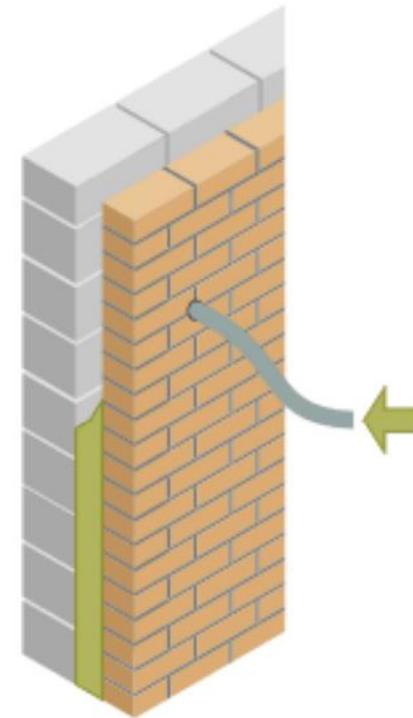
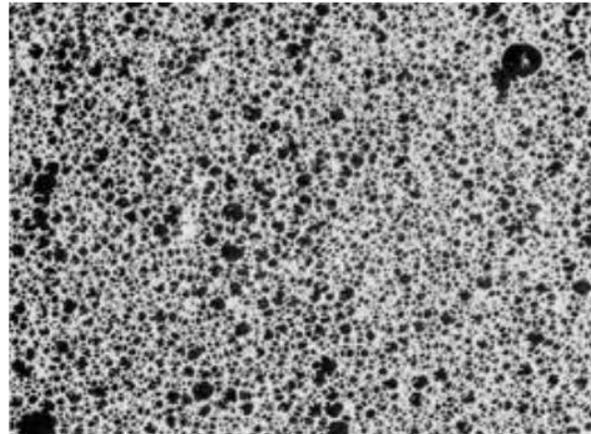
- Panneaux à base de mousse extrudée de polystyrène
- Structure cellulaire fermée et surface d'extrusion qui empêche l'absorption d'humidité
- Coefficient de dilatation thermique très élevé
- Ne pas exposer de façon prolongée à une $t^{\circ} > 75^{\circ}\text{C}$
- Résiste moins bien au feu



Matériaux isolants

► Mousse Phénolique **PF**

- Panneaux à base de mousse phénolique à structure cellulaire fermée
- Bon comportement au feu
- Pouvoir isolant élevé
- Mais si injectée in situ : risque de dégagement de vapeur de formol



Matériaux isolants

► Isolants minéraux

Isolant	densité ρ [kg/m ³]	λ certifié [W/mK]	λ ATG / CE [W/mK]	μ [-]	Comportement à l'eau / la vapeur d'eau	Imperméabilité à l'air ?	Résistance au feu	Energie de production [kWh/m ³]	Impact sur la santé	Impact sur l'environnement		Prix pour 5 cm HTVA [€/m ²]
										NIBE	Description	
Argile expansée	290 ► 810	-	-	-	- Insensible à l'eau - Non capillaire	- Perméable à l'air		300				
Perlite EPB	80 ► 120	0,060	0,046 ► 0,055	1,5 ► 4	- Ne résiste pas à une humidification prolongée (diminution des capacités thermiques)	- Perméable à l'air	M0	230	- Ne dégage aucun gaz en cas d'incendie - Propre, sans odeur et n'irrite pas - N'occasionne pas de réaction allergène		- Non renouvelable - Recyclable + Grande disponibilité - Matériau totalement naturel, écologique : non dangereux pour l'environnement durant son cycle de vie ou à l'état de déchet	11 ► 14 €/m ²
Vermiculite	75 ► 130	0,065	0,023 ► 0,065	1,5 ► 4			M0	230				15 €/kg
Verre cellulaire CG	100 ► 165	0,055	0,035 ► 0,048	∞	- Complètement étanche à la vapeur d'eau et à l'eau	- Imperméable à l'air	M0 à M1	1 600	- Pas de dégagements toxiques en cas d'incendie, sauf s'il est bitumé	2c	- Non renouvelable - Matériau relativement fragile - Recyclage possible mais difficile en remblais - Grande disponibilité	29 ► 35 €/m ²
Laine de verre GW	15 ► 150	0,045	0,040 ► 0,050	1,2 ► 1,3	- Totalement perméable à la vapeur d'eau - Non hygroscopique	- Totalement perméable à l'air	M0 à M1 (- bon que MW)	250	- Fibres irritantes lors de la mise en œuvre ► diamètre des fibres permettant le rejet par le corps humain en cas d'ingestion - Liants et colles parfois allergène	2a		9,5 ► 12,2 €/m ²
Laine de roche MW	15 ► 200	0,045	0,037 ► 0,045	1,2 ► 1,3			M0 à M1	150		2c	- Non renouvelable - Recyclage possible - Grande disponibilité	9 €/m ²



▶ Risque cancérigène des laines minérales ?

- Plus \emptyset est petit :
 - plus la densité est faible
 - et plus λ est petit
- Fibre de verre :
 - consensus des fabricants :
 - $\emptyset > 3$ microns
 - Indice de solubilité $\gg 100$ nano-grammes par cm^2 (de l'ordre de 300 en pratique)
 - \rightarrow si ingestion dans les poumons : élimination dans un délai maximal de 1 an
- Fibre d'amiante :
 - plus fine et plus résistante que la laine minérale \Rightarrow si ingestion dans les poumons : élimination dans un délai d'au moins 21 ans



Matériaux isolants

- ▶ Classement du Centre International de Recherche sur le Cancer (en anglais : International Agency for Research on Cancer) :
 - Groupe 1 = cancérigène pour l'homme
 - Groupe 2
 - Groupe 2A = probablement cancérigène pour l'homme : formaldéhyde
 - Groupe 2B = potentiellement cancérigène pour l'homme : certains experts de l'IARC considèrent que la fibre de verre devrait rester dans groupe 2B (potentiellement cancérigène) ⇒ nouvelle observation en cours, d'une population d'ouvriers (non fumeurs) travaillant dans des usines de fabrication de laine minérale
 - Groupe 3 = ne peut être démontré comme étant cancérigène pour l'homme
 - = classement actuel de la laine minérale
 - Groupe 4 = non cancérigène pour l'homme
 - Pour plus de détails : www.iarc.fr



Matériaux isolants

▶ La laine de roche **MW**

- Fibres de laine de roche liées par des résines synthétiques polymérisées → rouleaux et panneaux, avec ≠ rigidités et finitions de surface
- Totalement perméable à la vapeur d'eau mais non hygroscopique
- Non capillaire
- Totalement perméable à l'air
- Bonne stabilité thermique
- Bon comportement au feu
- Fortement compressible sauf si densité ↗
- Résiste au délaminage



Matériaux isolants

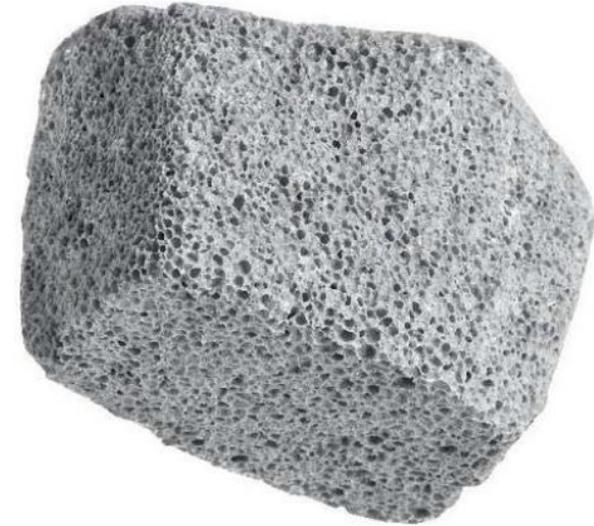
▶ La laine de verre **GW**

- Fibres de laine de verre liées par produit thermodurcissant → rouleaux et panneaux avec \neq rigidités et finitions de surface
- Composition uniforme
- Totalement perméable à la vapeur d'eau mais non hygroscopique
- Non capillaire
- Totalement perméable à l'air
- Bonne stabilité thermique
- Comportement au feu un peu moins bon que la laine de roche
- Résiste mal au délaminage (utilisation interdite en toiture plate)



▶ Le verre cellulaire **CG**

- Mousse de verre obtenue par expansion du verre en fusion (cellules ainsi formées contiennent un gaz inerte)
- Complètement étanche à la vapeur d'eau et à l'eau
- Imperméable à l'air
- Bonne stabilité thermique
- Bon comportement au feu : incombustible
- Matériau relativement fragile
- Si contraintes mécaniques, besoin d'un support régulier et rigide



Matériaux isolants

▶ Perlite expansée **EPB**

- Pierre volcanique concassée et expansée à $\pm 900^{\circ}\text{C}$
- Mélangée à des fibres cellulosiques et un liant bitumineux
→ panneaux
- Grande résistance à la compression et au poinçonnement
- Ne résiste pas à une humidification prolongée



▶ Argile expansée

- Granules d'argile crue, cuites à $\pm 1\ 100^{\circ}\text{C}$
→ billes d'argile expansée, arrondies et régulières, à structure cellulaire poreuse
- Insensibles à l'eau (→ à utiliser là où besoin de résistance à l'humidité)
- Très résistantes à la compression
- Utilisée en vrac (dallage isolant sur terre-plein, terrasses... : médiocre), en béton allégé ou comme constituant de blocs préfabriqués



Matériaux isolants

► Isolants végétaux

Isolant		densité ρ [kg/m ³]	λ certifié [W/mK]	λ ATG / CE [W/mK]	μ [-]	Comportement à l'eau / la vapeur d'eau	Perméabilité à l'air ?	Résistance au feu	Energie de production [kWh/m ²]	Impact sur la santé	Impact sur l'environnement		Prix pour 5 cm HTVA [€/m ²]
											NIBE	Description	
Liège expansé IBC	vrac	18	0,050	0,032 ► 0,045 Pas ATG	4,5 ► 29	- Perméabilité à la vapeur d'eau assez faible - Matériau hydrofuge	?	M1	310 ► 450	- Pas de dégagements toxiques en cours d'utilisation, ni en cas d'incendie	2a	- Renouvelable, recyclable totalement réutilisable - Coefficient de vieillissement extrêmement favorable (matériau imputrescible) - Ressource fragile : faible disponibilité	9,12 €/m ²
	panneaux	80 ► 120											
Bois feutré	haute densité	140 ► 160	-	0,050 ► 0,055	3 ► 4	?	?	?	12,5	- Toxicité possible liée aux traitements	-	- Renouvelable, recyclable - Grande disponibilité	
Laine de cellulose (papier)	vrac	35 ► 50	-	0,035 ► 0,043 Pas ATG	1 ► 2	- Bon régulateur hygrométrique (peut absorber jusqu'à 15% de son poids en humidité)	?	M1	50 ► 100	- Port du masque préconisé lors de la pose en vrac	1a	- Recyclable, réutilisable et compostable - Papier recyclé = très grande disponibilité - Perd de ses performances suite à un contact prolongé avec l'eau	12 ► 15 €/m ²
	panneaux	70 ► 100	-						1				
Fibre (laine) de bois		30 ► 150	-	0,038 ► 0,070 Pas ATG	3 ► 5	- Très perméable à la vapeur d'eau	?	M1	12,5	- Pas de dégagements toxiques en cours d'utilisation, ni en cas d'incendie	-	- Très grande longévité, - Recyclable	7 ► 10 €/m ²



Matériaux isolants

Isolants végétaux (suite)

Isolant	densité ρ [kg/m ³]	λ certifié [W/m K]	λ ATG / CE [W/mK]	μ [-]	Comportement à l'eau / la vapeur d'eau	Perméabilité à l'air ?	Résistance au feu	Energie de production [kWh/m ³]	Impact sur la santé	Impact sur l'environnement		Prix pour 5 cm HTVA [€/m ²]
										NIBE	Description	
Laine de chanvre (Chènevotte)	25 ▶ 210	-	0,039 ▶ 0,045 Pas ATG	1 ▶ 2	- Perméable à la vapeur d'eau	?	M1 ignifugé sinon M4	40	- Pas de dégagement toxique en cours d'utilisation	-	- Renouvelable, recyclable, réutilisable et compostable - Encore peu accessible sur le marché	10 ▶ 15 €/m ²
Laine de coco	20 ▶ 50	-	0,047 ▶ 0,050 Pas ATG	1 ▶ 2	- Perméable à la vapeur d'eau - Grande résistance à l'humidité	?	M1 ignifugé sinon M4	transport	- Pas de traitement chimique des fibres	-	- Renouvelable, recyclable, réutilisable et compostable - Monoculture utilisant des pesticides	15 ▶ 25 €/m ²
Laine de lin	18 ▶ 35	-	0,037 ▶ 0,045	1 ▶ 2	- Perméabilité à la vapeur d'eau - résistance à l'humidité	?	M1 ignifugé sinon M4	30	- En cas d'incendie, pas de dégagements toxiques	1c	- Renouvelable, réutilisable et compostable	8,50 ▶ 11,30 €/m ²
Laine de coton	20 ▶ 30	-	0,037 ▶ 0,042	1 ▶ 2	- Perméabilité à la vapeur d'eau - Résistance à l'humidité	?	M1 ignifugé sinon M4	Transport	- En cas d'incendie, pas de dégagements toxiques - Ne comporte pas de fibres minérales biopersistantes - Peut être allergène		- Renouvelable, recyclable, réutilisable et compostable - Monoculture polluante	11 €/m ²
Roseaux	100	-	0,056	1 ▶ 1,5	- Matériau hygroscopique				- ne dégagent aucune fumée toxique		- Renouvelable, réutilisable et compostable - Ressource avec disponibilité limitée - Doivent être importés (attention à l'énergie grise due au transport)	35 ▶ 40 €/m ²
Paille		-	0,055 ▶ 0,075				M4	10			- matériau naturel, écologique et renouvelable - Sensible au feu : nécessite un enduit de protection	8 €/m ³



Matériaux isolants

▶ Laine de cellulose

- Provient du papier recyclé, défibré, réduit en flocons, stabilisé (agents de texture et ignifugeants)
- Conditionnement : en vrac, compactée ou décompactée, en panneaux isolants texturés ou en panneaux d'agencement
- Elle est auto-extinguible, grâce à l'incorporation de sels de bore



▶ Bois feutré

- Obtenu à partir du défibrage de chutes de bois résineux
- Ajout d'eau → pâte, coulée, laminée et séchée → panneaux auto-agglomérés (≠ formulations, densités, profilages, épaisseurs)
- Utilisation : isolant seul ou plus souvent comme panneaux techniques complémentaires d'isolation
- Difficilement combustible



Matériaux isolants

▶ Liège expansé

- Liège réduit en granules puis expansé à la vapeur (300°C)
→ aggloméré ensuite découpé
- Air enfermé dans les cellules fermées = pouvoir isolant
- Conditionnement : en granules, en panneaux ou en éléments composites préfabriqués
- Difficilement combustible



Matériaux isolants

▶ Laine de coco

- Issue de la bourre entourant le péricarpe des noix de coco
- Conditionnement : en vrac, en rouleaux, en feutre ou en panneaux semi-rigides (fibres liées et texturées par une colle au latex naturel)
- Ignifugée au sel de bore
- Pas de traitement chimique des fibres
- Fibres cardées (+ traitement ignifugeant au sel de bore)



Matériaux isolants

▶ Chanvre

- Chènevotte (particules de la partie centrale de la tige) entourée de filasse (fibres longues), soumise à imprégnation par les silicates
- Conditionnement : en granules de chènevotte (défibrée mécaniquement en paillettes de 5 à 15 mm), en granules et fibres longues (chanvre entier) ou en fibres longues seules (laine de chanvre : filasse séparée de la chènevotte, affinée et calibrée → laine homogène en vrac, en rouleaux ou en panneaux semi-rigides)
- Difficilement inflammable



Matériaux isolants

▶ Lin

- Produits actuels d'isolation fabriqués à partir des fibres courtes de la plante, non utilisées dans l'industrie textile
- Premier traitement aux sels minéraux, puis fibres cardées
→ couches superposées et thermoliées avec des fibres de polyester
→ ouate
- Ouate séchée, aérée et découpée
- Conditionnement : en vrac, en rouleaux, en panneaux semi-rigides ou en feutre
- Difficilement inflammable



▶ Roseaux

- Haute teneur en silice → durabilité et résistance aux agents climatiques
- Ressource limitée (roselières rares et protégées)
- Conditionnement :
 - Bottes
 - Panneaux : tiges empilées parallèlement, comprimées mécaniquement et reliées (fils de fer galvanisés) → panneaux de 2 à 10 cm d'épaisseur
 - En panneaux terre-roseaux : tiges = armature interne pour panneaux d'argile (préfinition → + enduit). Armature extérieure des panneaux : treillis de fibres de jute. Panneaux = volants thermiques et régulateurs de l'hygrothermie.
 - Treillis de roseaux (faible épaisseur) : tiges servent essentiellement de support d'enduits → finition rapportée sur des parois existantes.



Matériaux isolants

► Isolants d'origine animale

Isolant	densité ρ [kg/m ³]	λ certifié [W/m K]	λ ATG / CE [W/m K]	μ [-]	Comportement à l'eau / la vapeur d'eau	Perméabilité à l'air ?	Résistance au feu	Energie de production [kWh/m ³]	Impact sur la santé	Impact sur l'environnement		Prix pour 5 cm HTVA [€/m ²]
										NIBE	Description	
Laine de mouton	10 ► 30	-	0,035 ► 0,045	1 ► 2	- Très perméable à la vapeur d'eau - Grande capacité d'absorption de l'eau (Ne convient pas aux espaces humides)		M1	55	- Pas de dégagement toxique - Légère toxicité de certains composants des additifs anti-mites	1a	- Renouvelable, biodégradable, recyclable et réutilisable	10 cm 12 ► 15 €/m ²
Plume de canard	7,5 ► 10	-	0,033 et 0,042 W/m. K		- Très perméable à la vapeur d'eau - Excellente hygroscopicité (conserve toutes ses qualités d'isolant après séchage)			55	- Pas de dégagement toxique en cas d'incendie - N'est pas allergène		- Renouvelable	20 ► 25 €/m ²



Matériaux isolants

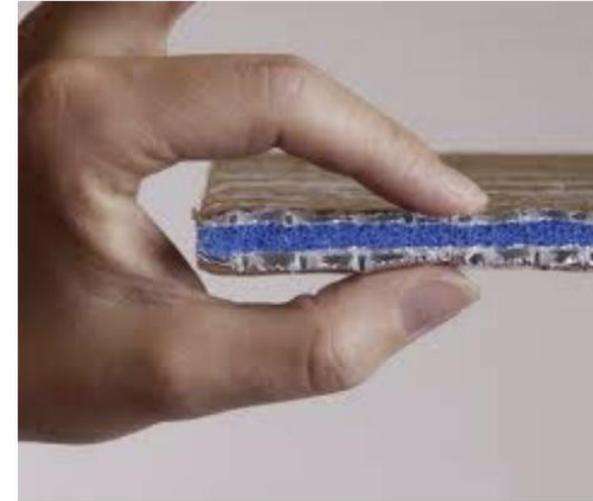
▶ Laine de mouton

- Produits de tonte lavés (savon + soude) pour les débarrasser des impuretés et du suint, sécrétion de l'épiderme de l'animal
- Traitement insecticide et contre le feu (sels de bore...)
- Laine cardée et texturée au moyen de fibres thermofusibles (polyester), ou sur un canevas en polypropylène
- Conditionnement : en vrac, en rouleaux, en panneaux semi-rigides ou en feutre



▶ Produits minces réfléchissants (PMR)

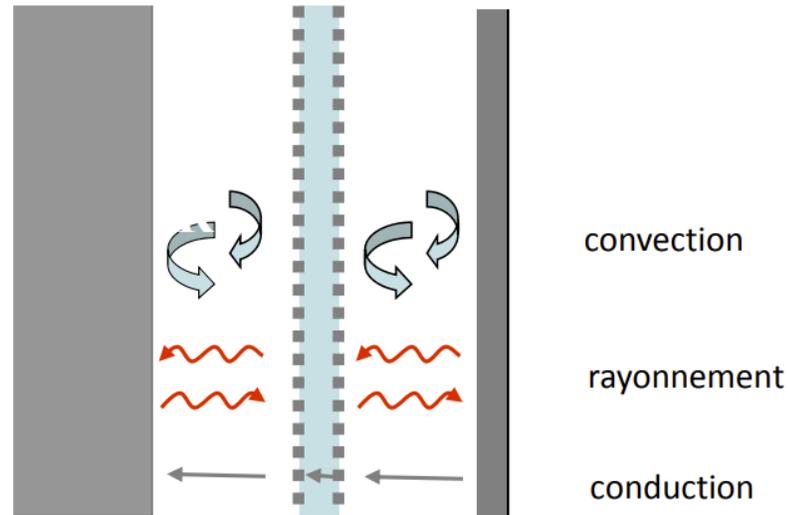
- Performances thermiques annoncées équivalentes aux matériaux isolants traditionnels plus épais
- Composition : mince couche de mousse plastique, film de PE emprisonnant des bulles d'air ou matière fibreuse, recouverte sur 1 ou 2 faces de feuilles réfléchissantes (alu). Existe en multicouche, parfois avec feuilles réfléchissantes intermédiaires.
- Epaisseur : 5 à 30 mm
- Performances « atteintes » grâce à l'effet réfléchissant des couches superficielles



► Produits minces réfléchissants

- Faible épaisseur → résistance thermique intrinsèque faible
- Pour bénéficier de l'effet réfléchissant : doit être entouré de 2 lames d'air sec non ventilé
- Basse émissivité des couches superficielles réduit le transfert de chaleur par rayonnement → augmente la résistance thermique des lames d'air

modes de transfert de chaleur dans une configuration où le PMR est séparé par 2 lames d'air

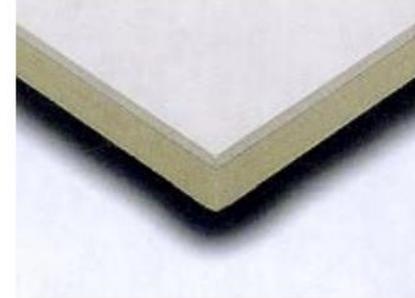


Panneaux isolants spéciaux

(exemples)



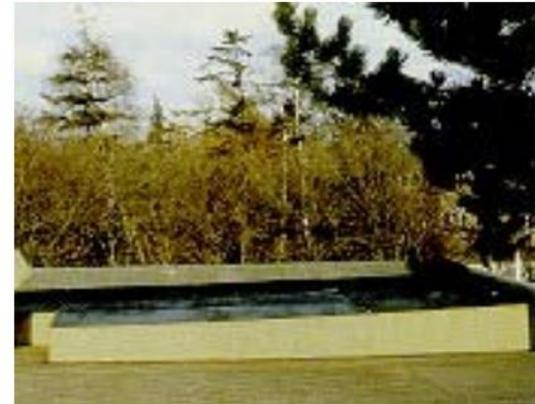
Béton + XPS



Panneau complexe plâtre



Panneau sandwich acier + **PUR**



Isolant avec pente intégrée



Choix de l'isolant

Le choix de l'isolant se fera en fonction de

- ▶ ses performances thermiques ;
 - ▶ **sa raideur** ;
 - ▶ son comportement au feu ;
 - ▶ sa résistance à l'écrasement ;
 - ▶ sa compatibilité avec les autres matériaux ;
 - ▶ son étanchéité à l'eau ;
 - ▶ son étanchéité à la vapeur ;
 - ▶ son prix (?),
- et aussi des garanties fournies par son fabricant.



- ▶ Pour qu'un isolant soit correctement posé, il faut qu'il soit **facile** à poser. Il faut donc bien le choisir.
 - **Un matelas souple**
 - S'adapte facilement à des largeurs irrégulières (entre chevrons par exemple)
 - S'applique facilement sur un support irrégulier



La raideur

- ▶ Pour qu'un isolant soit correctement posé, il faut qu'il soit **facile** à poser. Il faut donc bien le choisir.
 - **Un panneau rigide**
 - S'emboîte avec ses voisins
 - Résiste aux contraintes d'une aire de foulée ou du sol
 - Peut se passer d'une structure raidissante



La raideur

- ▶ Pour qu'un isolant soit correctement posé, il faut qu'il soit **facile** à poser. Il faut donc bien le choisir.
 - **Un isolant en vrac**
 - Remplit des cavités irrégulières



Une pose correcte nécessite du soin

- ▶ Pas de courant d'air derrière l'isolant



Une pose correcte nécessite du soin

- ▶ Pas d'interruption de l'isolant : en mettre partout (panneaux jointifs, isolant en vrac)



Une pose correcte nécessite du soin

- ▶ Ne pas trop tasser l'isolant



Une pose correcte nécessite du soin

► Finitions périphériques



Les parois du volume protégé

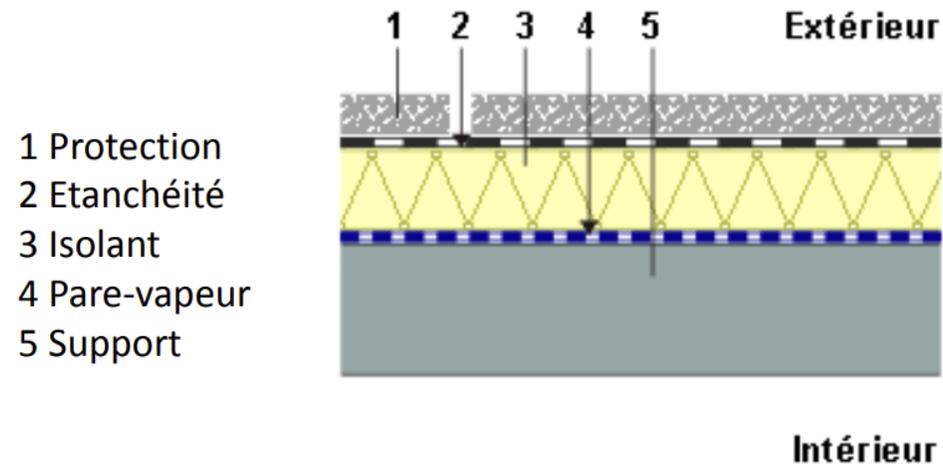
- Les toitures
 - Les toitures plates
 - Les toitures inclinées
 - Les plafonds
- Les murs
 - Les murs pleins
 - Isolation intérieure
 - Isolation extérieure
 - Les murs creux
- Les fenêtres
- Les planchers inférieurs



- Les principaux types de toitures plates
 - Toiture chaude
 - Toiture inversée
 - Toiture combinée
 - ~~Toiture froide~~



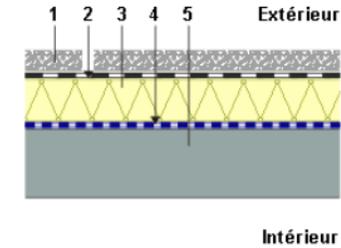
Toiture chaude



La toiture chaude désigne la toiture plate dont l'isolant est placé sur le support sans lame d'air entre les différentes couches.
L'isolant est recouvert par la membrane d'étanchéité.
Dans la plupart des cas, un écran pare-vapeur doit être interposé entre le support et l'isolant.
L'étanchéité peut être lestée ou non.



Toiture chaude



Avantages

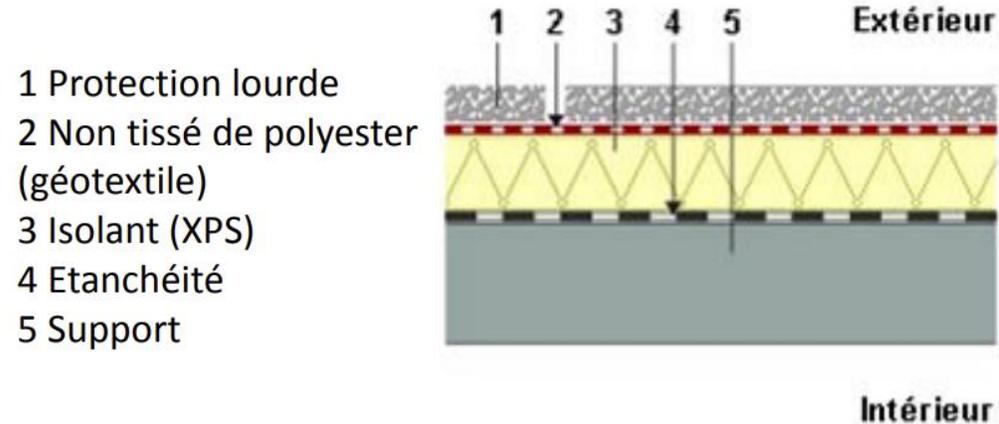
- L'isolant conserve toutes ses caractéristiques thermiques.
- Ne nécessite pas de lestage, fixation mécanique ou collage possible
- Est léger (pour des structures existantes qui ne supportent pas une augmentation de charge).
- Protège le bâtiment des variations de température (dilatations et contraintes)
- Lorsque le support est de type lourd, augmente l'inertie thermique du local.

Inconvénients

- Variations de température de la membrane.
- En cas de rénovation, la membrane d'étanchéité existante doit être renouvelée d'office, même si elle est encore bonne (elle peut toutefois être conservée pour servir de pare-vapeur.)



Toiture inversée

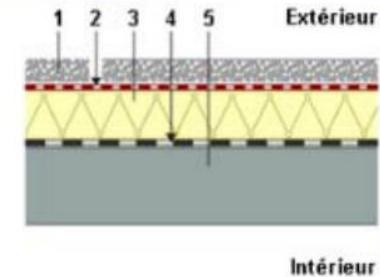


La toiture inversée désigne la toiture plate dont l'étanchéité est placée sur le support et dont l'isolant est posé sur l'étanchéité. L'isolant est donc mouillé par les eaux pluviales. L'isolant est lesté.

Attention : Isolant en une seule couche !



Toiture inversée



Avantages

- En rénovation, la membrane d'étanchéité existante peut être conservée.
- La membrane d'étanchéité fait en même temps office de pare-vapeur.
- Protège la membrane contre les chocs thermiques et le rayonnement UV.
- Protège le bâtiment des variations de température (dilatations et contraintes).
- Lorsque le support est de type lourd, augmente l'inertie thermique du local.

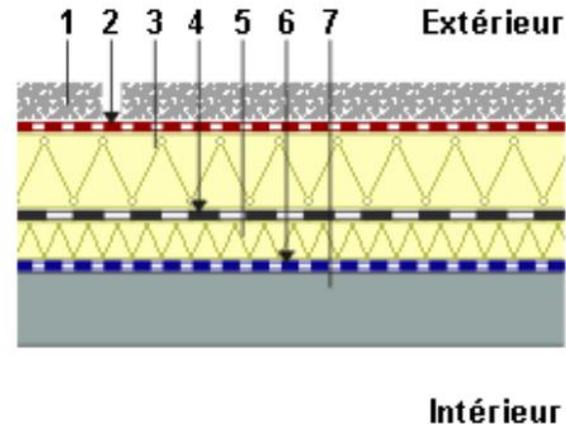
Inconvénients

- Nécessité de mettre en œuvre un lestage (poids sur la construction).
- La pente doit être inférieure à 5° .
- L'eau sous l'isolant entraîne des déperditions calorifiques. Epaisseur + 20 %.
- Ponts thermiques difficiles à éviter le long des bords.
- Entretien plus difficile qu'une toiture chaude non lestée.
- Risque de condensation en début de précipitation (support léger)



Toiture combinée

- 1 Protection lourde
- 2 Non tissé de polyester (géotextile)
- 3 Isolant (XPS)
- 4 Etanchéité
- 5 Isolant
- 6 Pare-vapeur
- 7 Support



La toiture combinée consiste en un mélange des techniques "toiture chaude" et "toiture inversée".

L'isolation est mise en place en deux couches.

La première couche d'isolant est recouverte par la membrane d'étanchéité.

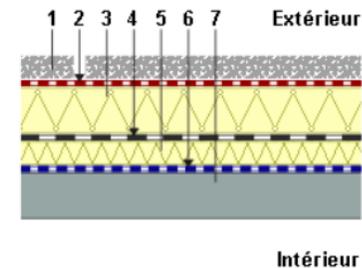
La deuxième couche d'isolant est placée sur la membrane d'étanchéité.

Un écran pare-vapeur est parfois interposé entre le support et l'isolant inférieur.

Le lestage est nécessaire.



Toiture combinée



Avantages

- Le pare-vapeur n'est pas toujours nécessaire.
- Diminue les risques de condensation sous la membrane d'étanchéité.
- La membrane d'étanchéité fait en même temps office de pare-vapeur.
- Protège la membrane contre les chocs thermiques et le rayonnement UV.
- Protège le bâtiment des variations de température (dilatations et contraintes)
- Lorsque le support est de type lourd, augmente l'inertie thermique du local.

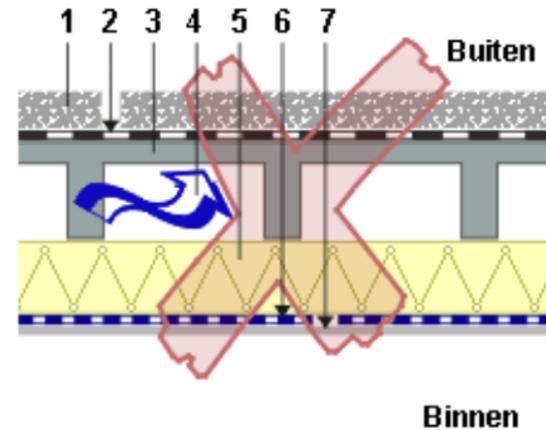
Inconvénients

- Ce système n'est conseillé que lorsque des couches d'isolation très épaisses sont nécessaires.
- Entretien plus difficile qu'une toiture chaude non lestée..



Toiture froide

- 1 Protection
- 2 Etanchéité
- 3 Support
- 4 Couche ventilée
- 5 Isolant
- 6 Pare-vapeur
- 7 Finition



La toiture froide désigne la toiture plate dont l'isolant est placé en dessous du support de l'étanchéité avec une lame d'air ventilée interposée.

Jadis régulièrement mis en œuvre, ce **système** est actuellement **complètement dépassé** et est **à proscrire**



Toiture froide

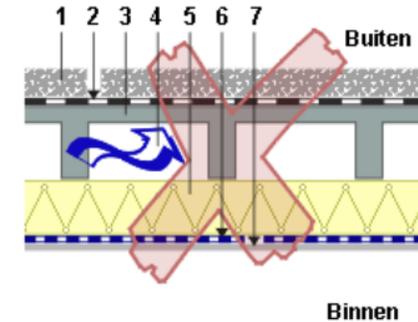
Avantages

- Aucun

Inconvénients

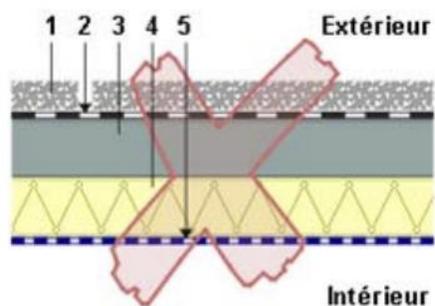
- Condensation interne inévitable.
- La vapeur d'eau se condense sur le support d'étanchéité et retombe sur l'isolant.
- Ventilation de la lame d'air souvent plus faible que nécessaire.
- Le support parfois beaucoup plus froid que l'air extérieur (sur-refroidissement).
- Air intérieur chaud aspiré dans l'espace ventilé et s'y condense.

La condensation entraîne l'altération de l'isolant et la suppression de son efficacité, la pourriture des planchers, le gel des matériaux, le décollement ou le ramollissement des matériaux agglomérés, le développement de moisissures, etc.



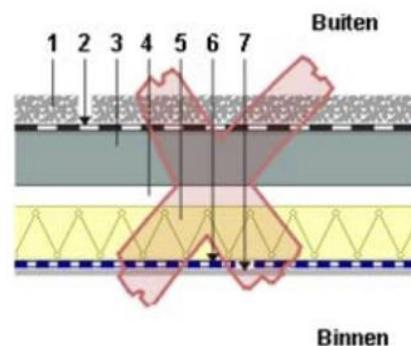
A éviter

Isolant sous le support



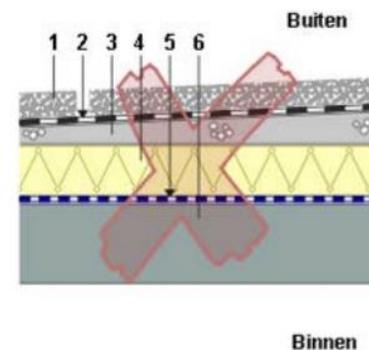
- 1 Protection
- 2 Etanchéité
- 3 Support
- 4 Isolant
- 5 Pare-vapeur

Isolant sur le plafond



- 1 Protection
- 2 Etanchéité
- 3 Support
- 4 Couche d'air
- 5 Isolant
- 6 Pare-vapeur
- 7 Finition (plafond)

Isolant sous le béton de pente

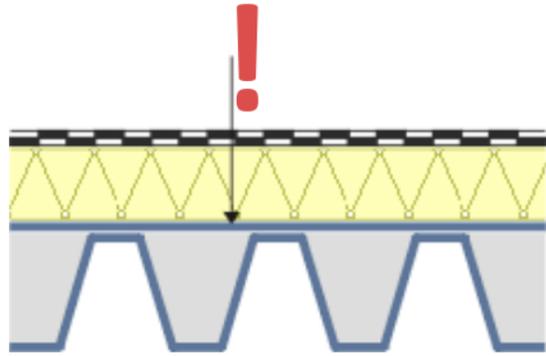


- 1 Protection
- 2 Etanchéité
- 3 Béton de pente
- 4 Isolant
- 5 Pare-vapeur
- 6 Support

L'isolation thermique par l'intérieur diminue l'inertie thermique utile de la paroi



Les pare-vapeurs



Le tableau ci-contre permet de choisir la classe de pare-vapeur (dia 19) nécessaire pour une toiture chaude en fonction du support, du type d'isolant et de la classe de climat intérieur du bâtiment (dia 13) .

En général le pare-vapeur sera de type synthétique lorsque la membrane d'étanchéité est synthétique et bitumineuse lorsque la membrane d'étanchéité est bitumineuse.

Support	Climat intérieur	PUR (i)	EPS	PF	MW	CG	EPB	ICB
Béton ou béton maigre	I	-	-	E2	E2	-	E2	E2
	II	-	-	E2	E2	-	E2	E2
	III	-	-	E2	E2	-	E2	E2
	IV	E3	E3	E3	E3	(ii)	E3	E3
Béton (de pente) léger	I	E2	E2	E2	E2	-	E2	E2
	II	E2	E2	E2	E2	-	E2	E2
	III	E2	E2	E2	E2	-	E2	E2
	IV	E4	E4	E4	E4	(ii)	E4	E4
Plancher porteur isolant préfabriqué (iv)	I	E2	E2	E2	E2	-	E2	E2
	II	E2	E2	E2	E2	-	E2	E2
	III	E2	E2	E2	E2	-	E2	E2
	IV	E3	E3	E4	E3	(ii)	E3	E3
Planches ou panneaux en bois	I	(iii)	(iii)	(iii)	(iii)	(iii)	(iii)	(iii)
	II	E2	E2	E2	E2	(iii)	E2	E2
	III	E2	E2	E2	E2	(iii)	E2	E2
	IV	E3	E3	E3	E3	(ii)	E3	E3
Tôles profilées (v)	I	-	-	-	-	-	-	-
	II	E1	E1	E1	E1	-	E1	E1
	III	E1	E1	E1	E1	-	E1	E1
	IV	E3	E3	E3	E3	(ii)	E3	E3



► Définition :

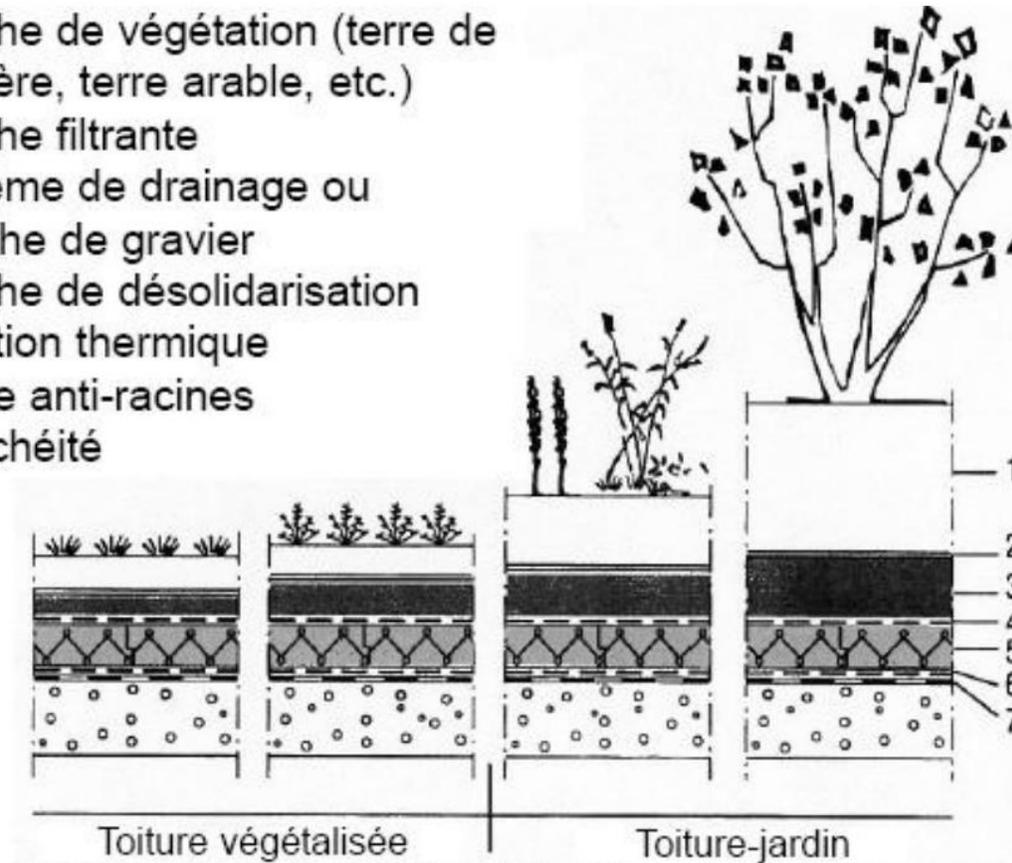
- Toiture verte = toiture plate, chaude ou inversée, accessible
- Recouverte de végétation et des couches nécessaires à son développement : substrat, drainage, protection de l'étanchéité ...
 - Végétation intensive élaborée : toutes plantes que l'on peut trouver dans un jardin : gazon, fleurs, arbustes, arbres, etc.
 - Végétation intensive peu élaborée : gazon et certaines plantes décoratives à croissance lente.
 - Végétation extensive : lichens, mousses, sédums et certaines plantes vivaces.
 - Substrat : couche dans laquelle la végétation est plantée
 - mélange spécialement développé pour les toitures vertes et de masse volumique plus faible que la terre de jardin classique



Cas particulier : toitures vertes

- ▶ Il en existe ≠ sortes en fonction du type et de l'épaisseur des couches constitutives

- 1 = couche de végétation (terre de bruyère, terre arable, etc.)
- 2 = couche filtrante
- 3 = système de drainage ou couche de gravier
- 4 = couche de désolidarisation
- 5 = isolation thermique
- 6 = feuille anti-racines
- 7 = étanchéité



Cas particulier : toitures vertes

▶ Toiture-jardin :

- Aménagée en espace vert → végétation intensive qui nécessite un entretien spécifique et régulier
- Demande une conception spéciale de la toiture et de sa structure portante car mise en œuvre d'une épaisse couche de terre
 - → surcharges permanentes $> 400 \text{ kg/m}^2$ + eau contenue

▶ Toiture-jardin légère :

- Intermédiaire entre toitures-jardins et toitures végétalisées
- Epaisseur de substrat réduite
 - → poids limité, entre 100 et 400 kg/m^2
- Végétations extensives et intensives envisageables, sauf arbres ou arbustes de trop grande taille



Cas particulier : toitures vertes

► Toiture végétalisée

- Végétation extensive et substrat spécialement développé
 - → épaisseur très faible (quelques cm)
 - aucun apport d'eau ni d'engrais nécessaire
- → Surcharge de max 90 kg/m² (lorsqu'elle est humide)

	VEGETATION INTENSIVE		VEGETATION EXTENSIVE
	Toiture-jardin	Toiture-jardin légère	Toiture végétalisée
Epaisseur (indicative)	> 0,25 m	de 0,1 à 0,25 m	< 0,1 m
Surcharge approximative de la toiture	> 400 kg/m ²	100 à 400 kg/m ²	30 à 100 kg/m ²
Réalisation en rénovation	souvent non	parfois	oui
Réalisation en bâtiment neuf	à étudier	à étudier	oui
Accessible	oui	oui	non (*)
Pente usuelle du support (indicatif)	2 % à 10 %	2 % à 57 %	2 % à 70 %
Entretien de la végétation	important	moyen	limité

(*) Sauf aménagement supplémentaire



Cas particulier : toitures vertes

▶ Avantages des toitures vertes

- Amélioration de la qualité de vie (confort visuel, qualité de l'air, développement du biotope animal et végétal...)
- ↗ du confort thermique et acoustique grâce à la couche de terre (inertie thermique, résistance...)
- Gestion de l'eau : on évite le rejet immédiat dans les égouts (solution traditionnelle)
 - Effet « tampon » : l'eau transite dans les couches de la toiture verte avant d'atteindre l'avaloir → rejet moindre (consommation par les plantes et évapotranspiration) et différé (surcharge réseau évitée)
- Protection de l'étanchéité de la toiture : ↗ sa durée de vie (rayonnement solaire)



Cas particulier : toitures vertes

▶ Etanchéité

- Inaccessible → réparations difficiles et coûteuses → ⚠
- Chape rugueuse → éviter le poinçonnement de la membrane (charge de la toiture verte)
- Eviter la perforation qui permettrait le passage des racines
- Etanchéités bitumineuses : pas de résistance intrinsèque aux racines → solutions :
 - Adjuvants chimiques
 - Pose en revêtement bicouche et en adhérence totale
 - Recouvrements toujours soudés

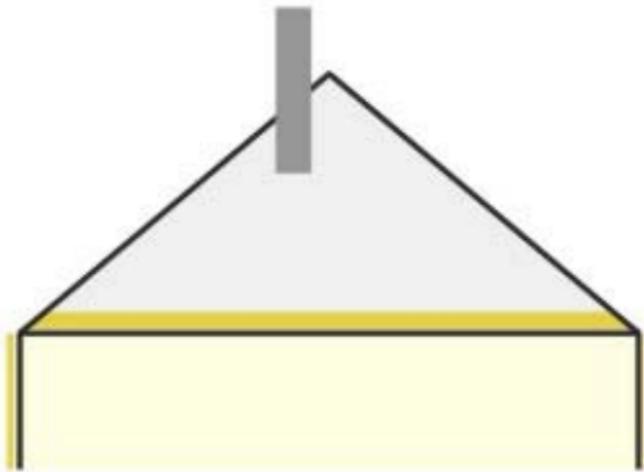


Les toitures inclinées

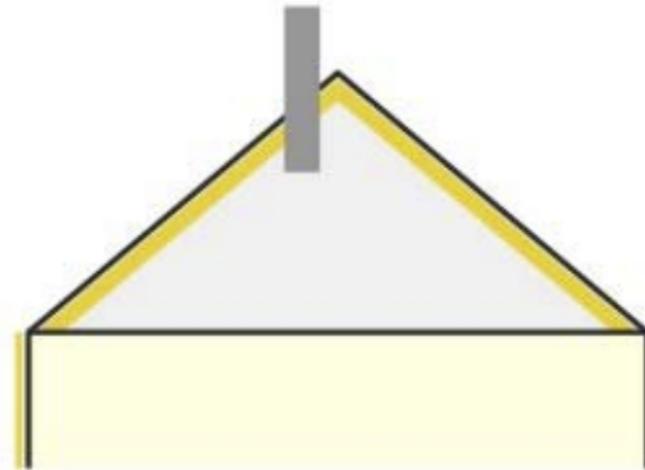
Dès le début de l'étude, il est nécessaire de choisir entre deux possibilités :

- isoler les versants (plus grand volume habitable)
- isoler le plancher des combles (plus petite surface de déperdition)

Cette dernière option sera généralement privilégiée si les combles ne sont pas destinés à l'habitation. On a, en effet généralement intérêt à réduire le volume protégé au minimum nécessaire pour réduire la consommation d'énergie.



Isolation du plancher des
combles

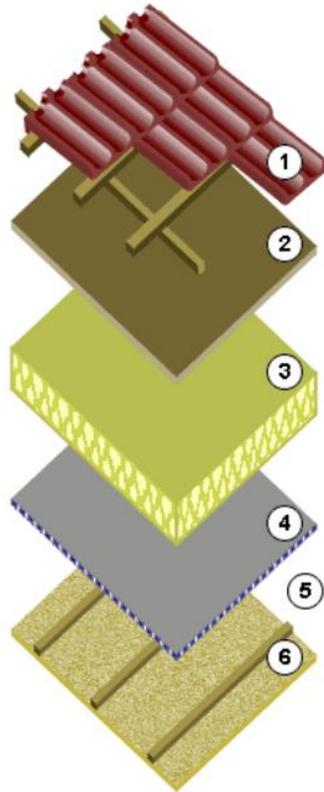


Isolation du toit



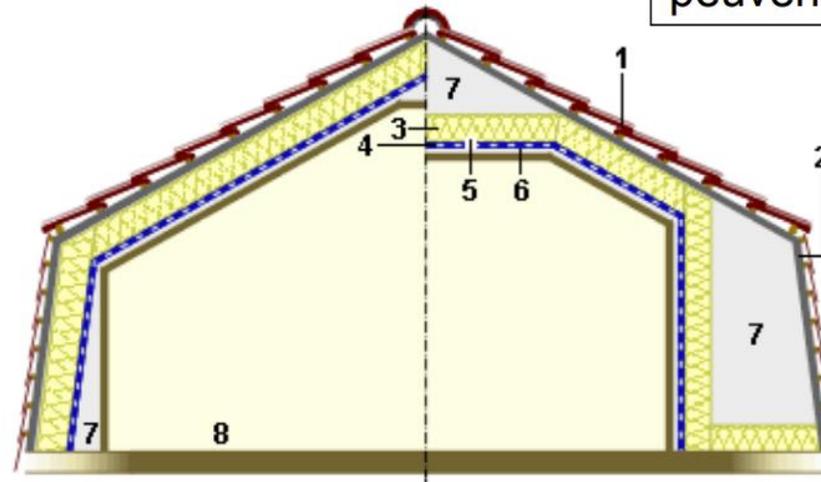
Les toitures inclinées

Pour remplir son triple rôle - protection / confort / économie -, la toiture inclinée est généralement constituée, outre la charpente, des couches suivantes :



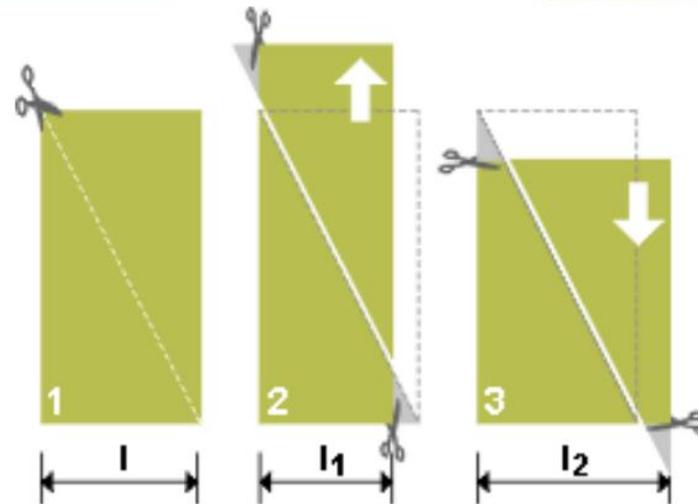
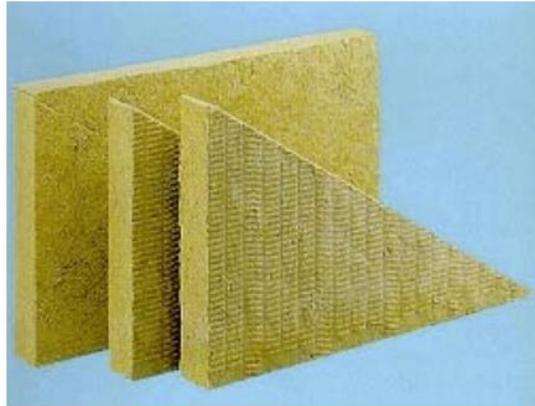
- 1 Couverture
- 2 Sous-toiture
- 3 Isolation
- 4 Pare-vapeur
- 5 Vide technique
- 6 Finition du plafond
- 7 Espace vide (comble)
- 8 Local intérieur

Si l'ordre des différentes couches est toujours le même, par contre les espaces entre elles peuvent varier.



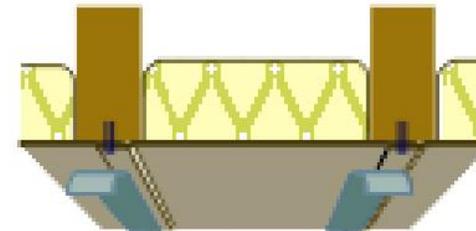
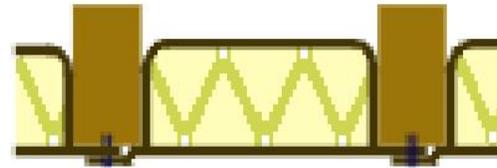
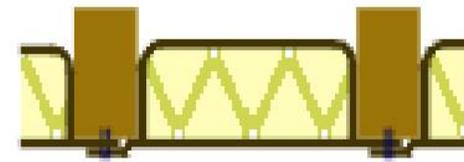
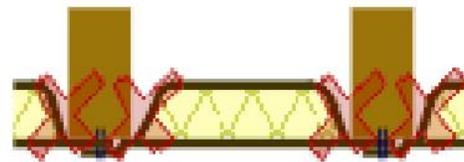
Les toitures inclinées isolant entre chevrons

Isolant souple à largeur réglable pour reprendre les irrégularités du chevronnage

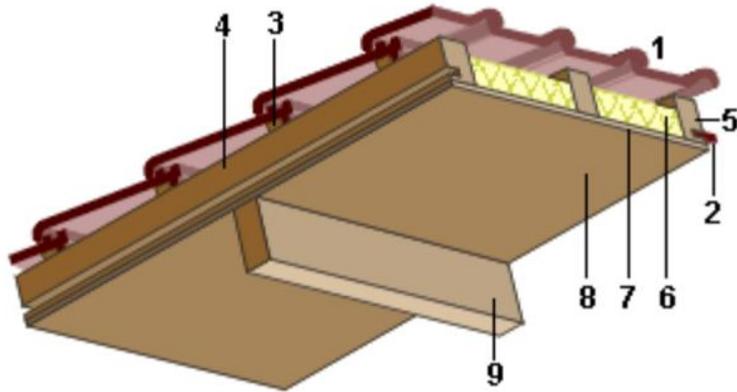


Les toitures inclinées isolant entre chevrons

Les matelas souples doivent être posés correctement

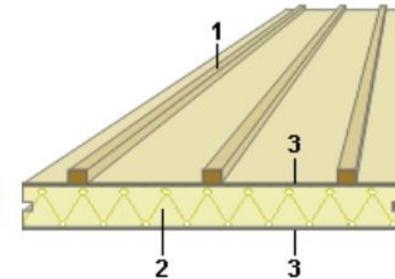
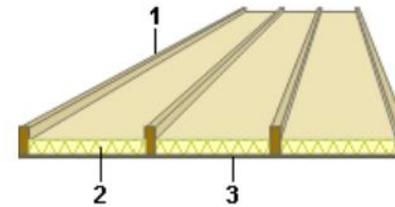
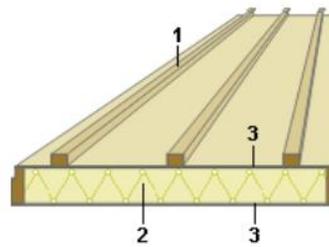


Panneaux préfabriqués



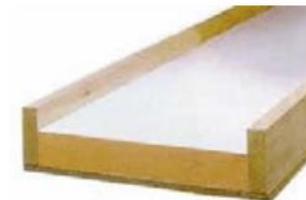
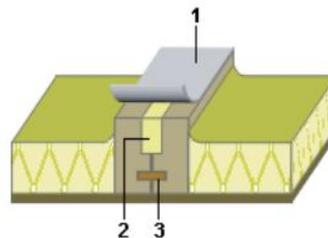
- 1 Couverture
- 2 Languettes
- 3 Lattes
- 4 Panneau préfabriqué
- 5 Raidisseurs
- 6 Isolant
- 7 Pare-vapeur
- 8 Finition
- 9 Panne

- 1 Contre-lattes
- 2 Isolant
- 3 Plaque



Exemple de liaison

- 1 Bande
- 2 Joint
- 3 Languette



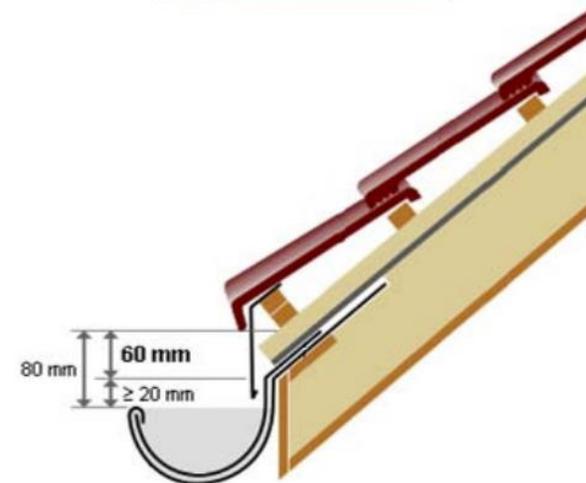
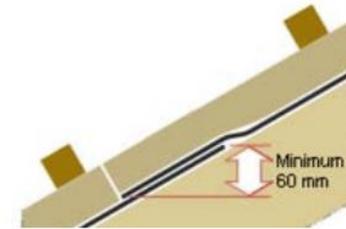
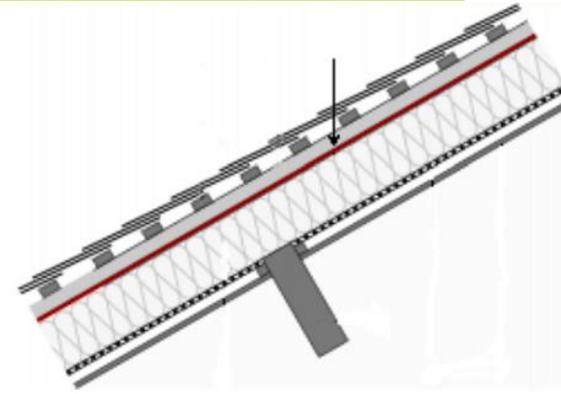
La sous-toiture

La sous-toiture :

- Évacue vers l'extérieur l'eau infiltrée accidentellement.
- Évacue l'eau qui s'est condensée sur la face interne de la couverture suite au sur-refroidissement (nocturne, principalement).
- Permet de renforcer la résistance thermique du toit en limitant les courants de convection.

Remarques :

- *Les contre-lattes écartent les lattes de la sous-toiture et ainsi empêchent l'eau de stagner sur celle-ci.*
- *Pour être efficace, la sous-toiture doit aboutir à l'extérieur du bâtiment, dans la gouttière par exemple.*



Quelle sous-toiture choisir?

Les qualités d'une bonne sous-toiture

La sous-toiture doit être :

- étanche à l'eau et résistante à l'humidité,
- résistante au gel,
- durable,
- de préférence ininflammable,
- de préférence perméable à la vapeur,
- de préférence capillaire,
- de préférence rigide.

Vu que l'on peut trouver beaucoup de matériaux répondant aux premières exigences, la qualité d'une sous-toiture se mesure surtout par sa réponse aux trois dernières exigences.



Exemples de sous-toitures



Rigide et capillaire



Souple et non capillaire



Rigide et capillaire



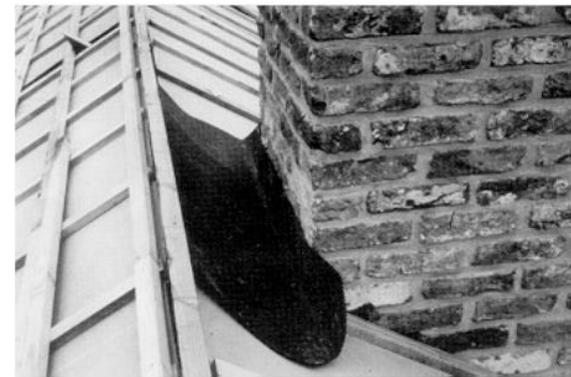
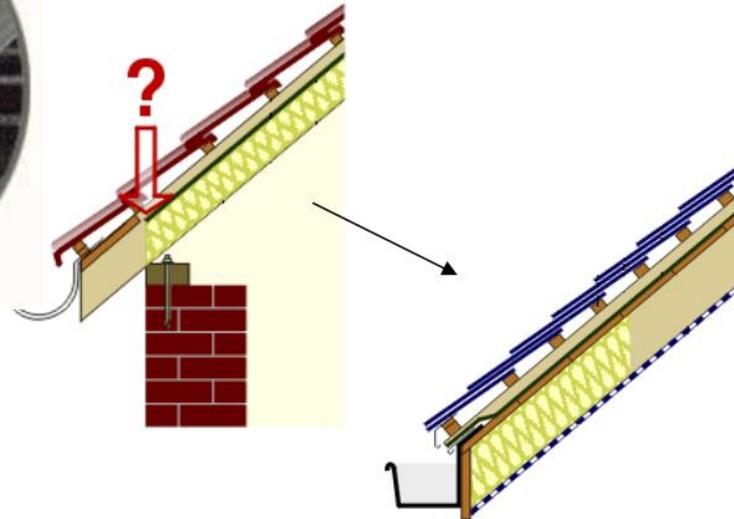
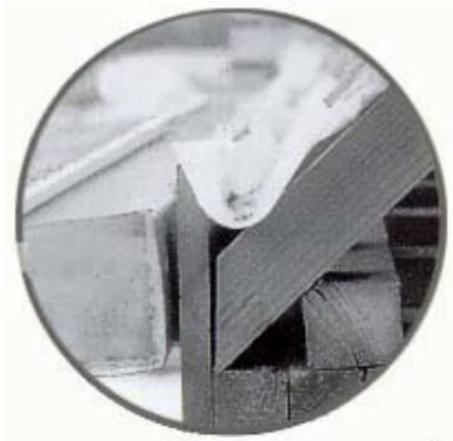
Souple et capillaire



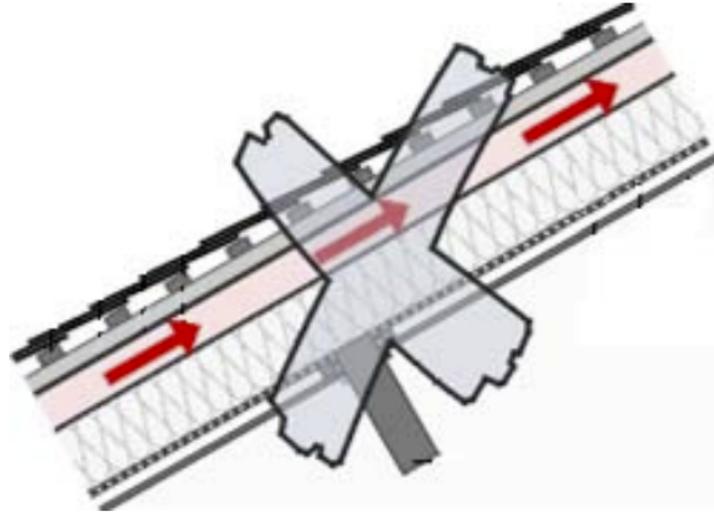
Rigide et non capillaire



Attention aux détails



Ventiler sous la sous-toiture ?



Non !, car :

L'introduction d'air humide extérieur par un **espace ventilé en dessous de la sous-toiture** peut produire de la condensation sur la face inférieure de la sous-toiture qui peut être plus froide que l'air par sur-refroidissement. L'eau ainsi produite va couler sur l'isolant et le mouiller.

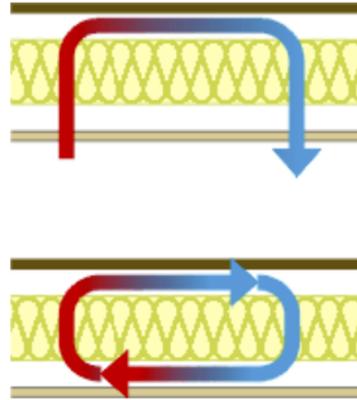
En cas de mauvaise étanchéité à l'air des couches situées sous la sous-toiture (isolant, pare-vapeur, finition), la lame d'air ventilée crée une dépression et un appel d'air intérieur, ce qui amplifie les pertes de chaleur et les risques de condensation.

Pour empêcher la ventilation de la toiture, il faut fermer les entrées d'air entre la sous-toiture et l'isolant, tant au pied qu'au faîte de la toiture.



Isolation du plancher du grenier

Attention aux courants d'air entre les panneaux d'isolant



L'isolant doit être placé sur toute la surface du plancher sans oublier les éventuelles parties verticales, les trappes d'accès, ossature-bois, les joues des lucarnes, etc.

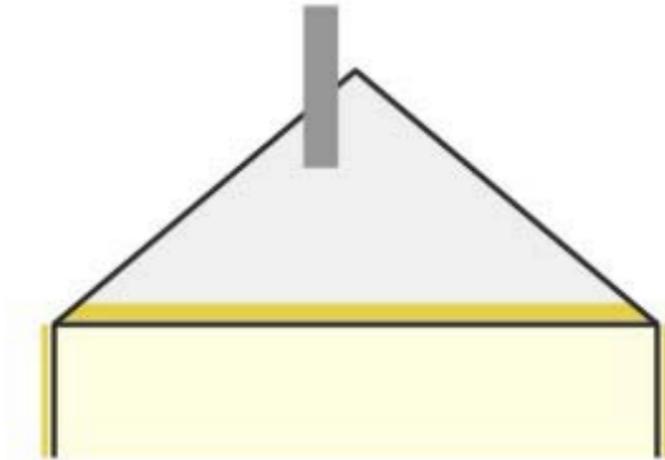
Les joints entre les différents panneaux isolants et entre les panneaux isolants et les gîtes (planchers légers) doivent être bien fermés. Les joints doivent également être bien fermés entre les panneaux isolants et la charpente.

Pourquoi ?

L'air chauffé à l'intérieur d'un bâtiment se dilate. Il devient ainsi plus léger et monte. Il est alors remplacé par de l'air plus froid qui se réchauffe à son tour. Il s'établit ainsi une circulation d'air dans le local. C'est la convection. Dans une toiture, le même phénomène de rotation de l'air peut se développer autour des panneaux isolants si les joints ne sont pas fermés correctement. Il s'en suit des pertes de chaleur importantes et des risques de de la vapeur d'eau contenue dans l'air venant des locaux intérieurs.

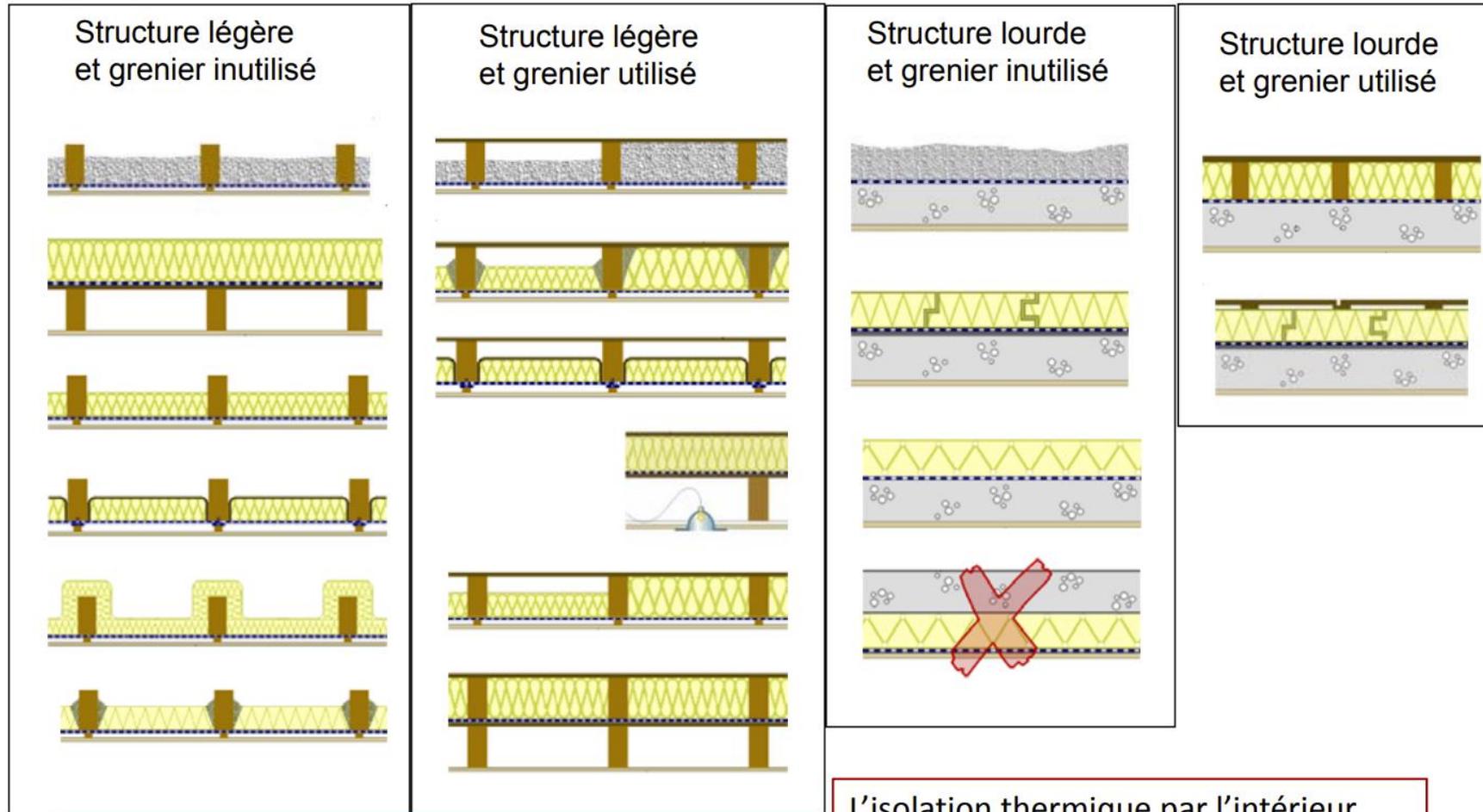


Isolation du plancher du grenier



Isolation du plancher du grenier

Les différentes possibilités



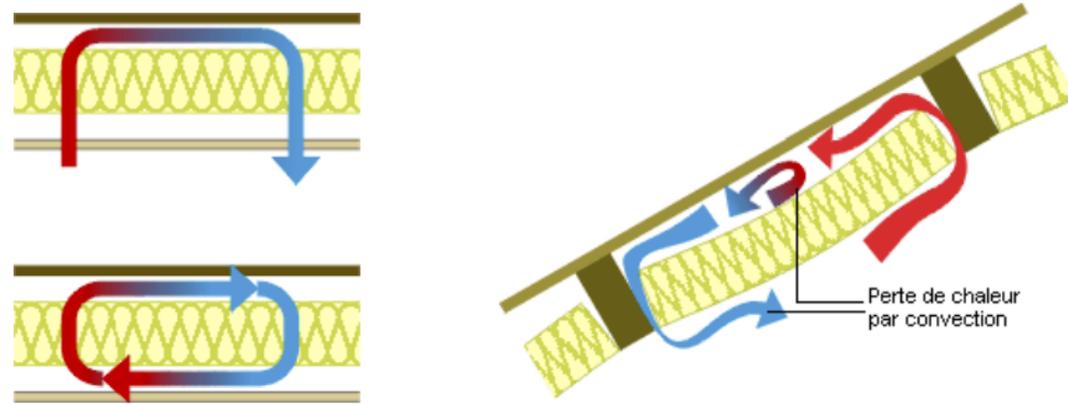
Les murs légers ont une faible inertie thermique

L'isolation thermique par l'intérieur diminue l'inertie thermique de la paroi



Isolation du plancher du grenier

Attention aux courants d'air entre les panneaux d'isolant



L'isolant doit être placé sur toute la surface du plancher sans oublier les éventuelles parties verticales, les trappes d'accès, ossature-bois, les joues des lucarnes, etc.

Les joints entre les différents panneaux isolants et entre les panneaux isolants et les gîtes (planchers légers) doivent être bien fermés. Les joints doivent également être bien fermés entre les panneaux isolants et la charpente.

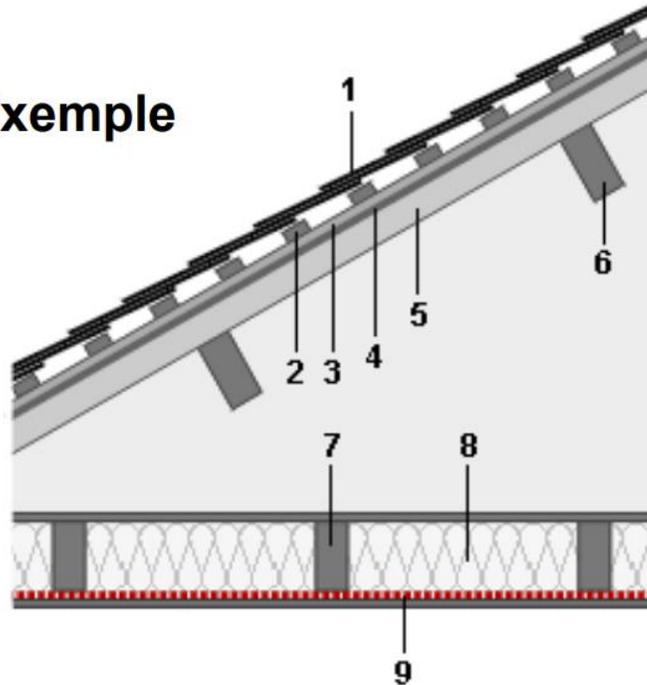
Pourquoi ?

L'air chauffé à l'intérieur d'un bâtiment se dilate. Il devient ainsi plus léger et monte. Il est alors remplacé par de l'air plus froid qui se réchauffe à son tour. Il s'établit ainsi une circulation d'air dans le local. C'est la convection. Dans une toiture, le même phénomène de rotation de l'air peut se développer autour des panneaux isolants si les joints ne sont pas fermés correctement. Il s'en suit des pertes de chaleur importantes et des risques de condensation de la vapeur d'eau.

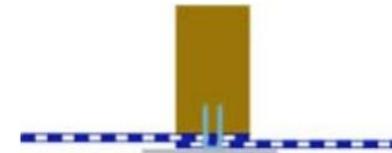


Le pare-vapeur

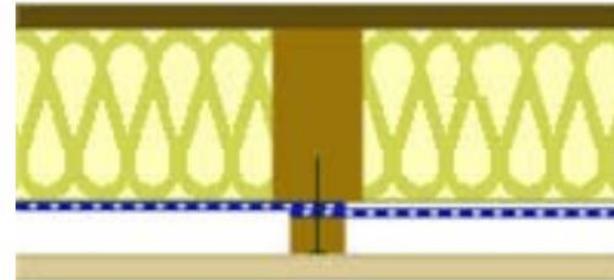
Exemple



- 1 Couverture
- 2 Lattes
- 3 Contre-lattes
- 4 Sous-toiture
- 5 Chevrons
- 6 Panne
- 7 Structure du plancher
- 8 Isolant
- 9 Pare-vapeur et finition du plafond



Raccords étanches

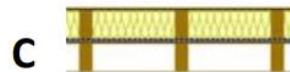
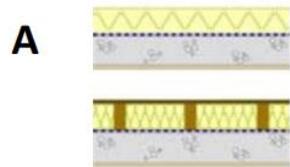


Espace pour la pose des canalisations sans percer le pare-vapeur



Le choix du pare vapeur (isolation du plancher)

Un tableau permet de choisir la classe de pare-vapeur (dia 19) minimum nécessaire pour une plancher des combles en fonction du type de plancher (A, B ou C), du type de couverture, du type de sous toiture et de la classe de climat intérieur du bâtiment (dia 13) .



Dans le cas d'une classe de climat IV, une étude doit être réalisée.

	Sous-toiture	Classe de climat intérieur	Tuiles en terre cuite, ardoises synthétiques, tôles ondulées.			Ardoises naturelles, tuiles en béton ou en métal.			Bardeaux bitumés sur voliges		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C
Aucune		I	-	-	-	-	-	-			
		II, III	-	-	E1	-	E1	E1			
Capillaire		I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		II, III	-	-	E1	-	-	E1	-	E2	E2
Non capillaire en bandes		I	-	-	-	-	-	-			
		II, III	-	E1	E1	-	E1	E1			
Non capillaire continue		I	-	-	-	-	-	-			
		II, III	-	E2	E2	-	E2	E2			
		IV	!!!								

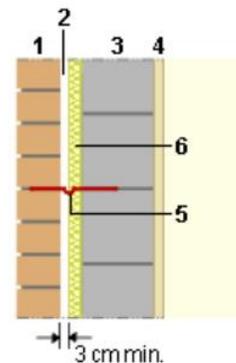
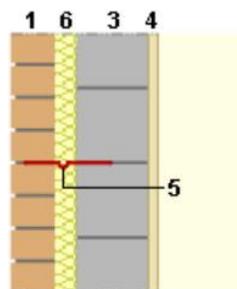
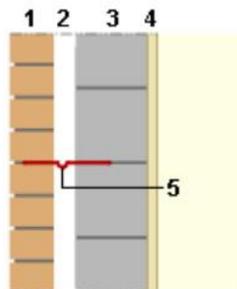


Les murs

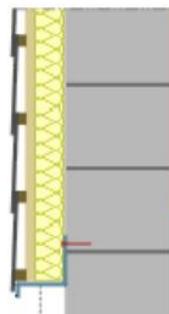
Les types de murs de façade lourds

Murs creux

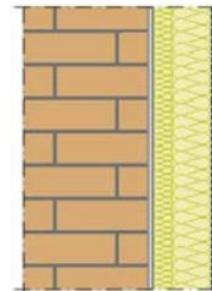
- 1 parement extérieur
- 2 coulisse
- 3 mur intérieur
- 4 finition
- 5 crochet
- 6 isolant



Mur plein



Isolation extérieure



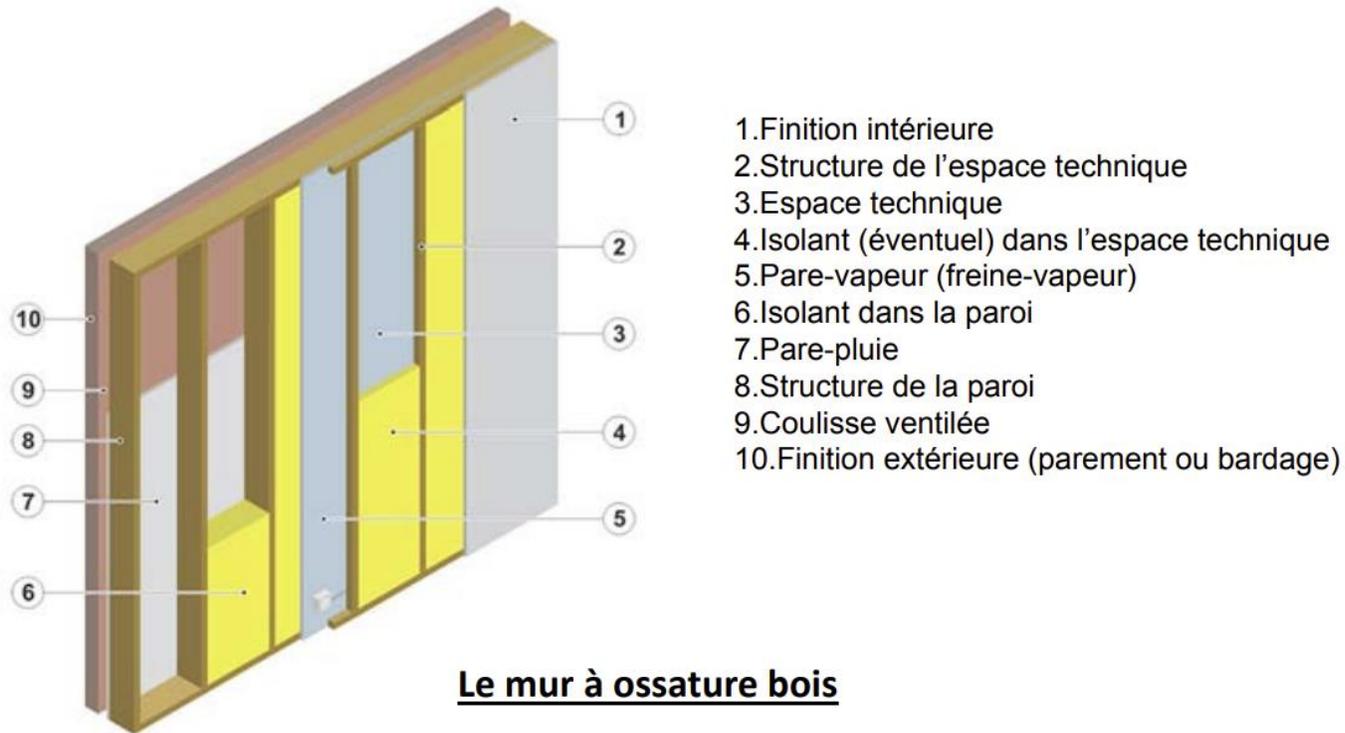
Isolation intérieure

L'isolation thermique par l'intérieur diminue l'inertie thermique utile de la paroi.



Les murs

Le type de mur de façade léger



Le mur à ossature bois

Moins traditionnel et en pleine expansion dans nos régions.

Généralement isolé (plus ou moins en fonction de l'époque de construction)
depuis les années 1970 (préfabrication)

Les murs légers ont une faible inertie thermique.



Isolation thermique des murs

- ▶ Les parois de l'enveloppe du bâtiment sont composées de zones qui assurent chacune une fonction particulière :
 - 1 = zone de la peau extérieure
 - 2 = zone de l'isolation thermique
 - 3 = zone de la structure
 - 4 = zone d'équipements
 - 5 = zone de finition
- ▶ Zone 1 : zone de la peau extérieure (couverture)
 - Sa perméabilité à la vapeur d'eau et son degré d'absorption de l'eau de précipitation influencent fortement la conception de la zone de l'isolation thermique
 - Déterminante pour la perception et la composition architecturale



Isolation thermique des murs

- ▶ Zones 2 et 3 : zone de l'isolation thermique et zone de la structure
 - L'enveloppe doit isoler l'intérieur de l'environnement extérieur
 - Le comportement hygrothermique de la paroi dépend de la composition de la paroi, en particulier la zone d'isolation thermique
 - Zone stabilisatrice du bâtiment, porteuse des charges (poids propre + aide éventuelle à la reprise des charges de la partie extérieure de la paroi qu'elle stabilise)
 - La perméabilité à la vapeur d'eau du matériau isolant doit être confrontée à la perméabilité de la peau extérieure (zone 1) et de la peau intérieure (zone 5) pour que le transfert de vapeur se fasse harmonieusement



Isolation thermique des murs

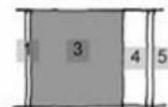
- ▶ Zones 4 et 5 : zone d'équipements et zone de finition intérieure
 - Lorsque la zone d'équipements existe, elle est généralement intégrée à une autre zone (zone 2 ou 3 ou 5)
 - Cet espace est réservé au passage des divers équipements : électricité, câblages divers, canalisations, etc.
 - Le choix de la zone de finition se fait selon l'aspect souhaité de la finition intérieure, la nécessité de participer ou non à l'étanchéité à la vapeur d'eau de la paroi, la performance acoustique souhaitée, l'entretien, la résistance et la réaction au feu.
- ▶ Typologie de paroi différenciée selon le comportement hygrothermique : catégories A, B, C et D



Isolation thermique des murs

TYPE A : PAROI MONOLITHIQUE "AUTO-ISOLANTE" (MUR PLEIN)

A



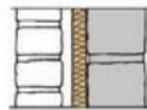
MAÇONNERIE EN MOELLONS

- Zone 1 : éventuelle
- Zone 2 : inexistante (la résistance thermique de la zone 3 doit alors suffire)
- Zone 3 : si les dispositions sont appropriées, elle peut remplir tous les rôles.
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : éventuelle

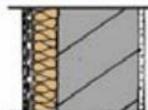
- 1 Zone de la peau extérieure
- 2 Zone de l'isolation thermique
- 3 Zone de la structure
- 4 Zone d'équipements
- 5 Zone de finition

TYPE B : PAROI MULTICOUCHE AVEC UNE ZONE D'ISOLATION THERMIQUE

B₁



MUR CREUX ISOLÉ



MUR PLEIN ISOLÉ PAR L'EXTÉRIEUR

- Zone 1 : indispensable
- Zone 2 : nécessaire
- Zone 3 : elle peut remplir les rôles des zones 4 et 5.
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : éventuelle

B₂

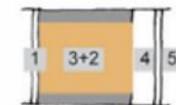


MUR PLEIN ISOLÉ PAR L'INTÉRIEUR

- Zone 1 : éventuelle
- Zone 2 : nécessaire
- Zone 3 : elle peut remplir le rôle de la zone 1 si elle est imperméable à l'eau.
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : indispensable

TYPE C : PAROI MULTICOUCHE AVEC UNE ZONE D'ISOLATION THERMIQUE INTÉGRÉE À LA STRUCTURE TRAVERSANTE

C

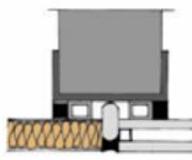


PAROI À OSSATURE BOIS ISOLÉE

- Zone 1 : indispensable
- Zone 2 : nécessaire et intégrée dans la zone 3 ; elle peut remplir le rôle de la zone 4
- Zone 3 : elle peut remplir le rôle de la zone 4
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : indispensable

TYPE D : PAROI CONSTITUÉE D'UNE ISOLATION THERMIQUE ENTRE 2 FEUILLES, ACCROCHÉE À LA STRUCTURE (MUR RIDEAU)

D

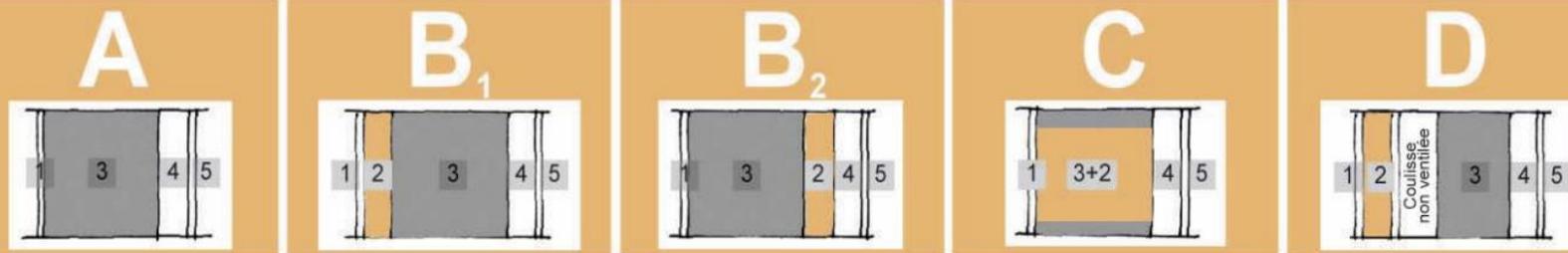


MUR RIDEAU

- Zone 1 : indispensable (mais peut être la peau extérieure du panneau sandwich)
- Zone 2 : elle peut comprendre la zone 1 et remplir le rôle de la zone 5
- Zone 3 : elle peut remplir le rôle des zones 4 et 5
- Zone 4 : éventuelle
- Zone 5 : éventuelle



Isolation thermique des murs



CHOIX DE LA PEAU EXTÉRIEURE

- Si la zone 1 est imperméable à la vapeur d'eau et qu'il n'y a pas de coulisse ventilée ou drainée, il faut un pare-vapeur côté intérieur.
- La zone 1 doit être étanche s'il n'y a pas de coulisse ventilée ou drainée.
- Si la zone 1 est perméable à l'air, il faut un enduit intérieur qui assure l'étanchéité à l'air.
- La peinture ne réalise pas une étanchéité.
- Les hydrofuges de surface n'assurent pas une étanchéité mais ils retardent la saturation.
- Les enduits sont étanches à l'eau et doivent être perméables à la vapeur d'eau. Ils nécessitent un entretien tous les 10-15 ans.
- Dans le cas d'un bardage, il faut évacuer l'eau au pied de la paroi.
- Une maçonnerie de parement n'offre pas une étanchéité à l'eau totale.

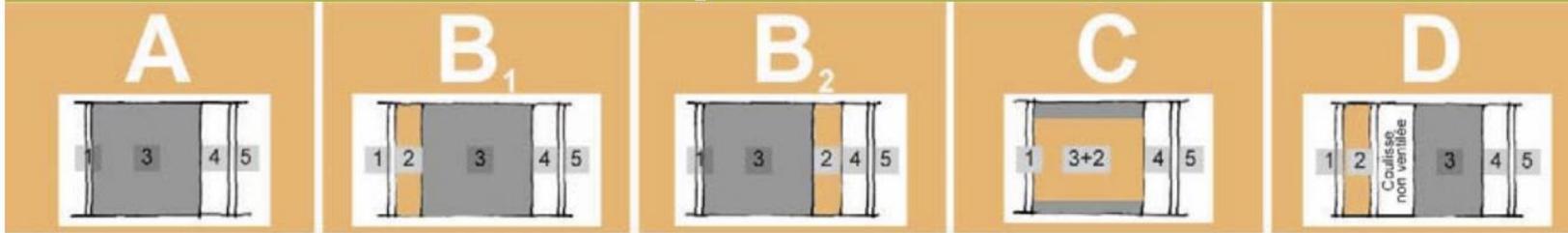
- Il faut des joints d'étanchéité performants.

CHOIX DE LA STRUCTURE

- Seuls les blocs de béton cellulaire très légers avec une ép. ≥ 29 cm et dans un état sec, offrent une performance thermique satisfaisante.
- Les murs en moellons ne sont pas étanches aux pluies battantes.
- Les murs monolithiques récents doivent être revêtus d'une peau extérieure étanche.
- Le mur porteur doit être sec.
- Il faut une barrière d'étanchéité contre l'humidité ascensionnelle.
- Attention : l'isolation thermique posée à l'intérieur soumet la structure aux mouvements thermiques.
- La structure est complétée par un contreventement.



Isolation thermique des murs



CHOIX DE L'ISOLATION THERMIQUE

- Les panneaux d'isolants doivent être posés de manière jointive.
- L'isolant doit être protégé de l'eau de pluie.
- Le polystyrène expansé EPS résiste mal au feu.
- La laine minérale LW et la laine de verre GW sont perméables à la vapeur d'eau et à l'air.
- Le verre cellulaire CG est étanche à la vapeur d'eau et à l'eau. Il est imperméable à l'air. Il nécessite un support régulier et rigide.

- Si l'isolant est perméable à l'air, le support doit être étanche à l'air.

- Il faut soit un isolant peu perméable à la vapeur d'eau (PS, PUR, PSE, CG), soit un pare-vapeur côté intérieur, du côté chaud de l'isolant.

- Il faut un pare-vapeur continu du côté intérieur.
- L'isolant est semi-rigide ou insufflé.
- Il faut éviter toute convection d'air.
- Si structure métallique, il faut une coupure thermique (par exemple, isolation continue recouvrant l'ossature).

- Si paroi vitrée, il faut des vitrages performants thermiquement.
- L'isolant doit être :
 - incombustible ;
 - résistant à la corrosion ;
 - non absorbeur d'humidité ;
 - léger ;
 - résistant au fléchissement et au tassement.

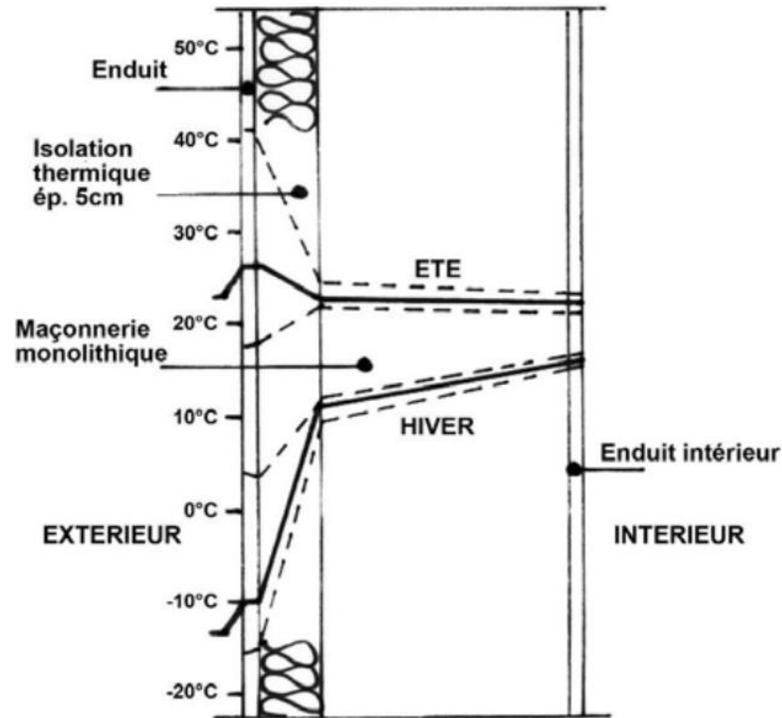
CHOIX DE LA ZONE D'ÉQUIPEMENTS ET DE LA FINITION INTÉRIEURE

- Si la zone 1 est perméable à l'air, il faut un enduit intérieur pour assurer l'étanchéité à l'air.
- L'espace technique ne peut communiquer avec ceux des plafonds et des étages.
- Il ne faut pas encastrier des conduites ou finitions qui percent le pare-vapeur éventuel.

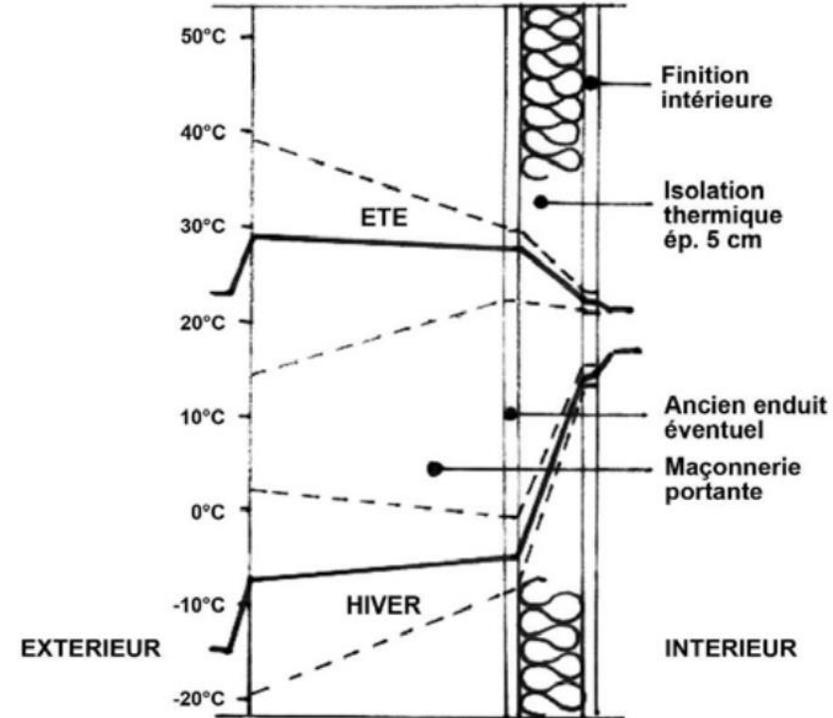
- La finition intérieure doit être étanche à l'air. Dans le cas contraire, il faut un pare-vapeur continu.



Isolation thermique des murs



Evolution de la température dans une paroi isolée par l'extérieur

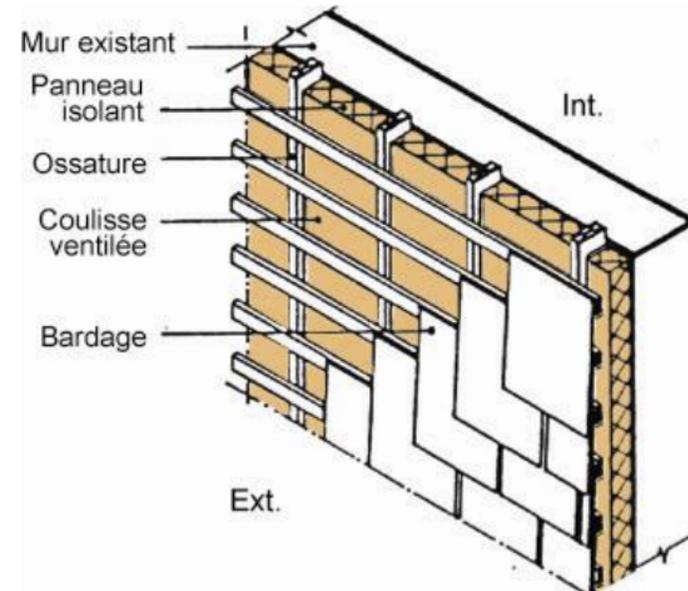
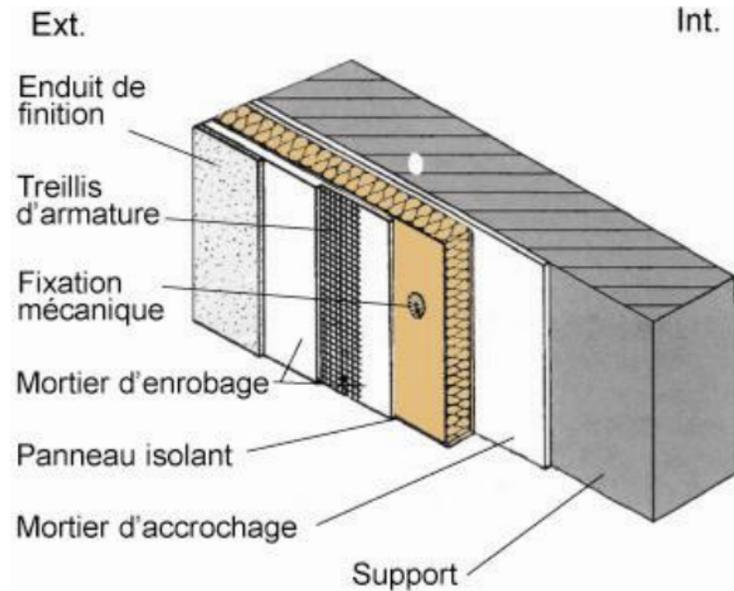


Evolution de la température dans une paroi isolée par l'intérieur



Isolation thermique des murs

Paroi multicouche avec une zone d'isolation thermique à l'extérieur (type B₁) : panneaux d'isolation recouverts d'un enduit (ou enduit isolant)

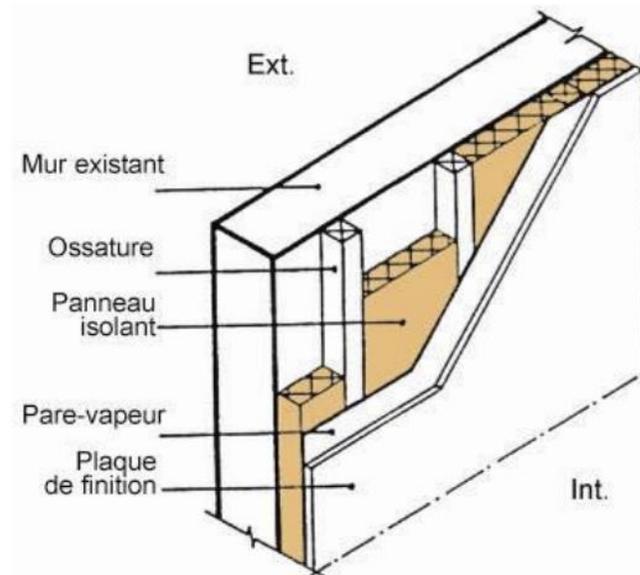
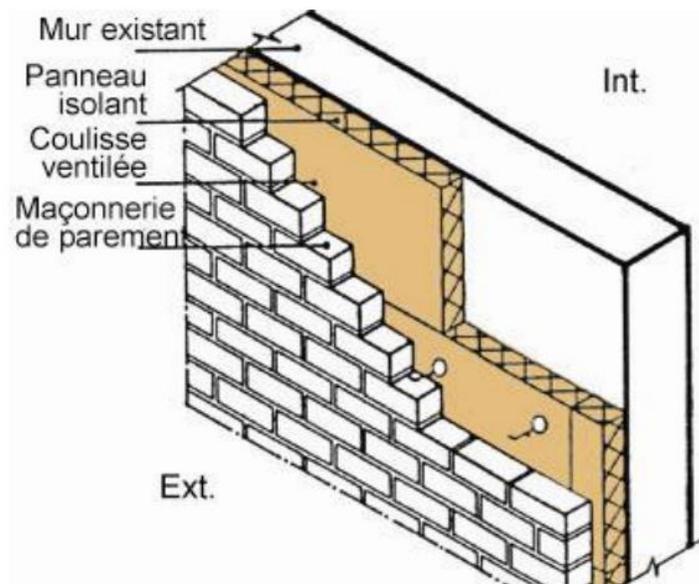


Panneaux d'isolation protégés par un bardage rapporté



Isolation thermique des murs

Parement en maçonnerie protégeant des panneaux d'isolation
(mur creux avec isolant posé contre le mur plein)

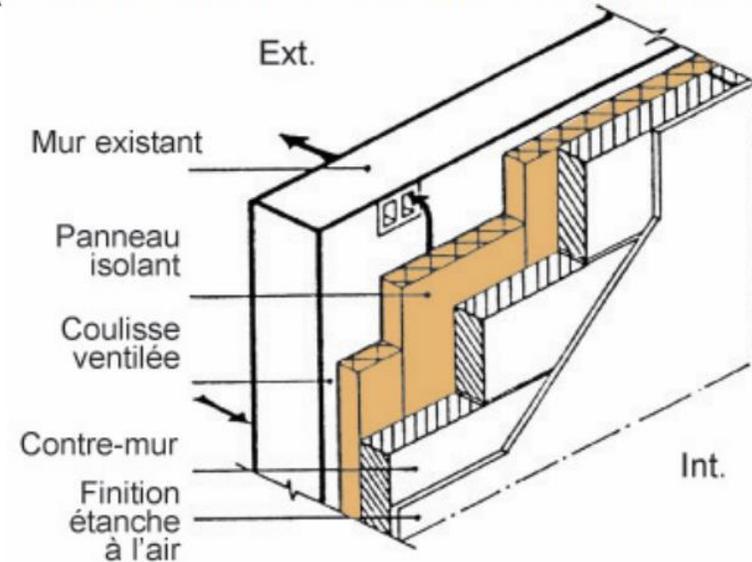


Paroi multicouche avec une zone d'isolation thermique à l'intérieur
(type B2) : panneaux d'isolation entre lattes



Isolation thermique des murs

■ Systèmes avec contre-mur (contre-mur intérieur indépendant de la structure existante)

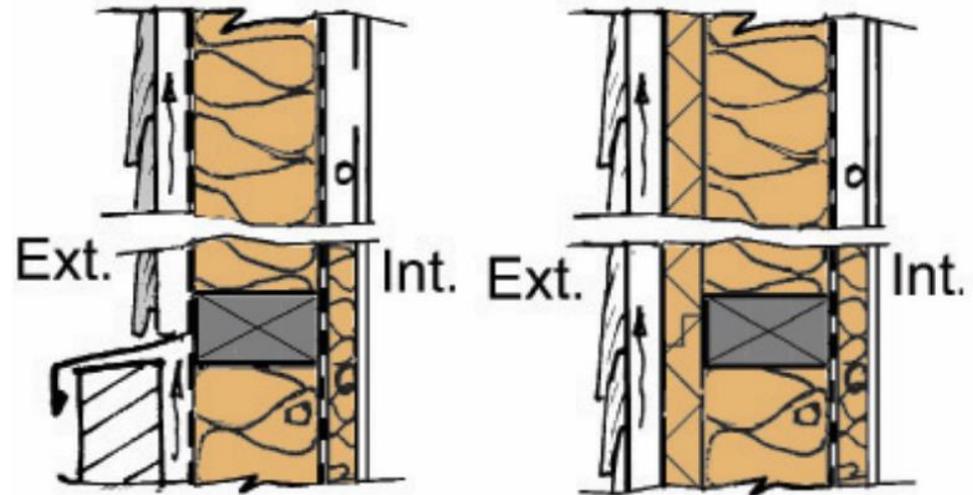
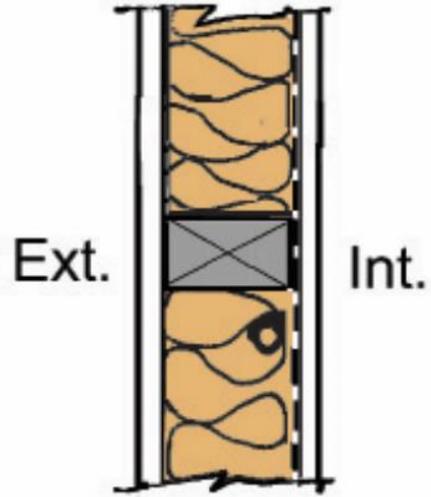


- Système avec enduit : panneaux d'isolation collés au mur + éventuelle armature + enduit de plafonnage appliqué sur les panneaux
- Panneaux isolants sandwichs = panneaux d'isolation revêtus d'une plaque de finition + éventuel pare-vapeur inséré entre l'isolant et la finition intérieure



Isolation thermique des murs

Paroi multicouche avec une zone d'isolation thermique intégrée à la structure traversante (type C) : ossature bois

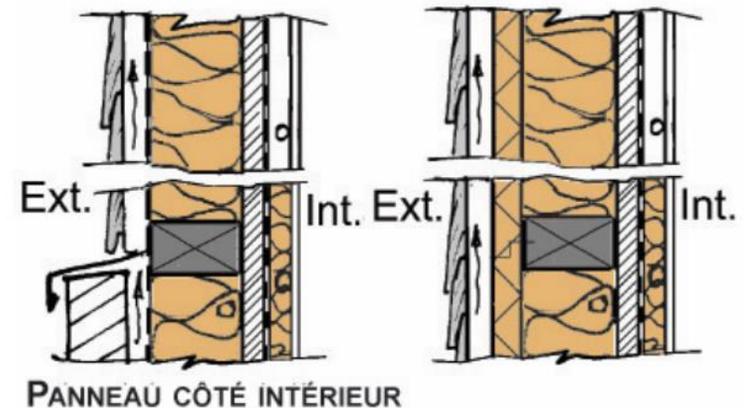
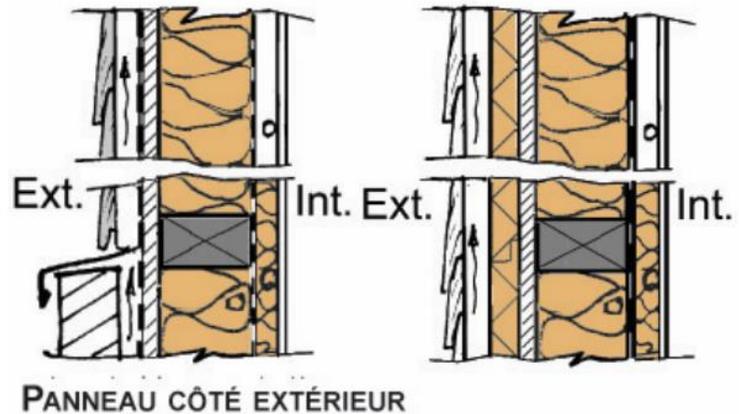


Paroi à ossature sans panneaux : ossature bois
Un pare-pluie respirant est nécessaire



Isolation thermique des murs

- Paroi à ossature avec panneaux - Ossature bois
 - Utilisation de 1 ou 2 panneaux qui servent à la stabilisation aux poussées du vent, à l'étanchéité à l'air (en face extérieure), à l'isolation thermique et/ou comme frein de vapeur en face intérieure



Isolation thermique des murs

Paroi constituée d'une isolation thermique entre 2 feuilles, accrochée à la structure – mur rideau (type D)

Le mur-rideau est monté sur une grille fixée au squelette du bâtiment



**Le mur-rideau monté en panneaux fixés à l'ossature du bâtiment
ou à une ossature secondaire**



Isolation thermique des murs

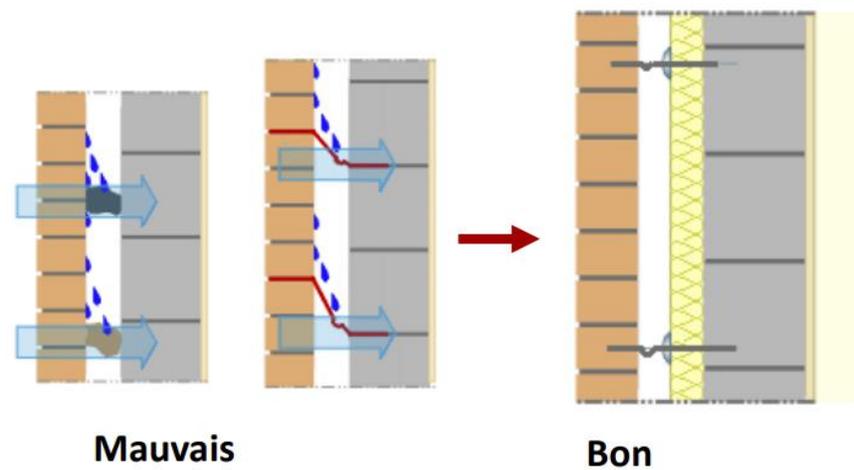
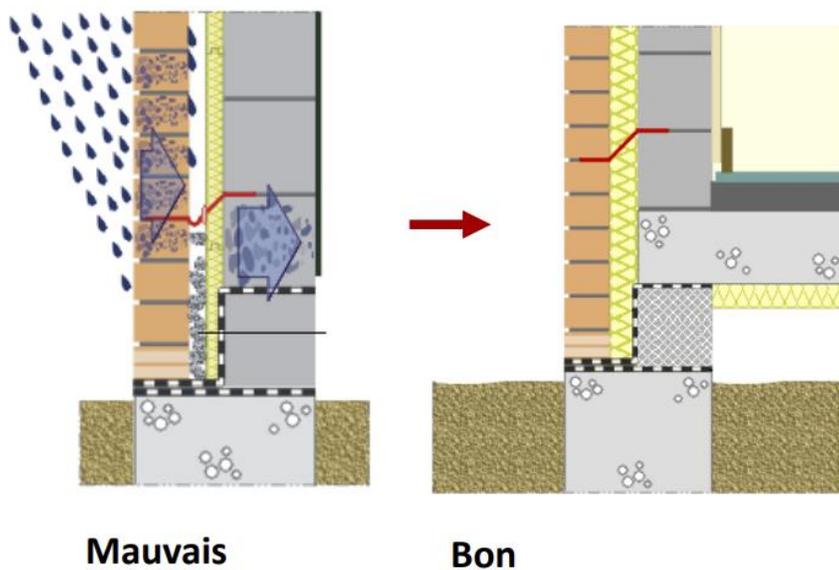
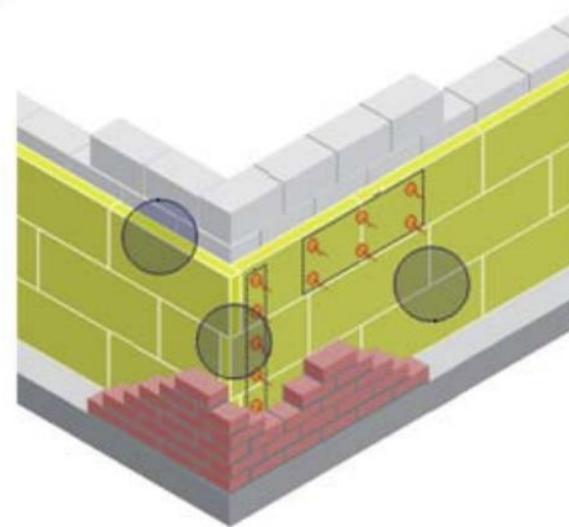
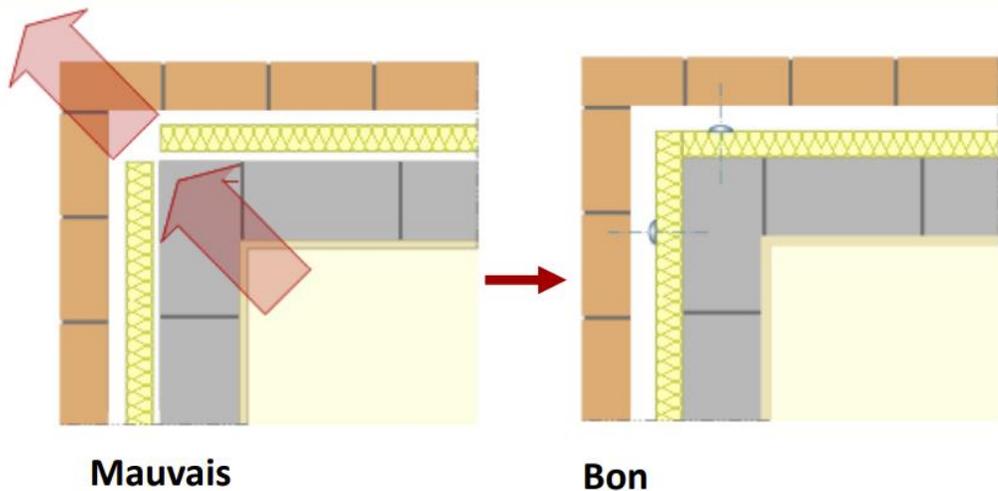
Surface extérieure des panneaux fermée et dépourvue de joints
Fenêtres ménagées dans la surface des panneaux, châssis solidaires des panneaux



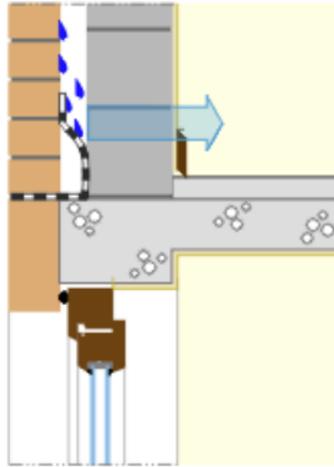
Le mur-rideau en “verre structural” constitué de lames de verre liées par des joints adaptés et une structure « spider »



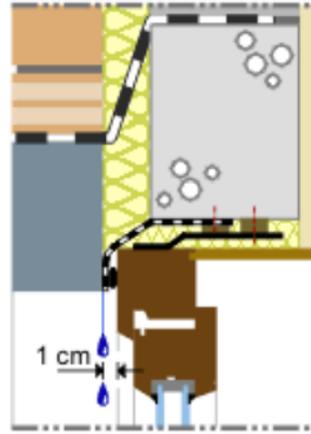
Soigner la pose de l'isolant



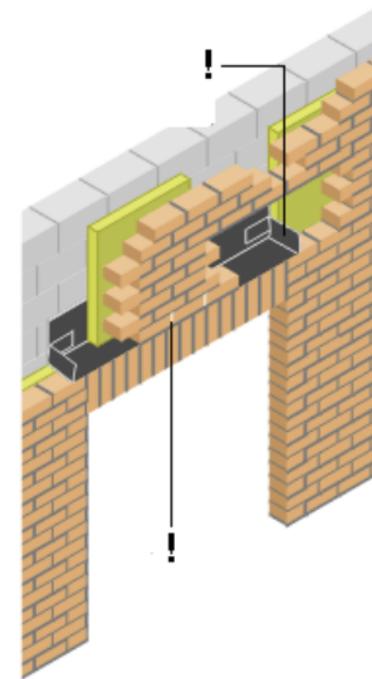
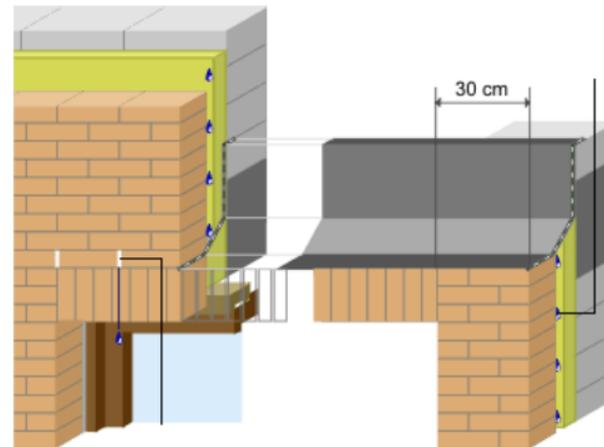
Etanchéité des linteaux



Mauvais

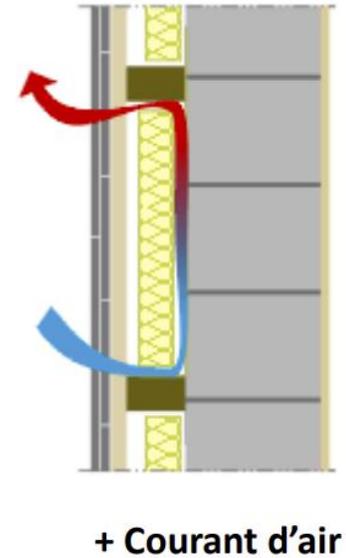
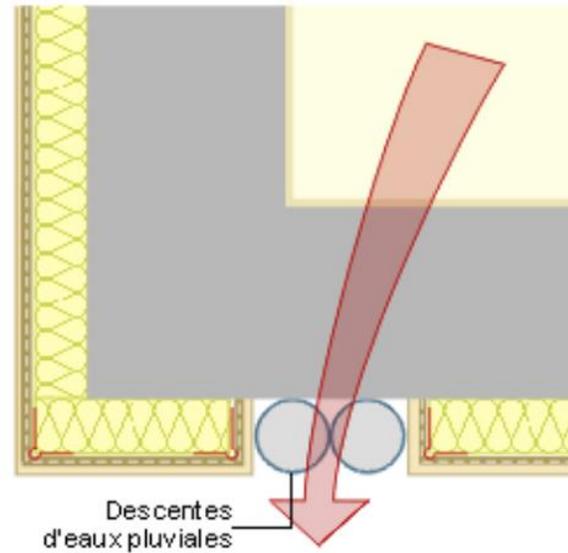


Bon



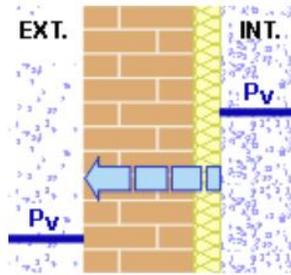
Interruptions de l'isolant

= Pont thermique

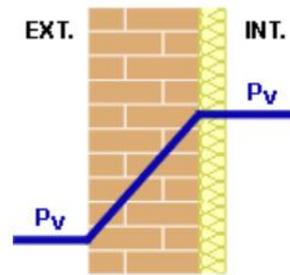


Isolation par l'intérieur

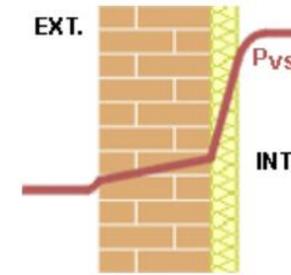
Nécessité de maîtriser les risques de condensation interne



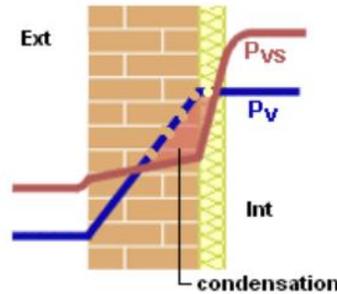
En hiver : migration de vapeur



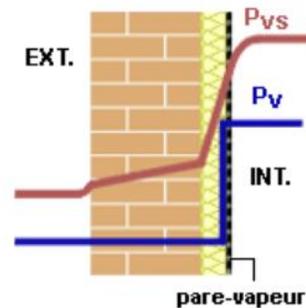
pression de vapeur



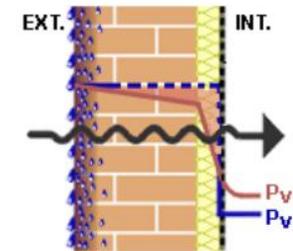
pression de saturation



condensation interne

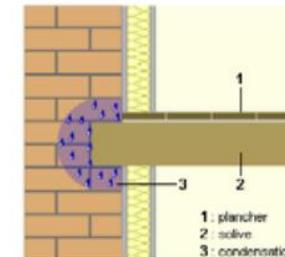
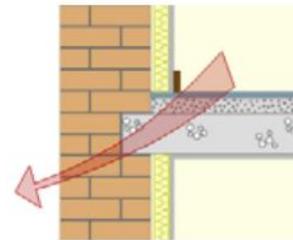


solution : pare vapeur



risque en été

Nécessité de maîtriser les risques de ponts thermiques, aux nœuds constructifs



Isolation thermique des Parois Vitrées

▶ Fenêtres :

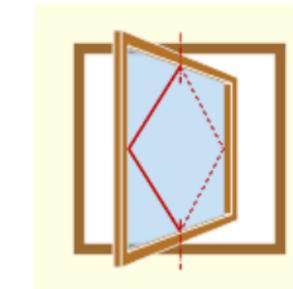
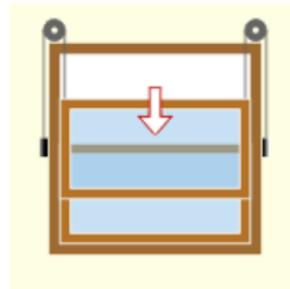
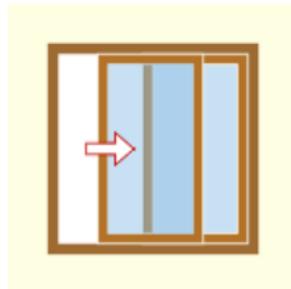
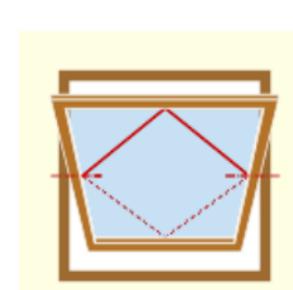
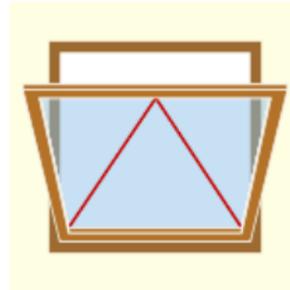
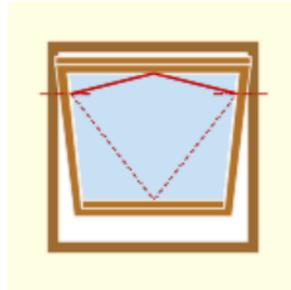
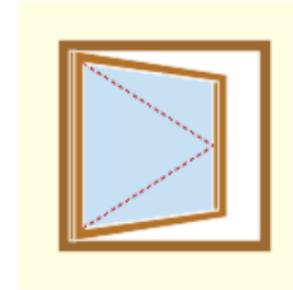
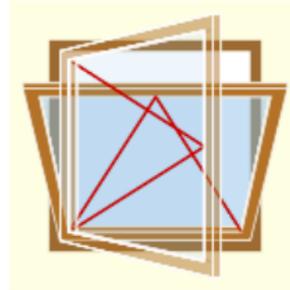
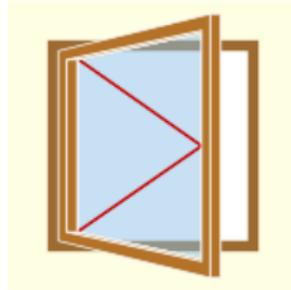
- = points faibles de l'enveloppe en matière de déperditions
- = capteurs de la chaleur du soleil
→ peut être source d'inconfort en été

▶ Éléments influençant le bilan thermique de la fenêtre :

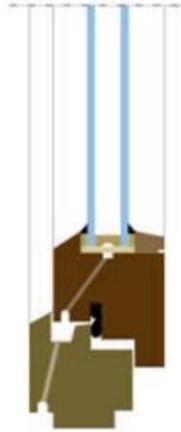
- Orientation par rapport au soleil
- « Accessoires » tant extérieurs qu'intérieurs (protections solaires)
- Châssis (type, U_f , A_f)
- Vitrage (type, U_g , A_g)
- Surface de la baie (A) et proportion entre surface jour du vitrage et partie vue extérieure du châssis (A_g/A , A_f/A)
- Pièce d'écartement (y_l , l_l)



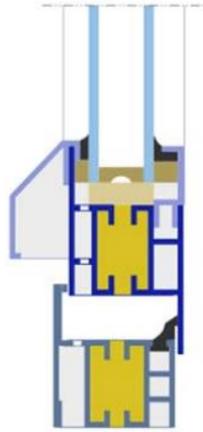
Les fenêtres



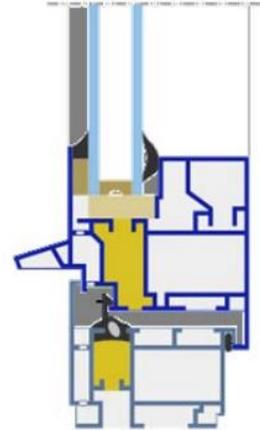
Les types de châssis traditionnels



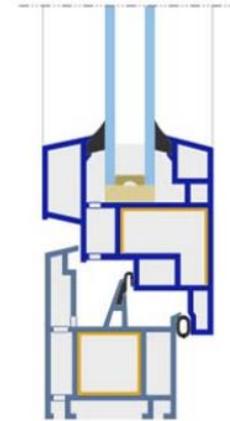
Bois



Acier



Alu



PVC



Valeurs U des châssis en bois

extrait de l'annexe D de l'annexe VII de l'AGW du 17/04/2008
document de référence pour les pertes par transmission (DRT)

Epaisseur des profilés d_f (en mm) (voir Figure F 1)	U_f (W/m ² K) (1) (NBN EN ISO 10077-1)	
	Bois feuillus ($\rho = 700$ kg/m ³) (2) $\lambda_U = 0,18$ W/mK	Bois résineux ($\rho = 500$ kg/m ³) (2) $\lambda_U = 0,13$ W/mK
50	2,36	2,00
60	2,20	1,93
70	2,08	1,78
80	1,96	1,67
90	1,86	1,58
100	1,75	1,48
110	1,68	1,40
120	1,58	1,32
130	1,50	1,25
140	1,40	1,18
150	1,34	1,12

(1) Conventions pour les profilés en bois dont certaines caractéristiques sont inconnues:

- épaisseur des profilés inconnue: prenez la plus petite épaisseur de profilé
- espèce de bois inconnue: prenez les valeurs pour bois feuillus

(2) Masse volumique moyenne à 12% de teneur en humidité



Valeurs U des châssis en métal

extrait de l'annexe D de l'annexe VII de l'AGW du 17/04/2008

document de référence pour les pertes par transmission (DRT)

d (en mm) : plus petite distance entre les profilés métalliques à coupure thermique	U_{fo} (W/m ² K) (1)	U_f (W/m ² K) (2) (3)
8	3,56	4,51
10	3,36	4,19
12	3,18	3,91
14	3,08	3,76
16	2,96	3,59
18	2,85	3,43
20	2,75	3,28
22	2,70	3,21
24	2,60	3,07
26	2,58	3,04
28	2,55	3,00
30	2,53	2,97
32	2,52	2,96
34	2,51	2,95
36	2,50	2,93

(1) U_{fo} est la valeur U_f théorique du profilé si les surfaces projetées et développées du profilé sont égales tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, c.-à-d. si $A_{f,i}/A_{d,i} = 1$ et $A_{f,e}/A_{d,e} = 1$

(2) Si la plus petite distance d entre les profilés à coupure thermique n'est pas connue: prenez d = 10 mm.
Les valeurs U_f ne sont valables que si le rapport $A_{f,i}/A_{d,i} \geq 0,50$, sinon il faut effectuer un calcul précis suivant NBN EN ISO 10077-2.

(3) Les valeurs U_f ont été calculées suivant les formules de l'annexe D de NBN EN ISO 10077-1; on y tient compte d'une valeur limite (inférieure) fixe des rapports entre surfaces projetées et surfaces développées à l'intérieur et à l'extérieur des profilés métalliques, respectivement égale à $A_{f,i}/A_{d,i} = 0,60$ en $A_{f,e}/A_{d,e} = 0,82$



Valeurs U des châssis en PVC

extrait de l'annexe D de l'annexe VII de l'AGW du 17/04/2008

document de référence pour les pertes par transmission (DRT)

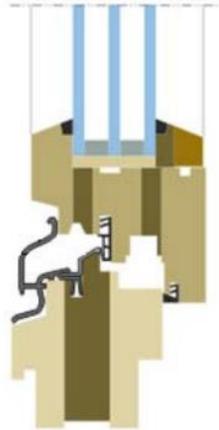
Matériau et type de profilé		U_f (W/m ² K) (1)
Profilé PVC minimum 5 mm entre les parois des chambres (2) 	2 chambres (en série avec le flux thermique) avec ou sans renforcement 	2,20
	3 chambres (en série avec le flux thermique) avec ou sans renforcement 	2,00
	4 chambres (en série avec le flux thermique) avec ou sans renforcement	1,80
	5 chambres (en série avec le flux thermique) avec ou sans renforcement	1,60
Profilé PUR	avec noyau métallique et épaisseur minimum de 5 mm de PUR	2,80
(1) <u>Conventions pour les profilés en plastique dont certaines caractéristiques sont inconnues:</u> <ul style="list-style-type: none"> • matériau inconnu: prenez comme U_f celle du profilé PUR • nombre de chambres inconnu: prenez comme valeur U_f celle des profilés à 2 chambres (2) Pour les distances inférieures à 5 mm, il faut déterminer la valeur U_f suivant calcul (NBN EN ISO 10077-2) ou mesurage (NBN EN 12412-2)		



D'autres types de châssis



**Polyuréthane
(PUR)**



Lamellé - Liège



Alu-bois

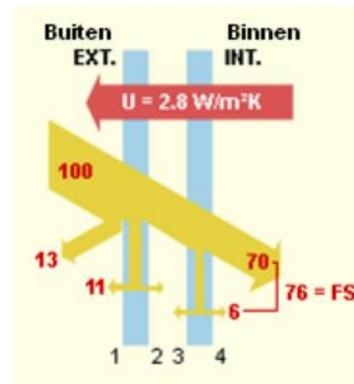
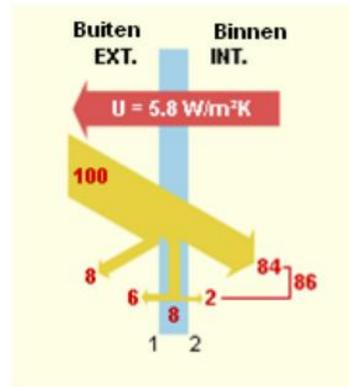


Alu-PUR-bois



Virages isolants

Valeurs U par défaut des vitrages



Type de vitrage (toutes les feuilles de verre ont 4 mm d'épaisseur)				U_g (W/m²K) (1) (NBN EN ISO 10077-1)				
Type	Couche de revêtement	Facteur d'émission normale	Dimensions (mm)	Sorte de remplissage lame d'air (concentration de gaz $\geq 90\%$)				
				Air	Argon	Krypton	SF ₆	Xenon
double vitrage	néant (double vitrage normal)	0,89	4-6-4	3,3	3,0	2,8	3,0	2,6
			4-8-4	3,1	2,9	2,7	3,1	2,6
			4-12-4	2,6	2,7	2,6	3,1	2,6
			4-16-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
			4-20-4	2,7	2,6	2,6	3,1	2,6
	1 vitre avec couche réfléchissante	$\leq 0,2$	4-6-4	2,7	2,3	1,9	2,3	1,6
			4-8-4	2,4	2,1	1,7	2,4	1,6
			4-12-4	2,0	1,8	1,6	2,4	1,6
			4-16-4	1,8	1,6	1,6	2,5	1,6
			4-20-4	1,8	1,7	1,6	2,5	1,7
	1 vitre avec couche réfléchissante	$\leq 0,15$	4-6-4	2,6	2,3	1,8	2,2	1,5
			4-8-4	2,3	2,0	1,6	2,3	1,4
			4-12-4	1,9	1,6	1,5	2,3	1,5
			4-16-4	1,7	1,5	1,5	2,4	1,5
	1 vitre avec couche réfléchissante	$\leq 0,1$	4-6-4	2,6	2,2	1,7	2,1	1,4
			4-8-4	2,2	1,9	1,4	2,2	1,3
			4-12-4	1,8	1,5	1,3	2,3	1,3
			4-16-4	1,6	1,4	1,3	2,3	1,4
	1 vitre avec couche réfléchissante	$\leq 0,05$	4-6-4	2,5	2,1	1,5	2,0	1,2
			4-8-4	2,1	1,7	1,3	2,1	1,1
4-12-4			1,7	1,3	1,1	2,1	1,2	
4-16-4			1,4	1,2	1,2	2,2	1,2	
triple vitrage	néant (triple vitrage normal)	0,89	4-6-4-6-4	2,3	2,1	1,8	1,9	1,7
			4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7	1,9	1,6
			4-12-4-12-4	1,9	1,8	1,6	2,0	1,6
	2 vitres avec couche réfléchissante	$\leq 0,2$	4-6-4-6-4	1,8	1,5	1,1	1,3	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,3	1,0	1,3	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,8	1,3	0,8
	2 vitres avec couche réfléchissante	$\leq 0,15$	4-6-4-6-4	1,7	1,4	1,1	1,2	0,9
			4-8-4-8-4	1,5	1,2	0,9	1,2	0,8
			4-12-4-12-4	1,2	1,0	0,7	1,3	0,7
	2 vitres avec couche réfléchissante	$\leq 0,1$	4-6-4-6-4	1,7	1,3	1,0	1,1	0,8
			4-8-4-8-4	1,4	1,1	0,8	1,1	0,7
			4-12-4-12-4	1,1	0,9	0,6	1,2	0,6
	2 vitres avec couche réfléchissante	$\leq 0,05$	4-6-4-6-4	1,6	1,2	0,9	1,1	0,7
			4-8-4-8-4	1,3	1,0	0,7	1,1	0,5
			4-12-4-12-4	1,0	0,8	0,5	1,1	0,5

- (1) Conventions pour les vitrages dont certaines caractéristiques sont inconnues :
- revêtement inconnu : prenez les valeurs pour $\epsilon_0 = 0,89$ (pas de revêtement)
 - largeur de lame d'air inconnue : prenez les valeurs pour la plus petite largeur de lame d'air
 - remplissage de gaz inconnu : prenez les valeurs pour un remplissage à l'air



Vitrages isolants



Verre one $U_V=1,1$	1,2
Verre zero+ $U_V=0,9$	1,1
Verre one $U_V=0,7$	1,0
Verre one $U_V=0,6$	
Verre one $U_V=0,5$	0,81

4 von 4
403 25183/7 vom 29. Juli 2002
Internorm-Fenster AG, A-4050 Traun



ebnis
Messwerte

Bauteil	Mittlere Temperaturen					Wärme- strom- dichte q in W/m^2	Wärme- durchlass- widerstand R in $m^2 \cdot K/W$	Flächen- anteil in %
	Luft Warm- seite δ_{Lw} in $^{\circ}C$	Kalt- seite δ_{Lk} in $^{\circ}C$	Warm- seite δ_w in $^{\circ}C$	Kalt- seite δ_k in $^{\circ}C$	Differenz ΔT_e in K			
Rahmen	-	-	-	-	-	-	-	30
Verglasung	-	-	-	-	-	-	-	70
Gesamt- konstruk- tion	22,7	2,2	20,5	2,5	18,0	16,9	1,065	100

Der Wärm
worden mi

ittelt

$$U_F = 0,81 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Verre one

Triple verre isolant avec double couche
et remplissage au krypton
4b/12g/4/12g/b4

di[me]nsion

Isolation thermique/isolation acoustique
0,81 W/m^2K / 33 dB

ed[it]ion

Isolation thermique/isolation acoustique
0,71 W/m^2K / 33 dB

4.1 Gültigkeit der Prüfergebnisse

Die in diesem Prüfbericht genannten Werte beziehen sich ausschließlich auf die unter Punkt 2 beschriebenen und geprüften Gegenstände.

Die Prüfung des Wärmedurchgangs ist eine Teilprüfung und ermöglicht keine Aussage über weitere Eigenschaften der vorliegenden Konstruktion.

5 Hinweise zur Benutzung von ift-Prüfberichten

Im beiliegenden ift-Merkblatt „Hinweise zur Benutzung von ift-Prüfberichten zu Werbezwecken und für die Veröffentlichung deren Inhaltes“ sind die Regelungen zur Benutzung der Prüfberichte festgeschrieben.

ift Rosenheim
29. Juli 2002

Dr. Helmut Hohenstein
Institutsleiter



QUALIFYS/PRODUKTION/TEST/183-7-00



Valeur ψ des pièces d'écartement

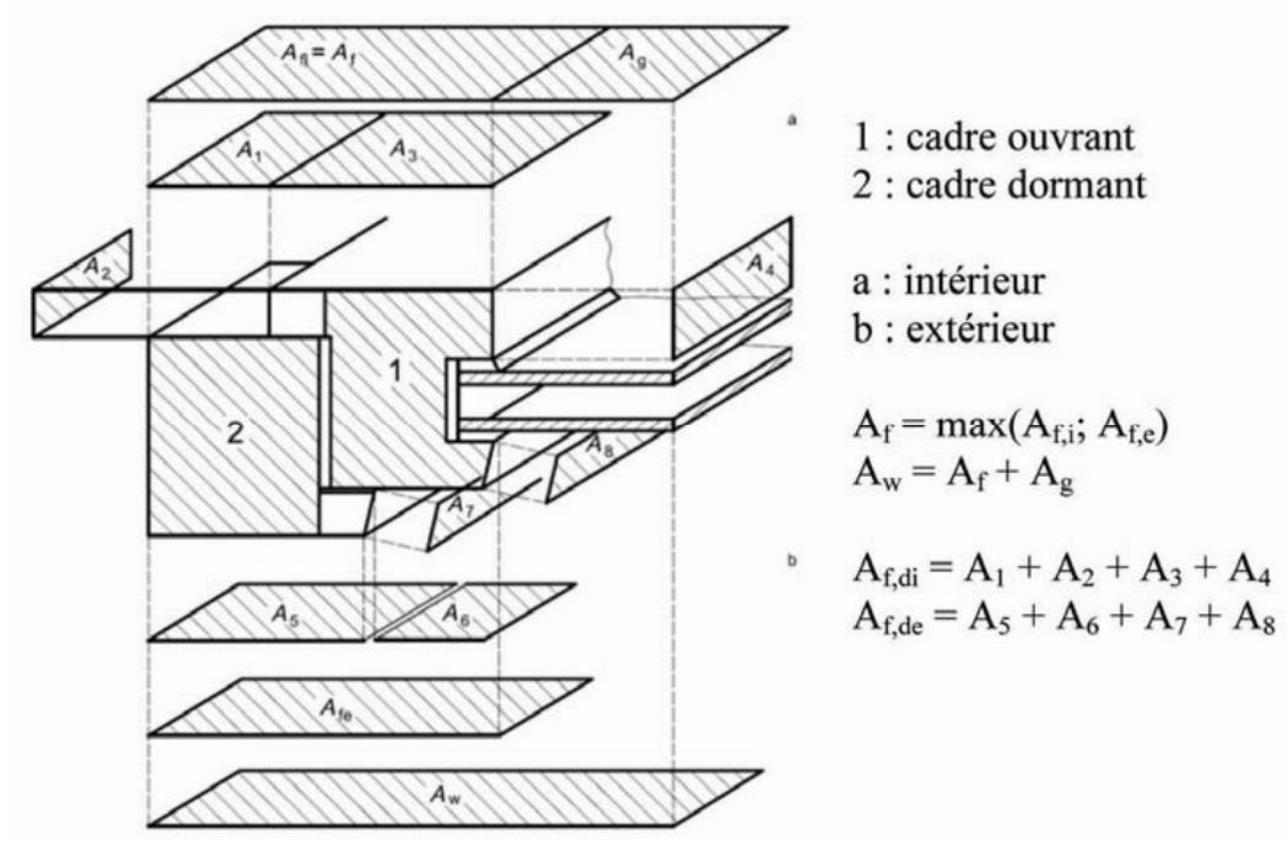
- ▶ Extrait de l'annexe VII de l'AGW du 17/04/2008 : valeurs ψ par défaut, pour les pièces d'écartement à performances thermiques normales ou améliorées en fonction du type de verre et du type de profilé :

Type d'encadrement	Vitrage multiple			
	Vitrage sans coating		Vitrage avec coating	
	Intercalaire normal	Intercalaire isolant	Intercalaire normal	Intercalaire isolant
Bois ou PVC	0,06	0,05	0,08	0,06
Métal avec coupure thermique	0,08	0,06	0,11	0,08
Métal sans coupure thermique	0,02	0,01	0,05	0,04

Profilé d'encadrement	Simple vitrage	Vitrage multiple			
		$U_g > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U_g \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	
		Intercalaire normal	Intercalaire isolant	Intercalaire normal	Intercalaire isolant
$U_f \geq 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,02	0,01	0,05	0,04
$U_f < 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,06	0,05	0,11	0,07



Isolation thermique des parois vitrées



Aires de déperditions



Isolation thermique des parois vitrées

► Formules simplifiées (norme NBN B62-002 - Addendum 2) :

- A_f/A : proportion occupée par le châssis par rapport à la surface de la baie = 30 ou 20%
- A_g/A : proportion occupée par le vitrage par rapport à la surface de la baie = 70 ou 80%
- Ψ_l/A : rapport périmètre du vitrage/surface de la baie = 3m/m²

$$Si U_g \leq U_f : U_w = 0.7 * U_g + 0.3 * U_f + 3 * \psi_g$$

$$Si U_g > U_f : U_w = 0.8 * U_g + 0.2 * U_f + 3 * \psi_g$$

- Avec :
 - U_w : coefficient de transmission thermique de la fenêtre [W/m²K]
 - U_g : coefficient de transmission thermique du vitrage [W/m²K]
 - U_f : coefficient de transmission thermique du châssis [W/m²K]
 - ψ_g : coefficient de transmission thermique de l'intercalaire [W/mK]



Isolation thermique des parois vitrées

- ▶ Fenêtres performantes = châssis et vitrage étanches à l'air + bon coefficient de transmission thermique
 - ▶ Les nombreux types de verre et de vitrage sur le marché ont tous des performances différentes au niveau :
 - Isolation thermique
 - Facteur solaire
 - Transmissions lumineuse et acoustique
 - Physico-mécanique (résistance aux sollicitations diverses comme le climat, le feu, les impacts...)
- Choix d'un vitrage en fonction des besoins



Influence des choix sur les performances

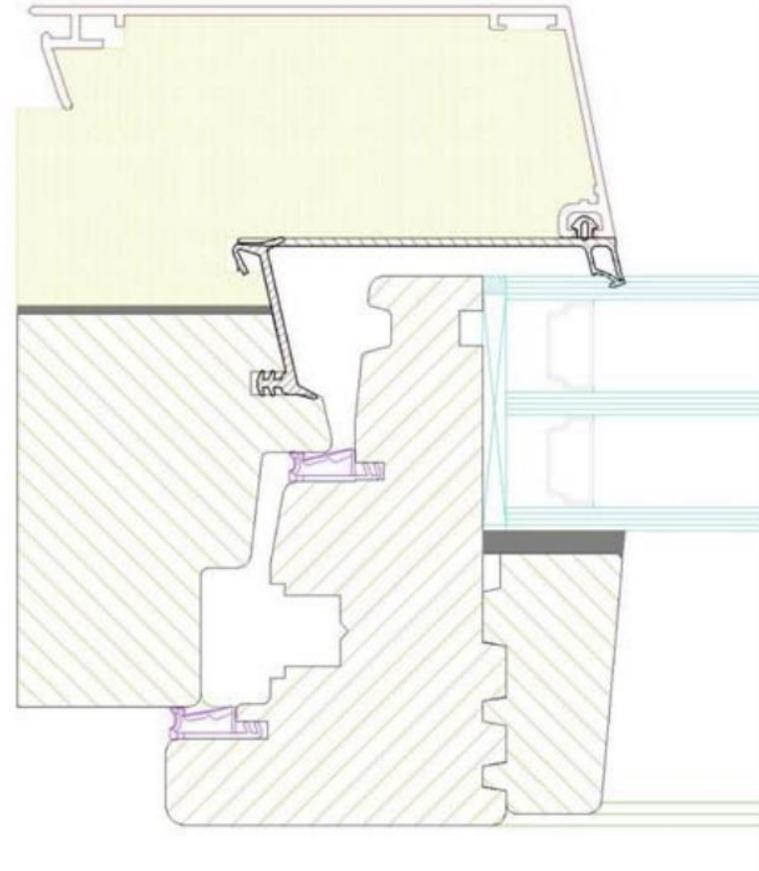
$U_{w,max} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{g,max} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$			Vitrage double					triple
			air	air + 1 couche peu émissive	argon + 1 couche peu émissive	krypton + 1 couche peu émissive	krypton + 2 couches peu émissives	krypton + 2 couches peu émissives
Châssis			$U_g = 2,6$	$U_g = 1,7$	$U_g = 1,3$	$U_g = 1,1$	$U_g = 0,8$	$U_g = 0,6$
Type de châssis	U_f		$\Psi_g = 0,06$	$\Psi_g = 0,06$	$\Psi_g = 0,11$	$\Psi_g = 0,07$	$\Psi_g = 0,07$	$\Psi_g = 0,07$
Métal (alu, acier...)	coupure 8 mm	4,51	3,35	2,72	2,59	2,33	2,12	1,98
	coupure 36 mm	2,93	2,88	2,25	2,12	1,86	1,65	1,51
PUR		2,80	2,84	2,21	2,08	1,82	1,61	1,47
Bois (feuillus)	ép. 60 mm	2,36	2,73	2,08	1,95	1,69	1,48	1,34
	ép. 80 mm	1,96	2,65	1,96	1,83	1,57	1,36	1,22
Bois (résineux) ép. 60 mm		1,93	2,65	1,95	1,82	1,56	1,35	1,21
PVC avec ou sans renforts métalliques	3 chambres	2,00	2,66	1,97	1,84	1,58	1,37	1,23
	4 chambres	1,80	2,62	1,91	1,78	1,52	1,31	1,17
	5 chambres	1,60	2,58	1,86	1,72	1,46	1,25	1,11
PVC + PUR dans les chambres		0,74	2,41	1,69	1,52	1,24	1,00	0,85
Alu + PUR entre parties en alu		0,71	2,40	1,68	1,51	1,23	0,99	0,84
Bois + PUR + capot alu		0,66	2,39	1,67	1,50	1,22	0,98	0,83



Isolation thermique des parois vitrées

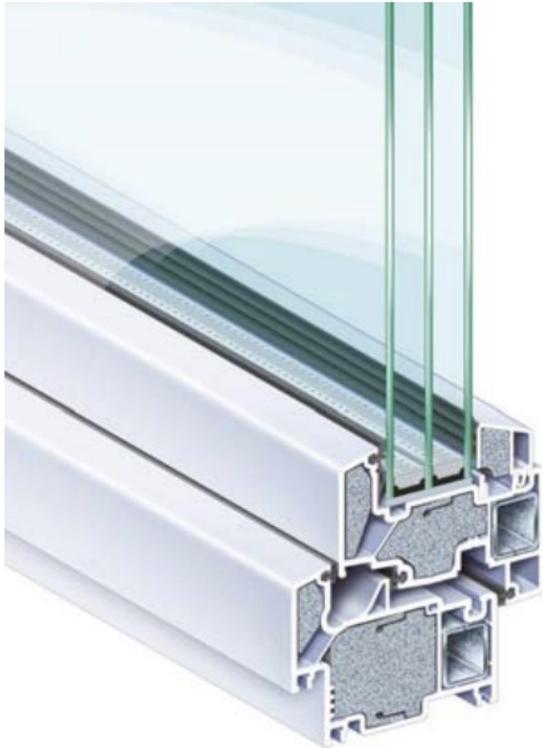
Exemple : Châssis en bois + capot alu + PUR

- ▶ Fabricant : Hermine 66
- ▶ U_f moyen = $0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Lorsque équipé d'un triple vitrage Sprimoglass Opti E-Green 44 mm :
 - $U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - $g = 0,61$
 - $\Psi_{\text{esp}} = 0,061 \text{ W/mK}$
- ▶ ➔ **$U_w = 0,875 \text{ W/m}^2\text{K}$**
- ▶ <http://hermine66.be>

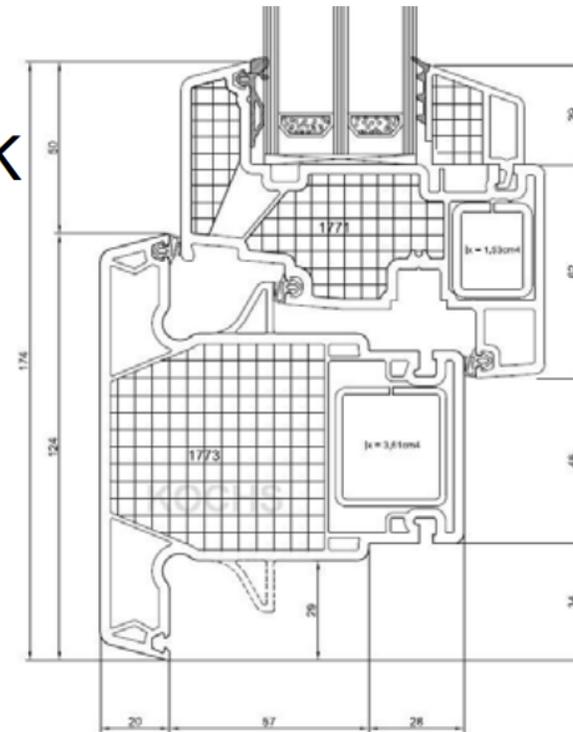


Isolation thermique des parois vitrées

Exemple : Châssis en PVC + mousse polystyrol dans les chambres

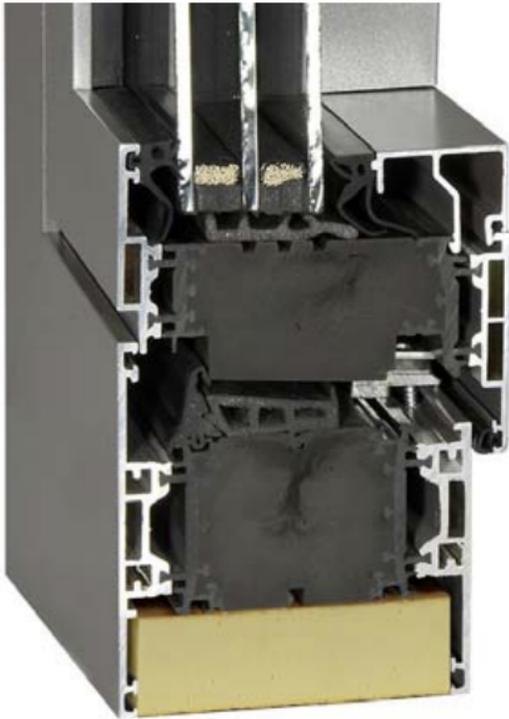


- ▶ Fabricant : Kochs
- ▶ Modèle : Kochs eCO₂
- ▶ U_f moyen = 0,74 W/m²K
- ▶ Lorsque équipé d'un triple vitrage Kochs Silverstar 0,6AR :
 - $U_g = 0,6$ W/m²K
 - $g = 0,52$
 - $\Psi_{esp} = 0,03$ W/mK
- ▶ ➔ **$U_w = 0,732$ W/m²K**
- ▶ <http://www.kochs.be>

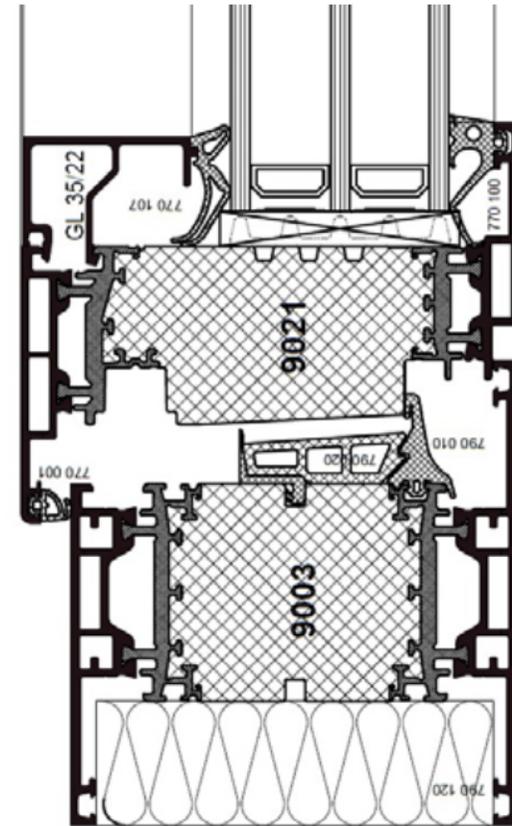


Isolation thermique des parois vitrées

Exemple : Châssis en alu à coupure thermique + mousse isolante entre parties métalliques

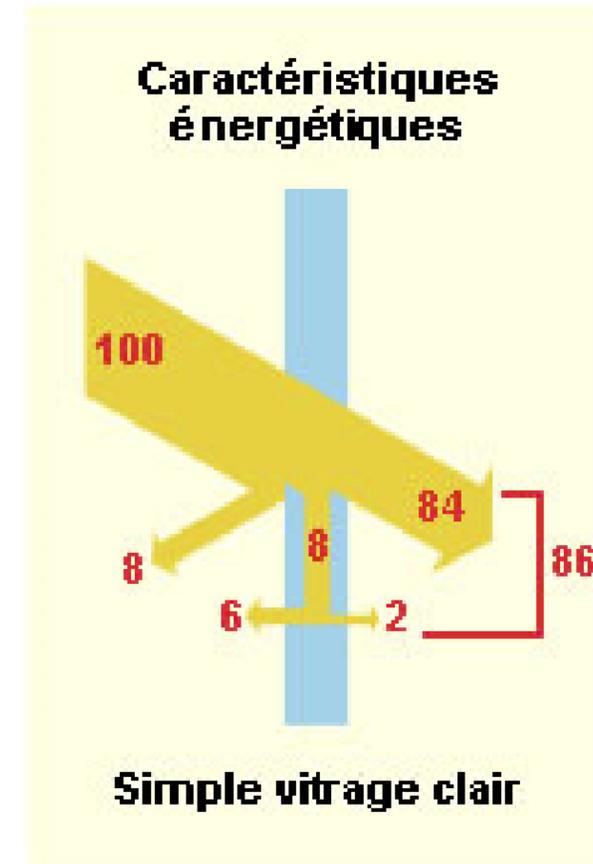


- ▶ Fabricant : MGMP
- ▶ Modèle : Pural eco 90+
- ▶ U_f moyen = $0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$
- ▶ Lorsque équipé d'un triple vitrage :
 - $U_g = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - $\Psi_{\text{esp}} = 0,034 \text{ W/mK}$
- ▶ ➔ **$U_w = 0,665 \text{ W/m}^2\text{K}$**
- ▶ <http://www.ecowindow.com>



Isolation thermique des parois vitrées

- ▶ Facteur solaire d'une paroi vitrée :
 - = rapport entre le flux total d'énergie solaire pénétrant à travers la vitre et le flux d'énergie solaire incidente
 - L'énergie totale est la somme de :
 - l'énergie solaire entrant par transmission directe
 - + l'énergie renvoyée par la vitre dans l'atmosphère intérieure, après avoir été absorbée par le vitrage
 - Cette grandeur représente :
 - le niveau de protection que le vitrage offre face aux surchauffes en été
 - et son rôle de « capteur d'énergie » en hiver



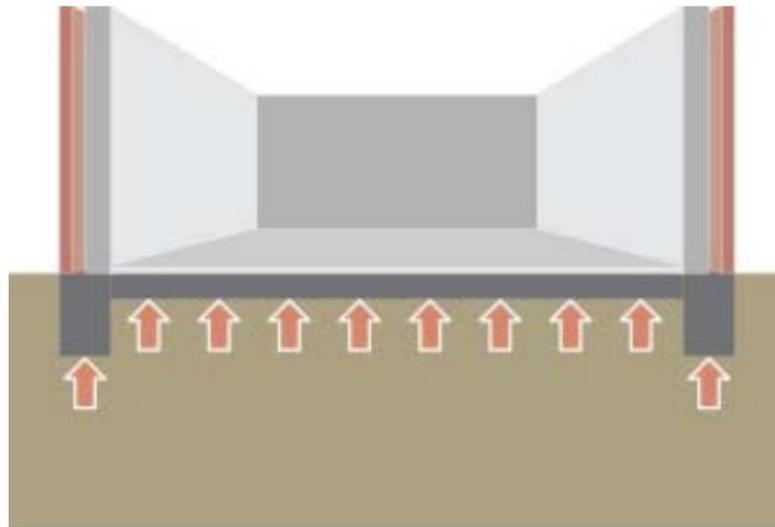
Isolation thermique des Parois Vitrées

- ▶ Transmission lumineuse du vitrage :
 - Fraction du rayonnement solaire passant à travers le vitrage
⇒ caractérise la transparence du vitrage
 - Compromis à trouver entre un facteur solaire élevé en hiver, faible en été, et une transmission lumineuse importante toute l'année. Idéalement :
 - vitrage clair (transmission lumineuse élevée), avec un facteur solaire élevé, pour profiter des gains solaires
 - + protection solaire type « auvent », store, volet... (ombrage en été)
 - Pour les bâtiments tertiaires :
 - choix du vitrage → selon l'importance des gains internes, souvent élevés et qui peuvent induire un risque de surchauffe, même en hiver

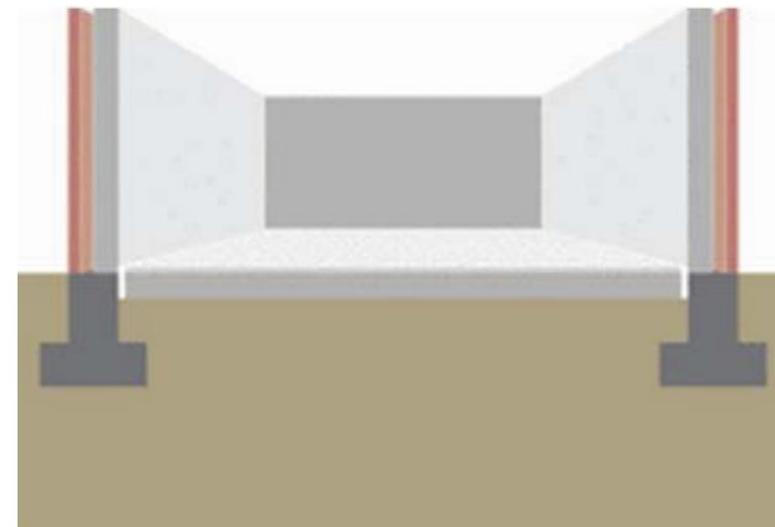


Les planchers inférieurs

Les types d'environnements extérieurs



Radier



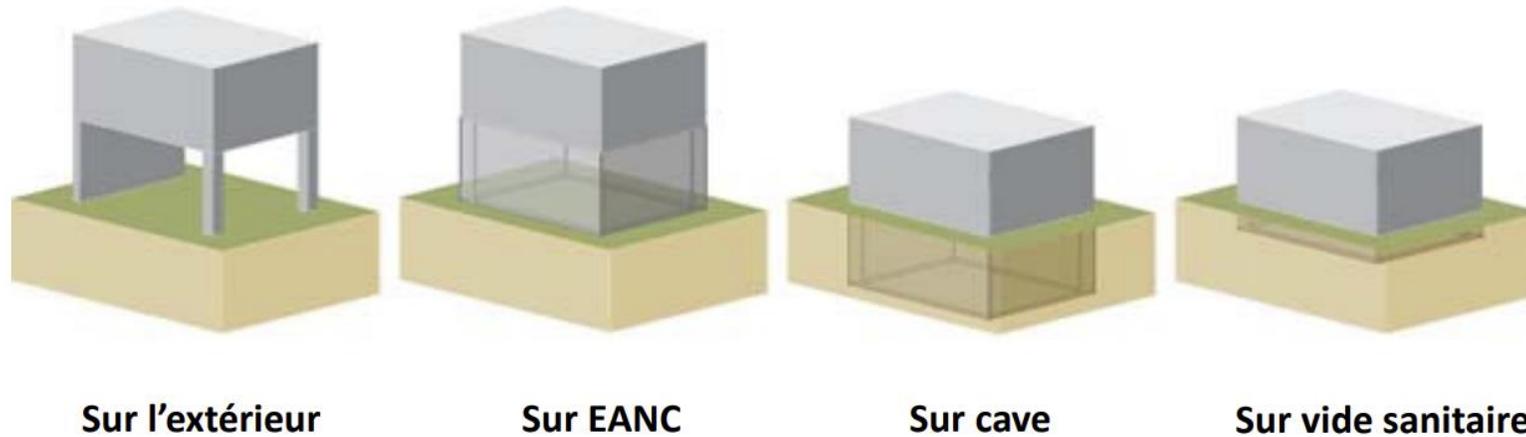
Dalle sur sol

Généralement, matériau massif



Les planchers inférieurs

Les types d'environnements extérieurs

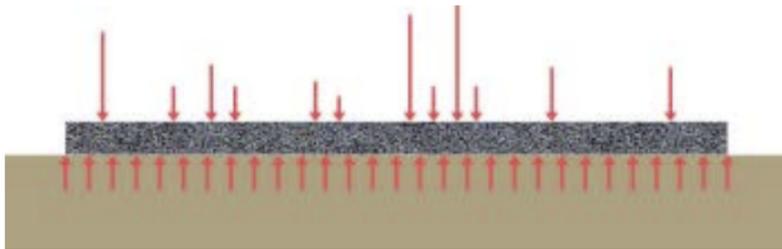


Matériau massif ou structure légère

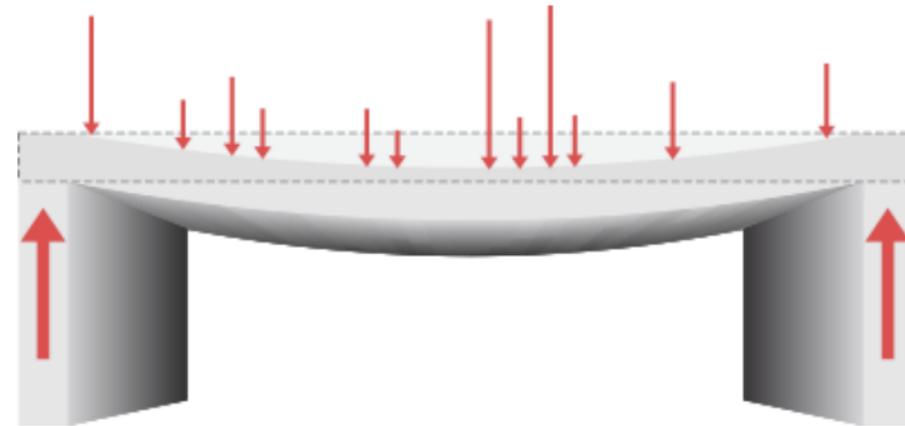


Les fonctions du plancher

Résistance mécanique



Répartition des charges sur le sol

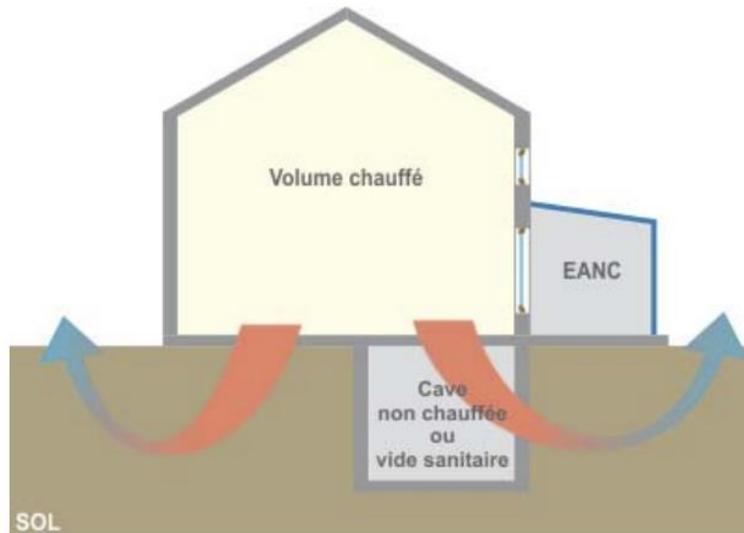


Report des charges sur les appuis



Les fonctions du plancher

Résistance thermique



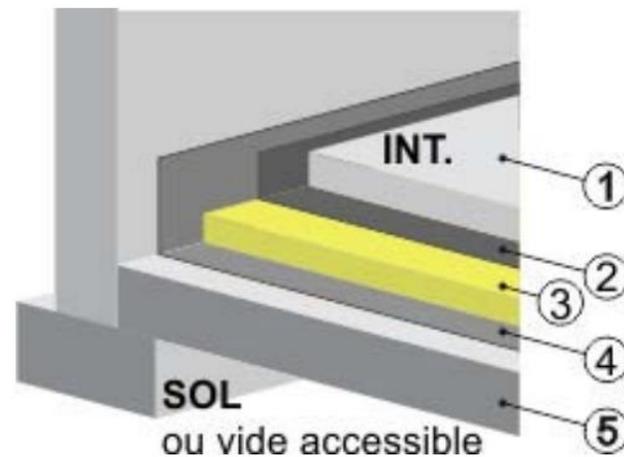
Lorsque le plancher est posé sur la terre ou est situé au-dessus d'une cave ou d'un vide sanitaire, la présence du sol constitue déjà une forme d'isolation thermique du plancher. Cela n'est cependant pas suffisant pour que le bâtiment soit thermiquement performant.

La mise en œuvre d'une couche isolante est donc nécessaire. Elle peut être placée au-dessus de la dalle ou en dessous de celle-ci (même contre la terre). Dans ce dernier cas, il est nécessaire d'employer un matériau isolant qui résiste à l'humidité et à la compression).



Résistance thermique

1) Isolation thermique au-dessus du support (lourd ou léger)



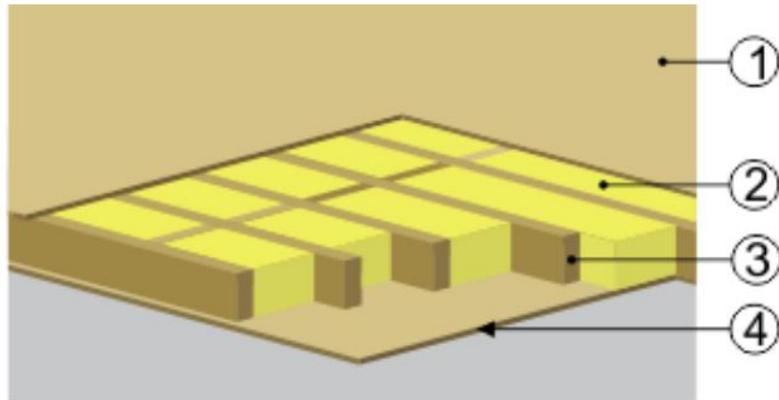
1. Finition intérieure
2. Couche de séparation
3. Isolant
4. Étanchéité éventuelle (si terre-plein)
5. Support

L'isolation thermique par l'intérieur diminue l'inertie thermique de la paroi, surtout si la finition intérieure est légère.



Résistance thermique

2) Isolation thermique à l'intérieur du support (planchers légers uniquement)



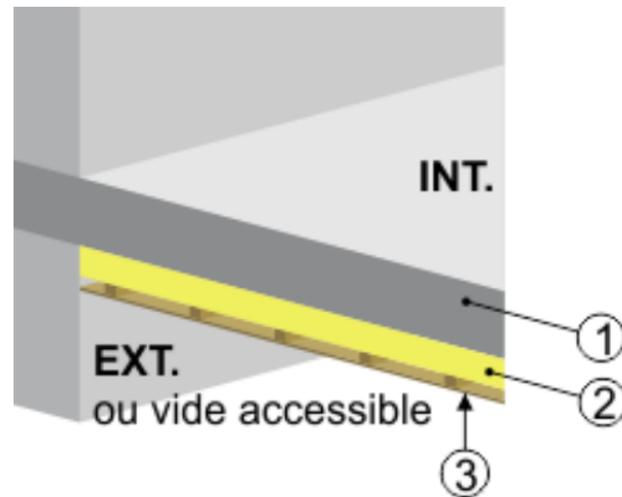
1. Plancher
2. Isolant
3. Structure
4. Finition intérieure

Les planchers légers ont une faible inertie thermique



Résistance thermique

3) Isolation thermique en dessous du support (lourd ou léger)

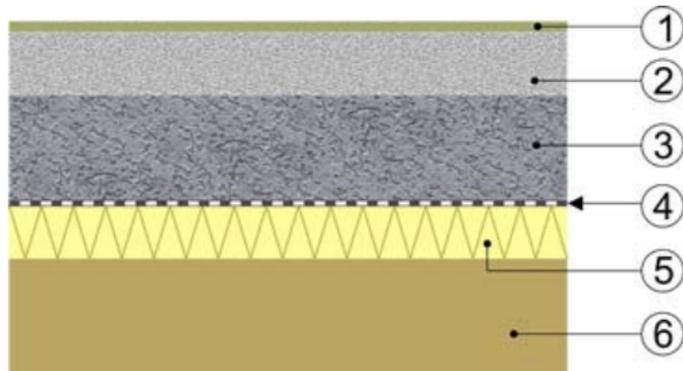


1. Support existant
2. Isolation
3. Finition éventuelle

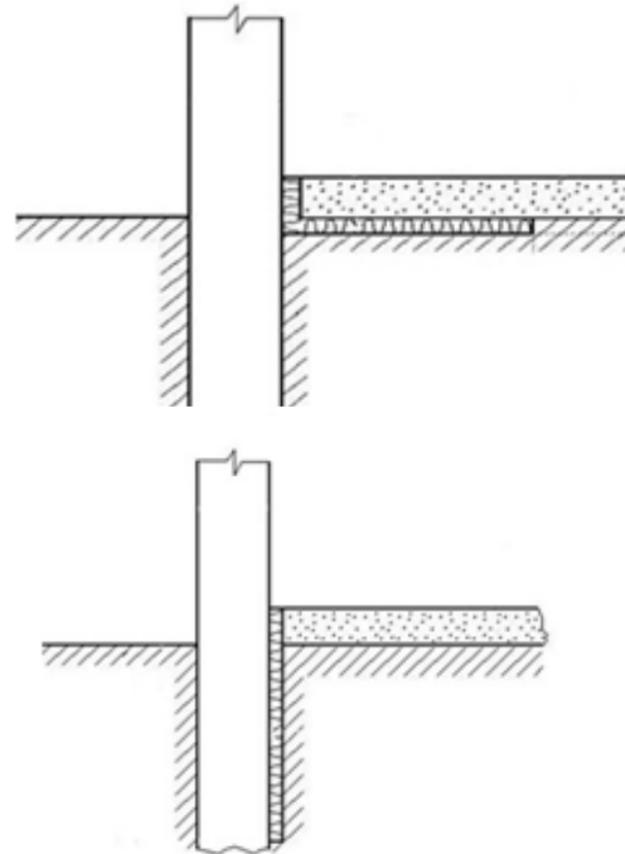


Résistance thermique

4) Isolation thermique enterrée



1. Revêtement de sol
2. Chape
3. Plancher portant
4. Couche de séparation
5. Isolant
6. Terre



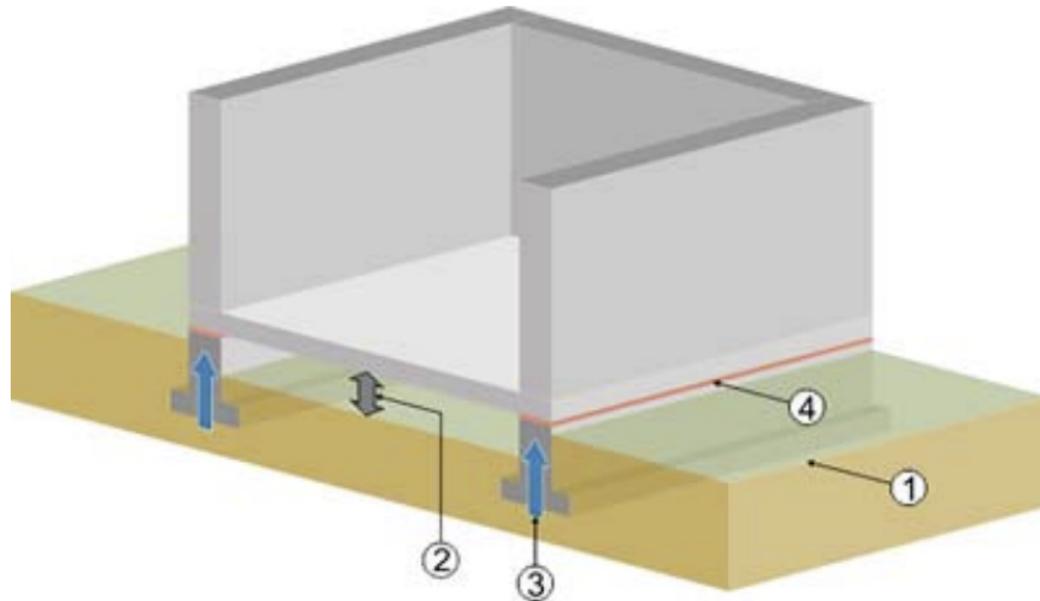
Isolation périphérique



Les fonctions du plancher

Protection contre l'humidité

1) Plancher au dessus du vide → généralement pas de problème

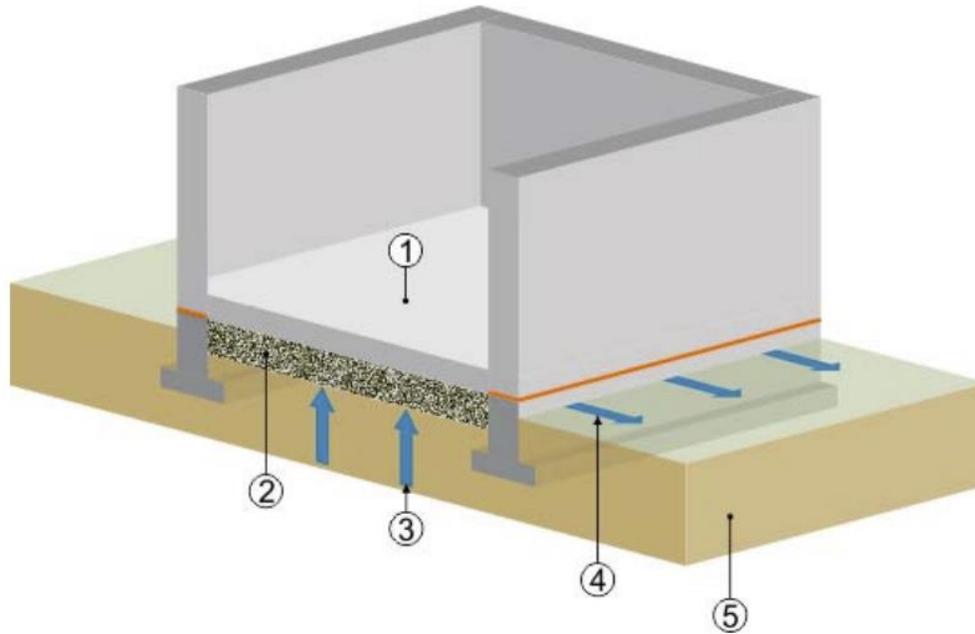


1. Niveau du terrain
2. Vide sanitaire
3. Humidité ascensionnelle
4. Barrière d'étanchéité



Protection contre l'humidité

2) Plancher sur sol drainant

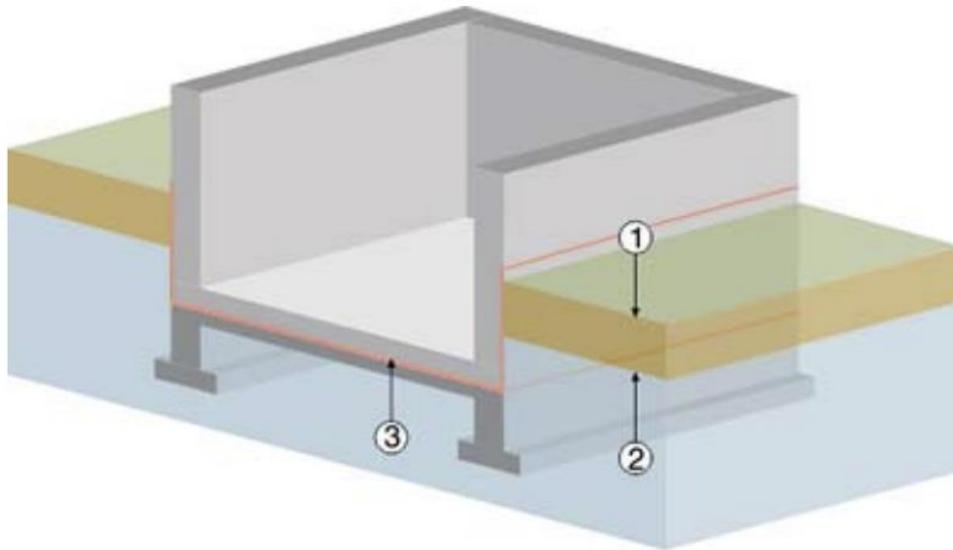


1. Dalle sur sol
2. Sol drainant (= non capillaire)
3. Humidité du sol
4. Eaux de ruissellement (écartées)
5. Terrain



Protection contre l'humidité

3) Plancher sur sol humide

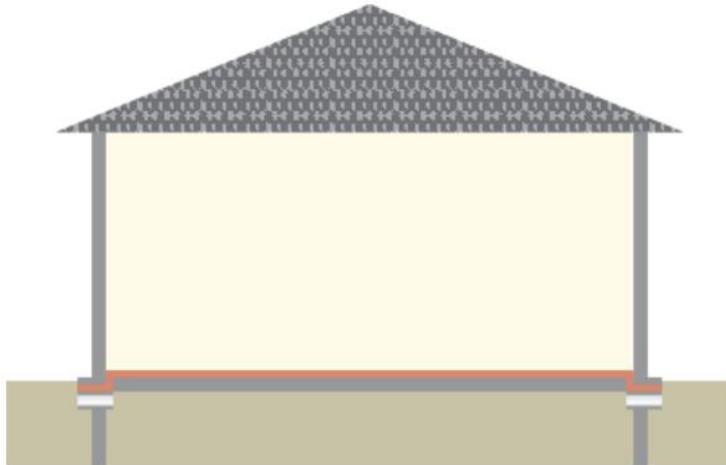


1. Niveau du terrain
2. Nappe phréatique éventuelle
3. Étanchéité

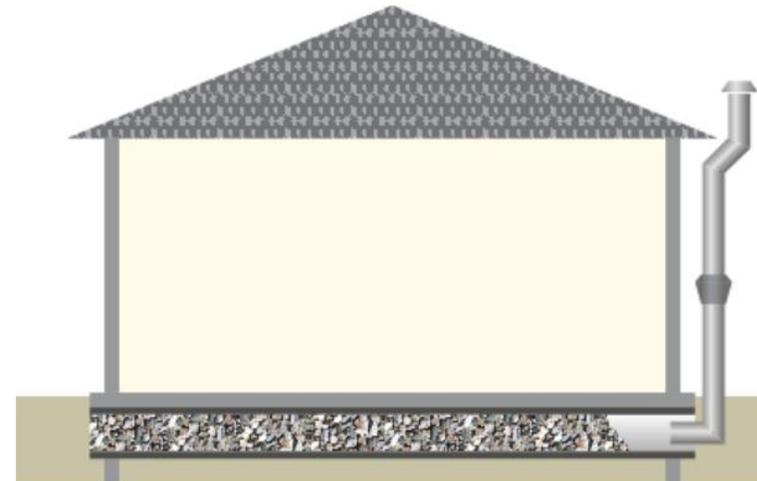


Les fonctions du plancher

Etanchéité à l'air et aux gaz toxiques (méthane, radon)



1. Empêcher l'air et les gaz de traverser le plancher.



2. Permettre aux gaz toxiques de s'échapper du sol sous le bâtiment.



Isolation thermique des planchers

- ▶ Chaque plancher peut être décomposé en zones :
 - 1 = zone de revêtement de sol (aire de marche)
 - 2 = zone d'isolation et son support
 - 3 = zone de structure
 - 4 = zone libre pour équipement éventuel
 - 5 = zone de finition intérieure ou de plafond

- ▶ Zone 1 : zone de revêtement de sol (aire de marche)
 - Sensation désagréable de froid dépend :
 - de la t° superficielle ou t° du plancher
 - de la nature du plancher et de son revêtement



Isolation thermique des planchers

▶ Zone 2 : zone d'isolation

- Types de plancher → selon la disposition constructive :
 - Planchers sur espaces non chauffés non à l'abri du gel (vides ventilés ou sanitaires)
 - Planchers sur espaces non chauffés à l'abri du gel (caves)
- → Performance de résistance thermique à atteindre (U_{\max}) moins sévère pour les planchers sur caves que pour ceux sur vides sanitaires

▶ Zone 3 : zone de structure

- 2 grands types de planchers : lourds (structure conductrice de chaleur) ou légers (structure moins conductrice)
- → Précautions particulières à prendre (risques de ponts thermiques) :
 - selon la nature de la structure du plancher (lourde ou légère)
 - selon la qualité de mise en œuvre de l'isolation thermique



Isolation thermique des planchers

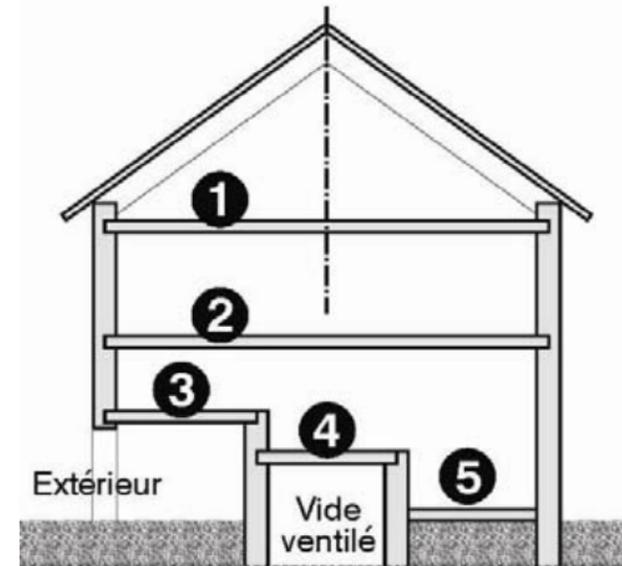
- ▶ Zones 4 + 5 : zones d'équipements et de finition intérieure
 - Si plancher lourd : zone entre la structure et la zone de marche
 - Idéalement, pour le chauffage, les installations techniques sont placées du côté chaud du plancher (vers l'habitation)
 - Si plancher léger : zone entre les éléments de structure
 - Veiller à la bonne qualité de la finition (niveau des percements, problèmes d'acoustique...)



Isolation thermique des planchers

► Classement des types de planchers selon leur position dans un bâtiment :

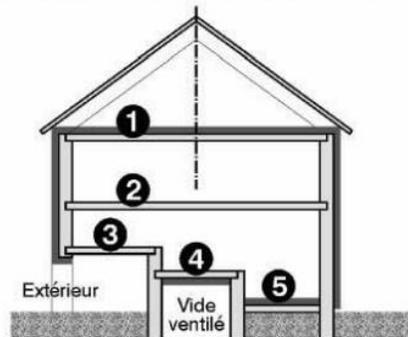
- 3 : Plancher en contact direct avec l'extérieur (ex. : plancher au-dessus d'un passage ou en surplomb)
- 4 : Plancher surmontant un espace ventilé **ou** cave non chauffée (vides sanitaires, caves, pièces d'habitation)
- 5 : Plancher en contact direct avec le sol sur terre-plein



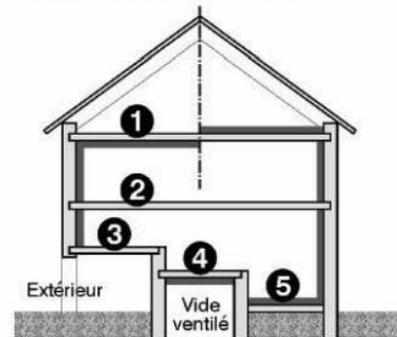
Isolation thermique des planchers

PLANCHER À STRUCTURE CONDUCTRICE DE CHALEUR (MATÉRIAUX LOURDS)

ISOLATION DES MURS PAR L'EXTÉRIEUR



ISOLATION DES MURS PAR L'INTÉRIEUR



3

PLANCHER EN CONTACT DIRECT AVEC L'EXTÉRIEUR (PAR EXEMPLE AU-DESSUS D'UN PASSAGE OU EN SURPLOMB)

- Isolation extérieure (inférieure) :
=> pas de pont thermique.
- Isolation intérieure (supérieure) :
=> risque de pont thermique : à compléter par une isolation intérieure du mur et par un pare-vapeur éventuel en face supérieure de l'isolant.



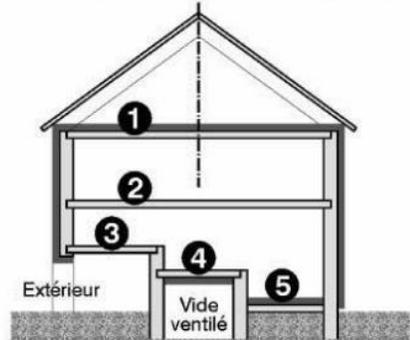
- Isolation extérieure (inférieure) : à déconseiller car pont thermique.
- Isolation intérieure (supérieure) :
=> pas de pont thermique ;
=> à compléter par un pare-vapeur éventuel au-dessus de l'isolant thermique.



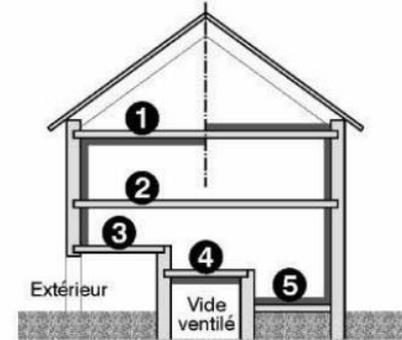
Isolation thermique des planchers

PLANCHER À STRUCTURE CONDUCTRICE DE CHALEUR (MATÉRIAUX LOURDS)

ISOLATION DES MURS PAR L'EXTÉRIEUR



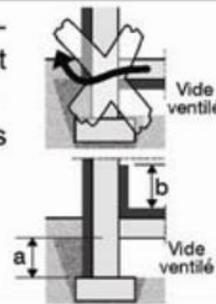
ISOLATION DES MURS PAR L'INTÉRIEUR



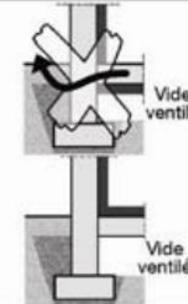
4

PLANCHER SURMONTANT UN ESPACE VENTILÉ OU UNE CAVE NON CHAUFFÉE

- Isolation inférieure : il y a des risques de ponts thermiques surtout si l'isolation de la fondation n'est pas possible ou est insuffisante (voir **remarque 2**).
- Isolation supérieure : même principe qu'en 5 mais sans étanchéité sous l'isolant.



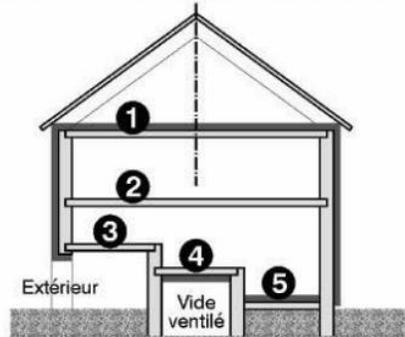
- Isolation inférieure : il y a des risques de ponts thermiques surtout si l'isolation de la fondation n'est pas possible (à déconseiller).
- Isolation supérieure : il faut placer un pare-vapeur sur l'isolant thermique.



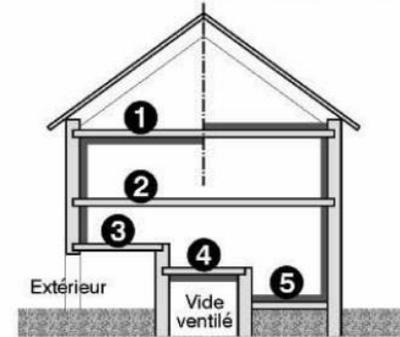
Isolation thermique des planchers

PLANCHER À STRUCTURE CONDUCTRICE DE CHALEUR (MATÉRIAUX LOURDS)

ISOLATION DES MURS PAR L'EXTÉRIEUR



ISOLATION DES MURS PAR L'INTÉRIEUR

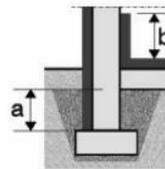


5

PLANCHER EN CONTACT DIRECT AVEC LE SOL SUR TERRE PLEIN

• Isolation par l'intérieur uniquement

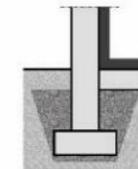
- => à compléter par une barrière contre l'humidité sous l'isolant thermique et un pare-vapeur au-dessus ;
- => idéalement placer en plus une isolation à l'extérieur de la fondation (a).



Remarque 2 : si cette isolation n'est pas possible, il faut isoler le mur par l'intérieur sur environ 1 m de haut (b).

• Isolation intérieure et/ou extérieure

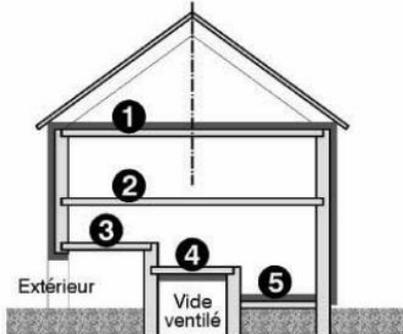
- => pas de pont thermique
- => à compléter par une barrière contre l'humidité et par un pare-vapeur éventuel sur l'isolant thermique.



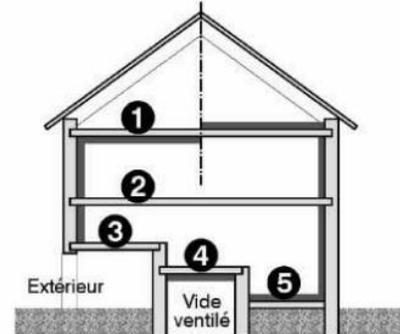
Isolation thermique des planchers

PLANCHER À STRUCTURE EN BOIS, PEU CONDUCTRICE DE CHALEUR (MATÉRIAUX LÉGERS)

ISOLATION DES MURS PAR L'EXTÉRIEUR



ISOLATION DES MURS PAR L'INTÉRIEUR



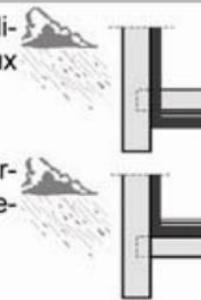
3

PLANCHER EN CONTACT DIRECT AVEC L'EXTÉRIEUR (PAR EXEMPLE AU-DESSUS D'UN PASSAGE OU EN SURPLOMB)

- Isolation extérieure (inférieure) :
=> pas de pont thermique.
- Isolation intérieure (supérieure) :
=> risque de pont thermique : à compléter par une isolation intérieure du mur entre les solives et par un pare-vapeur éventuel au-dessus de l'isolant.



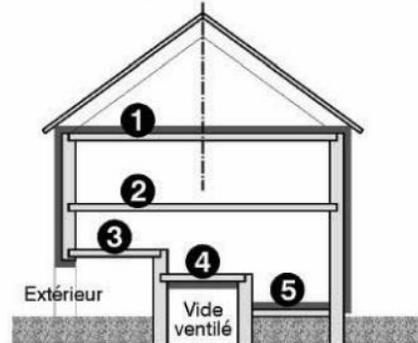
- Isolation extérieure (inférieure) : isoler entre les solives mais celles-ci risquent de se dégrader aux appuis.
=> voir **remarque 3**
- Isolation intérieure (supérieure) : pas de pont thermique mais risque de dégradation aux encastresments sauf si c'est bien ventilé.
=> pare-vapeur éventuel au-dessus de l'isolant.



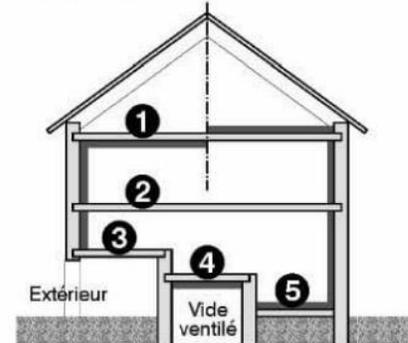
Isolation thermique des planchers

PLANCHER À STRUCTURE EN BOIS, PEU CONDUCTRICE DE CHALEUR (MATÉRIAUX LÉGERS)

ISOLATION DES MURS PAR L'EXTÉRIEUR



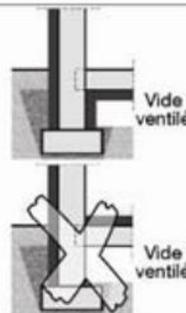
ISOLATION DES MURS PAR L'INTÉRIEUR



4

PLANCHER SURMONTANT UN ESPACE VENTILÉ OU UNE CAVE NON CHAUFFÉE

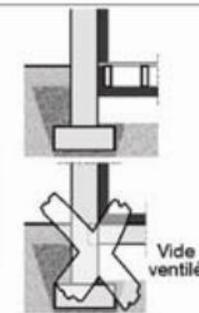
- **Isolation inférieure** : solution à éviter s'il y a risque de dégradation à l'encastrement du plancher (car pont thermique) lorsque l'isolation extérieure (mur) ne peut se faire profondément.
- **Isolation supérieure** : à déconseiller car il peut y avoir des condensations et donc risque de pourriture du bois : pare-vapeur au-dessus de l'isolant.



- **Isolation inférieure** : il faut faire attention à la dégradation des solives à leurs appuis.

Remarque 3 : isolation des flancs par remplissage latéral pour éviter la conduction (+ entre les solives).

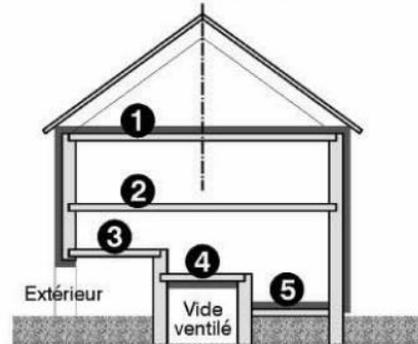
- **Isolation supérieure** : voir cas similaire ci-contre.



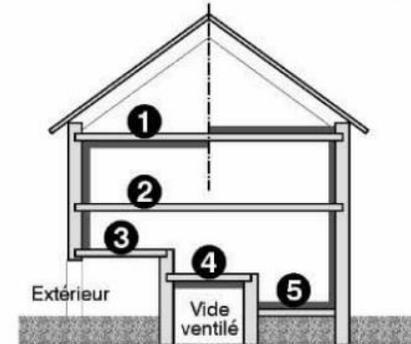
Isolation thermique des planchers

PLANCHER À STRUCTURE EN BOIS, PEU CONDUCTRICE DE CHALEUR (MATÉRIAUX LÉGERS)

ISOLATION DES MURS PAR L'EXTÉRIEUR



ISOLATION DES MURS PAR L'INTÉRIEUR



5

PLANCHER EN CONTACT DIRECT AVEC LE SOL SUR TERRE PLEIN

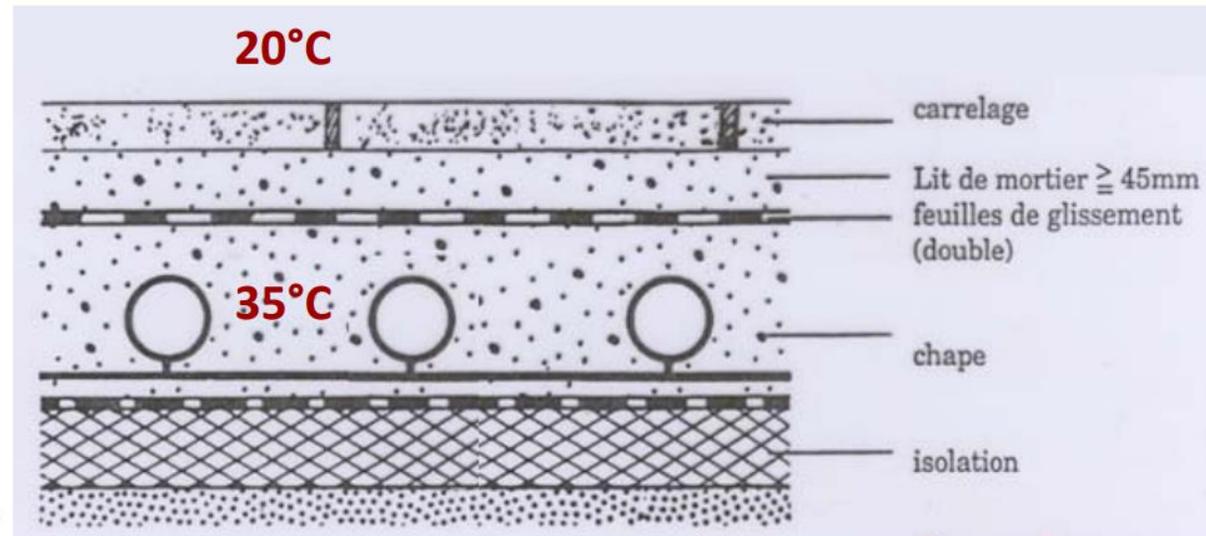
• N'existe pas ; à proscrire

• N'existe pas



Planchers chauffants

Coupe dans le plancher



La température du plancher chauffant étant plus élevée que la température de l'air du local, les déperditions thermiques par transmission seront plus importantes vers le bas du plancher. Il est donc essentiel de bien isoler sous le serpentin (cf. NBN EN 1264-4).

Situation	R_{\min} selon NBN EN 1264-4	Épaisseur équivalente d'isolation thermique (avec $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$)
Sur local chauffé	0,75 $\text{m}^2\text{K/W}$	$\geq 3 \text{ cm}$
Sur local non chauffé ou sur sol	1,25 $\text{m}^2\text{K/W}$	$\geq 5 \text{ cm}$
Sur extérieur	2 $\text{m}^2\text{K/W}$	$\geq 8 \text{ cm}$



Ponts thermiques – Nœuds constructifs

▶ Définition :

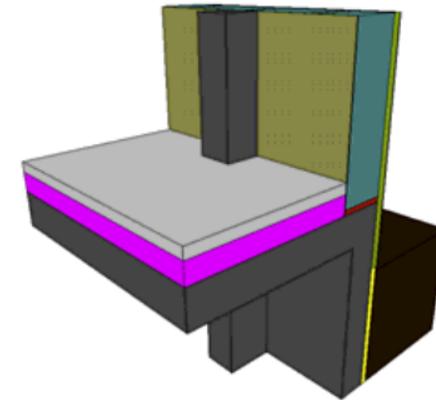
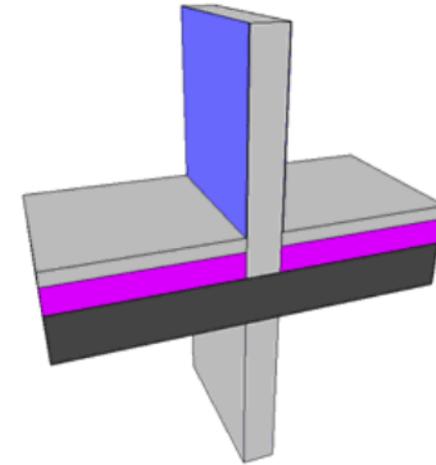
- Ponts thermiques : points particuliers de l'enveloppe où se produisent des pertes de chaleur excessives avec pour conséquences des problèmes de condensation, moisissures...
= détails mal conçus, mal réalisés
 - ▶ connotation négative
- Nœuds constructifs : tous points particuliers de l'enveloppe constitués par :
 - des bonnes solutions = nœuds PEB-conformes
 - des mauvaises solutions (ponts thermiques) = nœuds PEB-non conformes
 - ▶ approche plus positive



Déperditions – nœuds constructifs

► Définition : Types de nœuds constructifs

- Nœud constructif linéaire :
 - Là où deux parois de la surface de déperdition se rejoignent
 - Là où une paroi de la surface de déperdition rencontre une paroi à la limite d'une parcelle adjacente
 - Là où, dans une même paroi de la surface de déperdition, la couche isolante est entièrement ou partiellement interrompue.
- Nœud constructif ponctuel :
 - Lorsque la couche isolante d'une paroi est interrompue ponctuellement (colonne, fixation, ancrage...)



Ponts thermiques

❑ INFLUENCE DES PONTS THERMIQUES : double

- ✓ Température plus basse sur la face intérieure avec risque accru de condensation superficielle et *problèmes d'humidité et de moisissures*

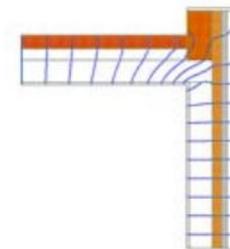
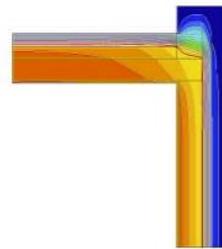
Non concerné par la réglementation PEB, mais engage bien la responsabilité des concepteurs et bâtisseurs !



*Source: www.btwinfo.nl

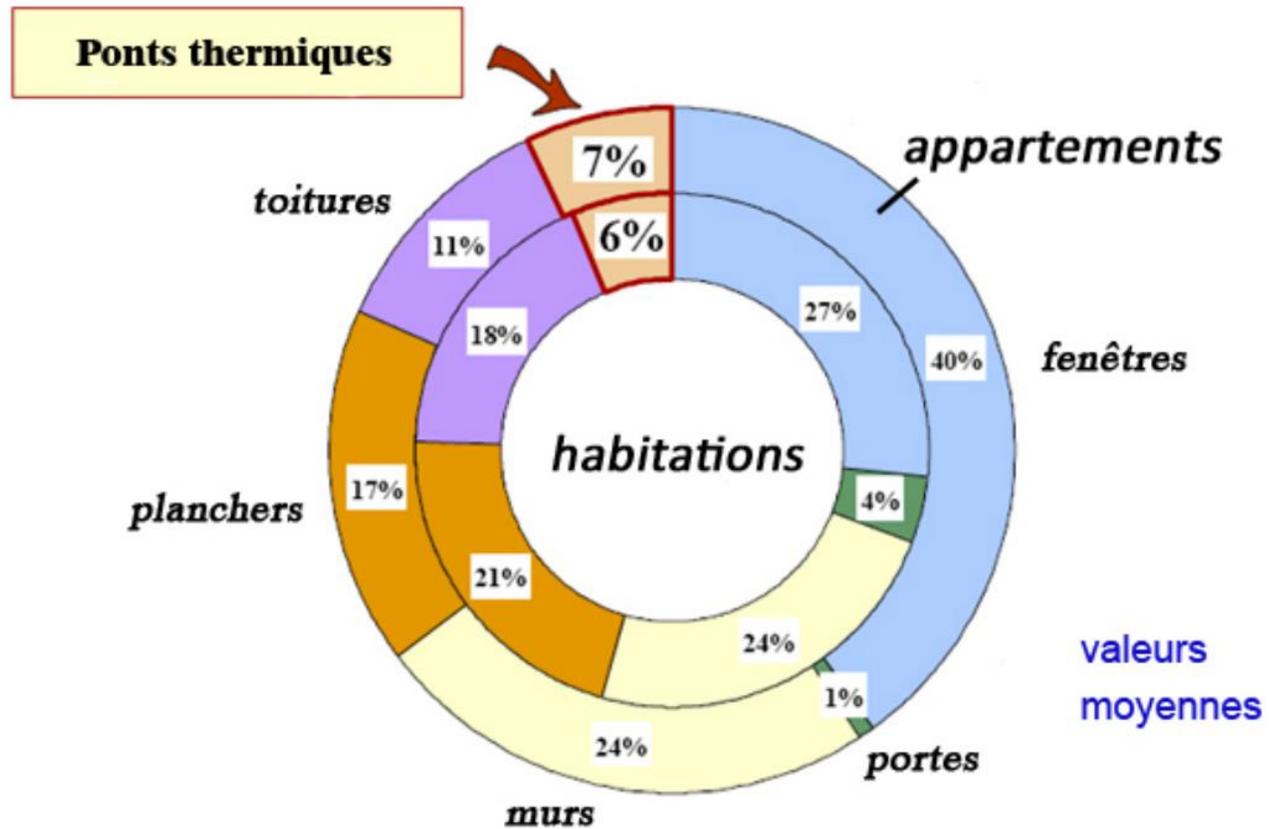
- ✓ *Perte de chaleur supplémentaire qui diffère du modèle unidimensionnel*

Règlementation PEB *annexe V*



Ponts thermiques

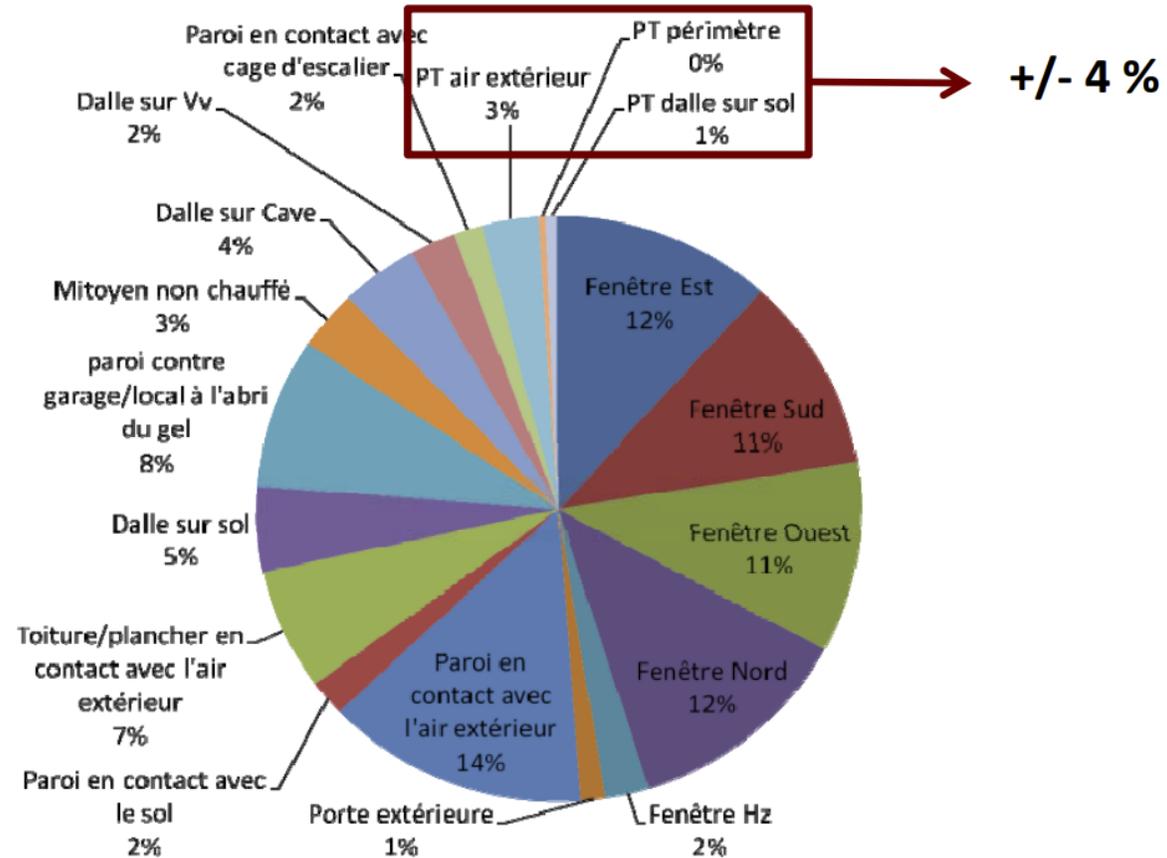
- ❑ INFLUENCE DES PONTS THERMIQUES : perte de chaleur
 - ✓ ÉTUDE SENVIVV (1995-1997)



Ponts thermiques

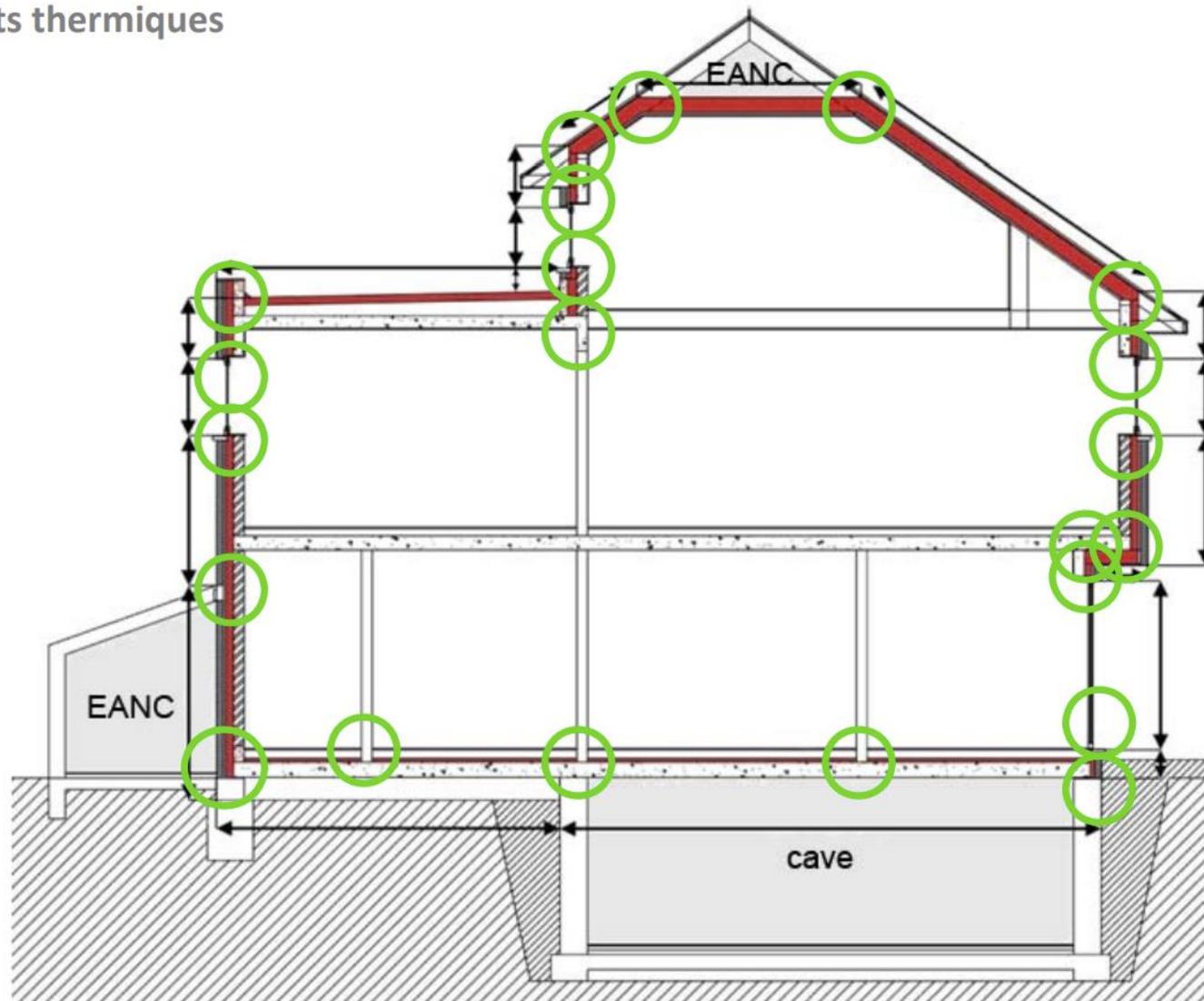
INFLUENCE DES PONTS THERMIQUES : perte de chaleur

Part des déperditions en % pour les bâtiments passifs et basse énergie en 2009



Ponts thermiques

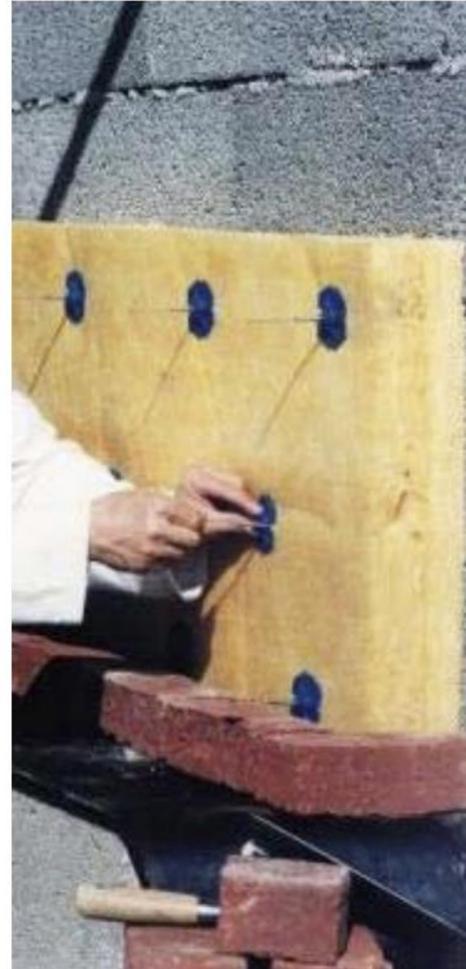
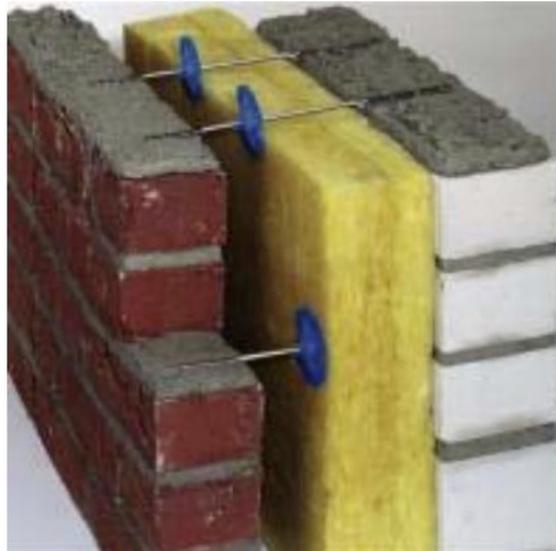
Les nœuds constructifs sont les endroits où se situent généralement les ponts thermiques



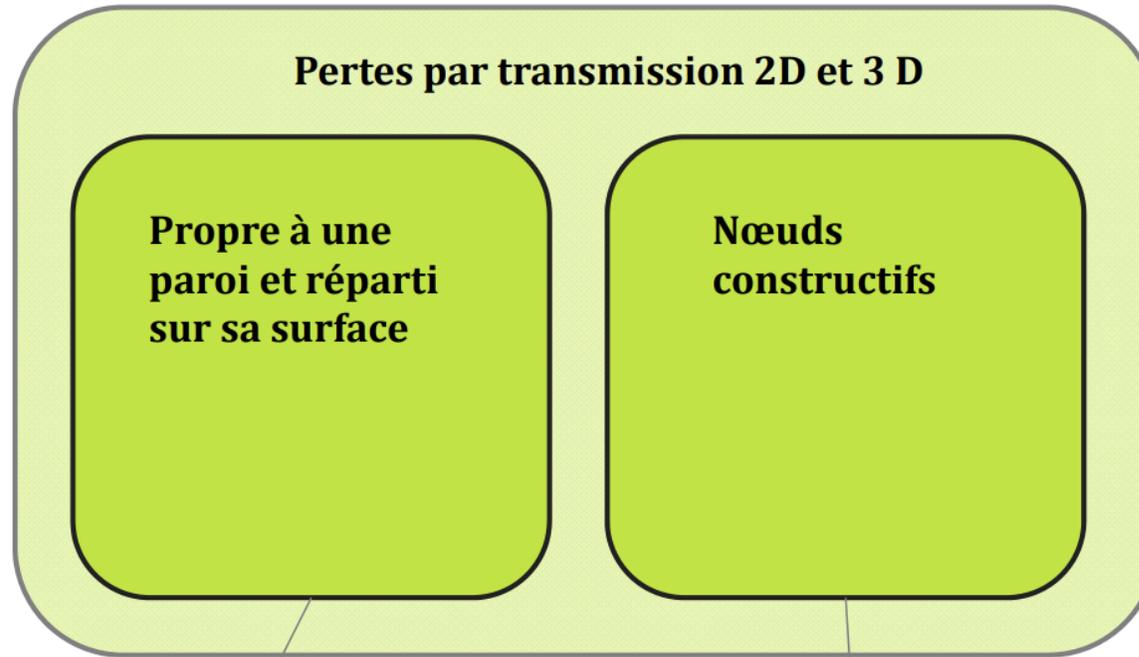
Ponts thermiques

Il y a aussi des interruptions propres à la technique constructive de la paroi

exemple : Crochets de maçonnerie



Ponts thermiques



Est pris en compte dans la valeur U de la paroi elle-même

- Montants et traverses en bois
- Crochets de maçonnerie
- Intercalaires de vitrage
- ...

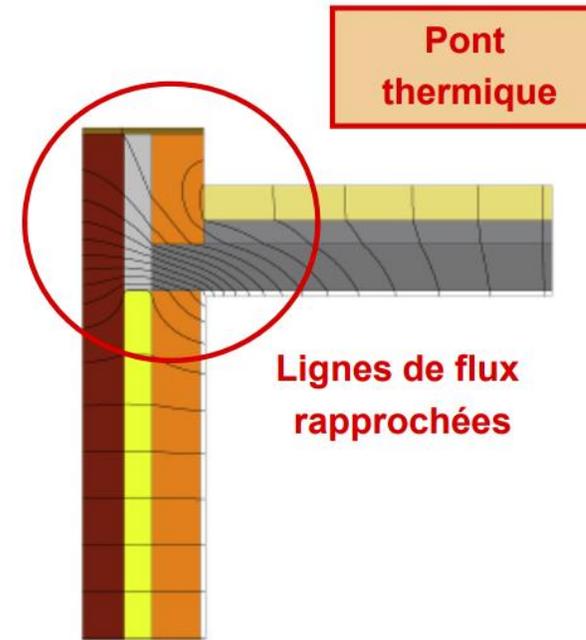
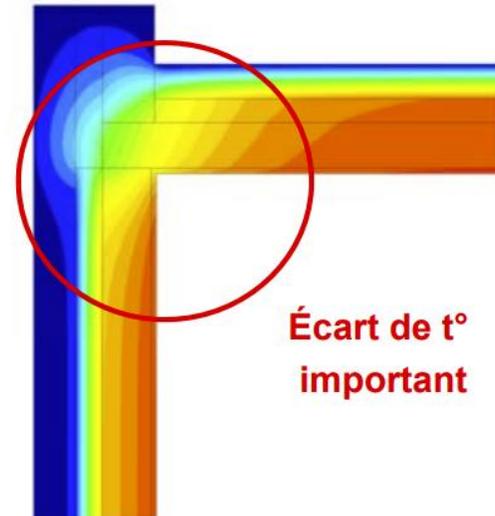
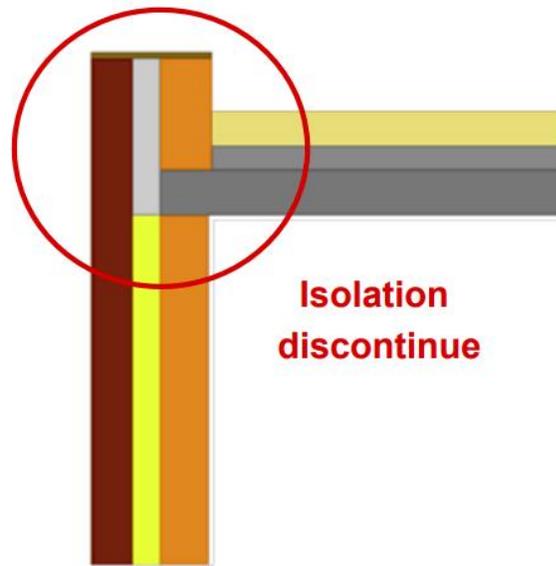
Concerné par l'Annexe V et pris en compte séparément par un supplément au niveau K

- Acrotères
- Appuis de fondation
- Raccords aux fenêtres
- ...

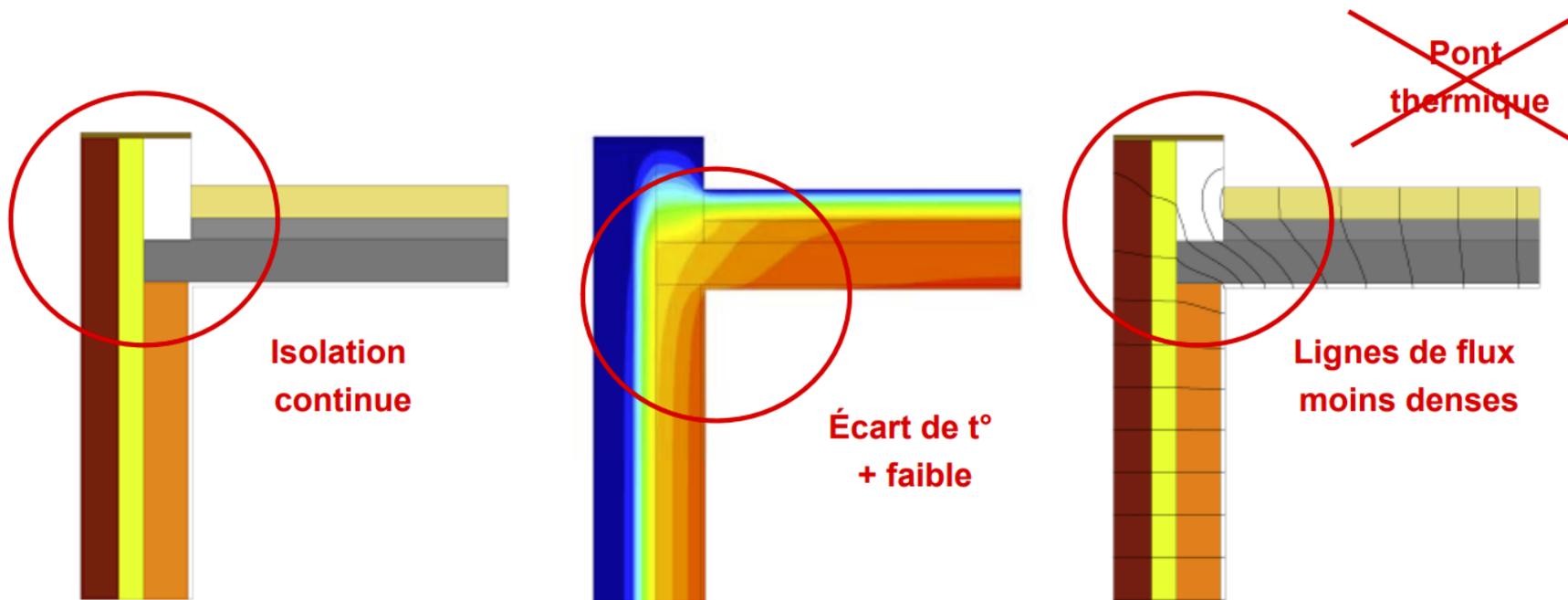
Pour plus de détails : voir le module de formation relatif à la prise en compte des nœuds constructifs dans la PEB



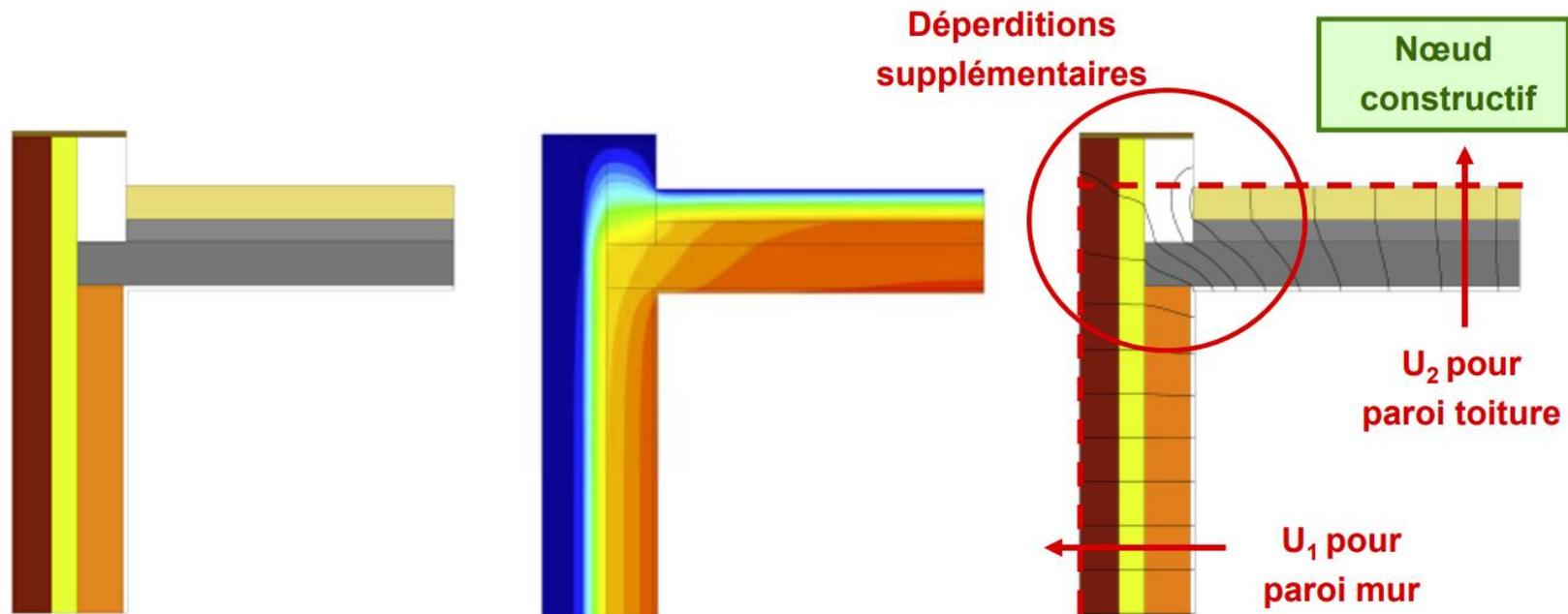
Ponts thermiques, nœuds constructifs ?



Ponts thermiques, nœuds constructifs ?

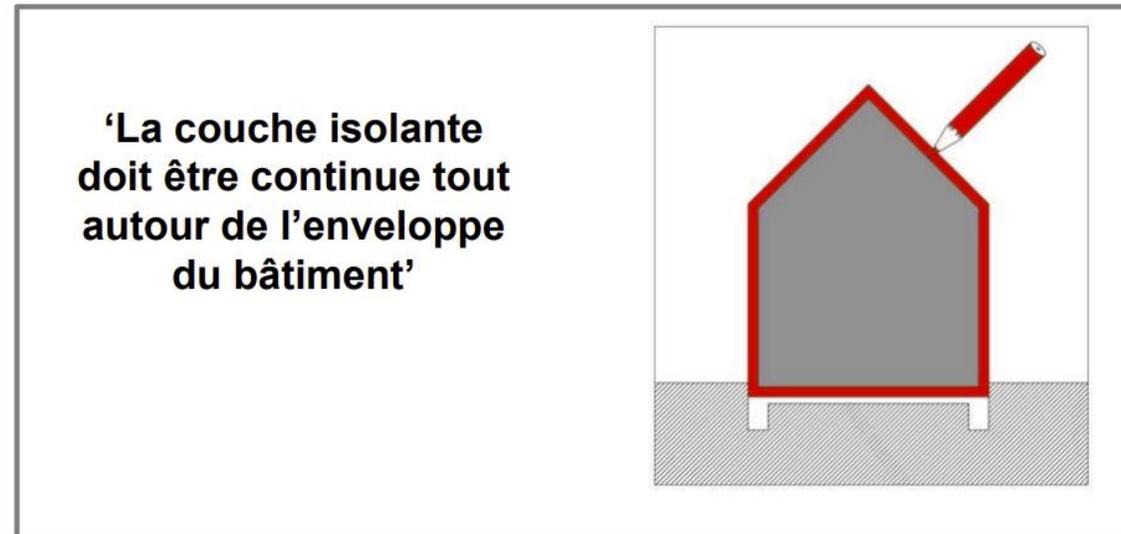


Ponts thermiques, nœuds constructifs ?



Ponts thermiques

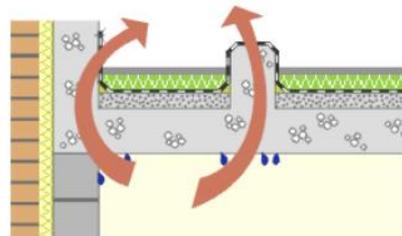
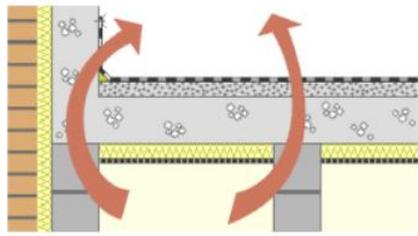
- **COUPURE THERMIQUE garantie = l'essentiel**



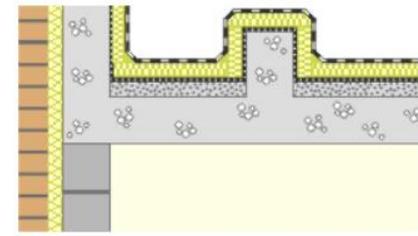
➔ **Règles de base de la PEB pour qu'un nœud constructif soit conforme et considéré comme thermiquement acceptable**



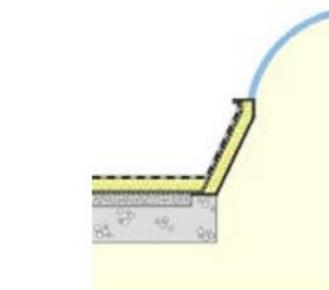
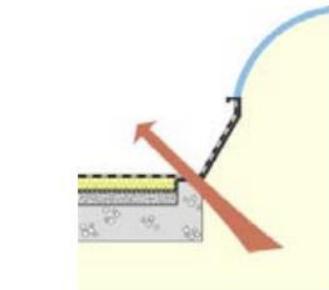
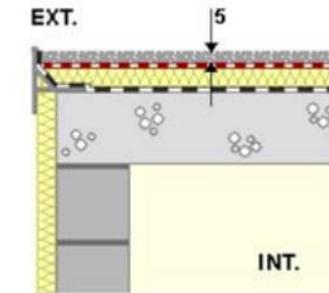
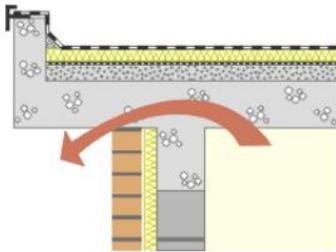
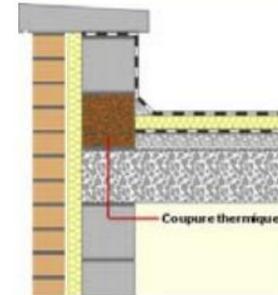
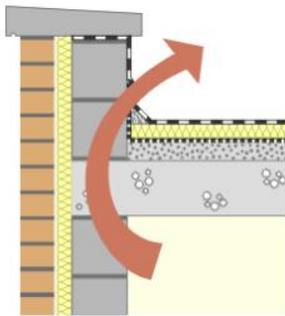
Ponts thermiques quelques exemples - toiture plate



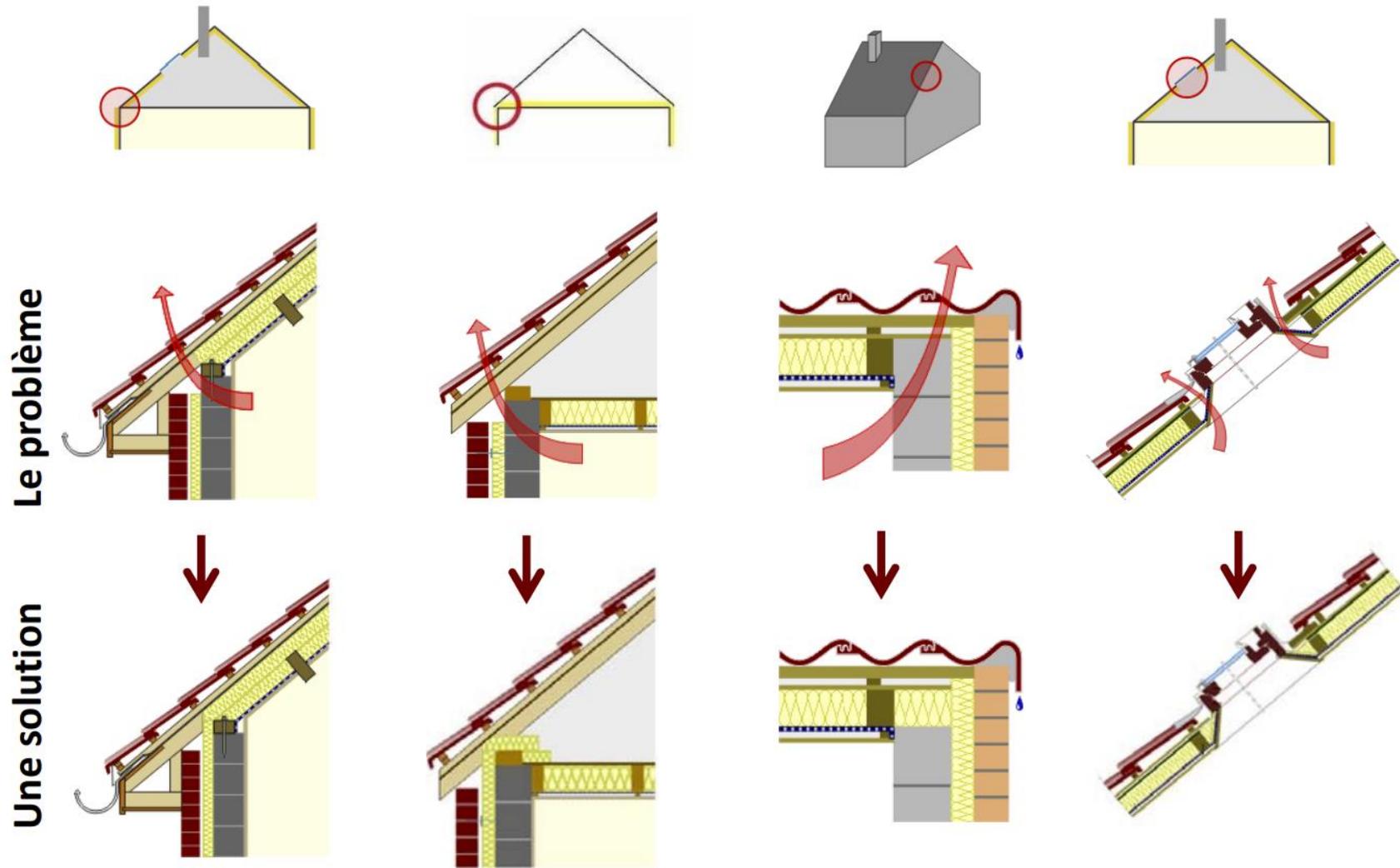
Une solution



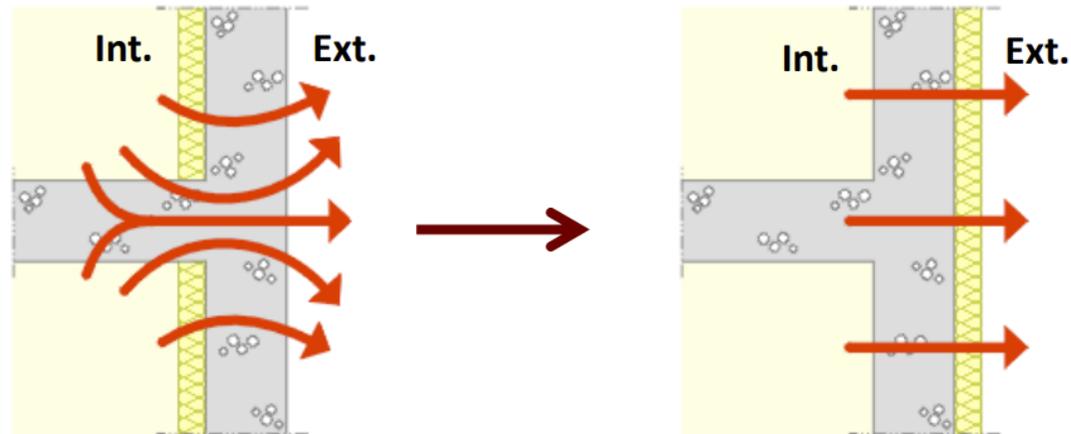
Le problème



Ponts thermiques quelques exemples - toiture inclinée



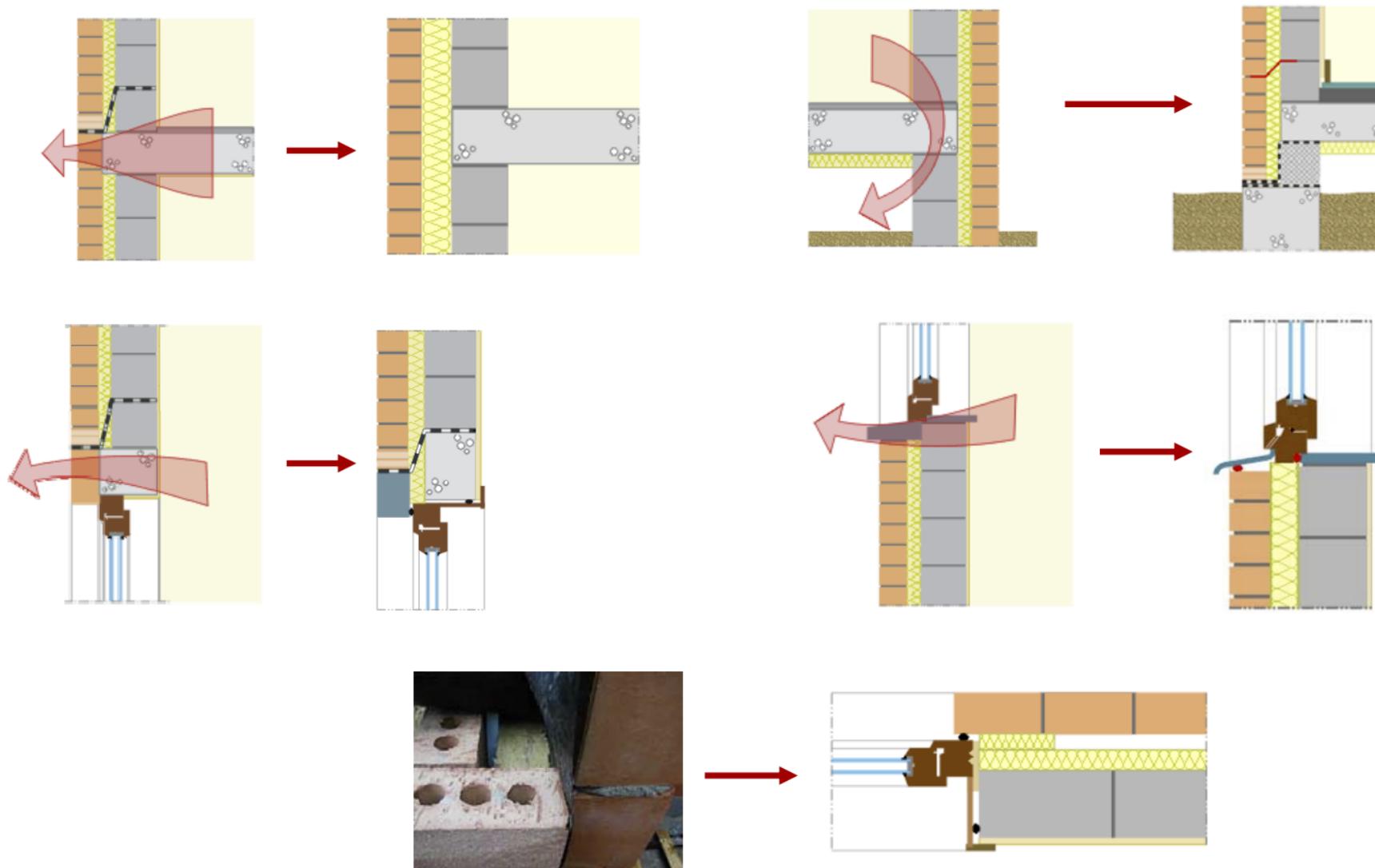
Ponts thermiques quelques exemples - murs



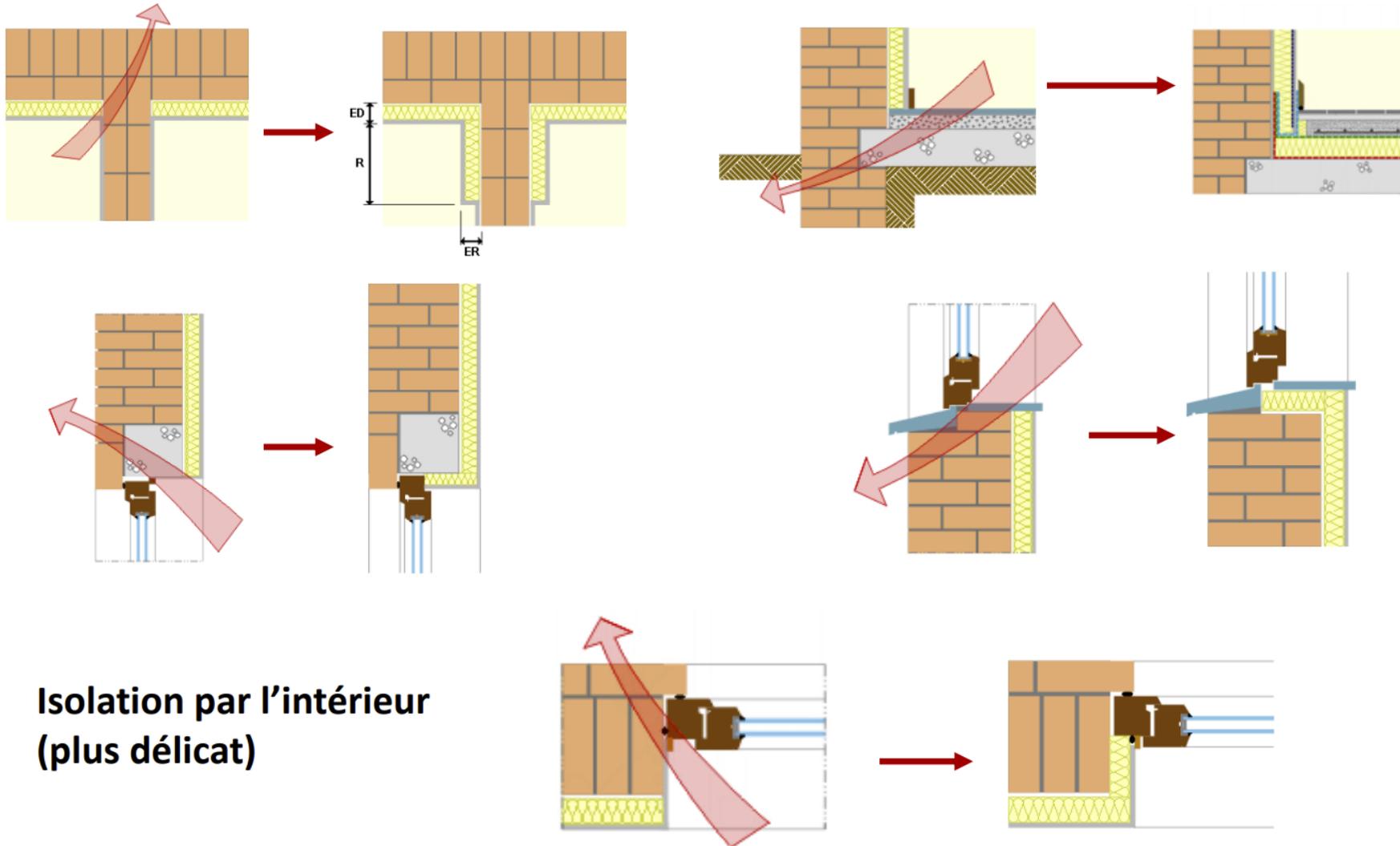
Il est plus facile d'éviter les ponts thermiques lorsqu'on isole les façades par l'extérieur



Ponts thermiques quelques exemples – murs creux



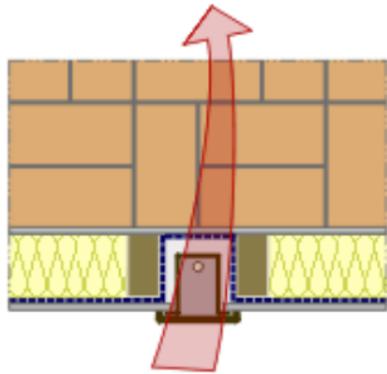
Ponts thermiques quelques exemples - murs



**Isolation par l'intérieur
(plus délicat)**

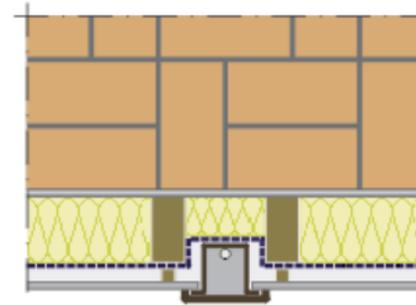


Ponts thermiques quelques exemples - murs

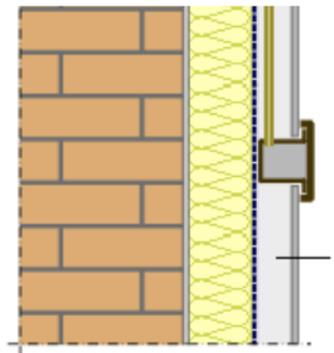


Mauvais

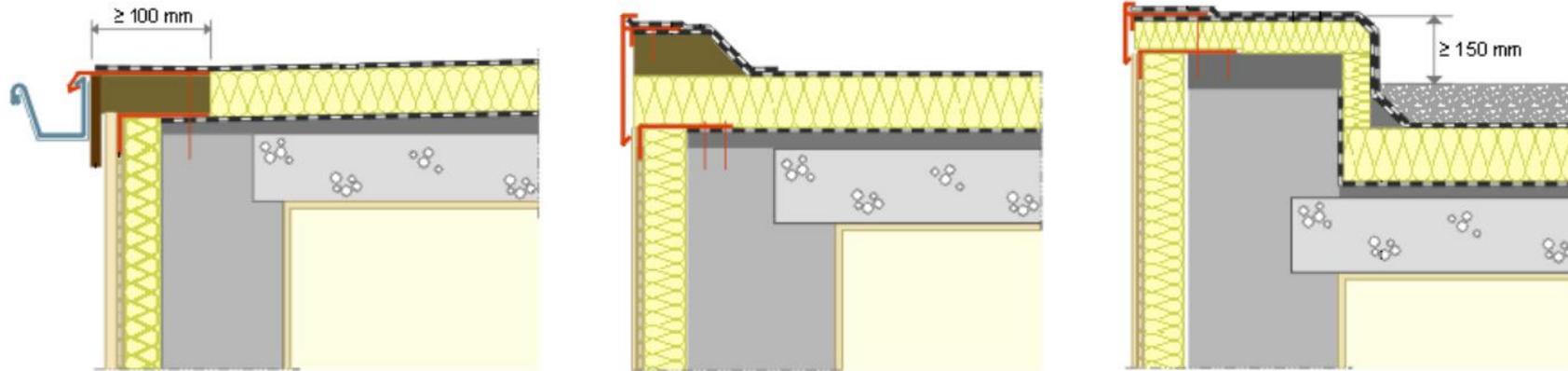
**Isolation par l'intérieur
Installations techniques**



Bon



Ponts thermiques liaison façade – toiture plate



Isolation façade par l'extérieur



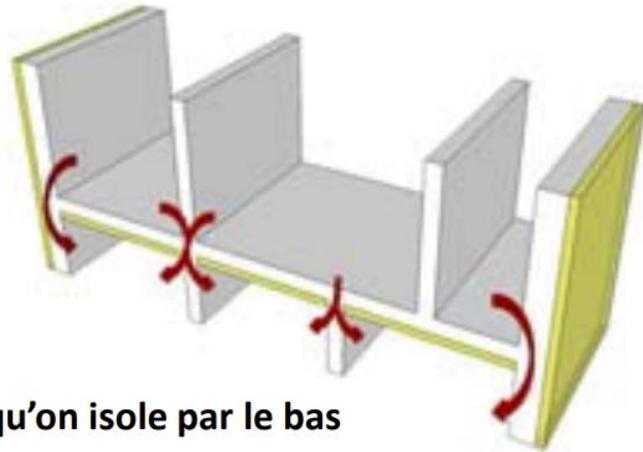
Ponts thermiques liaison façade – toiture inclinée



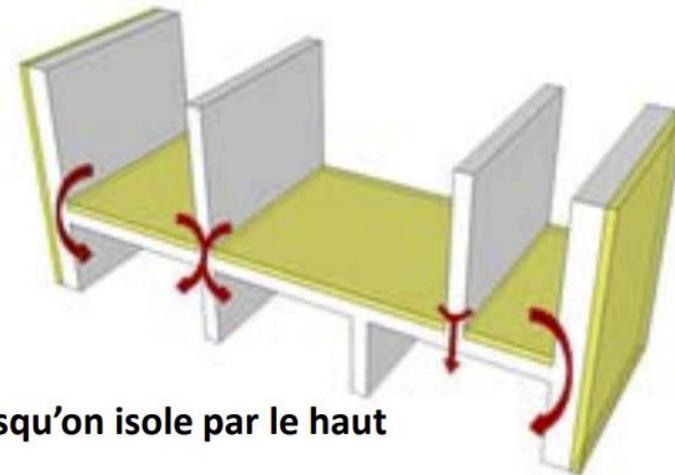
Isolation façade par l'extérieur



Ponts thermiques difficiles à résoudre

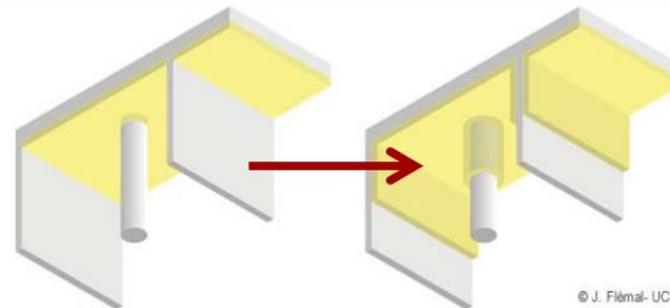


Lorsqu'on isole par le bas



Lorsqu'on isole par le haut

Solution éventuelle :
Allongement du chemin de moindre
résistance thermique



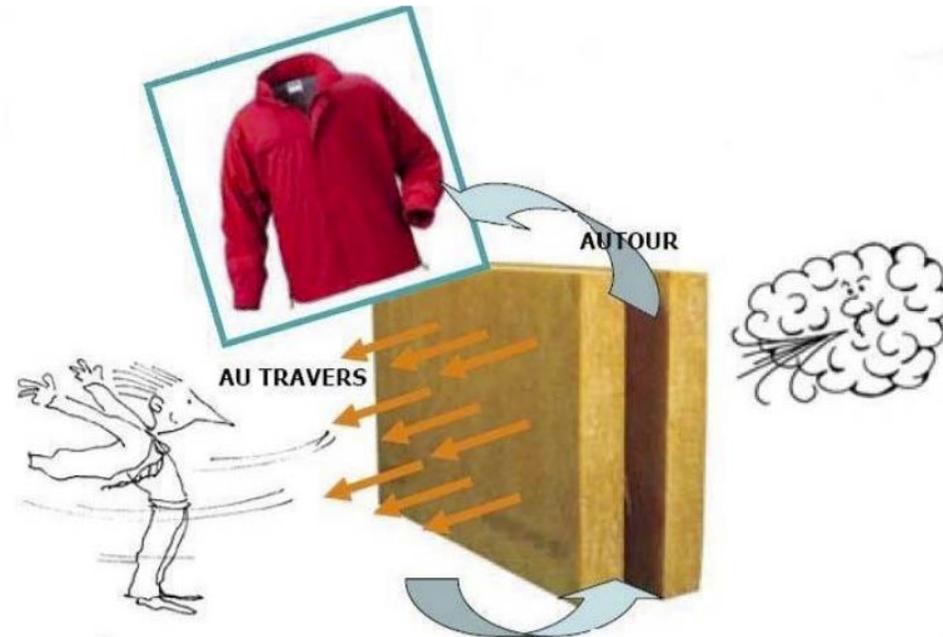
© J. Flémal- UCL

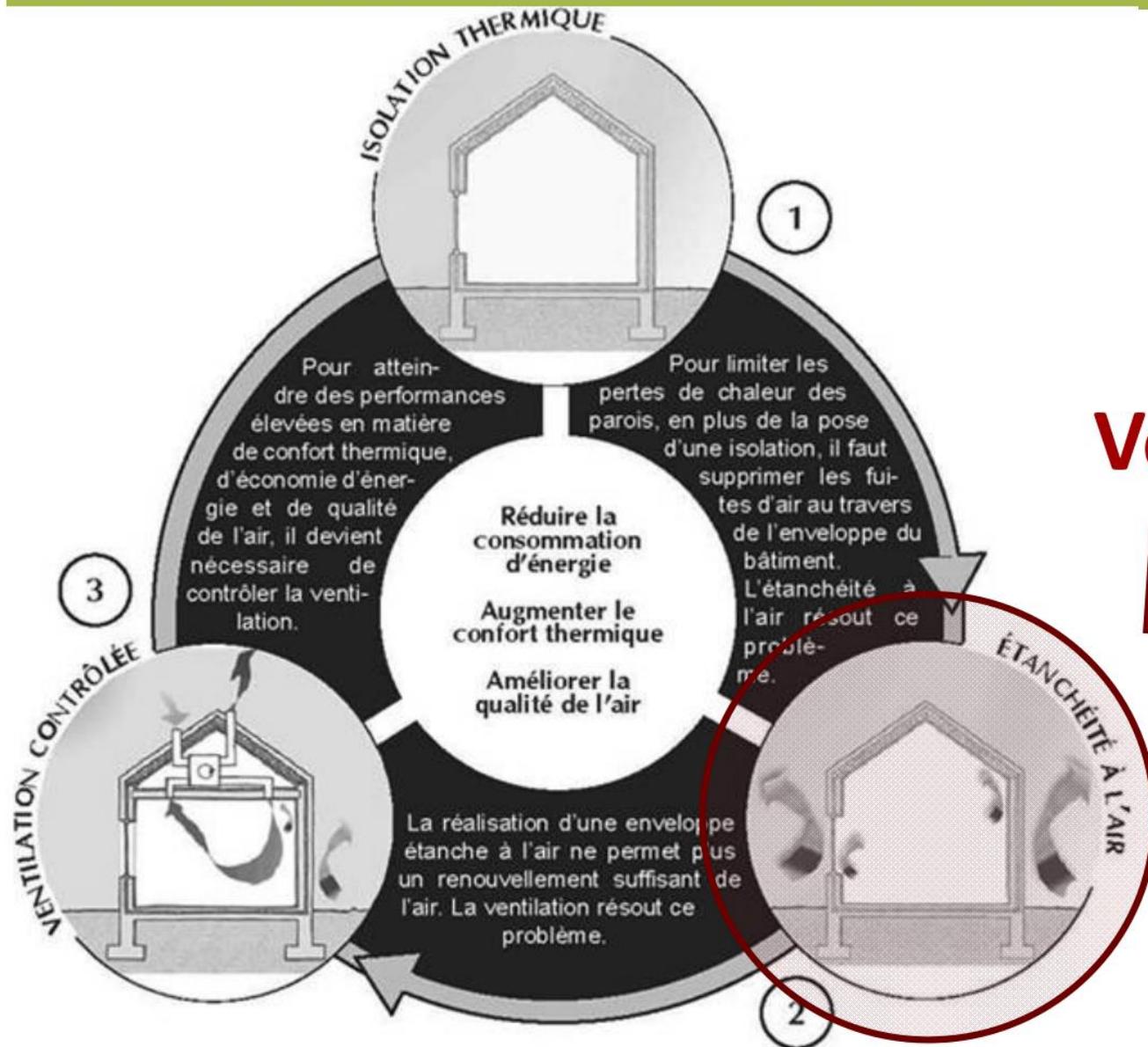


Étanchéité à l'air

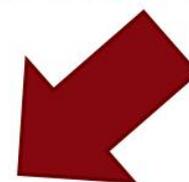
Le bâtiment perd de la chaleur (énergie) à travers les parois de deux manières :

1. La chaleur traverse la paroi par transmission thermique
 2. La chaleur traverse la paroi transportée par l'air mal retenu
- utilité de l'isolant si l'air froid peut le traverser ou le contourner ?

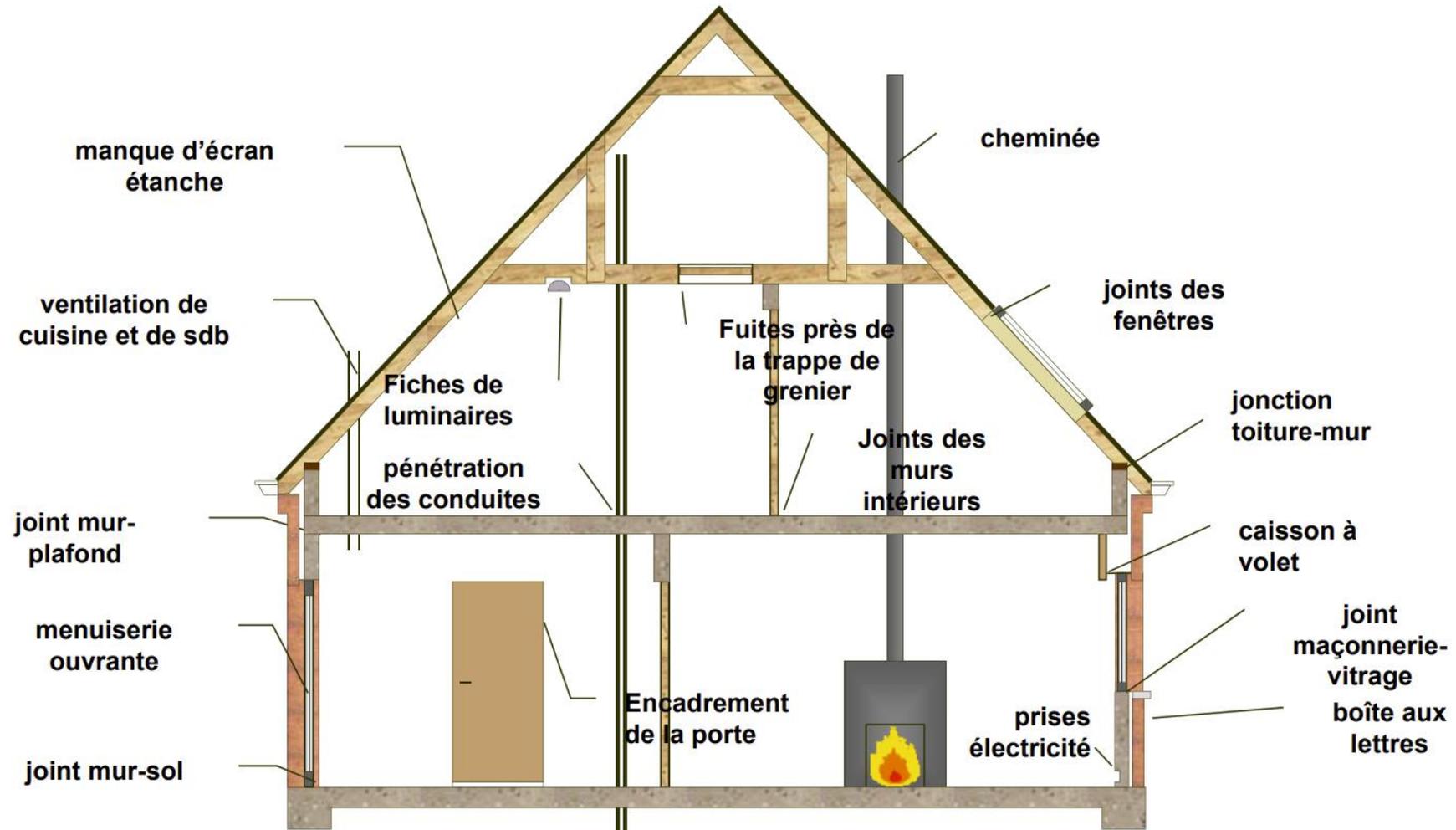




Vous êtes ici !

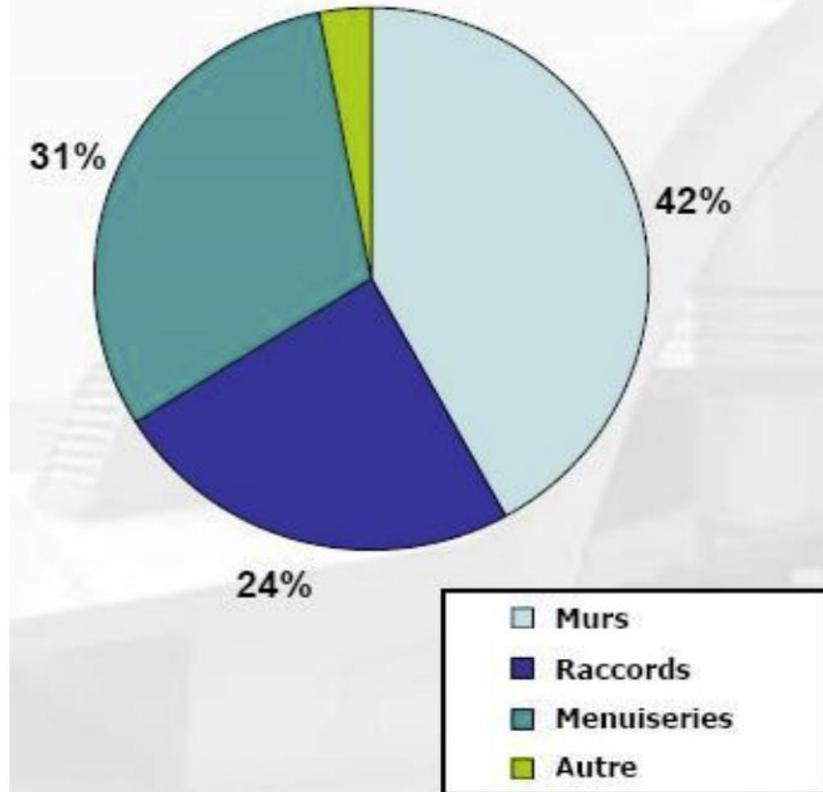


► Les points faibles de l'enveloppe

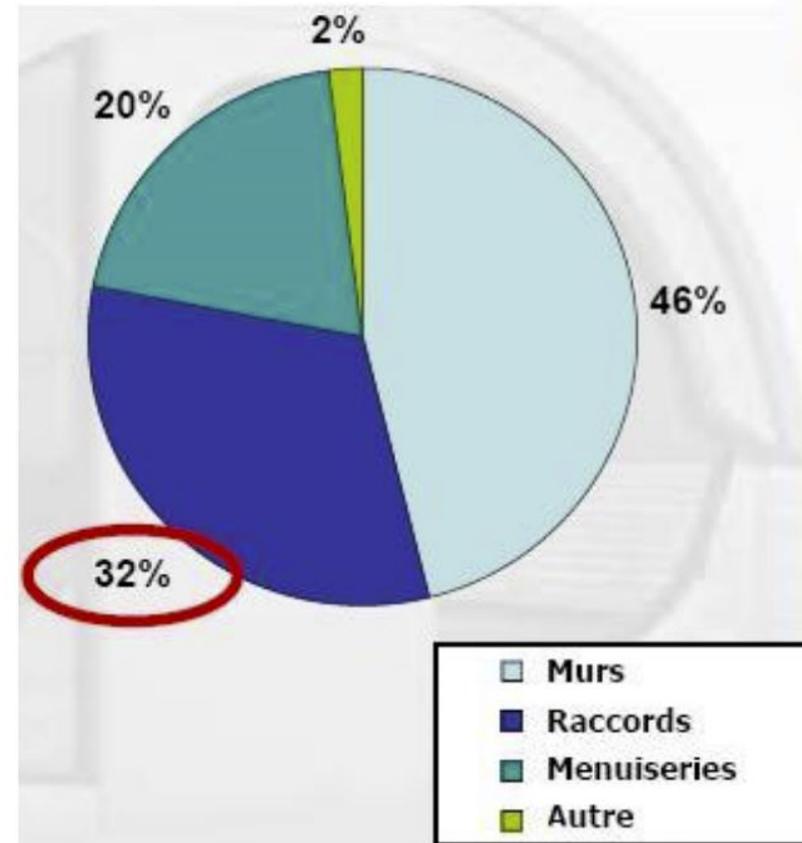


Étanchéité à l'air

Construction 'traditionnelle'
(double mur)



Construction à ossature bois



- ▶ Impacts de la construction non étanche
 - Courants d'air froid en hiver (risque de surchauffe en été), involontaires et incontrôlables
 - ↘ efficacité de l'isolation thermique
 - ↘ qualité de l'isolation acoustique
 - Risque de condensation à cause de l'air chaud et humide sortant par les fuites
 - Bruits (fuites acoustiques)
 - Inefficacité du système de ventilation
 - Parfois, limitation de l'évacuation des polluants (radon, poussières, odeurs ...)
 - Sécurité au feu



Étanchéité à l'air

- ▶ Infiltrations et fuites d'air au travers des parois
- ▶ → La qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe dépend :
 - de la nature et de la qualité des revêtements intérieurs
 - → continuité des enduits de plafonnage ...
 - de la qualité de la mise en œuvre des pare-air / pare-vapeur
 - → leur continuité doit être assurée par recouvrement des lés, ou au moyen de colle ou de rubans adhésifs



▶ Matériaux

- recommandés
 - Films souples : PE – PVC – Polyamide
 - Papier avec ou sans armatures
 - Panneaux bois (ex : OSB)
- déconseillés
 - Matériaux d'isolation souples
 - Panneaux agglomérés sans pare-vapeur
 - Maçonneries apparentes non plafonnées
- moins appropriés
 - Plaques de carton-plâtre
 - Isolants rigides



Étanchéité à l'air

▶ Planchers en béton

- Étanchéité intrinsèque très bonne, mais attention aux percements (réseaux électriques, sanitaires ... → à colmater)

▶ Murs maçonnés

- Non étanches
 - porosité des blocs
 - joints partiellement vides
 - Raccords
- → Enduits et/ou peinture étanche(s)

▶ Murs, planchers et toitures inclinées à ossature bois

- Nombreux raccords à surveiller

▶ Raccord béton - OSB



▶ Joints, mastics et fermetures

- Bandes adhésives (butyl, acrylique, simple face, double face ...)
- Agrafes
- Mastics (acryliques / élastiques)
- Profilés souples (EPDM ...)
- Compriband
- Pâte liège / caoutchouc
- ...

▶ → à surveiller

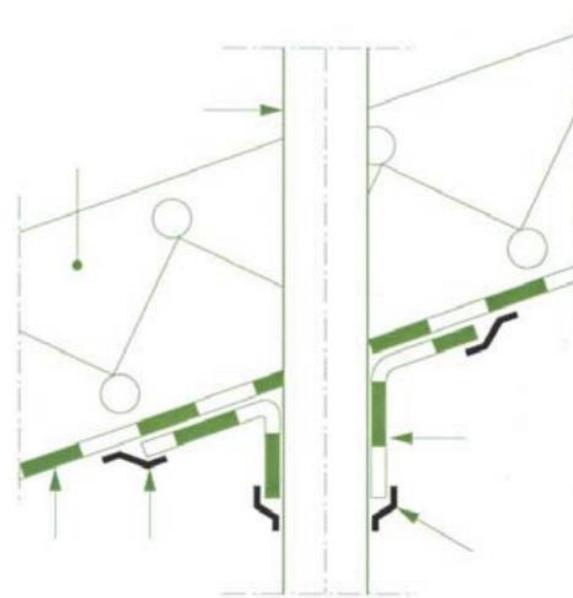
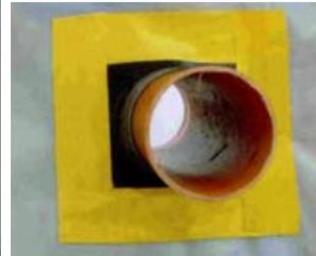
- Mise en œuvre adéquate
- Sécheresse
- Durée dans le temps
- Limite d'élasticité



Étanchéité à l'air

Constructions légères

- ▶ écran à l'air : tuyauteries, perforations



figures CSTC



Étanchéité à l'air

- ▶ La qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe dépend donc aussi :
 - de la qualité des menuiseries et des jonctions entre celles-ci et les maçonneries
 - → combinaison d'une membrane étanche, d'un retour d'isolation et de la finition, et d'un joint complémentaire de silicone



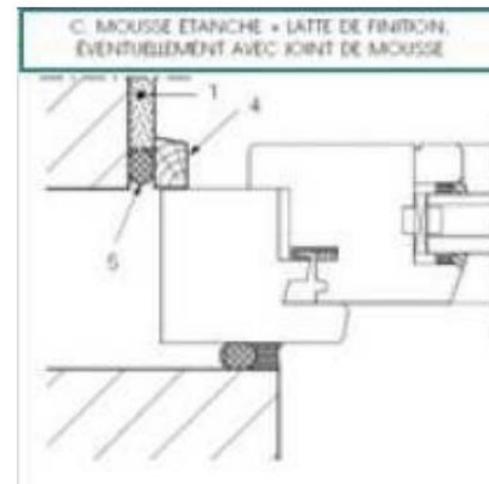
Étanchéité à l'air

▶ Menuiseries

- Qualité ↔ Étanchéité
- Points de vigilance
 - Jonction avec les murs
 - Partie inférieure des portes
 - Ouvertures (boîtes aux lettres)
 - Coffres à volets ...

▶ Partie inférieure des portes

- Étanchéité difficile
- /!\ Fonction première de porte (accès simple)



Étanchéité à l'air : test de pressurisation

- ▶ Comment mesurer l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ?
 - Par un essai dit de "pressurisation" (test « Blowerdoor »)
 - Cet essai consiste à placer, dans une porte ou une baie de fenêtre, un ou plusieurs ventilateurs qui mettent l'habitation en dépression ou en surpression, toutes les fenêtres et les portes étant fermées.





Merci pour votre attention

