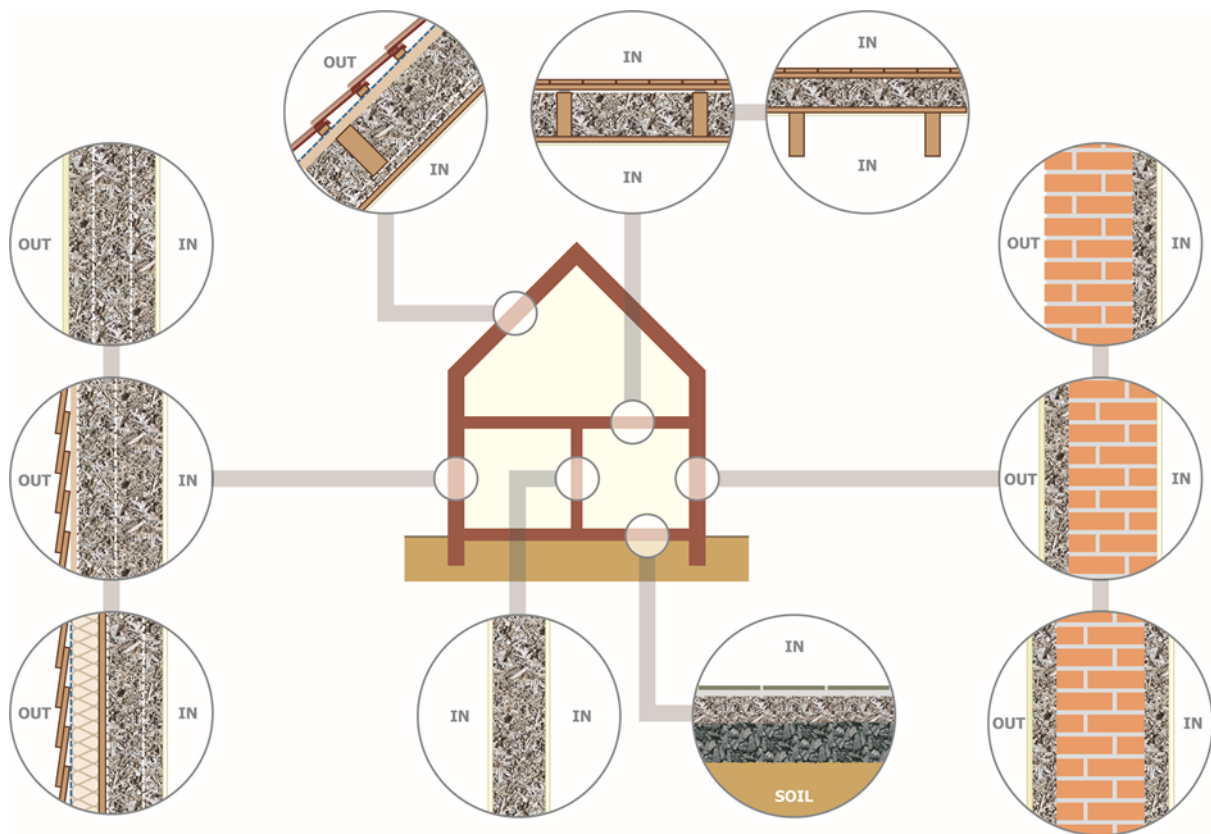


Polycopie

THERMIQUE DU BÂTIMENT



LECHEHEB. M

Objectif de la matière

Ce cours vise à fournir aux étudiants en Master Génie Civil une compréhension approfondie des principes de la thermique du bâtiment, avec un accent particulier sur les matériaux et systèmes d'isolation thermique. Il permet d'acquérir les compétences nécessaires pour concevoir et optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments.

Contenu de la matière :**Introduction :****Chapitre 1 :** Généralités et définitions**Chapitre 2 :** Humidité dans les Bâtiments**Chapitre 3 :** Thermique de la paroi**Chapitre 4 :** Isolation thermique**Mode d'évaluation:**

Examen: 100%.

Références bibliographiques:

1. A. COIN : *Ossature de bâtiments – EYROLLES.*
2. FISCHETTI A. : *Initiation à l'acoustique, Paris, Belin, 2001, 288p + CD rom*
3. VAL M. : *Acoustique appliquée, Paris, Dunod, 2002, 350p*
4. CHAGUÈ M. : *L'acoustique de l'habitat, Paris, Le Moniteur, 2001, 242 p.*
5. BARET Yves. *Traiter l'humidité (dans la maison ancienne). Eyrolles, 2007. 79p.*
6. "Energie+, version 8, Architecture et Climat, Université catholique de Louvain (Belgique) 2013, réalisé avec le soutien de la Wallonie - DGO4 - Département de l'Énergie et du Bâtiment Durable. Disponible sur : <http://www.energieplus-lesite.be> "
7. Yves JANNOT. *AIR HUMIDE.; septembre 2005*
8. SOCOTEC, CSTB. *Performance énergétique : les matériaux et procédés d'isolation. CSTB, 2013. 458p. ISBN-13: 978-2868915719*
9. Thierry Gallauziaux, David Fedullo. *Le grand livre de l'isolation.2009. Livre de Thierry Gallauziaux*

Introduction Générale

L'efficacité énergétique des bâtiments est aujourd'hui un enjeu majeur dans le domaine du génie civil. Face aux défis environnementaux, à la hausse des coûts de l'énergie et aux réglementations de plus en plus strictes, la maîtrise des phénomènes thermiques est essentielle pour concevoir des constructions performantes et durables.

La thermique du bâtiment est la discipline qui étudie les échanges de chaleur au sein d'un bâtiment et leur impact sur le confort des occupants ainsi que sur la consommation énergétique. Elle s'appuie sur trois modes de transfert thermique – la conduction, la convection et le rayonnement – pour analyser les pertes et gains thermiques, et proposer des solutions optimales en matière d'isolation et de gestion énergétique.

L'isolation thermique joue un rôle central dans la performance énergétique des bâtiments. Le choix des matériaux et des systèmes d'isolation permet de réduire les déperditions de chaleur, d'améliorer le confort intérieur et de diminuer les besoins en chauffage et en climatisation. Ainsi, la conception et l'optimisation des systèmes d'isolation doivent prendre en compte divers paramètres tels que la conductivité thermique des matériaux, l'étanchéité à l'air, l'orientation du bâtiment et les conditions climatiques.

Ce cours vise à fournir aux étudiants en génie civil les connaissances fondamentales en thermique du bâtiment, en mettant un accent particulier sur les matériaux et techniques d'isolation thermique. Il leur permettra d'acquérir les compétences nécessaires pour concevoir des bâtiments à haute performance énergétique, tout en respectant les réglementations et en intégrant des solutions durables adaptées aux exigences actuelles du secteur de la construction.

Chapitre 01 :

Introduction à la Thermique du Bâtiment

1.1. Généralités :

La thermique du bâtiment est la discipline qui étudie les échanges de chaleur entre un bâtiment et son environnement ainsi qu'au sein même de ses différentes parties. Elle vise à comprendre et à maîtriser les phénomènes de transfert thermique afin d'optimiser le confort des occupants et l'efficacité énergétique des constructions.

La thermique du bâtiment est essentielle pour plusieurs raisons, notamment en termes de performance énergétique, de confort des occupants, d'impact environnemental et de conformité réglementaire.

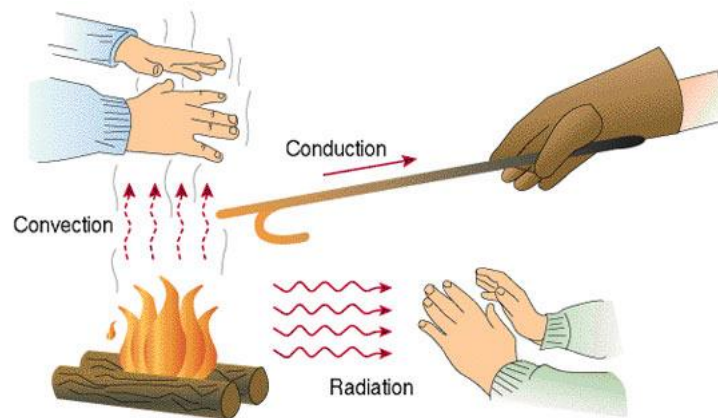
Un bâtiment mal isolé ou mal conçu thermiquement peut entraîner des pertes de chaleur en hiver et une surchauffe en été, nécessitant une forte consommation énergétique pour le chauffage et la climatisation. La thermique du bâtiment permet de :

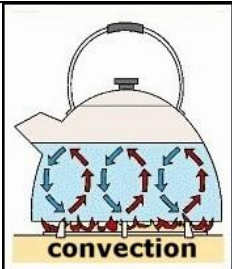
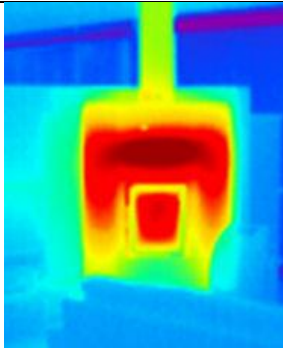
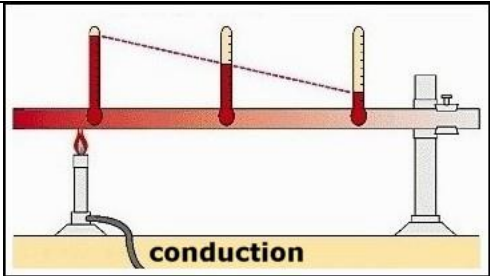
- ⇒ Réduire la consommation d'énergie en limitant les pertes thermiques à travers les parois, les vitrages et les ponts thermiques.
- ⇒ Diminuer la dépendance aux systèmes de chauffage et de climatisation, réduisant ainsi la facture énergétique des occupants.
- ⇒ Optimiser le rendement des équipements énergétiques, en adaptant leur utilisation en fonction des besoins réels et des conditions climatiques.

L'amélioration de la performance thermique d'un bâtiment peut réduire la consommation énergétique de 30 à 50 %, selon les stratégies adoptées (isolation renforcée, systèmes passifs, énergies renouvelables).

Les modes de transfert de chaleur

Il existe 3 modes de transfert thermique :



	Convection	Rayonnement	Conduction
Principe	Déplacement de matière et donc de chaleur suivant le principe d'Archimède	Transport d'énergie par le biais du champ électromagnétique	Vibrations ou chocs dans la matière (molécules et électrons) se propageant de proche en proche des milieux chauds vers les milieux froids
<i>Vide</i>	Non	Oui	Non
<i>Solide</i>	Non	Oui, si transparent	Oui
<i>Fluide</i>	Oui	Oui, si transparent	Oui
			

1.2. Définitions

• La Conduction

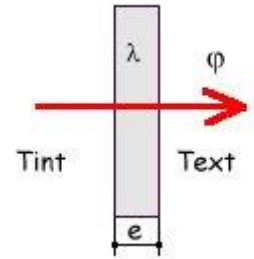
C'est la transmission d'énergie de proche en proche dans la partie solide d'un matériau. La chaleur se propage avec plus ou moins de facilité suivant la nature, les caractéristiques (résistances thermiques...)

Les trois facteurs qui interviennent sur le flux de chaleur traversant 1 m² de paroi sont :

- l'écart de température de part et d'autre de la paroi $\Delta T = T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$

- l'épaisseur e de la paroi.

- la conductivité thermique λ (en $\text{W/m}^\circ\text{C}$) du matériau (plus le matériau est isolant plus λ est petit).



La densité de flux thermique (ou flux thermique surfacique) c'est le flux thermique par unité de surface. La densité de flux thermique s'exprime en watt par mètre carré (W.m^{-2}).

$$\varphi = \Delta T \cdot \frac{\lambda}{e} = \frac{\Delta T}{R} \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

Si la densité de flux est uniforme sur la surface considérée :

$$\varphi = \frac{\Phi}{S} \text{ (W)}$$

• La Convection

Ce mécanisme de transfert de chaleur est propre aux fluides (gaz ou liquide). Au contact d'un élément chaud le fluide, de l'air par exemple, se met en mouvement et se déplace vers l'élément froid au contact duquel il perd sa chaleur créant ainsi un mouvement vertical qui accélère les échanges thermiques entre les 2 éléments.

Expression du flux de chaleur en convection (Loi de Newton) :

Pour un écoulement à une température T_∞ autour d'une structure à une température uniforme T_s de surface S , l'expression du flux de chaleur en convection est la suivante :

$$\Phi = h \cdot S (T_s - T_\infty)$$

Où h est le coefficient d'échange thermique

• Le Rayonnement

C'est le transfert de chaleur d'un élément à un autre par onde électromagnétique sans contact direct. Ce type de transfert ne nécessite pas de support matériel il peut se produire même dans le vide.

La loi de Stefan-Boltzmann (ou loi de Stefan) permet de quantifier ces échanges. La puissance rayonnée par un corps est donnée par la relation :

$$P = \epsilon S \sigma T^4$$

Avec

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$) ;

ϵ : émissivité, indice valant 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau ;

S : superficie du corps ;

T : température du corps (en kelvin).

Si le corps récepteur réfléchit certaines longueurs d'ondes ou est transparent à d'autres, seules les longueurs d'onde absorbées contribuent à son équilibre thermique. Si par contre le corps récepteur est un corps noir, c'est-à-dire qu'il absorbe tous les rayonnements électromagnétiques, alors tous les rayonnements contribuent à son équilibre thermique.

Isolation thermique : terme générique utilisé pour décrire le processus de réduction du transfert de chaleur au travers d'un système, ou pour décrire le composant ou système qui est performant pour cette fonction.

L'isolation thermique peut être réalisée à l'aide d'un **matériau**, d'un **produit** ou d'un **système isolant**.

Matériau isolant thermique : substance ou mélange de substances dont les propriétés d'isolation résultent de sa nature chimique et/ou de sa structure physique.

Produit isolant thermique : matériau d'isolation thermique prêt à l'emploi y compris parements ou enduits.

Système d'isolation thermique : association de deux ou plusieurs composants dont l'un au moins est un produit ou un matériau isolant. La performance du système est la performance de l'ensemble.

Isolant thermique : matériau, produit ou système qui réduit par sa présence le transfert de chaleur à travers la paroi sur, ou dans, laquelle il est placé. Il est caractérisé par sa **résistance thermique** (exprimée en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)

La chaleur spécifique:

La relation fondamentale

$$\Delta Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Exprime que, si un corps de masse m stocke ΔQ joules, sa température s'élèvera de ΔT .

c_p , la chaleur spécifique (en $J/(kg \cdot K)$) est une propriété physique des matériaux et elle dépend généralement de la température. Elle caractérise sa capacité à emmagasiner de la chaleur. La chaleur spécifique d'une substance est fonction de sa structure moléculaire et de sa phase.

La conductivité thermique :

Matériau	λ en $W.m^{-1}.K^{-1}$
Polyuréthane	0,025
air	0,026
Polystyrène expansé	0,04
Laine de coco	0,05
Liège expansé	0,05
Panneaux de fibre de bois	0,05

Est la quantité d'énergie traversant 1 m² de matériau d'un mètre d'épaisseur, et pour une différence de 1 degré de température.

Elle s'exprime en w/(m.k).

Elle représente l'aptitude du matériau à se laisser traverser par la chaleur. C'est une caractéristique constante intrinsèque aux matériaux homogènes.

Laine de roche	0,038 à 0,047
Laine de verre	0,034 à 0,056
Bois de sapin	0,13
Béton cellulaire	0,16 à 0,24
Placoplatre	0,46
Verre	1,2
acier	46 à 52
Cuivre	386

Résistance thermique

La résistance thermique d'un matériau caractérise sa capacité à ralentir le transfert de chaleur réalisé par conduction. Elle s'exprime m².k/w.

Elle est calculée avec la formule suivante : $R = \frac{e}{\lambda}$

Où :

e est l'épaisseur en mètres

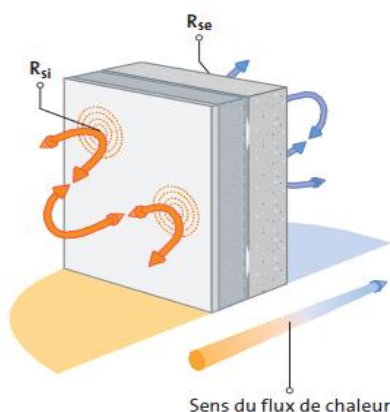
Lambda est la conductivité thermique en W.K⁻¹.m⁻¹

R est la résistance thermique en K.m².W⁻¹

Epaisseur équivalente pour obtenir avec différent matériaux une résistance thermique de R= 2,5 m².K/W

	5,5 cm - Polyuréthane - $\lambda = 0,022 \text{ W/(m.K)}$
	8 cm - Polystyrène expansé - $\lambda = 0,032 \text{ W/(m.K)}$
	8 cm - Laine minérale - $\lambda = 0,032 \text{ W/(m.K)}$
	12,5 cm - Isolants à base de fibres naturelles - $\lambda = 0,05 \text{ W/(m.K)}$
	30 cm - Béton cellulaire - $\lambda = 0,12 \text{ W/(m.K)}$
	55 cm - Bois - $\lambda = 0,22 \text{ W/(m.K)}$
	437 cm - Béton - $\lambda = 1,75 \text{ W/(m.K)}$
	450 cm - Granit - $\lambda = 3,5 \text{ W/(m.K)}$

La résistance superficielle d'une paroi : R_{se} et R_{si}



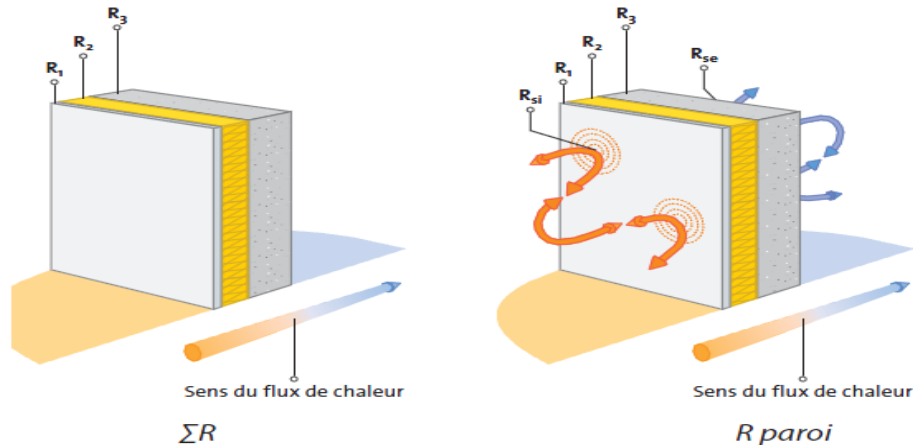
thermiques qui se réalise à la surface des parois par convection et rayonnement. Elle dépend du sens du flux de chaleur et de l'orientation de la paroi ; R_{si} pour les échanges sur la surface de paroi interne et R_{se} pour les échanges sur la surface de paroi externe. Elle s'exprime en m².k/w.

La résistance superficielle d'une paroi caractérise la part des échanges

Parois opaques	R_{si}	R_{se}	ΣR_s
Paroi verticale	0,13	0,04	0,17
Paroi horizontale (flux ascendant)	0,10	0,04	0,14
Paroi horizontale (flux descendant)	0,17	0,04	0,21

Parois vitrées	R_{si}	R_{se}	ΣR_s
Paroi verticale (flux horizontal)	0,13	0,04	0,17
Paroi horizontale (flux ascendant)	0,10	0,04	0,14

La résistance thermique d'une paroi homogène : R_{paroi}



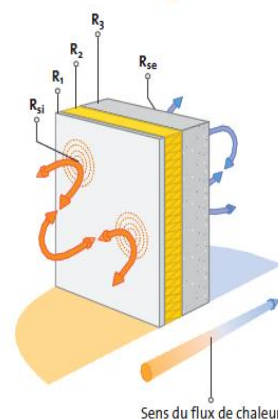
La résistance thermique totale d'une paroi homogène caractérise la somme des transferts de chaleur réalisés par la conduction au sein des matériaux et des échanges thermiques superficiels réalisés par convection et rayonnement.

Elle se calcule en additionnant les résistances thermiques des différents constituants de la paroi et les résistances superficielles correspondantes et s'exprime en $m^2.k/w$.

$$R_{paroi} = \sum R + R_{Si} + R_{Se}$$

La déperdition thermique d'une paroi en partie courante : U_c

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi homogène U_c traduit la quantité de chaleur s'échappant au travers d'une paroi homogène de $1m^2$ pour un différentiel de 1 degré. Il s'obtient par le calcul, c'est l'inverse de la résistance thermique totale d'une paroi homogène et s'exprime en $w/(m^2.k)$.



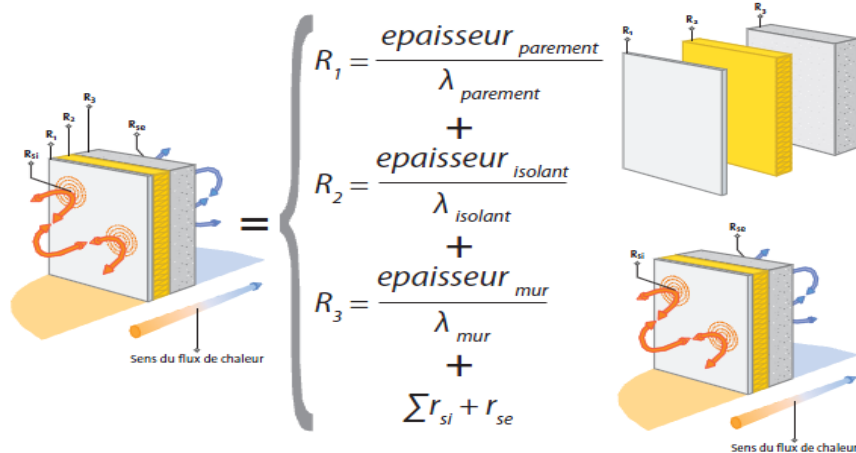
Il sert à caractériser les déperditions thermiques d'une paroi homogène composée d'un matériau simple ou de plusieurs matériaux.

$$U_c = \frac{1}{\sum R + R_{si} + R_{se}}$$

Avec :

R : les résistances thermiques des éléments de la paroi homogènes en $\text{m}^2 \cdot \text{k}/\text{w}$

R_{si} et R_{se} : les résistances thermiques superficielles de la paroi en $\text{m}^2 \cdot \text{k}/\text{w}$



La déperdition thermique dans une paroi : U_p

Le coefficient de transmission U_p traduit la quantité de chaleur s'échappant au travers d'une paroi, incluant des ponts thermiques intégrés, de 1m^2 pour un différentiel de 1 degré. Il s'exprime en $\text{w}/(\text{m}^2 \cdot \text{k})$.

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi U_p se calcule en additionnant le coefficient de transmission thermique de la paroi homogène U_c et les fuites thermiques dues aux ponts thermiques intégrés (ponctuels χ ou linéique ψ) rapportés à l'aire de la paroi.

Les ponts thermiques :

Les ponts thermiques sont des points de jonction où l'isolation n'est pas continue et qui provoquent des pertes de chaleur. Bête noire du poseur de l'isolant, les ponts thermiques pèsent d'autant plus dans le pourcentage de déperditions de la maison que celle-ci est bien isolée.

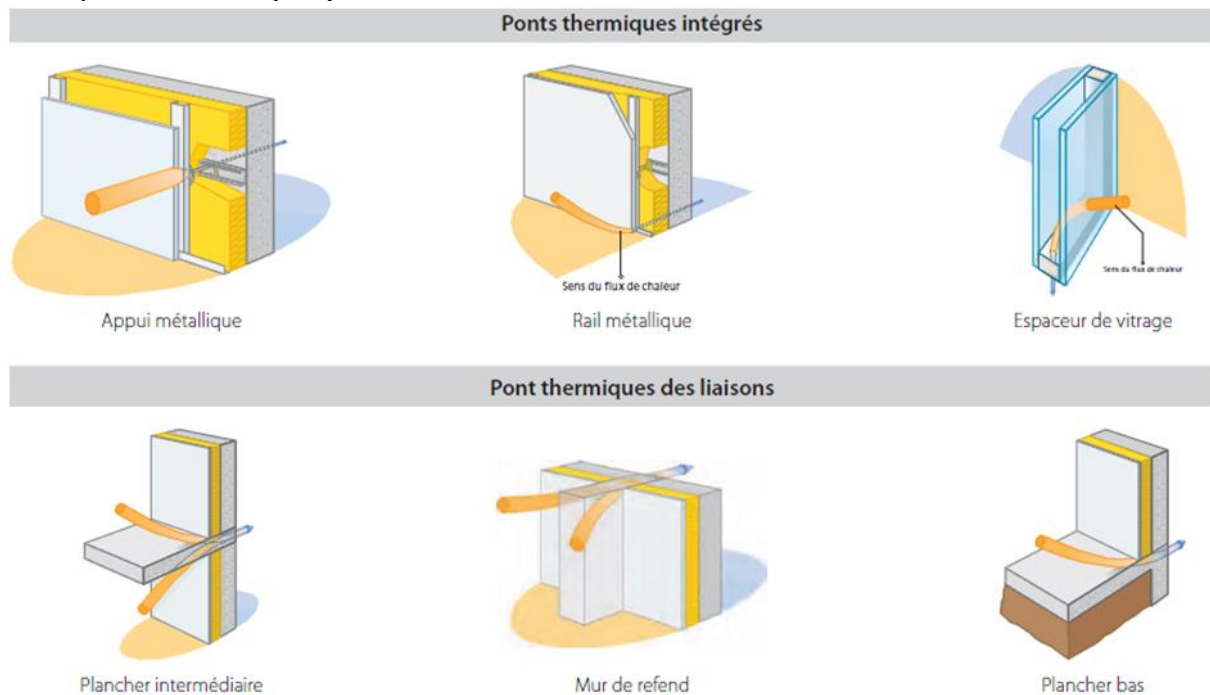
Les ponts thermiques intégrés rassemblent les ponts thermiques créés dans la paroi par des éléments tels que les ossatures métalliques, appuis et autres accessoires.

Ils ne doivent pas être confondus avec les ponts thermiques des liaisons qui caractérisent eux les interfaces de parois.

Les ponts thermiques peuvent être :

- Ponctuels (noté χ) (exemple : appui métallique dans un doublage sur ossature) ;
- Linéique (noté ψ) (exemple : fourrure métallique dans un doublage sur ossature).

•
Il s'expriment en $W/(m.k)$.



Conclusion

La thermique du bâtiment joue un rôle crucial dans l'optimisation de la performance énergétique des constructions, assurant à la fois le confort des occupants et la réduction de l'impact environnemental. Les trois modes principaux de transfert thermique — conduction, convection et rayonnement — sont au cœur de la compréhension des échanges de chaleur au sein des bâtiments. Une gestion efficace de ces phénomènes, en particulier par l'isolation thermique et l'utilisation de matériaux adaptés, permet de limiter les déperditions de chaleur et d'améliorer l'efficacité énergétique.

Les propriétés thermiques des matériaux, comme leur conductivité thermique et leur résistance thermique, influencent directement la performance des parois. Une bonne isolation thermique, couplée à la prise en compte des ponts thermiques, permet de réduire les besoins en chauffage et en climatisation, entraînant des économies d'énergie significatives.

Ainsi, l'amélioration de la thermique des bâtiments ne se limite pas uniquement à des considérations techniques, mais participe activement à la création de bâtiments plus durables et plus économes en énergie, en conformité avec les exigences réglementaires et environnementales actuelles.

Chapitre 02 :

Humidité dans les Bâtiments

2.1. Introduction :

L'humidité est un facteur déterminant dans la performance et la durabilité des bâtiments. Elle influence non seulement le confort thermique des occupants, mais aussi l'efficacité énergétique et la pérennité des structures. Une mauvaise gestion de l'humidité peut entraîner des dégradations des matériaux, des pertes thermiques accrues et des problèmes de santé liés à la prolifération de moisissures et de bactéries.

Dans un bâtiment, l'humidité provient de plusieurs sources : infiltration d'eau de pluie, remontées capillaires, condensation due aux écarts de température ou encore production interne (respiration, cuisson, lessive, etc.). Lorsque cette humidité n'est pas correctement évacuée ou contrôlée, elle peut s'accumuler dans les parois, altérant les propriétés des matériaux isolants et réduisant la résistance thermique des enveloppes du bâtiment.

Il est donc essentiel de comprendre les mécanismes de transfert de l'humidité dans les matériaux de construction, les phénomènes de condensation (de surface et interstitielle) ainsi que les solutions techniques permettant de limiter ces effets indésirables. L'intégration de pare-vapeur, de systèmes de ventilation adaptés et le choix de matériaux résistants à l'humidité sont des stratégies essentielles pour garantir la durabilité des bâtiments et optimiser leur performance énergétique.

Ce chapitre explorera les différentes manifestations de l'humidité dans le bâtiment, ses impacts sur les performances thermiques et structurelles, ainsi que les solutions permettant d'assurer un contrôle efficace de l'hygrométrie pour un environnement intérieur sain et durable.

2.2. Définitions :

L'air humide

L'air humide est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau et l'humidité est la masse d'eau contenue dans une masse d'air ou de gaz.

Cette définition n'est pas accessible à la plupart des appareils de mesure et il a fallu faire appel à d'autres notions telles que la température humide, l'humidité relative ou le point de rosée.

Soit un volume d'air humide, à une température T et une pression P_t . La masse M d'air humide contenue dans ce volume est la somme d'une masse M_a d'air sec et M_v de vapeur d'eau.

$$M_t = M_a + M_v$$

La pression totale P_t est la somme des pressions partielles P_a de l'air et P_v de la vapeur d'eau.

$$P_t = P_a + P_v$$

La vapeur d'eau est un gaz et il faut savoir qu'une goutte d'eau transformée en vapeur occupe à 100 °C un volume 1700 fois plus grand qu'à l'état liquide.

Humidité absolue W

L'humidité absolue W est le rapport de la masse de vapeur d'eau M_v à la masse d'air sec M_a présente dans un même volume :

$$W = M_v / M_a \quad [\text{kg} / \text{kg air sec}]$$

Ce rapport est difficile à mesurer car il faut utiliser un système de dessiccation pour séparer l'air sec de la vapeur. En pratique, on ne mesure jamais l'humidité absolue directement.

Les appareils de mesure donnent en général l'humidité relative ou le point de rosée.

Humidité relative HR

Pour l'air humide non saturé, la capacité d'adsorption de vapeur d'eau dépend du rapport entre la masse M_v de vapeur d'eau contenue dans un volume V et la masse M_{vs} qu'il y aurait à l'état saturé.

L'humidité relative (ou degré hygrométrique) est le rapport entre la pression partielle de vapeur d'eau P_v et la pression de vapeur saturante P_{vs} pour une température et un volume d'air donné :

$$HR = \frac{M_v}{M_{vs}} = \frac{P_v}{P_{vs}} = \frac{W}{W_s}$$

La pression de vapeur d'eau saturante P_{vs} désigne la valeur maximum que peut atteindre la pression partielle P_v de la vapeur, en état d'équilibre avec l'eau liquide à une température T ; au-delà, il y a condensation.

L'humidité relative s'emploie le plus souvent à la pression atmosphérique, mais il faut préciser la température. En effet, la quantité d'eau maximale accessible et P_{vs} augmentent avec la température donc HR augmente quand T diminue et inversement alors que l'humidité absolue reste constante.

Température de rosée

La température de rosée, appelée aussi point de rosée, est la température à laquelle il faut refroidir l'air humide pour atteindre la saturation et donc obtenir un début de condensation (d'où le nom de rosée). Lorsque cette température de rosée T_r est atteinte, la pression partielle de la vapeur est égale à la pression de saturation ($P_v = P_{vs}$), et on a un taux d'humidité relative de 100 %.

2.3. Sources et Mécanismes de l'Humidité

L'humidité peut provenir de plusieurs sources et se manifester sous différentes formes dans un bâtiment. Ces formes d'humidité sont influencées par des facteurs internes (activités humaines) et externes (conditions climatiques et environnementales).

2.3.1. Infiltration d'eau par les murs et la toiture

L'infiltration d'eau peut être causée par des défauts de conception, des matériaux dégradés, ou un entretien insuffisant des composants extérieurs. Les infiltrations d'eau se produisent principalement à travers :

Les fissures dans les murs et fondations : En raison des mouvements de terrain, des conditions climatiques ou de la dégradation des matériaux de construction, les murs et les fondations peuvent se fissurer, permettant à l'eau de s'infiltrer dans le bâtiment.

Les défauts d'étanchéité dans la toiture : Les toitures mal conçues ou mal entretenues peuvent laisser passer l'eau de pluie. Cela entraîne des problèmes d'humidité au niveau des plafonds, des murs et des planchers.

La gestion de l'humidité par infiltration nécessite des techniques de diagnostic approfondies, telles que l'utilisation de détecteurs d'humidité et des tests d'infiltration.

2.3.2. Les remontées capillaires

Les remontées capillaires sont des mouvements d'eau dans les matériaux poreux sous l'effet de la tension de surface. Dans les bâtiments anciens, la remontée capillaire est particulièrement fréquente dans les murs de fondation qui ne sont pas équipés de barrières d'étanchéité.

Ce phénomène peut avoir des conséquences sévères si les matériaux de construction, comme la brique, la pierre ou le béton, absorbent l'humidité du sol, car cela peut entraîner une dégradation progressive des matériaux et favoriser la prolifération des moisissures.

2.3.3. La condensation

La condensation est l'un des types d'humidité les plus courants dans les bâtiments modernes, en particulier lorsqu'il y a des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. La condensation se produit lorsqu'un air humide entre en contact avec une surface plus froide que la température du point de rosée, ce qui entraîne la formation de gouttelettes d'eau.

Les surfaces froides où la condensation est fréquente comprennent :

Les fenêtres mal isolées : En hiver, les fenêtres non performantes laissent entrer l'air froid, ce qui peut provoquer la condensation sur la vitre et dans les encadrements.

Les murs extérieurs : Si les murs sont mal isolés, l'air chaud intérieur entre en contact avec ces surfaces froides, ce qui peut engendrer de la condensation et des moisissures.

2.3.4. Sources internes d'humidité

Les activités humaines génèrent également une grande quantité d'humidité dans un bâtiment. Chaque occupant d'un bâtiment peut produire entre 2 et 5 litres de vapeur d'eau par jour, par exemple lors de :

La respiration et la transpiration : Les occupants d'un bâtiment génèrent de la vapeur d'eau par leur respiration et leur transpiration.

Les cuisines et salles de bains : La cuisson des aliments, l'utilisation des douches et des bains génère une vapeur d'eau qui, si elle n'est pas évacuée correctement, peut se condenser et favoriser le développement de moisissures.

Le séchage du linge : Le séchage des vêtements à l'intérieur, notamment dans des espaces non ventilés, génère une quantité importante d'humidité.

2.4. Phénomènes de Condensation

La condensation est le nom donné au phénomène physique de changement d'état de la matière qui passe d'un état dilué (gaz) à un état condensé (solide ou liquide). On peut expérimenter ce changement d'état en passant lors d'une douche où, au contact du miroir froid, l'humidité de l'air se transforme en gouttelettes.

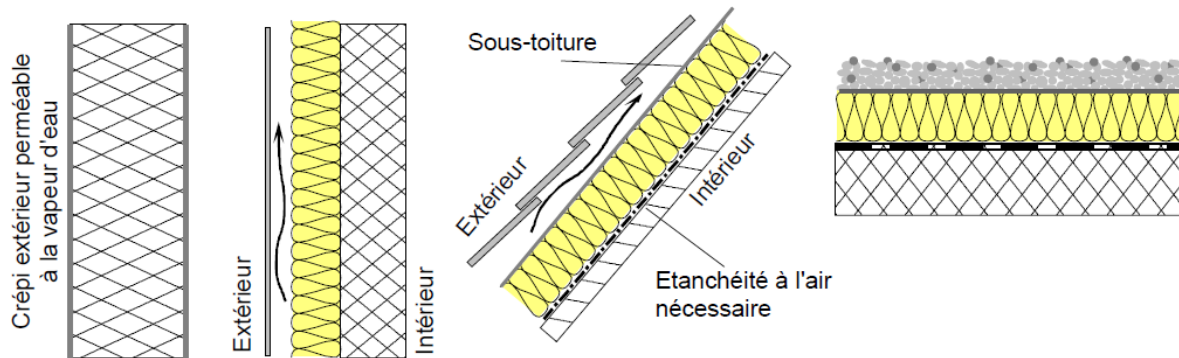
La plupart des matériaux de construction, et notamment le bois, sont perméables à la vapeur d'eau. D'autre part, la présence de sources de vapeur d'eau à l'intérieur a pour résultat qu'en général, la pression de vapeur d'eau (ou l'humidité absolue) est plus grande à l'intérieur qu'à l'extérieur. La vapeur d'eau tend donc à sortir du bâtiment pour rétablir l'équilibre. Les passages possibles sont

- La convection au travers des fissures ou autres ouvertures
- La diffusion au travers des matériaux poreux.

Pendant la saison froide, la vapeur allant vers l'extérieur se trouve dans un environnement de plus en plus froid et l'air environnant peut se trouver à une température égale ou inférieure à son point de rosée: la vapeur d'eau en excès condense soit en brouillard en suspension dans l'air, soit en gouttelettes sur les surfaces proches.

Cette eau de condensation peut entraîner des dégâts (taches, moisissures, gel). Il est donc important que la structure de l'enveloppe du bâtiment soit conçue de manière à éviter un excès d'eau de condensation.

Pour éviter le transport de vapeur d'eau par convection, il est essentiel que l'enveloppe soit étanche, et que la couche d'étanchéité se trouve dans une zone suffisamment chaude pour que la vapeur d'eau ne condense pas sur cette couche. Cette "barrière à air" est essentielle dans les constructions en bois, où le travail du bois peut facilement créer des fissures entre les éléments de construction.



Pour éviter que la diffusion de vapeur au travers des matériaux poreux entraîne une quantité d'eau condensée inacceptable, il on peut utiliser les trois méthodes suivantes, seules ou en combinaison:

1. Maintenir une température élevée dans tout l'élément de construction, donc poser l'isolation à l'extérieur.
2. Faciliter la diffusion de la vapeur d'eau à l'extérieur de la couche d'isolation thermique.
3. Limiter la diffusion de la vapeur d'eau à l'intérieur de la couche d'isolation thermique.

2.5. Effets de l'Humidité sur les Performances Thermiques des Matériaux

L'humidité affecte la capacité thermique des matériaux de construction. Un matériau saturé d'humidité peut perdre sa capacité d'isolation et devenir un pont thermique, favorisant ainsi la perte de chaleur.

2.5.1. Baisse de la résistance thermique

La présence d'humidité dans les matériaux de construction diminue leur résistance thermique. Par exemple, l'isolation en laine minérale ou en polystyrène perd une partie de son efficacité lorsqu'elle est saturée d'eau. De plus, la conductivité thermique augmente dans les matériaux humides, entraînant des pertes de chaleur considérables.

2.5.2. Détérioration des matériaux

Le bois : En présence d'humidité, le bois peut pourrir et devenir plus vulnérable aux attaques d'insectes et de champignons.

Le béton : L'humidité peut favoriser la corrosion des armatures métalliques à l'intérieur du béton, entraînant des fissures et une dégradation de la structure.

Les plâtres et enduits : Les surfaces en plâtre ou en enduit peuvent se décoller ou se fissurer sous l'effet de l'humidité.

2.6. Pathologies du Bâtiment Liées à l'Humidité

L'humidité peut provoquer une série de pathologies dans le bâtiment, allant des moisissures aux détériorations structurelles.

2.6.1. Moisissures et champignons

Les moisissures, qui se développent dans des environnements humides, peuvent avoir un impact direct sur la santé des occupants. Elles provoquent des allergies, des problèmes respiratoires, et peuvent, dans certains cas, causer des infections. En plus des risques pour la santé, elles détériorent les matériaux de construction.

2.6.2. Corrosion des éléments métalliques

Les structures métalliques sont particulièrement vulnérables à l'humidité. L'humidité favorise la formation de rouille, ce qui peut réduire la résistance des éléments en acier et entraîner leur déformation ou leur rupture.

2.6.3. Déterioration des revêtements et finitions

Les finitions intérieures, telles que les peintures, les papiers peints, et les revêtements de sol, peuvent se détériorer en présence d'humidité, entraînant une nécessité de rénovation fréquente.

2.7. Solutions pour Limiter les Transferts d'Humidité

Pour gérer l'humidité dans un bâtiment, plusieurs solutions techniques peuvent être mises en œuvre, allant de la prévention à la remédiation.

2.7.1. Isolation et Pare-Vapeur

L'installation de pare-vapeur et de membranes d'étanchéité peut empêcher l'humidité de pénétrer dans les matériaux. Les matériaux d'isolation doivent être choisis en fonction de leurs performances thermiques et de leur capacité à résister à l'humidité.

2.7.2. Ventilation et Déshumidification

La ventilation est une solution clé pour contrôler l'humidité intérieure. Des systèmes de ventilation mécanique contrôlée (VMC) permettent d'évacuer l'humidité excédentaire. L'utilisation de déshumidificateurs dans certaines zones spécifiques (sous-sols, cuisines) est également efficace.

2.7.3. Revêtements Étanches et Traitements des Murs

Des revêtements étanches, tels que des peintures anti-humidité, ou l'installation de barrières contre les remontées capillaires, permettent de protéger les murs et les fondations contre l'humidité.

2.7.4. Systèmes de Drainage

Les systèmes de drainage, notamment autour des fondations, peuvent prévenir l'infiltration d'humidité provenant du sol, réduisant ainsi les risques de remontées capillaires.

Conclusion

La gestion de l'humidité dans les bâtiments est essentielle non seulement pour la préservation des matériaux, mais aussi pour la santé et le confort des occupants. L'application de solutions préventives et curatives, telles que l'isolation appropriée, la ventilation, et le drainage, est cruciale pour garantir la durabilité des bâtiments et réduire les risques liés à l'humidité. En intégrant ces solutions dès la conception du bâtiment, les ingénieurs et architectes peuvent créer des espaces de vie plus sains, plus efficaces sur le plan énergétique et mieux protégés contre les pathologies liées à l'humidité.

Chapitre 03

THERMIQUE DE LA PAROI

Introduction

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'analyse thermique des parois, un élément essentiel pour comprendre la gestion de la chaleur dans un bâtiment. Les parois, qu'elles soient des murs, des planchers ou des toitures, jouent un rôle crucial dans la régulation thermique et la performance énergétique d'un bâtiment. La gestion efficace de la chaleur permet non seulement d'assurer un confort optimal aux occupants mais aussi de réduire la consommation énergétique et l'impact environnemental.

L'isolation thermique des parois repose sur plusieurs paramètres, dont la nature des matériaux utilisés, l'épaisseur de l'isolant, ainsi que l'état des différentes couches qui composent chaque paroi. Les propriétés thermiques des matériaux et leur résistance à la transmission thermique sont des critères déterminants pour évaluer l'efficacité énergétique d'un bâtiment. C'est pourquoi l'évaluation de l'isolation thermique des murs, des planchers et des toitures est indispensable dans toute démarche de conception ou de rénovation énergétique.

Ce chapitre aborde les principes fondamentaux de l'évaluation thermique des parois, en s'appuyant sur des valeurs de référence et des coefficients de transmission thermique spécifiques. Nous détaillerons également les méthodes de calcul pour déterminer les performances thermiques des parois existantes et les critères permettant de choisir les matériaux et techniques d'isolation les plus adaptés à chaque situation. De plus, l'impact de l'isolation thermique sur le confort et l'efficacité énergétique sera mis en évidence à travers des exemples pratiques et des recommandations pour améliorer l'isolation dans le cadre de projets de rénovation ou de construction.

3.1. Evaluer l'isolation thermique des murs

L'isolation du mur dépend de la nature, de l'épaisseur et de l'état des différentes couches le composant.

Comment évaluer la situation ?

⇒ Connaître les valeurs de référence

Une paroi est caractérisée par un coefficient de transmission thermique U . Plus ce coefficient est petit plus la paroi est isolante. La réglementation thermique wallonne impose, pour les parois neuves et assimilées délimitant le volume protégé, une valeur maximale du coefficient de transmission thermique. Ces valeurs peuvent être vues comme un « garde-fou ». D'autres labels volontaires recommandent d'ailleurs des performances thermiques plus élevées.

Ces valeurs à respecter au minimum dans un nouveau bâtiment peuvent néanmoins servir de base pour évaluer la qualité d'un bâtiment existant.

Cependant, une amélioration de l'isolation seule (sans réfection souhaitée de la paroi (finition,...)) n'est généralement pas rentable si :

- $U \leq 0.8$ W/m²K pour les murs extérieurs,
- $U \leq 0.9$ W/m²K pour les murs entre le volume protégé et un espace à l'abri du gel,
- $R \geq 0.7$ m²K/W pour les murs en contact avec le sol.

3.2. Évaluer l'isolation thermique des planchers

L'isolation thermique du plancher inférieur dépend non seulement de la nature, de l'épaisseur et de l'état de l'isolant, mais aussi, lorsque le plancher ne se trouve pas au-dessus de l'environnement extérieur, des caractéristiques du sol, de la cave ou du vide sanitaire.

Comment évaluer la situation ?

⇒ Connaître les valeurs de référence

Une paroi est caractérisée par un coefficient de transmission thermique U . Plus ce coefficient est petit plus la paroi est isolante. La réglementation thermique wallonne impose, pour les parois neuves et assimilées délimitant le volume protégé, une valeur maximale du coefficient de transmission thermique. Ces valeurs peuvent être vues comme un « garde-fou ». D'autres labels volontaires recommandent d'ailleurs des performances thermiques plus élevées.

Ces valeurs à respecter au minimum dans un nouveau bâtiment peuvent néanmoins servir de base pour évaluer la qualité d'un bâtiment existant.

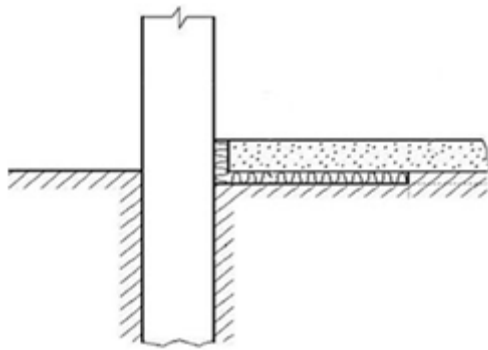
Plancher accessible par le bas

On peut considérer que l'isolation d'un plancher existant accessible par le bas (l'isolation peut être posée sous celui-ci) est suffisante si $R \geq 1$ W/m²K. En effet, en dessous de cette valeur, le temps de retour sur investissement devient assez important. Néanmoins, une rénovation complète ou partielle (finitions, revêtements,...) sera toujours une bonne occasion de renforcer l'isolation.

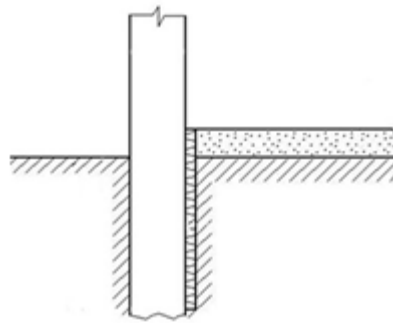
Plancher sur sol

Si le plancher est posé sur le sol et que le rapport entre le périmètre exposé et sa surface (P/A) est inférieur à 0.30, l'amélioration de l'isolation n'est généralement pas nécessaire du fait que, la configuration même du plancher limite déjà les pertes thermiques.

Dans certains cas, l'amélioration de l'isolation d'une dalle posée sur sol peut être très coûteuse (démolition des sols existants) et un calcul de rentabilité spécifique au bâtiment est indispensable avant toute prise de décision. Le coût des travaux peut cependant être limité en n'isolant que la périphérie du plancher, soit horizontalement, soit verticalement.



Isolation périphérique horizontale.



Isolation périphérique verticale.

On obtient une valeur acceptable de $R \geq 1 \text{ m}^2\text{K/W}$ dont il est question ci-dessus, avec des épaisseurs :

- de 4 cm de mousse de polystyrène extrudé ($\lambda = 0.040 \text{ W/mK}$ suivant Annexe VII de l'AGW du 17 avril 2008)
- de 5 (4.5) cm de mousse de polystyrène expansé ($\lambda = 0.045 \text{ W/mK}$)
- de 5 (4.5) cm de mousse de laine minérale ($\lambda = 0.045 \text{ W/mK}$)
- de 4 (3.5) cm de mousse de polyuréthane ($\lambda = 0.035 \text{ W/mK}$)
- de 6 (5.5) cm de verre cellulaire ($\lambda = 0.055 \text{ W/mK}$)

Calcul plus précis

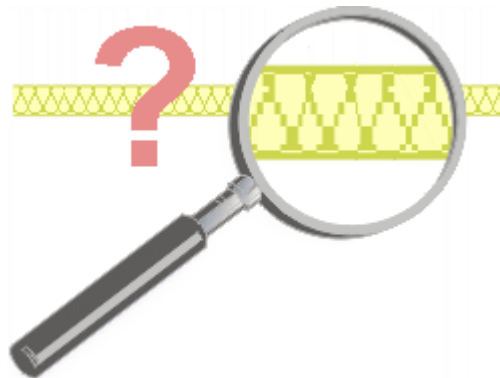
Si les matériaux constituant le plancher sont connus, il est possible de calculer exactement le coefficient de transmission thermique U ou la résistance thermique R exacte de celui-ci.

Il faudra cependant distinguer 5 cas.

1. Les planchers situés au-dessus de l'ambiance extérieure
2. Les planchers situés au-dessus d'un espace adjacent non chauffé (EANC)
3. Les planchers posés directement sur le sol
4. Les planchers situés au-dessus d'une cave
5. Les planchers situés au-dessus d'un vide sanitaire

Pour les autres types de plancher, le U se calcule de la manière similaire. Un facteur de correction de température (≤ 1) est cependant appliqué à U_{eq} pour tenir compte de la protection complémentaire amenée par l'EANC espace adjacent non chauffé, le sol, une cave ou un vide sanitaire. Ce facteur de correction peut toujours être considéré comme égal à 1, si on ne veut pas faire l'effort de le calculer. Ce choix peut être très pénalisant surtout dans les cas thermiquement bien protégé. Le calcul précis nécessite l'analyse thermique détaillée.

3.3. Évaluer l'isolation thermique de la toiture



L'isolation d'une toiture dépend de la nature et de l'épaisseur de l'isolant en place, ainsi que de son état.

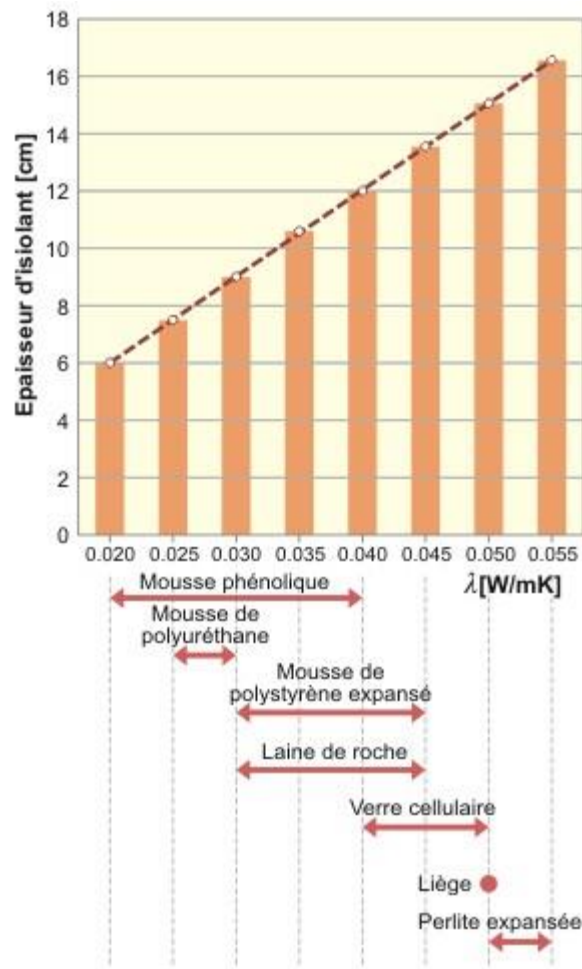
Comment évaluer la situation ?

⇒ Connaître les valeurs de référence

Une paroi est caractérisée par un coefficient de transmission thermique U . Plus ce coefficient est petit plus la paroi est isolante. La réglementation thermique wallonne impose, pour les parois neuves et assimilées délimitant le volume protégé, une valeur maximale du coefficient de transmission thermique. Ces valeurs peuvent être vues comme un « garde-fou ». D'autres labels volontaires recommandent d'ailleurs des performances thermiques plus élevées.

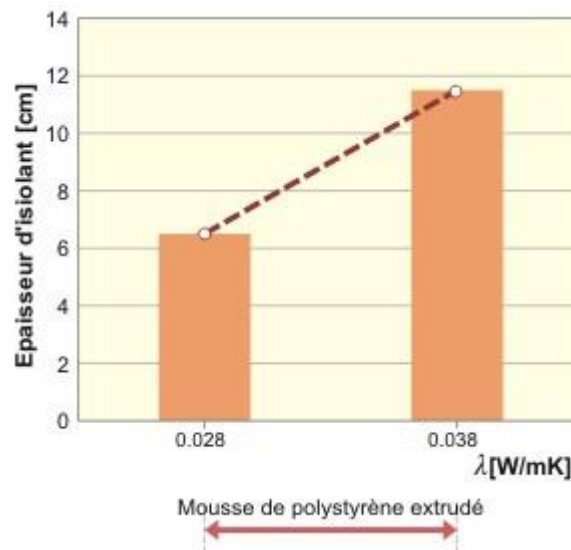
Même lorsque cette réglementation n'est pas d'application, cette valeur peut servir de base pour estimer la valeur minimale qu'il serait intéressant d'atteindre en cas de rénovation de la toiture. Généralement, l'optimum économique en rénovation se situe à un coefficient $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Pour les toitures plates autres que la toiture plate inversée, l'épaisseur d'isolant à poser en fonction du coefficient de conductivité thermique de celui-ci est donnée sur le graphique ci-dessous. Pour chaque isolant, il existe un intervalle de valeurs possibles pour la conductivité thermique. Le diagramme ci-dessous permet de déterminer dans quel intervalle d'épaisseur il faudra se situer en fonction du type d'isolant choisi.



Estimation de l'épaisseur d'isolant nécessaire pour atteindre un $U = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ dans le cas d'une toiture plate autre qu'une toiture plate inversée en fonction de la conductivité thermique (λ) ou du type d'isolant choisi (les intervalles de valeurs pour chaque isolant correspondent aux valeurs certifiées).

Pour une toiture inversée, l'isolant généralement retenu est la mousse de polystyrène extrudé (il est à éviter en cas de toiture chaude à cause de son coefficient de dilatation élevé). L'épaisseur d'isolant à poser en fonction de la conductivité thermique est donnée dans le graphique suivant.



Estimation de l'épaisseur d'isolant nécessaire pour atteindre un $U = 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ dans le cas d'une toiture plate inversée de référence en fonction de la conductivité thermique (λ) ou du type de l'isolant choisi (marques et types - valeurs certifiées).

Si la toiture existante est en bon état, on considère généralement que la limite pour décider d'une rénovation est :

$$U > 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

En effet, en dessous de cette valeur, le temps de retour sur investissement devient assez important. Une rénovation complète ou partielle (finitions, revêtements extérieurs,...) sera toujours une bonne occasion de renforcer l'isolation.

Pour une toiture autre qu'une toiture plate inversée, elle correspond à une épaisseur approximative d'isolant de :

- 9 cm de laine minérale,
- ou 7 cm de mousse de polyuréthane,
- ou 11 cm de verre cellulaire.

Pour une toiture inversée, elle correspond à une épaisseur d'isolant d'environ :

- 12 cm de mousse de polystyrène extrudé.

3.4. Le niveau d'isolation thermique globale du bâtiment : "le niveau K"

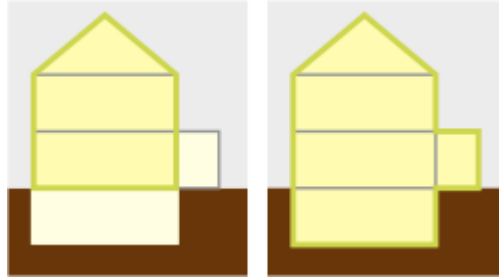
La méthode de calcul

Voici en résumé les principes de ce calcul. Pour obtenir tous les détails réglementaires de la méthode, on consultera utilement l'annexe VII de la réglementation relative à la P.E.B

Étape 1 : délimiter le volume protégé V

Le volume protégé V d'une construction est constitué par l'ensemble des locaux chauffés (directement ou non).

Délimiter le volume protégé revient à séparer ces locaux d'autres locaux non chauffés. En général, c'est la couche isolante qui détermine ce volume. Un grenier qui sert de chambre fait donc partie du volume protégé, même s'il n'y a pas de radiateur installé.

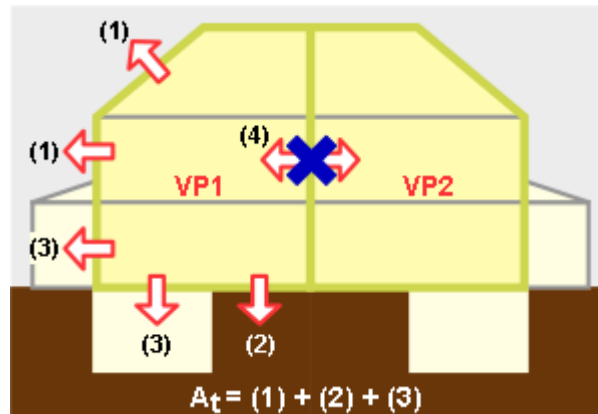


Dans le premier cas, la cave et le garage ne sont pas chauffés; dans le deuxième cas, il s'agit de deux locaux utilisés et chauffés. En toute logique, on souhaite que ce soit l'ensemble de la frontière de ce volume chauffé qui réponde à un minimum de qualité thermique.

Étape 2 : repérer la superficie de déperdition thermique A_t

La superficie de déperdition A_t est la somme de toutes les superficies de toutes les parois qui séparent le volume protégé :

- de l'ambiance extérieure (1),
- du sol (2),
- des espaces voisins qui n'appartiennent pas à un volume protégé (3).



Remarque : les parois mitoyennes ne sont donc pas comptabilisées (puisque le delta de température est considéré comme nul ou négligeable).

Étape 3 : calculer le coefficient de transfert thermique par transmission du bâtiment H_t

$$H_T = H_D + H_g + H_u \quad [W/K]$$

où :

- H_D = coefficient de transfert thermique par transmission à travers les parois directement en contact avec l'extérieur $[W/K]$;

- H_g = coefficient de transfert thermique par transmission à travers les parois en contact avec le sol [W/K];
- H_U = coefficient de transfert thermique par transmission à travers les parois en contact avec des espaces non-chauffés [W/K];

Chacun de ces coefficients est calculé, pour chaque paroi, de manière générique par la formule suivante :

$$H = \alpha \cdot \sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \psi_k + \sum_{l=1}^r \chi_l$$

où :

- α : coefficient de pondération tenant compte de l'environnement de la paroi [$0 < \alpha < 1$ (environnement extérieur)]

La valeur de ce coefficient de pondération "α" a pour but de diminuer les déperditions des parois qui ne sont pas directement en contact avec la température extérieure.

Ainsi, en toute logique, on considérera des déperditions différentes selon qu'un même mur soit en contact avec le sol, un espace non chauffé ou l'environnement extérieur.

- A_i : surface de l'élément de construction i de l'enveloppe du bâtiment, déterminée avec les dimensions extérieures [m²];
- U_i : valeur U de l'élément de construction i de l'enveloppe du bâtiment, déterminée avec les dimensions extérieures [W/m²K];
- l_k : longueur du pont thermique linéaire k présent déterminée avec les dimensions extérieures [m];
- ψ_k : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique linéaire k [W/mK];
- χ_l : coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique ponctuel l [W/K].

Étape 4 : déterminer le coefficient de transfert de chaleur moyen du bâtiment "U_m"

$$U_m = H_t / A_t \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Le coefficient U_m est donc obtenu par le rapport entre le coefficient de transfert thermique total (H_t) et la surface de déperditions du volume protégé (A_t). Cette valeur nous donne une idée de la déperdition énergétique moyenne par m² de surface déperditive.

Étape 5 : déterminer la compacité volumique du bâtiment V/A_t

La compacité volumique est le rapport entre le volume protégé V et la superficie de déperditions A_t du bâtiment.

$$C = V / A_t \text{ [m]}$$

Plus grande est la compacité, plus petite est la perte d'énergie par m³ chauffé. La réglementation sera dès lors moins sévère pour des bâtiments avec grande compacité (ex : bloc d'appartements).

A noter que l'on peut en déduire une réflexion sur le plan de la composition architecturale : l'habitation "4 façades" entourée d'un jardin n'est pas une bonne solution sur le plan environnemental (déperditions par m² élevées...).

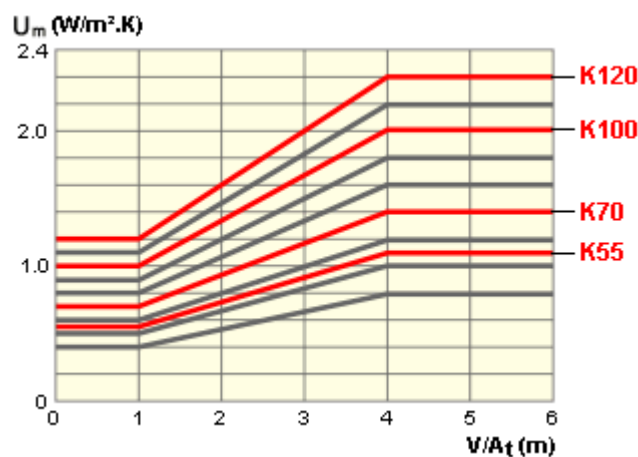
Étape 6 : déterminer le niveau K du bâtiment

La réglementation définit conventionnellement le niveau K par la relation :

$$K = 100 U_m / U_{m,\text{réf}}$$

Compacité	$U_{m,\text{réf}}$
$V/A_t < 1 \text{ m}$	$U_{m,\text{réf}} = 1$
$1 \text{ m} < V/A_t < 4 \text{ m}$	$U_{m,\text{réf}} = (C+2) / 3$
$4 \text{ m} < V/A_t$	$U_{m,\text{réf}} = 2$

Le niveau K est donc directement fonction de la compacité volumique V/A_t et du coefficient moyen de transmission thermique U_m .



Exemple.

Si le U_{moyen} de l'enveloppe ($= U_m$) est de 0,6 et que la compacité est de 0,9 m, le niveau "K" du bâtiment est "K60".

Mais un même U_{moyen} pour un bâtiment de compacité volumique 5 (immeuble d'appartements) entraîne une valeur "K30".

Et si la compacité volumique est de 2, $K = (300 \times 0,6) / (2 + 2) = 45$, soit un bâtiment déclaré "K45".

Conclusion

La thermique des parois est un domaine clé pour optimiser la performance énergétique d'un bâtiment et garantir le confort thermique de ses occupants. Grâce à l'étude des coefficients de transmission thermique et des valeurs de référence spécifiques, il est possible d'évaluer efficacement l'isolation des parois et d'adopter des solutions adaptées aux besoins du bâtiment, qu'il s'agisse de construction neuve ou de rénovation.

Les matériaux d'isolation jouent un rôle fondamental dans la réduction des déperditions thermiques, et leur choix doit tenir compte des caractéristiques spécifiques des différentes parois. De même, la prise en compte des valeurs de résistance thermique permet de déterminer les interventions les plus pertinentes pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment, en optimisant l'isolation des murs, des planchers et des toitures.

En somme, ce chapitre souligne l'importance d'une évaluation rigoureuse des performances thermiques des parois, afin de concevoir des bâtiments plus durables, économes en énergie et respectueux de l'environnement. Le respect des normes de performance thermique et l'application de techniques d'isolation adaptées permettent de répondre aux exigences de la réglementation et de contribuer à la transition énergétique du secteur du bâtiment.

Chapitre 04

ISOLATION THERMIQUE

4.1. Introduction :

L'isolation thermique du bâtiment améliore le confort, réduit les dépenses en énergie, diminue la production de CO₂ et donc la pollution de l'air.

A l'inverse, un défaut d'isolation peut engendrer des plaintes très diverses : une sensation de froid, une sensation de chaud, des problèmes d'humidité...

Lorsque l'installation de chauffage n'est pas en cause, une sensation de froid peut par exemple provenir d'une température de surface des parois trop basse. Cette impression est due au rayonnement thermique des occupants vers les parois froides non ou mal isolées.

De plus, une température de surface intérieure froide peut entraîner une **condensation de surface** récurrente et être à l'origine de la prolifération de champignons sur certains revêtements intérieurs.

Une sensation de chaud peut également provenir, en été, d'un manque d'isolation de la façade.

Dans tous ces cas, on vérifiera le niveau d'isolation des parois.

Idéalement, toute paroi qui délimite le volume chauffé devrait être isolée. L'isolation des toitures mérite souvent une intervention prioritaire.

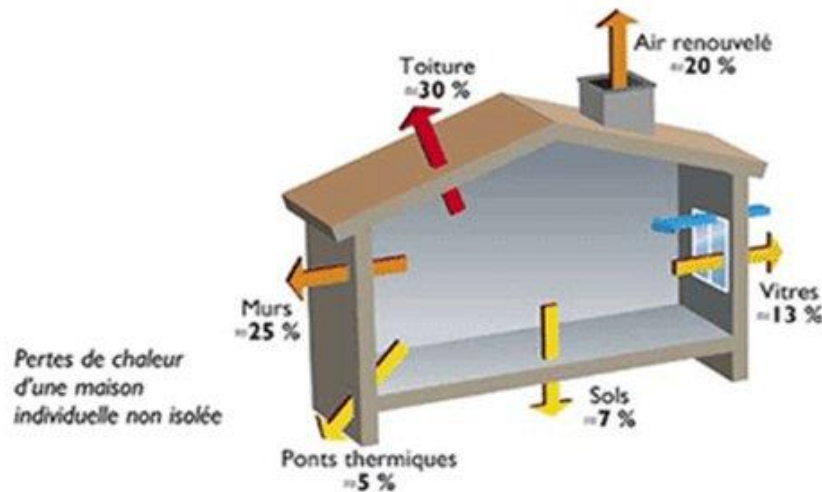
En effet :

- La température de l'air au plafond est plus élevée qu'au sol (l'air chaud monte). Or, la quantité de chaleur qui traverse une paroi est d'autant plus importante que la différence entre les températures de chaque côté de cette paroi est grande.
- L'isolation des toitures est parfois facile à réaliser. Elle est donc plus facilement rentable.

Isoler une paroi nécessite cependant des précautions particulières pour éviter des désordres graves (étanchéité, condensations internes, etc.).

En effet, une maison non isolée laisse s'échapper la chaleur par :

- ⇒ la toiture (environ 30%)
- ⇒ les murs (20 à 25 %)
- ⇒ le renouvellement de l'air (20 %)
- ⇒ les vitrages (13 à 15 %)
- ⇒ les planchers (7 à 10%)
- ⇒ les ponts thermiques (environ 5 %)



En diminuant les pertes de chaleur par les parois, une isolation thermique efficace peut réduire les besoins en énergie de plus de 60 %.

AMELIORER LE CONFORT DU RESIDENT

L'hiver, dans une maison non isolée, nous ressentons des sensations d'inconfort dues à la froideur des parois (murs et fenêtres), provoquée par le contact de celles-ci avec l'air extérieur. L'été, à l'inverse, les parois d'une maison non isolée seront chaudes. La solution idéale : isoler l'habitation par l'extérieur afin de bénéficier de l'inertie thermique des murs. L'inertie thermique des matériaux utilisés dans une maison est synonyme de confort.

L'inertie thermique c'est quoi?

Pour faire simple, c'est la capacité du bâtiment à stocker de la chaleur dans ses murs, ses planchers, etc.... Plus l'inertie du bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement. Ce laps de temps est le déphasage. Plus les murs sont épais et les matériaux qui les constituent sont lourds, plus l'inertie est importante et donc le temps de déphasage important. C'est pourquoi il faut privilégier l'isolation côté extérieur qui protège extérieurement l'habitation et permet intérieurement à l'inertie thermique des murs de jouer son rôle.

4.2. Les isolants :

4.2.1. Les types d'isolants : généralités

Un matériau est généralement considéré comme "isolant" lorsque son coefficient de conductivité thermique à l'état sec est inférieur ou égal à 0.07 W/mK .

4.2.1.1. Les isolants synthétiques

On regroupe sous ce nom les isolants tels que les mousses de **polyuréthane** et de **polystyrène**. Ces matériaux sont très défavorables. Issus de la chimie du chlore et du

pétrole, ils sont produits à partir de matières non renouvelables et selon des procédés énergivores.

Ces isolants contiennent des substances qui appauvrissent la couche d'ozone (comme les HCFC) et libèrent des gaz toxiques et mortels en cas d'incendie. Des substituts aux CFC commencent à être utilisés et on a recours lors de la fabrication à de plus en plus de matériaux recyclés.

Dans cette catégorie, la mousse **phénolique** semble faire exception. Ces très bonnes caractéristiques thermiques associées à son caractère renouvelable, au faible rejet de polluant au long de sa durée de vie la rendent plus intéressante que les autres isolants synthétiques. Mais ce matériau récent ne possède pas encore réellement de filière de distribution et le retour pratique sur son utilisation et sa mise en œuvre est encore réduite.

➤ La mousse de polyuréthane (PUR)



Il s'agit de panneaux à base de mousse expansée de polyuréthane.

Le polyuréthane se caractérise par un pouvoir isolant élevé. Il résiste cependant mal à la chaleur, au feu et au rayonnement ultra-violet.

Les panneaux de polyuréthane destinés aux toitures plates auront une densité volumique (ρ) au moins égale à 30 kg/m³. Ces panneaux sont surfacés d'un revêtement synthétique ou d'un voile de verre bitumé sur les deux faces, destinés à faciliter les liaisons avec les couches inférieures et supérieures.

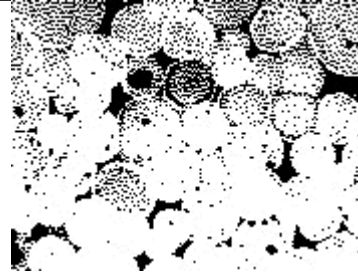
➤ La mousse de polyisocyanurate (PIR)

Il s'agit de panneaux à base de mousse expansée de polyisocyanurate.

Le polyisocyanurate se caractérise par un meilleur comportement au feu que le polyuréthane mais ses propriétés mécaniques sont plus faibles.

Les panneaux de polyisocyanurate destinés aux toitures plates sont surfacés d'un revêtement synthétique ou d'un voile de verre bitumé sur les deux faces, destinés à faciliter les liaisons avec les couches inférieures et supérieures.

➤ **La mousse de polystyrène expansé (EPS et EPS-SE)**



Détail de la structure.

Il s'agit de panneaux à base de mousse expansée de polystyrène.

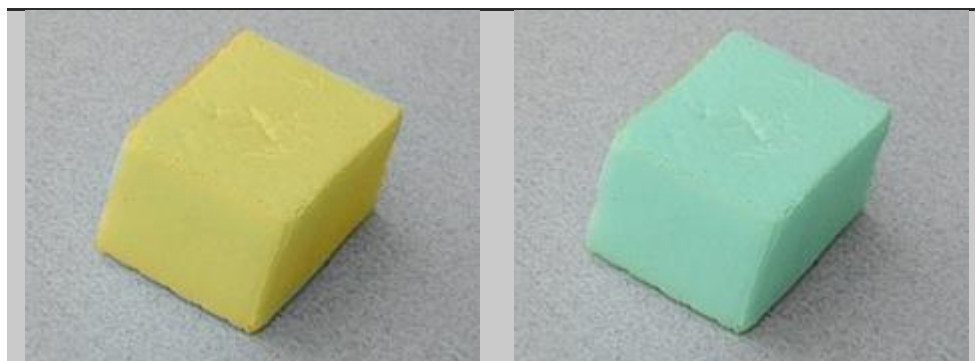
Le polystyrène expansé se caractérise par un retrait de naissance important. Il ne peut être exposé longtemps à une température supérieure à 70°C. Il résiste mal au feu. Il existe cependant des panneaux dont le comportement au feu est meilleur (qualité SE).

Les panneaux en polystyrène expansé destinés aux toitures plates sont recouverts sur les deux faces d'un voile de verre bitumé avec recouvrement au droit des joints.

➤ **La mousse de polystyrène extrudé (XPS)**



Détail de la structure.



Il s'agit de panneaux à base de mousse extrudée de polystyrène.

Le polystyrène extrudé se caractérise par une structure cellulaire fermée et une surface d'extrusion qui empêchent l'absorption d'humidité. Son coefficient de dilatation thermique est très élevé. Il résiste mal au feu et à une exposition prolongée à une température supérieure à 75°C.

➤ **La mousse phénolique (PF)**

Il s'agit de panneaux à base de mousse résolique à structure cellulaire fermée.

La mousse phénolique se caractérise par un bon comportement au feu et un pouvoir isolant très élevé.

4.2.1.2. Les laines minérales

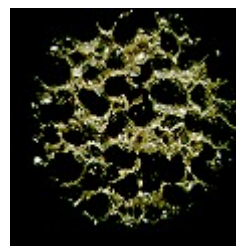
Ces isolants sont issus de matériaux abondants (roches volcaniques et sable) et présents en Europe. Ils sont souvent composés de matériaux recyclés. Tant que la teneur en liant reste inférieure à 5%, leur élimination se fait par mise en décharge comme matériaux inertes ou par recyclage complet (laine de roche). Leur procédé de fabrication est toutefois également très énergivore.

Ces isolants combinent généralement un matériau issu de sources renouvelables (végétaux, cellulose recyclée), et un mode de production peu énergivore.

Remarquons que la matière première est parfois peu abondante, ou disponible uniquement dans certaines régions (ex. liège).

En général, l'élimination des isolants "écologiques" peut se faire sans danger par compostage. Mais cela dépend du mode de fabrication. Par exemple, les isolants à base de chanvre ou de lin contiennent souvent du polyester.

➤ **Le verre cellulaire (CG)**



Détail de la structure.

Le verre cellulaire est une mousse de verre obtenue par expansion de celui-ci lorsqu'il est en fusion. Les cellules ainsi formées contiennent un gaz inerte.

Son procédé de fabrication conduit à la production d'un isolant léger à cellules fermées. Le verre cellulaire est ainsi complètement étanche à la vapeur d'eau, à l'eau et à l'air. Il se caractérise par une bonne stabilité thermique et un bon comportement au feu. Bien qu'incompressible, ce matériau est relativement fragile et nécessite un support régulier et rigide lorsqu'il est soumis à des contraintes mécaniques.

Disponible en panneaux ou en gros granulés, son seul défaut, en plus de son coût élevé, est d'être produit par des procédés de fabrication très énergivore.

➤ **La perlite expansée (EPB)**



La perlite expansée est obtenue à partir de pierre volcanique rhyolitique concassée et expansée à une température de +/- 900°C.

La perlite expansée est mélangée à des fibres cellulosiques et à un liant bitumineux pour former des panneaux mais peut aussi être utilisée en vrac.

La perlite expansée se caractérise par une grande résistance à la compression et au poinçonnement, un bon comportement au feu et une résistance limitée au pelage. Elle ne résiste pas à une humidification prolongée.

➤ **La vermiculatite**



Granule de vermiculite grossi.

La **vermiculite** est produite à partir de mica expansé. Elle est disponible sous forme de granulés ou de panneaux. Comme la perlite, ce matériau peut être déversé en vrac ou être incorporé dans les mortiers, bétons allégés, enduits isolants et dans les blocs de constructions.

➤ **L'argile expansée**

Elle est vendue en vrac, en panneaux ou incorporée dans des bétons allégés, des blocs de construction préfabriqués.

L'argile expansée présente un excellent classement au feu et offre une bonne résistance à l'humidité.



Granules d'argile expansée



Granule d'argile expansée grossie et coupée

4.2.1.3. Les isolants "écologiques"



Pour s'inscrire dans une démarche d'éco-construction, il est nécessaire de ne pas choisir un isolant uniquement sur base de ses propriétés thermiques, techniques et économiques.

Les types d'isolants écologiques classiques



Isolants à base de cellulose

Isolants à base de papier recyclé, leur conductivité est comparable à celle des laines minérales. Ce matériau possède la caractéristique de pouvoir absorber la vapeur d'eau et permet ainsi de réguler l'humidité. Son absorption acoustique est excellente.

Un traitement au sel de bore protège ces isolants des attaques d'insectes, des champignons et du feu.

Les flocons de cellulose sont soufflés sous pression soit dans des caissons fermés soit sur des surfaces horizontales. Certains critères ont été définis afin de garantir le non-tassement ultérieur des flocons dans les caissons.

Ces isolants à base de cellulose existent aussi sous forme de panneaux semi-rigides ou flexibles. Ils sont utilisés pour l'isolation des sols, des toitures, des cloisons légères et des murs à ossature bois.



Panneaux de cellulose



Flocons de cellulose humidifiées et projetés.

Isolant sous forme de laine d'origine végétale ou animale

Il existe de nombreux types de laine végétale ou animale disponibles en vrac, en feutre fin, en rouleaux ou en panneaux semi-rigides. On trouve par exemple des **laines en fibre** de **coco**, de **lin**, de **chanvre**, de **bois** ou en **mouton**. Certains de ces isolants reçoivent un traitement au sel de bore qui les protège des attaques d'insectes, des champignons et du feu.

Ils possèdent la capacité d'absorber et de restituer l'humidité, remplissant ainsi la fonction de régulateur d'humidité.

De par leur caractère fibreux, ces isolants possèdent aussi de très bonnes caractéristiques acoustiques.

Certains offrent une meilleure résistance à l'humidité, comme ceux à base de fibre de coco, et peuvent donc être utilisés pour calfeutrer les ouvertures (raccords châssis-maçonnerie) ou être placé dans des endroits soumis à une humidité particulièrement élevée.



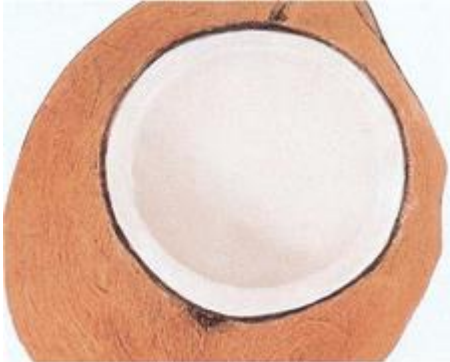
Laine de lin en vrac



Laine de lin en rouleaux



Laine de lin en panneaux

**Laine de chanvre en rouleaux****Laine de chanvre en panneaux semi-rigides****Noix de coco sciée****Panneaux et rouleaux de laine de coco**

Les panneaux de **fibre de bois** sont fabriqués à partir de déchets de scierie. Les fibres sont agglomérées par leur propre résine (procédé de fabrication humide) ou par de la colle (procédé à sec). Lorsque ce second procédé est utilisé, les panneaux ne sont pas recyclables. Lorsque plusieurs panneaux sont collés ensemble pour obtenir une plus grosse épaisseur d'isolant, de la colle est utilisée. Les panneaux sont perméables à la vapeur, ils complètent très bien les autres isolants.

**Panneaux de bois feutré**

Isolant à base de minéraux

Les isolants minéraux (hors laines) sont généralement considérés comme isolants écologiques.

Le liège

Provient de l'écorce du chêne-liège. Les écorces sont réduites en grains qui peuvent être ensuite agglomérés à chaud par la résine du liège. Il existe en vrac ou en panneau. Il peut donc être insufflé dans les planchers existants.

Certains panneaux sont renforcés avec des colles synthétiques et dégagent du formaldéhyde : à éviter !

Cet isolant possède une bonne résistance à l'humidité, est imputrescible et difficilement inflammable.

Le principal problème, en plus de son coût élevé, réside dans sa disponibilité.



Liège

Les matériaux chaux-chanvre

Composé d'un mélange de liant à base de chaux aériennes (CL90-S) et de copeaux de chanvre cet isolant peut servir pour isoler les murs, le toit, les sols, en adaptant simplement les mélanges. Actuellement l'usage le plus fréquent du chaux-chanvre est le remplissage des murs à ossature bois (30 cm) ou d'enduits isolants (10 cm) sur un support existant.

Son coefficient d'isolation est proche de celui du bois massif ($\lambda = \pm 0.1$), mais le matériau possède d'importantes qualités du point de vue de l'inertie thermique et de la régulation de la vapeur d'eau.

De plus, son cycle de vie est souvent pris en exemple : faible énergie grise, stockage de CO₂, recyclable, matière première locale ...

4.2.1.4. Les matériaux composites

Il existe des matériaux composites qui sont constitués de plaques juxtaposées de matériaux différents, isolants ou non.

Ces panneaux combinent les propriétés des matériaux qui les composent : résistance à la compression, imperméabilité à la vapeur, qualités thermiques, comportement au feu, comportement à l'humidité, aspect fini, etc.

Exemples :



Panneaux sandwichs autoportants avec ou sans armature de renforcement.



Panneaux de mousse PUR avec lestage ou surface circulaire en béton.



Panneau complexe.

4.2.2. Les formes d'isolant

Selon leur nature, les matériaux isolants présentent différentes formes, raideurs et résistances à la compression :

Formes	Matériaux
Matelas semi-rigide ou souple :	La laine de roche, la laine de verre, les fibres traitées organiques (chanvre, ...) ou animales (laine, ...) ...
Panneaux rigides :	La mousse de polyuréthane, de polystyrène expansé ou extrudé, le verre cellulaire, les panneaux organiques (fibre de bois avec liant bitumineux ou caoutchouc, ...), le liège ...
Les flocons ou granulés :	Les granulés de perlite ou de vermiculite, les granulés de polystyrène expansé, les granulés de liège, les flocons de laine minérale insufflés, les flocons de papier recyclé ...

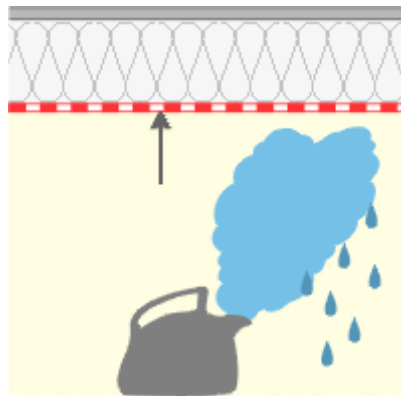
4.2.3. Quel isolant pour quel usage ?

Le tableau suivant présente une partie des choix envisageables pour isoler un bâtiment. Cette liste n'est bien entendu pas exhaustive. La colonne "choix traditionnel" montre ce qui est traditionnellement réalisé. Les deux autres colonnes, montre vers quelles solutions il faut se tourner lorsque l'on veut se rapprocher d'une démarche d'éco-construction.

	Choix traditionnel	Choix plus écologique	plus	Choix plus écologique
		+		++

Dalle de sol	Polyuréthane	Laine de roche haute densité	Verre cellulaire.
	Polystyrène		Argile expansé.
Double mur extérieur	Polyuréthane		Laine végétale et animale.
	Polystyrène		Chaux-chanvre (ossature bois).
	Laine minérale		Flocons de cellulose (ossature bois).
Toiture à versants	Laine minérale		Laine végétale et animale.
			Chaux-chanvre (ossature bois).
			Flocons de cellulose (ossature bois).
Toiture plate	Polyuréthane	Laine minérale	Verre cellulaire.
	Polystyrène		Argile expansée.
			Flocons de cellulose (ossature bois).

4.3. Les pare-vapeur



Toutes les matières sont plus ou moins perméables à la vapeur.

Sous l'influence de la différence de pression de vapeur d'eau des deux côtés d'une paroi, la vapeur a tendance à vouloir migrer par diffusion à travers celle-ci.

Pour éviter les phénomènes de condensation interne, il est parfois nécessaire de placer du côté chaud de l'isolant d'une paroi, une couche de matériau relativement étanche à la vapeur d'eau.

Cette couche de matériau est appelée "écran pare-vapeur".

Le pare-vapeur remplit les fonctions suivantes :

- Éviter une condensation excessive.
- Empêcher, dans l'isolant thermique, l'absorption d'eau par capillarité en provenance des éléments de construction contigus.
- Assurer l'étanchéité provisoire à l'eau de pluie lors de la construction.
- Assurer l'étanchéité à l'air.

Définitions :

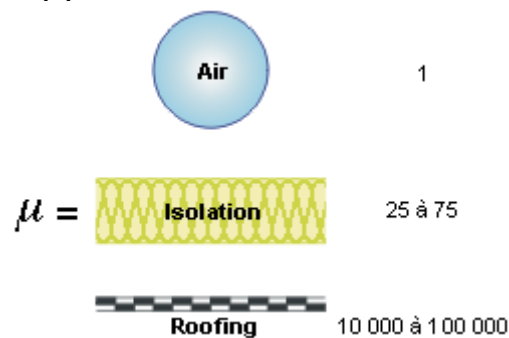
Un pare-vapeur est un matériau qui s'oppose au passage de la vapeur d'eau.

Un frein-vapeur est un matériau qui régule le flux de vapeur d'eau.

Le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur (μ)

Le coefficient de résistance à la diffusion de vapeur (μ) d'un matériau indique dans quelle mesure, la vapeur d'eau traverse plus difficilement ce matériau qu'une couche d'air.

La quantité de vapeur d'eau diffuse à travers une couche d'une paroi dépend de la valeur μ du matériau et de l'épaisseur (d) de cette couche.



Exemple :

Lorsque le μ d'un matériau vaut 5, cela signifie :

Que l'air traverse 5 fois plus difficilement ce matériau que l'air, ou, en d'autres mots,

Que 20 cm de ce matériau exerce la même résistance à la diffusion de la vapeur que 100 cm d'air stationnaire.

Classe	Résistance à la diffusion de vapeur	Exemples de matériaux utilisables comme pare-vapeur
E1	$2 \text{ m} < \mu d < 5 \text{ m}$	Papier bitumé
		Film en PE 0,2 mm
		Papier de tapisserie plastifié
		Peinture à l'huile
		Peinture au caoutchouc chloré
E2	$5 \text{ m} < \mu d < 25 \text{ m}$	Carton-plâtre recouvert d'une feuille d'aluminium
		Film de PE 0,2 mm et laminé d'aluminium
		Voile de polyester bitumineux P150/16
		Voile de verre bitumineux V50/16
		Membrane en PVC épaisseur $> 1 \text{ mm}$
E3	$25 \text{ m} < \mu d < 200 \text{ m}$	Bitume armé P3 ou P4 ou V3 ou V4
		Bitume polymère APP ou SBS
		Film PIB
E4	$200 \text{ m} < \mu d$	Bitumes armés avec film métallique
		Système bitumineux multicouche

4.4. Les techniques d'isolations

4.4.1. Les toitures

4.4.1.1. La toiture plate

Il existe plusieurs systèmes de conception d'une toiture plate : **la toiture froide, la toiture chaude, la toiture inversée, la toiture combinée.**

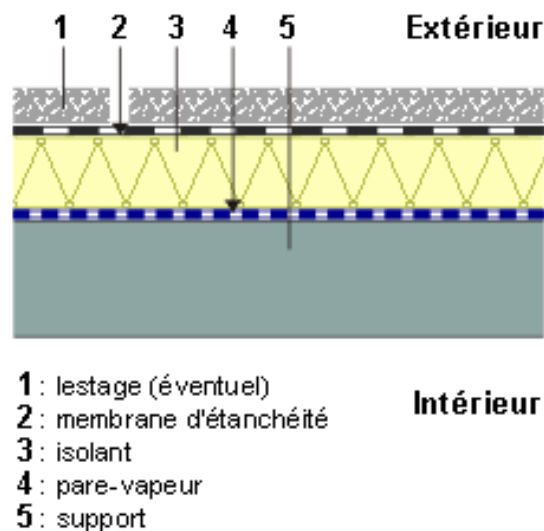
➤ **La toiture chaude :**

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, qui le protège. Il reste donc sec et conserve ainsi toutes ses caractéristiques thermiques.

Dans la plupart des cas un écran pare-vapeur doit être interposé entre le support et l'isolant. (En cas de rénovation, il peut s'agir de l'ancienne étanchéité que l'on décide de conserver).

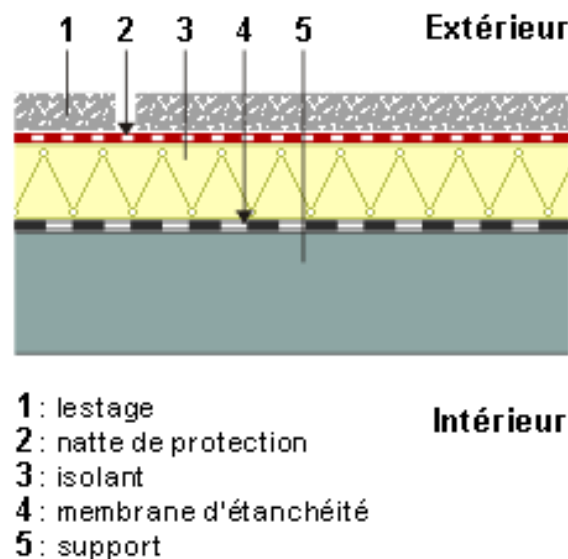
Le lestage n'est pas nécessaire. L'isolant et la membrane peuvent être fixés mécaniquement ou par collage. Il est dans ce cas relativement léger, et peut être appliqué sur des structures existantes qui ne supportent pas une augmentation de charge.



➤ **La toiture inversée**

La toiture chaude 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, ce qui diminue ses performances.

L'isolant est lesté.



En cas de rénovation, dans un but d'amélioration de l'isolation de la toiture, la membrane d'étanchéité existante peut être conservée, si elle est encore bonne.

La membrane d'étanchéité fait en même temps office de pare-vapeur. La technique de la toiture inversée protège la membrane d'étanchéité contre les chocs thermiques et le rayonnement ultraviolet, et de ce fait, ralentit son vieillissement.

Les structures porteuses en matières végétales ou en fibres organiques et minérales liées au moyen d'un liant minéral, doivent avoir une épaisseur minimale de 18 mm afin de garantir une résistance thermique minimale de $0.2 \text{ m}^2\text{K/W}$

Une couche filtrante d'une charge surfacique d'au moins 120 gr/m^2 est placée entre l'isolant et la couche de lestage et de protection. Cette couche filtrante doit permettre la diffusion de vapeur, retenir peu d'eau et en rompre le film. Elle doit résister aux intempéries et être imputrescible.

Il est déconseillé de poser deux couches d'isolant. Il peut, en effet, y avoir entre les deux couches un film d'eau qui agit en barrière de vapeur provoquant ainsi l'imprégnation de la couche inférieure par l'eau.

La couche filtrante et la couche d'usure doivent être perméables à la vapeur pour éviter le même phénomène.

➤ La toiture combinée

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

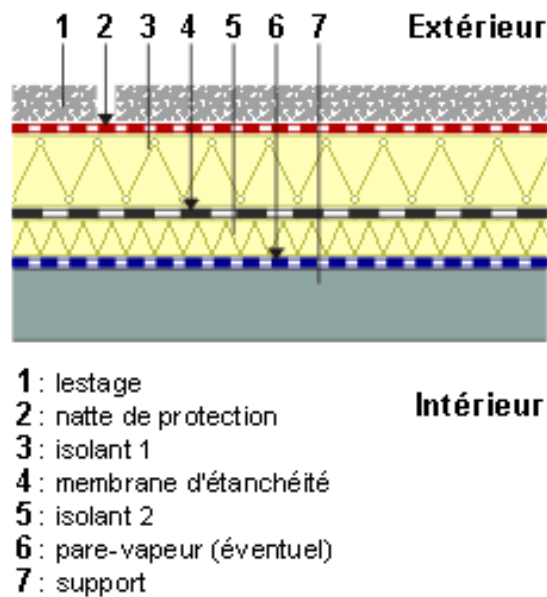
L'isolation est mise en place en deux couches.

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

La deuxième couche d'isolant est placée **sur** la membrane d'étanchéité. La technique de la toiture combinée protège ainsi la membrane d'étanchéité contre les chocs thermiques et le rayonnement ultraviolet, et de ce fait, ralentit son vieillissement.

Un écran pare-vapeur est parfois interposé entre le support et l'isolant inférieur. Celui-ci n'est pas nécessaire lorsque la résistance thermique de la couche supérieure est deux fois plus importante que la résistance thermique de la couche inférieure.

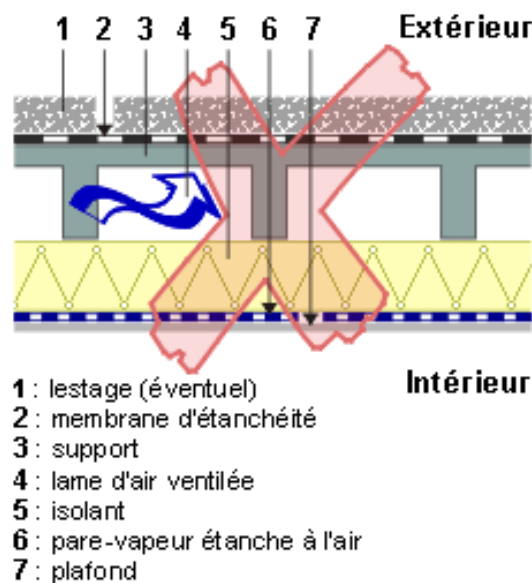
Le lestage est nécessaire.



➤ La toiture froide

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**.



En effet, l'isolation d'une toiture plate par ce système provoque presque inévitablement de la condensation interne.

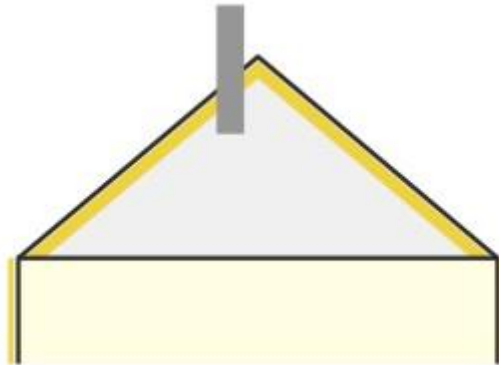
La vapeur d'eau qui migre de l'intérieur vers l'extérieur se condense sur le support d'étanchéité, dans l'isolant ou dans l'espace aéré et retombe sur l'isolant. La ventilation réelle de la lame d'air est souvent plus faible que celle nécessaire.

Le support d'étanchéité est parfois beaucoup plus froid que l'air extérieur de ventilation dont la vapeur se condense sur la face inférieure de l'étanchéité (sur refroidissement).

Lorsque le plafond n'est pas étanche à l'air, l'air intérieur chaud est aspiré dans l'espace ventilé et s'y condense d'autant plus que les courants d'air sont importants.

Cette condensation peut entraîner 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.

4.4.1.2. La toiture inclinée



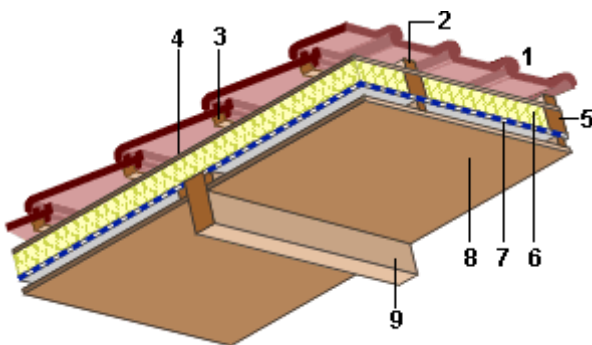
Les combles qui seront occupés et chauffés doivent être isolés de l'ambiance extérieure.

Le toit incliné est dans ce cas la limite de l'espace protégé. C'est donc à ce niveau que doit être posé l'isolant et son pare-vapeur éventuel.

L'isolant peut être situé entre les éléments de charpente et/ou en dessous de ceux-ci (isolation par l'intérieur), ou au-dessus des éléments de charpente (isolation par l'extérieur)

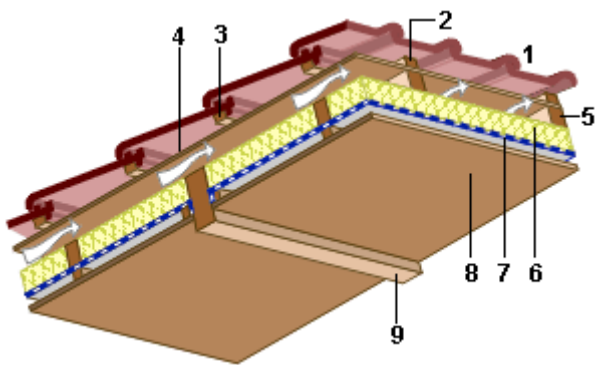
a) Isolation par l'intérieur :

[1] Isolation entre chevrons ou fermettes



1. couverture
2. contre-lattes
3. lattes
4. sous-toiture
5. chevrons ou fermettes
6. isolant
7. pare-vapeur
8. finition intérieure
9. panne

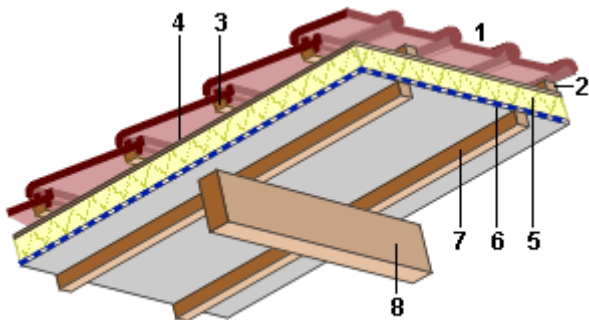
[2] Isolation sous les chevrons ou les fermettes



1. couverture
2. contre-lattes
3. lattes
4. sous-toiture
5. chevrons ou fermettes
6. isolant
7. pare-vapeur
8. finition intérieure
9. pannes

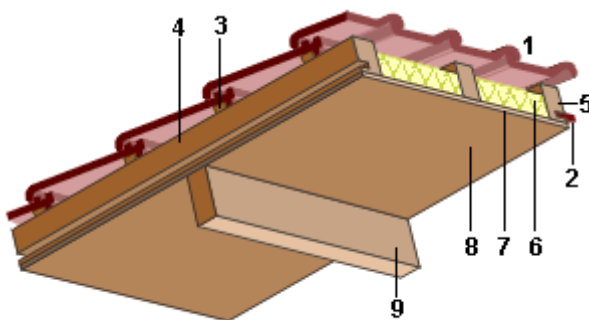
b) Isolation par l'extérieur :

[1] Isolation au-dessus des chevrons ou des fermettes



1. couverture
2. contre-lattes
3. lattes
4. sous-toiture
5. isolant
6. pare-vapeur
7. chevrons ou fermettes
8. pannes

[2] Isolation au-dessus des pannes à l'aide de panneaux préfabriqués



1. couverture
2. languette d'assemblage
3. lattes
4. panneau de toiture préfabriqué
5. raidisseurs du panneau
6. isolant du panneau
7. pare-vapeur intégré éventuel
8. plaque inférieure du panneau
9. pannes

4.4.2. Les Murs

4.4.2.1. L'isolation par l'intérieur

Les différents systèmes

On rencontre principalement :

- Les systèmes à plaques de plâtre,

- et le système à contre-cloison maçonnerie.

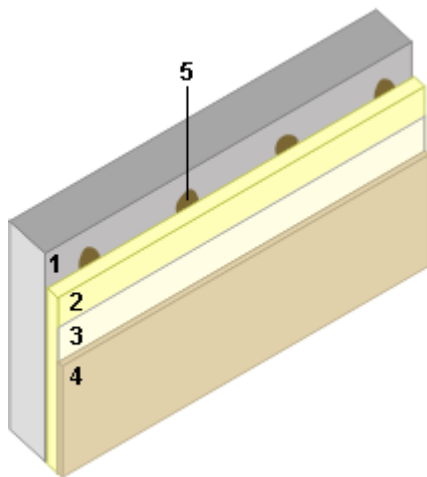
Il existe de nombreuses variantes. Nous n'entrerons pas dans le détail de toutes celles-ci.

a. Les systèmes à plaques de plâtre

Les panneaux isolants complexes

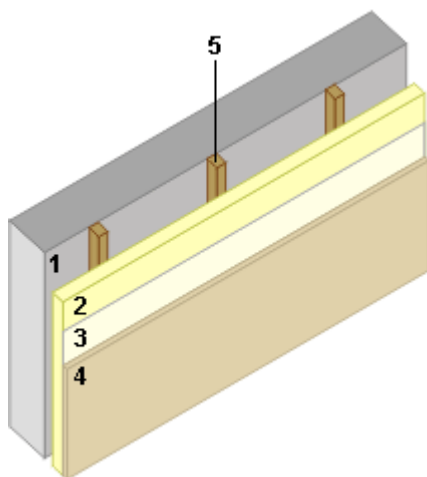
Le panneau complexe préfabriqué comprend un isolant revêtu d'une plaque de finition. Dans certains panneaux, lors de la fabrication, un pare-vapeur est inséré entre l'isolant et la finition.

o Les panneaux isolants complexes posés par collage



1. Maçonnerie.
- Panneau complexe constitué de :
2. Isolation thermique.
3. Pare-vapeur éventuel.
4. Panneau de finition.
5. Plots de colle.

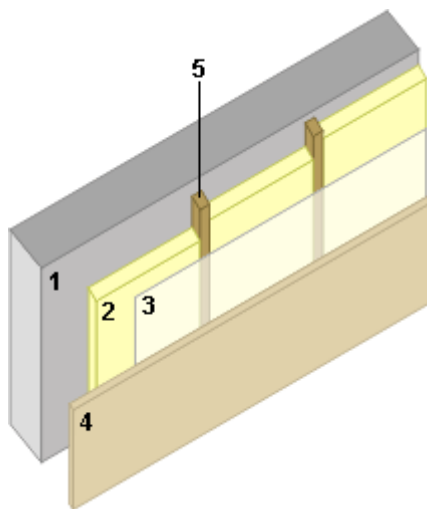
o Les panneaux isolants complexes posés sur lattage



1. Maçonnerie.
- Panneau complexe constitué de :
2. Isolation thermique.
3. Pare-vapeur éventuel.
4. Panneau de finition.
5. Lattes.

En variante à ce système, les fabricants proposent souvent des profilés métalliques à la place des lattes en bois.

○ **Les panneaux isolants revêtus sur chantier par des plaques de plâtre**



1. Maçonnerie.
2. Isolation thermique.
3. Pare-vapeur éventuel.
4. Panneau de finition.
5. Lattes.

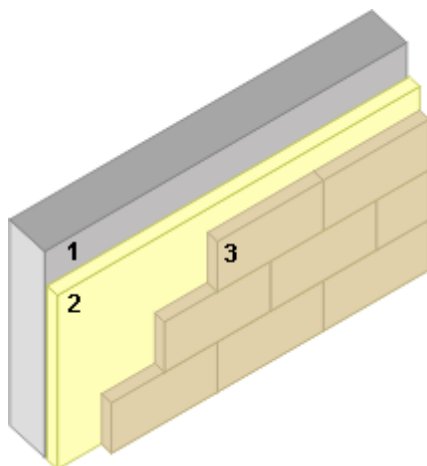
Pour ce système aussi, les fabricants proposent souvent des profilés métalliques à la place des lattes en bois.

b. Les isolants derrière contre-cloison maçonnée

Une paroi auto-stable est disposée à l'intérieur, parallèlement et à une certaine distance du mur. Les matériaux les plus utilisés sont :

- les briques de terre cuite (briques plâtrières),
- les carreaux de plâtre,
- les blocs de béton,
- les sandwichs plaques plâtre et âme cartonnée alvéolaire.

L'isolant est incorporé entre la contre-cloison et le mur. Il peut s'agir de polystyrène expansé, de laine minérale semi-rigide ou de polyuréthane expansé.



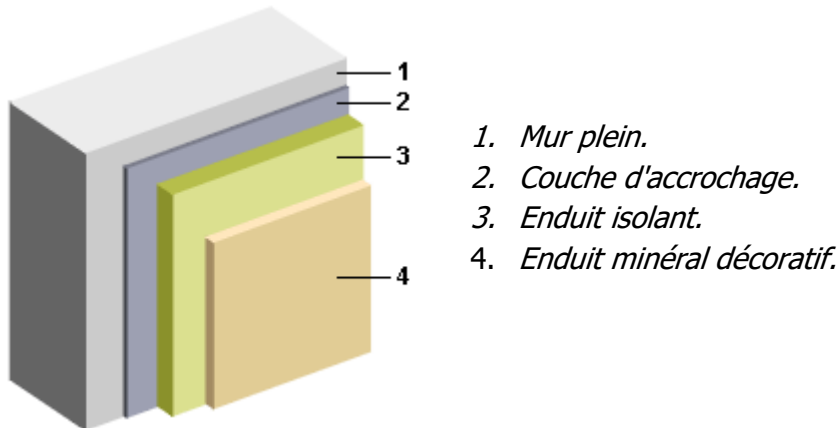
1. Mur.
2. Isolant.
3. Carreaux de plâtre.

⇒ **L'isolation par l'extérieur**

➤ **L'enduit isolant**

L'enduit isolant consiste en une couche isolante constituée par un mortier composé de granulés (polystyrène expansé et/ou perlite, ...) et d'un liant de type ciment. Si le mur est

très absorbant, un mortier d'accrochage est préalablement projeté sur celui-ci pour assurer une bonne adhérence entre le support et l'enduit isolant. La couche isolante est ensuite recouverte d'une couche de finition le plus souvent à base d'un liant hydraulique (cimentage).



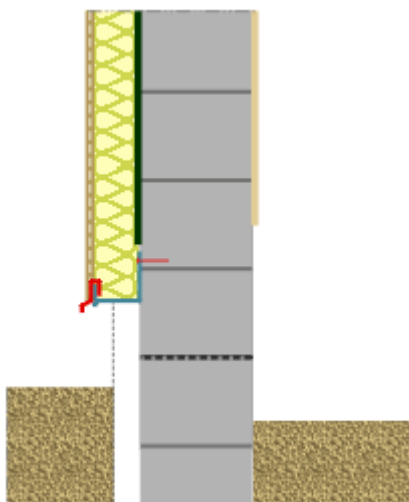
➤ Le panneau isolant revêtu d'un enduit + Mise en œuvre

Ce système est le plus courant.

Il est constitué :

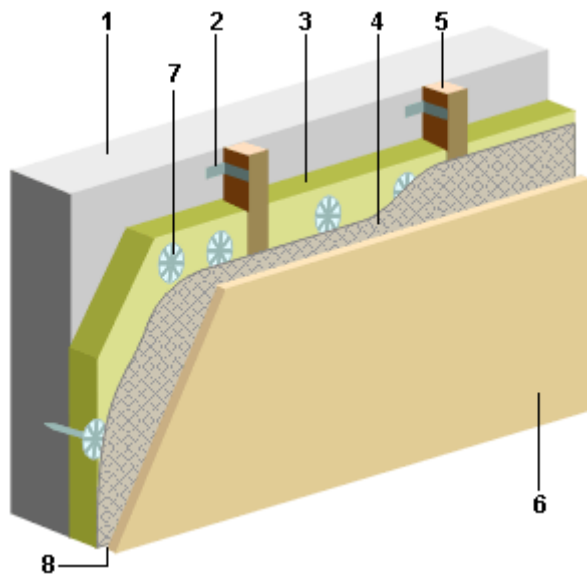
- De panneaux de polystyrène expansé, de panneaux semi-rigides de laine minérale, de verre cellulaire ou de polyuréthane, ... Ces panneaux sont collés et/ou fixés mécaniquement au support.
- D'un enduit de finition armé d'un treillis synthétique ou métallique.

Remarque : ci-dessous, on n'a représenté que la partie courante du mur. L'isolation par l'extérieur de la partie du mur enterré n'est pas représentée ici.



➤ Les panneaux d'isolation complétés d'une structure supportant l'enduit

Cette technique se rapproche de la précédente, mais l'isolant est disposé entre les éléments d'une structure. Cette structure sert de support à l'armature de l'enduit. L'enduit est le plus souvent minéral et est indépendant de l'isolant.

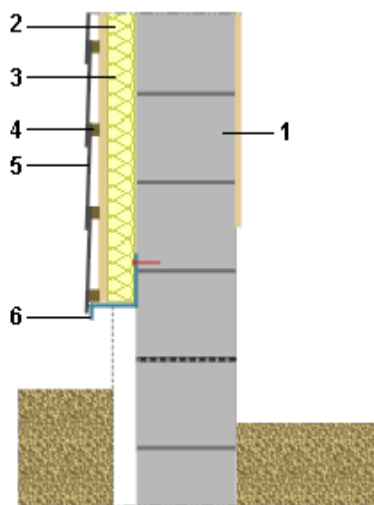


1. Maçonnerie monolithique ou voile de béton + ancien enduit éventuel.
2. Ancrages.
3. Isolant thermique.
4. Armature de l'enduit.
5. Ossature.
6. Enduit (sous-couche + finition).
7. Fixation de l'isolant.
8. Lamelle d'air (ventilée ou non).

➤ L'isolation thermique protégée par un bardage

Ce système est identique au précédent sauf que l'enduit armé est remplacé par un bardage (ardoise, lamelles métalliques ou plastiques, revêtement en bois, ...) fixé sur l'ossature.

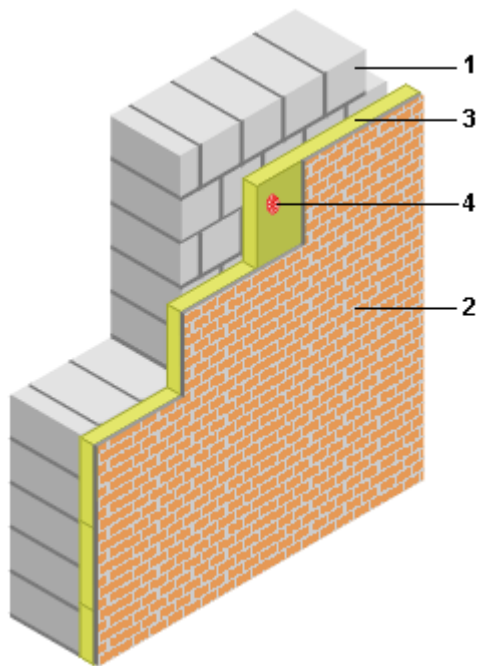
Remarque : ci-dessous, on n'a représenté que la partie courante du mur. L'isolation par l'extérieure de la partie du mur enterré n'est pas représentée ici.



1. Maçonnerie existante
2. Structure (bois ou métallique) verticale ou horizontale selon le type de bardage, ayant l'épaisseur de l'isolant
3. Isolant thermique posé entre lattes et fixé mécaniquement à la paroi (chevilles)
4. Lattage fixé transversalement à la structure
5. Bardage (ardoises naturelles ou synthétiques, bois, feuilles métalliques...)
6. Bavette pour évacuer les eaux infiltrées vers l'extérieur.

➤ Les éléments isolants préfabriqués

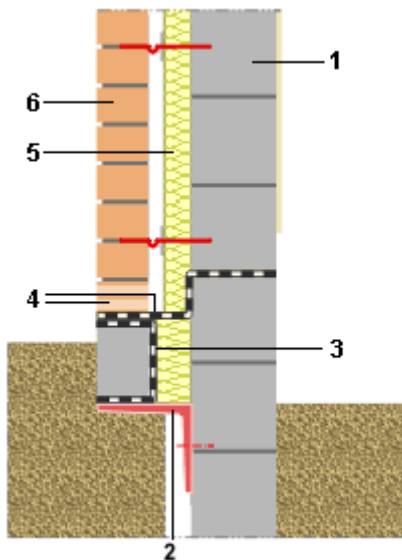
Ce système est constitué de panneaux comportant une âme isolante et un revêtement métallique, synthétique, minéral ou des plaquettes de brique. Les panneaux sont fixés mécaniquement sur le mur.



1. Mur porteur.
2. Plaquette de brique.
3. Isolant.
4. Fixation mécanique.

➤ Création d'un mur creux isolé

Un isolant est posé contre le mur plein. Il est fixé mécaniquement à la paroi à l'aide de crochets et rondelles. Un mur de parement est monté devant l'isolant en laissant ou non un espace formant coulisse, dans ce cas, celle-ci a une épaisseur de 2 à 3 cm. Le mur de parement est également relié mécaniquement au mur porteur via les crochets. Les déchets de mortier dans la coulisse sont enlevés au fur et à mesure de l'élévation du parement. On obtient ainsi un réel mur creux "moderne".

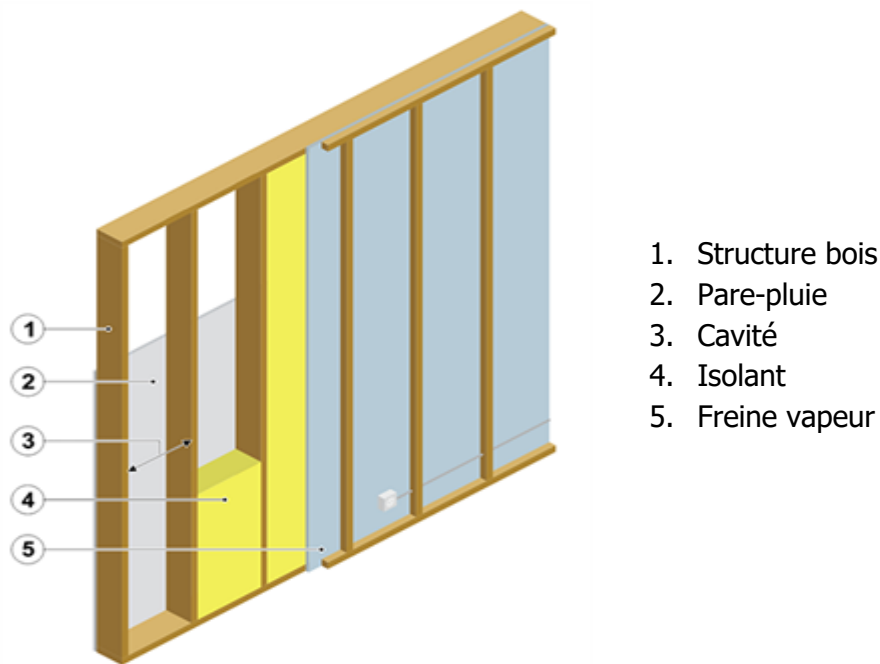


1. Maçonnerie existante.
2. Cornière métallique avec protection anti-corrosion, ancrée mécaniquement au mur porteur.
3. Membrane d'étanchéité pour protéger l'isolant contre l'humidité.
4. Membrane d'étanchéité collée au mur porteur et engravée, et joint vertical ouvert.
5. Isolant thermique.
6. Mur de parement.

⇒ L'isolation à l'intérieur de l'ossature en bois d'un mur

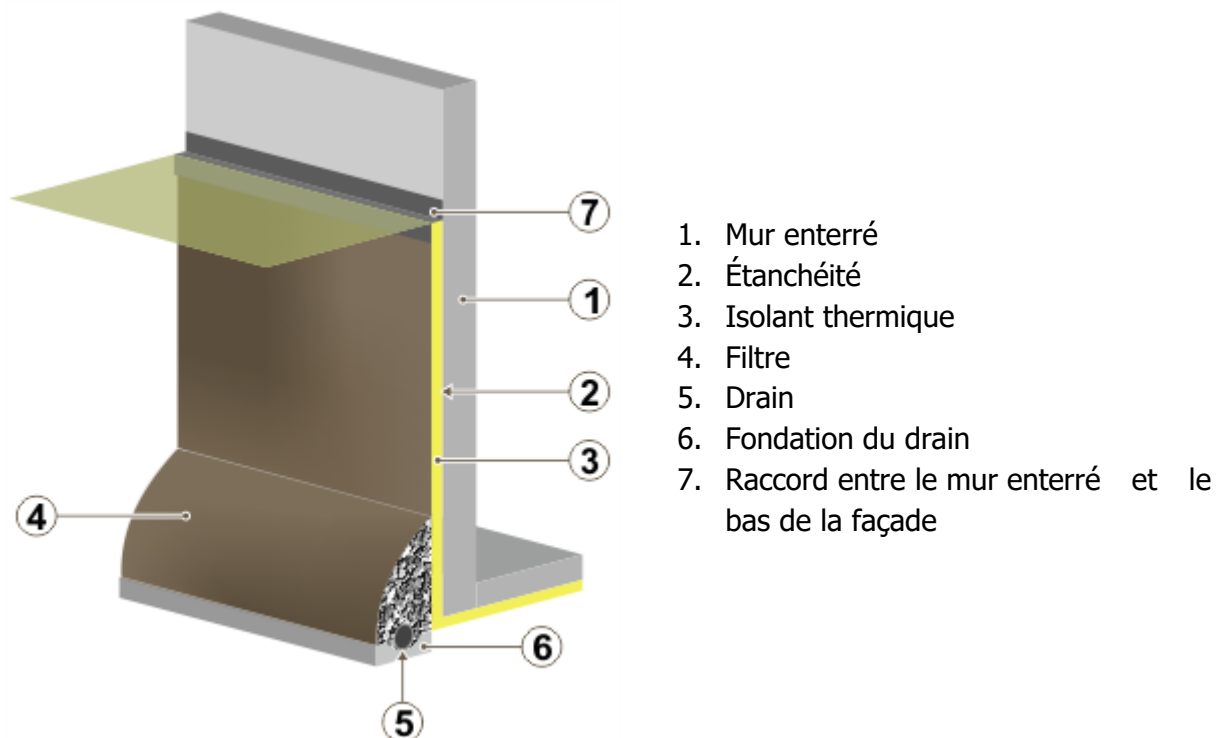
Principe technique

On profite de l'espace disponible entre les éléments de l'ossature pour poser un maximum d'isolant.



⇒ **L'isolation enterrée**

La pose de l'isolant sur la face extérieure des parois appartenant à l'enveloppe du volume protégé amène de nombreux avantages : continuité de l'isolant ; maintien de la paroi à une température constante intérieure ; moins de risque de condensation interne ; meilleure inertie thermique ; etc. C'est également le cas pour les murs contre terre.



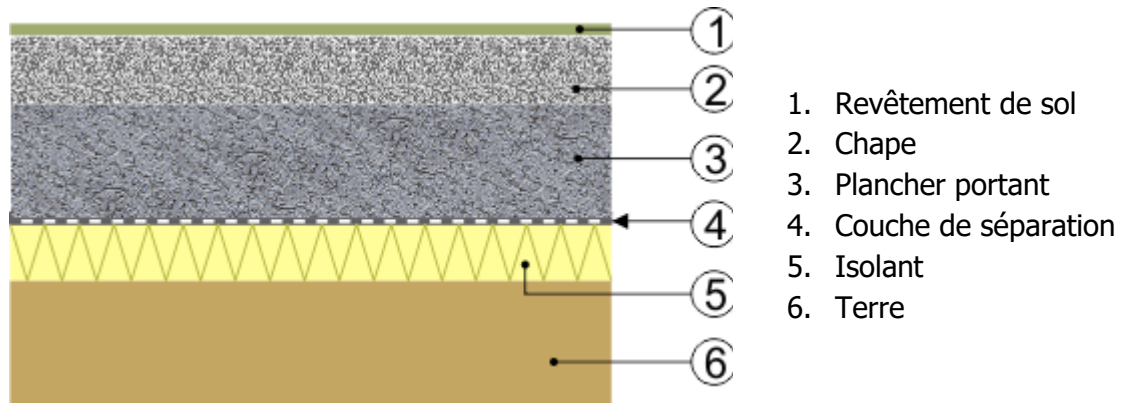
⇒ **Les planchers inférieurs**

➤ L'isolation sous le plancher sur sol

Principe technique

La pose de l'isolant sur la face extérieure des parois délimitant le volume protégé amène de nombreux avantages : continuité de l'isolant, maintien de la paroi à une température constante intérieure, moins de risque de condensation interne, meilleure inertie thermique, etc. C'est également le cas pour les planchers contre terre.

Schémas de principe

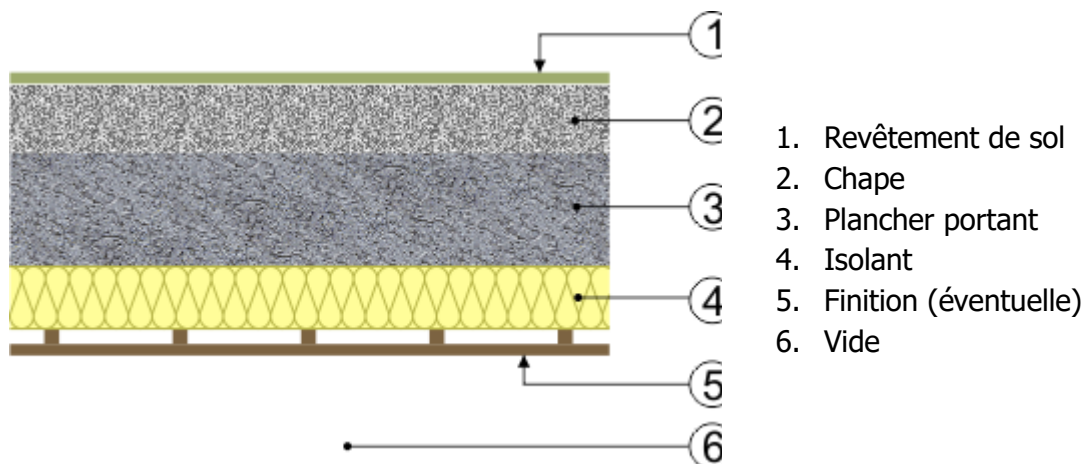


➤ L'isolation sous le plancher sur vide

Principe technique

La pose de l'isolant sur la face extérieure des parois délimitant volume protégé amène de nombreux avantages : continuité de l'isolant, maintien de la paroi à une température constante intérieure, moins de risque de condensation interne, meilleure inertie thermique, etc. C'est également le cas pour les planchers situés au-dessus du vide.

Schémas de principe

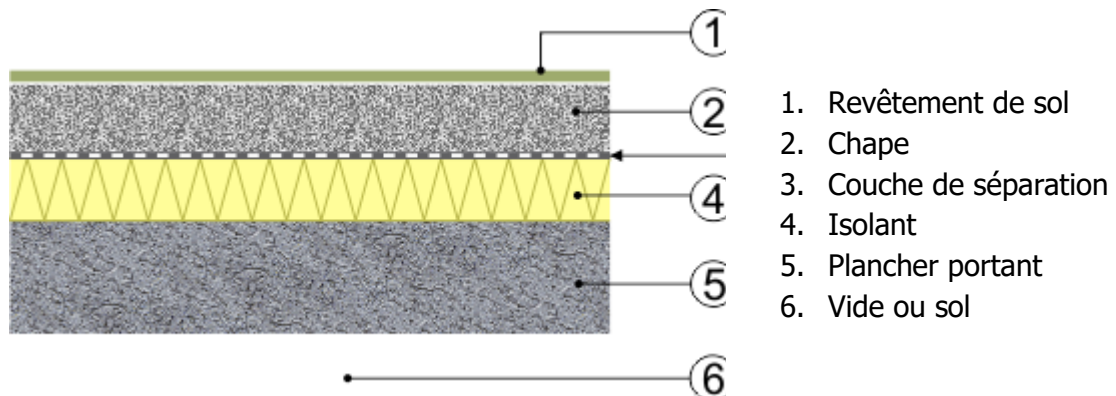


➤ L'isolation au-dessus du plancher support, sous l'aire de foulée

Principe technique

L'isolant est posé sur le support du plancher (béton armé, hourdis, ...). Sur l'isolant est posée l'aire de foulée (chape + finition, panneaux, ...). La chape peut être chauffante. C'est cette configuration qui peut s'appliquer tant pour les planchers sur sol que pour les planchers sur vide.

Schémas de principe



➤ L'isolation à l'intérieur de l'ossature d'un plancher inférieur

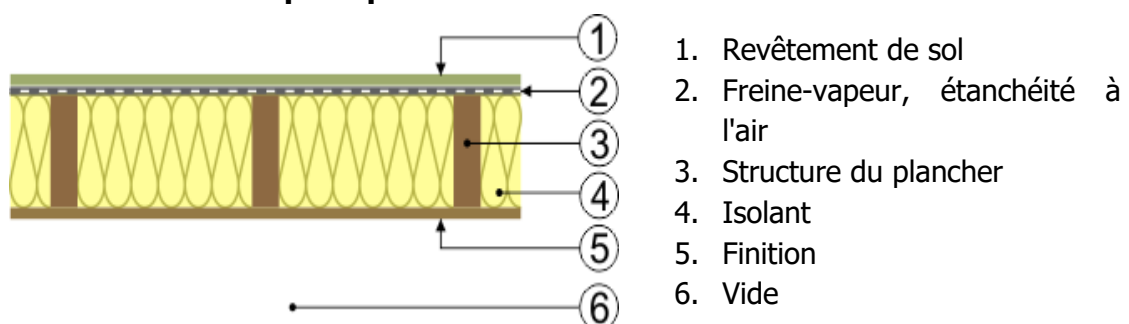
Principe technique

On profite de l'espace disponible entre les éléments de l'ossature pour poser un maximum d'isolant.

1. L'isolant peut être placé en matelas fabriqués en usine. Ceux-ci sont découpés à la forme des cavités présentes dans la paroi. La fermeture d'une des faces de ces cavités par des panneaux ou des membranes se fait avant la pose de l'isolant.
2. La pose de l'isolant peut également se faire par dépose de flocons ou de billes en vrac dans les cavités. Ce travail doit être confié à un entrepreneur spécialisé, car, pour que la pose soit correcte, il nécessite une bonne expérience et un outillage adapté. On évite ainsi que l'isolant soit insuffisamment ou trop tassé, voir mal réparti. La face inférieure du plancher est posée avant placement de l'isolant. La face supérieure est généralement posée lorsque l'isolant est en place.

Les isolants généralement utilisés seront suffisamment souples et élastiques pour assurer un calfeutrement parfait contre les éléments de structures. Ainsi des fibres organiques ou minérales conviennent parfaitement. On sera cependant très attentif à prévoir du côté intérieur (côté chaud de l'isolant) un freine-vapeur ou pare-vapeur adapté à l'hygroscopicité de l'isolant à la perméabilité à la vapeur de la finition extérieure et aux caractéristiques du climat intérieur. Cette protection indispensable fera également office de barrière d'étanchéité à l'air, point faible des parois à ossature.

Schémas de principe



Conclusion :

L'isolation thermique est essentielle pour améliorer l'efficacité énergétique, réduire les émissions de CO₂ et garantir le confort dans les bâtiments. Elle cible les déperditions de

chaleur (toitures, murs, planchers) et exige des matériaux adaptés : isolants écologiques (bois, cellulose, chanvre) sont privilégiés pour leur durabilité, malgré la performance des synthétiques (polystyrène, polyuréthane). Les techniques d'isolation (intérieure/extérieure) doivent être rigoureuses pour éviter condensation et désordres, avec une attention aux pare-vapeur. Une approche globale, combinant innovation technique et responsabilité environnementale, est clé pour des habitats durables, économes et résilients face aux défis climatiques.