

Caractérisation et calcul des isolants

La caractéristique des isolants et la connaissance de leur domaine d'application, nécessite la connaissance des trois modes de transmission de la chaleur :

- la **conduction** : c'est le mode de transmission dans les matériaux (dont les isolants)
- la **convection** : c'est la transmission de chaleur par les fluides (gaz, liquides) en mouvement
- le **rayonnement** : c'est la transmission par les rayons lumineux (notamment infra-rouges).

Ce document explicite ces divers modes de transmission de la chaleur et leur importance relative dans le cas de l'utilisation d'isolants. Il montre ensuite comment caractériser et comparer divers isolants thermiques.

La chaleur est transmise par conduction au travers de l'isolant thermique, du corps chaud (en été : les tuiles) vers le corps froid (les parois et l'air à l'intérieur des combles). La chaleur correspond à l'agitation thermique des atomes du corps chaud. Cette agitation se transmet progressivement du corps chaud vers l'isolant et le corps froid.

La **puissance calorifique W** (exprimée en watts), qui correspond à l'énergie transmise par unité de temps, est :

- proportionnelle à la différence de température ($T_c - T_f$) entre les 2 corps, chaud et froid
- proportionnelle à la surface S d'isolant qui transmet la chaleur
- inversement proportionnelle à l'épaisseur L de l'isolant
- proportionnelle au coefficient de conductivité thermique K qui caractérise l'isolant.

Ceci est résumé par la formule : **$W = K (T_c - T_f) S / L$**

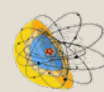
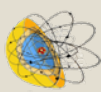
En première approximation on retiendra que les isolants classiques (laine de verre, laine de roche, polystyrène expansé...) ont un coefficient de conductivité K sensiblement identique de l'ordre de 0,04 Watt / degré et mètre ($W / ^\circ C \cdot m$)

La raison d'une identité si proche est que c'est essentiellement l'air emprisonné dans les fibres ou dans le matériau expansé qui assure l'isolation.

A partir de ce coefficient K on déduit qu'une surface de **1 m² d'isolant constitué par de la laine de verre d'épaisseur 5 cm, soumis entre ses deux faces à une différence de température de 40 degrés** (en hiver : + 20 degré intérieur et - 20 degré extérieur), transmet une puissance calorifique **$W = 0,04 * 40 * 1 / 0,05 = 32 \text{ watts}$ (pour 1 m²)**

Si dans la pièce, la surface isolée sous les tuiles est de 30 m², il faut prévoir en hiver des moyens de chauffage d'une puissance de $32 * 30 = 960$ watts (ajouter de la marge pour tenir compte des nombreuses imperfections de l'isolation et des autres murs).

En été si les tuiles atteignent 60 degrés et que l'intérieur de la pièce est à 20 degrés, il faudrait une puissance de refroidissement égale aussi à 960 watts pour assurer le maintien à 20 degré (prévoir une importante marge notamment pour les entrées directes de la chaleur du soleil par les fenêtres).



Si maintenant l'isolant mesure 20 cm d'épaisseur au lieu de 5 cm, les calculs précédents montrent que la puissance nécessaire est divisée par 4 soit 240 watts au lieu de 960 watts. On notera qu'il devient inutile à un moment d'augmenter encore l'épaisseur car les pertes parasites (par les ponts thermiques, poutres, chevrons...) prennent alors de plus en plus d'importance.

La chaleur est transmise par convection, lorsque l'énergie est transmise à un milieu qui se déplace tel que l'air qui se chauffe sur les tuiles et qui par courant d'air transmet la chaleur aux autres éléments de la pièce.

Ce mode de conduction est particulièrement important à prendre en compte pour les vitrages. C'est ainsi que l'on utilise du double vitrage avec une lame d'air d'épaisseur d'environ 2 cm qui assure (de manière optimale) un bon isolement tout en limitant au maximum les mouvements d'air pour réduire la convection. Malgré toutes les précautions prises les vitrages interviennent d'une manière prépondérante (autant que les murs qui ont une surface plus importante) dans la qualité d'isolation d'une maison.

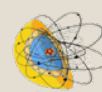
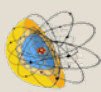
Ce mode d'isolation par lame d'air est aussi conseillé par certains fabricants d'isolants qui demandent de réaliser des cloisons emprisonnant de l'air pour accroître l'isolation. Il faut savoir que de telles lames d'air sont très difficiles à réaliser pour qu'elles soient efficaces : si elles sont trop épaisses des courants de convection vont venir limiter l'isolation, si elles ne sont pas totalement étanches ces courants seront encore accrus. Que l'on utilise ou non des isolants minces, de telles préconisations reviennent à emprisonner de l'air, ce qui peut avantageusement souvent être mieux fait par les isolants prévus à cet effet (et souvent de manière beaucoup moins coûteuse).

La chaleur est transmise par rayonnement, lorsque l'énergie est transportée sous forme de rayons lumineux visibles ou invisibles (essentiellement infra rouge). Ce rayonnement est transmis dans les milieux transparents tels que le vide, l'air, les vitrages Il est arrêté par les matériaux opaques dans lesquels l'énergie du rayonnement se transforme en agitation des atomes qui correspond à une élévation de température de ces matériaux.

Le soleil transmet son énergie (la chaleur) par rayonnement, dans le vide interstellaire, puis dans l'atmosphère ; le rayonnement traverse alors la fenêtre de toit avant de frapper le plancher des combles (matériel opaque) dont il fait monter la température. Par conduction et convection, l'air de la pièce est alors échauffé à partir de la chaleur du plancher.

Il faut savoir également que tout corps chaud émet un rayonnement. Lorsque la température augmente, cette émission s'accroît faiblement si la température du corps est proche de la température ambiante. Par contre, elle augmente dans de très grande proportion pour des températures élevées : c'est le cas d'un morceau de fer qui émet un rayonnement rouge puis blanc quand on le porte à haute température.

Ainsi une lampe halogène (filament porté à haute température) est un autre exemple de source qui transmet une grande partie de sa puissance par rayonnement.



L'émission de **puissance rayonnante** par un corps "noir" porté à une température T est définie par la loi de Stefan : **$W = \sigma \cdot S \cdot (T + 273)^4$**

σ est un coefficient égal à 57×10^{-9} watts / m² et degré⁴ (W / m² . °K⁴)

S est la surface du corps rayonnant

T est la température du corps exprimée en degrés centigrades

On notera que la quantité (T+273) est élevée à la puissance 4, ce qui explique pourquoi le rayonnement augmente considérablement lorsque les températures sont très élevées.

Pour avoir un ordre de grandeur majorant, on pourra considérer que les corps opaques (non brillants) se comportent comme des corps "noir". En fait ils émettent d'autant moins que leur couleur s'éloigne du noir pour aller vers le blanc, voire le brillant (réflecteur de la lumière).

Reprenons quelques calculs d'ordres de grandeur sur un exemple.

Supposons dans des combles non isolés, des tuiles portées à 50 degrés.

1 m² de tuiles émet dans les combles (vers le plancher) une puissance rayonnante

$$W = 57 \times 10^{-9} \times 1 \times (50 + 273)^4 = 620 \text{ watts}$$

Isolée ainsi, une telle puissance peut paraître considérable, mais il faut faire la part des choses.

En effet 1 m² de plancher (que l'on supposera à 35 degrés) rayonne lui même (vers les tuiles) avec une puissance : $W = 57 \times 10^{-9} \times 1 \times (35 + 273)^4 = 512 \text{ watts}$

Le transfert de chaleur par rayonnement calculé dans ces conditions est alors de :

$$620 - 512 = 108 \text{ watts/m}^2.$$

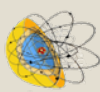
Il n'est donc pas étonnant de voir que dans des combles non isolés, la chaleur monte très rapidement et fortement d'autant plus que les transferts de chaleur par conduction et convection s'ajoutent à ce rayonnement.

Rayonnement dans des combles isolés

Considérons maintenant que les combles sont isolés sous les tuiles par quelques centimètres d'isolant classique (laine de verre, laine de roche, polystyrène expansé...) ou isolant mince. Bien que l'on aura pris soin de laisser une importante lame d'air entre les tuiles et l'isolant (pour éliminer l'humidité et ainsi éviter le pourrissement de la charpente, pour rafraîchir le toit...) les tuiles, moins rafraîchies que s'il n'y avait pas d'isolation, auront alors tendance à monter en température (éventuellement approcher 60 degrés).

Dans ce cas, la lame d'air comprise entre les tuiles et l'isolant amène la face externe de l'isolant presque à la température des tuiles principalement par conduction et convection. De ce fait le rayonnement émis par les tuiles est sensiblement le même que celui émis par la face externe de l'isolant. Ceci veut dire que la surface de l'isolant côté tuile atteint une température proche de celle des tuiles et qu'il n'y a pratiquement plus de transfert par rayonnement à considérer (la différence est quasiment annulée, sauf pour la part qui s'en va du côté de l'isolant).

Par le même raisonnement, la surface interne de l'isolant atteint une température très proche de celle du plancher (donc des combles). Ce raisonnement est simplifié car il ne tient pas compte des coefficients d'échange des parois, mais il constitue un bon ordre de grandeur.



Ceci montre que dès que l'on place sous toiture quelques centimètres d'isolant quel qu'il soit, **le rayonnement n'intervient pratiquement plus** et la conduction dans l'isolant thermique devient prépondérante. Les calculs effectués dans le paragraphe précédent relatif à la conduction sont alors ceux qui s'appliquent.

Comment utiliser les coefficients caractérisant les divers isolants thermiques ?

Le coefficient de conductivité thermique K défini ci-dessus est souvent appelé λ (lambda). Il caractérise l'aptitude d'un matériau à transférer la chaleur. Plus ce coefficient est faible, moins la chaleur est transmise, et plus l'isolant est de bonne qualité.

Lorsque vous achetez certains produits isolants, une étiquette indique un autre coef. R appelé "résistance thermique" qui tient compte du coefficient de conductivité thermique K (ou λ), mais aussi de l'épaisseur de l'isolant L .

$$R = L / K \text{ en m}^2 \cdot \text{degré} / \text{watt} \text{ (ou encore } R = L / \lambda \text{)}$$

Ce coefficient représente la capacité de ces produits à résister au transfert de chaleur. Plus la résistance thermique R est grande, meilleur est l'isolant. Ainsi si on double l'épaisseur du produit, sa résistance thermique est doublée.

A titre d'exemple, 20 cm de laine de verre correspondent à une résistance thermique $R = 0,2 / 0,04 = 5$, alors que 5 cm de laine de verre correspondent à $R = 0,05 / 0,04 = 1,25$. Vous pouvez en déduire que 20 cm de laine "résiste" 4 fois plus à la transmission de la chaleur que 5 cm du même produit. Si cela était évident dans cet exemple, ceci vous permet maintenant de comparer des produits différents.

Comment utiliser ce coefficient R ?

Si une surface S de produit isolant ayant un coefficient R est soumise à une différence de température ($T_2 - T_1$) entre les deux faces, la puissance calorifique transmise dans l'isolant est : $W = S (T_2 - T_1) / R$

A titre d'exemple, 1 m² de produit isolant ayant une résistance thermique $R = 5$, soumis à une différence de température de 40 degrés entre ses deux faces, transmet une puissance calorifique de : $W = 1 \times 40 / 5 = 8$ watts

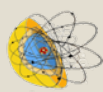
Vous voilà parés pour lire les étiquettes sur les isolants thermiques et comprendre à quoi cela correspond.

Vous pourrez aussi comparer les divers isolants en fonction des caractéristiques annoncées, en conservant votre esprit critique et en fonction de vos souhaits, par exemple sur les sites suivants :

<http://mobgestel.free.fr/pages/choix/isolants/isolants.htm>

<http://www.iso-techna.fr/pages/comparatif.php>

Conseil important : Attention aux produits qui n'affichent pas (sur le produit lui-même ou dans une notice) le coefficient de résistance thermique R (à l'exclusion de toute autre appellation même ressemblante) et/ou le coefficient de conductivité thermique λ . S'ils l'affichent, comparez-le à celui d'un isolant que vous connaissez. (attention au prix) Si on vous indique que le rayonnement est important dans une habitation, relisez le paragraphe précédent relatif au "rayonnement dans les combles isolés". Attention aux équivalences (attention à vos conditions d'utilisation).



Résumé : Isolants - Conductivité et résistance thermique

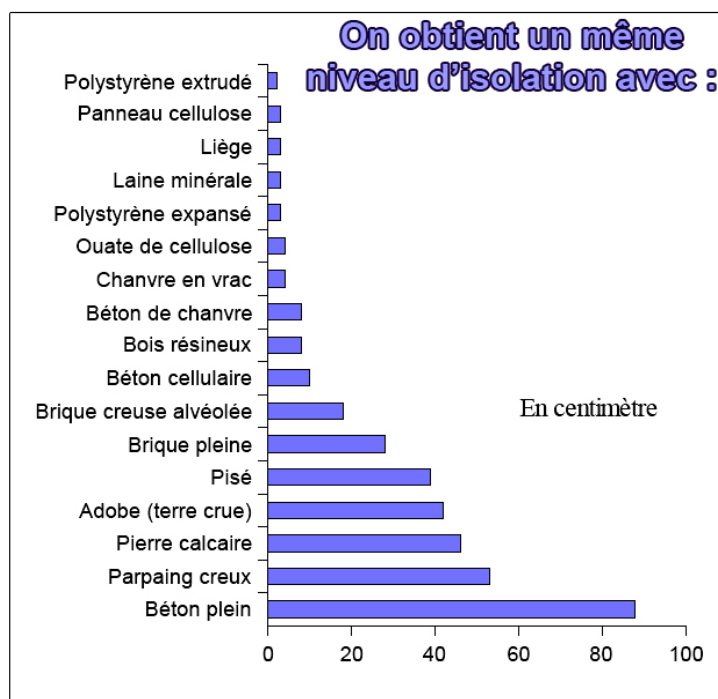
On évalue le **pouvoir isolant** d'un matériau par :

- sa **conductivité thermique** : le coefficient Lambda qui exprime la quantité de chaleur traversant en 1 seconde 1 mètre de matériaux homogène pour un écart de température de 1°C entre ses deux faces. Le coefficient Lambda s'exprime en W/m.°C. Plus sa valeur est petite, plus le matériau est isolant. Quelques chiffres indicatifs :

	Lambda /m,°C		Lambda /m,°C
polyuréthane	0,025 W	vermiculite exfolié	0,05 à 0,07 w
polystyrène extrudé	0,03 W	chanvre en vrac	0,05 à 0,07 w
Laine de verre	0,034 à 0,056 w	brique de chanvre	0,12 w
Laine de lin	0,035 à 0,038 w	brique monomur	0,11 à 0,18 w
Ouate de cellulose	0,035 à 0,040 w	bois	0,12 à 0,23 w
Laine de roche	0,038 à 0,047 w	béton cellulaire	0,16 à 0,24 w
Laine de chanvre	0,04 w	blocs de terre comprimée	1,05 w
Polystyrène expansé	0,04 w	brique de terre crue	1,1 w
Perlite exfoliée	0,05 w	brique de terre cuite	1,15 w
Laine de coco	0,05 w	béton plein	1,75 w
liège expansé	0,05 w	Pierre lourde	2,1 à 3,5 w
panneaux de fibre de bois	0,05 w	acier	52 w

- Sa **résistance thermique** : le coefficient R

La qualité isolante d'une paroi est mesurée par résistance thermique R. Si la paroi est constituée d'un seul matériau, on a la relation $R = \text{épaisseur} / \text{lambda}$. Si la paroi est multiple, le calcul est plus compliqué. R est exprimé en $\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$. Ces coefficients caractérisent le pouvoir isolant de tel ou tel matériau. Le graphique ci-contre montre quels sont les plus efficaces. Attention toutefois à garder une approche globale dans le choix des matériaux. En effet, un produit comme le polystyrène peut séduire à la seule vue de ce graphique. Toutefois, il ne faut pas oublier que c'est un matériaux qui consomme beaucoup d'énergie tout au long de son cycle de vie, qu'il peut se révéler dangereux pour la santé, qu'il se dégrade rapidement et enfin qu'il s'agit d'un très mauvais isolant phonique. Cela donne à réfléchir...



Classement des isolants par rapport au feu (élément à prendre en compte) :

M0 incombustible

M2 difficilement inflammable

M4 facilement inflammable

M1 non inflammable

M3 moyennement inflammable