

La thermique du bâtiment

[Retour](#)



Préambule :

Ce cours réalisé avec l'appui de **Marc Delorme**, thermicien à **Inter Forêt Bois 42**, a pour objectif de présenter la problématique de la thermique du bâtiment et de ses implications.

Suite au **Grenelle de l'environnement**, ce cours devient un point très important de votre formation. Vous serez amenés tout au long de votre carrière professionnelle à retravailler la thermique pour affiner vos connaissances et améliorer votre maîtrise de cette problématique.

Pour bien relativiser l'importance du cours qui va suivre, vous devez comprendre que c'est en fonction de la performance thermique désirée que vous serez amenés à déterminer vos parois d'ossature et non l'inverse.

Il est à noter qu'à la rédaction de ce cours, 50% des malfaçons dans le bâtiment concernent le constructif bois mais le constructif bois ne représente que 5 à 7% du bâtiment. Il est donc urgent de parvenir à maîtriser cette problématique.



Problématique

a - Les crises énergétiques

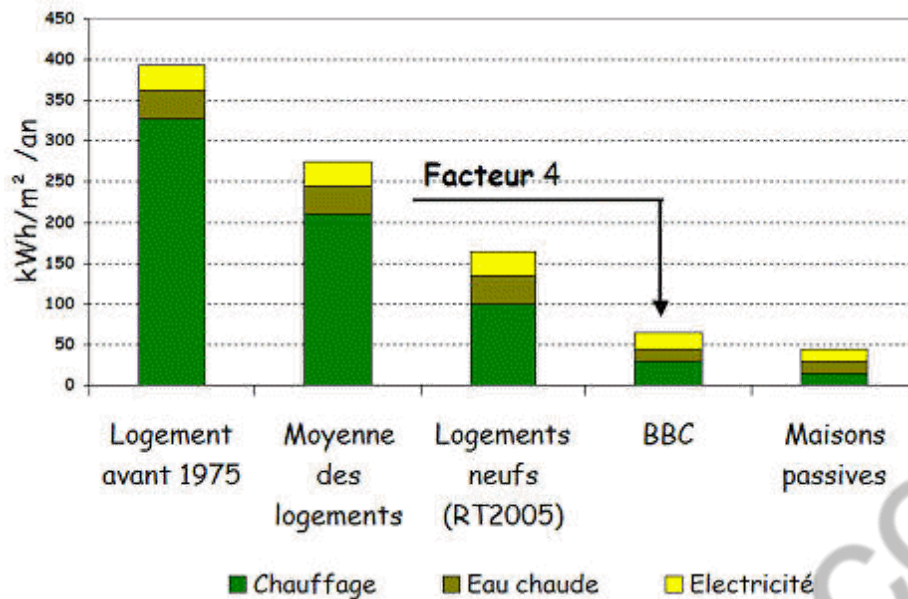
Plus de trente ans après le premier choc pétrolier, les perspectives d'une crise énergétique se profilent de nouveau à l'horizon, les gisements d'énergies fossiles se raréfient et les coûts des énergies augmentent. Les économies d'énergie sont de nouveau au cœur de l'actualité et des préoccupations.

À cet enjeu énergétique s'ajoute l'enjeu environnemental, on constate que les climats à la surface de la Terre sont bouleversés sous l'effet d'une accumulation excessive de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

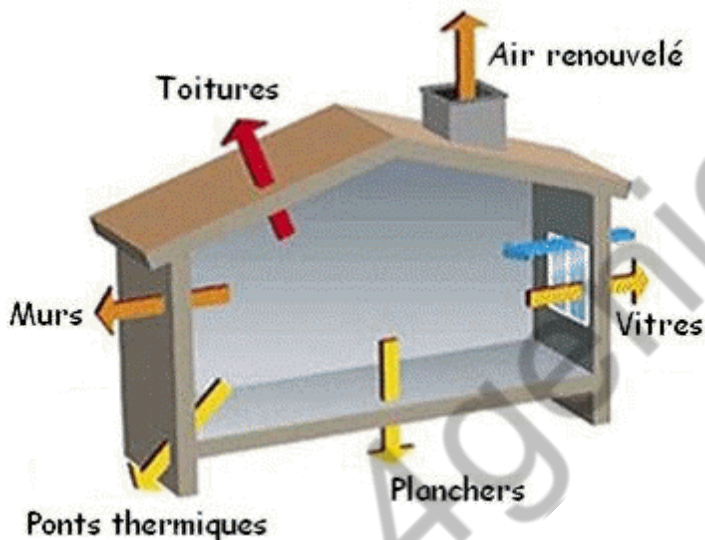
Le bâtiment est au cœur de cette problématique énergétique et environnementale. En Europe, ce secteur représente environ la moitié de la consommation énergétique totale (dont 60 % pour le chauffage et la climatisation) et des rejets de CO_2 . On peut dès maintenant mettre en œuvre des solutions pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de CO_2 . La division par quatre de ces émissions est d'ores et déjà techniquement faisable et économiquement viable.

Une condition incontournable de réussite réside dans la **conception** du bâtiment et dans la **qualité de son enveloppe** pour réduire le besoin de chauffage.

b - D'où part-on, où va-t-on ?



c - Les déperditions à travers l'enveloppe du bâtiment

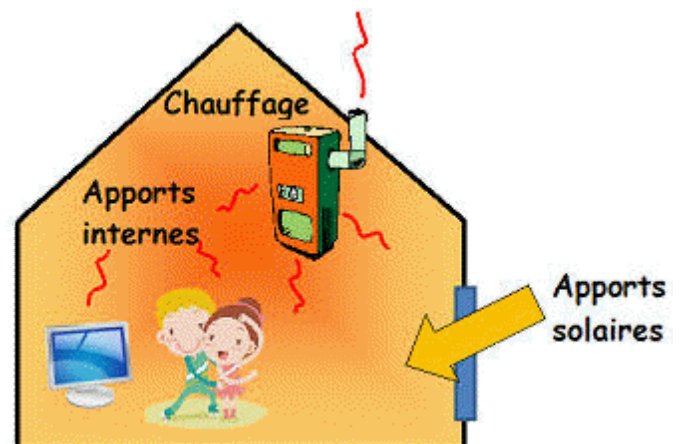


Comme on peut le voir sur ce schéma, les déperditions à travers l'enveloppe d'un bâtiment se situent à tous les niveaux. Il sera donc important d'en tenir compte à chaque instant de la conception.

d - Les apports d'énergie dans le bâtiment

Apports intérieurs : le chauffage est une source importante des apports intérieurs, on prendra un soin tout particulier au rendement énergétique du système de chauffage. La respiration et le rayonnement humains, l'électroménager et le multimédia sont aussi des sources potentielles d'apport énergétique.

Apport extérieur : le rayonnement solaire est une source importante d'apport énergétique. Les choix de l'orientation et des menuiseries deviennent primordiales dans la dynamique énergétique.



Quelques définitions

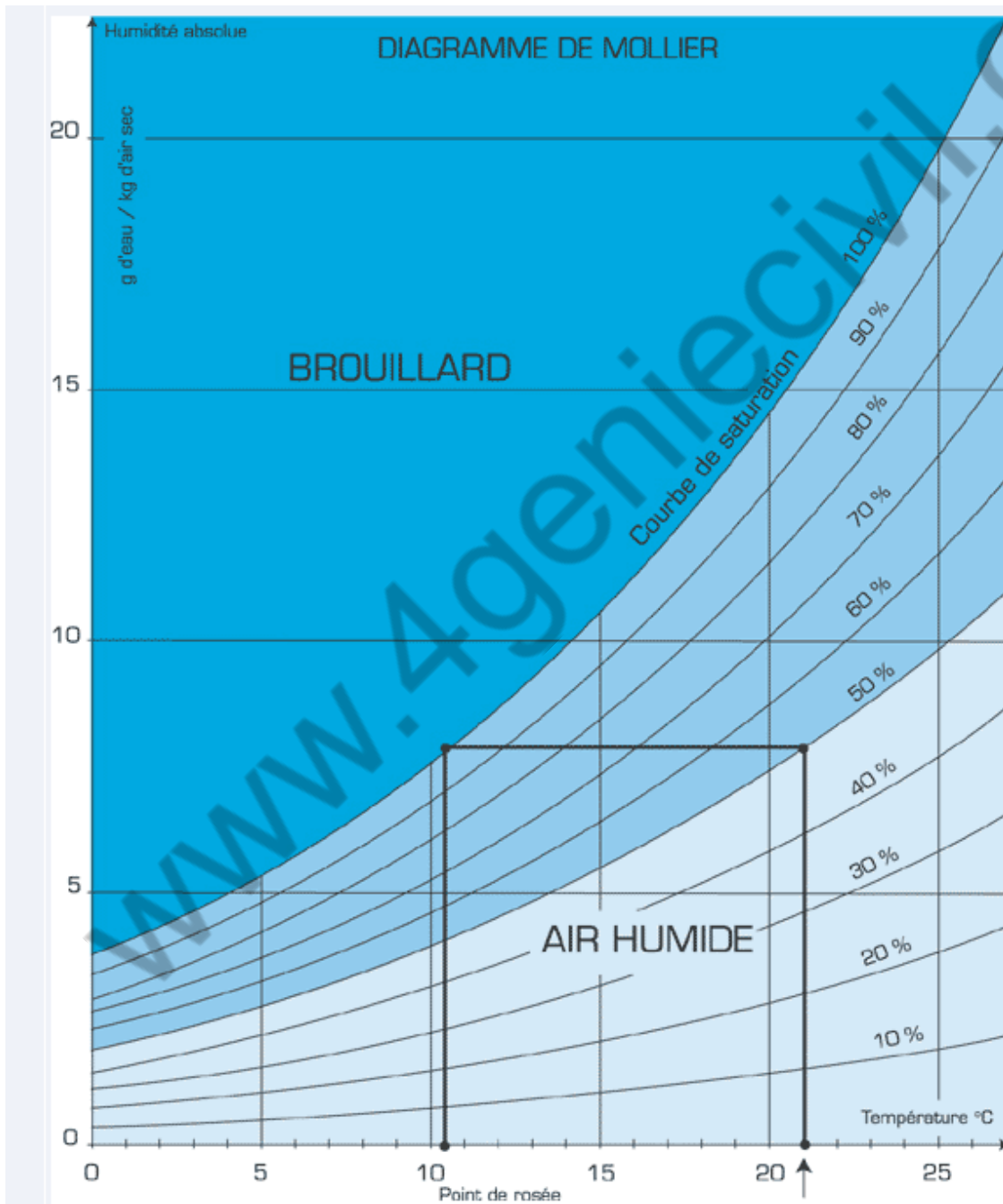
a - La température

La température d'un système est une fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules, c'est-à-dire de son énergie thermique. Elle est définie par l'équilibre de transfert de chaleur avec d'autres systèmes.

Par exemple, quand l'agitation est faible, l'objet est froid au toucher. Cette sensation est due à un transfert de chaleur des doigts vers l'objet. Elle se mesure au moyen d'un thermomètre

b - Degrés Celsius / Kelvin

Un degré Celsius ou un Kelvin représente la même quantité de chaleur. Le zéro des degrés Celsius correspond au point de congélation de l'eau. Le zéro des Kelvins représente la valeur de la température la plus basse possible, c'est à dire le zéro absolu. L'échelle des Kelvins démarre au zéro absolu et se trouve décalée vers le bas d'environ 273 unités par rapport à l'échelle des degrés Celsius.



Depuis 1967, on ne parle plus de degré Kelvin mais de **Kelvin** seulement.

Courbe saturation de l'eau dans l'air

[Annexes](#)

c - La thermique

La thermique est la partie de la science qui traite de la production d'énergie, de l'utilisation de l'énergie pour la production de chaleur ou de froid. C'est le mode de transfert de chaleur provoqué par une différence de température. La température d'un système est une fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules. Un thermicien est un spécialiste de la thermique.

d - Distinction énergie / puissance

Il faut distinguer l'**énergie** qui caractérise la capacité à produire des actions, à modifier la température d'un corps ou à transformer la matière et qui se mesure en kWh de la **puissance** qui est l'énergie fournie à un système par un autre par **unité de temps** qui elle se mesure en kW.

e - Energie / consommation d'énergie

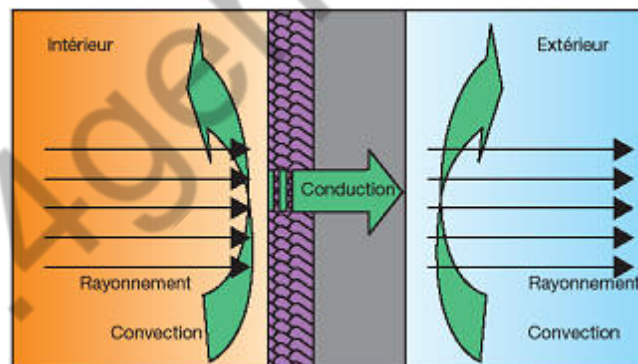
Dans la thermique du bâtiment, la période de consommation d'énergie est généralement l'année. La quantité d'énergie consommée est mesurée en kWh. On peut ramener cette mesure à la combustion de X kg ou X m³ de combustible.

• Quelques ordres de grandeur à retenir :

- 1 litre de fuel ↔ 10 kWh
- 1 m³ de gaz naturel ↔ 10 kWh
- 1 kg de bois sec ↔ 4,5 kWh



Différents modes de transfert d'énergie thermique



a - Le rayonnement thermique

Un corps chauffé émet de l'énergie sous forme de rayonnement électro-magnétique. Une des particularités de ce **rayonnement** dit "**thermique**" est qu'il peut se propager dans le vide. Le rayonnement est caractérisé par une densité d'énergie et un spectre (répartition de l'énergie suivant la longueur d'onde). Le rayonnement thermique se déplace vers les courtes longueurs d'ondes quand la température du corps augmente. C'est le cas de l'acier dont la variation de température est visible à l'œil. Il peut suivant la température bleuir en usinage (300°), rougir lors d'un traitement thermique (700°), jaunir vers 1100° et blanchir avant la fusion (1500°).

b - La conduction thermique

La conduction thermique est le mode de transfert de chaleur provoqué par une différence de température. La température d'un système est une fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules. C'est le mode de

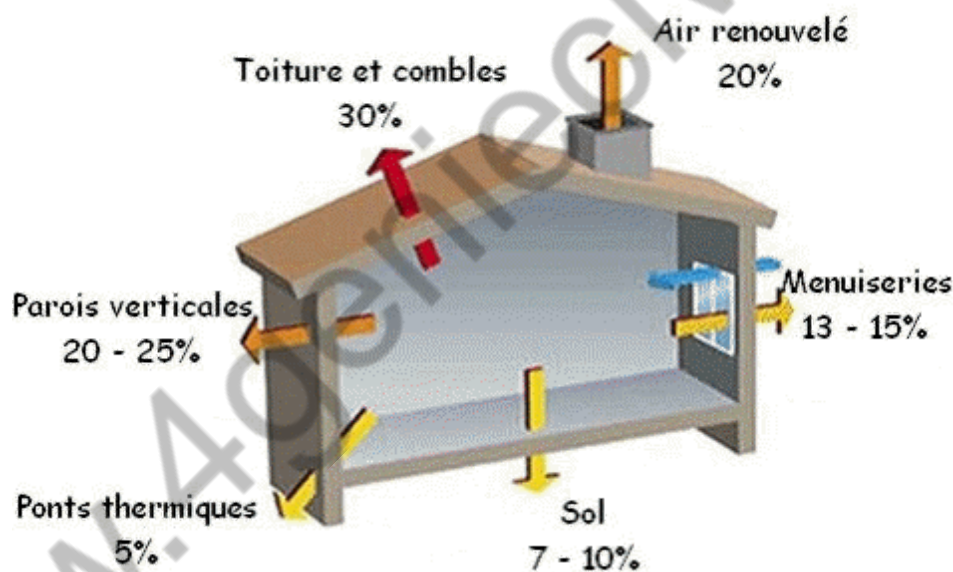
transfert de chaleur provoqué par une différence de température entre deux régions d'un même milieu ou entre deux milieux en contact sans déplacement. C'est l'agitation thermique qui se transmet de proche en proche, une molécule ou un atome cédant une partie de son énergie cinétique à son voisin et ainsi de suite. Au niveau microscopique, on retiendra comme image que plus la température du corps est élevée, plus l'agitation thermique responsable de l'émission est élevée.

c - La convection thermique

La convection implique le transport de la chaleur par une partie d'un fluide qui se mélange avec une autre partie. La convection concerne exclusivement les fluides (gaz ou liquides) et prend sa source dans un transport macroscopique de matière. Il y a convection lorsque l'on chauffe une casserole d'eau. La variation thermique verticale est croissante vers le bas, le point chaud est en bas le point froid est en haut. La masse volumique du fluide situé en bas s'abaisse (car celui-ci est plus chaud) et le fluide s'élève pour être remplacé par du fluide plus lourd situé plus haut. La convection tente de s'opposer à la variation thermique par un mouvement de fluide. Si l'on chauffe par le haut, le fluide chaud se situe au dessus du fluide froid et la convection est annihilée.

Performance énergétique d'un bâtiment

a - Quantification des principales déperditions énergétiques



b - Les combles et la toiture

Les combles et la toiture constituent la 1ère zone de perte de chaleur ($\approx 30\%$) et doivent être isolés en priorité, l'air chaud monte et si la toiture ou les combles sont mal isolés, les pertes énergétiques sont importantes.

De plus l'isolation des combles et des toits est souvent assez simple à réaliser notamment si elle peut se faire par les combles, ce qui est le cas le plus fréquent.

c - Les parois verticales : le mur manteau

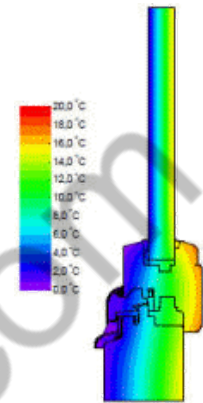
Pour éviter au maximum les déperditions de chaleur, il est important que les murs soient bien isolés jusqu'à 25% des pertes de chaleur peuvent s'échapper par les murs. Après le toit, les murs sont la deuxième source de perte de chaleur ($\approx 20-25\%$). Les murs exposés vers le Nord sont prioritaires car peu ensoleillés. Les murs exposés vers l'Ouest nécessitent également une protection contre l'humidité car ils sont fortement victimes de pluie.

Le mur manteau consiste à envelopper la structure verticale d'un bâtiment par un isolant placé en continu à l'extérieur. De cette façon, les ponts thermiques sont supprimés au droit des planchers d'étage, néanmoins la gestion des ponts thermiques au niveau des sols et des raccords de toitures restent des points sensibles.

d - Les menuiseries extérieures



Environ 13 à 15 % de la chaleur s'échappe d'une fenêtre peu ou mal isolée. Isoler les fenêtres est une priorité économique et écologique. La qualité de la structure de la menuiserie est très importante, une fenêtre bas de gamme finit par mal fermer et mal isoler. Le choix du matériau est moins déterminant sur des menuiseries de qualité, le PVC, le bois ou l'aluminium sont très répandus.



e - Les ponts thermiques

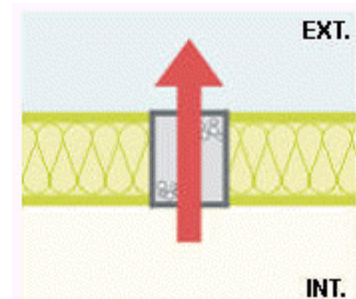
Il s'agit d'une discontinuité dans l'isolation qui est due à la structure du bâtiment et qui peut représenter jusqu'à 5 à 7% des déperditions. Les ponts thermiques sont des points faibles dans l'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment. A ces endroits, en hiver, la température superficielle de l'enveloppe est plus basse que celle des surfaces environnantes.

Les ponts thermiques découlent, en général de contraintes constructives et géométriques, ils vont provoquer des dépenses énergétiques, un inconfort sur le plan de l'hygiène et une détérioration progressive des matériaux.

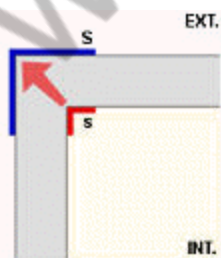
· Contraintes constructives

Les matériaux isolants ont généralement des capacités limitées en matière de résistance aux contraintes mécaniques. Le principe de la continuité de la couche isolante n'a pas été respecté, ou n'a pu l'être dans certains cas, à certains endroits.

Il s'agit par exemple d'ancrages ou d'appuis entre d'éléments situés de part et d'autre de la couche isolante de la paroi. L'isolant étant localement absent, le flux de chaleur est sensiblement plus dense dans ces parties de la paroi.



· Contraintes géométriques



Ce type de pont thermique est dû à la forme de l'enveloppe. A cet endroit, la surface de la face extérieure est beaucoup plus grande que la surface de la face intérieure. La surface chauffée (intérieure) est plus petite que la surface de refroidissement (extérieure).

f - Le sol

Environ 7 à 10% des pertes de chaleur peuvent s'effectuer par le sol. Un revêtement (plancher, moquette) est déjà un isolant, mais il ne suffit pas. Il est nécessaire d'isoler en fonction du type de sol.

La meilleure solution est de créer un vide sanitaire de 20 à 50 cm de hauteur entre votre sol et la terre ventilé sous les sols. C'est une bonne solution pour isoler parfaitement et éviter les éventuels problèmes d'humidité (écoulements d'eau, etc.).

Le vide sanitaire permet de prévenir bon nombre de problèmes d'humidité (écoulement d'eau etc.). Cependant, il est impératif de bien le ventiler. Dans ce cas l'isolant doit être posé sous le sol.

Dans le cas d'une dalle sans vide sanitaire,

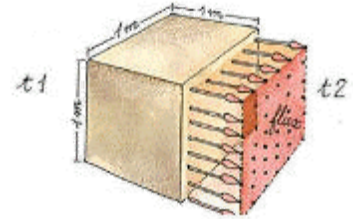
g - Le renouvellement de l'air

Le renouvellement de l'air doit être suffisant du point de vue de l'hygiène, mais il doit être le plus réduit possible pour éviter les déperdition énergétique dues à l'air chaud. Pour ce on privilégiera les ventilations à double flux d'air qui sont munies d'un échangeur thermique air/air.

Calcul du bilan énergétique d'un bâtiment

a - La conductivité thermique : λ

La conductivité thermique λ (lambda) est la puissance (en Watts) qui traverse 1 m^2 de paroi sur 1 mètre d'épaisseur, lorsqu'elle est soumise à une différence de température de 1°C . Elle se mesure en $\text{W/m}^\circ\text{C}$



· Loi de Fourier

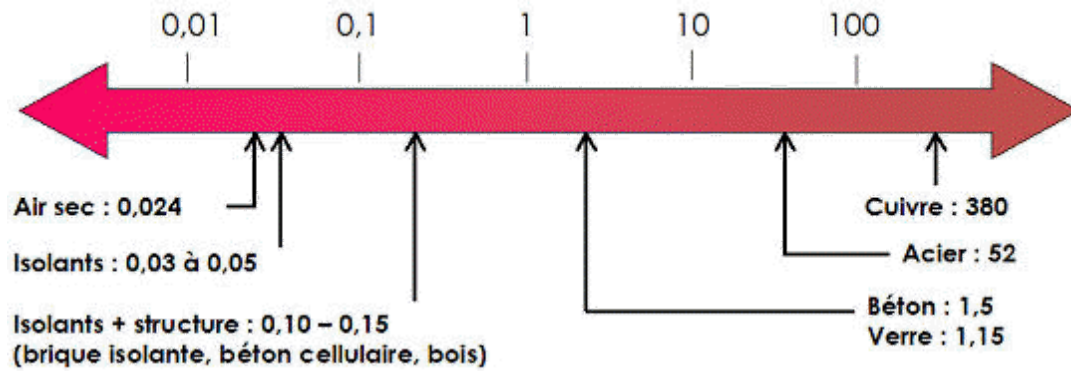
Le transfert de chaleur spontané d'une région de température élevée vers une région de température plus basse obéit à la loi dite de Fourier. La densité de flux de chaleur est proportionnelle au gradient (variation) de température.

$$\varphi = -\lambda \frac{\delta T}{\delta x}$$

La constante de proportionnalité est la conductivité thermique λ . C'est une grandeur physique intrinsèque d'un matériau caractérisant son comportement. Elle est toujours positive et c'est une caractéristique indépendante de l'épaisseur du matériau.

Avec les unités du système international, la conductivité thermique λ s'exprime en $\text{J.m}^{-1}.\text{K}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ou, soit des W/m.K .

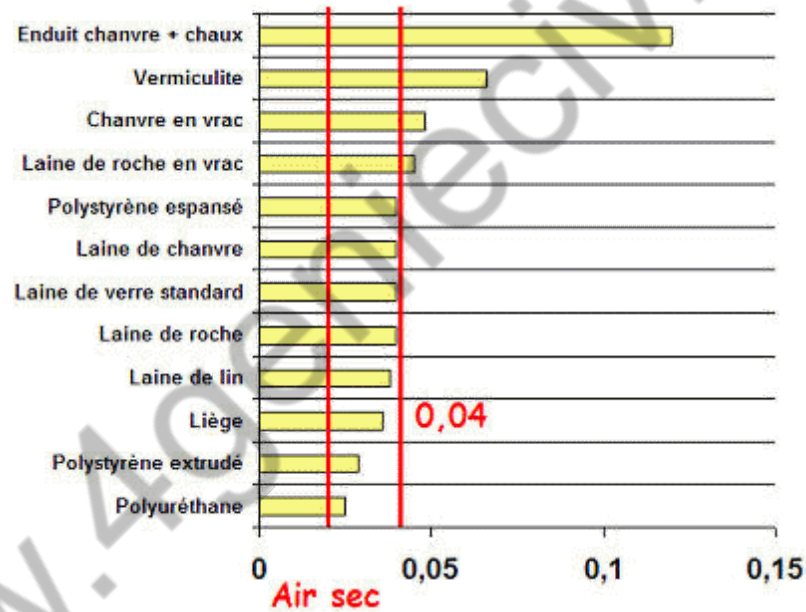
· Ordres de grandeur



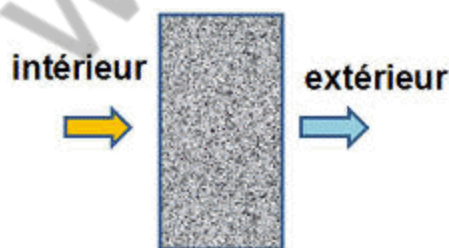
Remarques :

- L'air est un très bon isolant mais à condition d'être immobilisé. L'air en mouvement évacue la chaleur.
- Il y a un rapport
 - de 1 à 10 entre la conductivité thermique du bois et celle du béton.
 - de 1 à 37 entre la conductivité thermique d'un isolant et celle du béton,
 - de 1 à 1300 entre la conductivité thermique d'un isolant et celle de l'acier,

· Quelques exemples choisis de conductivité thermique



b - La résistance thermique : R



La capacité d'un matériau à résister au froid et au chaud est appelée « résistance thermique » ou R. Cet indicateur exprime la capacité d'un matériau à résister au froid et au chaud. **Plus R est élevé, plus le produit est isolant.**

Exprimé en $m^2.K/W$, l'indice R s'obtient par le rapport de l'épaisseur en mètres sur la conductivité thermique du matériau.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

épaisseur
conductivité

R évalue la conductivité du matériau pour une épaisseur donnée.



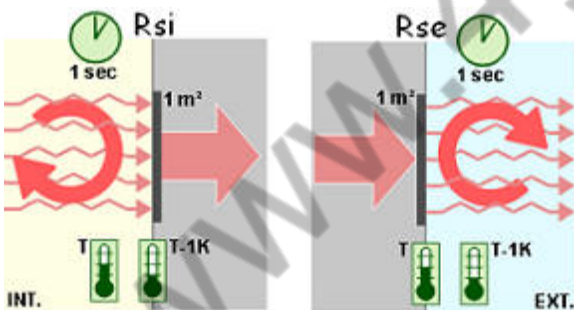
Le nouveau refuge du goûter à 3885 mètres d'altitude au dessous du Mont-Blanc est construit en ossature bois. Avec des vents pouvant aller jusqu'à 150 km/heure et des températures pouvant atteindre les -40° l'épaisseur d'isolation nécessaire pour résister est de l'ordre de 50 cm.

Attention, dans la pratique on ne peut pas se contenter de comparer les résistances thermiques des différents matériaux, car les R sont donnés pour une épaisseur égale.

Or ce que nous dit le R, c'est que justement, vous n'aurez pas besoin de la même épaisseur de brique que de laine de verre. Un mur de brique de 30 cm d'épaisseur a la même résistance thermique que 1 cm de laine de verre.

c - La résistance thermique d'échange superficiel (Rsi et Rse)

La transmission de la chaleur de l'air ambiant à une paroi et vice versa se fait à la fois par rayonnement et par convection.



h_i , le coefficient d'échange thermique superficiel entre une ambiance intérieure et une paroi est la somme des quantités de chaleur transmise entre une ambiance intérieure et la face intérieure d'une paroi, par convection et par rayonnement, par unité de temps, par unité de surface de la paroi et pour un écart de 1 K entre la température de la résultante sèche de l'ambiance et la température de surface.

h_i s'exprime en W/m^2K et R_{si} , la résistance thermique d'échange d'une surface intérieure est égale à l'inverse du coefficient d'échange thermique de surface intérieure h_i .

$$R_{si} = 1/h_i \text{ et de la même façon on détermine } R_{se} = 1/h_e$$

· Quelques exemples de résistance thermique d'échange superficiel

Valeurs de R_i et R_e		R_{si}	R_{se}	$R_{si}+R_{se}$
		m^2K/W	m^2K/W	

Paroi verticale flux de chaleur horizontal	0,13	0,04	0.17
Paroi horizontale flux de chaleur vers le haut	0,10	0,04	0.14
Paroi horizontale flux de chaleur vers le bas	0,17	0,04	0.21

d - Résistance thermique totale : R_t



La résistance thermique totale est égale à la somme des résistances des parois et des résistances superficielles.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se}$$

e - Coefficient de déperdition thermique : U_p

La déperdition thermique surfacique d'une paroi représente l'inverse de la résistance thermique totale.

$$U_p = 1 / R_t.$$

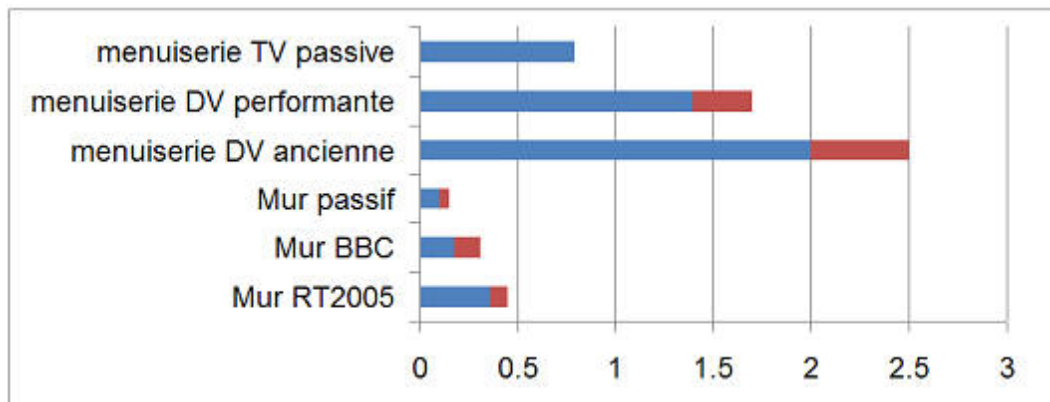
U_p est le symbole de la déperdition thermique surfacique d'une paroi. C'est la puissance qui traverse 1m^2 de surface pour une différence de température de 1°C entre l'intérieur et l'extérieur ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$).

Elle se mesure en prenant en compte la résistance thermique de la paroi et la somme des résistances superficielles intérieures et extérieures.

U_p s'exprime en $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Plus la déperdition thermique U_p est faible, plus la paroi est performante thermiquement.

Les déperditions par transmission sont proportionnelles au coefficient U_p , diviser U_p par 2 divise par 2 les déperditions.

· Quelques exemples :



f - Le degré jour / degré jour unifié

Pour un lieu donné, le **degré jour (DJ)** est une valeur représentative de l'écart entre la température d'une journée donnée et un seuil de température préétabli.

Il sert à évaluer les dépenses en énergie pour le chauffage ou la climatisation. Les cumuls de degrés jour s'obtiennent de façon simple en additionnant les degrés jour quotidiens, sur la période de cumul souhaitée : semaine, mois ou période quelconque. La définition des Degrés Jours la plus simple est celle du **Costic** (Centre d'Etude et de Formation Génie Climatique):

"Pour un lieu donné , le Degré Jour est une valeur représentative de l'écart entre la température d'une journée donnée et un seuil de température préétabli."

$$\text{Degré jour} = 18 - (T_{\text{moyen}})$$

On utilise les **degrés-jours-unifiés (DJU)** pour calculer les consommations de chauffage d'une année sur l'autre ce qui permet de connaître le degré de sévérité d'un hiver dans un lieu donné et de réaliser des estimations de consommations d'énergie thermique en proportion de la rigueur de l'hiver. Les DJU sont additionnés sur une période de chauffe de 232 jours allant du 1^{er} octobre au 20 mai. Les degrés-jours sont calculés à partir de relevés de températures extérieures établies par **Météo France** sous forme de bases de donnée annuelle ou trentenaire généralement sur une base de 18°C (d'où l'appellation DJU-base 18).

$$\text{DJU} = \text{DJU}_{18} = \sum (18 - \text{température moyenne})$$

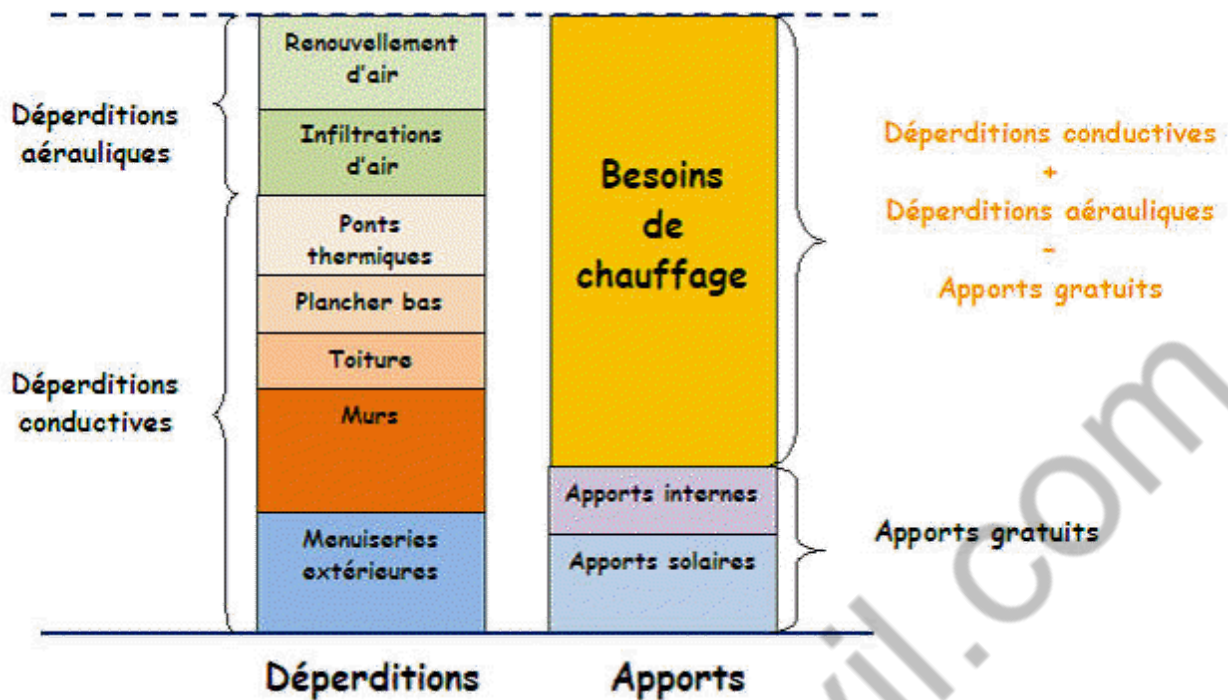
Lorsque la température moyenne du jour est supérieure ou égale à 18°C, l'écart est compté comme nul.

En France, le total annuel moyen va de 1400 DJU pour la côte Corse à 3800 DJU dans le Jura. Pour un hiver de rigueur moyenne le nombre de DJU se situe entre 2000 et 3000 pour la majeure partie du territoire métropolitain.

Exemples : à Saint Etienne à une altitude de 500 m les DJU = 2900 degrés jours. L'augmentation des degrés-jours est d'environ 125 pour 100 m de dénivelé.

g - Bilan thermique d'un bâtiment

· Besoin de chauffage

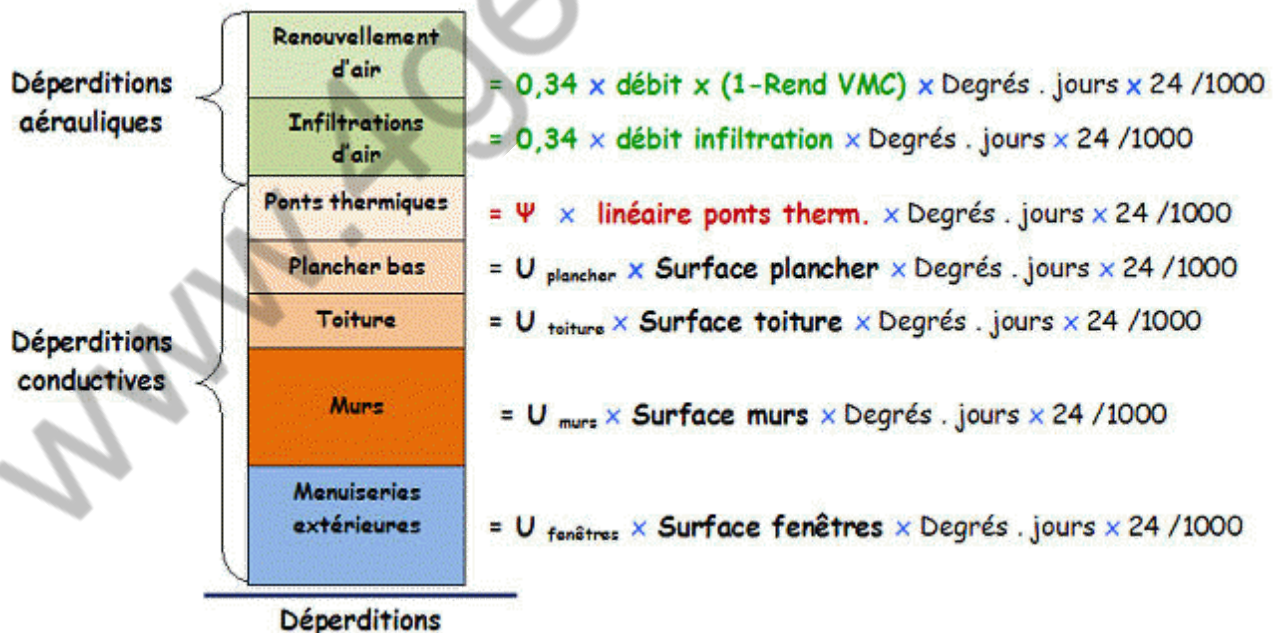


Remarque, le total des déperditions est égal au total des apports.

- Consommation de chauffage

La consommation pour les besoins de chauffage dépendra du rendement du système de chauffage.

- Déperditions sur une période (énergie)



TOP

