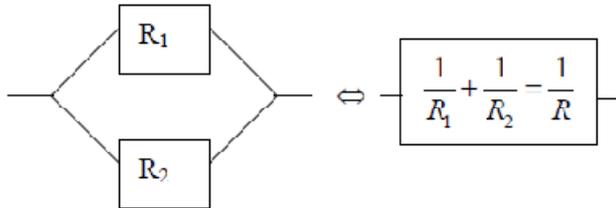


$$\frac{1}{r_1} \cdot S_1 + \frac{1}{r_2} \cdot S_2 = \frac{1}{r} \cdot S \Leftrightarrow \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R}$$

résistance thermique: R

résistance thermique surfacique: r

Analogie électrique:



Coefficient de transmission thermique

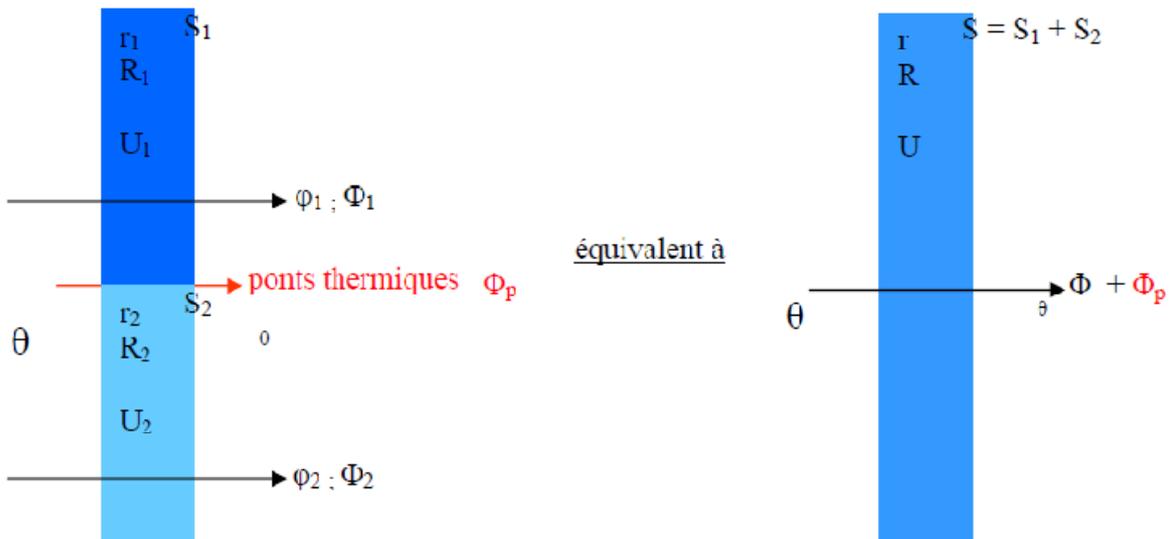
$$U = \frac{U_1 \cdot S_1 + U_2 \cdot S_2}{S_1 + S_2}$$

$$U = \frac{\sum_{j=1}^m U_j \cdot S_j}{\sum_{j=1}^m S_j} \quad (U_{\text{moyen}})$$

4. Ponts thermiques

Parties de paroi offrant une **moindre résistance thermique**

Exemples : poteau en béton, profilé de soutien de plaques de plafond.



Ponts thermiques :

1. Ponts thermiques linéiques : ...au niveau des jonctions entre éléments différents.

ψ : coefficient de transmission linéique ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

ℓ : longueur des liaisons (m)

2. Ponts thermiques ponctuels

χ : coefficient de transmission ponctuel (W.K^{-1})

$$\Phi_p = (\psi \cdot \ell + \chi) \cdot \Delta\theta$$

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

$$\Phi' = \Phi + \Phi_p = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_p$$

$$U_1 \cdot S_1 \cdot \Delta\theta + U_2 \cdot S_2 \cdot \Delta\theta + (\psi \cdot \ell + \chi) \cdot \Delta\theta = U' \cdot S \cdot \Delta\theta$$

$$U_1 \cdot S_1 + U_2 \cdot S_2 + (\psi \cdot \ell + \chi) = U' \cdot S$$

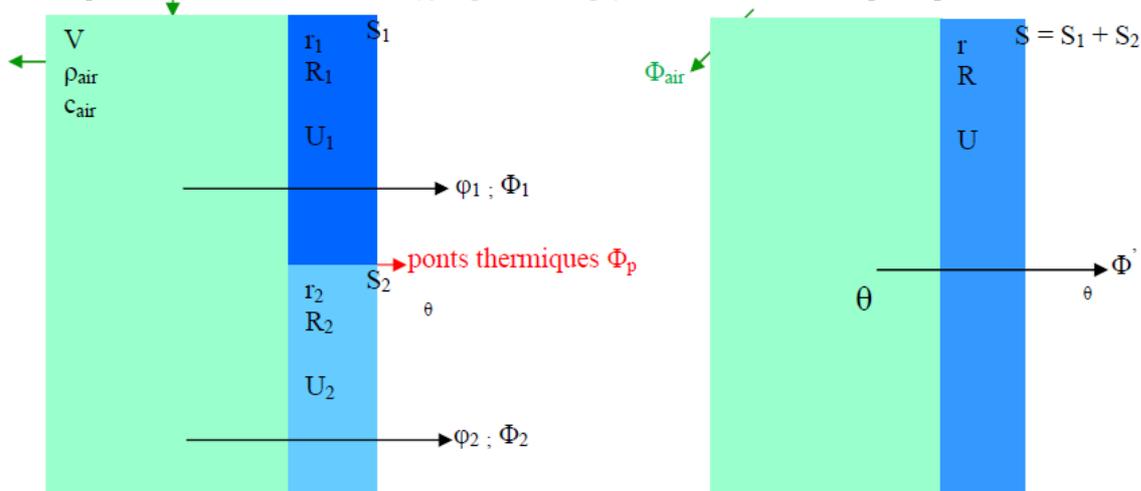
Coefficient de transmission thermique global : $U_{\text{bât}}$

$$U' = \frac{U_1 \cdot S_1 + U_2 \cdot S_2 + \psi \cdot \ell + \chi}{S_1 + S_2} \quad (U_{\text{global}})$$

$$U' = \frac{\sum_{j=1}^m U_j \cdot S_j + \sum_{k=1}^n \psi_k \cdot \ell_k + \sum_{\ell=1}^p \chi_{\ell}}{\sum_{j=1}^m S_j} \quad (U_{\text{bâtiment}})$$

5. Renouvellement d'air

Chaque heure, un certain volume (η en pourcentage) d'air du local est remplacé par de l'air extérieur.



Énergie perdue : $E(Q) = m.c.\Delta\theta$

c : capacité thermique massique de l'air ($J.kg^{-1}.K^{-1}$)

m : masse d'air du local (kg)

$m = \rho.V$

V : volume du local (m^3)

ρ : masse volumique de l'air ($kg.m^{-3}$)

$$\text{Flux perdu} : \Phi_{\text{air}}(P) = \frac{E}{t} = \frac{E}{3600} = \frac{m.c.\Delta\theta}{3600} = \Phi_a$$

$$\Phi' = \Phi + \Phi_p = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_p$$

$$\Phi' + \Phi_a = \Phi''$$

6. Coefficient volumique de déperdition thermique G

Coefficient volumique de déperdition thermique * : G ($W.m^{-3}.K^{-1}$)

$$G = \frac{U'.S + \frac{\eta.m.c}{3600}}{V} = \frac{U'.S + \frac{\eta.\rho.V.c}{3600}}{V}$$

$$\frac{U_{\text{bar}}.S}{V} + \frac{\eta.\rho.c}{3600} = G$$
$$G_{\text{façade}} + G_{\text{air}} = G$$

Flux thermique (W)

$$\Phi'' = G.V.\Delta\theta$$

*Puissance thermique perdue par 1 m^3 du local pour une différence de température de 1°C entre l'intérieur et l'extérieur du local.

7. Condensation sur les parois

7A condensation et point de rosée

L'air d'un local contient toujours de la vapeur d'eau.

La mesure de cette humidité se fait par le degré d'hygrométrie H_r .

Quand la température de surface θ_s d'une paroi est suffisamment basse, l'eau se condensera dessus.

(lors de l'échange de chaleur par convection le long des parois l'air se refroidit ; si la température de surface θ_s est égale ou inférieure à θ_r , température du point de rosée, il y aura condensation, apparition de gouttelettes sous forme de buée, ruissellement...)

Inconvénients : moisissures, champignons...

Sur une paroi intérieure, θ_{si} se rapproche d'autant plus de la température intérieure θ_i que l'isolation de cette paroi est bonne.

De plus, un renouvellement d'air régulier permet de faire chuter le degré hygrométrique (ventilation forcée dans les lieux humides : salle de bain, cuisine...).

Exemples : $\theta_i = 20^\circ\text{C}$; $\theta_e = -10^\circ\text{C}$

- mur avec lame d'air : $\theta_{si} = 14^\circ\text{C}$ et $H_r = 66\%$

- mur avec 45 mm d'isolant : $\theta_{si} = 18^\circ\text{C}$ et $H_r = 89\%$

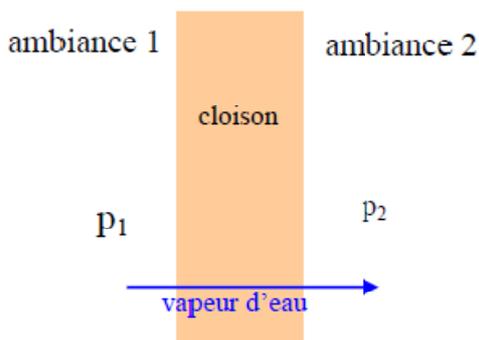
7B ponts thermiques

Les ponts thermiques étant plus froids que le restant de la paroi, les condensations y apparaîtront plus tôt. Même s'il n'y a pas chute en dessous du point de rosée, la différence de température entre les différentes parties fait que les courants de convection sont plus importants au contact des surfaces les plus froides. Il en résulte des dépôts de poussières plus rapides à ces endroits, ce qui se traduit par des différences de teintes des revêtements.

Ce phénomène se remarque notamment dans les terrasses à corps creux où les emplacements des nervures se dessinent en teintes foncées.

On évite ces ponts thermiques, dans la mesure du possible, par une isolation supplémentaire.

8. Diffusion de vapeur d'eau



p désigne la pression de vapeur d'eau.

Il y a transport de vapeur d'eau jusqu'à l'équilibre des pressions p .

L'importance du phénomène sera proportionnelle à l'étanchéité de la cloison.

Les matériaux de construction sont tous plus ou moins poreux à la vapeur d'eau.

L'humidité est la source principale de détériorations dans le bâtiment (*salissures, décollements de revêtement, effritement des enduits, gonflement et gauchissement des bois, et en cas de gel : fissurations et éclatements de matériaux*)

L'air chaud contient plus de vapeur d'eau que l'air froid, la diffusion s'effectue du chaud vers le froid. La température de la cloison diminue au fur et à mesure de la pénétration de la vapeur d'eau et il arrive un moment où le point de rosée est atteint (*il est d'ailleurs différent de celui de l'atmosphère libre*).

Dans les pores des matériaux la condensation apparaît pour des degrés hygrométriques inférieurs à 100%. (*les pores du béton seaturent d'eau pour $H_r = 70\%$*)

Le phénomène ne fait que s'accélérer lorsque l'eau vient remplacer l'air des pores, abaissant ainsi la résistance thermique de la cloison et par voie de conséquence sa température.

$$(\lambda_{\text{air}} = 0,022 \text{ et } \lambda_{\text{eau}} = 0,59 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1})$$

Si de plus, certaines couches de la cloison sont à une température inférieure à 0°C, l'eau gèle, alors l'accélération du phénomène est encore plus rapide ($\lambda_{\text{glace}} = 1,94 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

Un climat très froid est moins néfaste qu'un climat soumettant les matériaux à des cycles journaliers de gel et de dégel alternés, car le phénomène de dégradation des matériaux sera d'autant plus sensible que le rythme des oscillations ($\theta > 0$ et $\theta < 0$) sera plus rapide.

Pour limiter le phénomène de diffusion de la vapeur d'eau, on utilise des isolants munis de pare-vapeur ce dernier étant placé du côté le plus chaud.

9. Inertie thermique

La chaleur s'accumule plus ou moins dans les murs.
Elle dépend de la masse des murs.

Plus un mur est lourd et plus il absorbera de chaleur, et en conséquence sera long à chauffer en début de période de chauffage.

De même plus il est lourd et plus il est long à se refroidir lorsqu'on arrête le chauffage (*apport interne gratuit*).

Cette inertie thermique est indépendante de la résistance thermique R du mur.

Les matériaux isolants, généralement légers, freinent le passage du flux de chaleur, mais se mettent rapidement en régime de température.

saison	murs lourds (<i>forte inertie</i>)	murs légers (<i>faible inertie</i>)
hiver	Locaux longs à chauffer Locaux longs à refroidir	Locaux rapides à chauffer Locaux plus vite froids
été	Murs longs à chauffer dans la journée, donc température plus fraîche. Murs se refroidissant mal la nuit et continuant à rayonner.	Chaleur pénétrant rapidement. Nuits plus fraîches.

Les avantages et les inconvénients s'équilibrent en été.

Pour l'hiver, les murs légers ne sont pas un inconvénient grave s'ils sont bien isolés.

Ils conviennent mieux aux locaux chauffés temporairement :

- salle de réunion
- maison de fin de semaine...