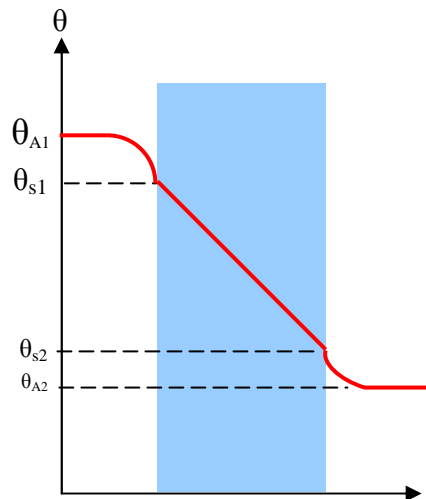
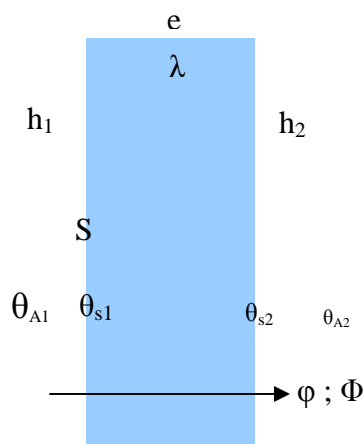


THERMIQUE et BÂTIMENT

PAROI SIMPLE
 PAROI COMPOSITE (ou MULTIPLE)
 PAROI DISCONTINUE
 PONTS THERMIQUES
 RENOUELEMENT d'AIR
 CONDENSATION
 DIFFUSION de VAPEUR d'EAU
 INERTIE THERMIQUE

1. PAROI SIMPLE

Elle est constituée d'un seul matériau.



e (m) : épaisseur

λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) : conductivité thermique du matériau

S (m^2) : surface de la paroi

h_1 et h_2 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) : coefficients d'échanges surfaciques

$\frac{1}{h_1} = r_{s1}$ et $\frac{1}{h_2} = r_{s2}$ ($\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$) : résistances thermiques surfaciques superficielles

θ ($^{\circ}\text{C}$) : θ_{A1} et θ_{A2} : températures ambiantes des milieux 1 et 2

θ_{s1} et θ_{s2} : températures de surface

φ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) : flux thermique surfacique ou densité de flux

Φ (W) : flux thermique ou puissance thermique

E (Wh) : énergie

résistance thermique surfacique

$$\theta_{A1} - \theta_{s1} = \varphi \cdot r_{s1}$$

$$\theta_{s1} - \theta_{s2} = \varphi \cdot \frac{e}{\lambda}$$

$$\theta_{s2} - \theta_{A2} = \varphi \cdot r_{s2}$$

additionnons ces trois égalités

$$\theta_{A1} - \theta_{A2} = \varphi \cdot \left(r_{s1} + \frac{e}{\lambda} + r_{s2} \right) = \varphi \cdot \mathbf{r}$$

$$\mathbf{r} = r_{s1} + \frac{e}{\lambda} + r_{s2}$$

$$\mathbf{r} \text{ (m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\text{)}$$

$$\mathbf{r} = \frac{1}{h_1} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{h_2}$$

Résistance thermique

$$\frac{r}{S} = R \text{ (K.W}^{-1}\text{)}$$

Conductance thermique surfacique ou Coefficient de transmission thermique

$$U = \frac{1}{r}$$

$$U \text{ (W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{)}$$

flux thermique surfacique φ (W.m⁻²) et Flux thermique Φ (W)

$$\varphi = U \cdot \Delta\theta = \frac{\Delta\theta}{r} \text{ et } \Phi = \varphi \cdot S = U \cdot S \cdot \Delta\theta = \frac{\Delta\theta}{R}$$

Ecart de température $\Delta\theta$ (K ou °C)

$$\Delta\theta = \varphi \cdot r_{\Delta\theta}$$

Température θ (°C)

$$\theta - \theta = \varphi \cdot r_{\Delta\theta}$$

$$\theta = \theta + \varphi \cdot r_{\Delta\theta} \text{ et } \theta = \theta - \varphi \cdot r_{\Delta\theta}$$

Exercice 1 :

Pour une paroi simple de surface $S = 15,45 \text{ m}^2$ qui sépare deux ambiances, l'une intérieure à la température $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ et l'autre extérieure à la température $\theta_e = -10^\circ\text{C}$, d'épaisseur $e_b = 15 \text{ cm}$, constituée de béton de conductivité thermique $\lambda_b = 1,75 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$, dont les coefficients d'échanges superficiels sont respectivement pour l'intérieur $h_i = 9,1 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$ et pour l'extérieur $h_e = 16,7 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$.

Exprimer littéralement puis calculer :

- 1) La résistance thermique surfacique r .
- 2) La résistance thermique R .
- 3) Le coefficient de transmission thermique U .
- 4) La densité de flux thermique φ et le flux thermique Φ traversant cette paroi simple.
- 5) Les températures de surface, respectivement θ_{si} pour l'intérieur et θ_{se} pour l'extérieur.
- 6) L'énergie E en kWh « dépensée » par cette paroi pendant 24 h.
- 7) Que faut-il faire pour réduire les pertes thermiques à travers cette paroi ?

•Exercice 2 :

La résistance thermique surfacique du matériau est parfois très petite par rapport aux résistances thermiques superficielles surfaciques...qui sont alors prépondérantes.

(l'augmentation de e n'augmente pas beaucoup r)

- 1) Après avoir calculé $\left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}\right)$, ($h_1 = 9,1 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$ et $h_2 = 16,7 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$), calculer la résistance

thermique surfacique r du verre, $\left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}\right)$ comprises pour les épaisseurs e : 2mm ; 4mm ; 6mm ; 8mm

10mm ; 12mm.

- Les comparer à $\left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2}\right)$ et conclure.

- 2) Calculer le flux thermique surfacique φ traversant une paroi simple en verre d'épaisseur $e = 6 \text{ mm}$ pour un écart de température de 30°C .

- 3) Que faut-il faire pour réduire les pertes thermiques à travers cette paroi ?

2. PAROI COMPOSITE

Elle est constituée de deux ou plusieurs matériaux.

2A double paroi

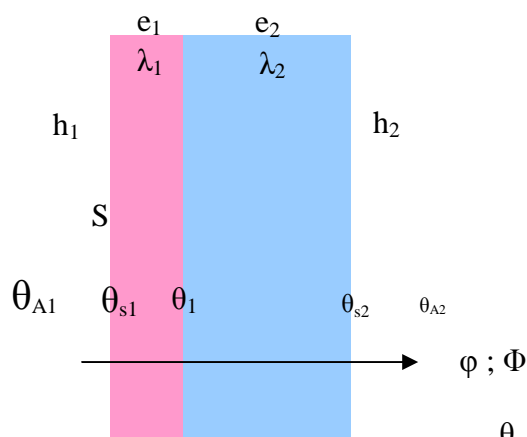
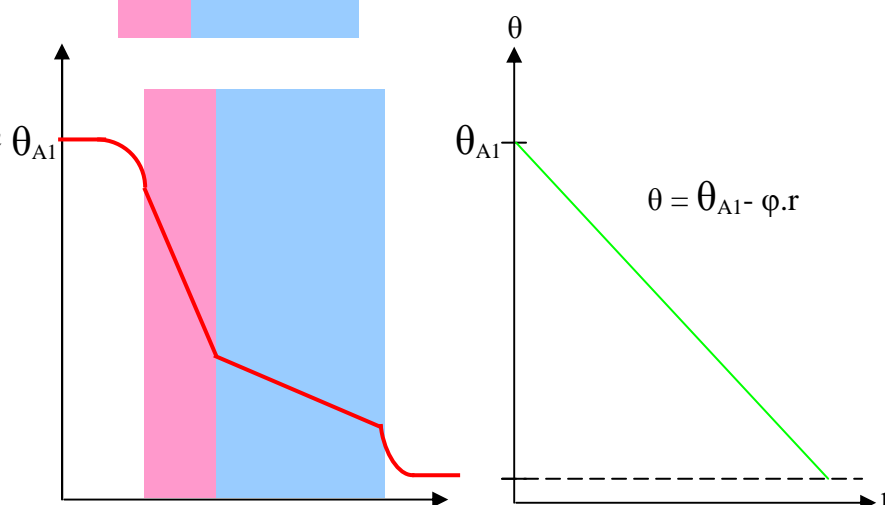


diagramme des températures

Variation de la température à travers la paroi en fonction de la résistance



résistance thermique surfacique

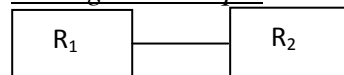
$$r = \frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{1}{h_2}$$

$$r = r_{s1} + \sum_{j=1}^n \frac{e_j}{\lambda_j} + r_{s2}$$

$\sum_{j=1}^n \frac{e_j}{\lambda_j}$: résistance thermique surfacique des matériaux de la paroi

En divisant par la surface de la paroi

Analogie électrique



équivalent à :

$$R = R_1 + R_2$$

Conductance thermique surfacique

$$\frac{r}{S} = \frac{r_{s1}}{S} + \frac{\sum_{j=1}^n r_j}{S} + \frac{r_{s2}}{S}$$

$$R = R_{s1} + \sum R_i + R_{s2}$$

$$U = \frac{1}{r} = \frac{1}{r_{s1} + \sum_{j=1}^n \frac{e_j}{\lambda_j} + r_{s2}}$$

$$\phi = U \cdot \Delta\theta = \frac{\Delta\theta}{r}$$

$$\left(\frac{r}{S} = R\right) \Phi = \phi \cdot S = U \cdot S \cdot \Delta\theta = \frac{\Delta\theta}{R}$$

$$\Delta\theta = \phi \cdot r_{\Delta\theta} \quad \theta - \theta = \phi \cdot r_{\Delta\theta} \quad \theta = \theta + \phi \cdot r_{\Delta\theta} \quad \theta = \theta - \phi \cdot r_{\Delta\theta}$$

Exercice 3 :

On ajoute à la paroi simple (*exercice 1*) une plaque de polystyrène ($e_p = 4\text{cm}$, $\lambda_p = 0,047 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) côté intérieur.

Les températures intérieures et extérieures étant toujours égales à 20°C et -10°C , et les coefficients d'échanges superficiels h_i et h_e à $9,1 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ et $16,7 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

1) Calculer r , R , U , ϕ , Φ , θ_{si} , θ_{se} et l'énergie E dépensée pendant 24 h ainsi que la température θ_1 à l'interface des deux matériaux.

On souhaite réduire d'un tiers la densité de flux thermique traversant cette paroi composite.

- 2) Calculer la nouvelle épaisseur e' de l'isolant ($\lambda = 0,047 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$), après avoir établi la relation :

$$e' = e + (r' - r).\lambda_p$$
 r' désignant la nouvelle résistance thermique surfacique.

Exercice 4 :

A la paroi multiple (*exercice 3*) on ajoute côté intérieur un enduit plâtre ($e_{pl} = 1 \text{ cm}$, $\lambda_{pl} = 0,35 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) et un enduit ciment côté extérieur ($e_c = 2 \text{ cm}$, $\lambda_c = 1,15 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

- 1) Calculer r , R , U , ϕ , Φ , θ_{si} , θ_{se} , et l'énergie dépensée pendant 24 h.
 - 2) Calculer les températures aux interfaces des différents matériaux θ_1 (entre plâtre et polystyrène), θ_2 (entre polystyrène et béton) et θ_3 entre béton et enduit ciment).
 - 3) Tracer le diagramme des températures à travers la paroi.
 (échelle : 1 cm pour 4°C et 1 cm pour 2,5 cm d'épaisseur)
 - 4) Tracer la courbe $\theta = f(r)$, représentant la variation de la température en fonction de la résistance r .
- Pour cela reporter chaque couple (r, θ) : $(0, \theta_i)$; (r_i, θ_{si}) ; $(r_i + e_{pl}/\lambda_{pl}, \theta_1)$; etc... ; (r_{paroi}, θ_e)
 (échelle : 1 cm pour 4°C et 1 cm pour $0,1 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$)

2B généralisation**résistance thermique surfacique**

$$r = \sum_{j=1}^m \frac{e_j}{\lambda_j} + \sum_{k=0}^n r_k + \sum_{\ell=0}^p r_{s_\ell}$$

$$\left(\sum_{\ell=0}^p r_{s_\ell} = \sum \frac{1}{h_s} \right)$$

$\sum_{j=1}^m \frac{e_j}{\lambda_j}$: résistance thermique surfacique de certaines matériaux de la paroi

$\sum_{k=0}^n r_k$: résistance thermique surfacique des autres matériaux de la paroi, ($r_0 = 0$)

$\sum_{\ell=0}^p r_{s_\ell}$: résistance thermique surfacique superficielle de la paroi,

$$(r_{s_0} = 0 \text{ et } 0 \leq p \leq 2)$$

Conductance thermique surfacique

$$U = \frac{1}{r} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{e_j}{\lambda_j} + \sum_{k=0}^n r_k + \sum_{\ell=0}^p r_{s_\ell}}$$

Exercice 5 :

Un **double vitrage** de surface $S = 5,75 \text{ m}^2$ est constitué par un ensemble de deux glaces de 5 mm d'épaisseur séparées par une lame d'air de 12 mm de résistance thermique surfacique $r_{\text{air}} = 0,16 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$.

- 1) Calculer r , R , U , ϕ , Φ , θ_{si} , θ_{se} ainsi que θ_1 et θ_2 les températures d'interfaces glace-lame d'air, et E pour 24h sachant que les résistances thermiques surfaciques superficielles r_{s1} et r_{s2} sont égales à $0,11$ et $0,06 \text{ m}^2.\text{K.W}^{-1}$ et les températures ambiantes respectivement $\theta_{A1} = 20^\circ\text{C}$ et $\theta_{A2} = -10^\circ\text{C}$.
- 2) Tracer le diagramme des températures à travers la paroi.

2c lame d'air...

La résistance de la **lame d'air non ventilée** (dont $\lambda = 0,022 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) est plus faible que prévue par le calcul (exercice 5), car en plus de la transmission de chaleur par conduction il y a transmission par convection et par rayonnement.

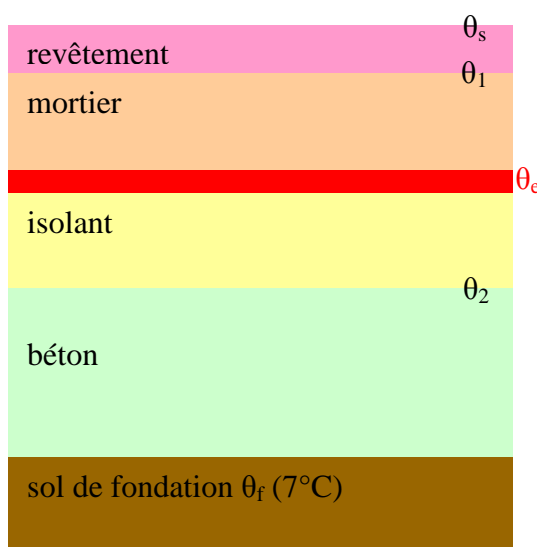
Si on augmente l'épaisseur de la lame, la convection augmente, ce qui explique que la résistance reste constante au-delà d'une épaisseur de 2 cm.

Exercice 6 : Plancher chauffant

Dans le plancher d'un local de surface $S = 16 \text{ m}^2$, on a incorporé un système de chauffage maintenant la température ambiante à 20°C .

Le système de chauffage est constitué d'un tube dans lequel circule de l'eau à température moyenne supposée constante $\theta_e = 40^\circ\text{C}$.

local $\theta_a(20^\circ\text{C})$



Matériaux	Epaisseur e (cm)	λ ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
Revêtement	1,0	2,5
Mortier	5,0	1,12
Isolant	2,0	0,02
Béton	10	1,4

Le coefficient d'échange surfacique entre la surface du revêtement du plancher et le local est $h = 10 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

- 1) Calculer la densité de flux, ϕ_1 , émise vers le haut par le système de chauffage.
- 2) Calculer la densité de flux, ϕ_2 , émise vers le bas par le système de chauffage.
- 3) En déduire la puissance thermique perdue, la puissance thermique reçue par le local et la puissance fournie par le système de chauffage.
- 4) Calculer les températures θ_s , θ_1 et θ_2 .

On désire limiter les pertes vers le sol de fondation à 10% de la puissance utile.

On supposera ces pertes égales à 0,22 kW.

On conserve le même isolant et la même épaisseur de béton.

- 5) a- Calculer la nouvelle épaisseur de l'isolant.
- b- Calculer la nouvelle puissance fournie par le système de chauffage.

Exercice 7 :

Un **ballon d'eau chaude** est un cylindre de hauteur 2 m et de diamètre 0,5 m.

Il est en acier ($\lambda = 45 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) d'épaisseur $e = 1,5 \text{ mm}$.

Son isolation est effectuée par de la laine de verre ($\lambda = 0,07 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; $e = 50 \text{ mm}$).

- 1) Calculer la surface totale du cylindre.
- 2) Quelle est la résistance thermique de la paroi ? (on néglige les résistances superficielles)
- 3) Montrer que l'acier est un très mauvais isolant.

- 4) Quelle est la densité de flux perdu si l'eau contenue dans le ballon est égale à 55°C, et celle de l'air ambiant 30°C ?
- 5) Quelle est la puissance thermique perdue par l'ensemble du ballon ?

Exercice 8 :

L'une des parois d'un aquarium (8,20 m × 4,10 m) est constituée de l'intérieur vers l'extérieur des couches suivantes :

- couche de tartre ; $e = 1,4 \text{ mm}$ et $\lambda = 0,780 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
- mur de béton ; $e = 16 \text{ cm}$ et $\lambda = 2,50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
- revêtement isolant ; $e = 8,4 \text{ cm}$ et $\lambda = 0,031 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Les résistances thermiques surfaciques superficielles sont égales à :

$$r_{si} = \frac{1}{h_{eau}} = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$$

$$r_{se} = \frac{1}{h_{air}} = 0,110 \text{ m}^2.\text{K}.\text{W}^{-1}$$

- 1) Calculer la résistance thermique surfacique, la résistance thermique, le coefficient de transmission surfacique de la paroi, les températures de l'air et de l'eau étant respectivement égales à 14,1°C et 27,3°C.
- 2) Calculer la densité de flux thermique à travers la paroi et la puissance perdue.
- 3) Quelle est l'énergie perdue par heure (en joules et en wattheures).

Exercice 9 : φ et $\Delta\theta$

La connaissance de la température de surface intérieure θ_{si} est importante pour la condensation et le confort (l'écart entre θ_i et θ_{si} doit être inférieure à 3°C pour que l'échange par rayonnement entre notre corps et la paroi s'effectue normalement sans impression de froid).

Le mur d'un local est constitué de deux matériaux différents, de l'extérieur vers l'intérieur :

- béton : $e = 15 \text{ cm}$ et $\lambda = 1,75 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
- brique : $e = 5 \text{ cm}$ et $\lambda = 0,47 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Les résistances thermiques surfaciques superficielles interne et externe du mur ont respectivement

pour valeur : $\frac{1}{h_i} = 0,11 \text{ m}^2.\text{W}.\text{K}^{-1}$ et $\frac{1}{h_e} = 0,06 \text{ m}^2.\text{W}.\text{K}^{-1}$ quelles que soient les températures.

Les températures intérieure et extérieure sont égales à 19°C et -9°C.

- 1) Calculer la résistance thermique surfacique du mur et flux thermique surfacique dans le mur.
Quelle est la température de surface intérieure θ_{si} ?

Pour diminuer le flux thermique, entre le béton et les briques, on intercale du polystyrène expansé :
 $e = 5 \text{ cm}$ et $\lambda = 0,035 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

- 2) Calculer la nouvelle température de surface θ'_{si} .

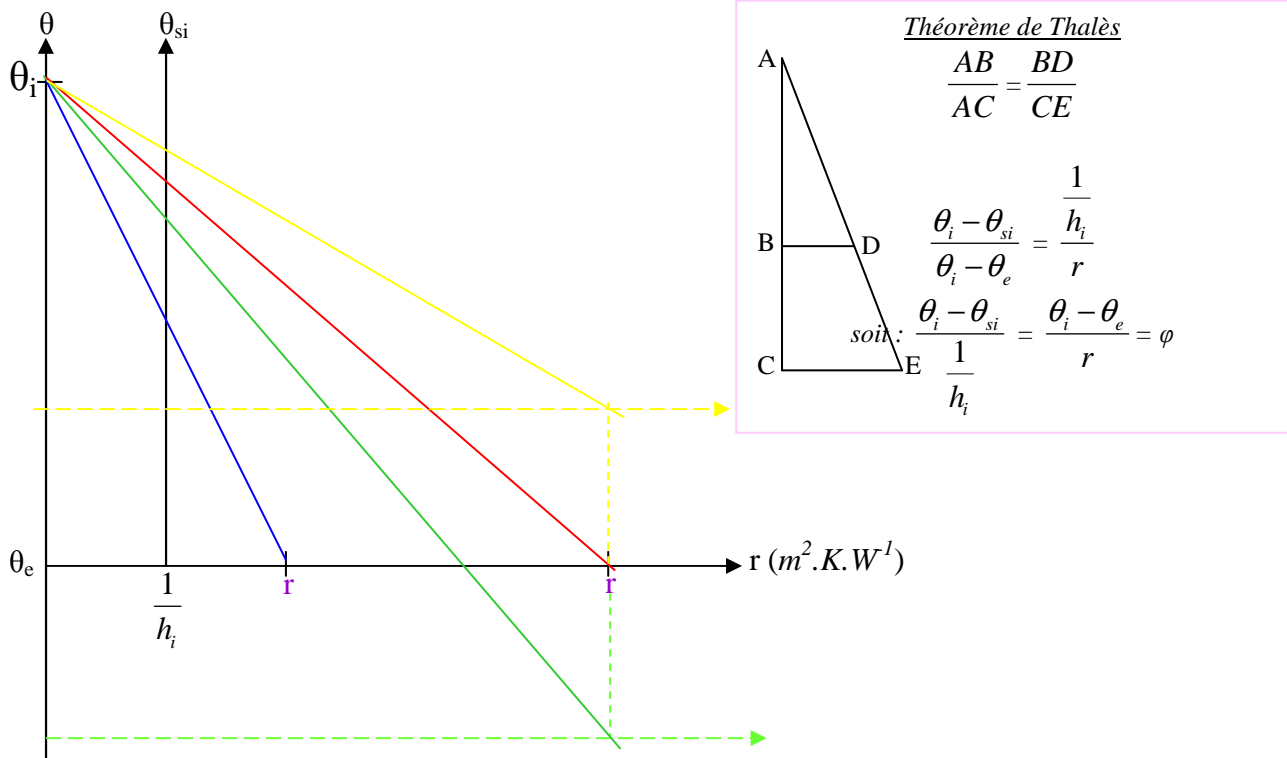
La température intérieure étant toujours égale à 19°C, la température extérieure chute à -19°C.

- 3) Calculer la nouvelle température de surface θ''_{si} sur ce nouveau mur.

- 4) La température de surface étant $\theta_{si} = 10,5^\circ\text{C}$, calculer la nouvelle température extérieure ?

- 5) Retrouver θ_{si} ; θ'_{si} et θ''_{si} en reproduisant l'ABAQUE ci-dessous :

(échelles : 1 cm pour 2°C et 1 cm pour 0,1 m².K.W⁻¹)



- 6) En utilisant l'abaque, quelles doivent être les températures extérieures θ_e , pour que la température de surface intérieure θ_{si} soit 16°C ?
Vérifier le résultat par le calcul.

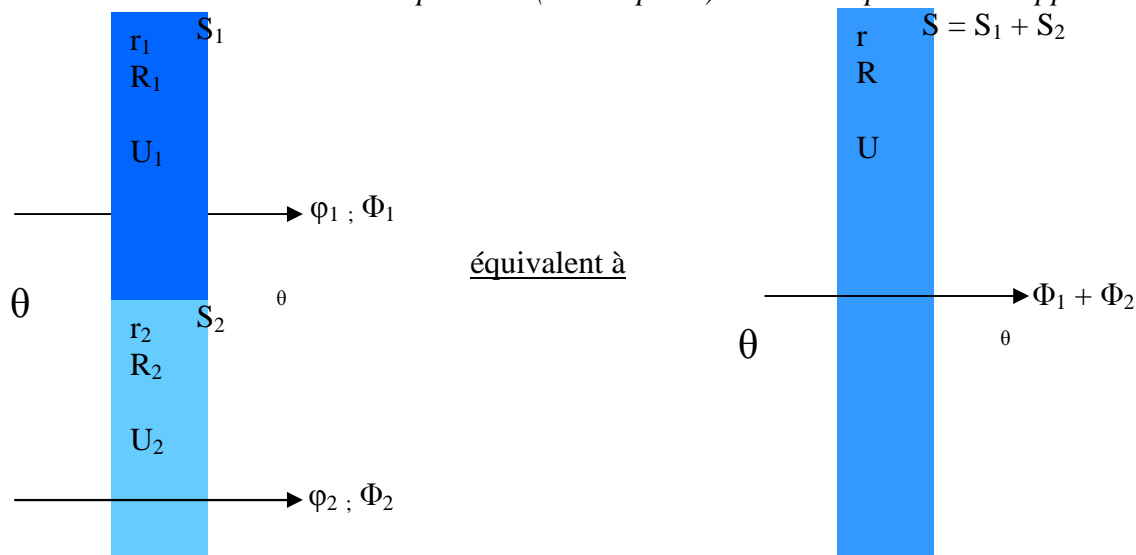
3. PAROI DISCONTINUE

Elle est constituée de plusieurs parois simple(s) et composite(s).

Exemples :

- façade avec mur et vitrage.

- cloison de séparation (mur et porte) entre deux pièces d'un appartement...



Flux thermique à travers la paroi :

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

$$\phi_1 \cdot S_1 + \phi_2 \cdot S_2 = \phi \cdot S$$

$$U_1 \cdot S_1 \cdot \Delta\theta + U_2 \cdot S_2 \cdot \Delta\theta = U \cdot S \cdot \Delta\theta$$

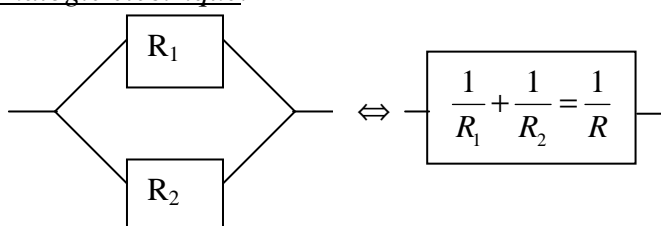
$$U_1 \cdot S_1 + U_2 \cdot S_2 = U \cdot S$$

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

résistance thermique: R

résistance thermique surfacique: r

Analogie électrique:



Coefficient de transmission thermique

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

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

Flux thermiques ϕ et Φ

Exercice 10 (Début)

Une façade comporte un mur de surface $S_1 = 25 \text{ m}^2$ et une partie vitrée de surface $S_2 = 5 \text{ m}^2$.

Les coefficients de transmission **thermiques** du mur et du vitrage sont respectivement :

$$U_m = 1,23 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \text{ et } U_v = 2,81 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}.$$

La façade sépare deux ambiances aux températures égales à 20°C et -3°C .

1) Calculer les flux thermiques Φ_m et Φ_v traversant le mur et la baie vitrée.

En déduire le **flux thermique Φ** traversant l'ensemble de la façade.

2) Calculer le coefficient de transmission thermique U de la façade.

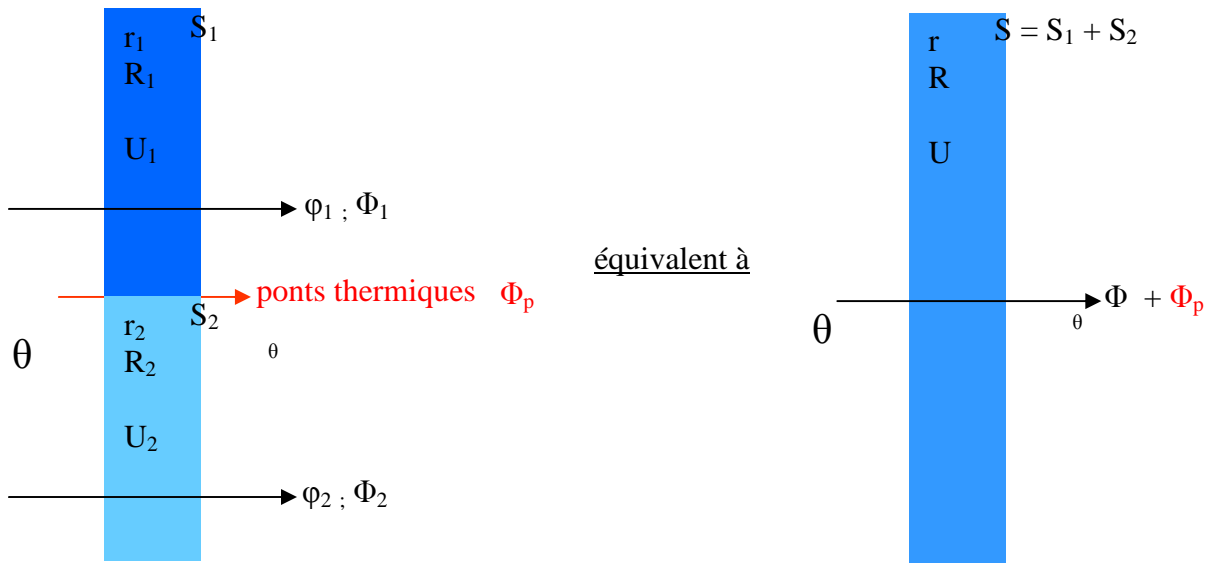
En déduire le **flux thermique Φ** traversant la façade...

...deux possibilités pour trouver le flux thermique

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 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

ℓ : longueur des liaisons (m)

2. Ponts thermiques ponctuels

χ : coefficient de transmission ponctuel ($\text{W}\cdot\text{K}^{-1}$)

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

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

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

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

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

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

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

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

flux thermique surfacique ϕ et Flux thermique Φ

Exercice 10 (suite 1)

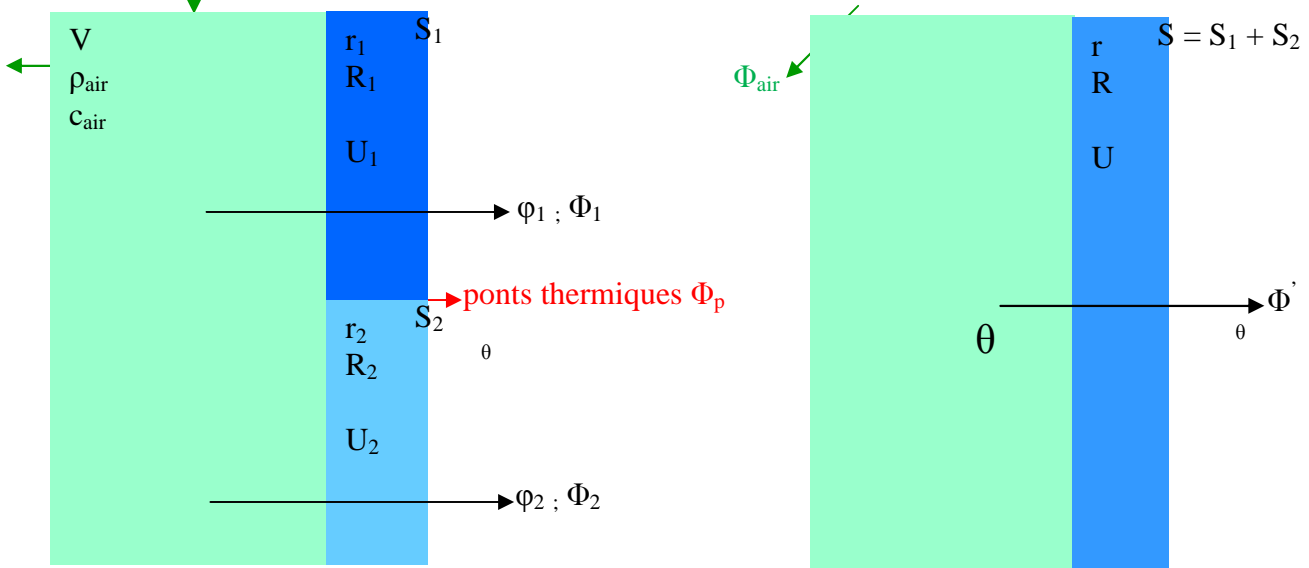
Les liaisons ont une longueur totale $\ell = 38$ m et un coefficient de transmission linéique $\psi = 0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, les ponts thermiques ponctuels sont égaux à $\chi = 1,7 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$.

3) Calculer le flux thermique Φ_p perdu par les ponts.

4) Calculer le flux thermique perdu Φ' par la façade de deux façons différentes.

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 ($kg.m^{-3}$)

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

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

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

Exercice 10 (Suite 2)

La façade donnant sur l'extérieur appartient à un local de volume $V = 240 m^3$.

Ce local se trouve dans un immeuble, il est entouré d'autres locaux ou couloir à la même température que lui : $20^\circ C$.

5) Pourquoi les pertes thermiques sont nulles entre les parois du local et les autres locaux ?

6) Le taux de renouvellement de l'air est $\eta = 90\%$.

Calculer le flux perdu (Φ_{air}) pour ce renouvellement ($\rho_{\text{air}} = 1,293 kg.m^{-3}$ et $c_{\text{air}} = 1000 J.kg^{-1}.K^{-1}$).

7) En déduire le flux thermique perdu Φ'' pour l'ensemble du local.

Exercice 10... BILAN THERMIQUE :

$$\Phi_m + \Phi_v + \Phi_p + \Phi_a = \Phi' + \Phi_a = \Phi'' \text{ (flux perdu pour l'ensemble du local)}$$

$$(U_m.S_m + U_v.S_v + \psi.l + \chi).\Delta\theta + \frac{\eta.c.m.\Delta\theta}{3600} = U'.S.\Delta\theta + \frac{\eta.m.c.\Delta\theta}{3600} = \Phi''$$

$$(U'.S + \frac{\eta.m.c}{3600}).\Delta\theta = \Phi''$$

6. Coefficient volumique de déperdition thermique G

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

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

$$\frac{U_{bat} \cdot S}{V} + \frac{\eta \cdot \rho \cdot c}{3600} = G$$

$$G_{\text{façade}} + G_{\text{air}} = G$$

Flux thermique (W)

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

* Puissance thermique perdue par 1 m³ du local pour une différence de température de 1°C entre l'intérieur et l'extérieur du local.

Exercice 10 (Fin)

- 8) Calculer le coefficient G pour ce local, après avoir calculé $G_{\text{façade}}$ et G_{air} .
- 9) En déduire le flux thermique perdu Φ'' pour l'ensemble du local.
- 10) Quelle est la **PUISSANCE de CHAUFFAGE** du local.
En déduire l'**ENERGIE** dépensée pendant 24 h en kWh.

Exercice 11 :

Un **studio** de volume 45 m³ est situé dans une petite habitation collective ; il est séparé de l'extérieur par une paroi de surface 7,5 m², constituée d'un mur et d'une baie vitrée.

Le mur a une surface de 5,5 m² et un coefficient de transmission thermique de 3,0 W.m⁻².K⁻¹.

La baie vitrée a un coefficient de transmission thermique de 4,2 W.m⁻².K⁻¹.

- 1) Calculer le coefficient global de transmission thermique de la paroi.
- 2) Quelle est la participation de cette paroi au coefficient volumique de déperdition thermique G du studio ?

Les participations à G sont : $G' = 0,34 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ pour le renouvellement d'air et $G'' = 0,30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ pour les autres parois et les ponts thermiques.

- 3) Calculer le coefficient volumique de déperdition du studio.
- 4) Quelle doit-être la **PUISSANCE DE CHAUFFAGE P** du studio, si on veut maintenir une température de 20°C à l'intérieur, quand la température extérieure est de -10°C ?

Exercice 12 :

Une **maison** de volume habitable $V = 240 \text{ m}^3$ est séparée du milieu extérieur par une surface totale $S = 320 \text{ m}^2$.

La puissance thermique nécessaire pour maintenir une température moyenne intérieure constante de 20°C, lorsque l'extérieur a une température supposée uniforme de -3°C, est de 7,8 kW.

On admet que les apports gratuits sont annulés par le renouvellement d'air.

- 1) Calculer le coefficient global de transmission thermique surfacique.
- 2) Calculer le coefficient volumique de déperdition thermique.

•Exercice 13 :

Le **comité français** d'études sur la consommation et les économies d'énergie annonce :

« si vous réduisez de un degré la température de votre appartement en hiver, l'économie de chauffage est de 6% »

On se propose de vérifier cette affirmation : la température intérieure d'un appartement est de

19°C lorsque la température extérieure est 5°C. on réduit la température du local à 18°C.

1) Quelle est l'expression de la diminution de puissance thermique consommée pour le chauffage de l'appartement ?

2) Calculer la valeur relative de cette variation de consommation de puissance thermique.

• **Exercice 14 :**

Un **studio** possède une façade de dimensions L et h, donnant sur l'extérieur.

Celle-ci est constituée d'un mur et d'une baie vitrée de surface S_v et de coefficient de transmission thermique surfacique U_v .

Le mur est formée de trois matériaux, brique-polystyrène-béton, de l'intérieur à $\theta_i = 18^\circ\text{C}$ vers l'extérieur à $\theta_e = -5^\circ\text{C}$.

matériau	brique	polystyrène	béton
épaisseur e (cm)	5	5	15
conductivité thermique ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	0,230	0,035	0,47

(résistances thermiques surfaciques superficielles, intérieure $r_{si} = 0,11 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$ et extérieure $r_{se} = 0,06 \text{ m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$)

Données : $L = 9 \text{ m}$; $\ell = 7,1 \text{ m}$; $h = 2,3 \text{ m}$ (dimensions du studio) ; $S_v = 7 \text{ m}^2$; $U_v = 2,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$

1) Exprimer littéralement la résistance thermique surfacique du mur.

2) Calculer le coefficient de transmission thermique surfacique du mur. U_m .

3) Calculer le flux thermique Φ à travers la façade.

4) Montrer que le renouvellement de l'air est équivalent à une puissance thermique perdue de $0,35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{K}^{-1}$ ($\rho_{\text{air}} = 1,293 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $c = 975 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; taux de renouvellement de l'air $\eta = 100\%$).

5) Toute autre déperdition thermique étant négligée calculer le coefficient de déperdition volumique G.

6) Calculer la puissance de chauffage à installer dans ce studio pour maintenir la température intérieure à 18°C, la température extérieure étant -5°C.

Pour compenser ces pertes, on utilise un radiateur alimenté par un chauffage central.

L'eau arrive dans le radiateur à la température de 85°C et en ressort à 60°C.

7) Quel doit être le débit volumique de l'eau dans le radiateur en $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ et $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$.

(capacité thermique massique de l'eau : $c = 4185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)

8) Calculer l'énergie dépensée en kWh pendant 24 heures quand la température extérieure est -5°C.

Pour améliorer l'isolation du studio la baie vitrée est constitué d'un double vitrage ($U_v = 2,5 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)

Avant la baie était constituée d'un simple vitrage ($U'_v = 5,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$).

9) Calculer l'énergie qui a été ainsi économisée en 24 heures et le pourcentage d'économie réalisée.

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 $H_r = 89\%$

Exercice 15 :

Dans un local la température est de 20°C.

La pression de la vapeur d'eau contenu dans l'air de ce local est égale à 8 mm de mercure.

La façade de ce local donnant sur l'extérieur est constituée d'un mur et d'un vitrage.

Les températures de surface intérieures du mur et du vitrage sont respectivement 17,1°C et 5,3°C.
se produit-il une condensation superficielle sur la face intérieure du mur et du vitrage ?

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.

Exercice 16 :

On se propose d'étudier les problèmes d'isolation thermique, ainsi que les problèmes de condensation pour les **simple et double vitrages**.

Données :

- simple vitrage : glace plane d'épaisseur $e_1 = 8 \text{ mm}$.

- double vitrage : deux glaces d'épaisseur $e_2 = 4 \text{ mm}$, séparées par une lame d'air

d'épaisseur $e = 12 \text{ mm}$ et de résistance thermique surfacique $r_a = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. ($\lambda_{\text{verre}} = 1,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

- résistances thermiques surfaciques superficielles interne et externes :

$$\frac{1}{h_i} = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} \text{ et } \frac{1}{h_e} = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}, h_i \text{ et } h_e : \text{coefficients de convection interne et externe.}$$

- températures intérieure et extérieure : $\theta_i = 19^\circ\text{C}$ et $\theta_e = -12^\circ\text{C}$.

1) Pour les deux types de vitrage, calculer la résistance surfacique, le coefficient de transmission surfacique et le flux thermique surfacique. Conclure.

2) Calculer les températures de surface internes et externes de chaque vitrage.

3) Un hygromètre placé dans la pièce dont la température intérieure est 19°C, indique une humidité relative H_r de 60%.

Température en °C	5	8	11	14	17	19	25	30
Teneur maximale en g d'eau par kg d'air	5,6	7,0	8,4	10,4	12,5	14	20	27

a- Quelle est la valeur du point de rosée.

b- Se produit-il une condensation sur la face interne de chaque vitrage ?

c- A quelle température extérieure minimale se produira-t-il une condensation sur la face interne de chaque vitrage ?

Exercice 17 :

Un **mur** extérieur sépare deux ambiances.

De l'intérieur à $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ vers l'extérieur à $\theta_e = -10^\circ\text{C}$, la composition du mur est la suivante :

- enduit plâtre : $e_1 = 1 \text{ cm}$ et $\lambda_1 = 0,35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- isolant en polystyrène expansé : $e_2 = 4 \text{ cm}$ et $\lambda_2 = 0,047 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- béton banché : $e_3 = 15 \text{ cm}$ et $\lambda_3 = 1,75 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- enduit ciment : $e_4 = 2 \text{ cm}$ et $\lambda_4 = 1,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

(rappels : $r_{si} = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ et $r_{se} = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$; résistances thermiques surfaciques superficielles)

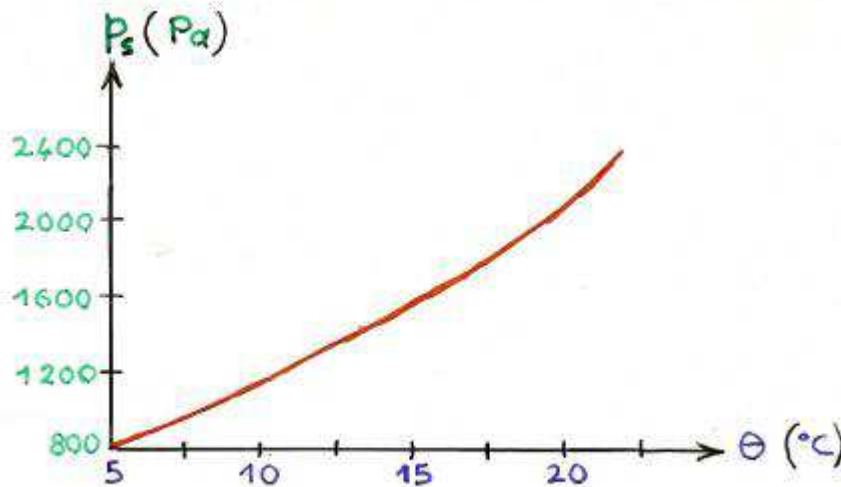
1) Calculer la résistance thermique surfacique des matériaux du mur.

2) Calculer la résistance thermique surfacique du mur.

En déduire le coefficient de transmission surfacique de la paroi.

3) Calculer la température de surface intérieure θ_{si} .

4) L'humidité relative de l'air intérieur est $H_r = 90\%$, en utilisant l'abaque, y-a-t'il condensation sur la face intérieure du mur ?



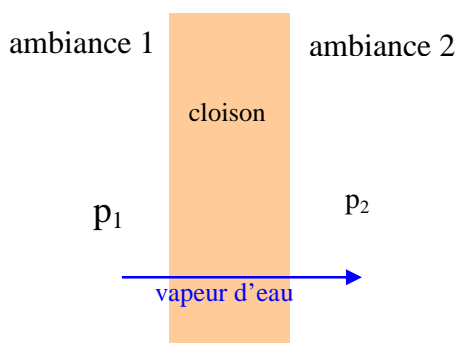
5) Vérifier ce résultat à l'aide du diagramme de l'air humide.

6) Calculer l'épaisseur minimale de l'isolant permettant d'éviter cette condensation.

Dans ces conditions :

- 7) Calculer la température au milieu de la couche d'isolant.
- 8) Préciser la position dans le mur où la température est nulle.

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 se saturent 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...

10. Exercices divers

•Exercice 18 :

Le système de chauffage-ventilation prévu pour une salle de bains, dont le volume est $V = 30 \text{ m}^3$, permet le renouvellement total de l'air au bout de $\Delta t = 1,0 \text{ h}$.

En hiver, l'air est pris à l'extérieur, à une température $\theta_1 = -5^\circ\text{C}$, puis il est réchauffé à une température $\theta_2 = 24,0^\circ\text{C}$.

Données :

capacité thermique massique : $c = 1,00 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Masse volumique de l'air : $\rho = 1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

1) a- Exprimer, sous forme littérale, en fonction des grandeurs V, c, ρ , θ_1 et θ_2 la quantité de chaleur Q reçue par l'air froid au cours de cette opération.

b- Calculer la valeur de Q.

c- Calculer la puissance thermique P_A que reçoit l'air.

La partie non vitrée du mur de la salle de bains en contact avec l'extérieur a une surface $S_1 = 5,0 \text{ m}^2$.

La petite fenêtre (partie vitrée) qui se trouve sur ce mur a pour surface $S_2 = 0,6 \text{ m}^2$.

On négligera l'influence des autres parois.

Les coefficients de transmission thermique surfacique du mur et de la fenêtre sont respectivement

$U_1 = 0,800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ et $U_2 = 3,500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

2) a- Donner l'expression littérale liant la densité de flux thermique ϕ traversant une paroi qui sépare deux ambiances dont la différence de température est $\Delta\theta$, avec le coefficient U de la paroi.

b- Exprimer la puissance thermique P_F s'écoulant de la salle de bains vers l'extérieur à travers les

parois en fonction des grandeurs $U_1, U_2, S_1, S_2, \theta_1$ et θ_2 .

c- Donner la valeur numérique de P_F .

d- Quelle puissance thermique P_{TH} devra fournir le système électrique de chauffage-ventilation en régime permanent, pour assurer le maintien de la température de la salle de bains et le renouvellement de l'air ?

Un constructeur d'appareils électriques de chauffage-ventilation pour salles de bains indique dans son catalogue que ceux-ci ont un rendement moyen $\eta = 85\%$.

Ils sont équipés d'un thermostat, réglable à la température souhaitée dans le local et qui arrête automatiquement l'appareil dès que cette température est atteinte.

Quatre modèles sont disponibles, leur puissance électrique P_E sont :

0,500 kW ; 0,750 kW ; 1,000 kW ; 1500 kW

3) Quel modèle devra-t-on choisir ? Cet appareil fonctionnera-t-il sans interruption ? Justifier.

•Exercice 19 :

Le chauffage d'un atelier est assuré par un générateur à air chaud qui renouvelle l'air toutes les heures lorsque la température extérieure est 0°C et a température intérieure maintenue à 17°C .

Données :

Dimensions intérieures : $15\text{ m} \times 10\text{ m} \times 3\text{ m}$

Masse volumique de l'air : $1,29\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

capacité thermique massique de l'air : $10^3\text{ J}\cdot\text{kg}\cdot\text{K}^{-1}$

1) Calculer l'énergie que doit fournir le générateur par heure pour chauffer l'air.

La surface des parois extérieures, sans les ouvertures est 130 m^2 .

Ces parois sont en brique d'épaisseur 20 cm et de conductivité thermique $2,5\text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

Les coefficients d'échange superficiel valent ensemble $8,1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Les fenêtres et ouvertures ont une surface de 20 m^2 et leur coefficient de transmission thermique surfacique une valeur de $4\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

2) Calculer le coefficient de transmission thermique surfacique des parois extérieures en brique.

3) Calculer la puissance thermique par transmission.

4) Quelle énergie doit apporter le générateur à air chaud, en une heure, pour compenser ces pertes ?

En déduire la puissance thermique du générateur.

Par une isolation des parois en briques, on amène leur coefficient de transmission à $0,85\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

On ne modifie en rien les fenêtres et les ouvertures.

5) Quelle est la nouvelle puissance thermique exigée du générateur de chauffage dans les mêmes conditions de fonctionnement ?

•Exercice 20 :

Un climatiseur, de puissance utile $P = 2,3\text{ kW}$, permet de refroidir l'air contenu dans un local de longueur

$L = 25,0\text{ m}$, de largeur $\ell = 15,0\text{ m}$ et de hauteur $h = 2,8\text{ m}$.

1) Le climatiseur est constitué d'un serpentin.

Un fluide entre à l'état liquide dans ce serpentin et en sort sous forme de vapeur sèche saturante.

a- Calculer la quantité de chaleur Q nécessaire au changement d'état du fluide pour une durée de fonctionnement d'une heure.

b- Sachant que la chaleur latente de vaporisation de ce fluide est $L_v = 205\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, calculer la masse de fluide qui doit se vaporiser en une heure de fonctionnement.

c- En déduire le débit massique du fluide dans le dispositif de fonctionnement.

2) L'air contenu dans le local est initialement à la température de 30°C ; pour les conditions rencontrées sa masse volumique est $\rho = 1,23\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, et sa capacité thermique massique est $c = 1000\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

a- Calculer la masse d'air contenue dans le local.

b- Si on ne tient pas compte des transferts de chaleur à travers les parois du local, quelle sera la durée nécessaire de fonctionnement du climatiseur pour que la température du local soit 20°C .

3) On considère que seuls les transferts de chaleur à travers les parois verticales existent.

Ces parois du local, toutes de même nature et de même épaisseur, présentent un coefficient de transmission thermique U (ou K) = $0,670\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

La température à l'extérieur est de 30°C .

a- Dans quel sens se produisent les transferts de chaleur ?

b- Que se passera-t-il quand le flux de chaleur à travers les parois et la puissance du dispositif de refroidissement auront- ils la même valeur ?

c- Calculer la surface des parois verticales.

d- Calculer la température de l'air contenu dans le local à l'équilibre thermique.

(On négligera l'épaisseur des parois devant les autres dimensions)

•Exercice 21 :

Un **appartement** est en contact avec l'extérieure par deux murs de longueur 10,0 m, de hauteur 3,0 m. Ces murs possèdent deux portes-fenêtres et deux fenêtres munies de double vitrage de surface totale 15 m².

Les murs sont constitués de l'intérieur vers l'extérieur :

- brique : e = 5 cm et $\lambda = 0,5 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

- isolant : e = 10 cm et $\lambda = 0,05 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

- béton : e = 16 cm et $\lambda = 1,75 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Le coefficient de transmission thermique du vitrage est $3,2 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$.

On néglige les pertes thermiques par le sol, le plafond et les autres murs ainsi que les phénomènes de convection et de rayonnement.

Les températures intérieure et extérieure sont 18°C et -2°C.

1) Calculer les résistances thermiques (K.W^{-1}) respectives, R_m et R_v de l'ensemble des deux murs et des surfaces vitrées.

2) On désigne par $\Delta\theta_c$ la différence de température qui existe entre les deux faces d'une même couche, et par R_c la résistance thermique de la couche concernée.

a- Montrer que, en régime stationnaire, on a : $\Delta\theta_c = \frac{R_c}{R_m} (\theta_i - \theta_e)$.

b- Déterminer les températures θ_1 et θ_2 des deux parois de l'isolant.

c- Déterminer la puissance P du chauffage nécessaire.