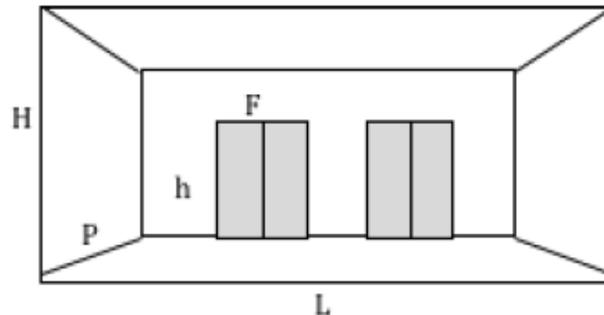


Exercice :

On étudie une salle de séjour dans un pavillon de plein pied sur vide sanitaire et avec combles Perdus. La forme et les dimensions de cette salle sont illustrées sur la figure.

FIGURE – Étude d'une salle de séjour avec : $H = 2.63$ m, $P = 4.35$ m, $L = 6.15$ m, $F = 1.4$ m et $h = 2.05$ m.



Le mur donnant sur le jardin présente 2 portes-fenêtres en bois avec un simple vitrage (1,4 [m] de large et 2,05 [m] de haut), de coefficient de transmission global $U_{fenetre} = 4,2$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]. Les autres murs séparent ce séjour, des autres pièces de la maison également chauffées.

Le mur de façade est constitué, de l'extérieur vers l'intérieur, d'un enduit de mortier de 2 [cm] d'épaisseur $\lambda = 1,15$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$], d'une couche de parpaings (20x20x50 à 2 rangées d'alvéoles, conformes à la norme NF P.14-301) d'une résistance $R_{par} = 0,23$ [$W^{-1}.m^2.K$] et d'un enduit de plâtre de 1,5 [cm] et $\lambda_{pl} = 0,35$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$].

Le plancher sur vide sanitaire est constitué d'une dalle en béton de 16 [cm] avec $\lambda_b = 1,75$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$] revêtue en sous-face de 5 [cm] de fibres végétales agglomérées ($\lambda_f = 0,12$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]) servant à la fois de coffrage perdu et d'isolant et en surface d'un carrelage en grès calcarifère ($\lambda_c = 1,9$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]) de 1,5 [cm] d'épaisseur.

Le plafond sous combles perdus non-chauffés, est constitué de deux feuilles de plâtre cartonnées ($\lambda = 0,35$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]) de 13 [mm] d'épaisseur chacune, accrochées aux fermes et recouvertes de 6 [cm] de laine de verre classe VA1 ($\lambda = 0,047$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]).

1. Calculer le coefficient de transmission thermique U_{mur} ($[W.m^{-2}.K^{-1}]$) du mur extérieur sur sa partie opaque.
2. Calculer le coefficient de transmission thermique $U_{plafond}$ ($[W.m^{-2}.K^{-1}]$) du plafond.
3. Calculer le coefficient de transmission thermique $U_{plancher}$ ($[W.m^{-2}.K^{-1}]$) du plancher.
4. Calculer les déperditions par les parois (hors ponts thermiques), quand la température intérieure (température de l'air) est maintenue à 18 [C], celle de l'air extérieur est à -5 [C] et celle du vide sanitaire et des combles est à 5 [C]. Déterminer la part relative de chaque élément : mur (partie opaque, fenêtres, plancher et plafond).

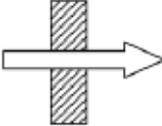
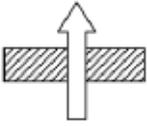
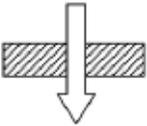
Analyser l'incidence sur les déperditions des modifications suivantes en calculant les déperditions au travers chacune des parois :

- (a) portes fenêtres en bois avec double-vitrage ($U_{fenetre} = 2,9$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]),
- (b) couche supplémentaire de 9 [cm] de laine de verre au dessus du plafond $\lambda_{div} = 0,047$ [$W.m^{-1}.K^{-1}$],
- (c) nouvelle constitution du mur de façade : 2 [cm] d'enduit de mortier $\lambda = 1,15$ [$W.m^{-1}.K^{-1}$], une couche en parpaings (15X20X50 à 2 rangées d'alvéoles conformes à la NF P. 14-30) de résistance thermique $R'_{parp} = 0,18$ [$W^{-1}.m^2.K$], d'une lame d'air de 4.5 [cm] ($R_{air} = 0,18$ [$W^{-1}.m^2.K$]) et de carreaux de plâtre ($\lambda = 0,35$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]) de 5 [cm],
- (d) polystyrène expansé dans la lame d'air précédente.

Par -5 [C] extérieur, 5 [C] en vide sanitaire ou en combles non chauffées et 18 [C], calculer les températures sur les faces intérieures des parois :

- (a) avant modifications,
- (b) après modifications.

FIGURE : – Valeurs conventionnelles des coefficients d'échanges convection-rayonnement, h_{si} et h_{se} , selon les règles Th-U, fascicule4/5.

Paroi donnant sur : - l'extérieur - un passage ouvert - un local ouvert ⁽²⁾	$1/h_{si}$ $m^2.K.W^{-1}$	$1/h_{se}^{(1)}$ $m^2.K.W^{-1}$	$1/h_{si}+1/h_{se}$ $m^2.K.W^{-1}$
Paroi verticale ou inclinée de moins de 30% sur la verticale flux horizontal 	0.13	0.04	0.17
Paroi horizontale ou inclinée de moins de 30% sur l'horizontale flux vertical ascendant 	0.10	0.04	0.14
flux vertical descendant 	0.17	0.04	0.21

(1) Si la paroi donne sur un volume non chauffé, R_{si} s'applique des deux côtés

(2) Un local est dit ouvert si le rapport de la surfaces totales de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à $0.005 m^2/m^3$.

Le fascicule 2/5 "Matériaux" des règles Th-U donnent les propriétés thermiques utiles des principaux matériaux de construction. La figure 4 en donne quelques extraits :

Solution :

1- Le mur est constitué :

- d'un enduit de mortier d'épaisseur $e_m = 2$ [cm] et de conductivité thermique $\lambda_m = 1,15$ [$W.m^{-1}.K^{-1}$],
- d'une couche de parpaings (20x20x50 à 2 rangées d'alvéoles, conformes à la norme NF P.14-301) d'une résistance $R_{par}=0,23$ [$W^{-1}.m^2.K$]
- d'un enduit de plâtre de 1,5 [cm] et $\lambda_{pl} = 0,35$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]

Par ailleurs, il faut prendre en compte les coefficients d'échanges convection-rayonnement a l'intérieur et à l'extérieur du séjour :

Coté intérieur : $1/h_{si} = 0,13$ [$m^2.K.W^{-1}$],

Coté extérieur : $1/h_{se} = 0,04$ [$m^2.K.W^{-1}$], d'après le tableau ci-dessus

$$U_{mur} = \frac{1}{1/h_{si} + e_{pl}/\lambda_{pl} + R_{parp} + e_m/\lambda_m + 1/h_{se}}$$

$$U_{mur} = \frac{1}{0.13 + 0.015/0.35 + 0.23 + 0.02/1.15 + 0.04}$$

$$U_{mur} = 2.17 \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]}$$

2- Calcul du coefficient de déperditions surfacique $U_{plafond}$ de plafond :

Le plafond est constitué de :

- de 2 feuilles de plâtre cartonnées d'épaisseur $e_{pl} = 1.3$ [cm] chacune et de conductivité thermique $\lambda_{pl} = 0.35$ [W.m⁻¹.K⁻¹],

- d'une couche de laine de verre d'épaisseur $e_{ldv} = 6$ [cm] et de conductivité thermique $\lambda_{ldv} = 0.047$ [W.m⁻¹.K⁻¹]

Par ailleurs, il faut prendre en compte les coefficients d'échanges convection-rayonnement à l'intérieur et à l'extérieur du séjour :

- côté intérieur : $1/h_{si} = 0.1$ [m².K.W⁻¹],

- côté extérieur : $1/h_{se} = 0.1$ [m².K.W⁻¹], car le plafond donne sur des combles perdues non chauffées (voir tableau)

Le coefficient d'échange surfacique $U_{plafond}$ est donc :

$$U_{plafond} = \frac{1}{1/h_{si} + 2.e_{pl}/\lambda_{pl} + e_{ldv}/\lambda_{ldv} + 1/h_{si}}$$

$$U_{plafond} = \frac{1}{0.1 + 0.026/0.35 + 0.06/0.047 + 0.1}$$

$$U_{plafond} = 0.64 \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]}$$

3- Calcul du coefficient de déperditions surfacique $U_{plancher}$ de plancher :

Le plancher est constitué de :

- d'une dalle de béton d'épaisseur $e_b = 16$ [cm] chacune et de conductivité thermique $\lambda_b = 1.75$ [W.m⁻¹.K⁻¹],

- d'une couche de fibres végétales agglomérées d'épaisseur $e_f = 5$ [cm] et de conductivité thermique $\lambda_f = 0.12$ [W.m⁻¹.K⁻¹],

- d'une couche de carrelage d'épaisseur $e_c = 1.5$ [cm] et de conductivité thermique $\lambda_c = 1.9$ [W.m⁻¹.K⁻¹]

Par ailleurs, il faut prendre en compte les coefficients d'échanges convection-rayonnement à l'intérieur et à l'extérieur du séjour :

- côté intérieur : $1/h_{si} = 0.17$ [m².K.W⁻¹],

- côté extérieur : $1/h_{se} = 0.17$ [m².K.W⁻¹], car le plancher donne sur un vide sanitaire (voir tableau)

Le coefficient d'échange surfacique $U_{plancher}$ est donc :

$$U_{plancher} = \frac{1}{1/h_{si} + e_b/\lambda_b + e_f/\lambda_f + e_c/\lambda_c + 1/h_{se}}$$

$$U_{\text{plancher}} = \frac{1}{0.17 + 0.16/1.75 + 0.05/0.12 + 0.015/1.9 + 0.17},$$

$$U_{\text{plancher}} = 1.17 \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]}$$

4- Déperdition par le mur :

La surface du mur extérieur est $S_{\text{mur}} = H \times L - 2 \times F \times h = 2.63 \times 6.15 - 2 \times 1.4 \times 2.05 = 10.43 \text{ [m}^2\text{]}$.
Les déperditions au travers la paroi opaque sont donc :

$$\Phi_{\text{mur}} = S_{\text{mur}} \times U_{\text{mur}} \times (T_i - T_e) = 521 \text{ [W]}$$

Déperdition par les fenêtres :

La surface des fenêtres est $S_{\text{fen}} = 2 \times F \times h = 2 \times 1.4 \times 2.05 = 5.74 \text{ [m}^2\text{]}$. Les déperditions au travers les fenêtres sont donc :

$$\Phi_{\text{fen}} = S_{\text{fen}} \times U_{\text{fenetre}} \times (T_i - T_e) = 554 \text{ [W]}$$

Déperdition par le plancher :

La surface du plancher est $S_{\text{plancher}} = P \times L = 4.35 \times 6.15 = 26.75 \text{ [m}^2\text{]}$. Les déperditions au travers le plancher sont donc :

$$\Phi_{\text{plancher}} = S_{\text{plancher}} \times U_{\text{plancher}} \times (T_i - T_{\text{vide}}) = 407 \text{ [W]}$$

Déperdition par le plafond :

La surface du plafond est $S_{\text{plafond}} = P \times L = 4.35 \times 6.15 = 26.75 \text{ [m}^2\text{]}$. Les déperditions au travers le plafond sont donc :

$$\Phi_{\text{plafond}} = S_{\text{plafond}} \times U_{\text{plafond}} \times (T_i - T_{\text{combles}}) = 222 \text{ [W]}$$

Déperdition dans le séjour:

Les déperditions totales dans le séjour sont donc :

$$\Phi_{\text{total}} = \Phi_{\text{mur}} + \Phi_{\text{fenetre}} + \Phi_{\text{plafond}} + \Phi_{\text{plancher}}$$

$$\Phi_{\text{total}} = 521 + 554 + 222 + 407 = 1704 \text{ [W]}$$

Le pourcentage de déperditions de chaque paroi est donc :

- pourcentage des pertes dues au **mur** : **30.5%**,
- pourcentage des pertes dues aux **fenêtres** : **32.5%**,
- pourcentage des pertes dues au **plancher** : **24%**,
- pourcentage des pertes par le **plafond** : **13%**.

Déperditions par les baies vitrées, après modifications

Les déperditions au travers les fenêtres se calculent par :

$$\Phi'_{fen} = S_{fen} \times U_{fenetre} \times (T_i - T_e) = 5.74 \times 2.9 \times (18 + 5) = 383 \text{ [W]}$$

Déperditions par le plafond, après modifications

L'isolation du plafond est renforcée par une couche supplémentaire de laine de verre d'épaisseur $e'_{ldv} = 9$ [cm] de conductivité $\lambda_{ldv} = 0.047$ [W.m⁻¹.K⁻¹]. Le coefficient d'échange surfacique pour le plafond est alors :

$$U'_{plafond} = \frac{1}{1/h_{si} + 2.e_{pl}/\lambda_{pl} + e_{ldv}/\lambda_{ldv} + e'_{ldv}/\lambda_{ldv} + 1/h_{se}}$$

Soit :

$$U'_{plafond} = \frac{1}{0.1 + 0.026/0.35 + 0.06/0.047 + 0.09/0.047 + 0.1},$$
$$U'_{plafond} = \mathbf{0.29 \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]}}$$

Les déperditions au travers le plafond sont alors ($T_{comble} = 5^\circ\text{C}$) :

$$\Phi'_{plafond} = S_{plafond} \times U'_{plafond} \times (T_i - T_{combles}) \approx 100 \text{ [W]}$$

Déperditions par le mur de facade, après modifications

Le mur est maintenant constitué de :

- d'un enduit de mortier d'épaisseur $e_m = 2$ [cm] et de conductivité thermique $\lambda_m = 1.15$ [W.m⁻¹.K⁻¹],
- d'une couche de parpaings alvéolés de $15 \times 20 \times 50$ à 2 rangées d'alvéoles et de résistance thermique $R'_{parp} = 0.18$ [m².K.W⁻¹],
- d'une lame d'air de $e_{air} = 4.5$ [cm] et de résistance thermique $R_{air} = 0.18$ [m².K.W⁻¹]
- d'une couche de carreaux de plâtre d'épaisseur $e_{pl} = 5$ [cm] et de conductivité thermique $\lambda_{pl} = 0.35$ [W.m⁻¹.K⁻¹]

Par ailleurs, il faut prendre en compte les coefficients d'échange convection-rayonnement à l'intérieur et à l'extérieur du séjour :

- côté intérieur : $1/h_{si} = 0.13 \text{ [m}^2\text{.K.W}^{-1}\text{]},$
- côté extérieur : $1/h_{se} = 0.04 \text{ [m}^2\text{.K.W}^{-1}\text{]},$

Le coefficient d'échange surfacique U_{mur} est donc :

$$U'_{mur} = \frac{1}{1/h_{si} + e_{pl}/\lambda_{pl} + R'_{parp} + R_{air} + e_m/\lambda_m + 1/h_{se}}$$

Soit :

$$U'_{mur} = \frac{1}{0.13 + 0.05/0.35 + 0.18 + 0.18 + 0.02/1.15 + 0.04},$$

$$U'_{mur} = 1.45 \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]}$$

Avec cette nouvelle composition, les déperditions au travers la paroi opaque sont donc :

$$\Phi'_{mur} = S_{mur} \times U'_{mur} \times (T_i - T_e) = 348 \text{ [W]}$$

Déperditions par le mur de facade, après modifications

Le mur est maintenant constitué :

- d'un enduit de mortier d'épaisseur $e_m = 2 \text{ [cm]}$ et de conductivité thermique $\lambda_m = 1.15 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]},$
- d'une couche de parpaings alvéolés de $15 \times 20 \times 50$ à 2 rangées d'alvéoles et de résistance thermique $R'_{parp} = 0.18 \text{ [m}^2\text{.K.W}^{-1}\text{]},$
- d'une lame d'air remplie de polystyrène expansé de $e_{air} = 4.5 \text{ [cm]}$ de conductivité thermique $\lambda_{pol} = 0.037 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$
- d'une couche de carreaux de plâtre d'épaisseur $e_{pl} = 5 \text{ [cm]}$ et de conductivité thermique $\lambda_{pl} = 0.35 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$

Par ailleurs, il faut prendre en compte les coefficients d'échanges convection-rayonnement à l'intérieur et à l'extérieur du séjour :

- côté intérieur : $1/h_{si} = 0.13 \text{ [m}^2\text{.K.W}^{-1}\text{]},$
- côté extérieur : $1/h_{se} = 0.04 \text{ [m}^2\text{.K.W}^{-1}\text{]},$

Le coefficient d'échange surfacique U_{mur} est donc :

$$U''_{mur} = \frac{1}{1/h_{si} + e_{pl}/\lambda_{pl} + R'_{parp} + e_{air}/\lambda_{pol} + e_m/\lambda_m + 1/h_{se}}$$

Soit :

$$U''_{mur} = \frac{1}{0.13 + 0.05/0.35 + 0.18 + 0.045/0.037 + 0.02/1.15 + 0.04},$$

$$U''_{mur} = 0.58 \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]}$$

Avec cette nouvelle composition, les déperditions au travers la paroi opaque sont donc :

$$\Phi''_{mur} = S_{mur} \times U''_{mur} \times (T_i - T_e) = 139 \text{ [W]}$$

Calculs des températures de surfaces internes

- Calcul de la température des baies vitrées avant modification, T_v :

$$T_v = T_i - \frac{\Phi_{fen}}{h_{si} \times 2 \times F \times h}$$
$$T_v = T_i - \frac{554 \times 0.13}{2 \times 1.4 \times 2.05} = 5.4[^\circ\text{C}]$$

- Calcul de la température des baies vitrées après modification, T'_v :

$$T'_v = T_i - \frac{\Phi'_{fen}}{h_{si} \times 2 \times F \times h}$$
$$T'_v = T_i - \frac{383 \times 0.13}{2 \times 1.4 \times 2.05} = 9.2[^\circ\text{C}]$$

- Calcul de la température du mur avant modification, T_m :

$$T_m = T_i - \frac{\Phi_{mur}}{h_{si} \times S_{mur}}$$
$$T_m = T_i - \frac{521 \times 0.13}{10.43} = 11.5[^\circ\text{C}]$$

- Calcul de la température du mur après modification, T'_m :

$$T'_m = T_i - \frac{\Phi'_{mur}}{h_{si} \times S_{mur}}$$
$$T'_m = T_i - \frac{348 \times 0.13}{10.43} = 13.6[^\circ\text{C}]$$

- Calcul de la température du mur après la seconde modification, T''_m :

$$T''_m = T_i - \frac{\Phi''_{mur}}{h_{si} \times S_{mur}}$$
$$T''_m = T_i - \frac{139 \times 0.13}{10.43} = 16.3[^\circ\text{C}]$$

- Calcul de la température du plancher avant modification, T_{plan} :

$$T_{plan} = T_i - \frac{\Phi_{plancher}}{h_{si} \times S_{plancher}}$$
$$T_{plan} = T_i - \frac{407 \times 0.17}{26.75} = 15.5[^\circ\text{C}]$$

- Calcul de la température du plafond avant modification, $T_{plafond}$:

$$T_{plafond} = T_i - \frac{\Phi_{plafond}}{h_{si} \times S_{plafond}}$$

$$T_{plafond} = T_i - \frac{222 \times 0.1}{26.75} = 17.1[^\circ\text{C}]$$

- Calcul de la température du plafond après modification, $T'_{plafond}$:

$$T'_{plafond} = T_i - \frac{\Phi'_{plafond}}{h_{si} \times S_{plafond}}$$

Pour une température de combles de 5°C :

$$T'_{plafond} = T_i - \frac{100 \times 0.1}{26.75} = 17.6[^\circ\text{C}]$$