

TD de thermique de l'habitat¹

- Td 2 -

1 Température dans un vitrage teinté exposé au soleil

Un vitrage de grande surface S d'épaisseur $L = 10$ [mm] et de conductivité $\lambda = 1$ [W.m⁻¹.K⁻¹], teinté dans la masse, recoit sur sa face extérieure, en incidence normale, un rayonnement solaire de densité $I_o = 1000$ [W.m⁻¹]. Des mesures effectuées au moyen de sondes abritées du rayonnement donnent la température $T_e = 18$ [°C] sur la face extérieure ($x = 0$) et la température $T_i = 18.2$ [°C] sur la face intérieure ($x = L$). Le flux solaire transmis décroît exponentiellement en fonction de x selon la loi. En incidence normale, le coefficient de réflexion du verre est négligeable. Cela revient à dire que le flux total absorbé dans l'intervalle $[0, x]$ suit la loi :

$$\Phi_a = I_o \times S \times \left(I - \exp\left(-\frac{x}{\delta}\right) \right) \quad (1)$$

1. Exprimer la puissance solaire convertie en chaleur par unit de volume.
2. En notant que dans ce domaine de température, la chaleur ne se propage dans le verre que par conduction, déterminer le profil de température dans le verre en régime permanent. On admettra que $\delta = 5$ [mm].
3. Montrer que la température atteint un maximum à l'intérieur du verre, puis préciser sa valeur et sa position.
4. Préciser la valeur du flux total (solaire + conduit), traversant le vitrage.

2 Exemple de calcul pour un mur de facade

On étudie la façade suivante :

Constitution du mur

Isolation par l'intérieur :

- parement extérieur en meulière basse densité de 4 [cm] d'épaisseur,
- béton ordinaire de 20 [cm] d'épaisseur,
- laine de roche VE3 de 8 [cm] d'épaisseur,
- parement intérieur en plâtre très haute dureté, de 1.5 [cm] d'épaisseur.

Isolation par l'extérieur :

- parement extérieur en meulière basse densité de 4 [cm] d'épaisseur,
- pare-vapeur
- laine de roche VE3 de 8 [cm] d'épaisseur,
- béton ordinaire de 20 [cm] d'épaisseur,
- parement intérieur en plâtre très haute dureté, de 1.5 [cm] d'épaisseur.

Isolation répartie :

- mortier d'enduit de 1 cm d'épaisseur,
- béton cellulaire de 30 [cm] d'épaisseur, sans chaînage vertical,

1. Polytech' Marseille, Semestre S9

– parement intérieur en plâtre très haute dureté, de 1.5 [cm] d'épaisseur.

Les menuiseries :

- 1.4×1.4 [m²] (au total)
- avec un coefficient surfacique (vitre + huisserie) : $U_{vitre} = 2.8$ [W.m⁻².K⁻¹] ,
- dans le cas de l'isolation intérieure, l'épaisseur d'isolant (laine de roche VE3) sous appui est de 4 cm.
- dans le cas d'une isolation extérieure, des équerres en alu sont utilisés.
- dans le cas d'une isolation répartie, $I_f = 4$ cm (pour les linteaux).

Les refends :

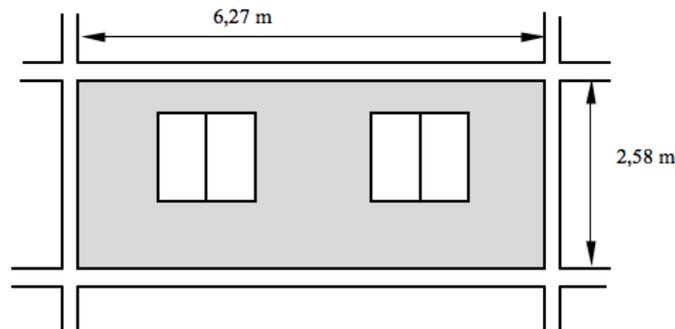
- voile de béton enduit de plâtre fin, épaisseur moyenne du voile de béton de 15 [cm].

Plancher bas :

- béton ordinaire, d'épaisseur moyenne de 15 [cm],
- plancher bas sans chape flottante, isolé en sous face avec $R_{isolant} > 2$ [W⁻¹.m.K]

Question :

1. Calculer le coefficient U_D [W.m⁻².K⁻¹] de la paroi dans le cas d'une isolation intérieure.
2. Calculer le coefficient U_D [W.m⁻².K⁻¹] de la paroi dans le cas d'une isolation extérieure.
3. Calculer le coefficient U_D [W.m⁻².K⁻¹] de la paroi dans le cas d'une isolation répartie.



Données complémentaires

Les conductivités thermiques manquantes sont à prendre dans les extraits de règles Th-U données dans le TD1 ou dans les documents de cours. Une liste non exhaustive de ponts thermique est fournie en complément du TD.

Correction de l'exercice 2

1/ Cas d'une isolation par l'intérieur

Déperditions par la paroi opaque

Le coefficient de transmission par le mur U_{mur} est défini par :

$$U_{mur} = \frac{1}{\frac{1}{h_{si}} + \frac{e_{meul}}{\lambda_{meul}} + \frac{e_{bet}}{\lambda_{bet}} + \frac{e_{plat}}{\lambda_{plat}} + \frac{e_{ldv}}{\lambda_{ldv}} + \frac{1}{h_{se}}} \quad (2)$$

$$U_{mur} = \frac{1}{0.13 + \frac{0.04}{0.9} + \frac{0.2}{1.75} + \frac{0.015}{0.5} + \frac{0.08}{0.037} + 0.04}$$

$$U_{mur} = 0.4 [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (3)$$

La surface du mur est :

$$A_{mur} = 6.27 \times 2.58 - 2 \times (1.4 \times 1.4)$$

$$A_{mur} = 12.25 [\text{m}^2]$$

Déperditions linéiques

- Ponts thermiques mur-mur : pour une isolation intérieure, quelque soit le type de maçonnerie, le coefficient de déperditions linéiques vaut : $\psi_{mur-mur} = 0.02 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$. La longueur de ces ponts thermiques est $l_{mur-mur} = 2 \times 2.58 = 5.16 [\text{m}]$.
- Ponts thermiques mur-refend (p37 du cours) : le mur extérieur est en béton ordinaire, le pont thermique vaut $\Psi_{mur-refend} = 0.8 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}]$. La longueur totale des ponts thermiques "mur-refend" est $l_{mr} = 2.58 \times 2 = 5.16 [\text{m}]$.
- Ponts thermiques mur-plancher : d'après l'énoncé le coefficient de pont thermique linéique entre le mur de façade et le plancher est $\Psi_{mur-plancher} = 0.52 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}]$. Pour ce pont thermique, la longueur est $l_{mur-plancher} = 6.27 [\text{m}]$.
- Ponts thermiques mur-plancher intermédiaire : d'après l'énoncé le coefficient de pont thermique linéique entre le mur de façade et le plancher intermédiaire est $\Psi_{mur-interm} = 0.8 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}]$. Pour ce pont thermique, la longueur est $l_{mur-interm} = 6.27 [\text{m}]$.
- Ponts thermiques des ouvrants : au niveau des appuis et des linteaux, les coefficients linéiques sont $\Psi_{appui} = 0.06 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}]$ et $\Psi_{linteau} = 0 [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-2}]$. Par fenêtre, la longueur du pont thermique d'appui est $l_{appui} = 1.4 [\text{m}]$ et $l_{linteau} = 1.4 [\text{m}]$.

Coefficient $U_D [\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$

$$U_D = \frac{H_{opaque} + H_{ouvrant}}{A_{mur} + A_{ouvrant}}$$

avec

$$H_{opaque} = A_{mur} \cdot U_{mur} + \sum \Psi_k \cdot l_k$$

$$H_{opaque} = 17.37 [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$H_{ouvrant} = A_{vitre} \cdot U_{vitre} + 2(\Psi_{appui} l_{appui} + \Psi_{linteau} l_{linteau})$$

$$H_{ouvrant} = 11.14 [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}]$$

$$U_D = \frac{17.37 + 11.14}{12.25 + 3.92} = 1.76 \text{ [W.m}^{-2}\text{K}^{-1}\text{]}$$

2/ Cas d'une isolation par l'extérieur

Le coefficient de transmission du mur U_{mur} n'est pas modifié, puisqu'il est constitué des mêmes matériaux.

Déperditions linéiques

- Ponts thermiques mur-mur : pour une isolation extérieure avec un mur en béton ordinaire de 20 cm d'épaisseur de part et d'autre de l'angle, le coefficient de déperditions linéiques vaut : $\psi_{mur-mur} = 0.18 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{]}$ (p. 35). La longueur de ces ponts thermiques est $l_{mur-mur} = 2 \times 2.58 = 5.16 \text{ [m]}$.
- Ponts thermiques mur-refend (p39 du cours) : le mur extérieur est en béton ordinaire, le pont thermique vaut $\Psi_{mur-refend} = 0.083 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-2}\text{]}$ (par interpolation linéaire du tableau p39). La longueur totale des ponts thermiques "mur-refend" est $l_{mr} = 2.58 \times 2 = 5.16 \text{ [m]}$.
- Ponts thermiques mur-plancher : d'après l'énoncé le coefficient de pont thermique linéique entre le mur de façade et le plancher est $\Psi_{mur-plancher} = 0.64 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-2}\text{]}$. Pour ce pont thermique, la longueur est $l_{mur-plancher} = 6.27 \text{ [m]}$.
- Ponts thermiques mur-plancher intermédiaire : d'après l'énoncé le coefficient de pont thermique linéique entre le mur de façade et le plancher intermédiaire est $\Psi_{mur-interm} = 0.083 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-2}\text{]}$ (par interpolation linéaire). Pour ce pont thermique, la longueur est $l_{mur-interm} = 6.27 \text{ [m]}$.
- Ponts thermiques des ouvrants : au niveau des appuis et des linteaux, les coefficients linéiques sont $\Psi_{appui} = 0.38 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-2}\text{]}$ et $\Psi_{linteau} = 0.04 \text{ [W.m}^{-1}\text{.K}^{-2}\text{]}$. Par fenêtre, la longueur du pont thermique d'appui est $l_{appui} = 1.4 \text{ [m]}$ et $l_{linteau} = 1.4 \text{ [m]}$.

Coefficient $U_D \text{ [W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{]}$

$$U_D = \frac{H_{opaque} + H_{ouvrant}}{A_{mur} + A_{ouvrant}}$$

avec

$$\begin{aligned} H_{opaque} &= A_{mur} \cdot U_{mur} + \sum \Psi_k \cdot l_k \\ H_{opaque} &= 10.76 \text{ [W.K}^{-1}\text{]} \\ H_{ouvrant} &= A_{vitre} \cdot U_{vitre} + 2(\Psi_{appui} l_{appui} + \Psi_{linteau} l_{linteau}) \\ H_{ouvrant} &= 12.15 \text{ [W.K}^{-1}\text{]} \end{aligned}$$

On remarque que les déperditions à travers les parties opaques ont été réduites par l'utilisation d'une isolation extérieure : les ponts thermiques murs-refends et mur-plancher intermédiaire sont sensiblement réduits (facteur 1/10) par l'isolation extérieure. En revanche, les ponts thermiques sont plus élevés au niveau des angles (multipliés par un facteur 4.5) et à la liaison mur-plancher bas (facteur 1.3).

En revanche, comme dit en cours, les ponts thermiques au niveau des ouvrants augmentent

quand on utilise une isolation extérieure plutôt qu'une isolation intérieure : les ponts thermiques au niveau des linteaux ne sont plus nuls, les ponts thermiques au niveau des appuis sont multipliés par un facteur 6.3.

Finalement, le coefficient U_D de la paroi est réduit d'un facteur 0.8.

$$U_D = \frac{10.76 + 12.15}{12.25 + 3.92} = 1.42 [\text{W.m}^{-2}\text{K}^{-1}]$$

3/ Cas d'une isolation répartie

Déperditions par la paroi opaque

On parle d'isolation répartie dès que l'épaisseur de béton cellulaire (ou de brique monomur) est > 24 cm.

Le coefficient de transmission du mur U_{mur} est sensiblement modifié, puisque les matériaux ont été changés. Le coefficient de transmission par le mur U_{mur} est défini par :

$$U_{mur} = \frac{1}{\frac{1}{h_{si}} + \frac{e_{mor}}{\lambda_{mor}} + \frac{e_{bet}}{\lambda_{bet}} + \frac{e_{plat}}{\lambda_{plat}} + \frac{1}{h_{se}}} \quad (4)$$

$$U_{mur} = \frac{1}{0.13 + \frac{0.01}{1.15} + \frac{0.3}{0.18} + \frac{0.015}{0.5} + 0.04}$$

$$U_{mur} = 0.53 [\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}] \quad (5)$$

La surface du mur est :

$$A_{mur} = 6.27 \times 2.58 - 2 \times (1.4 \times 1.4)$$

$$A_{mur} = 12.25 [\text{m}^2]$$

Déperditions linéiques

- Ponts thermiques mur-mur : pour une isolation répartie avec un mur en béton cellulaire de 30 cm d'épaisseur de part et d'autre de l'angle, le coefficient de déperditions linéiques vaut : $\psi_{mur-mur} = 0.07 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ (p. 35). La longueur de ces ponts thermiques est $l_{mur-mur} = 4 \times 2.58 = 10.32$ [m].
- Ponts thermiques mur-refend (p40 du cours) : le mur extérieur est en béton cellulaire, le pont thermique vaut $\Psi_{mur-refend} = 0.075 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-2}]$ (par interpolation linéaire du tableau p40). La longueur totale des ponts thermiques "mur-refend" est $l_{mr} = 2.58 \times 2 = 5.16$ [m].
- Ponts thermiques mur-plancher : d'après l'énoncé le coefficient de pont thermique linéique entre le mur de façade et le plancher est $\Psi_{mur-plancher} = 0.1 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-2}]$. Pour ce pont thermique, la longueur est $l_{mur-plancher} = 6.27$ [m].
- Ponts thermiques mur-plancher intermédiaire : d'après l'énoncé le coefficient de pont thermique linéique entre le mur de façade et le plancher intermédiaire est $\Psi_{mur-interm} = 0.08 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-2}]$ (par interpolation linéaire). Pour ce pont thermique, la longueur est $l_{mur-interm} = 6.27$ [m].
- Ponts thermiques des ouvrants : au niveau des appuis et des linteaux, les coefficients linéiques sont $\Psi_{appui} = 0.16 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-2}]$ et $\Psi_{linteau} = 0.09 [\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-2}]$. Par fenêtre, la longueur du pont thermique d'appui est $l_{appui} = 1.4$ [m] et $l_{linteau} = 1.4$ [m].

Coefficient U_D [$W.m^{-2}.K^{-1}$]

$$U_D = \frac{H_{opaque} + H_{ouvrant}}{A_{mur} + A_{ouvrant}}$$

avec

$$\begin{aligned} H_{opaque} &= A_{mur} \cdot U_{mur} + \sum \Psi_k \cdot l_k \\ H_{opaque} &= 8.41 \text{ [W.K}^{-1}\text{]} \\ H_{ouvrant} &= A_{vitre} \cdot U_{vitre} + 2(\Psi_{appui} l_{appui} + \Psi_{linteau} l_{linteau}) \\ H_{ouvrant} &= 11.67 \text{ [W.K}^{-1}\text{]} \end{aligned}$$

Les déperditions à travers les parties opaques ont été réduites par l'utilisation d'une isolation répartie plutôt qu'une isolation intérieure : les ponts thermiques murs-refends et mur-plancher intermédiaire sont sensiblement réduits par l'isolation répartie. En revanche, les ponts thermiques sont plus élevés au niveau des angles (multipliés par un facteur 4, mais restent tout de même très faibles!) et à la liaison mur-plancher bas (facteur 1.3). De plus, les ponts thermiques mur-plancher sont aussi réduits, ce qui n'étaient pas le cas pour une isolation extérieure.

Les ponts thermiques au niveau des ouvrants sont plus importants d'un facteur 1.04 entre isolations répartie et intérieure, mais, ils sont moindre dans le cas d'une isolation répartie que dans le cas d'une isolation extérieure (facteur 0.96).

Finalement, le coefficient U_D de la paroi est réduit d'un facteur 0.7 quand on utilise une isolation répartie plutôt qu'une isolation intérieure.

$$U_D = \frac{8.41 + 11.67}{12.25 + 3.92} = 1.24 \text{ [W.m}^{-2}\text{K}^{-1}\text{]}$$

Par ailleurs, l'isolation extérieure permet de réduire les déperditions par infiltration, les parois opaques étant alors moins sensibles aux infiltrations d'air (voir cours sur les déperditions par renouvellement d'air).