

Contrôle Continu n°1

ER42 : Bases des connaissances pour la thermique des bâtiments

*Durée : 90 min
autorisée*

Documents et appareils électroniques interdits

Calculatrice

Attention, chaque calcul devra être détaillé (expression littérale + application numérique). Un résultat seul, même juste n'accordera pas tous les points.

Composition du sujet (/30 points) :

Exercice 1 : Comparaison de 2 vitrages (/5 points)

Exercice 2 : Connaissances (/4 points)

Exercice 3 : Maison container (/15 points)

Exercice 4 : Étude d'une chambre froide (/6 points)

Barème à titre indicatif

Exercice 1 : Comparaison de 2 vitrages (/5 points)

Le but de cet exercice est de comparer 2 types de vitrages ; un double vitrage à lame d'air (A) et un double vitrage à lame d'argon (B).

Vitrage A : Double vitrage : 4mm + 20 mm d'air + 4mm

Vitrage B : Double vitrage : 4mm + 16 mm d'argon + 4mm

Données numériques :

Conductivités thermiques :

$$\lambda_{\text{vitrage}} = 1,15 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{air}} = 0,022 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{argon}} = 0,017 \text{ W/mK}$$

$$r_A = 1,1 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$r_B = 1,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Résistances thermiques superficielles :

$$r_i, \text{ résistance thermique interne : } r_i = 0,12 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$r_e, \text{ résistance thermique externe : } r_e = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$\text{Température extérieure : } \theta_e = -5^\circ\text{C}$$

$$\text{Température intérieure : } \theta_i = 18^\circ\text{C}$$

Les températures suivantes ont été calculées pour chacun des vitrages :

Vitrage A	
θ_{A-si} (T° vitrage côté intérieur)	15,50 °C
θ_{A-1} (T° entre la vitre intérieure et la lame d'air)	15,42°C
θ_{A-2} (T° entre la vitre extérieure et la lame d'air)	-3,55 °C
θ_{A-se} (T° vitrage côté extérieur)	-3,63°C

Tableau 1 : Températures au sein du vitrage A

Vitrage B	
θ_{B-si} (T° vitrage côté intérieur)	15,55 °C
θ_{B-1} (T° entre la vitre intérieure et la lame d'argon)	15,48°C
θ_{B-2} (T° entre la vitre extérieure et la lame d'argon)	-3,71 °C
θ_{B-se} (T° vitrage côté extérieur)	-3,78°C

Tableau 2 : Températures au sein du vitrage B

1. Tracer les diagrammes des températures pour chacun des vitrages (vous pouvez tracer chacun des profils de température de couleurs différentes sur un même diagramme si vous le souhaitez).
2. Lequel des 2 vitrages conseilleriez-vous à un client pour une construction neuve ? Justifier.

Exercice 2 : Connaissances (4 points)

1. Citer les 3 modes de transfert thermiques et décrivez les brièvement
2. Définir l'inertie thermique
3. Définir le déphasage thermique

Exercice 3 : Maison container (15 points)

Les conteneurs sont des caissons métalliques parallélépipédiques conçus pour le transport de marchandises, notamment par voie maritime. Après 10 à 15 ans d'utilisation dans le secteur du transport, ces conteneurs peuvent connaître une seconde vie en étant réemployés pour la construction d'habitations ou de bureaux. Leur recyclage étant souvent difficile en raison de leur grande taille et de la présence de rouille, leur réutilisation constitue une solution intéressante. L'un des principaux avantages des conteneurs réside dans leur standardisation : ils peuvent être soudés, empilés et aménagés, permettant ainsi de créer des espaces à la fois fonctionnels, agréables et esthétiques.

Isolation des murs par l'extérieur



Bardage en bois



Figure 1 : Illustrations d'une ITE et d'un bardage bois (CLAVIER, Pascal)

Les dimensions du container sont les suivantes :

- Longueur $L = 12 \text{ m}$, largeur $l = 2,4 \text{ m}$, hauteur $h = 2,6 \text{ m}$

Le conteneur comporte les ouvrants suivants (sur les murs) :

- 2 portes en bois, isolées, dont la surface est pour chacune de $S_p = 2,40 \text{ m}^2$
- 1 baie vitrée en double vitrage de longueur $L_v = 5,50 \text{ m}$ et de hauteur $h_v = 2,0 \text{ m}$
- 1 fenêtre également en double vitrage de surface $S_f = 1,40 \text{ m}^2$

Les murs (structure en acier) sont isolés de manière répartie comme décrit ci-dessous :

- Du côté intérieur, par des plaques de liège $e_l = 4,0 \text{ cm}$.
- Du côté extérieur, par de la laine de verre d'épaisseur $e_{LV} = 20 \text{ cm}$. Un bardage bois en lattes vernies d'épaisseur $e_{bois} = 0,012 \text{ m}$ termine le mur et protège la laine de verre des intempéries.

Le toit du conteneur (acier) est également isolé de manière répartie :

- Du côté intérieur, par des plaques de liège de la même épaisseur que les murs $e_l = 4,0 \text{ cm}$.
- Du côté extérieur, par de la laine de verre d'épaisseur e_{LVtoit} .

Le sol du conteneur est constitué :

- D'un plancher bois d'épaisseur $e_{plbois} = 1,2 \text{ cm}$, sous lequel est disposé de la laine de bois d'une épaisseur $e_{LB} = 15,0 \text{ cm}$.

Données numériques :

- Soit les résistances superficielles intérieure et extérieure du container respectivement : $r_i = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ et $r_e = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ (pour toutes les parois)
- La température à l'intérieur du logement $\theta_i = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$
- La température à l'extérieur du logement $\theta_e = -2,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Caractéristiques des matériaux :

Matériau	Bois	Liège	Laine de verre	Laine de bois
$\lambda \text{ (W/mK)}$	0,14	0,043	0,040	0,038

Tableau 3 : Conductivité thermique des matériaux

Questions :

I. Question préalable

1. Le container maritime est en acier. Le propriétaire hésite entre une isolation par l'extérieur ou une isolation par l'intérieur. Donner un avantage et un inconvénient que présente chaque type d'isolation.

II. Étude thermique de l'enveloppe

a) Les murs

Le propriétaire choisi finalement une isolation répartie : plaques de liège à l'intérieur et laine de verre + bardage bois à l'extérieur. On néglige la résistance thermique des composants métalliques (structure du container : murs + toit).

1. Pourquoi est-il acceptable de négliger la résistance thermique des composants métalliques ?
2. Donner l'expression littérale et calculer la résistance thermique surfacique r_{murs} des parois verticales. Calculer r_{murs} .
3. Exprimer puis calculer le flux thermique surfacique ϕ_{murs} à travers ces murs.
4. Déterminer le flux thermique Φ_{murs} à travers ces parois verticales (hors ouvrants).

b) Le toit

Pour le toit, on vise une isolation d'une valeur de résistance thermique de $r_{toit} = 12 \text{ m}^2\text{K/W}$.

5. Calculez l'épaisseur de laine de verre e_{LVtoit} nécessaire pour obtenir la résistance $r_{toit} = 12 \text{ m}^2\text{K/W}$.
6. Le flux thermique surfacique à travers le toit étant $\varphi_{toit} = 1,83 \text{ W/m}^2$, calculez les déperditions à travers le toit en W .

c) Le sol

7. Montrer que la résistance thermique du sol est environ égale à $r_{sol} = 4,2 \text{ m}^2\text{K/W}$
8. Calculer les déperditions en W à travers le sol.

d) Les vitrages

9. Le flux thermique surfacique à travers la baie vitrée et la fenêtre du logement container est $\varphi_v = 38,0 \text{ W/m}^2$. Montrez que le flux thermique global Φ_v à travers les vitrages est d'environ 471 W .

III. Bilan thermique du logement container

Le flux thermique à travers les portes du logement est de $\Phi_{portes} = 150 \text{ W}$.

1. Exprimer le flux total des déperditions thermiques à travers le logement. Montrer que ce flux est égal à $\Phi_{total} = 1030 \text{ W}$.
2. Exprimer et calculer l'énergie thermique perdue à travers le container isolé pendant 30 jours d'hiver ($T_{jours} \theta_i = 20,0 \text{ }^\circ\text{C}, \theta_e = -2,0 \text{ }^\circ\text{C}$)
3. Sachant que le prix du kWh d'électricité est de **0,1952€**, calculer le coût du chauffage par radiateur électrique pour compenser ces pertes et maintenir la température intérieure à $20,0^\circ\text{C}$ pendant ces 30 jours.
4. Un problème important qu'il faut résoudre lorsqu'on utilise les containers maritimes en acier est celui des ponts thermique.

Définir ce qu'est un pont thermique et expliquer pourquoi la structure métallique est propice à l'apparition de ponts thermiques. Comment le problème a-t-il été résolu dans le cas du container ?

5. BONUS : Quel autre problème thermique cause ce type de construction du fait d'avoir une structure en acier ?

Exercice 4 : Étude d'une chambre froide (/8 points)

Un groupe scolaire comporte dans ses locaux une chambre froide destinée à la conservation de denrées périssables. Cette chambre froide, est séparée du local qui contient les denrées non réfrigérées par un simple mur en béton.

La température de la chambre froide est constante et vaut $\theta_{ch,f} = -15^\circ\text{C}$, celle de l'entrepôt est égale à $\theta_{ent} = 18^\circ\text{C}$. L'humidité relative de l'entrepôt est de $H_r = 60\%$.

Données :

P_{sat} (mbar)	12,27	13,12	14,02	14,97	15,97	17,04	18,07	19,36	20,62	21,96
θ (°C)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Tableau 4 : Valeur de la pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température

- L'humidité relative H_r à une température θ , est donnée par la relation : $H_r = \frac{p_v}{p_{sat}}$ où p_v est la pression partielle de vapeur d'eau et p_{sat} est la pression de vapeur saturante de l'eau.
- Le mur entre la chambre froide et l'entrepôt a pour épaisseur $e = 20\text{ cm}$.
- Coefficient de conductivité thermique du béton : $\lambda_{\text{béton}} = 1,4\text{ W/mK}$
- Coefficient de transmission thermique par convection air-béton : $h_i = 9,0\text{ W/m}^2\text{K}$ (même coefficient pour les convections côté intérieur de la chambre froide et côté extérieur = côté entrepôt)

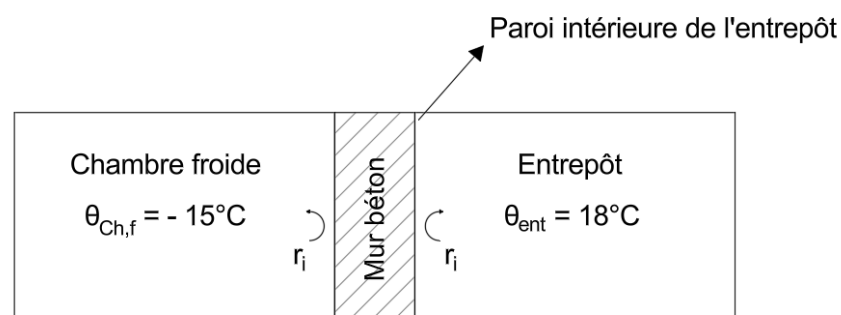


Figure 2 : Schéma du mur séparant la chambre froide de l'entrepôt

- Calculer la valeur de la pression de vapeur ambiante P_v qui règne à l'intérieur de l'entrepôt. En déduire la valeur de la température de rosée θ_r de l'entrepôt (aidez-vous du tableau).

- Exprimer la résistance thermique globale $R_{mur\ béton}$ de la paroi en béton. Pour une surface $S = 10\ m^2$, montrer que la valeur de la résistance thermique globale est d'environ $R_{mur\ béton} = 0,037\ K/W$.

Le flux thermique entre la chambre froide et l'entrepôt est $\Phi_{mur\ béton} = 892\ W$.

- Exprimer et calculer la température de la paroi intérieure du mur, du côté de l'entrepôt θ_{si} . Est-ce qu'il y a de la condensation de vapeur d'eau sur cette paroi ?
- Que pouvez-vous préconiser pour éviter cette condensation ?