

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 : Isolation d'un appartement (/10,5 points)

Exercice 2 : Étude d'un système de chauffage par le sol (/7,5 points)

Exercice 3 : Comparaison de 2 vitrages (/4 points)

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

Barème à titre indicatif

Exercice 1 : Isolation d'un appartement (/10,5 points)

Un jeune couple, sensible aux enjeux environnementaux, a acheté un appartement au deuxième étage d'un petit immeuble dans le but de le rénover. Il est important pour eux que le choix des matériaux, de l'isolation jusqu'à l'éclairage, en passant par le chauffage et les peintures, se fasse dans le respect des normes environnementales en vigueur, tout en respectant leur budget. Afin de réduire les frais liés à la rénovation, le couple entreprendra lui-même les travaux, mais il a besoin de la validation d'un.e ingénieur.e en thermique du bâtiment. L'appartement du couple est situé entre deux appartements voisins et possède une façade donnant sur la rue, l'autre donne sur un couloir comme le montre le schéma ci-dessous :

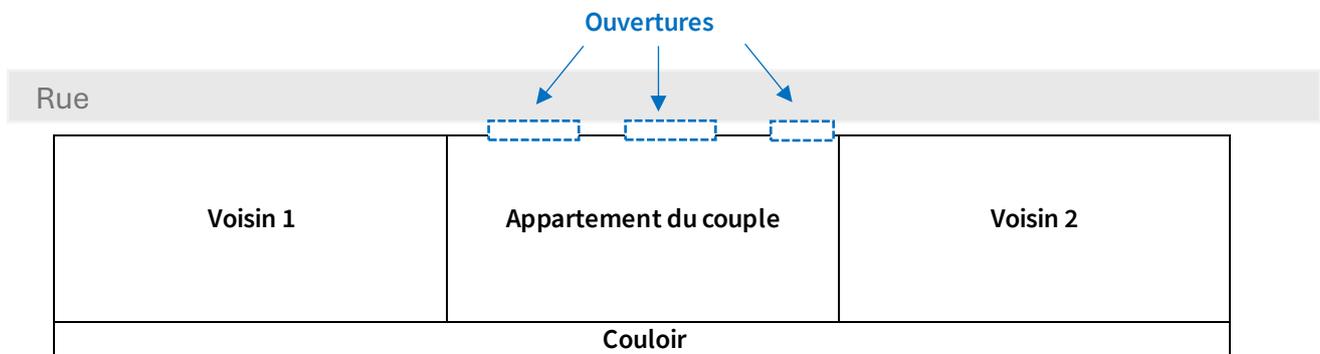


Figure 1 : Schéma simplifié de l'appartement et son environnement

Données numériques :

- Hauteur sous plafond : $h = 2,50 \text{ m}$
- Longueur des murs intérieurs à isoler : $L_m = 10,00 \text{ m}$
- 2 ouvertures en façade, de dimensions : $l_{F1} = 1,50 \text{ m}$ et $h_{F1} = 1,10 \text{ m}$
- 1 ouverture en façade, de dimensions : $l_{F2} = 1,20 \text{ m}$ et $h_{F2} = 1,10 \text{ m}$
- Conductivité thermique du placoplâtre : $\lambda_p = 0,33 \text{ W/mK}$

Questions :

1. Présentez brièvement les 3 différents modes possibles de transfert thermique
2. Parmi les 3 modes de transferts cités à la question précédente, préciser quel est celui qui a la plus grande importance en termes de pertes thermiques pour la façade donnant sur la rue.

Le bâtiment qui abrite leur appartement n'est pas performant énergétiquement, les murs qui donnent sur la rue ont une résistance thermique surfacique de $r_{murs} = 2,2 \text{ m}^2\text{K/W}$. Le couple voulant obtenir un logement très performant, il décide de choisir des valeurs d'isolation prévues initialement¹ pour respecter la RE2020 :

Parois opaques	Résistance thermique surfacique r ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Isolation des sols	$R \geq 4$
Isolation des murs	$R \geq 5$
Isolation de la toiture	$R \geq 10$

Tableau 1 : Résistances thermiques surfaciques générales à atteindre

3. Préciser la valeur r_{min} de la résistance thermique surfacique minimale à atteindre pour le mur de la façade sur la rue.
En déduire la valeur r'_{murs} de la résistance thermique surfacique à ajouter pour rénover le mur de cet appartement donnant sur la rue.

¹ nota : le respect de la RE2020 est obligatoire uniquement pour les bâtiments neufs

La copropriété de l'immeuble ne souhaite pas rénover l'ensemble du bâtiment, ainsi le couple est contraint d'isoler son appartement par l'intérieur. Pour cela il a présélectionné 4 types d'isolants :

Isolant	Épaisseur (placo+isolant) e (mm)	Conductivité thermique λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)	Résistance thermique surfacique r ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	Dimensions (m)	Masse (kg)	COV	Prix/m ² (€)
Panneau roulé en laine de verre	0 + 75	0,032	2,35	8,1 × 1,2		xxx	7,72
Doublage en polystyrène	10 + 100	0,038	2,65	2,5 × 1,2	24,99	A ⁺	10,95
Doublage en polyuréthane	10 + 80	0,022	3,7	2,5 × 1,2	33,15	A ⁺	28,2
Doublage en laine de roche	10 + 90	0,035	2,4	2,5 × 1,2	38,2	A	15,47

(COV : classe d'émission des composés organiques volatils)

Tableau 2 : Description des 4 isolants

- Quels sont les avantages et les inconvénients d'une isolation par l'intérieur ?
- Parmi les quatre matériaux présélectionnés par le couple, lequel permettrait de répondre à leur volonté d'atteindre des seuils équivalents à ceux de la RE2020 ? Justifier.

Pour valider son choix, le couple souhaiterait se rendre compte de l'impact de chacun des isolants sur les déperditions thermiques de leur appartement. Pour faire cela, ils ont trouvé un tableau (cf. Tableau 3 à la page suivante) dans un livre de physique du bâtiment, mais il est incomplet. Ainsi, ils font appel à vous pour calculer les valeurs manquantes dans le tableau, sachant que le chauffage est estimé à 150 jours par an, et l'écart moyen de température entre l'intérieur et l'extérieur est de 18°C.

Type d'isolant	Résistance thermique surfacique r_{totale} ($m^2 K/W$)	Flux th. surfacique ϕ (W/m^2)	Déperditions thermiques ϕ (W)
Panneau roulé en laine de verre	4,6	3,9	80
Doublage en polystyrène	4,9	3,7	76
Doublage en polyuréthane	?	?	?
Doublage en laine de roche	4,6	3,9	80

Tableau 3 : Caractéristiques thermiques des différents matériaux sélectionnés

- Déterminer la valeur de la résistance thermique surfacique r_{totale} du mur avec doublage en polyuréthane qui manque dans le tableau. Les valeurs des coefficients de convection sont déjà prises en compte dans r_{murs} . (Répondre sur votre copie et non sur l'énoncé !)
- Déterminer les valeurs du flux thermique surfacique et des déperditions thermiques totales qui manquent dans le tableau précédent. (Répondre sur votre copie et non sur l'énoncé !)
- BONUS: Si le couple avait en réalité un projet de construction neuve répondant à la RE2020, quel autre aspect que l'impact thermique aurait-il dû prendre en compte dans le choix de leurs matériaux ?

Exercice 2 : Étude d'un système de chauffage par le sol (/7,5 points)

Contexte :

Le plancher chauffant s'est démocratisé en France à partir des années 1960, il était alors appelé « chauffage au sol ». Il se composait de tubes en acier dans laquelle circulait une température d'eau élevée, qu'on ne pouvait pas réguler, ce qui était source d'inconfort pour les occupants. En effet, cette chaleur appliquée directement sur la peau entraîne une vasodilatation des vaisseaux sanguins qui peut provoquer des sensations désagréables de jambes lourdes voire des douleurs.

Depuis, le système de plancher chauffant a bien évolué et fonctionne à basse température. Des réglementations ont été mises en place pour éviter tout désagrément sur la santé des usagers. Tout d'abord, l'article 35 de l'arrêté du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, de bureaux ou recevant du public (ERP), qui prévoit une température de surface maximale : « Les planchers chauffants doivent être conçus et installés de façon que, dans les conditions de base, la température au contact des sols finis ne puisse dépasser 28 °C en aucun point. » De plus, le DTU¹ 65.14 impose une température du fluide qui circule dans le plancher chauffant de 50°C maximum.

De plus en plus populaire ces dernières années, on le retrouve dans beaucoup de construction neuves selon la RT2012 et la RE2020.

Énoncé :

Un constructeur a fait le choix du plancher chauffant pour le rez-de-chaussée d'un chalet, d'une surface de **30 m²**, mais il a besoin de votre confirmation pour valider l'étude qu'il a effectué.

Le plancher chauffant sélectionné par le constructeur est composé d'un tube dans lequel circule de l'eau à une température moyenne constante de $\theta_{eau} = 31^\circ\text{C}$. Ce système de chauffage doit permettre de maintenir une température ambiante de $\theta_{amb} = 19^\circ\text{C}$ à l'intérieur du chalet. La température du sol des fondations est supposée uniforme et égale à $\theta_f = 12^\circ\text{C}$. Le coefficient d'échange par convection h entre la surface du revêtement du plancher et le local a pour valeur $h = 11 \text{ W/m}^2\text{K}$.

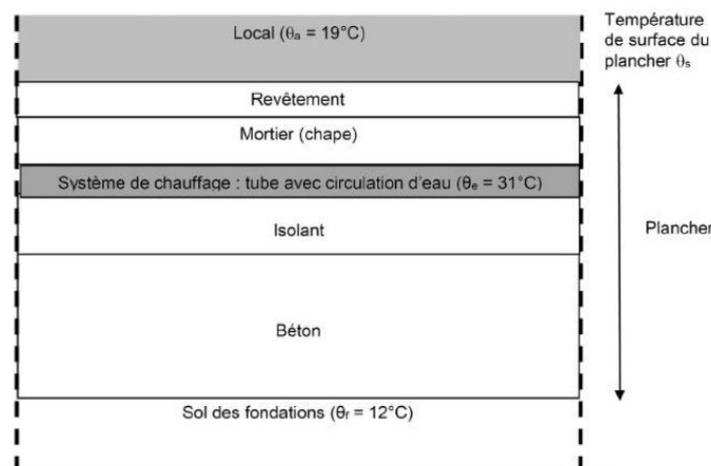


Figure 2 : Composition du plancher bas du chalet

¹DTU : Document Technique Unifié, synthèse des règles de l'art concernant un ouvrage

Données numériques :

	Mortier	Revêtement	Isolant	Béton
Épaisseur (cm)	$e_1 = 5,5$	$e_2 = 1,2$	$e_3 = 5$	$e_4 = 15$
Conductivité thermique (W/mK)	$\lambda_1 = 1,1$	$\lambda_2 = 2,5$	$\lambda_3 = 0,038$	$\lambda_4 = 1,4$

Tableau 4 : Épaisseur et conductivité des différents matériaux du plancher chauffant

1. Calculer la résistance thermique surfacique r_{sup} des matériaux compris entre le système de chauffage et le local, en tenant compte du coefficient de convection.
2. Vérifier que la densité de flux thermique émis vers le haut par le système de chauffage vaut environ $\varphi_{sup} = 80 \text{ W/m}^2$.

La résistance thermique surfacique r_{inf} des matériaux compris entre le système de chauffage et le sol des fondations vaut $1,43 \text{ m}^2\text{K/W}$ et le flux thermique surfacique vaut $\varphi_{inf} = 13,29 \text{ W/m}^2$.

3. Calculer la puissance thermique reçue par le local et la puissance thermique perdue vers les fondations. Vérifier que la puissance thermique fournie par le système de chauffage vaut environ $2,8 \text{ kW}$.
4. Calculer l'énergie perdue vers les fondations par an, en considérant une période de chauffe de 150 jours, 8h/jour.
5. Calculer la température de surface du plancher θ_{ps} . Cette température vous semble-t-elle acceptable ?
6. Au vu des résultats de l'étude, quels conseils pourriez-vous donner au constructeur pour améliorer son système de plancher chauffant ?

Exercice 3 : Comparaison de 2 vitrages (/4 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 5 : 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 5 : 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 conseillerez-vous à un client pour une construction neuve ? Justifier.

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 6 : 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 : $\lambda_{béton} = 1,4\text{ W/mK}$
- 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)

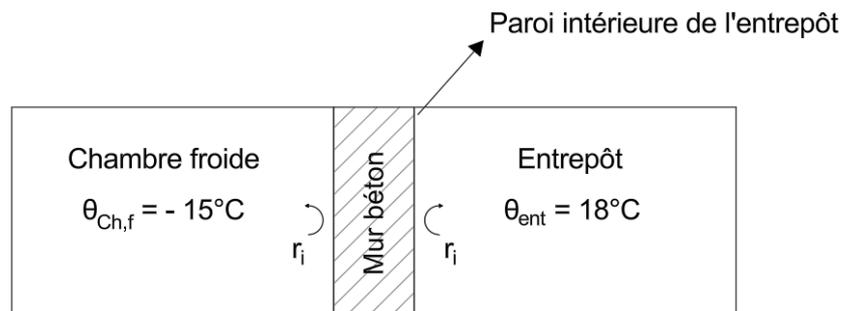


Figure 2 : Schéma du mur séparant la chambre froide de l'entrepôt

1. 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).
2. Exprimer la résistance thermique globale $R_{mur\ béton}$ de la paroi en béton. Pour une surface $S = 10\text{ m}^2$, montrer que la valeur de la résistance thermique globale est d'environ $R_{mur\ béton} = 0,037\text{ K/W}$.
3. Exprimer et calculer le flux thermique Φ_{mur} entre la chambre froide et l'entrepôt. En déduire la puissance thermique transmise (en W) entre la chambre froide et l'entrepôt $P_{transmise}$.

4. 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 ?
5. On veut éviter que la vapeur se condense sur la surface intérieure de l'entrepôt car il contient de la nourriture. Le directeur de l'école décide alors d'isoler le mur du côté entrepôt. Une entreprise lui propose une isolation constituée de 5 cm de polystyrène.

Données :

$$\lambda_{polystyrène} = 0,04 \text{ W/mK}$$

$$h_i = 9,0 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- 5.1. Calculer la nouvelle résistance thermique globale $R_{mur \text{ isolé}}$ relative à une surface $S = 10 \text{ m}^2$. Calculer la nouvelle puissance thermique transmise $P_{transmise}$.
- 5.2. Est-ce que le mur du côté de l'entrepôt a toujours de la condensation ?