TD Physique 07 **BCPST 1C**

- Transferts thermiques -

✦ Exercice 01 : Isolation thermique d'une habitation

Monsieur X souhaite réduire ses dépenses de chauffage l'hiver en améliorant l'isolation thermique de son habitation.

Rappel : *la résistance thermique* R_{Th} *d'une paroi constituée d'un unique matériau de conductivité* λ (en $W.m^{-1}.K^{-1}$) *est reliée à son épaisseur* e (en m) *et à sa surface* S (en m²) *par la relation :*

$$R_{Th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

Données : *Conductivité thermique du verre :* $\lambda_V = 1{,}0\ W.m^{-1}.K^{-1}$;
Conductivité thermique de l'air : $\lambda_A = 0{,}024\ W.m^{-1}.K^{-1}$;
Résistance thermique des murs de la maison : $R_{Th,M} = 80.10^{-3}\ K.W^{-1}$;
Résistance thermique du sol du grenier : $R_{Th,G} = 5{,}0.10^{-3}\ K.W^{-1}$;

Il remplace ses fenêtres à simple vitrage (verre d'épaisseur $e_V = 4{,}0$ mm*) par des fenêtres à double vitrage, constituées de deux vitres en verre d'épaisseur* $e_V = 4{,}0$ mm*, séparées par une couche d'air d'épaisseur* $e_A = 20{,}0$ mm.

1- **a)** Exprimer l'énergie Q_1 perdue au travers d'une fenêtre simple vitrage de surface S pendant une durée Δt (on notera T_{int} et T_{ext} respectivement la température intérieure et la température extérieure avec $T_{int} > T_{ext}$).
b) De même, exprimer l'énergie Q_2 perdue au travers d'une fenêtre double vitrage de même surface pendant la même durée.
c) Comparer Q_1 et Q_2.

Sa maison possédant un grenier non chauffé, il souhaite en isoler le sol (de surface $S_{grenier} = 80$ m²*) pour atteindre la réglementation RT2012 imposant une résistance thermique minimale* $R_{Th,min} = 30.10^{-3}\ K.W^{-1}$.

Différents matériaux lui sont proposés pour réaliser cette isolation :

Nom du matériau	Béton	Bois de sapin	Polystyrène extrudé	Paille compressée	Brique pleine	Laine de verre
Conductivité thermique λ en $W.m^{-1}.K^{-1}$	2,2	0,14	0,033	0,050	1,0	0,038

2- **a)** Parmi ces différents matériaux, lequel Monsieur X doit-il préférentiellement utiliser pour isoler le sol de son grenier ?
b) Quelle épaisseur minimale e_{min} de ce matériau doit-il apposer sur le sol du grenier pour respecter la réglementation RT2012 ?

On isole souvent les cloisons des appartements avec une couche de laine de verre d'une épaisseur d'une dizaine de centimètres.

3- Quelle devrait être l'épaisseur d'une paroi en béton qui isolerait de la même manière ?

✦ Exercice 02 : Température d'un préfabriqué

Un préfabriqué est séparé de l'extérieur par :
- des murs de 20 cm *d'épaisseur et de résistance thermique* $R_{th,M} = 2{,}5.10^{-2}\ K.W^{-1}$;
- une fenêtre de 28 mm *d'épaisseur et de résistance thermique* $R_{th,F} = 10{,}0.10^{-2}\ K.W^{-1}$.

Dans tout l'exercice, on considèrera que l'atmosphère extérieure constitue un thermostat de température $T_0 = 280$ K.

1- Montrer que l'ensemble {murs + fenêtre} est équivalent à une paroi unique de résistance thermique $R = 2{,}0.10^{-2}\ K.W^{-1}$.

On arrête le radiateur qui permettait de maintenir l'air du préfabriqué à une température $T_C = 20{,}0$ °C. *On étudie l'évolution de la température T(t) du système {air présent dans le préfabriqué + murs + fenêtre} qu'on supposera uniforme mais non constante.*

Donnée : Capacité thermique du système : $C = 1{,}50.10^{5}\ J.K^{-1}$.

2- Exprimer la puissance thermique (ou flux thermique) algébriquement reçue par le système en fonction de R, T et T_0.

3- Etablir l'équation différentielle vérifiée par la température T(t).

4- Déterminer la solution T(t) et tracer l'allure de la fonction.

5- Donner l'expression de la constante de temps τ caractéristique de l'évolution du système puis calculer sa valeur.

6- Quelle sera la température dans le préfabriqué au bout d'une heure ? d'une journée ?

La température à l'intérieur du préfabriqué valant $T_0 = 280$ K*, on rallume le radiateur délivrant une puissance* $P_{rad} = 2{,}00$ kW.

7- Exprimer la puissance thermique algébriquement reçue par le système en fonction de R, T, T_0 et P_{rad}.

8- Etablir l'équation différentielle vérifiée par la température T(t).

9- Déterminer la solution T(t) et tracer l'allure de la fonction.

10- Donner l'expression de la constante de temps τ' caractéristique de l'évolution du système.

11- Calculer la température dans le local une fois le régime stationnaire établi. Doit-on augmenter ou diminuer la puissance du radiateur ?

12- Déterminer la puissance du radiateur permettant d'atteindre une température de 20 °C une fois le régime stationnaire établi.

13- Pour la puissance déterminée précédemment, au bout de combien de temps la température atteinte vaut-elle15 °C ?

✦ Exercice 03 : Refroidissement d'une boisson

Pour refroidir la boisson contenue dans un verre, on peut y rajouter un caillou glacial. Les cailloux utilisés sont des cubes de granite de masse volumique $\rho_{gr} = 2{,}64.10^{3}\ kg.m^{-3}$*, de côté* a*, de capacité thermique massique* $c_{gr} = 790\ J.K^{-1}.kg^{-1}$ *et dont le coefficient de transfert conducto-convectif de Newton vaut* $h = 10\ W.K^{-1}.m^{-2}$.

Pour refroidir un caillou, on le suspend par un fil dans une chambre froide, au contact de l'air à la température $T_{Th} = -25$ °C.

1- Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la température T du caillou s'écrit :

$$\rho_{gr}.a.c_{gr}.\frac{dT}{dt} + 6h.T = 6h.T_{Th}$$

2- En admettant qu'un caillou initialement à une température $T_0 = 15$ °C devient glacial (c'est-à-dire que sa température exprimée en degrés Celsius devient négative) au bout de 8 minutes, en déduire la valeur a du côté du cube de granite.

• Exercice 04 : Transfert thermique avec un conducteur ohmique

Un conducteur ohmique de résistance R = 1,00 kΩ, *assimilé à une phase condensée idéale de capacité thermique* C, *est placé dans l'air ambiant dont la température* T_0 = 20 °C *est supposée constante. A partir de l'instant de date* t = 0, *le conducteur ohmique est parcouru par un courant d'intensité* I = 100 mA *constante.*

On modélise les transferts thermiques entre l'air ambiant et le conducteur ohmique en supposant que pendant un intervalle de temps dt, le conducteur ohmique à la température T *reçoit algébriquement un transfert thermique infinitésimal* **δQ = a × (T₀ – T) × dt** *de la part de l'air ambiant (loi de Newton) avec* a *un coefficient positif qu'on cherche à déterminer.*

1- Quel sera le signe de δQ ? Etait-ce prévisible ?

2- Montrer que l'équation différentielle vérifiée par la température T du conducteur ohmique est de la forme :

$$\frac{\mathbf{dT}}{\mathbf{dt}} + \mathbf{A.T} = \mathbf{B}$$

On exprimera les coefficients A et B en fonction de a, C, R, I et T_0.

3- Donner l'expression de la durée τ caractéristique du phénomène décrit par cette équation.

4- Au bout d'un temps suffisamment long, le conducteur ohmique atteint une température limite de 40 °C. En déduire la valeur du coefficient a.

• Exercice 05 : Effet de serre sur Terre

On estime le flux solaire reçu par la surface de la Terre à Φ_S = 1,74.10 ^{17} W *et on modélise la Terre comme un corps noir de température de surface* T_{Terre}.

Rappel : Le flux thermique surfacique φ émis par un corps noir de température de surface T *vaut :*

$\varphi = \sigma \times T^4$ *avec* φ *en* $W.m^{-2}$, T *en* K *et* $\sigma = 5{,}67.10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}$

1- Dans le cadre de ce modèle, faire un bilan d'énergie en régime stationnaire (c'est-à-dire une fois l'équilibre thermique atteint) pour la surface de la Terre. En déduire l'expression de température de surface de la Terre en fonction de Φ_S, σ, et R_T. Faire l'application numérique.

Le bilan précédent néglige la présence de l'atmosphère : on peut considérer que celle-ci est totalement transparente au rayonnement solaire. En revanche, certains gaz présents dans l'atmosphère comme la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, absorbent les infrarouges qui constituent le rayonnement thermique émis par la surface de la Terre. Ainsi, on peut modéliser l'atmosphère elle-même comme un corps noir dans le domaine de l'infrarouge et dont la température T_a *est uniforme à l'équilibre thermique.*

2- Dans le cadre de ce modèle, faire un bilan d'énergie en régime stationnaire (c'est-à-dire une fois l'équilibre thermique atteint) pour la surface de la Terre puis pour l'atmosphère. En déduire une nouvelle expression de température de surface de la Terre en fonction de Φ_S, σ, et R_T. Faire l'application numérique.

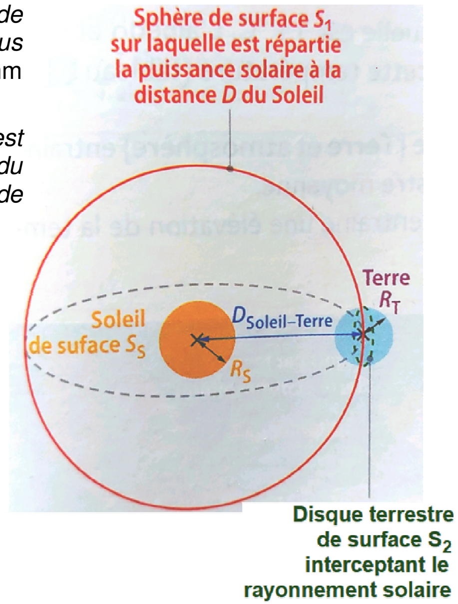
En fait, le rayonnement solaire n'est pas totalement absorbé par la Terre, car notre planète est caractérisée par un albédo moyen α = 0,31 *: cela signifie que 31 % du flux incident est réfléchi vers l'espace. De plus, l'atmosphère n'absorbe pas la totalité des infrarouges émis par la surface terrestre, mais seulement une fraction* p = 0,90 (90 %).

3- Reprendre les bilans réalisés à la question **2-** et en déduire une nouvelle expression de température de surface de la Terre en fonction de Φ_S, σ, R_T, α et p. Faire l'application numérique.

✦ Exercice 06 : Bilan radiatif terrestre

Le Soleil peut être assimilé à un corps noir de rayon R_S = 6,96.10 ^{5} km *et émettant avec le plus d'intensité un rayonnement de longueur d'onde* 500 nm *environ.*

La Terre, elle aussi assimilée à un corps noir, est située à une distance D = 150 millions de kilomètres *du Soleil, et peut être considérée comme une sphère de rayon* R_T = 6380 km.



Données :

Loi de déplacement de WIEN : *Parmi toutes les ondes électromagnétiques émises par un corps noir dont la température de surface vaut* **T** (en K), *celle émise avec la plus grande intensité est caractérisée par une longueur d'onde* λ_{max} (en m) *vérifiant la relation :* $\mathbf{T \times \lambda_{max} = k}$ avec $\mathbf{k = 2{,}89.10^{-3}\ K.m}$.

Loi de STEFAN-BOLTZMAN : *Le flux thermique* Φ (en W) *émis par rayonnement par la surface* **S** (en m²) *d'un corps noir de température de surface* **T** (en K) vaut : $\mathbf{\Phi_{émis} = \sigma \times S \times T^4}$ avec $\mathbf{\sigma = 5{,}67.10^{-8}\ W.m^{-2}.K^{-4}}$.

1- Déterminer le flux thermique Φ_{Soleil} émis par le Soleil.

Dans la suite, on supposera que le flux thermique émis par le Soleil se conserve et qu'il se propage de la même manière dans toutes les directions de l'espace.

2- Calculer la surface S_1 (voir schéma) sur laquelle le flux thermique émis par le Soleil se répartit à une distance D = 150 millions de kilomètres du Soleil.

3- Que vaut la surface S_2 (voir schéma) du disque terrestre interceptant ce rayonnement solaire ?

4- En déduire la valeur $\Phi_{Reçu\ par\ la\ Terre}$ du flux solaire reçu par la Terre.

5- En déduire la température T_{Terre} à la surface de la Terre une fois l'équilibre thermique atteint sur celle-ci. Comparer à la valeur moyenne terrestre actuelle qui est de 15 °C et commenter.