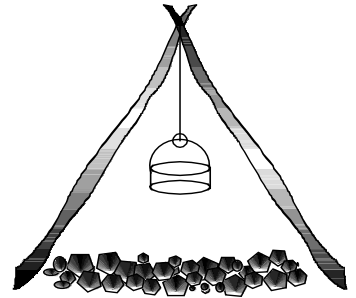


Sujet N°6

Chauffage d'une masse d'eau

Lors d'une randonnée on souhaite faire chauffer un volume d'eau, dans un récipient métallique fermé, au dessus d'un feu de camp. Comme l'on dispose d'un peu de temps, on se prend à réfléchir à la physique des transferts associés à cette opération bien banale.

La figure ci-contre illustre le problème, dont on va faire ici une décomposition pour en proposer une analyse simplifiée.



On chauffe le volume d'eau V avec un flux ϕ constant au cours du temps. L'eau est contenue dans un récipient cylindrique en aluminium de rayon intérieur R et de hauteur L muni d'un couvercle dont l'épaisseur des parois est de 1mm. Le flux ϕ est appliqué sur la base inférieure du cylindre.

A tout instant la température de l'eau, supposée homogène dans tout le volume, est notée $T(t)$ et à l'instant initial l'eau est à la température T_i . La température de l'air en contact avec le récipient est notée T_∞ , la température de l'air atmosphérique est notée T_a . On suppose que l'eau remplit totalement le récipient.

On précisera pour chaque question les hypothèses émises que l'on justifiera.

Dans un premier temps on négligera les pertes thermiques du récipient rempli d'eau.

1. Donner l'expression de la température en fonction du temps de chauffe.
2. Au bout de combien de temps l'eau va-t-elle bouillir ?

Dans un second temps on prend en compte les échanges thermiques liés à la convection entre les parois latérale et supérieure du récipient métallique et l'air qui l'entoure à la température T_∞ . On notera h_c le coefficient d'échange par convection.

3. Donner l'expression de la température en fonction du temps de chauffe.
4. Au bout de combien de temps l'eau va-t-elle bouillir ?
5. Justifier la valeur de T_∞ que vous avez retenue pour le calcul et commenter le résultat obtenu.

Aux pertes par convection il convient d'ajouter les échanges par rayonnement entre le récipient métallique et le milieu qui l'entoure.

On fera les hypothèses suivantes :

- Le milieu environnant est un corps noir à T_a
 - Le foyer circulaire de rayon R_f est un corps noir à T_f
 - Les parois latérales ainsi que la paroi supérieure du récipient ont une émissivité $\varepsilon = 0,9$ et n'échangent par rayonnement qu'avec le milieu environnant à T_a .
6. Donner l'expression du flux net échangé par rayonnement entre les parois latérales et la paroi supérieure avec le milieu environnant. En déduire une expression du coefficient de transfert de chaleur par rayonnement et calculer les deux valeurs extrêmes.
 7. Donner l'expression de la température en fonction du temps de chauffe et calculer le temps au bout duquel l'eau va bouillir.

On s'intéresse pour finir au flux net ϕ reçu par la base du récipient cylindrique qui résulte de son échange par rayonnement avec le foyer du feu. On néglige les échanges par convection sur la base.

8. Donner l'expression et calculer le facteur de forme entre le fond du récipient de rayon R et le foyer de rayon R_f distant de ℓ .
9. Donner l'expression du flux net ϕ et calculer ses deux valeurs extrêmes. En déduire une expression du coefficient de transfert de chaleur par rayonnement et calculer les deux valeurs extrêmes.
10. Recalculer le temps au bout duquel l'eau va bouillir avec cette nouvelle valeur du flux.
11. Quel est selon vous le facteur d'incertitude le plus important dans ce calcul ? A combien estimez-vous sa précision ?

Données :

$$\begin{aligned} V &= 2 \text{ litres} ; L = 0,15\text{m} ; R_f = 0,4\text{m} ; \ell = 0,2\text{m} ; \\ T_a &= 20^\circ\text{C} ; T_i = 20^\circ\text{C} ; T_f = 500^\circ\text{C} \\ \phi &= 500\text{W} ; h_c = 10 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1} \end{aligned}$$