Nom : .... **Prénom :** .... **Section :** .... **No :** ......

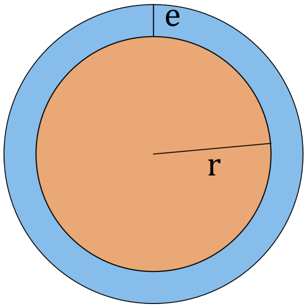
Exercice supplémentaire: Lutte contre le gel (tiré de l'examen 2017)

La production de fruits dans le Valais est souvent mise en danger par des gelées nocturnes qui se produisent alors que les bourgeons floraux sont déjà bien formés. Nous allons étudier certaines méthodes proposées pour protéger ces plantations. Typiquement, il ne faut pas que la température du bourgeon descende en dessous de 0 à -1 °C. Une méthode consiste à asperger les plantations lorsque la température descend trop bas. Les bourgeons sont alors progressivement pris dans une gangue de glace, qui s'épaissit au fur et à mesure de l'arrosage.

Partie A: protection par la glace

On assimilera le bouton floral à une sphère de rayon r. L'épaisseur de la glace est notée e. On veut maintenir la température du bourgeon à $\theta_0 = 0$ °C et la température de l'air est $\theta_0 - \Delta T$.

Les données sont de plus: Conductivité thermique de la glace: $\lambda_g = 2$ Wm^{-1}K^{-1} ; Chaleur latente massique de fusion de la glace: $L_{\text{fus}} = 300$ kJ.kg^{-1}; Masse volumique de la glace $\rho_g = 10^3$ kg.m^{-3}



Dans tous le problème, on supposera $e \ll r$. On rappelle l'aire d'une sphère: $S = 4\pi r^2$.

1. Citez deux mécanismes qui pourraient protéger le bourgeon du froid extérieur ? Détaillez avec une courte phrase d'explication.

   ....

   ....

2. Calculez en fonction des données la chaleur perdue à travers la glace d'épaisseur constante e pendant un temps t

   $Q_1 =$ ....

3. On suppose que le bouton est composé à 50% de matière organique (qu'on assimilera à de l'eau) et de 50% d'air et qu'il est détruit si 50% de la matière organique gèle. Calculez en fonction des données, le temps pendant lequel la coque de glace peut protéger le bouton:

   $t_1 =$ ....

4. A.N. évaluez t_1 pout $r = 5$ mm, $e = 1$ mm et $\Delta T = 5$ K. Commentez.

   ....

5. On considère maintenant l'épaississement de la couche de glace. On suppose qu'elle a une épaisseur $e(t)$. Pour un petit intervalle de temps $\mathrm{d}t$, calculer l'épaisseur additionnelle à fournir pour que le bouton reste à température constante θ_0 et ne gèle pas du tout lorsque l'air extérieur est à $\theta_0 - \Delta T$. On supposera l'eau d'aspersion à 0 ℃.

   $\mathrm{d}e =$ ....

Partie B: Inconvénient de la méthode

Les autorités émettent des recommandations pour le démarrage de l'arrosage en fonction de la température extèrieure et de *l'humidité relative de l'air*. Lorsque l'air est très sec, il faut démarrer **à partir d'une certaine température** sinon l'arrosage risque de provoquer plus rapidement le gel des plantes. On appelle h_{rel} l'humidité relative et p_{sat} la pression de vapeur saturante de l'eau à 0 ℃. On suppose l'air ambiant, les boutons floraux et l'eau d'arrosage à 0 ℃.

6. Expliquez quel phénomène est à l'origine de ce risque

   ....

7. Rappelez la définition de l'humidité relative

   ....

8. On considère une parcelle de $A = 1$ m^2, et on s'intéresse à une colonne d'air de $H =$ 2m de haut (hauteur des arbres). Calculer en fonction des données la masse d'eau à évaporer pour faire passer l'air de 20% à 100% d'humidité. On considérera la vapeur d'eau comme un gaz parfait. On appelle M_{eau} la masse molaire de l'eau et à 0 ℃, $P_{\mathrm{sat}} = 0.6$ kPa.

   $m =$ ....

   Application Numérique : $m =$ ....

Solution

1. - La glace peut faire une couche isolante
   - En gelant l'eau dégage de la chaleur qui protège la plante

2. $P = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = P \cdot t$
   Donc
$$Q_1 = \frac{\lambda A(T_0 - T_{ext})t}{e} = \frac{\lambda 4\pi r^2 \Delta T t}{e}$$

3. Si 1/4 du volume de la sphère gèle, le bouton est détruit.
   Un volume $V = \frac{1}{4}\frac{4}{3}\pi r^3$ a une masse de $m = \frac{1}{3}\pi r^3 \rho$

   Pour le faire geler on doit lui soutirer
$$Q = \frac{1}{3}\pi r^3 \rho L_{fus} = \frac{\lambda 4\pi r^2 \Delta T}{e} t$$
   Donc
$$t_1 = \frac{\rho L_{fus} r}{12} \frac{e}{\lambda \Delta T}$$

4. ~ 12 s

5. Il faut que l'énergie apportée par l'aspersion compense la perte de chaleur
$$\delta Q_{cond} = \delta Q_{solidification}$$
   Donc
$$\frac{\lambda 4\pi r^2}{e} \Delta T dt = 4\pi r^2 de \rho L_{vap}$$
   Enfin
$$de = \frac{\lambda}{e} \Delta T \frac{1}{\rho L_{vap}} dt$$

6. L'eau va s'évaporer: elle va donc nécessiter de la chaleur Q

7. $$h_{rel} = \frac{p_{eau}}{p_{sat(T)}} \qquad \text{(en pourcentage)}$$

8. Il faut compenser $0.8 p_{sat}$ qui manque. On considère l'eau un gaz parfait.
   $pV = nRT = \frac{m}{M_{H_2O} RT}$
   Donc
$$m = \frac{pVM_{H_2O}}{RT} = \frac{0.8 p_{sat} HAM_{H_2O}}{RT_0}$$

   A.N.: 2.4 g