A. Questions

1. La capacité thermique volumique est la chaleur à fournir à un matériau pour élever sa température rapportée à son volume :

$$\Delta Q = m \cdot C_p \cdot \Delta\theta = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta\theta = V \cdot C \cdot \Delta\theta$$

On voit que :

$$C = \rho \cdot C_p$$

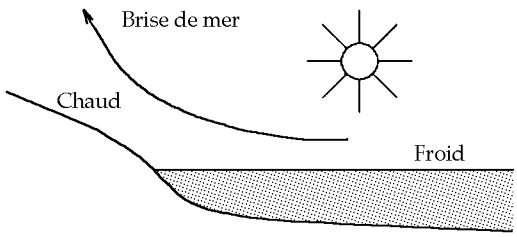
$$\left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3\cdot\text{K}}\right] = \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]\left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}\right]$$

2. L'évaporation d'un liquide nécessite de l'énergie (il faut « chauffer ») alors que la condensation en libère (une quantité exactement égale). De ce fait, c'est la vitre qui reçoit de la chaleur.

3. Effet de la brise :

Jour :

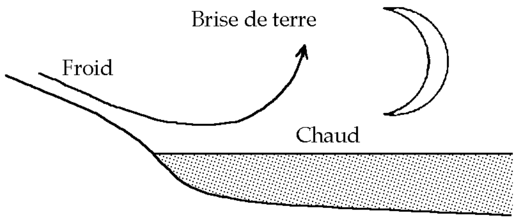
Le jour, le sol chauffé par le Soleil atteint une température élevée et chauffe l'air. La mer, quant à elle, reste à une température plus basse et refroidit l'air. Les étendues d'eau restent tempérées car la majeure partie de l'énergie solaire sert à faire évaporer l'eau et non à la chauffer. Comme l'air chaud monte (densité plus faible), il se crée un courant d'air : une brise de mer apparaît (voir dessin).



Jour : brise de mer

Nuit :

La nuit, le sol se refroidit en échangeant sa chaleur par radiation avec le ciel (la température apparente du ciel étoilé est environ de 20 °C inférieure à celle de la terre). La mer reste plus ou moins à la même température que le jour et devient une zone chaude. La brise de mer qui s'était créée le jour s'inverse et devient une brise de terre (voir dessin page suivante).



Nuit : brise de terre

Rôle régulateur de l'humidité :

L'humidité contenue dans le sol et dans la végétation joue un rôle régulateur pour les températures diurnes et nocturnes.

Jour : Un sol humide et/ou avec beaucoup de végétation (et donc l'air par convection et un peu par conduction) s'échauffe plus lentement qu'un sol aride, car une part importante de l'énergie solaire est utilisée pour évaporer l'eau contenue dans le sol et la végétation.

Nuit : Un sol humide et/ou avec beaucoup de végétation (et donc l'air par convection et un peu par conduction) se refroidit plus lentement qu'un sol sec car l'eau contenue dans l'air sous forme d'humidité se condense (rosée) et restitue l'énergie liée au phénomène de condensation.

Dans les régions arides, ce rôle régulateur de l'humidité n'existe pas ; c'est pour cette raison que dans les déserts, les jours sont torrides et les nuits glaciales.

B. Problèmes

Problème 1 :

Par définition, la puissance de chauffage, dans la première phase de l'expérience vaut :

$$P_1 = \Delta\, Q_1/\Delta\, t_1 = m_{\text{eau}} \cdot C_{p\text{eau}} \cdot \Delta\, \theta/\Delta\, t_1$$

et, dans la seconde phase, la puissance d'évaporation vaut :

$$P_2 = \Delta\, Q_2/\Delta\, t_2 = m_{\text{eau}} \cdot L_{\text{évap}}/\Delta\, t_2$$

Comme la puissance est supposée constante, c.-à-d. $P_1 = P_2$, on peut écrire :

$$\Delta t_2 = \frac{L_{\text{évap}}(100°\text{C})}{C_{p\text{eau}} \cdot \Delta\theta} \Delta t_1 = \frac{2501 - 2.4 \cdot 100}{4.19 \cdot (100 - 46)} \Delta t_1 = 10 \cdot \Delta t_1$$

Il faudra donc dix fois le temps de chauffage pour évaporer l'eau entièrement, à savoir $10 \cdot \Delta t_1 = 100$ min ou 1 heure 40 minutes.

$L_{\text{évap}}(\theta) = 2501 - 2.4 \cdot \theta$ (polycopié p 2.14) et $C_{p\ \text{eau}} = 4.19$ kJ/(kg K) (cf. annexe A 4.1)

Problème 2 :

Reprenons les grandeurs données dans l'énoncé. On a :

$$m = 0.5\text{kg} \quad \Delta\theta = 27°\text{C} \quad \Delta t = 60\text{s}$$

La puissance produite n'est rien d'autre que l'énergie produite pendant un certain temps ; à savoir:

$$P = \Delta Q/\Delta t \quad [W = J/s]$$

Donc l'énergie fournie (ou la chaleur fournie) au calorimètre est : $\Delta Q = P \cdot \Delta t$
Ainsi : $\Delta Q = P \cdot \Delta t = 1000 \cdot 60 = 60'000\text{J}$

Calcul simpliste :

Supposons que toute la chaleur est transférée à l'eau ; alors :

$$\Delta Q = m \cdot C_p \cdot \Delta\theta \rightarrow C_p = \frac{\Delta Q}{\Delta\theta \cdot m}$$

On trouve pour la capacité thermique massique de l'eau :

$$C_p = 4\,444 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 4{,}444\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Alors que la vraie valeur est : $C_p = 4{,}19\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Avec ce calcul simpliste, on surestime la capacité thermique massique d'environ 6 %. Nous avons considéré que toute l'énergie fournie était utilisée pour chauffer l'eau mais la réalité est un peu plus complexe. L'énergie utilisée sert également à chauffer le calorimètre, à chauffer l'air au-dessus de l'eau, et à évaporer une partie de l'eau…

Comme on ne connaît rien sur la structure du calorimètre (matériau, taille, etc…), on pourrait considérer un terme global pour le calorimètre : $m_{\text{cal}} \cdot C_{p\text{cal}} = \alpha$ qui va intervenir dans l'équation de C_p sous la forme d'un terme supplémentaire qui va « consommer » une partie de ΔQ :

$$\Delta Q = m \cdot C_p \cdot \Delta\theta + \alpha \cdot \Delta\theta \rightarrow \alpha = \frac{\Delta Q - m \cdot C_p \cdot \Delta\theta}{\Delta\theta}$$

En utilisant la valeur tabulée de $C_{p\text{eau}} = 4{,}19\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, on trouve : $\alpha = 127 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

Problème 3 :

Ce problème implique un échange d'énergie thermique entre deux corps. Comme il s'agit d'une condensation, on sait automatiquement que la vapeur qui se condense en eau va céder de l'énergie à la vitre. Cette dernière étant supposée complètement isolée, on en déduit que l'apport d'énergie provenant de la condensation va réchauffer la vitre. On a donc répondu à la première question : la température finale de la vitre (après la condensation) sera **plus élevée** que la température initiale.

Calcul de la variation de température de la vitre :

Énergie libérée par la condensation :

$$E_{cond} = L_{\text{évap eau}} \cdot m_{\text{eau condensée}}$$

Où $m_{\text{eau condensée}}$ =0,002 kg et $L_{\text{évap eau}}$ = chaleur latente de condensation de l'eau.

On sait que $L_{\text{évap eau}}$ dépend de la température à laquelle se fait la condensation (dans notre cas 10°C). On peut estimer $L_{\text{évap}}$ (10 °C) à partir de la formule (cf. polycopié p. 2.14) :

$$L_{\text{évap}}(\theta) = 2501 - 2.4 \cdot \theta$$

Énergie reçue par la vitre (nécessaire pour augmenter la température de la vitre de $\Delta\theta$) :

$$E_{\text{vitre}} = m_{\text{vitre}} \cdot C_{p\text{verre}} \cdot \Delta\theta$$

Où la masse de la vitre : $m_{vitre} = \rho_{\text{verre}} \cdot V_{\text{vitre}}$

On a $V_{\text{vitre}} = 2 \cdot 10^{-3}$ m^3

et ρ_{verre}= 2'500 kg/m^3 et $C_{p\ verre}$ = 0.79 kJ/(kg K) (cf. annexe A 4.1)

$E_{cond} = E_{vitre}$ car on suppose que la vitre n'échange pas de chaleur avec l'extérieur. On obtient :

$$\Delta\theta = \frac{L_{\text{évap}}(10°\text{C}) \cdot m_{\text{eau condensée}}}{\rho_{\text{verre}} \cdot V_{\text{vitre}} \cdot C_{p\text{verre}}} = 1{,}25°\text{C}$$

La température finale de la vitre est donc égale à 10 + 1,25 = **11,25 °C**