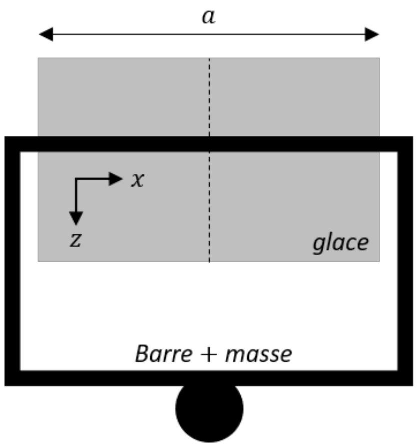
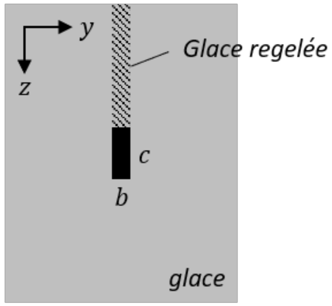
Expérience de Tyndall

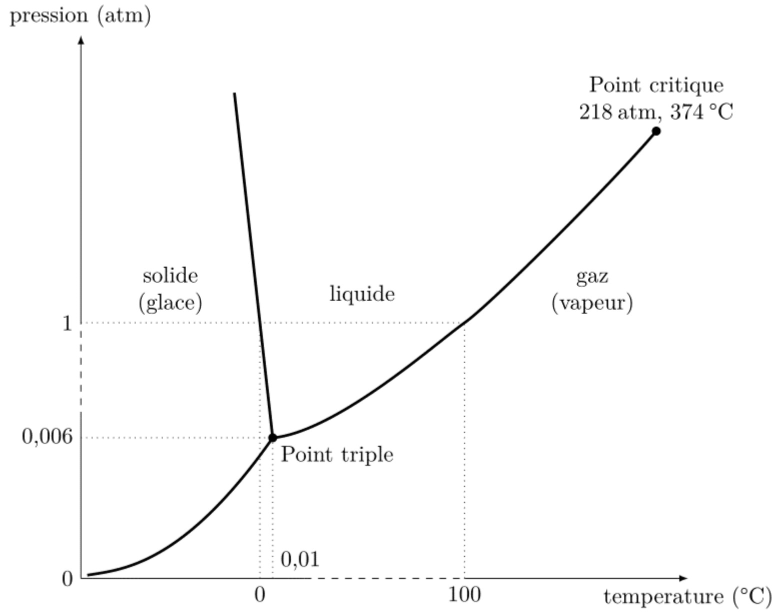
On pose une barre métallique de section rectangulaire, de dimension b et c respectivement selon les directions y et z, sur un bloc de glace de longueur a. La barre est lestée par une masse et l'ensemble {barre + masse} possède une masse M. La glace fond sous la barre et l'eau regèle au-dessus de la barre. Cette dernière tombe donc avec le temps avec une vitesse v. Le processus est lent.



Expérience vue de face



Bloc de glace vue selon le plan en pointillé



1 atm = 1,01325 bar = 101 325 Pa

Pression (bar)	Température (°C)
1	$0,0026$
50	$-0,362$
100	$-0,741$
150	$-1,125$
200	$-1,517$
250	$-1,9151$
300	$-2,321$
400	$-3,153$
500	$-4,016$
600	$-4,91$
800	$-6,79$
1000	$-8,80$

<u>Données</u> :

- Masse {barre + masse} — $M = 5$ kg
- Longueur du bloc de glace — $a = 20$ cm
- Dimensions transverses de la barre — $b = 0,5$ mm ; $c = 5$ mm
- Conductivité thermique de la barre — $\lambda = 80$ W·m^{-1}·K^{-1}
- Masse volumique de la glace — $\rho = 0,9 \cdot 10^3$ kg·m^{-3}
- Chaleur latente massique de fusion de la glace — $\ell_{fus} = 330$ kJ·kg^{-1}
- (P, T) pour l'équilibre eau/glace : cf. tableau ci-après

1) Évaluer la différence de température $\Delta T = T_h - T_b$ de la glace en contact avec la barre, entre le haut (indice h) et le bas (indice b) de la barre.

On suppose que le régime de diffusion thermique dans le fil métallique est stationnaire.

2) En appliquant le premier principe à la couche d'eau solide d'épaisseur dz qui fond sous le fil, en déduire la vitesse v.

Correction

Une question ? Un soucis de QRCode ? nicolasperrissin@gmail.com

Correction

1) La barre exerce une force sur la glace égale à son poids. Il faut diviser par la surface pour avoir la pression qu'exerce la barre sur glace.

$$\Delta P = P_h - P_b = -\frac{Mg}{ab} = -5 \text{ bar}$$

En supposant que la pression au dessus de la barre soit la pression atmosphérique $P_h = 1$ bar. Alors la pression sous la barre est donc égale à $P_b = 6$ bar. Cette différence de pression ΔP se traduit par une différence de température ΔT. On détermine cette dernière par extrapolation linéaire entre les deux premières lignes du tableau.

$$-49 \text{ bar} \leftrightarrow 0,3646 \text{ °C} \quad \Rightarrow \quad \Delta P = -5 \text{ bar} \leftrightarrow \boxed{\Delta T = 0,0372 \text{ °C}}$$

2) On va appliquer le premier principe (version enthalpique, car transformation isobare) au volume de glace sous la barre d'épaisseur dz qui va fondre pendant l'intervalle de temps dt.

D'une part, le système reçoit un flux de chaleur ϕ en provenance de la barre. En régime permanent, l'équation de la chaleur par diffusion donne un profil de température dans la barre :

$$\frac{d^2T}{dz^2} = 0 \quad \Rightarrow \quad T(z) = T_h + \frac{T_b - T_h}{c}\, z = T_h - \frac{\Delta T}{c}\, z$$

On en déduit la densité surfacique de flux :

$$j = -\lambda \frac{dT}{dz} = \lambda \frac{\Delta T}{c}$$

On multiplie par la surface ab pour avoir le flux thermique entrant dans le système pendant dt.

$$\phi = \lambda ab \frac{\Delta T}{c}$$

Ce flux de chaleur permet, d'autre part, à faire fondre la couche de glace (à température constante). Ainsi :

$$dH = \lambda ab \frac{\Delta T}{c} dt = \rho ab\, dz\, \ell_{fus} \quad \Rightarrow \quad \boxed{v = \frac{dz}{dt} = \frac{\lambda\, \Delta T}{\rho c\, \ell_{fus}} = 2,0 \text{ µm/s}}$$

Une question ? Un soucis de QRCode ? nicolasperrissin@gmail.com