Bac 2021 Asie Spécialité physique-chimie Correction © https://labolycee.org
Exercice A : Cave à vin (5 points)

Mots-clés *: premier principe et loi phénoménologique de Newton, intensité sonore, atténuation.*


Cave à vin
Photo Wikipédia

Déguster un vin à la bonne température est essentiel pour pouvoir en apprécier les saveurs gustatives et odorantes : un vin trop tiède n'est pas agréable ; un vin trop froid voit ses arômes masqués par l'alcool. Pour pouvoir servir les vins à la bonne température, on utilise des caves à vin.

On s'intéresse à une bouteille de vin rouge léger dont la température idéale de service est de 13° C. Initialement, cette bouteille et son contenu sont à une température voisine de 22° C. On place cette bouteille dans la cave à vin afin d'optimiser sa dégustation.

L'air à l'intérieur de la cave à vin joue le rôle d'un thermostat. Sa température T_{air} demeure constante et égale à 13 °C.

Dans cet exercice, on cherche à déterminer la durée nécessaire pour que la température du vin atteigne la valeur souhaitée de 13 °C (**partie 1**). On étudie ensuite la gêne sonore pouvant être occasionnée par une cave à vin dans un restaurant (**partie 2**).

Les deux parties sont indépendantes.

Partie 1 – Evolution de la température - Durée du refroidissement

On s'intéresse à l'évolution de la température T du système {vin + bouteille} placé dans le thermostat.
Le système {vin + bouteille} est immobile. L'air de la cave à vin est ventilé.
On désigne par Q le transfert thermique entre l'air et le système, et par Φ le flux thermique correspondant, c'est-à-dire le transfert thermique par unité de temps.
Le transfert thermique et le flux thermique sont comptés positivement si le transfert thermique a lieu de l'air vers le système.
On fait l'hypothèse que le flux thermique Φ vérifie la loi phénoménologique de Newton.

Loi phénoménologique de Newton
Lorsqu'un système incompressible de température T est placé dans un fluide en écoulement à la température
T_a , il s'établit un flux thermique entre le thermostat et le système proportionnel à l'écart de température ($T - T_a$).
On peut alors écrire : $\Phi = -h \times S \times (T - T_a)$
- S est la surface d'échange entre le système et le thermostat (en m^2) ;
- h est le coefficient d'échange convectif (en W · m^{-2} · K^{-1}).

Données
- Surface d'échange entre la bouteille et l'air : $S = 4{,}66 \times 10^{-2}$ m^2
- Coefficient d'échange convectif : h = 10 W · m^{-2} · K^{-1}
- Capacité thermique du système {vin + bouteille} : C = 3,25 kJ · K^{-1}
- $T(K) = \theta(°C) + 273$

1. À l'aide du premier principe de la thermodynamique, relier la variation d'énergie interne ΔU du système {vin + bouteille} au transfert thermique Q entre l'air et le système.

Le système {vin + bouteille} est à la température initiale θ_0 = 22°C quand il est placé dans la cave à vin dont l'air ventilé est à la température θ_e = 13°C. Un transfert thermique *Q* à donc lieu du système vers le milieu extérieur.

Vin + bouteille θ_0 = 22°C $\xrightarrow{Q}$ **Air cave à vin θ_e = 13°C**

Le premier principe appliqué au système {vin + bouteille} donne : $\boxed{\Delta U = Q}$ ($Q < 0$ et $W = 0$ J).

2. Exprimer le transfert thermique Q pendant une durée très petite Δt en fonction du flux thermique Φ supposé constant pendant cette durée et de Δt. Rappeler les unités, dans le système international, des grandeurs intervenant dans cette expression.

$\Phi = \dfrac{Q}{\Delta t}$ **donc $\boxed{Q = \Phi \times \Delta t}$ avec Φ en W, *Q* en J et Δt en s.**

La variation d'énergie interne d'un système incompressible au repos dont la température varie de ΔT est donnée par la relation $\Delta U = C \times \Delta T$ (C est la capacité thermique du système).

3. Exprimer le flux thermique Φ en fonction de la capacité thermique C du système supposé incompressible, de sa variation de température ΔT et de la durée Δt.

   On a : $\Delta U = C \times \Delta T = Q$ donc $\boxed{\Phi = \dfrac{C \times \Delta T}{\Delta t}}$

4. En utilisant la loi phénoménologique de Newton, et en faisant tendre Δt vers 0, vérifier que l'équation différentielle qui régit l'évolution de la température T s'écrit :

$$\frac{dT}{dt} = -\frac{1}{\tau}\left(T - T_{air}\right)$$

   En déduire l'expression et l'unité de τ.

   Loi phénoménologique de Newton : $\Phi = -h \times S \times (T - T_{air})$ et $\Phi = \dfrac{C \times \Delta T}{\Delta t}$

   En égalant les deux expressions du flux thermique : $-h \times S \times (T - T_{air}) = \dfrac{C \times \Delta T}{\Delta t}$

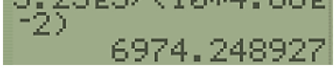
   Donc : $\dfrac{\Delta T}{\Delta t} = -\dfrac{h \times S}{C} \times (T - T_{air})$. En faisant tendre Δt vers 0 : $\lim\limits_{\Delta t \to 0}\left(\dfrac{\Delta T}{\Delta t}\right) = \dfrac{dT}{dt}$

   donc $\boxed{\dfrac{dT}{dt} = -\dfrac{hS}{C}(T - T_{air})}$

   En comparant avec l'expression : $\dfrac{dT}{dt} = -\dfrac{1}{\tau}\left(T - T_{air}\right)$, il vient : $\dfrac{1}{\tau} = \dfrac{hS}{C}$ soit $\boxed{\tau = \dfrac{C}{hS}}$

   L'expression $\dfrac{dT}{dt} = -\dfrac{1}{\tau}\left(T - T_{air}\right)$ montre que *t* est homogène à un temps.

   <u>Remarque</u> : $\tau = \dfrac{3{,}25 \times 10^3}{10 \times 4{,}66 \times 10^{-2}}$ = $7{,}0 \times 10^3$ s



Le modèle d'évolution temporelle de la température du système {vin + bouteille}, solution de l'équation différentielle, est le suivant :

$$T(t) = \left(T_0 - T_{air}\right)e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{air}$$

Cette évolution temporelle de la température $T(t)$ est représentée ci-dessous :

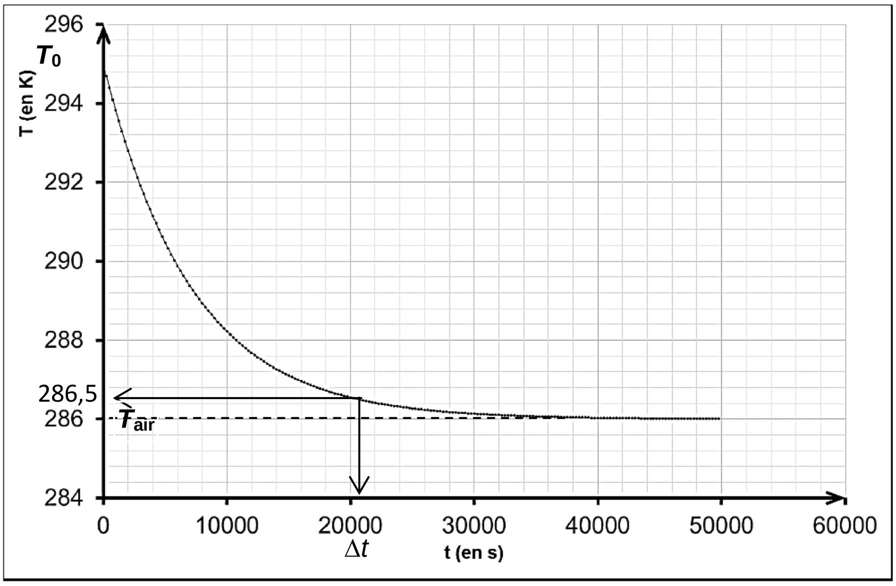
5. Retrouver à l'aide des résultats de la modélisation les valeurs de T_0 et de T_{air}.

On a : $\boldsymbol{T(t) = (T_0 - T_{air})e^{-\frac{t}{\tau}} + T_{air}}$ **donc :** $\boldsymbol{T(0) = (T_0 - T_{air})e^{0} + T_{air} = T_0}$

$$\boldsymbol{T(t \to \infty) = (T_0 - T_{air})e^{-\infty} + T_{air} = T_{air}}$$

Graphiquement : $\boldsymbol{T_0}$ **= 295 K soit** $\boldsymbol{\theta_0}$ **= (295 – 273) °C = 22 °C.**

$\boldsymbol{T_{air}}$ **= 286 K soit** $\boldsymbol{\theta_{air}}$ **= (286 – 273) °C = 13 °C.**



6. Estimer graphiquement au bout de combien de temps le vin pourra être servi à la température souhaitée (à 0,5 degré près).

À 0,5 degré près, on a : $\boldsymbol{\Delta\theta}$ **= 0,5 °C soit** $\boldsymbol{\Delta T}$ **= 0,5 K.**

On cherche l'abscisse du point d'intersection entre la droite horizontale à la température 286,5 K et la courbe. Graphiquement : $\boldsymbol{\Delta t \approx}$ **20 000 s = 5,55 h.**

<u>Remarque</u> : cette durée correspond à environ 2,8τ.

Partie 2 – Cave à vin et niveau d'intensité sonore

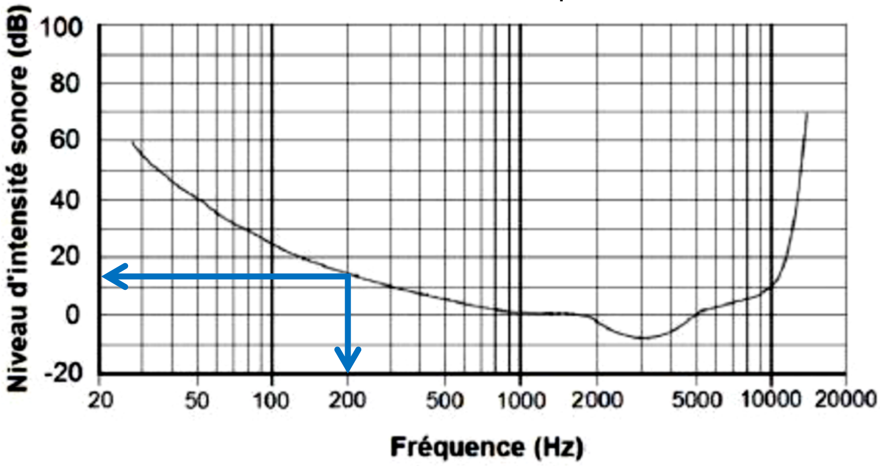
Le niveau d'intensité sonore moyen d'une cave à vin est de 42 dB à environ 1,0 m avec une fréquence sonore voisine de 200 Hz. Un restaurateur a besoin de deux caves à vin dans un même local fermé, à proximité de
la salle qui accueille les clients. Il cherche à savoir si des clients assis juste derrière la cloison, à 1,0 m des caves à vin, sont susceptibles de les entendre.

Données

- Niveau d'intensité sonore L en décibel :

$$L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \qquad \text{avec} \quad I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W \cdot m^{-2}$$

- Seuil d'audibilité en fonction de la fréquence : le graphique suivant indique les valeurs minimales de niveau d'intensité sonore audible en fonction de la fréquence.

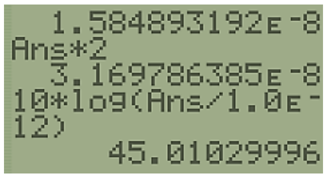


- Atténuation par absorption : l'atténuation par absorption pour les bruits aériens, notée A, correspond à la différence entre le niveau d'intensité sonore L_i du son incident sur un obstacle et le niveau d'intensité sonore L_t du son transmis. Elle varie avec la fréquence. Pour les cloisons du restaurant, les caractéristiques d'atténuation sonore sont données ci-dessous :

f (en **Hz**)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
A (en **dB**)	29	32	28	25	29	33	36	38	41

7. Montrer que le niveau sonore total émis par les deux caves à vin, à 1,0 m de celle-ci sans la cloison serait de 45 dB.

On a : $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ **donc** $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$ **.**



Pour une cave à vin dont le niveau sonore moyen vaut L = 42 dB :

$I = 1{,}0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{42}{10}}$ **= 1,58×10⁻⁸ W·m⁻²**

Pour deux caves à vin de même niveau sonore, l'intensité sonore totale est :

I_{tot} **= 2×I = 3,16×10⁻⁸ W·m⁻²**

Et le niveau sonore total est : $L_{tot} = 10\log\left(\frac{I_{tot}}{I_0}\right) = 10 \times \log\left(\frac{3{,}16 \times 10^{-8}}{1{,}0 \times 10^{-12}}\right)$ **= 45 dB.**

8. Le signal sonore émis par les deux caves serait-il audible par les clients placés derrière la cloison ? Justifier.

Pour f = 200 Hz, l'atténuation A vaut 25 dB soit un niveau sonore derrière la cloison de :

45 – 25 = 20 dB.

Graphiquement, pour f = 200 Hz, le seuil d'audibilité est de 15 dB.

À priori, le son devrait être audible (20 dB > 15 dB) mais il doit très certainement être couvert par le bruit ambiant de la salle de restaurant.