

UNIVERSITE DE LORRAINE

POLYTECH NANCY

Deuxième année (1^{er} semestre)

THERMODYNAMIQUE 1

Travaux dirigés

2020/2021

TD n°1 - Equation d'état : le gaz parfait

1.1) Respiration thermique d'un bâtiment (à faire en autonomie)

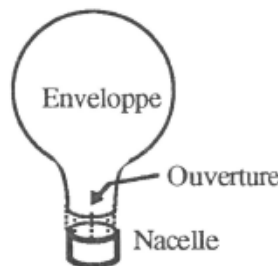
Le chauffage d'un bâtiment de 10000 m^3 est commandé par un thermostat qui le met en route lorsque la température atteint 18°C et qui le coupe dès qu'elle atteint 21°C . La pression atmosphérique étant de 1 bar, calculer la masse d'air qui doit rentrer dans le bâtiment en phase de refroidissement (et qui sera expulsée en phase de chauffage).

1.2) Montgolfière (à faire en autonomie)

Une montgolfière est constituée d'une enveloppe rigide souple (mais non élastique) d'un volume de 2500 m^3 , ouverte à l'air libre à son extrémité inférieure.

Un brûleur à propane permet de moduler la force ascensionnelle en modifiant la température de l'air dans l'enveloppe. Les déplacements latéraux sont obtenus en recherchant l'altitude offrant un courant d'air atmosphérique dans la direction souhaitée.

La masse totale de l'enveloppe et de la nacelle est de 600 kg.



Quelle doit être la température de l'air dans l'enveloppe pour que la montgolfière se trouve en équilibre ?

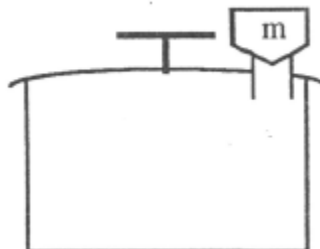
La température de l'atmosphère est de 17°C et la pression de 960 mbar.

On rappelle le principe de la poussée d'Archimède ; il y a équilibre si :

$$m_{\text{air chaud dans l'enveloppe}} + m_{\text{enveloppe + nacelle}} = m_{\text{air froid déplacé}}$$

1.3) Marmite de cuisson sous pression (vu en présentiel)

Un récipient de cuisson de volume V , fermant hermétiquement, dont le couvercle est muni d'un trou d'échappement (de rayon interne r) sur lequel est simplement posée une masse m (la soupape).



On ferme la marmite à 27°C , sans mettre d'eau. On place la masse m . A quelle température l'air commencera-t-il à s'échapper ?

A.N.: $r = 1 \text{ mm}$; $m = 30 \text{ g}$; $V = 8,5 \text{ litres}$; $p_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$.

1.4) Température thermodynamique obtenue à l'aide d'un gaz réel (vu en présentiel)

3 moles de gaz réel sont utilisées comme substance thermométrique. Dans un milieu dont on veut déterminer la température T (dans l'échelle Kelvin des gaz parfaits). On réalise plusieurs mesures de pression et de volume. On trouve expérimentalement que le produit de la pression et du volume varie de façon parabolique avec la pression (pour $p < 10^5$ Pa) : $(pV) = 6408 + 2 \cdot 10^{-2} P + 10^{-6} P^2$ (où V est exprimé en m^3 et p en Pa). Calculer T .

1.5) Vitesse et débit de gaz dans une tuyauterie (vu en présentiel)

Une soufflante de haut fourneau assure un débit de $92\,000\, m^3$ /heure d'air à $40^\circ C$, sous la pression de 1,1 bar, dans une tuyauterie de 1,2 m de diamètre. Après passage dans le récupérateur de chaleur, l'air pénètre dans le haut fourneau sous la pression de 1,07 bar et à la température de $800^\circ C$ par des conduits de 170 cm de diamètre. Calculer la vitesse \dot{x}_1 de l'air à la sortie de la soufflante, et la vitesse \dot{x}_2 à la sortie du récupérateur de chaleur.

$$Vitesse \, \dot{x} \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{\text{Débit volumique } \dot{V} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{Section \, A \left[m^2 \right]}$$

1.6) Circulation de gaz (vu en cours)

Un débit de 12 kg d'air par minute doit être assuré en permanence dans une installation. Il est prélevé sous la pression de 1 bar dans l'atmosphère à $20^\circ C$ (section A). Un compresseur permet d'atteindre la pression de 4 bar, tandis que la température atteint $100^\circ C$ (section B). Par passage dans un four, il est porté à $600^\circ C$ sous pression constante (section C). L'air est enfin détendu à l'aide d'une turbine d'où il sort à la température de $450^\circ C$ sous la pression atmosphérique (section D). Les sections des conduits sont calculées de façon que la vitesse du gaz soit constante, égale à 25 m/s.

Calculer les sections en A, B, C, D.

L'air peut être considéré comme un gaz parfait, avec $r = 287\, J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$.

Loi de la conservation de la masse : Débit massique $\dot{m} = \text{const.}$

Débit massique $\dot{m} \left[kg/s \right] = \text{masse volumique } \rho \left[kg/m^3 \right] \times \text{débit volumique } \dot{V} \left[m^3/s \right]$

TD n°2 - Echelles de température, coefficients thermoélastiques

2.1) Echelle Fahrenheit (à faire en autonomie)

Les points de congélation et d'ébullition de l'eau sous la pression atmosphérique normale sont repérés par les nombres 32°F et 212°F dans l'échelle dite de Fahrenheit.

- Que vaut dans cette échelle la température de 56 °C ?
- A quelle température correspond 0 K ?

2.2) Echelle basée sur la longueur d'une barre. (à faire en autonomie)

La longueur d'une barre métallique est de 1 m lorsqu'elle est plongée dans un mélange eau liquide + glace. Elle mesure 1,01 m lorsqu'elle est plongée dans la vapeur en équilibre avec de l'eau liquide sous la pression atmosphérique normale.

- Quelle sera la température (en °C) du milieu dans lequel la barre aura une longueur de 1,0026m ?
- Quelle sera la température (en °C) du milieu dans lequel la barre aura une longueur de 1,026m.

2.3) Echelle d'un gaz *réel* (à faire en autonomie)

On mesure la pression d'une masse de gaz réel, occupant un volume constant, d'abord à 0°C, puis à 100 °C. On obtient les valeurs suivantes : $p_{0^\circ\text{C}} = 0,853 \text{ bar}$; $p_{100^\circ\text{C}} = 1,162 \text{ bar}$. Une échelle thermométrique est définie en utilisant la pression de ce gaz comme grandeur thermométrique.

Quelle serait la température la plus basse que l'on pourrait mesurer si on suppose (à tort) que ce gaz se comporte comme un gaz parfait ?

2.4) Sertissage par refroidissement (à faire en autonomie)

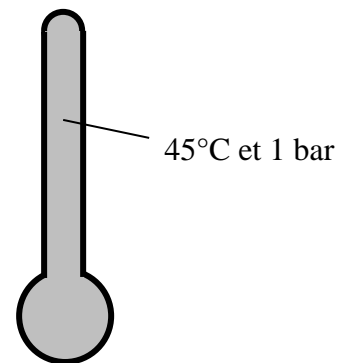
On veut sertir une bague d'acier de 18,95 mm de diamètre intérieur sur un arbre du même métal de 19 mm de diamètre externe (dimensions à 25°C). Pour réaliser l'opération, on refroidit l'arbre. A quelle température faut-il porter cette pièce ?

On connaît le coefficient de dilatation linéaire de l'acier : $\lambda_{25^\circ\text{C}} = 17 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ et son coefficient de dilatation volumique : $\alpha_{25^\circ\text{C}} = 51 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

2.5) Thermomètre à mercure (à faire en autonomie)

Un thermomètre à mercure, dont le capillaire est juste plein à 45 °C, est chauffé à 50 °C. Quelle est alors la pression régnant à l'intérieur du capillaire si l'on peut admettre que l'enveloppe de verre ne se dilate pratiquement pas ?

(Pour le mercure, le coefficient de dilatation est $\alpha_{45^\circ\text{C}} = 18 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ et le coefficient de compressibilité isotherme $\chi_{T45^\circ\text{C}} = 39 \cdot 10^{-7} \text{ bar}^{-1}$)



Séance TD n°2 : échelles de température, coefficients thermoélastiques

2.6) Thermomètre à l'alcool (vu en présentiel)

Le coefficient de dilatation volumique à pression constante de l'alcool est donné par l'expression :

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial \theta} \right)_p = 1,0414 \cdot 10^{-3} + 1,5672 \cdot 10^{-6} \cdot \theta + 5,148 \cdot 10^{-8} \cdot \theta^2$$

où θ est la température en degré Celsius. Le thermomètre à alcool est un tube de diamètre 1 cm, fermé à la surface inférieure, dans lequel se trouve l'alcool. Il permet de repérer des températures dans une échelle thermométrique dont la grandeur thermométrique serait la hauteur de la colonne d'alcool. Pour cela, on choisit comme points fixes la fusion et l'ébullition de l'eau (0°C et 100°C). A 0°C, la hauteur de la colonne d'alcool dans le tube est 10 cm.

- Donner l'expression littérale du volume en fonction de la température en intégrant l'équation après séparation des variables.
- Déterminer le volume de l'alcool au moment de l'ébullition de l'eau (100°C). Déterminer la hauteur de la colonne correspondante (précision des calculs : au moins 5 chiffres).
- Déterminer la hauteur de la colonne d'alcool au moment où la température de l'eau est de 50°C (Précision des calculs : au moins 5 chiffres).
- Quelle température lira-t-on dans le cas c) sur le thermomètre à alcool si on adopte une relation linéaire entre la hauteur et la température entre 0°C et 100°C ?