

Activité 0 : Utilisation directe du 1^{er} principe

De l'air assimilé à un gaz diatomique parfait de capacité thermique massique $c_p = \frac{R\gamma}{M(\gamma-1)}$ s'écoule avec un débit massique $D_m = 600 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$. On prendra $R \approx 10 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M = 30 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\gamma = \frac{3}{2}$. On négligera les variations d'énergie cinétique et potentielles.

- Donner la puissance indiquée P_i mise en jeu par une turbine faisant passer le gaz de la température $T_1 = 300 \text{ K}$ à $T_2 = 100 \text{ K}$.
- Donner la puissance thermique P_{th} mise en jeu dans un condenseur faisant passer le gaz de T_2 à $T_3 = 50 \text{ K}$.

Activité 1 : Détente de Joule Thomson

Pour pratiquer la plongée sous-marine, l'air est stocké dans des bouteilles à la pression $P_e = 200 \text{ bar}$ et nécessite deux détendeurs de type capillaire pour « oxygéner » le plongeur.



Dans les détendeurs, l'écoulement est stationnaire, la conduite horizontale est calorifugée et variation d'énergie cinétique négligée.

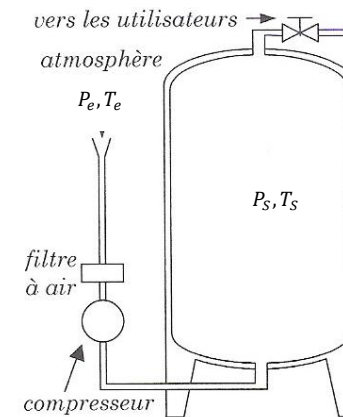
- 1) Justifier qu'une telle détente, appelée détente de Joule Thomson, est isenthalpique.
- 2) Si le gaz est supposé parfait, comment évolue la température au cours de la détente ?

Le détendeur primaire, placé sur la bouteille, assure la détente de la haute pression (200 bar à 20°C) vers une moyenne pression (10 bar). Un détendeur secondaire, placé au niveau de la bouche du plongeur, assure la détente vers la basse pression (1 bar). La première détente est accompagnée d'une baisse importante de température. L'air se réchauffe ensuite de manière isobare en circulant dans le tuyau arrivant jusqu'au deuxième détendeur. La deuxième détente est pratiquement isotherme, et le plongeur ne ressent pas une sensation d'air froid lors de l'inspiration.

- 3) Tracer ces transformations sur le graphe donné à la fin du TD.
- 4) Le modèle du gaz parfait est-il valable au cours des deux détentes ?

Activité 2 : Compresseur à air

On va étudier un compresseur qui prélève de l'air avec un débit permanent $D_m = 100 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$ dans l'atmosphère à la pression P_e et à la température $T_e = 300 \text{ K}$, et l'envoie comprimé dans un grand réservoir de stockage à pression constante $P_s = 10 \text{ bar}$ alimentant une installation industrielle (la vitesse de l'air est nulle dans l'atmosphère et dans le réservoir). L'air est supposé équivalent à un gaz parfait de masse molaire $M \approx 30 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $\gamma \approx 1,5$ et $R \approx 10 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$. On suppose la compression adiabatique et mécaniquement réversible et on néglige la variation d'énergie potentielle.



- 1) Estimer la température T_s de l'air après compression
- 2) Déterminer la puissance mécanique P_i mis en jeu par le compresseur. On prendra $10^{1/3} \approx 2$

Activité 3 : Compresseur multi étagé

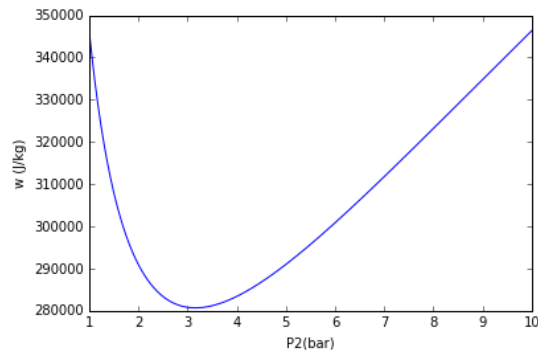
Le compresseur précédent présente un défaut : sa compression adiabatique mécaniquement réversible chauffe le gaz ce que ne facilite pas sa compression. On propose dans cet exercice d'étudier une alternative : une compression étagée avec une première compression adiabatique mécaniquement réversible de l'état 1 ($P_1 = 1\text{bar}, T_1 = 300\text{K}$), jusqu'à un état 2 (P_2, T_2). Un refroidissement isobare est alors amorcé entre l'état 2 et l'état 3 ($P_3 = P_2, T_3 = T_1$) puis une compression adiabatique mécaniquement réversible jusqu'à l'état 4 ($P_4 = 10\text{bar}, T_4$). Un nouveau refroidissement isobare est ensuite opéré pour revenir à 300K. Le gaz sera considéré parfait et le facteur isentropique $\gamma = 1,5$. Les refroidissements sont effectués au contact d'échangeurs thermiques (aucun travail échangé pour ces transformations avec le gaz en écoulement).

- 1) Exprimer le travail massique total de compression en fonction de $\gamma, T_1, M, \frac{P_2}{P_1}$ et $\frac{P_4}{P_2}$

On définit sur python la fonction suivante retournant la fonction $w(P_2)$

```
#constantes
gamma=1.5
R=10
T1=300
M=30*10**-3
P4=10
P1=1
K=(R*gamma*T1)/(M*(gamma-1))
# définition de w
def w(P2):
    return K*((P4/P2)**((gamma-1)/gamma)+(P2/P1)**((gamma-1)/gamma)-2)
```

Il est alors facile d'obtenir le graphe $w(P_2)$:



- 2) Décrire alors ce que calcule la fonction Pmin() ci-dessous :

```
def Pmin():
    Pinf=1
    Psup=1+0.1
    while w(Psup)-w(Pinf)<0:
        Pinf=Psup
        Psup=Psup+0.1
    return Psup
```

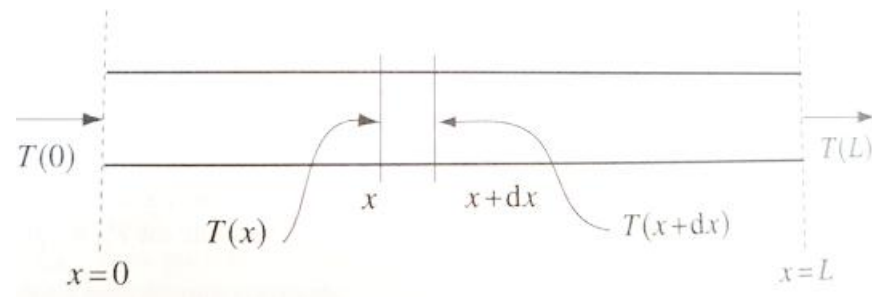
- 3) Exprimer « à l'aide d'un calcul fait main » la pression intermédiaire $P_2 = P_{2,min}$ conduisant au travail minimal pour P_1 et P_4 quelconques.
 4) Tracer les transformations sur le diagramme $p(h)$ fourni à la fin du TD.
 5) Comparer ce compresseur à celui de l'exercice précédent en utilisant un diagramme de Clapeyron.

Activité 4 : Echangeur thermique

On considère un ballon d'eau chaude alimentant un tuyau de longueur L (d'axe Ox) et de rayon R puis un radiateur.

- T_{ext} la température de l'extérieur
- T_0 la température en entrée du tuyau
- T_1 la température en sortie du tuyau
- c la capacité thermique de l'eau
- D_m le débit massique

On donne la puissance linéique perdue par l'eau dans le tuyau : $P_l = 2\pi Rh(T_{ext} - T(x))$.



- 1) Adapter l'écriture du premier principe des système en écoulement sous la forme d'un bilan de puissance en tenant compte des hypothèses de

travail et en travaillant sur le système ouvert suivant : une tranche élémentaire dx du tuyau (représenté ci-dessus)

- 2) Donner l'équation différentielle vérifiée par $T(x)$
- 3) En déduire l'expression de T_1
- 4) L'eau ressort du radiateur à la température T_{ext} . Que vaut la puissance P_0 perdue pendant l'ensemble de son trajet en fonction de D_m, c, T_{ext}, T_0 ?
- 5) En déduire que : $T_1 = -\frac{P_0}{D_m c} e^{-\frac{2\pi R h}{D_m c} L} + T_{ext}$
- 6) Quel débit permet de maximiser la valeur de T_1 ? Pourquoi choisir ce débit ?

