

Activité 1 : Modèle du gaz parfait

A) Quelques questions ouvertes :

- 1) Estimer le nombre de moles et la masse d'air présente dans la classe.

Avec la loi des gaz parfait  $n = \frac{PV}{RT} \approx \frac{10^5 \cdot 120}{8 \cdot 300} \approx 5000 \text{ mol}$  soit  $m = nM \approx 5000 \cdot 28 \cdot 10^{-3} \approx 140 \text{ kg}$

- 2) Exprimer puis calculer la masse volumique de l'air présent dans la classe ?

Avec la loi des gaz parfait  $P = \frac{nRT}{V} = \frac{mRT}{MV} = \frac{\rho RT}{M}$  soit  $\rho = \frac{PM}{RT} \approx \frac{10^5 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 300} \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$

- 3) Exprimer puis calculer le volume molaire d'un gaz supposé parfait dans les conditions de température et de pression de la classe.

On obtient un volume molaire de 24,4L/mol

B) Validité du modèle du gaz parfait

- 1) Etablir la relation  $P = n^* k_B T$  pour un gaz parfait (avec  $k_B = \frac{R}{N_a} \approx 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$  la constante de Boltzmann). Quelle est, en particules par  $\text{mm}^3$ , la densité particulaire  $n^*$  des molécules de l'air dans une salle de classe ?

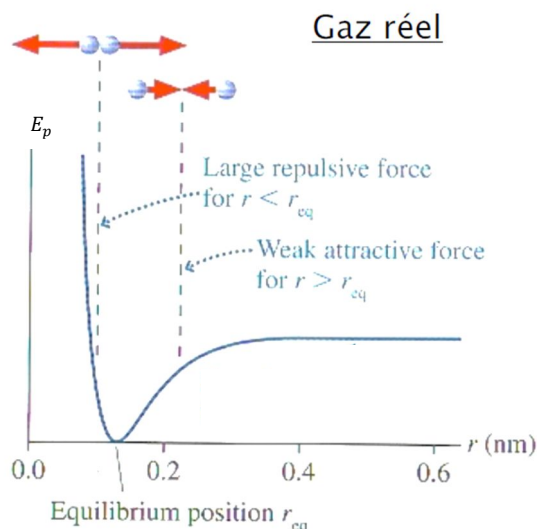
On a  $PV = nRT$  soit  $P = \frac{nRT}{V} = \frac{NRT}{N_a V} = \frac{n^* RT}{N_a} = n^* k_B T$

$$n^* \approx 3 \cdot 10^{16} \text{ mm}^{-3}$$

- 2) En déduire par un modèle simple la distance typique entre deux molécules.

Soit  $d$  la distance moyenne entre deux particules voisines alors  $N$  particules occupent un volume  $V$  vérifiant  $V = Nd^3$  soit  $1 = n^* d^3$  et donc  $d \approx 3nm$

- 1) Un gaz présente toujours des interactions entre particules. Le graphe ci-dessous représente le profil de l'énergie potentielle d'interaction  $E_p(r)$  en fonction de la distance  $r$  entre deux particules (typiquement dans un gaz monoatomique). A partir de quelle valeur du rapport  $\frac{T(K)}{P(\text{bar})}$  peut-on utiliser le modèle du gaz parfait ?



Il faut donc  $d > 1nm$

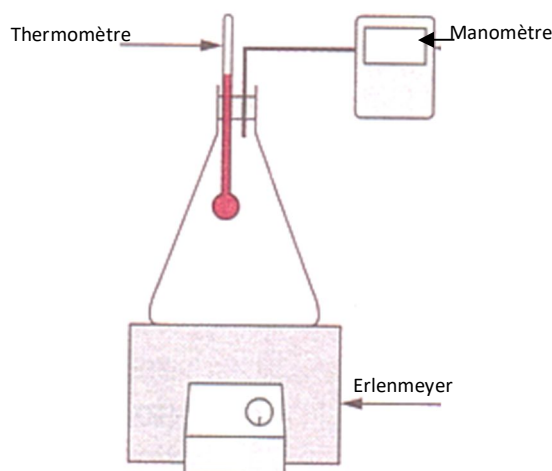
$$\left(\frac{1}{n^*}\right)^{1/3} = \left(\frac{k_B T}{P}\right)^{1/3} > 1nm$$

Soit  $\frac{T(K)}{P(\text{Pa})} > 10^{-4} \frac{T(K)}{P(\text{bar})} > 10^1$

A noter que dans le cas d'un gaz constitué d'espèce plus complexes (typiquement utilisées dans les machines frigorifiques), il faut prendre une inégalité plus forte  $\frac{T(K)}{P(\text{bar})} \gg 10^1$ .

C) Etude expérimentale

Le dispositif expérimental ci-dessous permet de faire évoluer la température d'un système gazeux contenu dans un erlenmeyer fermé. Cette transformation est donc à volume constant et à nombre de moles constant.



On obtient les résultats suivants :

température(°C)	pression (hPa)
20	1010

30	1039
40	1081
50	1116
60	1145
70	1175

- 1) Reporter ce tableau (vertical) de valeurs dans un fichier excel que vous convertirez ensuite en fichier .csv. Ce fichier sera nommé mesures.csv et sera enregistré dans un dossier Thermo1\_1.

Dans la suite, nous allons chercher à effectuer une régression linéaire de ces points expérimentaux.

Copier le fichier 1\_enonce.py, présent sur le réseau, dans votre dossier Thermo1\_1.

On rappelle les lignes de commandes permettant de lire le fichier mesures.csv (présent dans le même dossier que votre programme python 1\_enonce.py) et permettant de lire toutes les lignes (conservées ensuite dans la variable tab)

```
f=open("mesures.csv","r")
tab=f.readlines()
```

- 2) Lancer `print(tab)` pour apprécier l'organisation des valeurs dans tab (nombre de lignes, type de variables...).

On rappelle les opérations suivantes sur les listes :

`u.append(e)` : ajoute l'élément `e` à la fin de la liste `u`

`u.split(',')` : renvoie une liste des éléments de la chaîne `u` en définissant un séparateur. Par exemple :

```
chaine="a,b,c,d"
print(chaine.split(","))
>>>["a","b","c","d"]
```

Afin de récupérer une liste des valeurs de température, on utilise la fonction `valeur_t()` ci-dessous :

```
"""récupération des valeurs de
température"""
def valeur_t():
    t=[]#liste vide
    for i in range (1,len(tab)):#on éjecte
la le ligne qui ne contient pas de valeurs
        A=tab[i]#on traite chaque ligne
tour à tour : l'élément i contient "T;P"
        A=A.replace(",",".")#s'il existe
des nombres décimaux en notation
française!!!!
```

```
A=A.split(";")#on obtient la liste
["T","P"]
A=A[0]#on récupère T de la ligne i
A=float(A)#T est ici une chaîne
t.append(A)#on remplit la liste
return t
```

- 3) Ecrire une fonction `valeur_P()` qui renvoie la liste des valeurs de la pression.

Dans le fichier 1\_enonce.py, vous avez également une fonction `graphe(X,Y)` qui prend pour argument deux listes `X` et `Y` et qui renvoie un graphique avec :

- Les différents points  $(x_i, y_i)$  des listes `X, Y`
  - Une régression linéaire réalisée par la fonction `scipy.stats.linregress` de la librairie `scipy` sur ce nuage de points.
- 4) Utiliser la fonction `graphe(X,Y)` afin d'obtenir la régression linéaire de ces points expérimentaux.
  - 5) Trouver la température  $t_0$ (°C) pour laquelle la pression s'annule. Interpréter la valeur obtenue.

```
"""importation des librairies utiles"""
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import scipy.stats

"""ouverture et lecture du fichier cvs"""
f=open("mesures.csv","r")
tab=f.readlines()#tab est une liste des
valeurs de chaque ligne du tableau excel

"""récupération des valeurs de
température"""
"""récupération des valeurs de
température"""
def valeur_t():
    t=[]#liste vide
    for i in range (1,len(tab)):#on éjecte
la le ligne qui ne contient pas de valeurs
        A=tab[i]#on traite chaque ligne
tour à tour : l'élément i contient "T;P"
        A=A.split(";")#on obtient la liste
["T","P"]
        A=A[0]#on récupère T de la ligne i
        A=A.replace(",",".")#s'il existe
des nombres décimaux en notation
française!!!!
        A=float(A)#T est ici une chaîne
        t.append(A)#on remplit la liste
    return t

"""récupération des valeurs de pression"""
def valeur_P():
    P=[]
    for i in range (1,len(tab)):
        A=tab[i]
        A=A.split(";")
        A=A[1]
        A=A.replace(",",".")
        A=float(A)
        P.append(A)
    return P
```

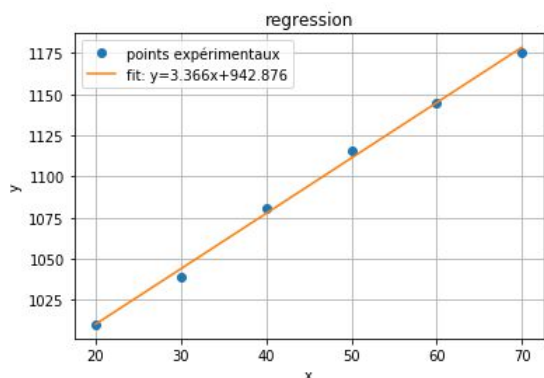
```

"""fonction permettant d'obtenir la
regression lineaire d'un nuage de points"""
def graphe(X,Y):
    lr = scipy.stats.linregress(X,Y)
    #effectue une regression des données X,Y#
    x = np.linspace(np.min(X), np.max(X),
    100) #valeurs abscisses#
    a = np.around(lr [0],3) #lr est une
    liste, la pente est à l'index 0#
    b = np.around(lr [1],3) #lr est une
    liste, l'ordonnée à l'origine est à l'index
    1#
    #les opérations qui suivent permettent
    une mise en forme du graphique#
    y = a*x+b
    plt.plot(X,Y,linestyle="",
    marker="o",label="points expérimentaux")
    plt.plot(x,y,label="fit:
    y=%sx+%s"%(a,b))
    plt.grid(True)
    plt.xlabel("x")
    plt.ylabel("y")
    plt.title("regression")
    plt.legend()
    plt.show()

"""utilisation de différentes fonctions
pour obtenir le graphique expérimental"""

X=valeurs_t()
Y=valeurs_P()
graphe(X,Y)
    
```

On obtient :



La température pour laquelle la pression s'annule (l'agitation également) est :  $t_0 = -\frac{943}{3,37} \approx -280K$

Cette température représente (aux incertitudes près) le décalage entre l'échelle des °C et des K.

Activité 2 : Coefficients thermoélastique et modèle de la phase condensée idéale

On définit les coefficients positifs thermo-élastiques isobare  $\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$  et isotherme  $\chi_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$

1) Généralités

- a) Donner un nom à ces coefficients en analysant leur définition.

- b) Comment faut-il comprendre la différence de signe qui apparaît dans leur définition ?
- c) Pourquoi y a-t-il un facteur  $\frac{1}{V}$  devant les dérivées partielles ?

Il s'agit des coefficients de dilatation isobare et de compression isotherme. Si on souhaite un coefficient  $\chi_T$  positif alors, de manière générale, comme  $dP > 0$  entraîne  $dV < 0$ , on impose un signe « - ». Ces taux de variation sont fonctions du volume lui-même (un volume trois fois plus grand subit une variation trois fois plus grande). La variation  $dV/V$  rend le coefficient intensif et indépendant du volume du corps étudié.

2) Etude du gaz parfait

- a) Exprimer ces coefficients dans le cas d'un gaz parfait.

D'après la loi des gaz parfaits :  $V = \frac{nRT}{P}$ , donc :

$$\alpha = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{nR}{VP} = \frac{1}{T}$$

$$\chi_T = -\frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = -\frac{nRT}{VP^2} = -\frac{1}{P}$$

- b) Réciproque : montrer qu'un gaz tel que  $\alpha = \frac{1}{T}$  et  $\chi_T = -\frac{1}{P}$  rend compte de la loi des gaz parfaits.

On a  $dV = \frac{VdT}{T} - \frac{VdP}{P}$

Soit :  $\frac{dV}{V} + \frac{dP}{P} = \frac{dT}{T}$

Et :  $d \ln \left( \frac{PV}{T} \right) = 0$  soit  $PV = KT$  avec  $K$  constante

- c) Calculer ces coefficients dans le cas d'un gaz parfait à la pression atmosphérique et à 27°C.

$$\alpha \approx 3.10^{-3} K^{-1}$$

$$\chi_T = 10^{-5} Pa^{-1}$$

- d) Soit un volume  $V_0$  d'un gaz supposé parfait à la température  $T_0 = 300K$  et à la pression  $P_0$ . On effectue un chauffage isobare conduisant à une augmentation de température de 10°C. Donner la valeur de la variation relative du volume  $\frac{\Delta V}{V_0}$ .

A pression constante, on a :  $dV = V\alpha dT = \frac{V}{T} dT$  soit :

$$\frac{dV}{V} = \frac{dT}{T}$$

Et :

$$\frac{V}{T} = Cte = \frac{V_0}{T_0} = \alpha V_0$$

Soit :  $\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta T}{T_0} = 3\%$

e) Soit un volume  $V_0$  d'un gaz supposé parfait à la température  $T_0$  et la pression  $P_0 = 10^5 Pa$ . On effectue une compression isotherme de 0,1bar. Donner la variation relative du volume.

$$\frac{dV}{V} = -\chi_T dP = \frac{dP}{P} \text{ et donc } \frac{V}{P} = \frac{V_0}{P_0} \text{ et } \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta P}{P_0} = 10\%$$

3) Etude d'une phase condensée

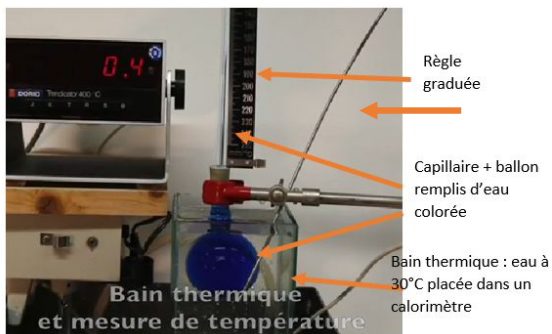
L'eau liquide à 27°C, sous 1 bar, a un coefficient de compressibilité isotherme de  $\chi_T = 5.10^{-10} Pa^{-1}$  et un coefficient de dilatation isobare de  $\alpha = 3.10^{-4} K^{-1}$ .

a) Comparer ces valeurs à celles calculées à la question précédente dans le cas d'un gaz parfait.

$\frac{\chi_{Teau}}{\chi_{Tair}} = 5.10^{-5}$  L'eau liquide est donc nettement moins compressible que l'air.

L'eau se dilate un peu sous l'effet de la température, mais assez faiblement (10 fois moins qu'un gaz).

b) Utiliser le dispositif ci-dessous afin d'estimer la valeur supposée constante de  $\alpha$  aux alentours de 30°C ?



Le volume  $V$  d'eau se décompose en deux :

$$V = V_{ballon} + V_{cap} \text{ avec } V_{cap} \ll V_{ballon}$$

Et :  $V_{cap} = l(T)S$

La connaissance de la température initiale et du bain thermostaté donne  $\Delta T$ . On mesure  $l$  (avec une règle) et  $S$  (avec un pied à coulisse) et  $V_{ballon}$  (avec une éprouvette).

On a typiquement :

$$V_{ballon} \approx 0,15L$$

$$\Delta l \approx 3,2cm$$

$$\Delta T \approx 17,5K$$

$$S = \pi \times (0,452 \times 10^{-2})^2$$

Si on suppose la dilatation négligeable et  $\alpha$  constant alors :  $\alpha \approx \frac{1}{V_{ballon}} \frac{\Delta l S}{\Delta T}$

$$\alpha \approx 2 \times 10^{-4} K^{-1}$$

Valeur acceptable pour ce domaine de températures :  $(1,5 \times 10^{-4} < \alpha < 3,1 \times 10^{-4}) K^{-1}$

c) Estimer la variation de pression  $\Delta P$  nécessaire pour créer, dans le cas de l'eau à une température de 27°C constante, une variation relative du volume  $\frac{\Delta V}{V_0}$  de 10% (on supposera  $\chi_T$  constant). Conclure.

A partir de l'équation d'état :

$$\frac{dV}{V} = -\chi_T dP$$

Soit  $V = V_0 e^{-\chi_T \Delta P}$  et donc  $\frac{\Delta V}{V_0} = 1 - e^{-\chi_T \Delta P}$

- Sans approximation :  $\Delta P = \frac{-\ln(1 - \frac{\Delta V}{V_0})}{\chi_T} \approx 2100bar$
- Avec approximation :  $-\frac{\Delta V}{\chi_T V} = \Delta P = 2000bar$

Soit  $\Delta P_{eau} = 2000bar$  et  $\Delta P_{gaz} = 0,1bar$  pour 10% de variation en volume. Une forte variation de pression ne fait pas varier de manière notable le volume d'une phase condensée !

La dilatation de l'ordre du % de l'eau liquide nécessite une variation de température de l'ordre de 30°C pour l'eau liquide alors qu'elle ne nécessite que 3°C pour un gaz à température ambiante

Le modèle de la phase condensée idéale (incompressible et indilatable) est donc tout à fait pertinent !

Activité 3 : Définitions

Justifier, de manière simple, concise et précise vos réponses aux questions suivantes :

1) Un système fermé est-il nécessairement isolé ?

Non, des échanges d'énergie sont incompatibles avec la définition d'un système isolé

2) Un système isolé est-il nécessairement fermé ?

Oui avec en plus aucun transfert énergétique.

- 3) Un système ayant une température et une pression uniforme dans un réacteur thermomécanique est-il en équilibre ?

Pas obligatoirement, des parois diathermanes et ou mobiles impliquent un équilibre thermomécanique avec l'extérieur en plus de l'équilibre interne

- 4) Une transformation quasistatique est-elle réversible ?

Non, il faut également éviter toute source de frottement solide dans le cas de nos réacteurs thermomécaniques.

- 5) Une transformation réversible est-elle quasistatique ?

Oui et dépourvue de frottement

- 6) Une transformation mécaniquement réversible et isotherme est-elle réversible

Oui, cette fois l'équilibre thermique et mécanique avec l'extérieur sont réalisés

- 7) Une transformation mécaniquement réversible et adiabatique est-elle réversible ?

Oui car l'équilibre thermique interne et mécanique est réalisé (avec également l'absence de frottement solide)