Lycée Baimbridge, MP 2026-2027

7 novembre 2026

Physique Chimie

DS 4
Type CCINP

Durée : 4 heures

Calculatrice ***interdite***

Le sujet est constitué de trois parties totalement indépendantes. Il n'est pas nécessaire de les aborder dans l'ordre.
Les réponses doivent systématiquement êtres justifiées (sauf mention explicite du contraire). La clarté de la rédaction et la justesse du raisonnement mené seront valorisées, même si la tentative de réponse n'est pas aboutie ou si la réponse obtenue à la fin de la question est incorrecte.
Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur de sujet, merci de l'indiquer clairement sur votre copie, et de poursuivre votre composition en expliquant les initiatives que vous êtes amené·e à prendre.
Comme au concours, le sujet est long. Il n'est pas nécessaire de tout faire pour avoir une bonne note.

1 Gobelet magique

Il existe de petits gobelets amusants possédant la propriété suivante :

- en l'absence de liquide, le fond du gobelet est constitué d'une lentille sphérique qui ne laisse rien apparaître ;
- en présence de liquide, une image nette apparaît.



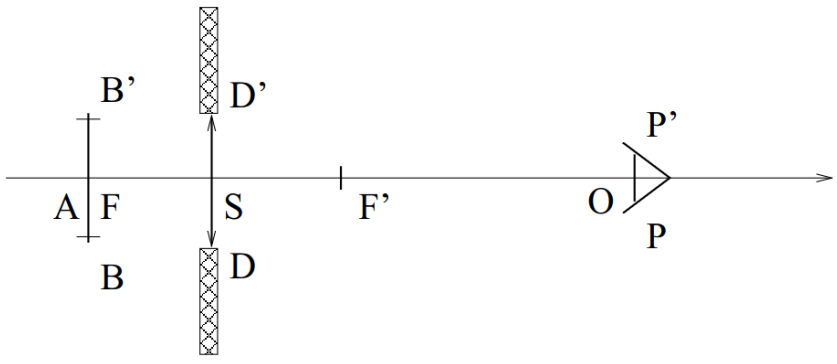
(a) (b) (c)

L'objet de ce problème est de proposer une modélisation simple de ce phénomène optique. Les conditions de l'optique de Gauss seront supposées satisfaites tout au long du problème. Les figures ne sont pas à l'échelle. Les valeurs numériques considérées dans ce problème sont réalistes. L'approximation des lentilles minces n'est, en revanche, pas vraiment justiée dans le contexte.

1.1 Visibilité d'un objet situé dans le plan focal objet

Sur un banc d'optique sont alignés un objet plan BB', coupant l'axe optique en un point A et une lentille mince convergente L_1 située au point S. B et B' sont symétriques l'un de l'autre par rapport à l'axe optique. La figure représente le foyer principal objet F, confondu avec A, ainsi que le foyer principal image F'. L'oeil d'un observateur est placé en un point O de l'axe optique. La pupille de l'oeil est représentée comme un disque centré en O, de diamètre PP'. Le bord de la lentille est un cercle, assimilable à un diaphragme DD'. Le diamètre de l'objet BB' est identique à celui du diaphragme DD'.

Données : $\overline{SA} = -12\,\text{mm}$; $\overline{SO} = 200\,\text{mm}$; $\overline{BB'} = \overline{DD'} = 20\,\text{mm}$; $\overline{PP'} = 6\,\text{mm}$.



☐ **1** – Rappeler les hypothèses de l'approximation de Gauss en optique géométrique.

☐ **2** – Reproduire soigneusement la figure. Construire graphiquement l'allure de deux rayons issus de B et traversant la lentille. Faire de même avec deux rayons issus de B'. Réaliser un tracé de taille suffisante, de l'ordre de la largeur de la feuille.

Lorsque l'objet est situé dans le plan focal objet de la lentille, l'image se forme à l'infini et seule une fraction minime des rayons issus de l'objet est captée par la pupille de l'oeil PP'. Il s'agit d'estimer cette fraction. Soit un point E, défini par :

- E appartient au plan de l'objet BB' ;
- le rayon issu de E, passant par le bord inférieur D du diaphragme, est réfracté en un rayon DP' passant par le bord supérieur P' de la pupille de l'oeil.

De même, le point E', symétrique de E par rapport à l'axe optique, est défini par les propriétés suivantes :

- E' appartient au plan de l'objet BB' ;
- le rayon issu de E', passant par le bord supérieur D' du diaphragme, est réfracté en un rayon $D'P$ passant par le bord inférieur P de la pupille de l'oeil.

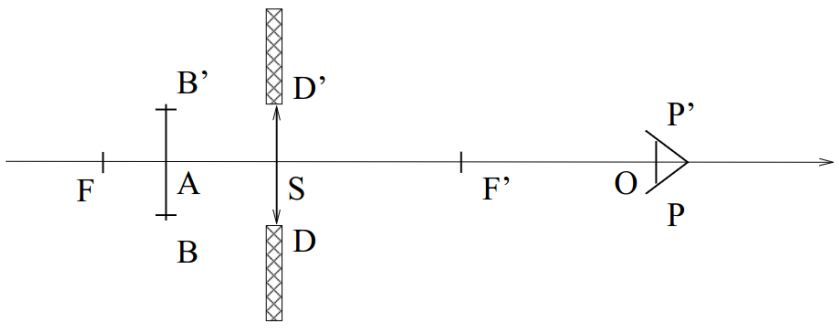
☐ **3** – Reproduire soigneusement la figure. Placer les points E et E', obtenus à l'aide du tracé des rayons $PD'E'$ et $P'DE$. Pour plus de clarté, on tracera une figure distincte de celle de la question précédente.

☐ **4** – A l'aide du schéma précédent, déduire l'expression de la distance $\overline{EE'}$ en fonction des distances $\overline{SF}, \overline{SO}, \overline{DD'}$ et $\overline{PP'}$. Calculer numériquement $\overline{EE'}$.

☐ **5** – Justifier que le rapport $\tau_1 = \left(\dfrac{EE'}{BB'}\right)^2$ correspond à la fraction d'aire de l'objet visible par l'oeil placé au point O. Calculer sa valeur numérique et commenter.

1.2 Visibilité d'un objet situé entre le plan focal et la lentille

La figure représente un montage analogue à celui de la figure précédente. La lentille L_1 a été remplacée par une lentille L_2 moins convergente. L'objet BB' coupe l'axe en un point A distinct du foyer principal objet F'. La distance $\overline{SA}$ est encore égale à -12 mm, tandis que la distance focale $f' = \overline{SF'}$ de la lentille L_2 est désormais de 36 mm.



La formule de conjugaison d'une lentille convergente, de distance focale f' située en S, entre un point objet A_1 de l'axe et son image A_2 est rappelée :

$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{\overline{SA_2}} - \frac{1}{\overline{SA_1}}$$

☐ **6** – Déterminer par le calcul la position de l'image B_2B_2' de l'objet BB'. Calculer le grandissement et la taille de l'image B_2B_2'. L'image est-elle réelle ou virtuelle ?

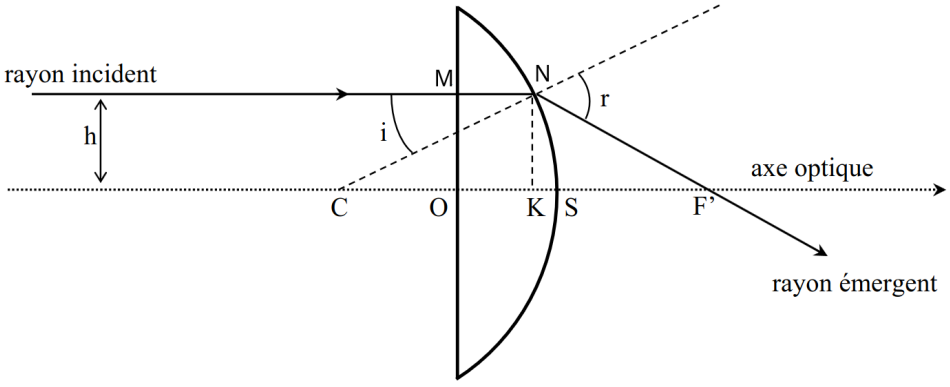
☐ **7** – Calculer la distance entre l'oeil et le plan image B_2B_2'. En déduire que le diaphragme DD' masque une partie de l'image B_2B_2' à l'observateur dont l'oeil est situé en O. Estimer, dans l'approximation où les points O, P et P' sont confondus, la fraction surfacique τ_2 de l'image B_2B_2' visible par l'oeil de l'observateur situé en O.

1.3 Etude du gobelet

Le modèle proposé pour décrire la situation dans le gobelet en l'absence de liquide est celui d'une lentille mince plan-convexe de rayon de courbure $R = 6.0\,\text{mm}$. La lentille est constituée de verre d'indice $n_2 = 1.5$ entourée d'air d'indice $n_1 = 1$.

La partie sphérique de la lentille est une portion de sphère de centre C et de rayon $R = CB$. L'épaisseur de la lentille au centre est $e = OS$.

On considère un rayon incident parallèle à l'axe optique, à une distance h de celui-ci. Ce rayon pénètre dans la lentille en un point M et est réfracté en un point N. On note i et r les angles incident et réfracté, comptés par rapport à la normale (CB). Le rayon émergent de la lentille coupe l'axe optique en F'. On note K le projeté orthogonal de N sur l'axe optique.



☐ **8** – Ecrire la loi de la réfraction en N.

☐ **9** – Montrer que la distance $\overline{OF'}$ peut se mettre sous la forme :

$$\overline{OF'} = e - R(1 - \cos i) + \frac{R \sin i}{\tan(r - i)} \tag{1}$$

☐ **10** – La lentille constitue-t-elle un système rigoureusement stigmatique ? Si on considère une lentille mince ($e \ll R$) et des rayons paraxiaux, peut-on dire que le système est approximativement stigmatique ? Donner alors une expression approchée de la distance $f_1' = OF'$. Calculer sa valeur numérique.

Le modèle proposé pour décrire la situation dans le gobelet en présence d'eau est la succession d'un dioptre plan entre l'air d'indice n_1 et le verre d'indice n_2, puis d'un dioptre sphérique de rayon de courbure R entre le verre et l'eau d'indice $n_3 = 1.33$, et enfin d'un second dioptre plan entre l'eau et l'air.

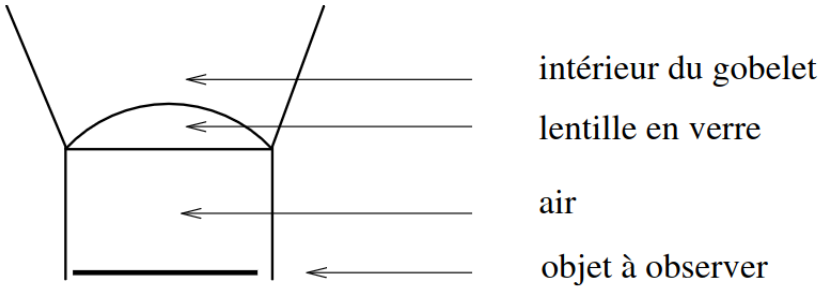
Par un calcul similaire au calcul précédent, on peut établir la formule de conjugaison correspondant à la succession de dioptres correspondante :

$$n_1 \left(\frac{1}{\overline{SA'}} - \frac{1}{\overline{SA}} \right) = \frac{n_2 - n_3}{\overline{CS}}$$

où $\overline{CS}$ représente toujours la distance algébrique entre le centre de courbure et le sommet du dioptre sphérique.

☐ **11** – Reconnaître la distance focale f_2' de la lentille plane dans l'expression ci-dessus et calculer sa valeur numérique.

L'objet à observer est situé à une distance de 12 mm sous la lentille (voir schéma de la vue en coupe du gobelet).



☐ **12** – Pourquoi ne voit-on rien en l'absence de liquide ? Pourquoi l'image devient-elle visible lorsque l'on remplit le verre ?

2 Utilisation d'un réchaud

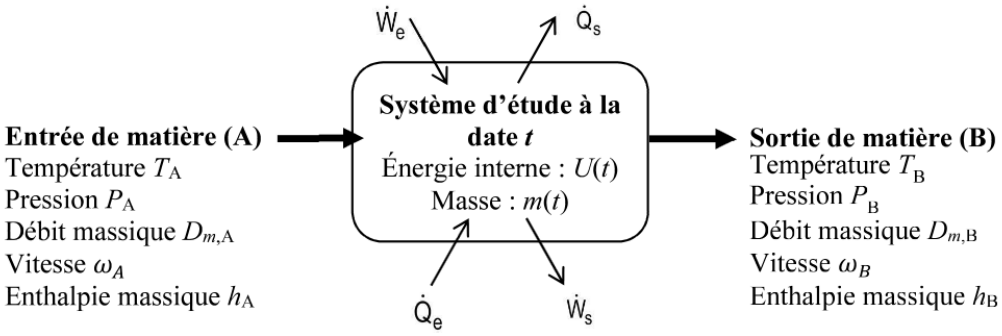
Dans cette partie, nous cherchons à décrire l'utilisation d'un réchaud à gaz. Nous allons dans un premier temps déterminer le débit de gaz sortant du réchaud par une analyse thermodynamique. Puis nous analyserons le processus de cuisson à l'aide du réchaud et l'effet de l'altitude sur la consommation de l'appareil.

2.1 Utilisation d'un réchaud à gaz

Nous étudions un réchaud fonctionnant avec une bouteille de gaz. Nous cherchons à déterminer la durée de fonctionnement de la bouteille en calculant le débit de gaz pouvant sortir de la bouteille.

2.1.1 Préliminaire : bilan de matière en système ouvert

On s'intéresse au système ouvert décrit par la figure ci-dessous. Ce système possède une entrée et une sortie de matière où la température T, la pression P, la vitesse ω, le volume massique v, le débit massique D_m et l'enthalpie massique h sont définis. Le système échange algébriquement, avec le milieu extérieur, la puissance thermique $\dot{Q}$ et la puissance utile $\dot{W}$. Les débits massiques $D_{m,e}$ et $D_{m,s}$ sont positifs. Il n'y a pas de travaux dérivant d'une énergie potentielle.



☐ **13** – Rappeler l'unité des grandeurs $\dot{W}, \dot{Q}$ et D_m mentionnées sur la figure.

☐ **14** – Par une méthode de votre choix, établir l'équation locale de conservation de la matière :

$$\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t} = D_{m,A} - D_{m,B}$$

☐ **15** – À l'aide d'un bilan énergétique, établir l'expression du premier principe de la thermodynamique en régime stationnaire pour le système ouvert représenté sur la figure. On mettra le résultat sous la forme :

$$D_m(\Delta h + \Delta e_c) = \dot{Q} + \dot{W}$$

Donner la relation liant $D_m, D_{m,A}$ et $D_{m,B}$ et expliciter Δe_c en fonction des données.

On admet dans la suite l'écriture du premier principe en système ouvert, étendue aux systèmes en régime transitoire :

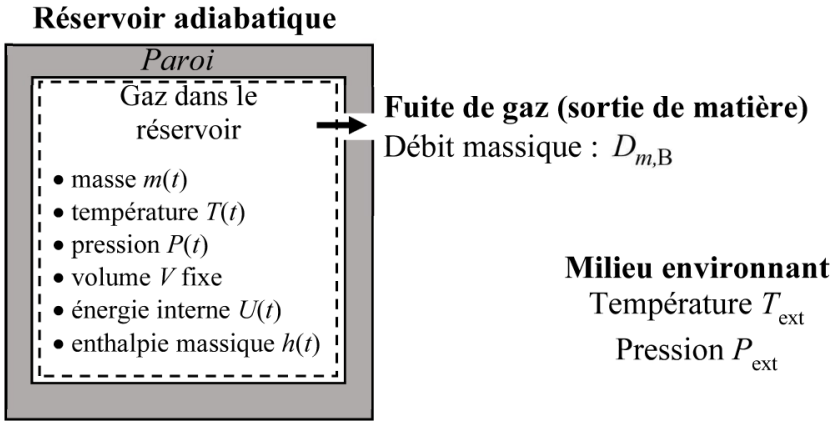
$$\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t} = D_{m,A}(h_A + e_{c,A}) - D_{m,B}(h_B + e_{c,B}) + \dot{W} + \dot{Q}$$

où $\dfrac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t}$ désigne la dérivée de l'énergie interne du système étudié par rapport au temps.

☐ **16** – Proposer une interprétation qualitative du bilan d'énergie traduit par l'équation ci-dessus.

2.1.2 Modèle décrivant l'échappement du gaz de la bouteille

On s'intéresse à présent à un réservoir contenant un gaz supposé parfait. Ce réservoir indéformable (donc de volume V constant) est le siège d'une fuite vers le milieu environnant à la température T_{ext} et à la pression P_{ext} supposées constantes dans tout le problème. Il n'est pas agité mécaniquement. Toutefois, les propriétés du gaz dans le réservoir sont supposées uniformes à chaque instant. Ce réservoir est représenté sur la figure suivante.



On suppose que les grandeurs intensives du gaz dans le réservoir sont uniformes et que celles du gaz sortant sont identiques à celles du réservoir. On suppose négligeable l'énergie cinétique massique de la matière quittant le système. On s'intéresse au système {volume contenant le gaz à T et P dans le réservoir, paroi non comprise} représenté par des pointillés sur la figure.

☐ **17** – Justifier que l'application du bilan de matière et du premier principe au système en pointillés permet d'obtenir le système d'équations :

$$\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t} = -D_{m,s} \qquad \frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t} = -D_{m,B}h$$

☐ **18** – Dans quelle situation limite un gaz réel s'identifie-t-il exactement à un gaz parfait ? Donner la valeur de $C_{p,m}$ pour un tel gaz en fonction de son coefficient de Laplace γ et de R.

On note u l'énergie interne massique du gaz parfait, n le nombre de moles de gaz, m sa masse et M sa masse molaire.

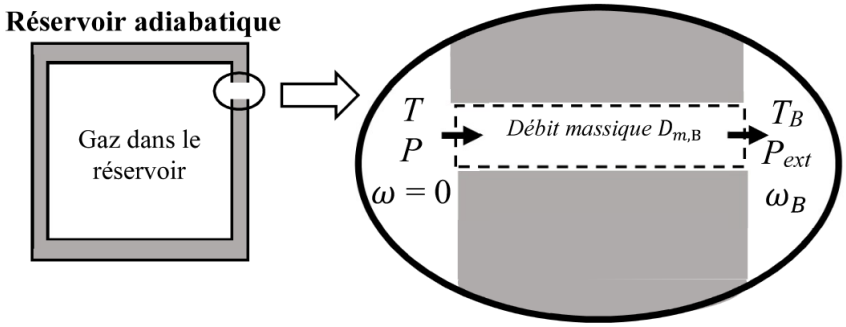
☐ **19** – Justifier la relation $h = u + \dfrac{RT}{M}$ et en déduire l'équation :

$$\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}T} = \frac{R}{M(\gamma - 1)}$$

☐ **20** – Montrer à partir des équations précédentes que :

$$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} = \frac{(\gamma-1)T}{m}\frac{\mathrm{d}m}{\mathrm{d}t}$$

On cherche à présent à estimer le débit $D_{m,s}$ de gaz quittant la bouteille de gaz. Pour ce faire, on s'intéresse à la zone de l'espace dans laquelle se produit la fuite. On note S la section de l'orifice de la bouteille.



On considère le système {gaz dans la paroi du réservoir} et on suppose que :

- l'écoulement de gaz à travers l'orifice est adiabatique et stationnaire ;
- la vitesse du gaz en entrée du système est nulle, elle est notée $v_s = \omega_B$ en sortie ;
- la température et la pression du gaz en entrée sont notées T et P (ce sont celles du gaz à l'intérieur du réservoir) ; en sortie, elles sont notées T_s et $P_s = P_{\text{ext}}$.

☐ **21** – Exprimer le volume $\mathrm{d}V$ de gaz sortant de la bouteille pendant $\mathrm{d}t$ en fonction de S, v_s et $\mathrm{d}t$. En déduire que le débit massique de gaz sortant de la bouteille est donné par :

$$D_{m,B} = \frac{S v_s M P_{\text{ext}}}{R T_s}$$

☐ **22** – On s'intéresse au système {gaz contenu dans la paroi du réservoir}. Justifier que $\Delta e_c + \Delta h = 0$ et en déduire que la vitesse de sortie du gaz a pour expression :

$$v_s = \sqrt{\frac{2R\gamma(T-T_s)}{M(\gamma-1)}}$$

☐ **23** – L'écoulement du gaz est supposé isentropique. Expliquer comment procéder expérimentalement pour rendre un écoulement pratiquement isentropique. Quelles sont les propriétés d'un gaz parfait lors d'une transformation isentrope ?

☐ **24** – En déduire que T_s est donnée par l'équation suivante :

$$T_s = T\left(\frac{MVP_{\text{ext}}}{mRT}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}}$$

2.1.3 Résolution numérique

On cherche à déterminer l'évolution de la température et de la masse de gaz dans la bouteille en fonction du temps. Pour résoudre une équation différentielle mise sous la forme $y'(t) = f(t, y(t))$, on utilise le schéma d'Euler suivant :

$$y(t + \Delta t) = y(t) + f(t, y(t)) \times \Delta t$$

Ce schéma est implémenté au sein de l'algorithme présenté ci-dessous, que l'on souhaite appliquer pour résoudre le système d'équations entre les dates $t = 0\,\text{s}$ et $t = 10\,\text{s}$ avec un pas de temps de $\Delta t = 3\,\text{h}$.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

#Constantes du probleme
M = 0.058 #kg/mol
gamma = 1.1
r = 1e-4 #rayon du tuyau de sortie en metres
S = np.pi*(r**2) #section du tuyau de sortie
R = 8.314 #J/K/mol
Text = 300. #K température extérieure
Pext = 1.e5 #Pa pression atmosphérique
V = 0.5e-3 #m3 volume de la bouteille (500 mL)

#Conditions initiales
T0 = 300. # température initiale en Kelvins
m0 = 0.5  # masse initiale en kg

#Pas de temps et durée de la simulation
dt = 1. #s          pas de temps
t_tot = 3*3600. #s  temps total de 3 heures
valeurs_t = np.arange(0,t_tot,dt)
N = len(valeurs_t)

#Initialisation des tableaux de temps, de temperature et de masse
valeurs_T = np.zeros((N))
valeurs_m = np.zeros((N))

#Fonctions permettant de calculer Ts, vs et Dm
def Ts(m,T) :
    return T*( Pext*M*V/(m*R*T) )**(1-1/gamma)

def vs(m,T) :
    return np.sqrt( 2*R*gamma*(T-Ts(m,T)) / (M*(gamma-1)) )

def Dm(m,T) :
    return S*vs(m,T)*M*Pext/(R*Ts(m,T))
```

```
#Resolution par la methode d'Euler
T = T0
m = m0
for i in range(N) :
    valeurs_T[i] = T
    valeurs_m[i] = m
    m = INSTRUCTION 1
    T = INSTRUCTION 2

#Commandes d'affichage
plt.figure(figsize=(10,5))

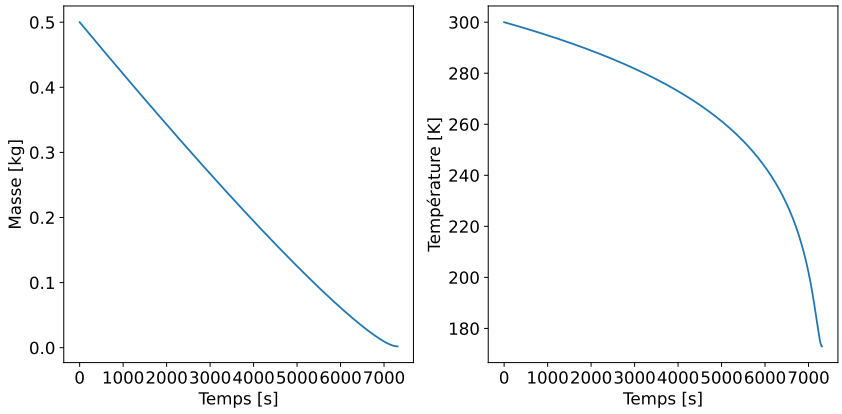
plt.subplot(1,2,1)
plt.plot(valeurs_t,valeurs_m)
plt.xticks(fontsize=14)
plt.yticks(fontsize=14)
plt.xlabel('Temps [s]',fontsize=14)
plt.ylabel('Masse [kg]',fontsize=14)

plt.subplot(1,2,2)
plt.plot(valeurs_t,valeurs_T)
plt.xticks(fontsize=14)
plt.yticks(fontsize=14)
plt.xlabel('Temps [s]',fontsize=14)
plt.ylabel('Température [K]',fontsize=14)

plt.tight_layout()
plt.show()
```

☐ **25** – Préciser la signification des variables `m` et `T` présentes dans la boucle de l'algorithme. Donner les lignes de code permettant le calcul de `m` et `T` respectant le schéma d'Euler proposé.

Les résultats du code sont les suivants :



☐ **26** – Combien de temps un réchaud peut-il fonctionner avec cette bouteille de gaz ? La puissance de chauffage sera-t-elle la même lorsque la bouteille est plein et lorsqu'elle est presque vide ? Commenter l'évolution de la température dans la bouteille et notamment les valeurs prédites par le modèle.

2.2 Réchaud à combustible solide

Il existe également certains réchauds à combustible solide. On étudie ici un réchaud à hexamine, dont les informations sont rassemblées dans les documents ci-après. Les données utiles sont rassemblées en fin d'énoncé.

2.2.1 Combustion des tablettes d'hexamine solide

Le but de cette partie est de vérifier le pouvoir calorifique annoncé par le fournisseur.

☐ **27** – Ecrire la réaction de combustion de l'hexamine avec le dioxygène, sachant que celle-ci produit du diazote, du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau.

☐ **28** – Déterminer l'enthalpie standard de réaction à 25°C. Pourquoi la valeur trouvée est compatible avec le fait que la réaction est une combustion ?

Le pouvoir calorifique est le transfert thermique libéré lors de la combustion complète d'un kilogramme de combustible sous une pression de 1 bar et à une température de 25°C.

☐ **29** – Calculer le pouvoir calorifique de l'hexamine. La donnée fournisseur est-elle juste ?

On s'intéresse désormais à l'affirmation lue sur le site du fournisseur : *Deux tablettes de 4 grammes permettent de faire bouillir un quart de litre d'eau en 5 minutes.*

☐ **30** – Vérifier cette affirmation en justifiant soigneusement votre réponse (hypothèses formulées, théorèmes et propriétés utilisées).

2.2.2 Utilisation du réchaud en altitude

☐ **31** – Lorsque l'on monte en altitude, la pression diminue. On suppose que la réaction de combustion reste un équilibre. Quel est l'effet de cette diminution de pression à température constante sur l'équilibre ? Le réchaud restera-t-il performant en altitude ?

Lorsque l'on se trouve en altitude, le temps de cuisson des aliments est par ailleurs allongé : ceci est également un effet de la diminution de pression. Nous allons l'expliquer dans cette partie. On donne le diagramme pression-température de l'eau.

Document 1 - Set de cuisson (extrait du site marchand « monrechaud.com »)

Le set de cuisson Esbit® (popote/réchaud en aluminium anodisé dur, idéal pour les sorties en solo) comprend une casserole d'une capacité de 585 mL, un couvercle et un support de réchaud à combustible solide.

Le support de casserole permet de déposer une tablette de combustible solide Esbit® et fait office de pare-vent. Lors du transport, il se range à l'intérieur de la casserole.



L'ensemble est extrêmement léger et compact. Le set de cuisson Esbit® est livré avec un filet de rangement.

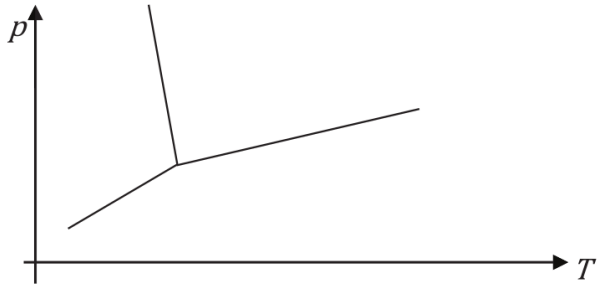
Document 2 - Tablettes de combustible solide (d'après le site marchand « monrechaud.com »)

Vingt tablettes de 4 g de combustible solide permettent de recharger les réchauds pliants Esbit®. Elles peuvent être également utilisées pour allumer un feu de camp, un barbecue ou une cheminée. Deux tablettes de 4 grammes permettent de faire bouillir 0,25 litre d'eau en 5 minutes. Une tablette de 4 g brûle approximativement en 5 minutes.

Matériaux : substances non toxiques dont l'hexamine.

Informations complémentaires :

- Non explosif
- S'allume avec une allumette ou un briquet
- Pas d'étincelles
- Puissance de chauffe forte
- Pouvoir calorifique de l'hexamine : $7 \cdot 10^3$ kcal·kg^{-1} = 31 MJ·kg^{-1}
- Ne laisse pas de cendres après la combustion
- Aucune fumée visible
- Léger et compact
- Lorsqu'il est bien entreposé, le combustible solide Esbit® conserve ses caractéristiques techniques pendant de nombreuses années
- Fonctionne également à des températures inférieures à 0 °C et à haute altitude.



☐ **32** – Recopier le diagramme pression-température et indiquer la nature de chacun des domaines.

Nous cherchons désormais à calculer la température d'ébullition au sommet du Mont Blanc, où la pression atmosphérique vaut 600 hPa. Pour cela, nous étudions l'équilibre liquide-vapeur suivant :

$$\mathrm{H_2O\,(l) = H_2O\,(g)}$$

☐ **33** – Montrer qu'à l'équilibre, la pression partielle en eau $P_{\mathrm{H_2O}}$ est égale à une valeur fixe $P_{\mathrm{sat}}(T)$, appelée *pression de vapeur saturante*, qui ne dépend que de la température T.

☐ **34** – Justifier à l'aide du diagramme que la température d'ébullition de l'eau diminue avec l'altitude.

☐ **35** – Rappeler et démontrer la loi de Van't Hoff. En déduire que :

$$\frac{1}{P_{\mathrm{sat}}}\frac{\mathrm{d}P_{\mathrm{sat}}}{\mathrm{d}T} = \frac{M_{\mathrm{H_2O}}\ell_{\mathrm{vap}}}{RT^2}$$

où $M_{\mathrm{H_2O}}$ est la masse molaire de l'eau.

On note $T_0 = 100°\mathrm{C}$ la température d'ébullition de l'eau en plaine, $P_0 = 1\,\mathrm{bar}$, la pression en plaine, $P_1 = 0.6\,\mathrm{bar}$ la pression au sommet du Mont Blanc et T_1 la température d'ébullition de l'eau au sommet du Mont Blanc. On cherche à calculer T_1. On prend pour cela en compte la variation de l'enthalpie de vaporisation de l'eau avec la température :

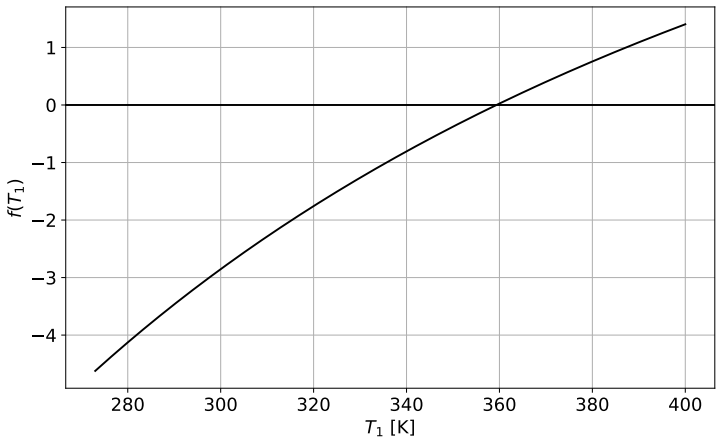
$$\ell_{\mathrm{vap}}(T) = \alpha - \beta T$$

avec $\alpha = 3050\,\mathrm{kJ{\cdot}kg^{-1}}$ et $\beta = 2\,\mathrm{kJ{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}}$.

☐ **36** – Démontrer que T_1 satisfait l'équation suivante :

$$f(T_1) = \frac{\alpha M_{\mathrm{H_2O}}}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_1}\right) + \frac{\beta M_{\mathrm{H_2O}}}{R}\ln\left(\frac{T_0}{T_1}\right) + \ln\left(\frac{P_0}{P_1}\right) = 0$$

Comme P_0, P_1 et T_0 sont connues, cette équation peut se mettre sous la forme $f(T_1) = 0$. Dans toute la suite, on cherche à résoudre cette équation par un code python. On suppose que la fonction `f(T1)` a été définie préalablement dans Python, aindi que sa dérivée `derivee_f(T1)`. On donne ci-dessous sa représentation graphique :



☐ **37** – Estimer la température d'ébullition de l'eau au sommet du Mont Blanc et commenter. Expliquer pourquoi la cuisson des aliments est plus lente en s'appuyant sur une loi chimique.

Méthode dichotomique

On propose pour commencer de résoudre l'équation à l'aide du code suivant :

```
T1_min = COMPLETER
T1_max = COMPLETER

precision = 0.1 #precision souhaitee en Kelvins

while T1_max-T1_min > precision :
    T1_m = (T1_max+T1_min)/2
    if f(T1_m)*f(T1_min)<0 :
        T1_max = T1_m
    else :
        T1_min = T1_m

print("La temperature se situe entre",T1_min," et ",T1_max)
```

☐ **38** – Expliquer le fonctionnement du code. Proposer une valeur initiale pour `T1_min` et `T1_max`.

Méthode de Newton

En pratique, la méthode dichotomique a une convergence très lente lorsque l'on souhaite une bonne précision. On privilégie en général la méthode de Newton, et on utilise la suite $T_{n+1} = T_n - \dfrac{f(T_n)}{f'(T_n)}$, fabriquée à partir de la fonction f et de sa dérivée f, dont on admet qu'elle converge vers un zéro de la fonction f qui est la valeur de T_1 recherchée.

☐ **39** – À l'aide d'une représentation graphique la plus complète possible, illustrer quelques étapes du principe de convergence de la suite T_n vers un zéro de la fonction f.

On utilise la fonction suivante :

```
def cherche_T1(valeur_initiale,precision):
    T1 = valeur_initiale
    [instruction1]
    while residu > precision:
        eq = [instruction2]
        deq = [instruction3]
        T1_old = T1
        T1 = T1 - eq/deq
        residu = [instruction4]
    return T1
```

☐ **40** – Proposer les quatre instructions à insérer pour le bon fonctionnement du code. Proposer une valeur pour `valeur_initiale`.

Données :

Capacité thermique massique de l'eau liquide à pression constante : $c_{eau} = 4{,}2$ kJ·K^{-1}·kg^{-1}

Masse volumique de l'eau liquide : $\mu_{eau} = 1{,}0$ kg·L^{-1}

Enthalpie massique de vaporisation de l'eau sous 1 bar : $\ell_V = 2{,}3 \cdot 10^3$ kJ·kg^{-1}

Constante des gaz parfaits : $R = 8{,}3$ J·K^{-1}·mol^{-1}

Données spécifiques à l'hexamine

Aspect : poudre blanche

Formule brute : $C_6H_{12}N_4$

Masse molaire : $M_h = 140$ g·mol^{-1}

Masse volumique supposée indépendante de la température : $\mu_h = 1{,}33$ g·cm^{-3}

Les produits de combustion de l'hexamine dans l'air varient selon les conditions : diazote N_2, eau H_2O et dioxyde de carbone CO_2 dans les conditions optimales.

Enthalpies standard de formation à 25 °C

Espèce	H_2O(gaz)	CO_2(gaz)	$C_6H_{12}N_4$(solide)
$\Delta_f H°$ en kJ·mol^{-1}	$-2{,}5 \cdot 10^2$	$-4{,}0 \cdot 10^2$	$1{,}23 \cdot 10^2$