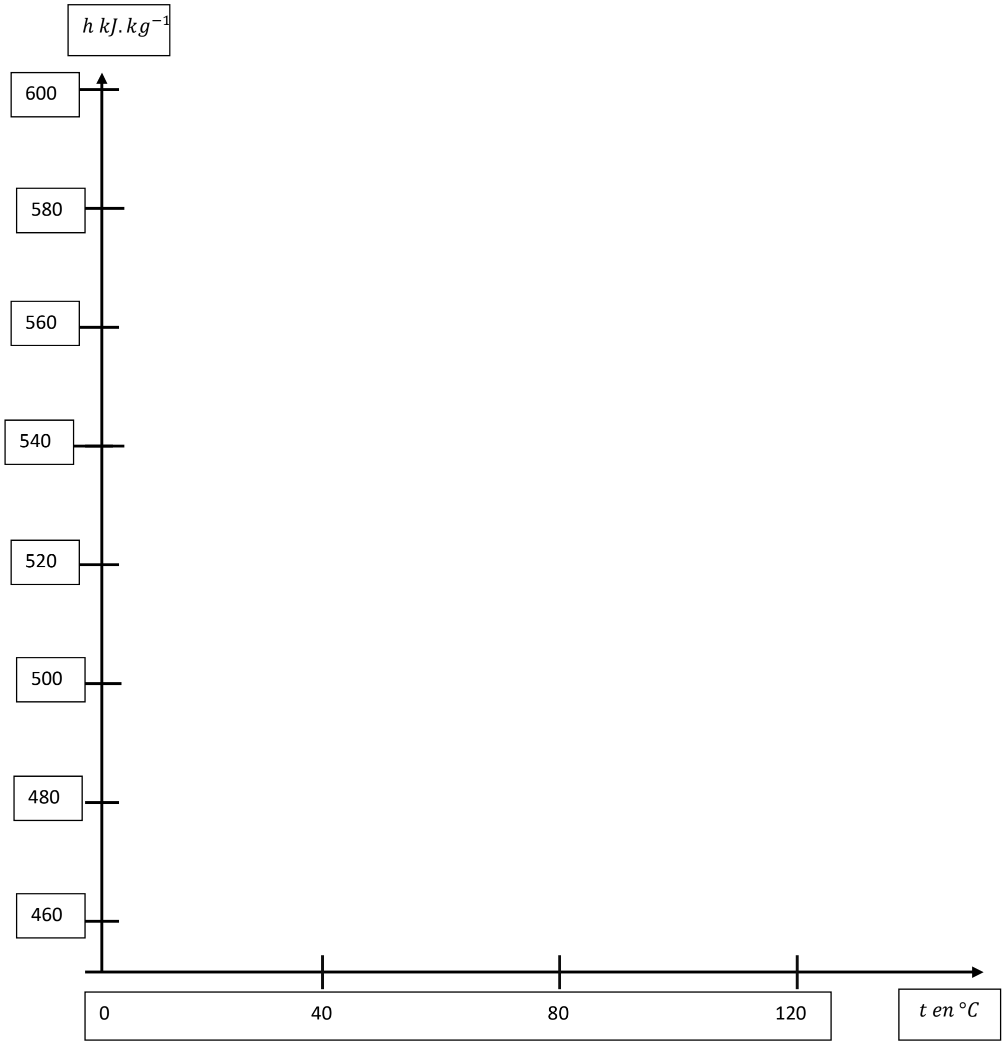
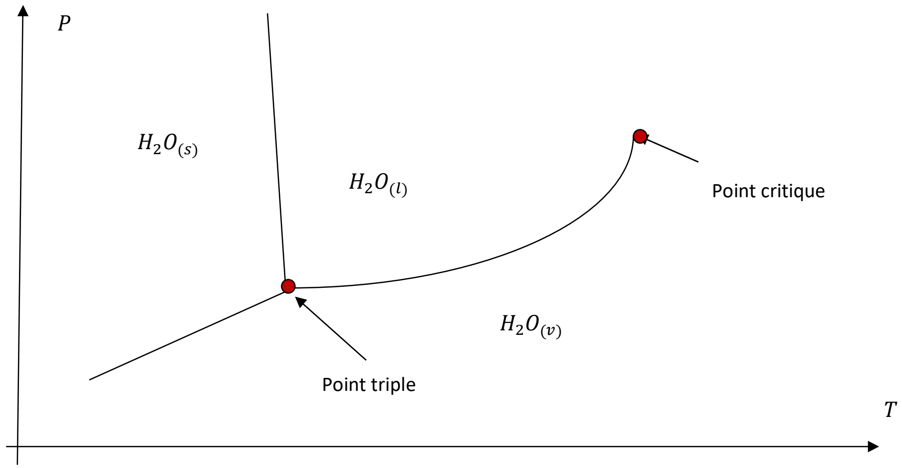
(*) Ce graphique est à compléter et à placer dans votre copie.



ATS 2025-2026 DS3 (1h30)

Correction exercice 1

Question 12 (question de cours)



Question 13

C'est une résolution de problème (je trouve plutôt qu'il s'agit d'une analyse documentaire !) qui rapporte beaucoup de points même si vous ne le résolvez pas complétement. En effet si vous proposez une analyse pertinente, une piste de résolution argumentée et des ordres de grandeurs des paramètres vous pouvez obtenir des points précieux. Donc n'hésitez pas à réfléchir à ce type de question et de proposer quelques éléments pour la résolution même si vous n'avez pas finalisé.

Une piste de résolution en mécanique est de négliger les frottements (on appelle cette hypothèse modèle à l'ordre 0) et de proposer d'utiliser un théorème énergétique (théorème de la puissance cinétique en mécanique du point ou loi de Bernoulli en mécanique des fluides).....

Ici c'est l'utilisation raisonnée des graphiques qui permet de répondre rapidement sans calculs.

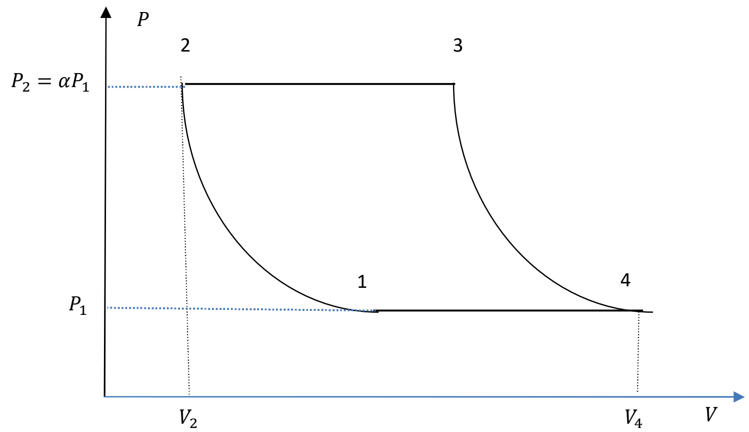
On veut cuire des œufs, à une altitude de 2400 m, en un temps suffisant pour que le jaune soit à la température de 63¨C.

Le temps de cuisson pour obtenir 63°C dans le jaune dépend de la température d'ébullition de l'eau dans lequel est plongé l'œuf, la température d'ébullition dépend de la pression de l'air.

A 2400 m la pression de l'air est de 75kPa environ (lecture sur le document 1 partie I du problème. D'après le graphique gauche du document 4 : pour une pression de 0,75 bar la température d'ébullition de l'eau est de 90°C. D'après le graphique droit du document 4 : pour une température d'ébullition de 90¨C il faut **4 mn** de cuisson pour obtenir 63°C au niveau du jaune d'œuf.

Correction exercice 2

1. D'après l'énoncé les transformations $2 \longrightarrow 3$ et $4 \longrightarrow 1$ sont isobares donc : $P_3 = P_2$ et $P_4 = P_1$.



2. On a $Q_{12} = 0 = Q_{34}$. On applique le premier principe avec la fonction enthalpie (cf correction exercice 4q4)

$$Q_{23} = \Delta H_{23} = H_3 - H_2 = nC_{pm}(T_3 - T_2)$$

$$Q_{41} = \Delta H_{41} = H_4 - H_1 = nC_{pm}(T_4 - T_1)$$

3. Plutôt que d'écrire $W = W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41}$ on applique le premier principe sur un cycle :

$$W = \Delta U - Q = U_1 - U_1 - Q_{23} - Q_{41} = -(Q_{23} + Q_{41})$$

L'aire du cycle est égale à la valeur absolue du travail fournie en un cycle.

4. Par définition de r :

$$r = \frac{|W|}{Q_{combustion}} = \frac{-W}{Q_{23}} = \frac{Q_{23} + Q_{41}}{Q_{23}} = 1 + \frac{Q_{41}}{Q_{23}} = 1 + \frac{T_1 - T_4}{T_3 - T_2}$$

5. On applique la loi de Laplace exprimée en pression et température :

$$P_1^{1-\gamma} T_1^{\gamma} = P_2^{1-\gamma} T_2^{\gamma}$$
$$T_1^{\gamma} = T_2^{\gamma} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1-\gamma} = T_2^{\gamma} (a)^{1-\gamma}$$
$$T_1 = T_2 a^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

De même :

$$T_4 = T_3 a^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

Donc :

$$r = 1 + \frac{T_2 a^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} - T_3 a^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}}{T_3 - T_2} = 1 + a^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \frac{T_2 - T_3}{T_3 - T_2} = 1 - \alpha^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

6. C'est un rendement peu réaliste, les moteurs thermiques ont un rendement de l'ordre de 35% à 45%.

ATS 2025-2026 DS3 (1h30)

Correction exercice 3

Q29

$$C_2H_6OH_{(l)} + 3O_{2(g)} \longmapsto 2CO_{2(g)} + 3H_20_{(g)}$$

Q30

$$\Delta_r H^0 = 2\Delta_f H^0\left(CO_{2(g)}\right) + 3\Delta_f H^0\left(H_20_{(g)}\right) - \Delta_f H^0\left(C_2H_6OH_{(l)}\right)$$

AN

$$\Delta_r H^0 = 2(-4{,}0.10^5) + 3(-2{,}0.10^5) - (-3{,}0).10^5 = -11{,}0.10^5 J.mol^{-1} = -1{,}1.MJ.mol^{-1}$$

Q31

Dans le document 1 on lit 'elles s'accompagne (les réactions de combustion) de production de chaleur', dans le résultat de la question Q30 on obtient une valeur négative de $\Delta_r H^0 = Q$, la réaction de combustion de l'éthanol est exothermique ($\Delta_r H^0 < 0$) traduisant un transfert thermique vers l'extérieur du milieu réactionnel.

Q32 Notons ζ l'avancement de la réaction qu'on suppose totale en présence d'un excès d'oxygène :

	$C_2H_6OH_{(l)}$ +	$3O_{2(g)} \longmapsto$	$2CO_{2(g)}$ +	$3H_20_{(g)}$
$\boldsymbol{t = 0}$ (*état initial*)	$\boldsymbol{n_0}$	$---$	**0**	**0**
$\boldsymbol{t > 0}$	$\boldsymbol{n_0 - \zeta}$	$---$	**2** $\boldsymbol{\zeta}$	**3** $\boldsymbol{\zeta}$
$\boldsymbol{t_f}$ (*état final*)	**0**		$\boldsymbol{2n_0}$	$\boldsymbol{3n_0}$

On applique le premier principe entre l'état initial (début de la réaction) et l'état final (fin de la réaction) pour une transformation monobare :

$$Q = \zeta \Delta_r H^0 = n_0 \Delta_r H^0$$

D'après l'énoncé, le pouvoir calorique PC est égal au transfert thermique $-Q$ produit par la combustion d'un kg d'éthanol donc produite par un nombre de mole n_0 vérifiant :

$$n_0 = \frac{m_0}{M} = \frac{1000g}{(2 * 12 + 6 * 1 + 1 * 16)g.mol^{-1}} = \frac{1000}{46} mol$$

$$PC = -n_0 \Delta_r H^0 = -\frac{1000}{46} mol(-1{,}1.10^6 J.mol^{-1}) = \frac{11}{46} 10^8 \approx \frac{11}{44} 10^8 \approx \frac{1}{4} 10^8 = 25MJ$$

On retrouve bien une valeur proche (car notre calcul est approché) de la valeur citée par l'énoncé.

Q33 La combustion d'un kg d'éthanol produit un transfert thermique supérieur au transfert thermique obtenu par la combustion d'un kg de bois.

Q34 En utilisant 5 tonnes de bois par an (cout total de 500 euros) M dubois obtient un transfert thermique :

$$Q = mPC(bois) = 5000 * 16.10^6 = 80.10^9 J$$

Calculons le cout du chauffage par l'éthanol assurant la production de $Q = 80.10^9 J$. Pour produire cette énergie il faut une masse d'éthanol :

$$m = \frac{Q}{PC(ethanol)} = \frac{80.10^9}{25.10^6} = \frac{75 + 5}{25} 10^3 = 3{,}2.10^3 kg$$

Donc un volume d'éthanol :

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{3{,}2.10^3}{0{,}80} = \frac{4 * 0{,}8}{0{,}80}.10^3 = 4.10^3 m^3$$

Donc un cout de :

$$C = 4000 m^3 . 1{,}5\, euros.m^{-3} = 6000\, euros$$

Pour le coût le match est plié (😊) !

Correction exercice 4

1. Par lecture graphique : $P_c = 72 bar$ et $t_C = 30°C$ $T_c = 303K$

2. Par lecture graphique (14,3cm) à 10 $kJ.kg^{-1}$ près :

$$\Delta h_{vap}(CO_2, -50°C) = h_{vap}(CO_2, -50°C) - h_{liq}(CO_2, -50°C) = 340 kJ.kg^{-1}$$

3. Par lecture graphique (9,2cm) à 10 $kJ.kg^{-1}$ près :

$$\Delta h_{vap}(CO_2, 0°C) = h_{vap}(CO_2, 0°C) - h_{liq}(CO_2, 0°C) = 220 kJ.kg^{-1}$$

4. On se place sur l'isotherme $-30°C$ en un point A ou le pourcentage massique de vapeur est de 40%.

- il est de 100 - 40 = 60%
- Par lecture graphique : la vaporisation à -30°C s'effectue sous une pression de 14,5 bar (à 0,2 bar près)
- Par lecture graphique : $h_{vap}(C0_2, -30°C) = 432. kJ.kg^{-1}$ à 2 $kJ.kg^{-1}$ près
- Par lecture graphique : $h_{liq}(C0_2, -30°C) = 136. kJ.kg^{-1}$ à 2 $kJ.kg^{-1}$ près
- On réalise une transformation isotherme représentée sur le diagramme par le segment AB ou B est le point de la vapeur saturante à -30°C.
  On applique le premier principe entre A et B :

$$Q_{AB} = \Delta H = H_B - H_A$$

B est l'état final il n'y a que de la vapeur (saturante) donc $H_B = m h_{vap}(C0_2, -30°C)$

A est l'état initial composée de $m_{vap} = 40\% m = 20g$ et de $m_{liq} = 60\% m = 30g$:

$$H_A = H_{vap} + H_{liq} = m_{vap} h_{vap}(C0_2, -30°C) + m_{liq} h_{liq}(C0_2, -30°C)$$

$$Q_{AB} = m h_{vap}(C0_2, -30°C) - \left(m_{vap} h_{vap}(C0_2, -30°C) + m_{liq} h_{liq}(C0_2, -30°C)\right)$$

$$Q_{AB} = (m - m_{vap}) h_{vap}(C0_2, -30°C) - m_{liq} h_{liq}(C0_2, -30°C)$$

$$Q_{AB} = m_{liq} h_{vap}(C0_2, -30°C) - m_{liq} h_{liq}(C0_2, -30°C)$$

$$Q_{AB} = m_{liq}\left(h_{vap}(C0_2, -30°C) - h_{liq}(C0_2, -30°C)\right) = m_{liq} \Delta h_{vap}(CO_2, -30°C)$$

On peut aussi préciser que la transformation AB consiste à vaporiser la masse $m_{liq} = 30g$ présente dans l'état A alors que le gaz initialement présent ne subit aucune transformation physique lors de la transformation AB (pas de changement d'état, pas de variation de température ni de pression) donc

$$Q_{AB} = m_{liq} \Delta h_{vap}(CO_2, -30°C)$$

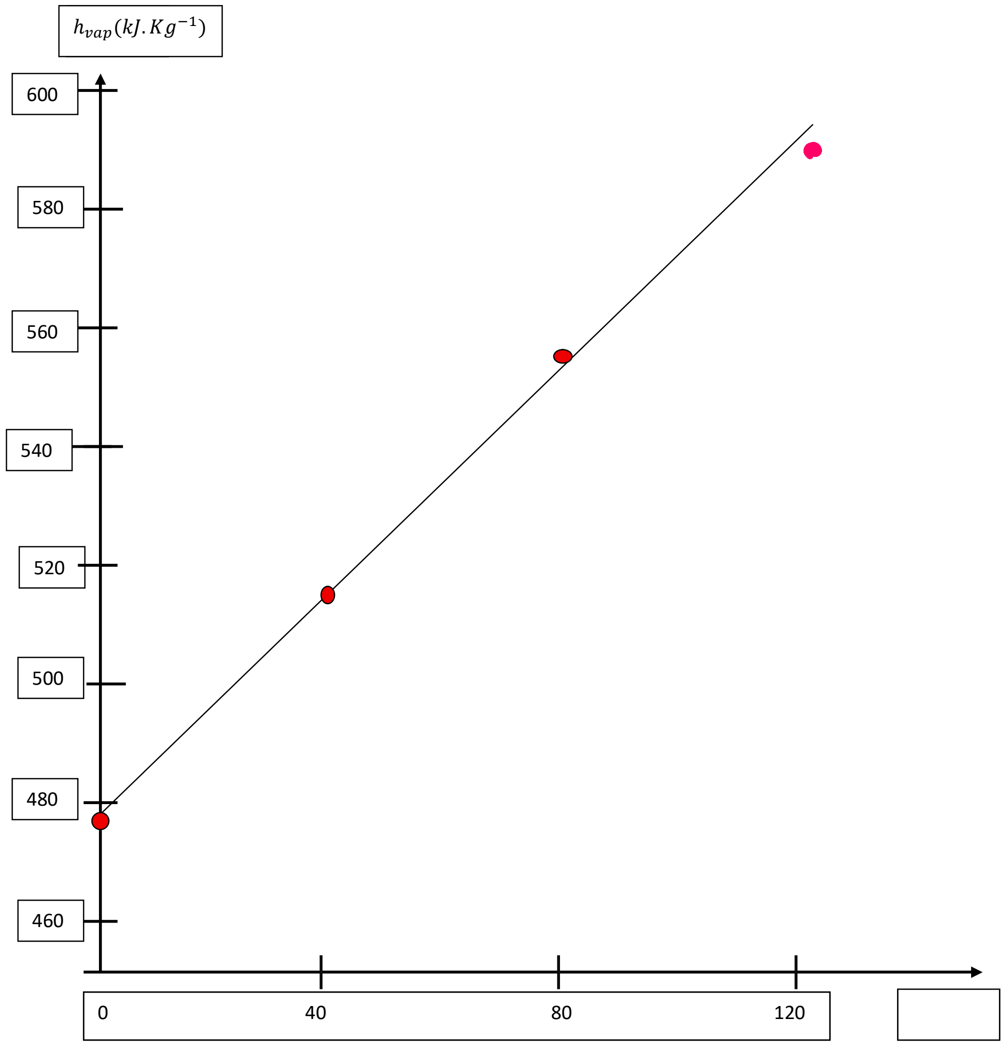
Ce dernier raisonnement est plus efficace

AN $Q_{AB} = 30.10^{-3}(432 - 136).10^3 \approx 30(430 - 130) = 9kJ$

5. A propos du modèle du gaz parfait :

a. Dans la zone vapeur à basse pression (P inférieur à 5 bar).

b. Et voilà :



ATS 2025-2026 DS3 (1h30)

c. Les points de la courbe précédente sont alignés (il faudrait pour être plus précis évaluer des paramètres statistiques à traves la méthode des moindres carrés..).

On conjecture une relation entre h_{vap} et $T = t + 273$ de la forme $h_{vap}(CO_2, T) = c_p T = c_p(t + 273)$
c_p est la pente de la droite dont une estimation est :

$$c_{pmassique} = \frac{590 - 478}{(273 + 120) - (273 + 0)} = \frac{112}{120} = 0{,}93kJ.kg^{-1}K^{-1}$$

$$c_{pm}(kJ.mol^{-1}K^{-1}) = C_{pmassique}(kJ.kg^{-1}K^{-1}).M_{CO_2}(kg.mol^{-1}) = 0{,}93kJ.kg^{-1}K^{-1}4410^{-3}kg.mol^{-1}$$

$$c_{pm} \approx 40JK^{-1}mol^{-1}$$

c_{pm} est ‘proche’ de la valeur mesurée (à la pression de notre étude) qui est de $38JK^{-1}mol^{-1}$.