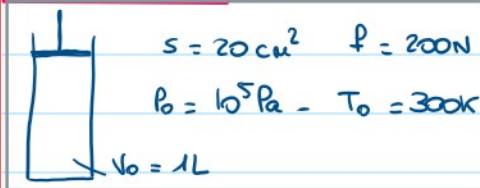


TD PHYS 3

mercredi 8 juillet 2026

09:45

Exercice n°1 :



a) système : { piston de masse négligeable }

→ équilibre mécanique du piston

$$\text{PFD} : P_0 S + P = P_1 S$$

$$\Rightarrow P_1 = P_0 + \frac{P}{S} \quad \text{A.N. } P_1 = 10^5 + \frac{200}{20 \cdot 10^{-4}} = 2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

système : { gaz à l'intérieur du piston }

• équilibre thermique avec parois diathermes $\Rightarrow T_1 = T_0$ A.N. $T_1 = 300 \text{ K}$

• Hypothèse GP : $P_0 V_0 = n R T_0$ et $P_1 V_1 = n R T_0 \Rightarrow V_1 = \frac{P_0 V_0}{P_1}$ A.N. $V_1 = 0,5 \text{ L}$

• Pour un GP, $U(T)$ or $T_1 = T_0 \Rightarrow \Delta U = U(T_1) - U(T_0) = 0$ (1ère loi de Joule)

• $\Delta S = C_v \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right) + n R \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right)$ (fournie dans le formulaire)

$$\text{avec } V_1 = \frac{V_0}{2} \text{ et } T_1 = T_0 \Rightarrow \Delta S_1 = -n R \ln 2 = -\frac{P_0 V_0}{T_0} \ln 2 \quad \text{A.N. } \Delta S_1 = -9,231 \text{ J.K}^{-1}$$

b) Dans le cas d'une compression isotherme et réversible, l'EF et l'Ei sont échangés donc $P_1, T_1, V_1, \Delta S_1$ et ΔU_1 sont inchangés.

c) 2nd principe : $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_c$

$$\text{cas réversible : } S_c = 0 \Rightarrow S_{\text{éch}} = \Delta S = -9,231 \text{ J.K}^{-1}$$

$$\text{cas brutal : } S_c > 0 \text{ et } S_{\text{éch}} = \frac{Q}{T_0}$$

D'après le 1^{er} principe : $\Delta U = W + Q$ avec $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = -W$

$$\text{or } W = \int_{E_i}^{E_f} -P_{\text{ext}} dV \quad \text{avec } P_{\text{ext}} = P_0 + \frac{P}{S} = P_1 = \text{cte} \Rightarrow W = -P_1(V_1 - V_0)$$

$$\Rightarrow S_{\text{éch}} = \frac{P_1(V_1 - V_0)}{T_0} \quad \text{A.N. } S_{\text{éch}} = -0,3335 \text{ J.K}^{-1}$$

$$S_c = \Delta S - S_{\text{éch}} \quad \text{A.N. } S_c = +0,102 \text{ J.K}^{-1}$$

Exercice n°2

système : { solide }

$$\Delta S = C \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) \quad \text{avec } T_i = 350 \text{ K} \quad \text{avec } C = m c$$

À l'état final, le système atteint l'équilibre thermique $\Rightarrow T_f = T_0$

$$\text{A.N. } \Delta S = 460 \times 0,1 \ln\left(\frac{280}{350}\right) = -10,3 \text{ J.K}^{-1}$$

$$\Delta S = S_{\text{éch}} + S_c \quad \text{avec } S_{\text{éch}} = \frac{Q}{T_0}$$

or $\Delta U = W + Q = Q$ car solide indéformable et $\Delta U = m c (T_f - T_i)$

$$\Rightarrow S_{\text{éch}} = \frac{m c (T_0 - T_i)}{T_0} \quad \text{A.N. } S_{\text{éch}} = \frac{91 \times 460 (280 - 350)}{280} = -11,53 \text{ J.K}^{-1}$$

$$\Rightarrow \boxed{S_{\text{éch}} = \frac{mC(T_0 - T_i)}{T_0}} - \text{A.N. } S_{\text{éch}} = \frac{91 \times 460(280 - 350)}{280} = -11,53 \text{ K}^{-1}$$

$$\Rightarrow \boxed{S_c = \Delta S - S_{\text{éch}}}$$

$$\text{A.N. } S_c = -10,3 + 11,5 = 1,23 \text{ K}^{-1} > 0$$

→ transfo irréversible à cause de l'hétérogénéité de température.

Exercice n°3

système: { gaz à l'intérieur du cylindre }
parois calorifugées $\Rightarrow$ transformation adiabatique ($Q=0$)

1°) Détente brutale monobare: $P_{\text{ext}} = P_0$

a) à l'éf, il y a équilibre mécanique $\Rightarrow \boxed{P_2 = P_0} = 1 \text{ bar}$

GP: $\boxed{\Delta U = \frac{nR}{\gamma-1} \Delta T}$ or 1^{er} principe: $\Delta U = W + Q = W$ (car $Q=0$)

or $P_{\text{ext}} = P_2 = \text{cte}$ donc $W = -P_2 \Delta V = -P_2(V_2 - V_1)$

$$\Rightarrow -P_2(V_2 - V_1) = \frac{nR(T_2 - T_1)}{\gamma-1} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma-1} = \frac{P_2 V_2}{\gamma-1} - \frac{P_1 V_1}{\gamma-1}$$

$$\Leftrightarrow \frac{P_1 V_1}{\gamma-1} + P_2 V_1 = \frac{P_2 V_2}{\gamma-1} + \frac{P_2 V_2}{\gamma-1} \quad (\Leftrightarrow V_1(P_2 + \frac{P_1}{\gamma-1}) = P_2 V_2 \left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right))$$

$$\Leftrightarrow \boxed{V_2 = \frac{\gamma-1}{\gamma} \times \frac{V_1}{P_2} \times (P_2 + \frac{P_1}{\gamma-1})} \quad \text{A.N. } V_2 = 74,3 \text{ L}$$

on en déduit T_2 avec la loi des GP: $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \boxed{T_2 = \frac{T_1 P_2 V_2}{P_1 V_1}}$

$$\text{A.N. } T_2 = \frac{273 \times 10^5 \times 74,3 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^5 \times 10 \cdot 10^{-3}} = 203 \text{ K}$$

puis W avec $W = -P_2(V_2 - V_1) = -10^5(74,3 - 10) \cdot 10^{-3} = -6,43 \cdot 10^3 \text{ J} < 0$

$\Rightarrow$ le gaz fournit un travail à l'extérieur

b) $\Delta S = C_V \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + nR \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ avec $C_V = \frac{nR}{\gamma-1}$ pour un GP

$$\Rightarrow \boxed{\Delta S = \frac{P_1 V_1}{T_1} \left(\frac{1}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \right)} \quad \text{A.N. } \Delta S = \frac{10 \cdot 10^5 \times 10 \cdot 10^{-3}}{273} \left(\frac{5}{2} \ln\left(\frac{203}{273}\right) + \ln\left(\frac{74,3}{10}\right) \right) = 46,3 \text{ J K}^{-1}$$

2) évolution très lente $\Rightarrow$ succession d'équilibres $\Rightarrow$ transfo adiab réversible

équilibre mécanique: $P'_2 = P_0 = P_2$

ici $P_{\text{ext}} \neq \text{cte} \Rightarrow$ on ne peut pas calculer directement W et donc ΔU

on utilise la loi de Laplace: $P_1 V_1^\gamma = P'_2 V_2'^\gamma$ pour une transfo adiab rév.

$$\Rightarrow \boxed{V_2' = V_1 \times \left(\frac{P_1}{P'_2}\right)^{1/\gamma} = V_1 \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{1/\gamma}} \quad \text{A.N. } V_2' = 51,8 \text{ L}$$

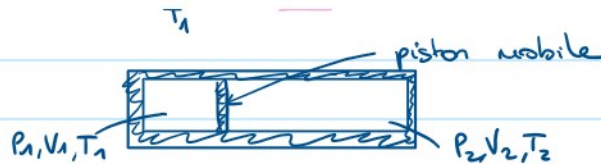
on en déduit T_2' avec la loi des GP: $\boxed{T_2' = T_1 \frac{P'_2 V_2'}{P_1 V_1}} \quad \text{A.N. } T_2' = 141 \text{ K}$

on peut alors calculer $W = \Delta U = \frac{nR}{\gamma-1} \Delta T = \frac{P_1 V_1}{\gamma-1} \left(\frac{T_2'}{T_1} - 1 \right) \quad \text{A.N. } W = -12,1 \cdot 10^3 \text{ J}$

enfin: $\Delta S = S_{\text{éch}} + S_c = \frac{Q}{T_1} + S_c = 0$



Exercice n°4 :



a) à l'équilibre : $P_1 = P_2 = 3P_0$, $V_1 + V_2 = 2V_0$, $P_1 V_1 = nRT_1$, $P_2 V_2 = nRT_2$
avec $P_0 V_0 = nRT_0 \Rightarrow nR = P_0 V_0 / T_0$.

Par C_2 : transfo adiab réversible donc $P_0 V_0^\gamma = P_2 V_2^\gamma$ avec $P_2 = 3P_0$

$$\Rightarrow V_2 = \left(\frac{1}{3}\right)^{1/\gamma} V_0 \quad \text{A.N.} \quad V_2 = \left(\frac{1}{3}\right)^{3/5} \times 2 = 1,03L \quad \Rightarrow V_1 = 2V_0 - V_2 = 2,97L$$

On en déduit $T_1 = T_0 \times \frac{P_1 V_1}{P_0 V_0} = \frac{3T_0 V_1}{V_0}$ et $T_2 = T_0 \times \frac{P_2 V_2}{P_0 V_0} = 3T_0 \frac{V_2}{V_0}$
A.N. $T_1 = 1214K$ et $T_2 = 424K$

b) Soit Q_1 l'énergie thermique reçue par le compartiment C_1 ($Q_1 > 0$)

1^{er} principe sur C_1 : $\Delta U(C_1) = W_1 + Q_1 \Leftrightarrow \frac{nR}{\gamma-1} (T_1 - T_0) = W_1 + Q_1$

C_2 : $\Delta U(C_2) = W_2 + Q_2 \Leftrightarrow \frac{nR}{\gamma-1} (T_2 - T_0) = W_2$

1^{er} principe sur toute l'enceinte : $\Delta U(C_1) + \Delta U(C_2) = W + Q = Q_1$

$$\Rightarrow W_1 + Q_1 + W_2 = Q_1 \Rightarrow W_1 = -W_2$$

$$\Rightarrow \frac{nR}{\gamma-1} [(T_1 - T_0) + (T_2 - T_0)] = W_1 + Q_1 + W_2 = Q_1$$

$$\Rightarrow Q_1 = \frac{P_0 V_0}{(\gamma-1)T_0} (T_1 + T_2 - 2T_0) \quad \text{A.N.} \quad Q_1 = 1,2 \cdot 10^3 J$$

$$c) \Delta S_1 = \frac{nR}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right) + nR \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right) = \frac{P_0 V_0}{T_0} \left(\frac{1}{\gamma-1} \ln\left(\frac{T_1}{T_0}\right) + \ln\left(\frac{V_1}{V_0}\right) \right)$$

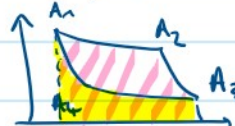
A.N. $\Delta S_1 = 1,93 J.K^{-1}$

$\Delta S_2 = 0$ car transfo adiab réversible.

Exercice n°5 (révisions machines thermiques)

$$1) a) W = \oint_{\text{cycle}} \delta W = \oint_{\text{cycle}} -P_{\text{ext}} dV = \oint_{\text{cycle}} -P dV = \int_{A_1}^{A_3} -P dV + \int_{A_3}^{A_1} -P dV$$

$$= - \int_{A_1}^{A_3} P dV + \int_{A_3}^{A_1} P dV \leq 0 \Rightarrow \text{cycle moteur}$$



rendement : $\eta = \frac{-W}{Q_1}$ Q_1 reçue par le système, fournie par la source chaude. ($Q_{A_1 \rightarrow A_2}$)

b) Sur le cycle $\Delta U = W + Q = W + Q_{A_1 A_2} + Q_{A_3 A_1} = 0$

$$\Delta S = 0 = S_{\text{éch}} + S_c = \frac{Q_{A_1 A_2}}{T_1} + \frac{Q_{A_3 A_1}}{T_2} \Rightarrow Q_{A_3 A_1} = -\frac{T_2}{T_1} Q_{A_1 A_2}$$

donc $W = -Q_{A_1 A_2} - Q_{A_3 A_4} = -Q_{A_1 A_2} \left(1 + \frac{Q_{A_3 A_4}}{Q_{A_1 A_2}}\right) = -Q_{A_1 A_2} \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$
 $\Rightarrow \eta = \frac{-W}{Q_{A_1 A_2}} = 1 - \frac{T_2}{T_1} > 0 \quad (T_2 < T_1)$

2) a) $A_1 \rightarrow A_4$ et $A_3 \rightarrow A_2$ sont des adiabatiques réversibles
 loi de Laplace : $PV^\gamma = \text{cte}$ avec $V = \frac{nRT}{P} \Rightarrow P^{1-\gamma} T^\gamma = \text{cte}$ (système fermé)
 $\Rightarrow P_4^{1-\gamma} T_2^\gamma = P_1^{1-\gamma} T_1^\gamma \Rightarrow P_4 = P_1 \times \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}$ A.N. $P_4 = 1,33 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
 De même $P_2 = P_3 \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}}$ A.N. $P_2 = 1,58 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

b) 1^{er} principe : $\Delta U = 0 = W + Q_{A_4 A_3} + Q_{A_2 A_1}$ (car $Q_{A_1 A_4} = Q_{A_3 A_2} = 0$)
 2^{ème} principe : $\Delta S = 0 = \frac{Q_{A_4 A_3}}{T_2} + \frac{Q_{A_2 A_1}}{T_1}$

Pour la transfo $A_4 \rightarrow A_3$: $\Delta U = C_V \Delta T = 0 = W_{A_4 \rightarrow A_3} + Q_{A_4 \rightarrow A_3}$
 avec $W_{A_4 \rightarrow A_3} = \int_{A_4}^{A_3} -P_{\text{ext}} dV = -nRT_2 \int_{V_4}^{V_3} \frac{dV}{V} = -nRT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)$
 $P_{\text{ext}} = P$ car réversible et $T = \text{cte}$

or $P_3 V_3 = nRT_2$ et $P_4 V_4 = nRT_2 \Rightarrow \frac{V_3}{V_4} = \frac{P_4}{P_3}$
 donc $Q_{A_4 \rightarrow A_3} = -W_{A_4 \rightarrow A_3} = +nRT_2 \ln\left(\frac{P_4}{P_3}\right)$ A.N. $Q_{A_4 A_3} = 676 \text{ J}$

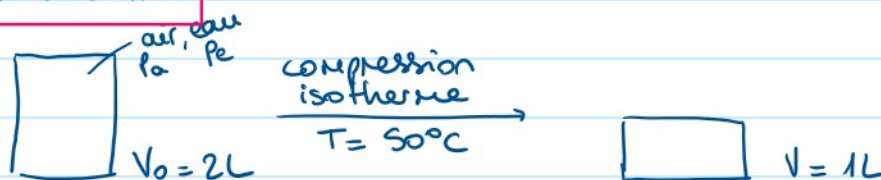
De façon analogue, pour la transfo $A_2 \rightarrow A_1$:

$\Delta U = 0 = W_{A_2 A_1} + Q_{A_2 A_1} \Rightarrow Q_{A_2 A_1} = nRT_1 \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = nRT_1 \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$
 A.N. $Q_{A_2 A_1} = -765 \text{ J}$

c) $W_{\text{four}/\text{ext}} = W_{\text{gaz}/\text{gaz}} = W = -(Q_{A_4 A_3} + Q_{A_2 A_1}) = 89 \text{ J}$

efficacité : $e = \frac{|Q_{A_2 A_1}|}{W} = \frac{765}{89} = 8,6$

Exercice n°6



a) initialement : $P_e < P_{\text{sat}} \Rightarrow$ vapeur d'eau sèche

à l'état final : Hyp l'eau reste gazeuse

on a alors $P_e^F V = n_e R T = P_e V_0 \Rightarrow P_e^F = P_e \frac{V_0}{V} = 2P_e > P_{\text{sat}}$

$\Rightarrow$ l'eau se liquéfie et contredit l'hypothèse faite.

on résout : une partie de l'eau se liquéfie et on a $P_e^F = P_{\text{sat}}$

$\Rightarrow$ l'eau se liquéfie et contredit l'hypothèse faite.
 conclusion : une partie de l'eau se liquéfie et on a $P_e^f = P_{\text{sat}}$
 car il s'établit en équilibre $\text{H}_2\text{O}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(l)$.

$\Rightarrow$ la vapeur d'eau est donc saturée.

b) On suppose que l'eau liquéfiée occupe un volume négligeable

$\Rightarrow P_{\text{sat}} V = n_e^{(g)} RT$ et comme $P_e V_0 = n_e RT$, on en déduit

la quantité d'eau liquéfiée : $n_e^{(l)} = n_e - n_e^{(g)} = (P_e V_0 - P_{\text{sat}} V) / RT$

puis la masse d'eau liquéfiée : $m_e^{(l)} = n_e^{(l)} M_{\text{eau}} = M_{\text{eau}} \times \frac{P_e V_0 - P_{\text{sat}} V}{RT}$

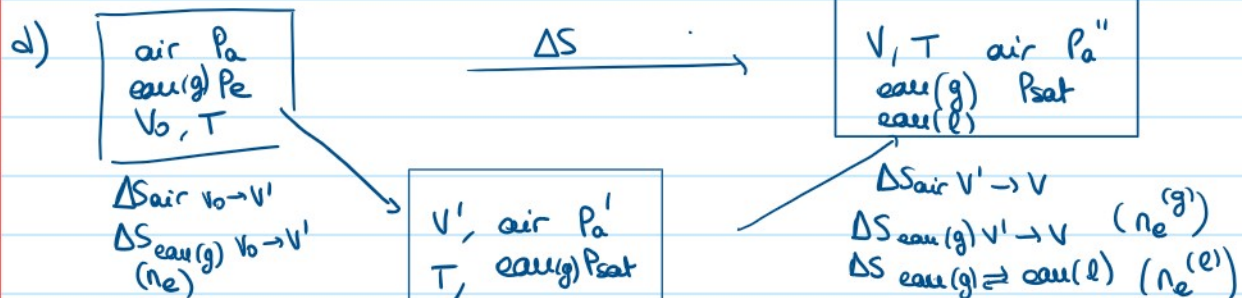
A.N. $m_e^{(l)} = 18 \times \frac{8000 \times 2 \cdot 10^{-3} - 12000 \times 1 \cdot 10^{-3}}{8,314 \times (273 + 50)} = 27 \text{ mg}$

c) A l'apparition de la 1^{ère} goutte de liquide, on a :

$P_{\text{sat}} V' = n_e RT$ avec aussi $P_e V_0 = n_e RT$

donc $V' = \frac{P_e V_0}{P_{\text{sat}}}$

A.N. $V' = \frac{8000 \times 2}{12000} = 1,33 \text{ L}$



$\Delta S_{\text{air}} = n_{\text{air}} R \ln\left(\frac{V'}{V_0}\right) + n_{\text{air}} R \ln\left(\frac{V}{V'}\right) = n_{\text{air}} R \ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \frac{P_e V_0}{T} \ln\left(\frac{V}{V_0}\right)$ A.N. $\Delta S_{\text{air}} = -0,43 \text{ J.K}^{-1}$

$\Delta S_{\text{eau}} = n_e R \ln\left(\frac{V'}{V_0}\right) + \Delta S_{\text{eau}(g)} + \Delta S_{\text{liquéfaction}}$

avec eau vapeur sèche $\underbrace{\Delta S_{\text{eau}(g)}_{V' \rightarrow V}}_0$ car $T = \text{cte}$ et $P = \text{cte}$ (V varie parce que des molécules de gaz passent en phase liquide)

$\Delta S_{\text{liquéfaction}} = \frac{\Delta H_{\text{liq}}}{T} = -\frac{m_e^{(l)} \Delta H_{\text{vap}}}{T}$

$\Rightarrow \Delta S_{\text{eau}} = \frac{P_e V_0}{T} \ln\left(\frac{V'}{V_0}\right) - \frac{m_e^{(l)} \Delta H_{\text{vap}}}{T}$

A.N. $\Delta S_{\text{eau}} = -0,0201 - 0,191 = -0,211 \text{ J.K}^{-1}$

Conclusion : $\Delta S = \Delta S_{\text{eau}} + \Delta S_{\text{air}} = -0,640 \text{ J.K}^{-1}$

Exercice n°7

1. Bilan enthalpique sur le calorimètre + eau contenue dedans :

$\Delta H = Q_p = 0 = C_{\text{calo}} (T_f - T_1) + m_1 c_{m, \text{eau}(g)} (T_f - T_1) + m_2 c_{m, \text{eau}(l)} (T_f - T_2)$

$\Rightarrow C_{\text{calo}} = -\frac{c_{m, \text{eau}} (m_1 (T_f - T_1) + m_2 (T_f - T_2))}{T_f - T_1}$ A.N. $C_{\text{calo}} = 64 \text{ J.K}^{-1}$

2. Si le calorimètre n'est pas parfaitement adiabatique, il peut

2. Si le calorimètre n'est pas parfaitement adiabatique, il peut y avoir des fuites thermiques (par ex au niveau du piston) ce qui explique que T diminue.

3. Bilan enthalpique dans l'exp 2 :

Hypothèse (à vérifier) : Toute la glace fond (valable si $T_f > 0$ sinon faire l'hyp qu'il reste de la glace)

$$\Delta H = 0 = C_{\text{calo}} (T_f - T_3) + m_{\text{eau(l)}} C_{\text{m,eau(l)}} (T_f - T_3) + m_g C_{\text{m,eau(g)}} (273 - T_4) + m_g \Delta_{\text{fus}} h + m_g C_{\text{m,eau(l)}} (T_f - 273)$$

(avec $m_{\text{eau(l)}} = 150 \text{ g}$, $m_g = 20 \text{ g}$, $T_3 = 30^\circ\text{C}$ et $T_4 = -4^\circ\text{C}$)

$$\Rightarrow (C_{\text{calo}} + (m_{\text{eau(l)}} + m_g) C_{\text{m,eau(l)}}) T_f = (C_{\text{calo}} + m_{\text{eau(l)}} C_{\text{m,eau(l)}}) T_3 - m_g C_{\text{m,eau(g)}} (273 - T_4) - m_g \Delta_{\text{fus}} h + m_g C_{\text{m,eau(l)}} \times 273$$

$$\Rightarrow T_f = \frac{(64 + 0,150 \times 4180) \times (30 + 273) - 0,020 \times 2090 (273 - (-4 + 273)) - 20 \times 333 + 0,020 \times 4180 \times 273}{64 + (150 + 20) \cdot 10^{-3} \times 4180}$$

$$= 291 \text{ K} = 17,9^\circ\text{C} \quad (T_f < T_1 \text{ cohérent et } T_f > 0 \Rightarrow \text{hyp ok})$$

$$4. \Delta S = S_{\text{éch}} + S_c = S_c = C_{\text{calo}} \ln\left(\frac{T_f}{T_3}\right) + C_{\text{m,eau(liq)}} \times m_{\text{eau(l)}} \ln\left(\frac{T_f}{T_3}\right) + C_{\text{m,eau(gla)}} m_g \ln\left(\frac{273}{T_4}\right) + m_g \frac{\Delta_{\text{fus}} h}{273} + m_g C_{\text{m,eau(liq)}} \left(\frac{T_f}{273}\right)$$

A.N $S_c = \Delta S = 2,43 \text{ J.K}^{-1} > 0$ (cohérent).