

26 pts + 35 pts + 19 pts = 80 pts

## DS n° 8 Thermodynamique

Exercice 1: Moteur à essence

26 pts

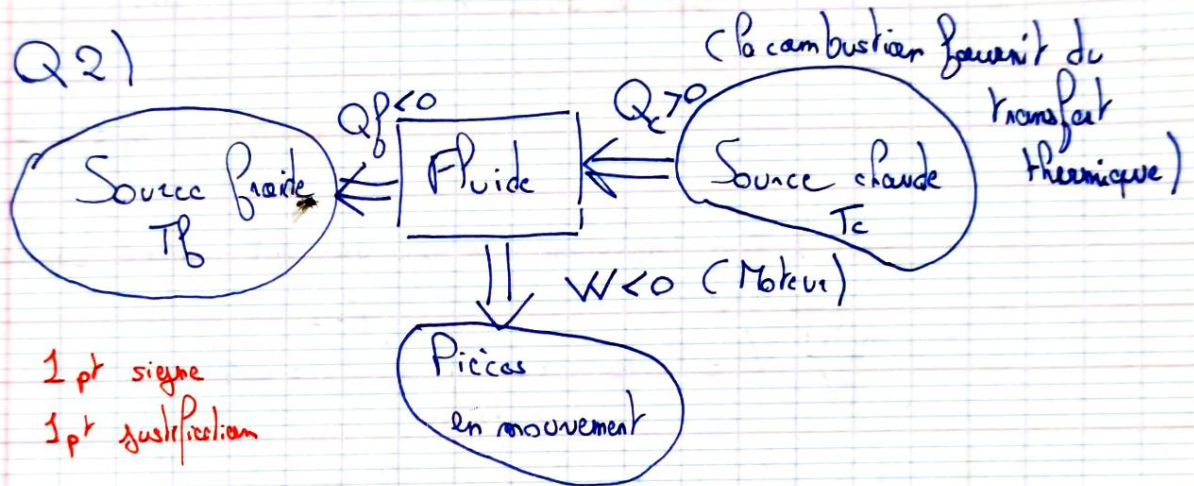
2 Q1) Source chaude  $\rightarrow$  Modèle pour la combustion  
 $T_c = 1800 \text{ K}$

1 pt température  
2 pt identification  $S_c$  et  $S_b$

Source froide  $\rightarrow$  Modèle pour le refroidissement  
 $T_f = 300 \text{ K}$

Q2)

2



1 pt signe  
1 pt justification

3

Q3)  $W(F_p) = \oint \vec{p} \cdot d\vec{V} < 0$  comme attendu pour un moteur.  
1 pt ébok      1 pt sens      1 pt commentaire

Q4) On applique le PP entre 2  $\rightarrow$  3 au fluide.

1 
$$\Delta U_{23} + \Delta E_{c,23} = Q_{2 \rightarrow 3} + W_{2 \rightarrow 3} = \frac{m_e R}{\gamma - 1} (T_3 - T_2)$$

1

Q5) Idem entre 4  $\rightarrow$  1: 
$$\Delta U_{4 \rightarrow 1} = Q_{4 \rightarrow 1} = \frac{m_e R}{\gamma - 1} (T_1 - T_4)$$

Q6) En appliquant le PP sur un cycle :

1 pt premier principe cycle

$$\Delta U_{\text{cycle}} = 0 = \Delta U_{1 \rightarrow 2} + \Delta U_{2 \rightarrow 3} + \Delta U_{3 \rightarrow 4} + \Delta U_{4 \rightarrow 1}$$

2  $0 = W_{1 \rightarrow 2} + W_{3 \rightarrow 4} + Q_{2 \rightarrow 3} + Q_{4 \rightarrow 1}$

D'où  $W = W_{1 \rightarrow 2} + W_{3 \rightarrow 4} = -Q_{2 \rightarrow 3} - Q_{4 \rightarrow 1} = \frac{mR}{\gamma-1} (T_2 \cdot T_3 + T_4 \cdot T_1)$

1 pt expression en fonction de  $T_1, T_2, T_3, T_4$

Q7) Par définition :  $\eta = \frac{-W}{Q_c} = \frac{-W}{Q_{2 \rightarrow 3}} = \frac{T_1 + T_3 - T_2 - T_4}{T_3 - T_2}$

2

1 pt résultat

$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

Q8) En injectant la loi des GP dans l'opce, il vient :

$$\frac{mRT}{V} V^\gamma = \text{cste} \Leftrightarrow TV^{\gamma-1} = \text{cste'}$$

1 pt l'opce

2 De plus la transformation 3-4 est isentropique et le fluide est un gaz.

$$T_4 V_4^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1} \Leftrightarrow T_4 = T_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} = T_3 \left( \frac{V_b}{V_R} \right)^{\gamma-1}$$

1 Q9) Idem :  $T_1 = T_2 \left( \frac{V_b}{V_R} \right)^{\gamma-1}$

1 pt expression finale

2 Q10)  $S = \frac{V_R}{V_b}$

d'où :  $\eta = 1 - \frac{T_3 \delta^{1-\gamma} - T_2 \delta^{1-\gamma}}{T_3 - T_2}$

0 1 pt ramblage

$$\eta = 1 - \delta^{1-\gamma}$$

1 pt expression finale

AN :  $\eta = 0,59$

Q 11) PP:  $\Delta U = 0 = Q_c + Q_f + W$

2 pt PP SP:  $\Delta S_{\text{cycle rev}} = 0 = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f}$

4

1 pt SP

$$\Rightarrow \frac{Q}{T_c} - \frac{Q_c}{T_f} - \frac{W}{T_f} = 0 \Leftrightarrow T_f Q_c - T_c Q_c - T_c W = 0$$

$$\Leftrightarrow Q_c (T_f - T_c) = T_c W$$

1 pt expression finale

$$\Leftrightarrow \eta_c = \frac{-W}{Q_c} = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

AN:  $\eta_c = 1 - \frac{300}{1800} = \frac{5}{6}$

on a bien  $1 - \eta_c > \eta$   
1 pt commentaire

1 Q 12) SP:  $\Delta S = 0 = \frac{Q_{2 \rightarrow 3}}{T_c} + \frac{Q_{4 \rightarrow 1}}{T_f} + S_{\text{créé}}$

1 Q 13)  $S_c = \frac{nR}{\gamma-1} \left( \left(1 - \frac{T_2}{T_3}\right) + \left(1 - \frac{T_4}{T_1}\right) \right)$

2 Q 14)  $S_c = \frac{nR}{\gamma-1} \left( \frac{T_2}{T_3} + \frac{T_4}{T_1} - 2 \right)$  1 pt expression

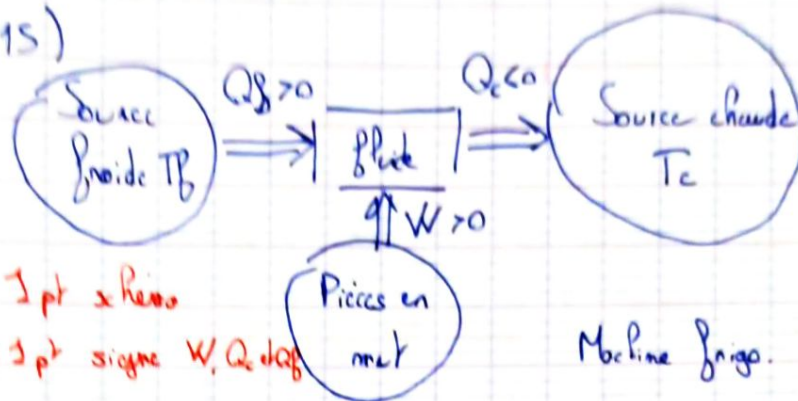
AN:  $S_c = \frac{nR}{\gamma-1} \left( \frac{614}{1800} + \frac{879}{300} - 2 \right) > 0$

1 pt commentaire

Exercice 2 : Etude d'une PAC

35 pts

1 Q15)



1 pt x 2 items

1 Q16) 1 pt signe W, Q\_c, Q\_B

2 Q17)  $COP = \frac{-Q_c}{W} = \frac{Q_c}{Q_c + Q_B}$

1 pt PP. cycle

$W = -Q_c - Q_B$

Q18) PP:  $\Delta U = 0 = Q_c + Q_B + W$

SP:  $\Delta S = 0 = \frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_B}{T_B} + \xi$

1 pt PP et SP

$\Rightarrow 0 = \frac{Q_c}{T_c} - \frac{Q_c}{T_B} - \frac{W}{T_B} + \xi \Leftrightarrow 0 = Q_c \left( \frac{T_B - T_c}{T_B T_c} \right) - \frac{W T_c}{T_B} + \xi T_B$

5

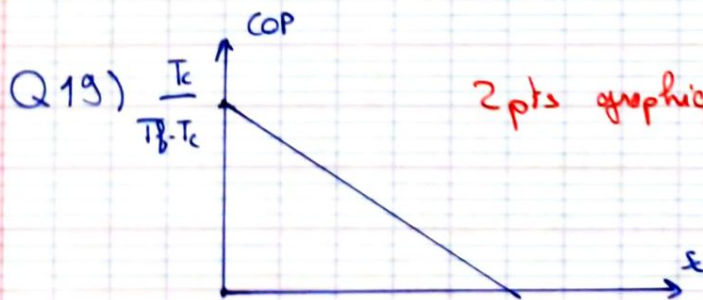
0 2 pts tentative

$\Leftrightarrow Q_c \left( \frac{T_B - T_c}{T_B T_c} \right) = -\frac{W T_c}{T_B} + \xi T_B \Leftrightarrow -\frac{Q_c}{W} \left( \frac{T_B - T_c}{T_B} \right) = T_c - \frac{\xi T_B}{W}$

$\Leftrightarrow COP = \frac{-Q_c}{W} = \frac{T_c}{-T_B + T_c} - \frac{\xi T_c T_B}{W(-T_B + T_c)}$

1 pt expression

OdG: COP ~ 1-4 1 pt OdG COP



2 pts graphique

2

1 Q20)  $\xi = 0 \Leftrightarrow$  Machine reversible et  $COP = COP_{\text{revers.}}$

2 Q21) Source chaude: Réseau d'eau  $T_c = 26^\circ\text{C}$   
 Source froide: Air extérieure  $T_f = -3^\circ\text{C}$   
 Système mécanique: compresseur  
 2 pts 0 fautes 1 pts 1 faute

2 Q22) Condenseur  $Q < 0$ , en en déduit qu'il doit être en contact avec la source chaude. (échangeur 2.)  
 1 pt source chaude 2 pts échangeur 2

1 Q23) Pour élimination Evaporateur  $Q > 0$  échangeur 1 au contact avec la source froide.

2 Q24)  $\Delta h = v_1^2 + v_2^2$ : Détente isenthalpique.  
 1 pt PP 1 pt

1 Q25) Transformation suffisamment rapide pour être adiabatique.  
 On suppose aussi la réversibilité.

5 Q26) cf document réponse.  
 1 pt iso bar 1 pt détente isenthalpique  
 1 pts ens 1 pt compression isenthalpique  
 1 pt tout suite.

Q27) Détermination de  $x_c$  par la règle des moments.

2 
$$x_c = \frac{h_2 - h_{2s}(P=4.2\text{bar})}{h_{v_s}(P=4.2\text{bar}) - h_{l_s}(P=4.2\text{bar})} = \frac{250 - 175}{415 - 175} = \frac{75}{240} \approx 0,3$$
  
 1 pt règle 1 pt AN

On trouve bien un résultat proche de la lecture des isotiques.

2 Q28)  $w_i = h_2 \cdot h_1 = 470 \text{ kJ/kg} - 425 \text{ kJ/kg} = 45 \text{ kJ/kg}$   
 $q_{\text{comp}} = h_1 \cdot h_6 = 425 - 250 = 175 \text{ kJ/kg}$   
 $q_{\text{cond}} = h_5 \cdot h_2 = 250 - 470 = -220 \text{ kJ/kg}$   
 1 pt 1 faute  
 2 pts 0 fautes

1 Q29) Eviter d'alimenter le compresseur avec du liquide  
ce qui pourrait l'endommager (cavitation).

2 Q30) 
$$\text{COP} = \frac{-Q_c}{W} = \frac{h_2 \cdot p_s}{h_2 \cdot p_1} = \frac{220}{45} \sim 5$$
  
1 pt expression et AN cohérente

Pour un chauffage électrique  $\text{COP} < 1$ . 1 pt intérêt

Q31)  $\text{COP}_{\text{net}} = 0,9$  
$$\text{COP} = \frac{h_2' - p_s}{h_2' - p_1}$$
 0 2 pts démarche

3 
$$\Leftrightarrow 4,5 h_2' - 4,5 p_1 = h_2' - p_s \Leftrightarrow h_2' = \frac{4,5 p_1 - p_s}{3,5}$$

$$h_2' = \frac{4,5 \cdot 425 - 250}{3,5} =$$

Par lecture graphique il vient: 1 pt Température finale

Exercice 3 Connaître son vol par déambulation fractionnée 13pts

Q 32) - Le poids :  $\vec{P} = + m g \vec{e}_z$   
 $= + \rho_0 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 g \vec{e}_z$  1pt

2pts

- La force de frottement fluide :  $\vec{F} = - 6 \pi \eta r \vec{v}$

- La poussée d'Archimède :  $\vec{\Pi} = - \rho_e \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 g \vec{e}_z$  2pt

Q 33) En appliquant le PFD à une particule minérale supposée ponctuelle dans le référentiel du Labo supposé Galiléen.

$(m \ddot{z} = \sum \vec{F}_{ext}) \cdot \vec{e}_z$  1pt

$\Leftrightarrow m \dot{v}_z = - 6 \pi \eta r v_z + \frac{4}{3} \pi r^3 g (-\rho_e + \rho_0)$

4pts  $\Leftrightarrow \dot{v}_z + \frac{6 \pi \eta r}{m} v_z = \frac{4}{3} \frac{\pi r^3 g (-\rho_e + \rho_0)}{m}$  1pt résultat

La vitesse limite est atteinte en régime permanent :

$\frac{6 \pi \eta r}{m} v_f = \frac{4}{3} \frac{\pi r^3 g (-\rho_e + \rho_0)}{m}$

$\Leftrightarrow v_f = \frac{8 r^2 g (-\rho_e + \rho_0)}{9 \eta}$  1pt

Q 34)  $\dot{v}_z + \frac{v_z}{\tau_c} = \frac{v_f}{\tau_c}$  avec  $\tau_c = \frac{m}{6 \pi \eta r}$  1pt

on  $m = \rho_0 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$   
 $\tau_c = \frac{\rho_0 \cdot \frac{4}{3} \pi r^3}{6 \pi \eta r} = \frac{2 \rho_0 r^2}{9 \eta}$  1pt

La solution générale est  $v_z(t) = A e^{-t/\tau_c} + \nu l$   
1pt solution

3 En appliquant  $v_z(t=0) = 0 \Leftrightarrow A = -\nu l$

et  $v_z(t) = \nu l (1 - e^{-t/\tau_c})$  1pt CI

Q35) En intégrant la solution précédente

2  $z(t) = \int v_z(t) \cdot dt = \nu l \cdot t + \nu l \tau_c e^{-t/\tau_c} = \nu l (t + \tau_c e^{-t/\tau_c})$   
1pt + cste

$z(t=0) = 0 \Leftrightarrow \nu l \tau_c + cste = 0 \Leftrightarrow cste = -\nu l \tau_c$   
1pt

$z(t) = \nu l (t - \tau_c + \tau_c e^{-t/\tau_c})$

Q36) On cherche  $z(t = \tau_s) = p$  1pt

2  $\Leftrightarrow \nu l (\tau_s - \tau_c + \tau_c e^{-\tau_s/\tau_c}) = p$

$\Leftrightarrow \nu l (\tau_s + \tau_c (e^{-\tau_s/\tau_c} - 1)) = p$  1pt

Q37) On cherche  $\tau_s$  pour  $\lambda = 2 \text{ mm}$

En divisant par  $\nu l \tau_c$  :  $\frac{\tau_s}{\tau_c} + \exp(-\frac{\tau_s}{\tau_c}) - 1 = \frac{p}{\nu l \tau_c}$  1pt

3 On pose  $x = \frac{\tau_s}{\tau_c}$ , on cherche donc  $x$  tel que  $f(x) = \frac{p}{\nu l \tau_c}$

D'après le tableau, pour les sables  $\frac{p}{\nu l \tau_c} = 5 \times 10^{-2}$  1pt

Graphiquement  $\frac{\tau_s}{\tau_c} = 0,3 \Leftrightarrow \tau_s = 0,3 \tau_c = 0,3 \times 0,9 = 0,27 \text{ s}$  1pt

Q pts Q38)  $f(x) \approx x$  graphiquement droite de pente 1  
1 pt 1 pt

1 pt Q39) Limans  $\tau_{sp} = 5 \cdot 10^6 \cdot 9 \cdot 10^{-5} = 4,5 \cdot 10^{+2} s$

Argiles  $\tau_{sa} = 8 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-7} = 1,6 \cdot 10^5 s$

Q40)  $\tau_{argiles} = 2 \cdot 10^{-4} s \ll \tau_{sable} = 0,35$

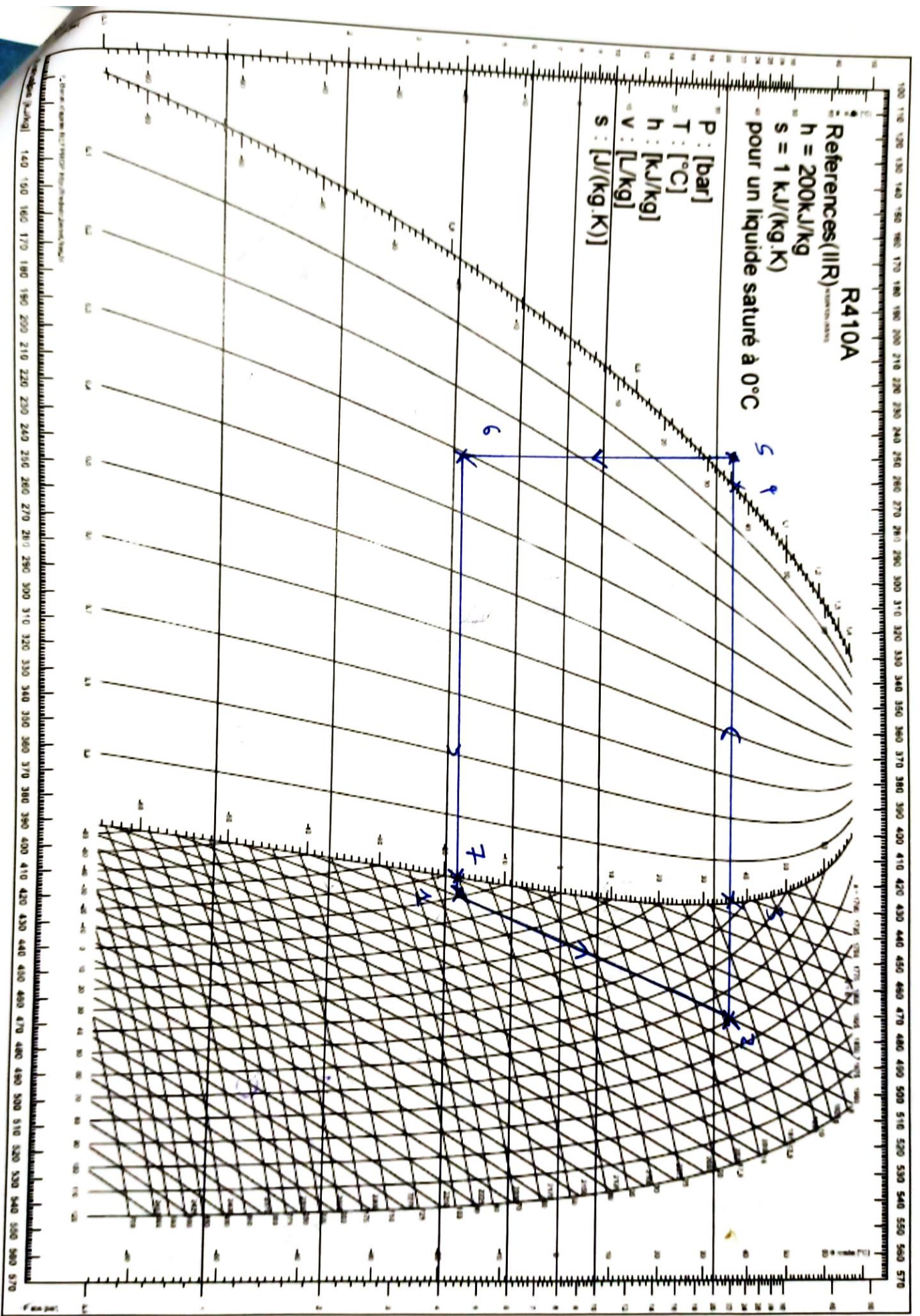
Bonus  
2  $n_{argile} = \text{cte}$  d'au  $\epsilon = n_{argile} \cdot \tau_{sable}$   
 $\frac{\epsilon}{P} = \frac{n_{argile} \cdot \tau_{sable}}{P} = \left( \frac{n_{argile} \cdot \tau_c}{P} \right)_{argile} \frac{\tau_{sable}}{\tau_{argile}}$

AN:  $\frac{\epsilon}{P} = 2 \cdot 10^{-6} \ll 1$

Bonus  
1 Q41)  $72h > 44h (> 8 \text{ min} > 0,3s)$

Exercice 2

(26)



ANNEXE A RENDRE EN FIN D'EPREUVE

Exercice 1

Q3)

