Exercice 1 : Questions de cours

Les questions suivantes sont indépendantes.

- 1. Énoncer le premier principe industriel (avec ses hypothèses!), puis indiquer les termes que l'on peut souvent négliger en pratique. Donner des contre-exemples de situations pour lesquelles on ne peut justement pas négliger ces termes.
- 2. Rédiger une version condensée de la démonstration du premier principe industriel.
- 3. Énoncer le deuxième principe pour un système ouvert. Préciser les noms et les unités des grandeurs qui y apparaissent.

Exercice 2: Importance des termes dans le premier principe industriel

Pour une turbine à gaz (de capacité thermique massique à pression constante $c_P \approx 1 \text{ kJ.kG}^{-1}$) où la température chute de 20°C entre l'entrée et la sortie, où la vitesse des gaz est $v \approx 10 \text{ m.s}^{-1}$, et la différence d'altitude entre l'entrée et la sortie de l'ordre du mètre, évaluer l'importance relative des différents termes intervenant dans le premier principe des systèmes ouverts et conclure.

Exercice 3: Puissance fournie par une turbine à air

Une turbine à air (considéré comme un gaz parfait de coefficient $\gamma = 1,4$ et de masse molaire $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ est supposé entièrement calorifugée. Le gaz y subit une détente que l'on peut considérer comme adiabatique réversible, et possède un débit $D_m = 100 \text{ kg.s}^{-1}$. La turbine fonctionne avec, à l'entrée, une pression $P_e = 200$ bar et une température $T_e = 350^{\circ}\text{C}$ et à la sortie une pression $P_s = 19$ bar.

On donne $R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$, et on rappelle pour le gaz parfait : $c_P = \frac{\gamma R}{(\gamma - 1)M}$.

- 1. Calculer la température de sortie T_s .
- 2. Calculer la puissance fournie par l'arbre de la turbine (à un alternateur par exemple).

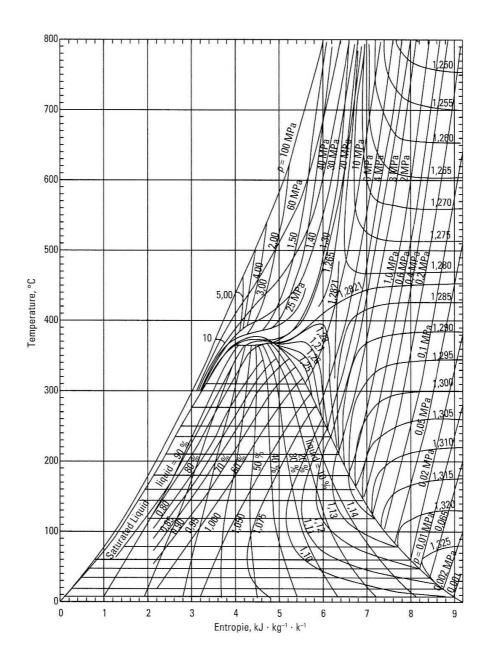
Exercice 4: Lecture d'un diagramme entropique

On considère dans cet exercice le diagramme entropique (T, s) de l'eau ci-après.

1. À partir de ce diagramme, recopier et compléter le tableau suivant :

	État 1	État 2	État 3	État 4
$s (kJ.K^{-1}.kg^{-1})$	$7{,}4$	2,2	4,0	
P (MPa)				0,02
T (°C)	100		310	
État physique		Liquide (saturé)		Vapeur (saturée)

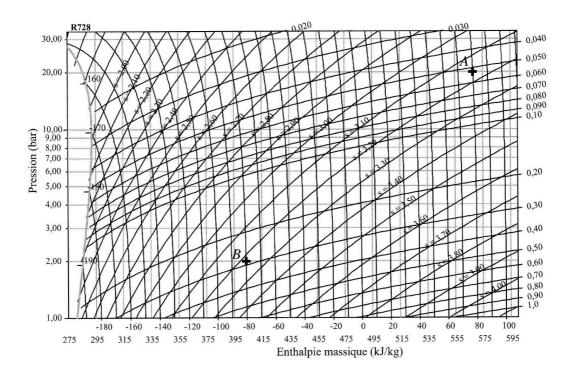
- 2. Toujours à l'aide du diagramme, déterminer l'entropie massique de vaporisation de l'eau à 100°C.
- 3. En déduire l'enthalpie massique de vaporisation de l'eau à cette température.



Exercice 5 : Écoulement du fluide R728 dans une tuyère (lecture d'un diagramme enthalpique)

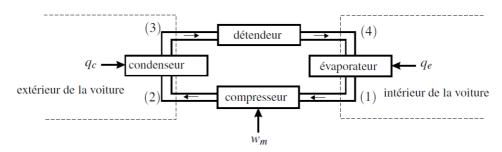
Le fluide R728 passe de l'état correspondant au point A à l'état correspondant au point B (voir le diagramme ci-dessous) en s'écoulant à travers une machine.

- 1. Quelles sont, parmi les grandeurs suivantes, celles que l'on peut calculer à partir de valeurs lues sur le diagramme (les notations non explicitées sont celles du cours) : Δh , Δu (différence des énergies internes massiques), q, w_u , w_{pression} (travail massique des forces de pression), Δs , s_e , s_c ?
- 2. Cette transformation est adiabatique et se fait dans une tuyère horizontale ne comportant aucune pièce mobile. Évaluer :
 - la vitesse du gaz à la sortie de la tuyère sachant que la vitesse à l'entrée est quasiment nulle;
 - l'entropie créée par unité de masse de gaz dans la tuyère.



Exercice 6: Climatisation d'une voiture

La quasi-totalité des véhicules neufs sont aujourd'hui équipés d'une climatisation. Pour refroidir l'air intérieur du véhicule, un fluide frigorigène, l'hydrofluorocarbone HFC connu sous le code R134a, effectue en continu des transferts énergétiques entre l'intérieur, l'extérieur du véhicule et le compresseur.



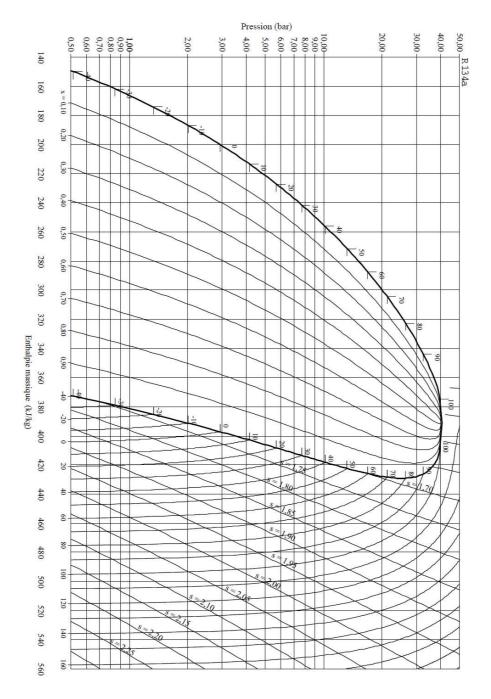
Sur le diagramme enthalpique (P,h) (voir ci-après) de l'hydrofluorocarbone HFC, de masse molaire $M=32~\mathrm{g/mol}$, sont représentés :

- la courbe de saturation de l'équilibre liquide-vapeur de l'hydrofluorocarbone HFC (en trait fort),
- les isothermes pour des températures comprises entre −40°C et 160°C par pas de 10°C,
- les isentropiques pour des entropies massiques comprises entre 1, 70 kJ.K⁻¹.kg⁻¹ et 2, 25 kJ.K⁻¹.kg⁻¹, par pas de 0, 05 kJ.K⁻¹.kg⁻¹,
- les isotitres en vapeur sous la courbe de saturation pour des titres massiques en vapeur x_G variant de 0 à 1 par pas de 0, 1.

P est en bar et h en kJ.kg⁻¹.

Lors de l'exploitation du diagramme, les mesures seront faites avec les incertitudes suivantes :

$$\Delta h = \pm 5 \text{ kJ.kg}^{-1}, \ \Delta s = \pm 50 \text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}, \ \Delta x = \pm 0,05, \ \Delta T = \pm 5^{\circ}\text{C}, \ \frac{\Delta P}{P} = 5\%.$$



- 1. Où sont sur le diagramme les domaines liquide, vapeur, équilibre liquide-vapeur du fluide?
- 2. Dans quel domaine du diagramme le fluide à l'état gazeux peut-il être considéré comme un gaz parfait ?
 - On étudie dans la suite l'évolution du fluide au cours d'un cycle en régime permanent. Le transfert thermique reçu par le fluide dans l'évaporateur permet la vaporisation isobare complète du fluide venant de (4) et conduit à de la vapeur à température $T_1 = 5^{\circ}$ C et pression $P_1 = 3$ bar : point (1).
- 3. Placer le point (1) sur le diagramme. Relever la valeur de l'enthalpie massique h_1 et de l'entropie massique s_1 du fluide au point (1).
 - Le compresseur aspire la vapeur (1) et la comprime de façon isentropique avec un taux de compression $r = \frac{P_2}{P_1} = 6$.

- 4. Déterminer P_2 . Placer le point (2) sur le diagramme. Relever la valeur de la température T_2 et celle de l'enthalpie massique h_2 en sortie du compresseur.
- 5. Déterminer la valeur du travail mécanique massique w_m reçu par le fluide lors de son passage dans le compresseur. Commenter le signe de w_m .
 - Le fluide sortant du compresseur entre dans le condenseur dans lequel il est refroidi de manière isobare jusqu'à la température $T_3 = 60$ °C : point (3).
- 6. Placer le point (3) sur le diagramme. Relever la valeur de l'enthalpie massique h_3 en sortie du condenseur.
 - Le fluide sortant du condenseur est détendu dans le détendeur supposé adiabatique jusqu'à la pression de l'évaporateur P_1 : point (4).
- 7. Montrer que la transformation dans le détendeur est isenthalpique.
- 8. Placer le point (4) sur le diagramme et tracer le cycle complet. Relever la valeur de la température T_4 et le titre massique en vapeur x_4 en sortie du détendeur.
- 9. En déduire le transfert thermique massique q_e échangé par le fluide lors de son passage à travers l'évaporateur entre (4) et (1). L'air intérieur du véhicule est-il refroidi?
- 10. Définir l'efficacité e, ou coefficient de performance, du climatiseur. Calculer sa valeur.
- 11. Comparer cette valeur à celle d'un climatiseur de Carnot fonctionnant entre la température de l'évaporateur et la température de liquéfaction du fluide sous la pression P_2 . Commenter le résultat obtenu.
- 12. Le débit massique du fluide est $D_m = 0,1$ kg/s. Calculer la puissance thermique évacuée de l'intérieur du véhicule et la puissance mécanique consommée par le climatiseur.