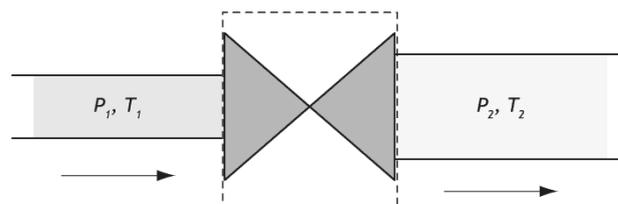


### T 70. Application du premier principe à un détendeur

Un détendeur est alimenté par un gaz parfait à la pression  $p_1$ , qui en sort à la pression  $p_2 < p_1$ . Le détendeur est isolé thermiquement. Les canalisations de connexion sont très larges, et placés à la même altitude.

Appliquez au détendeur le premier principe de la thermodynamique appliqué aux systèmes ouverts en régime permanent, et en déduire la relation entre la température de sortie et la température d'entrée.



### T71. Travail massique d'un compresseur

Un compresseur calorifugé comprime de façon adiabatique réversible un gaz parfait de la pression  $p_1 = 1,0$  bar à la pression  $p_2 = 4,0$  bar. La température initiale est  $T_1 = 298$  K. Le coefficient isentropique du gaz vaut  $\gamma = 1,4$  et sa capacité thermique massique est  $c_p = 1,0$  kJ·K<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>.

Déterminer puis calculer le travail massique reçu par le gaz lors de la compression.

### T72. Turbine à gaz

Dans une turbine à gaz, un compresseur aspire de l'air sous la pression  $p_1 = 1,0$  bar, à la température  $T_1 = 25$  °C avec un débit massique  $D_m = 2,0$  kg·s<sup>-1</sup>, puis le comprime adiabatiquement jusqu'à la pression  $p_2 = 3,0$  bar.

Cet air est ensuite admis dans une chambre de combustion, où il sert de comburant. La combustion a lieu à la pression constante  $p_2 = 3,0$  bar.

La température des gaz sortant de la chambre de combustion est  $T_3 = 600$  °C. Ces gaz entrent alors dans la turbine où ils subissent une détente adiabatique jusqu'à  $p_1 = 1,0$  bar.

NB : turbine et compresseur sont sur le même arbre.

Les gaz sont considérés comme parfaits. On admet que toutes les transformations sont quasistatiques réversibles (sauf la combustion, bien-sûr) et que le débit massique à la sortie de la chambre de combustion est le même qu'à la sortie du compresseur, malgré l'arrivée de gaz et la réaction chimique de ce gaz avec le dioxygène de l'air.

- 1) Représenter symboliquement la machine à l'aide des différents éléments.
- 2) Calculer la température  $T_2$  à la sortie du compresseur. En déduire la puissance  $\mathcal{P}_C$  fournie à l'air par le compresseur (puissance indiquée).
- 3) Calculer la température  $T_4$  à la sortie de la turbine et le travail massique indiqué  $w_T$  échangé par le fluide avec le rotor. En déduire la puissance  $\mathcal{P}_T$  prélevée à l'air par la turbine.
- 4) Représenter l'évolution des gaz dans un diagramme  $(T,s)$ . Identifier au préalable les isentropiques et les isobares, en vous aidant du diagramme  $(T,s)$  de l'eau.
- 5) Calculer la puissance  $\mathcal{P}_{comb}$  fournie au gaz au cours de la combustion.
- 6) Déterminer le rendement de l'installation. Comparer à  $\eta_o$ . Conclure.

Données relatives aux gaz (air ou gaz de combustion) :  $\gamma = 1,4$  ;  $c_p = 1,0$  kJ·K<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>.

### T73. Compresseur

Un compresseur amène de façon adiabatique de l'air de l'état (1) atmosphérique (température  $T_1 = 300$  K, pression  $p_1 = 1,0$  bar) jusqu'à l'état (2) (température  $T_2$ , pression  $p_2 = 6,0$  bar).

La puissance  $\mathcal{P}$  du moteur qui l'entraîne est de 1,5 kW et le débit massique est de 6,5 g·s<sup>-1</sup>. L'air est assimilable à un gaz parfait de capacité thermique massique  $c_p = 1,0$  kJ·K<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup> et de coefficient  $\gamma = 1,4$ .

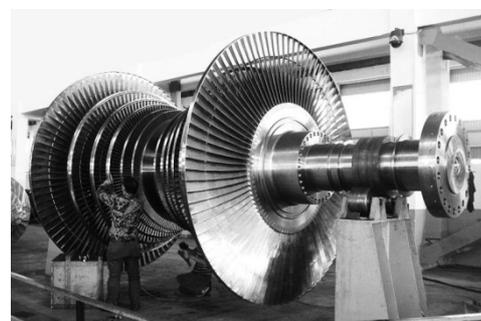
- 1) Déterminer la température  $T_2$ .
- 2) Quel serait le débit si l'évolution de l'air était isentropique ?

### T74. Système de refroidissement

On considère un système de refroidissement fonctionnant de manière réversible et utilisant une puissance  $\mathcal{P} = 1$  kW. Les sources utilisées par machine frigorifique sont aux températures  $T_{CH} = 350$  K et  $T_{FR} = 280$  K.

- 1) Déterminer l'efficacité de la machine frigorifique.
- 2) La source chaude possède une capacité thermique relativement faible, elle doit donc être refroidie par de l'eau pour garder une température constante. On injecte de l'eau au contact de la source chaude à la température  $T_0 = 290$  K. Elle ressort à la température  $T_1 = 340$  K. Déterminer le débit d'eau nécessaire au bon fonctionnement de machine.

Données : capacités thermiques massiques de l'eau liquide et solide :  $c_l = 4,18$  kJ·K<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>.



**T75. Bouilleur de cru**

Lors d'une distillation, Pépé Gaby utilise un réfrigérant à eau, l'éthanol issu des fruits passe de l'état de vapeur saturante à l'état de liquide saturant puis est refroidi à  $T_f = 40^\circ\text{C}$ .

Déterminer l'énergie massique  $q$  reçue par l'éthanol.

Données : sous 1 bar :  $T_{eb} = 350\text{ K}$ ,  $c_p = 2,5\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  et  $\Delta_{vap}h = 850\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$

**T76. Détente et diagramme (p,h)**

À l'aide du diagramme  $(p,h)$  de l'ammoniac, déterminer la variation de température subie par de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) au cours d'une détente qui fait passer sa pression de  $p_1 = 10\text{ bar}$  à  $p_2 = 2\text{ bar}$ . On suppose qu'en entrée l'ammoniac est en liquide saturé.

**T 78. Lecture de diagramme : comportement à volume constant**

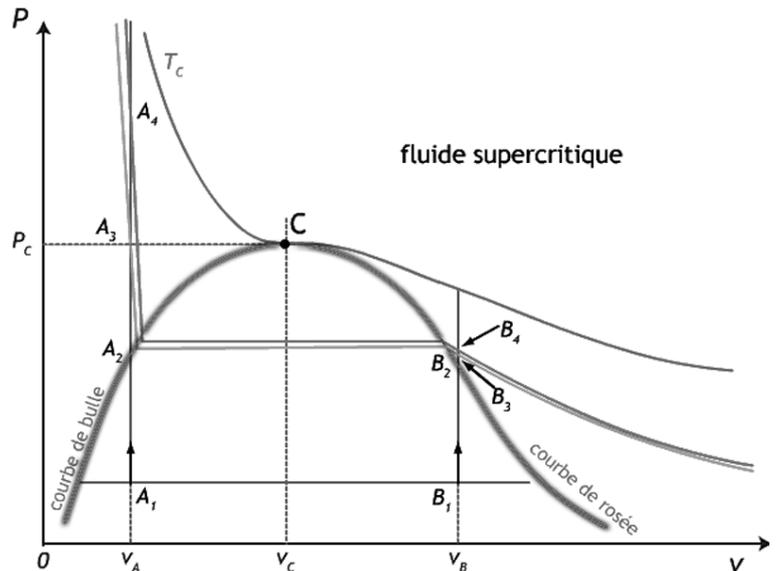
Une enceinte de volume  $V$  donné contient  $n$  moles d'un corps pur en équilibre de phases liquide et gazeuse. L'enceinte est en contact thermique avec une source extérieure (flamme...). On appelle  $V_C$  le volume du corps au point critique C.

En considérant (qualitativement) l'évolution de la pression, lorsqu'on passe d'une isotherme à l'autre à volume constant, sur le diagramme de Clapeyron, décrivez l'évolution du fluide quand la température du milieu extérieur augmente, dans les trois cas suivants :

$V = V_A < V_C$  (on passe de  $A_1$  à  $A_4$ ),  $V = V_C$ ,  
 $V = V_B > V_C$  (on passe de  $B_1$  à  $B_4$ ).

Quels sont les risques pratiques d'une augmentation de température d'une bouteille de gaz liquéfié (butane, par exemple) ?

Pour info, concernant le butane à  $15^\circ\text{C}$  :  $\rho_{gaz} = 2,5\text{ g/L}$  ;  $\rho_{liq} = 485\text{ g/L}$



**T 79. Détente et vaporisation d'eau en écoulement stationnaire**

On s'intéresse à une masse  $m = 10\text{ kg}$  d'eau en écoulement stationnaire. Le diamètre des canalisations est suffisamment grand pour négliger son énergie cinétique, et son énergie potentielle de pesanteur est supposée constante.

1) Cette eau arrive en A sous la pression  $p_A = 5\text{ bar}$ , à la température  $T_A = 150^\circ\text{C}$ .

D'après le diagramme ci-contre, présentant la courbe de saturation, sous quelle(s) phase(s) se trouve l'eau au point A (liquide et/ou gazeuse) ?

2) Cette eau passe alors dans un détendeur qui l'amène de façon adiabatique à une pression  $p_B = 1\text{ bar}$ .

Sous quelle(s) phase(s) se trouve l'eau au point B ?

Donner la température  $T_B$ .

Comment s'appelle le segment DC ?

En déduire  $T_D$  et  $T_C$ .

3) Justifier, en utilisant le premier principe de la thermodynamique en système ouvert, que  $\Delta H_{AB} = 0$ .

4) Quel est le titre massique  $x$  en vapeur d'eau au point B ? On pourra utiliser le point D pour le raisonnement.

On exprimera  $x$  en fonction de la capacité thermique massique de l'eau liquide  $c_l$ , supposée constante, de l'enthalpie de vaporisation massique de l'eau  $\Delta_{vap}h(100^\circ\text{C})$ , et des températures  $T_A$  et  $T_B$ .

Application numérique :  $\Delta_{vap}h(100^\circ\text{C}) = 2,26.10^3\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  et  $c_l \approx 4,2\text{ kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$  pour l'eau liquide entre  $100$  et  $150^\circ\text{C}$ .

5) En déduire le transfert thermique  $Q_{BC}$  échangé lors de la vaporisation. Application numérique.

