

TD T3 : DIAGRAMMES D'ETAT DES FLUIDES REELS PURS

Exercice 1 : Condensation isobare d'un fluide

Une masse $m = 1,0$ kg de vapeur, initialement à la température T_v (sa température de vaporisation à la pression P) subit une transformation sous pression constante P . Dans l'état final, le système est entièrement sous forme solide, à la température T_f (sa température de fusion à la pression P).

Les enthalpies massiques sont l_f (pour la fusion) et l_v (pour la vaporisation). La capacité thermique massique du corps pur à l'état liquide est notée c , elle est supposée indépendante de la température et de la pression (modèle de liquide indilatable et incompressible).

- 1) Détailler les transformations permettant d'effectuer réversiblement la condensation totale de cette vapeur, de manière isobare, à la pression P .
- 2) Quel est le transfert thermique reçu par le système au cours de cette évolution ?
- 3) Commenter le signe. Quelle est l'énergie récupérable par transfert thermique ?
- 4) Faire l'application numérique si le fluide est l'eau, sous pression $P = 1,0$ bar. On adoptera les valeurs $c \approx 4,2$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹, $l_f = 334$ kJ.kg⁻¹ et $l_v = 2660$ kJ.kg⁻¹.
- 5) Calculer la variation d'entropie associée à cette transformation.

Exercice 2 : Compression d'un gaz

On comprime réversiblement, à la température constante 100 °C, un mélange d'air et de vapeur d'eau pris dans l'état initial de volume 1,0 L, de pression totale 1,0 bar et tel que les deux pressions partielles (air et eau) soient égales.

- 1) Calculer le volume quand la pression totale est devenue 3,0 bar.
- 2) Calculer le travail et la quantité de chaleur reçus par l'ensemble du fluide lors de la transformation précédente.

Données : $P_{\text{sat}}(\text{eau}) = 1,0$ bar à 100 °C, $l_v = 2260$ kJ.kg⁻¹ à 100 °C, $M(\text{H}_2\text{O}) = 18$ g.mol⁻¹.

Exercice 3 : Exploitation des données d'une table thermodynamique

Pour la vapeur d'eau sèche : à $P = 6,00$ bar et $T = 473$ K, on donne $h = 2850$ kJ.kg⁻¹.

Pour la vapeur d'eau saturante : à $T = 473$ K, on donne $P_{\text{sat}} = 15,54$ bar, $h_L = 852,5$ kJ.kg⁻¹ et $h_v = 2793$ kJ.kg⁻¹.

- 1) Comparer les pressions.
- 2) En sortie d'un compresseur, la vapeur d'eau recueillie est à la température de 200 °C et a une enthalpie massique évaluée à $h = 1250$ kJ.kg⁻¹. Préciser son état.

Exercice 4 : Détermination de l'état d'une vapeur

On considère un extrait d'une table thermodynamique d'un fluide très utilisé dans les installations domestiques.

Pression (bar)	Température (K)	h_L (kJ.kg ⁻¹)	h_v (kJ.kg ⁻¹)
5	273	200	405
13	307	242	416

- 1) Préciser deux points du diagramme pression – température de ce corps pur.
- 2) Quelles sont l'enthalpie et l'entropie massiques de vaporisation de ce fluide à 0 °C ?

- 3) Préciser la température et l'enthalpie massique d'un mélange liquide – vapeur de titre massique égal à 30,0 %, sous la pression 13 bar.
- 4) Une évolution isenthalpique fait passer une quantité fixée de fluide, de la pression 13 bar à la pression 5 bar. L'état initial est liquide saturant. Déterminer la température et la composition du fluide après évolution. On donnera l'allure de l'évolution sur un diagramme pression – enthalpie.
- 5) Lorsque les pressions dans l'état initial et dans l'état final sont les mêmes que précédemment, mais à partir d'un état initial de vapeur saturante sèche, l'état final est-il un mélange liquide – vapeur ? Peut-on préciser la température à l'aide des données fournies ? On donnera l'allure de l'évolution sur un diagramme pression – enthalpie.

Exercice 5 : Détermination d'une masse de vapeur

Une masse m de vapeur d'eau saturante sèche à T_1 est détendue de façon adiabatique et réversible jusqu'à T_2 .

- 1) Calculer la masse de vapeur à la fin de la détente.
- 2) Calculer la variation d'enthalpie associée à cette transformation.

Les données sont : $l_v(T_1)$, $l_v(T_2)$ (enthalpies massiques de vaporisation), la capacité thermique massique de l'eau liquide en présence de sa vapeur c (supposée constante).

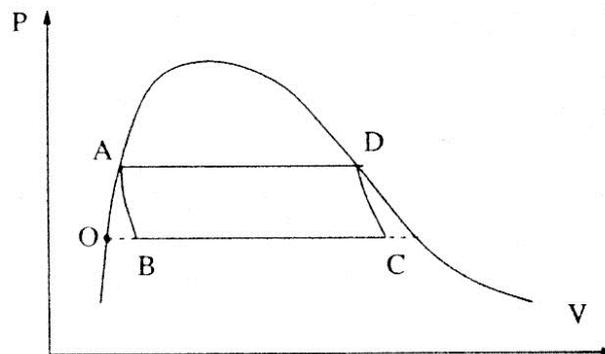
Exercice 6 : Machine frigorifique

On considère une machine frigorifique fonctionnant suivant le cycle de transformations réversibles d'un fluide ABCDA où AB et CD sont des transformations isentropiques, BC une isotherme à $T_1 = -5\text{ °C}$ et DA une isotherme à $T_2 = 15\text{ °C}$ (D et A sont aux extrémités du palier de liquéfaction).

On note $c_L = 4,18\text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ la capacité thermique massique du fluide le long de la courbe d'ébullition, $l_v(T_1)$ et $l_v(T_2)$ les enthalpies massiques de changements d'état à T_1 et T_2 . On donne $l_v(T_2) = 1,30.10^3\text{ kJ.kg}^{-1}$.

- 1) La masse totale du système étant $m = 1\text{ kg}$ de fluide, exprimer la masse de vapeur en B et en C.
- 2) Calculer le travail W reçu au cours du cycle.

- 3) Calculer l'efficacité du réfrigérateur fonctionnant suivant ce cycle : $e = \left| \frac{Q_{BC}}{W} \right|$.



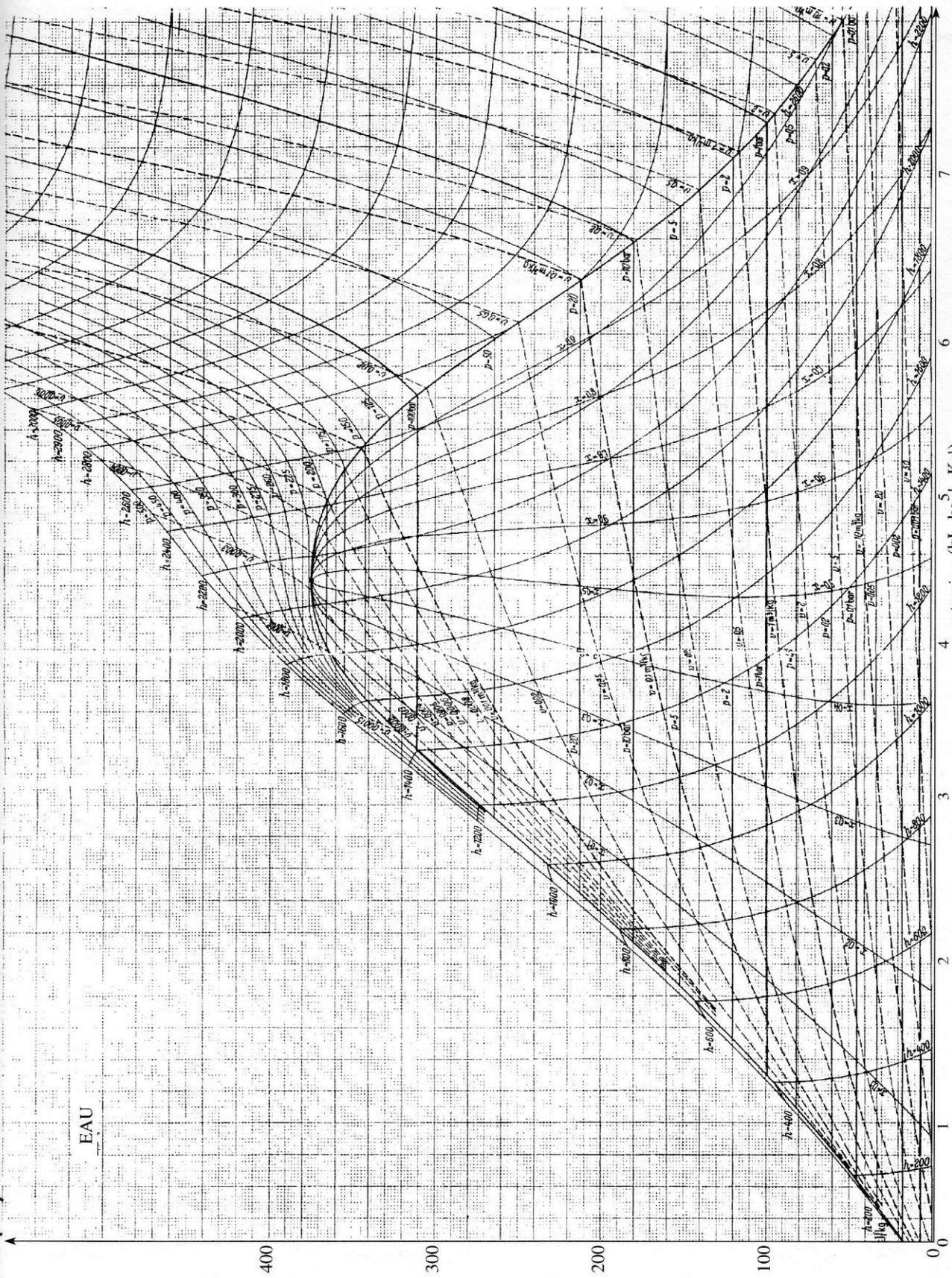
Exercice 7 : Détente d'une vapeur d'eau

Une quantité d'eau juste saturante (vapeur saturante sèche) de masse $m = 1\text{ kg}$ maintenue initialement à la pression $P = 20\text{ bar}$ est détendue de manière isentropique jusqu'à la pression $P = 0,5\text{ bar}$.

- 1) Déterminer en utilisant le diagramme entropique de l'eau les caractéristiques de l'état initial et de l'état final (on extrapolera les courbes si besoin est).
- 2) En déduire les variations des grandeurs d'état du système au cours de la transformation.

T(°C)

EAU



entropie s (kJ · kg⁻¹ · K⁻¹)