

Diagrammes et tables thermodynamiques

- 💡 Difficulté d'analyse et compréhension, initiative requise ;
- ✂ Difficulté technique et calculatoire ;
- ⊗ Exercice important.

Flasher ce code pour accéder aux corrigés



Questions de cours

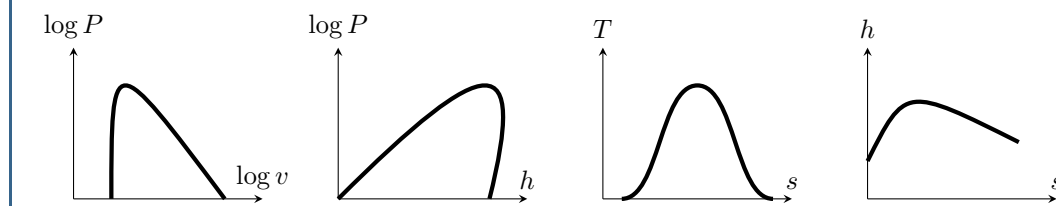
Seuls les étudiants du groupe de TD PT* seront interrogés en colle sur les questions marquées d'une étoile, car elles sont plus techniques et/ou moins essentielles ... mais tous les étudiants sont bien sûr invités à les travailler !

16.1 - Établir le théorème des moments pour une fonction au choix de l'interrogateur : volume, enthalpie ou entropie.

16.2 - Représenter l'allure d'un diagramme au choix de l'interrogateur et établir l'allure d'une famille de courbe iso dans des cas limites.

- ▷ diagramme de Clapeyron (P, v) : isothermes (liquide + diphasé + gaz parfait) ;
- ▷ diagramme des frigoristes (P, h) : isothermes (liquide + diphasé + gaz parfait) ;
- ▷ diagramme entropique (T, s) : isobares (diphasé + gaz parfait) et isenthalpe (gaz parfait) ;
- ▷ diagramme de Mollier (h, s) : isobares (diphasé) et isothermes (gaz parfait).

Je rappelle que l'allure de la courbe de saturation n'est pas une vague patate identique dans tous les diagrammes ...



16.3 - Par lecture du diagramme des frigoristes du R22 (page 10 du cours), déterminer

- ▷ l'enthalpie de vaporisation sous 20 bar ;
- ▷ la pression de vapeur saturante à 20 °C ;
- ▷ l'état physique, l'enthalpie massique, l'entropie massique et le volume massique du fluide sous 3 bar et à 50 °C.

Exercice 1 : Table incomplète

💡 1 | ✂ 0

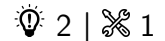
- 📈 ▷ Table thermodynamique ;
- 📊 ▷ Relations entre grandeurs d'état.

Un extrait incomplet de la table des grandeurs thermodynamiques relatives à l'eau à saturation est donné ci-dessous. T est la température et P_s la pression de vapeur saturante à la température T . Les grandeurs notées « prime » (') sont relatives au liquide saturant, et les grandeurs notées « seconde » (") sont relatives à la vapeur saturante. l_{vap} et s_{vap} désignent respectivement la chaleur latente et l'entropie massique de vaporisation.

T °C	P_s kPa	v' $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	v'' $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	h' $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	h'' $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	l_{vap} $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	s' $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	s'' $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	s_{vap} $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
0,01	0,6117	0,001000	206,14	0,01	2500,9	2500,9	0,000	9,1556	9,1556
20	2,3392	0,001002	57,762	83,915	?	2453,5	0,2965	8,6661	8,3696
40	7,3851	0,001008	19,515	167,53	2573,5	2406,0	?	8,2556	7,6832
60	19,947	0,001017	7,6670	251,18	2608,8	2357,7	0,8313	?	?
80	47,416	0,001029	3,4053	335,02	2643,0	2308,0	1,0756	7,6111	6,5355
100	101,42	0,001043	1,6720	419,17	2675,6	2256,4	1,3071	7,3542	6,0470
200	1554,9	0,001157	0,1272	852,26	2792,0	1939,8	2,3305	6,4302	4,0997
374,14	22090	0,003106	?	?	2084,3	?	4,4070	?	0

- 1 - Rappeler l'allure du diagramme des phase (P, T) de l'eau. Quelles sont les limites de la courbe de vaporisation ? En déduire d'après la table la température et la pression au point triple et au point critique.
- 2 - Rappelez la relation entre h' , h'' et l_{vap} ainsi que celle entre s' , s'' et s_{vap} .
- 3 - Quelle est, d'après la table, l'origine des entropies massiques ? Commenter.
- 4 - Rappelez la relation entre l'énergie interne massique u , l'enthalpie massique h , la pression P et le volume massique v . Justifier alors qu'il ne soit pas nécessaire d'ajouter à la table les valeurs de u' et u'' .
- 5 - Compléter les cases vacantes du tableau.

Exercice 2 : Détente isochore d'une vapeur d'eau



- ▷ Table thermodynamique ;
- ▷ Principes de la thermodynamique.

Un récipient fermé et indéformable, de volume $V = 1,00 \text{ L}$, contient dans l'état initial I de la vapeur d'eau saturante à $T_I = 485 \text{ K}$. On le met en contact avec un thermostat à température $T_0 = 373 \text{ K}$. L'équilibre atteint est l'état F .

Donnée : extrait de table de la vapeur saturante.

		Liquide juste saturé $x_V = 0$			Vapeur saturante $x_V = 1$		
T K	p bar	v_L $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	h_L $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	s_L $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	v_V $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	h_V $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	s_V $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
485	20	$1,18 \times 10^{-3}$	909	2,45	0,0998	2801	6,35
373	1	$1,04 \times 10^{-3}$	418	1,30	1,70	2676	7,36

- 1 - Déterminer la masse d'eau contenue dans le récipient.
- 2 - Montrer que l'état final est un mélange diphasé. Calculer son titre en vapeur.
- 3 - Quelles sont les caractéristiques de la transformation ? Déterminer la chaleur échangée par l'eau.
- 4 - Calculer l'entropie dans les états I et F . Conclure sur le caractère réversible ou non de la transformation étudiée.

Exercice 3 : Lecture du diagramme des frigoristes



- ▷ Diagramme des frigoristes.

Du fluide réfrigérant R134a subit le cycle thermodynamique suivant. À la sortie du condenseur, le fluide est dans l'état, noté (1), de liquide saturant à la température $T = 40^\circ \text{C}$. Il subit alors une détente isenthalpique dans un détendeur qui abaisse sa pression de 8 bar et l'amène à l'état noté (2). Il traverse, sans chute de pression, un évaporateur dans lequel il reçoit une grande quantité d'énergie, suffisante pour l'amener à sa température de vapeur saturante augmentée de $+10^\circ \text{C}$ qui représente l'état (3). La vapeur sèche est alors comprimée de façon isentropique jusqu'à atteindre l'isobare de départ au point (4).

- 1 - Placer les points (1) à (4) sur le diagramme des frigoristes représenté figure 1.
- 2 - Quelle est la température des points (2), (3) et (4) ?
- 3 - Quelle est l'enthalpie massique du fluide au point (2), et des points correspondant au liquide et à la vapeur saturants ?
- 4 - En déduire le titre en vapeur du point (2).

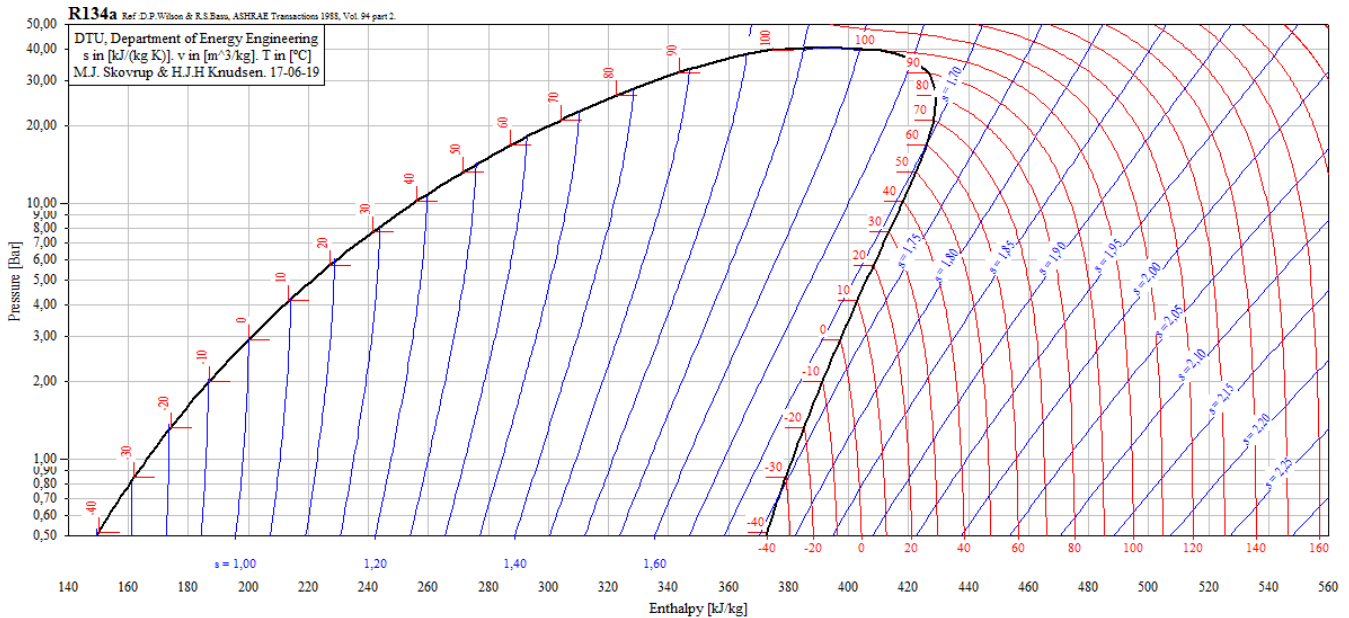
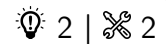


Figure 1 – Diagrammes des frigoris du R134a.

Exercice 4 : Détendeur de plongée



- ▷ *Diagramme des frigoris ;*
- ▷ *Principes de la thermodynamique.*

L'air des bouteilles de plongée sous-marine est stocké sous forme de gaz comprimé, en équilibre thermique avec l'eau environnante supposée à 20 °C. À l'aide d'un système complexe de membrane déformable et de ressort, un détendeur fait circuler l'air au travers d'un mince étranglement en lui faisant subir une détente isenthalpique et adiabatique. Pour la plongée, un détendeur primaire placé sur la bouteille assure une première détente de l'étage haute pression (200 bar) vers l'étage moyenne pression (10 bar), où l'air retrouve l'équilibre thermique avec l'eau. Un second détendeur, placé au niveau de la bouche du plongeur, assure la détente vers la basse pression (1 bar).

Donnée : masse molaire de l'air 29 g · mol⁻¹.

- 1 - Représenter l'évolution subie par l'air sur le diagramme de la figure 2.
- 2 - Montrer que la première détente s'accompagne d'une forte baisse de température. Pourquoi le plongeur ne ressent-il pas de sensation d'air froid lors de l'inspiration ?
- 3 - Le plongeur inhale environ 0,5 L d'air par inspiration. Déterminer le transfert thermique que reçoit l'air lors de son passage dans le tube séparant les deux détendeurs.
- 4 - En déduire l'entropie créée lors de la totalité du processus.

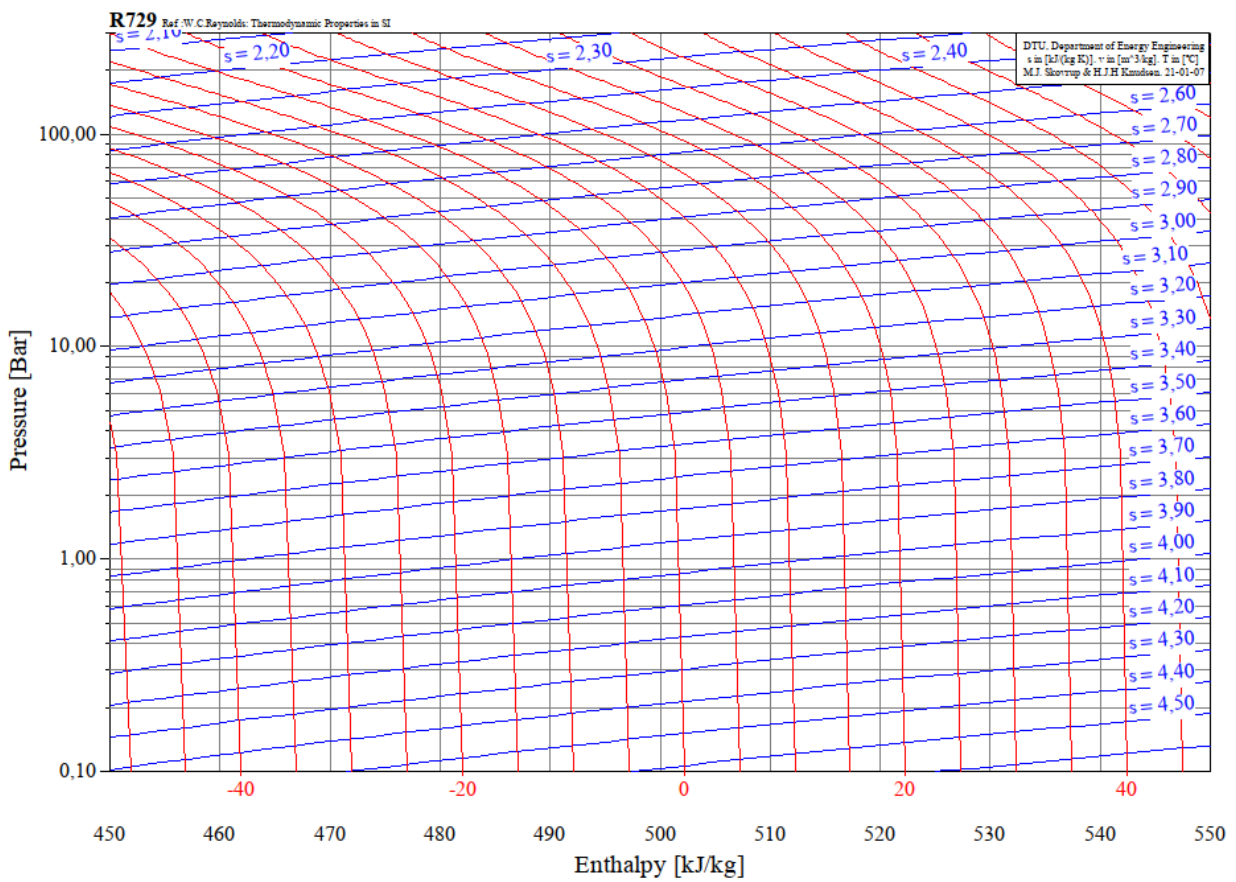


Figure 2 – Diagrammes des frigorigènes de l'air. T en °C, s en $\text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.