



# Tables et diagrammes d'état



Flasher ce code pour  
accéder aux corrigés

## Exercices

### Exercice 1 : Table incomplète

[◆◆◆]

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.  $l_{\text{vap}}$  et  $s_{\text{vap}}$  désignent respectivement la chaleur latente et l'entropie massique de vaporisation.

$T$ °C	$P_s$ kPa	$v'$ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$v''$ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$h'$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$h''$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$l_{\text{vap}}$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$s'$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$s''$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$s_{\text{vap}}$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
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  $l_{\text{vap}}$  ainsi que celle entre  $s'$ ,  $s''$  et  $s_{\text{vap}}$ .
- 3 - Quelle est, d'après la table, l'origine des entropies massiques ? Commenter.
- 4 - Rappelez la relation entre  $u$  l'énergie interne massique,  $h$  l'enthalpie massique, 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 : Lecture du 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).

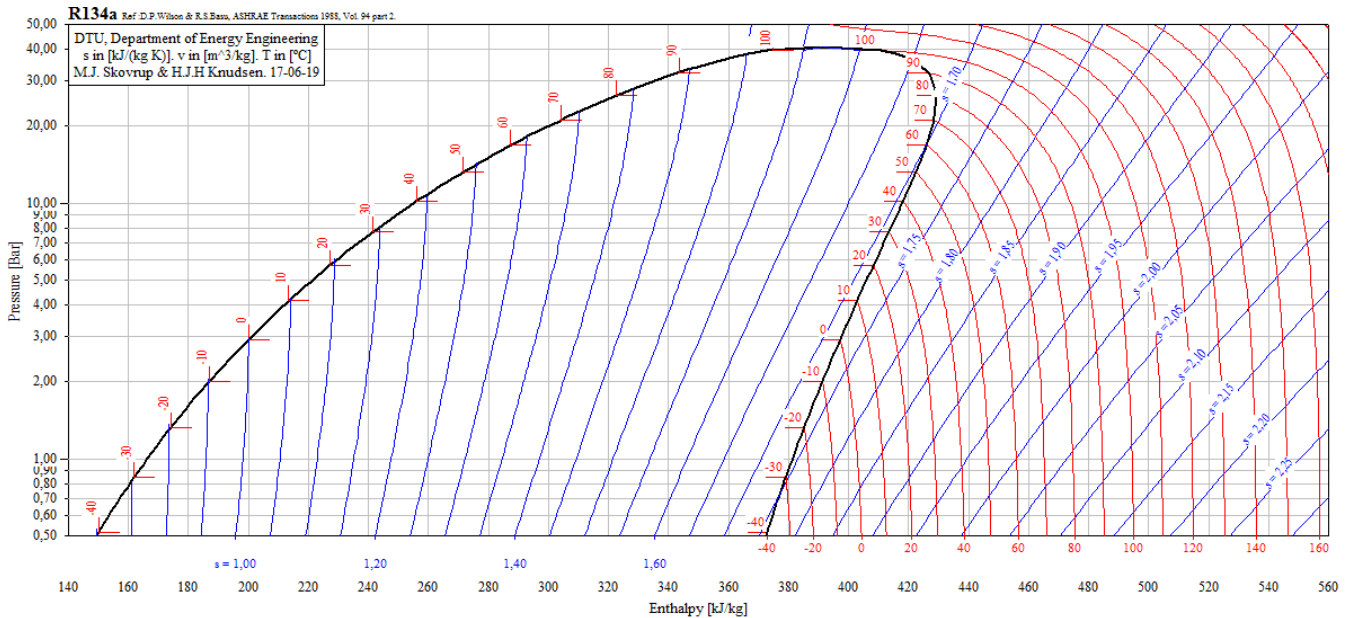


Figure 1 – Diagrammes des frigoris du R134a.

**Exercice 3 : Détermination d'une surchauffe**



On appelle surchauffe la différence de température entre la vapeur surchauffée (sèche) et la vapeur saturante sèche à la même pression. Une vapeur surchauffée, dont la pression initiale était de 12 bars, se trouve transformée en vapeur saturante sèche après une détente adiabatique réversible jusqu'à la pression de 3 bars.

En s'appuyant sur le diagramme de Mollier représenté figure 2, déterminer la surchauffe initiale.

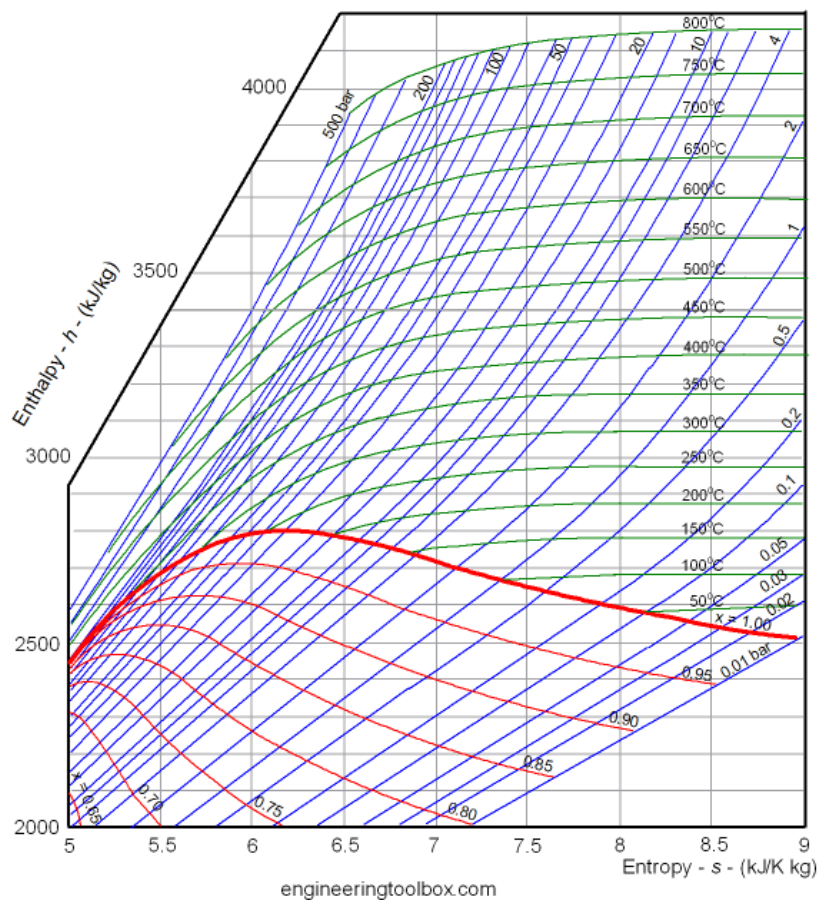


Figure 2 – Diagramme de Mollier de l'eau.

**Exercice 4 : Détente isochore d'une vapeur d'eau**

[◆◆◆]

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.

$T$ K	$p$ bar	Liquide juste saturé $x_V = 0$			Vapeur saturante $x_V = 1$		
		$v_L$ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$h_L$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$s_L$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$v_V$ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	$h_V$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	$s_V$ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
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.

**Annales de concours****Exercice 5 : Diagramme de l'air humide**

[écrit PT 2013, ◆◆◆]

On s'intéresse à la puissance nécessaire au fonctionnement d'un congélateur en régime permanent, en été. On commence par évaluer la puissance perdue due au passage à l'état solide de la vapeur d'eau contenue dans l'air humide à l'intérieur du congélateur lorsqu'on l'ouvre et le referme (condensation de la vapeur d'eau). On considère que, lors d'une ouverture-fermeture, tout l'air du congélateur est renouvelé. Il faut aussi tenir compte de l'étanchéité imparfaite des compartiments. Pour cela, on estime que tout se passe comme si l'on ouvrait 40 fois par demi-journée (12 h) le congélateur.

La quantité de vapeur d'eau présente dans l'air peut se caractériser par son humidité relative,  $H_R$ , rapport de la pression partielle de l'eau à sa pression de vapeur saturante à la même température, ou par son humidité absolue,  $H_A$ , rapport de la masse de vapeur d'eau exprimée en gramme présente dans un volume donné à la masse d'air sec de ce volume exprimé en kilogramme.

Le diagramme de l'air humide est fourni dans la figure 3 : il porte en ordonnée  $H_A$ , et en abscisse les températures. Les courbes obliques donnent la valeur de  $H_R$ . La courbe limitant le graphique à gauche correspond à la quantité maximale de vapeur d'eau que l'air peut contenir sans qu'elle ne se condense. Lorsque l'air contient cette quantité de vapeur, on dit qu'il est saturé en humidité ou que son hygrométrie est de 100 %.

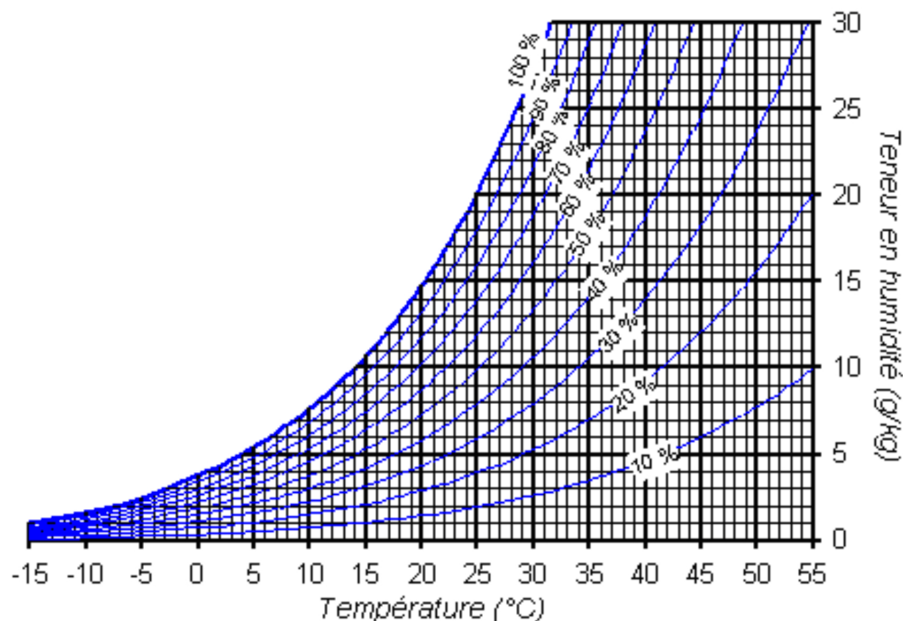


Figure 3 – Diagramme de l'air humide.

- 1** - Sachant que le taux d'humidité relative moyen est de 60% en été, calculer  $H_A$  à partir des données fournies en fin d'énoncé. Vérifier cette valeur sur le diagramme de l'air humide fourni en figure 3.
- 2** - Sur ce même diagramme déterminer la température du point de rosée, température en dessous de laquelle la vapeur d'eau présente dans l'air humide se condense.
- 3** - Calculer la perte de puissance,  $\mathcal{P}_{\text{eau}}$ , que représente la condensation totale à l'état solide de la vapeur d'eau présente dans l'air ambiant l'été? On fera le calcul en prenant la valeur de la chaleur latente de vaporisation de l'eau à 0°C. (On rappelle que le compartiment du congélateur est à moitié rempli).

*Données :*

- ▷ dimensions du congélateur : 20 cm × 50 cm × 50 cm ;
- ▷ masses molaires :  $M_{\text{eau}} = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  et  $M_{\text{air}} = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;
- ▷ pression atmosphérique  $P_{\text{atm}} = 1013 \text{ mbar}$  ;
- ▷ pression saturante de l'eau à 30 °C :  $P_{\text{sat}} = 4000 \text{ Pa}$  ;
- ▷ chaleur latente massique de vaporisation de l'eau à 0 °C :  $l_v = 2500 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ .