

CPGE ATS

Programme de colles – Semaine 10 (2 au 7 décembre 2024)

Chapitres étudiés et questions de cours :

- T4 : Changements d'état en thermodynamique, **les réactions chimiques et enthalpies de réaction n'ont pas été vues.**
- T5 : Machines thermiques, **le premier principe en système ouvert n'a pas été vu.**

Réponses attendues en bleu ou manuscrit.

1^{ère} question de cours : questions 1 à 6.

2^{ème} question de cours : questions 7 à 10.

- 1) Définir l'enthalpie massique de changement d'état, ou chaleur latente, à la température T , et donner son unité.

Différence entre les enthalpies massiques du corps pur dans la phase 2 et dans la phase 1 à T , correspondant à la variation d'enthalpie par kg de corps subissant le changement d'état à la température T sous la pression atmosphérique.

$$\Delta_{1 \rightarrow 2} h(T) = h_2(T) - h_1(T) = l_{1 \rightarrow 2}(T) = -\Delta_{2 \rightarrow 1} h(T) \quad \text{Unité : J.kg}^{-1}$$

- 2) Définir l'entropie massique de changement d'état, à la température T , et la relier à l'enthalpie massique de changement d'état. Donner son unité.

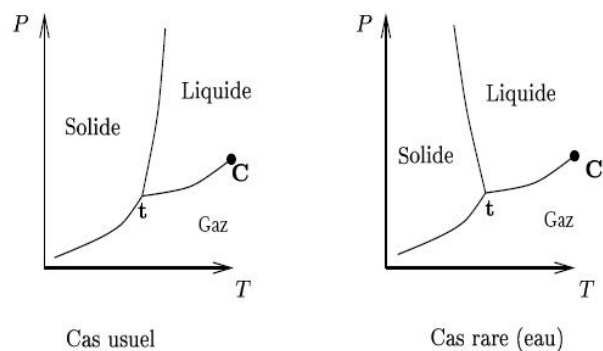
Entropie massique de changement d'état ou de transition de phase à la température T , : différence entre les entropies massiques du corps pur dans la phase 2 et dans la phase 1 à T :

$$\Delta_{1 \rightarrow 2} s(T) = s_2(T) - s_1(T)$$

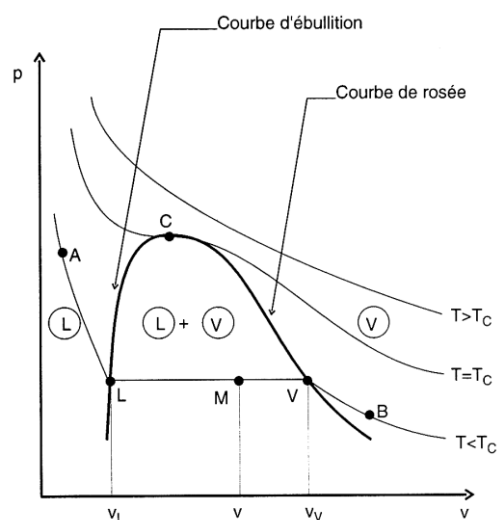
Variation d'entropie massique du corps pur au cours d'une transition de phase 1 $\rightarrow$ 2 réversible et isotherme :

$$\Delta s_{1 \rightarrow 2}(T) = \frac{\Delta h_{1 \rightarrow 2}(T_{12})}{T_{12}} \quad \text{Unité : J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$$

- 3) Diagramme de phase (P, T) d'une espèce diphasée : **tracer l'allure du diagramme**, placer les phases Solide S , Liquide L , Gazeuse G , le point triple t , le point critique C .

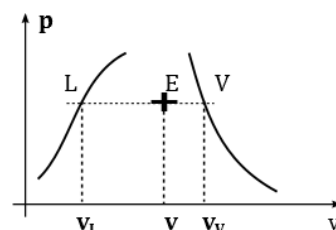


- 4) Diagramme de Clapeyron (P, v) d'une espèce diphasée (**fourni**) : savoir placer les phases Liquide L , Gazeuse G , la zone d'équilibre liquide vapeur LG , savoir tracer une isotherme, identifier la courbe d'ébullition, la courbe de rosée.



- 5) A partir du diagramme (P, v) fourni ci-contre, déterminer le titre en vapeur (= démontrer le théorème des moments).

Soit V le volume total occupé par la masse totale m , V_V et V_L respectivement les volumes occupés par les phases liquide et gaz.



V grandeur extensive, et les phases liquide et vapeur sont disjointes, d'où $V = V_L + V_V$

En introduisant les volumes massiques v_V et v_L :

$$V = V_L + V_V = m_V v_V + m_L v_L.$$

En introduisant le titre en vapeur x_V :

$$m_V = x_V m \quad \text{et} \quad m_L = x_L m = (1 - x_V) m,$$

d'où

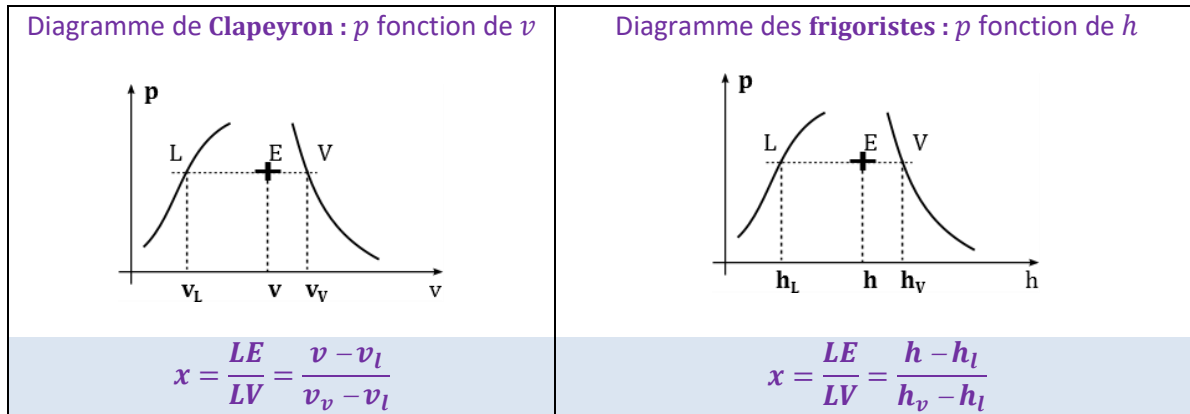
$$V = x_V m v_V + (1 - x_V) m v_L = m(x_V v_V + (1 - x_V) v_L).$$

Finalement, $\frac{V}{m} = v = x_V v_V + (1 - x_V) v_L$ soit

$$x_V = \frac{v - v_L}{v_V - v_L}$$

Dans un diagramme (P, v) avec une **échelle linéaire** en abscisse : $x_v = \frac{LE}{LV}$ (Théorème des moments).

- 6) Donner la règle des moments permettant de définir le titre en vapeur x à partir du diagramme de Clapeyron ou du diagramme des frigoristes (Réaliser le schéma associé).



- 7) (Exercice 5 TD T4) Un ballon de $10,0 \text{ m}^3$ contient 169 kg d'eau sous $10,0 \text{ bar}$.

Quel est l'état de l'eau ? On précisera sa pression et sa température, son titre en vapeur et son enthalpie totale.

Extrait d'une table donnant les grandeurs massiques pour une vapeur d'eau saturante :

Vapeur d'eau saturante

$P = 10 \text{ bar}$

$\theta = 179,86^\circ\text{C}$

Volume massique		Enthalpie massique	
liquide	vapeur	liquide	vapeur
$v_l (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$	$v_v (\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1})$	$h_l (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$	$h_v (\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1})$
$1,127 \cdot 10^{-3}$	0,1947	761,2	2772

Exercice 5 : Etat d'un système déterminé à partir d'un extrait de table.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{10}{169} = 59,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

$\Rightarrow v_L < v < v_v$
 $\Rightarrow$ Mélange diphasique liquide-vapeur
 $\Rightarrow P = P_{\text{sat}} = 10 \text{ bar}$
 $T = T_{\text{sat}} = 179,86^\circ\text{C}$

$x = \frac{h - h_L}{h_v - h_L}$... h non connue
 ou
 $x = \frac{v - v_L}{v_v - v_L} = \frac{59,2 \cdot 10^{-3} - 1,127 \cdot 10^{-3}}{0,1947 - 1,127 \cdot 10^{-3}} \approx 0,30$

(*)

$$h = x_L h_L + x_v h_v$$

$$= (1 - x_v) h_L + x_v h_v$$

$$= (1 - 0,30) \times 761,2 + 0,30 \times 2772$$

$$= 1364 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$H = m \cdot h = 169 \times 1364$$

$$= 230 \cdot 10^3 \text{ kJ} = 230 \text{ MJ}$$

- 8) (Exercice 8 TD T4) Etudions la détente dite de Joule-Kelvin du fluide réfrigérant R112 dans une machine frigorifique : cette détente a lieu dans un système calorifugé (on considèrera donc que le système subit une transformation adiabatique), dans des conditions telles que la détente est isenthalpique.

Nous allons étudier la détente $A \rightarrow B$, avec A liquide saturant à $T_A = 303 \text{ K}$, B mélange diphasique à $T_B = 263 \text{ K}$, (titre en vapeur x_V).

Déterminer les caractéristiques de l'état final (titre en vapeur x_V)).

Cette étude sera faite à l'aide des 3 méthodes ci-dessous.

- 1) Utilisation du diagramme des frigorigères (donné ci-dessous).
- 2) Utilisation des tables thermodynamiques (données ci-dessous).
- 3) Utilisation des données thermodynamiques restreintes :

$$T_A = 303 \text{ K}, \quad P_A = P^*(T_A) = 7,4 \text{ bars}, \quad x_{VA} = 0; \quad T_B = 263 \text{ K}, \quad P_B = P^*(T_B) = 2,2 \text{ bars};$$

$$C_{\text{liq,fréon}} = \text{cte} = 960 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}; \quad \Delta_{\text{vap}} h(T_B) = 158 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

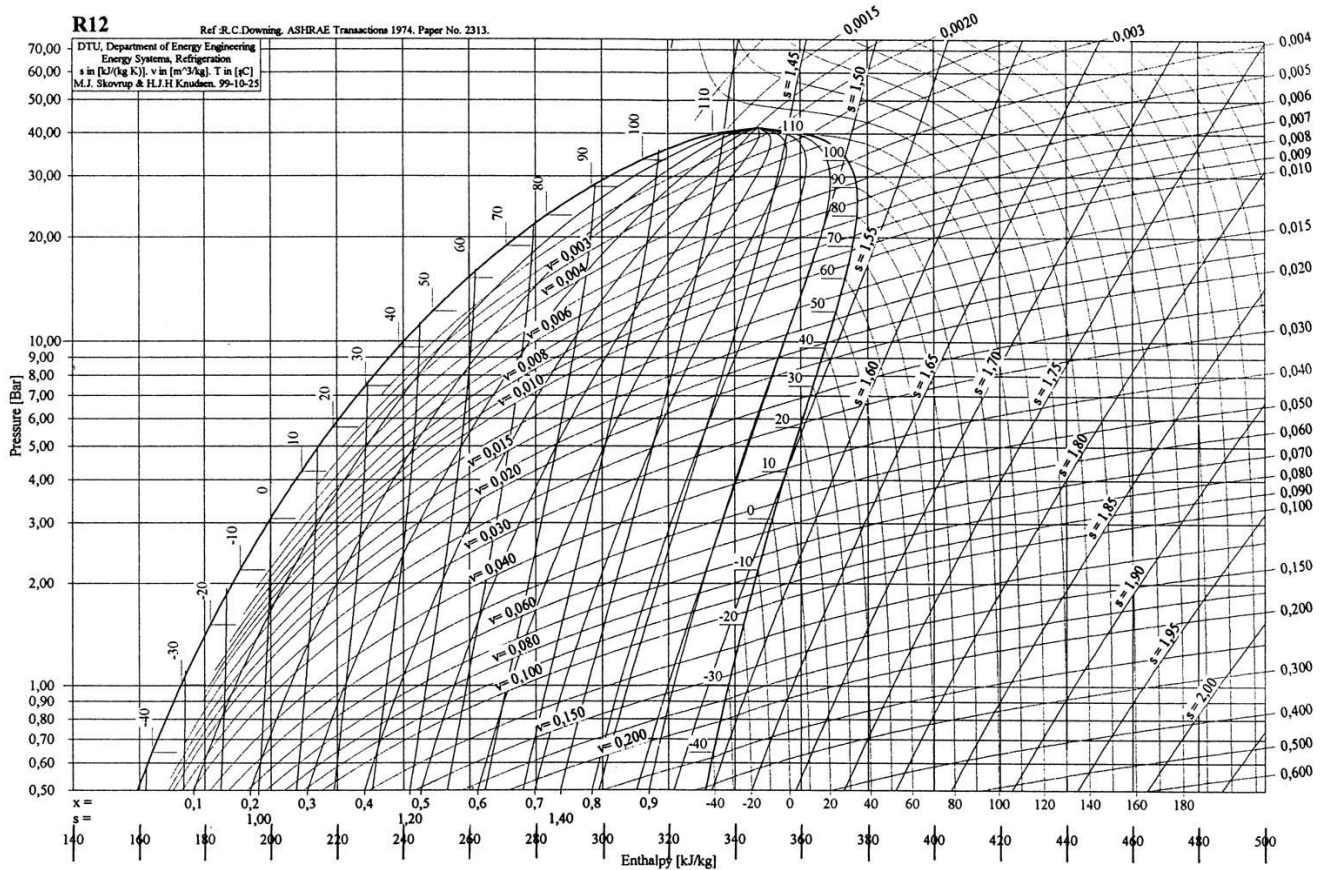


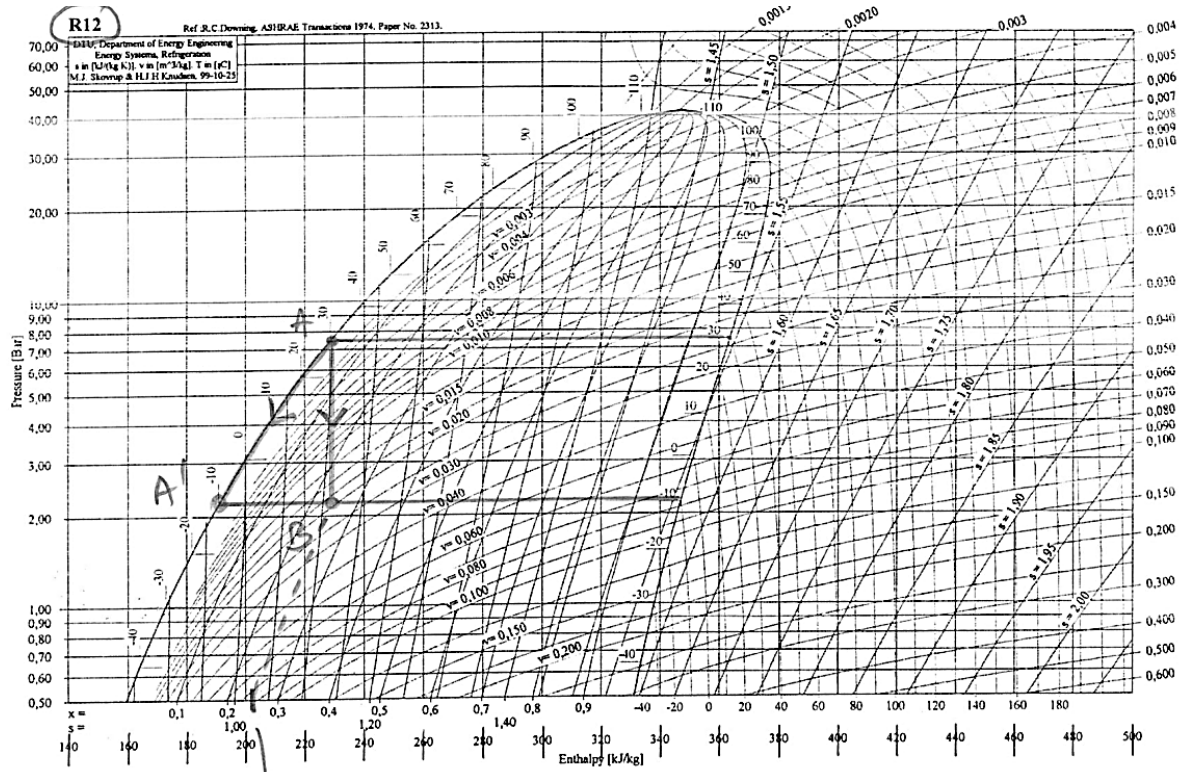
Table 1 (continued)
DuPont™ Freon® 12 Saturation Properties — Temperature Table

Temp °C	Pressure [kPa]	Volume [m ³ /kg]		Density [kg/m ³]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K·kg]		Temp °C
		Liquid v _l	Vapour v _g	Liquid d _l	Vapour d _g	Liquid h _l	Latent h _{lg}	Vapour h _g	Liquid s _l	Vapour s _g	
-20	150.7	0.0007	0.1098	1458.0	9.109	181.6	162.1	343.7	0.9305	1.5710	-20
-19	156.7	0.0007	0.1059	1455.0	9.446	182.5	161.6	344.1	0.9341	1.5700	-19
-18	162.8	0.0007	0.1021	1452.0	9.792	183.4	161.2	344.6	0.9376	1.5690	-18
-17	169.1	0.0007	0.0986	1449.0	10.150	184.3	160.8	345.1	0.9412	1.5680	-17
-16	175.6	0.0007	0.0951	1446.0	10.510	185.2	160.3	345.5	0.9447	1.5680	-16
-15	182.3	0.0007	0.0918	1443.0	10.890	186.1	159.9	346.0	0.9482	1.5670	-15
-14	189.2	0.0007	0.0887	1440.0	11.270	187.1	159.3	346.4	0.9517	1.5670	-14
-13	196.3	0.0007	0.0857	1437.0	11.670	188.0	158.9	346.9	0.9552	1.5660	-13
-12	203.6	0.0007	0.0828	1434.0	12.080	188.9	158.5	347.4	0.9587	1.5660	-12
-11	211.1	0.0007	0.0800	1431.0	12.500	189.8	158.0	347.8	0.9622	1.5650	-11
-10	218.8	0.0007	0.0774	1428.0	12.920	190.7	157.6	348.3	0.9656	1.5640	-10
-9	226.7	0.0007	0.0748	1425.0	13.370	191.6	157.1	348.7	0.9691	1.5640	-9
-8	234.8	0.0007	0.0724	1421.0	13.820	192.6	156.6	349.2	0.9726	1.5630	-8
-7	243.2	0.0007	0.0700	1418.0	14.280	193.5	156.2	349.7	0.9760	1.5630	-7
-6	251.8	0.0007	0.0678	1415.0	14.760	194.4	155.7	350.1	0.9795	1.5620	-6
-5	260.6	0.0007	0.0656	1412.0	15.240	195.3	155.3	350.6	0.9829	1.5620	-5
-4	269.6	0.0007	0.0635	1409.0	15.740	196.3	154.7	351.0	0.9863	1.5610	-4
-3	278.9	0.0007	0.0615	1406.0	16.260	197.2	154.3	351.5	0.9898	1.5610	-3
-2	288.4	0.0007	0.0596	1402.0	16.780	198.1	153.8	351.9	0.9932	1.5600	-2
-1	298.1	0.0007	0.0577	1399.0	17.320	199.1	153.3	352.4	0.9966	1.5600	-1
0	308.1	0.0007	0.0560	1396.0	17.870	200.0	152.8	352.8	1.0000	1.5590	0
1	318.4	0.0007	0.0542	1393.0	18.440	200.9	152.4	353.3	1.0030	1.5590	1
2	328.9	0.0007	0.0526	1390.0	19.020	201.9	151.8	353.7	1.0070	1.5590	2
3	339.7	0.0007	0.0510	1386.0	19.610	202.8	151.3	354.1	1.0100	1.5580	3
4	350.7	0.0007	0.0495	1383.0	20.220	203.8	150.8	354.6	1.0140	1.5580	4
5	362.0	0.0007	0.0480	1380.0	20.840	204.7	150.3	355.0	1.0170	1.5570	5
6	373.6	0.0007	0.0466	1377.0	21.480	205.7	149.7	355.4	1.0200	1.5570	6
7	385.4	0.0007	0.0452	1373.0	22.130	206.6	149.3	355.9	1.0240	1.5570	7

Table 1 (continued)
DuPont™ Freon® 12 Saturation Properties — Temperature Table

Temp °C	Pressure [kPa]	Volume [m ³ /kg]		Density [kg/m ³]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K·kg]		Temp °C
		Liquid v _l	Vapour v _g	Liquid d _l	Vapour d _g	Liquid h _l	Latent h _{lg}	Vapour h _g	Liquid s _l	Vapour s _g	
8	397.6	0.0007	0.0439	1370.0	22.800	207.6	148.7	356.3	1.0270	1.5560	8
9	410.0	0.0007	0.0426	1367.0	23.480	208.5	148.2	356.7	1.0300	1.5560	9
10	422.7	0.0007	0.0414	1363.0	24.180	209.5	147.7	357.2	1.0340	1.5550	10
11	435.7	0.0007	0.0402	1360.0	24.900	210.4	147.2	357.6	1.0370	1.5550	11
12	448.9	0.0007	0.0390	1356.0	25.630	211.4	146.6	358.0	1.0400	1.5550	12
13	462.5	0.0007	0.0379	1353.0	26.380	212.3	146.2	358.5	1.0440	1.5540	13
14	476.4	0.0007	0.0368	1350.0	27.150	213.3	145.6	358.9	1.0470	1.5540	14
15	490.6	0.0007	0.0358	1346.0	27.930	214.3	145.0	359.3	1.0500	1.5540	15
16	505.1	0.0007	0.0348	1343.0	28.740	215.2	144.5	359.7	1.0540	1.5530	16
17	520.0	0.0008	0.0338	1339.0	29.560	216.2	143.9	360.1	1.0570	1.5530	17
18	535.1	0.0008	0.0329	1336.0	30.400	217.2	143.3	360.5	1.0600	1.5530	18
19	550.6	0.0008	0.0320	1332.0	31.260	218.2	142.8	361.0	1.0640	1.5520	19
20	566.4	0.0008	0.0311	1329.0	32.130	219.1	142.3	361.4	1.0670	1.5520	20
21	582.6	0.0008	0.0303	1325.0	33.030	220.1	141.7	361.8	1.0700	1.5520	21
22	599.0	0.0008	0.0295	1322.0	33.950	221.1	141.1	362.2	1.0740	1.5510	22
23	615.9	0.0008	0.0287	1318.0	34.890	222.1	140.5	362.6	1.0770	1.5510	23
24	633.0	0.0008	0.0279	1315.0	35.850	223.1	139.9	363.0	1.0800	1.5510	24
25	650.6	0.0008	0.0272	1311.0	36.830	224.1	139.3	363.4	1.0830	1.5510	25
26	668.5	0.0008	0.0264	1307.0	37.830	225.1	138.7	363.8	1.0870	1.5500	26
27	686.7	0.0008	0.0257	1304.0	38.850	226.0	138.2	364.2	1.0900	1.5500	27
28	705.3	0.0008	0.0251	1300.0	39.900	227.0	137.5	364.5	1.0930	1.5500	28
29	724.3	0.0008	0.0244	1296.0	40.970	228.0	136.9	364.9	1.0960	1.5490	29
30	743.7	0.0008	0.0238	1293.0	42.070	229.0	136.3	365.3	1.1000	1.5490	30
31	763.4	0.0008	0.0232	1289.0	43.180	230.0	135.7	365.7	1.1030	1.5490	31
32	783.5	0.0008	0.0226	1285.0	44.330	231.1	135.0	366.1	1.1060	1.5490	32
33	804.0	0.0008	0.0220	1281.0	45.490	232.1	134.3	366.4	1.1090	1.5480	33
34	824.9	0.0008	0.0214	1278.0	46.690	233.1	133.7	366.8	1.1130	1.5480	34
35	846.2	0.0008	0.0209	1274.0	47.910	234.1	133.1	367.2	1.1160	1.5480	35

1) Tracé sur diagramme des frigorigères ci-dessous : On lit $x_v \approx 0.25$



Temp °C	Pressure [kPa]	Volume [m³/kg]		Density [kg/m³]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K·kg]		Temp °C
		Liquid v _f	Vapour v _g	Liquid d _f	Vapour d _g	Liquid h _f	Latent h _{fg}	Vapour h _g	Liquid s _f	Vapour s _g	
-20	150.7	0.0007	0.1098	1458.0	9.109	181.6	162.1	343.7	0.9305	1.5710	-20
-19	156.7	0.0007	0.1059	1455.0	9.446	182.5	161.6	344.1	0.9341	1.5700	-19
-18	162.6	0.0007	0.1021	1452.0	9.792	183.4	161.2	344.6	0.9376	1.5690	-18
-17	169.1	0.0007	0.0986	1449.0	10.150	184.3	160.8	345.1	0.9412	1.5680	-17
-16	175.6	0.0007	0.0951	1446.0	10.510	185.2	160.3	345.5	0.9447	1.5680	-16
-15	182.3	0.0007	0.0918	1443.0	10.890	186.1	159.9	346.0	0.9482	1.5670	-15
-14	189.2	0.0007	0.0887	1440.0	11.270	187.1	159.3	346.4	0.9517	1.5670	-14
-13	196.3	0.0007	0.0857	1437.0	11.670	188.0	158.9	346.9	0.9552	1.5660	-13
-12	203.6	0.0007	0.0828	1434.0	12.080	188.9	158.5	347.4	0.9587	1.5660	-12
-11	211.1	0.0007	0.0800	1431.0	12.600	189.8	158.0	347.8	0.9622	1.5660	-11
-10	218.8	0.0007	0.0774	1428.0	13.020	190.7	157.6	348.3	0.9656	1.5640	-10
-9	226.7	0.0007	0.0749	1425.0	13.370	191.6	157.1	348.7	0.9691	1.5640	-9
-8	234.8	0.0007	0.0724	1421.0	13.820	192.6	156.6	349.2	0.9726	1.5630	-8
-7	243.2	0.0007	0.0700	1418.0	14.280	193.5	156.2	349.7	0.9760	1.5630	-7
-6	251.8	0.0007	0.0678	1415.0	14.760	194.4	155.7	350.1	0.9795	1.5620	-6
-5	260.6	0.0007	0.0656	1412.0	15.240	195.3	155.3	350.6	0.9829	1.5620	-5
-4	269.6	0.0007	0.0635	1409.0	15.740	196.3	154.7	351.0	0.9863	1.5610	-4
-3	278.9	0.0007	0.0615	1406.0	16.260	197.2	154.3	351.5	0.9898	1.5610	-3
-2	288.4	0.0007	0.0596	1402.0	16.790	198.1	153.8	351.9	0.9932	1.5600	-2
-1	298.1	0.0007	0.0577	1399.0	17.320	199.1	153.3	352.4	0.9966	1.5600	-1
0	308.1	0.0007	0.0559	1396.0	17.870	200.0	152.8	352.8	1.0000	1.5590	0
1	318.4	0.0007	0.0542	1393.0	18.440	200.9	152.4	353.3	1.0030	1.5590	1
2	328.9	0.0007	0.0526	1390.0	19.020	201.9	151.8	353.7	1.0070	1.5590	2
3	339.7	0.0007	0.0510	1386.0	19.610	202.8	151.3	354.1	1.0100	1.5580	3
4	350.7	0.0007	0.0495	1383.0	20.220	203.6	150.8	354.6	1.0140	1.5580	4
5	362.0	0.0007	0.0480	1380.0	20.840	204.7	150.3	355.0	1.0170	1.5570	5
6	373.6	0.0007	0.0466	1377.0	21.480	205.7	149.7	355.4	1.0200	1.5570	6
7	385.4	0.0007	0.0452	1373.0	22.120	206.6	149.3	355.9	1.0240	1.5570	7

2)

Temp °C	Pressure [kPa]	Volume [m³/kg]		Density [kg/m³]		Enthalpy [kJ/kg]			Entropy [kJ/K·kg]		Temp °C
		Liquid v _f	Vapour v _g	Liquid d _f	Vapour d _g	Liquid h _f	Latent h _{fg}	Vapour h _g	Liquid s _f	Vapour s _g	
8	397.6	0.0007	0.0439	1370.0	22.800	207.6	148.7	356.3	1.0270	1.5560	8
9	410.0	0.0007	0.0426	1367.0	23.480	208.5	148.2	356.7	1.0300	1.5560	9
10	422.7	0.0007	0.0414	1363.0	24.180	209.5	147.7	357.2	1.0340	1.5550	10
11	435.7	0.0007	0.0402	1360.0	24.900	210.4	147.2	357.6	1.0370	1.5550	11
12	448.9	0.0007	0.0390	1356.0	25.630	211.4	146.6	358.0	1.0400	1.5550	12
13	462.5	0.0007	0.0379	1353.0	26.380	212.3	146.2	358.5	1.0440	1.5540	13
14	476.4	0.0007	0.0368	1350.0	27.150	213.3	145.6	358.9	1.0470	1.5540	14
15	490.6	0.0007	0.0358	1346.0	27.950	214.3	145.0	359.3	1.0500	1.5540	15
16	505.1	0.0007	0.0348	1343.0	28.740	215.2	144.5	359.7	1.0540	1.5530	16
17	520.0	0.0008	0.0338	1339.0	29.560	216.2	143.9	360.1	1.0570	1.5530	17
18	535.1	0.0008	0.0329	1336.0	30.400	217.2	143.3	360.5	1.0600	1.5530	18
19	550.6	0.0008	0.0320	1332.0	31.260	218.2	142.8	361.0	1.0640	1.5520	19
20	566.4	0.0008	0.0311	1329.0	32.130	219.1	142.3	361.4	1.0670	1.5520	20
21	582.6	0.0008	0.0303	1325.0	33.030	220.1	141.7	361.8	1.0700	1.5520	21
22	599.0	0.0008	0.0295	1322.0	33.960	221.1	141.1	362.2	1.0740	1.5510	22
23	615.9	0.0008	0.0287	1318.0	34.920	222.1	140.5	362.6	1.0770	1.5510	23
24	633.0	0.0008	0.0279	1315.0	35.850	223.1	139.9	363.0	1.0800	1.5510	24
25	650.6	0.0008	0.0272	1311.0	36.820	224.1	139.3	363.4	1.0830	1.5510	25
26	668.5	0.0008	0.0264	1307.0	37.820	225.1	138.7	363.8	1.0870	1.5500	26
27	686.7	0.0008	0.0257	1304.0	38.850	226.0	138.2	364.2	1.0900	1.5500	27
28	705.3	0.0008	0.0251	1300.0	39.900	227.0	137.5	364.5	1.0930	1.5500	28
29	724.3	0.0008	0.0244	1296.0	40.970	228.0	136.9	364.9	1.0960	1.5490	29
30	743.7	0.0008	0.0238	1293.0	42.070	229.0	136.3	365.3	1.1000	1.5490	30
31	763.4	0.0008	0.0232	1289.0	43.180	230.0	135.7	365.7	1.1030	1.5490	31
32	783.5	0.0008	0.0226	1285.0	44.330	231.1	135.0	366.1	1.1060	1.5490	32
33	804.0	0.0008	0.0220	1281.0	45.490	232.1	134.3	366.4	1.1090	1.5480	33
34	824.9	0.0008	0.0214	1278.0	46.690	233.1	133.7	366.8	1.1130	1.5480	34
35	846.2	0.0008	0.0209	1274.0	47.910	234.1	133.1	367.2	1.1160	1.5480	35

2) Table :

$T_A = 303 \text{ K} = 30^\circ \text{C}$ ⊕ liquide saturant

→ $h_f = 229,0 \text{ kJ/kg} = h_A$

Détente isenthalpique

→ $h_B = h_A = 229,0 \text{ kJ/kg}$

⊕ mélange diphasique

→ $h_B = (1-x_v)h_f + x_v h_g = h_A$

D'où :

$$h_B = h_A = h_f - x_v h_f + x_v h_g$$

$$h_A - h_f = x_v (h_g - h_f)$$

$$x_v = \frac{h_A - h_f}{h_g - h_f} \quad (\text{Règle des moments!})$$

$$\left(\text{ou } \frac{h_f - h_A}{h_f - h_g} \right)$$

AN: $x_v = \frac{229,0 - 190,7}{348,3 - 190,7} = 0,24$

3) $\Delta h_{A \rightarrow B} = 0 = \Delta h_{A \rightarrow A'} + \Delta h_{A' \rightarrow B}$
 Car enthalpie fonction d'état.
 Avec : $A \rightarrow A'$: Détente, liquide saturant
 $A' \rightarrow B$: Vaporisation partielle à $T = T_B$.

$$\Delta h_{A \rightarrow A'} = C(T_{A'} - T_A) = C(T_B - T_A)$$

$$\Delta h_{A' \rightarrow B} = x_v \cdot \Delta_{vap} h(T_B)$$

D'où :

$$x_v \cdot \Delta_{vap} h(T_B) = C(T_A - T_B)$$

$$x_v = \frac{C(T_A - T_B)}{\Delta_{vap} h(T_B)} = \frac{960(303 - 263)}{158.10^3} = 0,24$$

- 9) Expression générale du rendement d'un moteur thermique ;
 Cycle de Carnot : **retrouver** l'expression du rendement en fonction des températures des sources chaude et froide.

$$\eta = -\frac{W_{TOT}}{Q_C} \quad (1)$$

Premier principe appliqué au cycle :

$$\Delta U_{cycle} = W_{TOT} + Q_C + Q_f = 0 \text{ d'où : } W_{TOT} = -Q_C - Q_f \quad (2)$$

Deuxième principe appliqué au cycle :

$$\Delta S_{cycle} = S_{éch} + S_{créée} = 0$$

Cycle réversible, d'où :

$$\Delta S_{cycle} = S_{éch} + S_{créée} = \frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_f}{T_f} + 0 \text{ d'où : } Q_f = -Q_C \frac{T_f}{T_C} \quad (3)$$

De (1), (2) et (3) on déduit le rendement de Carnot :

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_C}$$

- 10) Expression générale de l'efficacité d'un réfrigérateur ou d'une pompe à chaleur ; Cycle de Carnot : **retrouver** l'expression de l'efficacité en fonction des températures des sources chaude et froide.

$$e_{frigo} = \frac{Q_f}{W} \text{ et } e_{PAC} = -\frac{Q_C}{W} \quad (1)$$

Premier principe appliqué au cycle :

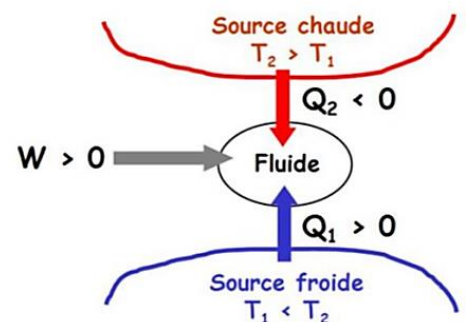
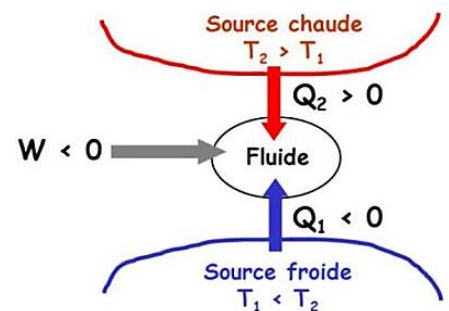
$$\Delta U_{cycle} = W + Q_C + Q_f = 0 \text{ d'où : } W = -Q_C - Q_f \quad (2)$$

Deuxième principe appliqué au cycle :

$$\Delta S_{cycle} = S_{éch} + S_{créée} = 0$$

Cycle réversible, d'où :

$$\Delta S_{cycle} = S_{éch} + S_{créée} = \frac{Q_C}{T_C} + \frac{Q_f}{T_f} + 0 \quad (3)$$



De (1), (2) et (3) on déduit l'efficacité de Carnot :

$$e_{frigo} = \frac{T_f}{T_c - T_f} \text{ et } e_{PAC} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

Puis : de 1 à 2 exercices proposés par le colleur.

Programme ATS

Enthalpie de changement d'état d'un corps pur	Connaître le vocabulaire des changements d'état et le diagramme (p, T). Comparer les ordres de grandeurs des variations d'enthalpie des systèmes monophasés avec celles des changements d'état d'un corps pur. Calculer l'énergie récupérable lors d'un changement d'état d'un corps pur à pression constante.
---	--

Diagramme fonctionnel des machines cycliques dithermes	Prévoir les signes des transferts d'énergie. Définir le rendement d'un moteur. Définir le coefficient de performance (CoP) d'une machine frigorifique et celui d'une pompe à chaleur (PAC).
--	---

10. Machines dithermes	
Système diphasé liquide-vapeur	Exploiter les diagrammes (T,s), (h,s) et (p,h).
Théorèmes des moments	Calculer ou exploiter un titre massique en vapeur.
Exploitations de diagrammes ou de tableaux de données	Calculer les transferts thermiques massiques, les travaux indiqués massiques et le coefficient de performance (CoP).
Puissances	Utiliser le débit massique pour évaluer des puissances.
11. Utilisation d'un modèle	
Technologie des moteurs à pistons	Distinguer les temps mécaniques (4 temps ou 2 temps) et identifier les temps thermodynamiques (modélisation par des transformations thermodynamiques).
Modèle du gaz parfait	Calculer un paramètre avec l'équation d'état du gaz parfait. Utiliser, dans l'approximation où les capacités thermiques à pression constante et à volume constant sont constantes, la relation de Mayer et le coefficient isentropique. Citer quelques limites du modèle.
Loi de Laplace	Utiliser les lois de Laplace pour évaluer des pressions ou des températures dans le cas de compressions ou détente de gaz parfait dans l'hypothèse adiabatique et mécaniquement réversible.
Diagramme de Clapeyron	Tracer un cycle dans l'approximation d'une transformation mécaniquement réversible.
Aspects énergétiques	Calculer les transferts thermiques, les travaux et en déduire le coefficient de performance (CoP) ou le rendement.
Puissance, consommation	Lier la puissance au nombre de tours par minute.