

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 2024

***Note au sujet de la propriété intellectuelle des modèles d'examen de l'Ordre des ingénieurs du Québec***

*Les modèles d'examen se trouvant sur le site internet de l'Ordre des ingénieurs du Québec sont la propriété exclusive de l'Ordre et leur utilisation est strictement limitée à des fins académiques et personnelles. Toute reproduction, distribution ou utilisation commerciale non autorisée de ces modèles constitue une violation de la propriété intellectuelle et est strictement interdite. L'Ordre se réserve le droit de prendre toutes les mesures légales appropriées contre toute utilisation non autorisée de ses modèles d'examen.*

Toute documentation permise

Calculatrices : modèles autorisés seulement

Durée de l'examen : 3 heures

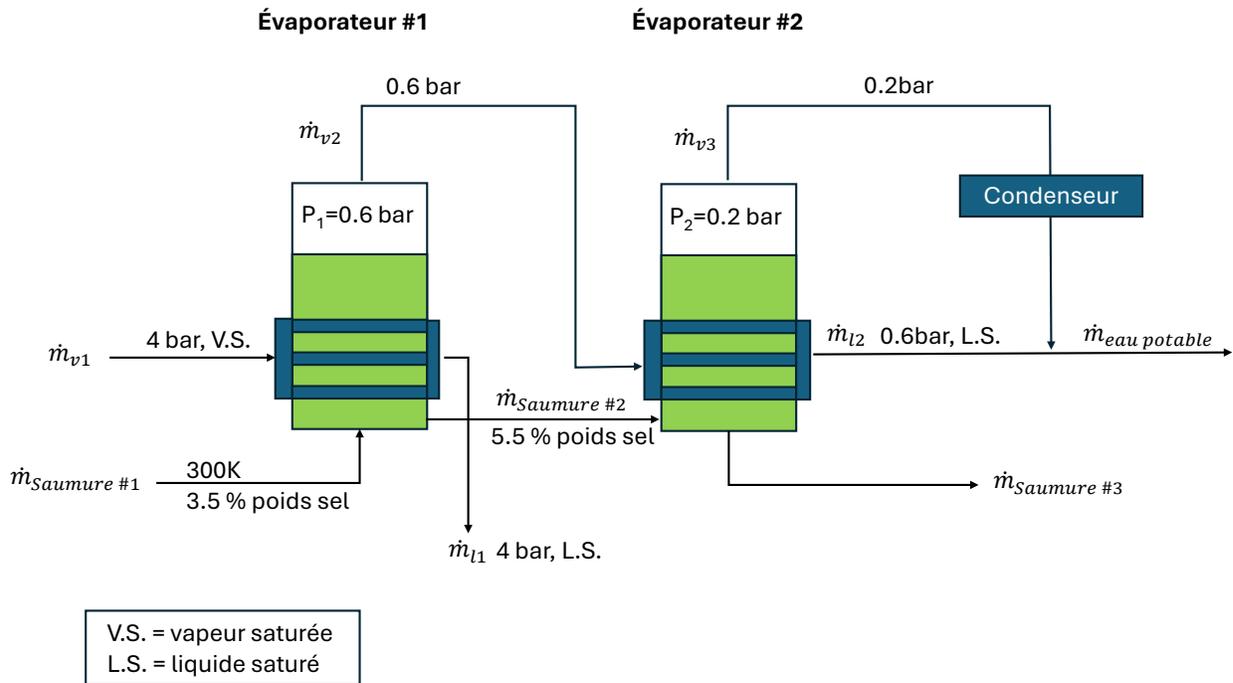
23-CH-A1 BILAN DES TRANSFORMATIONS ET THERMODYNAMIQUE CHIMIQUE

**Question #1 : Bilans de matière et d'énergie- système non-réactif (25 points)**

L'évaporateur double présenté à la figure ci-dessous est utilisé pour désaliniser de l'eau de mer (appelée ici saumure, soit un mélange eau + sel). Cette saumure entre à 300K et contient 3.5% poids de sel (courant  $\dot{m}_{saumure \#1}$ ).

Le premier évaporateur (équilibre liquide + vapeur) fonctionne à une pression  $P_1=0.6$  bar alors que le 2<sup>e</sup> évaporateur fonctionne à une pression de  $P_2=0.2$  bar. Un courant de vapeur saturée  $\dot{m}_{v1}$  à 4 bar est utilisé pour chauffer le premier évaporateur. Cette vapeur saturée passant dans **une tuyauterie externe** transfère de l'énergie à l'évaporateur #1 en se condensant ( $\dot{m}_{l1}$ ). Il en résulte alors une évaporation partielle de l'eau de la saumure qui s'enrichit alors en sel (5.5% poids en sel).

La vapeur saturée sortant de l'évaporateur #1 est utilisée pour chauffer l'évaporateur #2 en se condensant (courant ( $\dot{m}_{l2}$ )). La vapeur produite par l'évaporateur #2 est condensée et combinée au courant ( $\dot{m}_{l2}$ ) permettant ainsi de produire un courant d'eau potable.

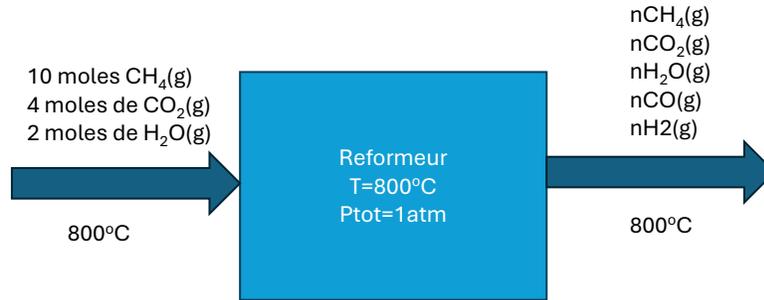


Questions à la prochaine page ----->

En supposant une base de calculs d'eau de mer  $\dot{m}_{saumure \#1}$  de 5000kg/h, que les deux évaporateurs fonctionnent de manière adiabatique et que la capacité calorifique de la saumure est égale à celle de l'eau pure liquide à la même température répondez aux questions suivantes :

- a) Fournissez les températures d'opération de l'évaporateur #1 et de l'évaporateur #2 respectivement. (2pts)
  
- b) Résoudre les bilans appropriés liés à l'évaporateur #1 et évaluer la quantité de vapeur saturée  $\dot{m}_{v1}$  alimentée à cet évaporateur. (11pts)
  
- c) En supposant que toute la vapeur produite suite à l'évaporation partielle de la saumure ( $\dot{m}_{v2}$ ) est utilisée pour chauffer l'évaporateur #2 à partir d'une tuyauterie externe, évaluer la quantité d'eau potable pouvant être produite suite à l'utilisation de l'évaporateur #2. Fournissez également le % poids de sel dans la saumure finale ainsi que son débit massique ( $\dot{m}_{saumure \#3}$ ). (12 pts)

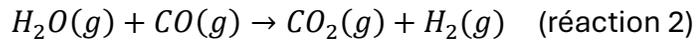
**Question #2 : Bilans de matière et d'énergie- système réactif (25 points)**



Une compagnie désire réaliser le reformage du gaz naturel en utilisant la réaction chimique suivante à 800°C :



La réaction parasite suivante survient :



En supposant que le réacteur de reformage fonctionne à une pression totale de 1atm et que le courant entrant dans le réacteur à 800°C contient 10 moles de  $CH_4(g)$ , 4 moles de  $CO_2(g)$  et 2 moles de  $H_2O(g)$  répondez aux questions suivantes :

- Évaluez les constantes d'équilibre pour la réaction #1 et la réaction #2 (indice : utilisez le tableau 2.1 présenté ci-dessous). **(9 pts)**
- On vous indique alors que la conversion du  $CH_4$  est de 40.9%. Évaluez l'avancement de la réaction #1, dénoté ici  $\xi_1$ . **(1 pt)**
- En utilisant la technique des bilans de matière par avancement de réaction, exprimez le nombre de moles total de gaz sortant du réacteur en fonction des deux avancements de réaction ( $\xi_1$  et  $\xi_2$ ). **(6 pts)**

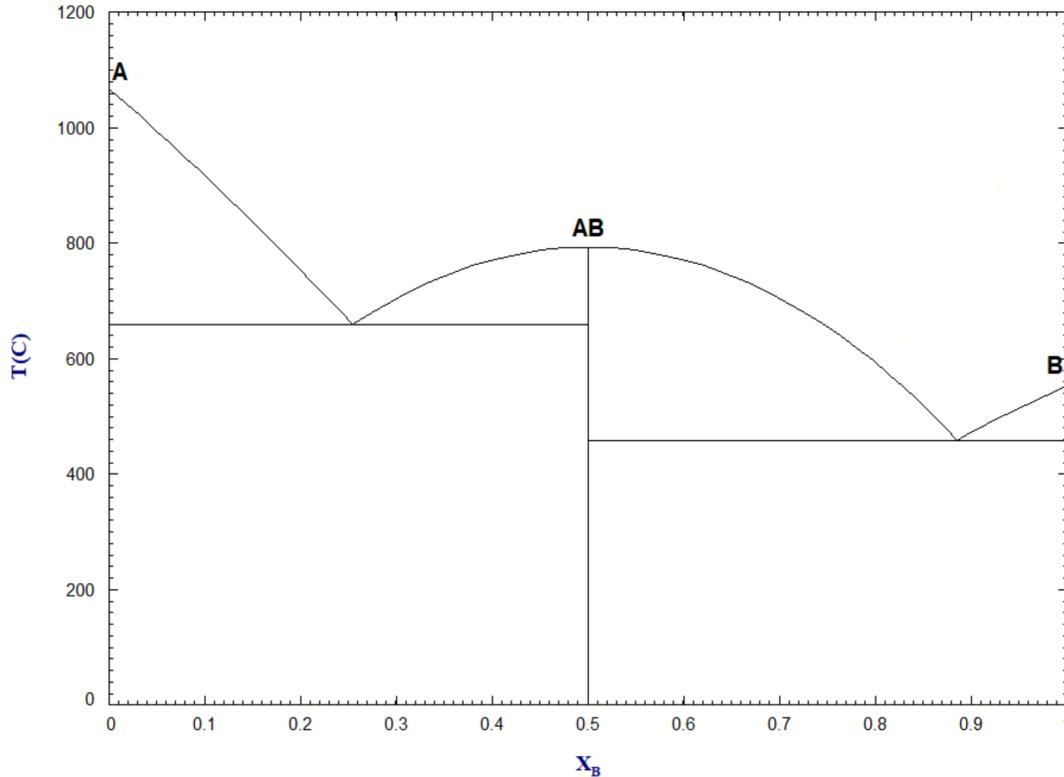
- d) En supposant l'atteinte de l'état d'équilibre de la réaction parasite, évaluez l'avancement de la réaction  $\xi_2$  et fournissez la fraction molaire de chaque espèce gazeuse présente dans le courant de sortie. **(6 pts)**
- e) Évaluez la quantité d'énergie nécessaire (MJ) pour réaliser cette opération. **(3 pts)**

**Tableau 2.1: Enthalpie et entropie de formation à 800°C**

Espèce	$\Delta H_{800^\circ\text{C}}^f$ (J)	$\Delta S_{800^\circ\text{C}}^f$ (J/K)
$\text{C(s)} + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4(\text{g})$	-90528.8	-109.884
$\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g})$	-394781.2	1.224
$\text{C(s)} + 0.5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}(\text{g})$	-112425.5	87.812
$\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$	0	0
$\text{H}_2(\text{g}) + 0.5\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{g})$	-248314.0	-55.646

**Question #3 : Équilibre de phases et solutions (20 points)**

Le diagramme de phases du système binaire A-B ( $P_{\text{tot}}=1\text{atm}$ ) est présenté à la figure ci-dessous. Ce diagramme comprend un composé binaire AB ainsi qu'une solution liquide. Des données thermodynamiques relatives aux substances pures A et B sont fournies dans le tableau 3.1.

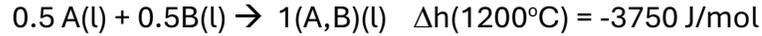


**Tableau 3.1 : Propriétés thermo. des substances pures du système A-B**

Substance	$h_{298.15\text{K}}$ J/mol	$S_{298.15\text{K}}$ J/mol/K	$C_p$ J/mol/K
A(s)	0	28	25
A(l)	+10711	36	25
B(s)	0	32.5	34
B(l)	+8250	42.5	34
AB(s)	-20000	60.5	59

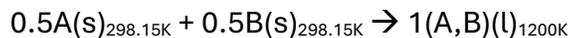
Questions à la prochaine page ----->

On vous indique par ailleurs que l'expérience calorimétrique de mise en solution suivante à 1200°C a été réalisée :

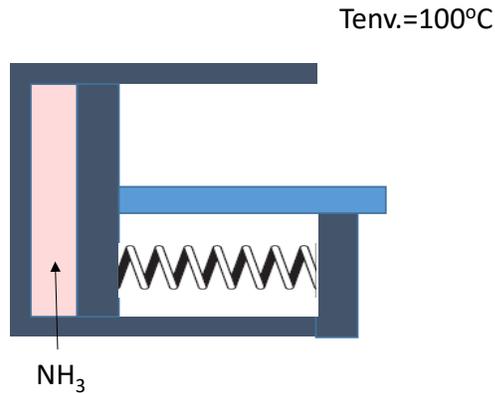


Répondez aux questions suivantes:

- a) En supposant que la solution liquide est une **solution régulière** (aussi appelée le modèle *two-suffix Margules*), fournissez le paramètre *A* définissant l'énergie d'excès de Gibbs ( $g^E$ ) de cette solution. **(2 pts)**
  
- b) En utilisant les données fournies au Tableau 3.1 ainsi que l'hypothèse d'une solution liquide A-B régulière, évaluez la température de fusion du composé AB **sans utiliser d'informations du diagramme de phases**. **(12 pts)**
  
- c) On vous demande d'évaluer la quantité d'énergie totale nécessaire (kJ) pour réaliser la synthèse de la solution liquide suivante à partir des substances pures solides initialement à 298.15K **(6 pts)**:



**Question #4: Lois de la thermo. appliquées à un système fermé (20 points)**



assemblage piston/cylindre contenant un ressort

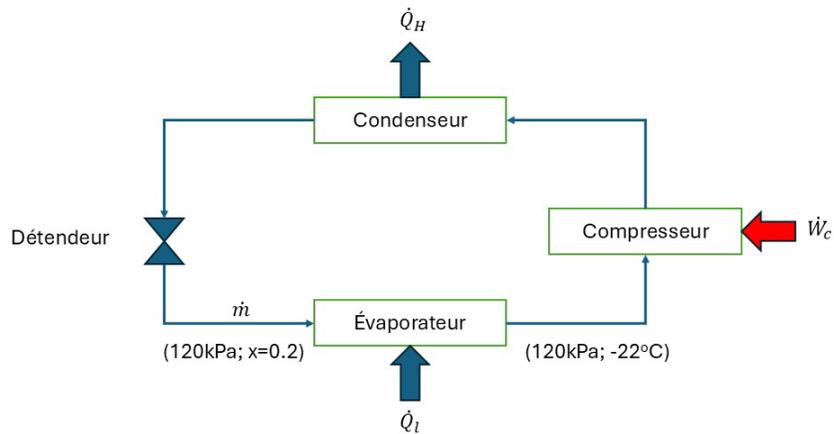
L'assemblage piston/cylindre présenté à la figure ci-haut est utilisé pour contrôler, au moyen d'un ressort, l'évolution de 1.3 kg d'ammoniac initialement présent sous forme de liquide saturé à  $-20^\circ\text{C}$ . L'environnement chaud ( $T_{\text{env.}}=100^\circ\text{C}$ ) permet alors de faire évoluer l'ammoniac vers un état final à  $T_2=70^\circ\text{C}$  et  $P_2=800\text{kPa}$  par échange de chaleur avec le système.

En utilisant ces informations, répondez aux questions suivantes :

- Présentez l'évolution d'état sur un diagramme P-V. (2 pts)
- Calculez la quantité de travail  ${}_1W_2$  associée à cette évolution d'état. (11 pts)
- Évaluez la variation d'entropie totale (système + env.) pour cette évolution d'état. (7 pts)

**Question #5: cycle de réfrigération (10 points)**

Le R-134a est utilisé comme fluide caloporteur dans un congélateur fonctionnant selon le cycle de réfrigération ci-dessous. Le fluide caloporteur entre dans l'évaporateur à une pression de 120kPa et un titre de 0.2. L'évaporation du fluide permet de transférer un flux d'énergie  $\dot{Q}_l$ . On comprime alors le fluide sortant de l'évaporateur à une température de -22°C et une pression de 120kPa. Un compresseur fonctionnant avec une puissance de travail  $\dot{W}_c$  est alors utilisé. Finalement un flux d'énergie  $\dot{Q}_H$  est rejeté à l'extérieur du circuit de réfrigération grâce à un condenseur. Le cycle thermodynamique est complété par un détendeur isenthalpique.



Sachant que le compresseur fonctionne avec une puissance de 450W et que le coefficient de performance du congélateur est de 1.2, répondez aux questions suivantes :

- Évaluez le flux de chaleur rejeté dans l'environnement. **(4 pts)**
- Calculez le débit massique de fluide caloporteur utilisé dans ce cycle. **(6 pts)**

## Annexe 1 : Propriétés de saturation (liquide +vapeur) de l'eau

P (bar)	T(°C)	v (m <sup>3</sup> /kg)		u(kJ/kg)		h(kJ/kg)		
		liquide	vapeur	liquide	vapeur	liquide	Évaporation	vapeur
0.01	7.0	0.001	129.2	29.3	2385.2	29.3	2485.0	2514.4
0.02	17.5	0.001	67.0	73.5	2399.6	73.5	2460.2	2533.6
0.06	36.2	0.001	23.74	151.5	2425.1	151.5	2416.0	2567.5
0.08	41.5	0.001	18.1	173.9	2434.3	173.9	2403.2	2577.1
0.10	45.8	0.001	14.67	191.8	2438.0	191.8	2392.9	2584.8
0.20	60.1	0.001	7.65	251.5	2456.9	251.5	2358.4	2609.9
0.40	75.9	0.001	3.99	317.6	2477.1	317.7	2319.2	2636.9
0.50	81.3	0.001	3.24	340.5	2484.0	340.60	2305.4	2646.0
0.60	86.0	0.001	2.73	359.9	2489.7	359.9	2293.6	2653.6
0.80	93.5	0.001	2.087	391.6	2498.9	391.7	2274.1	2665.8
1.00	99.6	0.001	1.694	417.4	2506.1	417.5	2257.9	2675.4
4.00	143.6	0.001	0.462	604.2	2552.7	604.7	2133.0	2737.6

## Annexe 2 : Tables thermodynamiques de l'ammoniac (NH<sub>3</sub>)

**TABLE B.2.1**  
*Saturated Ammonia*

Temp. (°C)	Press. (kPa)	SPECIFIC VOLUME, m <sup>3</sup> /kg			INTERNAL ENERGY, kJ/kg		
		Sat. Liquid $v_f$	Evap. $v_{fg}$	Sat. Vapor $v_g$	Sat. Liquid $u_f$	Evap. $u_{fg}$	Sat. Vapor $u_g$
-50	40.9	0.001424	2.62557	2.62700	-43.82	1309.1	1265.2
-45	54.5	0.001437	2.00489	2.00632	-22.01	1293.5	1271.4
-40	71.7	0.001450	1.55111	1.55256	-0.10	1277.6	1277.4
-35	93.2	0.001463	1.21466	1.21613	21.93	1261.3	1283.3
-30	119.5	0.001476	0.96192	0.96339	44.08	1244.8	1288.9
-25	151.6	0.001490	0.76970	0.77119	66.36	1227.9	1294.3
-20	190.2	0.001504	0.62184	0.62334	88.76	1210.7	1299.5
-15	236.3	0.001519	0.50686	0.50838	111.30	1193.2	1304.5
-10	290.9	0.001534	0.41655	0.41808	133.96	1175.2	1309.2
-5	354.9	0.001550	0.34493	0.34648	156.76	1157.0	1313.7
0	429.6	0.001566	0.28763	0.28920	179.69	1138.3	1318.0
5	515.9	0.001583	0.24140	0.24299	202.77	1119.2	1322.0
10	615.2	0.001600	0.20381	0.20541	225.99	1099.7	1325.7
15	728.6	0.001619	0.17300	0.17462	249.36	1079.7	1329.1
20	857.5	0.001638	0.14758	0.14922	272.89	1059.3	1332.2
25	1003.2	0.001658	0.12647	0.12813	296.59	1038.4	1335.0
30	1167.0	0.001680	0.10881	0.11049	320.46	1016.9	1337.4
35	1350.4	0.001702	0.09397	0.09567	344.50	994.9	1339.4
40	1554.9	0.001725	0.08141	0.08313	368.74	972.2	1341.0
45	1782.0	0.001750	0.07073	0.07248	393.19	948.9	1342.1
50	2033.1	0.001777	0.06159	0.06337	417.87	924.8	1342.7
55	2310.1	0.001804	0.05375	0.05555	442.79	899.9	1342.7
60	2614.4	0.001834	0.04697	0.04880	467.99	874.2	1342.1
65	2947.8	0.001866	0.04109	0.04296	493.51	847.4	1340.9
70	3312.0	0.001900	0.03597	0.03787	519.39	819.5	1338.9
75	3709.0	0.001937	0.03148	0.03341	545.70	790.4	1336.1
80	4140.5	0.001978	0.02753	0.02951	572.50	759.9	1332.4
85	4608.6	0.002022	0.02404	0.02606	599.90	727.8	1327.7
90	5115.3	0.002071	0.02093	0.02300	627.99	693.7	1321.7
95	5662.9	0.002126	0.01815	0.02028	656.95	657.4	1314.4
100	6253.7	0.002188	0.01565	0.01784	686.96	618.4	1305.3
105	6890.4	0.002261	0.01337	0.01564	718.30	575.9	1294.2
110	7575.7	0.002347	0.01128	0.01363	751.37	529.1	1280.5
115	8313.3	0.002452	0.00933	0.01178	786.82	476.2	1263.1
120	9107.2	0.002589	0.00744	0.01003	825.77	414.5	1240.3
125	9963.5	0.002783	0.00554	0.00833	870.69	337.7	1208.4
130	10891.6	0.003122	0.00337	0.00649	929.29	226.9	1156.2
132.3	11333.2	0.004255	0	0.00426	1037.62	0	1037.6

TABLE B.2.1 (continued)  
Saturated Ammonia

Temp. (°C)	Press. (kPa)	ENTHALPY, kJ/kg			ENTROPY, kJ/kg-K		
		Sat. Liquid $h_f$	Evap. $h_{fg}$	Sat. Vapor $h_g$	Sat. Liquid $s_f$	Evap. $s_{fg}$	Sat. Vapor $s_g$
-50	40.9	-43.76	1416.3	1372.6	-0.1916	6.3470	6.1554
-45	54.5	-21.94	1402.8	1380.8	-0.0950	6.1484	6.0534
-40	71.7	0	1388.8	1388.8	0	5.9567	5.9567
-35	93.2	22.06	1374.5	1396.5	0.0935	5.7715	5.8650
-30	119.5	44.26	1359.8	1404.0	0.1856	5.5922	5.7778
-25	151.6	66.58	1344.6	1411.2	0.2763	5.4185	5.6947
-20	190.2	89.05	1329.0	1418.0	0.3657	5.2498	5.6155
-15	236.3	111.66	1312.9	1424.6	0.4538	5.0859	5.5397
-10	290.9	134.41	1296.4	1430.8	0.5408	4.9265	5.4673
-5	354.9	157.31	1279.4	1436.7	0.6266	4.7711	5.3977
0	429.6	180.36	1261.8	1442.2	0.7114	4.6195	5.3309
5	515.9	203.58	1243.7	1447.3	0.7951	4.4715	5.2666
10	615.2	226.97	1225.1	1452.0	0.8779	4.3266	5.2045
15	728.6	250.54	1205.8	1456.3	0.9598	4.1846	5.1444
20	857.5	274.30	1185.9	1460.2	1.0408	4.0452	5.0860
25	1003.2	298.25	1165.2	1463.5	1.1210	3.9083	5.0293
30	1167.0	322.42	1143.9	1466.3	1.2005	3.7734	4.9738
35	1350.4	346.80	1121.8	1468.6	1.2792	3.6403	4.9196
40	1554.9	371.43	1098.8	1470.2	1.3574	3.5088	4.8662
45	1782.0	396.31	1074.9	1471.2	1.4350	3.3786	4.8136
50	2033.1	421.48	1050.0	1471.5	1.5121	3.2493	4.7614
55	2310.1	446.96	1024.1	1471.0	1.5888	3.1208	4.7095
60	2614.4	472.79	997.0	1469.7	1.6652	2.9925	4.6577
65	2947.8	499.01	968.5	1467.5	1.7415	2.8642	4.6057
70	3312.0	525.69	938.7	1464.4	1.8178	2.7354	4.5533
75	3709.0	552.88	907.2	1460.1	1.8943	2.6058	4.5001
80	4140.5	580.69	873.9	1454.6	1.9712	2.4746	4.4458
85	4608.6	609.21	838.6	1447.8	2.0488	2.3413	4.3901
90	5115.3	638.59	800.8	1439.4	2.1273	2.2051	4.3325
95	5662.9	668.99	760.2	1429.2	2.2073	2.0650	4.2723
100	6253.7	700.64	716.2	1416.9	2.2893	1.9195	4.2088
105	6890.4	733.87	668.1	1402.0	2.3740	1.7667	4.1407
110	7575.7	769.15	614.6	1383.7	2.4625	1.6040	4.0665
115	8313.3	807.21	553.8	1361.0	2.5566	1.4267	3.9833
120	9107.2	849.36	482.3	1331.7	2.6593	1.2268	3.8861
125	9963.5	898.42	393.0	1291.4	2.7775	0.9870	3.7645
130	10892	963.29	263.7	1227.0	2.9326	0.6540	3.5866
132.3	11333	1085.85	0	1085.9	3.2316	0	3.2316

TABLE B.2.2 (continued)  
Superheated Ammonia

Temp. (°C)	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$u$ (kJ/kg)	$h$ (kJ/kg)	$s$ (kJ/kg-K)	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$u$ (kJ/kg)	$h$ (kJ/kg)	$s$ (kJ/kg-K)
300 kPa (-9.24)								
Sat	0.40607	1309.9	1431.7	5.4565	0.30942	1316.4	1440.2	5.3559
0	0.42382	1327.5	1454.7	5.5420	0.31227	1320.2	1445.1	5.3741
10	0.44251	1346.1	1478.9	5.6290	0.32701	1339.9	1470.7	5.4663
20	0.46077	1364.4	1502.6	5.7113	0.34129	1359.1	1495.6	5.5525
30	0.47870	1382.3	1526.0	5.7896	0.35520	1377.7	1519.8	5.6338
40	0.49636	1400.1	1549.0	5.8645	0.36884	1396.1	1543.6	5.7111
50	0.51382	1417.8	1571.9	5.9365	0.38226	1414.2	1567.1	5.7850
60	0.53111	1435.4	1594.7	6.0060	0.39550	1432.2	1590.4	5.8560
70	0.54827	1453.0	1617.5	6.0732	0.40860	1450.1	1613.6	5.9244
80	0.56532	1470.6	1640.2	6.1385	0.42160	1468.0	1636.7	5.9907
100	0.59916	1506.1	1685.8	6.2642	0.44732	1503.9	1682.8	6.1179
120	0.63276	1542.0	1731.8	6.3842	0.47279	1540.1	1729.2	6.2390
140	0.66618	1578.5	1778.3	6.4996	0.49808	1576.8	1776.0	6.3552
160	0.69946	1615.6	1825.4	6.6109	0.52323	1614.1	1823.4	6.4671
180	0.73263	1653.4	1873.2	6.7188	0.54827	1652.1	1871.4	6.5755
200	0.76572	1692.0	1921.7	6.8235	0.57321	1690.8	1920.1	6.6806
220	0.79872	1731.3	1970.9	6.9254	0.59809	1730.3	1969.5	6.7828
240	0.83167	1771.4	2020.9	7.0247	0.62289	1770.5	2019.6	6.8825
260	0.86455	1812.2	2071.6	7.1217	0.64764	1811.4	2070.5	6.9797
500 kPa (4.13)								
Sat.	0.25035	1321.3	1446.5	5.2776	0.21038	1325.2	1451.4	5.2133
10	0.25757	1333.5	1462.3	5.3340	0.21115	1326.7	1453.4	5.2205
20	0.26949	1353.6	1488.3	5.4244	0.22154	1347.9	1480.8	5.3156
30	0.28103	1373.0	1513.5	5.5090	0.23152	1368.2	1507.1	5.4037
40	0.29227	1392.0	1538.1	5.5889	0.24118	1387.8	1532.5	5.4862
50	0.30328	1410.6	1562.2	5.6647	0.25059	1406.9	1557.3	5.5641
60	0.31410	1429.0	1586.1	5.7373	0.25981	1425.7	1581.6	5.6383
70	0.32478	1447.3	1609.6	5.8070	0.26888	1444.3	1605.7	5.7094
80	0.33535	1465.4	1633.1	5.8744	0.27783	1462.8	1629.5	5.7778
100	0.35621	1501.7	1679.8	6.0031	0.29545	1499.5	1676.8	5.9081
120	0.37681	1538.2	1726.6	6.1253	0.31281	1536.3	1724.0	6.0314
140	0.39722	1575.2	1773.8	6.2422	0.32997	1573.5	1771.5	6.1491
160	0.41748	1612.7	1821.4	6.3548	0.34699	1611.2	1819.4	6.2623
180	0.43764	1650.8	1869.6	6.4636	0.36389	1649.5	1867.8	6.3717
200	0.45771	1689.6	1918.5	6.5691	0.38071	1688.5	1916.9	6.4776
220	0.47770	1729.2	1968.1	6.6717	0.39745	1728.2	1966.6	6.5806
240	0.49763	1769.5	2018.3	6.7717	0.41412	1768.6	2017.0	6.6808
260	0.51749	1810.6	2069.3	6.8692	0.43073	1809.8	2068.2	6.7786
600 kPa (9.28)								

TABLE B.2.2 (continued)  
Superheated Ammonia

Temp. (°C)	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$u$ (kJ/kg)	$h$ (kJ/kg)	$s$ (kJ/kg-K)	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$u$ (kJ/kg)	$h$ (kJ/kg)	$s$ (kJ/kg-K)
800 kPa (17.85)								
Sat.	0.15958	1330.9	1458.6	5.1110	0.12852	1334.9	1463.4	5.0304
20	0.16138	1335.8	1464.9	5.1328	—	—	—	—
30	0.16947	1358.0	1493.5	5.2287	0.13206	1347.1	1479.1	5.0826
40	0.17720	1379.0	1520.8	5.3171	0.13868	1369.8	1508.5	5.1778
50	0.18465	1399.3	1547.0	5.3996	0.14499	1391.3	1536.3	5.2654
60	0.19189	1419.0	1572.5	5.4774	0.15106	1412.1	1563.1	5.3471
70	0.19896	1438.3	1597.5	5.5513	0.15695	1432.2	1589.1	5.4240
80	0.20590	1457.4	1622.1	5.6219	0.16270	1451.9	1614.6	5.4971
100	0.21949	1495.0	1670.6	5.7555	0.17389	1490.5	1664.3	5.6342
120	0.23280	1532.5	1718.7	5.8811	0.18477	1528.6	1713.4	5.7622
140	0.24590	1570.1	1766.9	6.0006	0.19545	1566.8	1762.2	5.8834
160	0.25886	1608.2	1815.3	6.1150	0.20597	1605.2	1811.2	5.9992
180	0.27170	1646.8	1864.2	6.2254	0.21638	1644.2	1860.5	6.1105
200	0.28445	1686.1	1913.6	6.3322	0.22669	1683.7	1910.4	6.2182
220	0.29712	1726.0	1963.7	6.4358	0.23693	1723.9	1960.8	6.3226
240	0.30973	1766.7	2014.5	6.5367	0.24710	1764.8	2011.9	6.4241
260	0.32228	1808.1	2065.9	6.6350	0.25720	1806.4	2063.6	6.5229
280	0.33477	1850.2	2118.0	6.7310	0.26726	1848.8	2116.0	6.6194
300	0.34722	1893.1	2170.9	6.8248	0.27726	1891.8	2169.1	6.7137
1200 kPa (30.94)								
Sat.	0.10751	1337.8	1466.8	4.9635	0.09231	1339.8	1469.0	4.9060
40	0.11287	1360.0	1495.4	5.0564	0.09432	1349.5	1481.6	4.9463
50	0.11846	1383.0	1525.1	5.1497	0.09942	1374.2	1513.4	5.0462
60	0.12378	1404.8	1553.3	5.2357	0.10423	1397.2	1543.1	5.1370
70	0.12890	1425.8	1580.5	5.3159	0.10882	1419.2	1571.5	5.2209
80	0.13387	1446.2	1606.8	5.3916	0.11324	1440.3	1598.8	5.2994
100	0.14347	1485.8	1658.0	5.5325	0.12172	1481.0	1651.4	5.4443
120	0.15275	1524.7	1708.0	5.6631	0.12986	1520.7	1702.5	5.5775
140	0.16181	1563.3	1757.5	5.7860	0.13777	1559.9	1752.8	5.7023
160	0.17071	1602.2	1807.1	5.9031	0.14552	1599.2	1802.9	5.8208
180	0.17950	1641.5	1856.9	6.0156	0.15315	1638.8	1853.2	5.9343
200	0.18819	1681.3	1907.1	6.1241	0.16068	1678.9	1903.8	6.0437
220	0.19680	1721.8	1957.9	6.2292	0.16813	1719.6	1955.0	6.1495
240	0.20534	1762.9	2009.3	6.3313	0.17551	1761.0	2006.7	6.2523
260	0.21382	1804.7	2061.3	6.4308	0.18283	1803.0	2059.0	6.3523
280	0.22225	1847.3	2114.0	6.5278	0.19010	1845.8	2111.9	6.4498
300	0.23063	1890.6	2167.3	6.6225	0.19732	1889.3	2165.5	6.5450
320	0.23897	1934.6	2221.3	6.7151	0.20450	1933.5	2219.8	6.6380
1400 kPa (36.26)								

### Annexe 3 : Tables thermodynamiques du R-134a

Table de saturation du R-134a

P (kPa)	T(°C)	v (m <sup>3</sup> /kg)		u(kJ/kg)		h(kJ/kg)	
		liquide	vapeur	liquide	vapeur	liquide	vapeur
80	-31.13	0.0007	0.237	11.150	212.46	11.210	231.46
100	-26.37	0.0007	0.192	17.210	215.19	17.280	234.44
120	-22.32	0.0007	0.162	22.400	217.51	22.490	236.97
140	-18.77	0.0007	0.140	26.980	219.54	27.080	239.16
160	-15.6	0.0007	0.123	31.090	221.35	31.210	241.11
320	2.46	0.0008	0.064	54.920	231.52	55.160	251.88
700	26.69	0.0008	0.029	88.240	244.48	88.820	265.03