

# A

## INTRODUCTION

A

### 1 • GÉNÉRALITÉS

#### 1.1 Notions de physique

##### ■ Chaleur

La chaleur est une forme de l'énergie. C'est la sensation perçue par nos organes des sens lorsque nous sommes placés devant un foyer en activité ou un corps incandescent par exemple. La vie terrestre est tributaire d'une des principales sources de chaleur : le soleil. La chaleur se manifeste également lors du passage d'un courant électrique dans une résistance, lors de la compression brusque d'un gaz, lors de certaines réactions chimiques, etc.

##### ■ Froid

C'est la sensation que fait éprouver l'absence, la perte ou la diminution de la chaleur. Par comparaison, le froid est à la chaleur ce que l'obscurité est à la lumière. Froid et obscurité sont des termes négatifs. Ils indiquent simplement l'absence ou la diminution, soit de la chaleur, soit de la lumière.

##### ■ Température

C'est le « niveau » auquel la chaleur (énergie calorifique) se trouve dans un corps. Elle caractérise l'action plus ou moins énergique de la chaleur sur nos sens. C'est la température qui nous permet de dire qu'un corps est plus ou moins chaud qu'un autre.

##### ■ Échange de chaleur

Lorsque deux corps sont en présence, la chaleur va toujours du corps chaud au corps froid, l'échange de chaleur ne cessant que lorsque les deux corps sont à la même température.

**Exemple**

**Corps froid :** l'évaporateur d'un système frigorifique.

**Corps chaud :** les denrées entreposées dans le réfrigérateur.

Les denrées (corps chaud) cèdent une partie de leur chaleur à l'évaporateur (corps froid), leur chaleur ayant diminué, leur température s'abaisse.

**■ Transmission de la chaleur**

La chaleur peut se transmettre d'un corps à un autre par trois modes de transmission différents (fig. 1).

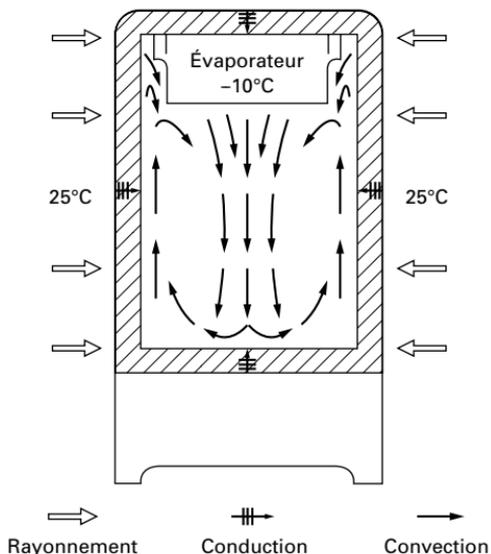


Fig. 1. Transmission de la chaleur à travers les parois d'un réfrigérateur. Association des trois modes de transmission.

**1. Par conduction.** La transmission de chaleur par conduction a lieu dans un seul et même corps lorsque ses parties présentent des températures différentes, ou d'un corps à un autre si ses deux corps ayant des températures différentes sont en contact.

**Exemples**

*Chauffage d'une tige métallique, à partir d'un foyer ou chauffage d'un récipient posé sur la sole d'un réchaud électrique.*

Il y a des corps bons conducteurs de la chaleur, par exemple : le cuivre, l'argent, l'aluminium, etc., et des corps mauvais conducteurs (ou calorifuges) tels que le bois, le liège, les polystyrènes, le carton, etc.

**2. Par rayonnement** (fig. 2). Les rayons calorifiques se propagent en ligne droite dans l'espace, et émis par un corps à température élevée ils sont absorbés partiellement par les corps plus froids qui forment écran à leur propagation, la partie non absorbée est réfléchiée d'une façon identique à la réflexion des rayons lumineux par un miroir.

**Exemple**

*Le rayonnement solaire.*

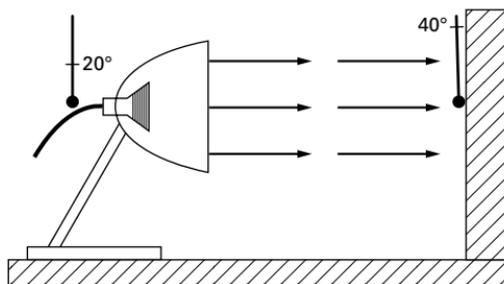


Fig. 2. Mise en évidence de la transmission de chaleur par rayonnement.

**3. Par convection.** Ce mode de transmission est propre aux liquides et aux gaz. Le médium (liquide ou gaz) entre en mouvement par différence de densité, les parties chaudes étant plus légères et véhiculant la chaleur.

**Exemple**

*Un radiateur chauffe une pièce par convection, l'air servant de véhicule à la chaleur. Un évaporateur refroidit une chambre froide de façon similaire.*

## ■ Repérage de la température

La température caractérise le niveau auquel se situe la chaleur dans un corps. Pour repérer la température, on a choisi la dilatation du mercure, de l'alcool ou du toluène, corps servant à la fabrication des thermomètres.

On utilise également les variations de tensions de vapeur de certains fluides ainsi que les phénomènes thermo-électriques. Pour la graduation des thermomètres deux repères ont été choisis. Ils correspondent à deux températures constantes auxquelles se produisent deux phénomènes physiques :

- la fusion de la glace d'eau distillée,
- l'ébullition de l'eau distillée,

les deux phénomènes devant avoir lieu sous la pression atmosphérique normale. Ces deux phénomènes sont appelés **points fixes de l'échelle thermométrique**.

Deux échelles thermométriques sont utilisées :

**Echelle Celsius.** Le point 0 °C est défini par la température de la glace fondante et le point 100 °C par la température de la vapeur d'eau bouillante, sous la pression atmosphérique normale.

**Echelle Fahrenheit.** Le zéro de l'échelle ayant été fixé arbitrairement par Fahrenheit il s'ensuit que le point 0 °C devient le point 32 °F et l'intervalle 0-100 ayant été divisé en 180 parties égales le point 100 °C a pour valeur 212 °F.

L'échelle Fahrenheit est encore utilisée dans les pays anglo-saxons toutefois l'échelle Celsius est en usage en Grande-Bretagne pour l'énoncé des températures officielles (données météorologiques). L'échelle Celsius est d'un usage général dans les pays ayant adopté le système S.I.

La conversion des températures de l'échelle Celsius dans l'échelle Fahrenheit et réciproquement se fait à l'aide des formules ci-dessous :

$$\theta \text{ } ^\circ\text{F} = 1,8\theta \text{ } ^\circ\text{C} + 32$$

$$\theta \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{5}{9}(\theta \text{ } ^\circ\text{F} - 32)$$

ou bien à l'aide d'un tableau de conversion (voir tableau 1).

D'autres thermomètres que le thermomètre à mercure (inutilisable aux très basses températures : le mercure se solidifiant à - 39 °C) sont utilisés en référération. Citons, parmi ces appareils :

**Le thermomètre à alcool**, qui permet de repérer les températures jusqu'à  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Le thermomètre à bulbe thermostatique**, dans lequel on enregistre les variations de pressions inhérentes aux variations de températures d'un fluide à l'aide d'un « tube de Bourdon » ou d'une lame d'acier les variations étant repérées sur un cadran gradué en températures.

**Le thermomètre à couple thermo-électrique**, qui se prête remarquablement au repérage des températures à distance.

**Le thermocouple** formé de deux conducteurs de nature différente – Cuivre et Constantan par exemple – indique la différence de potentiel provoquée par la différence de température entre les deux extrémités de ces conducteurs préalablement réunies par soudure et dont l'une est maintenue à température constante (glace fondante).

Cette différence de potentiel peut être lue sur un millivoltmètre étalonné et gradué en degrés (fig. 3).

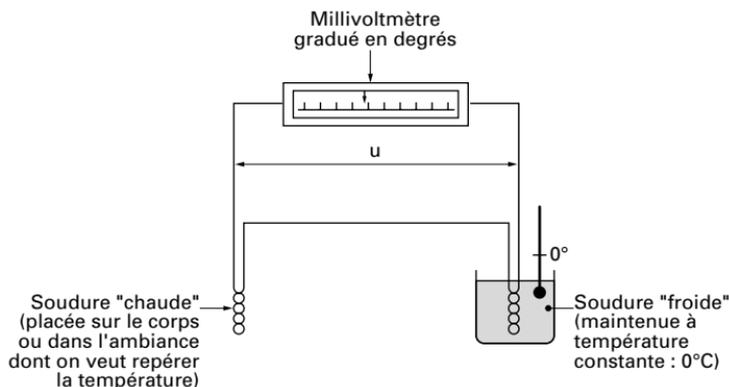


Fig. 3. Utilisation d'un thermocouple.

## ■ Zéro absolu et échelle thermodynamique

La chaleur est présente dans tout corps dont la température est au-dessus de  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**Tableau 1. Table de conversion de température [°C] – [°F].**

°C	↓	°F	°C	↓	°F	°C	↓	°F	°C	↓	°F
-273	-459		-39,4	-39	-38,2	-10,0	14	57,2	19,4	67	152,6
-268	-450		-38,9	-38	-36,4	-9,4	15	9,0	20,0	68	154,4
-262	-440		-38,3	-37	-34,6	-8,9	16	60,8	20,6	69	156,2
-257	-430		-37,8	-36	-32,8	-8,3	17	62,6	21,1	70	158,0
-251	-420		-37,2	-35	-31,0	-7,8	18	64,4	21,7	71	159,8
-246	-410		-36,7	-34	-29,2	-7,2	19	66,2	22,2	72	161,6
-240	-400		-36,1	-33	-27,4	-6,7	20	68,0	22,8	73	163,4
-234	-390		-35,6	-32	-25,6	-6,1	21	69,8	23,3	74	165,2
-229	-380		-35,0	-31	-23,8	-5,6	22	71,6	23,9	75	167,0
-223	-370		-34,4	-30	-22,0	-5,0	23	73,4	24,4	76	168,8
-218	-360		-33,9	-29	-20,2	-4,4	24	75,2	25,0	77	170,6
-212	-350		-33,3	-28	-18,4	-3,9	25	77,0	25,6	78	172,4
-207	-340		-32,8	-27	-16,6	-3,3	26	78,8	26,1	79	174,2
-201	-330		-32,2	-26	-14,8	-2,8	27	80,6	26,7	80	176,0
-196	-320		-31,7	-25	-13,0	-2,2	28	82,4	27,2	81	177,8
-190	-310		-31,1	-24	-11,2	-1,7	29	84,2	27,8	82	179,6
-184	-300		-30,6	-23	-9,4	-1,1	30	86,0	28,3	83	181,4
-179	-290		-30,0	-22	-7,6	-0,6	31	87,8	28,9	84	183,2
-173	-280		-29,4	-21	-5,8	0	32	89,6	29,4	85	185,0
-169	-273	-459,4	-28,9	-20	-4,0	0,6	33	91,4	30,0	86	186,8
-168	-270	-454	-28,3	-19	-2,2	1,1	34	93,2	30,6	87	188,6
-162	-260	-436	-27,8	-18	-0,4	1,7	35	95,0	31,1	88	190,4
-157	-250	-418	-27,2	-17	1,4	2,2	36	96,8	31,7	89	192,2
-151	-240	-400	-26,7	-16	3,2	2,8	37	98,6	32,2	90	194,0
-146	-230	-382	-26,1	-15	5,0	3,3	38	100,4	32,8	91	195,8
-140	-220	-364	-25,6	-14	6,8	3,9	39	102,2	33,3	92	197,6
-134	-210	-346	-25,0	-13	8,6	4,4	40	104,0	33,9	93	199,4
-129	-200	-328	-24,4	-12	10,4	5,0	41	105,8	34,4	94	201,2
-123	-190	-310	-23,9	-11	12,2	5,6	42	107,6	35,0	95	203,0
-118	-180	-292	-23,3	-10	14,0	6,1	43	109,4	35,6	96	204,8
-112	-170	-274	-22,8	-9	15,8	6,7	44	111,2	36,1	97	206,6
-107	-160	-256	-22,2	-8	17,6	7,2	45	113,0	36,7	98	208,4
-101	-150	-238	-21,7	-7	19,4	7,8	46	114,8	37,2	99	210,2
-95,6	-140	-220	-21,1	-6	21,2	8,3	47	116,6	37,8	100	212,0
-90,0	-130	-202	-20,6	-5	23,0	8,9	48	118,4	38,3	101	213,8
-84,4	-120	-184	-20,0	-4	24,8	9,4	49	120,2	38,9	102	215,6
-78,9	-110	-166	-19,4	-3	26,6	10,0	50	122,0	39,4	103	217,4
-73,3	-100	-148	-18,9	-2	28,4	10,6	51	123,8	40,0	104	219,2
-67,8	-90	-130	-18,3	-1	30,2	11,1	52	125,6	40,6	105	221,0
-62,2	-80	-112	-17,8	0	32,0	11,7	53	127,4	41,1	106	222,8
-56,7	-70	-94	-17,2	1	33,8	12,2	54	129,2	41,7	107	224,6
-51,1	-60	-76	-16,7	2	35,6	12,8	55	131,0	42,2	108	226,4
-45,6	-50	-58,0	-16,1	3	37,4	13,3	56	132,8	42,8	109	228,2
-45,0	-49	-56,2	-15,6	4	39,2	13,9	57	134,6	43,3	110	230,0
-44,4	-48	-54,4	-15,0	5	41,0	14,4	58	136,4	43,9	111	231,8
-43,9	-47	-52,6	-14,4	6	42,8	15,0	59	138,2	44,4	112	233,6
-43,3	-46	-50,8	-13,9	7	44,6	15,6	60	140,0	45,0	113	235,4
-42,8	-45	-49,0	-13,3	8	46,4	16,1	61	141,8	45,6	114	237,2
-42,2	-44	-47,2	-12,8	9	48,2	16,7	62	143,6	46,1	115	239,0
-41,7	-43	-45,4	-12,2	10	50,0	17,2	63	145,4	46,7	116	240,8
-41,1	-42	-43,6	-11,7	11	51,8	17,8	64	147,2	47,2	117	242,6
-40,6	-41	-41,8	-11,1	12	53,6	18,3	65	149,0	47,8	118	244,4
-40,0	-40	-40,0	-10,6	13	55,4	18,9	66	150,8	48,3	119	246,2

Chercher dans la colonne repérée par une flèche la température en °C ou °F à convertir. Relever alors dans la colonne de gauche la conversion en degrés Celsius, et dans la colonne de droite la conversion en degrés Fahrenheit.

°C	↓	°F	°C	↓	°F	°C	↓	°F	°C	↓	°F
48,9	120	248,0	78,3	173	343,4	107,8	226	438,8	282	540	
49,4	121	249,8	78,9	174	345,2	108,3	227	440,6	288	550	
50,0	122	251,6	79,4	175	347,0	108,9	228	442,4	293	560	
50,6	123	253,4	80,0	176	348,8	109,4	229	444,2	299	570	
51,1	124	255,2	80,6	177	350,6	110,0	230	446,0	304	580	
51,7	125	257,0	81,1	178	352,4	110,6	231	447,8	310	590	
52,2	126	258,8	81,7	179	354,2	111,1	232	449,6	316	600	
52,8	127	260,6	82,2	180	356,0	111,7	233	451,4	321	610	
53,3	128	262,4	82,8	181	357,8	112,2	234	453,2	327	620	
53,9	129	264,2	83,3	182	359,6	112,8	235	455,0	332	630	
54,4	130	266,0	83,9	183	361,4	113,3	236	456,8	338	640	
55,0	131	267,8	84,4	184	363,2	113,9	237	458,6	343	650	
55,6	132	269,6	85,0	185	365,0	114,4	238	460,4	349	660	
56,1	133	271,4	85,6	186	366,8	115,0	239	462,2	354	670	
56,7	134	273,2	86,1	187	368,6	115,6	240	464,0	360	680	
57,2	135	275,0	86,7	188	370,4	116,1	241	465,8	366	690	
57,8	136	276,8	87,2	189	372,2	116,7	242	467,6	371	700	
58,3	137	278,6	87,8	190	374,0	117,2	243	469,4	377	710	
58,9	138	280,4	88,3	191	375,8	117,8	244	471,2	382	720	
59,4	139	282,2	88,9	192	377,6	118,3	245	473,0	388	730	
60,0	140	284,0	89,4	193	379,4	118,9	246	474,8	393	740	
60,6	141	285,8	90,0	194	381,2	119,4	247	476,6	399	750	
61,1	142	287,6	90,6	195	383,0	120,0	248	478,4	404	760	
61,7	143	289,4	91,1	196	384,8	120,6	249	480,2	410	770	
62,2	144	291,2	91,7	197	386,6	121	250	482	416	780	
62,8	145	293,0	92,2	198	388,4	127	260	500	421	790	
63,3	146	294,8	92,8	199	390,2	132	270	518	427	800	
63,9	147	296,6	93,3	200	392,0	138	280	536	432	810	
64,4	148	298,4	93,9	201	393,8	143	290	554	438	820	
65,0	149	300,2	94,4	202	395,6	149	300	572	443	830	
65,6	150	302,0	95,0	203	397,4	154	310	590	449	840	
86,1	151	303,8	95,6	204	399,2	160	320	608	454	850	
66,7	152	305,6	96,1	205	401,0	166	330	626	460	860	
67,2	153	307,4	96,7	206	402,8	171	340	644	466	870	
67,8	154	309,2	97,2	207	404,6	177	350	662	471	880	
68,3	155	311,0	97,8	208	406,4	182	360	680	477	890	
68,9	156	312,8	98,3	209	408,2	188	370	698	482	900	
69,4	157	314,6	98,9	210	410,0	193	380	716			
70,0	158	316,4	99,4	211	411,8	199	390	734			
70,6	159	318,2	100,0	212	413,6	204	400	752			
71,1	160	320,0	100,6	213	415,4	210	410	770			
71,7	161	321,8	101,1	214	417,2	216	420	788			
72,2	162	323,6	101,7	215	419,0	221	430	806			
72,8	163	325,4	102,2	216	420,8	227	440	824			
73,3	164	327,2	102,8	217	422,6	232	450	842			
73,9	165	329,0	103,3	218	424,4	238	460	860			
74,4	166	330,8	103,9	219	426,2	243	470	878			
75,0	167	332,6	104,4	220	428,0	249	480	896			
75,6	168	334,4	105,0	221	429,8	254	490	914			
76,1	169	336,2	105,6	222	431,6	260	500				
76,7	170	338,0	106,1	223	433,4	268	510				
77,2	171	339,8	106,7	224	435,2	271	520				
77,8	172	341,6	107,2	225	437,0	277	530				

écart de température		
°C	↓	°F
0,56	1	1,8
1,11	2	3,6
1,67	3	5,4
2,22	4	7,2
2,78	5	9,0
3,33	6	10,8
3,89	7	12,6
4,44	8	14,4
5,00	9	16,2

On a déterminé que  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$  est la température la plus basse pouvant être obtenue ; c'est le point où toute chaleur est absente d'un corps.

Cette température est appelée **zéro absolu**.

Les températures évaluées à partir de ce nouveau point zéro sont appelées **températures absolues** ou **températures thermodynamiques** et l'échelle thermométrique nouvelle ainsi définie a reçu le nom d'**Echelle Kelvin** ou échelle thermodynamique. Les températures s'expriment dans cette échelle en **Kelvin (K)**. Le Kelvin a même valeur que le degré Celsius et le passage d'une échelle à l'autre se fait en écrivant :

$$T\text{ K} = \theta\text{ }^{\circ}\text{C} + 273$$

### *Exemple*

*Quelles sont les températures absolues correspondant aux températures Celsius de  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$  et de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  ?*

*Nous devons avoir :*

$$T = 25 + 273 = 298\text{ K}$$
$$\text{et } T = (-10) + 273 = 263\text{ K}$$

## ■ Chaleur sensible et chaleur latente

Un corps (ou une substance) peut recevoir ou fournir de la chaleur sous deux formes différentes (fig. 4).

**1. Sous forme sensible :** l'absorption de chaleur sous cette forme se manifeste par une élévation de température du corps récepteur ; si le corps a, au contraire, fourni de la chaleur sa température s'abaisse.

Absorption ou fourniture de chaleur ne provoquent pas de modification d'état physique du corps, et la variation de température est fonction de la quantité de chaleur échangée et d'une caractéristique physique propre à chaque corps : sa **chaleur massique**.

**2. Sous forme latente :** l'absorption de chaleur par un corps sous cette forme – ou la fourniture de chaleur par ce corps – se caractérise par une constance de la température du corps et par son changement d'état physique.

## ■ Chaleur massique d'un corps

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 kilogramme de ce corps pour élever sa température de  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sans modifier son état physique. Par définition,

la chaleur massique de l'eau est, à pression normale (1 013 mbar), de 4 185 joules par kilogramme et par degré Celsius à 15 °C (4,185 kJ/kg . K).

### ■ Chaleur latente de solidification

C'est la quantité de chaleur qu'il faut enlever à 1 kilogramme d'un corps pour le faire passer de l'état liquide à l'état solide **sans abaisser sa température.**

### ■ Chaleur latente de fusion

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 kilogramme d'un corps pour le faire passer de l'état solide à l'état liquide, **sans élever sa température.**

### ■ Chaleur latente de vaporisation

C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 kilogramme d'un corps pour le faire passer de l'état liquide à l'état gazeux, **sans élever sa température.** Elle varie suivant la nature et la température du liquide.

### ■ Chaleur latente de liquéfaction

C'est la quantité de chaleur qu'il faut enlever à 1 kilogramme d'un corps pour le faire passer de l'état gazeux à l'état liquide **sans abaisser sa température.**

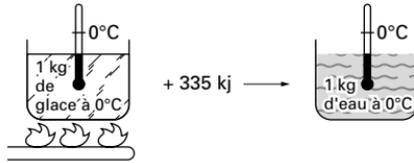
### ■ Mesure des quantités de chaleur

**Unités de quantités de chaleur.** Le système légal de mesures en France en vigueur depuis le 1<sup>er</sup> janvier 1962 (système S.I.) admet comme unité de chaleur le Joule (J). L'utilisation des anciennes unités calorifiques : calorie, kilocalorie, frigorie est interdite dans les documents légaux depuis le 31 décembre 1977. Nous donnons toutefois ci-dessous leur équivalence en kilojoules (kJ):

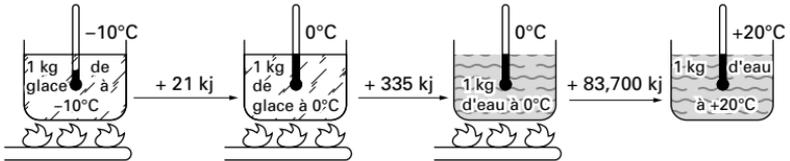
<b>1 kilocalorie</b> (1 kcal)	= 4,1855 kJ
<b>1 calorie</b> (1 cal)	= 4,1855 x 10 <sup>-3</sup> kJ
<b>1 frigorie</b> (1 fg)	= - 4,1855 kJ

Dans les pays utilisant le système anglo-saxon de mesures, l'unité de quantité de chaleur est différente et dépend des unités de base de ce système. C'est la B.T.U. (British Thermal Unit).

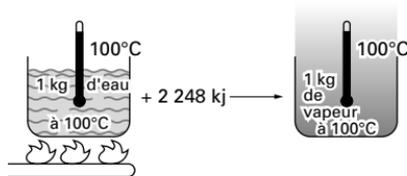
**B.T.U.** C'est la quantité de chaleur qu'il faut fournir à 1 livre d'eau (1 lb = 0,453 kg) pour élever sa température de 1 °F.



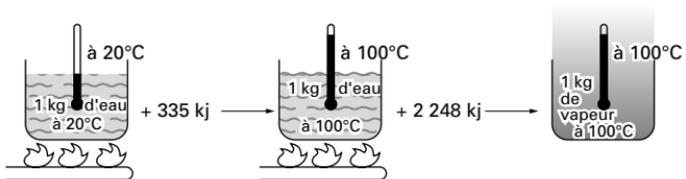
Chaleur latente absorbée au cours de la fusion de la glace



Comparaison de la chaleur latente et de la chaleur sensible



Chaleur latente de vaporisation de l'eau à 100°C



Chaleur sensible et chaleur latente de vaporisation de l'eau

Fig. 4. Chaleur latente et chaleur sensible.

Donc,  $1 \text{ B.T.U.} = 4,185 \times 0,453 \times 100/180 = 1,053 \text{ kJ}$ , le rapport 100/180 étant celui des échelles Celsius et Fahrenheit entre les points fixes des deux échelles thermométriques.

La quantité de chaleur à fournir ou à soustraire à un corps est proportionnelle :

- à la masse du corps,
- à la variation de température qu'il a subie,
- à sa chaleur massique.

D'où la formule générale donnant la quantité de chaleur échangée :

$$Q = C \times m \times \Delta\theta$$

### Exemple

Quelle quantité de chaleur faut-il soustraire à 1 500 kg de viande de chaleur massique  $C = 2,93 \text{ kJ/kg.K}$  pour abaisser sa température de 30 à + 2 °C ?

$$\begin{aligned} \text{Il faut : } Q &= C \times m \times \Delta\theta \\ &= 2,93 \times 1\,500 \times [30 - 2] = 123\,060 \\ Q &= 123\,060 \text{ kJ} \end{aligned}$$

**Tableau 2. Tableau de conversion des unités d'énergie.**

	joule J	kilo- calorie kcal	kilowatt- heure kWh	cheval- heure ch h	Foot pound ft . lb	B.T.U.
J	1	0,000 239	$27,77 \times 10^{-8}$	$37,75 \times 10^{-8}$	0,737	0,000 947
kcal	4 185	1	0,001 161	0,001 578	3 081,25	3,959
kWh	$3\,600 \times 10^{-3}$	860 <sup>(1)</sup>	1	1,359 2	$2,655 \times 10^6$	3 142,8
ch h	2 648 700	633,69	0,736	1	1 952 855	2 509
ft . lb	1 356,7	0,000325	$3\,768 \times 10^{-7}$	$5,121 \times 10^7$	1	$1,285 \times 10^{-3}$
B.T.U.	1 053	0,252	$0,293 \times 10^{-3}$	$0,398 \times 10^{-3}$	776,44	1

1. Kilowatt-heure international.

**Tableau 3. Tableau de conversion des unités de puissance.**

	watt W	kilowatt kW	cheval- vapeur ch	Horse Power HP
watt	1	0,001	0,001 36	0,001 34
kilowatt	1 000	1	1,359	1,341
cheval-vapeur	736	0,736	1	0,986
Horse Power	746	0,746	0,760	1

## ■ Corps purs et mélanges

### Corps purs

Un corps pur est un élément chimique constitué d'atomes formant une molécule.

### Mélanges

Il existe deux catégories de mélanges : les mélanges azéotropes et les mélanges zéotropes.

Un mélange azéotrope est un mélange de corps purs, dans des proportions bien définies, qui se comporte comme un nouveau fluide pur.

*Exemples de mélanges azéotropes : R502, R507.*

Un mélange zéotrope est un mélange de corps purs. Les propriétés du mélange dépendent des constituants du mélange et de leurs proportions respectives. Actuellement, les mélanges zéotropes sont constitués de 2 ou 3 corps purs.

*Exemples de mélanges zéotropes : R404A, R407C, R409A, R410A, R427A.*

*Le R404A est constitué de 52 % de R143a, 44 % de R125 et 4 % de R134a.*

*Le R407C est constitué de 23 % de R32, 25 % de R125 et 52 % de R134a.*

*Le R409A est constitué de 60 % de R22, 25 % de R124 et 15 % de R142b.*

*Le R410A est constitué de 50 % de R22 et 50 % de R125.*

*Le R427A est constitué de 50 % de R134a, 25 % de R125, 15 % de R32 et 10 % de R143a.*

## ■ Changements d'état physique

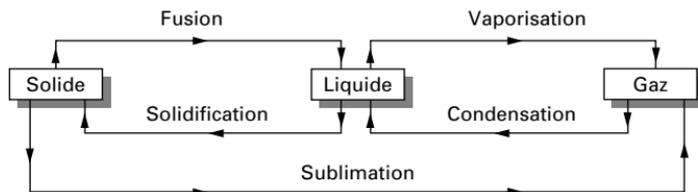


Fig. 5. Changements d'état physique.

### □ Fusion et solidification

La fusion est le passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide sous l'action de la chaleur.

La solidification est la transformation inverse, par refroidissement.

### Lois de la fusion et de la solidification

1. Sous une même pression la température de fusion et la température de solidification d'un corps sont identiques.

$$\theta_f = \theta_s.$$

C'est une caractéristique physique du corps.

2. Sous une même pression, cette température reste constante tout le temps du changement d'état.

### Remarque

*Pendant le changement d'état, il y a variation de volume.*

### □ Vaporisation

C'est le passage d'un corps de l'état liquide à l'état gazeux. Elle peut se faire par évaporation ou par ébullition.

### □ Évaporation

C'est la formation de vapeur à la surface libre d'un liquide. Elle est d'autant plus rapide :

- que la température est élevée ;
- que la surface libre du liquide est grande ;
- que l'atmosphère est sèche et renouvelée ;

- que la pression est basse ;
- que la tension de la vapeur saturante du liquide est élevée.

#### **Ébullition**

C'est la vaporisation rapide d'un liquide avec formation de bulles de vapeur au sein de ce liquide.

### **Lois de l'ébullition pour un corps pur et un mélange azéotrope**

1. Sous une même pression, le liquide commence toujours à bouillir à la même température.
2. Pendant toute la durée de l'ébullition, la température d'ébullition reste constante si la pression reste constante.
3. La tension de vapeur saturante de la vapeur émise est égale à la pression supportée par le liquide.

### **Loi de l'ébullition pour un mélange zéotrope**

1. Sous une même pression, un liquide commence toujours à bouillir à la même température.
2. À pression constante, pendant toute la durée de l'ébullition la température d'ébullition augmente.

Cette variation de température d'ébullition est appelée *glissement de température* ou *glide*.

La température de début d'ébullition est appelée *température de saturation liquide* ou *température de bulle* ou *bubble temperature*.

La température de fin d'ébullition est appelée *température de saturation vapeur* ou *température de rosée* ou *dew temperature*.

### **Point normal d'ébullition**

C'est la température d'ébullition sous la pression atmosphérique normale.

#### **Exemples**

*Eau* 100 °C ; *R12* – 30 °C ; *R717* – 33,5 °C ; *R22* – 40,8 °C ; *R502* – 45 °C ; *R134a* – 26 °C.

Si l'on veut abaisser la température d'ébullition, il faut abaisser la pression supportée par le liquide en ébullition. Inversement, si l'on veut élever la température d'ébullition, il faut augmenter cette pression.

### □ Condensation

C'est le passage de l'état gazeux à l'état liquide.

On obtient la condensation d'une vapeur par deux moyens.

1. Par compression jusqu'à la pression correspondant à la tension de vapeur saturante du fluide à la température considérée.
2. Par refroidissement jusqu'à la température correspondant à la tension de vapeur saturante du fluide considéré.

### Lois de la condensation pour un corps pur et un mélange azéotrope

1. Sous une même pression, la vapeur commence toujours à se condenser à la même température.
2. Pendant toute la durée de la condensation, la température de condensation reste constante si la pression reste constante.
3. La tension de vapeur saturante de la vapeur est égale à la pression supportée par le liquide.

### Loi de la condensation pour un mélange zéotrope

1. Sous une même pression, la vapeur commence toujours à se condenser à la même température.
2. À pression constante, pendant toute la durée de la condensation, la température de condensation diminue.

Cette variation de température de condensation est appelée *glissement de température* ou *glide*.

La température de début de condensation est appelée *température de saturation vapeur* ou *température de rosée* ou *dew temperature*.

La température de fin de condensation est appelée *température de saturation liquide* ou *température de bulle* ou *bubble temperature*.

### □ Sublimation

C'est le passage de l'état solide à l'état gazeux, sans passer par l'état liquide. Cette propriété n'appartient qu'à certains corps. Ce phénomène se produit à pression constante à une température bien déterminée.

### Exemples

*La neige carbonique, l'iode, le camphre, la glace.*

### Dissolution

Si elle se forme avec absorption de chaleur, le mélange est réfrigérant ; mais la dissolution ne s'effectue pas à point fixe.

#### *Exemple*

*On peut atteindre  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$  avec un mélange de glace et de sel ; donc ici, il n'existe pas de température fixe de dissolution.*

### ■ Température critique

La liquéfaction avec un palier de changement d'état d'un gaz ou d'une vapeur n'est plus possible au-delà d'une température limite, quelle que soit la pression exercée sur le gaz ou la vapeur : cette température limite a reçu le nom de **température critique**.

R23	: 25,9 °C	R12	: 112 °C
CO <sub>2</sub>	: 31 °C	R152a	: 113,5 °C
R507	: 70,7 °C	R717	: 132,4 °C
R404A	: 72 °C	R407C	: 86,05 °C
R502	: 82,2 °C	R409A	: 107 °C
R22	: 96 °C	R410A	: 70,17 °C
R134a	: 100,6 °C	R427A	: 86,8 °C

### ■ Notions sur les pressions

#### Définition générale de la pression

Etant donné une force  $F$  s'appuyant sur la surface  $A$  d'un corps on dit que cette force exerce une pression  $p = F/A$ .

#### Unité de pression

$C'$  est la pression exercée par l'unité de force agissant sur l'unité de surface du système d'unités considéré.