

## **Echange d'énergie à l'échelle microscopique**

A l'échelle microscopique, l'échange d'énergie d'un système avec l'extérieur peut se traduire par :

- Une variation de température      (*pas de modification des entités élémentaires, pas de changement d'état physique*)
- Un changement d'état physique      (*pas de modification des entités élémentaires, température inchangée*)
- Une transformation chimique      (*modification des entités élémentaires*)

### **Variation de température**

Soit un système constitué d'un matériau unique de masse  $m$  passant de la température  $\theta_i$  à  $\theta_f$

$$Q = m \cdot C (\theta_f - \theta_i) \quad (C : \text{capacité thermique massique du matériau en } \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

$$\begin{cases} \theta_f > \theta_i & \text{échauffement} & Q > 0 \\ \theta_f < \theta_i & \text{refroidissement} & Q < 0 \end{cases} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} Q > 0 & \text{énergie reçue} \\ Q < 0 & \text{énergie libérée} \end{cases} \dots \text{ par le système}$$

Remarque :  $\Delta\theta$  en  $^{\circ}\text{C} = \Delta T$  en  $\text{K}$  puisque  $T = \theta + 273$

<i>Substance</i>	<i><u>Phase</u></i>	<i>Capacité thermique massique</i> / $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
<a href="#">Air</a> (sec)	gaz	1005
<a href="#">Air</a> (saturé en vapeur d'eau)	gaz	$\approx 1030$
<a href="#">Aluminium</a>	solide	897
<a href="#">Azote</a>	gaz	1042
<a href="#">Cuivre</a>	solide	385
<a href="#">Diamant</a>	solide	502
<a href="#">Eau</a>	gaz	1850
	liquide	4186
	solide ( $0^{\circ}\text{C}$ )	2060
<a href="#">Éthanol</a>	liquide	2460
<a href="#">Fer</a>	solide	444
<a href="#">Graphite</a>	solide	720
<a href="#">Hélium</a>	gaz	5190
<a href="#">Hexane</a>	liquide	$\approx 2267.95$
<a href="#">Huile</a>	liquide	$\approx 2000$
<a href="#">Hydrogène</a>	gaz	14300
<a href="#">Laiton</a>	solide	377
<a href="#">Lithium</a>	solide	3582
<a href="#">Mercure</a>	liquide	139
<a href="#">Octane</a>	liquide	$\approx 1393.33$
<a href="#">Or</a>	solide	129
<a href="#">Oxygène</a>	gaz	920
<a href="#">Zinc</a>	solide	380

À pression constante, (sauf indication contraire)  
dans les conditions normales de température et de pression.

substance	C	substance	C
asphalte	920	gypse	1090
brique	840	marbre	880
béton	880	sable	835
granit	790	bois	420

## Changement d'état

Soit un système constitué d'un matériau unique de masse m passant d'un état physique à un autre

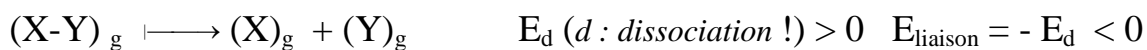
$$Q = m \cdot L \quad (L : \text{chaleur latente de changement d'état à } \theta \text{ donnée en } \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}.)$$

Remarque : solide  $\rightarrow$  liquide  $\rightarrow$  gaz  $L > 0$  et  $Q > 0$  : apport d'énergie nécessaire  
donc gaz  $\rightarrow$  liquide  $\rightarrow$  solide  $Q < 0$

Corps simples	chaleur latente de		Autres substances	fusion kJ/kg	vaporisation kJ/kg
	fusion kJ/kg	vaporisation kJ/kg			
<a href="#">Aluminium</a>	393		<a href="#">Azote</a>		3219
<a href="#">Antimoine</a>	163	1340	<a href="#">Méthane</a>		510
<a href="#">Argent</a>	103	2160	<a href="#">Éthane</a>		489
<a href="#">Béryllium</a>	1339		<a href="#">Propane</a>		426
<a href="#">Bismuth</a>	43	858	<a href="#">Butane</a>		385
<a href="#">Cadmium</a>	45	1004	<a href="#">n-Pentane</a>		357
<a href="#">Calcium</a>		2430	<a href="#">Isopentane</a>		339
<a href="#">Césium</a>	16		<a href="#">n-Hexane</a>		337
<a href="#">Chrome</a>	316		<a href="#">n-Heptane</a>		320
<a href="#">Cobalt</a>	259		<a href="#">n-Octane</a>		306
<a href="#">Cuivre</a>	205	4650	<a href="#">Éthylène</a>		483
<a href="#">Étain</a>	59	2600	<a href="#">Propylène</a>		438
<a href="#">Fer</a>	207		<a href="#">But-1-ène</a>		391
<a href="#">Lithium</a>	137		<a href="#">Isobutène</a>		394
<a href="#">Magnésium</a>	369	8450	<a href="#">Cyclopentane</a>		390
<a href="#">Manganèse</a>	101		<a href="#">Cyclohexane</a>		358
<a href="#">Nickel</a>	298		<a href="#">Acétylène</a>		829
<a href="#">Palladium</a>	152		<a href="#">Benzène</a>		394
<a href="#">Phosphore blanc</a>	21	540	<a href="#">Toluène</a>		363
<a href="#">Platine</a>	114		<a href="#">o-Xylène</a>		347
<a href="#">Plomb</a>	23	920	<a href="#">Cumène</a>		312
<a href="#">Soufre clinorhombique</a>	39		<a href="#">Méthanol</a>		1100
<a href="#">Zinc</a>	96	1820	<a href="#">Éthanol</a>		855
	sublimatio		<a href="#">Propanol</a>		695
Carbone	-712		<a href="#">Isopropanol</a>		667
diiode	-62,4		<a href="#">n-Butanol</a>		591
			<a href="#">Acétaldéhyde</a>		570
			<a href="#">Acétone</a>		521
			<a href="#">Silane</a>		342
			<a href="#">Diéthyléther</a>		377
			<a href="#">Essence automobile</a>		335
			<a href="#">Eau</a>	330	2256
			<a href="#">Ammoniac</a>		1391

**Chaleur de réaction chimique**

Peut-être estimée à partir des énergies de liaisons chimiques

**Energie de liaison**Définition : *rappel état gazeux* et définition (*par mol !*)

Quelques valeurs

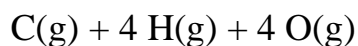
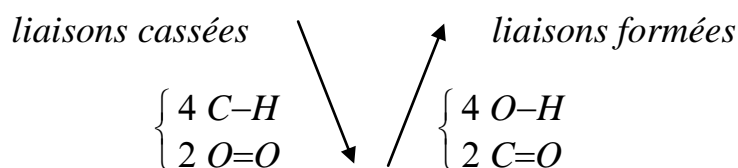
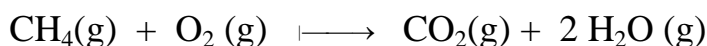
**liaison simple**

liaison	D (kJ/mol)	d(nm)	liaison	D (kJ/mol)	d(nm)	liaison	D (kJ/mol)	d(nm)
H-H	432	0,0742	C-F	485	0,135	S-S	266	0,205
H-F	565	0,0918	C-Cl	328	0,177	S-F	284	0,156
H-Cl	428	0,1274	C-Br	285	0,194	S-Cl	200	0,207
H-I	295	0,1608	C-I	213	0,214	S-I	150	
H-O	459	0,096	C-N	305	0,147	F-F	155	0,1418
H-N	390	0,101	N-F	270	0,136	Cl-Cl	240	0,1626
H-S	365	0,134	N-Cl	313	0,175	Br-Br	190	0,2284
H-Se	276	0,146	N-O	201	0,140	I-I	149	0,2666
H-P	322	0,144	N-N	160	0,145	Mg-Cl	406	0,218
H-C	415	0,109	O-O	143	0,147	Mg-Br	340	0,234
C-C	345	0,154	O-F	190	0,142	Mg-I	264	0,254

**liaison multiple**

liaison	D (kJ/mol)	d(nm)	liaison	D (kJ/mol)	d(nm)	liaison	D (kJ/mol)	d(nm)
C=C	602	0,134	C=O	799	0,120	O=O	494	0,1207
C□ □ □ C (benzène)		0,140	C=N	615		N=N	418	0,125
C≡C	835	0,120	C□ N	887	0,116	N≡N	942	0,1098

Exemple d'application : combustion complète de l'éthane



$$Q = 4 E_d (\text{C-H}) + 2 E_d (\text{O=O}) - 4 E_d (\text{O-H}) - 2 E_d (\text{C=O})$$

$$4 \times 415 + 2 \times 496 - 4 \times 459 - 2 \times 799 = - 782 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

**Remarque** : ici, toutes les espèces sont à l'état gazeux !

Si ce n'est pas le cas, il faut tenir compte des changements d'état et faire intervenir les chaleurs latentes correspondantes.

Exercice chercher  $Q$  pour :  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{C}(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$  (combustion incomplète)