

Evolution thermique et transformation physique

Attention ! Dans ce chapitre, les systèmes subissant des évolutions ne seront que des espèces chimiques pures (pas de mélange) dans toutes les phases ; de plus, la pression sera toujours maintenue constante (mais pas forcément égale à la pression atmosphérique).

I Action d'un apport d'énergie sur une espèce chimique

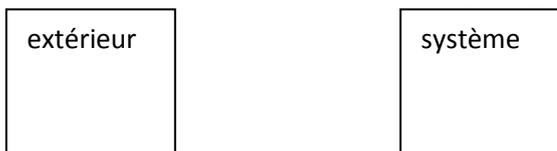
1) Notion de transfert thermique

Attention à toujours bien définir le système étudié dans *chaque question* des exercices. C'est la première chose à bien présenter et à bien se représenter.

Le système étudié va pouvoir échanger de l'énergie avec ce qu'on appelle le « milieu extérieur » ou « extérieur » du système.

a) Cas où le milieu extérieur apporte de l'énergie (positive) au système

Le milieu extérieur apporte l'énergie $\mathcal{E}_{\text{app au syst}} > 0$ au système.



Celui-ci **reçoit de l'extérieur** ainsi une énergie positive ici appelée transfert thermique noté Q . On a donc ici $Q = \dots\dots\dots$

Cela permet au système de passer d'une énergie (dite thermique) notée E_1 à une énergie E_2 qui est supérieure/inférieure (rayer) mais la valeur de E_2 peut être calculée par

$$E_2 = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

On préfère alors former la variation d'énergie du système notée $\dots\dots\dots$ et égale par définition à $\dots\dots\dots$

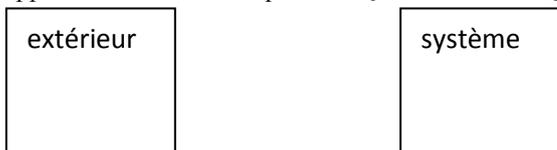
Ainsi, ici $\dots\dots\dots$

b) Cas où le milieu extérieur capte de l'énergie (positive) au système

Le milieu extérieur capte l'énergie $\mathcal{E}_{\text{capt par ext}} > 0$ au système. Celui-ci $\dots\dots\dots$ ainsi une énergie positive qu'il donne à l' $\dots\dots\dots$



Il revient exactement au même de dire que le système **reçoit de l'extérieur** une énergie $\dots\dots\dots$ appelée transfert thermique noté Q . On a donc ici $Q = \dots\dots\dots$



En physique, une fois qu'on a défini un système, on parlera toujours désormais de l'énergie qu'il reçoit de l'extérieur, appelée transfert thermique, qui est une grandeur algébrique (c'est-à-dire soit $\dots\dots\dots$ soit $\dots\dots\dots$). Il faut alors interpréter correctement cette valeur.

Dans ce deuxième cas, cela permet au système de passer d'une énergie (thermique) notée E_1 à une énergie E_2 qui est supérieure/inférieure (rayer) dans ce cas du b) mais la valeur de E_2 peut être calculée par

$$E_2 = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

On préfère alors former la variation d'énergie du système notée $\dots\dots\dots$ et égale par définition à $\dots\dots\dots$

Ainsi, ici $\dots\dots\dots$

On retrouve ainsi dans les deux cas le fait que

Il faut ensuite interpréter correctement cette inégalité.

Exemple : un verre d'éther possède une énergie initiale de 300 J. L'extérieur en capte 6 J. Faire le schéma correspondant, déterminer Q , la variation d'énergie et la nouvelle énergie du système après ce transfert.

c) Cas de deux systèmes en contact l'un de l'autre et isolés de l'extérieur et généralisations à n systèmes

On considère deux systèmes qui peuvent échanger de l'énergie entre eux **mais pas avec l'extérieur**. On note Q le transfert thermique (algébrique) reçu par le système 1 de la part du système 2 et Q' le transfert thermique (algébrique) reçu du système 2 de la part du système 1. Schéma correspondant :



Si l'un reçoit par exemple 5 J, ...

Que peut-on dire de Q et Q' ?

Pour deux (sous)systèmes qui échangent de l'énergie l'un avec l'autre **et seulement l'un avec l'autre**, le transfert thermique algébrique reçu par l'un est

On écrit plus directement :

En généralisant, pour n (sous)systèmes qui échangent de l'énergie uniquement les uns avec les autres, en notant Q_1, Q_2, Q_3 etc. leurs transferts thermiques algébriques, on peut écrire directement (et on utilisera cela en permanence) :

C'est en fait une conséquence directe du principe de conservation de l'énergie (voir partie 3 du programme).

3) Quelle est la conséquence d'un transfert thermique sur une espèce chimique pure ?

On observe soit un (§II)

Condition :

Ou on observe un (§III)

Condition :

Ou les deux mais l'un après l'autre.

Dans le cas où plusieurs systèmes peuvent échanger de l'énergie les uns entre les autres, ces échanges cesseront complètement lorsque la température sera la On dit alors qu'on

Dans les exercices, il faut essayer de prévoir, avant les calculs, à peu près cette température finale qui est souvent l'inconnue à trouver.

II Cas du changement de température

1) Les différentes possibilités

On considère un système particulier correspondant à une espèce chimique pure, sous une pression donnée, recevant un transfert thermique Q .

	$Q > 0$	$Q < 0$
Comparaison T_i et T_f		
Signe de ΔT		
Comparaison état physique i et état physique f		
Comparaison des énergies E_i et E_f		
Signe de ΔE		

2) Capacité massique

On veut faire passer un échantillon d'une espèce chimique pure d'un état initial de température T_i à un état final de température T_f . Il faut donc que cet échantillon reçoive un transfert thermique Q .

Q dépend de

Q se met ainsi sous la forme :

c_m est appelée capacité calorifique massique, c'est une grandeur qui dépend de l'espèce considérée uniquement (en première approximation) et qui est positive :

Exemples :

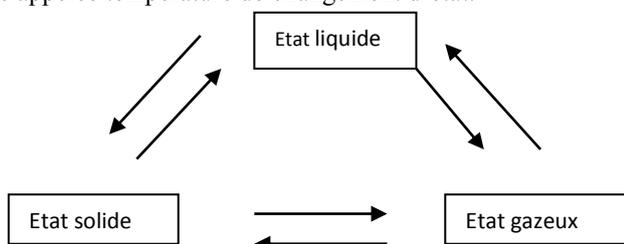
espèce	c_m ($J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$)
Eau (l)	$4,18 \cdot 10^3$
Ethanol (l)	$2,48 \cdot 10^3$
Benzène (l)	$1,83 \cdot 10^3$
Cuivre (s)	$3,9 \cdot 10^2$
Fe (s)	$4,6 \cdot 10^2$

Interprétation des valeurs de capacité thermique massique :

III Cas du changement d'état

0) Rappel sur les changements d'état

Une espèce chimique pure, sous une pression donnée, passe d'un état physique $n^{\circ}1$ à un état physique $n^{\circ}2$ à température et invariable appelée température de changement d'état.



Ces températures de changement d'état, pour une pression donnée, sont des caractéristiques de l'espèce étudiée

Exemple : eau sous pression atmosphérique (environ $1 \cdot 10^5$ Pa) :

Eau sous une pression de $2 \cdot 10^4$ Pa : la température d'ébullition chute à $60^\circ C$.

Ethanol sous pression atmosphérique : $-117^\circ C$

$79^\circ C$

Dioxyde de carbone sous pression atmosphérique

$-78^\circ C$

1) Les différentes possibilités

On considère un système particulier correspondant à une espèce chimique pure, sous une pression donnée, recevant un transfert thermique Q et qui subit un changement d'état (possible que si on est à la température du changement d'état)

Tout est relatif, dans le tableau suivant, au système entier comportant éventuellement deux phases physiques de la même espèce chimique.

	$Q > 0$	$Q < 0$
Comparaison T_i et T_f		
Signe de ΔT		
Comparaison état physique i et état physique f		
Comparaison des énergies E_i et E_f		
Signe de ΔE		

En réalité, deux états physiques différents coexistent. Imaginons que le changement d'état fasse passer d'un état physique 1 à un état physique 2. Que peut-on dire des masses suivantes (comparaison, variations...) :

$m_{\text{état}1, i}$, $m_{\text{état}1, f}$, $m_{\text{état}2, i}$, $m_{\text{état}2, f}$, $m_{\text{tot}, i}$ et $m_{\text{tot}, f}$

2) Energie massique de changement d'état

On veut faire passer un échantillon d'une espèce chimique pure d'un état initial *entièrement dans un état physique 1*, à un état final *entièrement dans un état physique 2*, la température ne variant pas (étant égale à celle du changement d'état). Il faut donc que cet échantillon reçoive un transfert thermique Q .

Q dépend de

Q se met ainsi sous la forme :

L est appelée énergie massique de changement d'état, c'est une grandeur qui dépend de l'espèce considérée uniquement (en première approximation) et qui est positive pour $L_{\dots\dots\dots}$, $L_{\dots\dots\dots}$, et $L_{\dots\dots\dots}$ mais négative pour $\dots\dots\dots$ car $\dots\dots\dots$

Exemples :

espèce	$L_{\text{fusion}} (\text{J.kg}^{-1})$	$L_{\text{solidif}} (\text{J.kg}^{-1})$	$L_{\text{vaporisation}} (\text{J.kg}^{-1})$
dioxygène	$1,4.10^4$		$2,1.10^5$
eau	$3,3.10^5$		$2,3.10^6$
Carbone diamant	$8,8.10^6$		$6,0.10^7$

Interprétation des valeurs des énergies massiques :

3) Détermination de l'énergie massique de fusion de la glace $L_{\text{fusion, glace}}$

On notera L cette énergie pour simplifier.

a) Matériel

Calorimètre (dewar) récipient permettant de limiter les transferts thermiques entre son intérieur et son extérieur, thermomètre, balance, papier absorbant, papier alu, éprouvette, cristalliseur ou bassine, pince, glaçons, eau.

b) Protocole

(*) On veut obtenir quelques glaçons à 0°C alors qu'ils sortent du réfrigérateur à -18°C . Proposer un protocole afin de les obtenir à 0°C rapidement et mettre en place le dispositif correspondant. On notera $T_{\text{eau glace } i} = 0^\circ\text{C}$

- Verser $m_{\text{eau liq, i}} = 200$ g dans le calorimètre. Placer le couvercle et relever la température une fois que celle-ci s'est stabilisée. $T_{\text{eau liq i}} =$
- Essuyer 3 ou 4 glaçons sur le papier absorbant, déterminer très rapidement leur masse $m_{\text{eau glace, i}}$ puis les introduire très rapidement dans le calorimètre. Pourquoi très rapidement ?
- Agiter et observer l'évolution de la température de l'eau dans le calorimètre. Noter sa valeur $T_{\text{eau liq f}}$ une fois que tous les glaçons sont fondus et que la température est devenue homogène dans le calorimètre.

c) Interprétation

Donnée : capacité calorifique de l'eau liquide $c = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$.

On considère les deux sous-systèmes (aller relire les paragraphes précédents du cours) suivants : l'eau liquide initialement de masse 200 g (système 1) et l'eau sous forme de glaçons initialement (système 2)

(*) Quel est le signe du transfert thermique Q_1 reçu par le système 1 au cours de l'expérience ?

(*) Quel est le signe du transfert thermique Q_2 reçu par le système 2 au cours de l'expérience ?

(*) Système 1 : après avoir bien visualisé le passage de l'état initial à l'état final de ce système, donner l'expression littérale de Q_1 en fonction des données de l'énoncé et de l'expérience, notamment de c .

Système 2 : on va décomposer l'évolution du système 2 en deux parties :

- Pendant la première, les glaçons fondent à température constante de 0°C . Déterminer l'expression littérale Q_2' du transfert thermique reçu par le système pendant cette première partie en fonction des données et notamment L .

Réponse $Q_2' = m_{\text{eau, glace, i}} * L$ car c' est toute la masse $m_{\text{eau, glace, i}}$ qui passe de l'état solide à l'état liquide.

- Dans la seconde partie, l'eau qui est devenue liquide s'échauffe jusqu'à la température finale.

(*) Déterminer le transfert Q_2'' reçu par le système pendant cette seconde partie en fonction des données.

(continuer sur feuille séparée)

(*) Quel lien existe entre Q_2 , Q_2' et Q_2'' ?

(*) Quel lien existe entre Q_1 et Q_2 ?

(*) En déduire une relation entre $m_{\text{eau liq i}}$, $m_{\text{eau glace i}}$, c , $T_{\text{eau liq i}}$, $T_{\text{eau liq f}}$, $T_{\text{eau glace i}}$ et L .

(*) En déduire l'expression littérale complète de L .

Déterminer L en TP.

Dans la littérature, on trouve que $L = 3,3 \cdot 10^5 \text{ J.kg}^{-1}$. Commenter, soyez critique vis-à-vis du protocole expérimental.

IV Qu'en pensent Einstein et Infeld ?

Relire p.38 à p.46 puis p.74 à p.76 puis rédiger sur feuille séparée.

(*) 1) Rédiger un protocole et faire l'expérience chez soi de celle décrite en deuxième moitié de page de la page 39.

(*) 2) Pourquoi faut-il faire une différence entre chaleur (qu'on remplacera par « énergie thermique » aujourd'hui) et température ? Expliquer avec des termes scientifiques.

(*) 3) Qu'est ce que les auteurs appellent « chaleur spécifique » ? Quelle est son unité ?

(*) 4) Quand la théorie de la « chaleur substance » décrite par les auteurs est-elle utilisable ? Quand atteint-on ses limites ?

(*) 5) Recopier l'analogie faite entre la thermodynamique avec la chaleur et la température, et l'électromagnétisme avec la notion de charge électrique et de potentiel électrique Qu'en pensez-vous (critiques constructives) ?