

L'énergie que possède un objet physique, représente sa capacité à transformer un autre objet ou lui-même.

Le travail, la chaleur et le rayonnement, représentent les quantités d'énergie qu'il reçoit ou qu'il consomme, ou encore la variation de son énergie.

I- Energie et transfert d'énergie

L'énergie est une grandeur extensive : lorsqu'on associe plusieurs objets physiques, leurs énergies s'additionnent.

Unité dans le système international : le joule (J)

1°) Différentes formes d'énergie

- Énergie due au mouvement : cette énergie dépend donc de la masse et de la vitesse. Elle est appelée : **énergie cinétique**, Notée E_c .

Exemples :

- Énergie cinétique d'une particule ou d'un solide en mouvement de translation, de masse m et de vitesse v : $E_c = \frac{1}{2}.m.v^2$;
- Énergie cinétique d'un solide en mouvement de rotation de vitesse angulaire ω et de moment d'inertie noté I : $E_c = \frac{1}{2}.I.\omega^2$;

- Énergie cinétique d'une particule relativiste ($v > 0,1.c$) : $E_c = \left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right).m.c^2$.

- Énergie d'un objet physique associé à une interaction conservative : cette énergie dépend de la forme de l'interaction et de la distance séparant tous les objets en interaction.

On parle encore d'énergie de déformation.

Elle est appelée **énergie potentielle**.

Exemples :

- Énergie potentielle de pesanteur : $E_{pp} = m.g.altitude$. Énergie que possède une masse dans le champ de pesanteur.
- Énergie potentielle élastique : $E_{pe} = \frac{1}{2}.k.x^2$ (k = constante de raideur et x = déformation). Énergie que possède un objet dans un champ de force de rappel élastique, interaction proportionnelle à la déformation.

- Énergie qui peut être transmise de proche en proche : **l'énergie interne U**.

Cette énergie tient compte essentiellement de toutes les interactions existantes entre les constituants du système et de leur l'agitation.

Son expression est souvent issue d'une analyse statistique, une moyenne sur un grand nombre de particules.

Exemples :

- Énergie d'agitation thermique U_{th} .
- Énergie chimique
- Énergie nucléaire
- Energie potentielle microscopique : énergie d'état physique

2°) Différentes formes de transfert d'énergie

- Travail : W .

Le travail est la quantité d'énergie fournie à un système grâce à un déplacement : il peut s'agir d'un déplacement global du système ou de sa déformation (déplacement de ses parois).

- Chaleur Q ou transfert thermique.

La chaleur est la quantité d'énergie fournie à un système par contact de proche en proche entre les constituants de la matière.

- Par rayonnement : R .

Par convention, ces transferts d'énergie sont comptés :

- *positivement s'ils sont reçus par le système ;*
- *négativement s'ils sont cédés par le système.*

II- Travail.

Le travail représente la variation d'énergie d'un système due à l'application d'une force agissant sur une distance.

1°) Travail d'une force constante

Un système est soumis à une force $\vec{F}$ dont le point d'application se déplace d'un point A à un point B. Si $\vec{F}$ est constante tout le long de la trajectoire, on définit son travail par la relation :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \cdot AB \cdot \cos(\widehat{\vec{F}, \overrightarrow{AB}}).$$

W s'exprime en **N.m ou encore en Joule (J)**.

Si $\vec{F}$ tend à favoriser le mouvement dans le sens du déplacement , $W > 0$; son travail est moteur.
Si $\vec{F}$ " " s'opposer au mouvement " " " " " , $W < 0$; son travail est résistant.

Si la trajectoire est repérée par quelques points A, M, N, ..., P, B ,

$$\begin{aligned} W_{A \rightarrow M}(\vec{F}) + W_{M \rightarrow N}(\vec{F}) + \dots + W_{P \rightarrow B}(\vec{F}) \\ = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AM} + \vec{F} \cdot \overrightarrow{MN} + \dots + \vec{F} \cdot \overrightarrow{PB} \\ = \vec{F} \cdot (\overrightarrow{AM} + \overrightarrow{MN} + \dots + \overrightarrow{PB}) \\ = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} \\ = W_{A \rightarrow B}(\vec{F}). \end{aligned}$$

Le travail total d'une force, le long d'une trajectoire, peut s'obtenir en additionnant tous les travaux partiels de cette force sur toutes les parties de cette trajectoire.

Exemple : travail du poids

Le poids est supposé constant le long de la trajectoire de l'objet. Son travail s'exprime alors en écrivant :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB}.$$

Dans un repère cartésien (O, x, y, z) où Oz représente l'axe vertical ascendant (donc z représente l'altitude du centre de gravité de l'objet), ces deux vecteurs ont pour coordonnées :

$\vec{P} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -mg \end{pmatrix}$ et $\overrightarrow{AB} \begin{pmatrix} x_B - x_A \\ y_B - y_A \\ z_B - z_A \end{pmatrix}$ et ainsi, le produit scalaire s'écrit :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = -mg \cdot (z_B - z_A) = mg \cdot (z_A - z_B)$$

Nous retiendrons : $W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = mg \cdot (z_A - z_B).$

Lorsque l'objet monte le poids a un travail résistant ;
lorsqu'il descend, le poids a un travail moteur.

2°) Travail d'une force variable

Nous gardons la même définition ; pour cela nous « découpons » la trajectoire en déplacements suffisamment « petits » pour pouvoir considérer la force constante. On parle de déplacements élémentaires notés $d\vec{l}$:

Le travail élémentaire s'écrit alors :

$$\delta W = \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

Le travail total de cette force s'obtient en additionnant tous les travaux élémentaires le long de la trajectoire.

Exemple : travail des forces de rappel

On considère un mobile dont le centre d'inertie est repéré par rapport à une position d'équilibre par la coordonnée x . Ce mobile est soumis à une force de rappel d'expression $\vec{F} = -k \cdot x \vec{i}$.

$$\delta W = -kx \cdot \vec{i} \cdot dx \cdot \vec{i} = -kx \cdot dx$$

Lorsque le mobile se déplace entre les abscisses x_A et x_B , le calcul exact de la sommation de tous les travaux élémentaires définit une intégrale :

$$W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \int_{x_A}^{x_B} -kx \cdot dx = \left[-\frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \right]_{x_A}^{x_B} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (x_A^2 - x_B^2).$$

Nous retiendrons : $W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (x_A^2 - x_B^2).$

3°) Puissance

La puissance est définie par un débit d'énergie, c'est-à-dire la quantité de travail par unité de temps :

$$P = \frac{\delta W}{dt}$$

Ce qui s'écrit encore :

$$P = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{l}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

Nous retiendrons : $P = \frac{\delta W}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$

Unité : le **WATT (W)**. (= J.s⁻¹).

III- Energie cinétique

L'énergie cinétique correspond à une énergie de mouvement.

Supposons un solide en mouvement de translation soumis à la seule force constante $\vec{F}$ entre deux points A et B.

$\vec{F} = m\vec{a}$ donc en projection sur l'axe tangentiel à la trajectoire $F_t = m.a_t$.

Le travail de cette force le long de la trajectoire a pour expression $W = F_t.l = m.a_t.l$.

En prenant pour hypothèse $a_t = \text{cte}$ (ce qui est vérifié sur des déplacements élémentaires), nous déduisons :

$$\begin{aligned} v_B &= a_t.t + v_A & \Rightarrow & t = \frac{v_B - v_A}{a_t} \\ \ell &= \frac{1}{2}.a_t.t^2 + v_A.t = \frac{1}{2}.a_t.\left(\frac{v_B - v_A}{a_t}\right)^2 + v_A.\left(\frac{v_B - v_A}{a_t}\right) & \Rightarrow & 2.l.a_t = v_B^2 - v_A^2 \end{aligned}$$

Nous déduisons le résultat : $W = \frac{1}{2}.m.v_B^2 - \frac{1}{2}.m.v_A^2$.

Comme nous l'avons déjà suggéré, ce résultat peut être généralisé à des forces non constantes mais sur des déplacements élémentaires, qui, ajoutés, restituent la trajectoire complète.

Cette relation exprime que le travail W permet de fournir de l'énergie de mouvement à un corps solide. Cette énergie a pour expression $\frac{1}{2}.m.v^2$.

Nous retiendrons qu'un **corps rigide (un solide), de masse m, en mouvement de translation** (rappel : chaque point du solide a, à chaque instant le même déplacement, la même vitesse), **possède l'énergie cinétique (dite de translation)** dont l'expression est :

$$E_c = \frac{1}{2}.m.v^2$$

De plus, le travail total effectué pour accélérer un corps rigide en mouvement de translation, est égal à la variation de son énergie cinétique :

$$\text{Théorème de l'énergie cinétique : } W_{A \rightarrow B}(\Sigma \vec{F}_{ext}) = \Delta E_c = \frac{1}{2}.m.v_B^2 - \frac{1}{2}.m.v_A^2$$

Remarque 1 : le théorème de l'énergie cinétique ne peut pas toujours être appliqué dans le cas des objets déformables. En effet, il faudrait tenir compte dans ce cas là des interactions et des déplacements très diversifiés des points constituant cet objet.

Remarque 2 : pour un solide en mouvement de rotation, l'énergie cinétique s'obtient en additionnant toutes les énergies cinétiques de tous les points constituant l'objet. On suppose que le solide est en mouvement de rotation autour d'un axe fixe (Δ). L'objet est constitué de masse m_i située à la distance r_i de l'axe de rotation.

L'énergie cinétique s'écrit alors :

$$E_c = \sum \frac{1}{2}.m_i.v_i^2 = \sum \frac{1}{2}.m_i.(r_i.\omega)^2 = \sum \frac{1}{2}.(m_i.r_i^2).\omega^2$$

Le terme $\sum(m_i.r_i^2)$ est une grandeur géométrique qui caractérise le solide étudié. Il est appelé moment d'inertie du solide par rapport à l'axe de rotation (Δ). Il est noté I.

Nous retiendrons :

$$\text{Energie cinétique d'un solide en rotation autour d'un axe fixe : } E_c = \frac{1}{2}.I.\omega^2$$

IV- Energie potentielle

Cette énergie est associée à la distance relative entre deux corps en interaction. L'idée est de considérer que **certaines forces, susceptibles de restituer l'énergie qu'elles ont emmagasinée, sont dites conservatives.**

Par définition, **la variation de l'énergie potentielle d'un corps, lorsqu'il est déplacé d'un point où il est immobile à un autre point où il est immobile aussi, est égal au travail effectué pour vaincre l'interaction conservative qui emmagasine de l'énergie.**

Dit autrement, la variation de l'énergie potentielle d'un objet dans un champ de forces conservatives, est égal au travail d'un opérateur qui déplacerait l'objet d'un point à un autre. Ce travail est l'opposé du travail du champ de force sur cet objet.

Si $\vec{F}$ est un champ de force conservatif :

$$\Delta E_p = E_{pB} - E_{pA} = - W_{A \rightarrow B}(\vec{F})$$

Exemple 1 : énergie potentielle de pesanteur

Un objet dans le champ de pesanteur est déplacé d'un point A à l'altitude h_A au point B à l'altitude h_B . Le travail de l'opérateur s'écrit :

$$W_{op} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) = -mg(h_A - h_B) = E_{pB} - E_{pA}.$$

Nous en déduisons l'expression de **l'énergie potentielle de pesanteur :**

$$E_{pp} = m.g.h$$

L'énergie potentielle est définie à une constante additive près, qui est choisie conventionnellement.

Exemple 2 : énergie potentielle élastique.

Un objet est soumis à l'action d'une force de rappel proportionnelle à l'écart, noté x , par rapport à la position d'équilibre, par exemple celle d'un ressort.

Nous pouvons écrire de même :

$$W_{op} = -W_{A \rightarrow B}(\vec{F}) = -\frac{1}{2} \cdot k \cdot (x_A^2 - x_B^2) = E_{pB} - E_{pA}.$$

Nous en déduisons l'expression de **l'énergie potentielle élastique :**

$$E_{pe} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

IV- Energie mécanique

Par définition, l'énergie mécanique d'un objet dans un champ de forces conservatives, est la somme de l'énergie potentielle et de l'énergie cinétique.

$$E_m = E_c + E_p$$

Si on considère un solide indéformable soumis à des forces conservatives et à des forces non conservatives (par exemple des forces de frottement:

le théorème de l'énergie cinétique s'écrit :

$$\Delta E_c = W(\vec{F}_{conservatives}) + W(\vec{F}_{non\ conservatives}) = -\Delta E_p + W(\vec{F}_{non\ conservatives})$$

$$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p = W(\vec{F}_{non\ conservatives})$$

Si aucune force ne s'exerce sur le solide dans le champ de forces conservatives,

$W(\vec{F}_{non\ conservatives}) = 0$, l'énergie mécanique est alors conservée.

(D'où le qualificatif « conservatif » d'un tel champ de force).

V- Energie interne

Cette énergie tient compte essentiellement de toutes les interactions existant entre les constituants du système et de leur agitation.

Son expression est souvent issue d'une analyse statistique, une moyenne sur un grand nombre de particules.

Exemple :

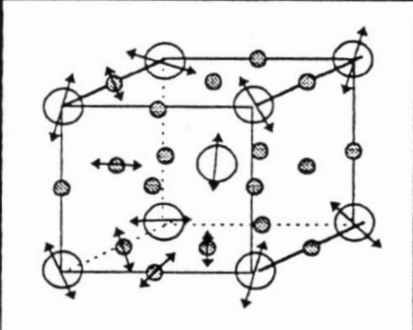
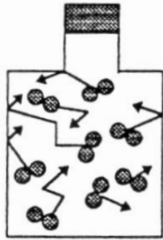
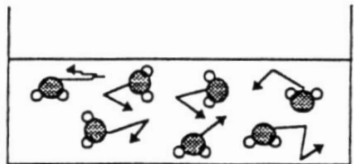
1°) Énergie d'agitation thermique U_{th}

- Pour un corps condensé, elle prend l'expression :

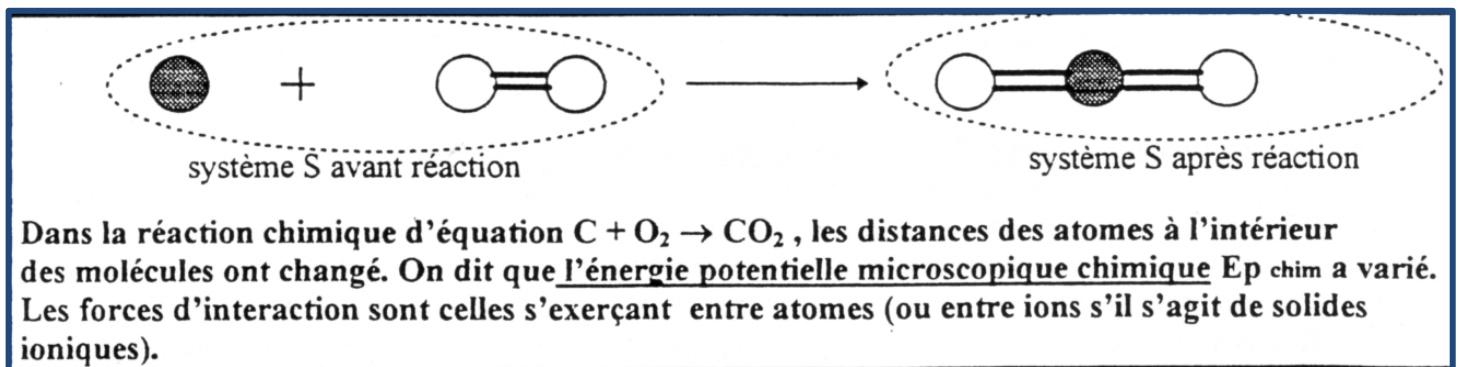
$$U_{th} = C \cdot T = m \cdot C_m \cdot T$$

où C et C_m représentent respectivement **la capacité thermique** et **la capacité thermique massique** de l'objet considéré (**en $J.K^{-1}$ et $J.K^{-1} kg^{-1}$**).

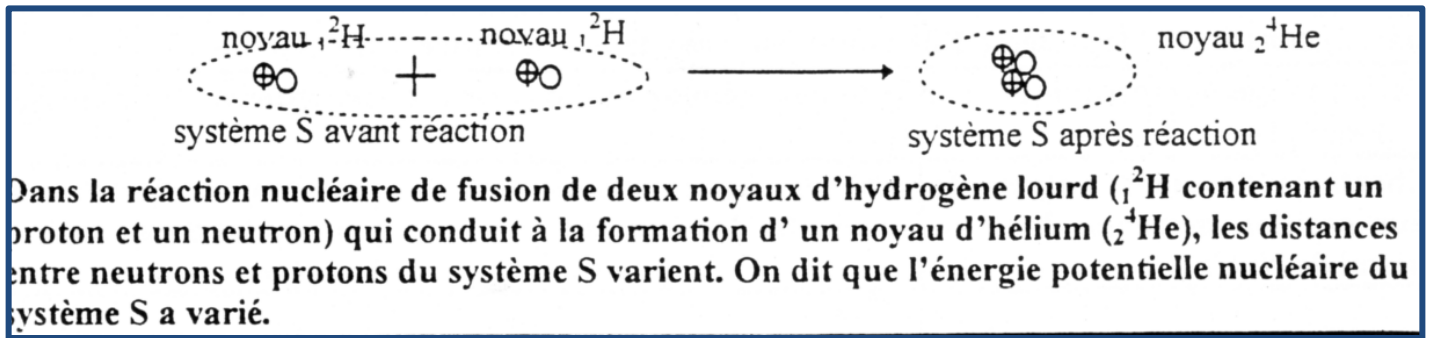
- Puisqu'on néglige les interactions entre particules dans un gaz parfait, l'énergie interne d'un gaz parfait ne dépend que de la température.
U s'écrit comme précédemment pour un gaz parfait.

vibrations des ions autour de leur position moyenne dans un cristal de NaCl.	mouvement désordonné des molécules dans un gaz	mouvement désordonné des molécules d'eau dans l'eau liquide
		

2°) Énergie chimique

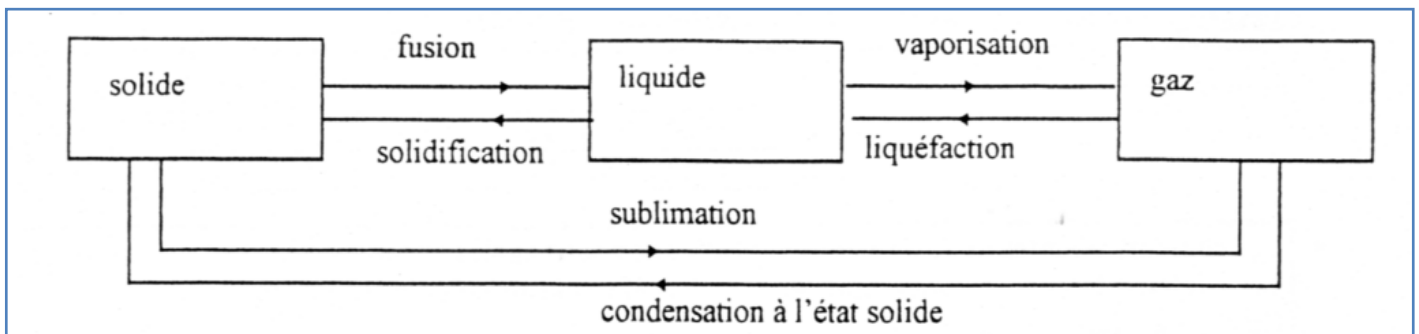


3°) Énergie nucléaire



4°) Énergie potentielle microscopique : énergie d'état physique

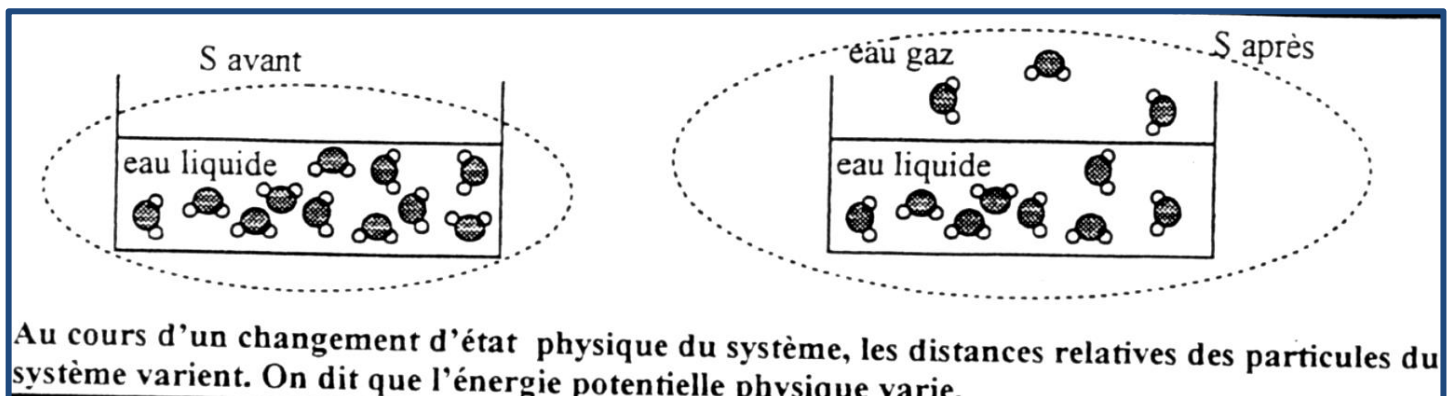
Au cours du **changement d'état d'un corps pur**, la température reste constante tant que coexistent les deux phases. Ceci n'est plus vrai pour un mélange.



On appelle **chaleur latente L** la variation d'énergie d'un kilogramme d'un corps pur lors d'un changement d'état. Elle dépend :

- de la nature du corps qui change d'état physique ;
- du type de changement d'état.

- Les chaleurs latentes de fusion, de vaporisation et de sublimation sont positives ;
- les chaleurs latentes de solidification, liquéfaction et de condensation sont négatives.
- les chaleurs latentes de fusion et solidification, de vaporisation et de liquéfaction et enfin de sublimation et de condensation sont égales en valeur absolue.



VI- Chaleur ou transfert thermique

- **Conduction thermique** : transmission de proche en proche de l'agitation thermique, sans déplacement de matière.
Quand deux corps en contact, sont à une température différente, le flux thermique s'effectue : du corps de température plus élevée, vers celui de température la moins élevée.
- **Le flux thermique** entre un système et son milieu extérieur, représente la quantité de chaleur Q transférée par unité de temps :

$$\Phi (W) = \frac{Q (J)}{\Delta t (s)}$$

- **La résistance thermique** mesure la capacité d'un milieu à s'opposer au transfert thermique :

$$R_{th}(K.W^{-1}) = \frac{T_A - T_B}{\Phi}$$

- **Convection thermique** : transmission par contact de l'agitation thermique avec un fluide qui se déplace.

VII- Énergie totale d'un système

L'énergie totale du système étudié s'écrit alors :

$$E = E_m + U \text{ avec } E_m = E_c + E_p$$

Premier principe de la thermodynamique :

L'état d'un système peut être décrit par son énergie.

- **L'énergie est une grandeur extensive.**
- **L'énergie de ce système varie de la quantité qui lui a été transféré de son milieu extérieur :**
 $\Delta E = \Delta E_m + \Delta U = W + Q + R.$

Formes d'énergie	Em		Energie interne : U				
	Ec	Ep	Ep _{agitation}	Ep _{chimique}	Ep _{nucléaire}	Ep _{physique}	
varie avec :	la vitesse	les positions relatives des parties macroscopiques du système	la température	la nature des liaisons chimiques au cours d'une réaction chimique (nuage électronique)	la nature des liaisons nucléaires au cours d'une réaction nucléaire (Nucléons)	Un changement d'état physique	