

Th1 - Les différentes formes d'énergie

Le programme de physique s'articule autour de la notion fondamentale d'énergie. L'énergie ne peut être ni produite ni détruite, elle se transforme. Il est donc important de connaître les différentes formes prises par l'énergie.

Nous distinguerons l'échelle **macroscopique**, qui correspond à l'échelle du système étudié dans son ensemble, directement accessible expérimentalement, de l'échelle **microscopique** qui correspond à l'échelle des composants élémentaires du système (atomes ou molécules).

I. Les formes d'énergies macroscopiques

I.1. Énergie cinétique

Un point matériel de masse m en mouvement à la vitesse v par rapport à un référentiel donné possède une énergie de mouvement dite énergie cinétique définie par

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2$$

L'énergie cinétique est parfois utilisée pour stocker l'énergie mais plutôt de l'énergie cinétique de rotation : récupération de l'énergie de freinage, du surplus d'électricité produite.

I.2. Énergie potentielle

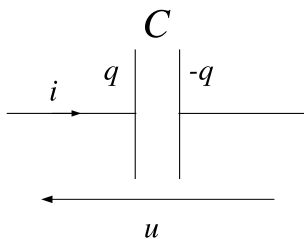
On a vu dans le cours de mécanique qu'on pouvait associer à toute force conservative une énergie potentielle E_p . Par exemple, on associe au poids l'énergie potentielle de pesanteur :

$$E_{pp} = mgz + cte \quad \text{si } z \uparrow$$

À une force élastique créée par un ressort de raideur k et de longueur à vide ℓ_0 , on associe l'énergie potentielle :

$$E_{pe} = \frac{1}{2}k(\ell - \ell_0)^2 + cte$$

I.3. Énergie électrique



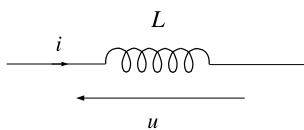
Un condensateur chargé possède l'énergie (voir M4 paragraphe V) :

$$E_e = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} CU^2$$

Cette énergie est stockée sous forme de champ électrique, créé entre les deux armatures du condensateur.

On utilise aujourd'hui des "supercondensateurs" pour stocker et fournir pendant un temps court de l'énergie électrique. Ils sont beaucoup moins polluants que les batteries actuelles mais ils ne permettent pas de stocker beaucoup d'énergie.

I.4. Énergie magnétique



Une bobine d'inductance L parcourue par un courant d'intensité i possède l'énergie (voir M4 paragraphe V) :

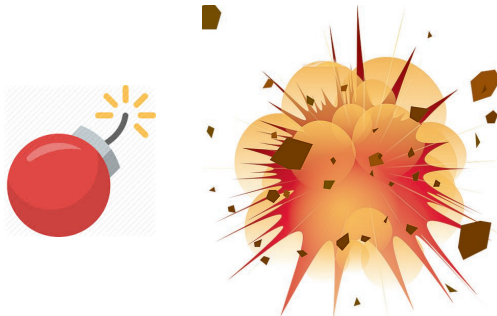
$$E_m = \frac{1}{2}Li^2$$

Cette énergie est stockée sous forme de champ magnétique, créé par le bobinage.

I.5. Non conservation de l'énergie mécanique

Lorsqu'une voiture freine sur une route horizontale, son énergie cinétique diminue alors que son énergie potentielle reste inchangée. Globalement son énergie mécanique a diminué. Or l'énergie ne pouvant disparaître, qu'est devenue cette énergie ?

L'énergie mécanique diminue : on dit qu'elle est dissipée par les forces de frottements. Les frottements provoquent un échauffement au niveau des zones de frottement. Or une augmentation de température traduit une augmentation de l'agitation thermique au niveau microscopique et donc à une augmentation de l'énergie cinétique au niveau microscopique.



Un pain de dynamite semble tout à fait inoffensif... et puis il suffit d'allumer une mèche et l'explosion provoquée permet de récupérer une très grande énergie.

L'énergie chimique intervient ici.

Pour faire un bilan énergétique complet, il est nécessaire de tenir compte de l'énergie stockée au niveau microscopique.

II. Énergie interne

II.1. Définition

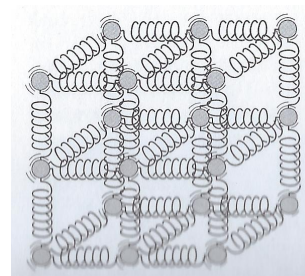
On se place dans un référentiel où le système considéré est **macroscopiquement au repos** : il n'y a pas d'écoulement ni de mouvement de convection au sein du système.

Les notions d'énergie cinétique et d'énergie potentielle associée à des forces conservatives, définies initialement à l'échelle macroscopique, s'appliquent également aux constituants microscopiques de la matière.

Au niveau microscopique, les molécules sont animées de mouvements désordonnés liés à l'agitation thermique. Elles possèdent donc une énergie cinétique. On peut alors définir E_{micro} comme la somme de toutes les énergies cinétiques microscopiques.

Par ailleurs, à l'échelle microscopique les forces d'interaction entre les constituants microscopiques de la matière sont conservatives :

- dans un solide on peut, grâce à l'approximation harmonique, modéliser les forces intermoléculaires d'origine électromagnétique qui assurent la cohérence du réseau cristallin par des ressorts (voir figure ci-contre).



- les molécules d'un gaz interagissent à distances (interaction de van der Waals). Ces forces sont d'origine électromagnétique. On peut leur associer une énergie potentielle d'interaction.
- les atomes d'une même molécule interagissent entre eux. Ces interactions, d'origine électromagnétique, peuvent être modélisées elles aussi par des forces de type élastique. Leur fréquence propre permet de caractériser la liaison entre les deux atomes considérés (ex : liaison O - H).

On définit alors l'énergie interne U d'un système :

L'**énergie interne** U d'un système macroscopiquement au repos dans le référentiel d'étude est la somme

- des énergies cinétiques de tous ses composants microscopiques (mouvement d'agitation thermique)
- des énergies potentielles d'interaction entre ses composants microscopiques

L'énergie interne s'exprime donc en joule (symbole J).

L'énergie interne U est une **fonction d'état extensive** du système. On peut donc l'écrire sous la forme d'une fonction des variables d'état du système. Compte tenu de son extensivité, U sera multiple de n nombre de moles contenues dans le système (ou de m_{sys} masse du système).

Notation :

Soit un système thermodynamique fermé évoluant d'un état d'équilibre initial (1) vers un état d'équilibre final (2). On note ΔU la variation d'énergie interne de ce système entre ces deux états.

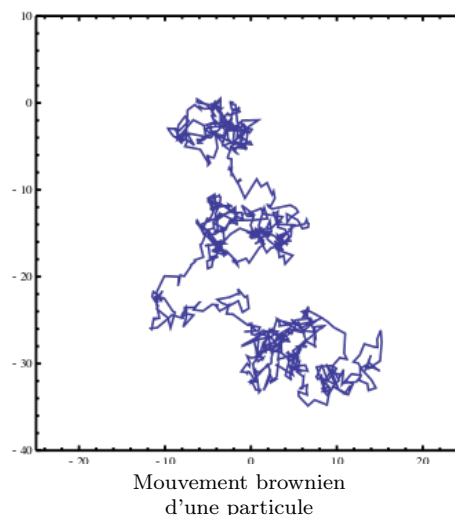
$$\Delta U = U_2 - U_1$$

L'énergie interne étant une **fonction d'état**, cette variation ne dépend que de l'état initial et de l'état final et est indépendante de la nature de transformation qu'a subi le système pour aller de l'état 1 à l'état 2.

II.2. Une manifestation visible de l'agitation thermique : le mouvement brownien

Les composants microscopiques de la matière sont animés de mouvements désordonnés qui s'amplifient lorsque la température augmente : c'est l'**agitation thermique**.

Une des manifestations de l'agitation thermique est le mouvement brownien. Ce phénomène a été décrit pour la première fois en 1827 par le botaniste Robert Brown. De manière générale, lorsqu'on observe des particules de taille de l'ordre du micromètre en suspension dans un liquide, ces particules suivent des trajectoires erratiques, sous l'effet des chocs permanents avec les molécules de liquide en perpétuel mouvement d'agitation thermique.



On peut par exemple observer ce mouvement sur le site :

http://www.canal-u.tv/video/cerimes/le_mouvement_brownien.10217

et en voir une modélisation sur le site :

<http://ressources.univ-lemans.fr/AccesLibre/UM/Pedago/physique/02/thermo/brown.html>

Le physicien français Jean Perrin a beaucoup étudié expérimentalement ce mouvement. La théorie du mouvement brownien a été établie par Einstein en 1905.

II.3. Température et énergie cinétique microscopique (hors programme)

On a vu que 1 mm^3 d'air dans les conditions ambiantes contenait 10^{16} molécules et 1 mm^3 d'eau environ mille fois plus. On ne peut donc pas suivre le mouvement de chaque molécule mais on peut leur appliquer un traitement statistique.

La **température cinétique** T mesure l'énergie cinétique moyenne de translation des particules microscopiques. Par définition :

$$\langle E_c \rangle = \frac{3}{2} k_B T$$

où $\langle E_c \rangle = \langle \frac{1}{2} m v^2 \rangle$ désigne l'énergie cinétique moyenne de translation d'un atome ou d'une molécule de masse m .

La température T se mesure en kelvin (symbole K).

k_B est appelée constante de Boltzmann. On a $k_B = \frac{R}{\mathcal{N}_A}$ avec $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ constante des gaz parfaits et $\mathcal{N}_A = 6,02.10^{23} \text{ mol}^{-1}$ la constante d'Avogadro.

$$k_B = \frac{R}{\mathcal{N}_A} = 1,38.10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$$

Remarques :

- Le choix de la constante k_B permet de faire coïncider l'échelle de température définie par le gaz parfait et la température cinétique (voir paragraphe suivant).
- L'énergie cinétique ne pouvant être négative, on comprend pourquoi la température minimale absolue est 0 K (soit $-273,15^\circ\text{C}$).

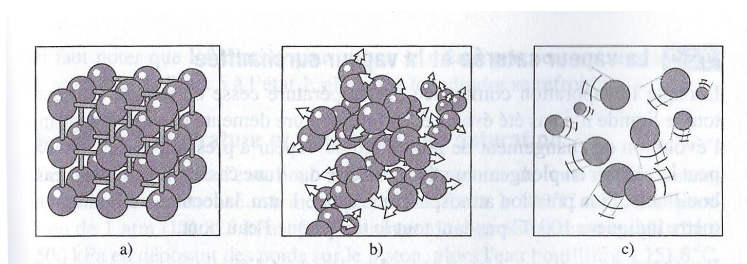
II.4. Variation de U avec la température

Une augmentation de température traduit une augmentation de l'énergie cinétique microscopique d'un système et donc de son énergie interne U .

On précisera ultérieurement la relation existant entre la variation de l'énergie interne et la variation de température.

II.5. Variation de U avec le changement d'état

Dans un solide (a) les atomes ou les molécules sont fortement liés entre eux ; ils sont beaucoup moins liés dans l'état liquide (b) et très peu liés dans l'état gazeux (c). Il faut donc fournir de l'énergie pour faire passer un corps pur de l'état solide à l'état gazeux pour séparer les atomes ou molécules du réseau cristallin. Il faut également en fournir lors du passage de l'état liquide à l'état gazeux, pour éloigner les atomes ou molécules les un des autres.



À une température donnée, l'énergie des molécules dans un gaz est plus élevée que celle des molécules dans un liquide, elle-même plus élevée que l'énergie des molécules dans un solide.

Par conséquent, **pour une température donnée, l'énergie interne d'un corps pur augmente quand on passe de la phase solide à la phase liquide.**

De même, **pour une température donnée, l'énergie interne d'un corps pur augmente quand on passe de la phase liquide à la phase vapeur.**

Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Formes d'énergie	
L'énergie fonction d'état Stockage de l'énergie	Citer différentes formes d'énergies et les paramètres les caractérisant ; énergie cinétique (vitesse), énergie potentielle (position), énergie électrostatique (tension), énergie magnétique (intensité).
Énergie interne U d'un système	Associer la modification de la température, le changement de phase d'un système, à la variation d'énergie interne.