

## La notion (délicate) d'énergie

### Un brin d'histoire

Le concept d'énergie est fondamental pour l'étude des phénomènes de transformation (comme la chimie et la métallurgie) et de transmission mécanique, qui sont la base de la révolution industrielle. Le concept physique d'énergie s'est donc logiquement affirmé au XIX<sup>ème</sup> siècle.

En 1686, Leibniz montre que la quantité  $mv^2$ , appelée « *force vive* », se conserve. En 1788, Lagrange montre l'invariance de la somme de deux quantités, que l'on appellera plus tard « énergie cinétique » et « énergie potentielle ».

Au XIX<sup>ème</sup> siècle, on parvient par une série d'expériences à mettre en évidence des constats ou lois :

- On constate que la chute d'un poids donné d'une même hauteur produit toujours le même échauffement (calorimétrie) ;
- Si la vitesse finale n'est pas nulle, la hausse de température est moindre, comme si seulement une partie de la chute était convertie en vitesse et le reste en chaleur ;
- De même un échauffement pourra produire une dilatation, une augmentation de pression, qui elle-même permettra de « produire un travail » par exemple en déplaçant une masse ;
- Le total est toujours conservé : ainsi naît le concept scientifique d'énergie, « chose » encore indéterminée mais dont on postule une propriété : l'énergie se conserve dans tous les phénomènes, devenant tour à tour, pression, vitesse, hauteur, etc.

Ainsi, grâce à l'énergie, on peut mettre en relation des observations aussi différentes qu'un mouvement, une rotation, une température, la couleur d'un corps ou d'une lumière, une consommation de sucre ou de charbon, une usure, etc.

Il apparaît également que si l'énergie se conserve et se transforme, certaines transformations sont faciles ou réversibles et d'autres non.

Par exemple, il est facile de transformer de la hauteur de chute en échauffement, on peut le faire intégralement, en revanche l'inverse est difficile (il faut des appareils complexes) et une partie de l'« énergie » devra être diffusée et donc perdue. Cette observation sera à la base de l'idée d'entropie en thermodynamique.

À partir du concept de conservation de l'énergie (en quantité), on pourra regarder d'un œil différent des systèmes complexes (notamment biologiques et chimiques) qui violent apparemment cette loi et on parviendra, moyennant de nouveaux progrès scientifiques, à toujours valider le postulat ou principe de conservation de l'énergie.

### Diverses formes d'énergie

En pratique, on distingue souvent différentes « formes » d'énergie. Toutefois, il faut être conscient que l'énergie sert à mesurer l'intensité d'un phénomène, cette division n'est qu'une manière de faire correspondre l'énergie au phénomène qu'elle mesure. Par ailleurs, cette distinction n'a rien d'absolu, mais dépend uniquement de la position de l'observateur : le principe de relativité s'applique aussi à l'énergie, de sorte que le même phénomène pourra être analysé en termes d'énergie « cinétique », « électromagnétique », ou « potentielle »...

Les formes d'énergie classiquement considérées sont :

- Énergie cinétique : l'énergie associée au mouvement d'un corps ou d'une particule ; cela comprend également l'énergie électromagnétique transportée par les photons (lumière, ondes radio, rayons X et  $\gamma$ ...) ou par des particules chargées (énergie électrique) ;
- Énergie thermique : l'énergie cinétique d'un ensemble au repos ;

- On peut dire que les autres types d'énergie sont des énergies potentielles : moyennant un petit changement, possible sans travail, un système instable se transforme en un système plus stable, avec dégagement de la différence d'énergie entre les deux systèmes (le plus stable ayant une énergie moindre) ;
  - Énergie potentielle mécanique (énergie potentielle de gravité ou énergie potentielle élastique) qui forme avec l'énergie cinétique ce qu'on appelle l'énergie mécanique ;
  - énergie potentielle chimique ;
  - Énergie potentielle gravitationnelle ;
  - Énergie potentielle électromagnétique (énergie potentielle électrostatique ou magnétostatique): position instable d'une ou plusieurs particule(s) chargée(s) dans un champ électromagnétique, par exemple l'énergie stockée dans un condensateur ou dans une bobine électrique ;
  - Chaleur latente ;
  - Énergie libre.

Dans la théorie de la relativité, Einstein établit l'existence de deux formes d'énergie seulement :

- Énergie cinétique, due à la masse et à la vitesse relative du corps ;
- Énergie de masse : masse et énergie au repos sont équivalentes (le fameux  $E= mc^2$ ). Cette forme d'énergie inclut toutes les formes d'énergies précédentes dans la vision classique : un apport d'énergie « classique » – telle que la tension d'un arc – augmente la masse du système de façon généralement infime, sauf dans le cadre des réactions nucléaires. Par exemple, lors de fission nucléaire, la masse totale de matière diminue légèrement. La masse « manquante », immatérielle, est sous forme d'énergie cinétique des particules ou énergie thermique. Dans les centrales nucléaires, cette énergie thermique est ensuite récupérée pour la production d'électricité.

### Notion de travail

Le travail est un transfert ordonné d'énergie entre un système et le milieu extérieur.

Considérons un ensemble cylindre, piston, lequel est à la base de l'obtention de travail mécanique par action de la chaleur. À l'échelle microscopique les chocs des particules de gaz sur le piston définissent la pression exercée sur celui-ci à l'échelle macroscopique. Chaque choc contribue au déplacement, concerté avec les autres chocs, du piston dans la même direction. Il y a addition des forces induites par chaque choc et c'est pourquoi le transfert d'énergie est considéré comme ordonné.

Si l'on considère maintenant le travail électrique. Il est dû au déplacement des électrons dans un conducteur sous l'influence d'un champ électrique. Ici encore l'ensemble des électrons se déplace dans la même direction et les effets s'additionnent au niveau macroscopique.

### Notion de chaleur

La chaleur est un transfert désordonné d'énergie entre le système et le milieu extérieur.

La chaleur est un transfert d'agitation thermique. L'agitation des particules se propage au gré des chocs dans toutes les directions, de façon désordonnée. C'est pour cette raison que l'on ne peut jamais transformer intégralement de l'énergie thermique en travail alors que l'inverse est possible (exemple : travail électrique transformé en chaleur par effet Joule dans un radiateur électrique). On dit encore que la montée en température correspond à une dégradation de l'énergie.

Ce transfert thermique, appelé chaleur, s'effectue du système le plus chaud vers le plus froid, c'est-à-dire celui dont les particules sont statistiquement les plus agitées, va transmettre son

agitation thermique au gré des chocs plus ou moins énergétiques, au milieu extérieur ou au système statistiquement le moins agité, c'est-à-dire le plus froid. Cette constatation intuitive est formalisée par le second principe de la thermodynamique.

Nota

- Le travail et la chaleur ne sont pas des fonctions d'état. Leur quantité, mise en jeu au cours d'une transformation, dépend de la façon dont on procède.
- La chaleur est une notion distincte de celle de température : l'expérience des trois bassins<sup>1</sup> le montre bien.

### Conservation de l'énergie

L'énergie ne peut ni se créer ni se détruire mais uniquement se transformer d'une forme à une autre (principe de Mayer) ou être échangée d'un système à un autre (principe de Carnot). C'est le principe de conservation de l'énergie : l'énergie est une quantité qui se conserve.

Ce principe empirique a été validé, bien après son invention, par le théorème de Noether. La loi de la conservation de l'énergie découle de l'homogénéité du temps. Elle énonce que le mouvement ne peut être créé et ne peut être annulé : il peut seulement passer d'une forme à une autre. Afin de donner une caractéristique quantitative des formes de mouvement qualitativement différentes considérées en physique, on introduit les formes d'énergie qui leur correspondent.

### Notion de puissance

L'énergie dépensée pour créer un phénomène mesure l'ampleur du phénomène final. Cette énergie est fournie par un autre phénomène, appelé « phénomène moteur ».

Certains phénomènes moteurs vont faire le travail rapidement, d'autres plus lentement ; par exemple, un manutentionnaire gringalet mettra longtemps avant de monter des parpaings un par un en haut de l'échafaudage, alors qu'un manutentionnaire musclé en portera plusieurs à la fois et sera plus rapide (en revanche, le résultat final sera exactement le même).

### Notion de transferts thermiques

Les transferts thermiques font partie d'un domaine de la thermodynamique appelé *thermodynamique irréversible*, c'est-à-dire, pour simplifier, que le phénomène ne peut pas revenir en arrière.

L'énergie transférée se présente essentiellement sous forme de chaleur qui va spontanément d'une zone chaude vers une zone froide (Second principe de la thermodynamique). Ce transfert de chaleur peut être accompagné d'un transfert de masse. Ce phénomène se présente sous trois formes différentes :

- conduction

La conduction thermique est le phénomène par lequel la température d'un milieu s'homogénéise. Il correspond à la transmission de l'agitation thermique entre molécules et se produit dans un solide, un liquide ou un gaz. Exemple : la température d'un barreau chauffé à une extrémité a tendance à s'uniformiser par conduction thermique.

---

<sup>1</sup> De gauche à droite : un bassin d'eau chaude, un bassin d'eau tiède et un bassin d'eau froide. Les 2 mains de l'observateur sont plongées dans les bassins de gauche et de droite puis, après quelques minutes, dans le bassin d'eau tiède au milieu : la main gauche a une sensation de fraîcheur, la main droite une sensation de chaleur... et pourtant la température de l'eau tiède est fixée !

- convection

La convection est le transfert de chaleur provoqué par le mouvement des particules d'un fluide. Il se produit dans un fluide en mouvement. Exemple : l'air chaud, moins dense, monte, transportant la chaleur du bas vers le haut.

- rayonnement

Le rayonnement est le transfert de chaleur par propagation d'ondes électromagnétiques ou par désintégration radioactive. Il peut se produire dans tous les milieux, vide y compris. Exemple : la Terre est chauffée par le rayonnement du soleil.

Chacun de ces trois modes est prépondérant dans son univers de prédilection : la conduction dans les solides, la convection dans les fluides en mouvement (liquides, gaz), le rayonnement dans le vide (où c'est le seul mode possible).

### Lieux communs sur l'énergie

La notion d'énergie est assez floue pour avoir donné, dans l'imagerie populaire, la conception d'une sorte de fluide qui passerait d'un objet à l'autre au cours des transformations, réminiscence du concept de phlogistique (un « fluide immatériel » censé véhiculer la chaleur)<sup>6</sup>.

Le terme « énergie » revient fréquemment dans les discours pseudo-scientifiques (avec les ondes) ou encore dans les « pratiques énergétiques » (comme le Reiki, dans lesquelles l'énergie serait une substance d'origine divine). On entend ainsi parler d'énergie « pure » (alors que l'énergie ne fait que décrire l'état de quelque chose d'autre), ou d'une « énergie encore inconnue »...

La différence entre les « énergies » du discours pseudo-scientifique se situe au niveau de la définition : en physique, l'énergie est une grandeur précisément définie, quantifiable et mesurable. Ceci implique que l'on puisse être capable de *mesurer* précisément l'énergie (cinétique, potentielle...) ou ses variations, au moins du point de vue théorique. Ceci n'est pas le cas des pseudo-énergies telle que « l'énergie psychokinétique » ou « cosmique » qui ne sont pas vérifiables ni réfutables, leur existence ne pouvant être prouvée et donc non scientifiques.

Ainsi, lorsque l'on parle « d'énergie cinétique » d'un corps, celle-ci peut être précisément définie, pour un corps considéré comme ponctuel<sup>7</sup>, et en mécanique classique par la formule :

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

où  $m$  est la masse du corps et  $v$  sa vitesse dans le référentiel d'étude du mouvement. La quantité est donc clairement définie, avec un domaine de validité précis (ici  $v < c$  et hors domaine quantique, corps ponctuel). Aucune formule (ni à travers aucun fait) ne donnera jamais l'expression, même approximative, de « l'énergie psychokinétique » dans les croyances de l'ésotérisme...

Seule la mathématisation du concept d'énergie permet d'éviter les confusions et les contradictions inhérentes à l'ancienne vision substantialiste et holistique. Ainsi l'énergie en général ne peut être définie : ce n'est autre qu'une grandeur physique, numérique, associée à une situation concrète (par exemple, le mouvement d'un corps pour l'énergie cinétique, une interaction pour une forme d'énergie potentielle, etc.). C'est par le nombre que la notion d'énergie atteint un degré d'objectivité adéquat en physique moderne.

La confusion est en partie entretenue par des simplifications de langage, où par commodité on énonce parfois que :

une onde est un transport d'énergie sans transport de matière  
– ou bien –  
la masse est une forme d'énergie :  $E = mc^2$

alors que des formulations plus précises (mais parfois plus longues) seraient :

une onde propage une perturbation, dont l'intensité peut s'exprimer comme une énergie, sans transporter de matière  
– et –  
la masse peut se transformer en photons (désintégration), en liaison nucléaire (la masse du noyau atomique est inférieure à la somme des masses des nucléons pris individuellement), des photons peuvent se transformer en masse (transformation d'un photon gamma en paire électron-positron) ; l'intensité de la masse peut donc comme tous ces phénomènes s'exprimer sous la forme d'une énergie.

On ne peut donc pas séparer la notion d'énergie de la forme sous laquelle elle est stockée.