

## La découverte de la loi de conservation de l'énergie

Au moins 12 scientifiques (Sadi Carnot, Marc Séguin, Karl Holtzmann, Gustave-Adolphe Hirn, William Grove, Michael Faraday, Ludwig Colding, Karl Friedrich Mohr, Justus von Liebig, James Prescott Joule, Julius Robert von Mayer et Hermann von Helmholtz) formulent tous, à des degrés de perfection divers, le principe de conservation de l'énergie entre 1839 et 1850. Parmi ceux-ci, Helmholtz présente probablement la version la plus complète de ce principe en 1847. C'est un peu étonnant de constater qu'autant de savants aient pu découvrir la loi quasi simultanément, mais il faut dire que les conditions nécessaires à la découverte de la conservation de l'énergie étaient réunies au début du 19<sup>e</sup> siècle ce qui a fait en sorte que plusieurs chercheurs sont parvenus à assembler les pièces du puzzle menant à la découverte de la loi.

Quelles étaient donc ces conditions favorables ?

### De nouvelles transformations

Au début du 19<sup>e</sup> siècle, on est en mesure d'étudier plusieurs nouveaux phénomènes liés à des transformations d'énergie. Plusieurs de ces phénomènes ont été découverts par l'étude des machines à vapeur et l'utilisation de la pile électrique.

Afin d'améliorer l'efficacité des machines à vapeur, l'étude de ces dernières prend une importance capitale au début du 19<sup>e</sup> siècle. Cette étude implique qu'on doit examiner plusieurs processus de transformation tels que :

- 1) La combustion génère de la chaleur.
- 2) La chaleur peut générer du travail.
- 3) La compression d'un gaz génère de la chaleur.
- 4) Un gaz comprimé peut faire du travail.
- 5) La friction génère de la chaleur.

La pile électrique, inventée en 1800, permet l'étude de plusieurs nouveaux processus de transformation liés à l'électricité tels que :

- 1) Un courant électrique génère de la chaleur et parfois même de la lumière.
- 2) Un courant peut être créé par une réaction chimique (batterie).
- 3) Un courant électrique peut séparer des composés (électrolyse).
- 4) Un champ magnétique exerce une force sur des courants (ce qui mène à l'invention du moteur électrique).
- 5) Une boucle en mouvement dans un champ magnétique génère un courant.
- 6) La chaleur peut générer un courant (Effet Seebeck).

Il y a aussi quelques autres phénomènes de transformation étudiés tels que :

- 1) La lumière peut générer des transformations chimiques (photographie 1827).
- 2) La respiration est liée à la chaleur corporelle et au travail chez les humains et les animaux.

L'étude de ces transformations a demandé beaucoup de travail puisqu'il fallait préalablement définir et mesurer toute une série de quantités. Prenons les exemples de la mesure de l'efficacité des machines et de la chaleur pour montrer cette difficulté. Savery propose, dès 1702, de mesurer l'efficacité des machines à vapeur avec le travail  $F\Delta s \cos \theta$  et cette façon de mesurer ne s'impose qu'à la fin du 18<sup>e</sup> siècle après une lutte contre bien d'autres façons de mesurer qui avaient été proposées. (C'est d'ailleurs l'utilisation du travail  $F\Delta s \cos \theta$  par les ingénieurs qui amène son introduction en mécanique dans les années 1820.) Quant à la chaleur, elle est distinguée de la température par Joseph Black en 1761 et il faut attendre encore plusieurs années avant de s'entendre sur la façon de la mesurer et d'arriver à élucider comment elle fait fonctionner une machine à vapeur.

L'étude de ces phénomènes mène directement aux lois de transformations de l'énergie parce que les lois de Newton peuvent difficilement s'appliquer dans ces cas. Pour expliquer un phénomène avec les lois de Newton, il faut connaître les détails de chaque étape de la transformation, ce qui peut s'avérer presque impossible dans certains cas. Avec la conservation de l'énergie, il suffit de connaître uniquement les configurations initiales et finales sans avoir à connaître tous les détails de la transformation. Cette simplicité fait en sorte qu'on trouve souvent les lois de la conservation de l'énergie en premier.

### Une conviction que le principe de conservation existe

On trouve également, chez certains physiciens de l'époque, la conviction profonde qu'il doit exister une certaine unité en physique et que cette connexion implique une quelconque loi de conservation.

L'idée était déjà présente chez Descartes (conservation de  $mv$ ) et Leibniz (conservation de  $mv^2$ ). Dans le cas de la force vive  $mv^2$ , plusieurs savants de l'époque croyaient fermement qu'elle devait être toujours conservée, même si on observait qu'elle ne l'était que dans une collision avec des balles qui rebondissent bien. Pour préserver le principe de conservation, on disait que la force vive perdue se retrouvait sous une autre forme. Dans le cas des collisions, on suggérait que la force vive pouvait se transformer en déformation ou en énergie interne des atomes de l'objet (une idée déjà formulée par Gassendi en 1647 pour justifier l'apparente perte du  $mv$  de Descartes dans les collisions). Notez que personne n'entrevoit à l'époque que l'énergie cinétique puisse se perdre en chaleur dans une collision.

L'idée d'une certaine unité entre les phénomènes physiques est aussi présente dans un courant de pensée assez populaire en Allemagne au début du 19<sup>e</sup> siècle (la *Naturphilosophie*). C'est d'ailleurs cette croyance en certaines connexions entre les phénomènes physiques qui avait motivé Ørsted quand il a découvert le lien entre l'électricité et le magnétisme en 1820. Au moins 7 découvreurs du principe de conservation

(Colding, Helmholtz, Liebig, Mayer, Mohr, Hirn et Séguin) ont été influencés, à des degrés divers, par ce courant de pensée.

Depuis plusieurs siècles, on avait également la conviction que le mouvement perpétuel était impossible. En se basant sur ce principe, on en conclut qu'on ne peut obtenir quelque chose à partir de rien. Cela implique également une certaine idée de transformation d'une forme d'énergie en une autre et l'existence de facteurs de conversion. Par exemple, Volta affirme au début du 19<sup>e</sup> siècle que les courants électriques fournis par une batterie proviennent d'un simple contact entre métaux. De nombreux physiciens, dont Faraday, répliquent que sans transformations chimiques, on obtiendrait un courant à partir de rien et que cela pourrait permettre d'obtenir un mouvement perpétuel. Les transformations en boucle étaient également un indice important de l'existence du principe de conservation de l'énergie. On a une transformation en boucle si le système revient à son état initial après une série de transformations. Par exemple, on a une telle boucle quand on utilise une pile pour faire un courant et qu'on utilise ensuite ce courant pour charger une autre pile. Si on ne veut pas qu'il y ait de mouvement perpétuel, la charge reçue par la deuxième pile ne doit pas être plus grande que celle donnée par la première pile. Cela implique une certaine équivalence entre le courant généré et la quantité de produits chimiques transformée dans la réaction.

### *Comment la conservation de l'énergie a-t-elle été découverte ?*

En partant de points de départ très différents, les 12 découvreurs vont tous arriver à la même conclusion. Certains, comme Colding et Mohr, partent de cette conviction qu'il doit exister une loi de conservation et d'autres (la plupart) partent de l'étude d'un processus de conversion particulier (en fait, ils partent tous, sauf Mayer et Helmholtz, de l'étude des machines à vapeur ou des moteurs électriques). Dans tous les cas, leurs travaux les amènent alors à incorporer les résultats des travaux de ceux qui étudient d'autres transformations, pour ainsi arriver à une vision de plus en plus globale de la physique et, finalement, formuler le principe de conservation de l'énergie.

Illustrons cette démarche en examinant le parcours de James Prescott Joule. Tout commence en 1838 alors qu'il étudie l'efficacité des moteurs électriques. En voulant quantifier cette efficacité, il découvre les travaux de ceux qui étudiaient l'efficacité des machines à vapeur. Quand il s'intéresse aux batteries qui alimentent ces moteurs, il découvre les travaux en chimie de Faraday. Joule découvre ensuite en 1841 qu'une partie de l'énergie se perd en chaleur quand le courant passe dans les fils du moteur électrique. En voulant alors quantifier ce lien entre chaleur et travail, il élabore, en 1842, une célèbre expérience dans laquelle des masses qui descendent font tourner des pales dans l'eau.

<http://www.youtube.com/watch?v=bZbTZN6V7YI>

Le brassage de l'eau qu'entraîne le mouvement des pales provoque alors une augmentation de température. Joule peut alors mesurer le facteur de conversion entre le travail fait par les masses qui descendent et la chaleur générée. Ayant observé autant de connexions entre différents phénomènes, Joule en arrive à formuler sa première version du principe de conservation de l'énergie en 1843.

On aurait pu penser que la conservation de l'énergie a été découverte à partir de la conservation de l'énergie mécanique, mais ça n'a pas vraiment été le cas. La conservation de l'énergie mécanique n'a joué en fait qu'un rôle très mineur. Carnot fait le lien entre travail et énergie cinétique assez tôt, mais il faut attendre les années 1820 avant que ce lien ne soit clairement établi en mécanique. Une fois ce lien fait, il faut ensuite encore attendre les années 1840 pour que deux des découvreurs (Helmholtz et Mayer) mentionnent celui-ci (en le redécouvrant eux-mêmes). La découverte de la loi de la conservation de l'énergie a été faite en étudiant des transformations qui n'impliquaient pas vraiment de changement d'énergie cinétique par des chercheurs essentiellement intéressés par les machines à vapeur et les moteurs électriques. Les liens qui ont permis de découvrir la conservation de l'énergie ont été faits à partir du concept de travail utilisé depuis un siècle par les ingénieurs et non pas en généralisant le principe de conservation de l'énergie mécanique.