

Antoine Moreau



# TOUTE LA PHYSIQUE SANS LES ÉQUATIONS



ellipses

## CHAPITRE 1

# ÉNERGIE

L'ÉNERGIE est le concept le plus central de toute la physique. Et pour cause : lorsque les lois de la physique ne changent pas avec le temps (en général, c'est le cas), alors il y a un "truc", qu'on ne peut pas mesurer mais qu'on peut calculer, qui est *conservé*. C'est-à-dire qu'il y en a toujours autant. Cette quantité, c'est l'énergie. C'est un concept tellement puissant qu'il traverse toutes les disciplines de la physique, et c'est pourquoi ce premier chapitre lui est consacré !



### L'énergie se conserve

Pour vous parler de l'énergie, je vais commencer par un exemple : la pétanque. Je sais bien qu'on dit qu'il n'y a pas besoin de beaucoup d'énergie pour jouer à la pétanque. Certes. Mais nous allons cependant voir comment une partie de cette énergie est dépensée.

Lorsqu'une boule de pétanque vole vers sa cible, on dit qu'elle possède (du fait de sa vitesse) une énergie de mouvement, appelée l'énergie cinétique. En réalité, c'est vous qui avez fourni cette énergie à la boule, puisque c'est vous qui l'avez lancée. Plus vous voulez lancer la boule vite, c'est-à-dire lui donner plus d'énergie cinétique, plus il vous faut faire un effort important. De plus, il est bien plus aisé de lancer le cochonnet qu'une boule car celui-ci est plus léger : à vitesses égales c'est donc la boule de pétanque qui a plus d'énergie cinétique que le cochonnet. La vitesse et la masse sont les deux paramètres qui déterminent l'énergie cinétique.

Le plus dur, à la pétanque, c'est peut-être d'avoir à ramasser les boules : pour vaincre le poids de la boule et la soulever, il vous faut dépenser de l'énergie. Mais cette énergie ne disparaît pas, on dit qu'elle se retrouve

dans la boule sous la forme d'énergie "potentielle" liée au poids. Plus une boule est en hauteur, plus elle a d'énergie potentielle.

Pourquoi "potentielle"? Pour comprendre, il faut lâcher la boule, la laisser tomber droit vers le sol. Vous voyez bien qu'elle se met en mouvement, et qu'elle va de plus en plus vite vers le sol : elle acquiert donc une énergie cinétique en descendant. Comme elle descend, elle est de plus en plus proche du sol et son énergie potentielle diminue. En fait, toute l'énergie potentielle qui disparaît au cours de la descente est transformée en énergie cinétique. C'est pour cela que l'énergie est potentielle : il faut la laisser s'exprimer pour voir qu'en fait, la boule était capable de prendre de la vitesse toute seule. L'énergie potentielle est en un sens parfaitement invisible : elle ne correspond pas à du mouvement, à de la chaleur, ou à quelque chose qu'on puisse sentir.

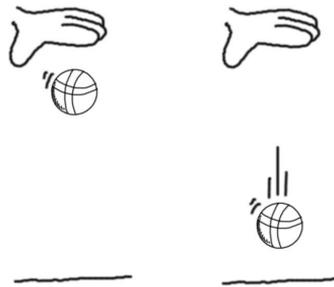


FIGURE 1.1 – Au moment où on la lâche, la boule a de l'énergie potentielle, mais pas de vitesse, donc pas d'énergie cinétique. Un peu plus bas, elle a moins d'énergie potentielle, mais toute l'énergie potentielle qui a disparu s'est transformée en énergie cinétique : la vitesse de la boule est grande.

Ce qui est important, c'est que lors de la descente, l'énergie change de nature mais il y en a toujours autant. Tout en haut, il n'y a que de l'énergie potentielle au moment où on lâche la boule (qui n'a pas de vitesse). Au milieu de la trajectoire, il y a à la fois de l'énergie potentielle, mais moins, et de l'énergie cinétique. On dit que l'énergie se "conservé". En fait, elle ne disparaît d'une forme que pour réapparaître sous une autre et c'est bien là sa propriété essentielle.

Si vous lancez la boule verticalement *vers le haut*, elle monte en perdant petit à petit de la vitesse. En fait, elle transforme son énergie cinétique (qui disparaît) en énergie potentielle (qui augmente). Une fois arrivée au plus haut, elle va redescendre. L'énergie passe bien d'une forme à l'autre en permanence. Puis la boule de pétanque heurte le sol, et s'immobilise. "Comme ça, elle tombera pas plus bas !" Certes. Mais dans ce cas, elle n'a plus d'énergie cinétique, et plus d'énergie potentielle à dépenser facilement. Où est l'énergie ? En fait elle n'a pas disparu. Si vous pouviez, vous verriez que les atomes du sol et de la boule<sup>1</sup> s'agitent maintenant plus qu'avant la chute de la boule. Ce sont de très petits mouvements désordonnés, mais c'est bien là qu'est passée l'énergie de la boule : d'une énergie cinétique bien visible avec plein d'atomes allant dans la même direction (la boule qui tombe), on est passé à une énergie cinétique invisible avec plein d'atomes, mais qui bougent dans toutes les directions. C'est ce qu'on appelle de l'agitation thermique. On dit aussi couramment de la chaleur. Comme c'est la température qui mesure ce degré d'agitation des atomes, on peut dire que la température du sol et de la boule a augmenté entre avant la chute et après.

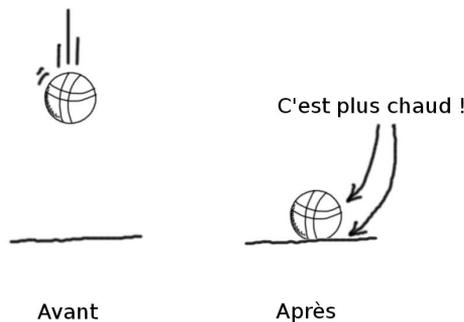


FIGURE 1.2 – *Juste avant d'arriver au sol, la boule a une grande énergie cinétique. Après avoir heurté le sol, elle n'en a plus. Par contre, le sol est plus chaud à l'endroit où la boule a frappé : les constituants du sol s'agitent un peu plus. Ils ont donc plus d'énergie cinétique : l'énergie s'est conservée !*

Bien. Nous avons vu l'énergie potentielle liée au poids, et qu'on appelle, pour cette raison énergie potentielle *gravitationnelle*, mais il en existe d'autres.

1. Les particules minuscules et largement invisibles qui constituent le sol.

Imaginez deux aimants en apesanteur. Vous savez qu'ils s'attirent, s'ils sont convenablement orientés. Si on lâche un des deux aimants, il va se précipiter vers l'autre en gagnant de la vitesse. Il gagne donc de l'énergie cinétique. Et on peut donc aussi définir une énergie potentielle, mais d'origine *magnétique* cette fois. En se précipitant vers l'autre, l'aimant perd de l'énergie potentielle magnétique et gagne de l'énergie cinétique. Et voilà une deuxième sorte d'énergie potentielle !

Vous savez sans doute que certains constituants de la matière (les électrons et les noyaux atomiques <sup>1</sup>) s'attirent. Pour expliquer cette attraction, on dit qu'ils sont chargés, qu'ils portent une charge qui peut être positive ou négative.

Si on considère deux charges opposées (une positive et une négative), comme elles s'attirent, alors on peut dire qu'elles ont une énergie potentielle d'origine *électrique*. Et plus on éloigne deux charges l'une de l'autre, plus elles ont d'énergie potentielle, même si c'est vrai qu'elles s'attirent de moins en moins fort. Quand on les lâche, elles se précipitent l'une vers l'autre d'abord doucement puis de plus en plus vite, en transformant cette énergie potentielle en énergie cinétique. C'est logique.

Vous savez aussi que lorsqu'il y a une combustion, comme lorsqu'un morceau de bois brûle, il y a un gros dégagement d'énergie sous forme de chaleur et de lumière (c'est le feu). Il y a donc une énergie potentielle dans un morceau de bois - on l'appelle souvent "énergie potentielle chimique" parce qu'elle est libérée lorsqu'une réaction chimique (la combustion) se produit. Mais en réalité, il s'agit d'énergie potentielle essentiellement électrique : lors de ce type de réaction chimique, les électrons (chargés négativement) ont l'occasion de se rapprocher des noyaux des atomes, chargés positivement. Comme, dans l'histoire, une charge négative s'est approchée d'une charge positive (le noyau), l'ensemble a perdu de l'énergie potentielle. Cette énergie potentielle est alors convertie en lumière ou en agitation des molécules et des atomes, c'est-à-dire en chaleur !

De la même manière, il est possible de définir une énergie potentielle (beaucoup moins intuitive) pour les forces nucléaires. Prenons deux noyaux d'hydrogène. Ces deux noyaux sont chargés positivement et par conséquent ils se repoussent, à cause de la force électrique. Mais il existe des forces qui s'exercent lorsque ces deux noyaux sont très proches, et qui font qu'il s'attirent alors, malgré la force électrique. Ces forces *nucléaires*

---

1. C'est vrai, je n'ai pas encore parlé des électrons ou des noyaux... faites donc un court détour par le début du chapitre sur la structure de la matière si vraiment ça vous démange trop !

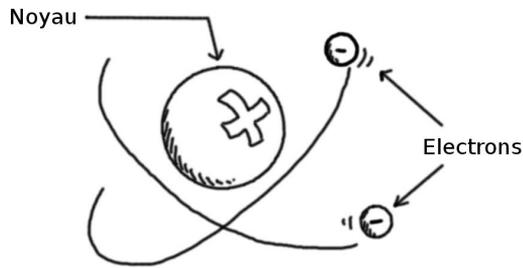


FIGURE 1.3 – Voici comment on peut se représenter un atome : quelques électrons, chargés négativement (ils ont un signe moins) tournent autour d'un noyau chargé positivement (c'est écrit dessus) parce que le noyau les attire. Cette image est cependant très trompeuse. La mécanique quantique (voir le dernier chapitre) fournit une vision des choses très différente et beaucoup plus exacte. Mais bon, pour l'instant, ça suffira.

peuvent vaincre la force qui fait se repousser les noyaux. Et finalement faire qu'ils se collent violemment, qu'ils tombent l'un vers l'autre. Il y a donc là aussi une forme d'énergie potentielle. Les étoiles, les bombes atomiques et les centrales nucléaires sont des signes tangibles de l'importance de cette énergie potentielle : elle est énorme. Tous ces phénomènes sont en fait de la conversion d'énergie potentielle nucléaire en chaleur, rayonnement, etc.

Ce qu'il faut retenir, c'est que quel que soit le phénomène, les forces mises en jeu, *l'énergie ne disparaît ou n'apparaît jamais. Elle ne fait que passer d'une forme à une autre.* On dit que l'énergie se conserve et c'est le premier principe de la discipline qui étudie les échanges d'énergie : la thermodynamique. Ce domaine a été créé pour étudier le fonctionnement des machines à vapeur (et à charbon comme source d'énergie). Depuis des siècles, le rêve de beaucoup d'hommes était d'inventer le mouvement perpétuel : une machine capable de conserver son mouvement éternellement, et mieux, de mettre en mouvement d'autres machines sans perdre son élan. Si une telle machine existait, cela signifierait qu'elle serait capable de fournir de l'énergie à volonté. Et de la sortir de nulle part finalement. Or cela contredirait le fait que l'énergie se conserve ! Bref, à partir du moment

où on a compris que l'énergie se conservait, on a renoncé à la quête du mouvement perpétuel <sup>1</sup>.

Dans la suite, nous allons voir que si l'énergie se conserve, elle devient par contre souvent irrécupérable pour nous. On dit qu'elle se dissipe, ce qui n'est pas très heureux comme terme : l'énergie se conserve, mais elle se dissipe, c'est pas clair... c'est juste qu'on ne peut pas toujours aller la récupérer, même si elle est toujours là.



### Le sens du temps, le désordre et le billard

Nous allons jouer à un petit jeu. Je vais vous proposer trois cas. Pour chaque cas, je vais vous donner deux situations. Vous devez réfléchir et dire laquelle s'est produite en premier à votre avis *si personne n'est intervenu entre les deux*.

Le premier cas est celui d'une boule de pétanque.

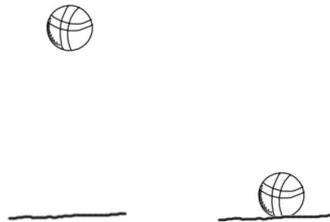


FIGURE 1.4 – *La première situation est celle de la boule en l'air, la seconde celle de la boule au sol.*

*Vous allez me dire que la boule était en l'air et qu'elle est tombée, donc que la première situation est antérieure. Facile.*

Le deuxième cas est celui d'un verre d'eau.

---

1. Un nom qui peut induire en erreur : il ne s'agit pas seulement de conserver indéfiniment le même mouvement, ça, les satellites le font très bien par exemple, mais de fournir de l'énergie en réalité. Ce que ce nom ne laisse pas transparaître.

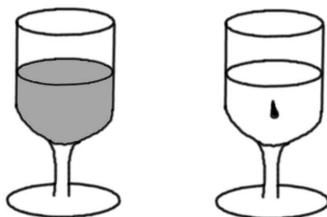


FIGURE 1.5 – Dans une première situation le verre est légèrement teinté, dans une seconde une goutte de colorant concentré est clairement visible.

*Cette fois, vous serez d'accord pour dire que la seconde situation est chronologiquement la première et que la goutte s'est diluée.*

Le dernier cas est celui de deux cubes de métal accolés (voir figure 1.6).

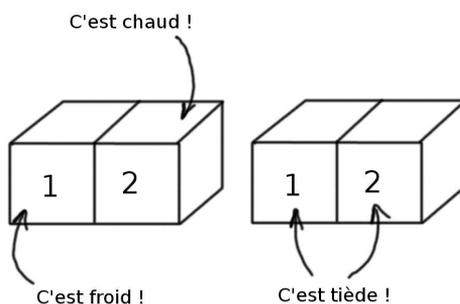


FIGURE 1.6 – La première situation est celle où les deux blocs ont des températures différentes : l'un est froid (le bloc 1, mettons), l'autre est chaud (le bloc 2). Dans la seconde situation les deux blocs sont à une même température, intermédiaire (tiède, disons).

*Cette fois, vous me direz que le bloc le plus chaud a fourni de la chaleur à celui qui était le plus froid, et qu'ainsi leurs températures sont devenues égales. La première situation était donc antérieure à l'autre.*

Dans tous ces cas, il y a eu une évolution spontanée - celle qui se produit naturellement, sans intervention extérieure. Il n'y a aucun doute à avoir sur le sens de cette évolution - il y a un sens naturel de déroulement des événements. Dans tous les cas, cette évolution s'est faite vers un plus grand "désordre". Il s'agit d'un désordre assez évident pour ce qui est du colorant : au début, il était bien rangé, concentré. À la fin, il était réparti un peu partout dans le verre. C'est bien ce qu'on appelle du désordre, puisque ranger ses chaussettes ne signifie pas les éparpiller à travers la pièce. Enfin en général.

Pour les deux autres situations, il s'agit d'un désordre, mais seulement si on considère l'énergie. Quand la boule de pétanque est en l'air, elle a de l'énergie potentielle. C'est une énergie "bien rangée" en quelque sorte. Elle est concentrée dans la boule et elle peut être convertie en énergie cinétique de la boule, qui est aussi une énergie "bien rangée". Par contre, quand la boule est au sol, l'énergie est répartie dans les molécules du sol et de la boule sous la forme de mouvements microscopiques et désordonnés : la chaleur. Il s'agit bien d'une forme de désordre assez similaire.

Dans le cas des deux blocs, il y en avait un dont les molécules étaient plus agitées que l'autre au début puisqu'il était plus chaud. L'énergie était donc un peu plus concentrée dans le bloc chaud. À la fin, l'énergie s'est répandue partout (un peu comme le colorant) et il y en a autant dans l'un que dans l'autre : c'est là encore une forme de désordre énergétique.

C'est vrai que c'est un désordre très particulier. On aurait pu penser qu'avoir la même température partout, dans le cas des deux cubes métalliques, c'est finalement avoir une situation plus simple, donc plus "rangée". Peut-être que le terme même de désordre n'est pas très bien choisi.

Le désordre (au sens énergétique surtout) augmente donc avec le temps. Et vous pouvez chercher d'autres types d'évolutions spontanées, cela va toujours vers le type de "désordre" que nous venons de voir.

Cela nous paraît tout à fait normal, c'est l' "ordre" des choses, comme qui dirait, et c'est pour ça qu'il est simple pour nous de remettre les situations dans l'ordre. Cette constatation a été traduite sous la forme d'une loi : le Second Principe de la Thermodynamique (le premier principe étant que l'énergie se conserve). Le Second Principe introduit une grandeur appelée "entropie" qui donne une mesure du "désordre" d'un système. Et comme le désordre croît au cours du temps, le second principe s'énonce ainsi : "l'Entropie d'un système isolé croît avec le temps". C'est (presque) la seule loi physique qui contienne ainsi la flèche du temps, c'est-à-dire qui mentionne qu'il y a une différence entre passé et futur !