

# LA NOTION DU TRAVAIL EN SCIENCES PHYSIQUES

*Par Anne Martini*

---

## 1. Travail et énergie

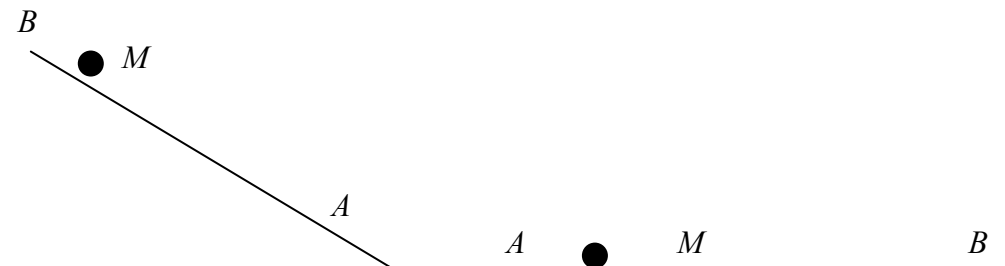
Dans la vie courante, il y a des termes qui sont souvent utilisés et dont la signification fait penser à celle donnée aux concepts définis par les scientifiques. Ce sont notamment les mots « énergie » et « travail ».

Nous employons souvent la phrase suivante : « je pars travailler et il me faudra de l'énergie pour ce faire ! ».

Le physicien dira : « cette force, en se déplaçant, travaille, mais pour cela elle a besoin d'énergie ». Par conséquent, en puisant de l'énergie, la force peut effectuer un travail qui peut être converti en une autre sorte d'énergie, qui peut à nouveau être reconvertie en travail. Voilà de quoi jeter le trouble dans les esprits non avertis !

Pour le physicien le concept de travail est simple : dès qu'il y a déplacement d'un système dans un champ de force, un travail est créé, pour autant que force et déplacement ne soient pas perpendiculaires l'une à l'autre.

En effet, si l'on considère le déplacement d'un chariot sur un plan incliné. Pour déplacer le chariot d'un point  $A$  à un point  $B$ , il faudra fournir un travail au système pour « lutter » contre la force de pesanteur. Si le plan est parfaitement horizontal, un déplacement horizontal se fera sans qu'il y ait de travail au cours du déplacement.



Donc le travail dépend du chemin suivi. Ce n'est pas une fonction d'état. Il ne dépend pas exclusivement de l'état initial et de l'état final, mais aussi de tous les états intermédiaires.

Reprenons l'exemple du chariot. Supposons qu'il se déplace avec des frottements. S'il se déplace dans un champ de bosses, il faudra un certain travail pour le faire aller d'un point  $A$  à

un point  $B$ . S'il se déplace continuellement sur un plan parfaitement horizontal, il faudra un travail moins important pour le faire aller du point  $A$  au point  $B$ .



Nous allons maintenant affiner le lien entre le travail et les différentes formes d'énergie.

## 2. Travail et énergie cinétique

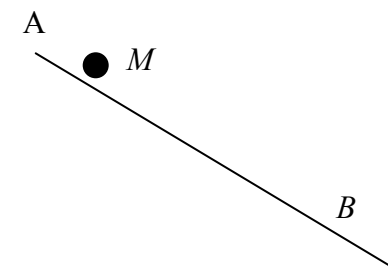
L'énergie cinétique correspond à l'énergie que possède une masse en mouvement. Elle est donnée par la relation :

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

Le théorème de l'énergie cinétique permet de lier le travail le long du chemin  $AB$  et la variation d'énergie cinétique au point  $A$  et au point  $B$ .

$$\Delta E_{c A \rightarrow B} = E_{cB} - E_{cA} = W_{F_{A \rightarrow B}}$$

Le travail s'interprète comme une variation d'énergie cinétique entre deux points. Le travail d'une force peut modifier la vitesse d'un système et donc son énergie cinétique. Dans l'exemple précédent, lorsque le chariot est sur un plan incliné, et qu'on le lâche sans vitesse initiale du point  $A$ , il atteindra le point  $B$  avec une vitesse différente de zéro. Le travail de la force de pesanteur a modifié la vitesse du chariot.



Si l'on change le sens du mouvement, il faut donner une vitesse non nulle en  $B$  au chariot pour qu'il atteigne le point  $A$  avec une vitesse nulle. Le travail de la force de pesanteur diminue la vitesse du système.

Il apparaît alors la notion de travail moteur et résistif. Dans le premier cas, le travail sera positif (étant entendu que l'on se place toujours du point de vue du système),  $v_B > v_A$ , la

vitesse du système a augmenté, dans le deuxième cas, le travail est résistif  $v_B < v_A$ , la vitesse du système a diminué.

*Le travail peut alors être interprété comme une énergie apportée au système permettant de faire varier la vitesse d'un système.*

### 3. Travail et énergie potentielle

Il faut quelques notions de mécanique pour aborder cette partie.

*L'énergie potentielle* est une énergie potentiellement libérable par le système. Contrairement à l'énergie cinétique, elle n'est observable que lorsqu'elle varie, c'est-à-dire libérée par le système.

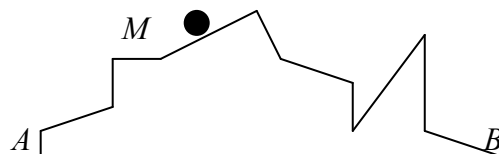
Par exemple, une pomme dans la main de Newton possède une énergie potentielle de pesanteur. Cette énergie n'est visible que si Newton lâche la pomme. En effet, au départ la pomme est immobile dans la main. Lorsque Newton la lâche, elle augmente sa vitesse. L'énergie potentielle (de pesanteur) s'est transformée en énergie cinétique.

Les forces à l'origine des mouvements sont de deux types : *les forces conservatives et les forces dissipatives*.

Les forces conservatives sont des forces pour lesquelles le travail ne dépend que du point de départ et du point d'arrivée. C'est-à-dire que leur travail ne dépend pas du chemin suivi.

Les forces dissipatives sont des forces pour lesquelles le travail dépend du chemin suivi.

Par exemple, le poids est une force conservative. Son travail ne dépend que du point de départ et du point d'arrivée. Si un système décrit le profil suivant pour rallier le point *A* au point *B*, Ce qui consomme dans les phases de montée est restitué dans les phases de descente. Le travail est successivement résistant et moteur.



Par contre, si l'on considère une force de frottement (force dissipative), elle sera toujours résistive. Prenons l'exemple d'une gomme sur une feuille de papier, si l'on effectue plusieurs allé retours, on dépense de l'énergie. Plus on effectue d'allé retours plus on apporte de l'énergie au système. (Ca chauffe !).

Il y a un lien très fort entre le travail et l'énergie potentielle.

*Dans le cas d'une force conservative, le travail s'identifie à la variation d'énergie potentielle (au signe près).*

### 4. Travail au sens de la thermodynamique

En thermodynamique, nous sommes amenés à considérer des systèmes constitués d'un très grand nombre de particules ( $6,02 \cdot 10^{23}$  pour une mole).

Si l'on prend l'exemple d'un verre d'eau posé sur une table, il paraît au repos. Pourtant, si l'on prend un microscope et que l'on regarde une goutte d'eau, on verra un mouvement incessant des molécules d'eau. Le verre d'eau est à l'équilibre macroscopique, mais non à l'équilibre microscopique. Il possède une énergie interne non nulle constituée de la somme des énergies cinétiques et potentielles de toutes les particules considérées individuellement à l'échelle microscopique.

Le premier principe de la thermodynamique montre qu'au cours d'une transformation quelconque, la variation d'énergie interne au système est égale au travail des forces extérieures non conservatives s'exerçant sur le système. Ce travail se décompose en deux termes :

Un terme noté  $W$  qui représente le travail des forces définies à l'échelle macroscopique qu'exerce le milieu extérieur sur le système au travers de sa surface.

Un terme noté  $Q$  (aussi appelé transfert thermique) qui représente les échanges au niveau microscopique du système avec le milieu extérieur. Celui-ci est échangé par contact de proche en proche.

Par exemple, lorsqu'on considère un ballon gonflé en latex (ballon d'enfant), on le met d'abord dans une pièce de température  $T_1$ , on attend l'équilibre des grandeurs macroscopiques ( $P, T, V$ ), puis on le place dans une pièce plus chaude de température  $T_2 > T_1$ . Son volume va augmenter. Ceci est dû à un échange d'un transfert thermique entre le ballon et l'air de la pièce. Ce transfert se fait par contact de proche en proche. Les molécules contenues dans le ballon situées près de la surface du ballon acquièrent de l'énergie cinétique (agitation thermique), puis la transmettent par chocs successifs aux molécules voisines et ainsi de suite, jusqu'à ce que toutes les molécules du ballon soient à la même température. Le volume final sera plus grand que le volume initial.

On peut aussi faire varier le volume du ballon en appuyant dessus. Ceci correspondra à un travail macroscopique des forces de pression.

C'est cette notion de transfert thermique qui a permis de définir un critère de réversibilité ou d'irréversibilité d'une transformation. En effet, la notion d'entropie est liée au transfert thermique et à la température du système. Ceci constitue le deuxième principe de la thermodynamique. Dans sa formulation courante, le deuxième principe exprime qu'une certaine fonction de l'état du système, l'entropie, est croissante durant tout processus irréversible. L'idée est d'identifier la croissance d'entropie à la flèche du temps. Une fois qu'il a atteint l'état final où l'entropie ne peut plus augmenter, un tel système se trouve alors dans un état d'équilibre thermodynamique, c'est-à-dire qu'il n'est plus le siège d'aucun changement macroscopique. À l'équilibre, le système est caractérisé par une valeur uniforme de ses paramètres thermodynamiques :  $T, P$ , et  $V$ . Au niveau statistique, l'entropie est aussi interprétée comme une mesure du désordre. Plus le système est désordonné, plus l'entropie est grande. En mécanique statistique, l'entropie est une fonction croissante du nombre d'états accessibles au système. Prenons 4 particules numérotées mais identiques dans une boîte divisée en 4 compartiments. Il y a plusieurs façons de les ranger. L'état d'équilibre (macroscopique) est celui qui correspond au plus grand nombre d'états microscopiques.

***Le transfert thermique permet grâce à l'entropie d'établir un critère d'irréversibilité.***

***Remarque : énoncé historique du deuxième principe de la thermodynamique***

**L'énoncé de Clausius:** le passage de la chaleur d'un corps froid à un corps chaud n'a jamais lieu spontanément ou n'a jamais lieu sans compensation.

« Spontanément » ou « sans compensation » veut dire qu'une telle transformation n'est possible que si elle est liée à une modification qui a lieu en même temps dans le milieu extérieur.

Ceci rejoint la notion de sacrifice liée au travail...