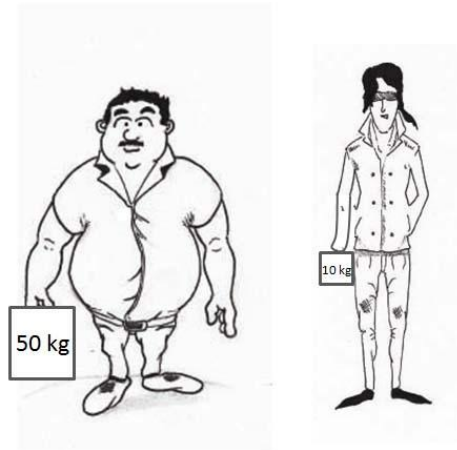


La Mécanique Newtonienne – Force-Travail –Energie-Puissance

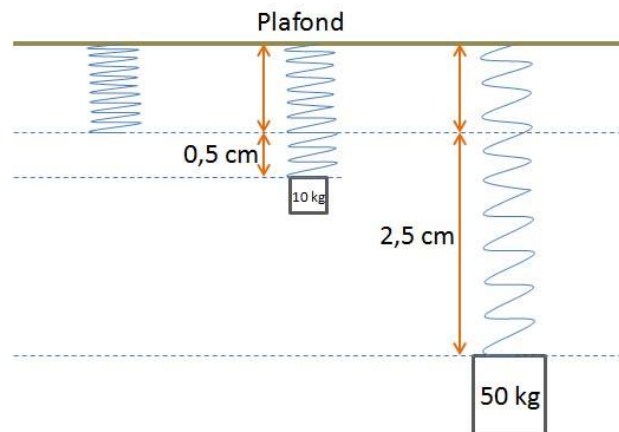
I Concept de force



Dessin de Pierric Gry

a) Idées de base :

- Un individu pouvant soulever d'une main une masse de 50 kg est plus fort qu'un individu ne pouvant soulever que 10 kg
- Suspendue à un ressort suffisamment raide, une masse de 50 kg allonge ce dernier 5 fois plus que ne le fait une masse de 10 kg avec ce même ressort



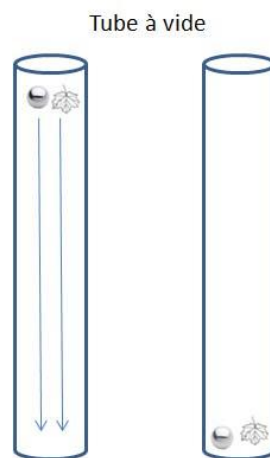
Un ressort produit donc un allongement proportionnel à la masse qu'on y suspend, pourvu que cette masse ne dépasse pas une certaine valeur (On dit qu'il fonctionne dans un domaine linéaire car son allongement est fonction linéaire de la masse qui y est suspendue). Quand on enlève la masse, il reprend sa longueur initiale. (On dit qu'il fonctionne dans un domaine élastique)

- L'action qui fait qu'un objet initialement immobile dans un référentiel donné, se met en mouvement est appelée force. Ainsi en est-il d'un morceau de métal attiré par un aimant, ce

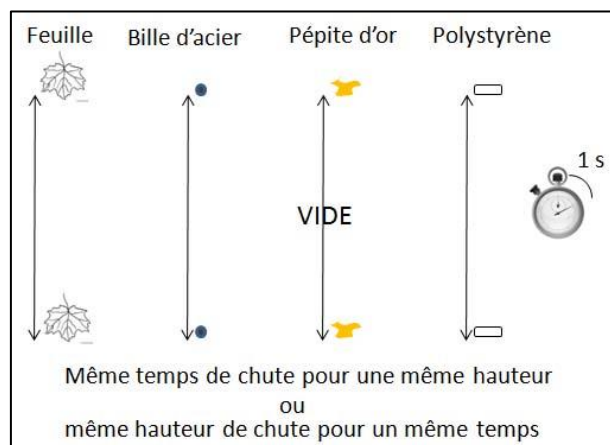
dernier exerçant une force magnétique sur le morceau de métal. Un autre exemple est celui d'un objet que l'on lâche et qui tombe vers le sol, attiré par la force gravitationnelle (compensée cependant en toute rigueur par une force centrifuge due à la rotation de la Terre sur elle-même mais quasi négligeable).

b) Le mouvement de chute libre

Tous les corps chutent de la même façon dans le vide. Ce mouvement est appelé mouvement de chute libre.



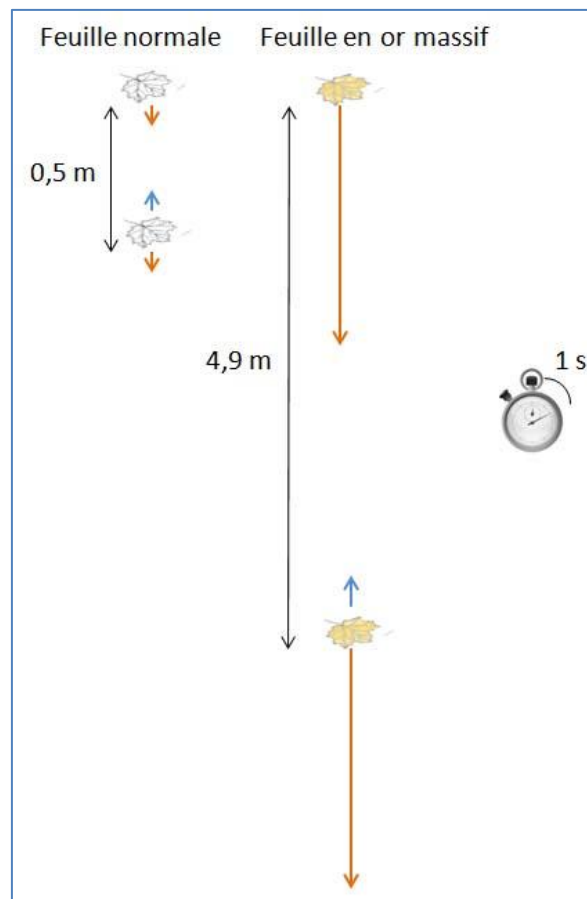
On peut en faire l'expérience à la cité des sciences en retournant un tube dans lequel on a fait un vide poussé et où on a mis où une feuille et une bille d'acier. Les deux chutent de la même façon.



Pour se donner une référence, avec des instruments de mesure de bonne précision, on observerait qu'en une seconde, à Paris, un corps chute d'une hauteur de 4,9035 mètres, alors que partant de la même altitude à l'équateur, il chuterait de 4,890 mètres et au pôle nord de 4,906 mètres. On voit

qu'en se contentant d'une précision de deux chiffres, en n'importe quel point de la Terre à l'altitude de Paris qui est grosso modo le niveau de la mer, la chute est d'environ 4,9 mètres.

L'explication du fait que les corps chutent différemment dans l'air tient à l'effet de la résistance de l'air comme illustré ci-dessous, avec une feuille d'arbre et la même feuille en or massif :



En début de chute, les deux feuilles tombent comme dans le vide car la résistance de l'air est une force négligeable devant l'attraction de la Terre. Mais rapidement pour la feuille d'arbre, la résistance de l'air, qui croît avec la vitesse, atteint en intensité l'attraction de la Terre et la feuille poursuit son mouvement à vitesse constante, tandis que la feuille d'or continue d'accélérer. La résistance de l'air finira pour cette dernière par compenser l'attraction de la Terre mais plus tard et la feuille d'or atteindra une vitesse limite bien plus élevée que la feuille d'arbre.

Une étude plus précise, par chronophotographie par exemple, conduirait aux résultats expérimentaux du tableau :

| | | | | | |
|----------------------------|---|------|---|----|----|
| Durée t (s) | 0 | 0,5 | 1 | 2 | 3 |
| t^2 (s ²) | 0 | 0,25 | 1 | 4 | 9 |
| Hauteur h (m) | 0 | 1,25 | 5 | 20 | 45 |

Il apparait alors :

la hauteur de chute est proportionnelle au carré du temps

Plus précisément (à Paris) :

$$h = 4,9035 t^2$$

Voyons les caractéristiques de ce mouvement :

- Il est vertical, dirigé vers le bas
- On peut calculer la vitesse moyenne entre deux instants t et $t + \Delta t$ comme suit :

$$\begin{aligned}
 v_{moy}(t \rightarrow t + \Delta t) &= \frac{\text{distance parcourue}}{\text{durée}} = \frac{h(t + \Delta t) - h(t)}{\Delta t} = \frac{4,9035(t + \Delta t)^2 - 4,9035 t^2}{\Delta t} \\
 &= \frac{4,9035 [(t + \Delta t)^2 - t^2]}{\Delta t} \\
 &= \frac{4,9035 [(t + \Delta t) - t] [(t + \Delta t) + t]}{\Delta t} \\
 &= \frac{4,9035 \Delta t [2t + \Delta t]}{\Delta t} \\
 &= 4,9035 (2t + \Delta t)
 \end{aligned}$$

Prenons un exemple avec $t = 1$ s et différentes valeurs de Δt de plus en plus petites :

| | | | | | |
|---|--------|-------|-------|--------|-------|
| Δt (s) | 0,1 | 0,01 | 0,001 | 0,0001 | ... |
| $v_{moy}(1 \rightarrow 1 + \Delta t)$ (m/s) | 10,297 | 9,856 | 9,812 | 9,807 | 9,807 |

On voit que la valeur de la vitesse moyenne, évaluée ici avec une précision de 0,001 m/s ne change pas quand la durée Δt devient inférieure à une certaine valeur. C'est ce qui forme le concept de vitesse instantanée :

La vitesse instantanée est la vitesse moyenne entre deux instants suffisamment proches

C'est elle qui est indiquée de façon approchée par un compteur de vitesse pour un véhicule. Elle peut varier à tout instant ou bien rester constante, auquel cas, le mouvement est qualifié d'**uniforme**.

La vitesse instantanée associée à un mouvement connu ne peut être rigoureusement calculée que par la voie mathématique. Ainsi dans le mouvement de chute libre précédent, il suffit d'annuler Δt dans l'expression $2 t + \Delta t$ et cela donne :

$$v = 4,9035 \times 2 t = 9,807 t$$

Dans le mouvement de chute libre (sur une hauteur de chute raisonnable, la hauteur de l'atmosphère terrestre pour fixer les idées) la vitesse de chute augmente de façon proportionnelle avec la durée de chute.

Chaque seconde, la vitesse instantanée augmente d'une quantité appelée accélération de la pesanteur et notée g (au lieu de chute considéré). L'unité de cette accélération est $m/s/s$ ou encore $m s^{-2}$

A Paris, au niveau de la Terre, cette accélération, arrondie, est : $g = 9,81 m s^{-2}$

A l'équateur : $g = 9,78 m s^{-2}$

Au pôle : $g = 9,83 m s^{-2}$

Il est donc vrai qu'on chute plus lourdement au pôle qu'à l'équateur et plus lourdement à la surface de la Terre qu'à la surface de la Lune car sur cette dernière, l'accélération de la pesanteur est environ cinq fois moindre.

Résumé :

En un lieu donné (la Terre, la Lune, Mars, dans l'espace) tous les corps chutent dans le vide de la même façon et sur une hauteur de chute raisonnable dans un mouvement accéléré d'accélération notée g . Le mouvement est caractérisé par les lois mathématiques, donnant position, vitesse et accélération suivantes :

$$\textit{position (hauteur de chute)} : h = \frac{1}{2} g t^2 \quad (\textit{en } m)$$

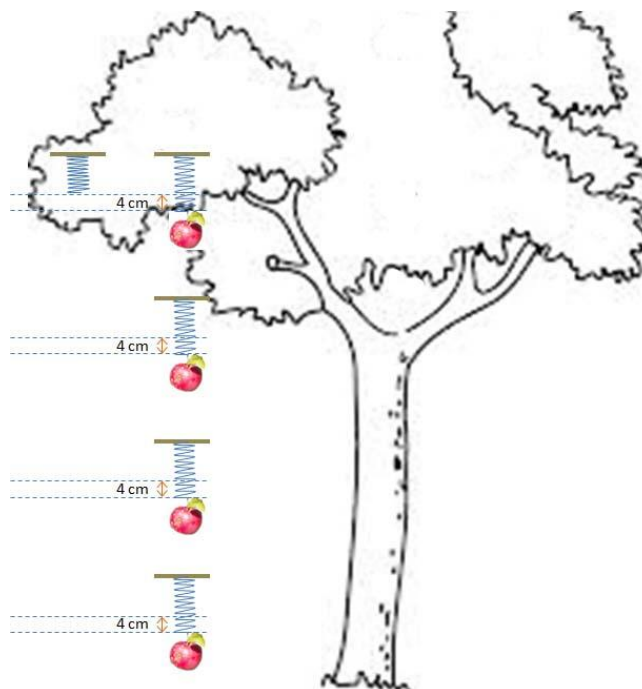
$$\textit{vitesse instantanée} : v = g t \quad (\textit{en } m s^{-1})$$

$$\textit{accélération} : a = g \quad (\textit{en } m s^{-2})$$

c) La seconde loi de Newton

Intéressons nous aux causes du mouvement de chute libre, à la surface de la Terre et à Paris par exemple. Si un corps chute, donc quitte son immobilité, c'est qu'une force l'y contraint. Pour simplifier, en négligeant l'action de la force centrifuge, on peut considérer que c'est la Terre qui est responsable de ce mouvement. Newton a énoncé ce principe sous forme d'une théorie appelée **théorie de la gravitation universelle**.

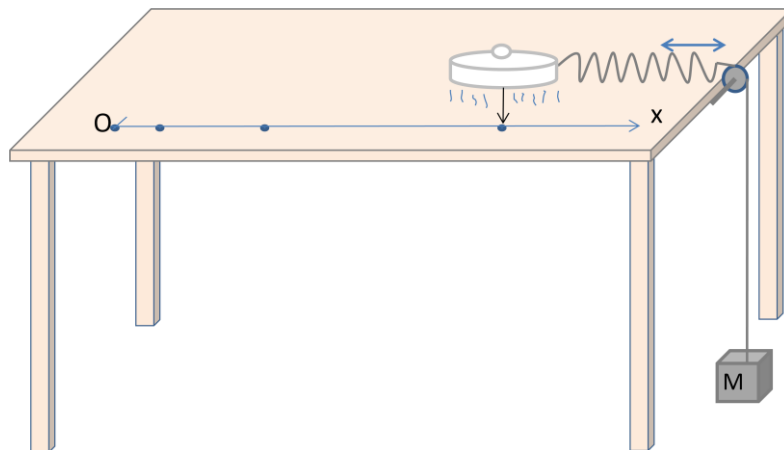
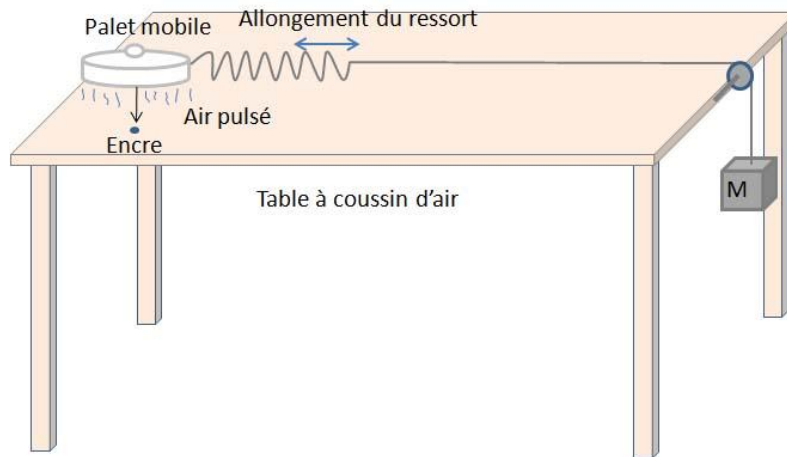
Or cette force peut être mesurée, tout au long du parcours du corps qui chute (une pomme par exemple, comme celle qui soi-disant inspira Newton). Il suffit de suspendre ce corps à un ressort aux différentes positions qu'il occupe dans sa chute.



L'observation est que l'allongement du ressort est le même à toutes les positions occupées par la pomme, donc la force exercée sur la pomme est constante tout au long de la chute et dirigée dans le sens de la chute. On en vient à cette déduction :

Si un corps est sollicité par une force unique qui reste constante en intensité et qui s'exerce dans la direction du mouvement du corps tout au long de ce dernier alors il en résulte un mouvement où la vitesse croît linéairement avec le temps donc d'accélération constante.

Ce Principe est validé expérimentalement sur une table à coussin d'air :



L'observation montre alors que l'accélération du palet mobile double si l'allongement du ressort qui le sollicite double, puis est divisée par deux si la masse du palet est doublée. Plus précisément, avec plus d'observations, l'accélération a est proportionnelle à l'allongement Δ du ressort et inversement proportionnelle à la masse m du palet, soit mathématiquement :

$$a = k \frac{\Delta}{m}$$

Or, rappelons nous, l'intensité de la force exercée sur le palet peut être représentée par l'allongement du ressort, mais pour cela il faut établir une échelle de mesure de force pour ce ressort, afin d'en faire un instrument de mesure de force appelé **dynamomètre**. Ceci est réalisé en fixant arbitrairement la valeur de la constante de proportionnalité à 1, l'allongement étant alors mesuré en Newtons (symbole N).

On obtient ainsi la seconde loi de Newton (dans une version simplifiée ici car la version générale est vectorielle) :

$$a = \frac{F}{m}$$

Ce que l'on met plus simplement en ligne :

$$F = m a$$

Le Newton est donc l'unité internationale de force, il est reliée aux unités de référence du système international, le m k s A (mètre, kilogramme, seconde, Ampère) par :

$$N = kg m s^{-2}$$

On peut ainsi définir le Newton légalement comme étant l'intensité d'une force qui communiquerait à un corps initialement au repos une accélération de $1 m s^{-2}$

On peut se faire facilement une idée de ce que représente une force de 1 Newton par l'expérience de pensée suivante :

Partez dans l'espace, là où il n'y a plus de gravité, entre la Terre et la Lune par exemple mais plus près de la Lune (aux 9/10 environ). Placez une boule de 1 kg devant vous puis avec votre doigt, poussez-la en maintenant toujours la même pression. Si la boule, partant de l'immobilité a parcouru 0,50 mètre en 1 seconde alors vous avez exercé une force d'intensité 1 Newton. Explication :

L'accélération pour une force de 1 N s'appliquant sur une masse de 1 kg est, d'après la seconde loi de Newton :

$$a = \frac{1}{1} = 1 m s^{-2}$$

Donc la vitesse instantanée :

$$v = a t = 1 \times 1 = 1 m s^{-1}$$

Et la distance parcourue en 1 seconde :

$$d = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 1^2 = 0,50 m$$

Vous pouvez maintenant saisir que 1 newton est la force que vous exercez en cliquant sur le haut d'un stylo pour en faire descendre la mine. C'est donc, à notre échelle, très peu. Mais il y a pire ! La loi de gravitation universelle formulée par Newton a permis d'établir que deux boules de 1 kg séparées d'une distance de 1 mètre s'attirent mutuellement avec une force d'intensité :

$$F = 6,67 \times 10^{-11} N$$

ce qui est la valeur d'une constante notée G et appelée **constante de gravitation universelle**.

Voilà pourquoi on ne voit pas les deux boules se rapprocher l'une de l'autre, si on les positionne sur une surface plane à un mètre l'une de l'autre, même dans l'espace.

II Poids d'un objet

Le poids d'un objet est par définition la force qui s'exerce en un lieu donné sur un objet qui chute librement dans le vide. D'après la deuxième loi de Newton, le poids P d'un corps est lié à l'accélération g de la pesanteur du lieu où il se trouve par :

$$P = m g$$

Le poids varie avec le lieu où on se trouve, notamment l'altitude. En particulier, le poids d'un objet n'est pas le même à la surface de la Terre et à la surface de la Lune. Il est environ 5 fois moindre sur la Lune.

Ainsi un objet de 10 kg a pour poids à Paris :

$$P_T = 9,81 \times 10 = 981 \text{ N}$$

et sur la Lune ($g = 1,62 \text{ m s}^{-2}$):

$$P_L = 1,62 \times 10 = 162 \text{ N}$$

On perd donc du poids sans effort en allant sur la Lune, mais sans pour autant perdre de graisse !!!

III Concept d'énergie cinétique :

Revenons sur le mouvement de chute libre duquel peuvent être définis tous les concepts de mécanique dont l'énergie. Reprenons les lois mathématiques de hauteur de chute et de vitesse :

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

$$v = g t$$

Nous pouvons élever au carré la seconde, ce qui donne :

$$v^2 = g^2 t^2$$

Et en déduire :

$$t^2 = \frac{v^2}{g^2}$$

que l'on reporte dans la première :

$$h = \frac{1}{2} g \frac{v^2}{g^2}$$

soit, en simplifiant :

$$\frac{1}{2} v^2 = g h$$

Faisons apparaitre le poids de l'objet en multipliant les deux membres de la relation par la masse :

$$\frac{1}{2} m v^2 = m g h = P h$$

Cette relation peut être généralisée comme suit :

Si une force F constante en intensité agit dans le sens du déplacement d'un corps de masse m alors la vitesse instantanée v acquise par ce corps après une distance parcourue d vérifie la relation :

$$\frac{1}{2} m v^2 = F d$$

Cette relation s'appelle le théorème de l'énergie cinétique :

L'énergie cinétique est la quantité :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

C'est une grandeur qui dépend proportionnellement de la masse et du carré de la vitesse. Ainsi si la masse double, l'énergie cinétique double. Si la vitesse double, l'énergie cinétique quadruple.

L'énergie cinétique s'acquiert ou bien s'élimine par ce qu'on appelle le **travail d'une force (Work en anglais)** qui est la quantité :

$$W = F d$$

L'unité de l'énergie cinétique tout comme celle du travail est le Joule de symbole J. Le Joule est lié aux unités de référence du système international par :

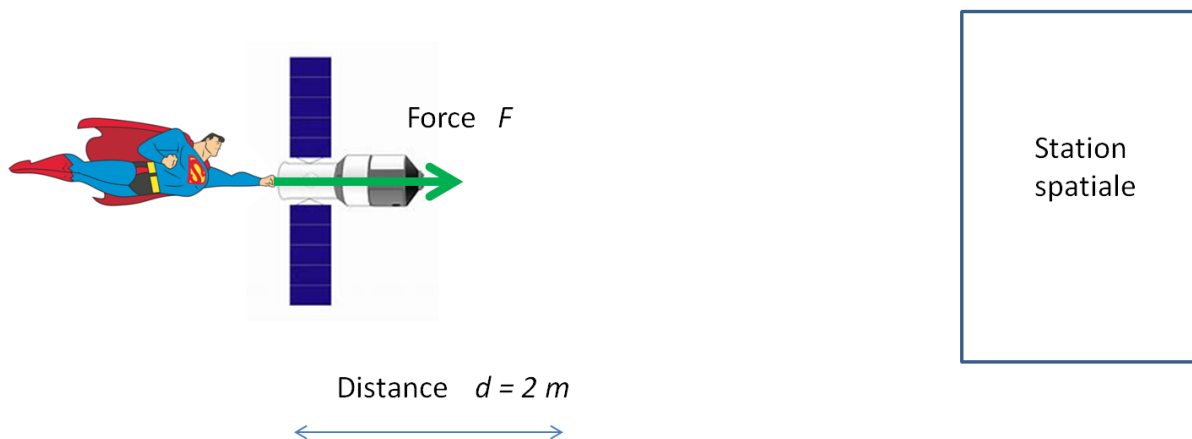
$$J = N m = kg m^2 s^{-2}$$

Pour donner de l'énergie cinétique à un véhicule il faut exercer une force dans le sens du déplacement du véhicule (ex poussée d'un réacteur pour un avion). Pour enlever de l'énergie cinétique, il faut exercer une force dans le sens opposé du déplacement.

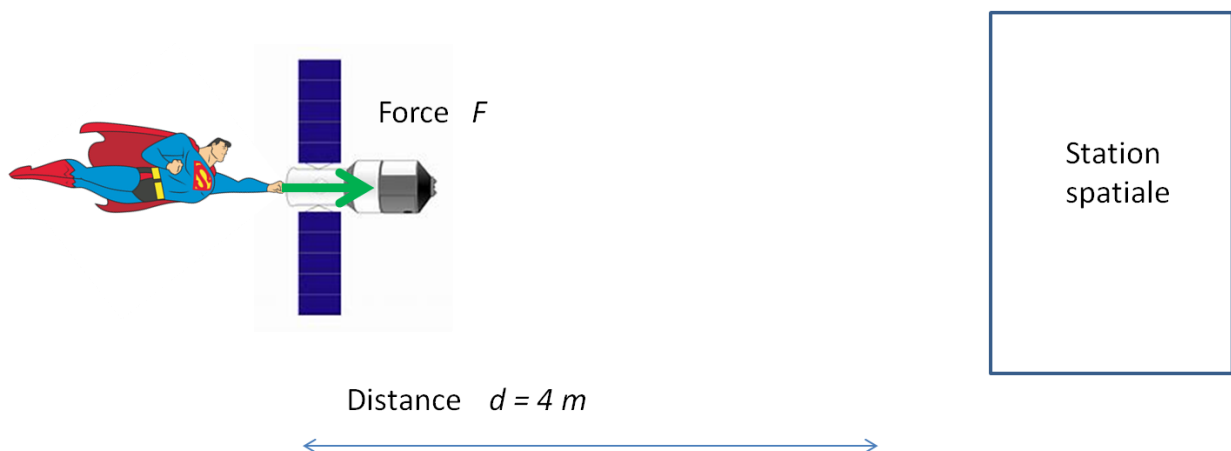
Une force perpendiculaire au déplacement n'a pas d'effet sur l'énergie cinétique. On dit qu'elle ne travaille pas.

Une petite illustration convaincante pour rendre plus concret le concept d'énergie cinétique avec l'aide de Superman :

« Superman souhaite détruire une station spatiale maléfique en projetant un satellite dessus, le satellite étant initialement immobile dans le repère de la station spatiale et assez éloigné de cette dernière. Pour que son action soit efficace, Superman doit donner au satellite une vitesse minimale v égale à 100 km/h. Il exerce pour cela une force constante F sur une distance d égale à 2 m puis laisse le satellite poursuivre sa course à vitesse constante pour s'écraser sur la station.



Mais les dégâts ne sont pas suffisants et Superman doit recommencer avec un autre satellite totalement identique au premier. Sauf que l'ignoble Darkseid le touche d'un rayon fatal qui lui fait perdre la moitié de sa force. Profitant que son ennemi est occupé ailleurs, Superman pousse malgré tout le satellite mais, pour lui communiquer la même vitesse que précédemment, il doit le faire sur une plus grande distance qui s'avère être le double de la précédente, soit 4 m. La station est réduite en miettes en explosant. Ouf ! Les humains sont une fois de plus sauvés ».



Si la force de Superman avait été trois fois plus faible que dans le cas initial, Superman aurait constaté que la distance sur laquelle il aurait poussé pour obtenir la même vitesse aurait été trois fois plus grande et ainsi de suite, ce qui se traduit par la propriété suivante :

Le produit de l'intensité de la force exercée par Superman par la distance d'action a la même valeur et est relié à la masse et à la vitesse du satellite par la loi de Newton dans la formule :

$$F \times d = \frac{1}{2} m v^2$$

Plaçons-nous maintenant dans la situation inverse. Un véhicule spatial de masse m fonce à une vitesse constante v vers une station spatiale essentielle pour la sécurité des humains et Superman doit empêcher ce désastre. Le super héros accroche donc un grappin à l'arrière du véhicule et le retient de toute sa force F . Il parvient à l'arrêter sur une distance d telle que :

$$F \times d = \frac{1}{2} m v^2$$

Nous pouvons donc redéfinir l'énergie cinétique en ces termes :

L'énergie cinétique d'un corps est le travail qu'il faut exercer sur ce corps pour le ramener à l'immobilité.

Remarque : Superman est un super-héros, qui n'est pas soumis aux lois physiques gouvernant les humains. En effet, imaginez un astronaute devant accomplir la même tâche que Superman en poussant le véhicule sur la station spatiale. Son action de poussée ne durerait pas longtemps car il ne pourrait s'appuyer sur rien dans l'espace pour exercer sa poussée contrairement à ce qui se passe sur Terre, où il s'appuierait sur le sol. L'astronaute se verrait repoussé du véhicule par principe de réaction et s'en éloignerait. La seule solution serait qu'il allume une fusée et il se verrait alors propulsé avec le véhicule par les gaz d'éjection.

III Concept d'énergie potentielle de pesanteur :

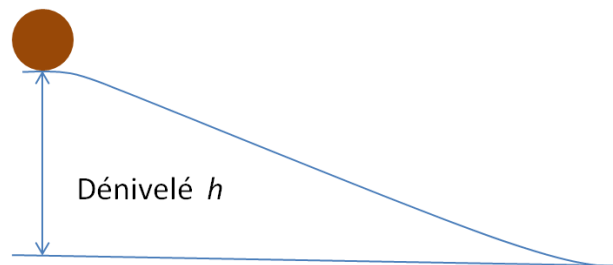
Revenons sur l'expérience de la chute libre. Un corps se trouvant à une hauteur h au dessus d'une surface plane de référence, peut acquérir, s'il vient à être lâché, une énergie cinétique égale au travail du poids sur cette hauteur. Cette énergie est appelée **énergie potentielle de pesanteur** et son expression est donc :

$$E_{pp} = m g h$$

Lorsque le corps chute dans le vide, il perd de l'énergie potentielle au cours de sa chute et la perte d'énergie potentielle correspond à un gain d'énergie cinétique. Il y a donc conversion d'une forme d'énergie en une autre

Reprenons la petite histoire de Superman :

L'ignoble Darkseid cherche encore à s'en prendre aux humains. En haut d'une rue fortement pentue de San Francisco, il vient de faire sortir d'un camion une énorme boule de fonte, qu'il s'apprête à laisser rouler afin qu'elle détruise un bâtiment stratégique situé en contrebas sur sa trajectoire.



La boule encore immobile en haut de la rue représente une menace. Elle est potentiellement dangereuse car, en roulant, elle va acquérir de plus en plus de vitesse et, parvenue en bas de la rue, elle aura une énergie cinétique conséquente. Comme la route ne présente pas d'aspérités, la boule en roulant parfaitement aura la même énergie cinétique en arrivant en bas que si elle avait été lâchée au dessus de ce point sans vitesse initiale.

IV Autres concept d'énergie :

Il y a d'autres types d'énergie, énergie thermique, chimique, nucléaire, qui sont définis en physique mais ils se ramènent tous plus ou moins directement au concept de travail mécanique grâce au principe d'équivalence travail-chaueur établi par le savant **Joule**

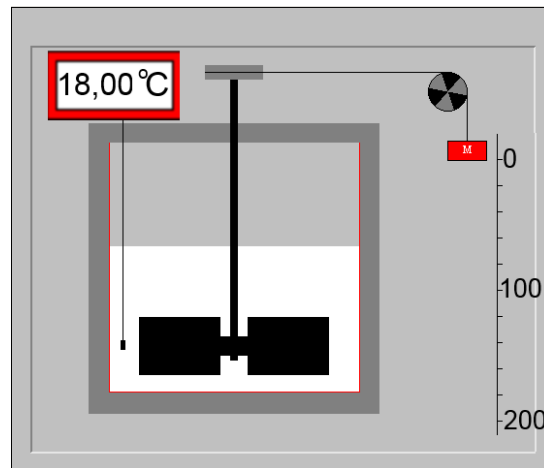
Principe d'équivalence Travail-chaueur :

Quand on chauffe un système en le mettant en contact avec un autre (gaz de combustion brûlants, résistance électrique) on dit qu'on lui transfère de la chaleur. Cette chaleur est un travail invisible à notre échelle dite macroscopique de forces agissant aux niveaux des constituants élémentaires de la matière (atomes et molécules).

On a défini pour unité de chaleur la calorie comme étant la chaleur qu'il faut fournir à 1 gramme d'eau distillée pour élever sa température de un degré à nos températures usuelles. Le savant Joule réalisa cette même action à l'aide d'un travail mesurable et obtint la correspondance :

1 calorie = environ 4 Joules

Voici un exemple de dispositif permettant cette mesure : un poids de masse m transmet son énergie potentielle à un système d'hélice, qui transmet son énergie cinétique de rotation à l'eau d'un calorimètre (cuve isolée remplie d'eau et munie d'un thermomètre)



Ainsi pour élever la température d'une masse m d'eau de $\Delta\theta^\circ$, il faut lui apporter une quantité de chaleur ou bien un travail égal à :

$$Q = m c_{eau} \Delta\theta^\circ$$

Ex : Pour chauffer 2 L d'eau (soit 2 kg) de 40° C il faut apporter :

$$Q = 2 \times 4 \times 40 = 320 \text{ kJ}$$

L'énergie thermique et l'énergie chimique

Un corps à une température donnée est composé de constituants élémentaires (atomes) qui possèdent une énergie invisible à l'œil mais analogue à l'énergie cinétique et potentielle définie à notre échelle et qu'on qualifie **d'énergie mécanique microscopique** ou encore **d'énergie thermique**. Lorsque qu'on le chauffe, on augmente son énergie thermique au détriment de son environnement. Il s'agit donc d'un transfert d'énergie thermique.

Toutefois, si pour chauffer le corps, on a dû brûler un combustible, du gaz par exemple, le gaz et son comburant l'oxygène ne pouvaient en aucun cas, avant la combustion, transférer de l'énergie au corps car ils étaient à même température. C'est bien la réaction chimique qui a fait apparaître de l'énergie thermique dans le mélange gaz-comburant, lequel a pu en transférer une grande partie au corps pour le chauffer. Nous voyons ainsi que peut être défini un autre concept d'énergie, celui d'énergie chimique :

L'énergie chimique d'un système formé de réactifs est définie comme étant la chaleur pouvant être libérée par la réaction

Il s'agit bien d'une énergie potentielle. Tant qu'il n'y a pas réaction, elle ne manifeste pas ses effets.

Chauffer un corps en brûlant un gaz à proximité est donc un transfert d'énergie chimique en énergie thermique (une partie pour le corps l'autre pour l'environnement dont le gaz lui-même)

L'énergie nucléaire

Par sa fission entretenue par une réaction en chaîne, une boule contenant de l'uranium 235 peut dégager une énorme énergie thermique. Cette énergie, avant qu'elle ne soit libérée en partie est appelée **énergie nucléaire** et est définie par la formule d'Einstein par :

$$E = m c^2$$

Les autres énergies :

Une pile possède une énergie chimique contenue dans l'ensemble formé par ses électrodes et son électrolyte. Elle transfère cette énergie en travail pour déplacer les électrons du circuit dans lequel elle s'insère. Ce travail électrique est aussitôt transféré soit en énergie thermique et radiative (effet Joule dans les résistors), soit en travail mécanique (dans les moteurs) soit en énergie électrostatique (énergie stockée par les condensateurs) soit en énergie magnétique (énergie stockée dans les inductances). Pour les formules :

L'énergie stockée dans un condensateur de capacité C (charge qu'il acquiert sur l'armature positive sous une tension de 1 Volt) , sous une tension U :

$$E = \frac{1}{2} C U^2$$

L'énergie stockée dans une inductance d'inductance L (flux magnétique par mètre pour un courant de 1 A) :

$$E = \frac{1}{2} L I^2$$

Les deux types d'énergies précédentes sont très utiles dans les montages électroniques. Elles permettent de stocker puis de restituer de l'énergie électrique.

Le travail W pour déplacer pendant une durée Δt les électrons participant au courant électrique dans un dipôle peut être mis en relation avec l'intensité I parcourant ce dipôle et la tension U aux bornes de ce dipôle grâce à une expérience simple : On place un résistor de résistance pouvant être modifiée dans un calorimètre (enceinte calorifugée contenant par exemple 1 L d'eau pure) et on alimente ce dipôle avec un générateur de tension continue. On mesure à l'aide d'un voltmètre la tension U et à l'aide d'un ampèremètre l'intensité I . En faisant varier U , I et Δt on mesure la chaleur captée par le calorimètre et l'eau qu'il contient et on observe que cette dernière est liée à $U, I, \Delta t$ par la formule :

$$E = U I \Delta t$$

En appliquant le principe de conservation de l'énergie décrit après, cette énergie est également le travail W . On la qualifie **d'énergie électrique absorbée par le dipôle**. Cette énergie se retrouve par exemple in fine avec un résistor en énergie thermique dans l'environnement (cas d'une plaque de cuisson, d'un fer à repasser, d'un radiateur électrique)

Si on la ramène à l'unité de temps (la seconde) on obtient le concept de **puissance électrique absorbée par un dipôle** :

$$P = \frac{E}{\Delta t} = U I \quad (\text{en Watts, symbole : } W)$$

V Le grand principe de l'énergie : sa conservation

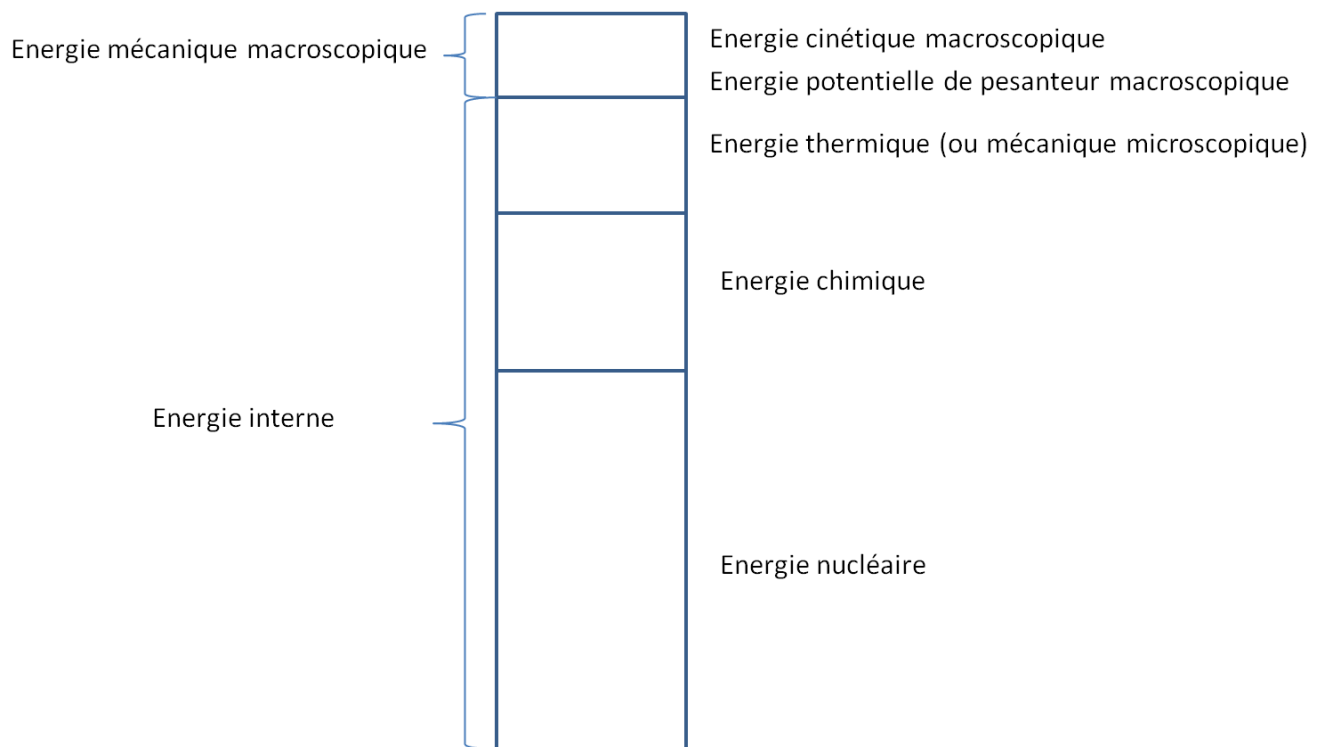
Tous les concepts d'énergie ont été définis par les hommes pour valider la maxime de Lavoisier :

« rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ».

Rappelons que cette maxime était entendue par Lavoisier pour la conservation de la masse et des éléments au cours d'une transformation chimique. On peut donc l'étendre à l'énergie et l'énoncer en ces termes :

Lorsqu'un système n'échange ni travail, ni chaleur, ni rayonnement avec l'extérieur (on dit qu'il est isolé) son énergie totale se conserve. Cela n'empêche pas des transferts de s'opérer entre sous-systèmes en son sein.

Pour finir, par un exemple, prenons le cas d'un système formé d'un récipient contenant de l'essence, de l'oxygène, une boule contenant de l'uranium 235 en masse critique, une source de polonium pour déclencher la réaction nucléaire, ce système se situant à une hauteur h au dessus d'une surface prise comme référence et ce système étant en translation rectiligne uniforme par rapport à la Terre. Ce système, comme tout système a, dans le référentiel terrestre, une énergie totale qui se compose d'énergies potentielles et cinétiques, d'énergies microscopiques (invisibles) et macroscopiques, que l'on peut résumer par ce schéma par ordre d'importance :



Les transferts pour un système isolé, traduisent le passage d'une forme à une autre, soit au sein d'un même sous-système soit d'un sous-système à un autre.

Exemple : Si on brûle un mélange essence oxygène, isolé de l'extérieur :

Il y a transfert en interne d'énergie chimique en énergie thermique

Si le système n'est pas isolé, une partie de cette énergie est transférée en énergie thermique à l'environnement extérieur.