

Mécanique

Science ayant pour objet l'étude des forces et des mouvements.

1 Forces

a) Rappels IV^e

Une force est une cause capable de

1. changer la nature du mouvement d'un corps (accélérer, décélérer, dévier)
2. déformer un corps

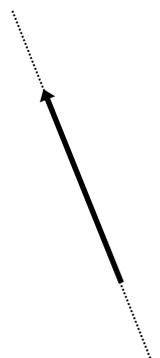
Définition de l'unité de force:

Une force de 1N fait que la vitesse d'un corps de masse 1kg augmente de 1m/s à chaque seconde (accélération $a=1\text{m/s}^2$).

Vecteur force: On représente une force qui agit sur un corps par un vecteur. Les caractéristiques du vecteur force \vec{F} sont:

- origine = point d'application de la force sur le corps
- norme = intensité de la force
- direction = droite d'action de la force
- sens = sens dans lequel tire/pousse la force

Pour mesurer l'intensité d'une force on peut utiliser un dynamomètre (Kraftmesser). En hommage à Isaac Newton l'unité de force est le N (Newton). Si on représente les vecteurs forces, on doit fixer une échelle convenable.



Il faut distinguer masse (=quantité de matière en kg) du poids (=force d'attraction terrestre en N). Un poids est utile pour exercer une force constante.

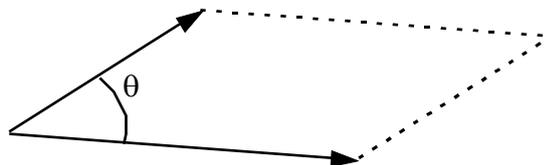
On peut calculer le poids d'une masse m sur une planète quelconque si l'intensité de pesanteur g est connue: $P=m \cdot g$ (sur Terre $g=9,8 \text{ N/kg}$)

Ex A : Dessiner votre vecteur poids dans une échelle appropriée.

b) Composition de 2 forces

Définition: On appelle résultante \vec{F}_R de deux forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 la force unique qui produit le même effet que les deux forces. Elle s'obtient en traçant le parallélogramme des forces pour déterminer la somme vectorielle : $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

Illustration:



Attention:

En général $F_R=F_1+F_2$ est faux !! sauf si les 2 forces ont même sens et même direction.

c) Equilibre de forces

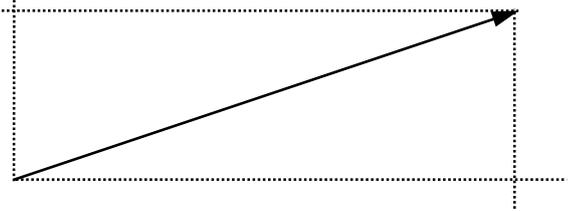
Si la somme vectorielle de 2 ou plusieurs forces qui s'applique sur le centre de masse d'un corps s'annule, les forces sont en équilibre. Le corps se comporte alors comme s'il n'y avait pas de force. **Sans forces, un corps reste immobile s'il est au repos ou poursuit un mouvement rectiligne à vitesse constante s'il est en mouvement. (Principe d'inertie)**

d) Décomposition d'une force suivant 2 directions perpendiculaires

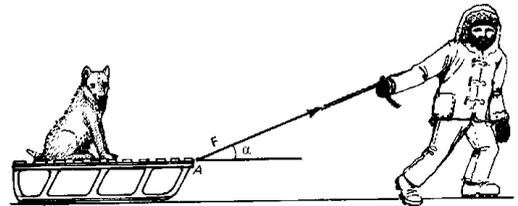
Soit un vecteur force \vec{F} qui fait un angle θ avec l'axe des x du repère Oxy.

La trigonométrie donne:
$$\begin{cases} F_x = F \cdot \cos \theta \\ F_y = F \cdot \sin \theta \end{cases}$$

pour les coordonnées de \vec{F} .

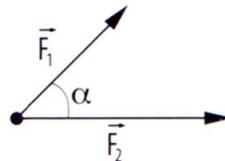


Ex B.: Un eskimo tire une luge avec une force $F=200\text{N}$ sous un angle $\alpha=35^\circ$. Déterminer la coordonnée tangentielle F_x dans la direction du mouvement et la coordonnée F_y normale (perpendiculaire) au mouvement.

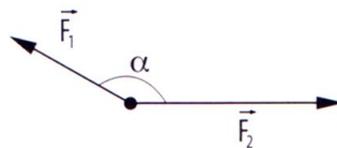


Ex C.: Déterminer graphiquement la résultante \vec{F} des forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 pour chaque situation représentée sur les figures. Citer les cas d'équilibre (justifier) !

$F_1 = 34\text{ N}$
 $F_2 = 46\text{ N}$
 $\alpha = 45^\circ$



$F_1 = 36\text{ N}$
 $F_2 = 56\text{ N}$
 $\alpha = 150^\circ$



$F_1 = 35\text{ N}$
 $F_2 = 60\text{ N}$



$F_1 = 22\text{ N}$
 $F_2 = 48\text{ N}$



$F_1 = 44\text{ N}$
 $F_2 = 44\text{ N}$



2 Machines simples – poulies, plan incliné et levier ([youtube intro](#))

On appelle machine simple un système mécanique (sans moteur) qui permet de réduire la force pour effectuer une certaine manœuvre mécanique comme par exemple lever une charge.

a) Cordes, poulies et palan (Flaschenzug).

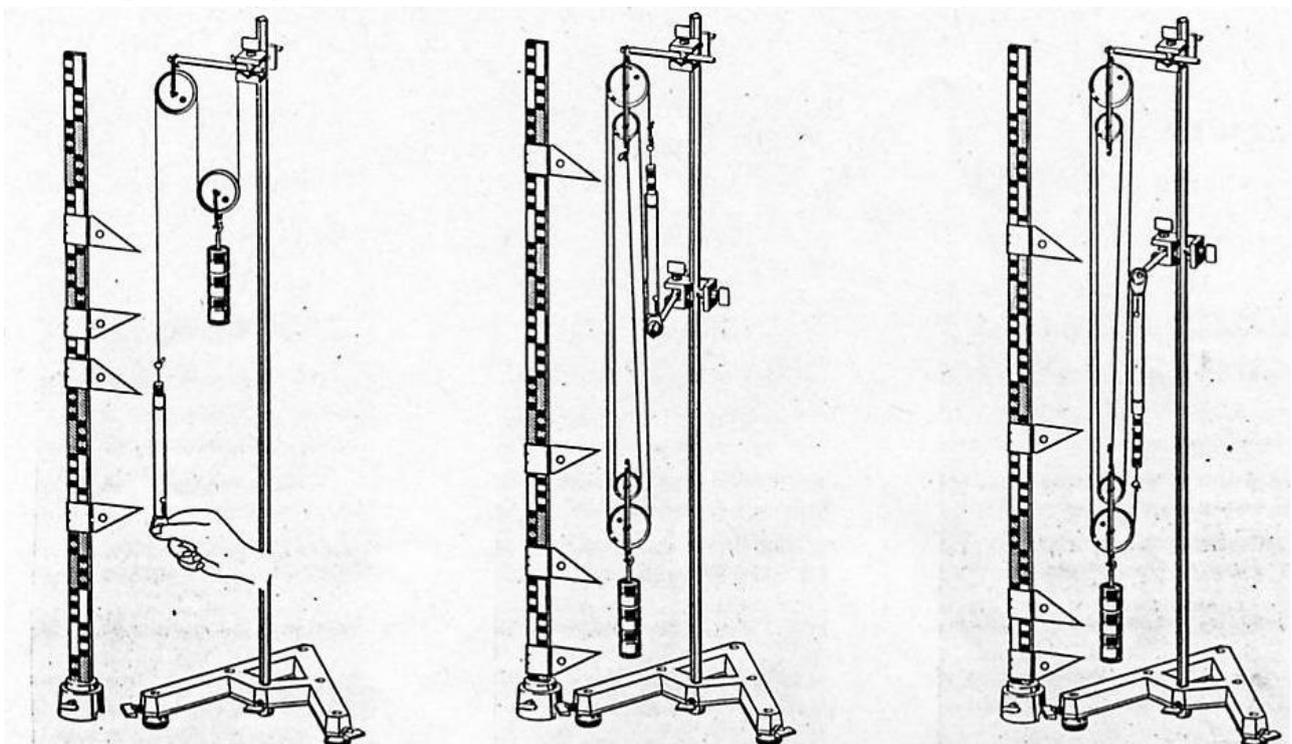
Expériences: Palans

1) Une poulie fixe permet de changer l'orientation de la force. Si les frottements sont négligeables, l'intensité de la force reste la même. Avec des frottements, la force nécessaire pour monter est plus grande qu'à la descente.

2) Une poulie mobile permet de répartir la charge F_C (accrochée à la poulie mobile) sur les deux brins de cordes. Si les 2 brins sont parallèles la force F_C est divisée par 2.

Illustrer les résultats énoncés par vos mesures et par vos explications.

Charge: $m=0,4\text{kg} \Rightarrow F_C=4\text{N}$ Traction sur corde: F_T (mesurer)



(mesurer et dessiner les vecteurs F_C (charge) et F_T (raction) à l'échelle $1\text{N} \Rightarrow 1\text{cm}$)

Conclusion :

Si on utilise plusieurs poulies fixes et plusieurs poulies mobiles reliées entre elles (=palan), il faut compter les brins de cordes qui partent des poulies mobiles supportant la charge F_C (en principe le poids des poulies mobiles s'ajoute au poids des masses accrochées).

Pour n brins de cordes (Seilstränge) parallèles qui portent un système de poulies mobiles

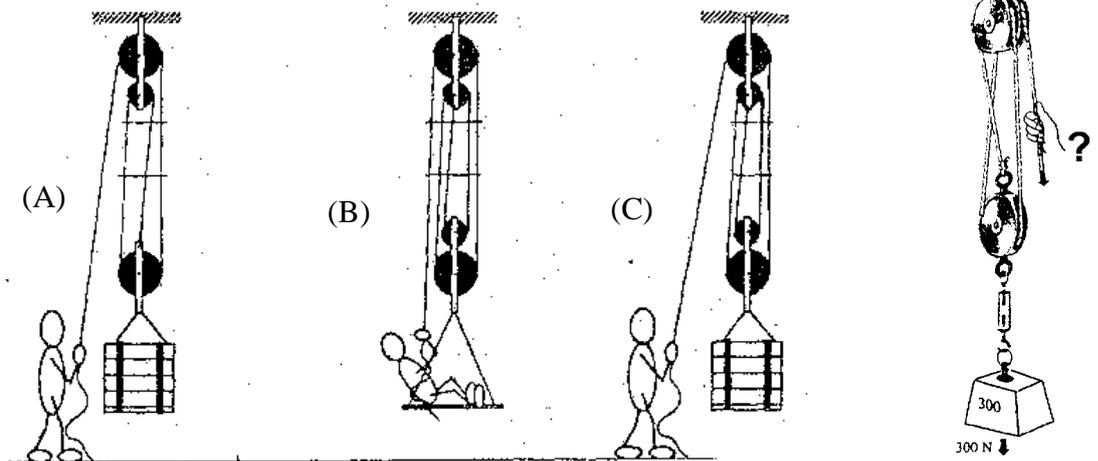
1) la force de traction sur la corde vaut $F_T = \frac{F_C}{n}$ avec F_C = force de la charge.

2) il faut tirer l'extrémité de la corde sur une longueur $x = n \cdot h$ pour soulever la charge d'une hauteur h

Ainsi pour réduire la force d'un facteur n , on rallonge le chemin du même facteur.

Ex A : Déterminer les forces inconnues ? pour le palan à droite.

Ex B : On considère les situations suivantes



1. Déterminer l'intensité F la force de traction nécessaire pour garder l'équilibre dans les situations A, B, C.
2. Indiquer dans chaque cas le chemin de la force de traction pour faire monter le plateau de 1 m.
3. Expliquer pourquoi dans la figure (B) le chemin de la force est plus grand que le segment de corde tiré sur la poulie.

Données: masse de la caisse: $m_1 = 100$ kg et masse de la personne: $m_2 = 80$ kg.

Ex C : Un enfant peut tirer vers le bas avec une force de 200N. Il veut soulever son père qui a une masse de 100kg. Dessiner correctement un palan qui permet de réduire la force pour soulever le père avec cette force.

Ex D. On utilise le palan suivant pour soulever une masse de 20t. Indiquer l'orientation de F_T et F_C et le rapport n . Déduire F_T



b) Plan incliné

On place un cylindre sur un plan incliné et on le garde à l'équilibre à l'aide d'une force de traction F_T dirigée parallèlement au plan incliné et d'une réaction normale du sol F_N .

Détermine graphiquement F_N et F_T sur la figure suivante. (1cm \rightarrow 1N).

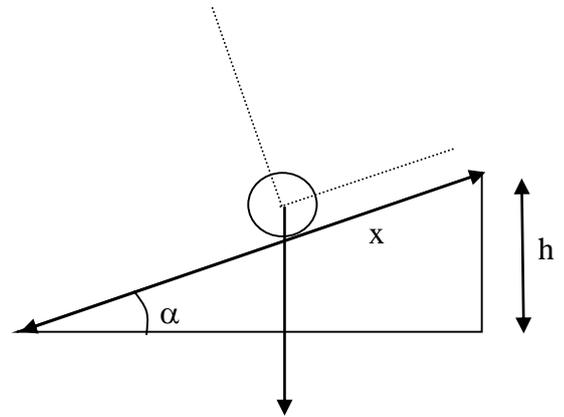
Montrer que les relations trigonométriques donnent:

$$F_T = P \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$$F_N = P \cdot \cos \alpha = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

Expérience : Plan incliné

On utilise un rail incliné d'une longueur $x = \dots\dots\dots$ où on règle différentes inclinaisons α . Le cylindre à déplacer vers le haut a le poids $P = m \cdot g = \dots\dots\dots$ N.



α (°)	F_T (N)	F_N (N)	h (m)	$P \cdot \sin \alpha$ (N)	$P \cdot \cos \alpha$ (N)	$F_T \cdot x$ (N.m)	$P \cdot h$ (N.m)
à mesurer				à calculer			

Que constate-t-on?

Exercices:

Ex. A : On veut pousser une personne dans un fauteuil roulant de masse totale 78kg sur un plan incliné. La longueur du plan est de 8m pour une dénivellation de 90cm.

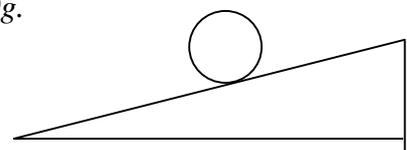
- 1) Déduire la force nécessaire
- 2) Quelle est l'angle d'inclinaison

Ex. B : Un skieur $m=90$ kg descend une pente très glissante (sans frottement) inclinée de 40° .

- 1) Calculer la force avec laquelle il est tiré vers le bas de la pente.
- 2) Il descend en ligne droite sur 500m le long de la piste inclinée. De quelle hauteur h, son altitude a diminuée?

Ex. C : On veut réduire la force d'un facteur 5 pour monter un chariot d'une hauteur de 1m. Quelle doit être l'inclinaison du plan incliné ?

Ex D : La bille sur le plan incliné suivant a une masse de 150g. Calculer et dessiner F_T et F_N .



c) Levier

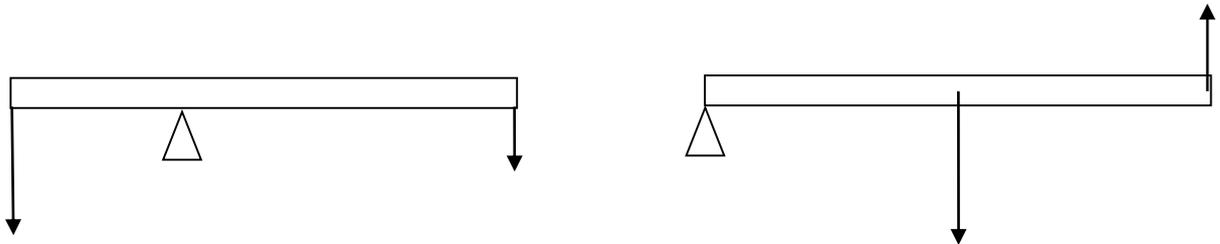
Axe de rotation = droite qui joint les points qui restent fixe au cours de la rotation.

Si le **bras moteur** (distance de l'axe à la force motrice) est long et le **bras résistant** (distance de l'axe à la force résistante) est court, la force motrice sera amplifiée.

Pour étudier l'équilibre on représente les forces qui agissent SUR le levier. La force sur l'axe est souvent négligée.

Loi d'équilibre du levier

Etudier expérimentalement un levier à deux bras et à un bras. Indiquer forces et bras de levier.

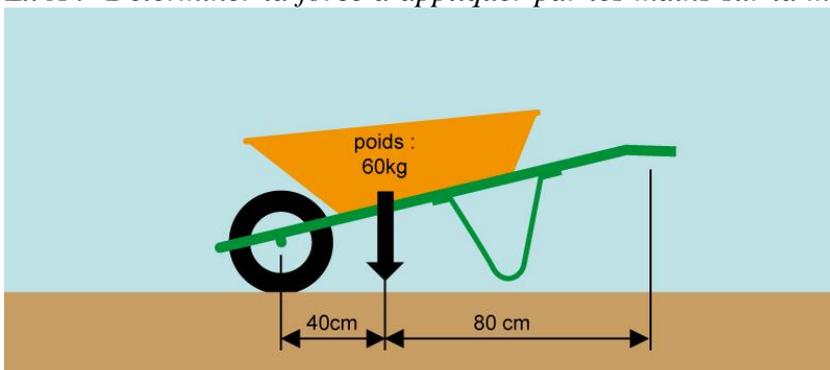


F_1 (N)	d_1 (m)	$F_1 \cdot d_1$	F_2 (N)	d_2 (m)	$F_2 \cdot d_2$

Conclusion: Le produit FORCE · BRAS DE LEVIER doit être le même dans les 2 sens de rotation. $F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$

Noter que pour simplifier : 1) on a négligé le poids propre du levier
2) les 2 forces sont perpendiculairey au bras de levier.
On remarque que le chemin de la grande force est plus petit.

Ex A : Déterminer la force à appliquer par les mains sur la manette. Levier à 1 ou 2 bras ?



3 Travail

a) Règle d'or de la mécanique

Toutes les machines simples permettent de réduire l'intensité d'une force. En revanche, le chemin parcouru par son point d'application devient d'autant plus long.

Règle d'or de la mécanique :

Pour économiser des forces avec un outil mécanique (simple=sans moteur), il faut parcourir un chemin plus long. Réciproquement, pour réduire le chemin sur lequel une force s'applique, il faut augmenter l'intensité de la force. Sans frottement on constate que le produit de la force par le chemin reste constant quelle que soit l'astuce mécanique utilisée.

Ce produit a une grande importance physique, car il exprime le travail mécanique.

b) Le travail au sens physique

Il ne faut pas confondre le travail au sens physique du terme avec le langage courant. Ainsi, le travail au sens physique n'englobe pas le travail intellectuel, ni certaines activités exigeant de grands efforts statiques.

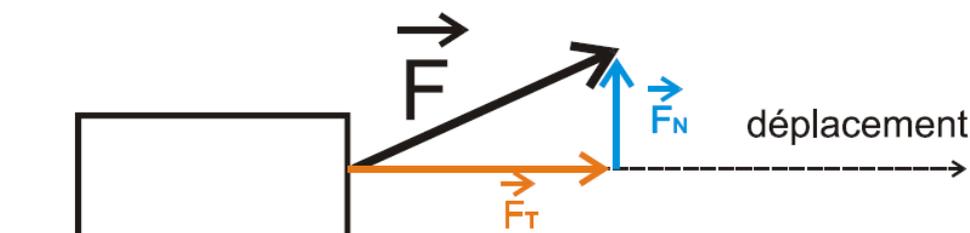
On effectue un travail si on applique une force \vec{F} sur un corps parallèlement à son déplacement (figure) : $W = F \cdot x$

Le travail physique est nulle si la force est perpendiculaire au déplacement (figure) : $W = 0$

Si la force est inclinée d'un angle θ par rapport au déplacement on tient compte de la composante tangentielle (parallèle au chemin) et non pas de F_N qui travaille pas.

$$W = F_T \cdot x \quad (\text{composante tangentielle de la force} \cdot \text{chemin})$$

ou $W = F \cdot x \cdot \cos\theta$



Application: Echelle longueurs : 1 : 10 ; forces : 1N=>1cm. Mesurer et calculer W en J.

c) Définition et unité de Travail

Définition : On appelle travail et on note W (work) le produit de la composante tangentielle F_T d'une force constante par le chemin parcouru x . $W = F_T \cdot x$

Unité SI :

F_T : (composante d'une) force en Newton (N)
 x : distance en mètres (m)

On définit : $1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ J}$ (Joule)

Souvent, on utilise aussi des multiples du Joule, p.ex. le kilojoule (kJ) : $1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$

Exemple : On soulève un corps d'une masse de 102g (p.ex. tablette de chocolat avec emballage) d'une hauteur de 1m.

Il faut donc appliquer la force

$$F = m \cdot g = 0,102 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 1 \text{ N.}$$

Comme cette force est parallèle à son déplacement

$$x = h = 1 \text{ m.}$$

Finalement, le travail vaut :

$$W = F \cdot x = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 \text{ J.}$$

Noter que la valeur nutritionnelle s'exprime aussi en J. Pour 100g de chocolat on a 2400kJ.

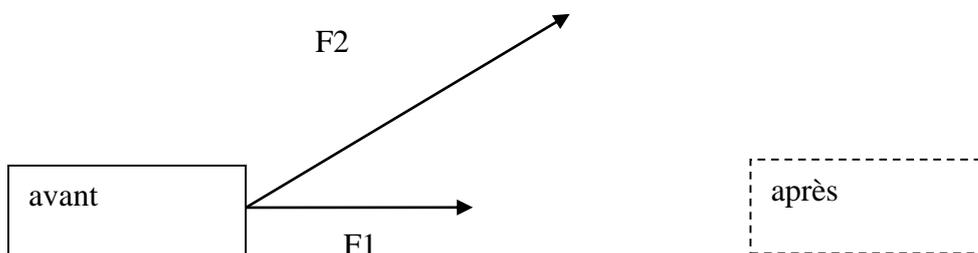


Noter : Le rendement musculaire correspond au rapport du travail mécanique musculaire par rapport à la valeur en énergétique consommée et vaut env. 15 à 20%.

Ex A : Déterminer le travail de levage nécessaire pour soulever une haltère de 25kg de 2,2m.

Ex B. : Déterminer le travail nécessaire pour monter du rez-de-chaussée à la salle de physique ? Tenir compte de votre masse, du nombre de marches et de la hauteur de marche. Comparer à l'énergie nutritionnelle de 100g de chocolat. Rendement !

Ex C. : Calculer le travail pour F_1 et F_2 sur un déplacement rectiligne. Mesurer sur la figure avec les échelles $1 \text{ cm} \Rightarrow 1 \text{ m}$ pour les déplacements. $1 \text{ cm} \Rightarrow 5 \text{ N}$ pour les forces.



Ex D. : On déplace un cartable horizontalement sur le pupitre. La force de traction tangentielle vaut 7N et la longueur vaut 2m. Quel est le travail fourni ? Quel est son effet ?

4 La puissance

Exemple préliminaire :

Deux fournisseurs de boissons montent deux caisses avec 12 bouteilles d'eau ($m=13 \text{ kg}$) au 3^{ème} étage ($h=12 \text{ m}$). Le premier effectue le travail en 3 minutes, le deuxième a besoin de 5 minutes. Il est clair que les deux hommes effectuent le même travail, à savoir :

$$W=F \cdot x=P \cdot h=m \cdot g \cdot h=13 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} \cdot 12 \text{ m} = 1530 \text{ J}$$

Or, le client sera plus content du premier fournisseur, comme il effectue le même travail plus rapidement que l'autre. On dit qu'il est plus puissant.

a) Définition de la puissance mécanique

La puissance P est le quotient du travail effectué W par le temps nécessaire t .

$$P = \frac{W}{t}$$

Unités: W en J, t en s et P en $\text{J/s}=\text{W}$ (Watt) d'après James Watt (inventeur machine à vapeur)

Rem: Ne pas confondre l'unité: W (Watt) et la grandeur W (travail)!! S'il y a plusieurs possibilités on doit indiquer la force F pour laquelle on calcule le travail resp. la puissance.

Calculer la puissance des 2 hommes qui montent les 2 caisses.

$P_1=$

$P_2=$

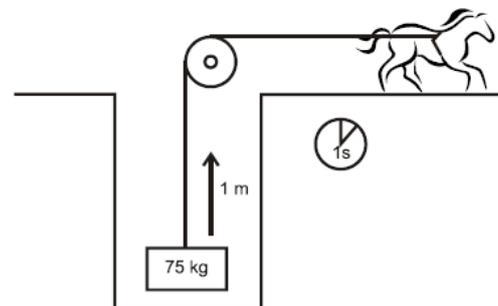
Noter qu'il faut bien préciser de quel travail on parle.

Ici travail utile : levage des 2 caisses et non pas levage de l'homme et des caisses !

b) Ancienne unité : d'après mesure de Watt de la puissance moyenne longue durée d'un cheval

Un cheval peut soulever en 1 s une masse de 75kg de 1m. D'où $P=m \cdot g \cdot h/t=736\text{W}$.

$$1 \text{ ch. (cheval vapeur)} = 1 \text{ PS (Pferdestärke)} = 736 \text{ W}$$



b) Expériences :

Illustrer le montage, définir les grandeurs à mesurer, faire chaque fois deux mesures.

1) pompe aquarium

2) moteur électrique

3) course escalier

Ex A. : Un coureur cycliste de 90 kg a une puissance maximale de 400 W. Il monte un col de longueur $l=2$ km pour une différence d'altitude de 300 m.

a. Evaluer le travail et déduire la valeur minimale du temps de montée.

b. Prédire la vitesse du cycliste en m/s et en km/h. Expliquer pourquoi la vitesse réelle sera bien inférieure.

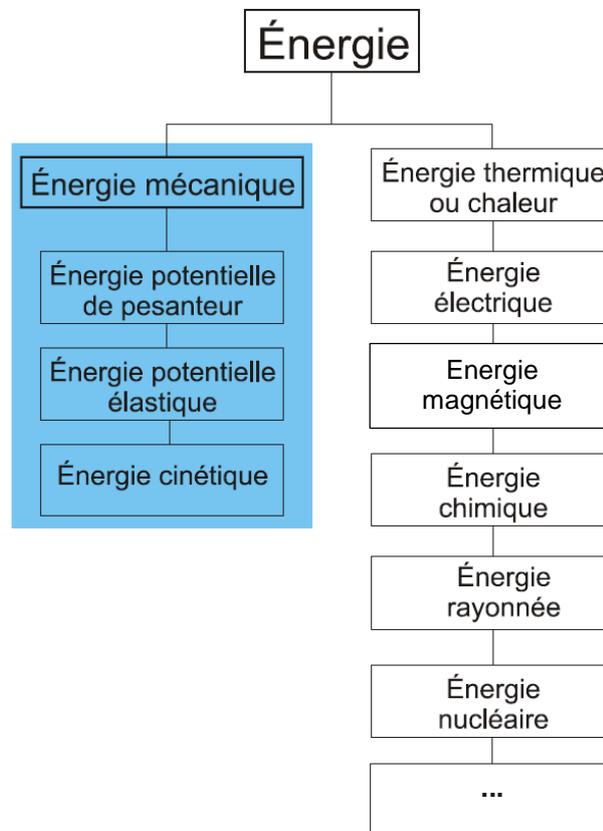
Ex B. : Quel est le temps mis par une pompe de puissance 3,7 kW pour transporter 10 m³ d'eau à une hauteur de 25 m ?

Ex C. : Le moteur d'une grue fournit une puissance motrice de 88 ch. Combien de temps met grue pour soulever une masse de 1700 kg d'une hauteur de 30 m ?

5 L'énergie mécanique

a) Notion d'énergie

Pour effectuer un travail on a besoin d'énergie. Ceci vaut pour les êtres vivants tout comme pour les machines. L'énergie est du travail en stock. Selon les modes de stockage on distingue différentes formes d'énergie.



L'énergie thermique (chaleur / énergie calorifique) est liée au mouvement des particules (atomes/ molécules) d'un corps. Elle se manifeste lors de l'élévation de la température ou de la fusion ou évaporation d'un corps.

L'énergie électrique est liée aux différences de charge électrique entre deux corps. Elle est particulièrement commode à transformer et à transporter, mais difficile à stocker.

L'énergie chimique est liée à la structure de la matière, aux liaisons entre atomes ou entres molécules.

L'énergie nucléaire est liée à la cohésion entre particules constituant le noyau de l'atome. Elle se manifeste lorsque des noyaux lourds se cassent (fission nucléaire) ou lorsque des noyaux légers s'assemblent (fusion nucléaire). La radioactivité est liée à ce type d'énergie.

L'énergie rayonnée est liée aux radiations (photons) émises par des corps chauds. Celle du soleil est la plus connue, car indispensable à la vie sur Terre.

L'énergie mécanique est présente sous 3 formes :

- l'énergie potentielle de pesanteur est liée à l'altitude d'un objet
- l'énergie potentielle élastique est liée à la déformation d'un objet
- l'énergie cinétique est liée au mouvement des objets

Dans la suite, l'énergie mécanique sera étudiée plus en détail.

b) Calcul de l'énergie mécanique

Energie potentielle de pesanteur = travail emmagasiné dans un corps élevé d'une hauteur h

Energie potentielle élastique = travail emmagasiné dans un ressort étiré d'une longueur x

Energie cinétique = travail emmagasiné dans un corps animé d'une vitesse v

Pour calculer l'énergie mécanique E d'un corps dans un état donné on calcule E = travail reçu par le système pour passer (sans frottement) de l'état de référence (E=0) à l'état étudié.

Unité d'énergie = Unité du Travail = 1 J (Joule)

(1) Energie potentielle de pesanteur

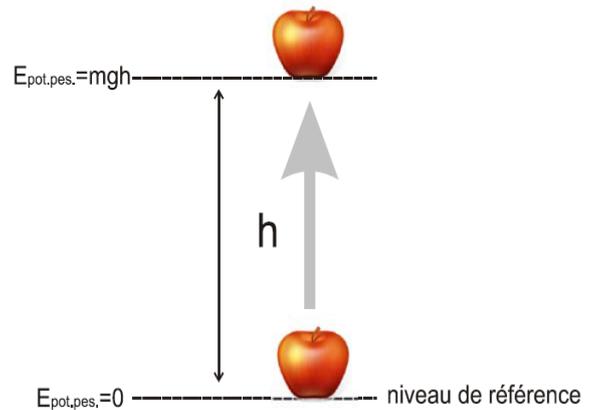
Pour soulever un corps de masse m, à partir du sol (=niveau de référence) à une hauteur h, le travail de levage contre la force de pesanteur P=m·g (constante) vaut:

$$W_p = P \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

L'énergie potentielle de pesanteur d'une masse m à la hauteur h correspond au travail de levage reçu et vaut:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

Unités: m en kg; g =9,8N/kg; h en m et E_p en J



(2) Energie potentielle élastique

Cette énergie est celle que possède un corps lorsqu'il est déformé de manière élastique. Elle est égale au travail de déformation qu'il a fallu pour déformer le corps. Cette énergie est restituée lorsque le corps reprend sa forme initiale.

Exemples :

- un arc tendu
- un ressort comprimé
- une balle qui rebondit



(3) Energie cinétique

L'énergie cinétique d'un mobile de masse m qui se déplace à la vitesse v augmente avec le carré de la vitesse:

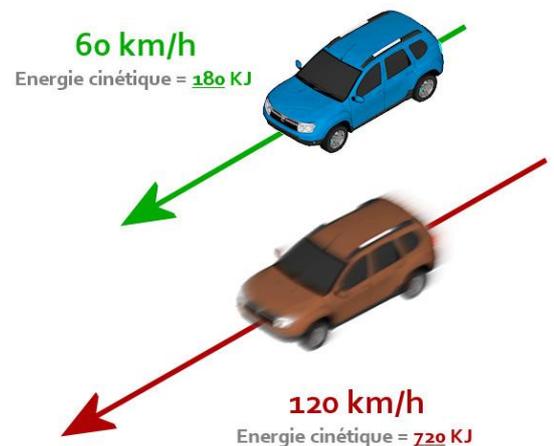
$$E_c = \frac{1}{2} m v^2$$

Unités: m en kg; v en m/s et E_c en J.

Conversion d'unités:

$$1\text{km/h} = \frac{1}{3,6} \text{ m / s} \text{ et } 1\text{m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

Appl. : Déduire la masse de la voiture.



(4) Conservation de l'énergie mécanique

Si un système mécanique évolue sans frottement et sans moteur, l'énergie potentielle se transforme en énergie cinétique et vice-versa. L'énergie mécanique totale E=E_{pot}+E_{cin} est une constante.

Expérience : vitesse après une chute d'une hauteur h.

L'énergie potentielle initiale $E_{P \text{ haut}}$ est transformée (sans frottement) en énergie cinétique finale $E_{C \text{ bas}}$.

Déduire une relation entre v et h . Mesurer la vitesse après une hauteur de chute h à l'aide d'un chrono électrique. Illustrer le montage. Tableau de mesure.

Qu'arrive-t-il si la hauteur double, quadruple?

h(m)	Δt (s)	V_{mes} (m/s)	$V_{\text{théo}}$ (m/s)

c) Transformation d'énergie et « pertes »

On travaillant, on transfère de l'énergie. Ainsi, si on lance une flèche à l'aide d'un arc tendu, l'énergie potentielle élastique initialement stockée dans l'arc tendu est utilisée pour effectuer un travail accélérateur sur la flèche, qui ainsi, acquiert de l'énergie cinétique.

Il en est de même pour d'autres formes de travail : en travaillant, on transfère de l'énergie.

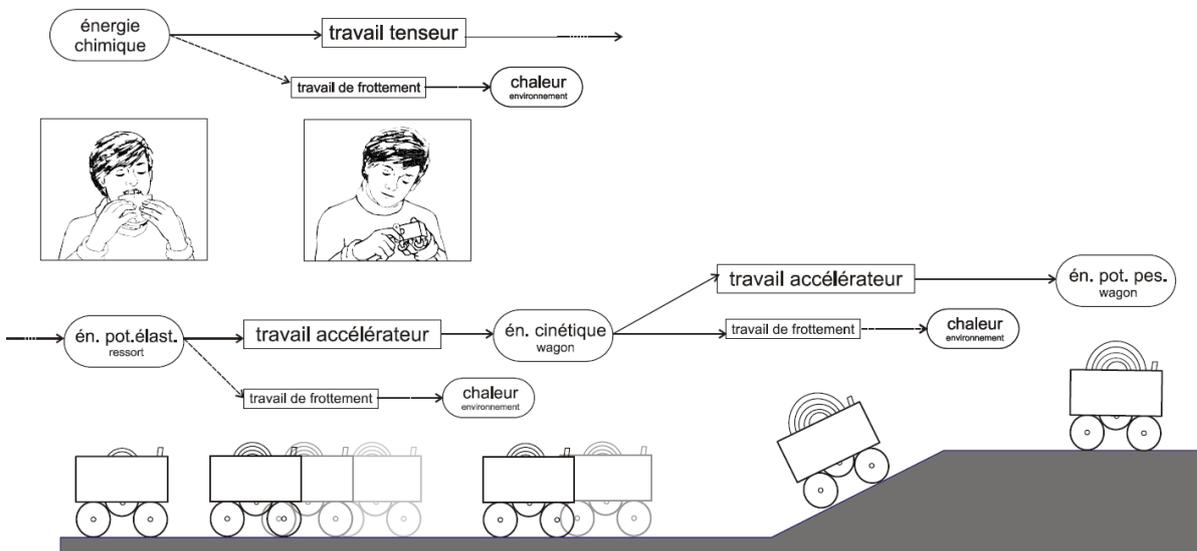
Le travail est un mode de transfert d'énergie.

L'énergie peut ainsi changer de forme, on parle alors de transformation d'énergie. L'énergie peut être transférée et/ou transformée de façons très variées, mais pour toute transformation on peut dire.

L'énergie totale (toutes les formes) reste conservée.

Aucune énergie n'est créée, aucune énergie ne pourra disparaître.

Sur terre, la grande majorité des travaux sont accompagnés de frottement. Une partie de l'énergie initialement disponible servira donc à effectuer un travail de frottement, créant de l'énergie calorifique en chauffant l'environnement. Cette énergie se répartit généralement sur un grand volume et ne peut plus servir à effectuer un travail (on ne peut pratiquement pas la stocker). Voilà pourquoi on parle souvent de « pertes d'énergie ». Mais l'énergie n'a pas disparu : elle est plutôt « cachée » dans les corps réchauffés. Cette énergie a pour nous moins de valeur que l'énergie mécanique initiale.



Ex A. : Si on transforme l'énergie nutritionnelle du chocolat entièrement en énergie potentielle quelle serait l'élévation de hauteur (pour 100g de chocolat la valeur énergétique vaut 2400kJ).

Ex B. : Une balle de 8g est tirée avec une énergie cinétique de 3200J, combien vaut sa vitesse?

Ex C. : A quelle hauteur de chute h correspond l'énergie libérée lors d'un accident de voiture de vitesse $v=30\text{km/h}$; 50km/h ; 90 km/h ?

Ex D. : Un inuit se promène à une vitesse $v=1,5\text{m/s}$ en poussant sa luge de masse $m_{\text{luge}}=80\text{ kg}$ avec une force $F=120\text{N}$ dans la direction du mouvement.

a) Calculer le travail exercé par l'esquimo lorsqu'il a parcouru un chemin de 5 km.

b) Calculer la puissance développée par l'inuit

c) Calculer l'énergie cinétique de la luge !

Ex E. : Étudier le freinage d'une voiture : Une voiture de masse $m = 800\text{ kg}$ roule à 50 km/h sur une route horizontale. La conductrice freine et la voiture s'arrête.

1. Quelle est l'énergie cinétique initiale de la voiture?

2. Quelle est la variation d'énergie cinétique entre le début et la fin du freinage? Comment est dissipée cette énergie?

3. Si le chemin de freinage vaut 25m quel est la force de freinage ?

4. Que vaut le chemin de réaction supplémentaire si on suppose que le temps de réaction vaut 1s ?

5. Refaire le calcul avec la même force de freinage et même temps de réaction mais une vitesse de 90km/h.

Ex. F. : On alimente une pompe d'étang avec un petit panneau solaire $30*45\text{cm}$. La puissance électrique de la pompe vaut 20W.

a) La puissance des rayons solaires est de 800W/m^2 . Evaluer le rendement du panneau solaire.

b) Dans des condition idéales on indique que la pompe transporte 1350 litre/h sur une hauteur de 1,9m. Déduire la puissance mécanique.

