

# Physique 3<sup>e</sup> ADEGP : Mécanique

## 1. Forces

### 1.1. Rappels de 5e

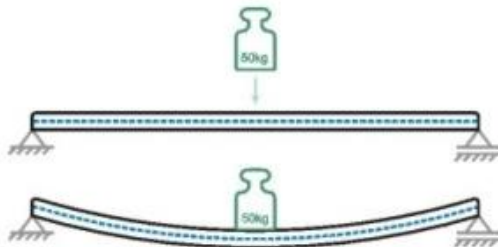
#### 1.1.1. Les effets d'une force

Il est impossible de voir une force, mais on peut la détecter à travers ses effets.

**Définition :** On appelle **force** toute cause capable de

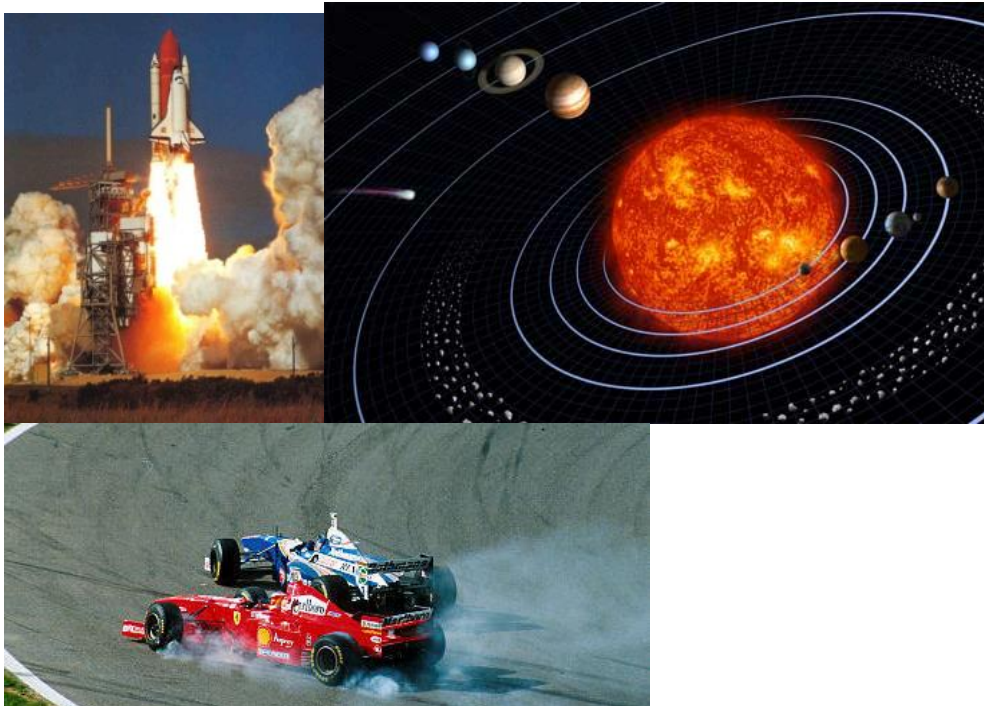
- déformer un corps : **effet statique** d'une force
- changer le mouvement d'un corps : **effet dynamique** d'une force

**Déformation :** allonger ou comprimer un ressort, plier une feuille de papier, dégâts suite à la collision de deux voitures, écraser une cannette de boisson, étirer un élastique...

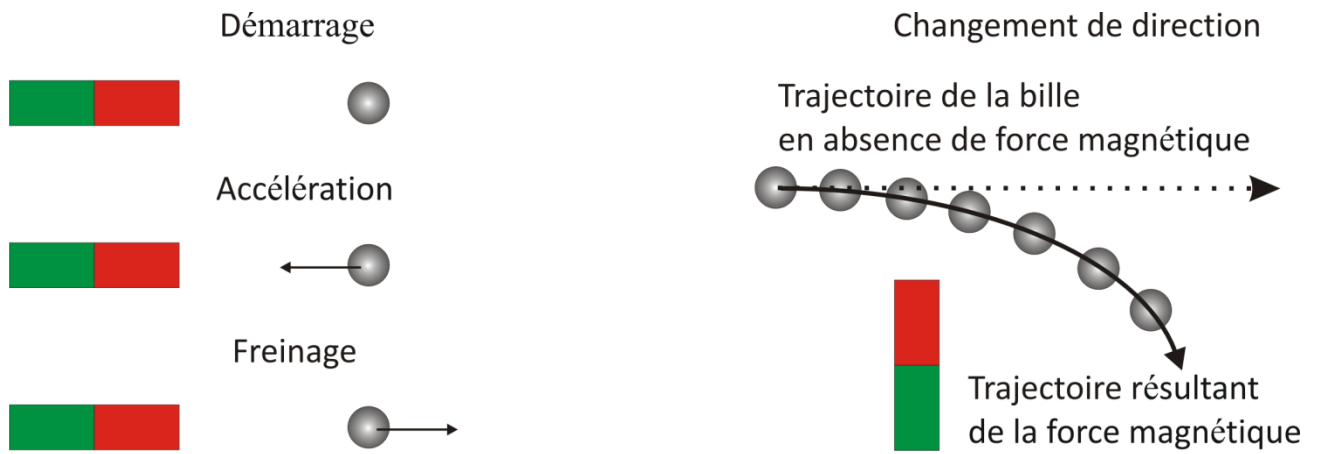


Voici les 4 possibilités d'un **changement du mouvement d'un corps**

- Un corps initialement immobile est mis en mouvement (démarrage)
- Un corps accélère (sa vitesse augmente)
- Un corps freine (sa vitesse diminue)
- La direction de mouvement d'un corps change



On peut facilement visualiser ces différentes possibilités à l'aide d'un aimant et d'une bille.







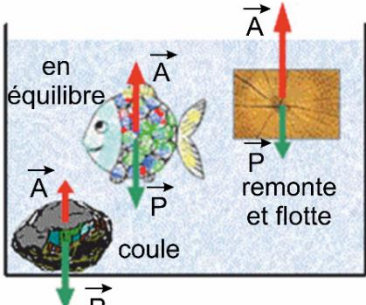



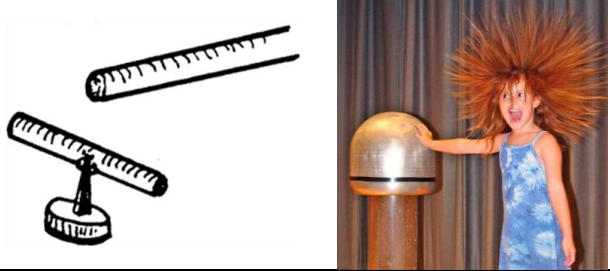


**Remarque :** Dans la figure gauche, les flèches représentent le mouvement de la bille avant approche de l'aimant. Chaque fois, la bille est attirée par l'aimant ce qui provoque l'effet décrit.

**Chaque fois qu'un corps se déforme ou que la nature de son mouvement change, il est soumis à une force.**

### 1.1.2. Exemples de forces

On distingue deux grandes familles de forces dont quelques exemples sont donnés ci-dessous :

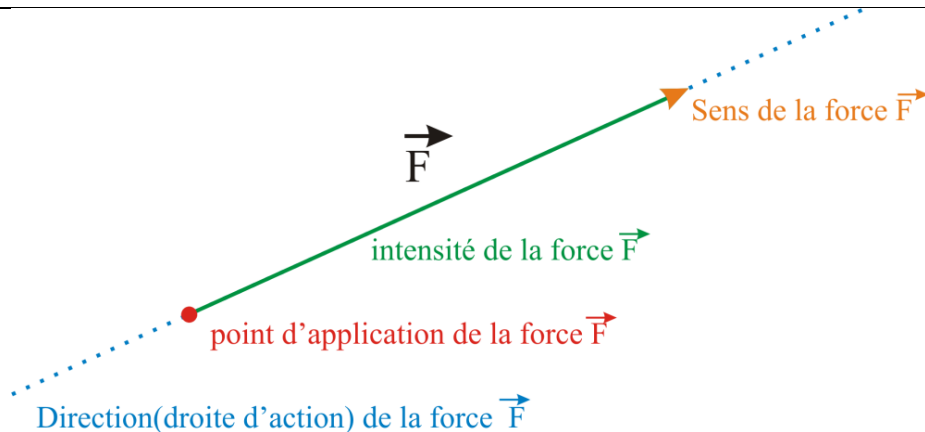
<b>Forces de contact : agissent entre corps qui sont en contact</b>	
<p>Force musculaire (→ pousser/tirer/soulever/tenir un objet...)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	<p>Forces de frottement (→ s'opposent au mouvement)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>
<p>Forces élastiques. Ces forces résultent d'une déformation temporaire d'un corps. (→ force dans un ressort/élastique tendu...)</p> 	<p>Réaction du sol, d'une table (→ empêche un corps de s'enfoncer dans le sol/la table/un mur)</p> 
<p>poignée d'Archimède (Auftriebskraft) : force agissant sur des corps plongés dans un fluide</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>en équilibre</p> <p>coule</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>remonte et flotte</p> </div> </div>	

<b>Forces à distance</b> : agissent aussi entre corps n'étant pas en contact direct.	
<p>Forces électriques          (→ deux bâtons d'ébonite frottés avec une fourrure se repoussent, un tel bâton peut attirer des corps légers. Des cheveux électrisés se repoussent)</p>	
<p>Forces magnétiques          (→ 2 aimants peuvent s'attirer ou se repousser, un aimant attire un clou, l'aiguille d'une boussole pointe toujours vers le Nord)</p>	
<p>Poids : force avec laquelle la Terre (ou un autre astre) attire les objets massiques          (→ chute d'un corps)</p>	

### 1.1.3. Représentation d'une force

Une force peut être représentée par un vecteur (« flèche ») vu que cet objet mathématique regroupe toutes les caractéristiques d'une force.

1. **Direction ou droite d'action de la force**: droite suivant laquelle la force s'exerce (p.ex. verticalement, selon l'axe Nord-Sud,...)
2. **Sens de la force** : distinguer les 2 possibilités pour une direction donnée (p.ex. vers le haut/bas, vers la gauche/droite,...)
3. **Intensité de la force** : plus elle est grande, plus l'effet de la force est marqué
4. **Point d'application de la force** : point où la force agit



Attention à la notation :

Dans les représentations graphiques, on se définit en général une échelle telle que la norme (« longueur ») du vecteur est proportionnelle à l'intensité de la force

**Exemple** : Si 1 cm ↔ 3 N, l'intensité de la force représentée ci-dessous vaut \_\_\_\_\_

On note: \_\_\_\_\_

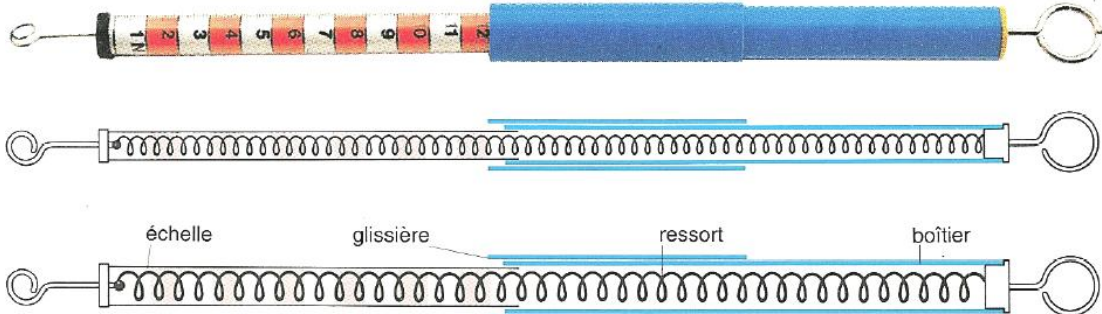


### 1.1.4. Mesure de l'intensité d'une force

L'instrument permettant de mesurer l'intensité d'une force est appelé **dynamomètre**.

La mesure est basée sur l'**effet statique** d'une force :

A l'intérieur d'un dynamomètre se trouve un ressort qui s'allonge lorsqu'on exerce une force sur lui. Or il existe une relation mathématique entre la force appliquée à un ressort et sa déformation. Donc, si on munit un ressort d'une graduation adaptée, on peut déduire l'intensité d'une force à partir de la déformation qu'elle produit.



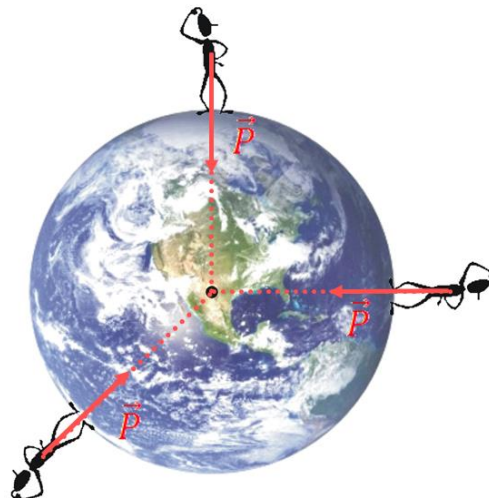
### 1.2. Masse et poids

- La masse est une mesure de la quantité de matière contenue dans un corps.
- La masse est indépendante du lieu. Le symbole de la masse est  $m$ .
- L'unité SI de la masse est le kilogramme (kg)
- L'instrument de mesure de la masse est la balance.

- Le poids  $\vec{P}$  d'un corps est la **force** avec laquelle la Terre ou un autre astre attire ce corps.
- Le poids dépend du lieu.
- La masse et le poids d'un corps sont reliés par l'intensité de la pesanteur (ou **accélération de la pesanteur**) notée  $g$ :

$$P = m \cdot g \quad g = \frac{P}{m} \quad m = \frac{P}{g}$$

- Dans nos régions  $g = 9,81 \text{ N/kg}$ . (On utilisera souvent la valeur arrondie  $g = 10 \text{ N/kg}$ .)



## Vérification expérimentale

Masse m	Poids calculé	Poids mesuré

### 1.3. Accélération

<https://www.youtube.com/watch?v=duOlJa5Vido>

Une voiture et un avion font la course sur une distance de 1,7 km. La vitesse maximale de la voiture vaut 312 km/h, tandis que celle de l'avion est supérieure à 900 km/h.

Pourtant, la voiture gagne grâce à son accélération.



Lorsque la vitesse d'un corps change, il est accéléré.

Dans les catalogues de voitures p.ex. on décrit très souvent les accélérations grâce à des vitesses et des temps, mais on les calcule rarement de façon explicite.

Utilisons des exemples numériques simples pour trouver une définition de l'accélération

$$t_1 = 00 \text{ s}$$

$$v_1 = 0 \text{ m/s}$$

A

$$t_2 = 10 \text{ s}$$

$$v_2 = 20 \text{ m/s}$$



$$t_1 = 00 \text{ s}$$

$$v_1 = 0 \text{ m/s}$$

C

$$t_2 = 5 \text{ s}$$

$$v_2 = 20 \text{ m/s}$$



$$t_1 = 00 \text{ s}$$

$$v_1 = 20 \text{ m/s}$$

E

$$t_2 = 40 \text{ s}$$

$$v_2 = 0 \text{ m/s}$$



Si un corps possède à l'instant  $t_1$  une vitesse  $v_1$  et à l'instant  $t_2$  une vitesse  $v_2$  alors son accélération est définie par

Unité SI de l'accélération :

Si une vitesse ou une accélération est dirigée vers l'arrière, sa valeur est négative

L'unité SI de la vitesse est le  $\frac{m}{s}$  et non pas le  $\frac{km}{h}$  qu'on rencontre souvent dans la vie courante.

Conversion :

Exemples :

Exercices :

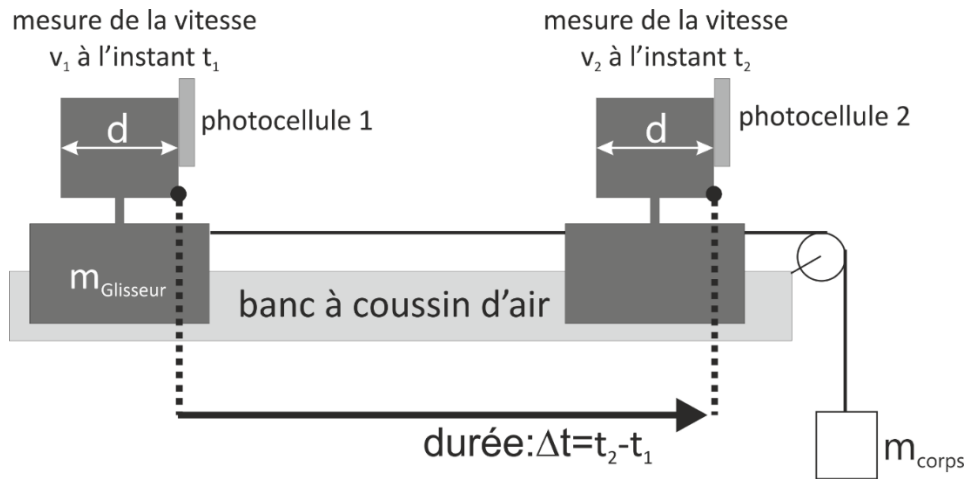
1. Pendant 8s, une voiture accélère de 50 km/h jusqu'à 130 km/h. Calculer son accélération en unité SI. (**Rép.** :  $2,78 \text{ m/s}^2$ )
2. À l'approche d'un chantier, une voiture roulant à 70 km/h freine jusqu'à atteindre une vitesse de 30 km/h. La manœuvre dure 6s. Calculer sa décélération. (**Rép.** :  $-1,85 \text{ m/s}^2$ )
3. Que vaut l'accélération d'un vélo roulant à une vitesse constante de  $25 \text{ km/h}$  ?

#### 1.4. Lien entre accélération et force : 2<sup>e</sup> loi de Newton

Hypothèses basées sur notre intuition




## Expérience



### Comment mesurer la vitesse dans les 2 photocellules ?

Pendant que le cache de largeur  $d$  traverse une photocellule, le glisseur avance d'une distance  $d$ .

Il suffit de mesurer les durées  $\Delta t_1$  et  $\Delta t_2$  pendant lesquelles le rayon lumineux dans la photocellule est interrompu.

Ensuite, on calcule  $v_1 =$  \_\_\_\_\_ et  $v_2 =$  \_\_\_\_\_

L'accélération est donnée par  $a =$  \_\_\_\_\_

Quelle est l'intensité de la force  $F$  qui accélère le système ?

Quelle est la masse  $m$  accélérée ?

Mesures :  $d =$  \_\_\_\_\_

	Mesure 1	Mesure 2	Mesure 3	Mesure 4
$m_{glisseur}$ en kg				
$m_{corps}$ en kg				
$\Delta t_1$ en s				
$\Delta t_2$ en s				
$\Delta t$ en s				
$v_1$ en $\frac{m}{s}$				
$v_2$ en $\frac{m}{s}$				
$F$ en N				
$m$ en kg				
$a$ en $\frac{m}{s^2}$				

Aux erreurs de mesure près, on déduit la **2<sup>e</sup> loi de Newton**.

Si un corps de masse  $m$  subit une accélération  $a$ , alors l'intensité de la force qui en est responsable vaut

On peut aussi déduire une définition de l'unité SI de l'intensité d'une force.



### Exercices

1. Estimer la force requise pour que les corps suivants subissent une accélération de  $1,5 \frac{m}{s^2}$ .
  - a. Une mouche
  - b. Une personne
  - c. Une voiture
2. Donner l'expression de l'accélération  $a$  d'un corps de masse  $m$  soumis à une force unique d'intensité  $F$  et répondre aux questions suivantes.
  - a. Comment varie cette accélération si  $F$  ne change pas et si  $m$  est triplé ?
  - b. Comment varie cette accélération si  $F$  est triplé et si  $m$  ne change pas.
3. Une voiture de masse  $m$  tire une remorque de masse  $m$ . Comparer son accélération avec et sans remorque (si la force ne change pas)

4. Une balle de golf de  $50 \text{ g}$  initialement au repos atteint une vitesse de  $150 \frac{km}{h}$  pendant  $0,6 \text{ ms}$  (= durée du contact entre la balle et le club). Calculer son accélération et l'intensité de la force qui agit sur elle.



5. Une locomotive exerce une force de  $60 \text{ kN}$  sur un train de marchandises d'une masse totale de  $500 \text{ t}$ .
  - a. Calculer son accélération. (**Rép** :  $0,12 \frac{m}{s^2}$ )
  - b. Après quelle durée est-ce que le train, initialement au repos, atteint une vitesse de  $54 \frac{km}{h}$ . (**Rép** :  $125 \text{ s}$ )
  - c. Pourquoi n'est-il souvent pas possible d'éviter une collision sur les rails, même si le conducteur freine dès que possible ?



6. Deux personnes poussent une voiture d'une tonne tombée en panne avec des forces d'intensités respectives  $F_1 = 300 \text{ N}$  et  $F_2 = 200 \text{ N}$  contre un frottement de  $75 \text{ N}$ .
  - a. Quelle est l'intensité de la force responsable de l'accélération ?
  - b. Calculer l'accélération produite par les deux forces.



7. Chacune des 2 turbines d'une A-320 peut développer une force de  $118 \text{ kN}$ . Calculer son accélération si l'avion démarre avec sa masse maximale autorisée de  $78 \text{ t}$ . (**Rép** :  $3,03 \frac{m}{s^2}$ )



8. Une personne de  $80 \text{ kg}$  subissant une accélération de  $5g$  risque de s'évanouir.
  - a. Que vaut cette accélération en unité SI ?
  - b. Quelle est l'intensité de la force responsable d'une telle accélération.



9. A son départ, le train du « Blue Fire » (= montagne russe) est violemment propulsé sur des rails rectilignes à partir du repos. Il atteint une vitesse de 100 km/h en 2,5 s.
- En déduire son accélération (en unité SI et en « g »)  
(Rép :  $11,1 \frac{m}{s^2}$ )
  - Calculer la force de propulsion si la masse du train vaut 10t. (Rép : 111 111 N)

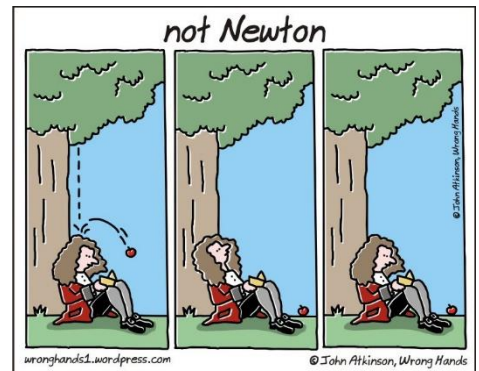


### Cas particulier : la chute libre

Un corps est en chute libre  $\Leftrightarrow$

Déterminons l'accélération d'un corps en chute libre grâce à la 2<sup>e</sup> loi de Newton

Est-ce que ce résultat dépend de la masse ?



### Expérience

Partie 1 : Une plume et un disque métallique tombent dans un tube en verre fermé.

**Observation :**

Partie 2 : Une expérience analogue a été réalisée sur la Lune (marteau et plume).

[http://www.youtube.com/watch?v=-4\\_rceVPVSY](http://www.youtube.com/watch?v=-4_rceVPVSY)

**Observation :**



Partie 3 : Répétons la partie 1, mais

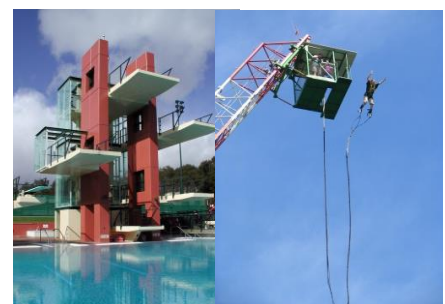
**Observation :**

### Conclusion

En pratique le frottement de l'air fait que

**Exercices : on néglige la résistance de l'air**

- La chute à partir d'une tour de 5 m dure 1 s. Avec quelle vitesse touche-t-on la surface de l'eau ?
- Un bungee-jumper voudrait atteindre une vitesse de  $72 \frac{km}{h}$ . Pendant quelle durée doit-il être en chute libre (donc avant que l'élastique ne commence à agir) ?

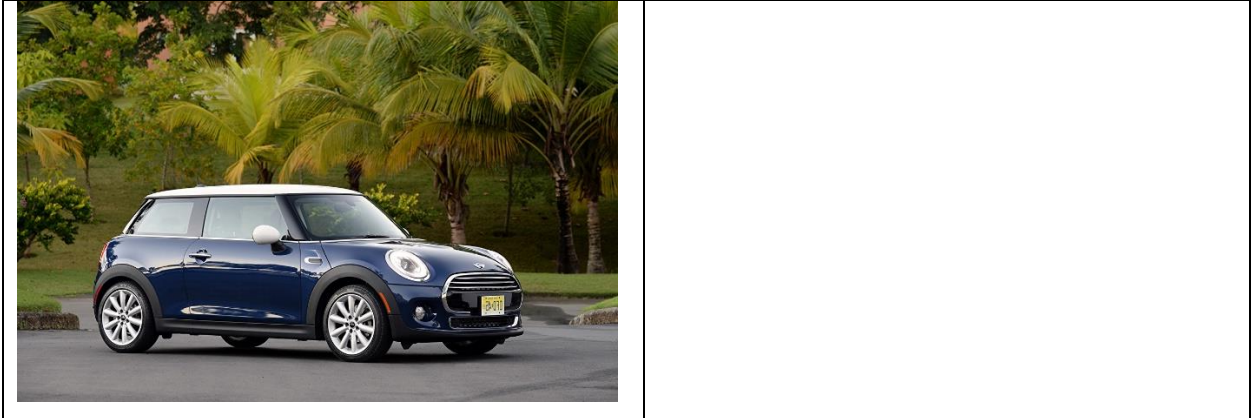


## 1.5. Principe d'inertie : 1<sup>ère</sup> loi de Newton

### Exemple 1 : Voiture au repos

Quelle est l'accélération de la voiture ?

Représenter toutes les forces agissant sur la voiture. Quelle est la force résultante ?



### Exemple 2 : Voiture se déplaçant en ligne droite et à vitesse constante

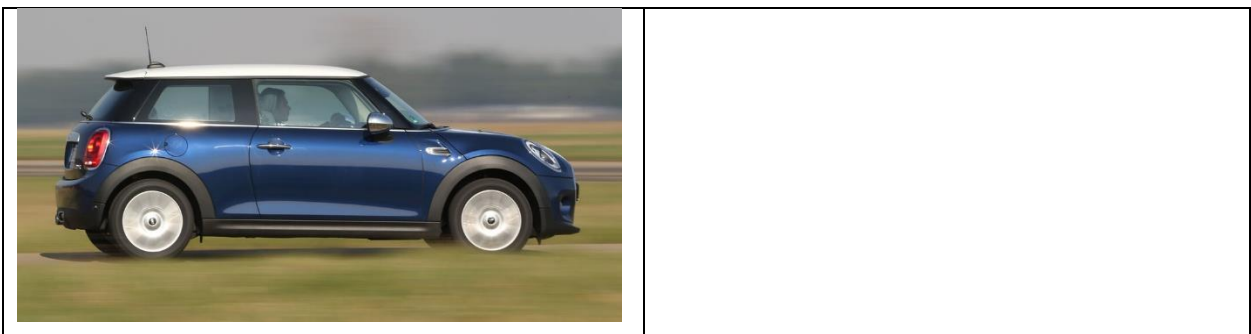
**Vocabulaire :** Le mouvement s'effectue en ligne droite (→ le mouvement est **rectiligne**) et à vitesse constante (→ le mouvement est **uniforme**). On parle d'un mouvement rectiligne uniforme (**MRU**)

Quelle est l'accélération de la voiture ?

Que se passe-t-il si le conducteur n'appuie plus sur la pédale d'accélérateur ? Expliquer.



Représenter toutes les forces agissant sur la voiture qui se déplace à vitesse constante et en ligne droite. Quelle est la force résultante ?



Conclusion : Au repos ou en MRU les vecteurs forces doivent se \_\_\_\_\_.

## Résumé (1<sup>ère</sup> loi de Newton)

Si aucune force résultante n'agit sur un corps, le mouvement de ce corps ne change pas. Le corps est au repos, ou il effectue un mouvement rectiligne uniforme (MRU)

**Exemple 1 :** Si on tire très rapidement et si la nappe est très lisse, les objets restent sur la table.

**Explication :** La force de frottement n'agit guère : tout se passe comme si les objets n'étaient soumis à aucune force. Leur mouvement ne change pas.



### Exemple 2 : Les sondes Voyager

Dans le vide intersidéral (loin de tout autre corps qui pourrait l'attirer, pas de frottements) les sondes effectuent un MRU.

**Exemple 3 :** Les passagers ne portant pas de ceinture de sécurité risquent d'être expulsés de la voiture lors d'un accident.

**Explication :** Lorsque la voiture freine, les passagers conservent leur mouvement vers l'avant. Seule la force créée par la ceinture de sécurité leur permet de suivre le changement de mouvement de la voiture.



**Exemple 4 :** La cargaison non sécurisée d'un camion risque de tomber lors de la traversée d'un virage.

**Explication :** La cargaison ne suit pas le changement de direction du camion s'il n'y a pas de force suffisamment intense (fixations, ceintures...) qui l'attache au camion.

**Exemple 5 :** Au sommet d'une montagne russe, on a parfois l'impression d'être expulsé (vers le haut) du train. (→ "Airtime")

**Explication :** Les passagers conserveraient leur mouvement vers le haut, s'ils n'étaient pas attachés au train. Des anses/barres de sécurité poussent les passagers vers le bas afin qu'ils puissent suivre le changement de mouvement du train.



## 1.6. Action-Réaction: 3<sup>e</sup> Loi de Newton

Si un corps A exerce une force  $F_{\text{action}}$  sur un corps B ce corps B exerce une  $F_{\text{réaction}}$  sur le corps A de même intensité et de sens opposé selon la même ligne d'action. (Attention il ne s'agit pas d'un équilibre de force sur UN corps, mais de 2 forces d'interactions qui agissent sur DEUX corps différents !).

*Ex. G. Dessiner action et réaction pour l'attraction de pesanteur et pour un corps sur une table.*

<https://www.youtube.com/watch?v=TVAxASr0iUY>

### Exercices :

1. Une voiture accélère fortement. Que ressentent les passagers ? Expliquer.
2. Qu'est-ce qui arrive aux passagers lorsqu'ils sont debout dans un TGV se déplaçant en ligne droite à une vitesse de 300 km/h ?
3. Un bus freine violemment. Que ressentent les passagers ? Expliquer.
4. Un bus prend un virage que ressent-on ? Expliquer.

## 2. Travail d'une force

### 2.1. Travail au sens physique

Dans le langage de la vie courante, on utilise souvent le terme travail pour des activités physiques ou intellectuelles.

En physique, la notion de travail a une définition bien précise que nous allons étudier dans la suite.

Retenons provisoirement les éléments suivants.

- Seule une force peut effectuer un travail
- Une force effectue un travail lorsque son point d'application se déplace

Exemples : Est-ce que les forces agissant dans les situations suivantes effectuent un travail ?

Force	Travail?
Force pour hisser des briques sur un mur	
Force exercée contre un mur (le mur ne se déplace pas)	
Force d'un athlète pour soulever son haltère	
Force exercée par un athlète pour maintenir l'haltère au-dessus de la tête	

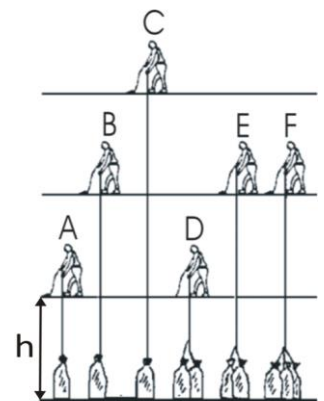
### 2.2. Définition

#### 2.2.1. Force de même sens et direction que le déplacement

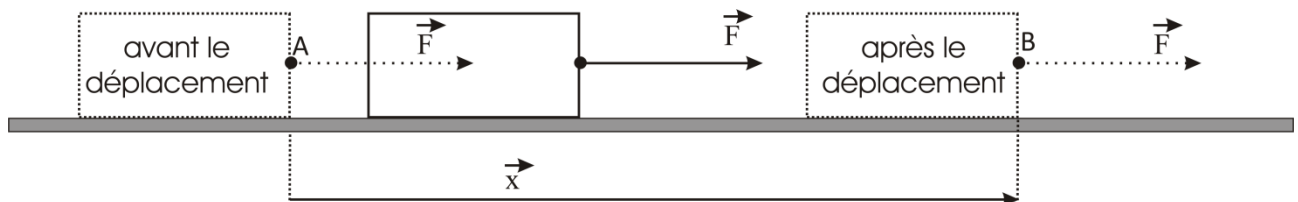
Différents ouvriers A, B, ... montent, en exerçant respectivement une force  $\vec{F}_A$ ,  $\vec{F}_B$ , ... le long d'un chemin  $x$ , un ou plusieurs sacs de ciment d'un ou plusieurs étages.

Le poids d'un sac a une intensité  $P$ , et la distance séparant deux étages consécutifs est notée  $h$ .

Exprimer les travaux en multiples de  $W_A$ .



Dans la suite, nous considérons **une force constante** qui déplace son point d'application de A vers B. Le vecteur déplacement est alors :  $\vec{x} = \overrightarrow{AB}$ . Nous nous limitons à des **déplacements rectilignes** (donc le long d'une droite)



#### Définition :

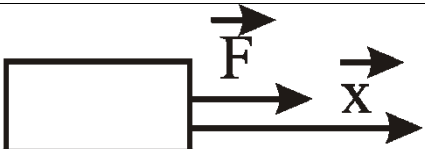

Le **travail**  $W(\vec{F})$  d'une **force constante**  $\vec{F}$  de même direction et sens que le déplacement  $\vec{x}$  est égal au produit de son intensité  $F$  par la longueur  $x$  du chemin parcouru.

$$W(\vec{F}) = F \cdot x \quad \text{Unité S.I. :}$$

**Remarques :** Le symbole  $W$  fait référence au terme anglais « Work »

**Exemple :** Un ouvrier dans un supermarché exerce une force horizontale constante de 100 N sur une distance de 75 m pour amener une caisse de marchandises de l'entrepôt jusqu'au rayon. Calculer le travail de sa force.

### 2.2.2. Travail moteur et travail résistant

	
<p>La force <math>\vec{F}</math> et le déplacement <math>\vec{x}</math> ont le même sens.                  La force _____ mouvement.                  On dit que la force est _____ et que le travail qu'elle effectue est _____.</p>	<p>La force <math>\vec{F}</math> et le déplacement <math>\vec{x}</math> ont des sens opposés.                  La force _____ mouvement.                  On dit que la force est _____ et que le travail qu'elle effectue est _____.</p>

**Le type de travail (résistant ou moteur) dépend à la fois de la force et du déplacement !**

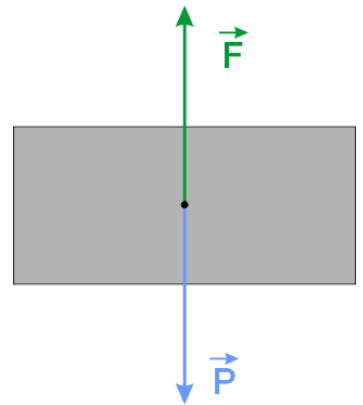
#### Exemples:

On exerce une force verticale  $\vec{F}$  dirigée vers le haut sur un corps de poids  $\vec{P}$ .

Lorsque le corps est **au repos**,  $\vec{P}$  effectue un travail \_\_\_\_\_ et  $\vec{F}$  effectue un travail \_\_\_\_\_

Lorsqu'on **soulève** le corps,  $\vec{P}$  effectue un travail \_\_\_\_\_ et  $\vec{F}$  effectue un travail \_\_\_\_\_

Lorsqu'on **descend** le corps,  $\vec{P}$  effectue un travail \_\_\_\_\_ et  $\vec{F}$  effectue un travail \_\_\_\_\_



Une force de frottement effectue toujours un travail \_\_\_\_\_, car

Les roues servent à réduire le frottement.



### 2.2.3. Force perpendiculaire au déplacement



Dans ces exemples, les forces  $\vec{F}$  et  $\vec{F}_{vent}$

Le travail d'une force  $\vec{F}$  perpendiculaire au déplacement est \_\_\_\_\_, car une telle force

$$\vec{F} \perp \vec{x} \Rightarrow$$

**Remarque :** Bien sûr, la force  $\vec{F}$  perpendiculaire n'est pas la cause du mouvement. Il doit y avoir d'autres forces.

## Exercices

1. On soulève un corps à vitesse constante. Trouver l'expression du travail correspondant.
2. Le matin, un élève soulève son cartable de 10 kg d'une hauteur de 1,4 m.
  - a. Déterminer le travail qu'il effectue.
  - b. Ensuite, il emprunte une route parfaitement horizontale pour se rendre à l'école. Déterminer son travail.

[Rép : 140 J]

3. Pour soulever un conteneur de 10 m, une grue doit effectuer un travail de 60 000 J. Que vaut la masse du conteneur ? [Rép : 600 kg]



4. Pour déplacer une voiture tombée en panne jusqu'à la station d'essence la plus proche, une personne exerce une force horizontale de 200 N sur une distance de 1,25 km. Calculer le travail de cette force.

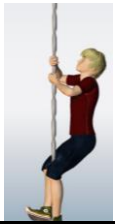


5. Une infirmière pousse un malade dans un fauteuil roulant sur une distance de 200 m en effectuant un travail de 8 kJ. Quelle force exerce-t-elle dans la direction du mouvement ?

[Rép : 40 N]

6. Un ouvrier dans un supermarché exerce une force constante de 100 N pour amener une caisse de marchandises de l'entrepôt jusqu'au rayon et effectue un travail de 5 kJ. Quelle est la distance parcourue ? [Rép : 50 m]

7. Quel est le travail effectué par la force musculaire d'une personne de 75 kg grim pant une corde de 4 m ? [Rép : 3000 J]



8. Lorsqu'une voiture roule à une vitesse de 90 km/h sur une route horizontale, l'air exerce une force de frottement de 300 N sur elle.

- a. Déterminer le travail de cette force sur un trajet de 10 km.
- b. Quel est le travail du poids de la voiture ?

[Rép : a. 3 000 000 J]



9. Une personne équipée d'un parachute descend à vitesse constante d'une altitude de 2,5 km. La masse totale (personne + parachute) est de 100 kg.

- a. Déterminer l'intensité des forces de frottement entre le parachute (et la personne) et l'air. Justifier.

- b. Déterminer le travail de ces forces de frottement.

[Rép : 2500 000 J]



### 3. Puissance d'une force (Leistung, Power)

#### 3.1. Définition

Sur un chantier, une grue monte des matériaux de construction de 1000 kg de 10 m en 20 s. Un modèle plus récent est capable de réaliser la même tâche en 10 s. (on prendra  $g = 10 \text{ N/kg}$ )

	Grue 1 (« lente »)	Grue 2 (« rapide »)
Forces agissant sur le corps soulevé		
Type de mouvement		
F		
Hauteur h de laquelle le corps monte.		
Travail de $\vec{F}$		
Intervalle de temps $\Delta t$ nécessaire		
Puissance de $\vec{F}$		

Conclusion :

Afin de décrire correctement ce genre de situations, la notion de travail ne suffit pas, mais on doit introduire une grandeur supplémentaire qui tient compte du temps requis pour l'effectuer : la **puissance**.

Unité S.I. de la puissance :	

**Attention :** Ne confondez pas le symbole du travail  $W(\vec{F})$  et l'unité  $W$  de la puissance.

Ne confondez : puissance  $\mathcal{P}(\vec{F})$ , poids P, pression p, masse volumique  $\rho$ .

Un **Watt** est la puissance d'une force effectuant un travail de 1 J en 1s.  
C'est donc la puissance développée par une force constante de 1 N qui déplace son point d'application de 1m dans sa propre direction et son propre sens en 1s.

**Remarque :** Un abus de langage courant est de parler de la puissance d'une machine, d'une personne,... En toute rigueur, de telles expressions se rapportent toujours à la force correspondante.

### Interprétation de la puissance

La puissance d'une force réalisant un travail pendant un certain temps est d'autant plus grande que

- Ce travail est **grand/petit**
- Le temps requis pour l'effectuer est **grand/petit**

On dit que (la force exercée par) la grue 2 est plus puissante que (celle exercée par) la grue 1.

- En des intervalles de temps égaux, la deuxième peut effectuer **plus/moins** de travail que la première.
- Le temps que met un système pour réaliser un travail donné est d'autant plus **grand/petit** que sa puissance est grande.

### 3.2. Relation entre puissance, force et vitesse

Le point d'application d'une force  $\vec{F}$  se déplace à une vitesse  $\vec{v}$  le long de sa propre direction. La puissance instantanée de cette force est donnée par

#### Remarque :

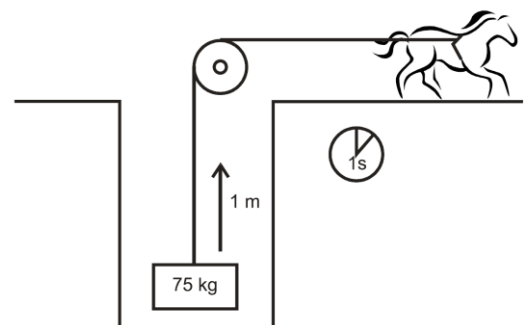
Nous nous limiterons à des cas où  $\vec{F}$  et  $\vec{v}$  restent constants (en direction, sens et norme) pendant le déplacement considéré. A ce moment, la puissance de la force  $\vec{F}$  est constante.  
Dans les cas plus généraux, la puissance varie au cours du temps.

**Exercices ( $g = 10 \frac{N}{kg}$  sauf ex 1).** Lorsqu'on demande p.ex. la puissance d'une pompe, il est sous-entendu que cela se rapporte à la force  $\vec{F}$  exercée par cette pompe. De plus, les mouvements sont effectués à vitesse constante.

1. Définition du cheval-vapeur (CV, Pferdestärke, PS, Horsepower) :

Lorsque Watt a introduit sa machine à vapeur, il utilisait comme unité le cheval-vapeur : il s'agit en gros du nombre de chevaux ayant la même puissance que la machine.

Watt a mesuré qu'un cheval pouvait soulever d'un mètre une charge de 75 kg en une seconde. Calculer la puissance de la force musculaire de ce cheval. (Utiliser la valeur exacte de g)





[Rép :  $\approx 736$  W]

2. Un ouvrier dans un supermarché exerce une force horizontale constante de 100 N sur une distance de 75 m pour amener une caisse de marchandises de l'entrepôt jusqu'au rayon. Calculer la puissance de sa force s'il a besoin d'une minute. [Rép : 125 W]
3. Une grue a une puissance de 2 kW. Combien de temps lui faut-il pour soulever une charge de 750 kg de 7 m ?  
[Rép : 26,25 s]
4. Un touriste de 90 kg monte de son hôtel situé à 684 m au-dessus du niveau de la mer jusqu'au sommet de la montagne la plus proche à une altitude de 2103 m. Il a besoin de trois heures et quart. Quelle est la puissance moyenne de sa force musculaire ?  
[Rép : 109,2 W]
5. Quel est le temps mis par une pompe de puissance 3,7 kW pour transporter 10 m<sup>3</sup> d'eau d'une cave inondée à une hauteur de 25 m ?  
[Rép : 676s=11 min 16s]
6. Le ventricule gauche du cœur envoie à chaque battement une masse de 90 g de sang dans l'aorte avec une pression capable d'élever le sang de 2 m. Calculer la puissance mécanique du cœur sachant qu'il effectue 90 battements par minute. ( $\rho_{\text{sang}} = 1,05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ )  
[Rép : 2,7 W]
7. Un cycliste de 80 kg a une puissance moyenne de 400 W. Il monte un col de longueur  $L = 2$  km pour une différence d'altitude de 200 m
  - a. Evaluer le travail de sa force musculaire 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 ?
8. Lorsqu'une voiture roule à une vitesse de 90 km/h sur une route horizontale, l'air et la route exercent une force de frottement totale de 900 N sur elle. En déduire la puissance instantanée de la voiture en kW et en cheval-vapeur.  
[Rép : 22 500 W =30,6 CV]
9. En 3,1s, une moto est capable d'atteindre à partir du repos une vitesse de 100km/h. Pendant cette accélération, elle parcourt une distance de 43m. Calculer sa puissance (en kW et en CV) si on suppose qu'elle développe une force constante de 2,43 kN.  
[Rép: 33,7 kW, 45,8 CV]



## 4. Énergie

### 4.1. Définition et formes d'énergie

**Introduction:** Il existe un grand nombre de moyens de transports. Afin de les mettre en mouvement, il faut que des forces effectuent un travail. Pour effectuer un travail, il faut investir/dépenser quelque chose: **de l'énergie**.



Lorsque le cycliste actionne les pédales, sa force musculaire effectue un **travail**.

Pour y parvenir, il doit disposer d'énergie.

Il s'agit de l'**énergie chimique** stockée dans les aliments qu'il a consommés et digérés.



L'énergie requise pour réaliser le travail permettant de mettre en mouvement un véhicule peut également provenir d'une autre source.



Par exemple, pour réaliser la combustion d'essence ou de gaz (ou de bois/charbon dans le passé) dans un moteur, on exploite l'**énergie chimique** stockée dans le carburant.



Il existe des prototypes transformant de l'**énergie solaire** en **énergie électrique** afin de mettre en mouvement la voiture (à l'aide d'un moteur électrique).



La pile à combustible (Brennstoffzelle) est une autre technologie prometteuse. Elle transforme de l'**énergie chimique** en énergie électrique lors d'une réaction entre du dihydrogène et du dioxygène. Ces deux gaz ont été obtenus par une électrolyse de l'eau (bien sûr  $O_2$  est également présent dans l'atmosphère).

(Expérience : Modèle en physique)

#### Définition :

**On dit qu'un système possède de l'énergie, s'il est capable d'effectuer un travail.**

L'énergie peut donc être vue comme du travail en réserve.

L'**unité S.I.** de l'énergie est donc la même que celle du travail, c'est-à-dire **le Joule**

### Exemples :

Une pile a stocké une énergie de 10000 J. Quel travail peut être réalisé grâce à cette énergie ?

Quel travail peut-on effectuer grâce à un repas contenant une énergie de 2500 kJ ?

Il se pose toujours la question du rendement de la transformation (recherche internet).

Selon les modes de stockage on distingue différentes **formes d'énergie** :

#### Énergie mécanique

- Énergie potentielle de pesanteur : Énergie stockée dans un corps se trouvant à une certaine altitude
- Énergie potentielle élastique: Énergie stockée dans un corps élastique déformé (p.ex. ressort, élastiques de la catapulte à la «Schueberfouer» juste avant le départ)
- Énergie cinétique : Énergie stockée dans un corps en mouvement

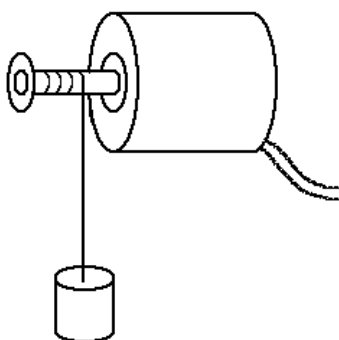
#### Autres formes d'énergie

- Énergie chimique : Énergie stockée dans des molécules et dégagée lors de réactions chimiques
- Énergie thermique (ou calorifique) : liée à la température des corps
- Énergie électrique : énergie stockée dans des charges électriques en interaction
- Énergie nucléaire : énergie stockée dans les noyaux atomiques et libérée par exemple lors de réactions de fission et fusion nucléaires.
- Énergie rayonnante : énergie contenue dans les rayonnements (lumière visible, rayons X, ondes radio/TV ...)
- Énergie éolienne : énergie cinétique du vent

### 4.2. Etude énergétique de certains phénomènes/expériences

Quasiment tous les phénomènes et dispositifs de la vie courante sont basés sur des **transformations d'énergie** : une forme d'énergie est transformée en une ou plusieurs autres formes.

1. Un moteur électrique soulève un corps (voir chapitre sur la puissance)



Un moteur électrique transforme

2. Un ressort comprimé permet de lancer un projectile



Le canon transforme

3. Chauffage électrique



Un chauffage électrique transforme

4. Une pile



Une pile transforme

5. Une lampe à incandescence est connectée à une pile.



Une lampe à incandescence transforme

6. Pendant le Tour de France, les cyclistes doivent veiller à une alimentation « riche en énergie ».



Pendant la course, un cycliste transforme

Surtout dans le domaine alimentaire, on utilise une autre unité d'énergie : la calorie ou la kilocalorie :

Une **calorie** (kilocalorie) est la chaleur qu'il faut fournir à 1 g (kg) d'eau pour augmenter sa température de 1°C.

$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J et donc } 1 \text{ kcal} = \text{ J}$$

7. Centrale électrique à charbon



Une centrale électrique à charbon transforme

8. Centrale nucléaire



Une centrale nucléaire transforme

9. Éolienne



Une éolienne transforme

10. Une voiture (à essence) roule à vitesse constante ou accélère



Le moteur d'une voiture conventionnelle transforme de

11. Une voiture électrique roule à vitesse constante ou accélère



Le moteur d'une voiture électrique transforme de

12. Une voiture freine.



Le frein d'une voiture transforme

13. On recharge des piles rechargeables.



Le chargeur transforme

14. Photosynthèse des plantes



La plante transforme

15. Une cellule photovoltaïque est éclairée par le Soleil



Une cellule photovoltaïque transforme

### 4.3. Travail et transfert d'énergie 4.1

#### Exemple 1

Un ouvrier qui transporte des briques au dixième étage d'un immeuble va, après un certain temps, sentir un creux dans l'estomac. L'énergie chimique qu'il avait stockée (depuis sa nourriture) a été utilisée pour effectuer un travail mécanique. Grâce à ce travail, l'énergie potentielle de pesanteur des briques a augmenté.

#### Exemple 2

Pour accélérer un chariot, une force doit effectuer un travail (travail accélérateur) et ce travail provoque l'augmentation de la vitesse du chariot. Donc, l'énergie cinétique du chariot augmente. A cause de ce travail, l'énergie chimique stockée dans la personne (tirant le chariot) a diminué et l'énergie cinétique du chariot a augmenté.

Lorsqu'un travail est effectué, de l'énergie est **transférée** d'un corps à un autre. Souvent ce transfert est lié à la **transformation** d'une forme d'énergie en une autre. Le travail est donc **un** (ce n'est pas le seul) moyen de transférer de l'énergie.

### 4.4. Calcul de l'énergie mécanique

La **somme** de l'énergie potentielle de pesanteur, de l'énergie potentielle élastique et de l'énergie cinétique d'un système est appelée **énergie mécanique**.

$$E_{mécanique} = E_{pot,pes} + E_{pot,élast} + E_{cin}$$

#### 4.4.1. Énergie potentielle de pesanteur

Un corps situé à une certaine altitude possède de l'énergie car en tombant, il peut effectuer un travail (p.ex. enfoncer un clou, déformer un autre corps). Cette énergie est appelée **énergie potentielle de pesanteur**  $E_{pot,pes}$ .

<p><b>Définition :</b> L'énergie potentielle de pesanteur <math>E_{pot,pes}</math> d'un corps de masse <math>m</math> situé à une hauteur <math>h</math> est égale au <b>travail de levage</b> qu'il a fallu pour le monter à cette hauteur à partir d'un niveau de référence.</p>	
--	--

$E_{pot,pes} =$

Unités SI :

#### Remarque :

La valeur de l'énergie potentielle de pesanteur n'est pas fixée de façon absolue, mais **dépend du niveau de référence** choisi pour lequel on définit  $h = 0$  m.

**En résumé**, si on soulève un objet de masse  $m$  d'une hauteur  $h$ , il gagne une énergie potentielle de pesanteur égale au travail de levage valant \_\_\_\_\_.

En tombant sur le niveau initial il perd une quantité d'énergie potentielle de pesanteur égale à \_\_\_\_\_ et peut y effectuer un travail valant \_\_\_\_\_

**Exercice :** Déterminer l'énergie potentielle de pesanteur d'un corps de 500 g situé à 80 cm au-dessus du niveau de référence

#### 4.4.2. Energie cinétique

**Définition :** L'énergie cinétique est l'énergie stockée dans un corps massif en mouvement. Elle est égale au **travail accélérateur** qu'il a fallu effectuer pour accélérer le corps de l'arrêt jusqu'à sa vitesse actuelle.

**Illustration :** Considérons un bloc en mouvement se déplaçant vers un clou. Lors de l'impact, le bloc exerce une force sur le clou et l'enfonce d'une certaine distance. Cette force effectue donc un travail. Ainsi, un **objet massif en mouvement** possède de l'énergie.

**Application numérique:** Une force de 50 N, parallèle au sol, accélère un corps sur une distance de 3 m. Que vaut l'énergie cinétique de ce corps?

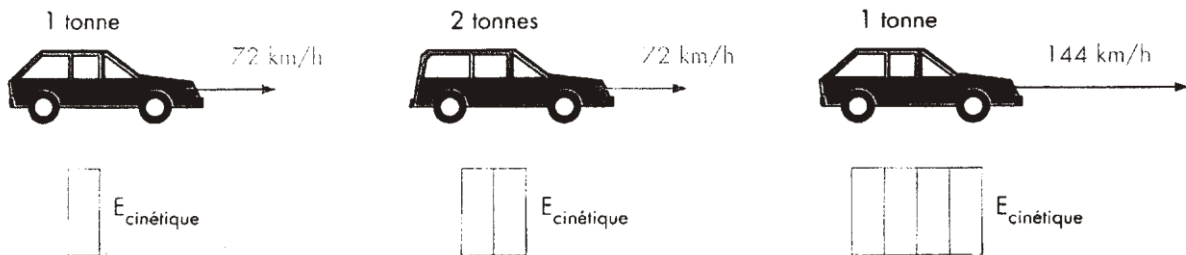
On peut montrer que l'énergie cinétique d'un corps de masse  $m$  ayant une vitesse  $v$  est donnée par :



$$E_{cin} =$$

Unités :  $m$  en \_\_\_\_\_,  $v$  en \_\_\_\_\_ et  $E_{cin}$  en \_\_\_\_\_

**Exercice :**



a) Calculer l'énergie cinétique d'une voiture d'une tonne se déplaçant à une vitesse de 72 km/h.

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot (20 \text{ m/s})^2 = 200\,000 \text{ J}$$

b) Comment est-ce que cette énergie varie lorsqu'on considère une voiture de masse double (2 tonnes, 72 km/h)

c) Comment est-ce que cette énergie varie lorsque la voiture (1 tonne) double sa vitesse (144 km/h) ?

**Application :** Lors d'un accident, l'énergie du/des véhicules est à l'origine des dégâts matériels et des blessures. Plus l'énergie cinétique est grande, plus les conséquences sont néfastes :



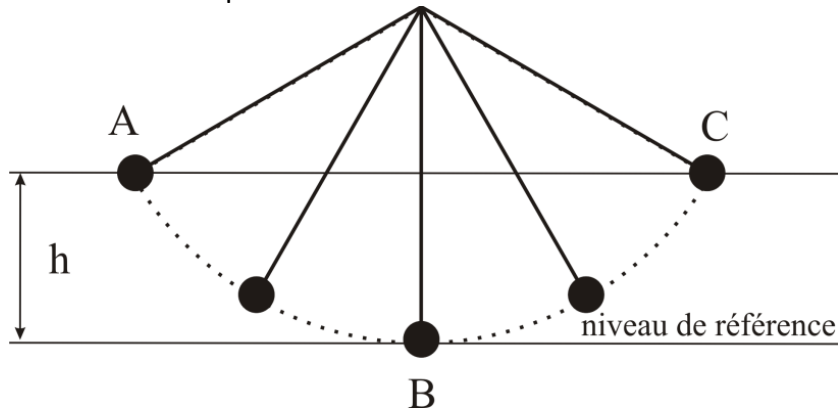
L'énergie cinétique est proportionnelle à  $v^2$ .

Concrètement, lorsque la vitesse est doublée (triplée), l'énergie cinétique libérée lors d'un choc est multipliée par \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) !



#### 4.5. Conservation de l'énergie mécanique

Considérons un pendule simple constitué d'un fil inextensible auquel est accroché un corps massique, le tout étant fixé à un point d'attache.



Point	$E_{pot,pes}$	$E_{cin}$
A		
B		
C		
De A vers B		
De B vers C		

Donc lorsque le corps se déplace de A vers B,

Sur son trajet de B vers C,

**En absence de frottements, la masse atteint chaque fois aux extrémités de sa trajectoire (A et C) la même hauteur.** On peut également montrer que dans ce cas, **la somme des énergies potentielle de pesanteur et cinétique est constante à chaque instant<sup>1</sup>.** Donc l'énergie mécanique reste constante, elle est conservée.

**Or expérimentalement, on constate qu'au cours du temps, la hauteur maximale atteinte diminue<sup>2</sup>. Le système perd donc de l'énergie mécanique.** En fait, **cette énergie ne disparaît pas, mais est transformée en énergie calorifique à cause des frottements** entre la corde et le point d'attache et entre le système et l'air.

De ces considérations découle le **principe de conservation de l'énergie mécanique.**

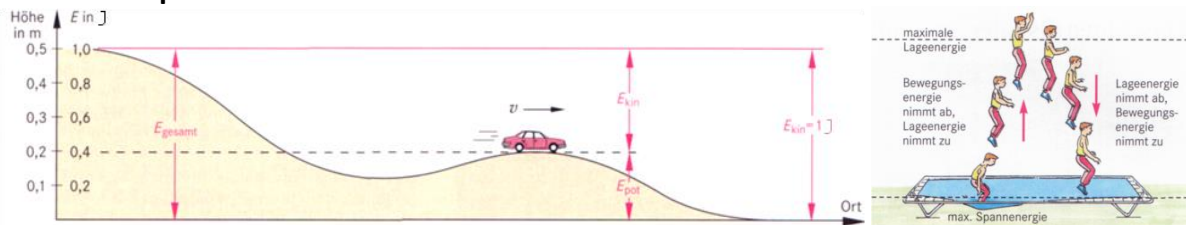
Si un système mécanique évolue sans frottements, son énergie mécanique totale est conservée. Son énergie potentielle se transforme en énergie cinétique et vice-versa.

$$E_{\text{mécanique, avant}} = E_{\text{mécanique, après}}$$

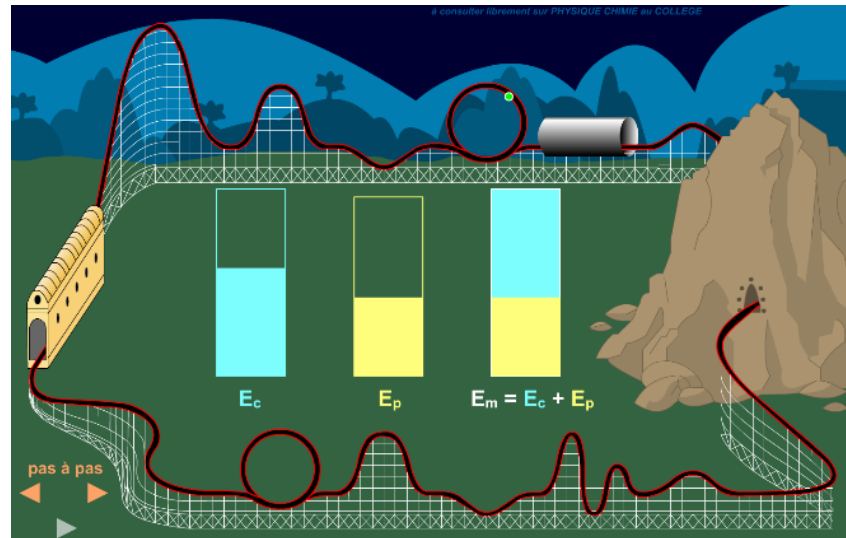
<sup>1</sup> Animation: [https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab\\_fr.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_fr.html)

<sup>2</sup> La vitesse maximale de la masse (c'est-à-dire lors du passage par B) diminue également au cours des oscillations.

## Autres exemples:



- Montagne russe: Le moteur de l'ascenseur utilise de l'énergie électrique afin de fournir de l'énergie potentielle de pesanteur au train. En absence de frottements, cette énergie est intégralement transformée en énergie cinétique et vice-versa. A la fin, des forces de frottement (→freins) transforment l'énergie cinétique du train en énergie calorifique.



[http://www.pcl.fr/physique\\_chimie\\_college\\_lycee/troisieme/energie/energie\\_potentielle\\_cinetique\\_mecanique.htm](http://www.pcl.fr/physique_chimie_college_lycee/troisieme/energie/energie_potentielle_cinetique_mecanique.htm)  
<https://phet.colorado.edu/fr/simulation/energy-skate-park>

## 4.6. Conservation de l'énergie

Au début du chapitre, nous avons analysé de nombreuses transformations d'énergie. Celles-ci sont gouvernées par le principe de la **conservation de l'énergie**.

L'énergie totale d'un système isolé est ne change pas au cours du temps quelles que soient les transformations d'une forme d'énergie en une autre.

### Exercices :

1. Que peut-on dire sur l'énergie contenue dans l'Univers ? [Justifier](#).
2. A quelle altitude au-dessus du niveau de référence se trouve un corps de 100 g possédant une énergie potentielle de 10 J ? [Rép : 10 m]
3. Une voiture roulant à une vitesse de 130 km/h sur l'autoroute possède une énergie cinétique de 0,6 MJ. Quelle est sa masse ? [Rép : 920,4 kg]
4. Calculer, en m/s et en km/h la vitesse d'une voiture de 1,5 t ayant une énergie cinétique de 0,85 MJ. [Rép :  $33,67 \frac{m}{s} = 121,2 \frac{km}{h}$ ]
5. Une balle de 8 g est tirée avec une énergie cinétique de 3,2 kJ. Que vaut sa vitesse en  $\frac{m}{s}$  et en  $\frac{km}{h}$  ? [Rép :  $894,4 \frac{m}{s} = 3220 \frac{km}{h}$ ]

6. Une voiture de 1450 kg roule à une vitesse de  $90 \frac{km}{h}$ .
- Quelle est son énergie cinétique ?
  - A partir de l'arrêt, la voiture atteint cette vitesse en 10 s. Quelle est la puissance moyenne de son moteur ? (en kW et CV)
  - Quelle est son accélération ?
  - Quelle est l'intensité de la force accélératrice ?
  - A quelle vitesse (en km/h) devrait-on accélérer une brique de 5 kg pour qu'il ait la même énergie cinétique?

[Rép : a. 453 125 J b. 45312,5 W = 45,3 kW = 61,6 CV c.  $2,5 \frac{m}{s^2}$  d. 3625 N

e.  $425,7 \frac{m}{s} = 1533 \frac{km}{h}$ ]

7. Une montre à bracelet consomme, en une année l'énergie stockée dans une pile, qui vaut environ 250 mWh. Calculer sa puissance. [Rép :  $2,85 \cdot 10^{-5} W = 28,5 \mu W$ ]
8. A quelle hauteur de chute h correspond l'énergie libérée lors d'un accident de voiture de vitesse a)  $\frac{30km}{h}$  b)  $50 \frac{km}{h}$ , c)  $90 \frac{km}{h}$ , d)  $130 \frac{km}{h}$  ?

[Rép : a) 3,47 m b) 9,65 m c) 31,25 m d) 65,2m]

9. Dans une piscine, on se laisse tomber de la tour de 10m.
- Avec quelle vitesse (en m/s et km/h) touche-t-on la surface de l'eau ?
  - Quelle est la durée de cette chute ?
  - Est-ce que les valeurs réelles sont supérieures ou inférieures aux valeurs calculées ? Expliquer.

[Rép : a.  $14,14 \frac{m}{s} = 50,9 \frac{km}{h}$ ]



10. Discuter les transformations d'énergie dans la **centrale à accumulation par pompage** (Pumpspeicherwerk) à Vianden. A quoi sert-elle? Au total, est-ce qu'elle consomme ou produit de l'énergie électrique?



11. Une voiture de masse m se déplace à une vitesse v sur une route horizontale. Le but est de déterminer la **distance de freinage L**, donc la distance sur laquelle les freins de la voiture doivent agir pour provoquer l'arrêt de la voiture. Lors du freinage, la force de frottement  $\vec{F}_{frott}$  (supposée constante) effectue un travail  $W(\vec{F}_{frott})$ .

a. Quelle transformation d'énergie est effectuée sous l'action de ce travail?

b. Établir une expression qui permet de calculer

L grâce à  $F_{frott}$ , m et v. [Rép:  $L = \frac{mv^2}{2F_{frott}}$ ]

c. Comment varie la distance L, lorsque la vitesse initiale de la voiture est doublée?



## 5. 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.

### 5.1. Cordes, poulies et palan (Flaschenzug).

Expériences: Palans

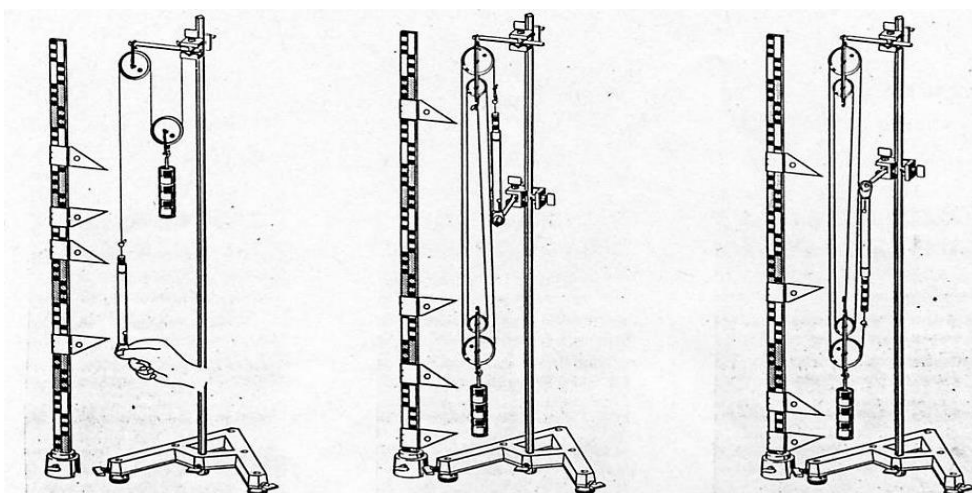
1) Une corde permet de déplacer le point d'application d'une force de traction. (Une tige permet de transmettre aussi des poussées)

2) 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.

3) 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  $n$  brins de cordes qui partent des poulies mobiles supportant la charge  $F_C$ .

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

## 5.2. Levier

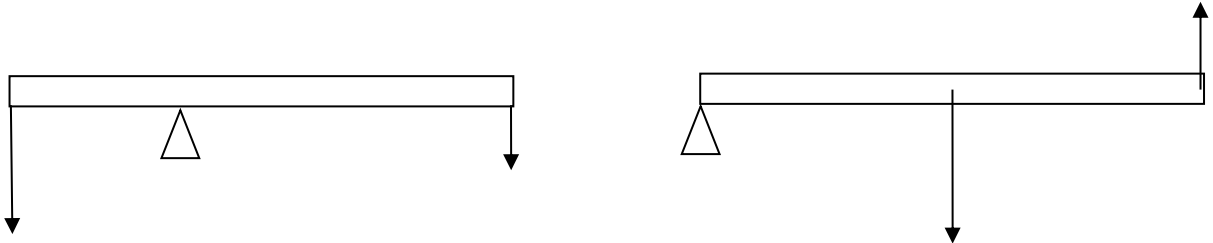
**Axe de rotation** = droite qui joint les points qui restent fixe au cours de la rotation.

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.



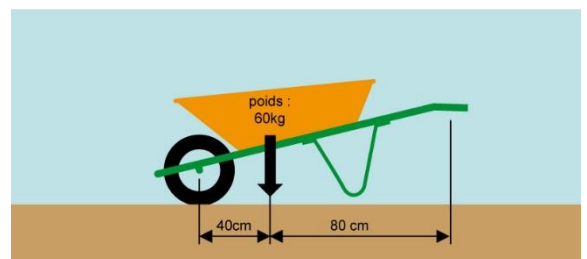
$F_1(N)$	$d_1(m)$	$F_1 \cdot d_1$	$F_2(N)$	$d_2(m)$	$F_2 \cdot d_2$

Pour simplifier : 1) on a négligé le poids propre du levier 2) les 2 forces sont perpendiculaires au bras de levier.

Conclusion: Le produit FORCE · BRAS DE LEVIER doit être le même dans les 2 sens de rotation.

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2$$

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



**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.