Leçon 5 – 11/03/2025

3. Dynamique

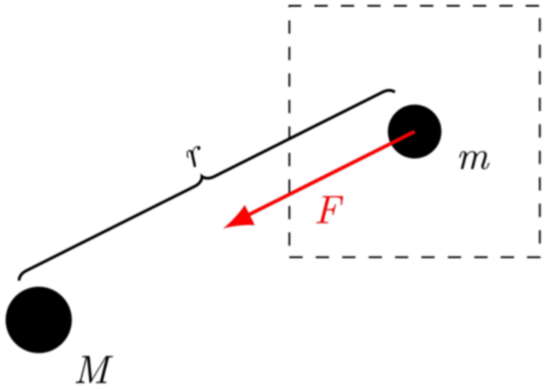
- 3.3 Forces particulières
- 3.4 Quantité de mouvement
- 3.5 Centre de masse

3. Dynamique

3.3 Forces particulières

3.3.1 Forces à distance

1. Force de la gravitation :

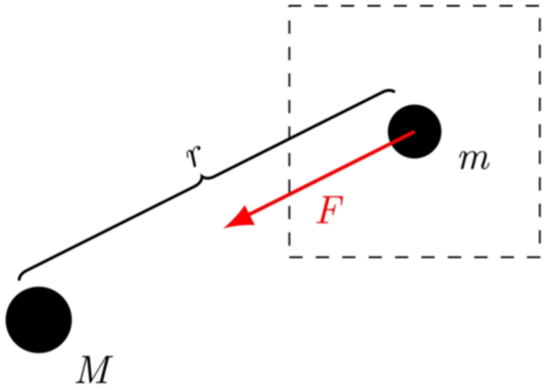


Exemples :

3.3.1 Forces à distance

Elles sont exercées sans contact avec l'objet considéré.

1. Force de la gravitation :

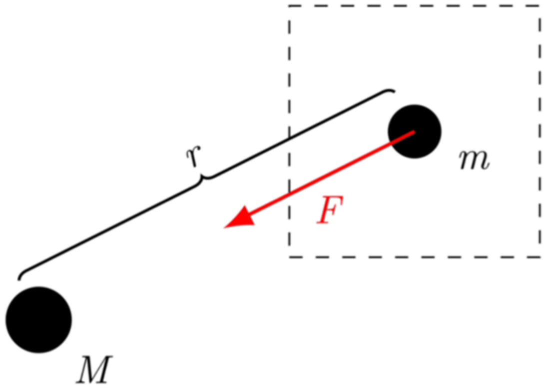


Exemples :

3.3.1 Forces à distance

Elles sont exercées sans contact avec l'objet considéré.

1. Force de la gravitation : Les masses s'attirent.



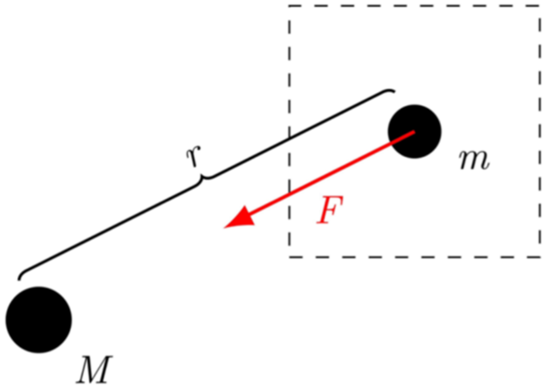
$$\boxed{\|\mathbf{F}\| = \frac{GMm}{r^2} \quad (3.2)}$$

Exemples :

3.3.1 Forces à distance

Elles sont exercées sans contact avec l'objet considéré.

1. Force de la gravitation : Les masses s'attirent.



$$\boxed{\|\mathbf{F}\| = \frac{GMm}{r^2} \quad (3.2)}$$

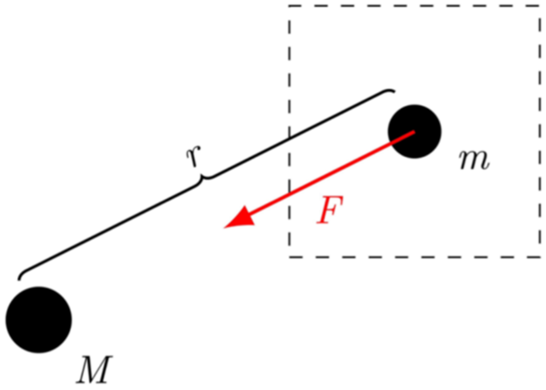
- Force proportionnelle au produit des masses.
- Force inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

Exemples :

3.3.1 Forces à distance

Elles sont exercées sans contact avec l'objet considéré.

1. Force de la gravitation : Les masses s'attirent.



$$\boxed{\|\mathbf{F}\| = \frac{GMm}{r^2} \quad (3.2)}$$

- Force proportionnelle au produit des masses.
- Force inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

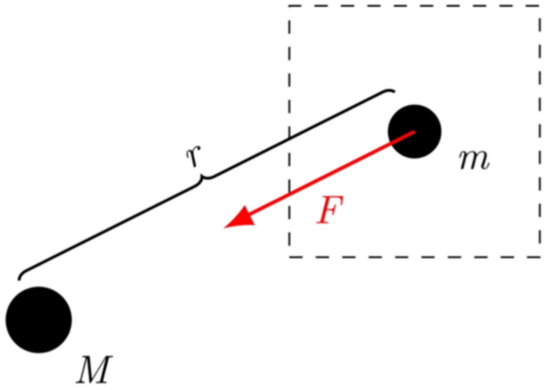
$G = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N.m^2.kg^{-2}}$: constante universelle de la gravitation

Exemples :

3.3.1 Forces à distance

Elles sont exercées sans contact avec l'objet considéré.

1. Force de la gravitation : Les masses s'attirent.



$$\boxed{\|\mathbf{F}\| = \frac{GMm}{r^2} \quad (3.2)}$$

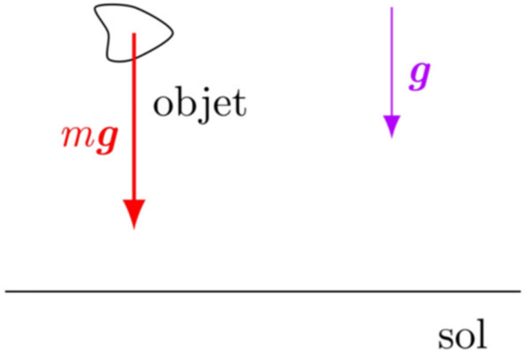
- Force proportionnelle au produit des masses.
- Force inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

$G = 6.67 \times 10^{-11}\ \mathrm{N.m^2.kg^{-2}}$: constante universelle de la gravitation

Exemples :

- Lune attirée par la terre.
- Terre attirée par le soleil.

3.3.1 Forces à distance

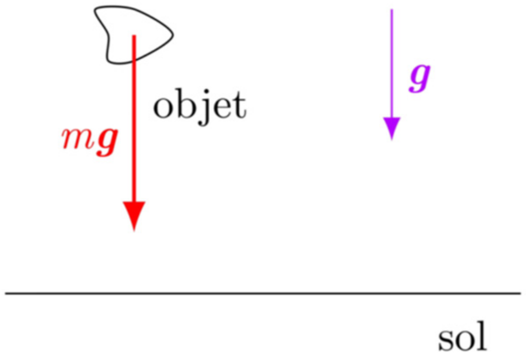


Exemple :

Remarques :

3.3.1 Forces à distance

Près de la surface de la terre, le champ de gravitation a une norme $g = \frac{GM}{r^2}$ qui est quasiment constante (car $r \approx$ cste). Dans ce cas la force de la gravitation est appelée le poids.



$$\boxed{\mathbf{F} = m\mathbf{g} \quad (3.3)}$$

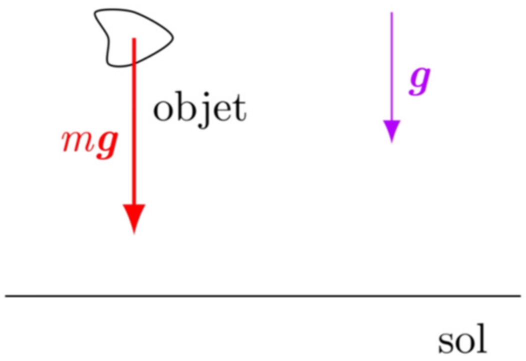
où $\mathbf{g}$ est dirigé vers le centre de la terre et $\|\mathbf{g}\|$ = $g \cong$ 9,81 m.s^{-2}.

Exemple :

Remarques :

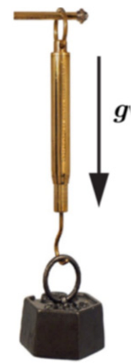
3.3.1 Forces à distance

Près de la surface de la terre, le champ de gravitation a une norme $g = \frac{GM}{r^2}$ qui est quasiment constante (car $r \approx$ cste). Dans ce cas la force de la gravitation est appelée le poids.



$$\boxed{\mathbf{F} = m\mathbf{g} \quad (3.3)}$$

où $\mathbf{g}$ est dirigé vers le centre de la terre et $\|\mathbf{g}\|$ = $g \cong$ 9,81 m.s^{-2}.



Exemple :

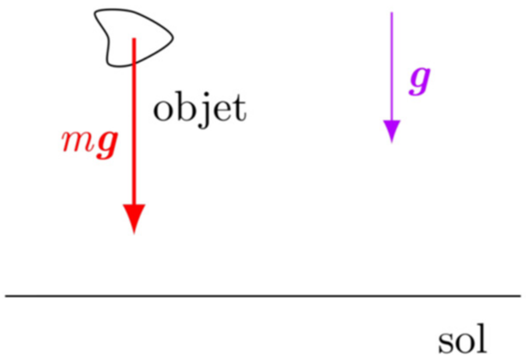
Objet en chute libre. Dans ce cas, la seule force que subit l'objet est son propre poids.

Alors, $\mathbf{F} = m\mathbf{a} \Rightarrow m\mathbf{g} = m\mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{a}(t) = \mathbf{g}\ \forall\ t$.

Remarques :

3.3.1 Forces à distance

Près de la surface de la terre, le champ de gravitation a une norme $g = \dfrac{GM}{r^2}$ qui est quasiment constante (car $r \approx$ cste). Dans ce cas la force de la gravitation est appelée le <u>poids</u>.



$$\boxed{\mathbf{F} = m\mathbf{g} \quad (3.3)}$$

où $\mathbf{g}$ est dirigé vers le centre de la terre et $\|\mathbf{g}\| = g \cong 9{,}81\ \mathrm{m.s^{-2}}$.

Exemple :

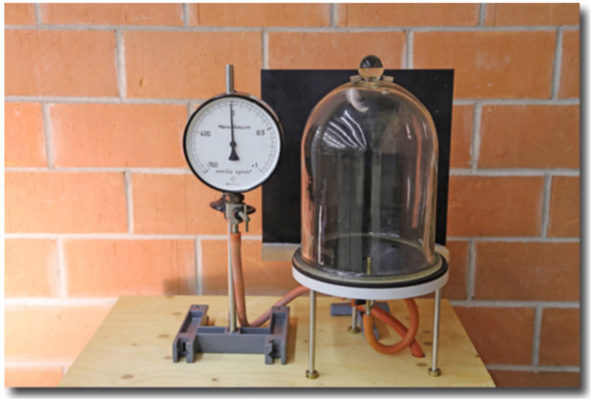
Objet en chute libre. Dans ce cas, la seule force que subit l'objet est son propre poids.
Alors, $\mathbf{F} = m\mathbf{a} \Rightarrow m\mathbf{g} = m\mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{a}(t) = \mathbf{g}\ \forall\ t$.

Remarques :

- L'accélération est constante et égale à $\mathbf{g}$ (MUA).
- L'accélération est indépendante de la masse m.

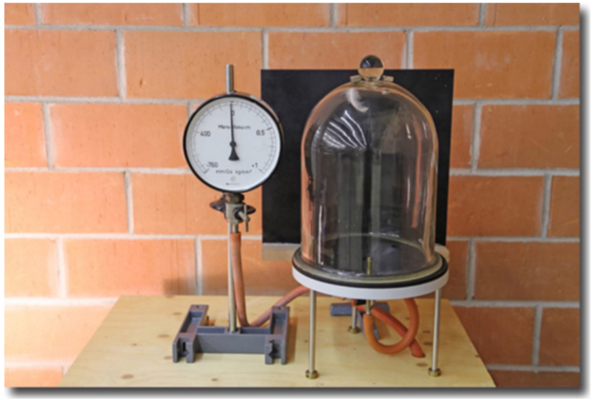
3.3.1 Forces à distance

Expérience :



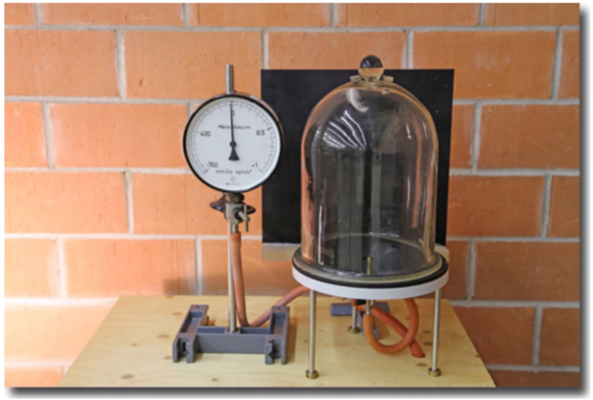
3.3.1 Forces à distance

Expérience : Chute libre de Galilée (Torricelli)



3.3.1 Forces à distance

Expérience : Chute libre de Galilée (Torricelli)



1. Lorsqu'on fait le vide dans l'enceinte, l'accélération de la bille est la même que celle de la plume : **a** = **g**

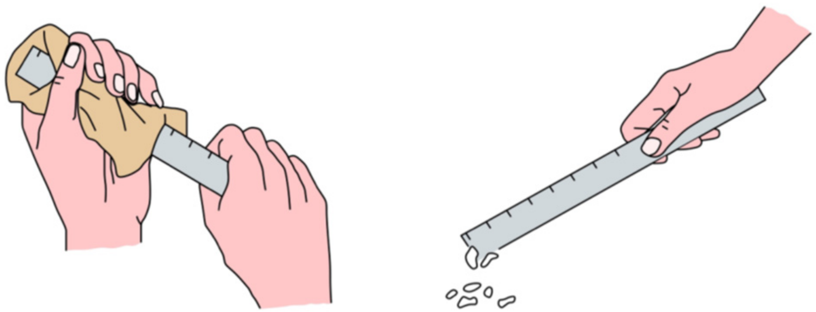
2. Dans l'air, la force de frottement a pour effet de freiner davantage la plume. Les accélérations ne sont pas les mêmes.

3.3.1 Forces à distance

2. Force électrique :

3. Force magnétique :

Expérience :



3.3.1 Forces à distance

2. Force électrique : Les charges électriques de signe opposé s'attirent et les charges électriques de même signe se repoussent.

3. Force magnétique :

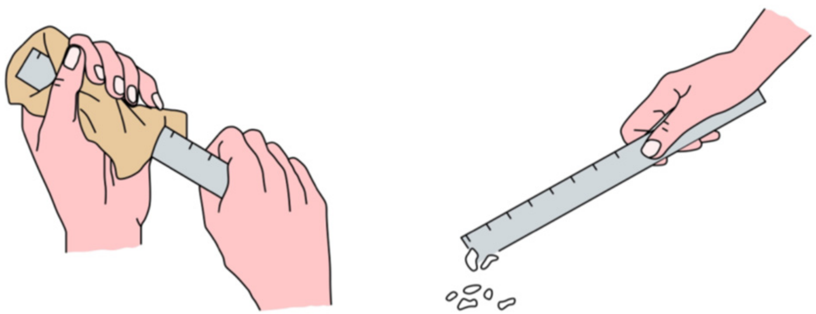
Expérience :

3.3.1 Forces à distance

2. Force électrique : Les charges électriques de signe opposé s'attirent et les charges électriques de même signe se repoussent.

3. Force magnétique : Une charge électrique en mouvement est déviée par un courant électrique (qui génère un champ magnétique (cf. cours 9)).

Expérience :



3.3.1 Forces à distance

2. Force électrique : Les charges électriques de signe opposé s’attirent et les charges électriques de même signe se repoussent.

3. Force magnétique : Une charge électrique en mouvement est déviée par un courant électrique (qui génère un champ magnétique (cf. cours 9)).

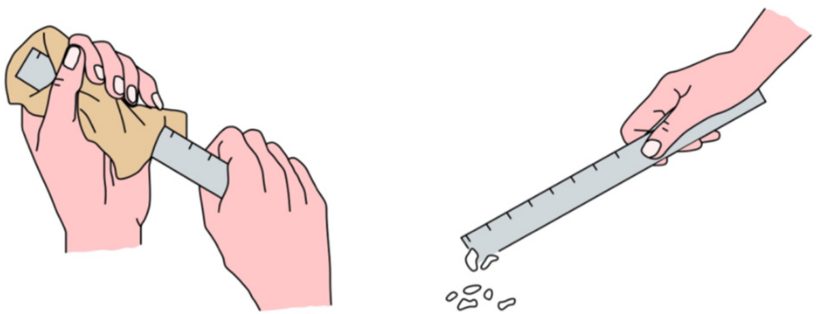
Expérience : Baguette chargée par friction

3.3.1 Forces à distance

2. Force électrique : Les charges électriques de signe opposé s'attirent et les charges électriques de même signe se repoussent.

3. Force magnétique : Une charge électrique en mouvement est déviée par un courant électrique (qui génère un champ magnétique (cf. cours 9)).

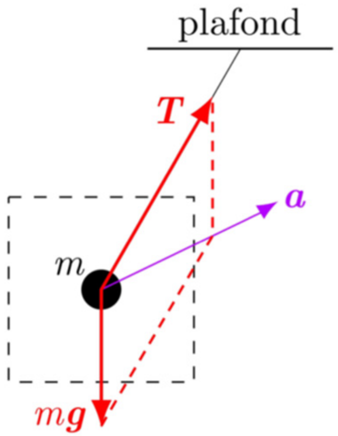
Expérience : Baguette chargée par friction



On charge une baguette à l'aide d'un chiffon. De petits morceaux de papier sont attirés dû à la force électrique exercée par les charges de signe opposé présentes sur la baguette.

3.3.2 Forces de contact

Tension :

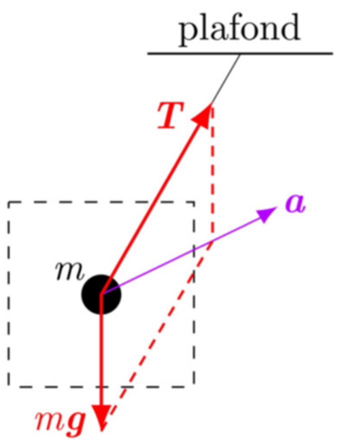


Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

Les forces de contact sont exercées par traction (tension dans un fil), par pression (soutien d'une table) ou par cisaillement (frottement). Elles sont transmises par contact avec l'objet considéré.

Tension :

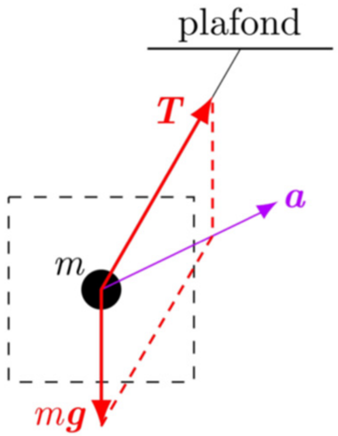


Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

Les forces de contact sont exercées par traction (tension dans un fil), par pression (soutien d'une table) ou par cisaillement (frottement). Elles sont transmises par contact avec l'objet considéré.

Tension : Pendule simple constitué d'une boule suspendue à un fil attaché au plafond. La boule est soumise à son poids $m\mathbf{g}$ et à la tension $\mathbf{T}$ dans le fil.

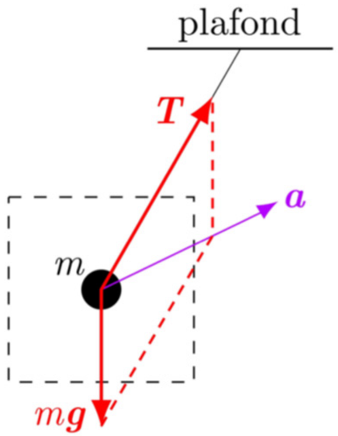


Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

Les forces de contact sont exercées par traction (tension dans un fil), par pression (soutien d'une table) ou par cisaillement (frottement). Elles sont transmises par contact avec l'objet considéré.

Tension : Pendule simple constitué d'une boule suspendue à un fil attaché au plafond. La boule est soumise à son poids $m\mathbf{g}$ et à la tension $\mathbf{T}$ dans le fil.

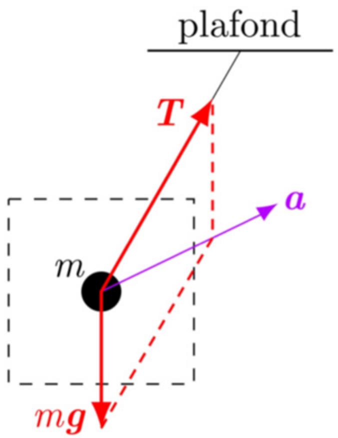


Loi du mouvement : $\boxed{m\mathbf{g} + \mathbf{T} = m\mathbf{a} \quad (3.4)}$

3.3.2 Forces de contact

Les forces de contact sont exercées par traction (tension dans un fil), par pression (soutien d'une table) ou par cisaillement (frottement). Elles sont transmises par contact avec l'objet considéré.

Tension : Pendule simple constitué d'une boule suspendue à un fil attaché au plafond. La boule est soumise à son poids $m\mathbf{g}$ et à la tension $\mathbf{T}$ dans le fil.



Loi du mouvement : $\boxed{m\mathbf{g} + \mathbf{T} = m\mathbf{a} \;(3.4)}$

- À chaque instant, la somme des forces tend à ramener le pendule à la verticale. Il s'ensuit un mouvement d'oscillation.

3.3.2 Forces de contact

Expérience :

3.3.2 Forces de contact

Expérience : Pendule simple

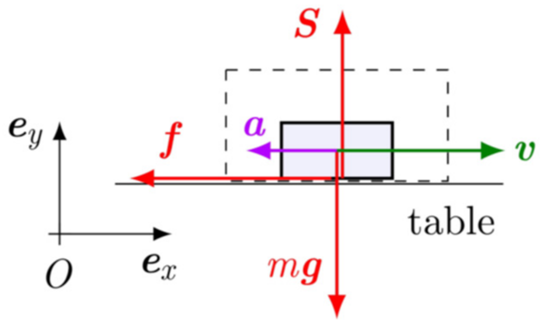
3.3.2 Forces de contact

Expérience : Pendule simple

- La tension **T** est toujours orientée selon le fil vers le point d'attache. Sa norme dépend de la vitesse du poids.
- La tension garantit que le mouvement de l'objet (boule ou poids) a lieu sur un arc de cercle à distance constante du point d'attache.

3.3.2 Forces de contact

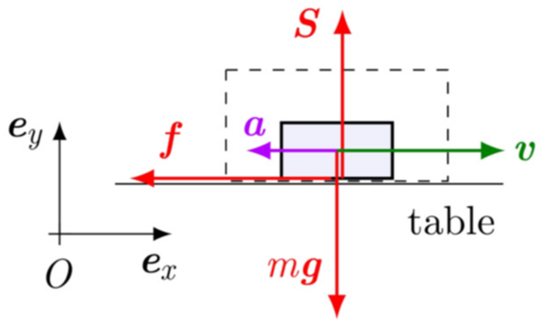
Soutien :



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

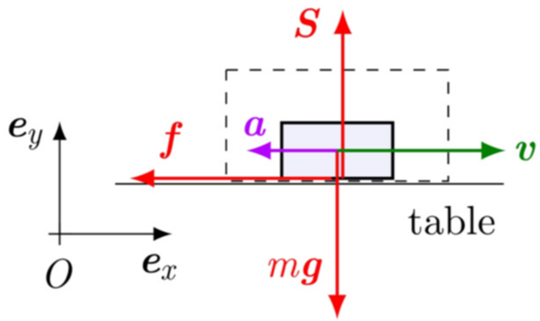
Soutien : Une boîte glissant sur une table est soumise à son poids $m\mathbf{g}$, à la force de soutien **S** de la table et à une force de frottement **f** qui s'oppose au mouvement.



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

Soutien : Une boîte glissant sur une table est soumise à son poids $m\mathbf{g}$, à la force de soutien $\mathbf{S}$ de la table et à une force de frottement $\mathbf{f}$ qui s'oppose au mouvement.

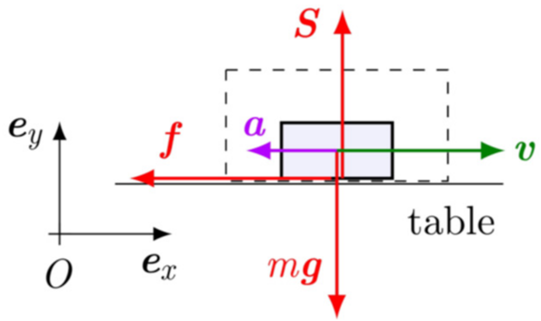


Loi du mouvement :

$$\boxed{\begin{array}{l} m\mathbf{g} + \mathbf{S} + \mathbf{f} = m\mathbf{a} \\ \\ \text{Selon } \mathbf{e}_x : -f = -ma \qquad (3.5) \\ \text{Selon } \mathbf{e}_y : -mg + S = 0 \end{array}}$$

3.3.2 Forces de contact

Soutien : Une boîte glissant sur une table est soumise à son poids $m\mathbf{g}$, à la force de soutien **S** de la table et à une force de frottement **f** qui s'oppose au mouvement.



Loi du mouvement :

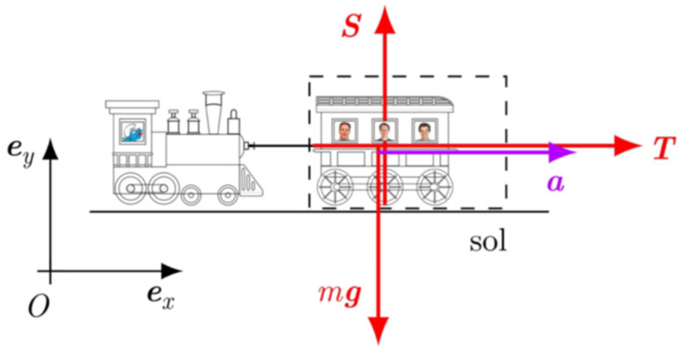
$$\boxed{\begin{array}{ll} m\mathbf{g} + \mathbf{S} + \mathbf{f} = m\mathbf{a} & \\ & \\ \text{Selon } \mathbf{e}_x : -f = -ma & (3.5) \\ \text{Selon } \mathbf{e}_y : -mg + S = 0 & \end{array}}$$

Comme la boîte ne quitte pas la table, l'accélération est parallèle à la table. Ainsi,

$$\boxed{\begin{cases} f = ma \\ S = mg \end{cases} \quad (3.6)}$$

3.3.2 Forces de contact

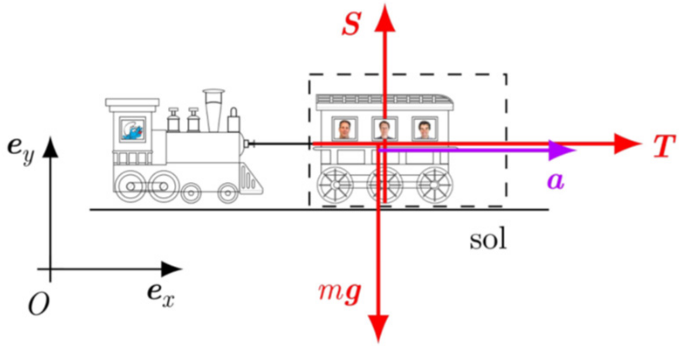
Traction :



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

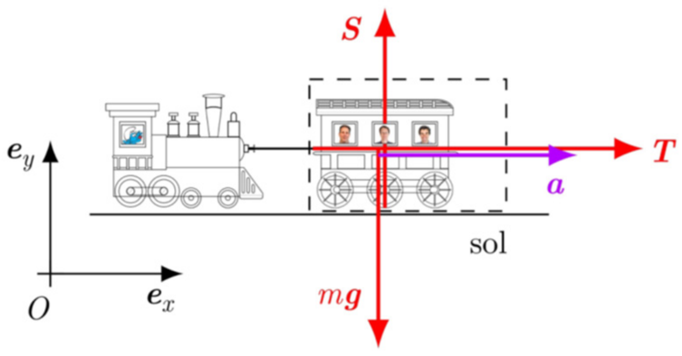
Traction : Une locomotive pousse un wagon avec une force de traction **T**. Le wagon a une masse m et le frottement est négligeable.



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

Traction : Une locomotive pousse un wagon avec une force de traction **T**. Le wagon a une masse m et le frottement est négligeable.

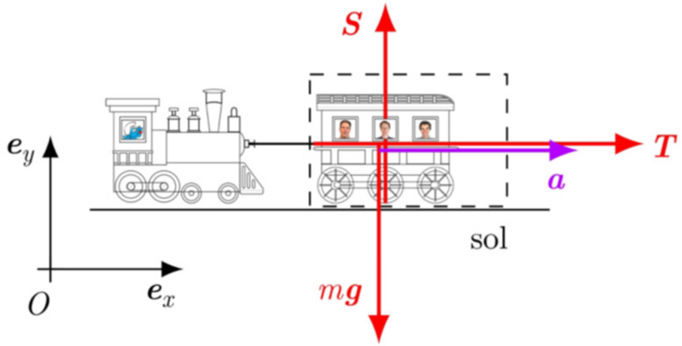


Loi du mouvement :

$$\boxed{\begin{array}{ll} m\mathbf{g} + \mathbf{S} + \mathbf{T} = m\mathbf{a} & \\ & \\ \text{Selon } \mathbf{e}_x : T = ma & (3.7) \\ \text{Selon } \mathbf{e}_y : -mg + S = 0 & \end{array}}$$

3.3.2 Forces de contact

Traction : Une locomotive pousse un wagon avec une force de traction **T**. Le wagon a une masse m et le frottement est négligeable.



Loi du mouvement :

$$m\mathbf{g} + \mathbf{S} + \mathbf{T} = m\mathbf{a}$$

Selon $\mathbf{e}_x$: $T = ma$ (3.7)

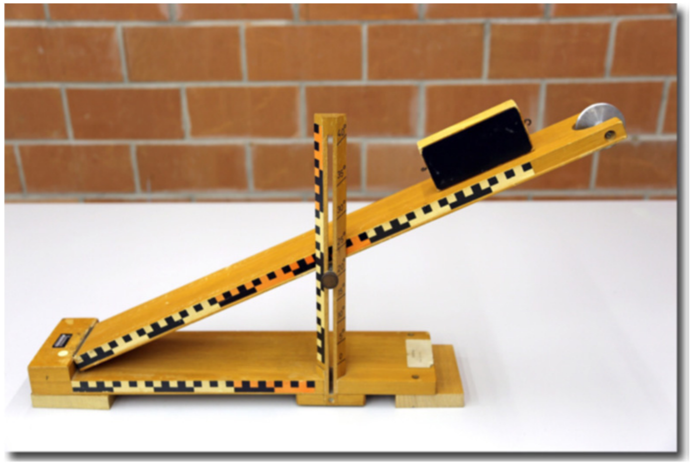
Selon $\mathbf{e}_y$: $-mg + S = 0$

Ainsi,

$$\boxed{\begin{cases} T = ma \\ S = mg \end{cases}}$$

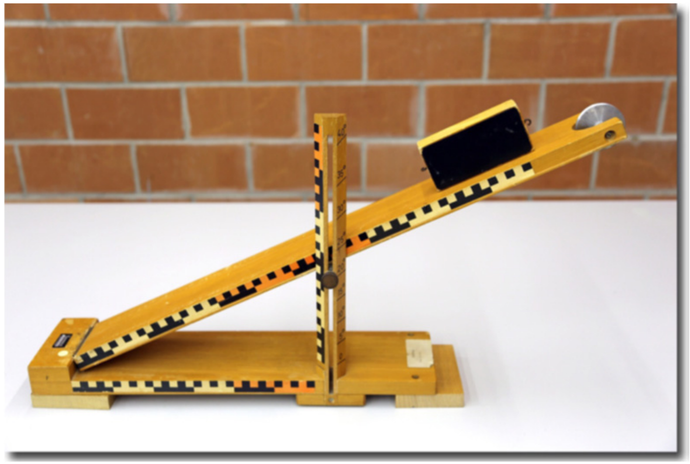
3.3.2 Forces de contact

Expériences :



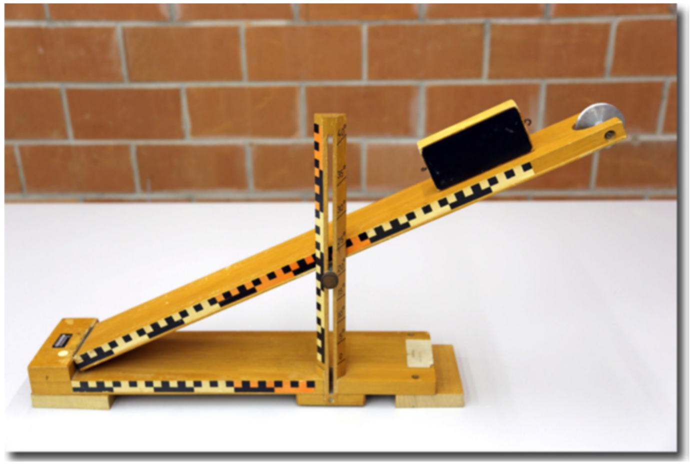
3.3.2 Forces de contact

Expériences : 1. Plan incliné



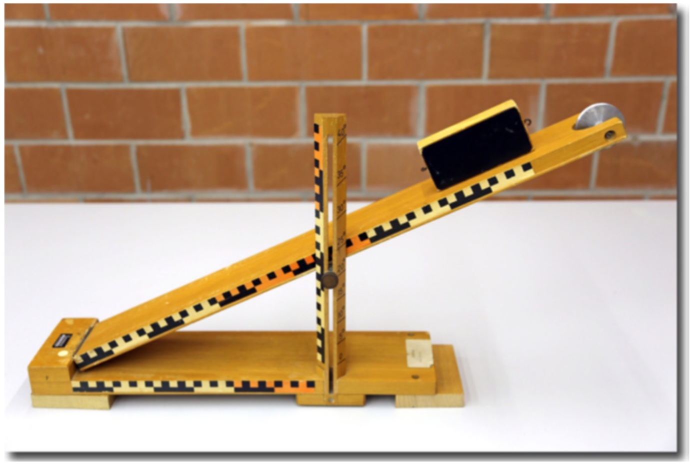
3.3.2 Forces de contact

Expériences : 1. Plan incliné 2. Échelle



3.3.2 Forces de contact

Expériences : 1. Plan incliné 2. Échelle

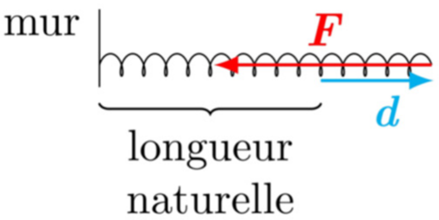


- On augmente l'inclinaison de façon continue jusqu'à ce que le plot se mette à glisser. Cela se produit lorsque le poids l'emporte sur la force de frottement statique.

- Pour qu'une échelle ne tombe pas, il faut que l'angle entre l'échelle et le sol soit suffisamment élevé.

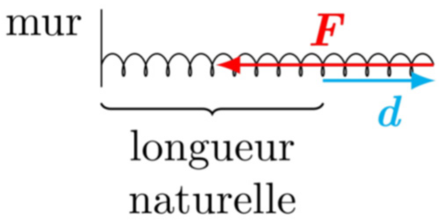
3.3.2 Forces de contact

Force élastique :



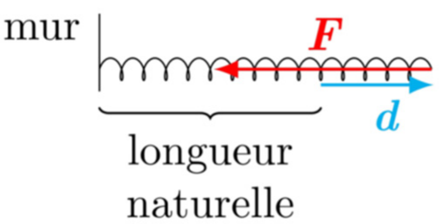
3.3.2 Forces de contact

Force élastique : Un ressort est formé d’une tige enroulée en spirale. Il a une certaine longueur au repos et une rigidité (difficulté à être déformé). La force exercée par le ressort est proportionnelle à son allongement **d** (vecteur déplacement de l’extrémité). Cette force est répulsive en contraction et attractive en élongation.



3.3.2 Forces de contact

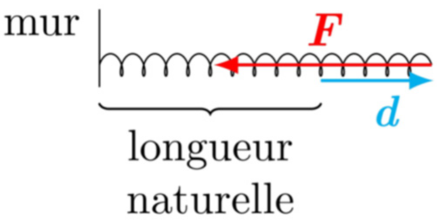
Force élastique : Un ressort est formé d'une tige enroulée en spirale. Il a une certaine longueur au repos et une rigidité (difficulté à être déformé). La force exercée par le ressort est proportionnelle à son allongement **d** (vecteur déplacement de l'extrémité). Cette force est répulsive en contraction et attractive en élongation.



- Force élastique : $\mathbf{F} = -k\mathbf{d}$ (3.8)

3.3.2 Forces de contact

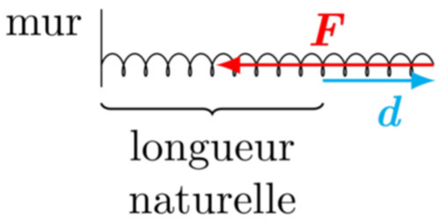
Force élastique : Un ressort est formé d'une tige enroulée en spirale. Il a une certaine longueur au repos et une rigidité (difficulté à être déformé). La force exercée par le ressort est proportionnelle à son allongement **d** (vecteur déplacement de l'extrémité). Cette force est répulsive en contraction et attractive en élongation.



- Force élastique : $\mathbf{F} = -k\mathbf{d}$ (3.8)
- La constante du ressort k mesure sa rigidité.

3.3.2 Forces de contact

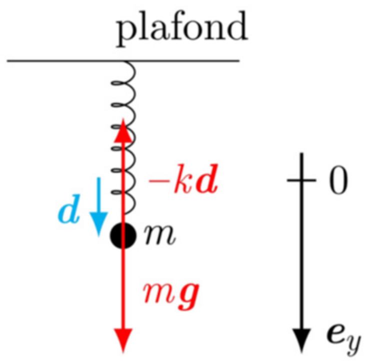
Force élastique : Un ressort est formé d'une tige enroulée en spirale. Il a une certaine longueur au repos et une rigidité (difficulté à être déformé). La force exercée par le ressort est proportionnelle à son allongement **d** (vecteur déplacement de l'extrémité). Cette force est répulsive en contraction et attractive en élongation.



- Force élastique : $\mathbf{F} = -k\mathbf{d}$ (3.8)
- La constante du ressort k mesure sa rigidité.
- Unité physique de k (SI) : $[N.m^{-1}] = [kg.s^{-2}]$

3.3.2 Forces de contact

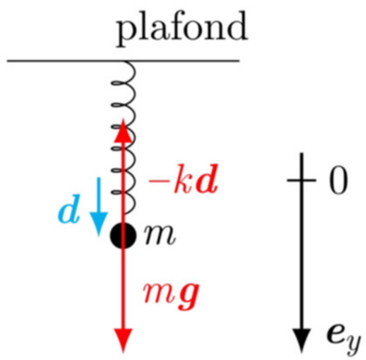
Équilibre :



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

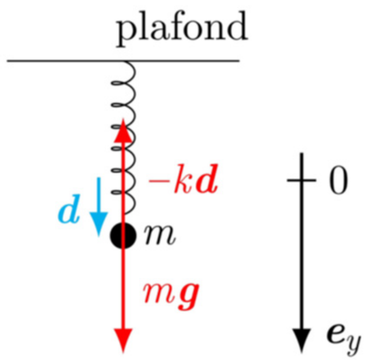
Équilibre : Objet immobile suspendu à un ressort à l'équilibre.



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

Équilibre : Objet immobile suspendu à un ressort à l'équilibre.



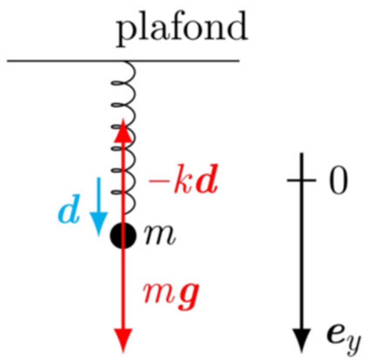
Loi du mouvement :

$$m\mathbf{g} - k\mathbf{d} = \mathbf{0} \tag{3.9}$$

Selon $\mathbf{e}_y$: $mg - kd = 0 \Rightarrow d = \dfrac{mg}{k}$

3.3.2 Forces de contact

Équilibre : Objet immobile suspendu à un ressort à l'équilibre.



Loi du mouvement :

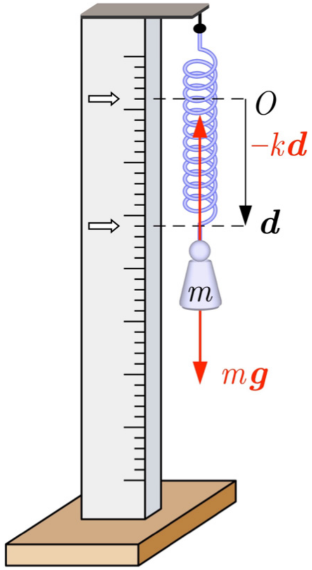
$$m\mathbf{g} - k\mathbf{d} = \mathbf{0} \tag{3.9}$$

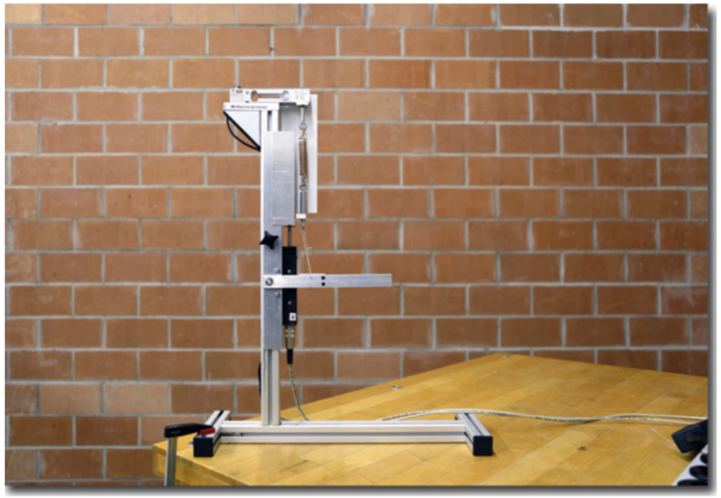
$$\text{Selon } \mathbf{e}_y : mg - kd = 0 \Rightarrow d = \frac{mg}{k}$$

À l'équilibre, l'objet est immobile. Son accélération est donc nulle.

3.3.2 Forces de contact

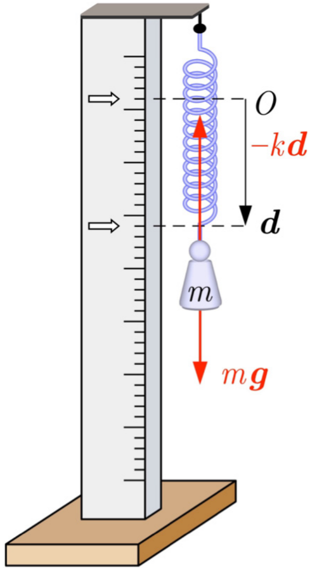
Expérience :

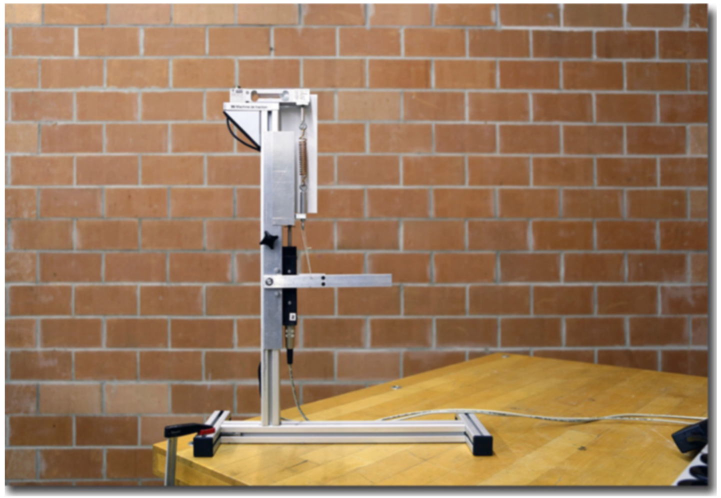




3.3.2 Forces de contact

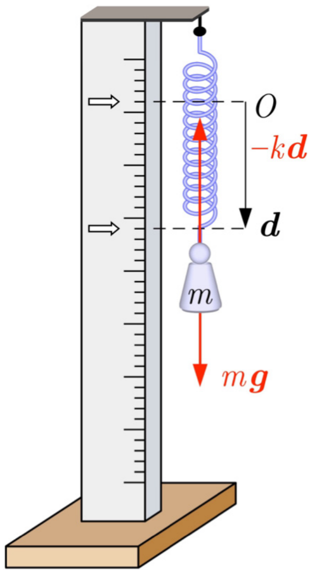
Expérience : Allongement proportionnel à la force appliquée

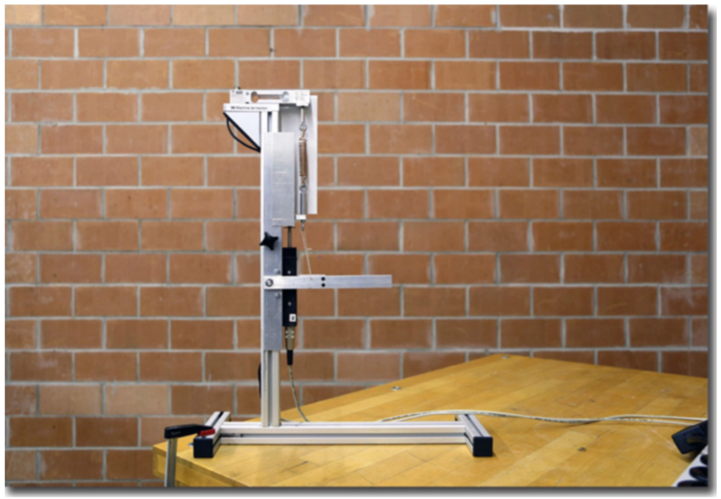




3.3.2 Forces de contact

Expérience : Allongement proportionnel à la force appliquée





- On fait la mesure de la force élastique à l'aide d'un capteur de force et du déplacement en tirant sur le ressort.
- Dans le domaine élastique, l'élongation est proportionnelle à la force appliquée (loi de Hooke).

3.4 Quantité de mouvement

3.4.0 Préambule

3.4.0 Préambule

On considère un objet de masse m et de vitesse $\mathbf{v}$. La quantité de mouvement $\mathbf{P}$ s'exprime comme :

$$\boxed{\mathbf{P} = m\mathbf{v} \quad (3.10)}$$

- C'est une grandeur vectorielle et extensive.
- Unité physique (SI) : [kg.m.s^{-1}]
- Pour un objet de masse m constante, la deuxième loi de Newton s'écrit alors :

3.4.0 Préambule

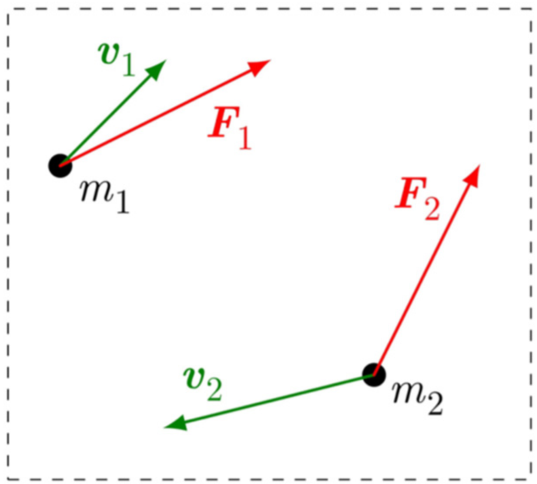
On considère un objet de masse m et de vitesse $\mathbf{v}$. La quantité de mouvement $\mathbf{P}$ s'exprime comme :

$$\boxed{\mathbf{P} = m\mathbf{v} \quad (3.10)}$$

- C'est une grandeur vectorielle et extensive.
- Unité physique (SI) : [kg.m.s^{-1}]
- Pour un objet de masse m constante, la deuxième loi de Newton s'écrit alors :

$$\boxed{\mathbf{F} = m\mathbf{a} = m\dot{\mathbf{v}} = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{v}\right) = \dot{\mathbf{P}} \Rightarrow \mathbf{F} = \dot{\mathbf{P}} \quad (3.11)}$$

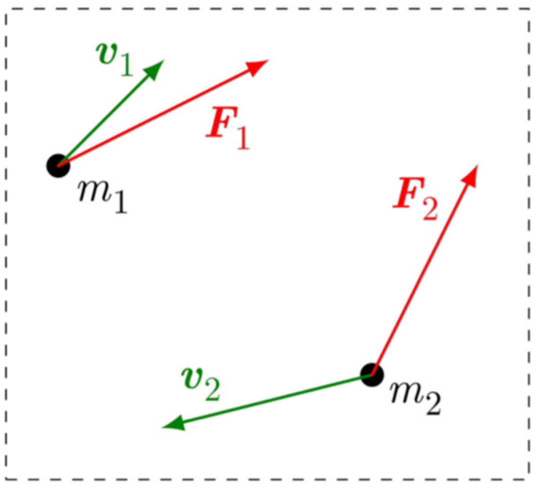
3.4.1 Quantité de mouvement totale



3.4.1 Quantité de mouvement totale

- Comme la quantité de mouvement est une grandeur extensive, la quantité de mouvement totale **P** d'un objet formé de N parties est la somme des quantités de mouvement de chaque partie :

$$\boxed{\mathbf{P} = \mathbf{P_1} + \mathbf{P_2} + \ldots + \mathbf{P_N} = m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + \ldots + m_N\mathbf{v_N} \quad (3.12)}$$



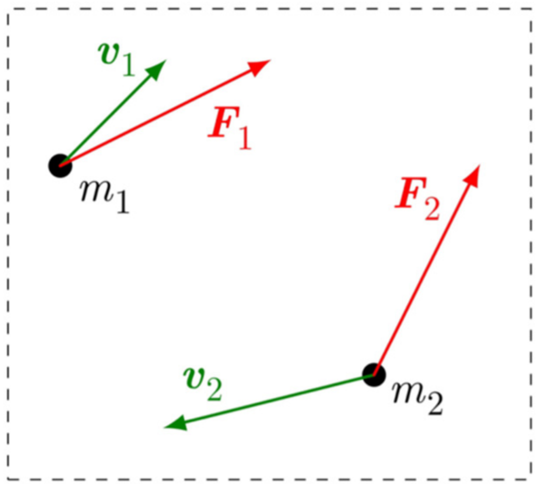
3.4.1 Quantité de mouvement totale

- Comme la quantité de mouvement est une grandeur extensive, la quantité de mouvement totale $\mathbf{P}$ d'un objet formé de N parties est la somme des quantités de mouvement de chaque partie :

$$\boxed{\mathbf{P} = \mathbf{P_1} + \mathbf{P_2} + \ldots + \mathbf{P_N} = m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + \ldots + m_N\mathbf{v_N} \quad (3.12)}$$

- Comme la force est une grandeur extensive, la force résultante (totale) $\mathbf{F}$ exercée sur un objet formé de N parties est la somme des forces exercées sur chaque partie :

$$\boxed{\mathbf{F} = \mathbf{F_1} + \mathbf{F_2} + \ldots + \mathbf{F_N} \quad (3.13)}$$



3.4.1 Quantité de mouvement totale

- Comme la quantité de mouvement est une grandeur extensive, la quantité de mouvement totale $\mathbf{P}$ d'un objet formé de N parties est la somme des quantités de mouvement de chaque partie :

$$\boxed{\mathbf{P} = \mathbf{P_1} + \mathbf{P_2} + \ldots + \mathbf{P_N} = m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + \ldots + m_N\mathbf{v_N} \quad (3.12)}$$

- Comme la force est une grandeur extensive, la force résultante (totale) $\mathbf{F}$ exercée sur un objet formé de N parties est la somme des forces exercées sur chaque partie :

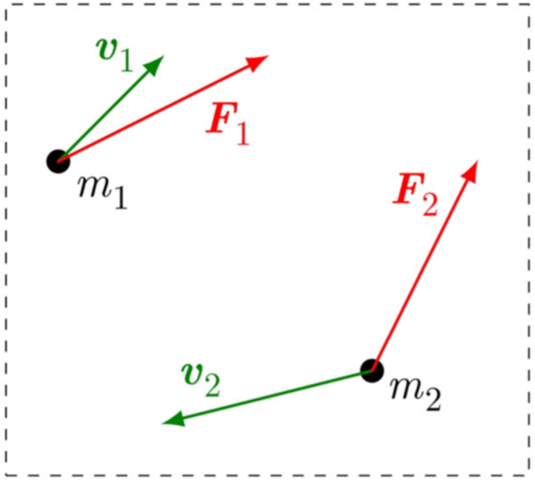
$$\boxed{\mathbf{F} = \mathbf{F_1} + \mathbf{F_2} + \ldots + \mathbf{F_N} \quad (3.13)}$$

- Objet formé de deux parties :

Partie 1 : $\mathbf{F_1} = m_1\mathbf{a_1} = \dot{\mathbf{P}}_1$

Partie 2 : $\mathbf{F_2} = m_2\mathbf{a_2} = \dot{\mathbf{P}}_2$

$$\Rightarrow \quad \mathbf{F} = \mathbf{F_1} + \mathbf{F_2} = \frac{d}{dt}\left(\mathbf{P_1} + \mathbf{P_2}\right) = \frac{d\mathbf{P}}{dt} \quad (3.14)$$



3.5 Centre de masse

3.5.0 Préambule

Remarque :

Centre de masse :

Remarque :

3.5.0 *Préambule*

Dans la deuxième loi de Newton : $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, l'accélération $\mathbf{a}$ est celle de l'objet. On considère un objet formé de N parties dont les vecteurs positions sont $\mathbf{r}_i$ où $i = 1, \ldots, N$.

Remarque :

Centre de masse :

Remarque :

3.5.0 Préambule

Dans la deuxième loi de Newton : $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, l'accélération **a** est celle de l'objet. On considère un objet formé de N parties dont les vecteurs positions sont $\mathbf{r_i}$ où $i = 1, \ldots, N$.

Remarque : La quantité de mouvement totale s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{P} = m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + \ldots + m_N\mathbf{v_N} = \frac{d}{dt}\left(m_1\mathbf{r_1} + m_2\mathbf{r_2} + \ldots + m_N\mathbf{r_N}\right) = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{r_{CM}}\right) \quad (3.15)}$$

Centre de masse :

Remarque :

3.5.0 Préambule

Dans la deuxième loi de Newton : **F** = m**a**, l'accélération **a** est celle de l'objet. On considère un objet formé de N parties dont les vecteurs positions sont $\mathbf{r_i}$ où i = 1, ..., N.

Remarque : La quantité de mouvement totale s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{P} = m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + \ldots + m_N\mathbf{v_N} = \frac{d}{dt}\left(m_1\mathbf{r_1} + m_2\mathbf{r_2} + \ldots + m_N\mathbf{r_N}\right) = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{r_{CM}}\right) \quad (3.15)}$$

Centre de masse :

$$\boxed{\mathbf{r_{CM}} = \frac{m_1\mathbf{r_1} + m_2\mathbf{r_2} + \ldots + m_N\mathbf{r_N}}{m} \quad (3.16)}$$

où $m = m_1 + m_2 + \ldots + m_N$ = cste est la masse totale de l'objet.

Remarque :

3.5.0 Préambule

Dans la deuxième loi de Newton : **F** = *m***a**, l'accélération **a** est celle de l'objet. On considère un objet formé de N parties dont les vecteurs positions sont $\mathbf{r_i}$ où $i = 1, \ldots, N$.

Remarque : La quantité de mouvement totale s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{P} = m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + \ldots + m_N\mathbf{v_N} = \frac{d}{dt}\left(m_1\mathbf{r_1} + m_2\mathbf{r_2} + \ldots + m_N\mathbf{r_N}\right) = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{r_{CM}}\right) \quad (3.15)}$$

Centre de masse : $$\boxed{\mathbf{r_{CM}} = \frac{m_1\mathbf{r_1} + m_2\mathbf{r_2} + \ldots + m_N\mathbf{r_N}}{m} \quad (3.16)}$$

où $m = m_1 + m_2 + \ldots + m_N = \text{cste}$ est la masse totale de l'objet.

- Le centre de masse est la moyenne des positions pondérées par les masses.

Remarque :

3.5.0 Préambule

Dans la deuxième loi de Newton : **F** = *m***a**, l'accélération **a** est celle de l'objet. On considère un objet formé de N parties dont les vecteurs positions sont $\mathbf{r_i}$ où i = 1, …, N.

Remarque : La quantité de mouvement totale s'écrit :

$$\boxed{\mathbf{P} = m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + \ldots + m_N\mathbf{v_N} = \frac{d}{dt}\left(m_1\mathbf{r_1} + m_2\mathbf{r_2} + \ldots + m_N\mathbf{r_N}\right) = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{r_{CM}}\right) \quad (3.15)}$$

Centre de masse : $$\boxed{\mathbf{r_{CM}} = \frac{m_1\mathbf{r_1} + m_2\mathbf{r_2} + \ldots + m_N\mathbf{r_N}}{m} \quad (3.16)}$$

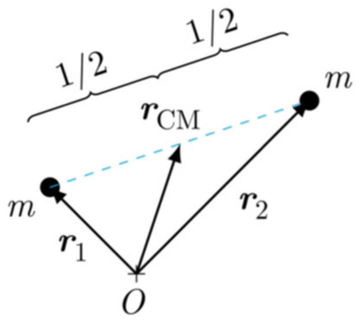
où $m = m_1 + m_2 + \ldots + m_N$ = cste est la masse totale de l'objet.

- Le centre de masse est la moyenne des positions pondérées par les masses.

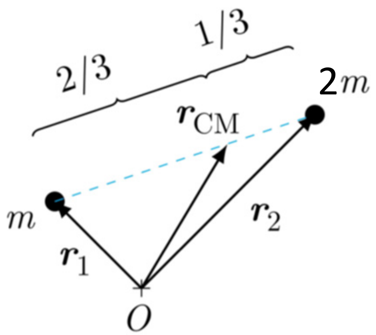
Remarque : Le centre de masse est aussi appelé centre de gravité. Il coïncide avec le barycentre (géométrique) si toutes les parties ont une masse identique.

3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

Haltère symétrique



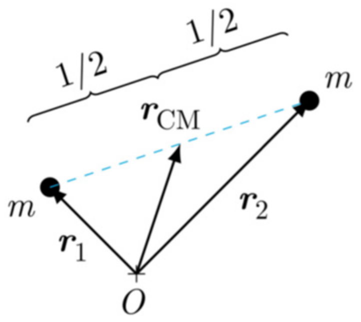
Haltère asymétrique



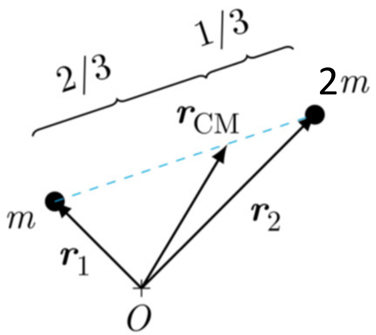
3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

Haltère symétrique

Le centre de masse (CM) d'un haltère symétrique est à équidistance (milieu) des deux masses.



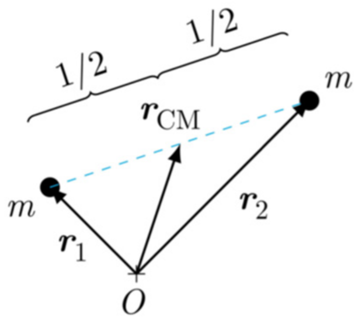
Haltère asymétrique



3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

Haltère symétrique

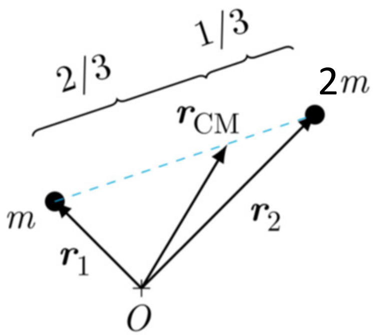
Le centre de masse (CM) d'un haltère symétrique est à équidistance (milieu) des deux masses.



- Centre de masse

$$\boxed{\mathbf{r}_{CM} = \frac{m\mathbf{r}_1 + m\mathbf{r}_2}{2m} = \frac{\mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2}{2} \quad (3.17)}$$

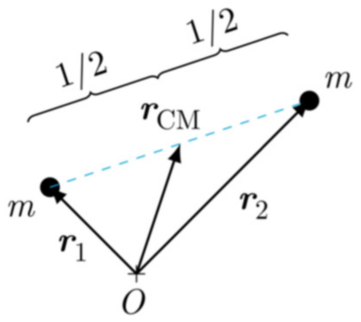
Haltère asymétrique



3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

Haltère symétrique

Le centre de masse (CM) d'un haltère symétrique est à équidistance (milieu) des deux masses.

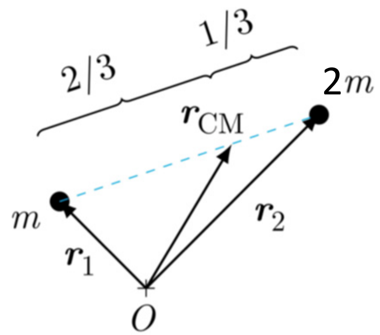


- Centre de masse

$$\boxed{\mathbf{r}_{\mathbf{CM}} = \frac{m\mathbf{r}_1 + m\mathbf{r}_2}{2m} = \frac{\mathbf{r}_1 + \mathbf{r}_2}{2} \quad (3.17)}$$

Haltère asymétrique

Le centre de masse (CM) n'est pas au milieu des deux masses.



$$\boxed{\mathbf{r}_{\mathbf{CM}} = \frac{m\mathbf{r}_1 + 2m\mathbf{r}_2}{3m} = \frac{1}{3}\mathbf{r}_1 + \frac{2}{3}\mathbf{r}_2 \quad (3.18)}$$

3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

- La quantité de mouvement **P** d'un objet est aussi celle d'une masse égale à la masse totale située au centre de masse.

$$\boxed{\mathbf{P} = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{r}_{\mathbf{CM}}\right) = m\dot{\mathbf{r}}_{\mathbf{CM}} = m\mathbf{v}_{\mathbf{CM}} \text{ où } m = \text{cste} \quad (3.19)}$$

3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

- La quantité de mouvement **P** d'un objet est aussi celle d'une masse égale à la masse totale située au centre de masse.

$$\boxed{\mathbf{P} = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{r}_{\mathbf{CM}}\right) = m\dot{\mathbf{r}}_{\mathbf{CM}} = m\mathbf{v}_{\mathbf{CM}} \text{ où } m = \text{cste} \quad (3.19)}$$

- La deuxième loi de Newton s'écrit alors :

$$\boxed{\mathbf{F} = \dot{\mathbf{P}} = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{v}_{\mathbf{CM}}\right) = m\dot{\mathbf{v}}_{\mathbf{CM}} = m\mathbf{a}_{\mathbf{CM}} \text{ où } m = \text{cste} \quad (3.20)}$$

3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

- La quantité de mouvement **P** d'un objet est aussi celle d'une masse égale à la masse totale située au centre de masse.

$$\boxed{\mathbf{P} = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{r}_{\mathbf{CM}}\right) = m\dot{\mathbf{r}}_{\mathbf{CM}} = m\mathbf{v}_{\mathbf{CM}} \text{ où } m = \text{cste} \quad (3.19)}$$

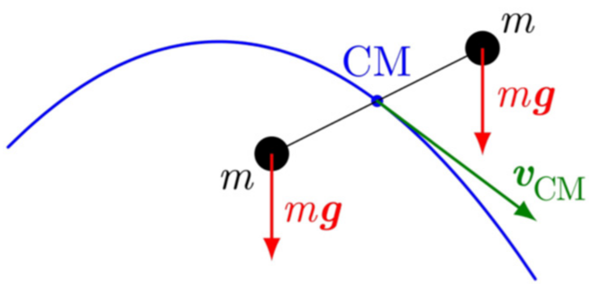
- La deuxième loi de Newton s'écrit alors :

$$\boxed{\mathbf{F} = \dot{\mathbf{P}} = \frac{d}{dt}\left(m\mathbf{v}_{\mathbf{CM}}\right) = m\dot{\mathbf{v}}_{\mathbf{CM}} = m\mathbf{a}_{\mathbf{CM}} \text{ où } m = \text{cste} \quad (3.20)}$$

Elle donne, sous l'action de la force résultante **F**, le mouvement du centre de masse de l'objet.

3.5.3 Haltère lancé

Haltère lancé

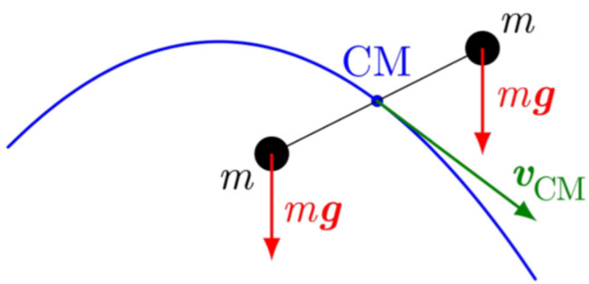


Remarque :

3.5.3 Haltère lancé

Haltère lancé

Lorsqu'on lance un haltère symétrique, les deux masses peuvent avoir un mouvement de rotation propre autour du centre de masse, mais le centre de masse a une trajectoire balistique.

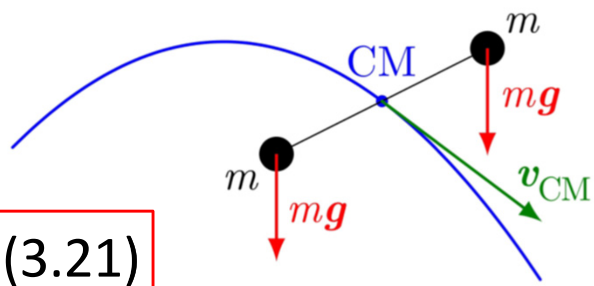


Remarque :

3.5.3 Haltère lancé

Haltère lancé

Lorsqu'on lance un haltère symétrique, les deux masses peuvent avoir un mouvement de rotation propre autour du centre de masse, mais le centre de masse a une trajectoire balistique.



- <u>Objet</u> : haltère (masse $2m$)
- <u>Force</u> : poids $2m\mathbf{g}$
- <u>Loi du mouvement</u> :

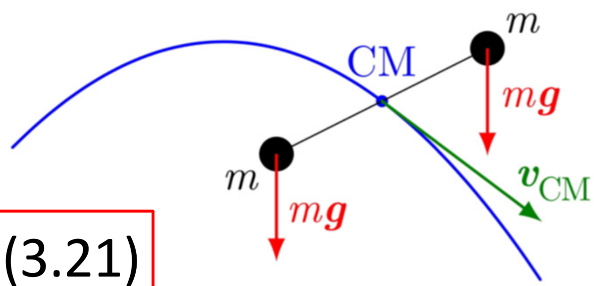
$$\boxed{2m\mathbf{g} = 2m\mathbf{a}_{\mathrm{CM}} \Rightarrow \mathbf{a}_{\mathrm{CM}}(t) = \mathbf{g} \quad \forall\, t \quad (3.21)}$$

Remarque :

3.5.3 *Haltère lancé*

Haltère lancé

Lorsqu'on lance un haltère symétrique, les deux masses peuvent avoir un mouvement de rotation propre autour du centre de masse, mais le centre de masse a une trajectoire balistique.



- Objet : haltère (masse $2m$)
- Force : poids $2m\mathbf{g}$
- Loi du mouvement :

$$\boxed{2m\mathbf{g} = 2m\mathbf{a}_{\mathbf{CM}} \Rightarrow \mathbf{a}_{\mathbf{CM}}(t) = \mathbf{g} \quad \forall\, t \quad (3.21)}$$

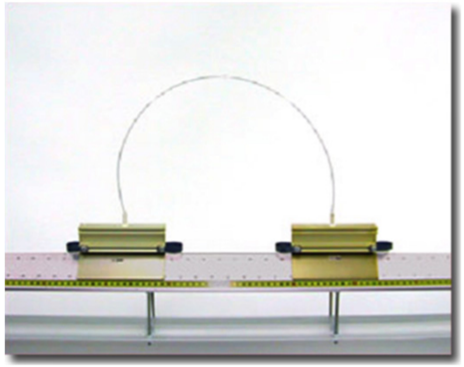
Remarque :

- Le mouvement du centre de masse est le mouvement global de l'objet (comme vu de loin).
- La deuxième loi de Newton ne dit rien sur les mouvements internes à l'objet (rotation, vibrations, déformation, …).

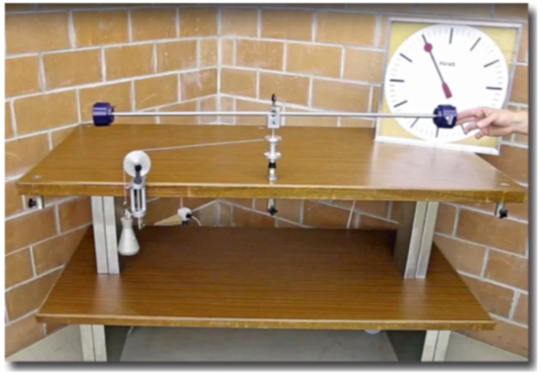
3.5.4 Expériences

Expériences :

1



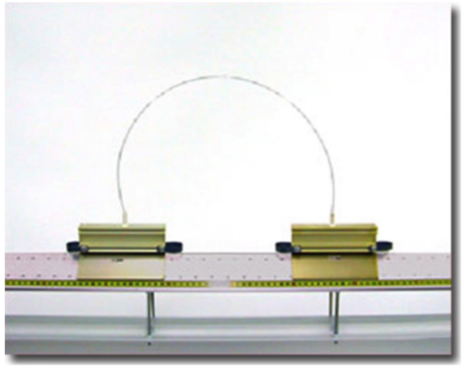
2



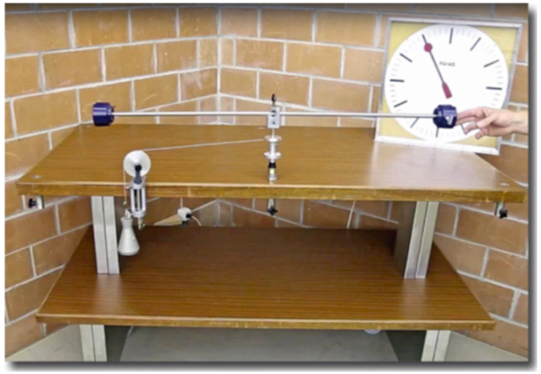
3.5.4 Expériences

Expériences : Centre de masse d'un système

1



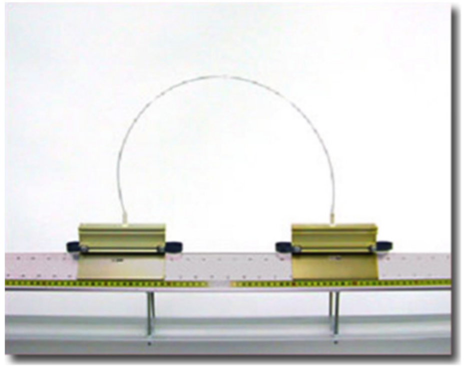
2



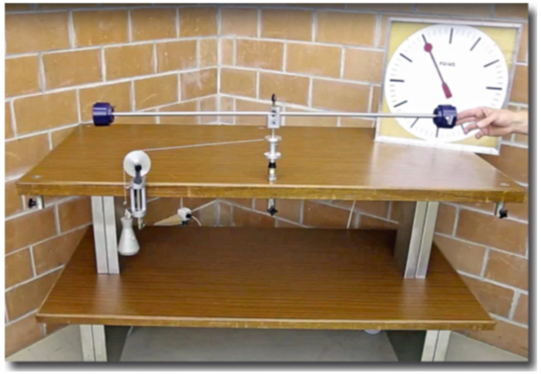
3.5.4 Expériences

Expériences : Centre de masse d'un système

1



2



1. Le centre de masse d'un système constitué de deux glisseurs reliés par un ressort sur un rail à coussin d'air a un mouvement rectiligne uniforme (MRU).

2. Le centre de masse d'un haltère symétrique en rotation est au repos.