Leçon 4 – 06/03/2025

2. Mouvement dans le plan

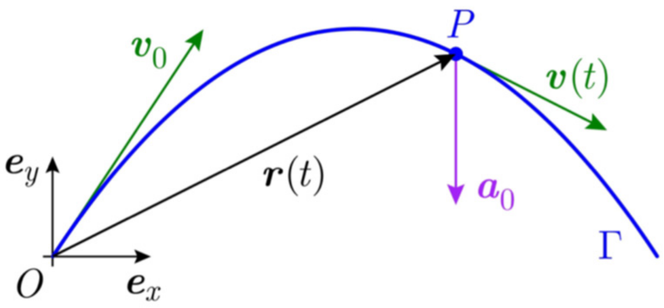
- 2.5 Vecteur accélération $\mathbf{a}(t)$

3. Dynamique

- 3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie)
- 3.2 Deuxième loi de Newton (loi du mouvement)
- 3.3 Forces particulières

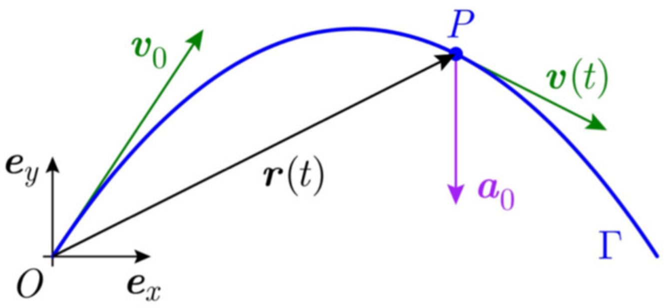
2.5 Vecteur accélération

2.5.1 Propriétés de l’accélération



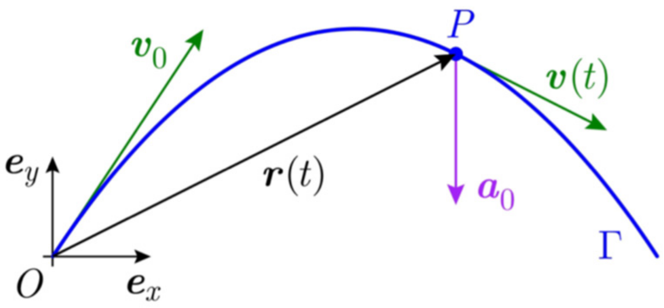
2.5.1 Propriétés de l'accélération

On veut montrer que la trajectoire est une parabole d'axe parallèle à $\mathbf{a_0}$. On choisit l'origine O sur la trajectoire Γ et l'origine du temps telle que $t = 0$ lorsque l'objet passe en O. On prend $\mathbf{e}_x$ perpendiculaire à $\mathbf{a_0}$ et $\mathbf{e}_y$ parallèle à $\mathbf{a_0}$.



2.5.1 *Propriétés de l'accélération*

On veut montrer que la trajectoire est une parabole d'axe parallèle à $\mathbf{a_0}$. On choisit l'origine O sur la trajectoire Γ et l'origine du temps telle que t = 0 lorsque l'objet passe en O. On prend $\mathbf{e}_x$ perpendiculaire à $\mathbf{a_0}$ et $\mathbf{e}_y$ parallèle à $\mathbf{a_0}$.



- Équation horaire : $\mathbf{r}(t)=\frac{1}{2}\mathbf{a_0}t^2+\mathbf{v_0}t$

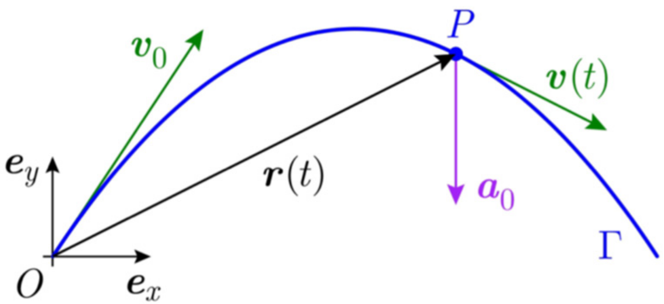
Selon $\mathbf{e}_x$: $x(t)=v_{0_x}t$ (2.25)

Selon $\mathbf{e}_y$: $y(t)=-\frac{1}{2}a_0t^2+v_{0_y}t$ (2.26)

(2.25) $\Rightarrow$ $t(x)=\frac{x(t)}{v_{0_x}}$ (2.27)

2.5.1 Propriétés de l'accélération

On veut montrer que la trajectoire est une parabole d'axe parallèle à $\mathbf{a_0}$. On choisit l'origine *O* sur la trajectoire Γ et l'origine du temps telle que $t = 0$ lorsque l'objet passe en *O*. On prend $\mathbf{e}_x$ perpendiculaire à $\mathbf{a_0}$ et $\mathbf{e}_y$ parallèle à $\mathbf{a_0}$.



- Équation horaire : $\mathbf{r}(t) = \frac{1}{2}\mathbf{a_0}t^2 + \mathbf{v_0}t$

Selon $\mathbf{e}_x$: $x(t) = v_{0_x} t$ (2.25)

Selon $\mathbf{e}_y$: $y(t) = -\frac{1}{2}a_0 t^2 + v_{0_y} t$ (2.26)

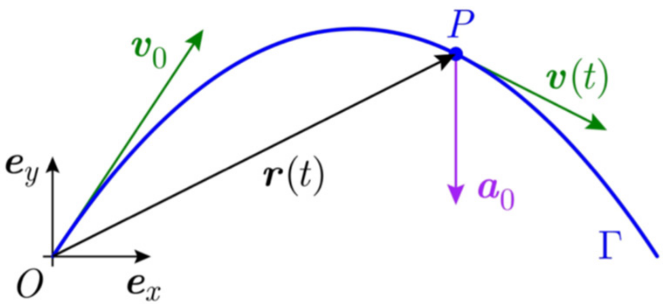
(2.25) $\Rightarrow$ $t(x) = \dfrac{x(t)}{v_{0_x}}$ (2.27)

(2.27) $\Rightarrow$ (2.26) Équation de la trajectoire

$$y(x) = -\frac{a_0}{2v_{0_x}^2}x^2 + \frac{v_{0_y}}{v_{0_x}}x \quad (2.28)$$

2.5.1 Propriétés de l'accélération

On veut montrer que la trajectoire est une parabole d'axe parallèle à $\mathbf{a_0}$. On choisit l'origine O sur la trajectoire Γ et l'origine du temps telle que t = 0 lorsque l'objet passe en O. On prend $\mathbf{e}_x$ perpendiculaire à $\mathbf{a_0}$ et $\mathbf{e}_y$ parallèle à $\mathbf{a_0}$.



- Équation horaire : $\mathbf{r}(t) = \frac{1}{2}\mathbf{a_0}t^2 + \mathbf{v_0}t$

Selon $\mathbf{e}_x$: $x(t) = v_{0_x} t$ (2.25)

Selon $\mathbf{e}_y$: $y(t) = -\frac{1}{2}a_0 t^2 + v_{0_y} t$ (2.26)

(2.25) $\Rightarrow$ $t(x) = \frac{x(t)}{v_{0_x}}$ (2.27)

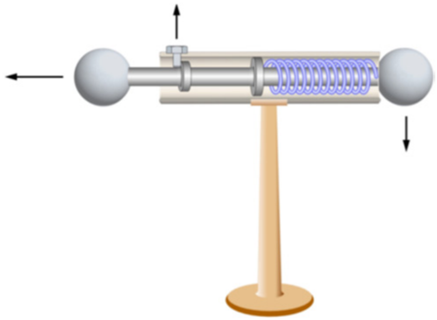
(2.27) $\Rightarrow$ (2.26) Équation de la trajectoire

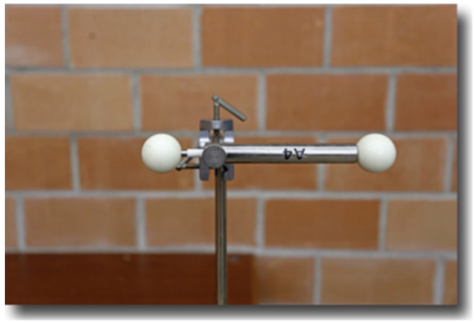
$$y(x) = -\frac{a_0}{2v_{0_x}^2}x^2 + \frac{v_{0_y}}{v_{0_x}}x \quad (2.28)$$

Cette expression du second degré décrit l'équation d'une parabole.

2.5.1 Propriétés de l’accélération

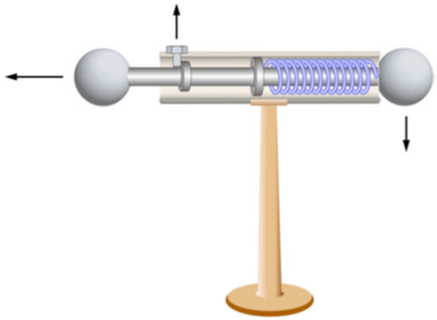
Expériences :

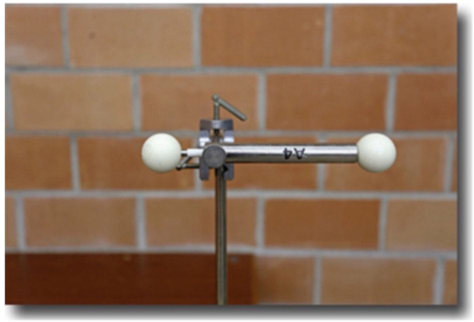




2.5.1 Propriétés de l'accélération

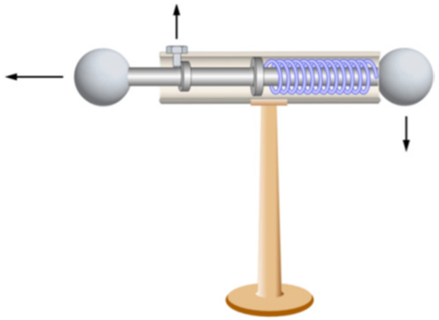
Expériences : 1. Chute libre et tir balistique

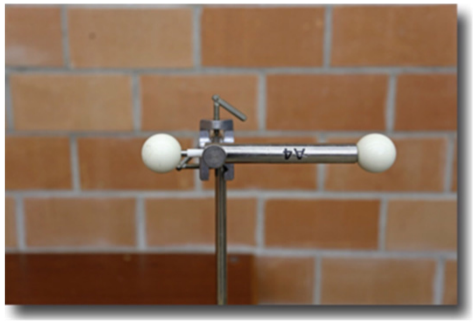




2.5.1 Propriétés de l'accélération

Expériences : 1. Chute libre et tir balistique

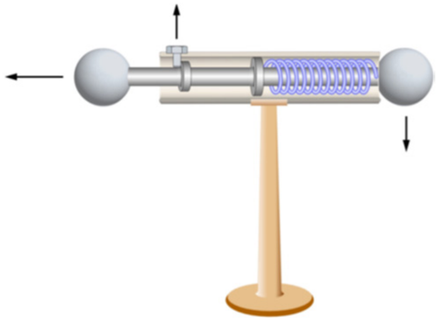


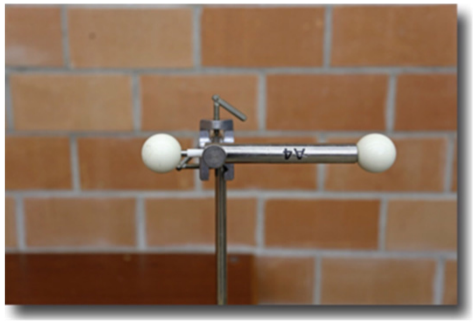


- Les deux boules touchent le sol en même temps.

2.5.1 Propriétés de l'accélération

Expériences : 1. Chute libre et tir balistique



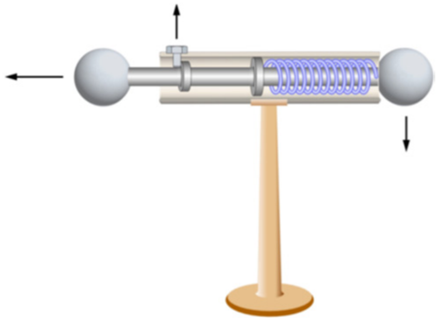


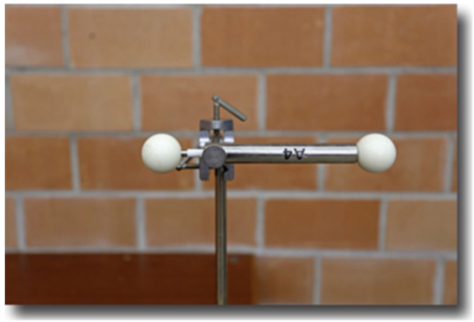
- Les deux boules touchent le sol en même temps.

2. Tir balistique sur table à coussin d'air

2.5.1 *Propriétés de l'accélération*

Expériences : 1. Chute libre et tir balistique



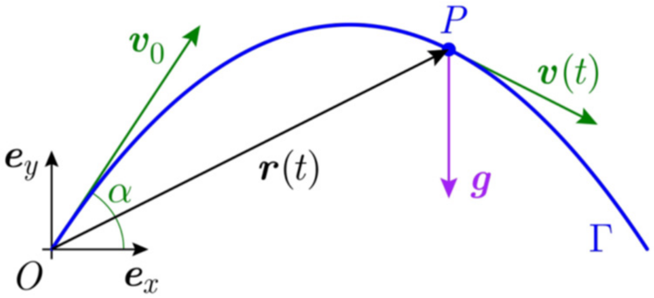


- Les deux boules touchent le sol en même temps.

2. Tir balistique sur table à coussin d'air

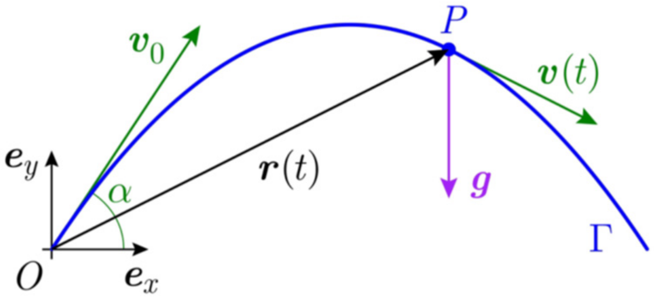
- Les deux pucks lancés simultanément entrent en collision.

2.5.2 Tir au canon



2.5.2 Tir au canon

On tire un obus avec une vitesse initiale $\mathbf{v_0}$ faisant un angle α avec le sol. On néglige les frottements de l'air. L'obus a une trajectoire balistique.

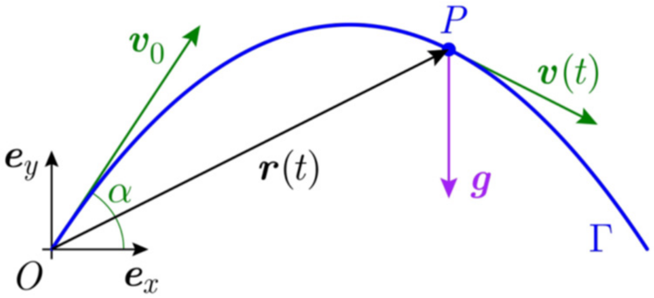


- $\mathbf{a}(t) = \mathbf{g} = \mathbf{cste}$ (2.29)
- $\mathbf{v}(t) = \mathbf{g}t + \mathbf{v_0}$ (2.30)
- $\mathbf{r}(t) = \frac{1}{2}\mathbf{g}t^2 + \mathbf{v_0}t$ (2.31)

où $\mathbf{g} = -g\mathbf{e}_y$ et $\mathbf{v_0} = \underbrace{v_0\cos\alpha}_{=v_{0_x}}\mathbf{e}_x + \underbrace{v_0\sin\alpha}_{=v_{0_y}}\mathbf{e}_y$

2.5.2 Tir au canon

On tire un obus avec une vitesse initiale $\mathbf{v_0}$ faisant un angle α avec le sol. On néglige les frottements de l'air. L'obus a une trajectoire balistique.



- $\mathbf{a}(t)=\mathbf{g}=\mathbf{cste}$ (2.29)
- $\mathbf{v}(t)=\mathbf{g}t+\mathbf{v_0}$ (2.30)
- $\mathbf{r}(t)=\frac{1}{2}\mathbf{g}t^2+\mathbf{v_0}t$ (2.31)

où $\mathbf{g}=-g\mathbf{e}_y$ et $\mathbf{v_0}=\underbrace{v_0\cos\alpha}_{=v_{0_x}}\mathbf{e}_x+\underbrace{v_0\sin\alpha}_{=v_{0_y}}\mathbf{e}_y$

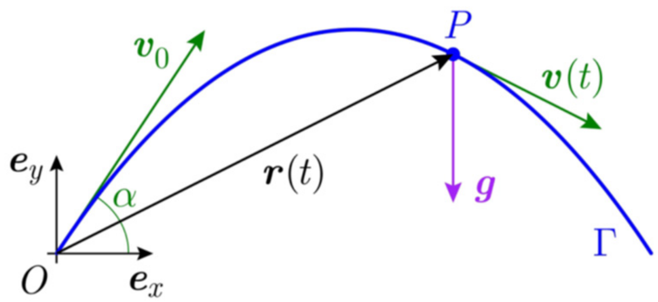
Hauteur maximale h : $v_y(t_h) = 0$

$$v_y(t_h)=-gt_h+v_{0_y}=0\Rightarrow t_h=\frac{v_{0_y}}{g}=\frac{v_0\sin\alpha}{g} \qquad (2.32)$$

$$h=y(t_h)=-\frac{1}{2}gt_h^2+v_{0_y}t_h=\frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g} \qquad (2.33)$$

2.5.2 Tir au canon

On tire un obus avec une vitesse initiale $\mathbf{v_0}$ faisant un angle α avec le sol. On néglige les frottements de l'air. L'obus a une trajectoire balistique.



- $\mathbf{a}(t) = \mathbf{g} = \mathbf{cste}$ (2.29)
- $\mathbf{v}(t) = \mathbf{g}t + \mathbf{v_0}$ (2.30)
- $\mathbf{r}(t) = \frac{1}{2}\mathbf{g}t^2 + \mathbf{v_0}t$ (2.31)

où $\mathbf{g} = -g\mathbf{e}_y$ et $\mathbf{v_0} = \underbrace{v_0\cos\alpha}_{=v_{0_x}}\,\mathbf{e}_x + \underbrace{v_0\sin\alpha}_{=v_{0_y}}\,\mathbf{e}_y$

Hauteur maximale h : $v_y(t_h) = 0$

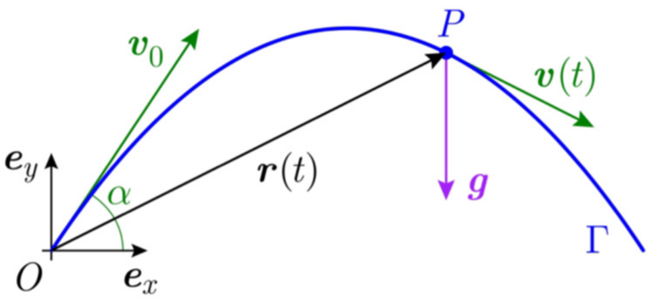
$$v_y(t_h) = -gt_h + v_{0_y} = 0 \Rightarrow t_h = \frac{v_{0_y}}{g} = \frac{v_0\sin\alpha}{g} \qquad (2.32)$$

$$h = y(t_h) = -\frac{1}{2}gt_h^2 + v_{0_y}t_h = \frac{v_0^2\sin^2\alpha}{2g} \qquad (2.33)$$

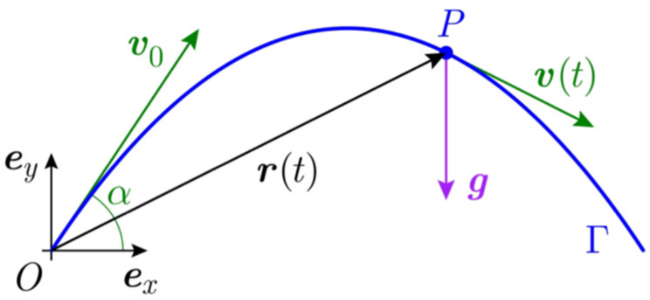
Temps de vol : $y(t_v) = 0$

$$y(t_v) = t_v \cdot \left(-\frac{1}{2}gt_v + v_{0_y}\right) = 0 \Rightarrow t_v = 0 \text{ ou } t_v = \frac{2v_{0_y}}{g} = \frac{2v_0\sin\alpha}{g} \qquad (2.34)$$

2.5.2 Tir au canon



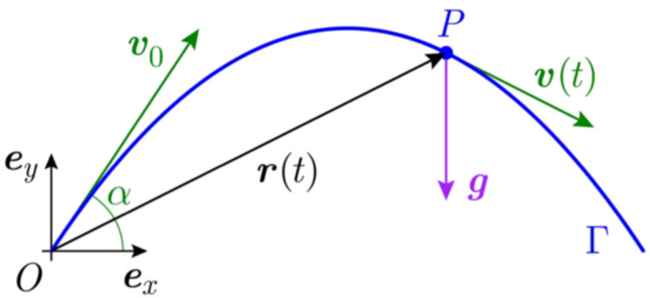
2.5.2 Tir au canon



Distance horizontale (portée) :

$$\boxed{d = x(t_v) = v_{0_x} t_v = \frac{2v_0^2 \cos\alpha \sin\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \qquad (2.35)}$$

2.5.2 Tir au canon



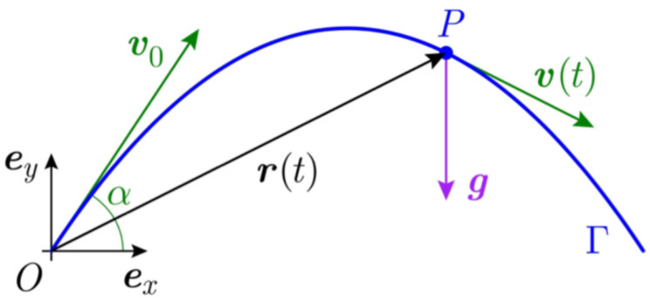
Distance horizontale (portée) :

$$d = x(t_v) = v_{0_x} t_v = \frac{2v_0^2 \cos\alpha \sin\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \qquad (2.35)$$

Équation de la trajectoire Γ :

$$(2.28) : \quad y(x) = -\frac{a_0}{2v_{0_x}^2} x^2 + \frac{v_{0_y}}{v_{0_x}} x = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} x^2 + \tan\alpha \, x \qquad (2.36)$$

2.5.2 Tir au canon



Distance horizontale (portée) :

$$\boxed{d = x(t_v) = v_{0_x} t_v = \frac{2v_0^2 \cos\alpha \sin\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \qquad (2.35)}$$

Équation de la trajectoire Γ :

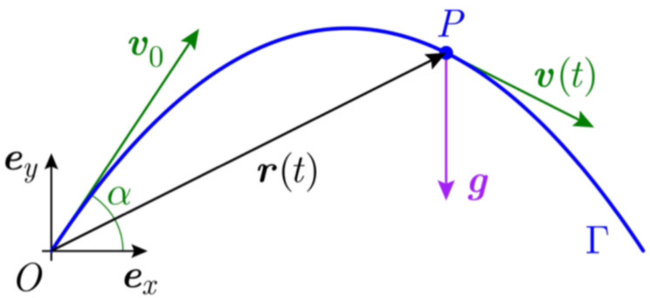
$$\boxed{(2.28): \quad y(x) = -\frac{a_0}{2v_{0_x}^2} x^2 + \frac{v_{0_y}}{v_{0_x}} x = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} x^2 + \tan\alpha\, x \quad (2.36)}$$

Point de la trajectoire $P(x_P, y_P)$:

$$(2.36): y_P = -\frac{g}{2v_0^2} \underbrace{\left(1 + \tan^2\alpha\right)}_{\equiv \frac{1}{\cos^2\alpha}} x_P^2 + \tan\alpha\, x_P$$

$$\boxed{\Rightarrow \frac{g x_P^2}{2v_0^2} \tan^2\alpha - x_P \tan\alpha + \frac{g x_P^2}{2v_0^2} + y_P = 0 \quad (2.37)}$$

2.5.2 Tir au canon



Distance horizontale (portée) :

$$\boxed{d = x(t_v) = v_{0_x} t_v = \frac{2v_0^2 \cos\alpha \sin\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \qquad (2.35)}$$

Équation de la trajectoire Γ :

$$\boxed{(2.28): \quad y(x) = -\frac{a_0}{2v_{0_x}^2} x^2 + \frac{v_{0_y}}{v_{0_x}} x = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} x^2 + \tan\alpha \, x \quad (2.36)}$$

Point de la trajectoire $P(x_P, y_P)$:

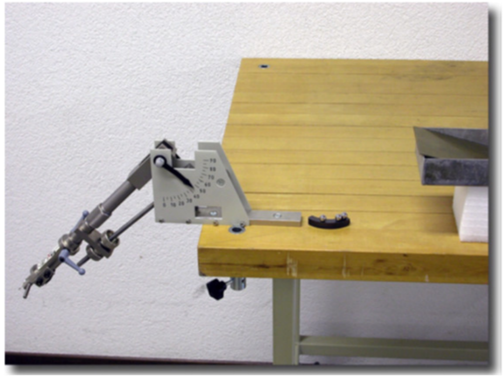
$$(2.36): y_P = -\frac{g}{2v_0^2} \underbrace{\left(1+\tan^2\alpha\right)}_{\equiv \frac{1}{\cos^2\alpha}} x_P^2 + \tan\alpha \, x_P$$

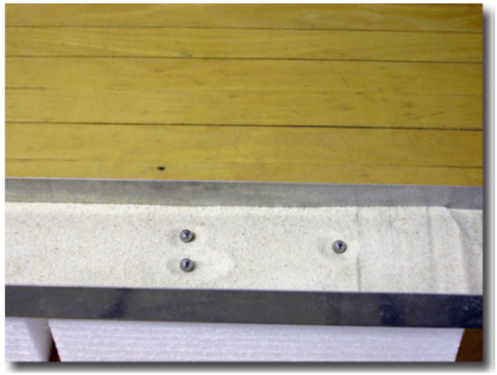
$$\boxed{\Rightarrow \frac{g x_P^2}{2v_0^2} \tan^2\alpha - x_P \tan\alpha + \frac{g x_P^2}{2v_0^2} + y_P = 0 \quad (2.37)}$$

Il s'agit d'une équation du second degré en $\tan\alpha$ qui est fonction de la vitesse initiale v_0 et des coordonnées x_P et y_P du point P.

2.5.2 Tir au canon

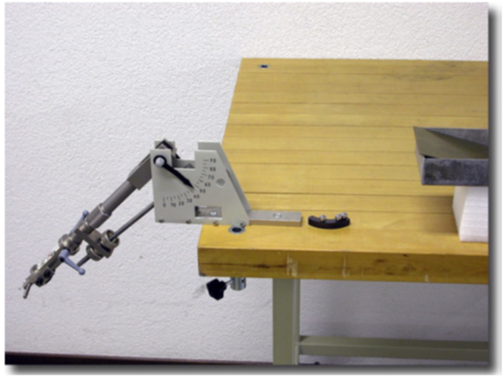
Expérience :

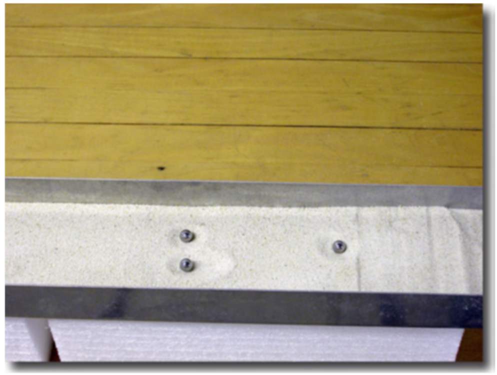




2.5.2 Tir au canon

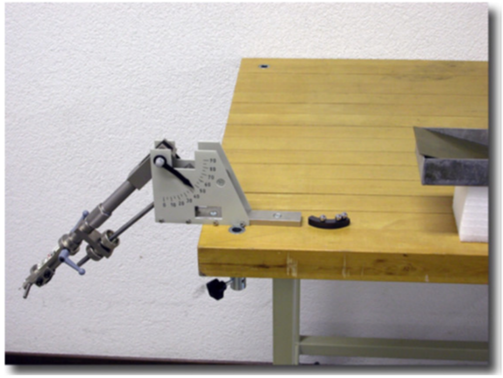
Expérience : Appareil de jet balistique

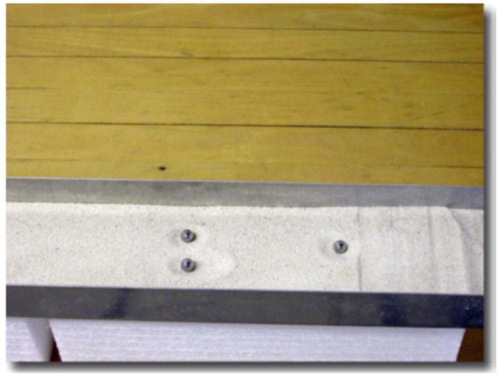




2.5.2 Tir au canon

Expérience : Appareil de jet balistique





On peut calculer et vérifier que pour un angle d'inclinaison initial $\alpha = 45°$, on a une portée maximale.

On peut calculer et vérifier que pour des angles d'inclinaison complémentaires $\alpha = 30°$ et $\alpha = 60°$, on a une portée identique.

2.5.2 Tir au canon

2.5.2 Tir au canon

Point de la trajectoire $P(x_P, y_P)$:

$$\boxed{\frac{g x_P^2}{2v_0^2}\tan^2\alpha - x_P\tan\alpha + \frac{g x_P^2}{2v_0^2} + y_P = 0 \qquad (2.37)}$$

2.5.2 Tir au canon

Point de la trajectoire $P(x_P, y_P)$:

$$\frac{gx_P^2}{2v_0^2}\tan^2\alpha - x_P\tan\alpha + \frac{gx_P^2}{2v_0^2} + y_P = 0 \quad (2.37)$$

Discriminant de l'équation du 2nd degré en $\tan\alpha$:

$$\Delta = x_P^2 - 4\frac{gx_P^2}{2v_0^2}\left(\frac{gx_P^2}{2v_0^2} + y_P\right) = x_P^2\left(1 - \frac{2g}{v_0^2}\left(\frac{gx_P^2}{2v_0^2} + y_P\right)\right) \quad (2.38)$$

2.5.2 Tir au canon

Point de la trajectoire $P(x_P, y_P)$:

$$\frac{gx_P^2}{2v_0^2}\tan^2\alpha - x_P\tan\alpha + \frac{gx_P^2}{2v_0^2} + y_P = 0 \quad (2.37)$$

Discriminant de l'équation du 2nd degré en $\tan\alpha$:

$$\Delta = x_P^2 - 4\frac{gx_P^2}{2v_0^2}\left(\frac{gx_P^2}{2v_0^2} + y_P\right) = x_P^2\left(1 - \frac{2g}{v_0^2}\left(\frac{gx_P^2}{2v_0^2} + y_P\right)\right) \quad (2.38)$$

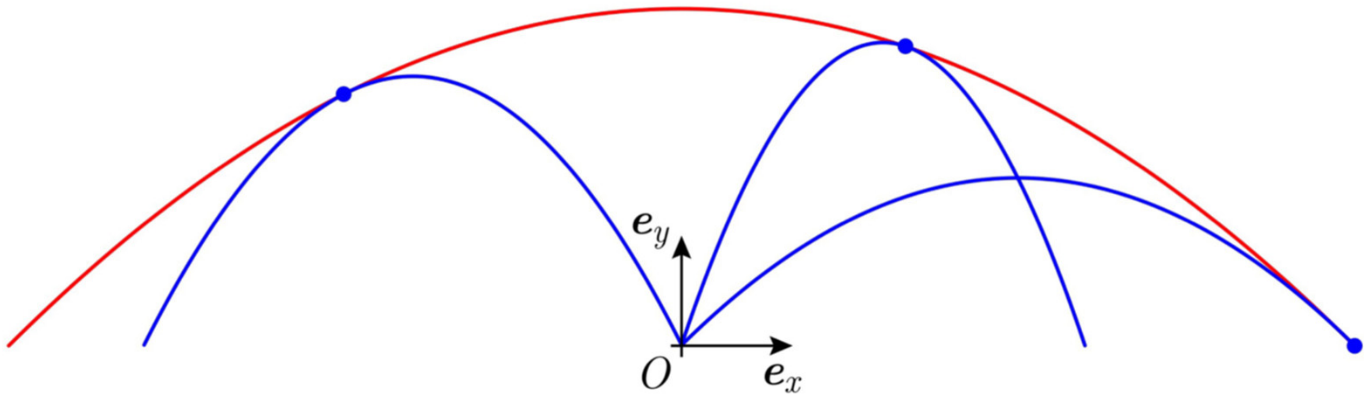
On doit distinguer 3 cas :

1. $\Delta > 0$: il y a deux angles α possibles (angles complémentaires). Le point P est à portée de canon avec deux trajectoires possibles.

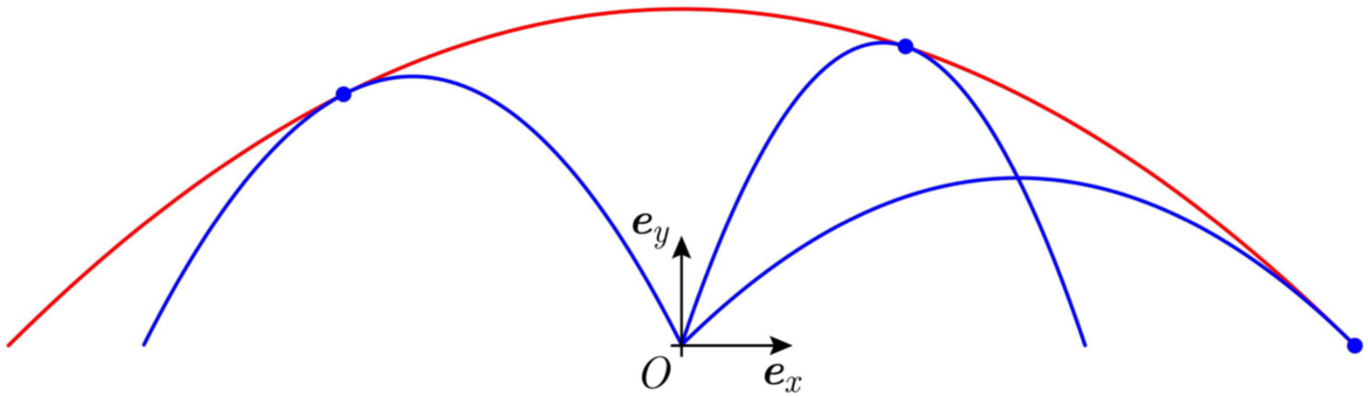
2. $\Delta = 0$: il y a un seul angle α possible. Tous les points (x,y) vérifiant $\Delta = 0$ se trouvent sur une parabole, dite de sûreté, d'équation :

$$y(x) = -\frac{g}{2v_0^2}x^2 + \frac{v_0^2}{2g} \quad (2.39)$$

2.5.2 Tir au canon

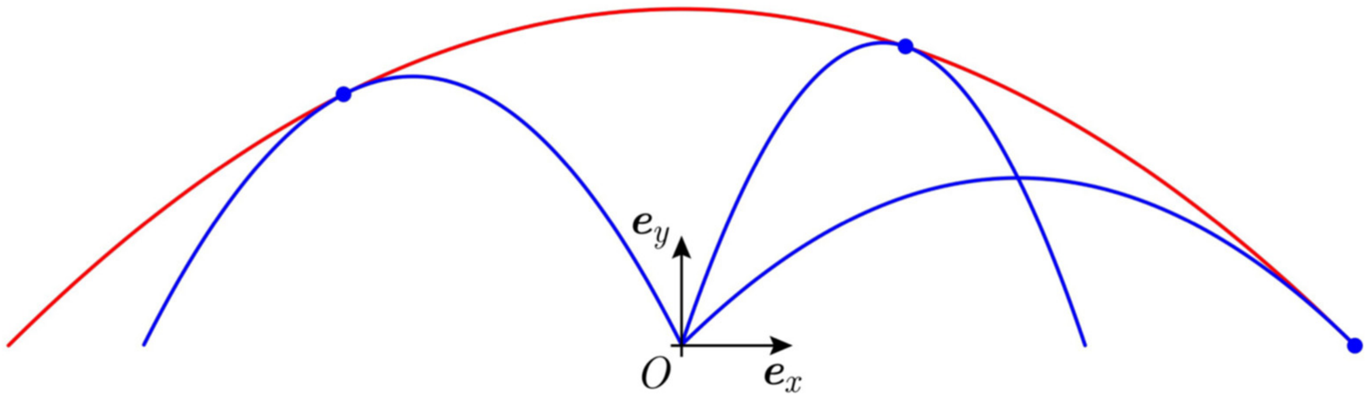


2.5.2 Tir au canon



Différentes trajectoires paraboliques en bleu et parabole de sûreté en rouge.

2.5.2 Tir au canon



Différentes trajectoires paraboliques en bleu et parabole de sûreté en rouge.

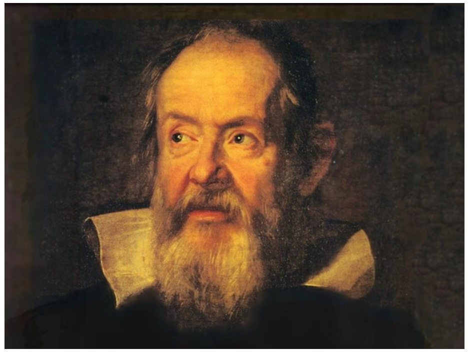
3. $\Delta<0$: il n'y a aucun angle de tir possible. Le point P se situe au-delà de la parabole de sûreté.

3. Dynamique

3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie de Galilée)

3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie de Galilée)

Exemple :



Galileo Galilei

Référentiel d'inertie :

Exemple :

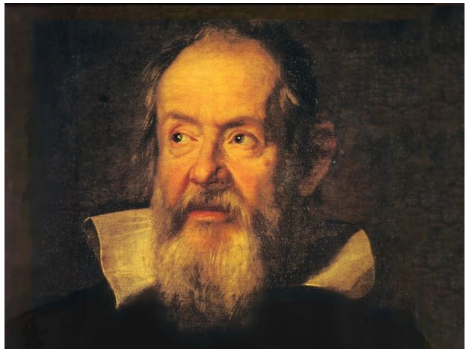
Contre-exemple :

Isaac Newton

3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie de Galilée)

Un objet a un mouvement rectiligne uniforme (MRU), ainsi **v** = **cste** et **a** = **0**, ssi il ne subit aucune action extérieure (force extérieure résultante nulle).

Exemple :



Galileo Galilei

Référentiel d'inertie :

Exemple :

Contre-exemple :

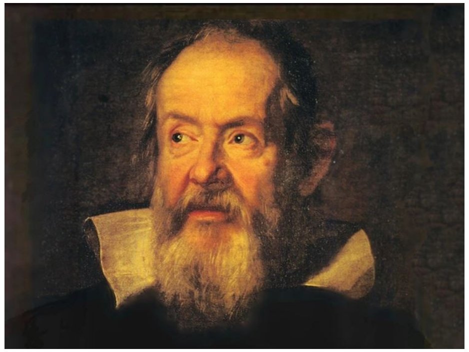
Isaac Newton

3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie de Galilée)

Un objet a un mouvement rectiligne uniforme (MRU), ainsi **v** = **cste** et **a** = **0**, ssi il ne subit aucune action extérieure (force extérieure résultante nulle).

Exemple :

Un puck qui glisse à vitesse constante **v** = **cste** sur la glace d'une patinoire.



Galileo Galilei

Référentiel d'inertie :

Exemple :

Isaac Newton

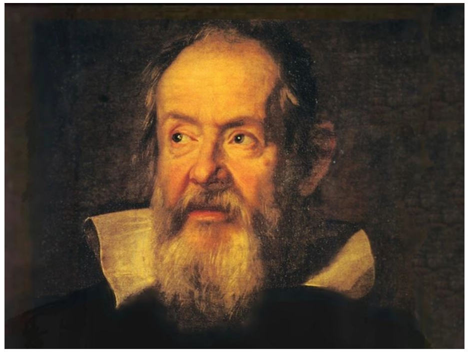
Contre-exemple :

3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie de Galilée)

Un objet a un mouvement rectiligne uniforme (MRU), ainsi **v** = **cste** et **a** = **0**, ssi il ne subit aucune action extérieure (force extérieure résultante nulle).

Exemple :

Un puck qui glisse à vitesse constante **v** = **cste** sur la glace d'une patinoire.



Galileo Galilei

Référentiel d'inertie :

Tout référentiel par rapport auquel le principe d'inertie est vérifié.

Exemple :

Contre-exemple :

Isaac Newton

3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie de Galilée)

Un objet a un mouvement rectiligne uniforme (MRU), ainsi **v** = **cste** et **a** = **0**, ssi il ne subit aucune action extérieure (force extérieure résultante nulle).

Exemple :

Un puck qui glisse à vitesse constante **v** = **cste** sur la glace d'une patinoire.

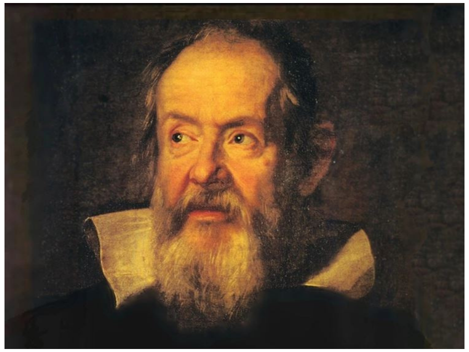
Référentiel d'inertie :

Tout référentiel par rapport auquel le principe d'inertie est vérifié.

Exemple :

La patinoire est un référentiel d'inertie pour le puck.

Contre-exemple :



Galileo Galilei

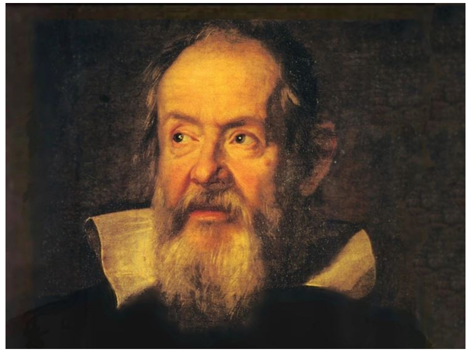
Isaac Newton

3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie de Galilée)

Un objet a un mouvement rectiligne uniforme (MRU), ainsi **v** = **cste** et **a** = **0**, ssi il ne subit aucune action extérieure (force extérieure résultante nulle).

Exemple :

Un puck qui glisse à vitesse constante **v** = **cste** sur la glace d'une patinoire.



Galileo Galilei

Référentiel d'inertie :

Tout référentiel par rapport auquel le principe d'inertie est vérifié.

Exemple :

La patinoire est un référentiel d'inertie pour le puck.

Contre-exemple :

La patinoire est en rotation autour d'un axe vertical. Le puck bouge par rapport à la patinoire sans qu'on agisse sur lui.

Isaac Newton

3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie de Galilée)

Expérience :

3.1 Première loi de Newton (principe d'inertie de Galilée)

Expérience : Glisseur sur un rail à coussin d'air

3.1 Première loi de Newton (principe d’inertie de Galilée)

Expérience : Glisseur sur un rail à coussin d’air

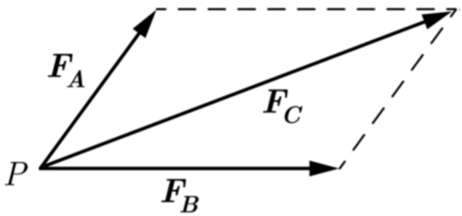
Le mouvement d’un glisseur sur un rail à coussin d’air est un mouvement rectiligne uniforme (MRU) parce qu’il ne subit aucune action extérieure (la force extérieure résultante qui s’exerce sur lui est nulle).

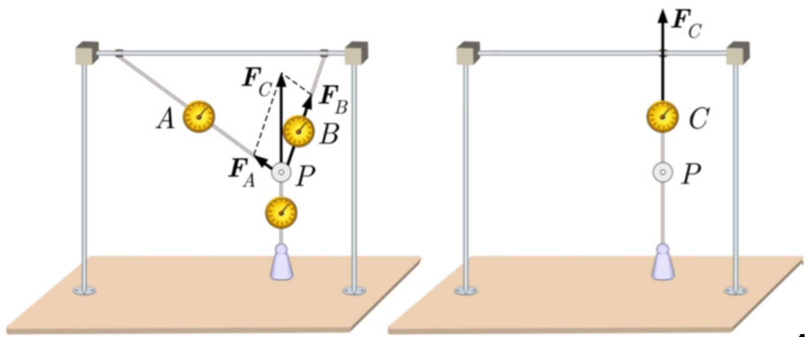
3.2 Deuxième loi de Newton (loi du mouvement)

3.2.1 Force

Force (F)

Simon Stevin



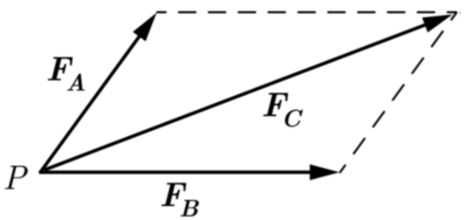


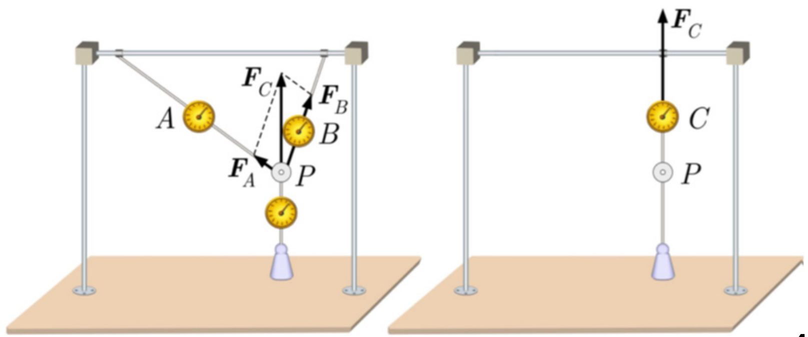
3.2.1 Force

Force (F)

Grandeur physique qui modifie l'état de mouvement rectiligne uniforme (MRU) d'un objet.

Simon Stevin





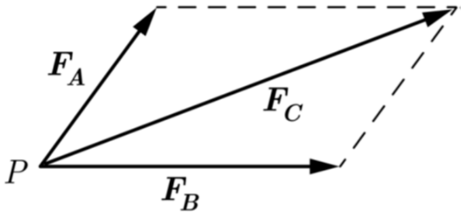
3.2.1 Force

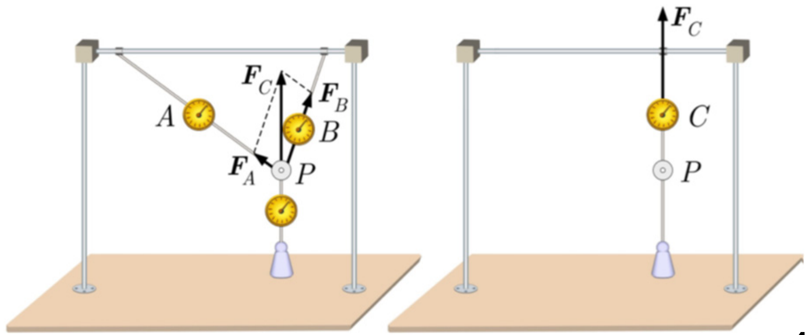
Force (F)

Grandeur physique qui modifie l'état de mouvement rectiligne uniforme (MRU) d'un objet.

Simon Stevin

- Grandeur extensive
- Grandeur vectorielle





3.2.1 Force

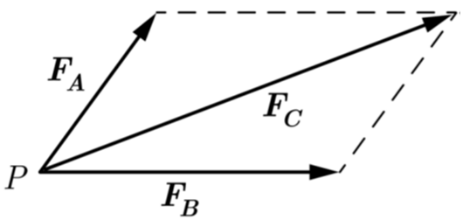
Force (F)

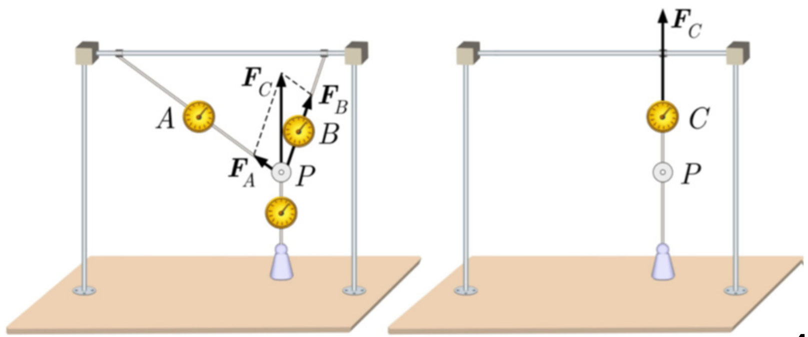
Grandeur physique qui modifie l'état de mouvement rectiligne uniforme (MRU) d'un objet.

Simon Stevin

- Grandeur extensive
- Grandeur vectorielle

La force satisfait la règle d'addition vectorielle des forces (règle du parallélogramme) de Stevin.





3.2.1 Force

Force (F)

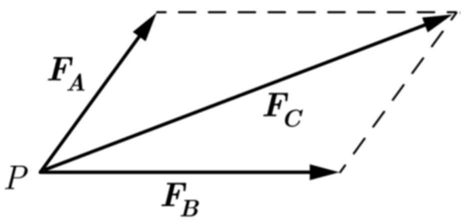
Grandeur physique qui modifie l'état de mouvement rectiligne uniforme (MRU) d'un objet.

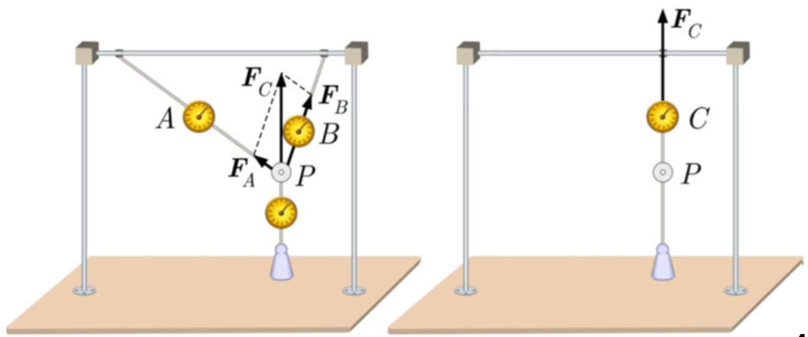
Simon Stevin

- Grandeur extensive
- Grandeur vectorielle

La force satisfait la règle d'addition vectorielle des forces (règle du parallélogramme) de Stevin.

- Unité physique (SI) : le Newton [N] = [kg.m.s^{-2}]





3.2.1 Force

Force (F)

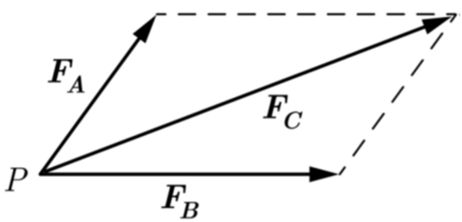
Grandeur physique qui modifie l'état de mouvement rectiligne uniforme (MRU) d'un objet.

Simon Stevin

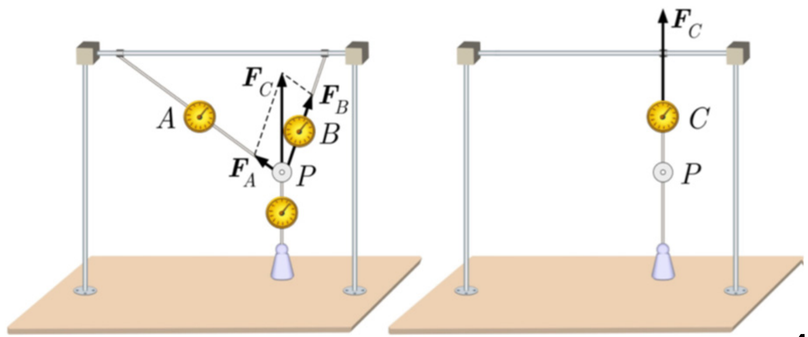
- Grandeur extensive
- Grandeur vectorielle

La force satisfait la règle d'addition vectorielle des forces (règle du parallélogramme) de Stevin.

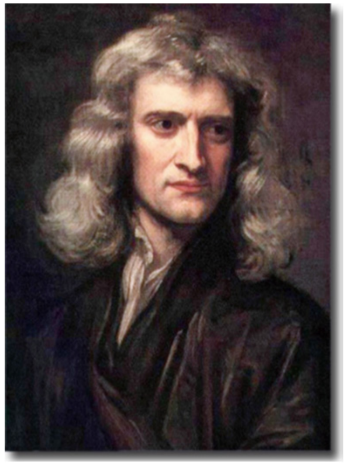
- Unité physique (SI) : le Newton [N] = [kg.m.s^{-2}]



$$\mathbf{F}_A + \mathbf{F}_B = \mathbf{F}_C$$



3.2.2 Deuxième loi de Newton

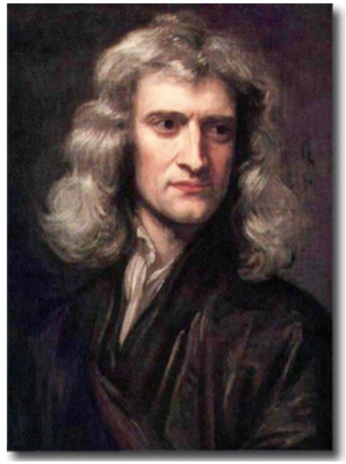


Isaac Newton

Remarques :

3.2.2 Deuxième loi de Newton

Un objet a un mouvement accéléré (**v** $\neq$ **cste** et **a** $\neq$ **0**) ssi il subit une action extérieure (force extérieure résultante non nulle).



Isaac Newton

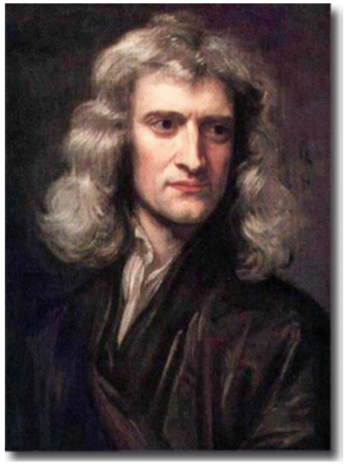
Remarques :

3.2.2 Deuxième loi de Newton

Un objet a un mouvement accéléré ($\mathbf{v} \neq \mathbf{cste}$ et $\mathbf{a} \neq \mathbf{0}$) ssi il subit une action extérieure (force extérieure résultante non nulle).

Mathématiquement, on l'écrit :

$$\boxed{\mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad (3.1)}$$

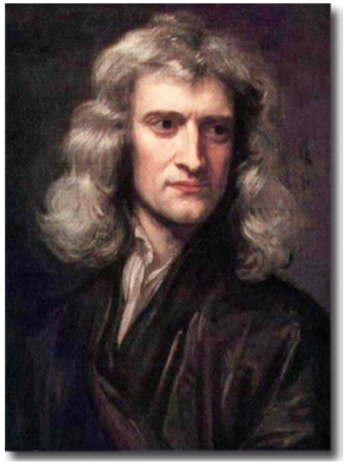


Isaac Newton

Remarques :

3.2.2 Deuxième loi de Newton

Un objet a un mouvement accéléré ($\mathbf{v} \neq \mathbf{cste}$ et $\mathbf{a} \neq \mathbf{0}$) ssi il subit une action extérieure (force extérieure résultante non nulle).



Isaac Newton

Mathématiquement, on l'écrit :

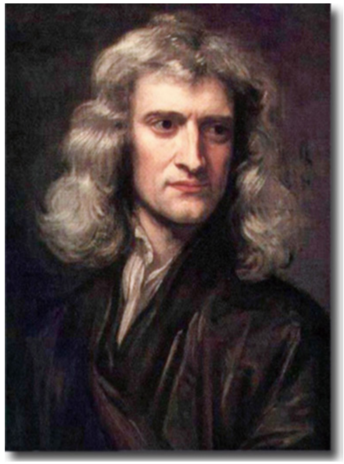
$$\boxed{\mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad (3.1)}$$

où $\mathbf{F}$ est la résultante des forces extérieures qui s'exercent sur l'objet.

Remarques :

3.2.2 Deuxième loi de Newton

Un objet a un mouvement accéléré ($\mathbf{v} \neq \mathbf{cste}$ et $\mathbf{a} \neq \mathbf{0}$) ssi il subit une action extérieure (force extérieure résultante non nulle).



Isaac Newton

Mathématiquement, on l'écrit :

$$\boxed{\mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad (3.1)}$$

où $\mathbf{F}$ est la résultante des forces extérieures qui s'exercent sur l'objet.

Remarques :

- La force est la cause, l'accélération est l'effet : l'objet de masse m subit une force $\mathbf{F}$ ce qui génère une accélération $\mathbf{a}$.
- Les vecteurs $\mathbf{a}$ et $\mathbf{F}$ sont parallèles et de même sens (i.e., m>0).
- Plus la masse m de l'objet est grande, plus il est difficile de l'accélérer, c'est-à-dire de modifier sa vitesse $\mathbf{v}$.

3.2.2 Deuxième loi de Newton

Remarques :

3.2.2 Deuxième loi de Newton

Remarques :

1. Une force opposée à la vitesse (freinage) provoque un ralentissement. L'accélération

   a est opposée à la vitesse **v**.
2. Une force non parallèle à la vitesse (force latérale) provoque un virage. La force est orientée vers l'intérieur du virage.
3. Si un objet est au repos, la résultante des forces qu'il subit est nulle :

$$\boxed{\text{Objet statique } (\mathbf{v} = \mathbf{0}) \Rightarrow \mathbf{F} = \mathbf{0} \ \forall\, t}$$

⚠ La réciproque est fausse : si l'objet ne subit aucune force résultante, il n'est pas forcément au repos (cf. MRU).

3.2.2 Deuxième loi de Newton

Méthodologie :

3.2.2 Deuxième loi de Newton

Méthodologie :

Pour appliquer la deuxième loi de Newton dans un problème, il est recommandé de procéder comme suit :

3.2.2 Deuxième loi de Newton

Méthodologie :

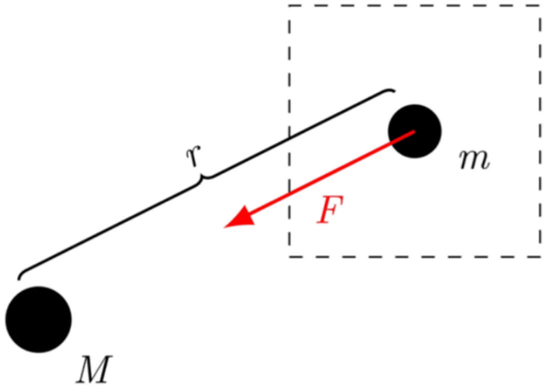
Pour appliquer la deuxième loi de Newton dans un problème, il est recommandé de procéder comme suit :

1. Faire un dessin
2. Choisir un référentiel d’inertie
3. Désigner l’objet considéré
4. Identifier toutes les forces extérieures exercées sur l’objet
5. Écrire la deuxième loi de Newton (vectoriellement)
6. Choisir un repère
7. Faire des projections

3.3 Forces particulières

3.3.1 Forces à distance

1. Force de la gravitation :

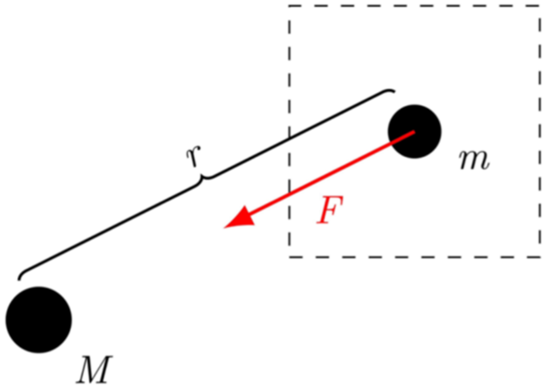


Exemples :

3.3.1 Forces à distance

Elles sont exercées sans contact avec l'objet considéré.

1. Force de la gravitation :

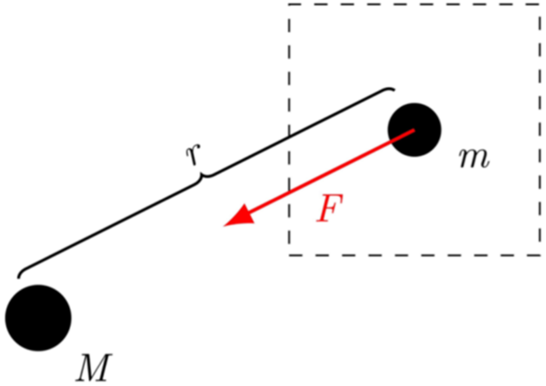


Exemples :

3.3.1 Forces à distance

Elles sont exercées sans contact avec l'objet considéré.

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



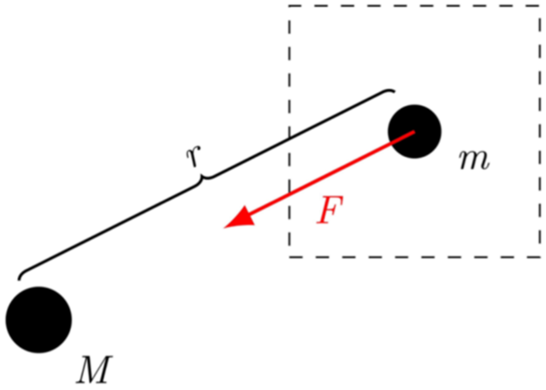
$$\boxed{\|\mathbf{F}\| = \frac{GMm}{r^2} \quad (3.2)}$$

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.



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

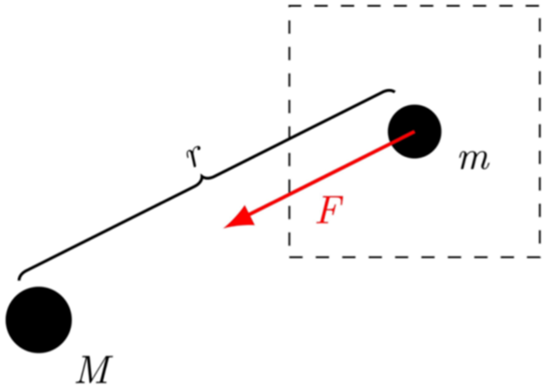
- Force proportionnelle au produit des masses.
- Force inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

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.



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

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

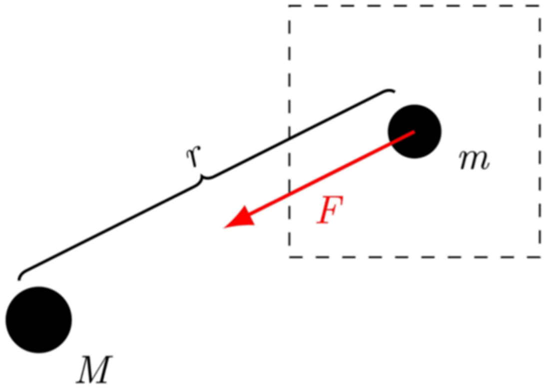
$G = 6.67 \times 10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2} : constante universelle de la gravitation

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.



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

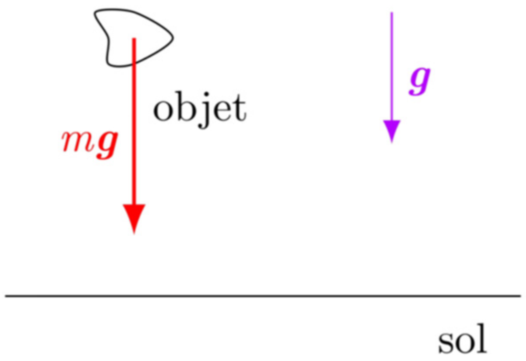
- Force proportionnelle au produit des masses.
- Force inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare.

$G = 6.67 \times 10^{-11}$ 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

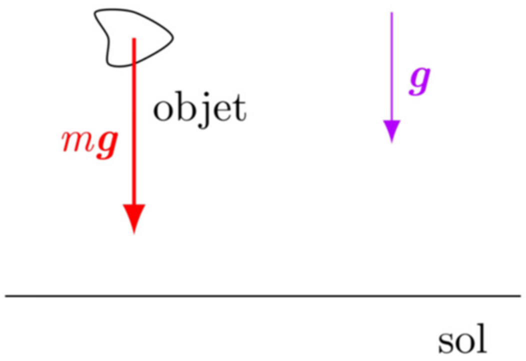


Exemple :

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.



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

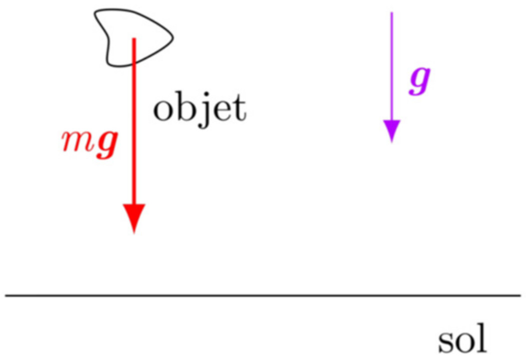
où $\mathbf{g}$ est dirigé vers le centre de la terre et $\|\mathbf{g}\|$ = $g \cong$ 9,81 m.s^{-2}.

Exemple :

Remarques :

3.3.1 Forces à distance

Près de la surface de la terre, le champ de gravitation a une norme $g = \dfrac{GM}{r^2}$ 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 m.s^{-2}.

Exemple :

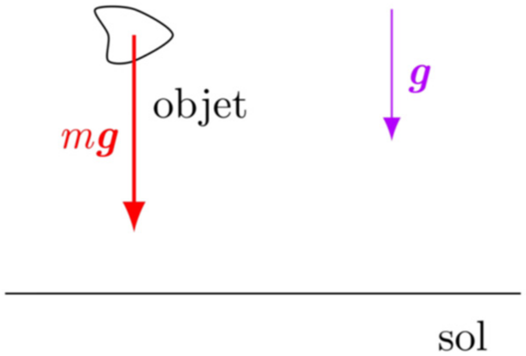
Objet en chute libre. Dans ce cas, la seule force que subit l'objet est son propre poids.

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 $g = \frac{GM}{r^2}$ 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 :

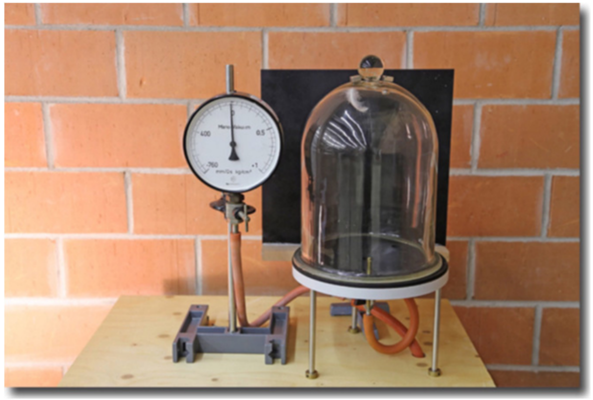
Objet en chute libre. Dans ce cas, la seule force que subit l'objet est son propre poids.
Alors, $\mathbf{F} = m\mathbf{a} \Rightarrow m\mathbf{g} = m\mathbf{a} \Rightarrow \mathbf{a}(t) = \mathbf{g} \;\forall\; t$.

Remarques :

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

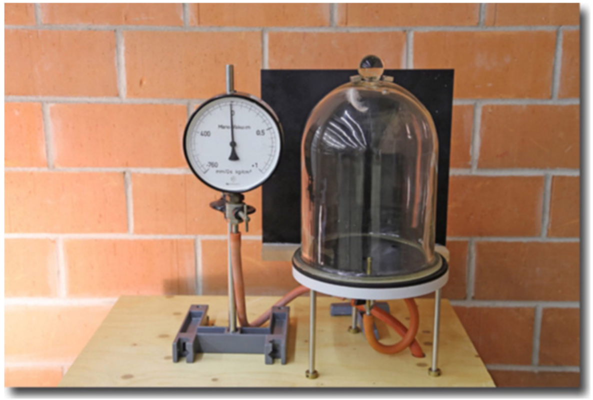
3.3.1 Forces à distance

Expérience :



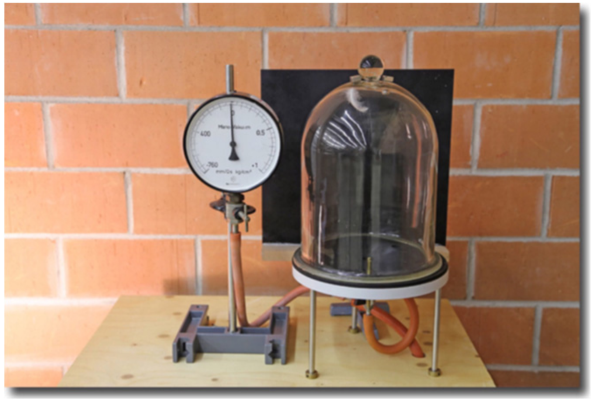
3.3.1 Forces à distance

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 :

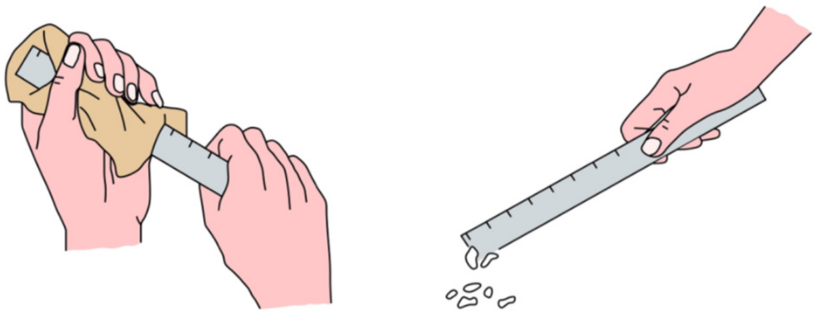
Expérience :

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)).

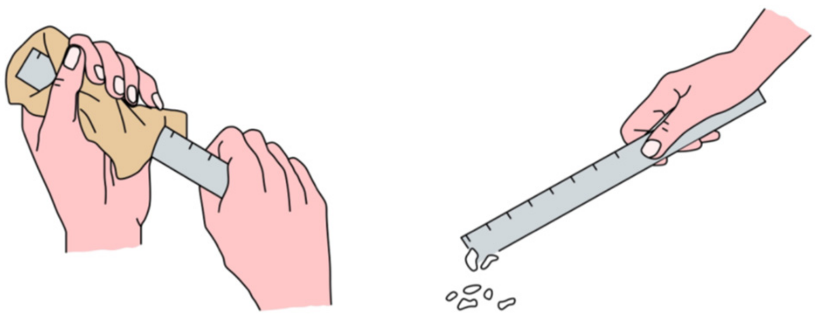
Expérience :

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

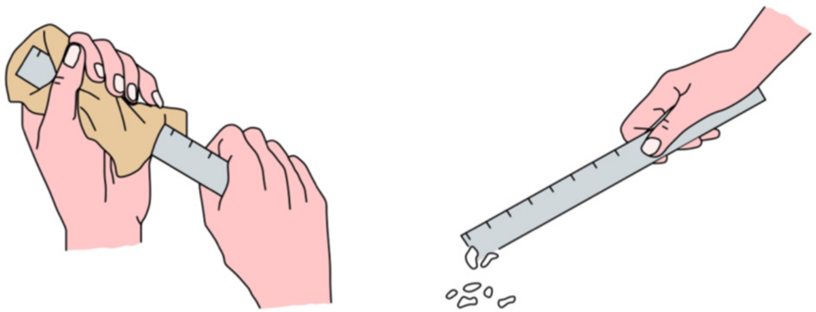


3.3.1 Forces à distance

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)).

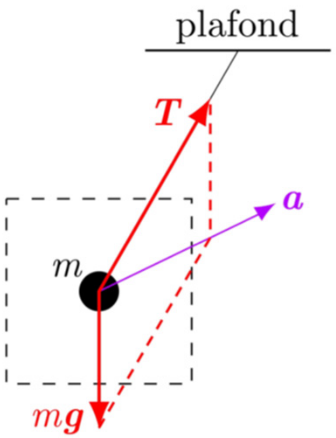
Expérience : Baguette chargée par friction



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 :

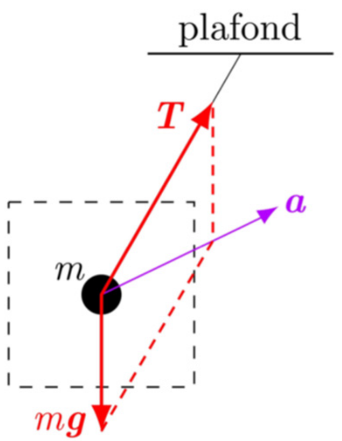


Loi du mouvement :

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 :

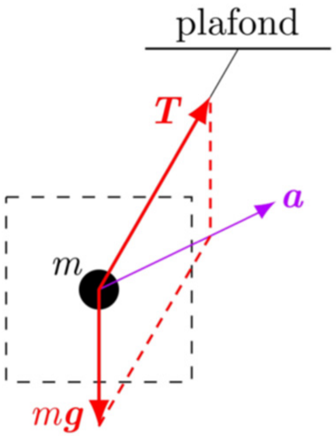


Loi du mouvement :

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.

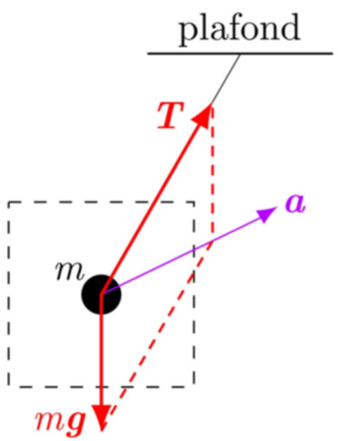


Loi du mouvement :

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.

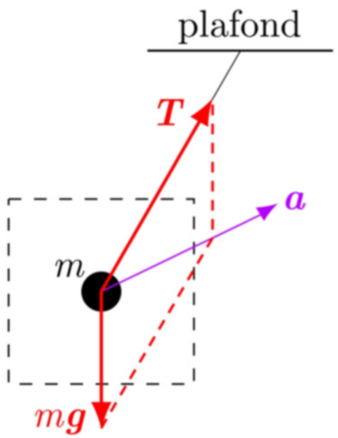


Loi du mouvement : $\boxed{m\mathbf{g} + \mathbf{T} = m\mathbf{a} \quad (3.4)}$

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

- 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

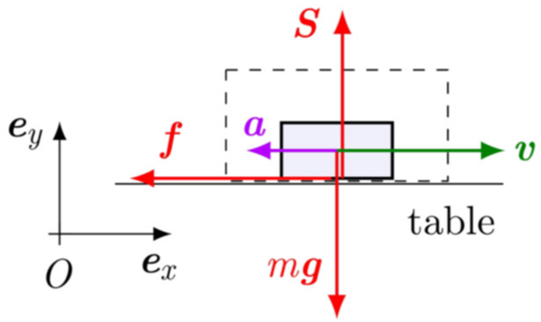
3.3.2 Forces de contact

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

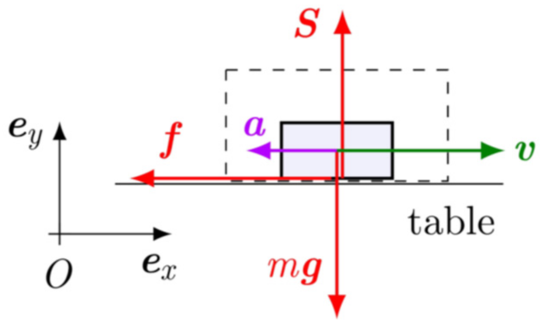
Soutien :



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

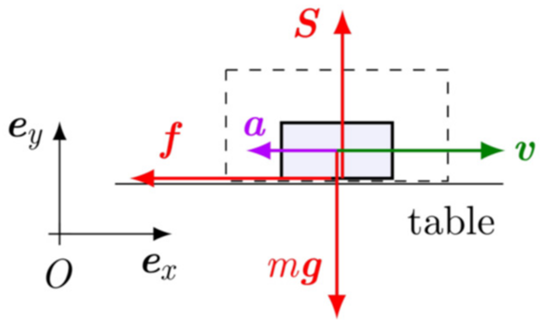
Soutien : Une boîte glissant sur une table est soumise à son poids $m\mathbf{g}$, à la force de soutien $\mathbf{S}$ de la table et à une force de frottement $\mathbf{f}$ qui s'oppose au mouvement.



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 :

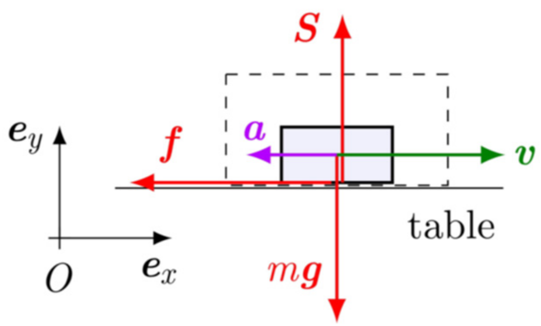
$$m\mathbf{g} + \mathbf{S} + \mathbf{f} = m\mathbf{a}$$

Selon $\mathbf{e}_x$: $-f = -ma$ (3.5)

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

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 :

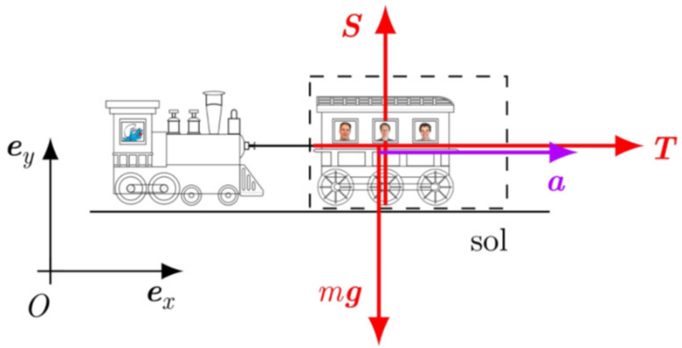
$$\boxed{\begin{array}{l} m\mathbf{g} + \mathbf{S} + \mathbf{f} = m\mathbf{a} \\ \\ \text{Selon } \mathbf{e}_x : -f = -ma \qquad (3.5) \\ \text{Selon } \mathbf{e}_y : -mg + S = 0 \end{array}}$$

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

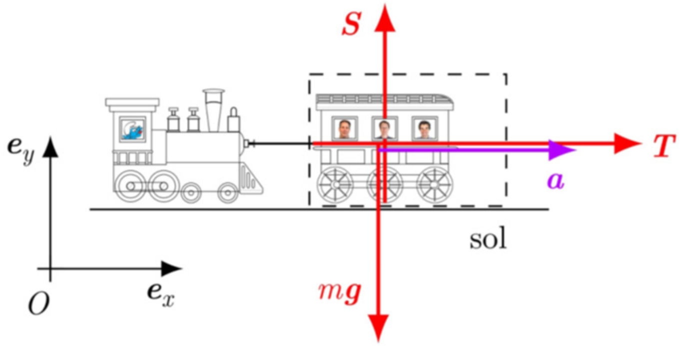
Traction :



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

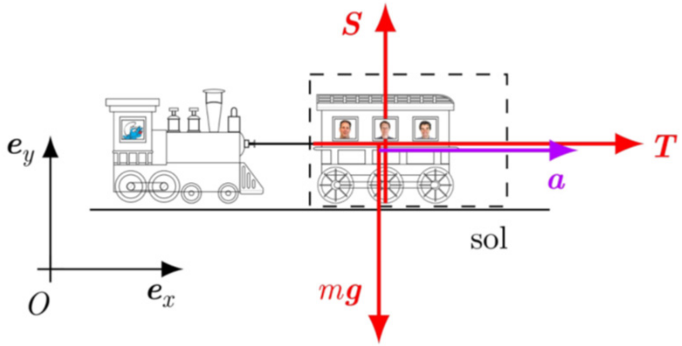
Traction : Une locomotive pousse un wagon avec une force de traction **T**. Le wagon a une masse *m* et le frottement est négligeable.



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 :

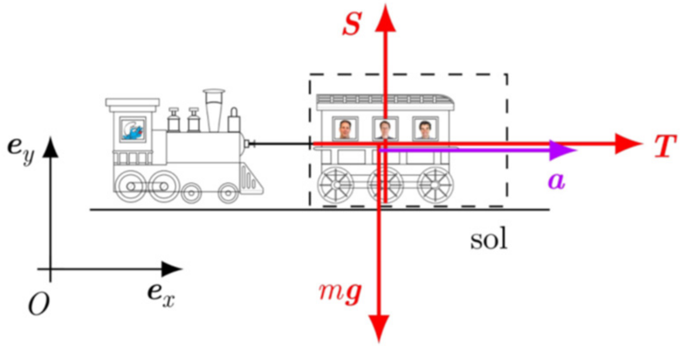
$$m\mathbf{g} + \mathbf{S} + \mathbf{T} = m\mathbf{a}$$

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

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

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)

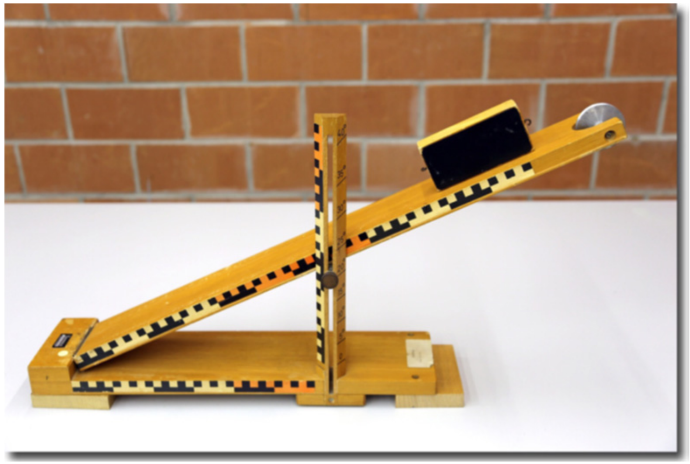
Selon $\mathbf{e}_y$: $-mg + S = 0$

Ainsi,

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

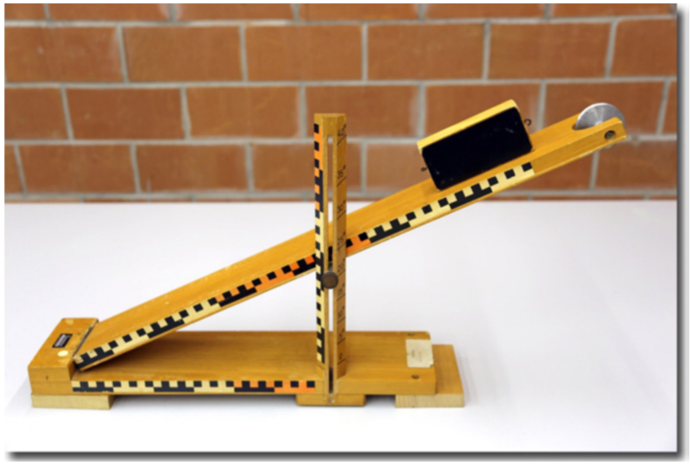
3.3.2 Forces de contact

Expériences :



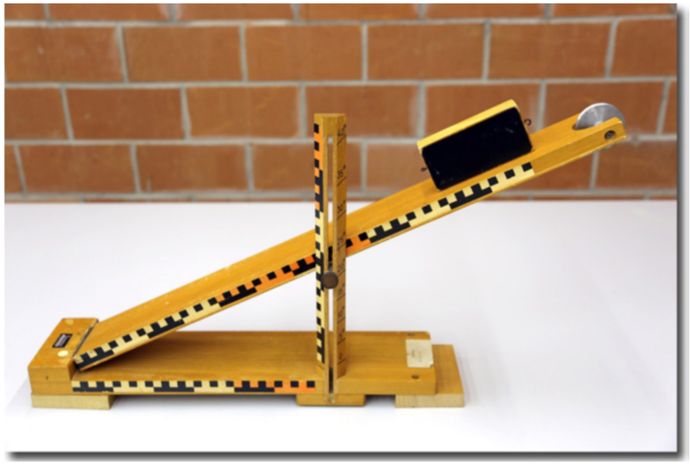
3.3.2 Forces de contact

Expériences : 1. Plan incliné



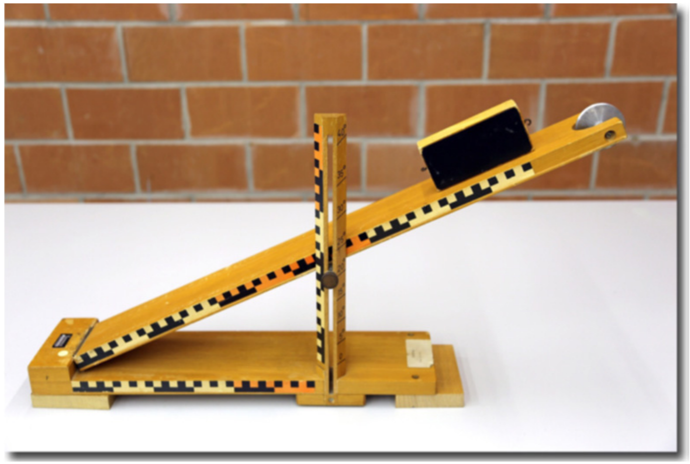
3.3.2 Forces de contact

Expériences : 1. Plan incliné 2. Échelle



3.3.2 Forces de contact

Expériences :   1.   Plan incliné   2.   Échelle

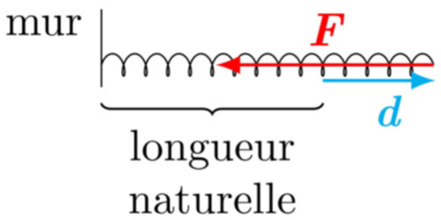


- On augmente l'inclinaison de façon continue jusqu'à ce que le plot se mette à glisser. Cela se produit lorsque le poids l'emporte sur la force de frottement statique.

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

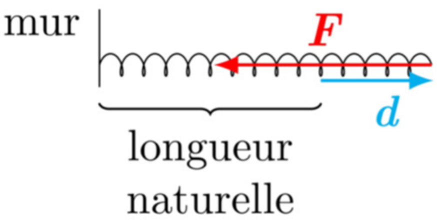
3.3.2 Forces de contact

Force élastique :



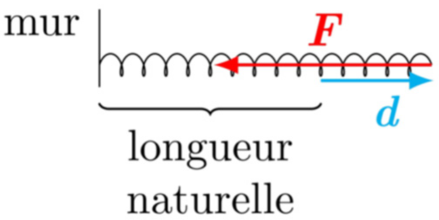
3.3.2 Forces de contact

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

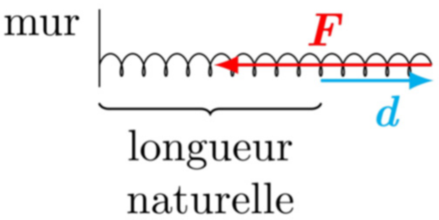
Force élastique : Un ressort est formé d'une tige enroulée en spirale. Il a une certaine longueur au repos et une rigidité (difficulté à être déformé). La force exercée par le ressort est proportionnelle à son allongement **d** (vecteur déplacement de l'extrémité). Cette force est répulsive en contraction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

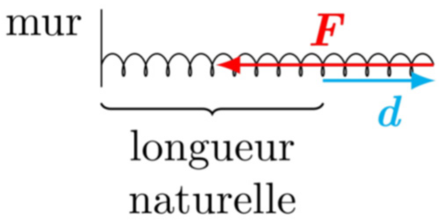


- Force élastique : **F** = -*k***d** (3.8)

- 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 $\mathbf{d}$ (vecteur déplacement de l'extrémité). Cette force est répulsive en contraction et attractive en élongation.



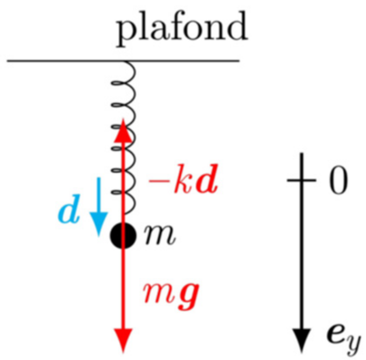
- Force élastique : $\mathbf{F} = -k\mathbf{d}$ (3.8)

- 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

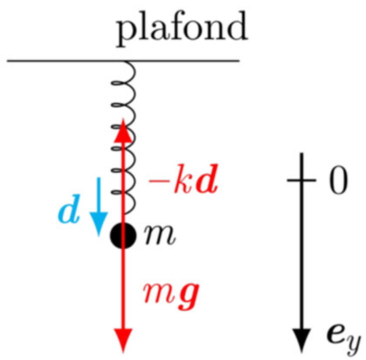
Équilibre :



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

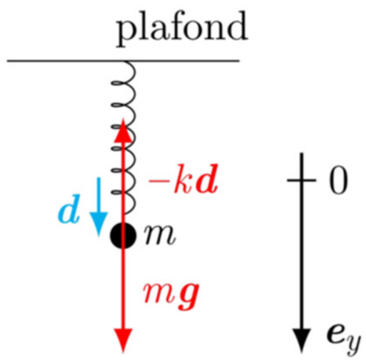
Équilibre : Objet immobile suspendu à un ressort à l'équilibre.



Loi du mouvement :

3.3.2 Forces de contact

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



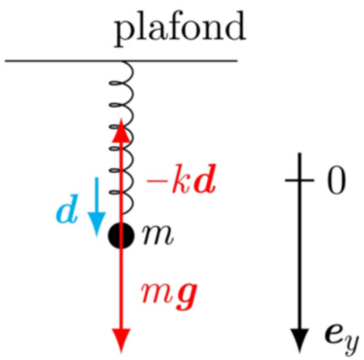
Loi du mouvement :

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

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

3.3.2 Forces de contact

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



Loi du mouvement :

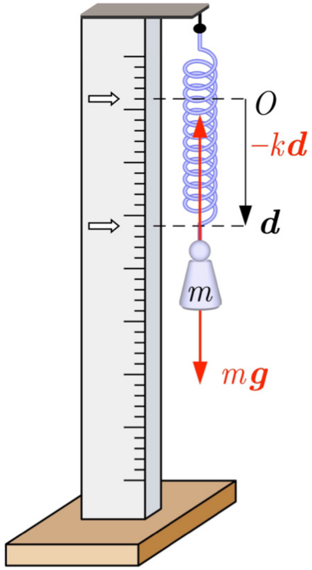
$$m\mathbf{g} - k\mathbf{d} = \mathbf{0} \tag{3.9}$$

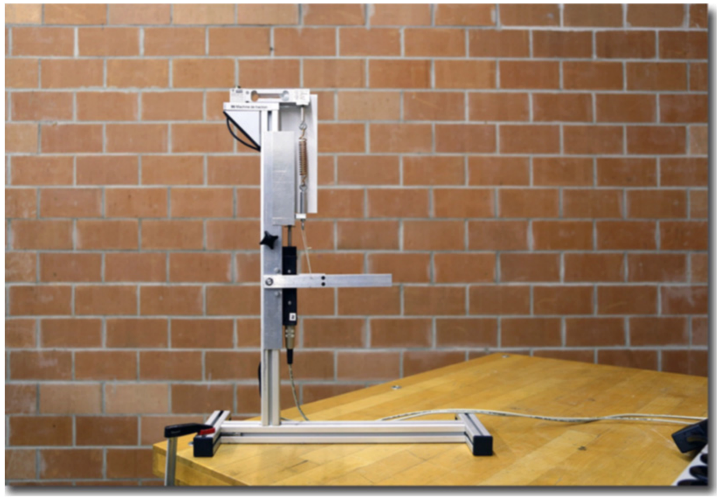
Selon $\mathbf{e}_y$: $mg - kd = 0 \Rightarrow d = \dfrac{mg}{k}$

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

3.3.2 Forces de contact

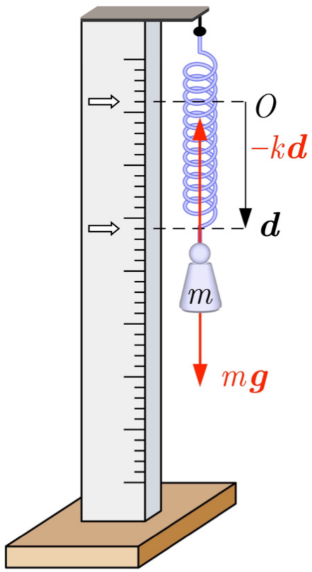
Expérience :

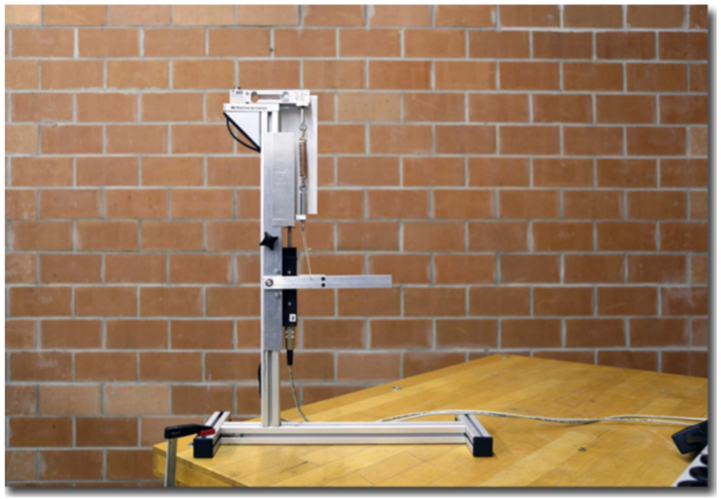




3.3.2 Forces de contact

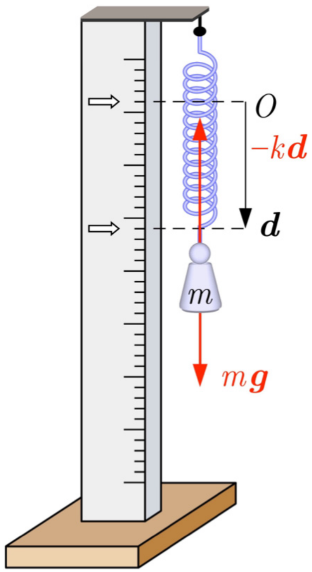
Expérience : Allongement proportionnel à la force appliquée

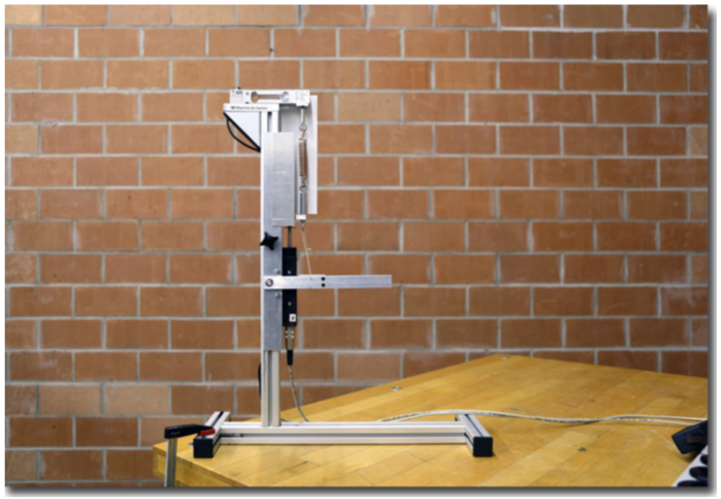




3.3.2 Forces de contact

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).