Leçon 6 – 13/03/2025

3. Dynamique

- 3.4 Quantité de mouvement
- 3.5 Centre de masse
- 3.6 Troisième loi de Newton (loi d'action-réaction)

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

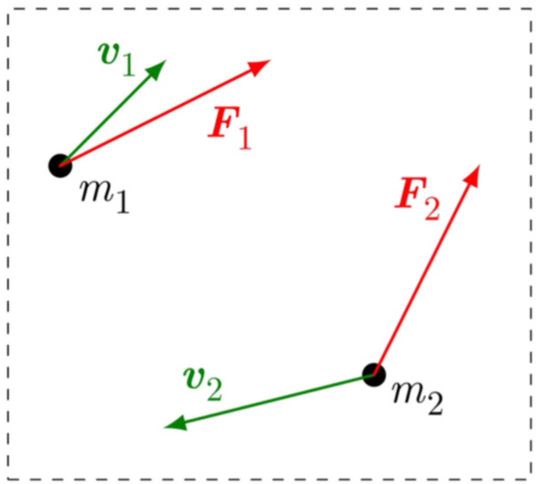
On considère un objet de masse m et de vitesse $\mathbf{v}$. La quantité de mouvement $\mathbf{P}$ s'exprime comme :

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

- 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 :

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

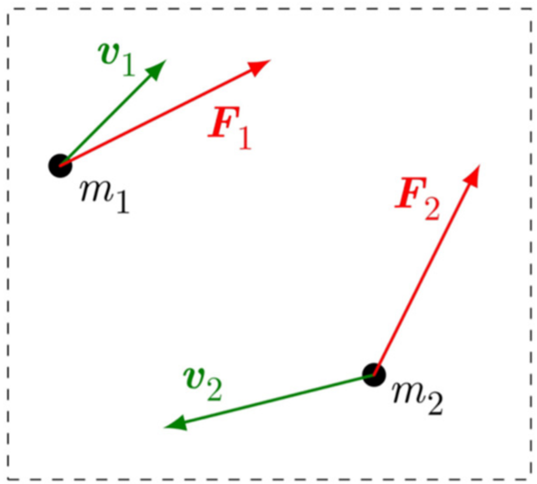
3.4.1 Quantité de mouvement totale



3.4.1 Quantité de mouvement totale

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

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



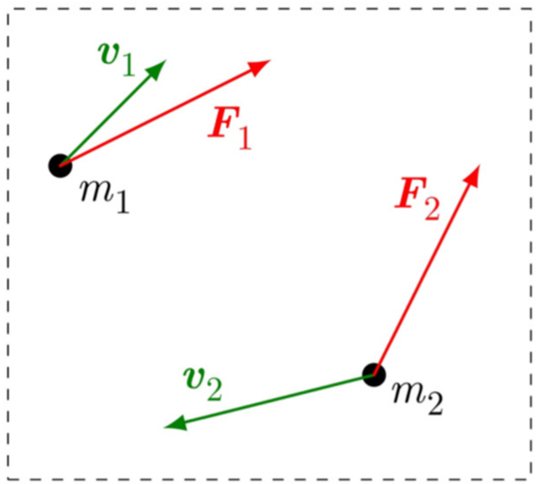
3.4.1 Quantité de mouvement totale

- 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 :

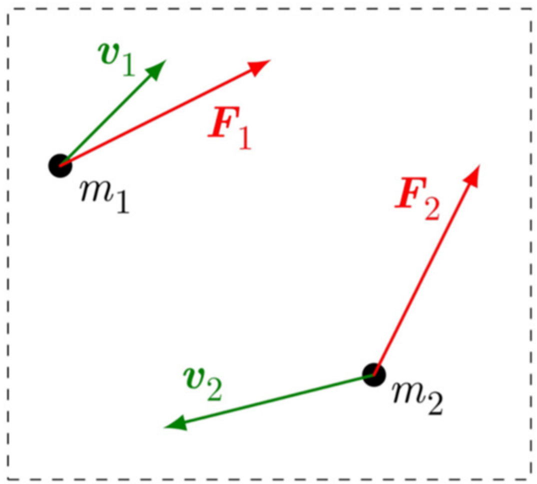
$$\boxed{\mathbf{P} = \mathbf{P_1} + \mathbf{P_2} + \ldots + \mathbf{P_N} = m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + \ldots + m_N\mathbf{v_N} \quad (3.12)}$$

- 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 :

$$\boxed{\begin{array}{l} \text{Partie 1 : } \mathbf{F_1} = m_1\mathbf{a_1} = \dot{\mathbf{P}}_1 \\ \text{Partie 2 : } \mathbf{F_2} = m_2\mathbf{a_2} = \dot{\mathbf{P}}_2 \\ \Rightarrow \quad \mathbf{F} = \mathbf{F_1} + \mathbf{F_2} = \dfrac{d}{dt}\left(\mathbf{P_1} + \mathbf{P_2}\right) = \dfrac{d\mathbf{P}}{dt} \quad (3.14) \end{array}}$$



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 : **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 :

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 :

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

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

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 : 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 : $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$, l'accélération $\mathbf{a}$ est celle de l'objet. On considère un objet formé de N parties dont les vecteurs positions sont $\mathbf{r}_\mathbf{i}$ 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 : $$\boxed{\mathbf{r_{CM}} = \frac{m_1\mathbf{r_1} + m_2\mathbf{r_2} + \ldots + m_N\mathbf{r_N}}{m} \quad (3.16)}$$

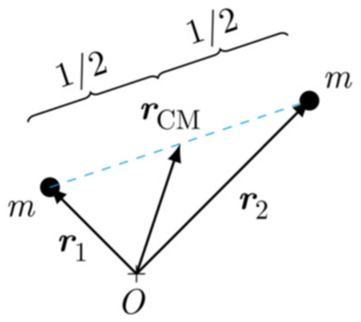
où $m = m_1 + m_2 + \ldots + m_N = \text{cste}$ est la masse totale de l'objet.

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

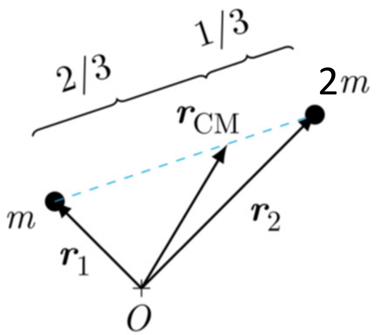
Remarque : Le centre de masse est aussi appelé centre de gravité. Il coïncide avec le barycentre (géométrique) si toutes les parties ont une masse identique.

3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

Haltère symétrique



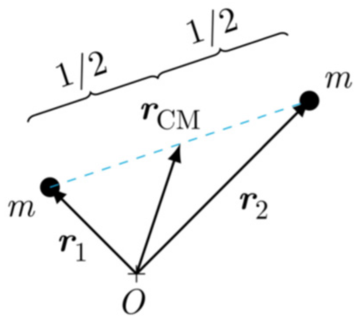
Haltère asymétrique



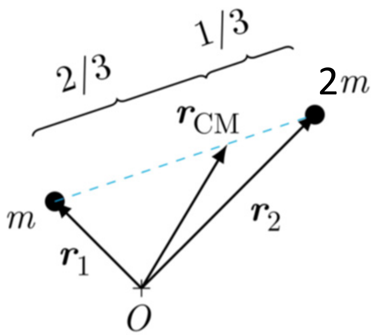
3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

Haltère symétrique

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



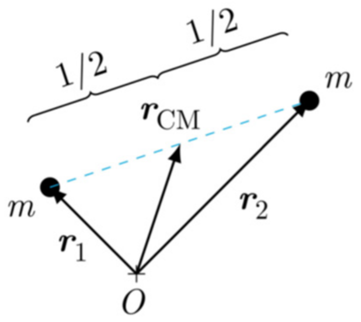
Haltère asymétrique



3.5.1 Haltère symétrique et 3.5.2 haltère asymétrique

Haltère symétrique

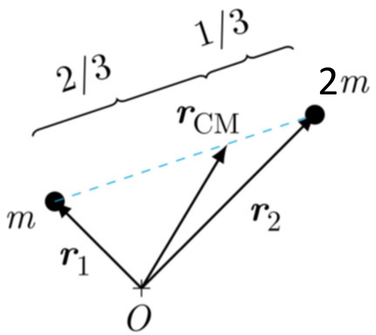
Le centre de masse (CM) d'un haltère symétrique est à équidistance (milieu) des deux masses.



- Centre de masse

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

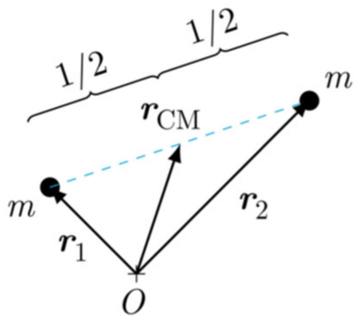
Haltère asymétrique



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.

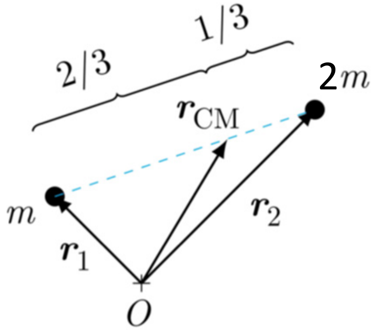


- Centre de masse

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

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.

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

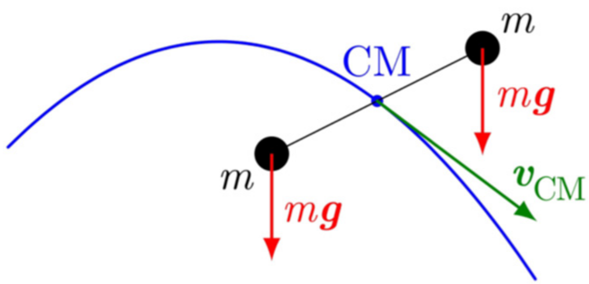
- La deuxième loi de Newton s'écrit alors :

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

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

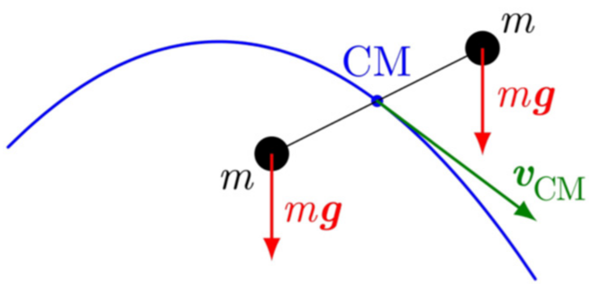


Remarque :

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.

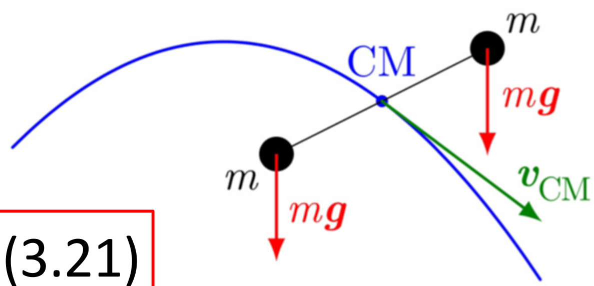


Remarque :

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.



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

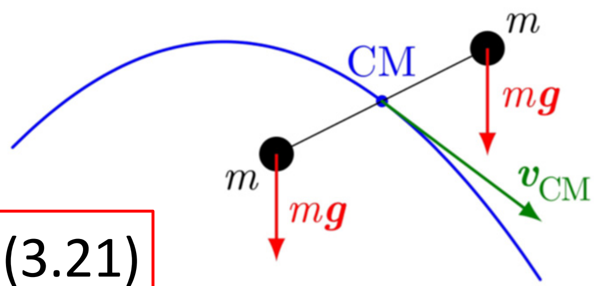
$$\boxed{2m\mathbf{g} = 2m\mathbf{a}_{\mathrm{CM}} \Rightarrow \mathbf{a}_{\mathrm{CM}}(t) = \mathbf{g} \quad \forall\, t \quad (3.21)}$$

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 :

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

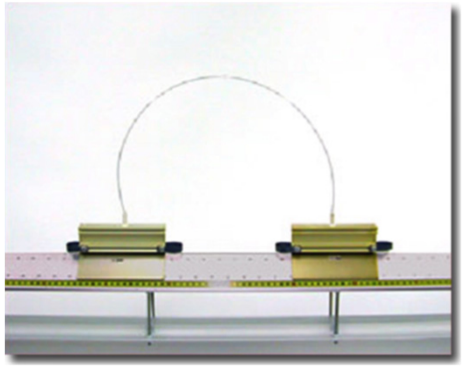
Remarque :

- 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, …).

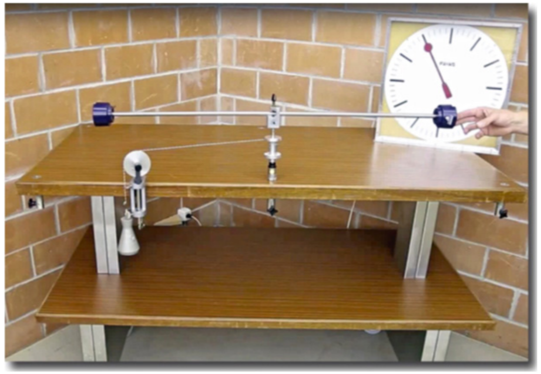
3.5.4 Expériences

Expériences :

1



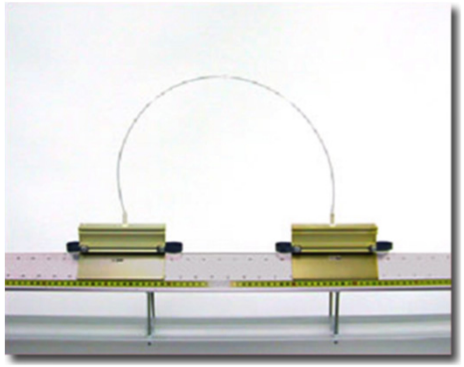
2



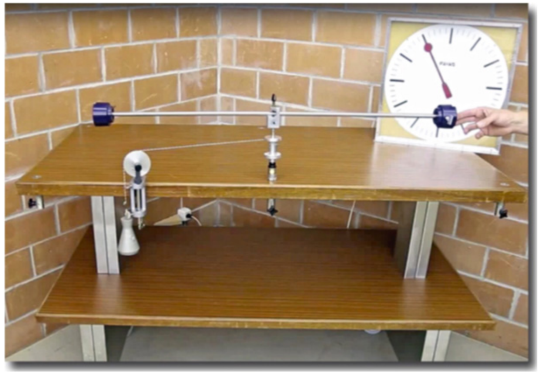
3.5.4 Expériences

Expériences : Centre de masse d'un système

1



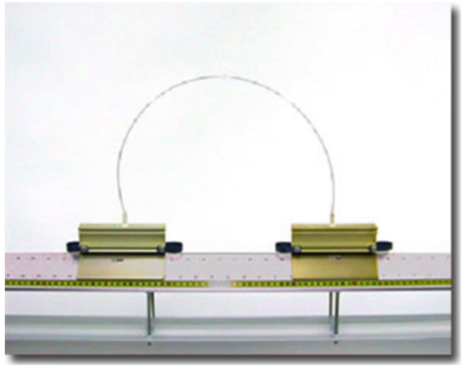
2



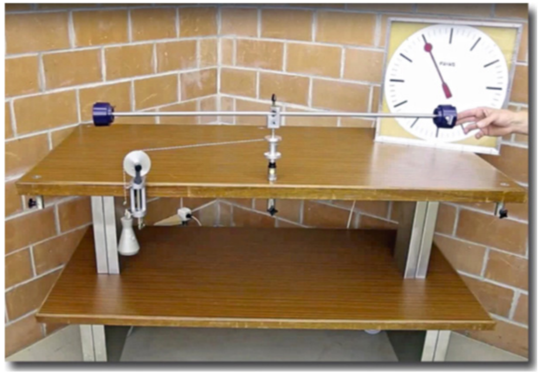
3.5.4 *Expériences*

Expériences : Centre de masse d'un système

1



2

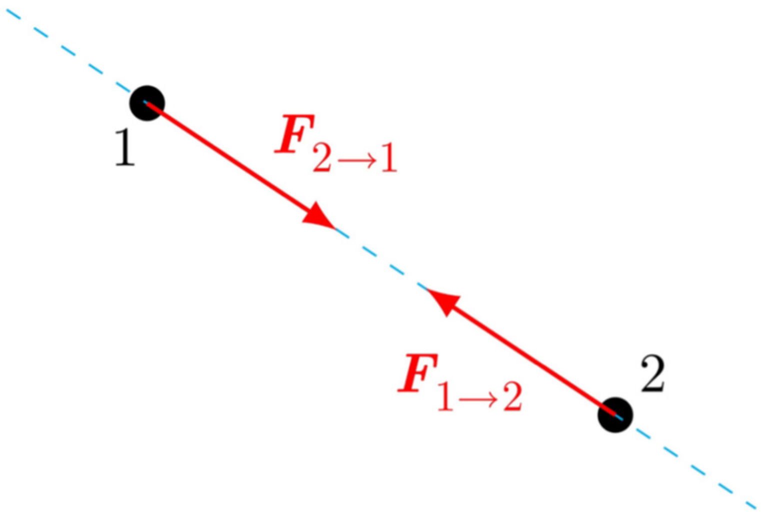


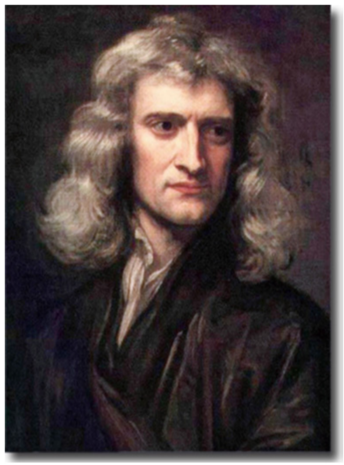
1. Le centre de masse d'un système constitué de deux glisseurs reliés par un ressort sur un rail à coussin d'air a un mouvement rectiligne uniforme (MRU).

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

3.6 Troisième loi de Newton (loi d'action-réaction)

3.6. Troisième loi de Newton (loi d'action-réaction)

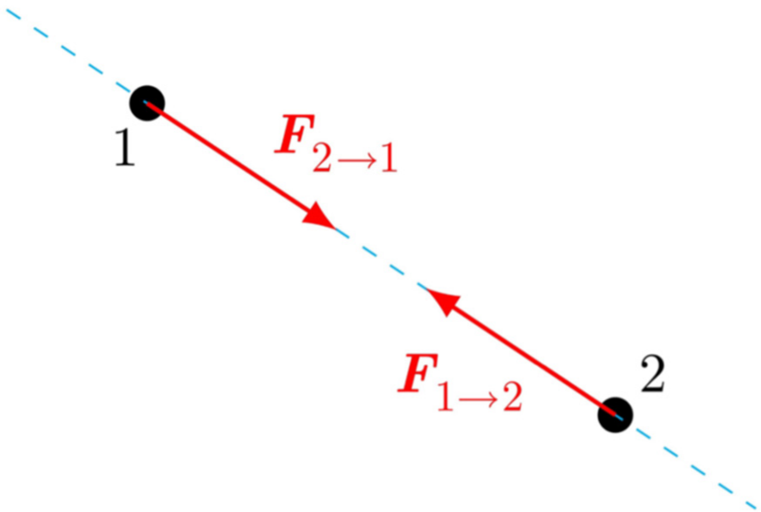


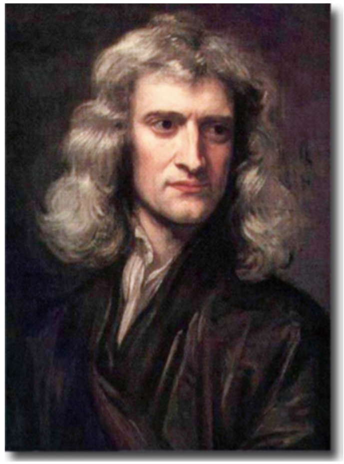


Isaac Newton

3.6. Troisième loi de Newton (loi d'action-réaction)

La force $\mathbf{F}_{1\to2}$ exercée par la partie 1 sur la partie 2 d'un objet est de même norme, même support et opposée à la force $\mathbf{F}_{2\to1}$ exercée par la partie 2 sur la partie 1.



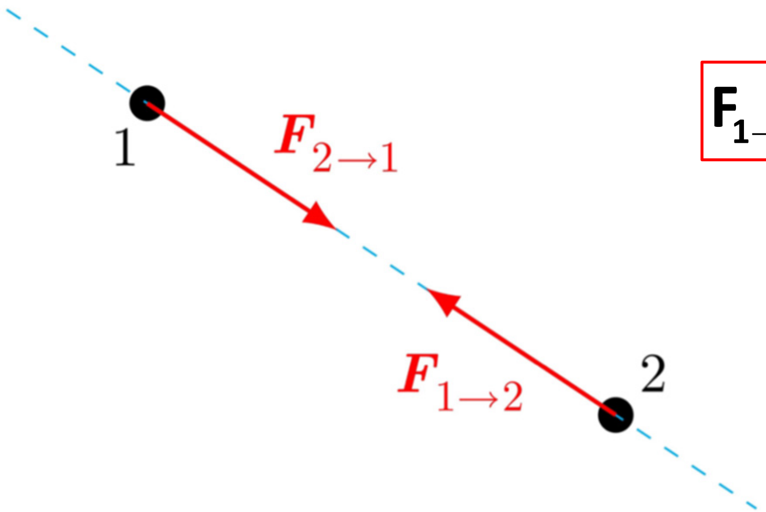


Isaac Newton

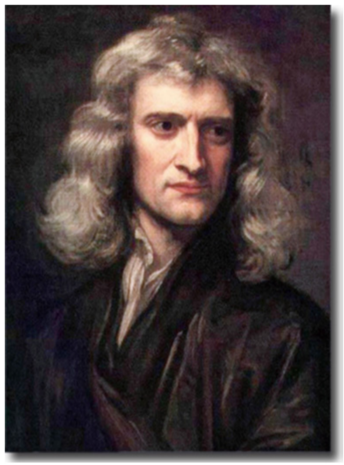
3.6. Troisième loi de Newton (loi d'action-réaction)

La force $\mathbf{F}_{1\to 2}$ exercée par la partie 1 sur la partie 2 d'un objet est de même norme, même support et opposée à la force $\mathbf{F}_{2\to 1}$ exercée par la partie 2 sur la partie 1.

- Mathématiquement, la troisième loi de Newton s'écrit :



$$\mathbf{F}_{1\to 2} = -\mathbf{F}_{2\to 1} \Rightarrow \mathbf{F}_{1\to 2} + \mathbf{F}_{2\to 1} = \mathbf{0} \quad (3.22)$$



Isaac Newton

3.6.1 Deuxième loi de Newton

Remarque :

3.6.1 Deuxième loi de Newton

- On considère un objet constitué de différentes parties qui sont soit en contact soit disjointes.

- Compte tenu de la troisième loi de Newton, les forces internes à l'objet qui s'exercent entre les parties d'un objet s'annulent deux à deux lorsqu'on somme toutes les forces.

- Ainsi, seules les forces extérieures, dont la résultante est notée $\mathbf{F}^{\mathbf{ext}}$, contribuent à modifier la quantité de mouvement totale $\mathbf{P}$ de l'objet (ou le mouvement du centre de masse).

- La deuxième loi de Newton s'écrit finalement : $\boxed{\mathbf{F}^{\mathbf{ext}} = \dot{\mathbf{P}} = m\mathbf{a}_{\mathbf{CM}} \text{ si } m = \text{ cste } \quad (3.23)}$

Remarque :

3.6.1 Deuxième loi de Newton

- On considère un objet constitué de différentes parties qui sont soit en contact soit disjointes.
- Compte tenu de la troisième loi de Newton, les forces internes à l'objet qui s'exercent entre les parties d'un objet s'annulent deux à deux lorsqu'on somme toutes les forces.
- Ainsi, seules les forces extérieures, dont la résultante est notée $\mathbf{F}^{\mathbf{ext}}$, contribuent à modifier la quantité de mouvement totale $\mathbf{P}$ de l'objet (ou le mouvement du centre de masse).
- La deuxième loi de Newton s'écrit finalement : $\boxed{\mathbf{F}^{\mathbf{ext}} = \dot{\mathbf{P}} = m\mathbf{a}_{\mathbf{CM}} \text{ si } m = \text{ cste} \quad (3.23)}$

Remarque : En l'absence de force extérieure résultante, la quantité de mouvement totale est constante.

3.6.1 Deuxième loi de Newton

- On considère un objet constitué de différentes parties qui sont soit en contact soit disjointes.

- Compte tenu de la troisième loi de Newton, les forces internes à l'objet qui s'exercent entre les parties d'un objet s'annulent deux à deux lorsqu'on somme toutes les forces.

- Ainsi, seules les forces extérieures, dont la résultante est notée $\mathbf{F}^{\mathrm{ext}}$, contribuent à modifier la quantité de mouvement totale $\mathbf{P}$ de l'objet (ou le mouvement du centre de masse).

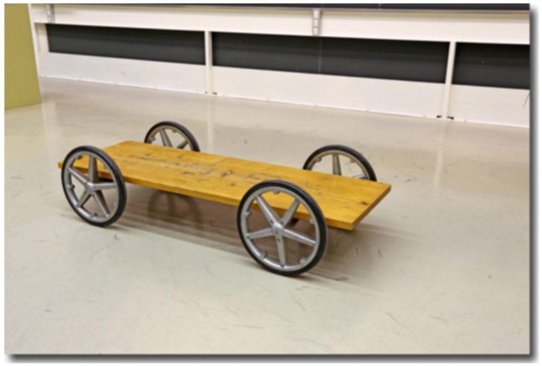
- La deuxième loi de Newton s'écrit finalement : $\boxed{\mathbf{F}^{\mathrm{ext}} = \dot{\mathbf{P}} = m\mathbf{a}_{\mathrm{CM}} \text{ si } m = \text{ cste} \quad (3.23)}$

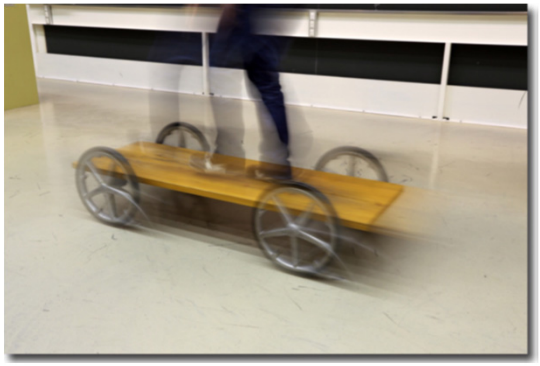
Remarque : En l'absence de force extérieure résultante, la quantité de mouvement totale est constante.

$$\boxed{\mathbf{F}^{\mathrm{ext}} = \dot{\mathbf{P}} = \mathbf{0} \;\Rightarrow \mathbf{P} = \mathbf{cste} \text{ si } m = \text{ cste} \quad (3.23 \text{ bis})}$$

3.6.1 Deuxième loi de Newton

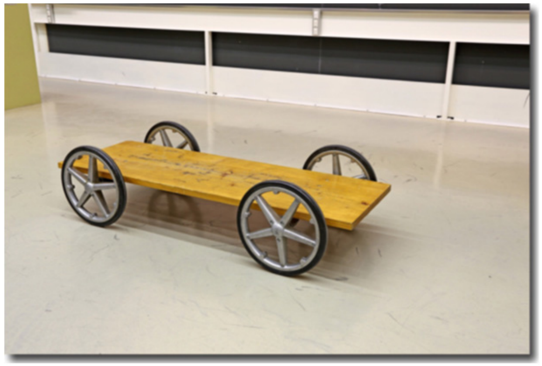
Expérience :

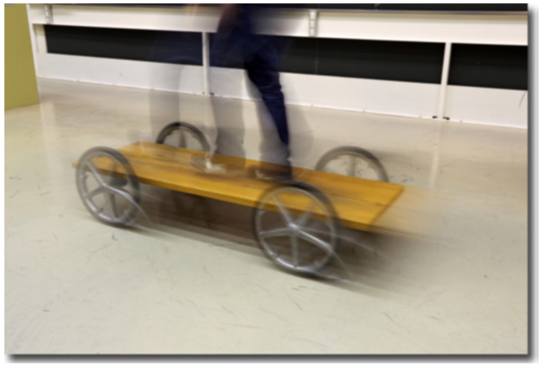




3.6.1 Deuxième loi de Newton

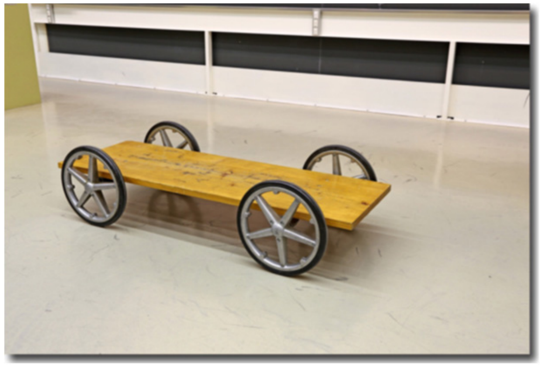
Expérience : Conservation de la quantité de mouvement totale

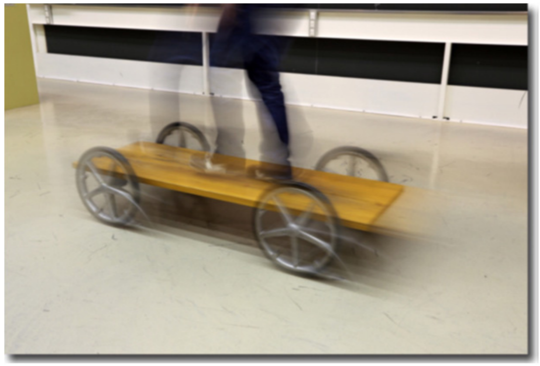




3.6.1 Deuxième loi de Newton

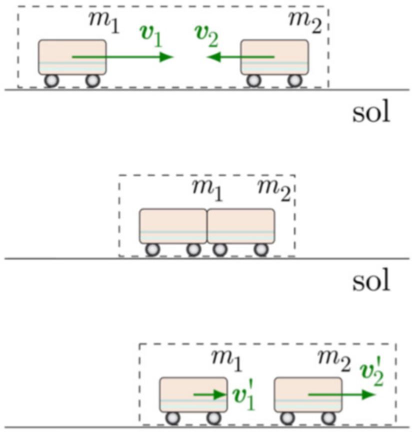
Expérience : Conservation de la quantité de mouvement totale





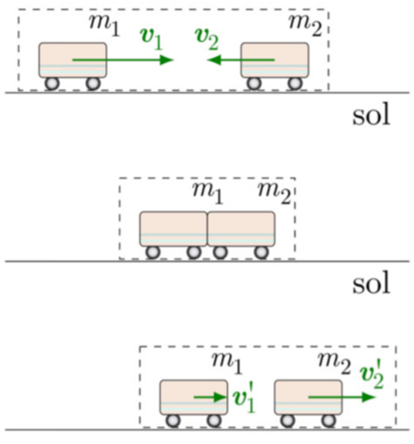
Comme la force extérieure résultante qui s'exerce sur le système constitué de la personne et du chariot est nulle, lorsque la personne se déplace sur le chariot, le chariot se déplace dans le sens contraire pour conserver la quantité de mouvement totale.

3.6.2 Choc de deux chariots en MRU sur un rail horizontal



Remarque :

3.6.2 Choc de deux chariots en MRU sur un rail horizontal



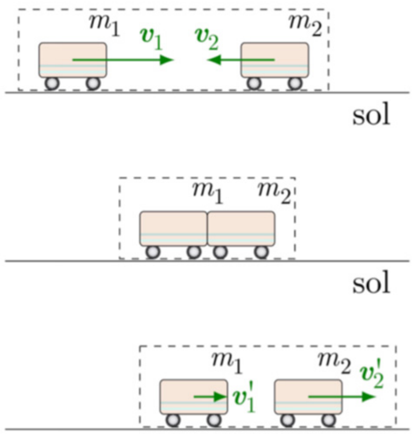
- Objets : les deux chariots de masse m_1 et m_2.
- Forces extérieures : les poids $m_1\mathbf{g}$ et $m_2\mathbf{g}$ et les forces de

  soutien $\mathbf{S_1}$ et $\mathbf{S_2}$ qui se compensent : $m_1\mathbf{g} + \mathbf{S_1} + m_2\mathbf{g} + \mathbf{S_2} = \mathbf{0}$.

  Ainsi, $\mathbf{F}^{\mathbf{ext}} = \mathbf{0}$.

Remarque :

3.6.2 Choc de deux chariots en MRU sur un rail horizontal

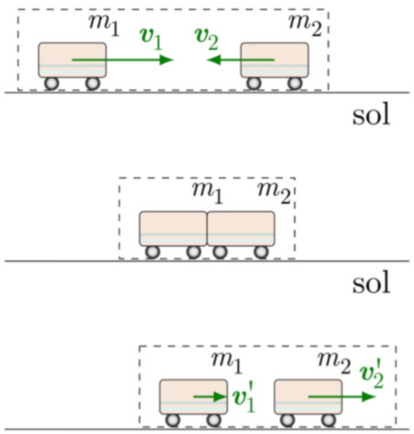


- Objets : les deux chariots de masse m_1 et m_2.
- Forces extérieures : les poids $m_1\mathbf{g}$ et $m_2\mathbf{g}$ et les forces de soutien $\mathbf{S_1}$ et $\mathbf{S_2}$ qui se compensent : $m_1\mathbf{g} + \mathbf{S_1} + m_2\mathbf{g} + \mathbf{S_2} = \mathbf{0}$.

  Ainsi, $\mathbf{F}^{\mathbf{ext}} = \mathbf{0}$.

Remarque : Le mécanisme compliqué du choc ne joue aucun rôle (forces internes).

3.6.2 Choc de deux chariots en MRU sur un rail horizontal



- Objets : les deux chariots de masse m_1 et m_2.
- Forces extérieures : les poids $m_1\mathbf{g}$ et $m_2\mathbf{g}$ et les forces de soutien $\mathbf{S_1}$ et $\mathbf{S_2}$ qui se compensent : $m_1\mathbf{g} + \mathbf{S_1} + m_2\mathbf{g} + \mathbf{S_2} = \mathbf{0}$.

  Ainsi, $\mathbf{F}^{\mathbf{ext}} = \mathbf{0}$.

Remarque : Le mécanisme compliqué du choc ne joue aucun rôle (forces internes).

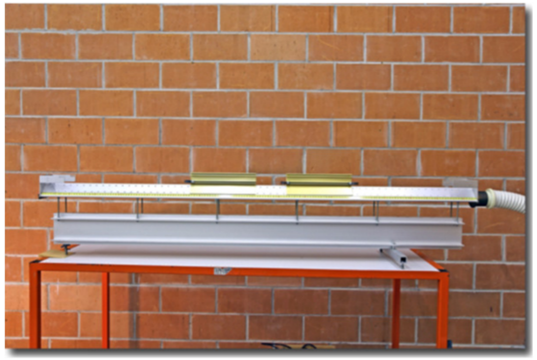
- Comme la force résultante est nulle, $\mathbf{F}^{\mathbf{ext}} = \mathbf{0}$, la quantité de mouvement totale est conservée :

$$\boxed{\begin{gathered}\mathbf{P} = \mathbf{cste} \\ \underbrace{m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2}}_{\text{Avant le choc}} = \underbrace{m_1\mathbf{v_1'} + m_2\mathbf{v_2'}}_{\text{Après le choc}} \quad (3.24)\end{gathered}}$$

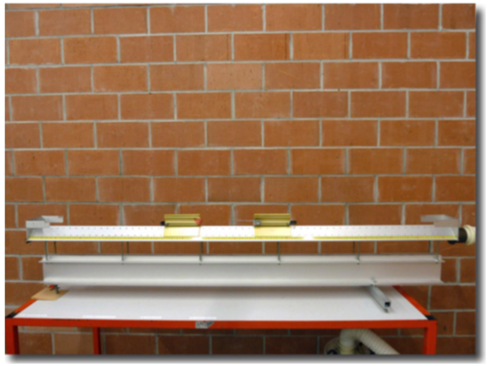
3.6.2 Choc de deux chariots sur un rail horizontal

Expérience :

1. Choc élastique



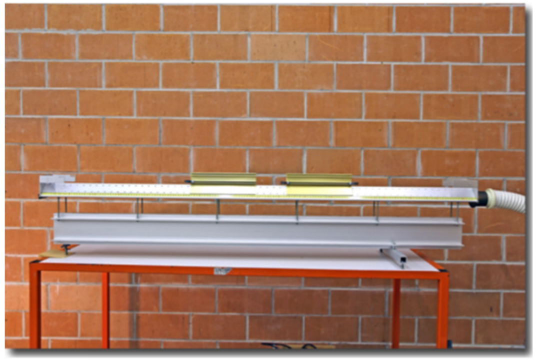
2. Choc mou



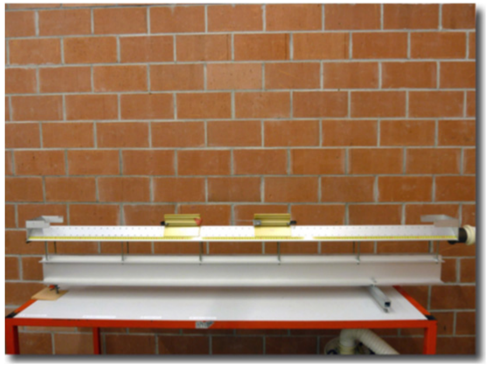
3.6.2 Choc de deux chariots sur un rail horizontal

Expérience : Choc élastique et choc mou (inélastique)

1. Choc élastique



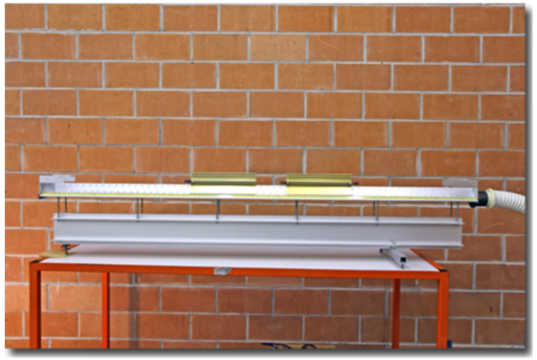
2. Choc mou



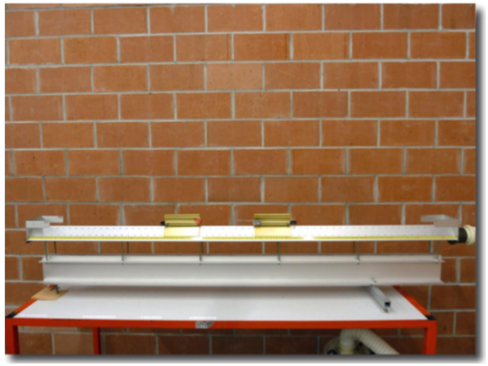
3.6.2 Choc de deux chariots sur un rail horizontal

Expérience : Choc élastique et choc mou (inélastique)

1. Choc élastique



2. Choc mou



1. Lors d'un choc élastique, la quantité de mouvement et l'énergie cinétique sont conservées.

2. Lors d'un choc mou, les deux glisseurs restent accrochés après le choc. La quantité de mouvement est conservée, mais pas l'énergie cinétique.

3.6.2 Choc de deux chariots sur un rail horizontal

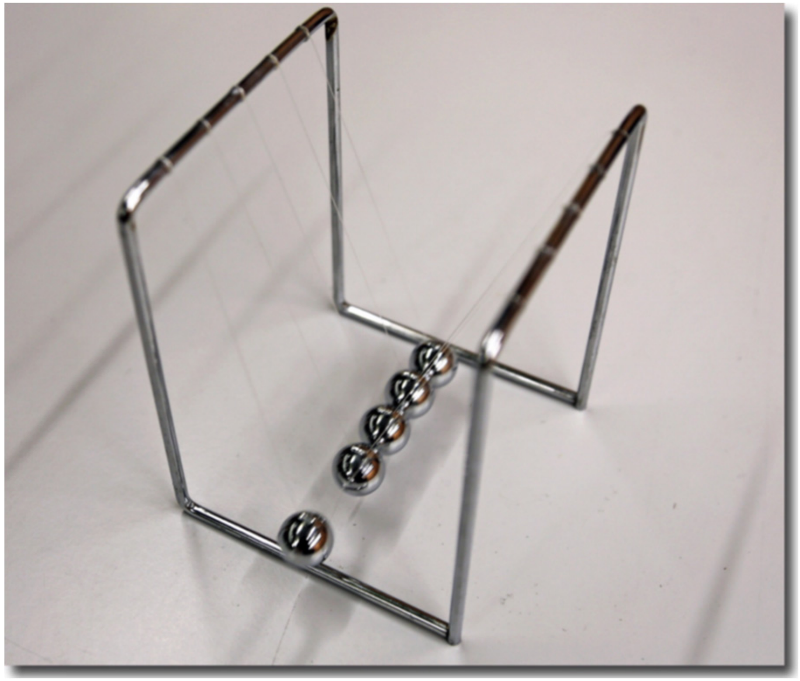
- Choc élastique : analyse des solutions dans le cas unidimensionnel

3.6.2 Choc de deux chariots sur un rail horizontal

- Choc élastique : analyse des solutions dans le cas unidimensionnel

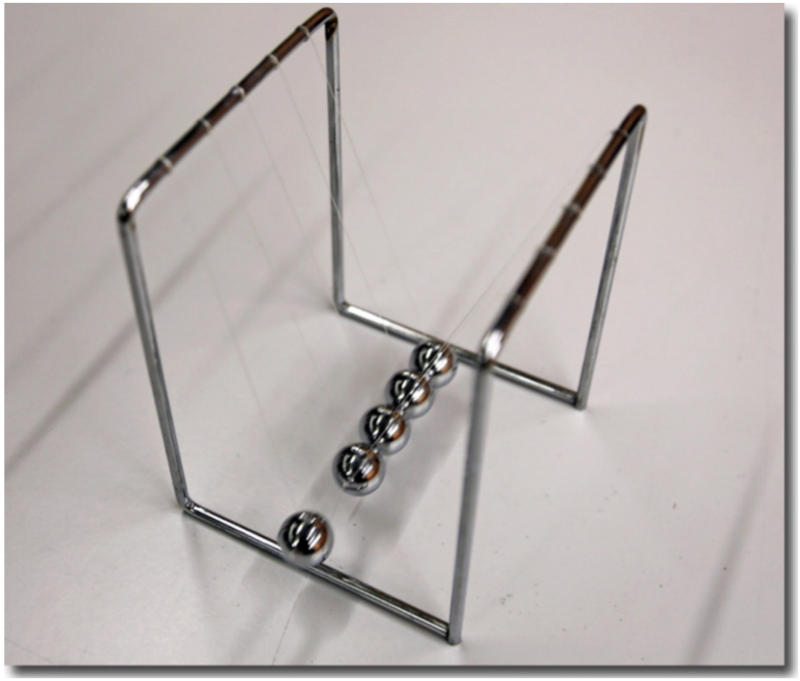
3.6.2.bis Choc entre boules sur un pendule de Newton

Expérience :



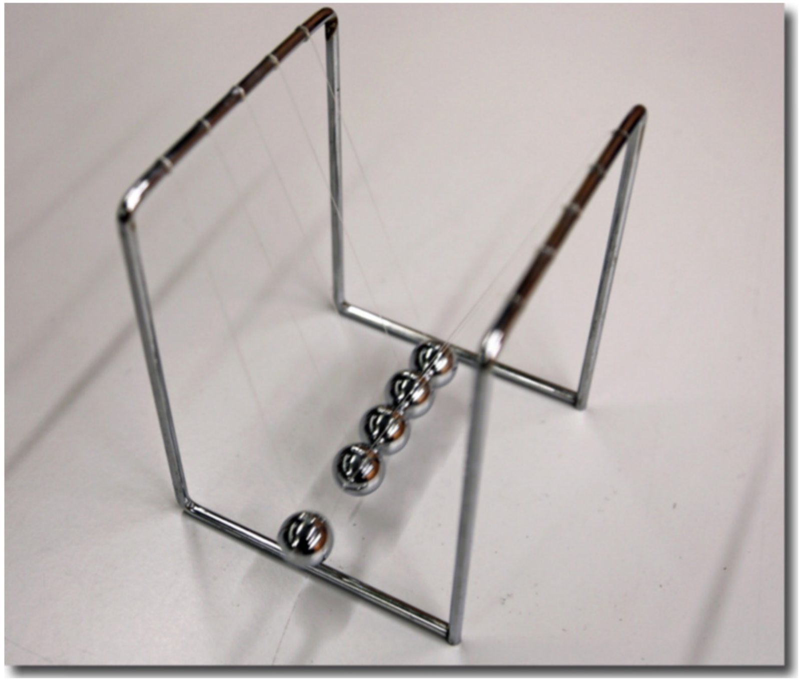
3.6.2.bis Choc entre boules sur un pendule de Newton

Expérience : Choc entre boules sur un pendule de Newton



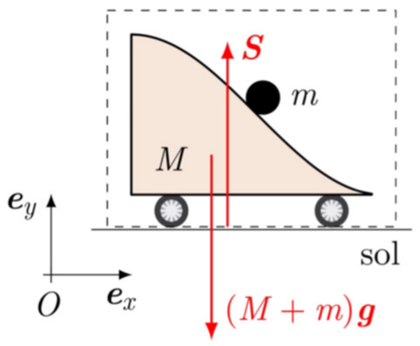
3.6.2.bis Choc entre boules sur un pendule de Newton

Expérience : Choc entre boules sur un pendule de Newton



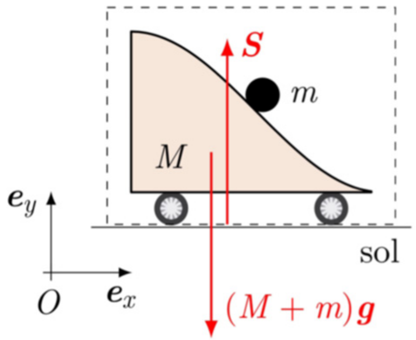
- Lors des chocs élastiques entre les boules, la quantité de mouvement et l'énergie cinétique sont conservées.

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet



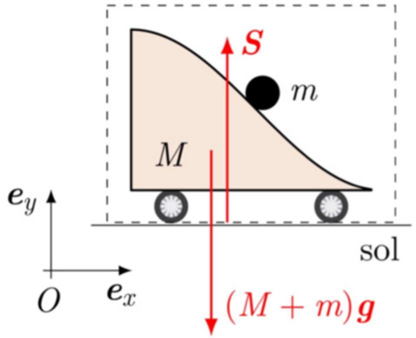
3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

- On considère un chariot propulsé par un boulet qui s'en échappe.



3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

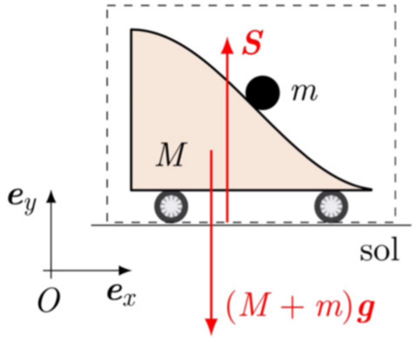
- On considère un chariot propulsé par un boulet qui s’en échappe.



- <u>Objets</u> : chariot de masse M et boulet de masse m.
- <u>Forces extérieures (externes)</u> : poids $(M+m)$**g** et soutien du sol **S**

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

- On considère un chariot propulsé par un boulet qui s'en échappe.

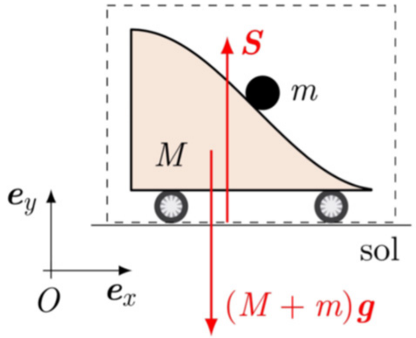


- Objets : chariot de masse M et boulet de masse m.
- Forces extérieures (externes) : poids $(M+m)\mathbf{g}$ et soutien du sol $\mathbf{S}$

$$\left(M+m\right)\mathbf{g}+\mathbf{S}=\dot{\mathbf{P}}=\dot{\mathbf{P}}_{\mathbf{M}}+\dot{\mathbf{P}}_{\mathbf{m}}=\frac{d}{dt}\left(M\mathbf{V}_{\mathbf{M}}\right)+\frac{d}{dt}\left(m\mathbf{v}_{\mathbf{m}}\right)\underbrace{=}_{\substack{M=\text{cste}\\ m=\text{cste}}}M\mathbf{a}_{\mathbf{M}}+m\mathbf{a}_{\mathbf{m}}\quad(3.25)$$

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

- On considère un chariot propulsé par un boulet qui s'en échappe.



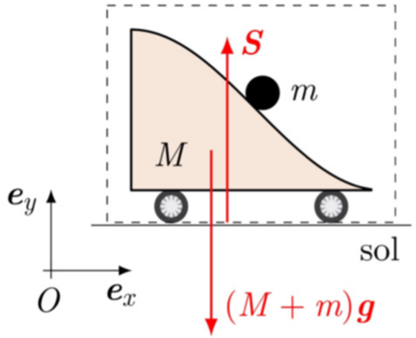
- <u>Objets</u> : chariot de masse M et boulet de masse m.
- <u>Forces extérieures (externes)</u> : poids $(M+m)\mathbf{g}$ et soutien du sol $\mathbf{S}$

$$\boxed{(M+m)\mathbf{g}+\mathbf{S}=\dot{\mathbf{P}}=\dot{\mathbf{P}}_{\mathrm{M}}+\dot{\mathbf{P}}_{\mathrm{m}}=\frac{d}{dt}(M\mathbf{V}_{\mathrm{M}})+\frac{d}{dt}(m\mathbf{v}_{\mathrm{m}})\underbrace{=}_{\substack{M=\text{cste}\\ m=\text{cste}}}M\mathbf{a}_{\mathrm{M}}+m\mathbf{a}_{\mathrm{m}} \quad (3.25)}$$

Selon $\mathbf{e}_x$: $F_x^{\text{ext}}=0 \Rightarrow \dot{P}_x=0 \Rightarrow P_x=\text{cste}$

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

- On considère un chariot propulsé par un boulet qui s'en échappe.



- Objets : chariot de masse M et boulet de masse m.
- Forces extérieures (externes) : poids $(M+m)\mathbf{g}$ et soutien du sol $\mathbf{S}$

$$\boxed{(M+m)\mathbf{g}+\mathbf{S}=\dot{\mathbf{P}}=\dot{\mathbf{P}}_{\mathbf{M}}+\dot{\mathbf{P}}_{\mathbf{m}}=\frac{d}{dt}(M\mathbf{V}_{\mathbf{M}})+\frac{d}{dt}(m\mathbf{v}_{\mathbf{m}})\underbrace{=}_{\substack{M=\text{cste}\\ m=\text{cste}}}M\mathbf{a}_{\mathbf{M}}+m\mathbf{a}_{\mathbf{m}}\quad(3.25)}$$

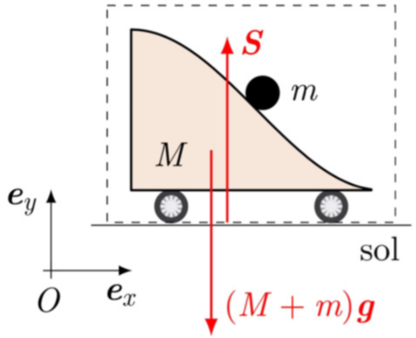
Selon $\mathbf{e}_x$: $F_x^{\text{ext}}=0\Rightarrow\dot{P}_x=0\Rightarrow P_x=\text{cste}$

Puisque à t = 0, le chariot et le boulet sont immobiles, alors $P_x = 0$.

$\Rightarrow P_x = MV_x + mv_x = 0\ \forall t$ $\boxed{\Rightarrow V_x=-\frac{m}{M}v_x\quad(3.25\text{ bis})}$

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

- On considère un chariot propulsé par un boulet qui s'en échappe.



- Objets : chariot de masse M et boulet de masse m.
- Forces extérieures (externes) : poids $(M+m)\mathbf{g}$ et soutien du sol $\mathbf{S}$

$$\boxed{(M+m)\mathbf{g}+\mathbf{S}=\dot{\mathbf{P}}=\dot{\mathbf{P}}_{\mathbf{M}}+\dot{\mathbf{P}}_{\mathbf{m}}=\frac{d}{dt}(M\mathbf{V}_{\mathbf{M}})+\frac{d}{dt}(m\mathbf{v}_{\mathbf{m}})\underbrace{=}_{\substack{M=\text{cste}\\ m=\text{cste}}}M\mathbf{a}_{\mathbf{M}}+m\mathbf{a}_{\mathbf{m}}\quad(3.25)}$$

Selon $\mathbf{e}_x$: $F_x^{\text{ext}}=0\Rightarrow\dot{P}_x=0\Rightarrow P_x=\text{cste}$

Puisque à t = 0, le chariot et le boulet sont immobiles, alors P_x = 0.

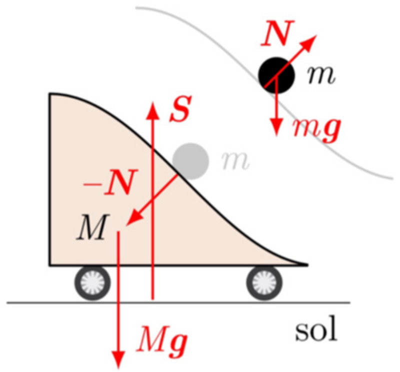
$\Rightarrow P_x = MV_x + mv_x = 0 \ \forall t$ $\boxed{\Rightarrow V_x=-\frac{m}{M}v_x \quad (3.25\text{ bis})}$

- Le chariot et le boulet ont donc des vitesses de signe opposé.

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

Remarque :

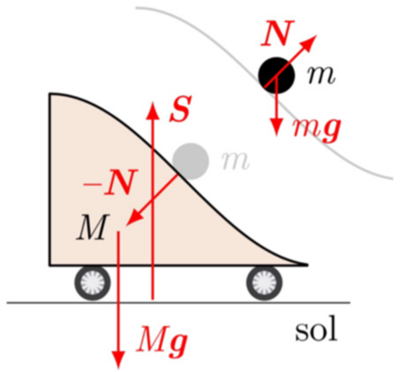
Remarque :



3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

Remarque : Selon $\mathbf{e}_y$, $F_y^{\text{ext}} = \dot{P}_y = -(M+m)g + S \neq 0$, car le boulet descend alors que le chariot reste à la même hauteur et par conséquent la force de soutien **S** est une fonction du temps (force non conservative).

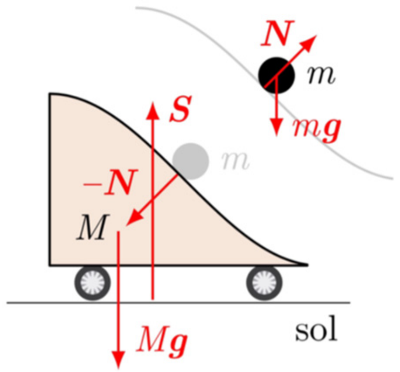
Remarque :



3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

Remarque : Selon $\mathbf{e}_y$, $F_y^{\text{ext}} = \dot{P}_y = -(M+m)g + S \neq 0$, car le boulet descend alors que le chariot reste à la même hauteur et par conséquent la force de soutien **S** est une fonction du temps (force non conservative).

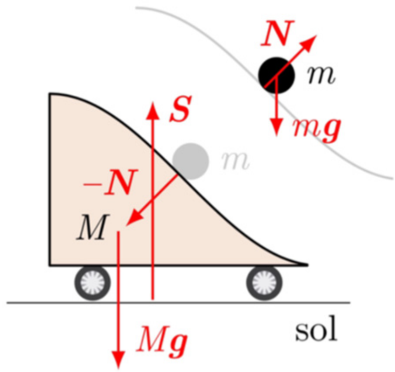
Remarque : Le chariot et le boulet peuvent être considérés séparément.



3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

Remarque : Selon $\mathbf{e}_y$, $F_y^{\text{ext}} = \dot{P}_y = -(M+m)g + S \neq 0$, car le boulet descend alors que le chariot reste à la même hauteur et par conséquent la force de soutien **S** est une fonction du temps (force non conservative).

Remarque : Le chariot et le boulet peuvent être considérés séparément.



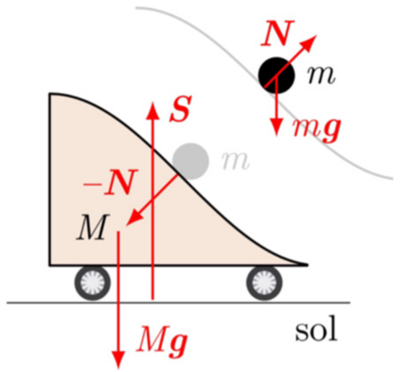
- <u>Objet #1</u> : boulet de masse *m*.
- <u>Forces extérieures</u> : poids $m\mathbf{g}$ et action du chariot **N**

$$\boxed{m\mathbf{g} + \mathbf{N} = m\mathbf{a}_{\mathrm{m}} \quad (3.26)}$$

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

Remarque : Selon $\mathbf{e}_y$, $F_y^{ext} = \dot{P}_y = -(M+m)g + S \neq 0$, car le boulet descend alors que le chariot reste à la même hauteur et par conséquent la force de soutien **S** est une fonction du temps (force non conservative).

Remarque : Le chariot et le boulet peuvent être considérés séparément.



- Objet #1 : boulet de masse *m.*
- Forces extérieures : poids $m\mathbf{g}$ et action du chariot **N**

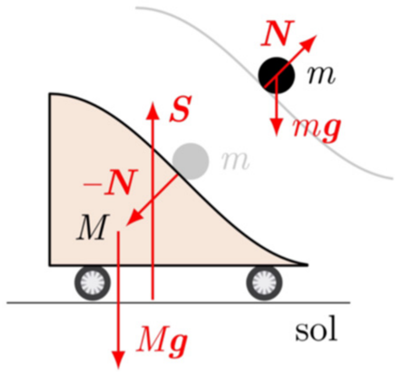
$$\boxed{m\mathbf{g} + \mathbf{N} = m\mathbf{a}_m \quad (3.26)}$$

- L'accélération du boulet est dirigée le long du plan incliné vers la droite.

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

Remarque : Selon $\mathbf{e}_y$, $F_y^{ext} = \dot{P}_y = -(M+m)g + S \neq 0$, car le boulet descend alors que le chariot reste à la même hauteur et par conséquent la force de soutien **S** est une fonction du temps (force non conservative).

Remarque : Le chariot et le boulet peuvent être considérés séparément.



- Objet #1 : boulet de masse *m.*
- Forces extérieures : poids $m\mathbf{g}$ et action du chariot **N**

$$\boxed{m\mathbf{g} + \mathbf{N} = m\mathbf{a}_\mathbf{m} \quad (3.26)}$$

- L'accélération du boulet est dirigée le long du plan incliné vers la droite.

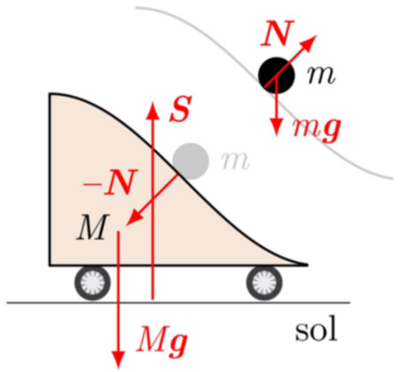
- Objet #2 : chariot de masse *M.*
- Forces extérieures : poids $M\mathbf{g}$, soutien du sol **S**, et réaction du boulet -**N**

$$\boxed{M\mathbf{g} + \mathbf{S} - \mathbf{N} = M\mathbf{a}_\mathbf{M} \quad (3.27)}$$

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

Remarque : Selon $\mathbf{e}_y$, $F_y^{\text{ext}} = \dot{P}_y = -(M+m)g + S \neq 0$, car le boulet descend alors que le chariot reste à la même hauteur et par conséquent la force de soutien **S** est une fonction du temps (force non conservative).

Remarque : Le chariot et le boulet peuvent être considérés séparément.



- Objet #1 : boulet de masse *m.*
- Forces extérieures : poids $m\mathbf{g}$ et action du chariot **N**

$$\boxed{m\mathbf{g} + \mathbf{N} = m\mathbf{a}_\mathbf{m} \quad (3.26)}$$

- L'accélération du boulet est dirigée le long du plan incliné vers la droite.

- Objet #2 : chariot de masse *M.*
- Forces extérieures : poids $M\mathbf{g}$, soutien du sol **S**, et réaction du boulet -**N**

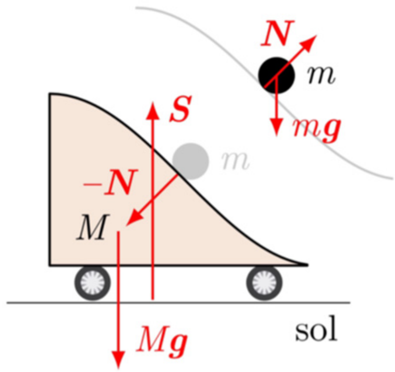
$$\boxed{M\mathbf{g} + \mathbf{S} - \mathbf{N} = M\mathbf{a}_\mathbf{M} \quad (3.27)}$$

- L'accélération du chariot est dirigée vers la gauche.

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

Remarque : Selon $\mathbf{e}_y$, $F_y^{\text{ext}} = \dot{P}_y = -(M+m)g + S \neq 0$, car le boulet descend alors que le chariot reste à la même hauteur et par conséquent la force de soutien **S** est une fonction du temps (force non conservative).

Remarque : Le chariot et le boulet peuvent être considérés séparément.



- <u>Objet #1</u> : boulet de masse *m.*
- <u>Forces extérieures</u> : poids $m\mathbf{g}$ et action du chariot **N**

$$\boxed{m\mathbf{g} + \mathbf{N} = m\mathbf{a}_\mathbf{m} \quad (3.26)}$$

- L'accélération du boulet est dirigée le long du plan incliné vers la droite.

- <u>Objet #2</u> : chariot de masse *M.*
- <u>Forces extérieures</u> : poids $M\mathbf{g}$, soutien du sol **S**, et réaction du boulet -**N**

$$\boxed{M\mathbf{g} + \mathbf{S} - \mathbf{N} = M\mathbf{a}_\mathbf{M} \quad (3.27)}$$

- L'accélération du chariot est dirigée vers la gauche.

Les équations du mouvement (3.25), (3.26) et (3.27) sont linéairement dépendantes.

3.6.3.bis Chariot propulsé

Expérience :

3.6.3.bis Chariot propulsé

Expérience : Chariot propulsé par du CO_2

3.6.3.bis Chariot propulsé

Expérience : Chariot propulsé par du CO_2

- Pour assurer la conservation de la quantité de mouvement totale du système formé du chariot, de la bonbonne et du CO_2, le chariot se déplace dans le sens opposé au sens d'échappement du CO_2.

3.6.3.bis Fusées propulsées

Expériences :

3.6.3.bis Fusées propulsées

Expériences : 1. Fusée à air

3.6.3.bis Fusées propulsées

Expériences : 1. Fusée à air 2. Fusée à eau

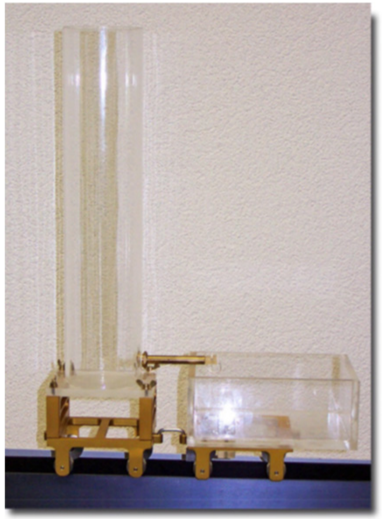
3.6.3.bis Fusées propulsées

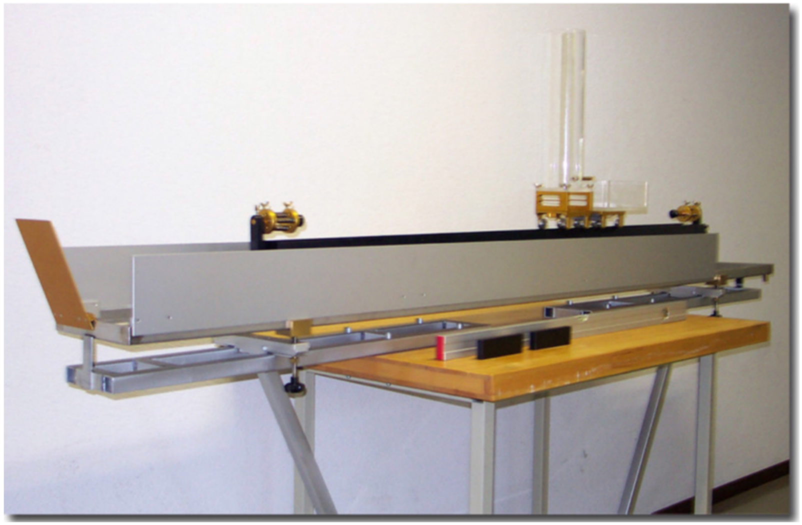
Expériences : 1. Fusée à air 2. Fusée à eau

- Comme la variation de masse par unité de temps et donc la variation de quantité de mouvement par unité de temps est beaucoup plus importante pour l'eau que pour l'air, la force de poussée le sera également.

3.6.3.bis Chariot à eau

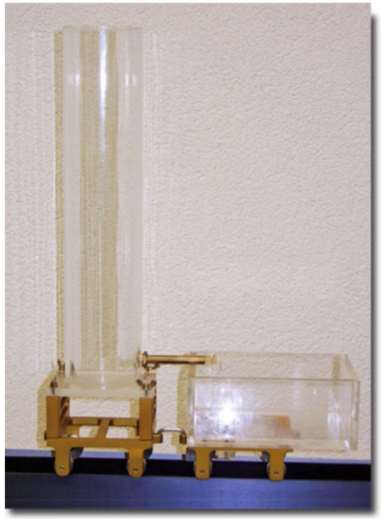
Expérience :

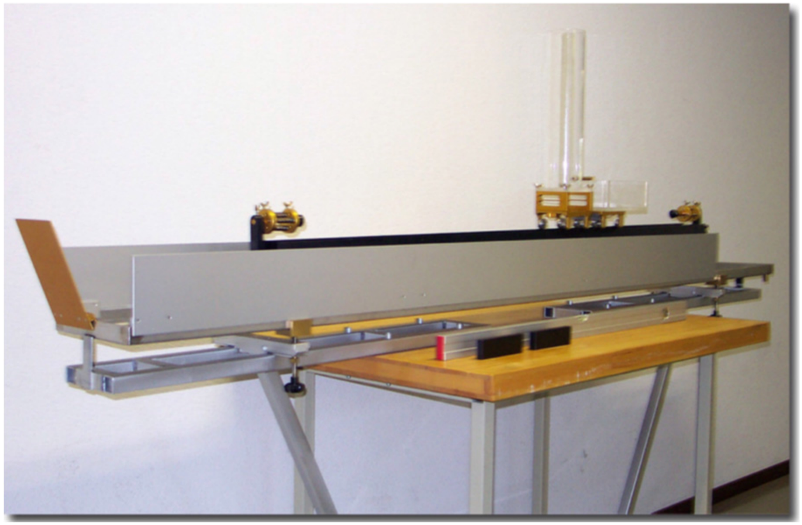




3.6.3.bis Chariot à eau

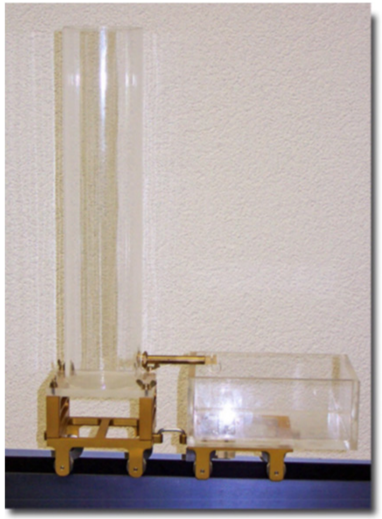
Expérience : Chariot à eau

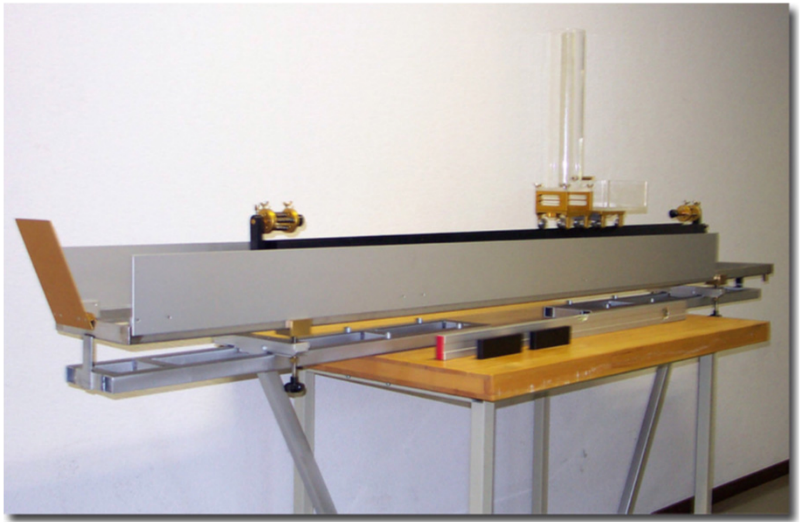




3.6.3.bis Chariot à eau

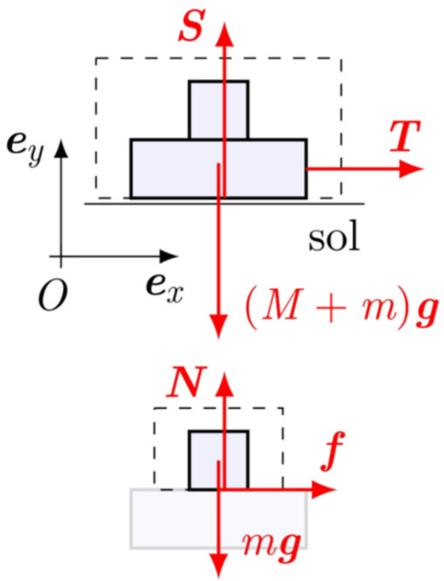
Expérience : Chariot à eau





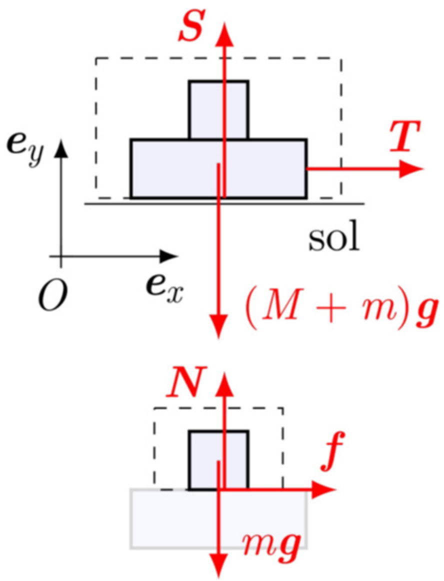
- Le chariot se déplace dans le sens opposé à l'écoulement de l'eau en absence de wagon. Si l'eau s'écoule dans un wagon récepteur accroché au chariot, l'ensemble reste immobile pour conserver la quantité de mouvement totale.

3.6.4 Blocs superposés



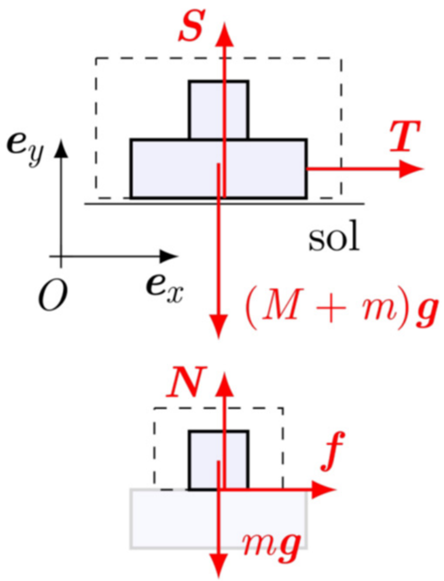
3.6.4 Blocs superposés

- On considère un système constitué de deux blocs superposés. L'un est tracté et glisse sans frottement sur le sol. L'autre est posé sur le premier. Les deux blocs sont immobiles l'un par rapport à l'autre; leur accélération **a** est donc identique.



3.6.4 Blocs superposés

- On considère un système constitué de deux blocs superposés. L'un est tracté et glisse sans frottement sur le sol. L'autre est posé sur le premier. Les deux blocs sont immobiles l'un par rapport à l'autre; leur accélération **a** est donc identique.



- Objet #1 : les deux blocs
- Forces : poids $(m+M)\mathbf{g}$, soutien du sol $\mathbf{S}$, traction $\mathbf{T}$

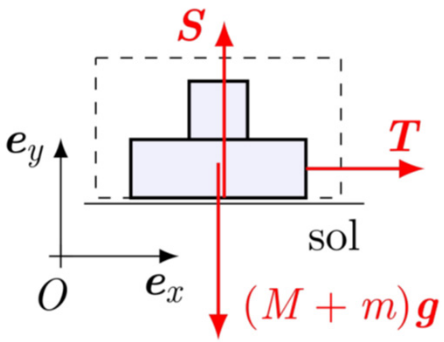
$$\mathbf{T} + (m+M)\mathbf{g} + \mathbf{S} = (m+M)\mathbf{a}$$

Selon $\mathbf{e}_x$:

$$\boxed{T = (m+M)a \quad (3.28)}$$

3.6.4 Blocs superposés

- On considère un système constitué de deux blocs superposés. L'un est tracté et glisse sans frottement sur le sol. L'autre est posé sur le premier. Les deux blocs sont immobiles l'un par rapport à l'autre; leur accélération **a** est donc identique.

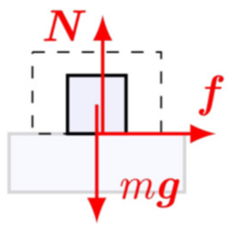


- <u>Objet #1</u> : les deux blocs
- <u>Forces</u> : poids $(m+M)\mathbf{g}$, soutien du sol **S**, traction **T**

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

Selon $\mathbf{e}_x$:

$$\boxed{T = (m+M)a \quad (3.28)}$$



- <u>Objet #2</u> : le bloc supérieur
- <u>Forces</u> : poids $m\mathbf{g}$, soutien du bloc inférieur **N**, frottement **f**

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

Selon $\mathbf{e}_x$:

$$\boxed{f = ma \quad (3.29)}$$

3.6.4 Blocs superposés

Remarque :

3.6.4 Blocs superposés

- À l'aide des équations du mouvement (3.28) et (3.29), $T = (m + M)a$ (3.28) et $f = ma$ (3.29), on tire l'expression de la norme f de la force de frottement :

$$\boxed{f = \frac{m}{m+M}T \quad (3.30)}$$

Remarque :

3.6.4 Blocs superposés

- À l'aide des équations du mouvement (3.28) et (3.29), $T = (m + M)a$ (3.28) et $f = ma$ (3.29), on tire l'expression de la norme f de la force de frottement :

$$\boxed{f = \frac{m}{m+M}T \quad (3.30)}$$

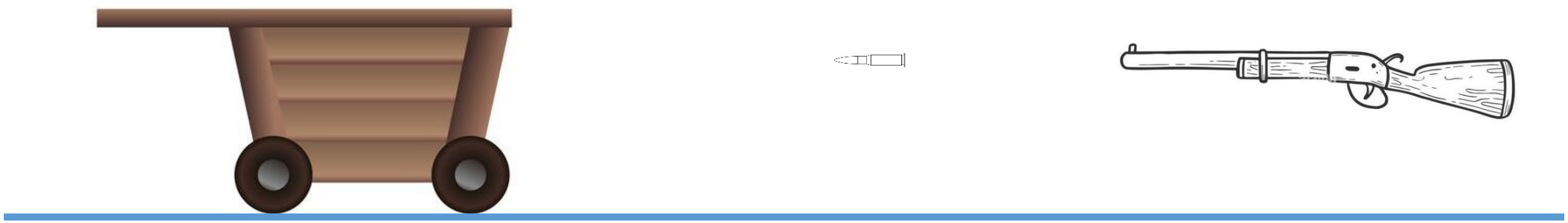
Remarque : En considérant comme objet le bloc inférieur, on aurait obtenu la loi du mouvement suivante : $\mathbf{T} + M\mathbf{g} + \mathbf{S} - \mathbf{f} - \mathbf{N} = M\mathbf{a}$ où les signes négatifs sont la conséquence de la troisième loi de Newton.

Selon $\mathbf{e}_x$: $\boxed{T - f = Ma \quad (3.31)}$

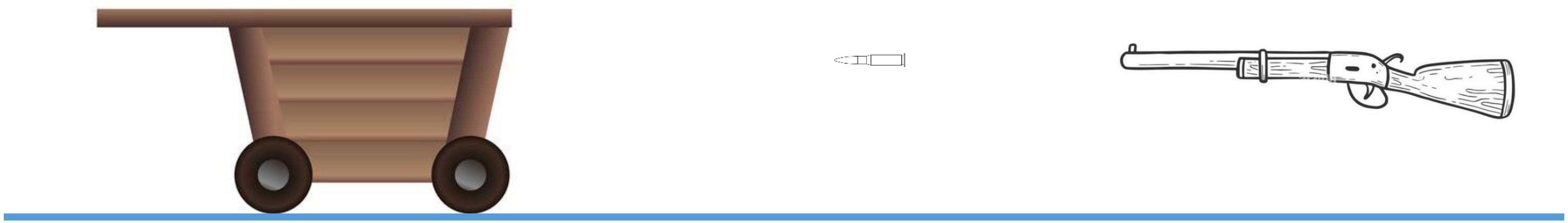
Les équations du mouvement (3.28), (3.29) et (3.31) sont linéairement dépendantes.

3.6.5 Résolution d'exercices

Énoncé 1 : Un petit wagonnet de bois a une masse de 1 kg. Il roule sur une voie horizontale à une vitesse de 1.2 m.s^{-1}. On lui tire dessus depuis devant avec un fusil. La balle traverse le wagonnet et, sans subir de déviation, suit une trajectoire parallèle à la voie. La balle a une masse de 5 g, une vitesse initiale de 800 m.s^{-1} et une vitesse finale de 200 m.s^{-1}. Quelle est la vitesse finale du wagonnet?



3.6.5 Résolution d'exercices



3.6.5 Résolution d'exercices

Énoncé 2 : Deux chariots A et B sont poussés l'un vers l'autre. (1) Initialement, B est immobile alors que A se déplace vers la droite à 0.5 $m.s^{-1}$. Après la collision, A repart en sens inverse à 0.1 $m.s^{-1}$ et B se déplace vers la droite à 0.3 $m.s^{-1}$. (2) Dans une deuxième expérience, on charge A avec une masse de 1 kg et on le pousse contre B avec une vitesse de 0.5 $m.s^{-1}$. Après la collision, A reste au repos, alors que B se déplace vers la droite à 0.5 $m.s^{-1}$. Trouvez la masse de chacun des chariots.

3.6.5 Résolution d'exercices

3.6.5 Résolution d'exercices