Leçon 7 – 18/03/2025

3. Dynamique

- 3.6 Troisième loi de Newton (loi d’action-réaction)
- 3.7 Pression

3.6.1 Deuxième loi de Newton

Remarque :

3.6.1 Deuxième loi de Newton

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

Cf. boulet en contact avec le chariot!

- 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 : $\boxed{\mathbf{F}^{\mathbf{ext}} = \dot{\mathbf{P}} = m\mathbf{a}_{\mathbf{CM}} \text{ si } m = \text{ cste } \ (3.23)}$

Remarque :

3.6.1 Deuxième loi de Newton

- On considère un objet/système constitué de différentes parties qui sont soit en contact soit disjointes. Cf. collision entre deux chariots! Cf. boulet en contact avec le chariot!

- 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/système constitué de différentes parties qui sont soit en contact soit disjointes. Cf. collision entre deux chariots! Cf. boulet en contact avec le chariot!

- 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 : $\boxed{\mathbf{F}^{\mathbf{ext}} = \dot{\mathbf{P}} = m\mathbf{a}_{\mathbf{CM}} \text{ si } m = \text{ cste } \ (3.23)}$

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/système constitué de différentes parties qui sont soit en contact soit disjointes. Cf. collision entre deux chariots! Cf. boulet en contact avec le chariot!

- 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.

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

3.6.1 Conservation de la quantité de mouvement

3.6.1 Conservation de la quantité de mouvement

- Pour un système fermé, i.e., pour un système qui n'échange pas de matière avec son environnement et sur lequel aucune force externe n'est en train d'agir, la quantité de mouvement totale est conservée. C'est une conséquence directe de la 2ème et de la 3ème lois de Newton.

3.6.1 Conservation de la quantité de mouvement

- Pour un système fermé, i.e., pour un système qui n'échange pas de matière avec son environnement et sur lequel aucune force externe n'est en train d'agir, la quantité de mouvement totale est conservée. C'est une conséquence directe de la 2ème et de la 3ème lois de Newton.
- Supposons deux particules en interaction : $\boxed{\mathbf{F}_{1\to 2} = -\mathbf{F}_{2\to 1} \Rightarrow \mathbf{F}_{1\to 2} + \mathbf{F}_{2\to 1} = \mathbf{0} \quad (3.22)}$

$$\boxed{\Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2\right) = \mathbf{0} \quad (3.22\text{ bis})}$$

3.6.1 Conservation de la quantité de mouvement

- Pour un système fermé, i.e., pour un système qui n'échange pas de matière avec son environnement et sur lequel aucune force externe n'est en train d'agir, la quantité de mouvement totale est conservée. C'est une conséquence directe de la 2ème et de la 3ème lois de Newton.

- Supposons deux particules en interaction : $$\boxed{\mathbf{F}_{1\to 2} = -\mathbf{F}_{2\to 1} \Rightarrow \mathbf{F}_{1\to 2} + \mathbf{F}_{2\to 1} = \mathbf{0} \quad (3.22)}$$

$$\boxed{\Rightarrow \frac{d}{dt}\left(\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2\right) = \mathbf{0} \text{ (3.22 bis)}}$$

- Si les vitesses des deux particules sont $\mathbf{v_1}$ et $\mathbf{v_2}$ avant le choc et $\mathbf{v'_1}$ et $\mathbf{v'_2}$ après le choc, alors : $$\boxed{\underbrace{m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2}}_{\text{Avant le choc}} = \underbrace{m_1\mathbf{v'_1} + m_2\mathbf{v'_2}}_{\text{Après le choc}} \quad (3.24)}$$

3.6.1 Conservation de la quantité de mouvement

3.6.1 Conservation de la quantité de mouvement

- Cette loi reste valide quelle que soit la nature des forces entre les particules. Par extension, pour un ensemble de particules, la quantité de mouvement échangée entre chaque pair de particules est nulle si bien que la variation totale de quantité de mouvement est aussi nulle.

$$\boxed{m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + m_3\mathbf{v_3} + \ldots = \mathbf{cste} \quad \text{(3.24 bis)}}$$

3.6.1 Conservation de la quantité de mouvement

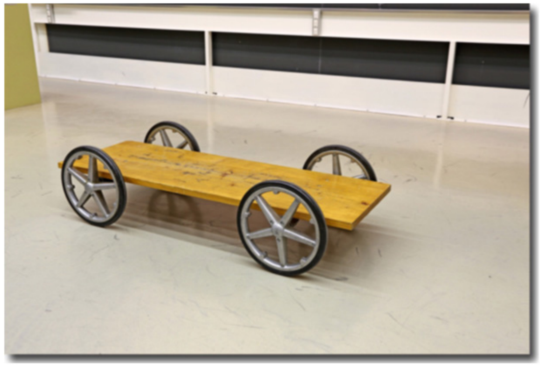
- Cette loi reste valide quelle que soit la nature des forces entre les particules. Par extension, pour un ensemble de particules, la quantité de mouvement échangée entre chaque pair de particules est nulle si bien que la variation totale de quantité de mouvement est aussi nulle.

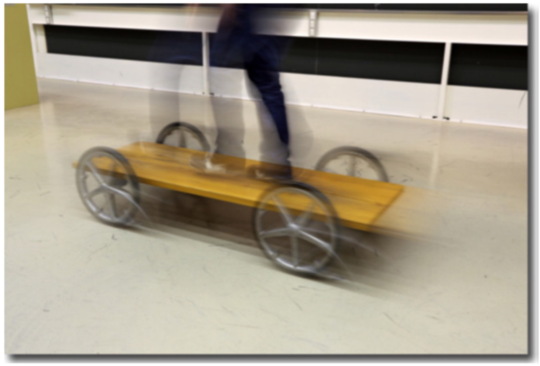
$$\boxed{m_1\mathbf{v_1} + m_2\mathbf{v_2} + m_3\mathbf{v_3} + \ldots = \mathbf{cste} \quad \text{(3.24 bis)}}$$

- Cette loi de conservation s'applique à toutes les interactions, que ce soient le cas des chocs (élastiques ou inélastiques), les séparations dues à une explosion, etc.

3.6.1 Deuxième loi de Newton

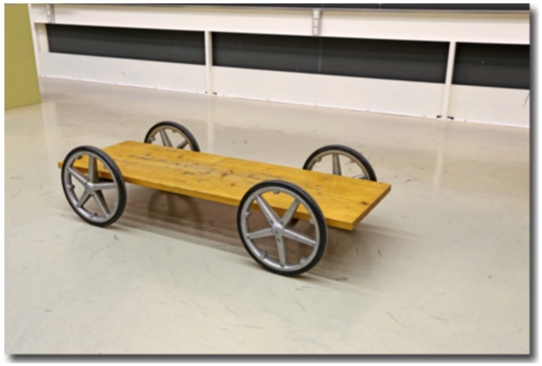
Expérience :

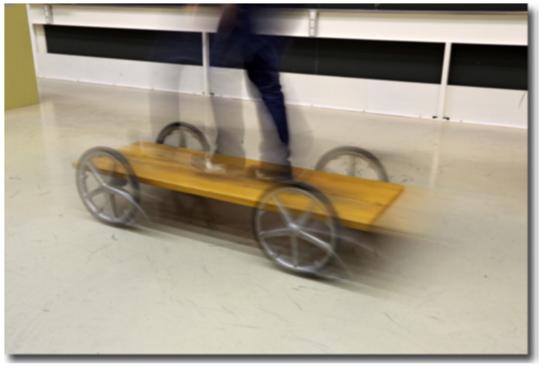




3.6.1 Deuxième loi de Newton

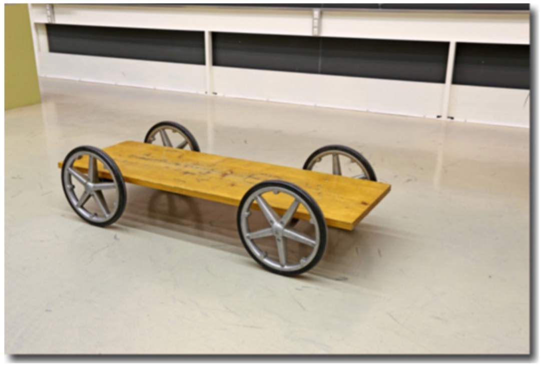
Expérience : Conservation de la quantité de mouvement totale

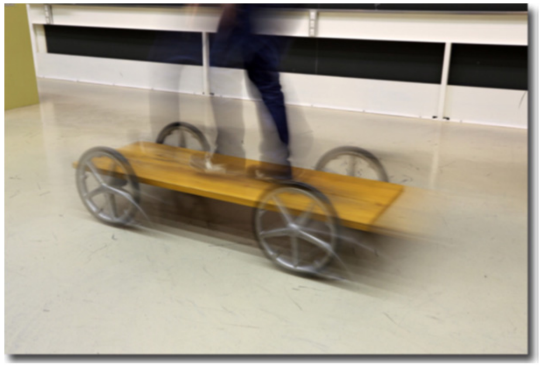




3.6.1 Deuxième loi de Newton

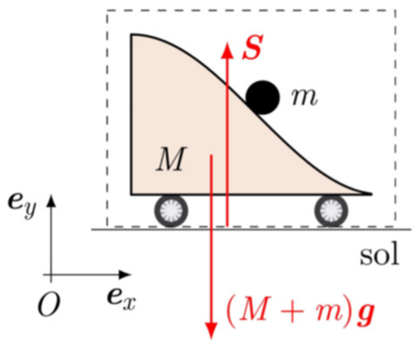
Expérience : Conservation de la quantité de mouvement totale





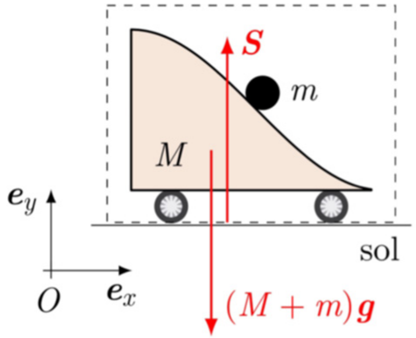
Comme la force extérieure résultante qui s'exerce sur le système constitué de la personne et du chariot est nulle, lorsque la personne se déplace sur le chariot, le chariot se déplace dans le sens contraire pour conserver la quantité de mouvement totale.

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet



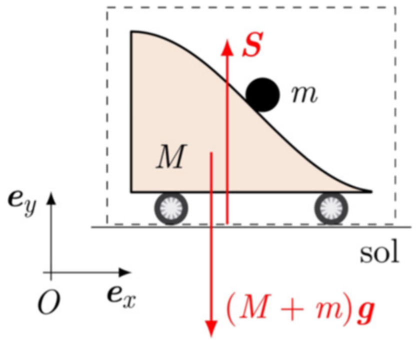
3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

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



3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

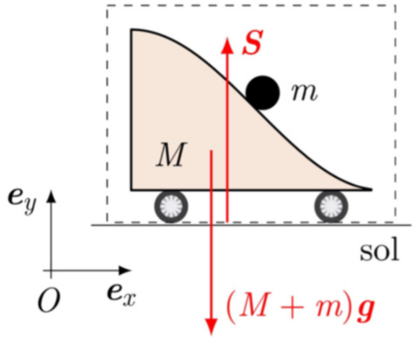
- On considère un chariot propulsé par un boulet qui s'en échappe.



- Objets : chariot de masse *M* et boulet de masse *m.*
- Forces extérieures (externes) : 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.

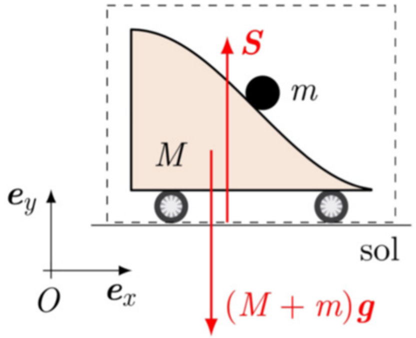


- Objets : chariot de masse M et boulet de masse m.
- Forces extérieures (externes) : poids $(M+m)\mathbf{g}$ et soutien du sol $\mathbf{S}$

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

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

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



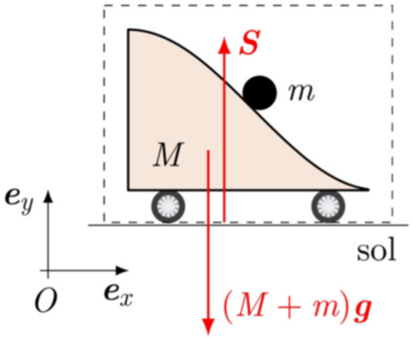
- Objets : chariot de masse M et boulet de masse m.
- Forces extérieures (externes) : poids (M+m)**g** et soutien du sol **S**

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

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.



- <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 $\mathbf{S}$

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

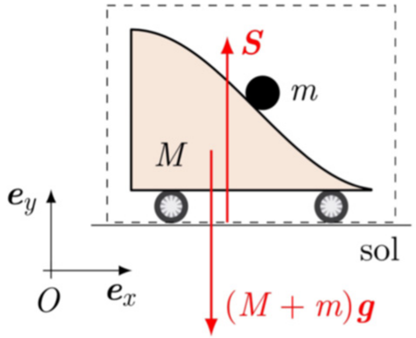
Selon $\mathbf{e}_x$: $F_x^{\text{ext}}=0\Rightarrow\dot{P}_x=0\Rightarrow P_x=\text{cste}$

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 $\mathbf{S}$

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

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

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

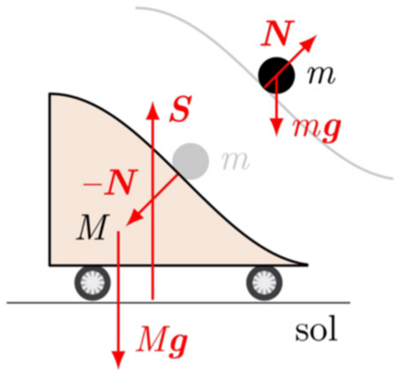
$$\Rightarrow P_x = MV_x + mv_x = 0 \ \forall t \quad \boxed{\Rightarrow V_x=-\frac{m}{M}v_x \quad (3.25 \text{ bis})}$$

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

3.6.3 Chariot propulsé par un boulet

Remarque :

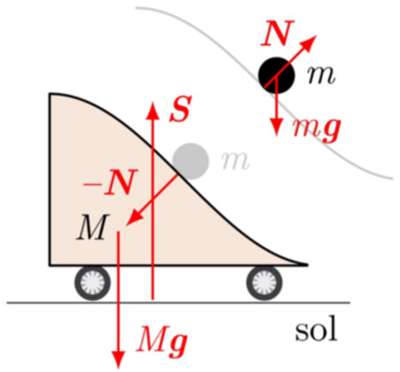
Remarque :



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).

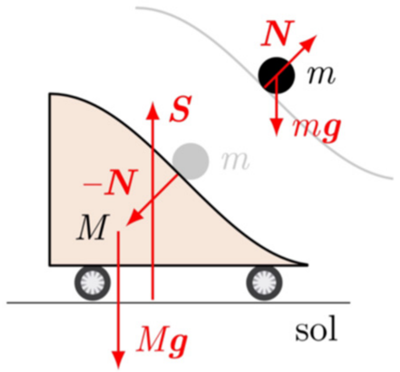
Remarque :



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).

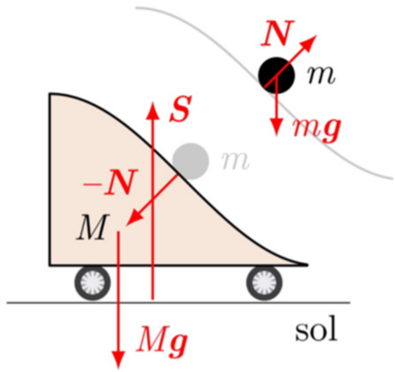
Remarque : Le chariot et le boulet peuvent être considérés séparément.



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.



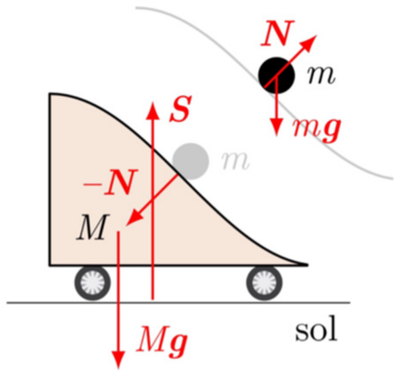
- Objet #1 : boulet de masse *m.*
- Forces extérieures : poids $m\mathbf{g}$ et action du chariot **N**

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

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**

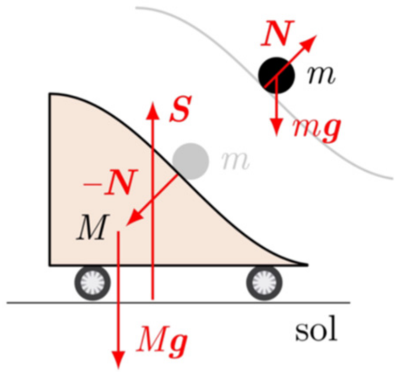
$$\boxed{m\mathbf{g} + \mathbf{N} = m\mathbf{a}_{\mathbf{m}} \quad (3.26)}$$

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

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.

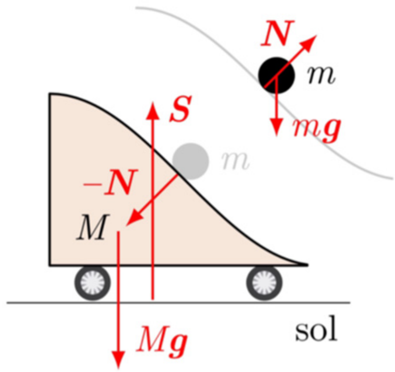
- Objet #2 : chariot de masse *M.*
- Forces extérieures : poids $M\mathbf{g}$, soutien du sol **S**, et réaction du boulet -**N**

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

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**

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

- 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**

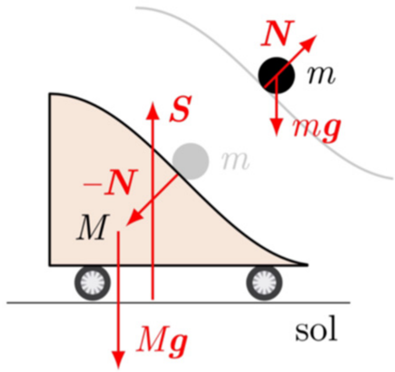
$$\boxed{M\mathbf{g} + \mathbf{S} - \mathbf{N} = M\mathbf{a}_\mathrm{M} \quad (3.27)}$$

- 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.



- 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.

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

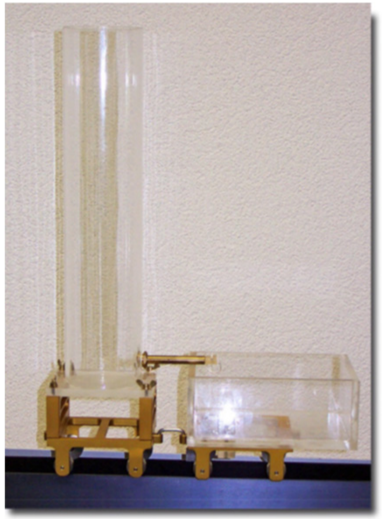
3.6.3.bis Fusées propulsées

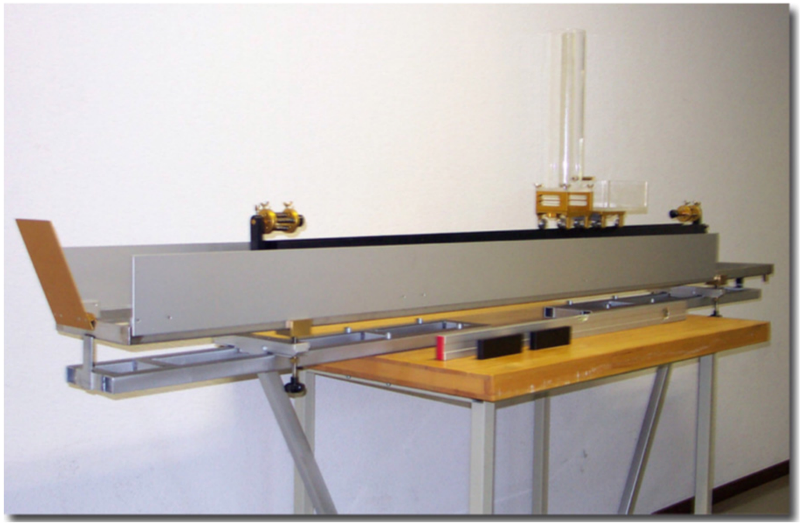
Expériences : 1. Fusée à air 2. Fusée à eau

- 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

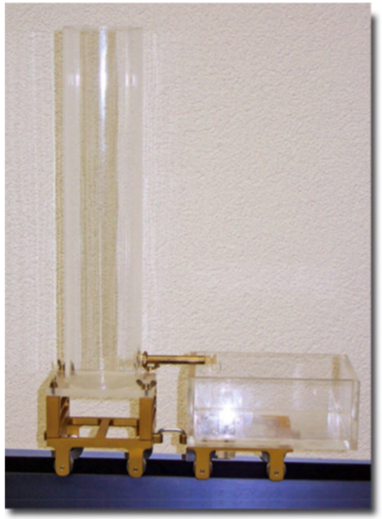
Expérience :

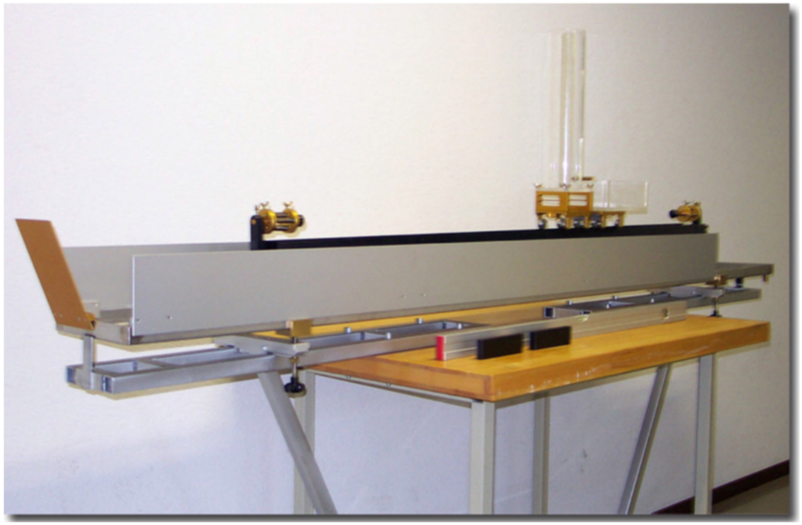




3.6.3.bis Chariot à eau

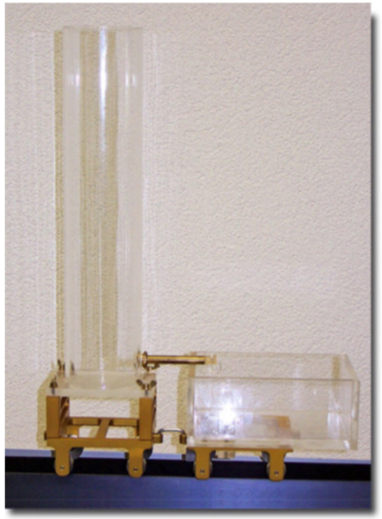
Expérience : Chariot à eau

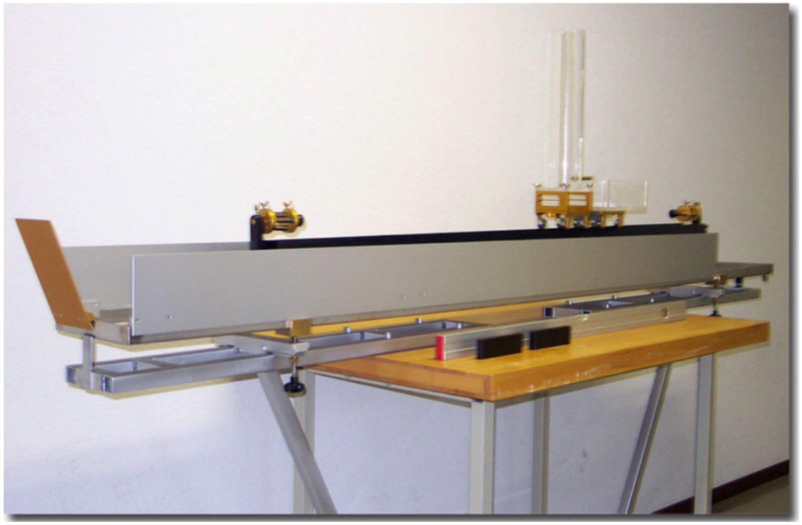




3.6.3.bis Chariot à eau

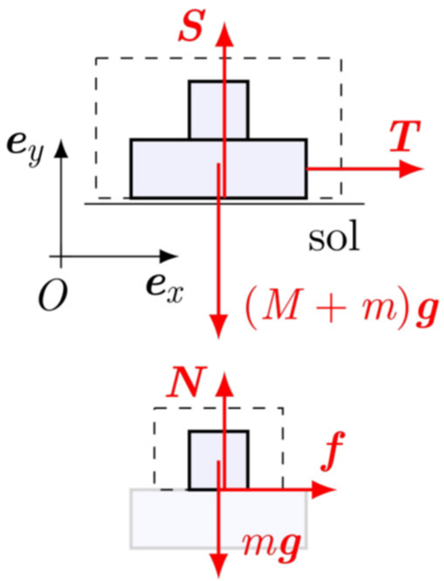
Expérience : Chariot à eau





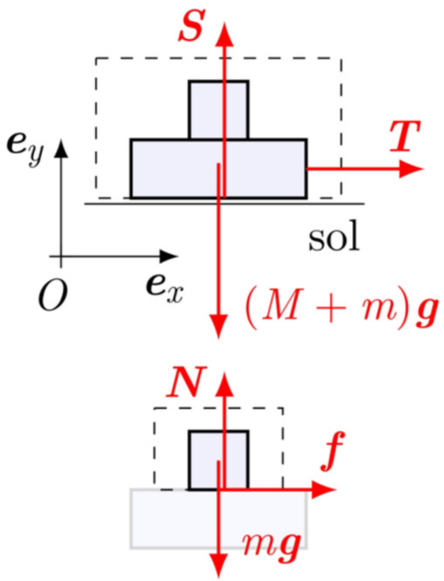
- Le chariot se déplace dans le sens opposé à l'écoulement de l'eau en absence de wagon. Si l'eau s'écoule dans un wagon récepteur accroché au chariot, l'ensemble reste immobile pour conserver la quantité de mouvement totale.

3.6.4 Blocs superposés



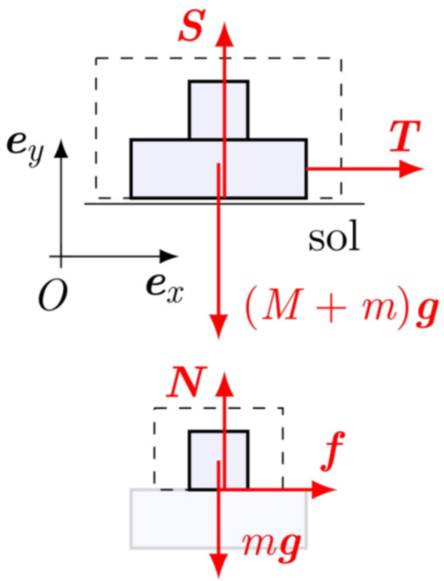
3.6.4 Blocs superposés

- 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 **S**, traction **T**

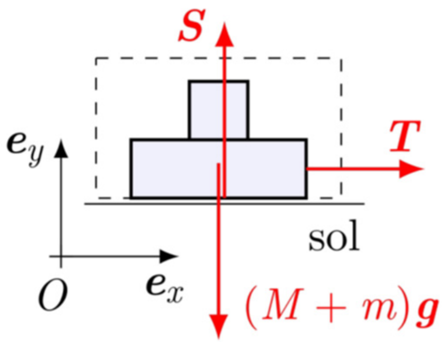
$$\mathbf{T} + (m+M)\mathbf{g} + \mathbf{S} = (m+M)\mathbf{a}$$

Selon $\mathbf{e}_x$:

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

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.

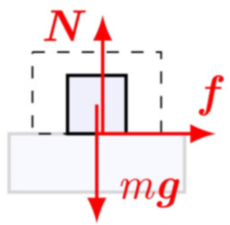


- <u>Objet #1</u> : les deux blocs
- <u>Forces</u> : poids $(m+M)\mathbf{g}$, soutien du sol **S**, traction **T**

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

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 :

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

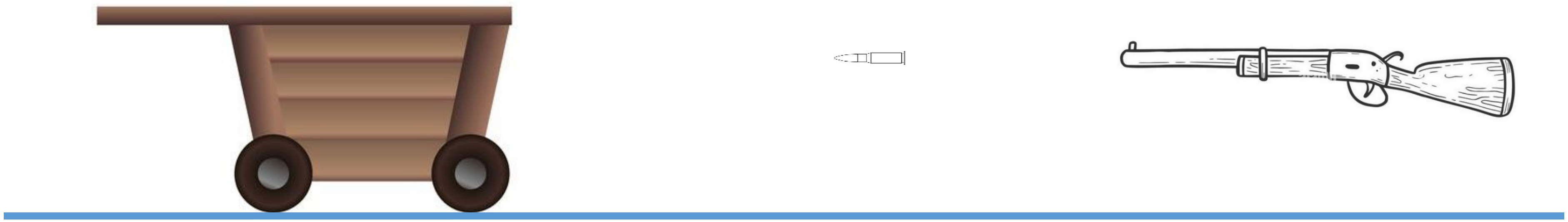
Remarque : En considérant comme objet le bloc inférieur, on aurait obtenu la loi du mouvement suivante : $\mathbf{T} + M\mathbf{g} + \mathbf{S} - \mathbf{f} - \mathbf{N} = M\mathbf{a}$ où les signes négatifs sont la conséquence de la troisième loi de Newton.

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

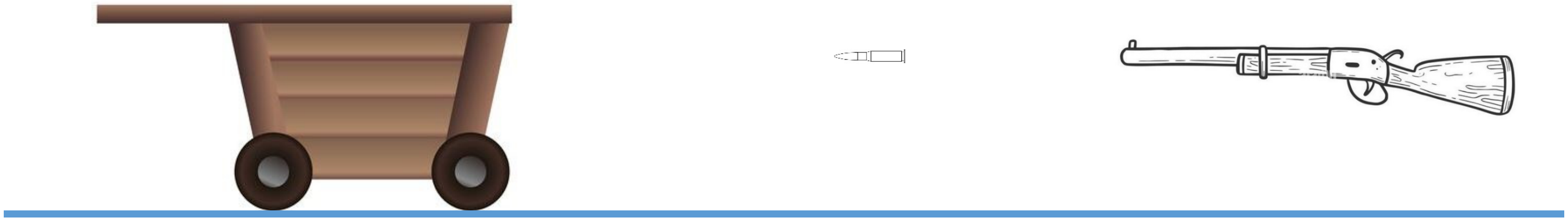
Les équations du mouvement (3.28), (3.29) et (3.31) sont linéairement dépendantes.

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

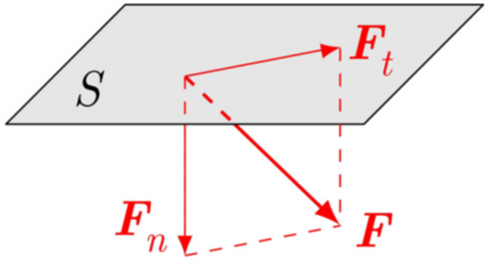
Énoncé 2 : Deux chariots A et B sont poussés l'un vers l'autre. (1) Initialement, B est immobile alors que A se déplace vers la droite à 0.5 $m.s^{-1}$. Après la collision, A repart en sens inverse à 0.1 $m.s^{-1}$ et B se déplace vers la droite à 0.3 $m.s^{-1}$. (2) Dans une deuxième expérience, on 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

3.7 Pression

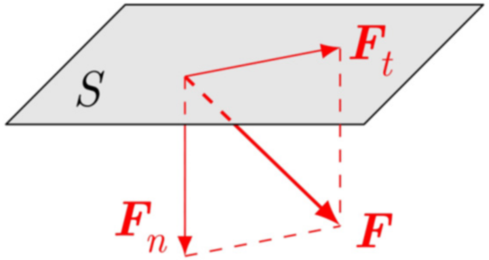
3.7 Pression et 3.7.1 pression moyenne



Pression moyenne

3.7 Pression et 3.7.1 pression moyenne

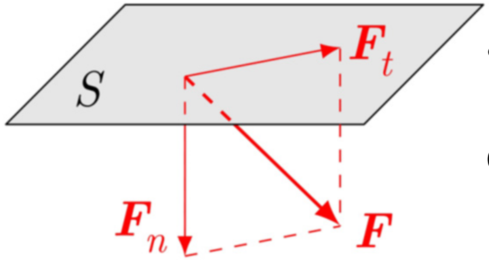
On considère une force **F** exercée sur la surface S d'un objet.



Pression moyenne

3.7 Pression et 3.7.1 pression moyenne

On considère une force **F** exercée sur la surface *S* d'un objet.



- On décompose la force **F** : $\boxed{\mathbf{F} = \mathbf{F_n} + \mathbf{F_t} \quad (3.32)}$

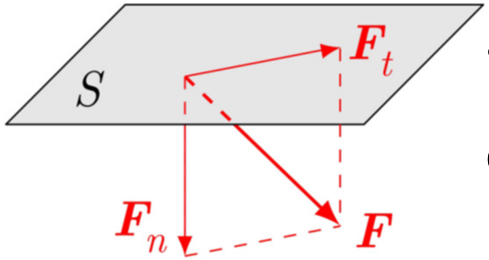
où $\mathbf{F_n}$ = force normale de compression

et $\mathbf{F_t}$ = force tangentielle de cisaillement

Pression moyenne

3.7 Pression et 3.7.1 pression moyenne

On considère une force $\mathbf{F}$ exercée sur la surface S d'un objet.



- On décompose la force $\mathbf{F}$: $\boxed{\mathbf{F} = \mathbf{F_n} + \mathbf{F_t} \quad (3.32)}$

où $\mathbf{F_n}$ = force normale de compression

et $\mathbf{F_t}$ = force tangentielle de cisaillement

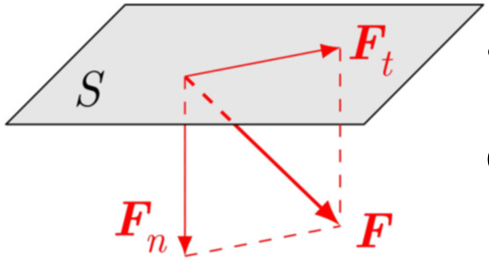
Pression moyenne

La pression moyenne est définie comme le rapport de la norme de la force normale et de la surface :

$$\boxed{p_{\text{moy}} = \frac{\|\mathbf{F_n}\|}{S} \quad (3.33)}$$

3.7 Pression et 3.7.1 pression moyenne

On considère une force **F** exercée sur la surface S d'un objet.



- On décompose la force **F** : $\boxed{\mathbf{F} = \mathbf{F_n} + \mathbf{F_t} \quad (3.32)}$

où $\mathbf{F_n}$ = force normale de compression

et $\mathbf{F_t}$ = force tangentielle de cisaillement

Pression moyenne

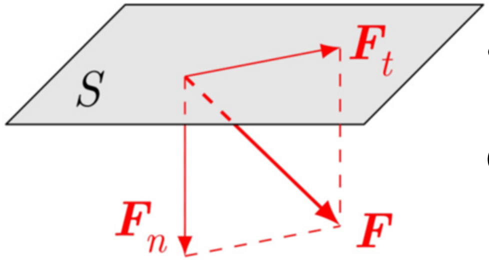
La pression moyenne est définie comme le rapport de la norme de la force normale et de la surface :

$$\boxed{p_{\text{moy}} = \frac{\|\mathbf{F_n}\|}{S} \quad (3.33)}$$

Elle donne la répartition moyenne de la force normale sur la surface de l'objet.

3.7 Pression et 3.7.1 pression moyenne

On considère une force **F** exercée sur la surface *S* d'un objet.



- On décompose la force **F** : $\boxed{\mathbf{F} = \mathbf{F_n} + \mathbf{F_t} \quad (3.32)}$

où $\mathbf{F_n}$ = force normale de compression

et $\mathbf{F_t}$ = force tangentielle de cisaillement

Pression moyenne

La pression moyenne est définie comme le rapport de la norme de la force normale et de la surface :

$$\boxed{p_{\text{moy}} = \frac{\|\mathbf{F_n}\|}{S} \quad (3.33)}$$

Elle donne la répartition moyenne de la force normale sur la surface de l'objet.

- Unité physique de la pression (SI) : le Pascal [Pa] = [$N.m^{-2}$] = [$kg.m^{-1}.s^{-2}$]

3.7.1 Pression moyenne

Exemple :

3.7.1 Pression moyenne

Exemple :

Une personne de masse m = 64 kg se tient sur un talon. On veut calculer la pression moyenne exercée sur le sol suivant la nature du talon (plat ou aiguille).

- À l'équilibre, la force exercée sur le sol est le poids de la personne $m\mathbf{g}$. Ainsi,

$$\boxed{p_{\text{moy}} = \frac{mg}{S} \quad (3.34)}$$

3.7.1 Pression moyenne

Exemple :

Une personne de masse m = 64 kg se tient sur un talon. On veut calculer la pression moyenne exercée sur le sol suivant la nature du talon (plat ou aiguille).

- À l'équilibre, la force exercée sur le sol est le poids de la personne $m\mathbf{g}$. Ainsi,

$$\boxed{p_{\text{moy}} = \frac{mg}{S} \quad (3.34)}$$

- Talon plat : $S = 16\ \text{cm}^2 \Rightarrow \quad p_{\text{moy}} = \dfrac{640}{16 \cdot 10^{-4}}\ \text{N.m}^{-2} = 4 \cdot 10^5\ \text{Pa}$
- Talon aiguille : $S = 1\ \text{cm}^2 \Rightarrow \quad p_{\text{moy}} = \dfrac{640}{1 \cdot 10^{-4}}\ \text{N.m}^{-2} = 64 \cdot 10^5\ \text{Pa}$

3.7.1 Pression moyenne

Exemple :

Une personne de masse m = 64 kg se tient sur un talon. On veut calculer la pression moyenne exercée sur le sol suivant la nature du talon (plat ou aiguille).

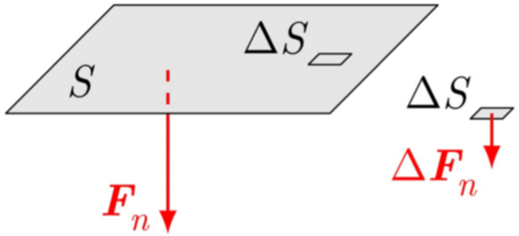
- À l'équilibre, la force exercée sur le sol est le poids de la personne $m\mathbf{g}$. Ainsi,

$$\boxed{p_{\text{moy}} = \frac{mg}{S} \quad (3.34)}$$

- Talon plat : $S = 16\ \text{cm}^2 \Rightarrow \quad p_{\text{moy}} = \dfrac{640}{16 \cdot 10^{-4}}\ \text{N.m}^{-2} = 4 \cdot 10^5\ \text{Pa}$
- Talon aiguille : $S = 1\ \text{cm}^2 \Rightarrow \quad p_{\text{moy}} = \dfrac{640}{1 \cdot 10^{-4}}\ \text{N.m}^{-2} = 64 \cdot 10^5\ \text{Pa}$

Pour exercer la même pression sur le sol avec un talon plat qu'avec un talon aiguille, il faudrait que la personne porte 15 autres personnes de masse identique.

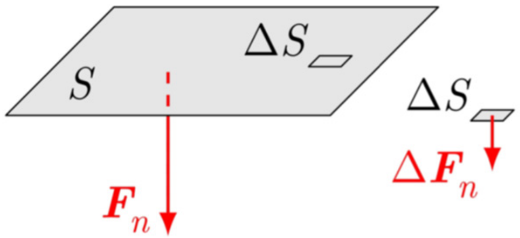
3.7.2 Pression locale



Remarque :

3.7.2 Pression locale

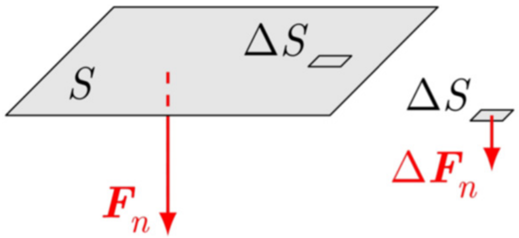
La force normale $\mathbf{F_n}$ n'agit a priori pas de la même manière sur toute la surface d'aire S. En divisant la surface en éléments d'aire ΔS, on met en évidence la contribution $\Delta\mathbf{F_n}$ sur chaque élément ΔS :



Remarque :

3.7.2 Pression locale

La force normale $\mathbf{F_n}$ n'agit a priori pas de la même manière sur toute la surface d'aire S. En divisant la surface en éléments d'aire ΔS, on met en évidence la contribution $\Delta\mathbf{F_n}$ sur chaque élément ΔS :



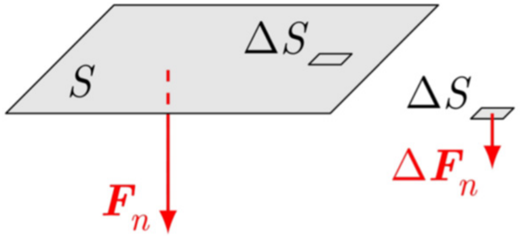
- Surface totale : $S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \ldots$
- Force normale : $\mathbf{F_n} = \Delta\mathbf{F_{n,1}} + \Delta\mathbf{F_{n,2}} + \ldots$
- Pression locale :

$$\boxed{p(\mathbf{r}) = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\left\|\Delta\mathbf{F_n}\right\|}{\Delta S} = \frac{dF_n}{dS} \quad (3.35)}$$

Remarque :

3.7.2 Pression locale

La force normale $\mathbf{F_n}$ n'agit a priori pas de la même manière sur toute la surface d'aire S. En divisant la surface en éléments d'aire ΔS, on met en évidence la contribution $\Delta\mathbf{F_n}$ sur chaque élément ΔS :



- Surface totale : $S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \ldots$
- Force normale : $\mathbf{F_n} = \Delta\mathbf{F_{n,1}} + \Delta\mathbf{F_{n,2}} + \ldots$
- Pression locale :

$$\boxed{p(\mathbf{r}) = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\left\|\Delta\mathbf{F_n}\right\|}{\Delta S} = \frac{dF_n}{dS} \quad (3.35)}$$

Remarque :

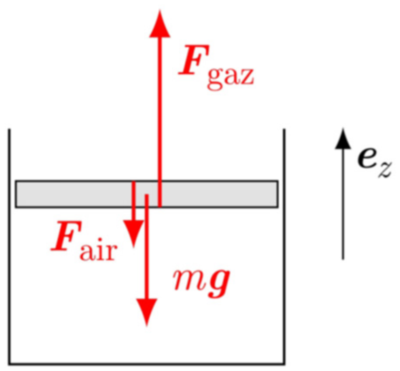
1. La pression est un scalaire positif, $p \geq 0$.
2. La pression est définie en tout point $\mathbf{r}$ de la surface et est a priori différente d'un endroit à l'autre : c'est une fonction de l'espace (et du temps), $p \equiv p(\mathbf{r},t)$.

3.7.2 Pression locale et 3.7.3 gaz dans un cylindre

Cas particulier :

Exemple :

Gaz dans un cylindre



3.7.2 Pression locale et 3.7.3 gaz dans un cylindre

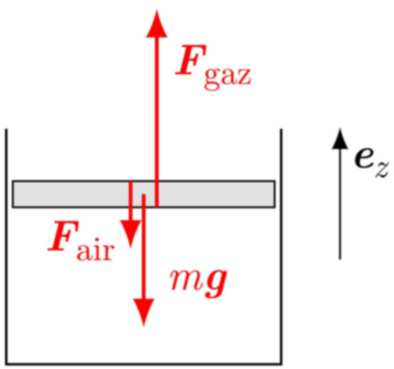
Cas particulier :

Si la force normale est uniforme sur la surface S, la pression est identique en tout point et égale à la pression moyenne. Ainsi,

$$\boxed{\left\| \mathbf{F_n} \right\| = pS \quad (3.36)}$$

Exemple :

Gaz dans un cylindre



3.7.2 Pression locale et 3.7.3 gaz dans un cylindre

Cas particulier :

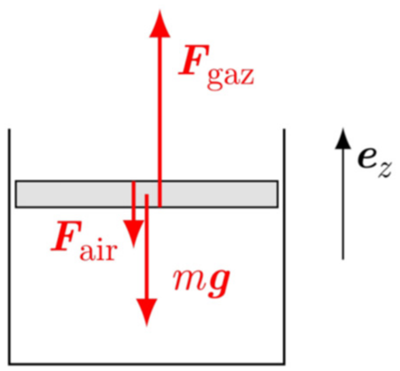
Si la force normale est uniforme sur la surface S, la pression est identique en tout point et égale à la pression moyenne. Ainsi,

$$\boxed{\left\|\mathbf{F_n}\right\| = pS \quad (3.36)}$$

Exemple :

La pression de l'air due aux chocs des molécules d'air sur les faces d'un objet.

Gaz dans un cylindre



3.7.2 Pression locale et 3.7.3 gaz dans un cylindre

Cas particulier :

Si la force normale est uniforme sur la surface S, la pression est identique en tout point et égale à la pression moyenne. Ainsi,

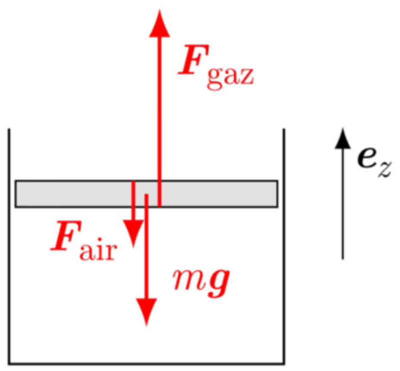
$$\boxed{\left\| \mathbf{F_n} \right\| = pS \quad (3.36)}$$

Exemple :

La pression de l'air due aux chocs des molécules d'air sur les faces d'un objet.

Gaz dans un cylindre

- On considère un gaz dans un cylindre fermé par un piston de masse m.



3.7.2 Pression locale et 3.7.3 gaz dans un cylindre

Cas particulier :

Si la force normale est uniforme sur la surface S, la pression est identique en tout point et égale à la pression moyenne. Ainsi,

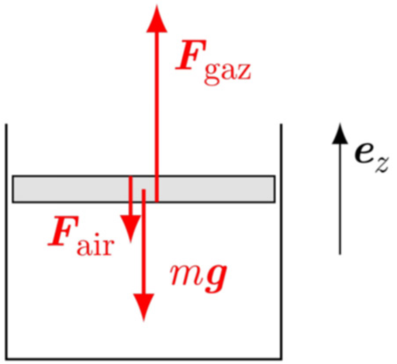
$$\boxed{\|\mathbf{F_n}\| = pS \quad (3.36)}$$

Exemple :

La pression de l'air due aux chocs des molécules d'air sur les faces d'un objet.

Gaz dans un cylindre

- On considère un gaz dans un cylindre fermé par un piston de masse m.



- <u>Objet</u> : piston
- <u>Forces</u> : poids $m\mathbf{g}$ et forces de pression $\mathbf{F}_{\text{air}}$ et $\mathbf{F}_{\text{gaz}}$

$$m\mathbf{g} + \mathbf{F}_{\text{air}} + \mathbf{F}_{\text{gaz}} = \mathbf{0}$$

- Selon $\mathbf{e}_z$:

$$-mg - p_{\text{air}}S + p_{\text{gaz}}S = 0 \Rightarrow p_{\text{gaz}} = p_{\text{air}} + \frac{mg}{S}$$

3.7.3 Gaz dans un cylindre et 3.7.4 loi des gaz parfaits

Remarque :

Autres unités de pression :

Loi des gaz parfaits

3.7.3 Gaz dans un cylindre et 3.7.4 loi des gaz parfaits

Remarque :

La pression de l'air à la surface de la terre a, en général, une valeur comprise entre

$0{,}95 \cdot 10^5 \text{ Pa} < p_{\text{air}} < 1{,}05 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

Autres unités de pression :

Loi des gaz parfaits

3.7.3 Gaz dans un cylindre et 3.7.4 loi des gaz parfaits

Remarque :

La pression de l'air à la surface de la terre a, en général, une valeur comprise entre
$0{,}95 \cdot 10^5$ Pa $< p_{\text{air}} <$ $1{,}05 \cdot 10^5$ Pa

Autres unités de pression :

- Le bar : 1 bar = 10^5 Pa
- L'atmosphère : 1 atm = $1{,}013 \cdot 10^5$ Pa
- Le millimètre de mercure : 1 atm = 760 mm Hg

Loi des gaz parfaits

3.7.3 Gaz dans un cylindre et 3.7.4 loi des gaz parfaits

Remarque :

La pression de l'air à la surface de la terre a, en général, une valeur comprise entre $0,95 \cdot 10^5$ Pa $< p_{\text{air}} <$ $1,05 \cdot 10^5$ Pa

Autres unités de pression :

- Le bar : 1 bar = 10^5 Pa
- L'atmosphère : 1 atm = $1,013 \cdot 10^5$ Pa
- Le millimètre de mercure : 1 atm = 760 mm Hg

Loi des gaz parfaits

- Un gaz parfait est un modèle de gaz idéalisé. Lorsque la pression d'un gaz est suffisamment basse, les gaz réels peuvent être modélisés par le modèle du gaz parfait. Dans le cas contraire, ils sont décrits par le modèle du gaz de Van der Waals.

3.7.4 Loi des gaz parfaits

3.7.4 Loi des gaz parfaits

- Équation d'état du gaz parfait : $\boxed{pV = Nk_{\mathrm{B}}T = nRT \quad (3.37)}$

3.7.4 Loi des gaz parfaits

- Équation d'état du gaz parfait : $\boxed{pV = Nk_B T = nRT \quad (3.37)}$

où

- p est la pression du gaz [Pa]
- V est le volume occupé par le gaz [m^3]
- T est la température du gaz [K]
- k_B est la constante de Boltzmann : $k_B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ [J.K^{-1}]
- N_A est la constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ molécules
- n est le nombre de moles de gaz : $n = N/N_A$
- R est la constante du gaz parfait : $R = N_A \cdot k_B = 8{,}31$ [J.K^{-1}.mole]