Chapitre 6 – *Impulsion & Chocs*

Sidi M. Khefif

Département de Physique
EPST Tlemcen

6 janvier 2013

I. Impulsion

Considérons un corps de masse m, soumis à une force $\vec{F}$ ($\vec{F} = \sum \vec{f}$). Le p.f.d. s'écrit :

$$\vec{F} = m\,\vec{a} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

I. Impulsion

Considérons un corps de masse m, soumis à une force $\vec{F}$ ($\vec{F} = \sum \vec{f}$). Le p.f.d. s'écrit :

$$\vec{F} = m\,\vec{a} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

Intégrons la force entre deux instants :

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\,dt = \int_{t_1}^{t_2} d\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1.$$

I. Impulsion

Considérons un corps de masse m, soumis à une force $\vec{F}$ ($\vec{F} = \sum \vec{f}$). Le p.f.d. s'écrit :

$$\vec{F} = m\,\vec{a} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

Intégrons la force entre deux instants :

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\,dt = \int_{t_1}^{t_2} d\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1.$$

Nous définissons l'impulsion comme :

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\,dt = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \Delta\vec{p}.$$

I. Impulsion

Considérons un corps de masse m, soumis à une force $\vec{F}$ ($\vec{F} = \sum \vec{f}$). Le p.f.d. s'écrit :

$$\vec{F} = m\,\vec{a} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

Intégrons la force entre deux instants :

$$\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\,dt = \int_{t_1}^{t_2} d\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1.$$

Nous définissons l'impulsion comme :

$$\vec{J} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\,dt = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \Delta\vec{p}.$$

Si la force est constante dans le temps : $\vec{F} = \vec{F}_{moy}$, alors

$$\vec{J} = \vec{F}_{moy} \int_{t_1}^{t_2} dt = \vec{F}_{moy}\ \Delta t.$$

Conclusion : *La variation de la quantité de mouvement d'un corps durant un intervalle de temps est égale à l'impulsion de la force agissant sur ce corps pendant cet intervalle.*

Conclusion : *La variation de la quantité de mouvement d'un corps durant un intervalle de temps est égale à l'impulsion de la force agissant sur ce corps pendant cet intervalle.*

Selon

$$\vec{p}_2 = \vec{p}_1 + \vec{J},$$

Conclusion : *La variation de la quantité de mouvement d'un corps durant un intervalle de temps est égale à l'impulsion de la force agissant sur ce corps pendant cet intervalle.*

Selon

$$\vec{p}_2 = \vec{p}_1 + \vec{J},$$

on peut donc conclure que la quantité de mouvement d'une particule est égale à l'impulsion qui l'a accélérée du repos ($\vec{p}_1 = 0$) à la vitesse actuelle.

Conclusion : *La variation de la quantité de mouvement d'un corps durant un intervalle de temps est égale à l'impulsion de la force agissant sur ce corps pendant cet intervalle.*
Selon

$$\vec{p}_2 = \vec{p}_1 + \vec{J},$$

on peut donc conclure que la quantité de mouvement d'une particule est égale à l'impulsion qui l'a accélérée du repos ($\vec{p}_1 = 0$) à la vitesse actuelle.

Question : La dernière conclusion vous rappelle quelque chose ?

Conclusion : *La variation de la quantité de mouvement d'un corps durant un intervalle de temps est égale à l'impulsion de la force agissant sur ce corps pendant cet intervalle.*

Selon

$$\vec{p}_2 = \vec{p}_1 + \vec{J},$$

on peut donc conclure que la quantité de mouvement d'une particule est égale à l'impulsion qui l'a accélérée du repos ($\vec{p}_1 = 0$) à la vitesse actuelle.

Question : La dernière conclusion vous rappelle quelque chose ?

Réponse : La définition de l'énergie cinétique E_c.

Conclusion : *La variation de la quantité de mouvement d'un corps durant un intervalle de temps est égale à l'impulsion de la force agissant sur ce corps pendant cet intervalle.*
Selon

$$\vec{p}_2 = \vec{p}_1 + \vec{J},$$

on peut donc conclure que la quantité de mouvement d'une particule est égale à l'impulsion qui l'a accélérée du repos ($\vec{p}_1 = 0$) à la vitesse actuelle.

Question : La dernière conclusion vous rappelle quelque chose ?

Réponse : La définition de l'énergie cinétique E_c.

Il est intéressant de faire le parallèle suivant :

$$\begin{cases} W &= \int \vec{F} \cdot \vec{dl} \\ \vec{J} &= \int \vec{F}\, dt \end{cases}$$

- Que signifie (mathématiquement) l'équation suivante ?

$$\vec{J} = \Delta\vec{p} = \begin{cases} \displaystyle\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\, dt \\ \\ \vec{F}_{moy}\ \Delta t \end{cases}$$

- Que signifie (mathématiquement) l'équation suivante ?

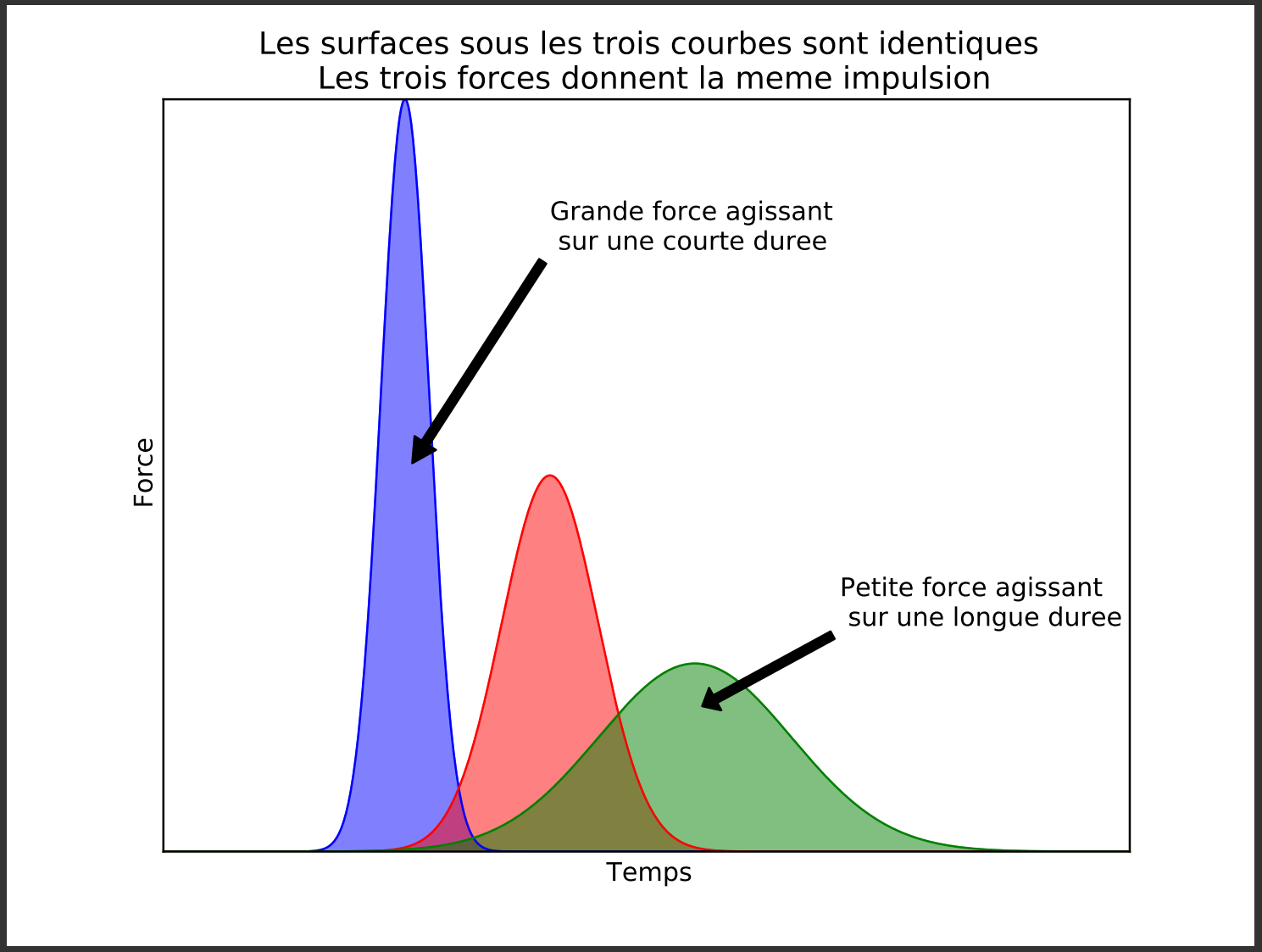
$$\vec{J} = \Delta\vec{p} = \begin{cases} \displaystyle\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\, dt \\ \\ \vec{F}_{moy}\ \Delta t \end{cases}$$

- Une impulsion $\vec{J}$ donnée peut s'obtenir en appliquant une grande force sur une courte durée, ou bien, en appliquant une petite force pendant une longue durée.

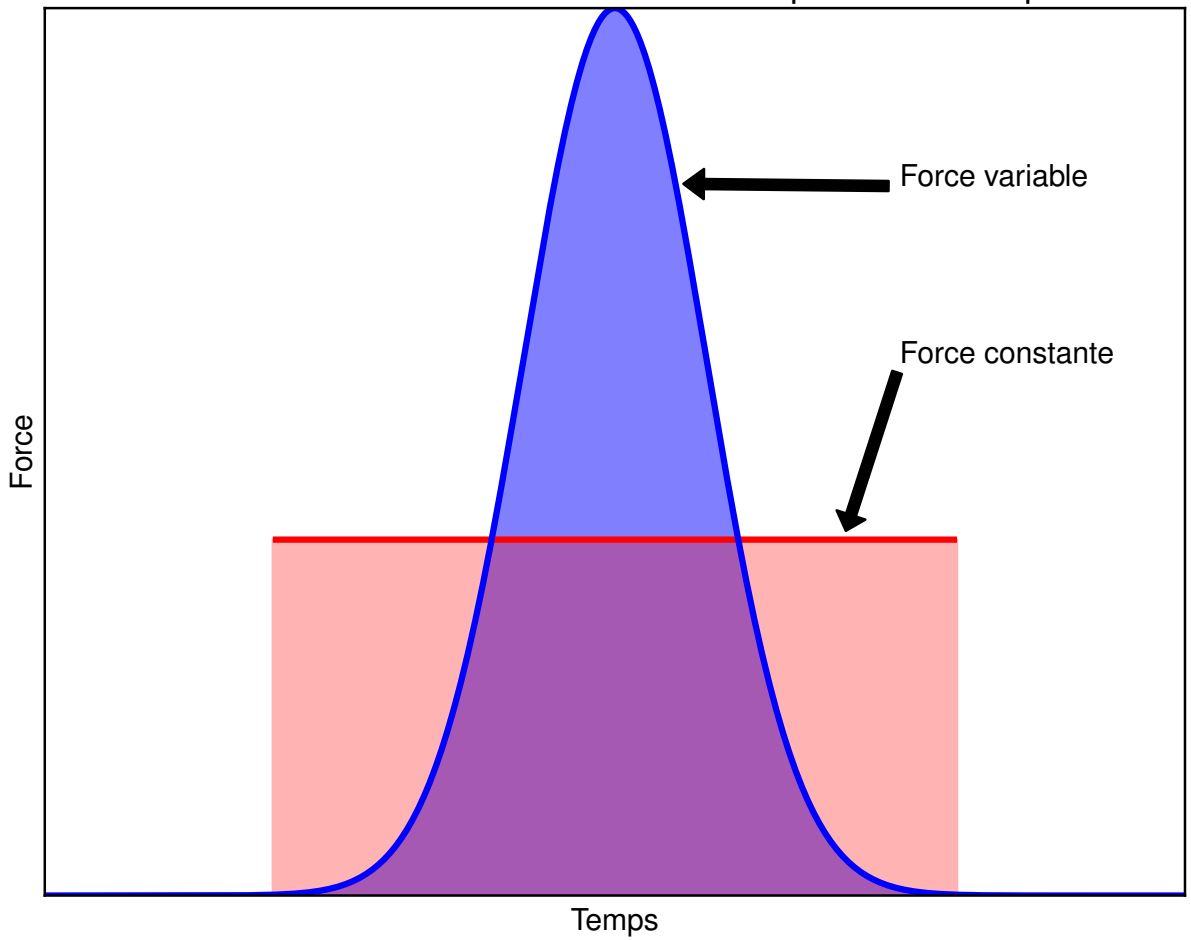
- Que signifie (mathématiquement) l'équation suivante ?

$$\vec{J} = \Delta\vec{p} = \begin{cases} \displaystyle\int_{t_1}^{t_2} \vec{F}\,dt \\ \\ \vec{F}_{moy}\ \Delta t \end{cases}$$

- Une impulsion $\vec{J}$ donnée peut s'obtenir en appliquant une grande force sur une courte durée, ou bien, en appliquant une petite force pendant une longue durée.
- En utilisant ce langage, un coussin d'air (airbag) une fois activé, il communiquera la même implusion au conducteur d'un véhicule que le volant et le tableau de bord, mais en appliquant sur lui une moindre force durant un temps plus long.


Les surfaces sous les trois courbes sont identiques
Les trois forces donnent la meme impulsion
Grande force agissant
sur une courte duree
Petite force agissant
sur une longue duree
Force
Temps

Les surfaces sous les courbes des forces representent l'impulsion



II. Conservation de la quantitié de mouvement

Considérons deux masses ponctuelles a et b. La masse a agit sur b avec la force $\vec{F}_{a/b}$ et b agit sur a avec $\vec{F}_{b/a}$.

II. Conservation de la quantitié de mouvement

Considérons deux masses ponctuelles a et b. La masse a agit sur b avec la force $\vec{F}_{a/b}$ et b agit sur a avec $\vec{F}_{b/a}$. D'après la 3e loi de Newton,

$$\vec{F}_{a/b} = -\vec{F}_{b/a}.$$

II. Conservation de la quantitié de mouvement

Considérons deux masses ponctuelles a et b. La masse a agit sur b avec la force $\vec{F}_{a/b}$ et b agit sur a avec $\vec{F}_{b/a}$. D'après la 3e loi de Newton,

$$\vec{F}_{a/b} = -\vec{F}_{b/a}.$$

On écrit, alors :

$$\vec{F}_{b/a} = \frac{d\vec{p}_a}{dt} \qquad \text{et} \qquad \vec{F}_{a/b} = \frac{d\vec{p}_b}{dt}$$

II. Conservation de la quantitié de mouvement

Considérons deux masses ponctuelles a et b. La masse a agit sur b avec la force $\vec{F}_{a/b}$ et b agit sur a avec $\vec{F}_{b/a}$. D'après la 3e loi de Newton,

$$\vec{F}_{a/b} = -\vec{F}_{b/a}.$$

On écrit, alors :

$$\vec{F}_{b/a} = \frac{d\vec{p}_a}{dt} \qquad \text{et} \qquad \vec{F}_{a/b} = \frac{d\vec{p}_b}{dt}$$

d'où

$$\vec{F}_{b/a} + \vec{F}_{a/b} = \frac{d\vec{p}_a}{dt} + \frac{d\vec{p}_b}{dt} = \frac{d(\vec{p}_a + \vec{p}_b)}{dt} = 0$$

II. Conservation de la quantitié de mouvement

Considérons deux masses ponctuelles a et b. La masse a agit sur b avec la force $\vec{F}_{a/b}$ et b agit sur a avec $\vec{F}_{b/a}$. D'après la 3e loi de Newton,

$$\vec{F}_{a/b} = -\vec{F}_{b/a}.$$

On écrit, alors :

$$\vec{F}_{b/a} = \frac{d\vec{p}_a}{dt} \qquad \text{et} \qquad \vec{F}_{a/b} = \frac{d\vec{p}_b}{dt}$$

d'où

$$\vec{F}_{b/a} + \vec{F}_{a/b} = \frac{d\vec{p}_a}{dt} + \frac{d\vec{p}_b}{dt} = \frac{d(\vec{p}_a + \vec{p}_b)}{dt} = 0$$

Nous définissons la quantité de mouvement totale de notre système de masses : $\vec{P}_{tot} = \vec{p}_a + \vec{p}_b = \sum_i \vec{p}_i$.

II. Conservation de la quantitié de mouvement

Considérons deux masses ponctuelles a et b. La masse a agit sur b avec la force $\vec{F}_{a/b}$ et b agit sur a avec $\vec{F}_{b/a}$. D'après la 3e loi de Newton,

$$\vec{F}_{a/b} = -\vec{F}_{b/a}.$$

On écrit, alors :

$$\vec{F}_{b/a} = \frac{d\vec{p}_a}{dt} \qquad \text{et} \qquad \vec{F}_{a/b} = \frac{d\vec{p}_b}{dt}$$

d'où

$$\vec{F}_{b/a} + \vec{F}_{a/b} = \frac{d\vec{p}_a}{dt} + \frac{d\vec{p}_b}{dt} = \frac{d(\vec{p}_a + \vec{p}_b)}{dt} = 0$$

Nous définissons la quantité de mouvement totale de notre système de masses : $\vec{P}_{tot} = \vec{p}_a + \vec{p}_b = \sum_i \vec{p}_i$. Nous trouvons, alors :

$$\frac{d\vec{P}_{tot}}{dt} = 0.$$

II.1 Théorème

D'après ce qui précède, on a vu que la variation temporelle de la quantité de mouvement totale est nulle, *i.e.*, $\vec{P}_{tot}$ est *constant* ou *conservé*, même si les quantités de mouvement individuelles $\vec{p}_i$ ne le sont pas. De ce fait, on cite le théorème suivant :

II.1 Théorème

D'après ce qui précède, on a vu que la variation temporelle de la quantité de mouvement totale est nulle, *i.e.*, $\vec{P}_{tot}$ est *constant* ou *conservé*, même si les quantités de mouvement individuelles $\vec{p}_i$ ne le sont pas. De ce fait, on cite le théorème suivant :

Théorème

En l'absence de force extérieures, ou si leur résultante est nulle, la quantité de mouvement totale d'un système matériel est une constante du mouvement.

II.1 Théorème

D'après ce qui précède, on a vu que la variation temporelle de la quantité de mouvement totale est nulle, *i.e.*, $\vec{P}_{tot}$ est *constant* ou *conservé*, même si les quantités de mouvement individuelles $\vec{p}_i$ ne le sont pas. De ce fait, on cite le théorème suivant :

Théorème

En l'absence de force extérieures, ou si leur résultante est nulle, la quantité de mouvement totale d'un système matériel est une constante du mouvement.

Question :
À quel type de symétrie cette loi de conservation est-elle intimement liée ? (Théorème de Noether).

II.2 Exemple : Le recul d'une arme à feu

Un chasseur tient un fusil de masse $m_f = 3.0$ kg. Ce dernier tire horizontalement une balle de masse $m_b = 5.0$ g à la vitesse $v = 300$ m s^{-1}. Que fait le fusil ?

II.2 Exemple : Le recul d'une arme à feu

Un chasseur tient un fusil de masse $m_f = 3.0$ kg. Ce dernier tire horizontalement une balle de masse $m_b = 5.0$ g à la vitesse $v = 300$ m s^{-1}. Que fait le fusil ?

Avant le tir

$$v_b = 0$$
$$v_f = 0$$

$$\begin{aligned} P_{tot,x} &= p_{b,x} + p_{f,x} \\ &= 0 + 0 = 0 \end{aligned}$$

II.2 Exemple : Le recul d'une arme à feu

Un chasseur tient un fusil de masse $m_f = 3.0$ kg. Ce dernier tire horizontalement une balle de masse $m_b = 5.0$ g à la vitesse $v = 300$ m s^{-1}. Que fait le fusil ?

Avant le tir

$$v_b = 0$$
$$v_f = 0$$

$$\begin{aligned} P_{tot,x} &= p_{b,x} + p_{f,x} \\ &= 0 + 0 = 0 \end{aligned}$$

Après le tir

$$v'_b = 300 \text{ m s}^{-1}$$
$$v'_f = ?$$

$$\begin{aligned} P'_{tot,x} &= p'_{b,x} + p'_{f,x} \\ &= m_b v'_{b,x} + m_f v'_{f,x} \\ &= P_{tot,x} = 0 \quad \text{(quantité conservée)} \end{aligned}$$

d'où

$$v'_{f,x} = -\frac{m_b}{m_f} v'_{b,x} = -0.5 \text{ m s}^{-1}$$

Le fusil recule ! (démonstration)

III. Les chocs

- Lorsque deux corps (ou plus) s'approchent l'un de l'autre, leur interaction mutuelle modifie leur mouvement et produit un échange de quantité de mouvement et d'énergie.

III. Les chocs

- Lorsque deux corps (ou plus) s'approchent l'un de l'autre, leur interaction mutuelle modifie leur mouvement et produit un échange de quantité de mouvement et d'énergie.
- Ces interactions sont de (très) courte durée. Dans un jeu de billard ou de pétanque, le temps de contact entre les boules est $\sim 10^{-4}$ s, alors qu'une balle de tennis reste en contact avec la raquette $\sim 10^{-3}$ s.

III. Les chocs

- Lorsque deux corps (ou plus) s'approchent l'un de l'autre, leur interaction mutuelle modifie leur mouvement et produit un échange de quantité de mouvement et d'énergie.
- Ces interactions sont de (très) courte durée. Dans un jeu de billard ou de pétanque, le temps de contact entre les boules est $\sim 10^{-4}$ s, alors qu'une balle de tennis reste en contact avec la raquette $\sim 10^{-3}$ s.
- À l'échelle microscopique, les corps n'entrent pas nécéssairement en contact, le choc est basé sur l'interaction (à distance) répulsive des charges des nuages électroniques.

III. Les Chocs (suite)

- Dans une collision, si les forces entre les corps sont conservatives, *i.e.*, aucune énergie mécanique n'est perdue ou gagnée lors de la collision, l'énergie cinétique totale du système est la même avant et après la collision. On parle alors de *choc élastique*. (Ex. jeu de billard, berceau de Newton ou même un carreau).

III. Les Chocs (suite)

- Dans une collision, si les forces entre les corps sont conservatives, *i.e.*, aucune énergie mécanique n'est perdue ou gagnée lors de la collision, l'énergie cinétique totale du système est la même avant et après la collision. On parle alors de *choc élastique*. (Ex. jeu de billard, berceau de Newton ou même un carreau).
- Par contre, lorsque l'énergie cinétique totale après collision est plus petite qu'avant la collision, on parle de *choc inélastique*, il y a ici *dissipation ou perte d'énergie*. (Ex. balle de tennis).

III. Les Chocs (suite)

- Dans une collision, si les forces entre les corps sont conservatives, *i.e.*, aucune énergie mécanique n'est perdue ou gagnée lors de la collision, l'énergie cinétique totale du système est la même avant et après la collision. On parle alors de *choc élastique*. (Ex. jeu de billard, berceau de Newton ou même un carreau).
- Par contre, lorsque l'énergie cinétique totale après collision est plus petite qu'avant la collision, on parle de *choc inélastique*, il y a ici *dissipation ou perte d'énergie*. (Ex. balle de tennis).
- Un choc inélastiqe dans lequel les corps en collision adhèrent les uns aux autres et se déplacent comme un seul corps après le choc est dit *parfaitement inélastique* ou *choc mou*. (Ex. collision de boules en pâte à modeler).

III. Les Chocs (suite)

- Dans une collision, si les forces entre les corps sont conservatives, *i.e.*, aucune énergie mécanique n'est perdue ou gagnée lors de la collision, l'énergie cinétique totale du système est la même avant et après la collision. On parle alors de *choc élastique*. (Ex. jeu de billard, berceau de Newton ou même un carreau).
- Par contre, lorsque l'énergie cinétique totale après collision est plus petite qu'avant la collision, on parle de *choc inélastique*, il y a ici *dissipation ou perte d'énergie*. (Ex. balle de tennis).
- Un choc inélastiqe dans lequel les corps en collision adhèrent les uns aux autres et se déplacent comme un seul corps après le choc est dit *parfaitement inélastique* ou *choc mou*. (Ex. collision de boules en pâte à modeler).
- Lors d'un choc oblique (2D), il faut projeter l'équation de la conservation de la quantité de mouvement sur les deux axes principaux.

III.1 Étude de cas : Choc parfaitement inélastique (1D)

Avant le choc, nous avons : v_a, v_b. Après le choc, nous aurons : $v'_a = v'_b = v'$ (adhésion des deux masses).

III.1 Étude de cas : Choc parfaitement inélastique (1D)

Avant le choc, nous avons : v_a, v_b. Après le choc, nous aurons : $v'_a = v'_b = v'$ (adhésion des deux masses).

La quantité de mouvement totale est conservée :

$$m_a v_a + m_b v_b = (m_a + m_b) v'.$$

III.1 Étude de cas : Choc parfaitement inélastique (1D)

Avant le choc, nous avons : v_a, v_b. Après le choc, nous aurons : $v'_a = v'_b = v'$ (adhésion des deux masses).
La quantité de mouvement totale est conservée :

$$m_a v_a + m_b v_b = (m_a + m_b) v'.$$

Pour faire simple, on prendra la masse b au repos avant le choc : $v_b = 0$, alors

$$v' = \frac{m_a}{m_a + m_b} v_a.$$

III.1 Étude de cas : Choc parfaitement inélastique (1D)

Avant le choc, nous avons : v_a, v_b. Après le choc, nous aurons : $v'_a = v'_b = v'$ (adhésion des deux masses).
La quantité de mouvement totale est conservée :

$$m_a v_a + m_b v_b = (m_a + m_b) v'.$$

Pour faire simple, on prendra la masse b au repos avant le choc : $v_b = 0$, alors

$$v' = \frac{m_a}{m_a + m_b} v_a.$$

L'énergie cinétique est $E_c = \frac{1}{2} m_a v_a^2 + 0$ avant le choc.

III.1 Étude de cas : Choc parfaitement inélastique (1D)

Avant le choc, nous avons : v_a, v_b. Après le choc, nous aurons : $v'_a = v'_b = v'$ (adhésion des deux masses).
La quantité de mouvement totale est conservée :

$$m_a v_a + m_b v_b = (m_a + m_b) v'.$$

Pour faire simple, on prendra la masse b au repos avant le choc : $v_b = 0$, alors

$$v' = \frac{m_a}{m_a + m_b} v_a.$$

L'énergie cinétique est $E_c = \frac{1}{2} m_a v_a^2 + 0$ avant le choc. Après le choc, elle s'écrit :

$$\begin{aligned} E'_c &= \frac{1}{2}(m_a + m_b) v'^{\,2} = \frac{1}{2}(m_a + m_b) \frac{m_a^2}{(m_a + m_b)^2} v_a^2 \\ &= \frac{1}{2} \frac{m_a^2}{m_a + m_b} v_a^2 \end{aligned}$$

III.1 Étude de cas : Choc parfaitement inélastique (1D)

Avant le choc, nous avons : v_a, v_b. Après le choc, nous aurons : $v'_a = v'_b = v'$ (adhésion des deux masses).
La quantité de mouvement totale est conservée :

$$m_a v_a + m_b v_b = (m_a + m_b) v'.$$

Pour faire simple, on prendra la masse b au repos avant le choc : $v_b = 0$, alors

$$v' = \frac{m_a}{m_a + m_b} v_a.$$

L'énergie cinétique est $E_c = \frac{1}{2} m_a v_a^2 + 0$ avant le choc. Après le choc, elle s'écrit :

$$\begin{aligned} E'_c &= \frac{1}{2}(m_a + m_b) v'^{\,2} = \frac{1}{2}(m_a + m_b) \frac{m_a^2}{(m_a + m_b)^2} v_a^2 \\ &= \frac{1}{2} \frac{m_a^2}{m_a + m_b} v_a^2 \end{aligned}$$

Alors : $\frac{E'_c}{E_c} = \frac{m_a}{m_a + m_b} < 1 \longrightarrow$ Il y a perte d'énergie cinétique !

III.2 Étude de cas : Choc élastique (1D)

Pour faire simple, on prendra la masse b au repos avant le choc : $v_b = 0$.

III.2 Étude de cas : Choc élastique (1D)

Pour faire simple, on prendra la masse b au repos avant le choc : $v_b = 0$. Dans ce cas, la quantité de mouvement et l'énergie cinétique du sytème dans son ensemble sont conservées :

$$E_{ca} + E_{cb} = E'_{ca} + E'_{cb},$$
$$p_a + p_b = p'_a + p'_b.$$

III.2 Étude de cas : Choc élastique (1D)

Pour faire simple, on prendra la masse b au repos avant le choc : $v_b = 0$. Dans ce cas, la quantité de mouvement et l'énergie cinétique du sytème dans son ensemble sont conservées :

$$E_{ca} + E_{cb} = E'_{ca} + E'_{cb},$$
$$p_a + p_b = p'_a + p'_b.$$

Autrement dit,

$$\frac{1}{2} m_a v_a^2 + 0 = \frac{1}{2} m_a v_a'^2 + \frac{1}{2} m_b v_b'^2,$$
$$m_a v_a + 0 = m_a v'_a + m_b v'_b.$$

III.2 Étude de cas : Choc élastique (1D)

Pour faire simple, on prendra la masse b au repos avant le choc : $v_b = 0$. Dans ce cas, la quantité de mouvement et l'énergie cinétique du sytème dans son ensemble sont conservées :

$$E_{ca} + E_{cb} = E'_{ca} + E'_{cb},$$
$$p_a + p_b = p'_a + p'_b.$$

Autrement dit,

$$\frac{1}{2} m_a v_a^2 + 0 = \frac{1}{2} m_a v_a'^2 + \frac{1}{2} m_b v_b'^2,$$
$$m_a v_a + 0 = m_a v'_a + m_b v'_b.$$

On obtient :

$$v'_a = \frac{m_a - m_b}{m_a + m_b} v_a \qquad \text{et} \qquad v'_b = \frac{2m_a}{m_a + m_b} v_a.$$

Discussion des résultats :

$$v_a' = \frac{m_a - m_b}{m_a + m_b} v_a \qquad \text{et} \qquad v_b' = \frac{2m_a}{m_a + m_b} v_a .$$

- Si $m_a \ll m_b$ (balle de ping-pong contre boule de bowling) :

$$v_a' = -v_a \qquad \text{et} \qquad v_b' \sim 0.$$

Discussion des résultats :

$$v'_a = \frac{m_a - m_b}{m_a + m_b} v_a \qquad \text{et} \qquad v'_b = \frac{2m_a}{m_a + m_b} v_a .$$

- Si $m_a \ll m_b$ (balle de ping-pong contre boule de bowling) :

$$v'_a = -v_a \qquad \text{et} \qquad v'_b \sim 0.$$

- Si $m_a = m_b$ (deux boules de pétanque) :

$$v'_a = 0 \qquad \text{et} \qquad v'_b = v_a .$$

Discussion des résultats :

$$v'_a = \frac{m_a - m_b}{m_a + m_b} v_a \qquad \text{et} \qquad v'_b = \frac{2m_a}{m_a + m_b} v_a .$$

- Si $m_a \ll m_b$ (balle de ping-pong contre boule de bowling) :

$$v'_a = -v_a \qquad \text{et} \qquad v'_b \sim 0.$$

- Si $m_a = m_b$ (deux boules de pétanque) :

$$v'_a = 0 \qquad \text{et} \qquad v'_b = v_a .$$

- En TD, d'autres cas seront traités.