

Chapitre 3.12 – L'impulsion

L'impulsion d'une force constante

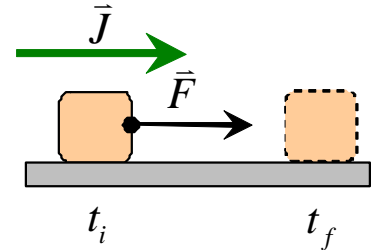
L'impulsion est le transfert de quantité de mouvement causé par une force \vec{F} appliquée durant un intervalle de temps Δt :

$$\vec{J} = \vec{F} \Delta t$$

où \vec{J} : Impulsion appliquée sur un objet (Ns ou kg·m/s).

\vec{F} : Force qui effectue l'impulsion (N).

Δt : Durée d'application de la force ($\Delta t = t_f - t_i$) (s).



Conservation de la quantité de mouvement avec impulsion

Puisque qu'une impulsion produit une variation de la quantité de mouvement, nous pouvons ajouter ce terme à notre théorème de la conservation de la quantité de mouvement :

$$\vec{p}_f = \vec{p}_i + \vec{J}_{ext}$$

où \vec{p}_f : Quantité de mouvement final (Ns ou kg·m/s)

\vec{p}_i : Quantité de mouvement initial (Ns ou kg·m/s)

\vec{J}_{ext} : Impulsion totale extérieure appliquée (Ns ou kg·m/s)

Preuve :

Avec la 2^{ième} loi de Newton, on réalise que c'est l'application d'une force extérieure durant un intervalle de temps (impulsion) qui produit une variation de la quantité de mouvement :

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad \Rightarrow \quad \vec{F} = m\vec{a} \quad (\text{Étude de l'effet d'une seule force extérieure})$$

$$\Rightarrow \quad \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (\text{Définition de l'accélération, } \vec{a} = d\vec{v} / dt)$$

$$\Rightarrow \quad \vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \quad (\text{Entrer la constante dans la dérivée})$$

$$\Rightarrow \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (\text{Quantité de mouvement, } \vec{p} = m\vec{v})$$

$$\Rightarrow \quad d\vec{p} = \vec{F} dt \quad (\text{Isoler } d\vec{p})$$

$$\Rightarrow \quad \Delta\vec{p} = \vec{F} \Delta t \quad (\text{Force constante : } d \rightarrow \Delta)$$

$$\Rightarrow \quad \vec{p}_f - \vec{p}_i = \vec{J}_{ext} \quad (\text{Remplacer } \vec{J}_{ext} = \vec{F} \Delta t \text{ et } \Delta\vec{p} = \vec{p}_f - \vec{p}_i)$$

$$\Rightarrow \quad \vec{p}_f = \vec{p}_i + \vec{J}_{ext} \quad \blacksquare \quad (\text{Réécriture})$$

Situation A : On pousse une boîte. Une boîte 2 kg ayant une vitesse initiale de 2 m/s selon l'axe x est poussée à l'aide d'une force de 5 N selon l'axe des x pendant 3 secondes. On désire déterminer la quantité de mouvement de la boîte après 3 secondes de poussée.

Quantité de mouvement initiale :

$$\vec{p}_i = m\vec{v}_i \quad \Rightarrow \quad \vec{p}_i = (2)(2\vec{i}) \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vec{p}_i = 4 \vec{i} \text{ Ns}}$$

Impulsion donnée à la boîte :

$$\vec{J} = \vec{F} \Delta t \quad \Rightarrow \quad \vec{J} = (5\vec{i})(3) \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vec{J} = 15 \vec{i} \text{ Ns}}$$

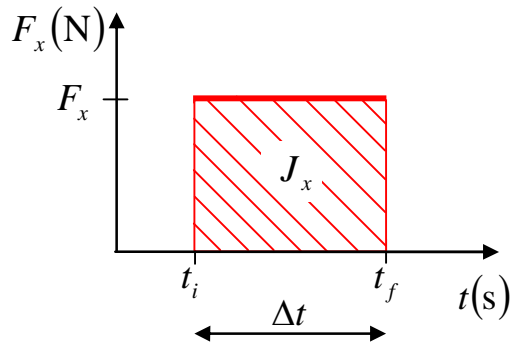
La quantité de mouvement après 3 secondes :

$$\vec{p}_f = \vec{p}_i + \vec{J}_{ext} \Rightarrow \quad \vec{p}_f = (4\vec{i}) + (15\vec{i}) \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vec{p}_f = 19 \vec{i} \text{ Ns}}$$

L'impulsion d'une force non constante

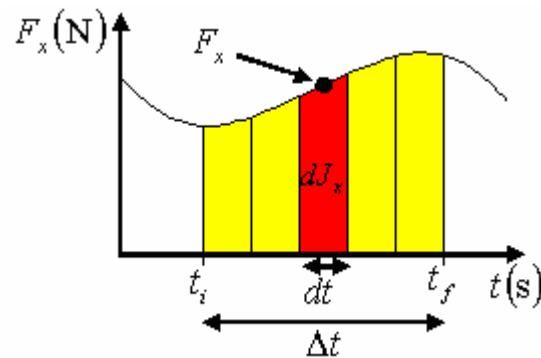
Pour évaluer l'impulsion \vec{J} d'une force \vec{F} , nous avons besoin d'évaluer **l'aire sous la courbe** d'un graphique de **force en fonction** du temps t . Ce calcul peut s'effectuer grâce à **l'intégrale** d'une fonction $F_x(t)$:

Force constante dans le temps :



Équation : $J_x = F_x \Delta t$

Force non constante dans le temps :

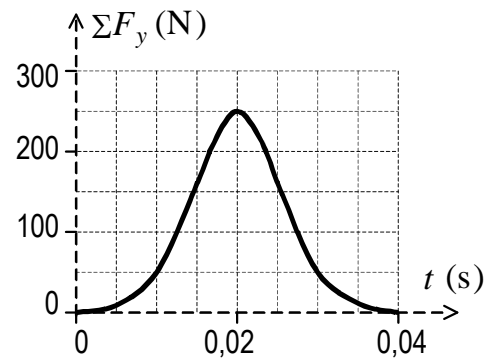


Équation : $J_x = \int_{t_i}^{t_f} F_x dt$

Sous forme vectorielle, l'impulsion prend la forme suivante :

$$\vec{J} = \int_{t_i}^{t_f} \vec{F} dt$$

Situation 1 : Une balle rebondit. Une balle de 0,1 kg rebondit sur le sol. L'interaction entre le sol et la balle dure 0,04 s. Pendant cet intervalle de temps, la force résultante agissant sur la balle (selon un axe y dont le sens positif est orienté vers le haut) est donnée par le graphique ci-contre. Immédiatement avant le début de l'interaction, la vitesse de la balle est égale à $-20 \vec{j}$ m/s. On désire déterminer sa vitesse immédiatement après la fin de l'interaction.



Évaluons la quantité de mouvement avant l'impact :

$$\vec{p}_i = m\vec{v}_i \quad \Rightarrow \quad \vec{p}_i = (0,1)(-20\vec{j}) \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vec{p}_i = -2 \vec{j} \text{ Ns}}$$

Évaluons l'impulsion donnée par le sol :

$$1 \text{ carré} = 1 \text{ un} = 50 \text{ N} \times 0,005 \text{ s} = 0,25 \text{ Ns}$$

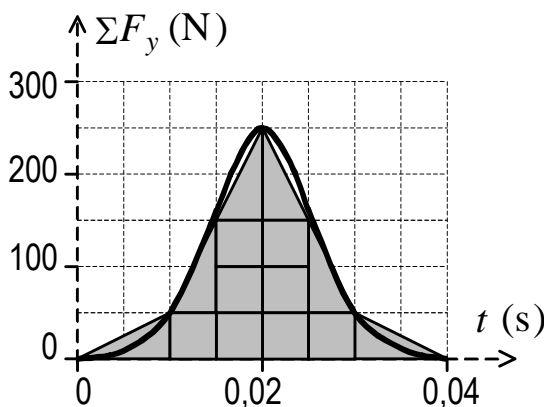
Avec :

$$\vec{J} = \int_{t=i}^{t_f} \vec{F} dt = \text{aire sous la courbe}$$

$$\Rightarrow \vec{J} = 8 \text{ carrés (1 un)} \vec{j} + 6 \text{ triangles (1 un)} \vec{j}$$

$$\Rightarrow \vec{J} = 14 \times 0,25 \vec{j}$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{J} = 3,5 \vec{j} \text{ Ns}}$$



Nous pouvons évaluer la quantité de mouvement finale à partir de la conservation de la quantité de mouvement :

$$\vec{p}_f = \vec{p}_i + \vec{J}_{ext} \quad \Rightarrow \quad \vec{p}_f = (-2\vec{j}) + (3,5\vec{j}) \quad (\text{Remplacer num.})$$

$$\Rightarrow \vec{p}_f = 1,5 \vec{j} \quad (\text{Calcul})$$

$$\Rightarrow m\vec{v}_f = 1,5 \vec{j} \quad (\text{Quantité de mouvement, } \vec{p} = m\vec{v})$$

$$\Rightarrow (0,1)\vec{v}_f = 1,5\vec{j} \quad (\text{Remplacer num.})$$

$$\Rightarrow \boxed{\vec{v}_f = 15 \vec{j} \text{ m/s}} \quad (\text{Isoler la vitesse finale } \vec{v}_f)$$

Propulsion par impulsion

Plusieurs systèmes de propulsion utilisent le concept d'impulsion pour augmenter la vitesse d'un objet. La technique consiste à appliquer plusieurs forces successivement et de générer une impulsion globale de module élevé :

Coilgun :



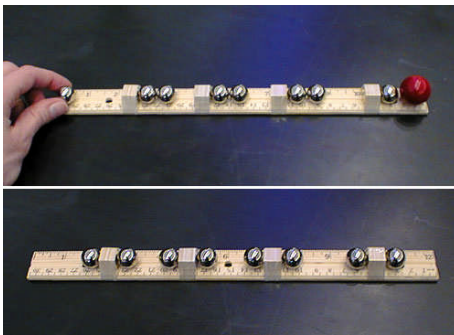
Application :

Shanghai Transrapid Maglev Train ,
vitesse de service 430 km/h

Une balle métallique se déplace vers la droite et lorsqu'elle s'approche du solénoïde, un courant circule dans le solénoïde transformant celui-ci en aimant ce qui a pour effet d'attirer la balle. Lorsque la balle a traversé la moitié du solénoïde, le courant cesse de circuler empêchant le solénoïde d'attirer la balle dans le mauvais sens.



Gauss Rifle :



La 1^{ière} bille métallique à gauche est attirée par l'aimant cubique ce qui produit une impulsion. Lors de la collision, seulement la 2^{ième} bille à droite de l'aimant cubique peut se déplacer par conservation de la quantité de mouvement. Cette dernière sera alors plus attirée par le 2^{ième} aimant cubique et subira une impulsion. Les collisions suivantes augmenteront la vitesse de la bille en mouvement.

Turbine d'avion :

Les turbines des avions ont pour fonction de pousser l'air qui entre à l'avant de la turbine vers l'arrière de la turbine. La force appliquée par la turbine sur le gaz propulse la turbine par action-réaction ce qui produit une impulsion nette sur l'avion. Certaines turbines réchauffent l'air pour augmenter la vitesse de sortie de l'air ce qui augmente l'impulsion.

