

# Quantité de mouvement et impulsion



*Ce sont deux notions différentes :*

***quantité mouvement  $\neq$  impulsion***

*Nous allons juste expliquer ce que représentent ces deux grandeurs qui sont souvent confondues.*

## Quantité de mouvement

*Pour expliquer ce qu'est une quantité de mouvement, nous repartons des notions fondamentales de la physique mécanique. C'est Isaac Newton qui énonça, dans son génial ouvrage "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" de 1687 et 1726, les lois de la physique classique. La gravitation universelle et les lois sur les corps en mouvement.*

- *La gravitation universelle*
- *(1er loi) La conservation de l'inertie*
- *(2eme loi, dite "loi de Newton") la liaison force et accélération*
- *(3eme loi) action, réaction*

## Force et accélération

*Ces puissants concepts ont permis entre autres la révolution industrielle qui suivit. Dans cet article traitant de la quantité de mouvement nous allons nous intéresser au principe de la relation entre la force et l'accélération. Ne vous arrêtez pas à l'écriture mathématique, si ce genre d'écriture ne vous est pas claire, lisez préalablement les articles "[écriture mathématique](#)" ou cherchez en le sens global sans s'arrêter au détail. Cette 2eme loi, s'écrit en mathématique comme suit :*

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Cette relation montre que la somme des forces s'appliquant au système est proportionnelle à sa masse et son accélération. Le système (l'objet ou un ensemble d'objet) si la somme des forces extérieures s'appliquant sur lui est non nulle, le système change de masse ou subit une accélération.

Le changement de masse se peut se produire ; par une réaction chimique ou nucléaire ou une abrasion (usure, éclatement, coupe, etc) mécanique. *Nous considérons que tous nos systèmes sont des systèmes à masse constante, ceci induit que si la somme des forces est non nulle, alors notre système accélère (ou décélère).*

## Somme des forces



Pour illustrer ce que j'entends par "somme des forces s'appliquant au système", prenons le cas du ballon de football. Dans cette présentation le ballon de football qui vient d'être tiré sera notre système.

Quelles sont les forces qui s'appliquent sur lui ?

$$\sum \vec{F}$$

- Son poids (attraction universelle)
- Frottement de l'air

Comme spécifié précédemment, la masse du ballon ne change pas, elle est et restera constante. Ceci sous entend que le poids de ce ballon ne variera pas. Donc son poids (force) oblige le ballon à revenir sur la pelouse, personne n'a jamais vu un ballon qui s'envole définitivement !

Le frottement de l'air est lié à la vitesse du ballon, plus le ballon va vite plus cette force est active et freine le ballon. Pour ressentir cette force qui varie suivant la vitesse, vous pouvez essayer de mettre votre main hors de la voiture et vous sentirez ce frottement d'air diminuer lorsque vous ralentirez de 80km/h à l'arrêt. C'est pareil pour le ballon, et c'est pour cela que le ballon s'arrête, personne n'a jamais vu un ballon continuer sa course indéfiniment.

## Accélération

Maintenant intéressons-nous à la deuxième partie de l'énoncé de Newton :

Sans refaire une analyse des mouvements, sachez que l'accélération est une variation de la vitesse pendant un certain laps de temps. Cette notion est simple à expérimenter. Dans un véhicule quelconque si ce dernier change de vitesse, par exemple démarre, on ressent parfaitement l'accélération via la force qui nous plaque sur le siège. Idem en cas de freinage (accélération négative), on est comme projeté contre l'avant du véhicule. Dans ce cas également il y a variation de la vitesse, donc accélération.

$$m \cdot \vec{a}$$

$$m \cdot \vec{a} = m \left( \frac{\text{variation de vitesse}}{\text{laps de temps}} \right) = m \left( \frac{d\vec{v}}{dt} \right)$$

Nota: si ce genre d'écriture ne vous est pas claire, lisez préalablement l'article "[Somme et variation](#)". Pour rappel, en mathématique "d" signifie très très petit, infinitésimal.

Comme la masse est constante dans notre étude, nous pouvons glisser le terme de masse

“m” avec la vitesse “v” et donc :

$$m \left( \frac{d\vec{v}}{dt} \right) = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{d(\vec{p})}{dt}$$

On voit apparaître une nouvelle notion : *la quantité de mouvement*

$$m \vec{v} = \vec{p}$$

Cette démonstration toute mathématique, signifie que si on observe un système (objet, corps, ensemble d'objet, ..) en mouvement, *sa masse multipliée par sa vitesse représente une grandeur physique appelée quantité de mouvement.*

Et pourquoi cette grandeur est elle importante ?

En dynamique, mouvement des objets avec des forces extérieures non nulle, *la quantité de mouvement est conservatrice.* Ceci signifie que cette grandeur se conserve lors de choc par exemple. Cette notion fait partie des grandeurs physiques, comme l'énergie, fondamentales car leurs valeurs se conservent alors que le système étudié se transforme, évolue.

$$0 = m \cdot \vec{a} \quad \longleftrightarrow \quad \text{Statique}$$

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad \longleftrightarrow \quad \text{Dynamique}$$

Exemple, les pièces de monnaies

*Prenons 2 pièces de monnaie identiques, propulsons une des pièces contre l'autre pièce immobile. Que se passe-t-il ? La pièce subissant l'impact se déplace, comme si la pièce qui*

engendre le choc lui transmet sa vitesse et son énergie. Une visualisation du problème.

Que pouvons-nous tirer de cette démonstration ?

La pièce que je propulse entre en collision avec la pièce immobile, puis la pièce immobile se déplace comme la pièce propulsée qui, elle, reste immobile. Cette démonstration peut être divisée en trois séquences :

1. la pièce propulsée arrive contre la pièce immobile (juste avant le choc)
2. les deux pièces sont ensemble (c'est le choc)
3. La pièce propulsée est stoppée et la pièce immobile s'éloigne (juste après le choc)



La grandeur physique "quantité de mouvement" étant conservée, nous allons considérer sa valeur dans les trois phase de la démonstration.

1.- quantité de mouvement de la pièce propulsée (1) et quantité de mouvement de la pièce immobile (2)

$$m_1 \vec{v}_1 = \vec{p}_1 \quad m_2 \vec{v}_2 = \vec{p}_2 = 0$$

2.- quantité de mouvement de l'ensemble des deux pièces (car les pièces sont collées)

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \vec{p}_{12}$$

3.- quantité de mouvement de la pièce propulsée et quantité de mouvement de la

*pièce immobile*

$$m_1 \vec{v}_1 = \vec{p}_1 = 0 \quad m_2 \vec{v}_2 = \vec{p}_2$$

*Maintenant on sait que la quantité de mouvement est conservée, ce qui conduit à dire que la quantité de mouvement avant, pendant le choc et après le choc est égale, toujours semblable. Dans notre cas nous avons deux pièces de monnaie identique (1€) donc les masses sont identiques. Si  $p_1 = p_2 = p_2$ , on peut dire qu'après le choc, la vitesse  $v_2$  de la pièce, immobile au départ, est égale à la vitesse  $v_1$  de la pièce propulsée avant le choc. On peut expérimentalement contrôler ce "transfert" de vitesse.*

*Prenons 3 ou 4 pièces de monnaie identiques, propulsons une des pièces contre les autres pièces immobiles et collées les unes aux autres. Comme la vidéo ci-dessous vous le montre nous aurons la même situation que dans le cas de deux pièces de monnaie.*

## Pendule de Newton

*Vous aurez la même explication au mouvement du pendule de Newton, qui illustre à la perfection la conservation de la quantité de mouvement.*

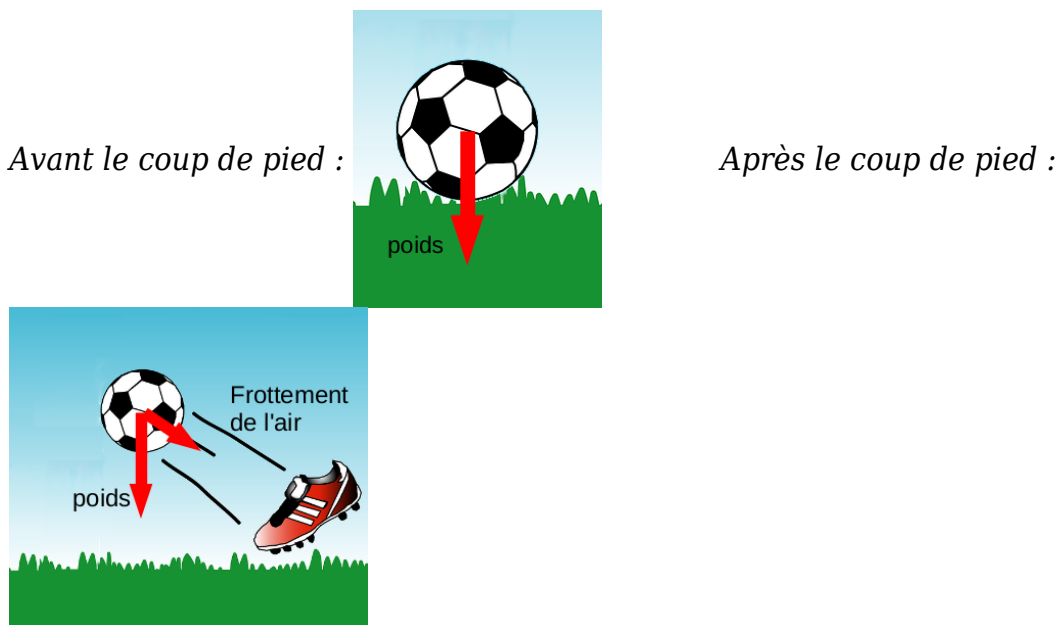
## Résumé

*D'une façon générale, la quantité de mouvement est considérée comme constante. Cette grandeur est très importante pour les études de collisions d'objets. Lors de choc d'objet, l'énergie cinétique (énergie provenant de la vitesse et de la masse en mouvement) n'est généralement pas conservée, tandis quel que soit le type de choc (élastique, inélastique) la quantité de mouvement, elle, est conservée.*

$$m \vec{v} = \vec{p} \quad \text{conservation}$$

## L'impulsion

Reprenons notre exemple du ballon de football. Nous avons 2 situations ; avant votre coup de pied et après votre coup de pied. Nous avons déjà regardé la situation après le coup de pied, le ballon subit uniquement deux forces (poids et frottement de l'air). Quand est-il avant le coup de pied ? Le ballon est immobile sur la pelouse et vous allez frapper ce ballon. La seule force qui agit sur ce ballon est son poids, le ballon est immobile.



Si nous calculons la quantité de mouvement du ballon avant l'impact (coup de pied) et après l'impact (ballon en l'air), nous aurons la situation suivante :

- Avant coup de pied

$$m_{\text{ballon}} \vec{v}_{\text{ballon}} = \vec{p}_b$$
$$\vec{v}_{\text{ballon}} = 0 \dots \text{donc} \dots \vec{p}_b = 0$$

- Après coup de pied

$$m_{\text{ballon}} \vec{v}_{\text{ballon}} = \vec{p}_b$$

La différence de quantité de mouvement pour le ballon est en fait l'impulsion que ce dernier à reçu. *L'impulsion est une variation de quantité de mouvement.* J'aime beaucoup la notion qu'en fait l'impulsion correspond au transfert de quantité de mouvement et est la force appliquée pendant un certain temps. Ceci est naturellement valable que parce que nos objets ne changent pas de masse. Ce cas, avec une quantité de mouvement nulle au départ, est un peu particulier, car l'impulsion étant la différence de quantité de mouvement elle se trouve être de même valeur car :

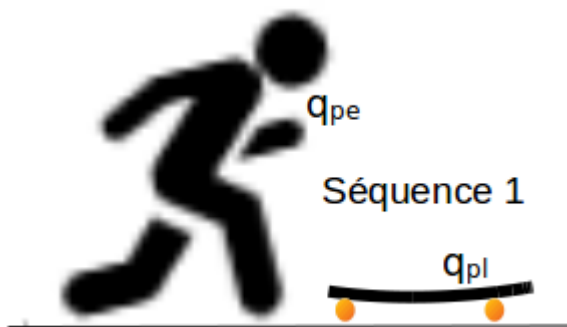
$$\text{impulsion} = \vec{p}_{b.\text{après}} - \vec{p}_{b.\text{avant}} = \vec{p}_b - 0 = \vec{p}_b$$

## Exemple avec une planche à roulette

Dans cet exemple légèrement différent du ballon, nous avons une personne qui joue avec une planche à roulette dans une voiture de métro. Il propulse sa planche et se lance en sautant sur sa planche. Évidemment l'espace étant ce qu'il est, l'arrêt programmé contre la paroi de la voiture arrive vite. La question : est ce que cet arrêt, cette impulsion modifiera la vitesse de la rame de métro ?

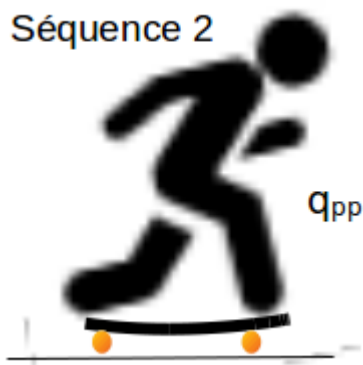
Nous avons trois séquences qui sont:

- 1.- La planche qui roule seule, la personne s'élanche. (deux objets séparés)

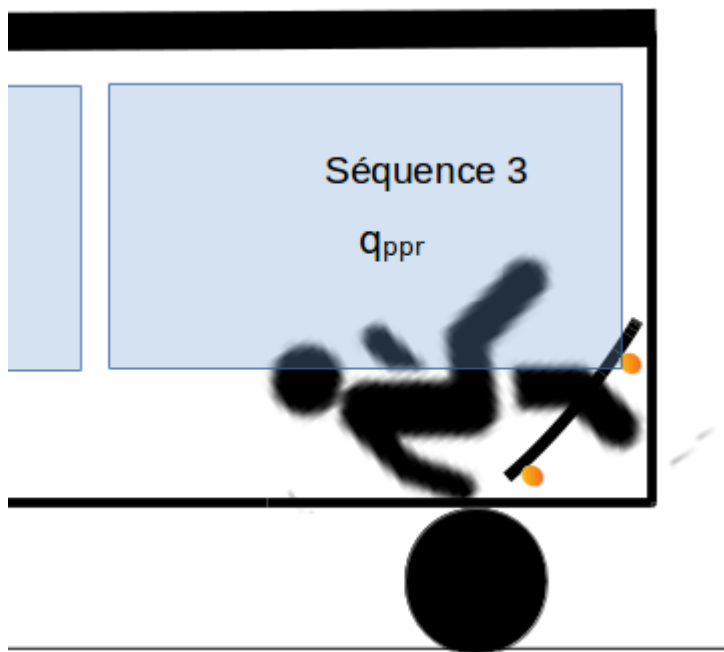




2.- La planche et la personne qui se déplacent ensemble. (un ensemble d'objets)



3.- La planche, la personne et la rame de métro qui se déplacent ensemble. (trois objets réunis)



Dans ce cas de figure, la quantité de mouvement de la personne se transmettra à la planche à roulette et la quantité de mouvement de l'ensemble "personne+ planche" se transmettra à la voiture de métro au moment du choc contre la paroi. Donc l'impulsion transmise à la rame modifiera sa vitesse sera affectée, c'est le premier point.

Maintenant de combien cette vitesse va-t-elle varier ?

*séquence 1:*

$$m_1 \cdot v_1 = q_{pe} \quad \text{quantité mouvement de la personne } q_{pe}$$

$$m_2 \cdot v_2 = q_{pl}$$

quantité de mouvement de la planche  $q_{pl}$

*séquence 2:*

$$(m_1 + m_2) \cdot v = q_{pp} \quad \text{quantité de mouvement de la planche et de la personne } q_{pp}$$

$$m_2 \cdot (v - v_2) = I_{pl}$$

$$m_1 \cdot (v - v_1) = I_{pe}$$

impulsion "reçue" par la planche  $I_{pl}$

impulsion "donnée" par la personne  $I_{pe}$

*séquence 3:*

$$(m_1 + m_2 + m_3) \cdot v_f = q_{ppr} \quad \text{quantité de mouvement de la planche, de la personne et de la rame } q_{ppr}$$

$$m_3 \cdot (v_f - v_3) = I_r$$

$$(m_1 + m_2) \cdot (v_f - v) = I_{pp}$$

impulsion "reçue" par la rame  $I_r$

impulsion "donnée" par l'ensemble personne+planche  $I_{pp}$

Les qualificatifs "reçue" et "donnée" indiquent si l'impulsion est négative (arrêt, choc) ou positive (poussée, impulsion).

### Exemple chiffré

- masse de la personne : 70 kg
- masse de la planche à roulette : 1 kg
- masse de la voiture de la rame : 24'000kg (il y aurait réflexion à prendre la masse totale de la rame de métro en considération, pas seulement la voiture)
- vitesse de la planche juste avant le contact personne/planche : 15 km/h
- vitesse de la personne juste avant le contact avec la planche : 18 km/h
- vitesse de la rame juste avant le choc : 0 km/h

Vitesse (km/h) de l'ensemble personne-planche :

$$v = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{(m_1 + m_2)} = \frac{70 \cdot 18 + 1 \cdot 15}{70 + 1} = 17.96$$

et la quantité de mouvement de cet ensemble personne+planche

$$q_{pp} = (m_1 + m_2) \cdot v = (70 + 1) \cdot 17.96 = 1275$$

Vitesse (km/h) de l'ensemble personne-planche-rame

$$v_f = \frac{(m_1 + m_2) \cdot v + m_3 \cdot v_3}{(m_1 + m_2) + m_3} = \frac{(70 + 1) \cdot 17.96 + 24000 \cdot 0}{24000 + (70 + 1)} = 0.053$$

Le résultat montre qu'en fait la rame ne bougera pas, l'énergie du choc sera dissipé par un autre canal que celui de la vitesse de l'ensemble. Comme chacun le pensait, l'arrêt de

*l'ensemble personne-planche est sans grande incidence sur le mouvement de la rame. Pour finir, on peut calculer l'impulsion que la rame reçoit :*

$$I_r = m_3 \cdot (v_f - v_3) = 24000 \cdot (0.053 - 0) = 1272$$

*On remarque que l'impulsion transmise à la rame est identique (aux arrondis près) à la quantité de mouvement de l'ensemble personne+planche. Ceci est normal, dans ce cas particulier, car la rame à une vitesse initiale nulle, c'est dans ce cas que naît souvent la confusion entre l'impulsion et la quantité de mouvement.*

## Remarques sur cet exemple

*Au résultat théorique, on comprend que la variation de la quantité de mouvement est très faible et donc pratiquement pas perceptible, d'autant que si la rame roule, les variations de vitesse, vibrations et autres changements de direction rendent ce choc insignifiant.*

*Comme dans ce cas, la rame est à l'arrêt on peut remarquer que la valeur de l'impulsion et de la quantité de mouvement sont identiques. C'est un cas particulier provenant du fait que l'impulsion est une différence de quantité de mouvement.*

## Résumé

*L'impulsion est bien la grandeur physique qui correspond au langage courant. On donne une impulsion à un objet : on applique une force pendant un court instant au système. On transmet une quantité de mouvement, donc c'est aussi parfaitement juste de parler de variation de quantité de mouvement, sous entendu que cette variation s'effectue pendant un court instant.*

*l'impulsion est force x temps ou également différence de quantité de mouvement*

# Conclusion

*Bien que souvent confondue, ces notions sont légèrement différentes, de part leur nature. La quantité de mouvement est une "pseudo-force", l'impulsion est une force pendant un certain temps (généralement court). La notion d'impulsion (d'élan, de pichenette, ....) est très répandue dans tous les domaines de la vie courante (il donne une impulsion à sa carrière, changement de cap du gouvernement sous l'impulsion du président, ....) et facilement compréhensible par tous. Par contre la quantité de mouvement c'est la continuité de cette impulsion en quelque sorte, c'est la durée après l'impulsion.*

Impulsion = changement de quantité de mouvement (force x temps =  $\Delta$  quantité mouvement)

Quantité de mouvement = durée, maintien d'une impulsion (masse x vitesse)