

Mécanique : dynamique

En classe de 4^e, les forces ont été présentées comme causes des modifications des mouvements : « Sans force, le mouvement d'un corps n'est pas modifié, avec force, la vitesse du corps augmente ou diminue, ou bien le mouvement change de direction. »

La dynamique étudie la relation entre les forces et les mouvements qu'elles produisent ou modifient ! Elle se fonde sur 3 principes formulés par Isaac Newton : le principe d'inertie, le principe fondamental et le principe des actions réciproques.

L'étude se fait à l'aide d'une nouvelle grandeur physique : **la quantité de mouvement** (en allemand : Impuls, en anglais : momentum). Elle traduit en termes scientifiques ce qu'on pourrait intuitivement entendre par « élan, 'Schwung' ».

Chapitre 3: Quantité de mouvement

1. Définitions

Point matériel

Un point matériel est un corps réduit à un point et ayant une certaine masse. Un tel point est une pure abstraction et n'existe pas physiquement.

Mobile

Un mobile est un point matériel qui se déplace.

Corps matériel

Tout corps réel est un corps matériel constitué par un très grand nombre de points matériels. Il est caractérisé entre autre par sa masse. Un corps peut être rigide ou déformable.

Solide

Un solide est un corps non-déformable.

Système matériel

Un système matériel est un ensemble d'un ou plusieurs corps matériels. Il est délimité par celui qui étudie un phénomène mécanique.

Système isolé. Système pseudo-isolé

Un système matériel est isolé si aucune force extérieure ne s'exerce sur lui. Il est pseudo-isolé si des forces extérieures de résultante nulle s'exercent sur lui.

Forces extérieures. Forces intérieures

Toute force exercée par un corps extérieur au système matériel considéré est une force extérieure.

Toute force exercée par une partie du système sur une autre partie du système est une force intérieure.

La résultante de toutes les forces intérieures est toujours nulle. (*Pourquoi ?*)

Une même force peut être extérieure ou intérieure suivant selon qu'on délimite le système d'une ou d'une autre manière. (*Trouver un exemple !*)

2. Expérience : explosion d'un système isolé en 2 fragments

b) Description de l'expérience

On étudie un système composé de deux chariots de masses m_1 et m_2 sur un rail horizontal, dans le référentiel terrestre. Les deux chariots sont munis d'un dispositif de répulsion.

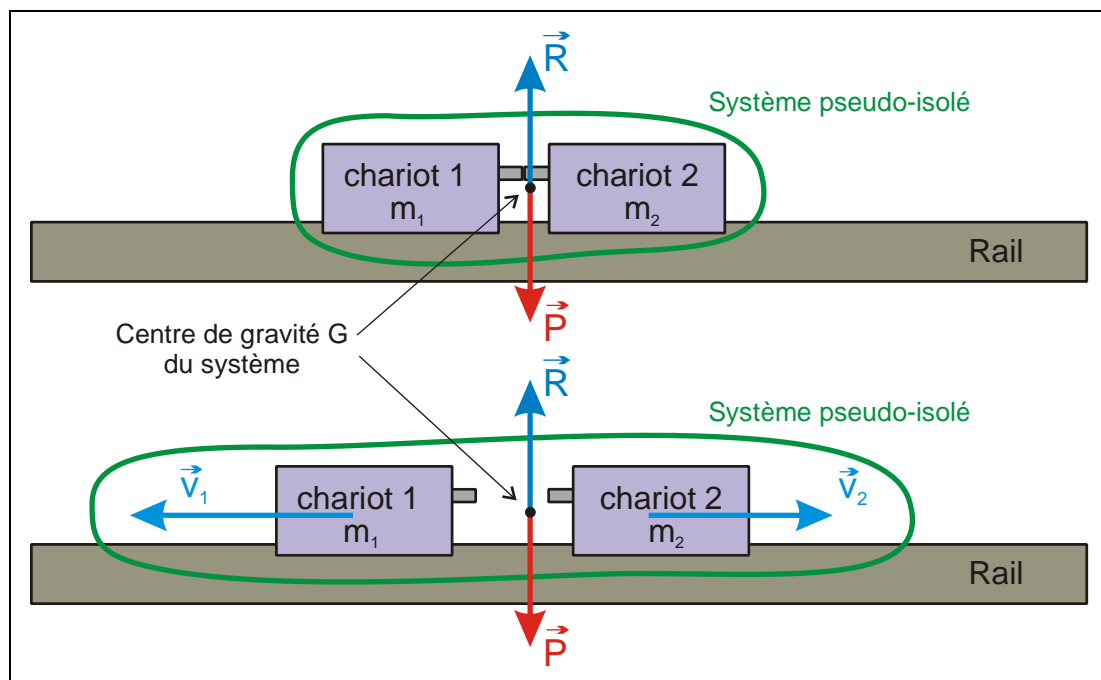
Initialement les chariots sont immobiles sur le rail. Les forces extérieures sur le système sont :

- le poids des chariots : \vec{P}
- les réactions du rail sur les chariots : \vec{R}

Comme \vec{P} et \vec{R} se compensent le système est initialement un système pseudo-isolé !

Au déclenchement du dispositif de répulsion, ils se repoussent brutalement (= explosion) l'un l'autre avec des forces égales en norme (principe des actions réciproques).

Nous évaluons (grossièrement) les vitesses v_1 et v_2 des chariots immédiatement après la répulsion. Bien que la force de frottement du rail sur les chariots ne soit pas négligeable, son action de freinage au cours des premiers instants du mouvement peut être négligée ! Le système peut toujours être considéré comme système pseudo-isolé !



L'expérience est répétée pour plusieurs valeurs différentes des masses m_1 et m_2 .

b) Observations et mesures

Résumons les résultats de mesure dans un tableau de mesure !

| Expérience No | m_1 (kg) | m_2 (kg) | v_1 (m/s) | v_2 (m/s) |
|---------------|------------|------------|-------------|-------------|
| 1 | m | m | v | v |
| 2 | m | 2m | v | v/2 |
| 3 | m | 3m | v | v/3 |

1) Le chariot de plus faible masse acquiert la plus grande vitesse

Interprétation: faible masse \rightarrow faible inertie
forte masse \rightarrow forte inertie

2) Nous constatons que, aux incertitudes de mesure près, les produits $m_1 v_1$ et $m_2 v_2$ sont égaux.

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

Vectériellement:

$$m_1 \vec{v}_1 = -m_2 \vec{v}_2$$

$$\boxed{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \vec{0}}$$

c) Conclusion

Au cours d'une explosion d'un système isolé (ou pseudo-isolé) en deux fragments de masses m_1 et m_2 , les fragments prennent des vitesses \vec{v}_1 et \vec{v}_2 d'après la relation $m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \vec{0}$
Dans cette relation, chaque fragment du système intervient par son produit $m\vec{v}$!

3. Quantité de mouvement

a) Quantité de mouvement d'un solide

La quantité de mouvement d'un solide de masse m et de vitesse du centre d'inertie \vec{v} est:

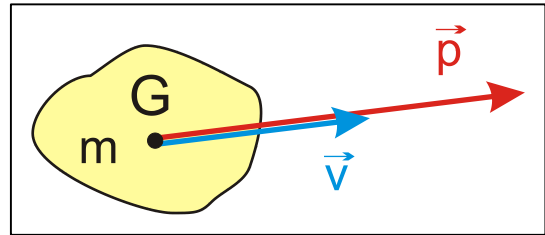
$$\boxed{\vec{p} = m\vec{v}}$$

Point d'application: centre d'inertie G

Direction: celle de \vec{v}

Sens: celui de \vec{v}

Norme: $p = mv$



b) Unité S. I. de la quantité de mouvement

Si $m = 1 \text{ kg}$ et $v = 1 \text{ m/s}$ alors $p = 1 \text{ kgm/s}$

c) Quantité de mouvement d'un système constitué de plusieurs solides

La quantité de mouvement d'un système constitué de plusieurs solides est la somme vectorielle des quantités de mouvement des solides qui constituent le système.

Si le système est formé par n solides sa quantité de mouvement est:

$$\boxed{\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n}$$

4. Conservation de la quantité de mouvement

a) Loi de conservation pour un système (pseudo-)isolé

Pour un système (pseudo-)isolé, la vitesse \vec{v} du centre d'inertie ne varie pas (principe d'inertie). La masse du système est également invariable.

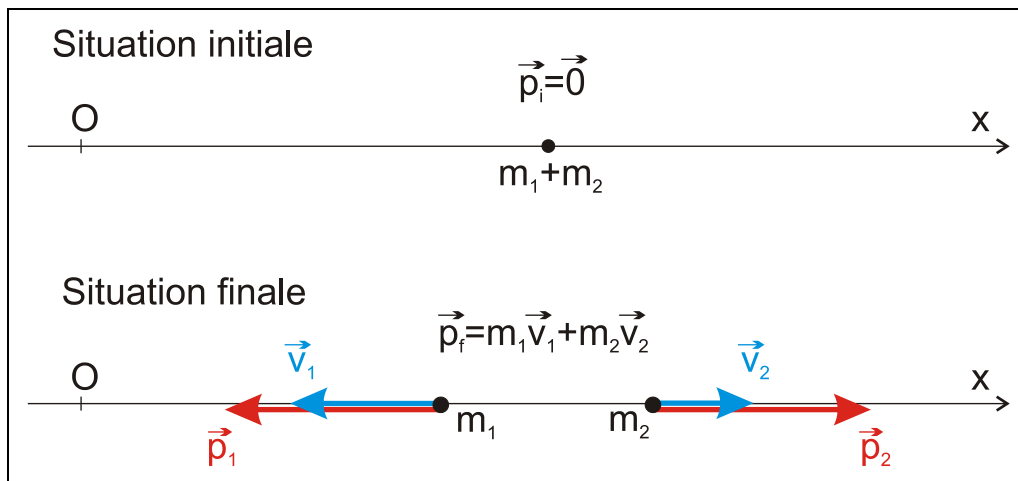
Donc: $\vec{p} = m\vec{v}$ ne varie pas!

La quantité de mouvement d'un système (pseudo-)isolé est conservée (est constante, ne varie pas).

Cette loi de conservation est universelle : elle est vérifiée pour tous les systèmes (pseudo-)isolés qu'on a pu trouver. C'est une loi fondamentale de la physique. Elle est équivalente au principe d'inertie.

Elle exprime, par exemple, que la quantité de mouvement d'un système (pseudo-)isolé composé de deux mobiles n'est pas modifiée par un choc.

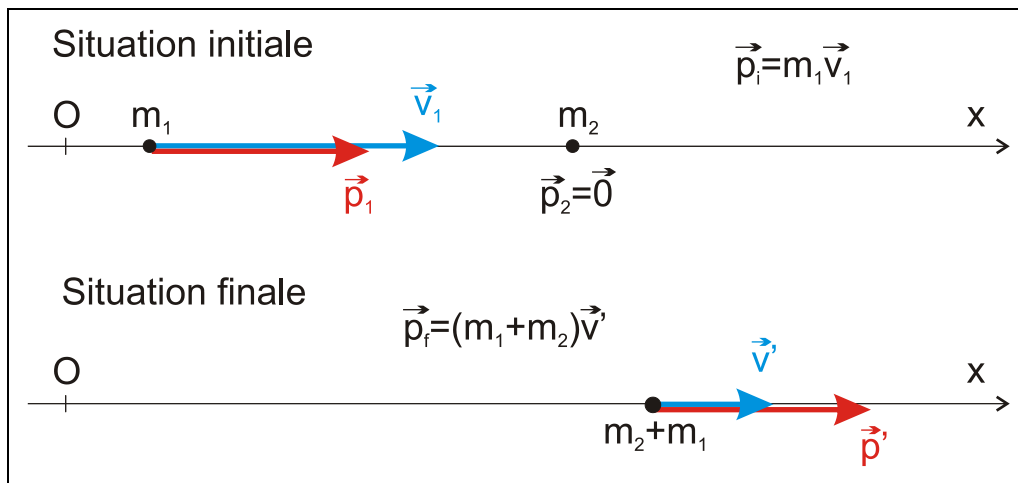
b) Application 1 : explosion d'un système en deux fragments



- Système étudié : masses m_1 et m_2 sur un rail
- Référentiel : Terre
- Repère : axe Ox
- Forces extérieures : poids \vec{P} et réaction du rail \vec{R}
Ces forces se compensent : le système est pseudo-isolé
- Conservation de \vec{p} : $\vec{p}_i = \vec{p}_f$
 $\vec{p}_i = \vec{0}$
 $\vec{p}_f = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$ (définition 2 c)
- Projection sur l'axe Ox $\Rightarrow p_{ix} = p_{fx}$ (coordonnées)
 $p_{ix} = 0$
 $p_{fx} = -m_1 v_1 + m_2 v_2$
 Donc : $0 = -m_1 v_1 + m_2 v_2$
 Et : $m_1 v_1 = m_2 v_2$. On retrouve le résultat de l'expérience !

c) Application 2 : choc inélastique (avec perte d'énergie)

Un chariot 1 en mouvement avec la vitesse v_1 heurte un chariot 2 au repos ($v_2 = 0$). Au moment du choc les deux chariots restent accrochés l'un à l'autre et ont la vitesse v' .



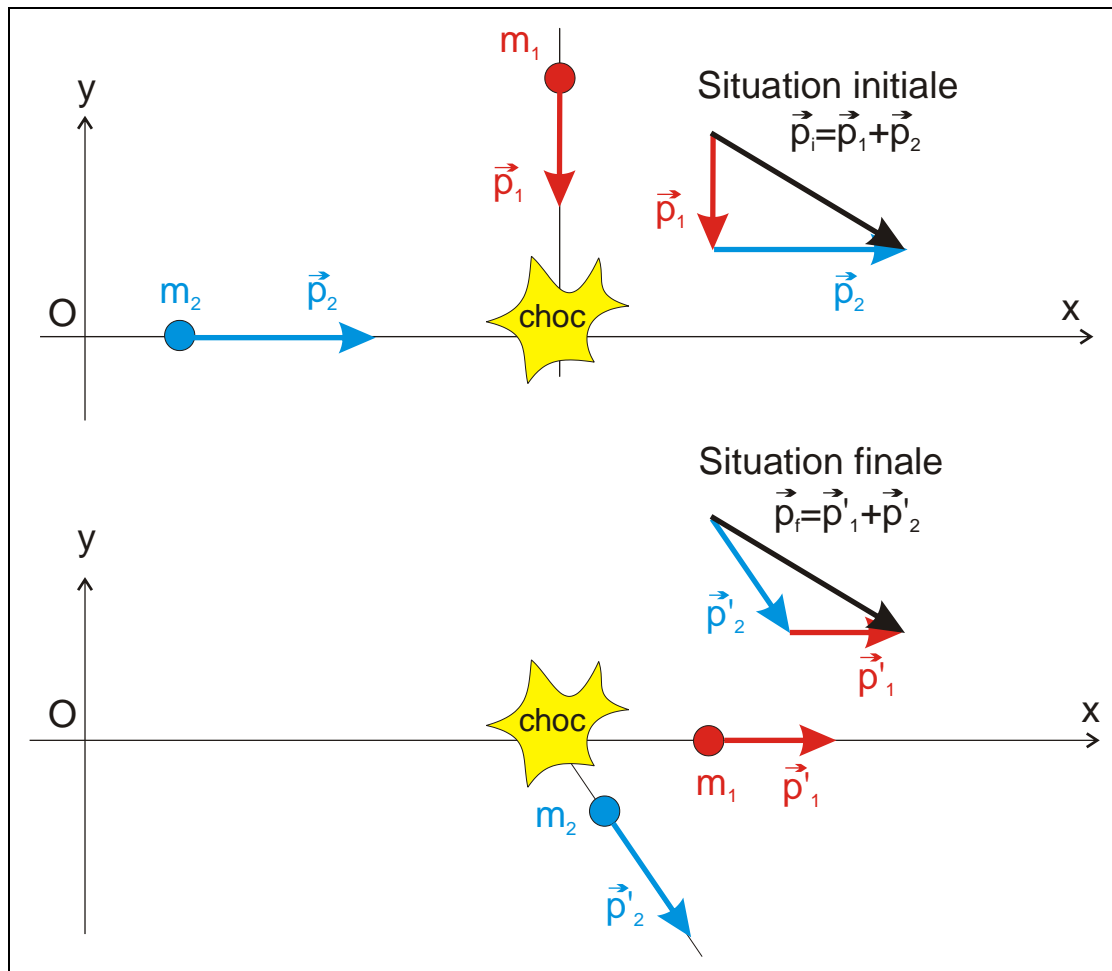
- Système étudié : les deux chariots de masses m_1 et m_2
- Référentiel : Terre
- Repère : axe Ox
- Forces extérieures : poids \vec{P} et réaction \vec{R}
Ces forces se compensent : le système est pseudo-isolé
- Conservation de \vec{p} : $\vec{p}_i = \vec{p}_f$
 $\vec{p}_i = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$
 $\vec{p}_f = \vec{p}' = (m_1 + m_2) \vec{v}'$
- Projection sur l'axe Ox $\Rightarrow p_{ix} = p_{fx}$ (coordonnées)
 $p_{ix} = m_1 v_1$
 $p_{fx} = (m_1 + m_2) v$
 Donc : $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v'$

d) Application 3 : choc de deux mobiles sur un plan

- Système étudié : 2 mobiles de masses m_1 et m_2
- Référentiel : Terre
- Repère : système d'axes Ox et Oy
- Forces extérieures : poids des mobiles et réaction du plan
Ces forces se compensent : le système est pseudo-isolé

- Conservation de \vec{p} : $\vec{p}_i = \vec{p}_f$
- Projection sur les axes : $p_{ix} = p_{fx}$
 $p_{iy} = p_{fy}$

Application numérique : $p_1 = 0,8 \text{ kgm/s}$; $p_2 = 1,0 \text{ kgm/s}$; l'angle entre \vec{p}_1 et \vec{p}_2 vaut 90° ;
l'angle entre \vec{p}_2 et \vec{p}'_1 est nul ; l'angle entre \vec{p}'_1 et \vec{p}'_2 vaut 60° .



$$p_{ix} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad p_{iy} = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$p_{fx} = \underline{\hspace{2cm}} \qquad p_{fy} = \underline{\hspace{2cm}}$$

(Résultats : $p'_1 = 0,538 \text{ kgm/s}$ et $p'_2 = 0,924 \text{ kgm/s}$)

Calculer les vitesses sachant que $m_1 = 450 \text{ g}$ et $m_2 = 600 \text{ g}$.

Calculer l'énergie cinétique avant et après le choc ! Conclusion !

(Résultats : $E_{ci} = 1,54 \text{ J}$; $E_{cf} = 1,03 \text{ J}$)

Petites questions de compréhension

- Q1 Une roche éclate en 2 fragments dont l'un est 3 fois plus lourd que l'autre. Que peux-tu dire de leurs vitesses?
- Q2 Nous sommes en été. Il fait chaud et vous vous trouvez sur une barque au milieu d'un lac. Pour vous rafraîchir vous sautez de la barque dans l'eau fraîche. Que se passe-t-il?
- Q3 Une voiture commandée à distance est immobile sur une planche en bois reposant sur des tiges cylindriques placées perpendiculairement à la direction de déplacement de la voiture. Que se passe-t-il lorsque la voiture se met en mouvement?
- Q4 Expliquer le principe de propulsion d'une fusée, d'une barque à rames, d'un avion à hélice, d'un nageur, d'un plongeur muni de palmes, d'un poulpe