

## Les outils de la mécanique

### Quantité de mouvement

Que ce soit dans l'étude des chocs ou dans l'explication de la propulsion par réaction, le vecteur quantité de mouvement se révèle être un outil particulièrement efficace. Voyons ici en quoi.

#### 1 - Etude des chocs

##### 1.1 – Les chocs de Descartes

En 1644, René Descartes publie, en latin, le livre « *Principes de Philosophie* » dans lequel il énonce, entre autres, les lois des chocs entre deux corps. Ces écrits sont traduits en français en 1647 par l'Abbé Picot.

Voici trois de ces principes :

- principe 46 : « si deux corps identiques se choquent avec des vitesses égales, ils rebondiront chacun avec sa vitesse. »
- principe 48 : « si deux corps identiques se choquent avec des vitesses inégales, le plus lent est entraîné et la vitesse des deux ensemble est égale à la moitié de la somme de leurs vitesses avant le choc. Si le premier se déplace vers la droite avec six degrés de vitesse et le second vers la gauche avec quatre degrés de vitesse, les deux ensemble se déplaceront vers la droite avec cinq degrés de vitesse. »
- principe 51 : « si un corps avec quatre degrés de vitesse choque un corps identique au repos, alors le premier rebondit avec trois degrés de vitesse et le second est poussé avec un degré de vitesse. »

« Et les démonstrations de tout ceci sont si certaines, qu'encore que l'expérience nous semblerait faire voir le contraire, nous serions néanmoins obligés d'ajouter plus de foi à notre raison qu'à nos sens. » (*Principes*, II, parag. 52, AT, IX-2, 93).

Compléter le tableau suivant à l'aide de schémas appropriés.

Principe	Avant le choc		Après le choc	
46	⊕ A	⊕ B	⊕ A	⊕ B
48				
51				

##### 1.2 – Le « coup de marteau »

###### Savez-vous planter les clous ?



Lorsqu'il s'agit d'enfoncer un clou, c'est souvent le marteau le plus lourd qui se révèle être le plus efficace. Pourquoi ?

###### Comment soigner son hockey...



Au hockey sur glace, un palet est projeté à l'aide d'une crosse. La masse du palet est comprise entre 156 et 170 grammes, alors que celle de la crosse n'est pas réglementée. Il est possible de l'augmenter en ajoutant des bandes adhésives en plomb ; la crosse ne doit toutefois pas être trop lourde, afin de rester maniable et de ne pas trop fatiguer le joueur.

En admettant que, lors d'un tir, la vitesse de la crosse reste constante, quelle va être l'influence de sa masse sur la vitesse du palet ?

**Situation n°1** : choc de deux mobiles élastiques A et B, l'un (B) étant fixe ([choc\\_0.980kg.avi](#))

Sous Latis Pro, réaliser le pointage vidéo du mobile A, reproduire la trajectoire en **fenêtre n°1**.

1. A l'aide du tableur ou de la feuille de calculs, déterminer les composantes  $v_x$  et  $v_y$  puis la valeur  $v$  de la vitesse instantanée du mobile. Expliquez bien les calculs effectués.
2. Tracer l'évolution de  $v_x$ ,  $v_y$  et  $v$  au cours du temps en **fenêtre n°2**.
3. Conclure : comment évolue la quantité de mouvement du système {mobile A} au cours du temps ? Sa composante  $p_x$  ? Sa composante  $p_y$  ? Peut-on prévoir l'angle avec lequel le mobile A ressort du choc ?

### 1.3 – Souvenirs d'auto-tamponneuses

**Situation n°2** : choc de deux mobiles autoporteurs élastiques en mouvement ([choc\\_G1.48kg\\_D0.980kg.avi](#))

L'acquisition peut être faite directement avec la table à coussin d'air (étincelage), ou bien après pointage (AviStep est ici adapté pour deux repères par image) sur la vidéo.

Nous travaillerons sur l'enregistrement papier du choc.

1. Représenter la trajectoire du centre d'inertie de l'ensemble {mobile A + mobile B}.
2. Tracer les vecteurs « quantité de mouvement » du mobile A et du mobile B avant puis après le choc.
3. Construire les vecteurs « quantité de mouvement totale » du système {A + B} avant et après le choc : que constate-t-on ?
4. Que pensez-vous du principe 51 à la lumière de la vidéo [choc\\_palets.avi](#) ?



### 1.4 – Application : constat à l'amiable ?

Après un accident de la circulation en zone urbaine, les deux conducteurs des véhicules impliqués remplissent un constat amiable d'accident automobile. Sur ce document, ils font apparaître, notamment, un croquis de l'accident où sont indiqués : les voies avec les numéros des routes, la direction et le sens des trajectoires des véhicules avant le choc, leur position au moment du choc et après celui-ci. L'expert dispose des informations suivantes :

- vitesses déclarées des véhicules au moment du choc :  $v_A = 45 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  et  $v_B = 50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
- masses des véhicules :  $m_A = 1\,800 \text{ kg}$  et  $m_B = 1\,800 \text{ kg}$
- sol glissant.

L'expert d'assurance observe avec intérêt le croquis du constat qu'il a reçu. Il met en doute la valeur de la vitesse donnée par le conducteur B.

1. Dans quel référentiel le mouvement est-il étudié ?

2. a. Sur quel système peut-on appliquer la première loi de Newton ?

b. Quelle grandeur vectorielle reste constante avant et après le choc ? Exprimer la relation qui en découle. On considère que les deux voitures restent collées l'une à l'autre.

3. a. Déterminer les valeurs  $p_A$  et  $p_B$  des quantités de mouvement des deux voitures avant le choc.

b. Sur un schéma, construire un repère orthonormé  $(xOy)$  pour y représenter les vecteurs quantité de mouvement des deux voitures, puis celui du système choisi à la question 2.a.

c. En déduire les coordonnées du vecteur quantité de mouvement  $\vec{p}_S$  du système après le choc.

4. a. Déterminer la valeur du vecteur quantité de mouvement  $\vec{p}_S$  et sa direction  $\alpha$  prise par rapport à l'axe  $(Oy)$ . En déduire la direction par rapport à  $(Oy)$  du vecteur vitesse  $\vec{v}_S$  du système après le choc.

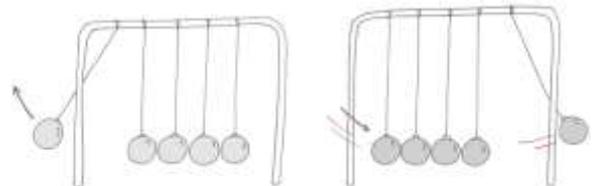
b. Comparer  $\alpha$  à la direction prise par les deux voitures après le choc sur le croquis. L'expert a-t-il raison de douter de la valeur de la vitesse  $v_B$  ?

**► Coup de pouce**

1. Le référentiel est choisi à votre guise s'il n'est pas demandé.
2. a. Le système doit être pseudo-inerte.
- b. Appliquez la première loi de Newton.
3. a. Pensez à utiliser les bonnes unités.
- b. Il est souhaitable de prendre des vecteurs unitaires avec le même angulus de représentation.
- c. Dans ce repère, le vecteur quantité de mouvement peut s'écrire :  $\vec{p}_S = p_x \vec{e}_x + p_y \vec{e}_y$ .
4. a. Il faut utiliser une relation de trigonométrie.
- b. L'angle  $\alpha$  dépend de la grandeur de  $p_x$ .

Un exemple ludique : le pendule de Newton.

Comment fonctionne-t-il ? Pourquoi finit-il par s'arrêter ?

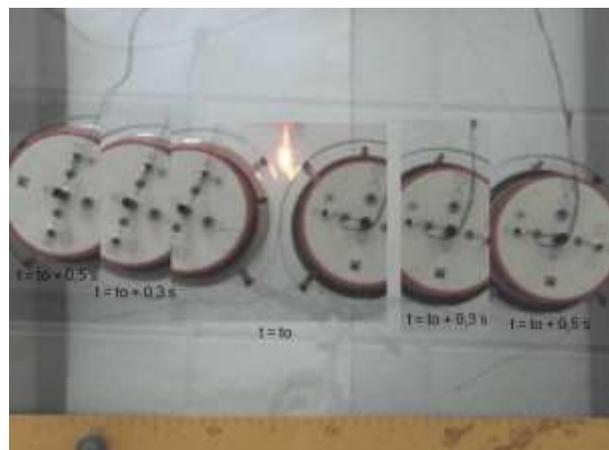


## 2 – Propulsion par réaction

### 2.1 – Etude au laboratoire

**Situation n°3** : éclatement [G1.48kg\\_D0.980kg.avi](#)

1. Décrire le mouvement des deux mobiles après « éclatement ». Peut-on le prévoir à l'aide des lois de Newton ? Expliquer.
2. Observer la chronophotographie ci-contre : que peut-on dire sur la direction et le sens des mouvements des deux mobiles après éclatement ?
3. A l'aide de Latis Pro, calculer la valeur de la quantité de mouvement de chaque mobile avant puis après éclatement et proposer une conclusion.



**Un peu d'humour...**

Jules et Jim sont dans une barque tout près de la berge d'un lac mais Jules a échappé la rame : comment Jim peut-il espérer regagner la berge au sec ? Proposer deux solutions.

**2.2 – Comprendre le principe**

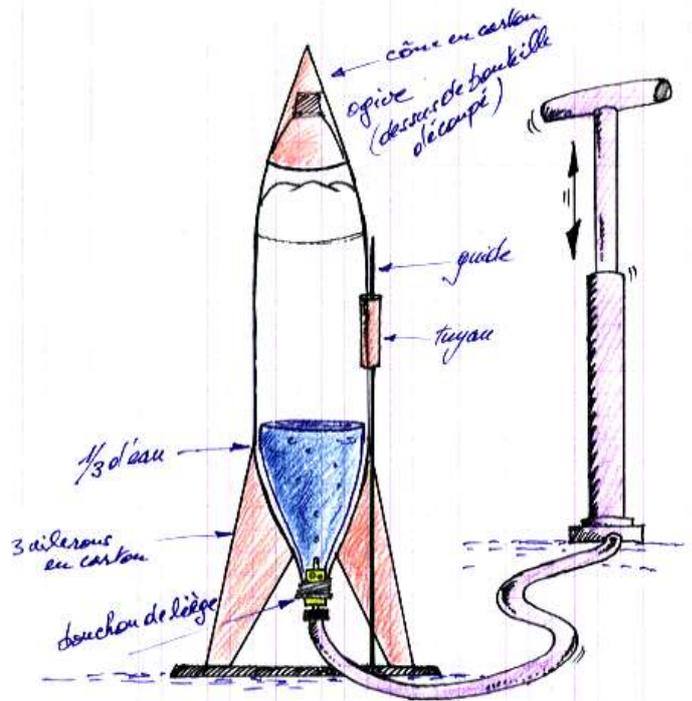
Situation n°4 : les jouets à réaction



Soit un système pseudo-isolé composé d'un système ouvert et de la matière qui a été éjectée. Que vaut l'évolution de la quantité de mouvement du système

- fermé,  $\vec{p}_f(t + \Delta t) - \vec{p}_f(t)$  ?
- ouvert,  $\vec{p}_o(t + \Delta t) - \vec{p}_o(t)$  ?

Montrer que tout se passe comme si le système ouvert était soumis à une force et expliquer le principe de la propulsion à réaction.



**2.3 – Des applications**

**2.3.1 – En balistique**

Une balle est tirée par une arme à feu : quel effet cela produit-il sur l'arme ? Justifier.

La « grosse Bertha » est une très grosse pièce d'artillerie allemande utilisée lors de la Première Guerre mondiale. Elle doit son surnom à sa taille imposante et à ses 70 tonnes. Elle permettait d'envoyer un obus de mortier lourd à une distance de plus de 9 km. L'obus, de masse  $m = 700$  kg, était propulsé à la vitesse de 400 m/s.



1. Que se passait-il pour la grosse Bertha lors du tir de l'un de ses obus ?
2. Quelle était alors la vitesse  $v'$  du canon après le tir ?
3. Que se serait-il passé sur l'on avait utilisé un canon de 10 tonnes avec les mêmes obus ?
4. Justifier la masse imposante de la grosse Bertha.

**2.3.2 – En médecine ? Atchoum !**

Une encyclopédie en ligne propose la définition suivante : « l'éternuement désigne l'acte effectué violemment et bruyamment par le nez et la bouche correspondant à une expulsion d'origine réflexe de l'air contenu dans les poumons ».

La vitesse d'expulsion de l'air  $v$  est alors comprise entre 100 et 800 km/h ; un volume de l'ordre de  $V = 1,3$  L d'air est expiré en  $\Delta t = 500$  ms environ.

1. Déterminer après l'éternuement la composition du système fermé initialement composé de l'air dans les poumons.
2. En supposant que l'air est éjecté horizontalement, donner la norme et le sens de la quantité de mouvement de la matière éjectée pendant  $\Delta t$ .
3. Eternuer fait-il reculer ?



Donnée : 1 L d'air pèse un tout petit plus d'1 g.