

Quantité de mouvement

Propulsion par réaction

1- Introduction

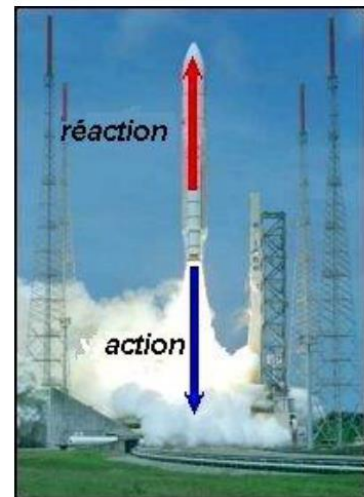
Pour avancer, le rameur prend appui sur l'eau, l'oiseau sur l'air, le piéton sur le sol. Mais comment se déplacer dans le vide de l'Espace, sans aucun support ?

C'est le Russe **Konstantin Tsiolkovski** qui, à la fin du XIX^{ème} siècle, a apporté la solution en imaginant le **moteur-fusée**, capable de créer sa propre force motrice aussi bien dans l'atmosphère que dans le vide spatial.

Son fonctionnement repose sur un phénomène naturel, celui de **l'action et de la réaction**, découvert par **Isaac Newton** deux siècles auparavant.

Le principe de l'action et de la réaction selon lequel à toute action correspond une réaction égale et de sens opposé est à l'origine de la **propulsion** des fusées

Dans l'Espace, la fusée éjecte des gaz vers l'arrière et se **propulse par réaction**, sans point d'appui extérieur : au mouvement de la masse de gaz vers l'arrière correspond un mouvement opposé de la fusée vers l'avant. La fusée **s'appuie sur les gaz éjectés** et fonctionne parfaitement dans le vide.



2- Etude cinématique d'un mouvement par réaction

Avec LatisPro réaliser le pointage de la vidéo "**Propulsion par réaction.avi**" du mouvement d'un mobile se déplaçant par réaction et trouver les équations horaires du mouvement (accélération, vitesse et déplacement).

- Observer.
- Expliquer correctement la démarche.
- Conclure.

3- 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		
48		
51		

4- Les chocs et quantités de mouvement

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 ?

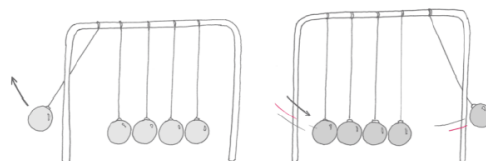
Situation n°2 : choc de deux mobiles autoporteurs élastiques en mouvement ([choc_G1.48kg_D0.980kg.avi](#))

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](#) ?

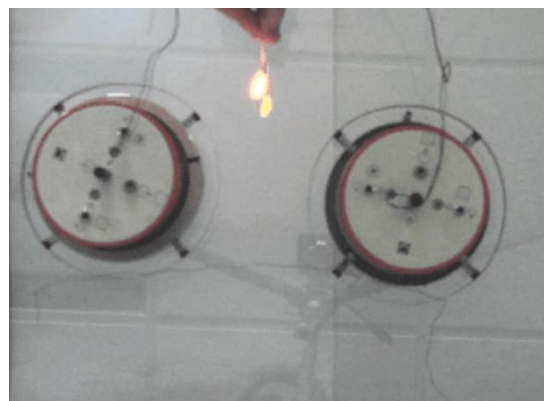
Un exemple ludique : le pendule de Newton.
Comment fonctionne-t-il ? Pourquoi finit-il par s'arrêter ?



5- Propulsion par réaction

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.



6- Décollage d'une fusée Ariane 5

Observer et commenter la vidéo "Ariane V-29-08-13.mp4"

La fusée Ariane 5 au décollage:

- Masse: 780t
- Hauteur: 52m
- 3 moteurs activés:
 - 2 propulseurs à poudre (PAP)
 - 1 moteur Vulcain

Les PAP effectuent 90% de la poussée. Ils sont largués à une altitude de 60km d'altitude après avoir fonctionné pendant 130s et avoir consommé chacun 237t de poudre.

Le moteur Vulcain brûle 158t d'un mélange de dihydrogène et de dioxygène pendant 589s.

Consommation c des propulseurs:

- PAP:
 - $c=82\text{tonnes/s}$ par PAP
 - gaz éjectés à $v=2800\text{m/s}$
- Moteur Vulcain:
 - $c=270\text{kg/s}$
 - gaz éjectés à $v'=4000\text{m/s}$



- En simplifiant la situation, c'est à dire en supposant que le système {fusée - gaz éjectés} est pseudo-isolé, on peut appliquer la conservation de la quantité de mouvement. A quoi peut-on alors assimiler les gaz éjectés et le "corps" de la fusée en comparant la situation à celle d'un patineur?
- A partir des données ci-dessus, évaluer la masse de gaz éjectée quand les PAP cessent de fonctionner. Quelle est alors la masse de la fusée?
- En utilisant la conservation de la quantité de mouvement du système {fusée - gaz éjectés}, calculer la vitesse approximative atteinte par la fusée lorsque les PAP cessent de fonctionner.
- En analysant les actions qui s'exercent entre les composants du système {fusée - gaz éjectés}, expliquer pourquoi on nomme ce mode de propulsion: "propulsion par réaction".

7- Quelques applications

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 $m = 700\text{ kg}$, 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.



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 Δt .
3. Eternuer fait-il reculer ?

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

