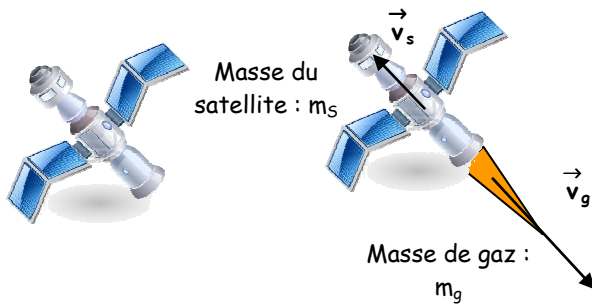


TP : Conservation de la quantité de mouvement



Doc. 1 : conservation de la quantité de mouvement.
Système {satellite + gaz} : à $t = 0$ s et à l'instant t .



Doc. 2 : Comment faire avancer une barque sans rame et sans toucher l'eau ?



Doc. 3 : Quelle est la vitesse du système {balle 1+ 2} quand elles s'accrochent ?

A l'aide de la deuxième loi de Newton, montrer que la quantité de mouvement se conserve pour un système isolé.

La propulsion par réaction : conservation de la « quantité de mouvement ».

Document 1 : La propulsion par réaction.

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.

Document 2 : Ariane V au décollage.

Décollage : Masse totale : 780 t ; Hauteur : 52 m

3 moteurs activés : 2 PAP (propulseur à poudre) et Vulcain.

PAP les plus efficaces : 90% de la poussée ; Largués à 60 km d'altitude ; fonctionnent pendant 130 s ; 2 x 237 t de poudre consommés ; « Consommation » $c \approx 3,65 \text{ t.s}^{-1}$; gaz éjectés à $v \approx 2800 \text{ m.s}^{-1}$.

Vulcain : moteur cryotechnique H_2 et O_2 liquides ; 158 t ; fonctionne pendant 589 s ; gaz éjectés à $v \approx 4000 \text{ m.s}^{-1}$; « consommation » $c \approx 270 \text{ kg.s}^{-1}$

Tous les mouvements étudiés se font dans le référentiel Terrestre considéré comme Galiléen. On considère que le mouvement de chaque mobile peut être ramené au mouvement de son centre de gravité noté G .



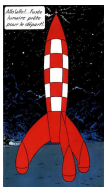
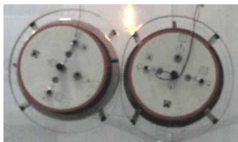
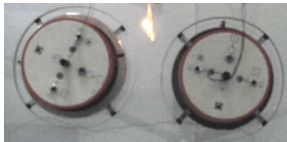
On souhaite analyser une vidéo permettant d'illustrer « la conservation de la quantité de mouvement » pour un système isolé lors de cette propulsion par réaction.

1. Choix de la vidéo.

Visionner la vidéo choisie « Eclatement quantité de mt.avi » se trouvant dans le répertoire « habituel ».

On y voit deux mobiles autoporteurs de masse $m_1 = 1,48 \text{ kg}$ (mobile 1 de gauche) et $m_2 = 0,95 \text{ kg}$ (mobile 2 de droite) qui sont posés sur une table horizontale. Ils sont serrés l'un contre l'autre, des ressorts comprimés entre les deux, et ils sont maintenus ainsi par un fil. Le fil est brûlé ... Les deux mobiles autoporteurs s'éloignent alors l'un de l'autre **sans frottements**.

Compléter le tableau suivant afin de vérifier l'analogie entre cette vidéo et le décollage d'une fusée :

	Phase 1	Phase 2	Objets	Caractéristiques de la vitesse lors de la phase 1	Caractéristiques de la vitesse lors de la phase 2
Fusée au décollage			Objet 1 : Objet 2 :	Objet 1 (v'_1) : Objet 2 (v'_2) :	Objet 1 (v_1) : Objet 2 (v_2) :
Mobiles autoporteurs			Objet 1 : Objet 2 :	Objet 1 (v'_1) : Objet 2 (v'_2) :	Objet 1 (v_1) : Objet 2 (v_2) :

2. Vérification de la conservation de la quantité de mouvement entre ces deux phases.

Pour étudier, avec Regavi et Regressi, les quantités de mouvement lors de la phase 2 :

- Se positionner à l'image 9 : instant $t = 0 \text{ s}$. Placer l'origine du repère sur le « bouton » de la règle en dessous des deux mobiles et « faire l'échelle » avec cette même règle.
- Avec l'icône « Options », déclarer « Mesures : 2 points par image » et dans « tracer des points » cocher « sans ».
- Cliquer sur « mesures » et pointer successivement les 2 centres des mobiles sur les 9 images suivantes (sur une même image, mobile 1 d'abord, puis mobile 2).
- Transférer vos mesures dans « Regressi » (sans entrer de paramètres).
- Créer les grandeurs v_{1x} , v_{1y} , v_{2x} , v_{2y} , puis v_1 et v_2 pour les 2 mobiles. Lorsque les mouvements sont devenus uniformes, modéliser v_1 et v_2 au cours du temps par une fonction « constante » et noter les valeurs et incertitudes pour v_1 et v_2 .
- Décrire le mouvement des deux mobiles après la séparation ?
- Créer la coordonnée de la quantité de mouvement $\vec{p}_1$ portée par la direction du mouvement : $p_{1x} = -m_1 \cdot v_1$.
- Créer la coordonnée de la quantité de mouvement $\vec{p}_2$ portée par la direction du mouvement : $p_{2x} = \dots$.
- La quantité de mouvement totale p_{tot} est égale à la somme de p_1 et p_2 . Créer cette grandeur et afficher simultanément les 3 courbes : $p_1 = f(t)$, $p_2 = f(t)$ et $p_{\text{tot}} = f(t)$.

En déduire la valeur de la quantité de mouvement lors de cette phase 2 pour le système {mobile 1 + mobile 2}. Comparer cette valeur à celle de la phase 1. Conclusion.

Par analogie avec le décollage d'une fusée, expliquer le principe de la propulsion par réaction.

- Déterminer un encadrement des valeurs des quantités de mouvement à l'aide de l'expression $\frac{\Delta p}{p} = \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta m}{m}$ (d'après les valeurs de m_1 et m_2 , $\Delta m_1 = \dots$ et $\Delta m_2 = \dots$).

Une « application » : Le recul du canon.

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 9,3 km. L'obus, de masse $m = 700 \text{ kg}$, était propulsé à la vitesse de 400 m/s.

- Que se passait-il pour la grosse Bertha lors du tir de l'un de ses obus ?
- Quelle était alors la vitesse v' du canon après le tir ?
- Que se serait-il passé si on avait utilisé un canon de 10 tonnes avec les mêmes obus ?

Justifier la masse imposante de la grosse Bertha.



2. Modélisation :

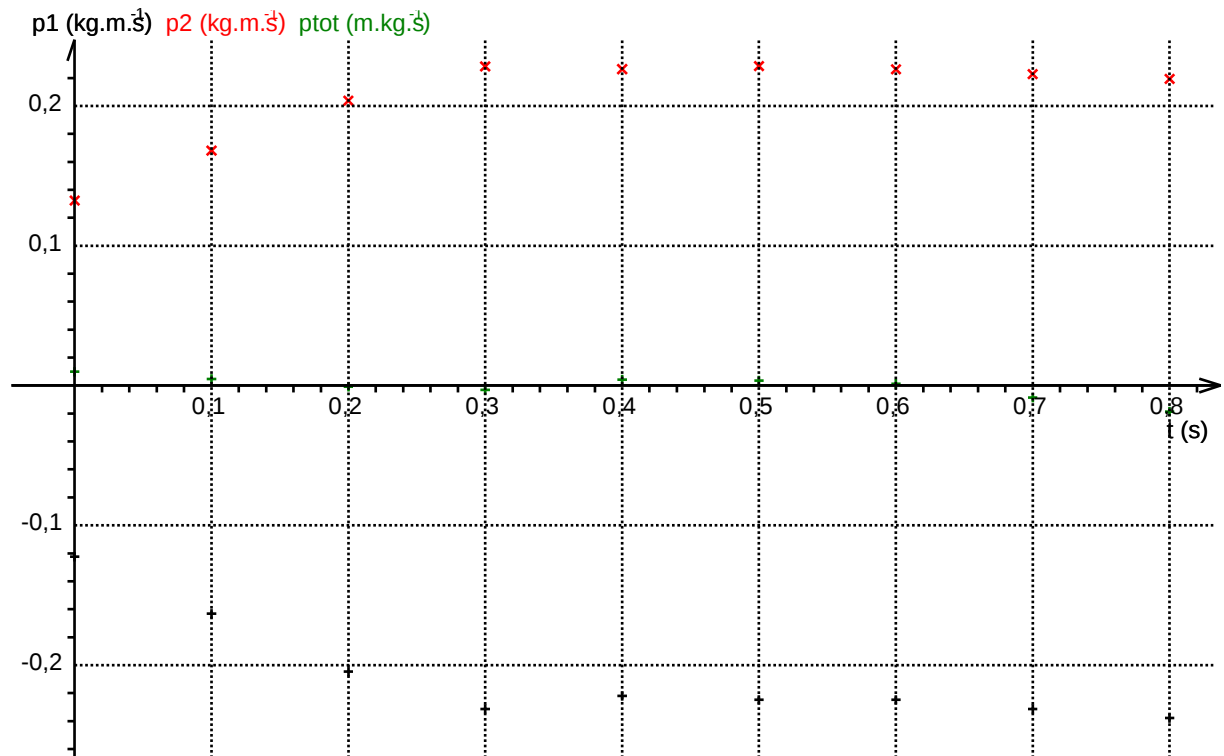
$v_1 = 156 \text{ mm.s}^{-1}$ à 7 mm.s^{-1} près

$v_2 = 242 \text{ mm.s}^{-1}$ à 2 mm.s^{-1} près

Quantité de mouvement quand v_1 et v_2 constant :

$$P_1 = 1,48 \times 0,156 = 0,231 \text{ kg.m.s}^{-1}$$

$$P_2 = 0,95 \times 0,242 = 0,226 \text{ kg.m.s}^{-1}$$



Encadrements :

$$\Delta p_1 = p_1 \times \left(\frac{\Delta v_1}{v_1} + \frac{\Delta m_1}{m_1} \right) \text{ soit } \Delta p_1 = 0,231 \times \left(\frac{7}{156} + \frac{0,01}{1,48} \right) \approx 0,012 \text{ kg.m.s}^{-1}$$

$$0,219 \text{ kg.m.s}^{-1} < p_1 < 0,243 \text{ kg.m.s}^{-1}$$

$$\Delta p_2 = p_2 \times \left(\frac{\Delta v_2}{v_2} + \frac{\Delta m_2}{m_2} \right) \text{ soit } \Delta p_2 = 0,226 \times \left(\frac{2}{242} + \frac{0,01}{0,95} \right) \approx 0,00424 \text{ kg.m.s}^{-1} \approx 0,005 \text{ kg.m.s}^{-1}$$

$$0,221 \text{ kg.m.s}^{-1} < p_2 < 0,231 \text{ kg.m.s}^{-1}$$