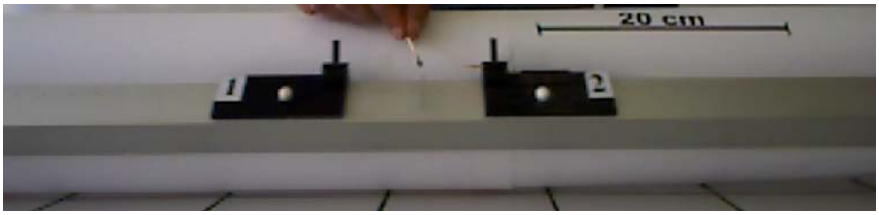
AE-Propulsion par réaction

Problématiques : Expliquer par quel principe une fusée décolle ? un canon propulse son boulet? Comment faire avancer une barque sur un lac sans toucher l'eau?

Document 1 : Démarche expérimentale pour étudier un mouvement

Le système étudié est constitué de deux mobiles de masses différentes placés sur un banc ou une table à coussin d'air parfaitement horizontal. Chaque mobile se termine par un petit ressort. Au départ, les deux mobiles sont reliés par une ficelle qui maintient les deux ressorts comprimés. On brule ou on coupe ensuite la ficelle ce qui permet aux deux ressorts de se détendre.



Le mouvement de ce système sera filmé et exploité avec le logiciel ESAO.

Document 2 : Rappel des méthodes

Décrire un mouvement à partir de l'observation : Définir le système
Préciser le référentiel
Décrire la trajectoire
Préciser l'évolution de la vitesse

Etudier le mouvement :

- Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le système (exercée par quoi, nom, symbole)
- Faire un schéma sur lequel on indique la direction et le sens de chaque force
- Annoncer que le référentiel est considéré comme galiléen
- Appliquer la seconde loi de Newton
- En déduire l'évolution du vecteur accélération du système et/ou du vecteur vitesse du système et/ou du vecteur position du système en fonction du temps.
- Dans le cas d'une propulsion, en déduire une relation entre les vitesses et les masses des différentes parties du système.

Document 3 : Vecteur quantité de mouvement d'un système

Le vecteur quantité de mouvement d'un point matériel est égal au produit de sa masse m par son vecteur vitesse $\vec{v}$: $\vec{p} = m\vec{v}$ avec m en kg, v en m.s^{-1} et p en kg.m.s^{-1}

Un système est dit **« isolé »** s'il n'est soumis à aucune action mécanique extérieure.
Un système est dit **« pseudo-isolé »** s'il est soumis à des actions extérieures qui se compensent c'est-à-dire si : $\sum \vec{F} = \vec{0}$

Dans un référentiel galiléen, pour un tel système, la deuxième loi de Newton indique : $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0}$
ce qui signifie que le vecteur « quantité de mouvement » est constant. On dit aussi qu'il se conserve : $\vec{p} = \overrightarrow{cste}$

Si ce système se sépare en 2 parties en interaction, les quantités de mouvement de ces 2 parties sont des vecteurs opposés puisque leur somme est nulle.

Travail à réaliser :

I. Etude de l'éclatement d'un objet :

Expérience 1 : Banc à coussin d'air m1 = 92,7g et m2 = 195,3 g
Réaliser la vidéo de l'expérience :
sélectionner 640x480px
dans acquisition : choisir vidéo rapide, durée de la vidéo 3s, chemin de sauvegarde du fichier avi généré en local sur D:
Lancer l'acquisition en cliquant sur la caméra. attendre 1s avant de lâcher les mobiles.
Traitement de la vidéo : se placer au moment ou les palets sont écartés l'un de l'autre,
paramétrer le défilement des images toutes les 10 images.
paramétrer le pointage de 2 points par image
Etalonnage bande orange de 0,50 m, repère avec origine au centre du système des 2 mobiles,
Lancer le traitement en cliquant sur le bouton vert.

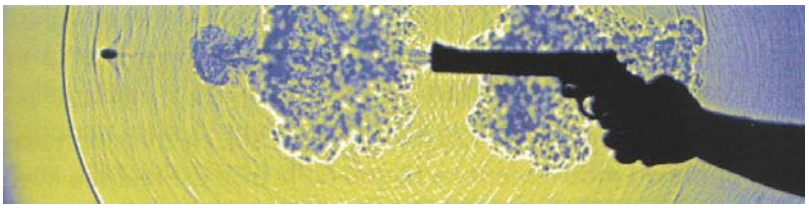
Interprétation :
Interpréter le mouvement des 2 mobiles.
Le système (palet1+palet2) est-il isolé ou pseudo-isolé ?
Montrer par des calculs qu'il y a conservation de la quantité du mouvement du système (palet1+palet2).

Expérience 2 : Table à coussin d'air
Réaliser l'expérience d'éclatement des 2 mobiles autoporteurs
Décrire le mouvement des 2 palets
Exploiter le tracé sur papier en annexe pour montrer qu'il y a conservation de la quantité du mouvement du système (palet1+palet2).
Représenter les vecteurs vitesses et accélérations en un point.

II. Interpréter un mode de propulsion par réaction

Q1 : A l'aide d'un bilan qualitatif de quantité de mouvement, interpréter le mode de propulsion par réaction dans les 4 cas suivants. (Bien distinguer les 2 moments : avant et après l'éclatement, faire les hypothèses qui conviennent)

1. Tir d'une balle de pistolet



La mise à feu provoque une réaction chimique produisant une grande quantité de gaz dans la douille. Ce gaz se détend jouant le rôle d'un ressort.

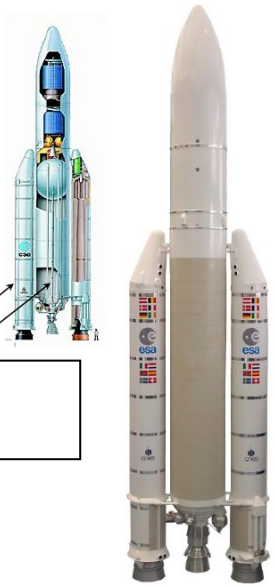
2. Propulsion d'un jet ski ou scooter des mers :

L'eau est pompée en dessous du mobile, accélérée à travers une turbine puis expulsée à l'arrière à haute vitesse.

3. Propulsion d'un avion à réaction :
Dans les mirages 2000, l'éjection des gaz par les réacteurs se fait à une vitesse de 115 $km.s^{-1}$ dans le référentiel de l'avion.

4. Décollage de la fusée Ariane 5

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



c = 1,82 tonnes/s par PAP
gaz éjectés à v = 2800 m/s

c = 270 kg/s
gaz éjectés à v' = 4000 m/s

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

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

Q2 : 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
1. 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 ?
2. En utilisant la conservation de la quantité de mouvement du système {fusée + gaz éjectés}, déterminer la vitesse approximative V atteinte par la fusée lorsque les PAP cessent de fonctionner.
On considèrera pour état initial : avant le décollage. Pour état final : l'instant de séparation des PAP.
3. Expliquer pourquoi on nomme ce mode de propulsion : « propulsion par réaction ».

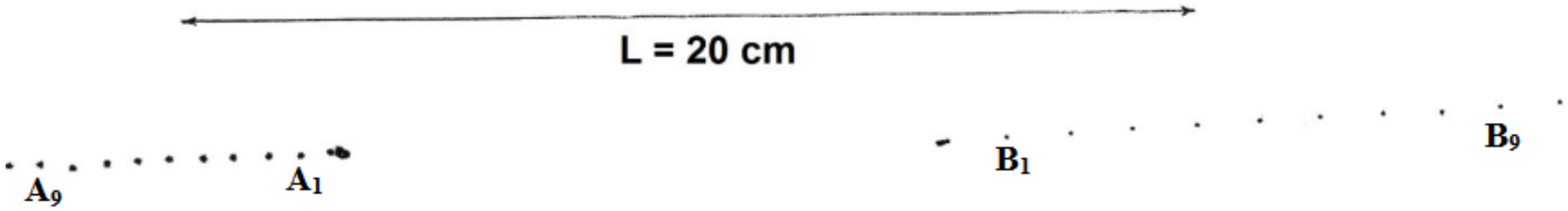
Q3 :

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 sa masse M = 70 tonnes. Elle permettait d'envoyer un obus de mortier lourd à une distance de 9,3 km. L'obus de masse m = 700 kg était propulsé à la vitesse d'environ v = 400 $m.s^{-1}$. Le canon étant initialement immobile tire un obus. Lors du tir, le canon recule rectilignement et à vitesse constante, un dispositif d'amortissement absorbe l'énergie lié au recul du canon.

De quelle énergie est-il question dans le texte ?
Expliquer en justifiant par un calcul :

- le recul du canon
- la masse élevée du canon
- l'utilisation du dispositif d'amortissement.

Annexe :



Correction

2) Application à la propulsion à réaction

La propulsion à réaction est utilisée par les fusées et les avions lors du décollage.

- Système : {**fusée et son contenu**} de masse m_{fc}.
- Référentiel : terrestre supposé galiléen
- **Avant le décollage**, le système est pseudo-isolé puisque les forces qu'il subit (le poids $\vec{P}$ et la réactio sol $\vec{R}$) se compensent donc la quantité de mouvement du système est définie par : $\vec{p_0} = m_{fc}.\vec{v_0}$
  Le système étant au sol, il est immobile donc $\vec{v_0} = \vec{0}$ donc $\vec{p_0} = \vec{0}$
- **Après le décollage**, le système s'est désolidarisé : des composés chimiques ont été éjectés par la fusé
  Mais d'après le principe de conservation de la quantité de mouvement du système {fusée et son co
  n'a pas changé : $\vec{p_0} = \vec{p_1}$ où $\vec{p_1}$ peut être décomposé en : $\vec{p_1} = \vec{p_f} + \vec{p_c}$
  Donc $\vec{0} = \vec{p_f} + \vec{p_c}$ soit $\vec{0} = m_f.\vec{v_f} + m_c.\vec{v_c}$ soit $\boxed{\vec{v_f} = -\frac{m_c}{m_f}.\vec{v_c}}$
- Cette relation montre que :
  - Les vecteurs $\vec{v_f}$ et $\vec{v_c}$ sont colinéaires : même direction mais sens opposés ;
  - Plus la masse de la fusée est importante, plus faible est la valeur de la vitesse atteinte par elle ;
  - Plus la masse et la valeur de la vitesse des gaz éjectés sont importants, plus la valeur de la vites atteinte par la fusée l'est également.
- Les gaz expulsés par la fusée sont à l'origine de son mouvement : c'est le mode de **propulsion par réaction**.

Mf(t0)=780 t
Mf(tf)=780-2x237 = 316t et Mg(tf)=2x237 = 474t et Vg=2800m/s
qté de mouv se conserve donc Mf(tf)xVf = Mg(tf) xVg Vf = 4200m/s

Canon :
Energie cinétique
conservation de p donc McxVc = MbxVb les vitesses sont de sens opposées donc recul du canon
Vb est d'autant plus grande que la masse du canon est grande.
rapport de vitesse = rapport de masse
Vc se transforme en EC il faut dissiper cette énergie sinon le canon reculerait longtemps seulement fréiné par les frottements au sol