

## M2 MECANIQUE A UN ET DEUX DEGRES DE LIBERTE

### I. INTRODUCTION

Dans cette expérience, nous allons vérifier la loi de conservation de la quantité de mouvement, ceci même lorsque l'énergie mécanique n'est pas conservée. Cette expérience est scindée en deux parties expérimentales :

- 1.- Une expérience à une dimension avec laquelle on pourra mettre en évidence que la conservation de la quantité de mouvement est toujours vérifiée même si l'énergie mécanique n'est pas conservée. Cette expérience se réalise sur un banc à coussin d'air avec deux mobiles dont les trajectoires sont enregistrées par un ordinateur grâce à un système de détection de position à ultrasons.
- 2.- Une expérience à deux dimensions qui permet de mieux mettre en évidence l'aspect vectoriel de la loi de conservation de la quantité de mouvement. Cette expérience comporte deux mobiles se déplaçant sur coussin d'air. Un système de traçage par étincelles permet d'enregistrer les trajectoires en fonction du temps.

### II. THEORIE

La mécanique classique est régie par trois lois fondamentales :

*Loi d'inertie* : l'état de mouvement d'un corps n'est pas modifié si aucune force résultante n'agit sur lui.

*Action = Réaction* : si un objet exerce une force  $\vec{F}$  sur un second objet, le second objet exerce sur le premier, une force égale mais opposée  $-\vec{F}$ .

*Loi de Newton* : la force  $\vec{F}$  nécessaire pour fournir une accélération  $\vec{a}$  à un objet est égale à  $\vec{F} = m \vec{a}$  où  $m$  est la masse (d'inertie) de l'objet.

#### Travail et Energie

Le travail  $W$  effectué sur un corps par une force  $\vec{F}$  le long du chemin de A à B est défini par

$$(1) \quad W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} \quad [W] = \text{N}\cdot\text{m} = \text{J}$$

#### a) Energie cinétique

L'énergie cinétique est définie comme étant le travail de la force d'inertie  $m \frac{d\vec{v}}{dt}$

$$(2) \quad E_{\text{cin}} = \int_A^B m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{r} = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2 = E_{\text{cin}}^B - E_{\text{cin}}^A$$

### b) Energie potentielle

Si le travail de la force  $\vec{F}$  est indépendant du chemin parcouru, la force est dite *conservative* (par exemple : pesanteur, forces élastiques, etc.). Le travail fourni par une telle force est égal à la variation d'énergie potentielle du corps

$$(3) \quad W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r} = -(E_{\text{pot}}^B - E_{\text{pot}}^A)$$

Cas particulier de la pesanteur :  $W = -mg(z_B - z_A)$

### Conservation de l'énergie

Si toutes les forces qui agissent sur un corps sont conservatives, alors l'énergie mécanique est conservée.

$$(4) \quad E_{\text{mec}} = E_{\text{cin}} + E_{\text{pot}} = \text{constante}$$

### Quantité de mouvement

La quantité de mouvement  $\vec{p}$  d'une masse  $m$  est le produit de sa masse par sa vitesse :

$$(5) \quad \vec{p} = m\vec{v} \quad [p] = \text{kg m/s}$$

### Loi de conservation de la quantité de mouvement

La quantité de mouvement totale  $\vec{P}$  d'un système isolé de particules est constante.

$$(6) \quad \vec{P} = \sum_i \vec{p}_i = \sum_i m_i \vec{v}_i$$

### Centre de masse

Le centre de masse est un point particulier  $X_m$  de l'espace où l'on peut concentrer toutes les masses en mouvement

$$(7) \quad X_m = \frac{1}{M} \sum_i m_i \vec{x}_i \quad \text{où} \quad M = \sum_i m_i$$

Ainsi, dans le cas d'un système isolé, le mouvement du centre de masse est uniforme, car la quantité de mouvement du centre de masse représente la quantité de mouvement totale qui elle reste constante

$$(8) \quad \vec{P} = \sum_i m_i \vec{v}_i = \frac{d}{dt} \left[ \sum_i m_i \vec{x}_i \right] = \frac{d}{dt} [M \vec{X}_m] = \vec{P}_m$$

## Collisions

Dans tous les cas de collisions, la quantité de mouvement totale est conservée, c'est à dire que le centre de masse du système en mouvement a un mouvement uniforme.

### a) Chocs élastiques

La quantité de mouvement est conservée :

$$(9) \quad \sum_i m_i \vec{v}_i \quad \text{avant le choc} = \sum_i m_i \vec{v}_i \quad \text{après le choc}$$

L'énergie cinétique est conservée :

$$(10) \quad \sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2 \quad \text{avant le choc} = \sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2 \quad \text{après le choc}$$

### b) Chocs inélastiques (ou mous)

Une partie de l'énergie cinétique est transformée sous une autre forme (chaleur, énergie de déformation); l'énergie cinétique n'est donc pas conservée, mais par contre la quantité de mouvement est conservée.

## III. EXPERIENCES

### a) Expérience à un degré de liberté

La figure 1 montre le dispositif expérimental utilisé. Il consiste en un rail, sur lequel les mobiles se déplacent sur un coussin d'air. Il est nécessaire d'avoir un débit d'air suffisant pour assurer une bonne sustentation des mobiles, mais un débit trop important engendrera des turbulences au passage du mobile sur les buses qui seront des sources de dissipation. Un bon débit est obtenu en réglant le transformateur alimentant la soufflante sur 80-110 volts.

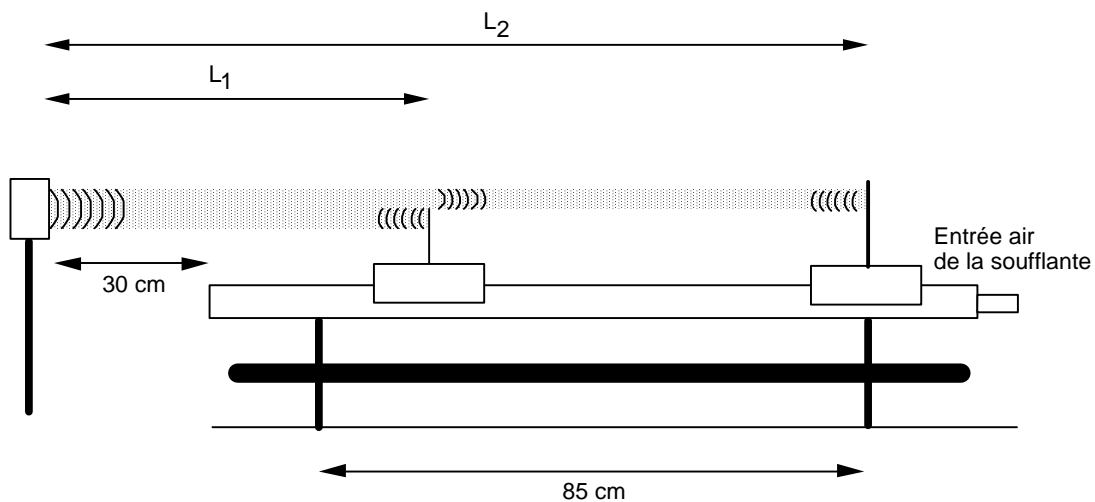


Figure 1.- Dispositif expérimental

La mesure de la position est réalisée par un émetteur/récepteur à ultrasons. Pendant un très court instant, le système émet un train d'impulsions puis se met en fonction réceptrice. Lorsque le train d'impulsions atteint le premier réflecteur (petit), une partie des ondes est réfléchiée vers le récepteur tandis que l'autre partie continue en direction du second réflecteur (grand). Le récepteur détecte le retour des impulsions et l'ordinateur mesure le temps que les impulsions ont mis pour effectuer leur parcours, c'est à dire deux fois la position de chaque mobile. En tenant compte de la vitesse du son dans l'air, on peut alors calculer la position exacte de chaque mobile.

### **b) Expérience à deux degrés de liberté**

Lors de cette expérience, les mobiles se déplacent également sur coussin d'air, mais celui-ci est créé par le mobile (membrane vibrante). Les trajectoires sont enregistrées sur une feuille de papier de soie posée sur une feuille de graphite. Un générateur d'impulsions de haute tension avec une période  $T$  de 20, 40 ou 60 ms provoque une étincelle entre le mobile et la feuille de graphite. Cette étincelle laisse une marque sur la feuille de papier de soie. Pour que les étincelles se produisent, il est nécessaire que les deux mobiles soient sur la table. Pour toutes les expériences qui vont être effectuées, placer le sélecteur de la fréquence des étincelles sur 60 ms.

## **IV. MANIPULATIONS :**

### **M2a.- Expérience à un degré de liberté**

#### **1) Etalonnage de la vitesse du son**

- a) Effectuer 10 mesures de position avec un mobile en le déplaçant de 10 en 10 cm.
- b) Effectuer une régression linéaire de ces mesures. Interpréter le résultat de cette régression.

#### **2) Conservation de la quantité de mouvement**

Pour réaliser ces expériences, il est nécessaire que le banc soit absolument horizontal. Régler les vis de manière à ce qu'un mobile initialement au repos ne se mette pas en mouvement.

#### **Collisions élastiques**

- a) Prendre deux mobiles avec un disque de surcharge et un butoir flexible. Déterminer avec la balance la masse de chaque mobile.
- b) Donner une petite vitesse initiale à l'un des mobiles, l'autre étant au repos et enregistrer la trajectoire.
- c) Vérifier que la quantité de mouvement totale et l'énergie mécanique sont conservées.
- d) Mettre une deuxième surcharge sur l'un des mobiles .

- e) Donner une petite vitesse initiale à l'un des mobiles, l'autre étant au repos et enregistrer la trajectoire.
- f) En utilisant le principe de la conservation de la quantité de mouvement, déterminer la masse de la surcharge. Vérifier votre résultat en pesant la surcharge.

### **Collisions inélastiques**

- a) Prendre deux mobiles avec un disque de surcharge et un butoir avec bande velcro. Déterminer la masse de chaque mobile.
- b) Donner une petite vitesse initiale à l'un des mobiles, l'autre étant au repos. Enregistrer leur trajectoire.
- c) Vérifier que la quantité de mouvement totale est conservée mais pas l'énergie mécanique.
- d) Donner une petite vitesse initiale aux deux mobiles et enregistrer leur trajectoire.
- e) Vérifier que la quantité de mouvement totale est conservée.

### **M2b.- Expériences à deux degrés de liberté**

Pour pouvoir réaliser correctement ces expériences, il est nécessaire de s'assurer que les frottements sont négligeables. Lancez délicatement (l'un après l'autre) chaque mobile et assurez-vous que la quantité de mouvement reste inchangée.

### **Collisions élastiques**

- a) Placer sur chaque mobile une bague à ressort et déterminer avec la balance la masse de chaque mobile.
- b) Lancer chaque mobile de façon à ce que les trajectoires se coupent avec un angle de l'ordre de  $90^\circ$ .
- c) Vérifier que la quantité de mouvement totale est conservée.
- d) Vérifier que le centre de masse G du système suit un mouvement rectiligne uniforme.

### **Collisions inélastiques**

- a) Placer sur chaque mobile une bague à choc mou (bague recouverte d'une bande velcro) et déterminer la masse de chaque mobile.
- b) Lancer un mobile de manière à ce que sa trajectoire ne passe pas par le centre de masse du deuxième mobile initialement au repos au milieu de la table.
- c) Vérifier que le centre de masse G du système suit un mouvement rectiligne uniforme.

