

# Étude du mouvement d'un projectile dans le champ de gravitation terrestre

(T.P. pour Terminale - Programme de Mécanique)

par Vincent BESNARD et Jean-Marc GONOD  
Stagiaires I.U.F.M., en 1990/1991  
33000 Bordeaux

---

## 1. INTRODUCTION

Le dispositif présenté permet l'étude cinématique d'un projectile lancé dans le champ de gravitation terrestre. De nombreux exercices, dans les manuels de Terminale, décrivent le tir d'un projectile par un canon ; nous avons donc réalisé un appareillage similaire, utilisable par les élèves en Travaux Pratiques de Mécanique.

## 2. RÉALISATION DU CANON ET DU MONTAGE EXPÉRIMENTAL

### A - Liste de matériels :

- tube en cuivre de longueur 30 cm environ, de diamètre 16/18 ;
- un ressort, travaillant en compression :
  - raideur  $k = 170 \text{ N/m}$ ,
  - $\varnothing = 1 \text{ mm}$  du fil d'acier,
  - pas du ressort 2 mm.
- bouchon de chimie percé ;
- tige laiton de longueur 20 cm ( $\varnothing = 5 \text{ mm}$ ) à l'extrémité de laquelle est soudé un disque de diamètre inférieur à 16 mm, et à l'autre extrémité, un petit bouchon percé bloqué sur la tige et servant de butée ;
- 4 petits tubes en cuivre de longueur 2,5 cm ( $\varnothing = 1 \text{ cm}$ ), soudés sur le gros tube et destinés à recevoir les ampoules et les phototransistors ;
- une bille en acier provenant d'un embrayage MOTOBÉCANE ( $\varnothing = 1,56 \text{ cm}$ ) ;
- 2 phototransistors ;
- 2 petites lampes (6 V ; 1 W) ;
- fil électrique, 6 fiches de branchement.

Pour la réalisation de l'expérience en T.P., il faut disposer :

- d'un chronomètre électronique ;
- de feuilles de papier carbone ;
- d'un étau à socle pivotant, très pratique pour fixer le tube et l'orienter ( $\alpha$  variable).

## B - Réalisation - Conseils pratiques :

### a - Préparation du canon et du lanceur (voir Figure 1) :

- Percer symétriquement le tube de cuivre à une de ses extrémités (voir Figure 1). Ces 4 trous (deux à deux symétriques) serviront à recevoir les petits tubes où seront logés lampes et phototransistors.

- La distance  $d$  séparant 2 trous (7 cm), sert de base de mesure de la vitesse  $V_0$  de la bille à la sortie du canon.

$d$  ne doit pas être trop élevée sous peine d'incertitudes trop grandes dues aux frottements.

- Fermer le canon côté lanceur avec un bouchon de chimie percé et muni d'un tube de verre servant de glissière pour la tige laiton ; on évite ainsi les frottements bouchon-tige.

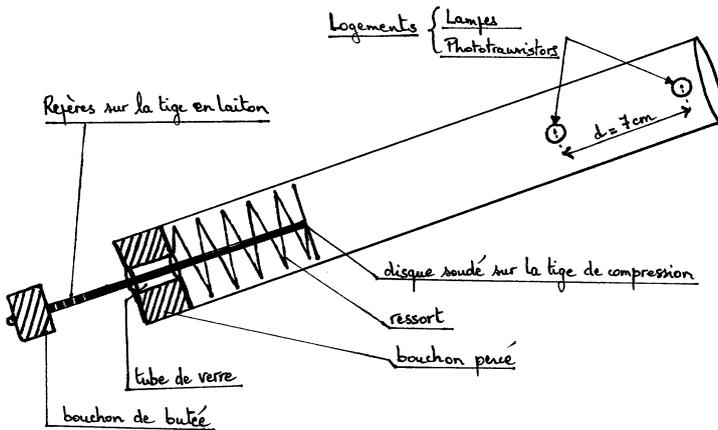
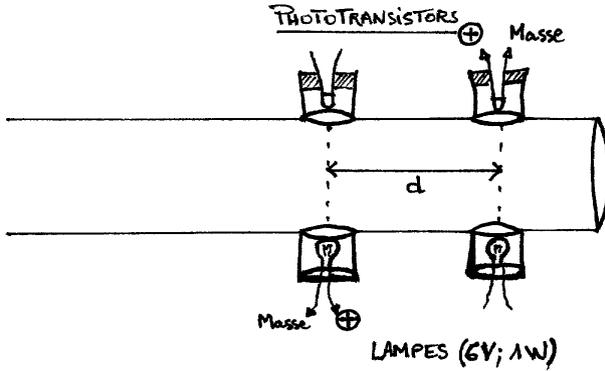


Figure 1 : Vue en coupe.

### b - Les éléments de mesure (voir Figure 2) :

- Placer un phototransistor et une lampe en vis-à-vis.
- Souder les fils équipés de fiches de branchement compatibles avec le chronomètre électronique.

– **Attention**, suivant le chronomètre utilisé (ici DIDALAB477), adapter en tension les phototransistors et les lampes.



**Figure 2 :**

Pour le chronomètre DIDALAB 477

**Le fils :** 3 par couples (Lampe - Phototransistor)

**Branchement :**

Début	o	o	Fin
Masse	o	o	Masse
+ 6 V	o	o	+ 6 V

### 3. EXPÉRIENCE

- Fixer le canon sur l'étau à socle pivotant, ce dernier étant bloqué sur un élément vertical.
- Ajuster l'angle de tir  $\alpha$  en faisant pivoter l'étau par rapport au socle.
- Mesurer la hauteur  $h$  du canon par rapport au sol (voir figure 3 ;  $h$  mesuré en  $d/2$ ).
- Placer sur le sol au point de chute approximatif une feuille de papier recouverte d'un papier carbone.
- Brancher les fils électriques sur le chronomètre électronique.
- Effectuer le lancement : la bille propulsée passe devant le 1<sup>er</sup> capteur (enclenchant le chronomètre), parcourt la distance  $d$  (entre les 2 capteurs), passe devant le 2<sup>ème</sup> capteur (stoppant le chronomètre qui indique la durée  $t$  mise pour parcourir  $d$  connue) et sort du canon. La vitesse  $V_0$  est donc connue.
- Repérer le point d'impact sur les feuilles de papier.
- Mesurer donc la portée.

**REMARQUES**

Pour réaliser plusieurs fois le même tir nous avons marqué des repères sur la tige du lanceur.

Ainsi l'étude peut commencer :

- l'angle  $\alpha$  variable offre la possibilité de tir pour deux angles complémentaires,
- la hauteur  $h$  peut varier aussi.

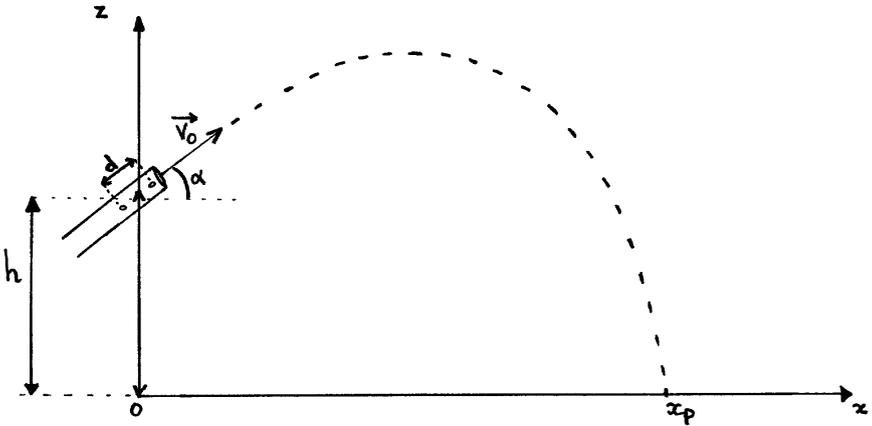


Figure 3

**4. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE****2 possibilités d'exploitation :**

*a -  $V_0$  connue expérimentalement, retrouver la portée horizontale  $X_p$*

Les formules sont :

$$\begin{cases} z = -gt^2/2 + (V_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t + h \\ x = (V_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t \\ z = -g(1 + \tan^2 \alpha) x^2/2 V_0 + (\tan \alpha) x + h \end{cases}$$

Calcul de  $X_p$  pour  $z = 0$  :

$$X_p = V_0 (\tan \alpha + \sqrt{\Delta}) / g (1 + \tan^2 \alpha) ; \Delta = b^2 - 4 ac$$

**b -  $X_p$  connue expérimentalement, rerover la vitesse  $V_o$**

$$V_o = \sqrt{\left( g X_p^2 / 2 \cos \alpha (h + X_p \cdot \tan \alpha) \right)}$$

**Incertidutes :**

$X = K \cdot V_o^2$ ,  $K = \text{constante}$ ,  $X = \text{portée}$ .

Si on suppose  $\alpha = 0$ , symbol  $\alpha$  est contenu dans L.

Alors  $\Delta X / X = 2 \cdot \Delta V_o / V_o$ .

Or  $V_o = d / t$  donc  $\Delta V_o / V_o = \Delta d / d + \Delta t / t$ .

Avec  $\Delta d / d = (0,5 \text{ mm} / 70 \text{ mm}) = 1 / 140$  (négligeable devant  $\Delta t$ ).

Mais  $\Delta t / t = (0,5 \text{ ms} / 21 \text{ ms}) \approx 2,4 \%$  ( $t = 21 \text{ ms}$  durée trouvée expérimentalement lors d'un tir, et voisine de la durée des autres tirs).

Ainsi  $\Delta V_o / V_o \approx 5 \%$  ; tel est le calcul d'incertitude théorique qui fixe la fourchette d'incertitude.

On améliorerait considérablement la performance avec une horloge au  $10^{-4} \text{ s}$ .

## 5. CHRONOPHOTOGRAPHIE

La chronophotographie permet la visualisation de la trajectoire et une étude quantitative :

– Réaliser un disque  $\varnothing \approx 24 \text{ cm}$ , tournant à vitesse constante grâce à un alternateur de vélo, alimenté en  $6 \text{ V} \sim, 50 \text{ Hz}$ .

\*\* **L'alternateur** va se comporter, à condition de le lancer, comme un moteur synchrone et tourner à la vitesse  $w$  :

$w = N / p$      $N$  : fréquence de la tension délivrée  
                    $p$  : nombre de paires de pôles de l'alternateur (ici  $p = 4$ ).

$w = 50 / 4 = 12,5 \text{ tr/s}$ .

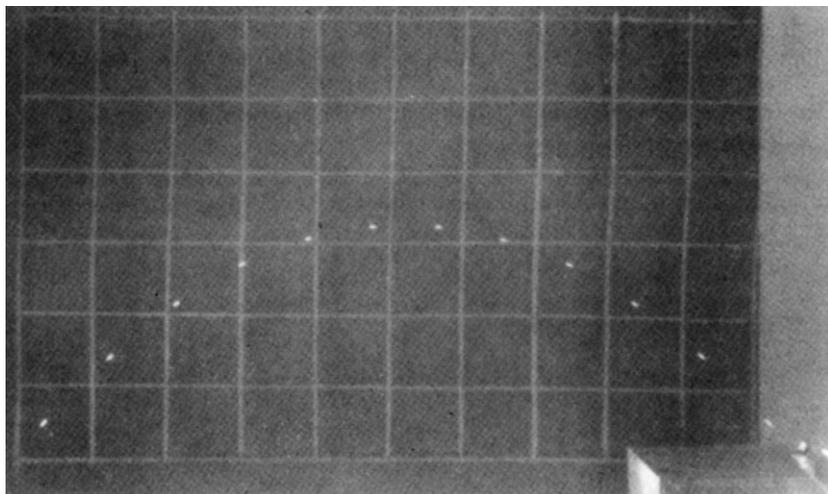
Comme ce moteur entraîne un disque à 2 fentes, le dispositif délivrera  $2 * 12,5 = 25$  éclairs par seconde.

Temps entre 2 éclairs =  $1 / 25 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ s}$ .

Durée d'un éclair =  $4 \cdot 10^{-2} * D / \pi R \approx 2 \text{ ms}$ .

### SCHÉMA DU DISQUE

- Installer l'appareil photo de telle façon que les fentes passent devant l'objectif.
- Disposer à 20 cm derrière le plan de tir, un rideau noir non réfléchissant, quadrillé (15 cm × 15 cm).
- Éclairer latéralement dans le plan de tir (Halogène 500 W).
- Placer l'appareil muni du disque fendu à environ 2 m du plan de tir.
- Réglage de l'appareil photo :
  - Pose B
  - Ouverture 1,4
  - Pellicule 400 ASA Noir & Blanc.



**Figure 4** : Permet de faire une étude cinématique (classique).

### REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Monsieur Jean URSULE (Lycée E. FAURE à LORMONT), pour son aide à l'élaboration du dispositif présenté.