

LP 15 - Mouvements, interactions et notion de champ

Lise Boutenègre, Raphael Rullan

Elément imposé – champ gravitationnel/électrostatique, Trajectoire d'un objet, Lois de Kepler, Principe fondamental de la dynamique, Repère de Frénet

Introduction Pédagogique

Niveau : Terminale Générale spécialité

Pré-requis

- Vecteurs position et vitesse **Première**
- Notion de champs **Première**
- Travail d'une force **Première**
- Notion de référentiel **Première**
- Dérivation en mathématiques **Première**
- Trigonométrie **Première**
- Variation du vecteur vitesse **Première**
- Vocabulaire du mouvement : mouvement rectiligne, circulaire, curviligne, uniforme, non uniforme **Première**

Difficultés

- Traitement mathématique du problème
- Bien situer le problème et définir correctement le système
- Bien compter toutes les forces et faire les bonnes approximations

Applications

- **TP** : Balle de tennis de table, prise d'une vidéo et suivi de la trajectoire : comparaison avec les données théoriques
- **TD** : Etude d'un vol parabolique

Remarque – C'est un chapitre dense et important, tout ne pourra pas être revu, les objectifs et les prérequis dépendront de ce que l'on veut faire

Objectifs – Que les élèves soient capables de réaliser proprement un bilan des forces et déterminer à partir de ça les équations du mouvement. Autre objectif les exprimer dans le repère de Frénet

Source – Belin, Tle Physique-Chimie, Dulaurans Tle Physique-Chimie Enseignement spécialité

Introduction

Remarque – En intro on peut montrer une petite vidéo avec la trajectoire d'un javelot avec Astérix <https://www.youtube.com/watch?v=2oWxdjsXGh8>. On voit que le javelot monte, monte avant de redescendre. Si on s'intéresse aux deux scènes, on voit que l'angle de départ est différent, est-ce qu'on peut expliquer la différence de longueur avec cela ? **On peut faire ça si l'élément imposé nécessite l'utilisation du PFD et la détermination d'une trajectoire**

Je pense que la vidéo est assez intéressante à montrer, parce qu'on a plusieurs aspects : la trajectoire et quand le javelot sort de la terre, on peut parler de satellites et des lois de Kepler.

1 De la cinématique à la dynamique

1 Le référentiel galiléen et première loi de Newton

Pour une étude en mécanique, vous avez déjà vu qu'on devait définir un référentiel. On va s'intéresser ici à un référentiel en particulier. Les référentiels galiléens.

Définition – Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel la première loi de Newton ou principe d'inertie s'applique : si $\sum \vec{F} = \vec{0}$ alors $\Delta \vec{v} = \vec{0}$, le centre d'inertie du système est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme.

Un tel référentiel a quelques spécificités :

- un référentiel en **translation rectiligne et uniforme** par rapport à un référentiel galiléen est supposé galiléen
- Lors d'expériences de courtes durées, le **référentiel terrestre** est supposé galiléen
- Le **référentiel géocentrique** est supposé galiléen
- Le **référentiel héliocentrique** est supposé galiléen

2 La seconde loi de Newton

Dans un référentiel galiléen, la **somme vectorielle des forces extérieures** appliquées au système $\sum \vec{F}_{ext}$ est égale au produit de la masse totale du système par l'accélération de son centre de masse.

$$m \times \vec{a} = \sum \vec{F}_{ext} \quad (1)$$

Sinon on peut l'exprimer avec la quantité de mouvement :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = m \times \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (2)$$

2 Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme

1 Positionnement du problème

On s'intéresse au Javelot et aux deux lancers que l'on peut voir dans Astérix et Obélix Figure 1

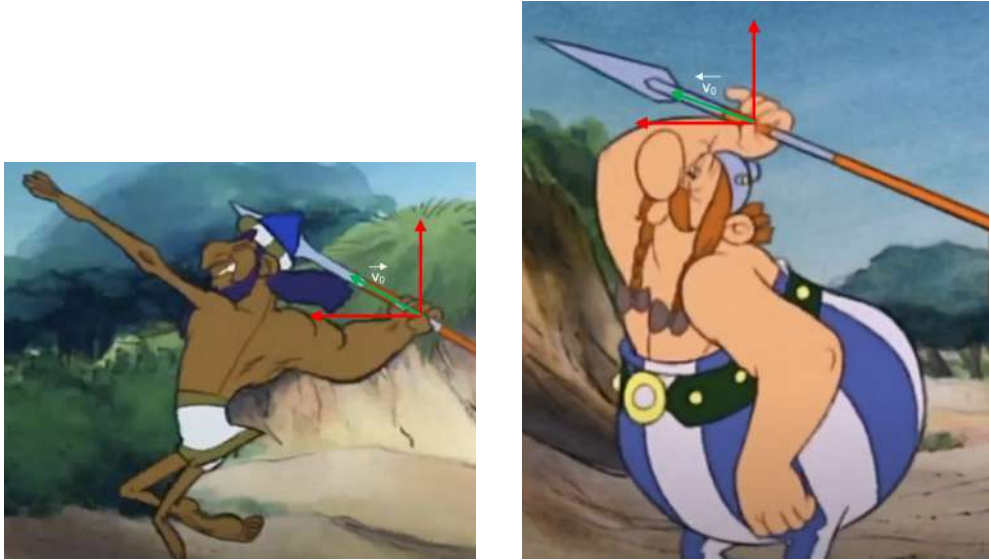


Figure 1 – Comparaison de deux lancers (angle initial 31 pour l'égyptien et 19 pour obélix)

On lance un projectile de masse m avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$. On fait le classique mais très très très important :

- Système : le projectile de masse m assimilé à son centre d'inertie
- Référentiel : terrestre supposé galiléen
- Bilan des forces :
 - poids $\vec{P}$
 - frottements $\vec{f}$ négligeable
 - la poussée d'archimède $\vec{\Pi}_a$ que l'on va négliger

Le système n'est soumis qu'à son propre poids, il est en chute libre. On applique le second principe de la thermodynamique :

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}_{ext} \quad (3)$$

Donc on a :

$$m\vec{a} = \vec{P} \quad (4)$$

$$m\vec{a} = m\vec{g} \quad (5)$$

$$\vec{a} = \vec{g} \quad (6)$$

On projette selon les axes du problème :

$$\vec{a} : \begin{cases} \ddot{x} = 0 \\ \ddot{y} = -g \end{cases}$$

2 Résolution des équations du mouvement

On intègre les équations en fonction du temps pour remonter à la vitesse :

$$\vec{v} : \begin{cases} \dot{x} = A \\ \dot{y} = -g \times t + B \end{cases}$$

On détermine les constantes A,B et C avec les conditions initiales.

$$\vec{v}_0 : \begin{cases} \dot{x} = v_0 \times \cos(\alpha) \\ \dot{y} = v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

Donc :

$$\vec{v} : \begin{cases} \dot{x} = v_0 \times \cos(\alpha) \\ \dot{y} = -g \times t + v_0 \times \sin(\alpha) \end{cases}$$

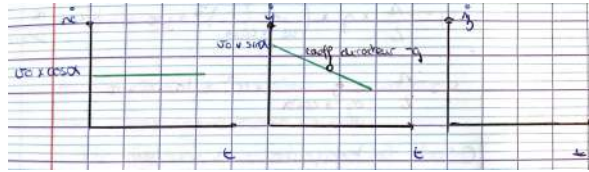


Figure 2 – Visualisation des vitesses

On intègre encore en fonction du temps :

$$\vec{OG} : \begin{cases} x = v_0 \times \cos(\alpha) \times t + A' \\ y = -\frac{1}{2}g \times t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t + B' \end{cases}$$

On se sert des conditions initiales :

$$\vec{OG} : \begin{cases} x = v_0 \times \cos(\alpha) \times t \\ y = -\frac{1}{2}g \times t^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t \end{cases}$$

On obtient les équations horaires paramétriques. On trace les courbes pour chacun des paramètres.

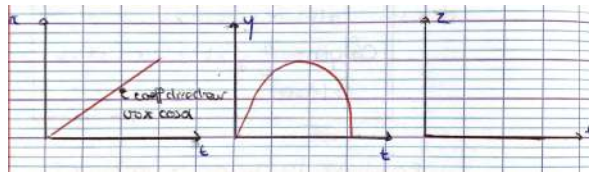


Figure 3 – Schéma des positions

3 Trajectoire d'un objet

On obtient la trajectoire :

$$y = \frac{-1}{2} \frac{g}{v_0^2 \times \cos(\alpha)^2} \times x^2 + \tan(\alpha) \times x \quad (7)$$

C'est la trajectoire d'une parabole.

Définition – Flèche : La flèche est l'attitude maximale atteinte par le projectile

Pour la trouver, on cherche le moment où la vitesse verticale (selon y) est nulle donc :

$$\dot{y}_s = 0 \quad (8)$$

$$0 = -g \times t_s + v_0 \times \sin(\alpha) \quad (9)$$

Donc :

$$t_s = \frac{v_0 \times \sin(\alpha)}{g} \quad (10)$$

On injecte dans l'équation de la trajectoire :

$$y_s = \frac{-1}{2}g \times t_s^2 + v_0 \times \sin(\alpha) \times t_s \quad (11)$$

$$y_s = \frac{v_0^2 \times \sin(\alpha)^2}{2g} \quad (12)$$

La flèche est maximale si $\sin(\alpha) = 1$ soit si $\alpha = \frac{\pi}{2}$ et on a $y_{smax} = \frac{v_0^2}{2g}$. On peut remonter à l'abscisse avec cela aussi.

Définition – Portée : La portée horizontale correspond à la distance séparant l'origine du repère et le point où le projectile retombe sur le sol

On cherche x_p tel que $y_p = 0$. D'après l'équation de la trajectoire on a :

$$0 = \frac{-1}{2} \times \frac{g}{v_0^2 \times \cos(\alpha)^2} \times x_p^2 + \tan(\alpha) \times x_p \quad (13)$$

On cherche la solution strictement positive.

$$x_p = \frac{v_0^2 \times \sin(2\alpha)}{g} \quad (14)$$

On remarque que la portée est maximale pour un angle tel que $\sin(2\alpha) = 1$ soit $\alpha = \frac{\pi}{2}$

3 Aspect énergétique du mouvement

Dans le cas d'un mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$ et en l'absence de toute forme de frottement, la conservation de l'énergie mécanique entre l'instant initial et un moment quelconque donne :

$$Em(0) = Ec(0) + E_{pp}(0) = Em(t) = Ec(t) + E_{pp}(t) \quad (15)$$

Graphiquement, en ne considérant que ce jeu de forces, on a : transformation de l'énergie cinétique en énergie mécanique. A l'instant initial, on choisit $y(0) = 0$. Donc on a :

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}mv_t^2 + mgy_t \quad (16)$$

Soit :

$$v_t^2 = v_0^2 - 2gy_t \quad (17)$$

4 Mouvement dans un champ électrique uniforme

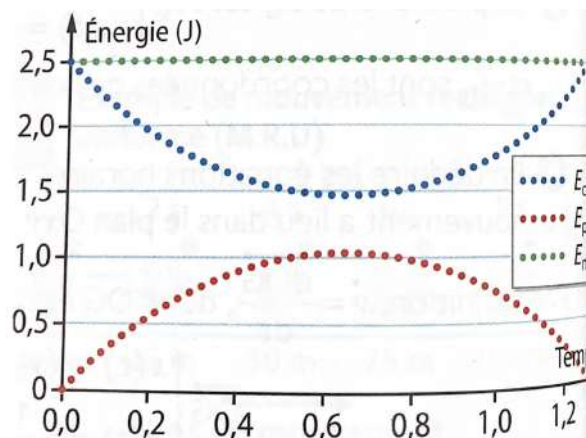


Figure 4 – Evolution des énergies

Remarque – Je pense que cette partie peut être faite à la place de l'autre mais que faire les deux l'une après l'autre n'a pas grand intérêt (et pas le temps). L'avantage de celle-là c'est qu'il y a une belle manipulation avec

1 Champ électrique et force électrique

Définition – Un champ électrostatique uniforme peut être obtenu entre deux armatures métalliques planes séparées d'une distance d entre lesquelles une tension U_{pn} est appliquée

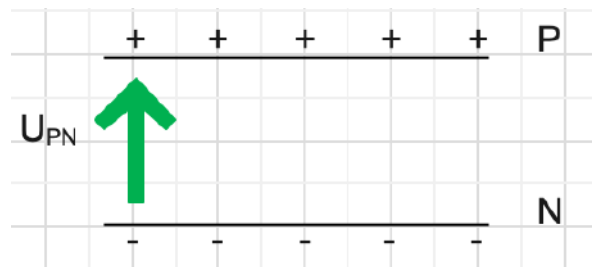


Figure 5 – Schéma d'un condensateur

$$U_{PN} = V_P - V_N > 0 \text{ avec } V_P > V_N$$

1.1 Caractéristiques de

- **point d'application** : le point M
- **direction** : perpendiculaire aux armatures
- **sens** : dans le sens des potentiels décroissants
- **intensité** : $E = \frac{U_{PN}}{d}$

1.2 La force électrique

Une particule de charge q placée dans un champ électrique $\vec{E}$ subit une force électrique donnée par la relation :

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (18)$$

Plusieurs cas peuvent exister en fonction du signe de q . S'il est positif avec $\vec{E}$ et $\vec{F}$ sont colinéaires et de même sens, sinon ils sont opposés. Si $q=0$ il n'y a pas de force électrique

2 Dérivation d'une particule dans $\vec{E}$

On repose le PDF, on peut également parler du TEC. On montre que le poids est négligeable. Voir fiche sur le canon à électrons.

Conclusion

Faire un rapide récapitulatif de ce qu'on a vu dans la leçon et conclure sur Obélix vs l'Egyptien. On ouvre en parlant d'un autre champs qu'on pourra étudier : le champs électrique. On peut également ouvrir sur la partie de la vidéo où le javelot qui sort de la Terre : vitesse de libération et lien avec les lois de Kepler.