MODULE 2 : MOUVEMENTS ET INTERACTIONS : EVOLUTIONS TEMPORELLES DES SYSTEMES MECANIQUES

LECONS 5 et 6 : Applications des lois de Newton à l'étude de quelques mouvements dans les champs uniformes

1- Généralités : confère leçon précédente (leçon 4)

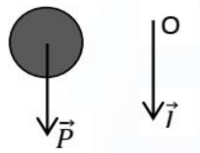
2-Application aux mouvements rectilignes

2.1-Chute libre des corps

La ***chute libre*** d'un corps est le mouvement de chute de ce corps soumit à la seule action de son poids.

On peut assimiler des objets en chute libre dans l'air si la force de frottement et la poussée d'Archimède sont négligeables par rapport au poids de l'objet.

Considérons une bille d'acier (s) de masse m en mouvement de chute libre



-Etude dynamique :

Système : solide de masse m

Référentiel : repère terrestre $(o, \vec{j})$ supposé galiléen.

Bilan des Forces : poids $\vec{P}$.

TCI : $\vec{P} = m\vec{a} = m\vec{g}$ d'où $\vec{a} = \vec{g}$. En projetant sur $(o, \vec{j})$ on obtient : $a = g = cte$ le mouvement de (s) est donc rectiligne uniformément accéléré.

-Etude cinématique :

* **Vitesse** :

$a = g = \frac{dv}{dt} \Longrightarrow v = gt + cste$. Si à t = 0, v = v_0 alors $C^{te} = v_0$ d'où $v = gt + v_0$

* **Equation horaire :**

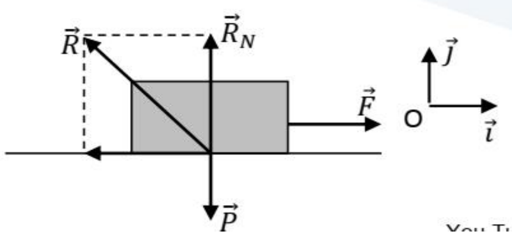
$v = \frac{dy}{dt} \Rightarrow y = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + cte$. Si à t=0, y=$y_0$ alors cte=y_0. D'où $y = \frac{1}{2}gt^2 + v_0 t + y_0$

les équations de la vitesse et horaire définissent un mouvement rectiligne uniformément varié. En éliminant le paramètre t de ces deux équations, on obtient :

$$v^2 - v_0^2 = 2g(x - x_0)$$

2.2-Mouvement sur un plan horizontal

Considérons un solide de masse (m) en mouvement sur un plan horizontal sous l'action d'une force de traction $\vec{F}$, les frottements ne sont pas négligés et équivalent à $\vec{f}$.



-Etude dynamique :

Système : solide de masse m

Référentiel : repère terrestre $(o, \vec{i}, \vec{j})$ supposé galiléen.

Bilan de forces : poids $(\vec{P})$-force de traction $(\vec{F})$ réaction du support $(\vec{R})$

TCI : $\vec{P} + \vec{F} + \vec{R} = m\vec{a}$

$$\Leftrightarrow \vec{P} + \vec{F} + \vec{f} + \vec{R}_N = m\vec{a}$$

En projetant suivant $(o, \vec{i})$, on obtient :

$F - f = ma \Leftrightarrow a = \frac{F-f}{m}$

Si $F \neq f$, le mouvement du solide est rectiligne uniformément varié par contre si $F = f, a = 0$ d'où le mouvement est rectiligne uniforme

-Etude cinématique :

* **vitesse**

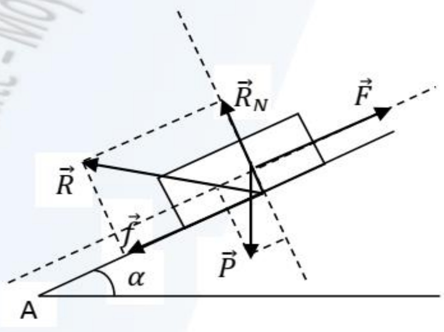
$v = at + v_0 = \frac{F-f}{m}t + v_0$

* **Equation horaire**

$$x = \frac{1}{2}\frac{F-f}{m}t^2 + v_0 t + x_0$$

2.3-Mouvement sur un plan incliné

Considérons maintenant le solide précédent tracté par la force $\vec{F}$ et glissant avec frottements sur un plan incliné d'un angle α.



-Etude dynamique :

Système : solide de masse m

Référentiel : repère terrestre $(o, \vec{i}, \vec{j})$ supposé galiléen.

Bilan de forces : poids $(\vec{P})$-force de traction $(\vec{F})$ réaction du support $(\vec{R})$

TCI : $\vec{P} + \vec{F} + \vec{R} = m\vec{a}$

$$\Leftrightarrow \vec{P} + \vec{F} + \vec{f} + \vec{R}_N = m\vec{a}$$

En projetant suivant$(o,\vec{\imath})$, on obtient :

$F - f - P_x = ma \Leftrightarrow F - f - Psin\alpha = ma$

d'où $a = \frac{F-f}{m} - gsin\alpha$

-Etude cinématique :

* **vitesse**

$v = at + v_0 = \frac{F-f}{m} - gsin\alpha)t + v_0$

* **Equation horaire**

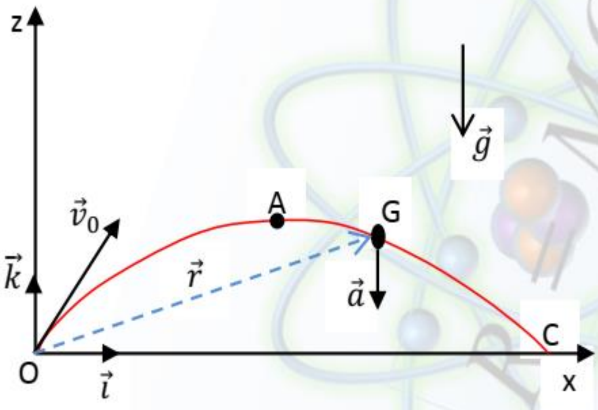
$$x = \frac{1}{2}\left(\frac{F-f}{m} - gsin\alpha\right)t^2 + v_0 t + x_0$$

3-Application aux mouvements plans

3.1-mouvement d'un projectile

Dans ce qui suit, on négligera la poussée d'Archimède et la force de frottement due à l'air.

La figure ci-dessous montre la trajectoire du mouvement d'un projectile dans un champ de pesanteur uniforme



-la trajectoire du centre d'inertie G du projectile s'effectue dans le plan vertical contenant le vecteur vitesse initiale $\vec{v}_0$ et le vecteur champ de pesanteur uniforme $\vec{g}$;

-la trajectoire est parabolique ;

-le mouvement horizontal du centre d'inertie G est uniforme ;

-son mouvement vertical est uniformément accéléré, identique à celui d'un objet en chute libre.

* **Equations horaires du mouvement**

Système : solide de masse m

Référentiel : repère terrestre $(o,\vec{\imath},\vec{\jmath})$ supposé galiléen.

Bilan de forces : poids $(\vec{P})$

TCI : $\vec{P} = m\vec{a} = m\vec{g}$ d'où $\vec{a} = \vec{g}$

Dans le repère $(o,\vec{\imath},\vec{\jmath},\vec{k})$ lié au référentiel terrestre galiléen, les composantes du vecteur accélération $\vec{a}$ sont :

$$\vec{a}\begin{vmatrix} a_x = 0 \\ a_y = 0 \\ a_z = -g \end{vmatrix}$$

Par intégrations successives et compte tenu des conditions initiales, les vecteurs vitesse $\vec{v}$ et position $\vec{r}$ sont :

$$\vec{v}\begin{vmatrix} v_x = v_0 cos\theta \\ v_y = 0 \\ v_z = -gt + v_0 sin\theta \end{vmatrix} \quad \text{et}$$

$$\vec{r}\begin{vmatrix} x = (v_0 cos\theta)t \\ y = 0 \\ z = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 sin\theta)t \end{vmatrix} \quad (1)$$

NB : Les équations horaires du mouvement du projectile dépendent des conditions initiales du lancement.

* **Equation cartésienne de la trajectoire**

Pour obtenir l'équation de la trajectoire, on élimine le paramètre temps des équations (1) :

$t = \frac{x}{v_0 cos\theta}$ d'où $z = -\frac{g}{2(v_0 cos\theta)^2}x^2 + (tan\theta)x$

* **Expression de la flèche**

la ***flèche*** du tir est l'altitude du point le plus haut atteint par le projectile par rapport au plan horizontale passant par O.

En A $\frac{dy}{dt} = 0 \Rightarrow x_A = V_0^2.cos^2\theta.\frac{tan\theta}{g}$ (4). En remplaçant l'expression de x_A dans celui de z, on trouve après simplification : $z_A = h = \frac{v_0^2 sin^2\theta}{2g}$

* **Expression de la portée**

Généralement notée d, la portée horizontale et l'abscisse d'ordonnée nulle. $z_C = 0$.

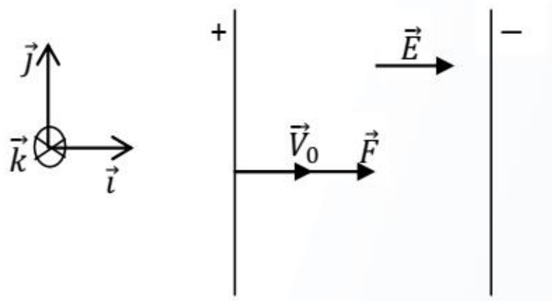
$$z_c = -\frac{g}{2(v_0 cos\theta)^2}x_c^2 + (tan\theta)x_c = 0$$

$$\Rightarrow x_c = v_0^2 \frac{sin2\theta}{g}$$

3.2-Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme

Dans un champ électrique uniforme E, une particule de masse m de charge q, animée d'une vitesse V_0, est soumise à la force électrostatique $\vec{F} = q\vec{E}$ et à son poids $\vec{P}$. En négligeant le poids devant la force électrostatique, nous allons envisager deux cas :

-Cas où le vecteur vitesse $\vec{V}_0$ est colinéaire au vecteur champ électostatique $\vec{E}$



* **Equations horaires du mouvement**

Système : particule de masse m

Référentiel : repère terrestre $(o, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ supposé galiléen.

Bilan de forces : Force électrostatique ($\vec{F}$)

TCI : $\vec{F} = m\vec{a} \Leftrightarrow q\vec{E} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$

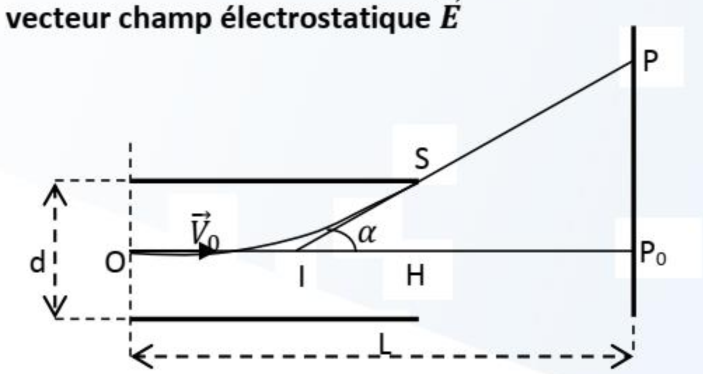
Dans le repère définit, les cordonnées des vecteurs accélérations, vitesses et positions seront :

$$\vec{a}\left| \begin{array}{l} a_x = \frac{q}{m}E \\ a_y = 0 \\ a_z = 0 \end{array} \right. \qquad \vec{V}\left| \begin{array}{l} V_x = \frac{q}{m}Et + V_0 \\ V_y = 0 \\ V_z = 0 \end{array} \right.$$

$$\overrightarrow{OG}\left| \begin{array}{l} x = \frac{qE}{2m}t^2 + V_0 t \\ y = 0 \\ z = 0 \end{array} \right.$$

Dans ce cas, la trajectoire de la particule est rectiligne uniformément varié entre les deux plaques.

-Cas où le vecteur vitesse $\vec{V}_0$ est orthogonal au vecteur champ électrostatique $\vec{E}$



Les particules sont homocinétiques et arrivent en O où règne le champ avec une vitesse V_0 perpendiculaire à E.

Système : particule de masse m

Référentiel : repère terrestre $(o, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ supposé galiléen.

Bilan de forces : Force électrostatique ($\vec{F}$)

TCI : $\vec{F} = m\vec{a} \Leftrightarrow q\vec{E} = m\vec{a} \Leftrightarrow \vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$

les cordonnées des vecteurs accélérations, vitesses et positions seront :

$$\vec{a}\left| \begin{array}{l} a_x = 0 \\ a_y = \frac{q}{m}E \\ a_z = 0 \end{array} \right. \qquad \vec{V}\left| \begin{array}{l} V_x = V_0 \\ V_y = \frac{q}{m}Et \\ V_z = 0 \end{array} \right.$$

$$\overrightarrow{OG}\left| \begin{array}{l} x = V_0 t \\ y = \frac{qE}{2m}t^2 \\ z = 0 \end{array} \right.$$

* **Equation cartésienne de la trajectoire**

En éliminant le paramètre temps des équations (1), on obtient l'équation de la trajectoire :

$$y = \frac{qE}{2mV_0^2}x^2$$

A l'intérieur des plaques, la trajectoire est une parabole de sommet O.

* **Déviation angulaire**

Noté α, la déviation angulaire est l'angle entre la vitesse à l'entrée et à la sortie du champ. Ainsi en considérant le triangle ISH, nous avons :

$$\tan\alpha = \left(\frac{dy}{dx}\right)_S = \frac{\overline{HS}}{\overline{HI}} = \frac{qE}{mV_0^2}x_S$$

Or $x_s = l$ et $E = \frac{U}{d}$ d'où $\tan\alpha = \frac{qlU}{mdV_0^2}$

* **Déflexion électrique $\overline{P_0P}$**

Soit P le point d'impact de la particule sur un écran placé à une distance L de l'entrée de l'espace champ, la déflexion est la grandeur $\overline{P_0P}$. On démontre en mathématiques que la tangente à la parabole (point de sortie) passe par le milieu I du segment OH

$$\tan\alpha = \frac{\overline{P_0P}}{\overline{P_0I}} = \frac{\overline{P_0P}}{L - {}^{l}/_{2}}$$

D'où $\overline{P_0P} = \frac{\mathrm{qlU}}{\mathrm{mdV_0^2}}\left(L - {}^{l}/_{2}\right)$

Conclusion : $\overline{P_0P} = KU_{AC}$: la détermination de la déflexion $\overline{P_0P}$ permet de trouver la tension.

L'oscilloscope tire son principe du fait que la déflexion est proportionnelle à la tension. Il permet de mesurer :

* La tension et l'observation des variations en fonction du temps.
* Le déphasage entre deux tensions.
* La fréquence.

L'oscilloscope comporte un tube cathodique constitué d'un ***canon à électrons*** (qui émet, accélère et focalise les è extraits d'une cathode chauffée), d'un ***dispositif de déviation*** (plaques horizontales et verticales) et d'un ***écran fluorescent***.

EXERCICES

EXERCICE 1 : ÉVALUATION DES SAVOIRS

1- Questions de cours

- **a-** L'allure de la trajectoire dépend-elle de la masse du projectile ?
- **b-** Quelle composante de la vitesse s'annule au sommet de la trajectoire parabolique d'un projectile ?
- **c-** Les équations horaires paramétriques du mouvement d'un projectile contiennent-elle plus, ou moins d'informations que l'équation cartésienne de sa trajectoire ?
- **d-** Peut-on lancer un projectile dans un champ de pesanteur uniforme de telle sorte que sa trajectoire ne soit ni parabolique, ni rectiligne ?
- **e-** Si la vitesse initiale d'un projectile en chute libre est nulle, quelle est la même forme de sa trajectoire ?
- **f-** Définir : chute libre ; mouvement rectiligne ; mouvement plan ; flèche ; portée ; déflexion électrique.
- **g-** Donner les paramètres cinématiques d'un mouvement de chute libre verticale avec vitesse initiale orientée vers le haut.
- **h-** Citer deux applications de la déflexion électrique.
- **i-** Expliquer le principe de fonctionnement d'un oscilloscope.
- **j-** Définir un mouvement rectiligne uniformément varié et donner ses paramètres cinématiques.

2- Dans un mouvement de chute libre sans vitesse initiale, les équations du mouvement s'écrivent :

$$\begin{cases} v_z = gt \\ z = \dfrac{1}{2}gt^2 + z_0 \end{cases}$$

- **a-** Dans quel sens est orienté l'axe z'z
- **b-** Préciser la signification de chaque grandeur et dire si elle est algébrique ou non.

3- À partir des équations horaires d'un mouvement rectiligne uniformément varié, retrouver la relation : $v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$

4- Questions à choix multiple

4.1. L'expression de la portée horizontale est :

(a) $\dfrac{v_0^2 \sin^2\alpha}{g}$ (b) $\dfrac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

(c) $\dfrac{v_0^2 \sin^2\alpha}{2g}$

4.2. La déflexion électrique double si l'on double la valeur de :

- **a.** la vitesse initiale de la particule
- **b.** la tension entre les armatures
- **c.** la distance entre les armatures.

4.3. Dans un mouvement de chute libre, la seule force considérée est :

- **a.** La résistance de l'air
- **b.** le poids de l'objet en chute
- **c.** la poussée d'Archimède.

4.4. Une pomme tombe sans vitesse initiale d'une branche située à 3,2 m du sol. La durée de chute et la vitesse d'arrivée au sont respectivement :

- **a.** 810 ms et 7,94 m/s
- **b.** 7,94 m/s et 810 ms

c. 810 m/s et 7,94 ms

4.5. La trajectoire décrite par une grenouille pour aller d'un nénuphar à l'autre est :

- **a.** rectiligne
- **b.** parabolique
- **c.** hyperbolique.

4.6. L'accélération d'un mobile glissant sans frottement sur un plan incliné a pour valeur :

(a) $g.\cos\alpha$ (b) $g.\tan\alpha$

(c) $-g.\cos\alpha$

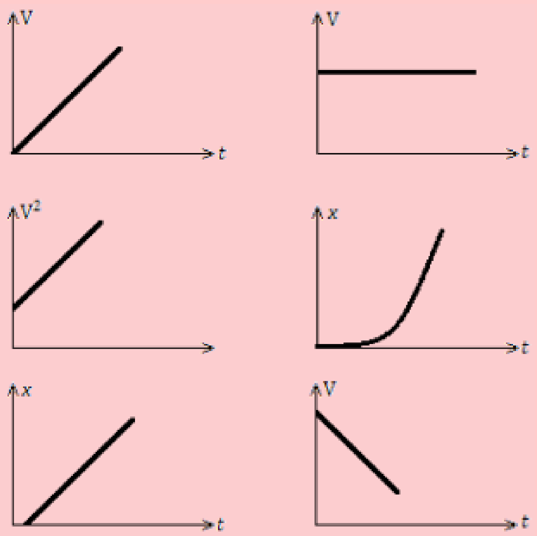
4.7. Une pomme de 500 g et une bille de 40 g sont lâchées au sommet d'une colline lisse inclinée d'un angle $\beta = 65°$ par rapport à l'horizontale. Alors, après 10 s de leur parcours, on constate que :

- **a.** la pomme va plus vite que la bille
- **b.** la bille va plus vite que la pomme
- **c.** la pomme et la bille ont même vitesse et accélération.

Vrai ou faux

- **a.** La trajectoire d'un mobile dépend du référentiel considéré.
- **b.** Le vecteur vitesse est toujours tangent à la trajectoire.
- **c.** Un mouvement est dit uniforme si sa trajectoire est une droite.
- **d.** Si l'angle entre le vecteur accélération et le vecteur vitesse est obtus, le mouvement est accéléré.
- **e.** Un corps en chute dans le vide est soumis à la seule action de son poids.
- **f.** Dans un mouvement descendant de chute libre, les vecteurs vitesse et accélération ont le même sens.
- **g.** La flèche est l'abscisse du point d'altitude maximale de la trajectoire d'un projectile.
- **h.** L'intensité du vecteur champ de pesanteur croît avec l'altitude.
- **i.** La portée horizontale est l'abscisse de l'intersection de la trajectoire du mobile avec l'axe des abscisses.
- **j.** Le théorème du centre d'inertie n'est pas valable dans le repère intrinsèque de Fresnet.
- **k.** Tous les corps ont le même mouvement de chute dans le vide.
- **l.** La résistance de l'air est une force qui influence l'accélération en chute libre.
- **m.** Le vecteur vitesse d'un mouvement uniformément ralenti est orienté dans le sens contraire du mouvement.
- **n.** La déflexion électrique et la déviation angulaire dépendent principalement de la tension appliquées entre les armatures.
- **o.** Les objets lourds tombent en chute libre plus rapidement que les objets légers dans le vide.
- **p.** L'accélération d'un objet en mouvement de chute libre dépend de sa masse.
- **q.** Dans un mouvement de chute libre parabolique, la projection du centre d'inertie G sur un axe horizontal a un mouvement rectiligne uniformément accéléré.
- **r.** À la sortie du champ électrique, la trajectoire d'une particule devient parabolique.
- **s.** L'ordonnée du spot sur l'écran d'un oscilloscope est proportionnelle à la tension appliquée entre les plaques verticales.
- **t.** Le mouvement dans un champ électrique uniforme stationnaire sans champ magnétique est analogue à celui d'une chute libre.

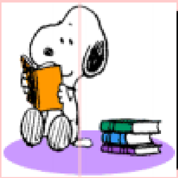
6- Voici les courbes résultants de plusieurs travaux pratiques menés par les élèves d'une Terminale scientifique :



Dire, en justifiant, celle(s) qui correspond(ent) à un mouvement :

- **a.** uniforme ;
- **b.** uniformément accéléré ;
- **c.** uniformément ralenti ;
- **d.** de chute libre verticale.

7- Démontrer que pour une MRUV d'accélération a, les espaces parcourus pendant les intervalles de temps successifs égaux θ forment une progression arithmétique de raison $r = a\theta^2$.



EXERCICE 2 : APPLICATION DES SAVOIRS

Exercice 1.

Les équations paramétriques d'un mobile sont (en cm) :

$$\begin{cases} x(t) = 2t \\ y(t) = \frac{1}{2}t^2 \\ z(t) = 0 \end{cases}$$

1.1. Le mouvement du mobile est-il plan ? Pourquoi ?

1.2. Déterminer le module du vecteur vitesse du mobile à l'instant t. **AN** : $t = 0$.

1.3. Déterminer le vecteur accélération à un instant t quelconque. Conclure.

1.4. Quelle l'équation de la trajectoire de ce mobile ?

Exercice 2.

L'équation paramétrique d'un mobile en mouvement rectiligne est en mètre :

$$x = \frac{1}{2}t^2 + 2t + 1$$

2.1. Quelle est l'équation de sa trajectoire ?

2.2. Déterminer :

- la position initiale du mobile (à $t = 0$ s) ;
- la vitesse initiale du mobile (à t = 0 s) ;
- le module de l'accélération du mobile à un instant t quelconque. Conclure.

2.3. Calculer la vitesse moyenne v_{moy} du mobile entre les instants $t_1 = 0$ s et $t_2 = 2$ s.

2.4. Calculer les vitesse v_1 et v_2 du mobile aux instants respectifs $t_1 = 0$ s et $t_2 = 2$ s.

2.5. Comparer v_1 et v_2 à v_{moy}. Conclure.

Exercice 3.

Un mobile démarre sur une trajectoire rectiligne et atteint au bout de 3 s, une vitesse de 10 m.s^{-1}.

3.1. Quelle est la nature de son mouvement ?

3.2. Calculer son accélération sachant qu'elle est constante.

3.3. Quelle est la longueur du trajet parcouru par le mobile pendant ce temps ?

Exercice 4.

4.1. Un mobile parcourt une droite à la vitesse constante de 12 m.s^{-1}. À la date $t = 2s$, il se trouve à l'abscisse $x = -5$ m. Quelle est son abscisse à t = 20 s ?

4.2. Déterminer à quel instant et pour quelle élongation, le mouvement d'équation : $x = -12t^2 + 3t - 5$ change de sens.

4.3. Comment expliquez-vous qu'un point animé d'un mouvement circulaire ait une accélération, bien que la valeur du module de sa vitesse soit constante ? Que savez-vous de cette accélération ?

4.4. Sur un chantier, un ouvrier situé à 30 m du sol, lâche sans vitesse initiale, une masse de 5 kg. Calculer la durée de la chute et la vitesse d'arrivée au sol de la massette.

4.5. Un piroguier qui remonte le courant d'une rivière, laisse tomber son chapeau à l'eau en un point A. Il poursuit cependant sa route et ne fait demi-tour qu'au bout de 5 minutes, alors qu'il se trouve en un point B. Il descend la rivière en pagayant à la même cadence qu'à la montée et rejoint son chapeau en point C. Sachant que le chapeau a parcouru 700 mètres entre les points A et C, quelle est la vitesse U du courant ?

Exercice 5.

Lors d'un coup franc, un ballon de football est lancé avec une vitesse initiale formant un angle de 50° avec le sol. Il parcourt une distance de 20 m avant de rebondir de nouveau sur la pelouse. Calculer :

5.a. la vitesse initiale du ballon ;

5.b. la durée du coup franc ;

5.c. la hauteur maximale atteinte par la ballon.

Exercice 6.

On lance du bord du toit d'un édifice haut de 45 m, une pierre avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ de valeur 20 m.s^{-1} dirigée vers le haut. La pierre s'élève puis retombe jusqu'au sol.

6.1. Le vecteur vitesse initiale étant vertical, déterminer :

a. Les équations horaires de la vitesse et de la position du centre d'inertie de la pierre.

b. La durée nécessaire pour que la pierre repasse près de son point de lancement, puis la vitesse à cet instant.

c. La vitesse et la position de la pierre, 5 secondes après le lancement.

d. La vitesse de la pierre juste avant qu'elle ne touche le sol.

6.2. Le vecteur vitesse initiale formant un angle de 30° avec l'horizontale, déterminer :

a. La durée nécessaire pour que la bille atteigne le sol.

b. La distance, du pied de l'édifice, à laquelle la pierre touchera le sol.

c. La nouvelle valeur de la vitesse de la pierre juste avant qu'elle ne touche le sol.

Exercice 7.

Une bille de verre de masse m = 15 g est lâchée sans vitesse initiale sur un plan incliné d'un angle $\alpha = 45°$ par rapport à l'horizontale.

7.a. Déterminer l'accélération du centre d'inertie.

7.b. Calculer la vitesse instantanée après une distance de longueur d = 30 m.

7.c. Calculer la durée de cette descente.

Exercice 8.

Un proton de charge électrique $e = +1,6.10^{-19}$ C, quitte l'anode d'un canon à électrons avec une vitesse de valeur négligeable. La tension entre l'anode et la cathode est U_{AC} = 1,5 kV. La distance entre ses deux plaques parallèles est d = 2 cm.

8.1. Faire le schéma du dispositif et représenter les vecteurs champ et force électriques agissant sur le proton.

8.2. Caractériser le vecteur accélération et déduire les équations horaires du mouvement du proton.

8.3. Déterminer la durée de parcours du tronçon anode-cathode et la vitesse d'arrivée du proton à la cathode.

On donne : masse du proton : $1{,}67.10^{-27}$ kg.

Exercice 9.

D'un même point O, on lance verticalement vers le haut deux billes B_1 et B_2 de masses respectives m_1 et m_2 telles que $m_2 = 2m_1$.

La bille B_1 est lancée à l'origine des dates avec une vitesse initiale $V_0 = 20$ m.s^{-1}.

La bille B_2 est lancée deux secondes plus tard avec la même vitesse initiale.

En utilisant comme repère d'espace l'axe vertical ascendant d'origine O,

9.1. Écrire les équations horaires de B_1 et B_2.

9.2. Déterminer la date du choc entre les deux billes.

9.3. En déduire l'abscisse x_c du lieu où se produit le choc.

Exercice 10.

Deux billes A et B assimilables à des points matériels sont disposées sur une même verticale, à 0,4 m l'une de l'autre, avec A au-dessus de B. À l'instant t = 0, on lâche A sans vitesse initiale. Quand A a parcouru 0,2 m, on lâche B sans vitesse initiale.

10.1. Écrire les équations horaires des mouvements de A et B en prenant pour origine des espaces, le point de départ de A et pour origine des temps, le moment de départ.

10.2. À quel instant t, le choc entre A et B aura-t-il lieu ? ***On prendra*** g = 10 m.s^{-2}.

Exercice 11.

Un mobile ponctuel M en chute libre a été lancé en l'air de sorte que sa position par rapport à l'origine O d'un repère $(O\,;x\,;y\,;z)$, est donnée au cours du temps par le vecteur position suivant :

$$\overrightarrow{OM} = \begin{cases} x(t) = -3t+5 \\ y(t) = -0,5t^2+10t \\ z(t) = 2,5 \end{cases}$$

11.1. Le mouvement du mobile est-il plan ? Justifier.

11.2. Déterminer la position de ce mobile à l'origine du temps.

11.3. Rechercher la date t_p à laquelle le point M retombe au sol.

11.4. Donner l'expression du vecteur vitesse $\vec{v}$ en fonction du temps.

11.5. Calculer la vitesse du mobile à la date $t = 2,0$ s.

11.6. Montrer que cette expérience n'a pas été réalisée sur Terre.

Exercice 12.

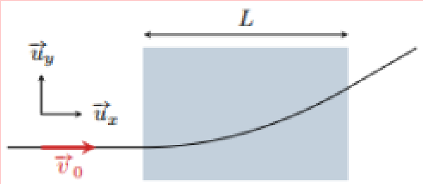
12.1. Calculer le poids d'un objet de masse m_1 = 55 kg (on donne g = 9,81 m.s^{-2})

12.2. Cet objet tombe dans le vide sans vitesse initiale sous l'effet de son propre poids (note : « dans le vide » signifie qu'il n'y a pas de résistance du milieu à la chute, par exemple, pas de frottement de l'air). Quelle est son accélération $\vec{a}_1$?Quelle est l'accélération $\vec{a}_2$ d'une plume de masse m_2 = 1 g qui tombe dans le vide dans les mêmes conditions ?

12.3. Quelles sont les vitesses de l'objet de plomb et de la plume après une chute de 1 s ?.

Exercice 13.

Un électron de masse m, d'énergie cinétique E_{c0} = 80 keV, pénètre à vitesse $\vec{v}_0$ horizontale dans une cavité de longueur L = 1 m où règne un champ électrique uniforme de norme E_0 constante.



13.1. Déterminer la direction et le sens du champ électrostatique $\vec{E}_0$.

13.2. Lors de sa traversée, l'énergie cinétique de l'électron varie de $|\Delta E_c|$ = 10 keV. Quel est le signe de ΔE_c ?

13.3. Déterminer la norme de E_0.

13.4. Évaluer l'angle de déviation de la trajectoire en sortie de la zone de champ.

Données : $m = 9,1.10^{-31}$ kg ;

1 eV = $1{,}6.10^{-19}$ J.

Exercice 14.

Une particule de charge q, de masse m, de vitesse initiale nulle, est accélérée par une différence de potentiel V_0 établie entre deux grilles planes parallèles distantes de L = 5 cm. Le potentiel est supposé varier linéairement sur la distance L.

14.1. Calculer la vitesse v de la particule au moment de son passage à travers la deuxième grille.

14.2. Quels sont les signes possibles de q et V_0 pour que la particule soit effectivement accélérée ?

14.3. En déduire la durée τ du trajet entre les deux grilles.

14.4. Calculer v et τ dans les deux cas suivants :

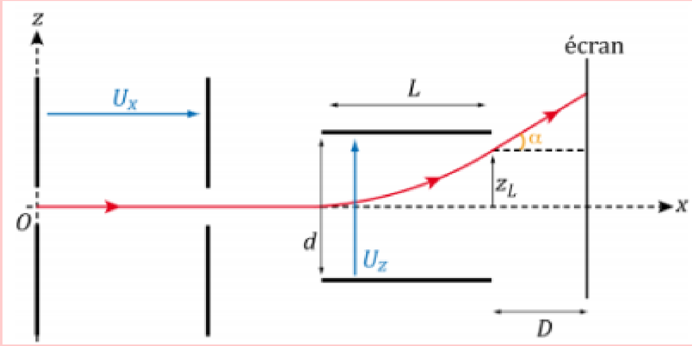
- **a.** électron accéléré par V_0 = 100 V
- **b.** proton accéléré par V_0 = - 3 000 V.

Exercice 15.

On étudie le mouvement d'une particule chargée, émise sans vitesse initiale du point O, sous l'effet d'un champ électrique uniforme et stationnaire par morceau.

On décrit le mouvement de la particule par rapport à un référentiel galiléen $(\mathcal{R})$, liée au repère d'espace (O, $\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$, $\vec{e}_z$).

Le champ électrique uniforme stationnaire par morceau est créé par ue paire de plaques parallèles et orthogonales à $\vec{e}_z$ et par une autre paire de plaques parallèles et orthogonales à $\vec{e}_x$. (fig ci-dessous). On admet que le champ électrique peut être considéré comme uniforme entre chaque paire de plaques et nul partout ailleurs.



La particule est un électron de charge $q = -e$ et de masse m.

15.1. Quels doivent les signes des tensions U_x et U_z entre les paires de plaques pour que :
- l'électron soit accéléré par la première paire de plaques ?
- l'électron soit dévié vers les $z > 0$ par la seconde paire des plaques ?

On supposera ces conditions réalisées dans la suite.

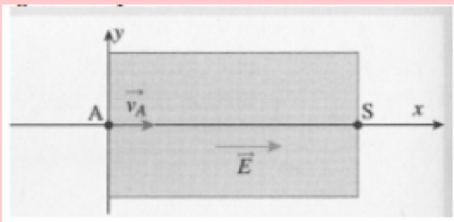
15.2. Déterminer la vitesse v_0 de l'électron quand celui-ci sort de la première paire de plaques.

15.3. Les plaques de la seconde paire sont distantes de d.

- **a.** Déterminer les expressions de $x(t)$ et $z(t)$ quand l'électron se trouve entre les plaques de la seconde paire.
- **b.** Déterminer le temps τ au bout duquel l'électron sort de la seconde paire de plaques de longueur L.
- **c.** En déduire alors la position et la direction de son vecteur vitesse.
- **d.** Quelle est la trajectoire ultérieure de l'électron ? Déterminer en particulier, l'ordonnée z_D du point d'impact sur un écran placé à une distance D de la sortie de la seconde paire de plaques. Les caractéristiques de la particules chargée importent-elles ?

Exercice 16.

Une particule de masse m et de charge q > 0, pénètre dans une zone de champ électrique uniforme $\vec{E}$ avec une vitesse initiale $\vec{v}_A$ colinéaire et de même sens que le champ électrique. On note Ox l'axe qui est dans la direction du champ électrique, orienté dans le même sens. La particule arrive en A et ressort du champ en S. On supposera que seule la force électrique agit sur la particule.



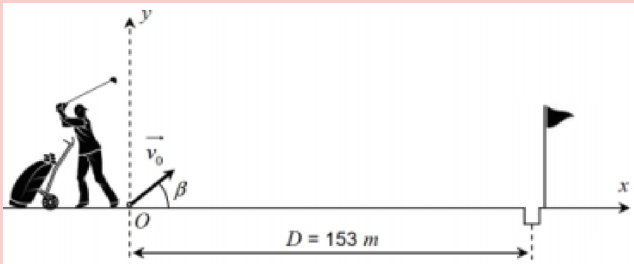
16.1. Déterminer les équations horaires du mouvement de la particule entre A et S. Quelle est la nature du mouvement ?

16.2. Comment varie la vitesse de la particule ?

Exercice 17.

On considère un golfeur sur une surface horizontale. Il frappe une balle de golf qui quitte le sol au point O (0,0) à l'origine du temps avec une vitesse initiale v_0 faisant un angle β de 35° avec l'horizontale.

Le référentiel terrestre du green est supposé galiléen. On négligera toutes les forces liées à l'atmosphère de la Terre.



Caractéristiques d'une balle de golf
- masse : m = 45,9 g
- rayon : R = 2,14 cm

Données
- g = 9,8 m.s^{-2}
- masse volumique de l'air : $\rho = 1{,}3$ g/L
- volume d'une sphère : V = $\frac{4}{3}\pi R^3$
- les équations horaires donnant la position de la balle :

$$\begin{cases} x(t) = (v_0 \cos\beta)t \\ y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + (v_0 \sin\beta)t \end{cases}$$

17.1. Déterminer l'équation de la trajectoire de la balle.

17.2. En déduire la valeur de la vitesse initiale v_0 que le golfeur doit donner à la balle s'il veut atteindre le trou situé à 153 m de la position initiale de la balle.

17.3. En admettant que la vitesse initiale de la balle soit de 40 m/s, déterminer la durée de vol de la balle jusqu'à son entrée dans le trou.

17.4. Déterminer l'expression littérale des coordonnées v_x et v_y du vecteur vitesse de la balle au cours de son vol.

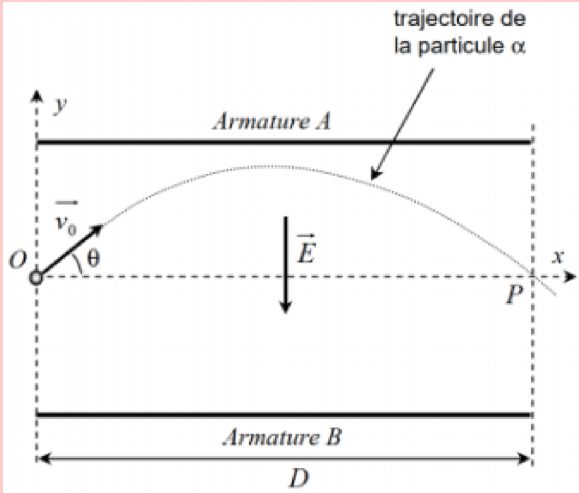
17.5. Calculer alors l'altitude maximale qu'atteindra la balle pendant son déplacement.

17.6. Calculer la vitesse de la balle à la flèche.

17.7. Montrer que la poussée d'Archimède exercée par l'air sur la balle est bien largement négligeable devant le poids de cette dernière.

Exercice 18.

Une particule α (noyau d'hélium) est émise avec une vitesse v_0 à l'intérieur d'un condensateur à armatures planes telles que $Q_B = -Q_A$ et dans lequel règne un champ électrique uniforme $\vec{E}$.



18.1. De quoi est précisément constituée une particule α ?

18.2. Déterminer les composantes du vecteurs vitesses initial de la particule dans le repère du schéma ci-contre.

18.3. Déterminer l'expression du vecteur force électrique $\vec{F_e}$ que subit la particule sachant que sa charge est $+2e$.

18.4. Montrer que le vecteur accélération que subit cette particule peut s'écrire :

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -\dfrac{2eE}{m} \end{cases}$$

18.5. En déduire les équations horaires de la position de la particule.

18.6. L'équation de la trajectoire est alors :

$$y(x) = \frac{-e.E}{m.v_0^2.\cos^2\theta}.x^2 + x\tan\theta$$

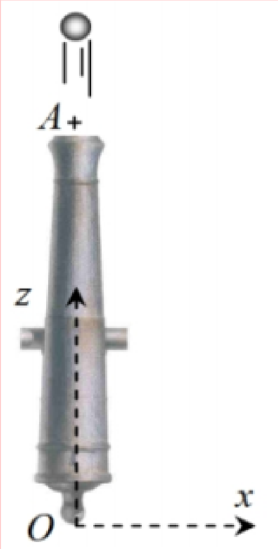
Déterminer l'expression littérale de la vitesse initiale v_0 que doit posséder la particule pour ressortir du condensateur plan en passant précisément par le point P.

18.7. Quel est le signe de la charge portée par l'armature A ? Justifier clairement.

Exercice 19.

Un boulet à canon de masse m = 10 kg est lancé verticalement en l'air, entraîné par une force

$F = 1{,}0.10^3$ N constante jusqu'à sa sortie du canon. On étudie le mouvement de ce projectile dans un référentiel terrestre supposé galiléen. On négligera toutes les forces de frottement et celles dues à l'air dans tout l'exercice. On prendra $g = 10$ m.s^{-2}.



Première étape : le tir

1.1. Faire le bilan des forces qui s'exercent sur boulet lorsqu'il circule dans le fût du canon.

1.2. Déterminer l'expression de l'accélération en fonction de F, m et g. Calculer sa valeur.

1.3. Déterminer la durée pendant laquelle le boulet s'est déplacé dans le fût si sa vitesse à la sortie du canon est de 18 m/s.

1.4. Déterminer la vitesse de recul V du canon de masse M = 180 kg au moment du tir en supposant que le système pseudo-isolé.

Deuxième étape : la chute libre

Le boulet sort du fût au point A à l'origine du temps. L'équation horaire de son mouvement est alors :

$$z(t) = -\frac{1}{2}t^2 + 20t + 0,2$$

2.1. À partir de cette équation, déterminer :

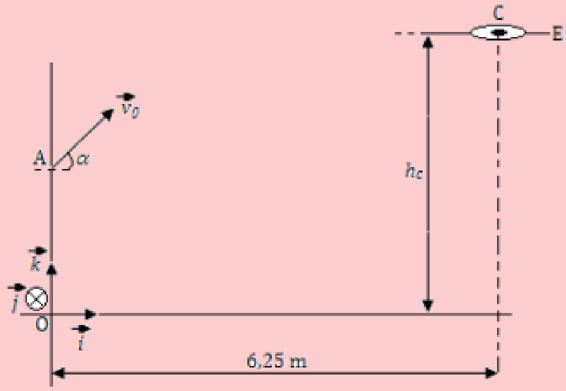
- **a.** La hauteur du fût.
- **b.** La vitesse initiale du boulet.
- **c.** L'accélération du boulet lors de son ascension.

2.2. Déterminer la date à laquelle le boulet arrive au sommet de sa trajectoire.

2.3. En déduire la hauteur maximale qu'atteint le boulet.

Exercice 20.

Pour marquer un panier, un basketteur lâche le ballon lorsque le centre d'inertie de ce dernier se trouve à un point A situé à $h_A = 2{,}40$ m du sol et à une distance d = 6,25 m de la base du centre de l'anneau. Le vecteur vitesse initial est situé dans un plan vertical et forme un angle $\alpha = 35°$ avec l'horizontale.



20.1. Dans le repère (O ; $\vec{\imath}$; $\vec{\jmath}$; $\vec{k}$), établir les horaires du mouvement du centre d'inertie du ballon et montrer que la trajectoire de G est plane.

20.2. Établir l'équation de cette trajectoire.

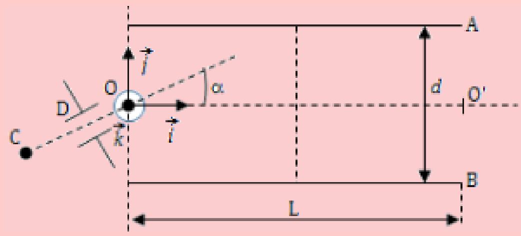
20.3. Calculer la valeur de v_0 de la vitesse initiale du ballon pour qu'il passe exactement par le centre de l'anneau situé à 3,05 m du sol.

20.4. Un adversaire barre à un mètre du basketteur. Il saute verticalement, les bras levés, et l'extrémité de ses mains se trouve à 2,95 m du sol. Pourra-t-il intercepter le ballon ? On néglige le résistance de l'air et les effets de la rotation de la balle.

Prendre $g = 9{,}8$ m.s^{-2}.

Exercice 21.

Un condensateur plan est constitué de deux plaques métalliques parallèles rectangulaires, horizontales A et B de longueur L et séparées par une distance d. Le point O est équidistant des deux plaques.



Un faisceau homocinétique de protons, émis en C à vitesse négligeable, est accéléré entre les points C et D, situés dans le plan (O ; $\vec{\imath}$; $\vec{\jmath}$). Il pénètre en O, dans le champ électrique du condensateur supposé uniforme, incliné par rapport à $\vec{\imath}$ d'un angle α.

21.1. Après avoir indiqué, en le justifiant, le signe de $V_D - V_C$, exprimer, en fonction de $U = |V_D - V_C|$, m et e, la vitesse v_0 de pénétration dans le champ électrique uniforme. On donne : U = 1,0 kV, $m = 1{,}67.10^{-27}$ kg, $e = 1{,}6.10^{-19}$ C.

21.2. Indiquer en le justifiant, le signe de $V_A - V_B$ tel que le faisceau de protons puisse passer par le point O' (L, 0, 0).

21.3. Donner l'équation de la trajectoire des protons dans le repère (O ; $\vec{\imath}$; $\vec{\jmath}$; $\vec{k}$) en fonction de U, U' = $|V_A - V_B|$, α et d. Quelle est la nature de cette trajectoire ?

21.4. Exprimer la tension U' qui permet de réaliser la sortie en O', et calculer sa valeur numérique pour $\alpha = 30°$, L = 20 cm, et d = 7 cm.

21.5. Dans le cas où la tension U' est égale à la valeur précédente, déterminer à quelle distance minimale du plateau supérieur passe le faisceau de protons.

On négligera les forces de pesanteur.

Exercice 22.

Deux rails conducteurs CD et C'D', distants de L, sont disposés parallèlement suivant la ligne de plus grande d'un plan incliné d'un angle α sur l'horizontale et reliés à un générateur de f.é.m. E. Une barre homogène cylindrique conductrice de masse m et de rayon R est posée orthogonalement sur les deux rails. Le contact électrique se fait en M et N. La résistance totale du circuit est r. Un interrupteur k commande le circuit.

On négligera les forces de frottement et le champ magnétique terrestre.

Données : E = 2 V ; r = 0,2 Ω ; L = 5 cm ; m = 10 g ; $\alpha = 30°$; moment d'inertie de la barre : J = $\frac{1}{2}mR^2$.

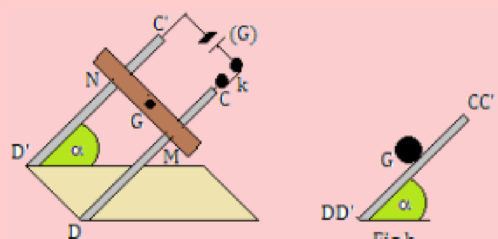


Fig. a Fig.b

22.1. On crée dans la région où se trouve la barre MN, un champ magnétique uniforme $\vec{B}$ perpendiculaire au plan des rails, puis on ferme l'interrupteur. La barre reste alors en équilibre sur les rails.

- **a.** Reproduire la figure b montrant la vue de profil de l'ensemble et y représenter le vecteur champ magnétique $\vec{B}$ ainsi que les forces extérieures agissant sur la tige en équilibre.
- **b.** Exprimer puis calculer la valeur B du champ magnétique.

22.2. On ouvre l'interrupteur à un instant t = 0 s. Sans vitesse initiale, la barre cylindrique se met à rouler sans glisser en ligne droite sur les rails.

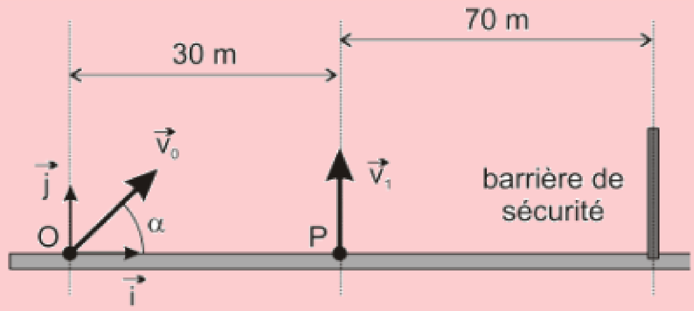
- **a.** Montrer en utilisant le théorème de l'énergie cinétique que l'accélération de son centre d'inertie est :

$$a = \frac{2}{3}g\sin\alpha$$

- **b.** À quelle date la barre atteindra-t-elle le bas des rails après un parcours de $d = 40$ cm ?

Exercice 23.

Deux grenades A et B sont tirées simultanément à partir du sol. La grenade A part du point O, origine du repère (O ; $\vec{\imath}$; $\vec{\jmath}$) à l'instant t = 0, avec la vitesse initiale $v_0 = 40$ m/s située dans un plan vertical Oxy et faisant un angle α avec l'horizontale. La grenade B est tirée du point P avec une vitesse initiale $v_1 = 42$ m/s.



23.1. Établir les équations horaires de chacune des deux grenades dans le repère (O ; $\vec{\imath}$; $\vec{\jmath}$).

23.2. Les deux grenades explosent au bout de 5 s. Déterminer α pour que l'explosion de la grenade A ait lieu à la verticale du point P.

23.3. Déterminer la distance d qui sépare les deux grenades au moment de l'explosion.

23.4. Si la grenade A n'explose pas, à quelle distance du point O retombe-t-elle ? La barrière de sécurité étant disposée comment sur la figure, les spectateurs sont-ils en sécurité ?

Rép. $\alpha = 81,4°$; $d = 12,3$ m ; $x = 48,2$ m.

Exercice 24.

Un athlète a lancé le poids à une distance d = 21,09 m. À l'instant t = 0, correspondant à l'instant du lancer, le poids se trouve à une hauteur h de 2 m au-dessus du sol et part avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ faisant un angle $\alpha = 45°$ avec l'axe horizontal. Le poids est assimilé à un objet matériel.

24.1. Ètablir les équations horaires et l'équation cartésienne de la trajectoire en fonction de h, α, g et v_0.

24.2. Déterminer la valeur de la vitesse initiale en fonction de h, α, g et d. La calculer numériquement.

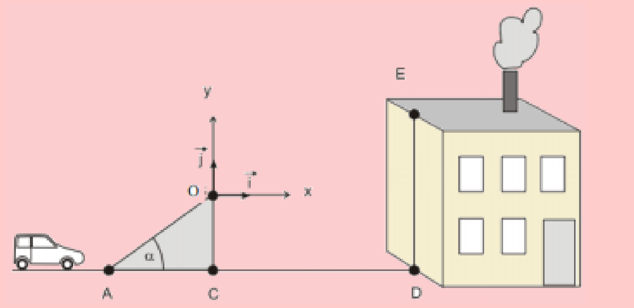
24.3. Combien de temps le poids reste-t-il dans les airs ?

24.4. Déterminer la hauteur maximale atteinte par le poids au cours de sa trajectoire.

Rep. $v_0 = 13,7$ m/s ; $t_2, 17$ s ; $y_{max} = 6{,}82$ m.

Exercice 25.

Un cascadeur doit sauter avec sa voiture (assimilée à une masse ponctuelle) sur le toit en terrasse d'un immeuble. Pour cela, il utilise un tremplin AOC formant un angle α avec le sol horizontal et placé à la distance CD de l'immeuble. À l'instant initial, le centre d'inertie G de la voiture quitte le point O (origine du repère) et il est confondu avec le point E à l'arrivée sur le toit. On néglige les frottements.



25.1. Établir, dans le repère (O ; $\vec{\imath}$; $\vec{\jmath}$)du schéma, les équations du centre d'inertie G du système.

- Établir l'équation cartésienne de la trajectoire de G entre B et E.

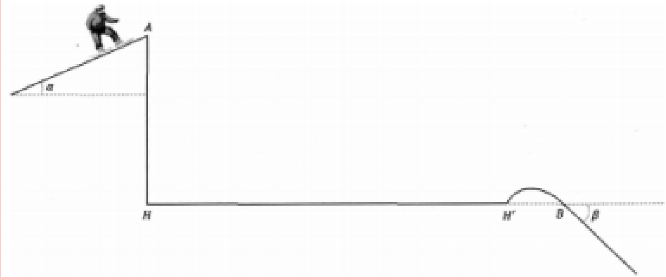
25.2. Le centre d'inertie de la voiture doit atterrir sur le toit en E avec une vitesse horizontale. Établir les expressions littérales de t_E, x_E et y_E en fonction de v_0 et α. Montrer que $\dfrac{y_E}{x_E} = \dfrac{1}{2}\tan\alpha$ et en déduire numériquement la valeur de α.

25.3. Calculer, en km/h, la valeur de la vitesse v_0 au sommet du tremplin pour réussir la cascade.

Données **:** CD = 15 m ; OC = 8 m ; DE = 10 m.

Rep. $\alpha = 14,9°$; $v_0 = 24,4$ m/s.

Exercice 26.



Lors d'une cascade, un snowboardeur de masse m saute au-dessus d'une route d'une largeur HH' = 10 m. Il se lance au point A et atterrit en douceur au point B. On donne AH = 4 m , H'B = 1 m et $\alpha = 26°$.

26.1. Établir, dans un repère approprié, les équations horaires du mouvement (position, vitesse) du snowboardeur considéré comme une masse ponctuelle. On néglige les frottements.

26.2. En déduire l'équation cartésienne de la trajectoire du snowboardeur.

26.3. Calculer la vitesse initiale qui permet au snowboardeur d'atterrir au point B.

26.4. En supposant une vitesse initiale de 8,86 m/s, déterminer la hauteur maximale atteinte lors du saut par rapport à la route.

26.5. La réception au point B se fait en douceur si le vecteur vitesse ne subit pas de changement de direction lors de l'atterrissage, c'est-à-dire si l'inclinaison du vecteur vitesse lors de l'impact équivaut à l'inclinaison de la piste. Montrer que l'angle β, zone de réception vaut $-50,5°$.

Exercice 27.

27.1. Pour transformer un essai, un joueur de rugby frappe dans un ballon, initialement immobile, et lui communique une vitesse initiale $\tilde{\mathbf{v}}_0$ faisant un angle $\alpha = 45°$ avec l'horizontale.

27.a. Établir l'équation cartésienne de la trajectoire du ballon.

27.b. Montrer que la flèche s'écrit : $y_F = \dfrac{v_0^2}{4g}$.

27.c. Calculer la vitesse initiale minimale v_{min} telle que la flèche y_F est supérieure à la hauteur de la barre horizontale des poteaux $h = 3$ m, ce qui assure le joueur de transformer l'essai à coup sûr.

27.2. Dans *Dialogue des deux nouvelles sciences*, Galilée affirme que pour une vitesse initiale donnée, on obtient des portées égales pour des directions de tir s'écartant d'un même angle de part et d'autre de la valeur 45° comptée à partir de l'horizontale. On étudie le tir d'un projectile de masse m depuis un point, considéré comme origine O, avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ faisant un angle α avec l'horizontale. On utilise un repère (Oxz) où l'axe (Oz) est vertical ascendant.

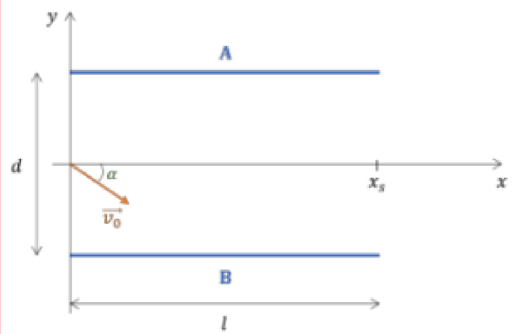
a. Établir les équations horaires du mouvement $[x(t), y(t), z(t)]$.

b. Montrer que l'abscisse du point d'impact s'écrit :

$$P = \frac{v_0^2}{g}\sin 2\alpha$$

c. L'affirmation de Galilée est-elle juste ?

Exercice 28.



Un électron entre avec une vitesse initiale $\vec{v}_0$ de norme $2{,}5.10^6$ m/s entre les plaques chargées d'un condensateur plan. Le vecteur vitesse fait un angle de 30° avec l'axe x comme indiqué sur la figure et l'expérience se fait dans le vide. Les plaques A et B ont une longueur de $\ell = 6$ cm et sont distantes de $d = 4$ cm. Le réglage de la tension U_{AB} permet de faire varier l'ordonnée du point S où les électrons sortent du champ électrique.

28.1. Quel doit être le signe de U_{AB} (respectivement la polarité des plaques) pour que les électrons ne s'écrasent contre la plaque B ?

On règle la tension U_{AB} telle que les électrons sortent du condensateur aux coordonnées (x, y=0).

28.2. Indiquer les vecteurs champ et force ainsi la trajectoire des électrons sur un schéma.

Établir les équations horaires du mouvement de l'électron.

28.3. En déduire l'équation cartésienne de la trajectoire de l'électron.

28.4. On rappelle que les électrons sortent du condensateur à l'ordonnée $y = 0$. Calculer U_{AB}.

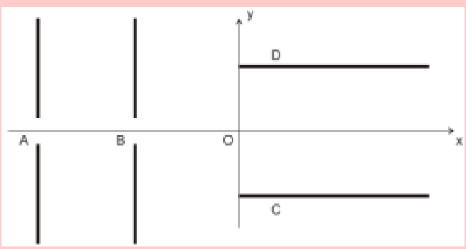
28.5. Pour le réglage $|U_{AB}| = 20{,}52$ V, déterminer la vitesse de sortie des électrons.

28.6. À combien de centimètres les électrons se sont-ils rapprochés de la plaque B au point le plus près ?

Rep. 20,54 V ; $2{,}5.10^6$ m/s ; 1,13 cm.

Exercice 29.

Un faisceau de particule α (= noyau d'hélium ${}^4_2He$) de poids négligeable et de charge +2e parcourt le trajet suivant :



29.1. En A, les particules entrent avec une vitesse négligeable par un trou entre deux armatures verticales aux bornes desquelles une tension U_1. Déterminer la polarité des plaques, pour que les particules soient accélérées. Ajouter sur la figure, le champ électrique $\vec{E_1}$ et la force électrique $\vec{F_1}$ que subit chaque particule.

29.2. Déterminer U_1 pour que les particules sortent en B avec une vitesse de 5.10^5 m/s.

29.3. Les particules se déplacent à vitesse constante de B jusqu'en O, origine du repère (Ox, Oy), et se trouvant au milieu des deux armatures C et D. Indiquer, en justifiant votre réponse, la polarité des plaques pour que les particules soient déviées vers le haut. Ajouter sur la figure, le champ électrique $\vec{E_2}$ et la force électrique $\vec{F_2}$ sur chaque particule.

29.4. Établir les équations horaires et l'équation cartésienne pour une particule.

29.5. Déterminer la tension U_2 à établir entre C et D pour que les particules sortent au point S d'ordonnée $y_S = 1$ cm, sachant que les armatures sont longues de 5 cm et distantes de 4 cm.

Rep. 2592 V ; 1659 V.

Exercice 30.

Un gravier assimilé à un point G est projeté par le pneu d'un camion, vers l'arrière dans le plan vertical repéré par (Ox, Oz). Le gravier, en O à t = 0, a une vitesse initiale de norme égale à 12 m.s^{-1} en faisant un angle $\alpha = 37°$ par rapport à l'axe horizontal (Ox). On néglige la résistance de l'air. Donnée g = 9,8 m.s^{-2}.

30.1. Donner l'allure de la trajectoire du gravier.

30.2. Établir l'équation horaire $[x_G(t),\ z_G(t)]$ du mouvement du gravier puis l'équation cartésienne $z(x)$ de sa trajectoire dans le repère (Ox, Oz).

30.3. Le gravier vient frapper une voiture en un point M de son pare-brise. À t = 0, la voiture est à 44 m derrière le camion qu'elle suit à la vitesse constante de 60 km.h^{-1}. Établir l'équation horaire du point M dans (Ox, Oz).

30.4. Déterminer la date t_1, à laquelle se produit l'impact du gravier sur le pare-brise. En déduire la hauteur h au-dessus du sol du point d'impact.

Exercice 31.

Un parachutiste a une masse totale m = 70 kg, avec son équipement. Il descend avec une accélération a = 2,45 m.s^{-2}.

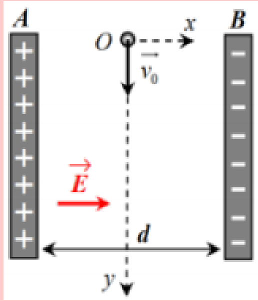
La chute du parachutiste est-elle libre ? Justifier la réponse.

PARTIE B : ÉVALUATION DES COMPÉTENCES

Situation N° 1

Compétence visée : *Calcul des incertitudes avec le champ électrique*

Un électron pénètre à t = 0 en O, milieu de AB, dans un condensateur formé de deux armatures planes séparées de $d = 2{,}0$ cm avec une vitesse initiale verticale $v_0 = 5$ mm.s^{-1}. Le référentiel du condensateur est galiléen. On néglige le poids des particules dans tout l'exercice.



1.1- Déterminer la tension (ou différence de potentiel) entre les armatures A et B.

1.2- Exprimer le vecteur force électrique s'exerçant sur l'électron en fonction du vecteur champ électrique et de la charge élémentaire.

2.1- Définir le mouvement qu'aurait eu un neutron lancé en O à la même vitesse dans ce condensateur. Justifier rigoureusement.

2.2- Déterminer les coordonnées du vecteur accélération de l'électron dans le condensateur.

2.3- Montrer que les équations horaires du mouvement de l'électron dans le condensateur sont :

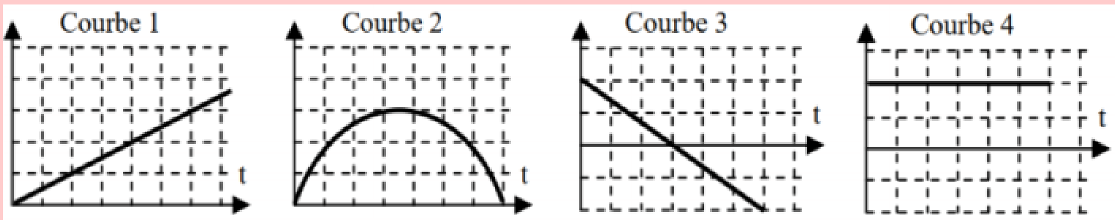
$$x(t) = \frac{-eE}{2m}.t^2 \qquad y(t) = v_0.t$$

3.1- Sachant que les deux plaques mesurent D = 5,cm de long, montrer que l'électron arrive à sortir du condensateur.

3.2- Déterminer la valeur de sa vitesse à la sortie du condensateur.

4.1- Sans aucune justification, indiquer parmi les courbes ci-dessous, celle qui représente au mieux l'allure de la vitesse de l'électron sur l'axe verticale.

4.2- Même question pour la valeur de l'accélération totale à laquelle est soumis l'électron.



5. On effectue 9 tirs en chronométrant à chaque fois la durée mise par l'électron pour traverser le condensateur.

On obtient les valeurs suivantes :

n° du tir	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Durée (µs)	0,985	1,018	1,005	0,997	0,991	0,999	0,989	1,008	1,015

Déterminer l'incertitude de répétabilité pour un niveau de confiance de 95% et indiquer alors le résultat de l'expérience avec une incertitude.

***Données* :** masse électron $m_e = 9{,}1.10^{-31}$ kg ; charge élémentaire $e = 1,6.10^{-19}$ C ; champ électrique E = 0,1 V/m ; l'incertitude de répétabilité d'une mesure est donnée par la relation : $U_{répétabilité} = k.\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ avec k le facteur de qualité, σ l'écart-type de répétabilité et n le nombre total de mesures effectuées.

Extrait du tableau de la loi de Student :.

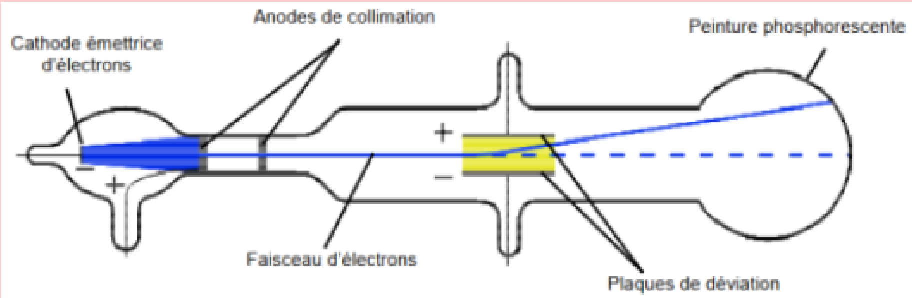
n	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	∞
k.95%	12.7	4.30	3.18	2.78	2.57	2.45	2.37	2.31	2.26	2.23	2.20	2.18	2.16	2.14	2.13	1.96
k.99%	63.7	9.93	5.84	4.60	4.03	3.71	3.50	3.36	3.25	3.17	3.11	3.06	3.01	2.98	2.95	2.58

Situation N°2 : Étude expérimentale

Compétence visée : Écrire un résultat avec son incertitude

Document 1 : La deuxième expérience de Thomson

Le physicien anglais Joseph John Thomson utilisa un tube à vide, dans lequel une cathode émet des électrons. Ceux-ci sont accélérés dans un champ électrostatique créé par des anodes de collimation. À la sortie de ces anodes, les électrons forment un faisceau très étroit. Ce faisceau passe ensuite entre deux plaques métalliques de charges opposées. Les électrons, soumis à un nouveau champ électrostatique, sont alors déviés de leur trajectoire et viennent frapper un écran constitué d'une couche de peinture phosphorescente. Tube utilisé par Thomson pour montrer la déviation de particules chargées par un champ électrostatique :

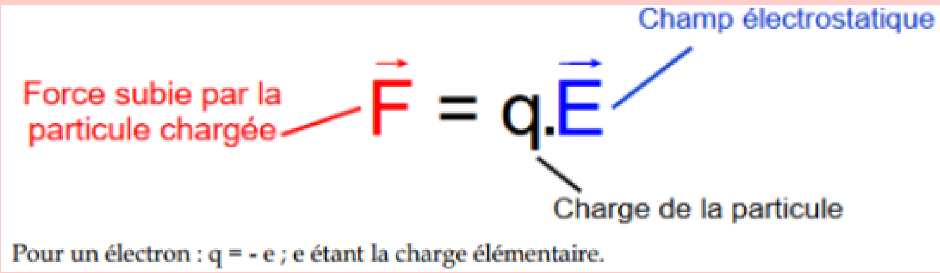


Document 2 : Création d'un champ électrostatique

Deux plaques métalliques horizontales portant des charges opposées possèdent entre elles un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ caractérisé par :

- sa direction : perpendiculaire aux plaques
- son sens : de la plaque chargée positivement vers la plaque chargée négativement.

Document 3 : Force électrostatique subie par une particule chargée dans un champ électrique $\vec{E}$

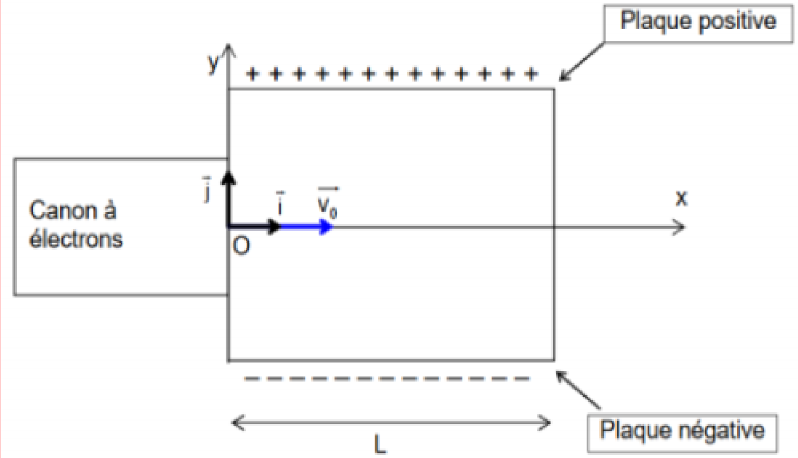


Document 4 : Interaction entre particules chargées

Deux particules de charges de même signe se repoussent ; deux particules de charges opposées s'attirent.

Document 5 : Expérience de laboratoire - Détermination du rapport e/m pour l'électron

Le montage ci-dessous reprend le principe de la deuxième expérience de Thomson. Il comporte un tube à vide dans lequel un faisceau d'électrons est dévié entre deux plaques de charges opposées. On mesure la déviation verticale du faisceau d'électrons lors de la traversée des plaques sur une longueur L, afin de déterminer la valeur du rapport e/m.



Données de l'expérience **:** Les électrons sortent du canon à électrons avec une vitesse $v_0 = 2{,}27.10^7$ m/s. Le faisceau d'électrons passe entre les deux plaques chargées et est dévié d'une hauteur h quand il sort des plaques. L'intensité du champ électrostatique entre les deux plaques est : E = 15,0 kV/m. La longueur des plaques est : L = 8,50 cm. On fait l'hypothèse que le poids des électrons est négligeable par rapport à la force électrostatique $\vec{F}$.

1. Détermination du caractère négatif de la charge de l'électron par J. J. Thomson.

1.1. À l'aide du document 2, reproduire la figure du document 5 et représentez-y le vecteur correspondant au champ électrostatique $\vec{E}$. Échelle : 1,0 cm pour 5,0 kV/m.

1.2. J. J. Thomson a observé une déviation du faisceau d'électrons vers la plaque métallique chargée positivement (voir document 1). Expliquer comment J. J. Thomson en a déduit que les électrons sont chargés négativement.

1.3. À l'aide du document 3, donner la relation entre la force électrostatique $\vec{F}$ subie par un électron, la charge élémentaire e et le champ électrostatique $\vec{E}$. Montrer que le sens de déviation du faisceau d'électrons est cohérent avec le sens de $\vec{F}$.

2. Détermination du rapport $\frac{\mathbf{e}}{\mathbf{m}}$ pour l'électron.

2.1. En appliquant la deuxième loi de Newton à l'électron, montrer que les relations donnant les coordonnées de son vecteur accélération sont : $a_x = 0$ et $a_y = \frac{eE}{m}$.

2.2.2.a) Démontrer que la courbe décrite par les électrons entre les plaques admet pour équation : $y = \frac{e.E}{2m.v_0^2}.x^2$.

À la sortie des plaques, $x =$ L, la déviation verticale du faisceau d'électrons par rapport à l'axe (Ox) a une hauteur h = 1,85 cm.

2.2.b) En déduite l'expression du rapport $\frac{e}{m}$ en fonction de E, L, h et v_0.

2.2.c) Donner la valeur du rapport $\frac{e}{m}$.

2.2.d) On donne ci-dessous les valeurs des grandeurs utilisées, avec les incertitudes associées :

$v_0 = (2{,}27 \pm 0{,}02)\times 10^7$ m/s ; E = (15,0 ± 0,1) kV/m ; L = (8,50 ± 0,05) cm ; h = (1,85 ± 0,05) cm.

L'incertitude du rapport $\frac{e}{m}$, notée $\Delta\left(\frac{e}{m}\right)$ s'exprime par la formule de propagation suivante :

$$\Delta\left(\frac{e}{m}\right) = \frac{e}{m}\sqrt{\left(\frac{U(h)}{h}\right)^2 + \left(\frac{U(E)}{E}\right)^2 + 4\left(\frac{U(v_0)}{v_0}\right)^2 + 4\left(\frac{U(L)}{L}\right)^2}$$

Calculer l'incertitude $\Delta\left(\frac{e}{m}\right)$ puis écrire convenablement $\frac{e}{m}$.

Situation N°3 : Étude expérimentale

Compétence visée : Application du théorème du centre d'inertie

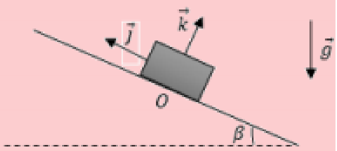
- **Matériel**

– Une table à digitaliser inclinable avec le mobile autoporteur sur coussin d'air
– Un micro-ordinateur, une imprimante graphique et éventuellement un traceur de courbe.

- **Principe**

Le palet sur coussin d'air est mis en mouvement descendant sur la table inclinée, avec l'angle d'inclinaison β (figure ci-contre).

Son centre d'inertie est animé d'un mouvement rectiligne uniformément accéléré ; le long de la ligne de plus grande pente.



La position du centre d'inertie G du palet est transmise à l'ordinateur à intervalle de temps consécutifs égaux t.

Le palet est soumis à son poids $\vec{P}$ et à la réaction $\vec{R}$ exercée par le support $\vec{f}$ est la force de frottement supposée constante.

- **Résultats expérimentaux**

m = 0,260 kg ; $\beta = 16°$; g = 9,8 N/kg.

t(s)	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18
y(m)	0,000	-0,008	-0,017	-0,026	-0,036	-0,048	-0,061	-0,073	-0,087	-0,102
v_y (m/s)	-0,360	-0,413	-0,455	-0,496	-0,551	-0,603	-0,636	-0,660	-0,708	-0,751

- **Exploitation et questions**

1. Démontrer l'expression : $v_y = -\left(g\sin\beta - \dfrac{f}{m}\right)t - v_0$.
2. Représenter graphiquement v_y en fonction du temps.
3. À partir du graphique, déterminer l'intensité f de la force de frottement. Comparer sa valeur à celle de la composante motrice **m.g.** $\sin\beta$ du poids. Conclure.
4. Exprimer l'énergie cinétique E_c à un instant quelconque t en fonction de v_O, m, g, ℓ, f et β.
5. Représenter graphiquement E_c en fonction de la distance ℓ parcourue par le mobile sur l'axe (Oy).
6. Déterminer graphiquement à nouveau la force de frottement f.

   Que peut-on dire de la fiabilité du programme d'enregistrement des paramètres y et v_y ?

Situation N°4 : Étude expérimentale

Compétence visée : Détermination expérimentale de l'accélération

Un mobile est lâché sans vitesse initiale sur une table inclinée d'un angle α sur l'horizontale. Les positions du centre d'inertie du mobile au cours du temps sont relevées dans le tableau suivant :

t (s)	0,000	0,060	0,120	0,180	0,240	0,300	0,360	0,420	0,480
d (cm)	0,00	0,30	1,10	2,50	4,45	6,95	10,0	13,6	17,5
t^2 (s^2)									

1. Compléter le tableau.
2. Représenter la courbe d = f(t^2). Échelles : 1 cm pour 10^{-2} m ; 1 cm pour 10^{-2} s^2.
3. Quelle est la nature du mouvement ?
4. Calculer la valeur numérique de l'accélération du mobile.
5. Le contact du mobile avec la piste se fait sans frottement. Prendre g = 10 m.s^{-2}.
   4.1. Faire le bilan des forces extérieures appliquées au mobile.
   4.2. Montrer que l'accélération du centre d'inertie du mobile a pour expression : a = g$\sin\alpha$.
   4.3. En déduire la valeur en degré de α.