

Mouvement en champ uniforme

Cours de sciences physiques - niveau Terminale

*Un ballon de basket qui retombe dans le panier et un électron dévié entre deux plaques métalliques suivent la même logique : une force constante agit sur un objet qui avance, et sa trajectoire se courbe en parabole. Ce chapitre montre comment un **mouvement dans un champ uniforme** se prévoit entièrement à partir de la deuxième loi de Newton, pour un champ de pesanteur comme pour un champ électrique.*

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

Étudier un mouvement dans un champ uniforme

On modélise l'objet par un **point matériel** M de masse m, repéré dans un référentiel que l'on suppose **galiléen** (le référentiel terrestre, pour des durées courtes), muni d'un repère (O ; x, y). Un champ est dit **uniforme** dans une région lorsque le vecteur champ $\mathbf{a}$, en tout point, la même direction, le même sens et la même valeur.

LOI

Deuxième loi de Newton (les lettres en gras sont des vecteurs) : dans un référentiel galiléen, $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$, avec $\mathbf{a} = d\mathbf{v}/dt$ et $\mathbf{v} = d\mathbf{OM}/dt$. L'accélération a le sens de la force résultante ; $\Sigma \mathbf{F}$ en N, m en kg, a en m/s^2 .

MÉTHODE

- (1) Définir le système, le référentiel et le repère. (2) Faire le bilan des forces. (3) Appliquer la deuxième loi et projeter sur les axes pour obtenir les composantes de $\mathbf{a}$.
- (4) Intégrer une première fois pour la vitesse, une seconde fois pour la position, en utilisant les **conditions initiales** (position et vitesse à $t = 0$).

Le champ de pesanteur uniforme : la chute libre

Près de la surface de la Terre, le champ de pesanteur est uniforme : $\mathbf{g}$ est vertical, dirigé vers le bas, de valeur $g = 9,81 \text{ N/kg}$ (soit $9,81 \text{ m/s}^2$). Un objet est en **chute libre** s'il n'est soumis qu'à son poids $\mathbf{P} = m\mathbf{g}$. La deuxième loi donne alors $m\mathbf{a} = m\mathbf{g}$, donc $\mathbf{a} = \mathbf{g}$: l'accélération ne dépend pas de la masse.

On choisit l'axe Oy vertical vers le haut, l'axe Ox horizontal, l'origine O au point de lancer et un vecteur vitesse initiale $\mathbf{v}_0$ faisant l'angle α avec l'horizontale. Les composantes initiales sont $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ et $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$.

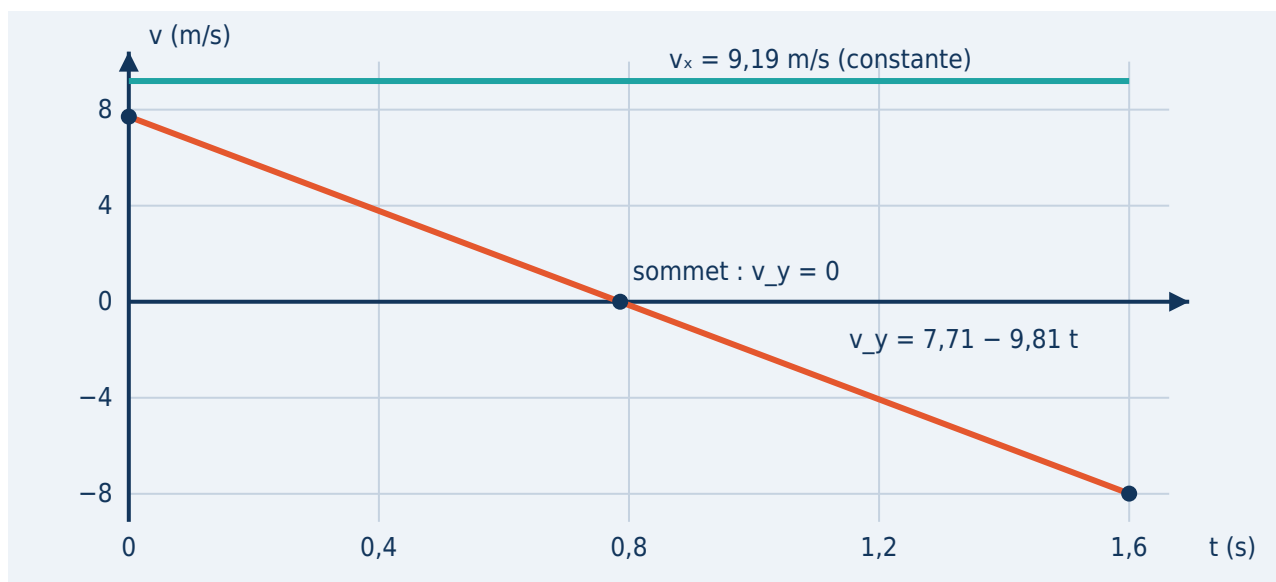
FORMULE À RETENIR

$$a_x = 0 ; a_y = -g$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha ; v_y = -g t + v_0 \sin \alpha$$

$$x = v_0 \cos \alpha \times t ; y = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin \alpha \times t$$

Longueurs en m, durée en s, vitesses en m/s, g en m/s². Si le lancer part de la hauteur y_0 , on ajoute y_0 à l'expression de y.



Lancer à 12 m/s sous 40° : la composante horizontale v_x reste constante, la composante verticale v_y diminue de 9,81 m/s par seconde.

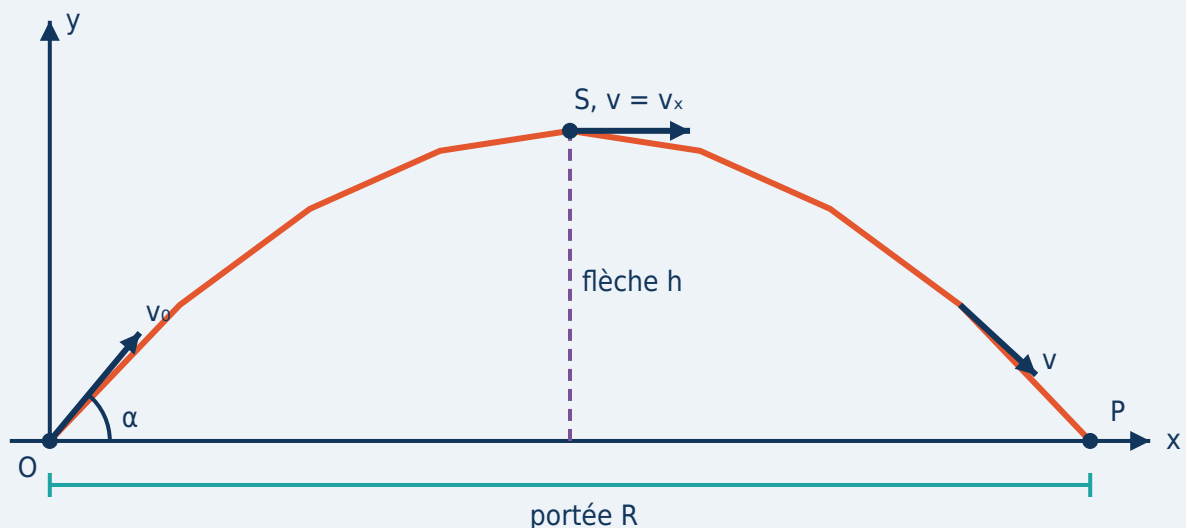
Trajectoire parabolique, flèche et portée

En éliminant le temps entre $x(t)$ et $y(t)$, on obtient l'équation de la trajectoire : $y = -g x^2 \div (2 v_0^2 \cos^2 \alpha) + x \tan \alpha$. C'est une **parabole**. Le sommet S est atteint quand $v_y = 0$, c'est-à-dire à l'instant $t_s = v_0 \sin \alpha \div g$; le projectile retombe à la hauteur de départ à l'instant $2 t_s$.

FORMULE À RETENIR

$$\text{flèche } h = v_0^2 \sin^2 \alpha \div (2g) ; \text{ portée } R = v_0^2 \sin 2\alpha \div g$$

Valables si le lancer et l'arrivée se font à la même hauteur. À v_0 fixée, la portée est maximale pour $\alpha = 45^\circ$; deux angles complémentaires (α et $90^\circ - \alpha$) donnent la même portée.



Trajectoire parabolique : au sommet S la vitesse est horizontale ($v = v_x$) ; le projectile retombe en P après avoir parcouru la portée R.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Une balle est lancée à $v_0 = 12 \text{ m/s}$ sous $\alpha = 40^\circ$ depuis le sol ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$). Portée : $R = 12^2 \times \sin 80^\circ \div 9,81 = 144 \times 0,985 \div 9,81 = \mathbf{14,5 \text{ m}}$. Flèche : $h = 12^2 \times \sin^2 40^\circ \div (2 \times 9,81) = 144 \times 0,413 \div 19,62 = \mathbf{3,03 \text{ m}}$. Durée du vol : $2 v_0 \sin \alpha \div g = 2 \times 12 \times 0,643 \div 9,81 = \mathbf{1,57 \text{ s}}$.

Le champ électrique uniforme

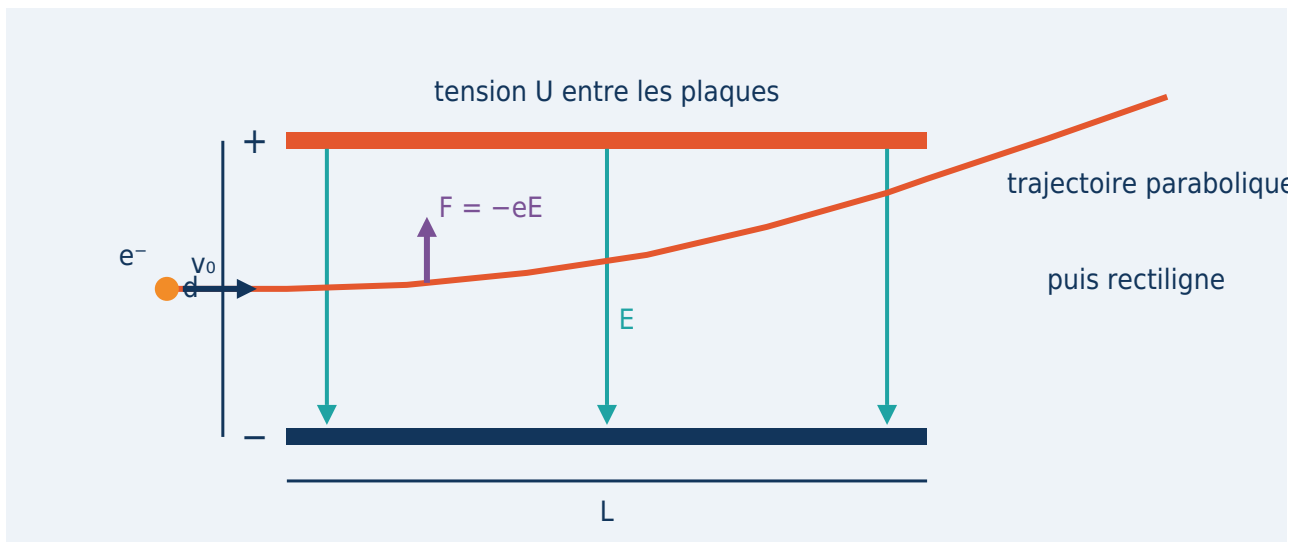
Entre deux plaques métalliques planes, parallèles, distantes de d et soumises à une tension U , règne un champ électrique **uniforme**, perpendiculaire aux plaques et dirigé de la plaque positive vers la plaque négative. Une particule de charge q y subit la force électrique $\mathbf{F} = q\mathbf{E}$: même sens que $\mathbf{E}$ si $q > 0$, sens opposé si $q < 0$.

FORMULE À RETENIR

$$\mathbf{E} = U \div d ; \mathbf{F} = |q| \times \mathbf{E}$$

E en V/m (ou N/C), U en V, d en m, F en N, q en C. Pour un électron : $q = -e = -1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ et $m = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

Pour un électron dans un champ $E = 1,0 \times 10^4 \text{ V/m}$, $F = 1,60 \times 10^{-19} \times 1,0 \times 10^4 = 1,6 \times 10^{-15} \text{ N}$, tandis que son poids vaut $P = 9,11 \times 10^{-31} \times 9,81 = 8,9 \times 10^{-30} \text{ N}$. Le rapport $F \div P \approx 2 \times 10^{14}$: le **poids est négligeable** devant la force électrique. Avec cette seule force constante, la deuxième loi donne une accélération uniforme $\mathbf{a} = q\mathbf{E} \div m$, de direction perpendiculaire aux plaques : le calcul est le même que pour le champ de pesanteur, avec a à la place de g .



Un électron entre avec la vitesse v_0 parallèle aux plaques : la force F est opposée à E , l'électron est dévié vers la plaque positive.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Plaques de longueur $L = 5,0 \text{ cm}$ distantes de $d = 2,0 \text{ cm}$, tension $U = 200 \text{ V}$: $E = 200 \div 0,020 = \mathbf{1,0 \times 10^4 \text{ V/m}}$. Un électron entre à $v_0 = 2,0 \times 10^7 \text{ m/s}$ parallèlement aux plaques. Accélération : $a = eE \div m = 1,60 \times 10^{-19} \times 1,0 \times 10^4 \div 9,11 \times 10^{-31} = \mathbf{1,76 \times 10^{15} \text{ m/s}^2}$. Durée dans le champ : $t = L \div v_0 = 0,050 \div 2,0 \times 10^7 = 2,5 \times 10^{-9} \text{ s}$. Déviation à la sortie : $y_s = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \times 1,76 \times 10^{15} \times (2,5 \times 10^{-9})^2 = \mathbf{5,5 \text{ mm}}$, inférieure à $d \div 2 = 10 \text{ mm}$: l'électron sort du condensateur. Sa composante verticale vaut $v_y = a t = 4,4 \times 10^6 \text{ m/s}$, d'où $\tan \theta = v_y \div v_0 = 0,22$ et $\theta \approx 12^\circ$.

Accélérer une particule dans un champ électrique

Une particule de charge q abandonnée sans vitesse initiale dans un champ uniforme, puis déplacée d'une plaque à l'autre sous une tension U , gagne l'énergie cinétique $E_c = |q| U$, soit $\mathbf{v = \sqrt{(2|q|U \div m)}}$. Un proton accéléré sous $1\,000 \text{ V}$ acquiert ainsi $1,60 \times 10^{-16} \text{ J}$.

ERREUR FRÉQUENTE

Croire qu'au sommet d'une parabole la vitesse est nulle : seule la composante verticale s'annule, la vitesse vaut $v_x = v_0 \cos \alpha$. Autre erreur : oublier que la force sur un électron est de sens **opposé** au champ E . Enfin, ne pas confondre la tension U (V) et le champ E (V/m).

L'essentiel à retenir

- Dans un référentiel galiléen, $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$; on intègre deux fois avec les conditions initiales.
- Chute libre : $\mathbf{a} = \mathbf{g}$, indépendante de la masse ; $x = v_0 \cos \alpha \times t$ et $y = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 \sin \alpha \times t$.

- La trajectoire est une parabole ; flèche $h = v_0^2 \sin^2 \alpha \div 2g$ et portée $R = v_0^2 \sin 2\alpha \div g$.
- Entre deux plaques : $E = U \div d$; $F = qE$; $a = qE \div m$, le poids étant négligeable devant F pour une particule élémentaire.
- Pour un électron, la force est opposée au champ : il est dévié vers la plaque positive.
- Particule accélérée sous une tension U : $E_c = |q| U$.