LOIS DES MOUVEMENTS

Les lois des mouvements (lois des énergies et lois de Newton) permettent de modéliser le mouvement d'un système et de prévoir sa trajectoire, sa vitesse ou son accélération grâce au bilan des forces qui s'exercent sur lui. Elles permettent également de comprendre un mouvement grâce aux transferts d'énergie.

1) Lois des énergies (rappels de 1ère) : ACTIVITÉ 1

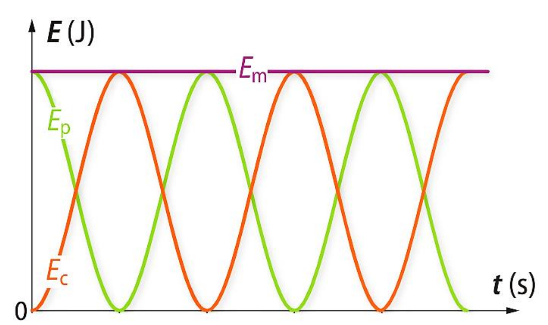
a – Conservation de l'énergie mécanique :

L'énergie mécanique E_m (en joule) d'un objet correspond à la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle E_P : $E_m = E_c + E_p$

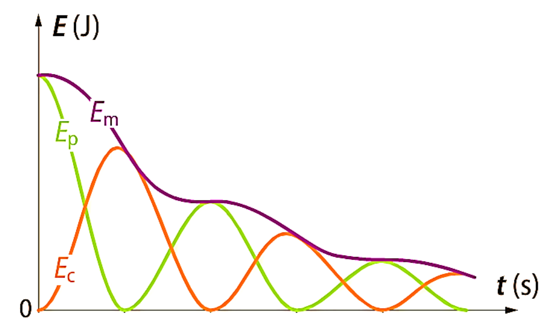
$E_c = ½ m.v^2$: énergie cinétique en joule (J), masse en kg, vitesse en $m.s^{-1}$

$E_P = m.g.z$: énergie potentielle en joule (J), altitude z en mètre, intensité du champ de pesanteur g en $m.s^{-2}$

Lorsqu'un objet n'est soumis qu'à des forces conservatives (mouvement sans frottement), son énergie mécanique E_m se conserve au cours du mouvement : **E_m = constante** (donc sa variation ΔE_m est nulle)



Transferts d'énergie lors d'un mouvement sans frottement (oscillations d'une balançoire)



Transferts d'énergie lors d'un mouvement avec frottement (oscillations d'une balançoire)

Remarque : En présence de frottements, l'énergie mécanique diminue au cours du mouvement et sa variation est égale au travail des forces de frottement entre le point de départ A et le point d'arrivée B : $\Delta E_m = W_{AB}(\vec{f})$

b – Théorème de l'énergie cinétique :

La variation d'énergie cinétique d'un système qui se déplace d'un point A à un point B est égale à la somme des travaux des forces qui s'appliquent sur sur le solide lors de son déplacement :

$$\underbrace{\Delta E_c}_{\text{variation d'énergie cinétique (en J)}} = E_c(B) - E_c(A) = \underbrace{\sum W_{AB}(\vec{F})}_{\text{somme des travaux des forces (en J)}}$$

Travail de la force entre A et B (en J) :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \underbrace{\vec{F}\,.\,\overrightarrow{AB}}_{\text{produit scalaire}} = \overbrace{F}^{\text{intensité de } F \text{ (en N)}} \times \underbrace{AB}_{\text{longueur (en m)}} \times \cos\alpha$$

angle α formé par $\vec{F}$ et $\overrightarrow{AB}$

Exercices : n°18,37 p 358/364

2) Lois de Newton :

1ère loi (principe d'inertie) :

Dans un référentiel galiléen, si un système est isolé* ou pseudo-isolé**, alors il est soit immobile soit animé d'un mouvement rectiligne et uniforme.
Réciproquement, si un système est immobile ou animé d'un mouvement rectiligne et uniforme, alors il est soit isolé soit pseudo-isolé.

Ecriture mathématique : $\Sigma\ \vec{F}_{ext} = \vec{0} \quad \Leftrightarrow \quad \vec{v}_G = \overrightarrow{cste}$

(*) système soumis à aucune force *(**) objet soumis à des forces qui se compensent*

2ème loi (loi fondamentale de la dynamique) :

Dans un <u>référentiel galiléen</u> , la résultante $\Sigma\ \vec{F}_{ext}$ des forces extérieures appliquées à un système est égale au produit de sa masse **m** et de son accélération $\vec{a}_G$:

$$\boxed{\Sigma\ \vec{F}_{ext} = m \times \vec{a}_G} \qquad \left\{ \begin{array}{l} \Sigma\ F_{ext} \text{ s'exprime en N} \\ m \text{ s'exprime en kg} \\ a_G \text{ s'exprime en m.s}^{-2} \end{array} \right.$$

G : centre de masse du système étudié (confondu avec le centre de gravité si le champ de pesanteur est uniforme)

Méthode d'application de la 2ème loi de Newton :

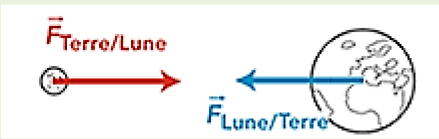
1. Définir le système
2. Préciser le référentiel galiléen par rapport auquel on étudie le mouvement
3. Faire le bilan des forces extérieures appliquées au système
4. Ecrire la 2ème loi de Newton
5. Projeter la relation vectorielle dans le repère d'étude et déterminer les constantes d'intégration grâce aux conditions initiales

Conséquences :

- Le **vecteur** $\sum \vec{F}_{ext}$ possède la **même direction** et le **même sens** que l'accélération $\vec{a}_G$.
- Il est possible de déterminer le vecteur **accélération** $\vec{a}_G$ du centre de masse connaissant les **forces appliquées au système**.
- Il est possible de déterminer la somme des forces appliquées au système connaissant le mouvement du **centre de masse**.
- Si $\sum \vec{F}_{ext}$ = constante, $\vec{a}_G$ varie de manière inversement proportionnelle à la masse du système.
- Pour une même somme des forces extérieures, plus la masse du système est grande et plus son accélération sera faible.

3ème loi (principe des actions réciproques) :

Deux systèmes en interaction exercent l'un sur l'autre des forces opposées :
Si un système A exerce une force $\vec{F}_{A/B}$ sur un système B , alors le système B exerce une force $\vec{F}_{B/A}$ sur le système A telle que : $\boxed{\vec{F}_{A/B} = -\ \vec{F}_{B/A}}$
Les deux forces sont de même direction, même valeur mais de sens opposés.



<u>Exemples de systèmes en interaction</u>

Exercices : **n°36,40,44,48,57 p 332/336**

3) Cas des mouvements dans un champ de pesanteur : ACTIVITÉ 2

a – Notion de champ de pesanteur uniforme :

Un **champ vectoriel uniforme** est un champ qui garde, en tout point d'une région de l'espace, la même direction, le même sens et la même valeur.

Le champ de pesanteur terrestre $\vec{g}$ est assimilable au champ de gravitation au voisinage de la Terre. Il est dirigé suivant la **verticale**, orienté **vers le bas** et a une **valeur** g qui dépend de l'altitude et de la latitude du lieu considéré.

Dans une région de l'espace de **faibles dimensions** par rapport à la Terre, un **champ de pesanteur** $\vec{g}$ peut être considéré comme **uniforme**.

Si on se déplace peu à la surface de la Terre, $\vec{g}$ est un vecteur constant.
À Paris, $g = 9{,}81\ \text{m.s}^{-2}$.

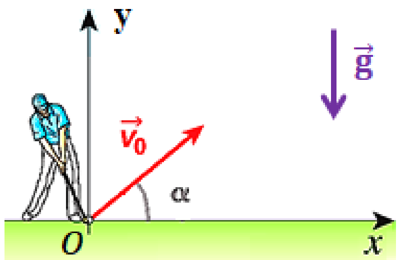
b – Équations du mouvement :

Les équations du mouvement s'obtiennent en appliquant la 2ème loi de Newton au système dans un référentiel choisi de manière à pouvoir être considéré comme galiléen (voir méthode d'application de la loi dans le §2).

Prenons l'exemple du mouvement d'une balle de golf dans le champ de pesanteur terrestre (champ uniforme) :

1. Système : la balle de golf
2. Référentiel terrestre (supposé galiléen pendant la durée du lancer)
3. Le poids de la balle : $\vec{P} = m \times \vec{g}$

   La force de frottements de l'air : $\vec{f}$
4. On applique la 2ème loi de Newton au système dans le référentiel terrestre supposé galiléen : $\vec{P} + \vec{f} = m \times \vec{a}$



Dans le cas où l'on peut négliger f par rapport à P (cas d'une vitesse faible), l'équation devient : $\vec{P} = m \times \vec{a}$

$\Leftrightarrow$ $\vec{a} = \vec{g}$

5. Projection suivant les axes (Ox) et (Oy) :

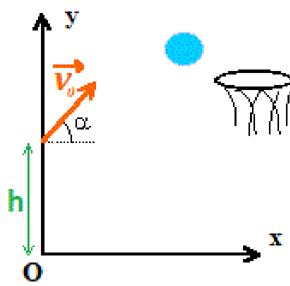
$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases} \xrightarrow[\substack{v_x(0) = v_0.\cos\alpha \\ v_y(0) = v_0.\sin\alpha}]{\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}} \begin{cases} v_x = v_0.\cos\alpha \\ v_y = -g.t + v_0.\sin\alpha \end{cases} \xrightarrow[\substack{x(0) = 0 \\ y(0) = 0}]{\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}} \begin{cases} x = v_0.\cos\alpha.t \\ y = -\frac{1}{2}g.t^2 + v_0.\sin\alpha.t \end{cases}$$

A partir des équations horaires x(t) et y(t) on peut déduire l'équation de la trajectoire : $y = -\frac{1}{2}.\frac{g}{(v_0.\cos\alpha)^2}.x^2 + (\tan\alpha).x$

Remarque : **dans le cas où la balle est lancée en un point différent de l'origine (exemple du basket ci-dessous), certaines constantes d'intégration peuvent être modifiées :**

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases} \xrightarrow[\substack{v_x(0) = v_0.\cos\alpha \\ v_y(0) = v_0.\sin\alpha}]{\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}} \begin{cases} v_x = v_0.\cos\alpha \\ v_y = -g.t + v_0.\sin\alpha \end{cases} \xrightarrow[\substack{x(0) = 0 \\ y(0) = h}]{\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}} \begin{cases} x = v_0.\cos\alpha.t \\ y = -\frac{1}{2}g.t^2 + v_0.\sin\alpha.t + h \end{cases}$$

Équation de la trajectoire : $y = -\frac{1}{2}.\frac{g}{(v_0.\cos\alpha)^2}.x^2 + (\tan\alpha).x + h$



Exercices : **n°35,36,39,49,55 p 364/370 + n°47,50 p334/335**

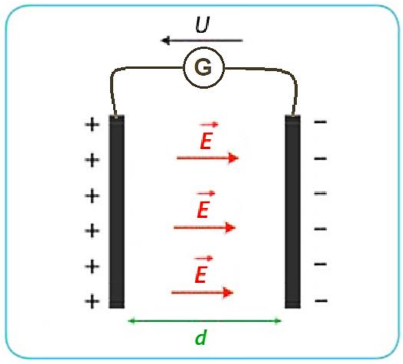
4) Cas des mouvements dans un champ électrique : ACTIVITÉ 3

a – Notion de champ électrique :

Un condensateur plan est constitué de deux plaques conductrices planes, parallèles et séparées d'une distance *d*.

Lorsqu'on applique une tension électrique *U* entre les plaques d'un **condensateur plan**, elles se chargent électriquement. Il apparaît alors entre elles un **champ électrique $\vec{E}$ uniforme** dont les caractéristiques sont :

$\vec{E}$
- direction : perpendiculaire aux plaques
- sens : de la plaque ⊕ vers la plaque ⊖
- valeur : $E = \dfrac{U}{d}$ (en $V.m^{-1}$)

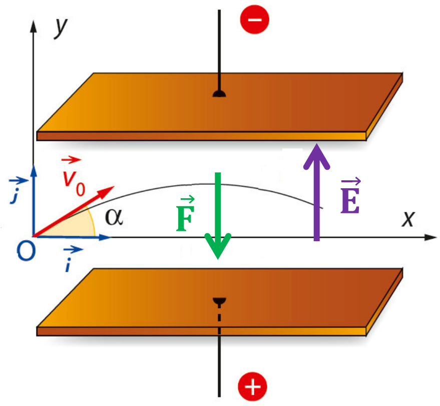


Champ électrique créé par un condensateur plan

b – Équations du mouvement :

Les équations du mouvement s'obtiennent en appliquant la 2ème loi de Newton au système dans un référentiel choisi de manière à pouvoir être considéré comme galiléen (voir méthode d'application de la loi dans le §2).

Prenons l'exemple du mouvement d'une d'une particule chargée dans un champ électrique uniforme :



1. Système : l'électron
2. Référentiel terrestre (supposé galiléen pendant la durée du mouvement)
3. Force électrostatique : $\boxed{\vec{F} = q \times \vec{E}}$ (= $- e \times \vec{E}$ pour un électron)

   Poids de l'électron : $\vec{P} = m_é \times \vec{g}$ (négligeable par rapport à $\vec{F}$)
4. On applique la 2ème loi de Newton au système dans le référentiel terrestre supposé galiléen : $\vec{F} = m \times \vec{a}$

   ⇔ $\vec{a} = -(e/m) \times \vec{E}$
5. Projection suivant les axes $(O\vec{i})$ et $(O\vec{j})$:

$$\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -(e.E)/m \end{cases} \xrightarrow[\substack{v_x(0) = v_0.\cos\alpha \\ v_y(0) = v_0.\sin\alpha}]{\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}} \begin{cases} v_x = v_0.\cos\alpha \\ v_y = -(e.E.t)/m + v_0.\sin\alpha \end{cases} \xrightarrow[\substack{x(0) = 0 \\ y(0) = 0}]{\vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OG}}{dt}} \begin{cases} x = v_0.\cos\alpha.t \\ y = -\frac{1}{2}(e.E.t^2)/m + v_0.\sin\alpha.t \end{cases}$$

A partir des équations horaires x(t) et y(t) on peut déduire l'équation de la trajectoire : $y = -\frac{1}{2}.\dfrac{e.E}{m.v_0^2.\cos^2\alpha}.x^2 + (\tan\alpha).x$

Exercices : n°22,40,46,52 p 362/367