Chapitre C2. Lois de Newton

Faire de la mécanique, c'est faire des liens entre des actions exercées sur un système (modélisées par des forces) et les caractéristiques du mouvement du système. C'est ce que permettent les trois lois de Newton.
En terminale, c'est surtout la 2e loi de Newton qui va être utilisée, du fait de sa capacité à décrire, prévoir et interpréter un très grand nombre de situations.

A- Forces

A-1 Définition d'une force

Une force est un vecteur qui modélise l'action qu'un système exerce sur un autre système

La valeur d'une force s'exprime en newton (N).

A-2 Exemples de forces

Force	Situation	Valeur	Direction	Sens	Remarques
Force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{B/A}}$	Force exercée par un système B de masse M sur un système A de masse m distant de d	$F = \frac{GmM}{d^2}$	Droite joignant les centres des deux systèmes	$\overrightarrow{F_{B/A}}$ de A vers B	G : constante de gravitation universelle. $G = 6{,}67.10^{-11}$ N.m^2.kg^{-2}
Cas particulier : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ (= $\overrightarrow{F_{Terre/Syst}}$)	Force exercée sur tout système de masse m dans le champ de pesanteur $\vec{g}$ de la terre	P = mg	Verticale	Vers le bas	On prend usuellement g = 9,8 m.s^{-2}.
Force électrique $\vec{F} = q\,\vec{E}$	Tout système de charge électrique q dans un champ électrique $\vec{E}$	F = qE	Même direction que $\vec{E}$	Si q > 0 : même sens que $\vec{E}$ Si q < 0 : sens opposé à $\vec{E}$	Unité de E : volt par mètre (V.m^{-1})

B- Lois de Newton

Les deux premières lois ne sont valides que dans certains référentiels appelés ***les référentiels galiléens*** *(définition de ces référentiels en fin de chapitre).*

B-1 1ère loi de Newton : le principe d'inertie

Si un système est soumis à des forces qui se compensent ou à aucune force alors il est au repos (s'il y était) ou en mouvement rectiligne uniforme. Et réciproquement : si un système est au repos ou en mouvement rectiligne uniforme alors il est soumis à des forces qui se compensent ou à aucune force.

B-2 2ème loi de Newton : relation fondamentale de la dynamique

Cas général :
Dans un référentiel galiléen, la dérivée par rapport au temps de la quantité de mouvement du système est égale à la somme des forces auxquelles il est soumis :

$$\boxed{\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}}$$

Cas d'un système de masse constante : si la masse est constante on a $\boxed{m\vec{a_G} = \sum \vec{F}}$

3ème loi de Newton : *principe des actions réciproques*

Si un système A exerce sur un système B une force $\overrightarrow{F_{A/B}}$, alors B exerce sur A une force $\overrightarrow{F_{B/A}}$ de même valeur, de même direction et de sens opposé.

$$\boxed{\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}}$$

Méthode d'étude :

En terminale, « étudier un mouvement » consiste à suivre un raisonnement en 6 étapes :
❶ préciser le système étudié et le point choisi pour le représenter ;
❷ préciser le référentiel d'étude et le munir d'un repère ;
❸ indiquer les conditions initiales du mouvement : position initiale et vitesse initiale ;
❹ exploiter la 2nde loi de Newton pour déterminer les coordonnées de l'accélération ;
❺ en déduire celles de la vitesse ;
❻ en déduire celles de la position appelées "équations horaires du mouvement" ;
❼ exploiter les équations horaires pour obtenir l'équation de la trajectoire.

C- Modélisation du mouvement d'un système dans le champ de pesanteur uniforme

Définition d'une chute libre :

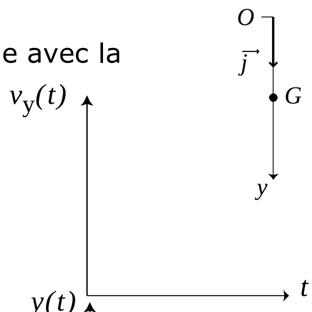
Un système est en chute libre si la seule force exercée est le poids

La deuxième loi de Newton donne alors : $\vec{a} = \vec{g}$, indépendante de la masse du système.

La deuxième loi de Newton permet de prévoir entièrement le mouvement du système à partir des conditions initiales (point origine et valeur, direction et sens du vecteur vitesse initiale) et la valeur de g.
La connaissance du mouvement (trajectoire, temps de passage en différents points ou valeurs de la vitesse en différentes dates) permet à l'inverse de trouver les conditions initiales

C1- Cas d'un système sans vitesse initiale

❶ Système étudié : système de masse *m*, de centre d'inertie *G*, lâché sans vitesse initiale



❷ Référentiel et repère choisis pour l'étude :
Référentiel terrestre galiléen muni d'un repère (O, $\vec{j}$) dont l'origine O est confondue avec la position initiale de G et le vecteur unitaire $\vec{j}$ est dirigé vers le bas.

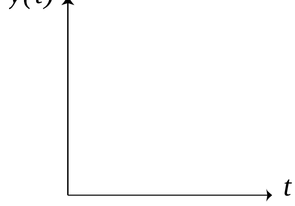
❸ Condition initiale : $y(0) = 0$ $v_y(0) = 0$

❹ Exploitation de la 2ème loi de Newton : $a_y = g$

Le mouvement est **uniformément accéléré**.

❺ a_y étant la dérivée de v_y , on a $v_y = gt + C$, C étant une constante indépendante du temps, déterminée par les conditions initiales. Initialement $v_y(0) = 0 \; donc \; C = 0$. Finalement $v_y(t) = gt$.

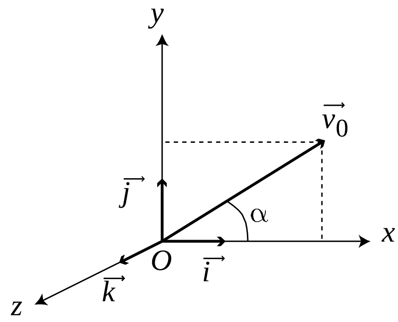
❻ $v_y$étant la dérivée de $y(t)$ par rapport au temps on a $y(t) = \frac{1}{2}gt^2 + C'$, C' étant une constante indépendante du temps, déterminée par les conditions initiales.
Initialement : $y(0) = C' donc \; C' = 0$. Finalement : $y(t) = \frac{1}{2}gt^2$



C2- Cas d'un système avec vitesse initiale

❶ Système étudié : système de masse *m*

❷ Référentiel et repère choisis pour l'étude :



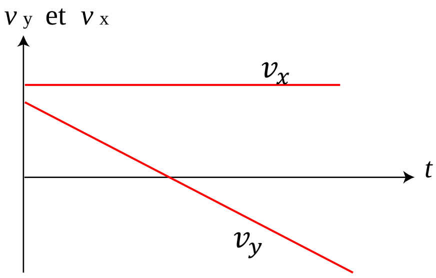
Référentiel terrestre galiléen muni d'un repère (O, $\vec{i},\vec{j},\vec{k}$) tel que :

- l'origine O est confondue avec la position initiale de G ;
- axe (Oy) : selon la verticale et vers le haut ;
- axe (Ox) : tel que $\vec{v_0}$ soit contenu dans le plan (xOy) ;
- axe (Oz) : tel que le repère (O,x,y,z) soit orthonormé direct.

❸ Conditions initiales :

$$\overrightarrow{OG}(0) = \vec{0} \qquad \overrightarrow{v_G}(0) = \vec{v_0}\begin{pmatrix} v_{0x} = v_0 \cos\alpha \\ v_{0y} = v_0 \sin\alpha \\ v_{0z} = 0 \end{pmatrix}$$

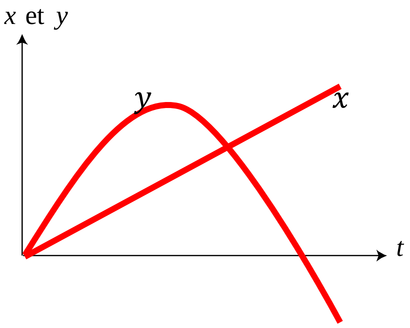
❹ Exploitation de la 2ème loi de Newton : $\overrightarrow{a_G} = \vec{g}\begin{pmatrix} a_x = 0 \\ a_y = -g \\ a_z = 0 \end{pmatrix}$



Le mouvement est uniforme selon l'horizontale
Le mouvement est uniformément accéléré selon la verticale

❺ Compte-tenu des conditions initiales sur la vitesse :

$$\overrightarrow{v_G(t)}\begin{pmatrix} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = -g \times t + v_0 \sin\alpha \\ v_z = 0 \end{pmatrix}$$



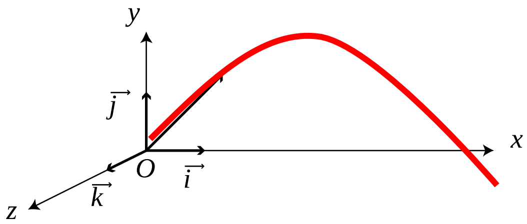
❻ Compte-tenu des conditions initiales sur la position :

$$\overrightarrow{OG(t)}\begin{pmatrix} x = v_0 \cos\alpha \times t \\ y = -\frac{1}{2}\, g \times t^2 + v_0 \sin\alpha \times t \\ z = 0 \end{pmatrix}$$

$z(t) = 0$ implique que le mouvement est plan.

❼ Trajectoire de G :

$$y(x) = -\frac{g}{2(v_0 \cos\alpha)^2}\; x^2 + \tan\alpha \;\; x$$

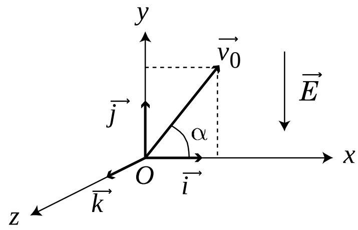


La trajectoire est une parabole

D- Modélisation du mouvement d'une charge dans un champ électrostatique uniforme

❶ Système étudié : système de masse m portant une charge électrique q, situé dans une zone où règne un champ électrostatique uniforme.

❷ Référentiel et repère choisis pour l'étude :



Référentiel terrestre galiléen muni d'un repère $(O, \vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k})$ tel que :

- l'origine O est confondue avec la position initiale de G ;
- le plan (Oxy) contient les vecteurs $\vec{v_0}$ et $\vec{E}$.
- L'axe (Oy) est selon la direction de $\vec{E}$.
- L'axe (Oz) est tel que le repère (O, x, y, z) soit orthonormé direct.

❸ Conditions initiales : idem C2

❹ Exploitation de la 2[ème] loi de Newton : le poids pouvant être négligé, la seule force exercée est la force électrostatique $\overrightarrow{F_{el}} = q\,\vec{E}$ donc $\vec{a_G} = \frac{q\vec{E}}{m}$ et $\begin{pmatrix} a_x = 0 \\ a_y = -\frac{qE}{m}\ (si\ \vec{E}\ vers\ le\ bas) \\ a_z = \end{pmatrix}$

Le mouvement est uniforme selon l'horizontale
Le mouvement est uniformément accéléré selon la verticale

❺ Compte-tenu des conditions initiales sur la vitesse :

$$\overrightarrow{v_G(t)} \begin{pmatrix} v_x = v_0 \cos\alpha \\ v_y = -\frac{qE}{m} \times t + v_0 \sin\alpha \\ v_z = 0 \end{pmatrix}$$

❻ Compte-tenu des conditions initiales sur la position :

$$\overrightarrow{OG(t)} \begin{pmatrix} x = v_0 \cos\alpha \times t \\ y = -\frac{qE}{2m} \times t^2 + v_0 \sin\alpha \times t \\ z = 0 \end{pmatrix}$$

$z(t) = 0$ implique que le mouvement est plan.

❼ Trajectoire de G : $y(x) = -\frac{qE}{2m(v_0\cos\alpha)^2}\, x^2 + \tan\alpha \quad x$

La trajectoire est une parabole

E- Mouvement d'un système isolé, application à la propulsion

Définition d'un système isolé et d'un système pseudo-isolé

Un système **isolé** est un système soumis à aucune force.
Un système **pseudo-isolé** est un système subissant des forces qui se compensent.
Pour le système isolé ou pseudo-isolé : $\sum \vec{F} = \vec{0}$

Conservation de la quantité de mouvement

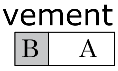
La 2[nde] loi de Newton, pour un système isolé ou pseudo-isolé, s'écrit : $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{0}$

La quantité de mouvement du système isolé ou pseudo-isolé est constante

Remarque : on retrouve ici le principe d'inertie.

Propulsion dite « par réaction »

On considère un système isolé ou pseudo-isolé composé de deux sous-systèmes notés A et B, initialement immobile ; la quantité de mouvement du système vaut : $\vec{p_i} = \vec{0}$



Si le sous-système B est éjecté avec une vitesse $\vec{v_B}$:

$$\vec{p_f} = m_A\vec{v_A} + m_B\vec{v_B}$$

Or, puisque la quantité de mouvement est conservée : $\vec{p_f} = \vec{p_i}$ donc :

$$m_A\vec{v_A} + m_B\vec{v_B} = \vec{0} \qquad \text{et par suite} \qquad \vec{v_A} = -\frac{m_B}{m_A}\vec{v_B}$$

Le sous-système A est propulsé **avec une vitesse de sens opposé au déplacement de B**.