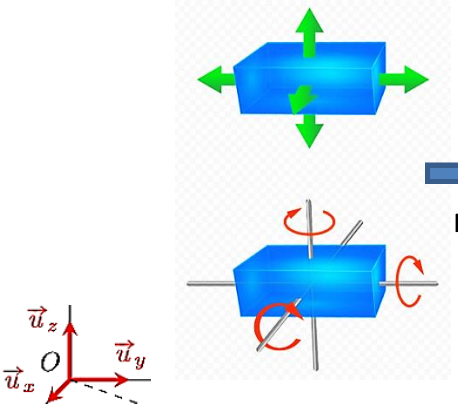
M1 – MOUVEMENTS et FORCES

Programme ATS

Notions et contenus	Capacités exigibles
1. Observation d'un mouvement	
Point matériel	Citer des exemples de systèmes pouvant se ramener à l'étude de leur centre de masse.
Principe d'inertie	Citer quelques exemples d'expériences où les référentiels d'étude peuvent être considérés comme galiléens.
12. Lois de Newton	
Principe des actions réciproques	Énoncer le principe des actions réciproques et l'appliquer dans le cas de la réaction d'un support en l'absence de frottement solide.
Principe fondamental de la dynamique pour un point matériel de masse constante	Appliquer le principe fondamental de la dynamique dans le cas d'un mouvement rectiligne. Établir que le théorème de l'énergie mécanique découle du principe fondamental de la dynamique.

I) DESCRIPTION D'UN MOUVEMENT

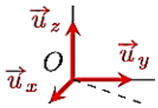
I)1) Du solide au point



Modèle

La masse *m* est affectée au point G :

- G (masse *m*)



Solide indéformable :

Masse *m*
Centre de gravité G

6 degrés de liberté :

3 translations (suivant $\overrightarrow{u_x}, \overrightarrow{u_y}, et\ \overrightarrow{u_z}$)
3 rotations (autour de $\overrightarrow{u_x}, \overrightarrow{u_y}, et\ \overrightarrow{u_z}$)

Point matériel = Modèle !

Masse *m*
Centre de gravité G

3 degrés de liberté :

3 translations (suivant $\overrightarrow{u_x}, \overrightarrow{u_y}, et\ \overrightarrow{u_z}$)

Modéliser un solide par un point matériel est pertinent s'il n'est pas nécessaire de tenir compte de son extension (déformabilité) ou de son orientation pour décrire son mouvement.

I)2) Référentiel et repère de temps

Référentiel : Système physique de référence, considéré comme fixe, par rapport auquel sont étudiés les mouvements. Le **Référentiel** est une **notion physique**.

Repère : Outil géométrique qui sert à décrire le mouvement. Le **repère** est une **notion mathématique**.

Au début du XXème siècle, Albert Einstein a établi, à travers la théorie de la **relativité restreinte**, que **la vitesse de lumière a la même valeur, quel que soit le référentiel** choisi et que le temps ne s'écoule pas de la même manière selon la vitesse à laquelle on se déplace.

Ce postulat est en contradiction avec la **mécanique newtonienne**, qui postule que les vitesses s'additionnent lors d'un changement de référentiel, et **décrit le caractère relatif** du mouvement : les mouvements et les vitesses ne sont pas les mêmes, suivant le référentiel dans lequel on les décrit. Cependant, les hypothèses de la mécanique newtonienne restent valables dans le cas d'un solide possédant une vitesse ***v*** qui respecte la condition suivante :

$\boldsymbol{v} < \frac{\boldsymbol{c}}{\mathbf{10}}$ avec ***c***, vitesse de la lumière dans le vide, $c = 3{,}00.10^8\ m.s^{-1}$

En mécanique newtonienne ou « classique », le **temps** est dit « **absolu** » : les durées ne dépendent pas du référentiel dans lequel elles sont mesurées.

Référentiel galiléen :   **Principe d'inertie (première loi de Newton) :**

Système isolé : s'il n'est en interaction avec aucun corps extérieur (en pratique, système suffisamment éloigné de toute matière pour qu'on puisse négliger les actions qu'il subit).

Exemple :

Système pseudo-isolé : système pour lequel les interactions appliquées se compensent.

Exemple :

Mouvement rectiligne : la trajectoire du système est une droite

Exemple :

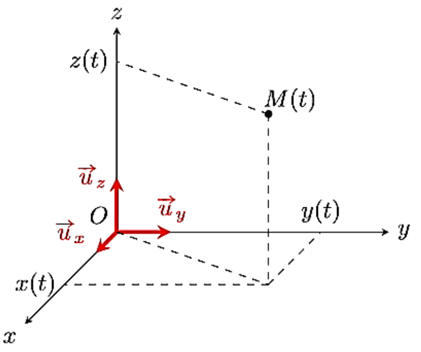
Mouvement uniforme : la vitesse $\boldsymbol{v}$ du point matériel est constante

Exemple :

Référentiel terrestre : peut être assimilé à un **référentiel galiléen** tant qu'on peut négliger la rotation de la Terre autour des pôles : adapté pour des mouvements sur Terre dont la durée est faible devant une journée.

I)3) Vecteurs cinématiques

On peut repérer un point dans l'espace grâce au repère cartésien, composé d'un **point 0** et d'un **repère orthonormé direct $\overrightarrow{u_x}, \overrightarrow{u_y}, \overrightarrow{u_z}$, fixe** par rapport au référentiel d'étude.



Vecteur position (mètres, m) :

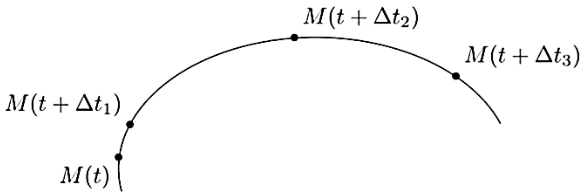
$\overrightarrow{OM}(t) =$

Les coordonnées *x(t), y(t)* et *z(t)* sont appelées **coordonnées cartésiennes**.

Vecteur vitesse instantanée $\vec{v}_{M/R}$ d'un point M dans un référentiel R ($v_{M/R}$ en **mètres par seconde, m.s^{-1}**) :

$\vec{v}_{M/R} =$

En effet : $\frac{d}{dt}(\vec{u}_x) = \frac{d}{dt}(\vec{u}_y) = \frac{d}{dt}(\vec{u}_z) = 0$ car le repère $\overrightarrow{u_x}, \overrightarrow{u_y}, \overrightarrow{u_z}$ est fixe par rapport au référentiel d'étude.



Remarque : Dans le cas d'un **mouvement unidirectionnel d'axe *x***, la **vitesse moyenne (scalaire)** est définie de la façon suivante :

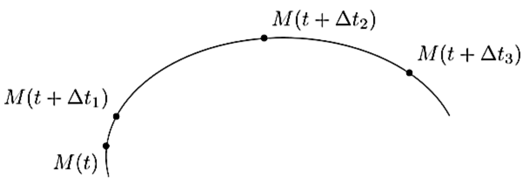
$$v_{MOY} =$$

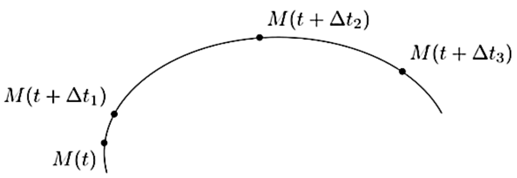
Trajectoire du point M : ensemble des positions successives occupées par le point M. Le **vecteur vitesse instantané** $\vec{v}$ est tangent à la trajectoire et dirigé dans le sens du mouvement.

Vecteur accélération instantanée $\vec{a}_{M/R}$ d'un point M dans un référentiel R ($a_{M/R}$ en **mètres par seconde au carré, m.s^{-2}**) :

De même :

$\vec{a}_{M/R} =$





Remarque : Dans le cas d'un **mouvement unidirectionnel d'axe *x***, **l'accélération moyenne (scalaire)** est définie de la façon suivante :

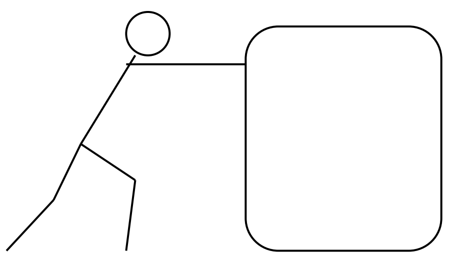
$$a_{MOY} =$$

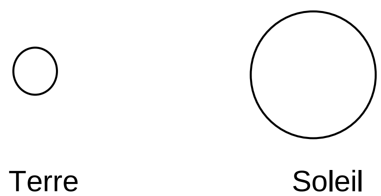
II) ACTIONS MECANIQUES EXERCEES SUR UN SYSTEME

II)1) Modélisation d'une action mécanique

Deux systèmes interagissent en exerçant des **actions** l'un sur l'autre, modélisables par des **forces**, qui sont des **grandeurs vectorielles**. Caractéristiques d'une force $\vec{F}$ (vecteur) :

- Sa direction, son sens,
- Sa norme $F = \|\vec{F}\|$**,** exprimée en **newtons** (**N**),
- Son point d'application





$\boxed{\text{Exemple 1}}$: Personne poussant une caisse

$\boxed{\text{Exemple 2}}$: Attraction gravitationnelle

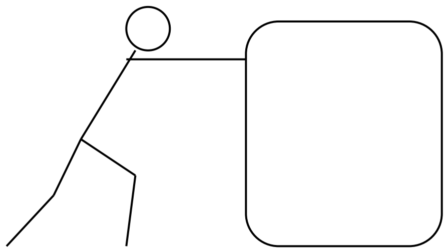
II)2) Principe des actions réciproques

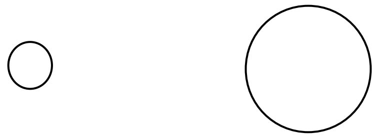
C'est le principe d'**Action / Réaction** ou aussi la **troisième loi de Newton**.

Principe des actions réciproques ou 3ème loi de Newton :

Si un système 1 exerce une force $\vec{F}_{1\ sur\ 2}$ sur un système 2, alors le système 2 exerce une force $\vec{F}_{2\ sur\ 1}$ sur le système 1, de même direction, de même norme et de sens opposé :

$$\boldsymbol{\vec{F}_{1\ sur\ 2} = -\vec{F}_{2\ sur\ 1}}$$





Terre Soleil

Exemple 1 : personne poussant une caisse

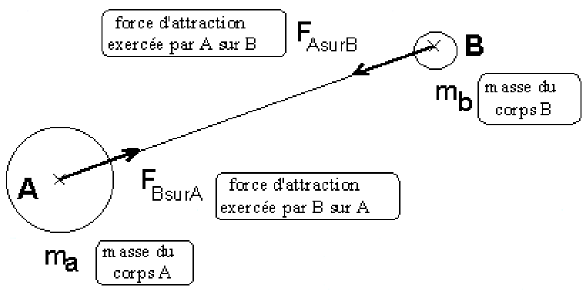
Exemple 2 : Attraction gravitationnelle

<u>II)3) Quelques exemples de forces</u>

<u>Gravitation</u>

Action à distance :

$$\vec{F}_{AsurB} = -\vec{F}_{BsurA} = -G\frac{m_A m_B}{r^2}\vec{u}_{A\rightarrow B}$$



G = 6.67.10^{-11} m^3.kg^{-1}.s^{-2} Constante de gravitation universelle

r = AB

$\vec{u}_{A\rightarrow B}$ vecteur unitaire

⇨ Vérification homogénéité

<u>Poids</u>

C'est la force de gravitation exprimée à la surface de la Terre sur une masse m.

$m_A = M_{Terre}$ = 5.97.10^{24} kg ; $r = R_{Terre}$ = 6400 km = 6.4.10^6 m

⇨ $g = G.\frac{M_{Terre}}{{R_{Terre}}^2} = 9.81 m.s^{-2} \approx 10 m.s^{-2}$

⇨ $\vec{P} =$

<u>Force de Lorentz</u>

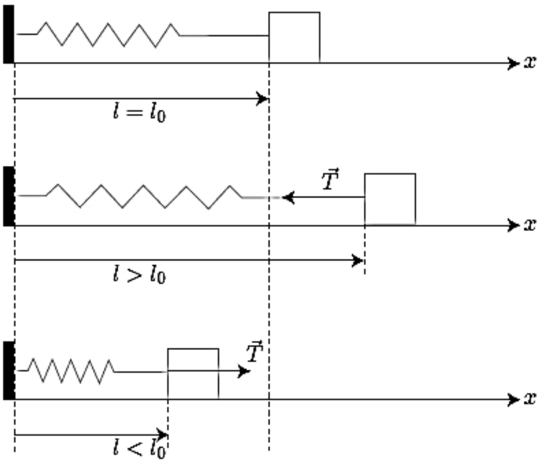
q placée dans un champ électrique $\vec{E}$.

Force subie par q : $\vec{F} = q\vec{E}$

Force de rappel élastique

$\vec{T} =$

$k =$



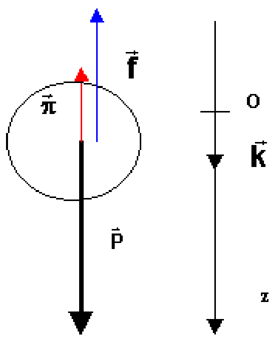
$x =$

$\overrightarrow{u_x}$:

Force de frottement fluide

$$\vec{f} = -h.\vec{v}$$

h coefficient de frottement fluide (kg.s^{-1})



III) PRINCIPE FONDAMENTAL DE LA DYNAMIQUE

III)1) Quantité de mouvement

On appelle quantité de mouvement d'un point matériel M de masse m le vecteur :

$\vec{p}_{M/R} =$

III)2) Loi de la quantité de mouvement *ou* Principe Fondamental de la Dynamique *ou* seconde loi de Newton

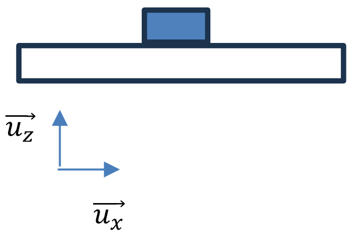
Les variations de quantité de mouvement d'un point matériel M de masse m sont reliées aux forces qu'il subit. Dans un Référentiel R galiléen :

- Si le système ne subit aucune force, il est dit « **isolé** »,
- Si la somme des forces ou **résultante est nulle**, le système est dit « **pseudo-isolé** ».

IV) QUELQUES EXEMPLES DE MOUVEMENTS

IV)1) Exemple : Mouvement rectiligne uniforme (MRU)

Exemple : galet de hockey glissant **sans frottement** sur la glace.



Référentiel :

Système :

BAME (Bilan des Actions Mécaniques Extérieures) :

Remarque 1 : la vitesse $\vec{v}$ n'est pas une force !

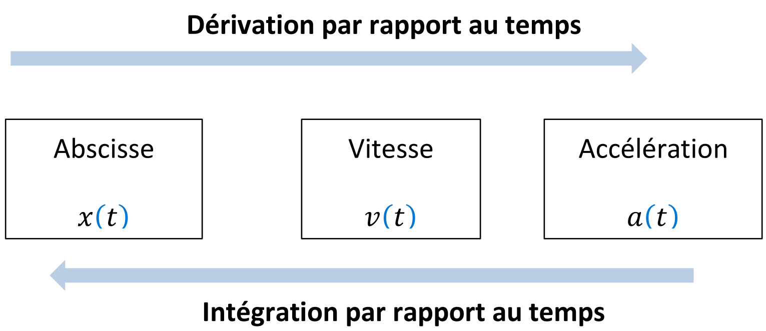
Remarque 2 : le mouvement est **unidirectionnel**, c'est-à-dire suivant le seul axe *x* ici.

PFD (Principe fondamentale de la dynamique) :

Projections sur les axes *x* et *z* :

Sur *x* :

Sur *z* :



Sur *z* : Mouvement unidirectionnel suivant axe $x \implies z(t) =$

$\implies en\ dérivant\ par\ rapport\ au\ temps :\ \dot{z}(t) =$

$\implies en\ (re)dérivant\ par\ rapport\ eu\ temps\ ;\ \ddot{z}(t) =$

$\implies N = mg$

Sur *x* : $\ddot{x}(t) =$

$\Longrightarrow$ *en intégrant par rapport au temps* : $\dot{x}(t) =$

Prise en compte des **conditions initiales (CI)** : $\dot{x}(0) =$

$\Longrightarrow \dot{x}(t) =$

$\Longrightarrow$ *en intégrant par rapport au temps* : $x(t) =$

Prise en compte des **conditions initiales (CI)** : $x(0) =$

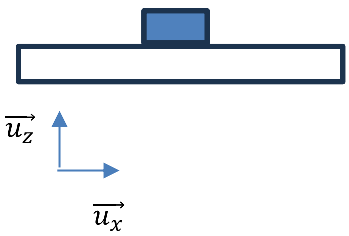
$\Longrightarrow x(t) =$

Caractéristique d'un mouvement rectiligne uniforme (MRU) : mouvement rectiligne à vitesse constante.

- **Accélération** $a(t) = \ddot{x}(t) = 0$
- **Vitesse** $v(t) = \dot{x}(t) = v_0$
- **Position** $x(t) = v_0 t + x_0$
- **Sens de déplacement** : donné par le signe de la vitesse scalaire : $v_0 > 0$ implique x augmente donc déplacement dans le sens des x croissants et inversement.

IV)2) Exemple : Mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA)

Exemple : galet de hockey glissant **sans frottement** sur la glace, et soumis à une force de poussée constante.



Référentiel : Terrestre supposé galiléen

Système : galet, modélisé par un point matériel *M* de masse *m*

BAME (Bilan des Actions Mécaniques Extérieures) :

Remarque : le mouvement est **unidirectionnel**, c'est-à-dire suivant le seul axe *x* ici.

PFD (Principe fondamentale de la dynamique) :

Projections sur les axes *x* et *z* :

Sur *x* :

Sur z : $-mg + N = m.\ddot{z}$

Sur z : Mouvement unidirectionnel suivant axe $x \implies z(t) =$

$\implies en\ dérivant\ par\ rapport\ au\ temps :\ \dot{z}(t) =$

$\implies\ en\ (re)dérivant\ par\ rapport\ eu\ temps\ ;\ \ddot{z}(t) =$

$\implies N = mg$: La réaction du sol est opposée au poids (même conclusion que précédemment)

Sur x : $\ddot{x}(t) =$

$\implies\ en\ intégrant\ par\ rapport\ au\ temps : \dot{x}(t) =$

Prise en compte des **conditions initiales (CI)** : $\dot{x}(0) =$

$\implies \dot{x}(0) =$

$\implies \dot{x}(t) = a_0.t +\ v_0$

$\implies\ en\ intégrant\ par\ rapport\ au\ temps$

$x(t) =$

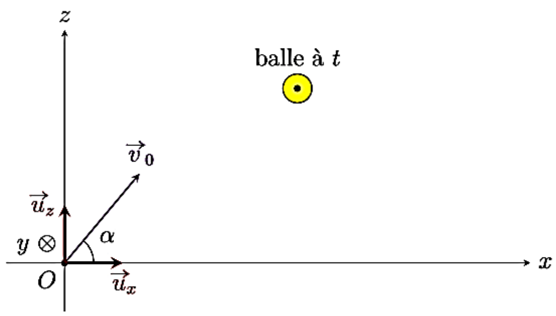
Prise en compte des **conditions initiales (CI)** : $x(0) =$

$\implies x(t) =$

Caractéristique d'un mouvement rectiligne uniformément accéléré (MRUA) : mouvement rectiligne à accélération constante.

- **Accélération** $a(t) = \ddot{x}(0) = a_0$
- **Vitesse** $v(t) = \dot{x}(t) = a_0.t +\ v_0$
- **Position** $x(t) = \frac{1}{2}a_0t^2 + v_0t + x_0$

IV)3) Exemple : chute libre sans frottement



Référentiel : Terrestre supposé galiléen

Système : Balle de masse *m*

Repère : $O, \overrightarrow{\boldsymbol{u_x}}, \overrightarrow{\boldsymbol{u_y}}, \overrightarrow{\boldsymbol{u_z}}$

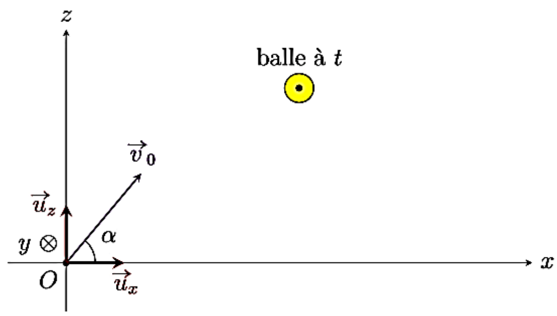
BAME : Poids de la balle $\vec{P} = m\vec{g} = -mg\overrightarrow{u_z}$

Frottements négligés

Equations horaires : accélération, vitesse

Expression de la vitesse $\vec{v}_{M/R}$ à tout instant *t* :

Equations horaires : position



Prise en compte des conditions initiales (CI) :

Expression de la position $\overrightarrow{OM}(t)$ à tout instant *t* :

Equation de la trajectoire

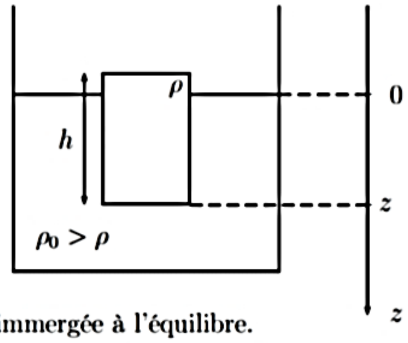
Equation de la trajectoire :

IV)4) Exemple : poussée d'Archimède

Poussée d'Archimède : Un système immergé dans un fluide subit de la part de ce fluide une force verticale vers le haut égale à l'opposé du poids du volume de fluide déplacé.

$$\overrightarrow{\boldsymbol{\Pi_a}} = -\boldsymbol{\rho_{fluide}} \boldsymbol{V} \boldsymbol{g} \overrightarrow{\boldsymbol{u_z}}$$ (pour un axe z orienté vers le bas)

Un cylindre de section $s = 1\ \mathrm{cm}^2$, de hauteur $h = 10$ cm et de densité 0,6 (masse volumique ρ) est placé dans l'eau (masse volumique ρ_0). Un système annexe, non représenté sur la figure, maintient son axe de révolution vertical.



1. Déterminer z_0 la hauteur immergée à l'équilibre.
2. Quelle est la force à exercer sur le cylindre pour l'immerger en entier ?

IV)5) Exemple : recherche d'une position d'équilibre

Pour le système « masse-ressort » ci-dessous, déterminer l'expression de la position d'équilibre $z_{éq}$. Vérifier la cohérence de votre résultat.