# PASS & LAS
# TOUT EN FICHES

# PHYSIQUE, BIOPHYSIQUE

**Salah Belazreg**

N° 1 PASS L.AS

EDISCIENCE

**NOUS NOUS ENGAGEONS EN FAVEUR DE L'ENVIRONNEMENT :**

Nos livres sont imprimés sur des papiers certifiés pour réduire notre impact sur l'environnement.

Le format de nos ouvrages est pensé afin d'optimiser l'utilisation du papier.

Depuis plus de 30 ans, nous imprimons 70 % de nos livres en France et 25 % en Europe et nous mettons tout en œuvre pour augmenter cet engagement auprès des imprimeurs français.

Nous limitons l'utilisation du plastique sur nos ouvrages (film sur les couvertures et les livres).


11 rue Paul Bert 92240 Malakoff
www.dunod.com
ISBN 978-2-10-086781-3

# Table des matières

## Physique

### [Mécanique]



### [Thermodynamique]



### [Mécanique des fluides]



### [Électricité – Électromagnétisme]

## [Ondes]



## [Optique géométrique]



## [Lumière et ondes]



# Biophysique

## [Biophysique des solutions]

## [Les radiations ionisantes]



## [Biophysique sensorielle]



## [Imagerie médicale]

## Compléments mathématiques

# [Physique]

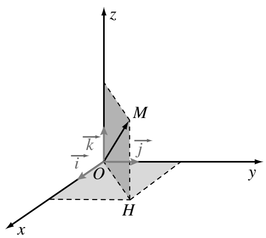
## 1. Repérage d'un point. Le paramètre position

### a. En coordonnées cartésiennes

Soit $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ une base orthonormale directe liée au référentiel $(\mathcal{R})$.
Tout point $M$ peut être repéré par ses coordonnées cartésiennes $(x, y, z)$.
Si $O$ est l'origine du repère, le vecteur position s'écrit :

$$\overrightarrow{OM} = \vec{r} = x\,\vec{i} + y\,\vec{j} + z\,\vec{k}$$

$x, y$ et $z$ en m
$r = OM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$
$(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ : base orthonormale directe liée au référentiel

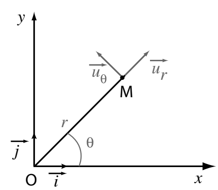



### b. En coordonnées polaires (cas d'un mouvement plan)

On définit un axe $Ox$, axe polaire, et une origine ou pôle $O$.
Un point mobile $M$ peut être repéré par ses coordonnées polaires $(r, \theta)$ où $r = OM$ et $\theta = (\overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{OM})$.
Le vecteur position s'écrit donc :

$$\overrightarrow{OM} = \vec{r} = r\,\vec{u}_r$$

$\vec{r}$ : rayon vecteur
$\theta$ : angle polaire

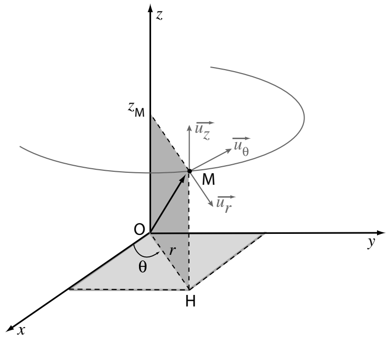



**[IMPORTANT]**

$(\vec{u}_r, \vec{u}_\theta)$ est une base locale mobile, orthonormée directe, liée au point $M$.

### c. En coordonnées cylindriques

$\overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OH} + \overrightarrow{HM} = r\overrightarrow{u_r} + z\overrightarrow{u_z}$
Avec $r = OH$ et $\theta = (\overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{OH})$




## 2. Les grandeurs d'évolution

On définit la vitesse d'un point $M$ dans le repère $\mathcal{R}$ par :

$$\overrightarrow{v} = \left(\frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}\right)_{\mathcal{R}}$$

L'accélération du mobile, à l'instant $t$, est la dérivée dans $(\mathcal{R})$ du vecteur vitesse par rapport au temps, soit :

$$\overrightarrow{a} = \left(\frac{d\overrightarrow{v}}{dt}\right)_{\mathcal{R}} = \left(\frac{d^2\overrightarrow{OM}}{dt^2}\right)_{\mathcal{R}}$$

## 3. Expressions dans différents systèmes de coordonnées

### a. En coordonnées cartésiennes

$$\overrightarrow{v} = \left(\frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}\right)_{\mathcal{R}} = \dot{x}\,\overrightarrow{i} + \dot{y}\,\overrightarrow{j} + \dot{z}\,\overrightarrow{k}\,;\ \dot{x} = \frac{dx}{dt}, \dot{y} = \frac{dy}{dt}, \dot{z} = \frac{dz}{dt}$$

$$\overrightarrow{a} = \left(\frac{d\overrightarrow{v}}{dt}\right)_{\mathcal{R}} = \ddot{x}\,\overrightarrow{i} + \ddot{y}\,\overrightarrow{j} + \ddot{z}\,\overrightarrow{k}\,;\ \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}, \ddot{y} = \frac{d^2y}{dt^2}, \ddot{z} = \frac{d^2z}{dt^2}$$

### b. En coordonnées cylindriques

$$\overrightarrow{v} = \left(\frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}\right)_{\mathcal{R}} = \dot{r}\,\overrightarrow{u_r} + r\dot{\theta}\,\overrightarrow{u_\theta} + \dot{z}\,\overrightarrow{u_z}$$

$$\overrightarrow{a} = \left(\frac{d\overrightarrow{v}}{dt}\right)_{\mathcal{R}} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\,\overrightarrow{u_r} + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\,\overrightarrow{u_\theta} + \ddot{z}\,\overrightarrow{u_z}$$

### c. Dans le repère de Frenet

On introduit un repère mobile ($\overrightarrow{\tau}$, $\overrightarrow{n}$), lié au mobile $M$ tel que :

- $\overrightarrow{\tau}$ : vecteur unitaire porté par la tangente à la courbe et orienté dans le sens du mouvement
- $\overrightarrow{n}$ : vecteur unitaire orthogonal à $\overrightarrow{\tau}$ et dirigé vers la concavité de la trajectoire

$$\overrightarrow{v} = v\,\overrightarrow{\tau}\ ;\ \overrightarrow{a} = a_\tau\,\overrightarrow{\tau} + a_n\,\overrightarrow{n}\ \text{ avec } \begin{cases} a_\tau = \dfrac{dv}{dt} \\[2mm] a_n = \dfrac{v^2}{R} \end{cases}$$

## 4. Étude de quelques mouvements usuels

### a. Mouvement rectiligne uniforme

Pour un mouvement rectiligne uniforme $\overrightarrow{v} = \overrightarrow{cste}$, par suite :

$$v = v_0 = cste \text{ et } x = v_0 t + x_0$$

### b. Mouvement rectiligne uniformément varié

Un point mobile $M$ a un mouvement rectiligne uniformément varié si $\overrightarrow{a} = \overrightarrow{a_0} = a_0\,\overrightarrow{i} = \overrightarrow{cste}$, par suite :

(1) $a = a_0 = cste$

(2) $v = a_0 t + v_0$ , soit $v^2 - v_0^2 = 2a_0(x - x_0)$

(3) $x = \frac{1}{2}a_0 t^2 + v_0 t + x_0$

### c. Mouvement rectiligne sinusoïdal

**Définition**

Un mobile est animé d'un mouvement rectiligne sinusoïdal si sa trajectoire est une droite et sa loi horaire est une fonction sinusoïdale du temps, soit :

$$x = x_m \sin(\omega t + \phi) \quad \left| \begin{array}{l} x_m : \text{amplitude du mouvement} \\ \omega : \text{pulsation (en rad} \cdot \text{s}^{-1}) \\ \phi : \text{phase à l'origine (en rad)} \\ (\omega t + \phi) : \text{phase à la date } t \text{ (en rad)} \end{array} \right.$$

**Vitesse et accélération du mobile**

$$v = \dot{x} = \omega x_m \cos(\omega t + \phi)$$

$$a = \ddot{x} = -\omega^2 \underbrace{x_m \sin(\omega t + \phi)}_{x(t)} = -\omega^2 x, \text{ soit } \ddot{x} + \omega^2 x = 0$$

### d. Mouvement circulaire uniforme

**Définition**

Un point mobile $M$ a un mouvement circulaire uniforme lorsqu'il se déplace sur un cercle fixe, de rayon $R$, par rapport au repère d'espace choisi à la vitesse angulaire $\omega_0 = \dot{\theta} = cste$.

**Vitesse et accélération du mobile**

$$\overrightarrow{v} = R\dot{\theta}\overrightarrow{u_\theta} = R\omega\overrightarrow{u_\theta}$$

$$\overrightarrow{a} = -\frac{v^2}{R}\overrightarrow{u_r} = -R\omega_0^2\overrightarrow{u_r}$$

L'accélération $\overrightarrow{a}$ est centripète et le mouvement est périodique de période $T_0 = \dfrac{2\pi}{\omega_0}$.

# [Mécanique] Dynamique du point matériel

## 1. Les éléments cinématiques

### a. Quantité de mouvement d'un point matériel

Soit un point matériel $M$, de masse $m$, se déplaçant à la vitesse $\overrightarrow{v}$ dans un repère $(\mathcal{R})$.
Le vecteur quantité de mouvement du point matériel $M$, noté $\overrightarrow{p}$, dans le repère $(\mathcal{R})$ s'écrit :

$$\overrightarrow{p} = m\overrightarrow{v}$$

- $\overrightarrow{p}$ : vecteur quantité de mouvement
- $m$ : masse du point matériel
- $\overrightarrow{v}$ : vecteur vitesse du point matériel

### b. Énergie cinétique

Un point matériel de masse $m$, se déplaçant à la vitesse $v$, dans un référentiel $(\mathcal{R})$, possède une énergie cinétique telle que :

$$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}m\,v^2$$

- $\mathcal{E}_c$ en J
- $m$ en kg
- $v$ en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

### c. Relation entre énergie cinétique et quantité de mouvement

Comme $\overrightarrow{p} = m\overrightarrow{v}$, alors $\overrightarrow{p}^{\,2} = m^2\overrightarrow{v}^{\,2}$ et par suite :

$$\mathcal{E}_c = \frac{p^2}{2m};\quad p : \text{module du vecteur quantité de mouvement}$$

## 2. Les différentes lois de Newton

### a. Principe d'inertie (1re loi de Newton)

Le centre d'inertie d'un solide (pseudo) isolé est tel que :

- s'il est au repos, il reste au repos ;
- s'il est en mouvement, son mouvement est rectiligne uniforme.

$$\sum \overrightarrow{f_{ext}} = \overrightarrow{0} \Longrightarrow \begin{array}{c}\text{système isolé}\\ \text{ou}\\ \text{pseudo-isolé}\end{array} \Longrightarrow \begin{array}{c}\overrightarrow{v_G} = \overrightarrow{cste}\\ \left(\overrightarrow{p} = \overrightarrow{cste}\right)\end{array}$$

### b. Relation fondamentale de la dynamique (2e loi de Newton)

Dans un référentiel galiléen, pour un point matériel de masse $m$, de quantité de mouvement $\overrightarrow{p}$, soumis à un ensemble de force

$$\sum \overrightarrow{f_{ext}}, \text{ on a :}$$

$$\frac{d\overrightarrow{p}}{dt} = \sum \overrightarrow{f_{ext}}$$

Pour un point matériel de masse $m = cste$, on a :

$$m\overrightarrow{a_G} = \sum \overrightarrow{f_{ext}} \quad \left| \begin{array}{l} m : \text{masse du solide}\\ \overrightarrow{a_G} : \text{vecteur accélération du centre d'inertie}\\ \sum \overrightarrow{f_{ext}} : \text{ensemble des forces s'exerçant sur le solide}\end{array}\right.$$

### c. Principe des actions réciproques (3e loi de Newton)

Si un système $(A)$ exerce sur un système $(B)$ une force $\overrightarrow{F_{A/B}}$ alors $(B)$ exerce sur $(A)$ une force $\overrightarrow{F_{B/A}}$ telle que :

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

[ATTENTION]

Quel que soit l'état de mouvement de $A$ par rapport à $B$, on a toujours l'égalité vectorielle : $\overrightarrow{F_{A/B}} = -\overrightarrow{F_{B/A}}$.

# [Mécanique] Étude énergétique

## 1. Travail d'une force

### a. Cas d'une force $\overrightarrow{F}$ constante

Lors d'un déplacement de son centre d'inertie d'un point $A$ à un point $B$, le travail d'une force constante $\overrightarrow{F}$ agissant sur un solide animé d'un mouvement rectiligne par rapport à un référentiel $(\mathcal{R})$ est donné par :

$$W(\overrightarrow{F})_{A\mapsto B} = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{AB}$$

ou

$$W(\overrightarrow{F})_{A\mapsto B} = F \cdot AB \cdot \cos(\overrightarrow{F}, \overrightarrow{AB})$$

$F$ en N
$AB$ en m
$W(\overrightarrow{F})_{A\mapsto B}$ en J

### b. Cas d'une force variable pour un déplacement quelconque

Lors d'un déplacement élémentaire du point d'application d'une force $\overrightarrow{F}$ constante, le **travail élémentaire** $\delta W$ vaut :

$$\delta W(\overrightarrow{F}) = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{\delta l}$$

ou

$$\delta W(\overrightarrow{F}) = F \cdot \delta l \cdot \cos(\overrightarrow{F}, \overrightarrow{\delta l})$$

$F$ en N
$\delta l$ en m
$\delta W(\overrightarrow{F})$ en J

Le **travail total** de la force $\overrightarrow{F}$ lorsque son point d'application se déplace de $A$ en $B$ s'écrit :

$$W(\overrightarrow{F})_{A\mapsto B} = \sum_A^B \delta W(\overrightarrow{F}) = \sum_A^B \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{\delta l}$$

ou sous forme intégrale :

$$W(\overrightarrow{F})_{A\mapsto B} = \int_A^B \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{dl} \text{ avec } \overrightarrow{dl} = \overrightarrow{MM'} = \overrightarrow{v}\,dt$$

## 2. Théorème de l'énergie cinétique

### a. Énergie cinétique

Un point matériel de masse $m$ se déplaçant à la vitesse $\overrightarrow{v}$, dans un référentiel $(\mathcal{R})$, possède une énergie, appelée énergie cinétique, telle que :

$$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad \left| \begin{array}{l} \mathcal{E}_c \text{ en J} \\ m \text{ en kg} \\ v \text{ en m} \cdot \text{s}^{-1} \end{array} \right.$$

### b. Puissance d'une force

Par définition, la puissance est égale au travail fourni par unité de temps, soit :

$$\mathcal{P} = \frac{\delta W}{\delta t} \quad \left| \begin{array}{l} W \text{ en J} \\ t \text{ en s} \\ \mathcal{P} \text{ en W} \end{array} \right.$$

Pendant la durée $\delta t$, le point d'application de la force $\overrightarrow{F}$ s'est déplacé de $\overrightarrow{\delta l}$.

Le travail élémentaire s'écrit donc :

$$\delta W = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{\delta l} = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{v}\, dt, \text{ où } \overrightarrow{v} = \frac{\overrightarrow{\delta l}}{\delta t}$$

et par suite :

$$\mathcal{P} = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{v} \quad \left| \begin{array}{l} F \text{ en N} \\ v \text{ en m} \cdot \text{s}^{-1} \\ \mathcal{P} \text{ en W} \end{array} \right.$$

### c. Relation entre la puissance et l'énergie cinétique

On a $\mathcal{P} = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{v}$. Comme $\overrightarrow{F} = m\dfrac{d\overrightarrow{v}}{dt}$ alors $\mathcal{P} = m\dfrac{d\overrightarrow{v}}{dt} \cdot \overrightarrow{v}$.

La masse $m$ étant constante, on peut donc écrire :

$$\mathcal{P} = \frac{d}{dt}(\mathcal{E}_c) \quad \left| \begin{array}{l} \mathcal{P} \text{ en W} \\ \mathcal{E}_c \text{ en J} \end{array} \right.$$

### d. Théorème de l'énergie cinétique

Pour un point $M$ matériel, de masse $m$, se déplaçant à la vitesse $\overrightarrow{v}$, dans un référentiel $(\mathcal{R})$ galiléen, soumis à un ensemble de forces dont la résultante est $\overrightarrow{F}$ :

$$d\mathcal{E}_c = \delta W(\overrightarrow{F}), \text{ soit } \Delta\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_{c2} - \mathcal{E}_{c1} = \int_{t_1}^{t_2} \overrightarrow{F} \cdot d\overrightarrow{l} = \underset{1 \longrightarrow 2}{W}(\overrightarrow{F})$$

## 3. Énergie potentielle. Énergie mécanique

### a. Force conservative

Une force $\overrightarrow{F}$ est dite conservative s'il existe une fonction $\mathcal{E}_p$, dépendant uniquement des coordonnées de position, telle que :

$$\begin{array}{c} d\mathcal{E}_p = -\overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{dl} \\ \mathcal{E}_p \text{ est homogène à une énergie} \end{array} \quad \left| \begin{array}{l} \mathcal{E}_p \text{ en J} \\ F \text{ en N} \\ l \text{ en m} \end{array} \right.$$

$\mathcal{E}_p$ est appelée énergie potentielle de la particule $M$ associée à la force $\overrightarrow{F}$.

Dans le cas d'une force $\overrightarrow{F} = F(x) \cdot \overrightarrow{u_x}$ ne dépendant que d'une seule coordonnée $x$, on a :

$$d\mathcal{E}_p = -F(x) \cdot dx, \text{ soit } F(x) = -\frac{d\mathcal{E}_p}{dx}$$

### b. Relation entre travail et énergie potentielle

Le travail élémentaire d'une force $\overrightarrow{F}$ est $\delta W = \overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{dl}$.

Si $\overrightarrow{F}$ est conservative alors $\overrightarrow{F}$ dérive d'une énergie potentielle $\mathcal{E}_p$ telle que $d\mathcal{E}_p = -\overrightarrow{F} \cdot \overrightarrow{dl}$, soit :

$$\delta W = -d\mathcal{E}_p$$

Le travail total de la force $\overrightarrow{F}$ s'écrit donc :

$$W(\overrightarrow{F})_{1\mapsto 2} = -\int_1^2 d\mathcal{E}_p = -\left[\mathcal{E}_p\right]_{\mathcal{E}_{p1}}^{\mathcal{E}_{p2}} = \mathcal{E}_{p1} - \mathcal{E}_{p2}$$

(Le travail de la force $\overrightarrow{F}$ est indépendant du chemin suivi)

### c. Énergie mécanique d'un corps

Dans le cas d'un référentiel galiléen, on a vu que $d\mathcal{E}_c = \delta W$.

Si la force $\overrightarrow{F}$ est conservative, alors il existe une fonction $\mathcal{E}_p$ telle que $dW = -d\mathcal{E}_p$.

En combinant les deux dernières relations, on obtient $d\mathcal{E}_c = -d\mathcal{E}_p$, soit $d(\mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p) = 0$, c'est-à-dire :

$$\mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p = \mathcal{E}_m = cste$$

La somme $\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_p$, qui se conserve au cours du temps, est appelée énergie mécanique de la particule $M$.

FICHE COURS 4

# [Mécanique]

# Chocs entre deux particules

## 1. Impulsion – Percusssion

Pour une particule de masse $m$ et animée d'une vitesse $\overrightarrow{v}$ à l'instant $t$ :

$$\overrightarrow{I} = \int_{t_1}^{t_2} \overrightarrow{F}\, dt$$

$\overrightarrow{F}$ : résultante des forces agissant sur la particule entre les instants $t$ et $t + \Delta t$
$\overrightarrow{I}$ : impulsion de la force $\overrightarrow{F}$

[IMPORTANT]

- Si $\overrightarrow{F}$ reste constante dans l'intervalle de temps $\Delta t = t_2 - t_1$ et si $\Delta t$ est très petit alors $\overrightarrow{I}$ est appelé percussion.
- Comme $\overrightarrow{F} = \dfrac{d\overrightarrow{p}}{dt}$, alors : $\overrightarrow{I} = \int_{t_1}^{t_2} d\overrightarrow{p} = \Delta\overrightarrow{p}$

L'impulsion reçue par un point matériel est égale à la variation de la quantité de mouvement de ce point matériel.

## 2. Chocs entre deux particules

Soient deux particules (1) et (2) de masses $m_1$ et $m_2$.
Si les deux particules viennent à se rencontrer, on dit qu'il y a collision ou choc entre les deux particules.
Le système constitué par deux particules qui entrent en collision est un système isolé. Au cours d'un choc :

$$\frac{\overrightarrow{dp_1}}{dt} + \frac{\overrightarrow{dp_2}}{dt} = \overrightarrow{0}$$

soit

$$\overrightarrow{p_1} + \overrightarrow{p_2} = \overrightarrow{cste}$$

$\overrightarrow{p_1} = m_1\overrightarrow{v_1}$ : vecteur quantité de mouvement de la particule (1) de masse $m_1$
$\overrightarrow{p_2} = m_2\overrightarrow{v_2}$ : vecteur quantité de mouvement de la particule (2) de masse $m_2$

Le système constitué par deux particules qui entrent en collision est un système isolé.

La conservation de la quantité de mouvement donne :

$$\underbrace{\overrightarrow{p_1} + \overrightarrow{p_2}}_{\text{(avant le choc)}} = \underbrace{\overrightarrow{p'_1} + \overrightarrow{p'_2}}_{\text{(après le choc)}}$$

## 3. Chocs élastiques et chocs inélastiques

Soient deux particules de masse $m_1$ et $m_2$, $\overrightarrow{v_1}$ et $\overrightarrow{v_2}$ leurs vecteurs vitesse avant le choc et $\overrightarrow{v'_1}$ et $\overrightarrow{v'_2}$ leurs vecteurs vitesse après le choc.

### *a. Choc élastique*

Au cours d'un choc élastique, outre la conservation de la quantité de mouvement, il y a conservation de l'énergie cinétique :

$$\overrightarrow{p} = \overrightarrow{cste} \text{ et } \mathcal{E}_c = cste$$

Ainsi :
$$\underbrace{\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2}_{\text{(avant le choc)}} = \underbrace{\frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2}_{\text{(après le choc)}}$$

Soit :
$$\frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2} = \frac{p_1'^2}{2m'_1} + \frac{p_2'^2}{2m'_2}$$

[IMPORTANT]

- Lorsque les particules après le choc sont identiques aux particules initiales, on a un processus de « diffusion » et on parle alors de **diffusion élastique**.
- Dans le cas de particules chargées, il y a conservation de la charge électrique.

### *b. Choc inélastique*

Au cours d'un choc inélastique, il y a dissipation de l'énergie.

[ATTENTION]

Au cours d'un choc inélastique, il n'y pas conservation de l'énergie cinétique.

### *c. Choc central élastique*

Un choc entre deux particules est dit central ou « de plein fouet » si les vecteurs vitesse avant et après le choc sont des vecteurs colinéaires.

Pour un choc central élastique, on peut écrire :

$$v'_{1x} = \frac{2m_2 v_{2x} + (m_1 - m_2)v_{1x}}{m_1 + m_2} \text{ et } v'_{2x} = \frac{2m_1 v_{1x} - (m_1 - m_2)v_{2x}}{m_1 + m_2}$$

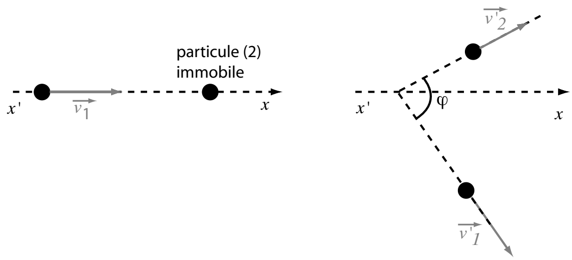
$v_{1x}$ : vitesse de la particule (1) avant le choc
$v_{2x}$ : vitesse de la particule (2) avant le choc
$v'_{1x}$ : vitesse de la particule (1) après le choc
$v'_{2x}$ : vitesse de la particule (2) après le choc

**Cas particuliers :**

- Si avant le choc, la particule cible est immobile, soit $v_{2x} = 0$, alors :

$$v'_{1x} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_{1x} \; ; \; v'_{2x} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_{1x}$$

$$\varphi = (\overrightarrow{v_1'}, \overrightarrow{v_2'}) : \text{angle de diffusion}$$




*Avant le choc* *après le choc*

- Si les deux particules se heurtent avec des vitesses opposées, soit $v_{1x} = -v_{2x}$.

Si, de plus, $m_1 = m_2$, alors :

$$v'_{1x} = v_{2x} = -v_{1x}$$

et

$$v'_{2x} = v_{1x}$$

# Les oscillateurs mécaniques

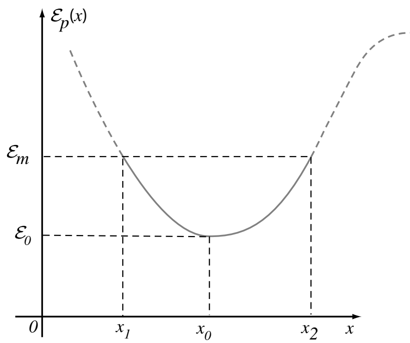


## 1. Définitions

### a. Qu'est-ce qu'un oscillateur ?

On appelle oscillateur tout système qui effectue des mouvements de va-et-vient autour d'une position d'équilibre stable.
Si $\mathcal{E}_p$ représente l'énergie potentielle du système, son évolution en fonction de la position $x$ peut être donnée par le graphe de la figure ci-dessous :

Un oscillateur est un système écarté de sa position d'équilibre stable. Le système se trouve donc dans une cuvette de potentiel.

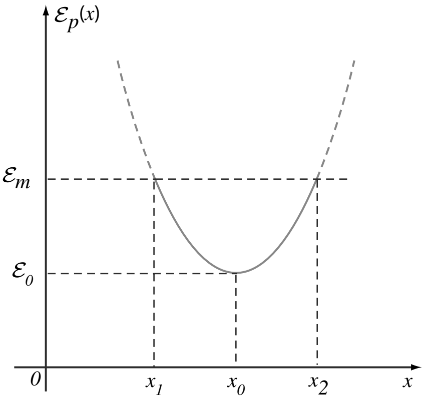



[IMPORTANT]

Les oscillations sont libres quand, une fois écarté de sa position d'équilibre, l'oscillateur est abandonné à lui-même.

### b. L'oscillateur harmonique

L'oscillateur est dit harmonique si sa cuvette de potentiel est parabolique.



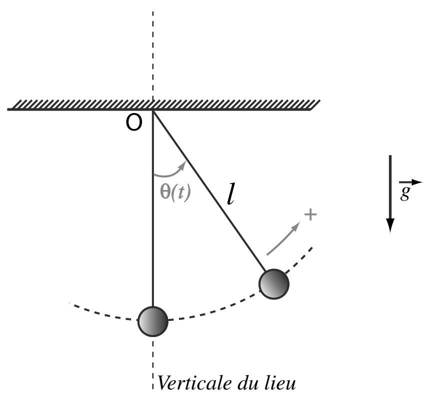

La position d'équilibre stable correspond à $x = x_0$.
Ce mouvement n'a pas de branches infinies, puisque $x$ est limité à l'intervalle $[x_1,x_2]$.
Le mouvement de l'oscillateur dans la cuvette de potentiel est donc un mouvement lié.

Dans le cas d'un oscillateur mécanique en translation selon un axe $x'Ox$, par exemple, l'énergie potentielle s'écrit donc sous la forme :

$$\mathcal{E}_p(x) = Ax^2 + \mathcal{E}_0 \text{ avec } A = cste > 0$$

## c. Les oscillateurs mécaniques d'usage courant

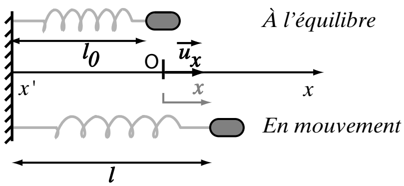
**Le pendule simple**




La grandeur physique associée à l'oscillateur est l'angle $\theta(t)$ appelé élongation angulaire.
$\theta(t)$ désigne l'écart angulaire entre la position du pendule à l'instant $t$ et celle à l'équilibre.
L'élongation $\theta(t)$ est une grandeur algébrique.

**Le pendule élastique**

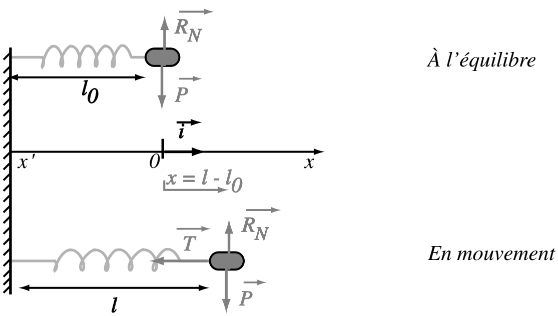
La grandeur physique associée à l'oscillateur est l'élongation $x(t)$. $x(t)$ désigne l'écart entre la position du pendule à l'instant $t$ et celle à l'équilibre.
L'élongation $x(t)$ est une grandeur algébrique.




## 2. Étude du pendule élastique

### a. Étude dynamique

Le système étudié est le solide de masse $m$ et de centre d'inertie $G$.
On écarte le solide de sa position d'équilibre de $x = a$ puis on le lâche sans vitesse initiale.
Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, le système est soumis à trois forces : son poids $\vec{P}$, la réaction normale de l'axe $\vec{R_N}$ et la force de rappel du ressort $\vec{T}$.




À l'équilibre : $\vec{P} + \vec{R_N} = \vec{0}$.

En mouvement : $\vec{P} + \vec{R_N} + \vec{T} = m\vec{a}$

Après projection sur l'axe $x'Ox$, il vient :

$-kx = m\ddot{x}$, soit $\ddot{x} + \dfrac{k}{m}x = 0$

Les solutions sont de la forme : $x(t) = A\cos(\omega_0 t + \varphi)$ avec $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$

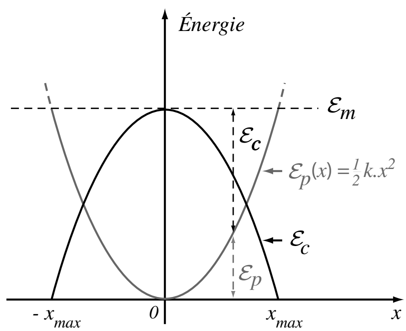
- Les oscillations d'un pendule élastique non amorti sont sinusoïdales (on dit aussi harmoniques).
- La période propre des oscillations est $T_0 = \dfrac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$.
- $T_0$ ne dépend que des paramètres mécaniques de l'oscillateur : son inertie (masse $m$) et la constante $k$ du ressort.

## *b. Étude énergétique*

L'**énergie mécanique du système** est égale à la somme de son énergie potentielle et de son énergie cinétique, soit :

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_p + \mathcal{E}_c \text{ avec } \left| \begin{array}{l} \mathcal{E}_p = \dfrac{1}{2}kx^2 \\ \qquad\quad \text{et} \\ \mathcal{E}_c = \dfrac{1}{2}mv^2 = \dfrac{1}{2}m\dot{x}^2 \end{array} \right.$$

Les **transformations énergétiques** $\mathcal{E}_p \leftrightarrows \mathcal{E}_c$ du pendule élastique peuvent être suivies sur les diagrammes ci-contre.



# QCM



## Énoncés

**1.** Un motard se rend d'une ville A à une ville B à la vitesse moyenne $v_1 = 96\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
Il revient immédiatement de la ville B à la ville A, en passant par la même route, à la vitesse moyenne $v_2 = 66\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
Calculer sa vitesse moyenne sur l'ensemble du parcours.

❑ **a.** $25\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ❑ **b.** $76\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
❑ **c.** $78\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ❑ **d.** $83\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
❑ **e.** $22\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

**2.** Un objet tombe en chute libre sans vitesse initiale d'une hauteur $h$. Cet objet parcourt 9,5 m lors de la dernière seconde de chute.
Donnée :
Intensité du champ de pesanteur supposée constante : $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.
Sa vitesse lorsqu'il atteint le sol est :

❑ **a.** $9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ❑ **b.** $14{,}4\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
❑ **c.** $49\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ❑ **d.** $52\ \text{km}\cdot\text{h}^{-1}$
❑ **e.** $54\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

**3.** Un point matériel $M$ effectue un mouvement dans un plan $(O, \overrightarrow{Ox}, \overrightarrow{Oy})$. Les coordonnées $x$ et $y$ du point $M$ varient en fonction du temps selon :

$$\begin{cases} (1)x = 0{,}3\cos(0{,}5\pi t + 4{,}25) \\ (2)y = 0{,}3\sin(0{,}5\pi t + 4{,}25) \end{cases}$$

Toutes les grandeurs sont exprimées dans le système S.I.

❑ **a.** Le point $M$ effectue un mouvement sinusoïdal rectiligne.
❑ **b.** Le point $M$ effectue un mouvement circulaire uniforme.
❑ **c.** La période du mouvement du point $M$ est $T_0 = 0{,}5$ s.

❑ **d.** La période du mouvement du point $M$ est $T_0 = 4$ s.

❑ **e.** La fréquence du mouvement du point $M$ est $f = 0{,}5$ Hz.

**4.** Un bombardier chargé de détruire une cible, une usine pétrochimique, vole à l'altitude $h = 2{,}5$ km selon un mouvement rectiligne uniforme à la vitesse $v_0$.
En passant à la verticale d'un point $H$ du sol, situé à la distance $d = 2{,}5$ km du centre de l'usine, le bombardier largue une bombe sans vitesse initiale.

**Données :**
L'édifice de l'usine est un carré de 200 m de côté.
Les forces de frottement avec l'air sont négligeables.
Vitesse du bombardier : $v_0 = 396\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$.
Intensité du champ de pesanteur supposée constante : $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

❑ **a.** La cible (centre de l'usine) sera atteinte.

❑ **b.** L'impact se produira à 200 m avant le centre de l'usine.

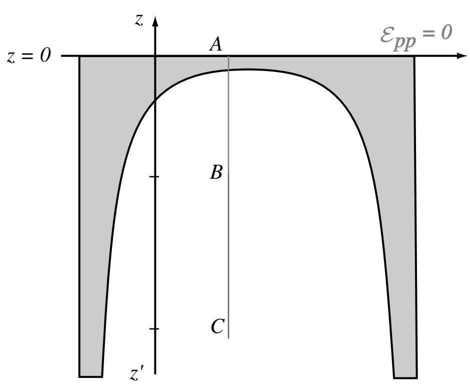
❑ **c.** L'impact se produira à 2 km après le centre de l'usine.

❑ **d.** L'impact se produira à 15 m avant le centre de l'usine.

❑ **e.** La cible ne sera pas atteinte.

**L'énoncé suivant est commun aux questions 5 et 6.**

Un sportif de masse $m = 75$ kg effectue un saut à l'élastique en se lançant sans vitesse initiale d'un point $A$ d'un pont situé au dessus d'une vallée (figure ci-après).



L'élastique a une longueur à vide $l_0 = AB = 23$ m et sa masse est négligeable.
On prendra le point $A$ comme origine des altitudes et des énergies potentielles de pesanteur. On négligera les frottements avec l'air.

**Donnée :** $g = 9{,}8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

**5.** La vitesse du sauteur au point $B$ est :

❑ **a.** $12{,}34 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ❑ **b.** $21{,}23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ❑ **c.** $29{,}40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
❑ **d.** $36{,}05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ❑ **e.** $4{,}61 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

**6.** L'énergie mécanique du système {Terre - sauteur - élastique} vaut :

❑ **a.** $-16{,}9 \cdot 10^3$ J ❑ **b.** $-12{,}5 \cdot 10^3$ J ❑ **c.** $+16{,}9 \cdot 10^3$ J
❑ **d.** $0{,}0$ J ❑ **e.** $+22{,}6 \cdot 10^3$ J

**L'énoncé suivant est commun aux questions 7 et 8.**

Un point matériel $M$ de masse $m$ peut se déplacer sur un axe $Ox$. En fonction de son abscisse $x$ sur cet axe, l'énergie potentielle de $M$ au voisinage de l'origine est donnée par :

$$\mathcal{E}_p(x) = -V_0(1 - 0{,}2x^2)$$

**7.** Quelle est l'expression de la force à laquelle est soumis $M$ au voisinage de l'origine ?

❑ **a.** $0{,}4V_0x$ ❑ **b.** $-0{,}4V_0x$ ❑ **c.** $-0{,}2V_0x$
❑ **d.** $-V_0(\frac{1}{x} - 0{,}2x)$ ❑ **e.** $0{,}2V_0x^2$

**8.** Sous l'effet de cette force, le point $M$ est animé d'un mouvement :

❑ **a.** Rectiligne uniforme

❑ **b.** Uniformément accéléré

❑ **c.** Sinusoïdale de période $T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{m}{0{,}4V_0}}$

❑ **d.** Sinusoïdale de période $T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{0{,}4V_0}{m}}$

❑ **e.** Aucune des propositions précédentes n'est correcte.