

PASS **TOUT EN FICHES**

PHYSIQUE, BIOPHYSIQUE



Salah Belazreg

EDISCIENCE

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du

droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2021

11, rue Paul Bert 92240 Malakoff

www.dunod.com

ISBN 978-2-10-082893-7

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2^o et 3^o a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Table des matières

Physique

[Mécanique]

Fiche cours	1	Cinématique du point	.2
Fiche cours	2	Dynamique du point matériel	.6
Fiche cours	3	Étude énergétique	.8
Fiche cours	4	Chocs entre deux particules	.12
Fiche cours	5	Les oscillateurs mécaniques	.15
Fiche QCM	6	QCM	.19

[Thermodynamique]

Fiche cours	7	Théorie cinétique du gaz parfait	.27
Fiche cours	8	Statique des fluides ou hydrostatique	.32
Fiche cours	9	Premier principe de la thermodynamique	.35
Fiche cours	10	Paramètres d'état. Transformations. Travail échangé au cours d'une transformation réversible	.39
Fiche cours	11	Second principe de la thermodynamique	.42
Fiche cours	12	Changements de phases d'un corps pur	.45
Fiche cours	13	Phénomènes de transport	.49
Fiche cours	14	Thermodynamique chimique	.53
Fiche QCM	15	QCM	.57

[Mécanique des fluides]

Fiche cours	16	Les phénomènes de surface	.63
Fiche cours	17	Mécanique des fluides	.67
Fiche QCM	18	QCM	.71

[Électricité – Électromagnétisme]

Fiche cours	19	Champ et potentiel électrostatiques	.76
Fiche cours	20	Le dipôle électrostatique	.80
Fiche cours	21	Flux du vecteur champ électrique. Théorème de Gauss	.83

Fiche cours	22	Condensateurs. Capacité	86
Fiche cours	23	Électrocinétique	91
Fiche cours	24	Milieux conducteurs	94
Fiche cours	25	Champ d'induction magnétique	98
Fiche cours	26	Action d'un champ magnétique \vec{B} sur un circuit fermé	102
Fiche cours	27	Mouvement d'une particule chargée dans un champ uniforme	104
Fiche QCM	28	QCM	109

[Ondes]

Fiche cours	29	Généralités sur les ondes	113
Fiche cours	30	Effet Doppler-Fizeau	118
Fiche cours	31	Notions sur les ondes électromagnétiques	121
Fiche cours	32	Interférences. Diffraction	125
Fiche QCM	33	QCM	130

[Optique géométrique]

Fiche cours	34	Fondements de l'optique géométrique	134
Fiche cours	35	Dioptries	138
Fiche cours	36	Les lentilles minces	142
Fiche cours	37	L'œil	145
Fiche cours	38	Les instruments d'optique	147
Fiche QCM	39	QCM	152

[Lumière et ondes]

Fiche cours	40	Les origines de la physique quantique	159
Fiche cours	41	Niveaux d'énergie dans un atome	162
Fiche cours	42	Le laser – Oscillateur à fréquence optique	166
Fiche cours	43	Mécanique ondulatoire	170
Fiche QCM	44	QCM	173

Biophysique

[Biophysique des solutions]

Fiche cours	45	Généralités sur les solutions aqueuses	182
Fiche cours	46	Acides et bases en solution aqueuse	187
Fiche cours	47	pH d'une solution aqueuse	189
Fiche cours	48	Valeur de pH d'une solution aqueuse	192

Fiche cours	49	Réactions acide-base. Courbes de titrage	195
Fiche cours	50	Diagramme de Davenport et troubles acido-basiques	199
Fiche cours	51	Osmose	202
Fiche cours	52	Mesure de la pression osmotique	204
Fiche cours	53	Travail osmotique	206
Fiche cours	54	Phénomènes électriques. Effet Donnan	208
Fiche cours	55	Ultrafiltration	210
Fiche QCM	56	QCM	213

[Les radiations ionisantes]

Fiche cours	57	Le noyau atomique	217
Fiche cours	58	Stabilité des noyaux	221
Fiche cours	59	La radioactivité	224
Fiche cours	60	Les différentes radioactivités	226
Fiche cours	61	Décroissance radioactive	231
Fiche cours	62	Une application de la radioactivité. La datation .	234
Fiche cours	63	Filiations radioactives	236
Fiche cours	64	Les réactions nucléaires provoquées	239
Fiche cours	65	Interactions des particules chargées avec la matière	241
Fiche cours	66	Spectre des rayons X	244
Fiche QCM	67	QCM	247

[Biophysique sensorielle]

Fiche cours	68	Les amétropies sphériques	255
Fiche cours	69	L'astigmatisme	259
Fiche cours	70	La presbytie	261
Fiche cours	71	Ondes sonores et audition	264
Fiche cours	72	Propagation des sons	266
Fiche cours	73	Sons purs et sons complexes	269
Fiche cours	74	L'audition subjective	272
Fiche QCM	75	QCM	275

[Imagerie médicale]

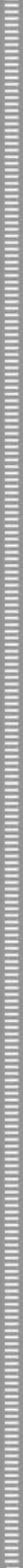
Fiche cours	76	Formation des échos. Impédance acoustique . .	281
Fiche cours	77	Atténuation du faisceau ultrasonore	284
Fiche cours	78	Imagerie médicale à l'aide des ondes U.S.	286
Fiche cours	79	L'échographie Doppler	288

Fiche cours	80	Les nombres quantiques	291
Fiche cours	81	Moments magnétiques de particules chargées	294
Fiche cours	82	Les bases physiques de la RMN	296
Fiche cours	83	Notions d'imagerie RMN	300
Fiche QCM	84	QCM	304

Compléments mathématiques

Fiche méthode	85	Dérivées	310
Fiche méthode	86	Primitives. Intégrales	312
Fiche méthode	87	Fonctions logarithme et exponentielle	315
Fiche méthode	88	Fonctions de plusieurs variables indépendantes	318
Fiche méthode	89	Développement de fonctions en séries entières	320
Fiche méthode	90	Équations différentielles	323
Fiche méthode	91	Vecteurs	326
Fiche méthode	92	Grandeurs fondamentales associées à un champ de vecteurs	330

[Physique]

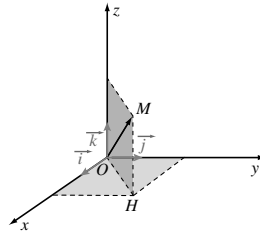


1. Repérage d'un point. Le paramètre position

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 :

$$\vec{OM} = \vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \quad \left| \begin{array}{l} x, y \text{ et } z \text{ en m} \\ r = OM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ (\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}) : \text{ base orthonormale} \\ \text{directe liée au référentiel} \end{array} \right.$$



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

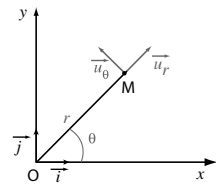
On définit un axe Ox , axe polaire, et une origine ou pôle O .

Un point mobile M peut être repéré par ses coordonnées polaires (r, θ)

où $r = OM$ et $\theta = (\vec{Ox}, \vec{OM})$.

Le vecteur position s'écrit donc :

$$\vec{OM} = \vec{r} = r\vec{u}_r \quad \left| \begin{array}{l} \vec{r} : \text{ rayon vecteur} \\ \theta : \text{ angle polaire} \end{array} \right.$$



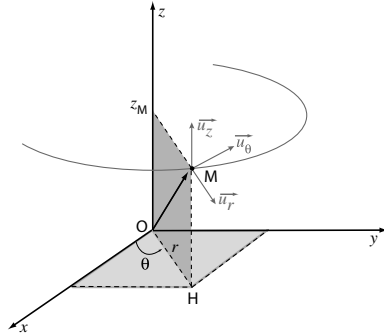
[IMPORTANT]

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

c. En coordonnées cylindriques

$$\vec{OM} = \vec{OH} + \vec{HM} = r\vec{u}_r + z\vec{u}_z$$

Avec $r = OH$ et $\theta = (\vec{Ox}, \vec{OH})$



2. Les grandeurs d'évolution

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

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

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

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

3. Expressions dans différents systèmes de coordonnées

a. En coordonnées cartésiennes

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

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

b. En coordonnées cylindriques

$$\vec{v} = \left(\frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} \right)_{\mathcal{R}} = \dot{r}\vec{u}_r + r\dot{\theta}\vec{u}_\theta + \dot{z}\vec{u}_z$$

$$\vec{a} = \left(\frac{d\vec{v}}{dt} \right)_{\mathcal{R}} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)\vec{u}_r + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\vec{u}_\theta + \ddot{z}\vec{u}_z$$

c. Dans le repère de Frenet

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

- $\left\{ \begin{array}{l} \vec{\tau} : \text{vecteur unitaire porté par la tangente à la courbe et orienté dans} \\ \text{le sens du mouvement} \end{array} \right.$
- $\left\{ \begin{array}{l} \vec{n} : \text{vecteur unitaire orthogonal à } \vec{\tau} \text{ et dirigé vers la concavité de} \\ \text{la trajectoire} \end{array} \right.$

$$\vec{v} = v\vec{\tau} ; \vec{a} = a_\tau\vec{\tau} + a_n\vec{n} \text{ avec } \begin{cases} a_\tau = \frac{dv}{dt} \\ a_n = \frac{v^2}{R} \end{cases}$$

4. Étude de quelques mouvements usuels**a. Mouvement rectiligne uniforme**

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

$$v = v_0 = cste \text{ et } x = v_0t + x_0$$

b. Mouvement rectiligne uniformément varié

Un point mobile M a un mouvement rectiligne uniformément varié si

$\vec{a} = \vec{a}_0 = a_0\vec{i} = \overrightarrow{cste}$, par suite :

$$(1) a = a_0 = cste$$

$$(2) v = a_0t + v_0 \quad , \text{ soit } v^2 - v_0^2 = 2a_0(x - x_0)$$

$$(3) x = \frac{1}{2}a_0t^2 + v_0t + x_0$$

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 :

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

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

$$\vec{v} = R\dot{\theta}\vec{u}_\theta = R\omega\vec{u}_\theta$$

$$\vec{a} = -\frac{v^2}{R}\vec{u}_r = -R\omega_0^2\vec{u}_r$$

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

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 \vec{v} dans un repère (\mathcal{R}) .

Le vecteur quantité de mouvement du point matériel M , noté \vec{p} , dans le repère (\mathcal{R}) s'écrit :

$$\vec{p} = m \vec{v} \quad \left| \begin{array}{l} \vec{p} : \text{vecteur quantité de mouvement} \\ m : \text{masse du point matériel} \\ \vec{v} : \text{vecteur vitesse du point matériel} \end{array} \right.$$

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 :

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

c. Relation entre énergie cinétique et quantité de mouvement

Comme $\vec{p} = m \vec{v}$, alors $\vec{p}^2 = m^2 \vec{v}^2$ 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 (1^{re} 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.

$$\sum \vec{f}_{ext} = \vec{0} \implies \begin{array}{c} \text{système isolé} \\ \text{ou} \\ \text{pseudo-isolé} \end{array} \implies \begin{array}{l} \vec{v}_G = \vec{cste} \\ \left(\vec{p} = \vec{cste} \right) \end{array}$$

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

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

$$\sum \vec{f}_{ext}, \text{ on a :}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{f}_{ext}$$

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

$$m\vec{a}_G = \sum \vec{f}_{ext} \quad \left\{ \begin{array}{l} m : \text{masse du solide} \\ \vec{a}_G : \text{vecteur accélération du centre d'inertie} \\ \sum \vec{f}_{ext} : \text{ensemble des forces s'exerçant sur le solide} \end{array} \right.$$

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

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

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$$

[ATTENTION]

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

1. Travail d'une force**a. Cas d'une force \vec{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 \vec{F} agissant sur un solide animé d'un mouvement rectiligne par rapport à un référentiel (\mathcal{R}) est donné par :

$$\begin{aligned} W(\vec{F})_{A \rightarrow B} &= \vec{F} \cdot \vec{AB} \\ &\text{ou} \\ W(\vec{F})_{A \rightarrow B} &= F \cdot AB \cdot \cos(\vec{F}, \vec{AB}) \end{aligned} \quad \left| \begin{array}{l} F \text{ en N} \\ AB \text{ en m} \\ W(\vec{F})_{A \rightarrow B} \text{ en J} \end{array} \right.$$

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

Lors d'un déplacement élémentaire du point d'application d'une force \vec{F} constante, le **travail élémentaire** δW vaut :

$$\begin{aligned} \delta W(\vec{F}) &= \vec{F} \cdot \vec{\delta l} \\ &\text{ou} \\ \delta W(\vec{F}) &= F \cdot \delta l \cdot \cos(\vec{F}, \vec{\delta l}) \end{aligned} \quad \left| \begin{array}{l} F \text{ en N} \\ \delta l \text{ en m} \\ \delta W(\vec{F}) \text{ en J} \end{array} \right.$$

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

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

ou sous forme intégrale :

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

2. Théorème de l'énergie cinétique

a. Énergie cinétique

Un point matériel de masse m se déplaçant à la vitesse \vec{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 δt , le point d'application de la force \vec{F} s'est déplacé de $\vec{\delta l}$.

Le travail élémentaire s'écrit donc :

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

et par suite :

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

c. Relation entre la puissance et l'énergie cinétique

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

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 \vec{v} , dans un référentiel (\mathcal{R}) galiléen, soumis à un ensemble de forces dont la résultante est \vec{F} :

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

3. Énergie potentielle. Énergie mécanique

a. Force conservative

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

$$d\mathcal{E}_p = -\vec{F} \cdot d\vec{l} \quad \left| \begin{array}{l} \mathcal{E}_p \text{ en J} \\ F \text{ en N} \\ l \text{ en m} \end{array} \right.$$

\mathcal{E}_p est homogène à une énergie

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

Dans le cas d'une force $\vec{F} = F(x) \cdot \vec{u}_x$ 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 \vec{F} est $\delta W = \vec{F} \cdot d\vec{l}$.

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

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

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

$$W(\vec{F})_{1 \rightarrow 2} = - \int_1^2 d\mathcal{E}_p = - [\mathcal{E}_p]_{\mathcal{E}_{p1}}^{\mathcal{E}_{p2}} = \mathcal{E}_{p1} - \mathcal{E}_{p2}$$

(Le travail de la force \vec{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 \vec{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 .

Chocs entre deux particules

1. Impulsion – Percussion

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

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F} dt \quad \left| \begin{array}{l} \vec{F} : \text{résultante des forces agissant sur} \\ \text{la particule entre les instants } t \text{ et } t + \Delta t \\ \vec{I} : \text{impulsion de la force } \vec{F} \end{array} \right.$$

[IMPORTANT]

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

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 :

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt} = \vec{0} \quad \left| \begin{array}{l} \vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1 : \text{vecteur quantité} \\ \text{de mouvement de la particule} \\ (1) \text{ de masse } m_1 \\ \text{soit} \\ \vec{p}_2 = m_2 \vec{v}_2 : \text{vecteur quantité} \\ \text{de mouvement de la particule} \\ (2) \text{ de masse } m_2 \end{array} \right.$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \text{cste}$$

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

La conservation de la quantité de mouvement donne :

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

3. Chocs élastiques et chocs inélastiques

Soient deux particules de masse m_1 et m_2 , \vec{v}_1 et \vec{v}_2 leurs vecteurs vitesse avant le choc et \vec{v}'_1 et \vec{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 :

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

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 a 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 :

$$v'_{1x} = \frac{2m_2v_{2x} + (m_1 - m_2)v_{1x}}{m_1 + m_2} \quad \text{et} \quad v'_{2x} = \frac{2m_1v_{1x} - (m_1 - m_2)v_{2x}}{m_1 + m_2}$$

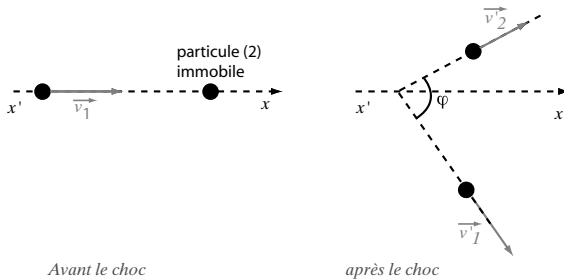
v_{1x} : vitesse de la particule (1) avant le choc
 v_{2x} : vitesse de la particule (2) avant le choc
 v'_{1x} : vitesse de la particule (1) après le choc
 v'_{2x} : vitesse de la particule (2) après le choc

Cas particuliers :

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

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

$\varphi = (\vec{v}'_1, \vec{v}'_2)$: angle de diffusion



- 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

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

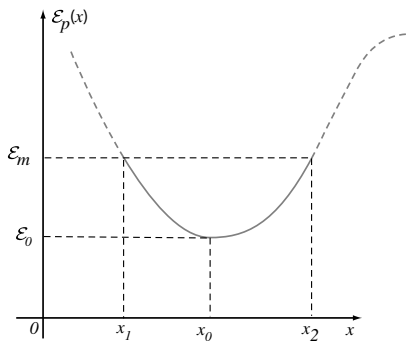
1. Définitions

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.

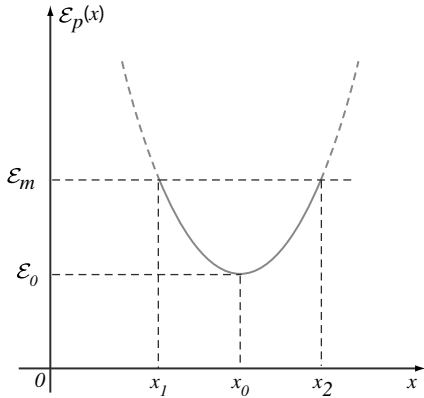
b. L'oscillateur harmonique

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 :

$$\varepsilon_p(x) = Ax^2 + \varepsilon_0 \text{ avec } A = \text{cste} > 0$$

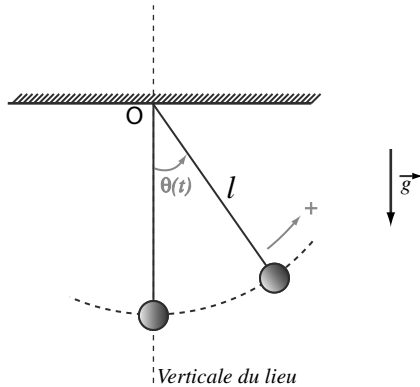
c. Les oscillateurs mécaniques d'usage courant

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.

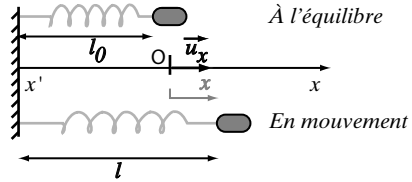
L'élongation $\theta(t)$ est une grandeur algébrique.



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.



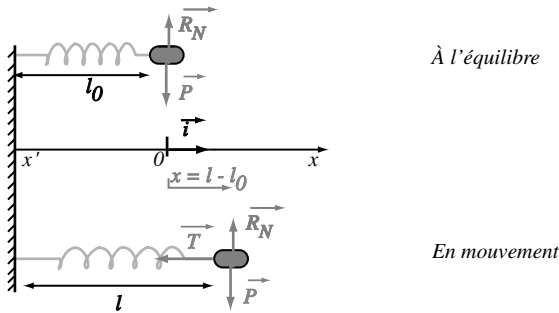
2. Étude du pendule élastique

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 :

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

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

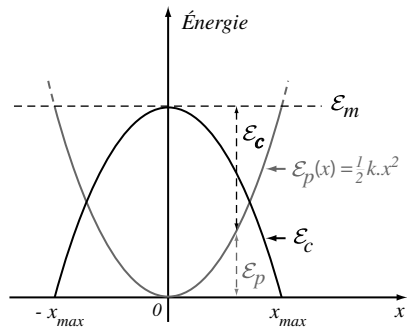
- Les oscillations d'un pendule élastique non amorti sont sinusoïdales (on dit aussi harmoniques).
- La période propre des oscillations est $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$.
- T_0 ne dépend que des paramètres mécaniques de l'oscillateur : son inertie (masse m) et la constante k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

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

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



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, \vec{Ox}, \vec{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 $T_0 = 0,5 \text{ s}$.

- 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.

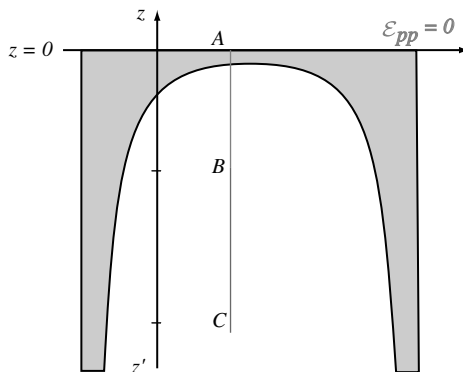
Vitesse du bombardier : $v_0 = 396$ km \cdot h⁻¹.

Intensité du champ de pesanteur supposée constante : $g = 9,8$ m \cdot 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. $-16,9 \cdot 10^3 \text{ J}$ b. $-12,5 \cdot 10^3 \text{ J}$ c. $+16,9 \cdot 10^3 \text{ J}$
 d. $0,0 \text{ J}$ e. $+22,6 \cdot 10^3 \text{ J}$

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. $-V_0\left(\frac{1}{x} - 0,2x\right)$ 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 $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{0,4V_0}}$
 d. Sinusoïdale de période $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{0,4V_0}{m}}$
 e. Aucune des propositions précédentes n'est correcte.