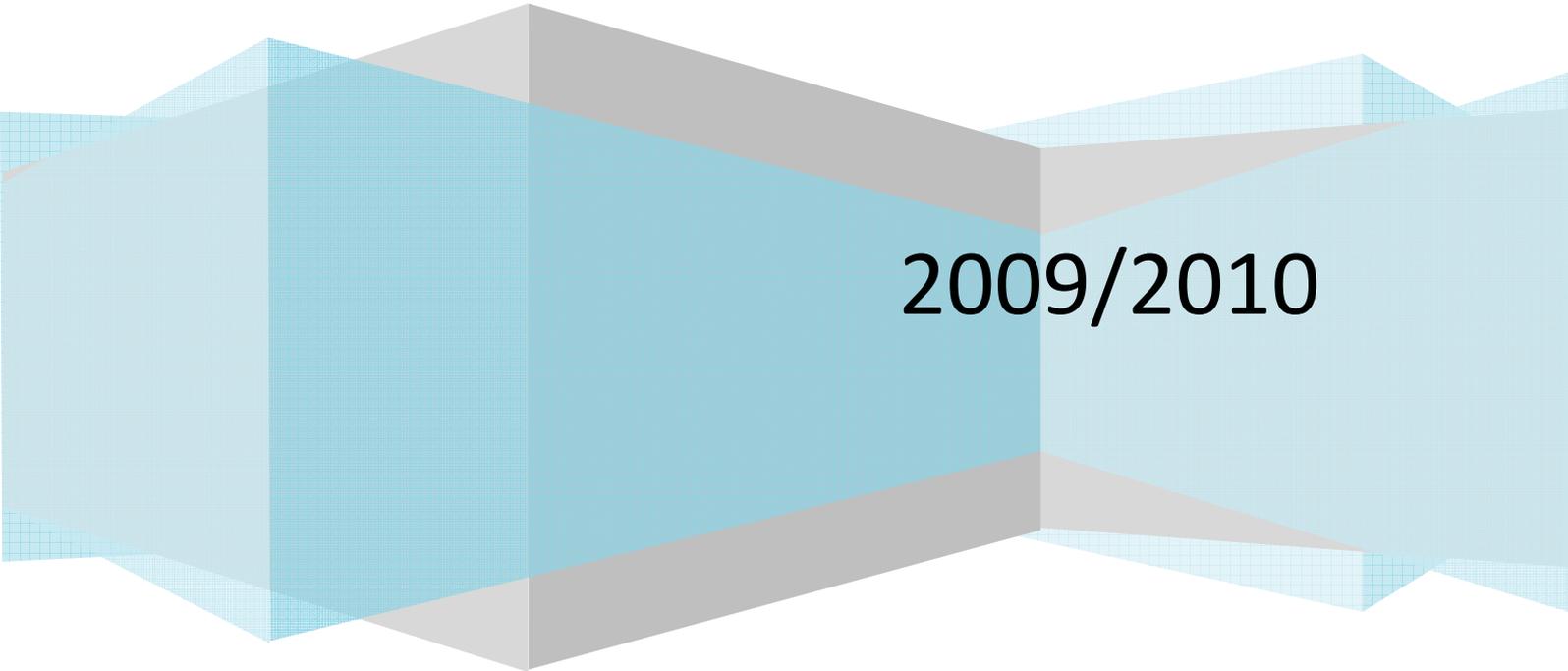


PDF Compressor Free Version

Cours de Physiques

Classe de Terminale D

ZAMBOU Serges (PLEG)



2009/2010

PDF Compressor Free Version

CHAPITRE 1: FORCES ET CHAMPS

1 Forces et champs de gravitations

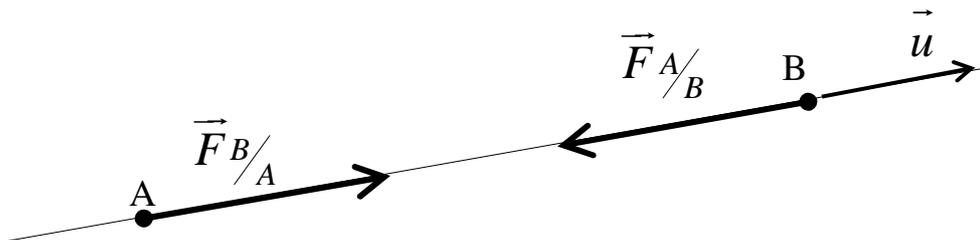
1.1 Attraction Universelle

On appelle **attraction universelle ou gravitation universelle**, l'attraction mutuelle entre deux astres qui gravitent l'un autour de l'autre.

1.2 La loi de l'attraction Universelle

Enoncé de la loi :

Deux corps ponctuels A et B de masses respectives M_A et M_B et placés aux points A et B exercent réciproquement l'un sur l'autre des forces d'attractions directement opposées dirigées suivant la droite t(AB), d'intensités proportionnelles à leurs masses et inversement proportionnelle aux carré de la distance AB.



$$AB = d ; \vec{u} = \frac{\vec{AB}}{\|\vec{AB}\|} \text{ vecteur unitaire}$$

$$\vec{F}_{B/A} = \frac{\epsilon M_A M_B}{d^2} \vec{u} = -\vec{F}_{A/B}$$

$$F_{B/A} = F_{A/B} = \frac{\epsilon M_A M_B}{d^2}$$

$$\epsilon = 6,67 \cdot 10^{-11} ; M_A \text{ (kg)} ; M_B \text{ (kg)} ; d \text{ (m)} ; F_{A/B} \text{ (N)} ; F_{B/A} \text{ (N)}.$$

Les forces d'attraction gravitationnelle sont généralement très faibles.

Exemple 1 : calculer la force d'interaction gravitationnelle entre un proton et un électron.

$$M_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg} \quad M_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg} \quad \text{distance} = 10^{-10} \text{ m}$$

Réponse : $1,01 \cdot 10^{-47} \text{ N}$.

Exemple 2 : calculer la force d'attraction entre un homme situé à la surface de la terre et la lune.
~~PDF Compressor Free Version~~
 $M_{\text{lune}} = 7,34 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ $M_{\text{homme}} = 70 \text{ kg}$ distance (terre-lune) = $3,84 \cdot 10^8 \text{ m}$

Réponse : $2,32 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.

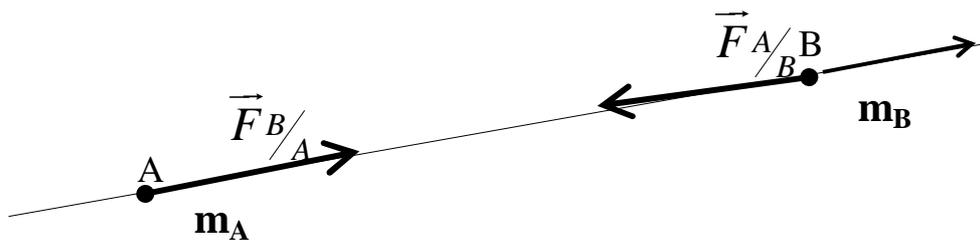
1.3 Le champ de gravitation

1.3.1 Définition

On dit qu'il existe un champ de gravitation en un point de l'espace si une masse placée en ce point est soumise à l'action d'une force de gravitation.

1.3.2 Champ de gravitation créé par une masse ponctuelle en un point

On considère deux corps A et B de masse respective M_A et M_B .



$$\vec{F}_{B/A} = \frac{\epsilon M_A M_B}{d^2} \cdot \vec{u}$$

Nous déduisons de cette formule que :

$$\frac{\vec{F}_{B/A}}{M_A} = \frac{\epsilon M_B}{A B^2} \cdot \vec{u} \quad \text{Posons } \vec{G}_A = \frac{\epsilon M_B}{A B^2} \cdot \vec{u}$$

$$\text{D'où } \vec{F}_{B/A} = M_A \vec{G}_A$$

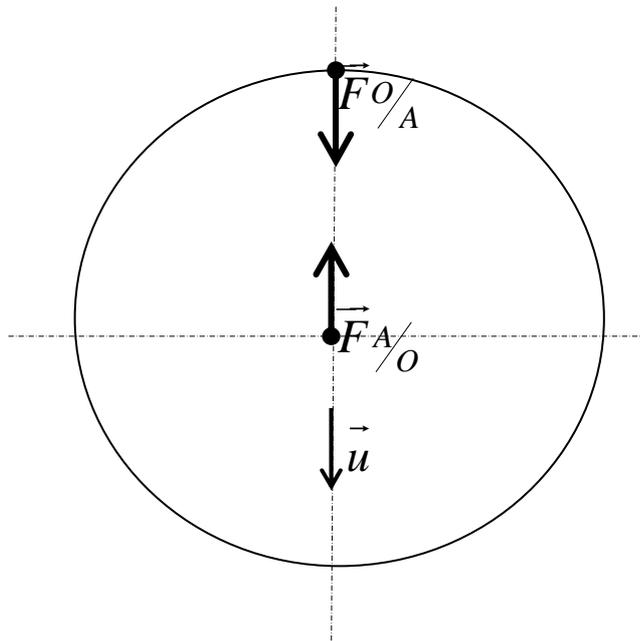
\vec{G}_A Est le vecteur champ gravitationnel créé au point A par la masse B placée au point B. Sa valeur algébrique se donne sous la forme :

$$G_A = \frac{\epsilon M_B}{A B^2}$$

1.3.3 Cas particulier du champ de pesanteur

PDF Compressor Free Version

On considère un solide A à la surface de la terre.



L'expression de notre force de gravitation prend ici la forme

$$\vec{F}_{O/A} = \frac{\epsilon M_A M_T}{AO^2} \vec{u} = -\vec{F}_{A/O} \text{ Sachant que } \vec{G}_O = \frac{\epsilon M_T}{AO^2} \vec{u} \text{ Ceci nous}$$

permet d'écrire $\vec{F}_{O/A} = \vec{G}_O M_A$ cette force déjà connue correspond au poids du corps

$$\text{considéré } \vec{F}_{O/A} = \vec{G}_O M_A = \vec{P}$$

Ainsi on, la force de gravitation s'exerçant sur le solide A est le poids du solide.

Le champ de pesanteur qui crée cette force varie en fonction de la distance (altitude) et en fonction de la latitude.

$$G_h = \frac{\epsilon M_T}{(R_T + h)^2} \text{ Pour } h=0 \text{ nous avons } G_0 = \frac{\epsilon M_T}{R_T^2}$$

En divisant les deux expressions nous obtenons :

$$\frac{G_h}{G_0} = \frac{\frac{\epsilon M_T}{(R_T + h)^2}}{\frac{\epsilon M_T}{R_T^2}} \text{ Entraine } G_h = G_0 \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$$

2 Forces et champs électrostatiques

PDF Compressor Free Version

2.1 Généralités

On appelle charge électrique, tout corps possédant un déficit ou un excès d'électron. Il existe deux types de charges :

- Les charges négatives (les électrons) $q_e = -e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
- Les charges positives (les protons) $q_p = |e|$

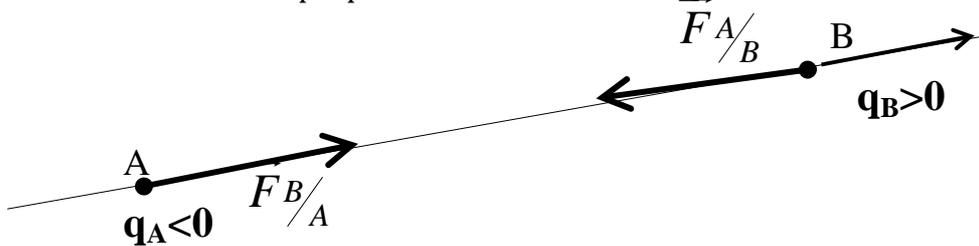
Nota Bene : Deux corps chargés d'électricité de même signe se repoussent.

Tandis que deux corps chargés d'électricité de signe contraire s'attirent.

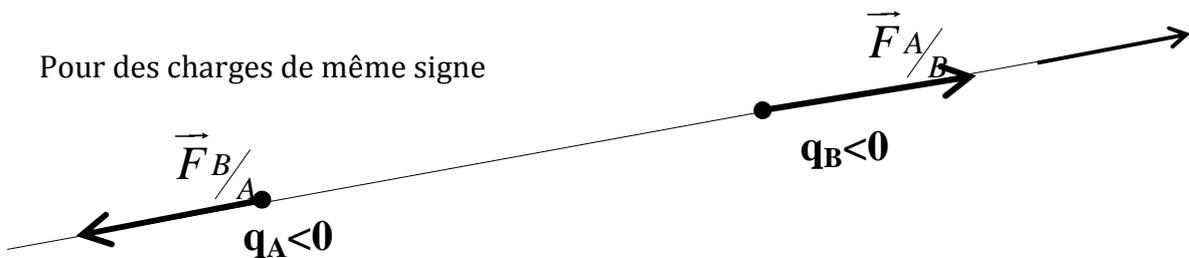
Loi de coulomb

La force d'attraction ou de répulsion qui s'exerce entre deux charges ponctuelles Q_A et Q_B placées respectivement aux points A et B est :

- Dirigé suivant la droite (AB)
- Proportionnelle aux deux charges
- Inversement proportionnelle au carré de la distance AB.



Pour des charges de même signe



Pour les charges de signe contraire

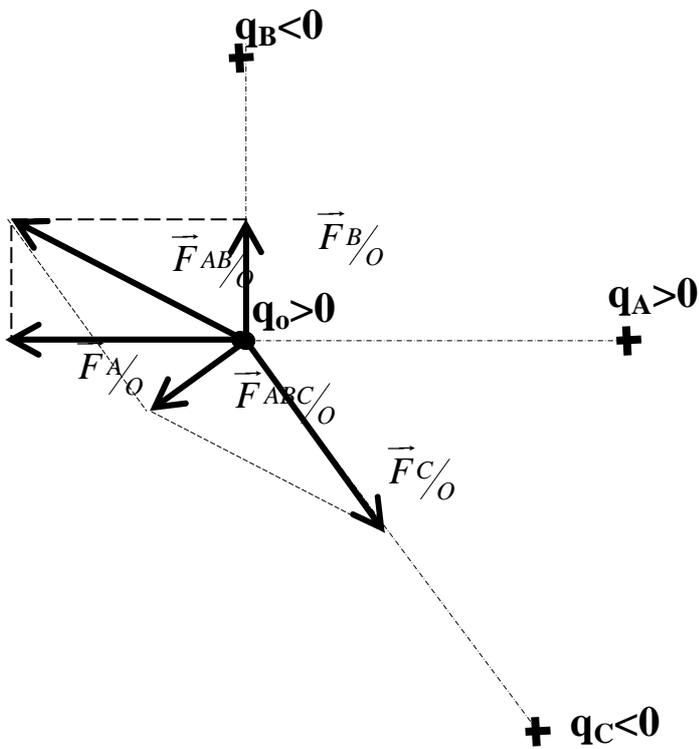
$$\vec{F}_{A/B} = \frac{k Q_A Q_B}{AB^2} \vec{u} = -\vec{F}_{B/A} \text{ En valeur algébrique nous avons}$$

$$F_{B/A} = F_{A/B} = \frac{k |Q_A| |Q_B|}{AB^2} \text{ Avec}$$

$$k = 9 \times 10^9; Q_A, Q_B \text{ (C); } F \text{ (N)}$$

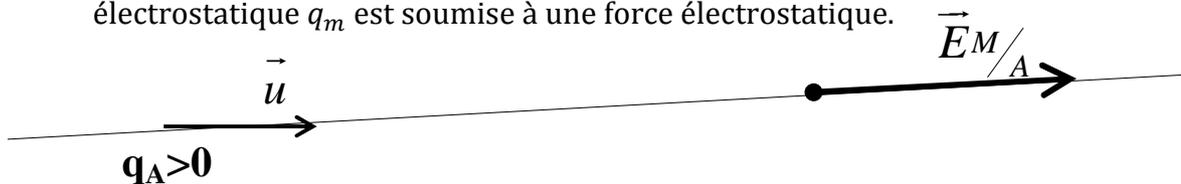
Remarque : si dans une région de l'espace nous avons plusieurs charges, q_a , q_b , q_c et q_o , la force à laquelle q_o est soumise est égale à la somme vectorielle de toutes les forces que chacune des autres charges exerce sur la charge q_o

$$\vec{F}_{ABC/O} = \vec{F}_{A/O} + \vec{F}_{B/O} + \vec{F}_{C/O}$$

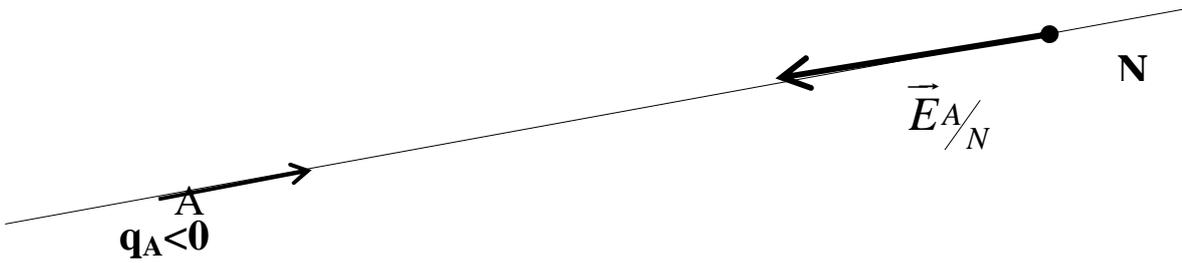


2.2 Le champ électrostatique

On appelle **champ électrostatique** toute région de l'espace où une charge électrostatique q_m est soumise à une force électrostatique.



PDF Compressor Free Version
 $\vec{E}_{M/A}$ Champ crée par q_a au point M ; centrifuge s'éloigne du centre



$\vec{E}_{A/N}$ Champ crée par q_b au point N.

Le vecteur champ électrique ou électrostatique $\vec{E}_{M/A}$ crée par la charge électrique q_a placée en un point A est :

$$\vec{E}_{M/A} = \frac{\vec{F}_{A/M}}{q_M}$$

La direction est la droite (AM) le sens est celui du vecteur.

Le sens est celui du vecteur AM. Et son module

$$E_{A/M} = \frac{F_{A/M}}{|q_M|}$$

Ou F est en newton (N) ; q en coulomb © et E en (N/C ou V/m).

En récapitulatif, on montre que dans une région de l'espace , une charge q placée en un point O crée en point A de son voisinage (tel que OA=d) un champ électrostatique

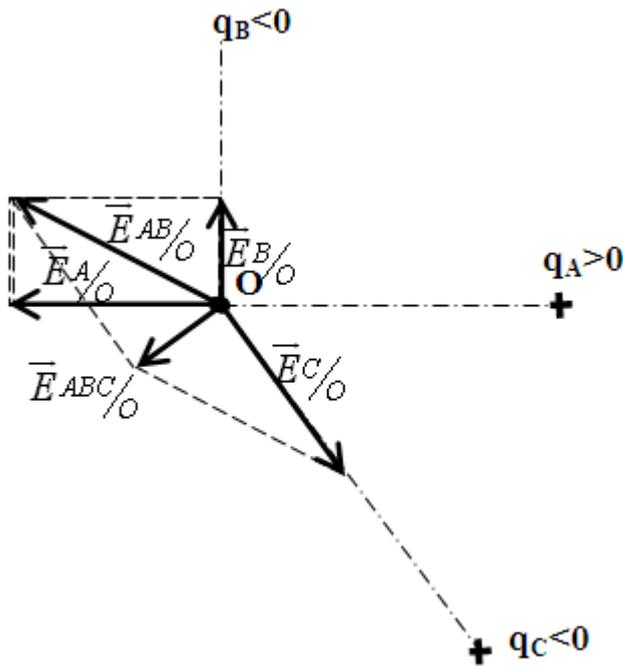
\vec{E}_M tel que :

- Le point M est le point d'application
- La direction est la droite OM
- Le sens : Centrifuge (celui du vecteur OM si $q>0$) ; centripète (celui du vecteur MO si $q<0$)
- Le module est :

$$E_A = \frac{k|q|}{d^2}$$

d(m) ; q(C) ; E en (V/m) ou (N/C) ; $k=9 \times 10^9$ USI

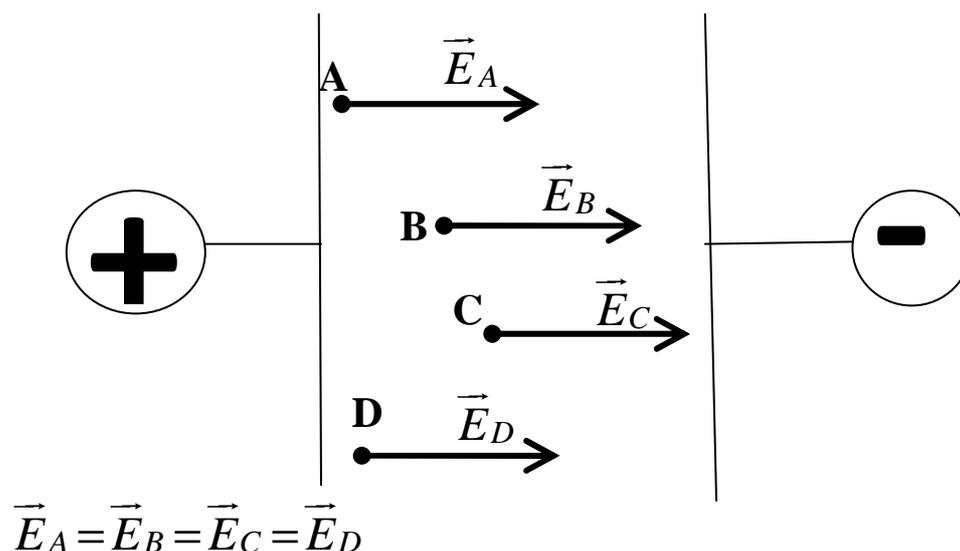
Nota Bene : Lorsque dans une région de l'espace se trouvent plusieurs charges, le champ créé par l'ensemble de ces charges en un point M est égale à la somme vectorielle de chacun des champs créés au point M par chacune de ces charges agissant seules.



Ceci nous permet d'écrire $\vec{E}_O = \vec{E}_A + \vec{E}_B + \vec{E}_C$

2.3 Le champ uniforme

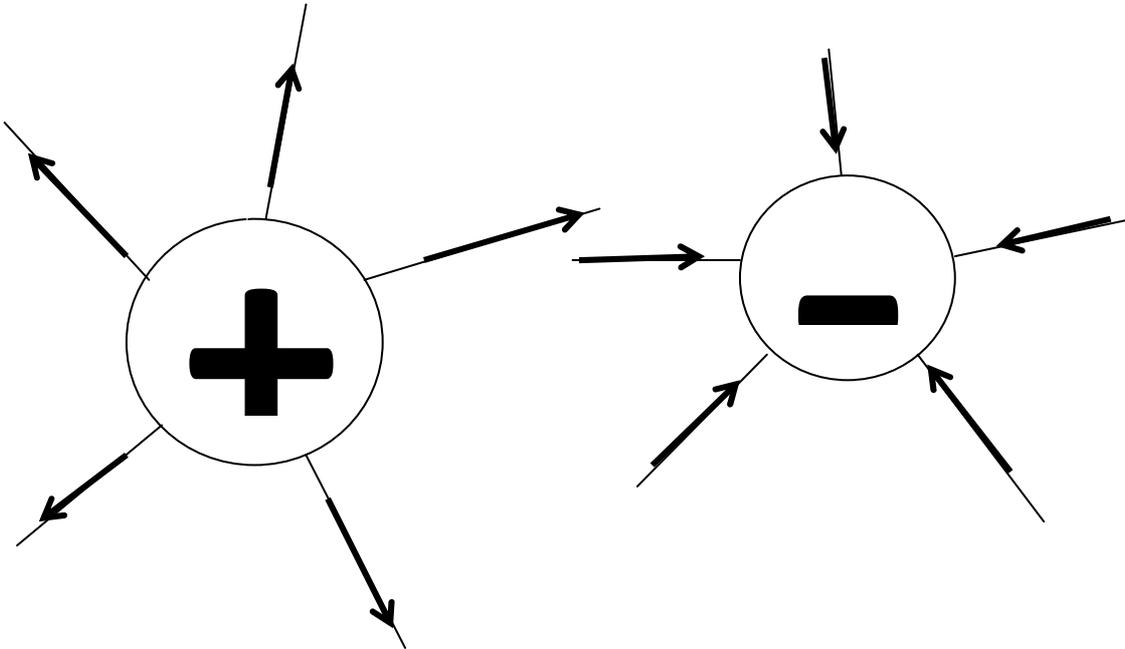
On dit d'un champ électrostatique qu'il est uniforme en une région donnée de l'espace si le vecteur champ électrostatique y est constant en tout point.



2.4 Les lignes de champs

PDF Compressor Free Version

On appelle **ligne de champ** une courbe qui en tout point est tangente au vecteur champ électrostatique \vec{E} . Une ligne de champ est orientée dans le même sens que \vec{E} .



Champ électrique pour une charge positive et une charge négative.

REMARQUES

1. Les lignes de champ indiquent le déplacement d'une charge positive.
2. dans un champ uniforme, les lignes de champ sont des droites parallèles orientées de la plaque positive vers la plaque négative.
3. On appelle surface équipotentielle, tout plan dans lequel toutes les charges sont au même potentiel.

2.5 Notion de potentiel électrique

Considérons une charge q placée entre deux plaques A et B électrisées, la charge q est soumise à l'action d'une **force électrostatique** $\vec{F} = q\vec{E}$ $\vec{F} = q\vec{E}$

et se déplace sous l'action de cette force. Si la charge q effectue un déplacement d'un point A de la plaque (A) vers un point B de la plaque (B), le travail de la force \vec{F} est :

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = q \cdot \vec{E} \cdot \vec{AB}$$

PDF Compressor Free Version
 Le produit scalaire $\vec{E} \cdot \vec{AB}$ est appelé différence de potentiel entre (A) et (B).

$$\vec{E} \cdot \vec{AB} = V_A - V_B \text{ où } V_A \text{ et } V_B \text{ sont respectivement les potentiels en A et en B.}$$

Si d est la distance entre les armatures (A) et (B), on a

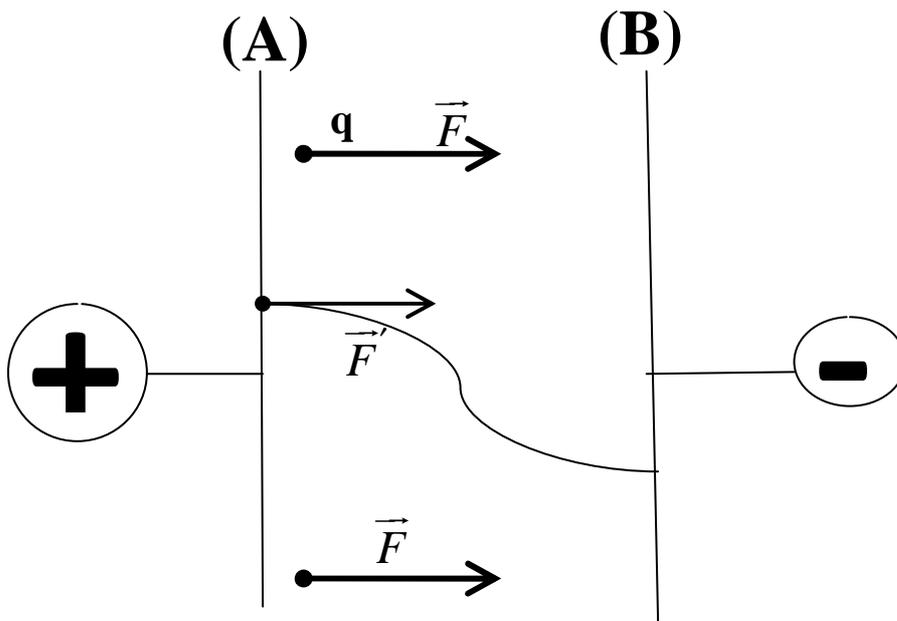
$$V_A - V_B = E \cdot d \cos \widehat{E, AB}$$

en constatant que $\widehat{(\vec{E}, \vec{AB})} = 0$ on peut aisément déduire de ceci que :

$$E = \frac{V_A - V_B}{d}$$

V_A et V_B sont exprimées en (V) ; d en (m) ; E en (V/m)

Exemple : représentation du champ et de la force électrique entre les plaques d'un condensateur .



2.6 Energie potentielle ou électrostatique

On appelle **énergie potentielle ou électrostatique en un point A**, la grandeur notée E_{Pel} tel que :

$$E_{Pel} = qV_A + cte$$

q est en coulomb(C) ; V_A (V) ; E_{Pel} (J)

Sachant que par ailleurs (classe de première) que le travail

$$W = \vec{F} \cdot \vec{AB} = q(V_A - V_B)$$

ceci nous conduit à obtenir $W_{AB} = E_{Pel_A} - E_{Pel_E}$ (a démontrer).

PDF Compressor Free Version

Exercice d'application 1

Un proton H^+ est placé entre deux plaques planes et parallèles distantes de 5 cm et entre lesquelles existe une ddp = 2 V.

- 1) calculer l'intensité de la force électrostatique
- 2) calculer l'intensité de la force électrostatique à laquelle le proton est soumis.
- 3) comparer cette force au poids du proton puis conclure. $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} kg$

Corrigé:

1) $\vec{F} = q\vec{E}$ ceci nous permet d'écrire

$$F = |q|E = |q| \frac{V_A - V_B}{d} \quad \text{AN : } F = 6,4 \cdot 10^{-18} N$$

2) $p = mg$ AN: $P = 1,67 \cdot 10^{-26} kg$

3) en faisant le rapport de F par P nous obtenons $\frac{F}{P} = 3,83 \cdot 10^8$ qui permet de conclure que la force $F \gg P$. Dans la plupart des cas, le poids sera négligé devant la force magnétique.

3 Forces et champs magnétiques

3.1 Les forces magnétiques

3.1.1 Définition

On appelle **force magnétique**, une force exercée ou subie grâce à l'existence d'un champ magnétique

3.1.2 Les aimants

On appelle aimant, toute substance capable d'attirer le fer et certains de ses alliages. Les propriétés magnétiques d'un aimant ne se manifestent généralement qu'au niveau de ses extrémités appelées pôles (Nord et Sud). Les pôles de même nom se repoussent tandis que les pôles de nom différents s'attirent.

3.2 Les champs magnétiques

3.2.1 Définition

PDF Compressor Free Version

On appelle champ magnétique, toute région de l'espace dans laquelle tout objet ferromagnétique s'y trouvant subit l'action d'une force magnétique.

En tout point d'un champ magnétique, il existe une grandeur appelée vecteur champ magnétique et noté \vec{B} tel que ses caractéristiques sont les suivantes :

- Le point d'application M auquel s'exerce le champ
- la direction droite
- sens (du sud vers le nord) d'un aimant
- son module (il varie en fonction de la nature de l'objet qui crée le champ)

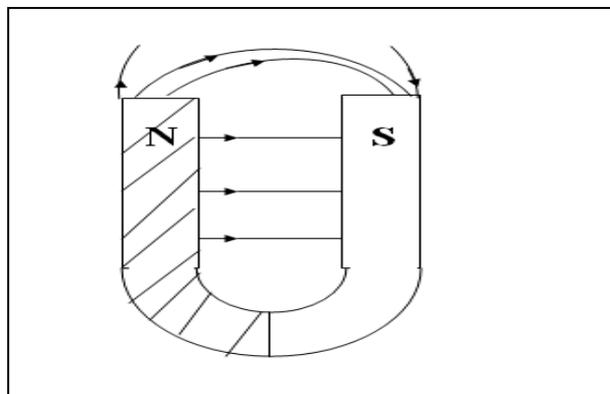
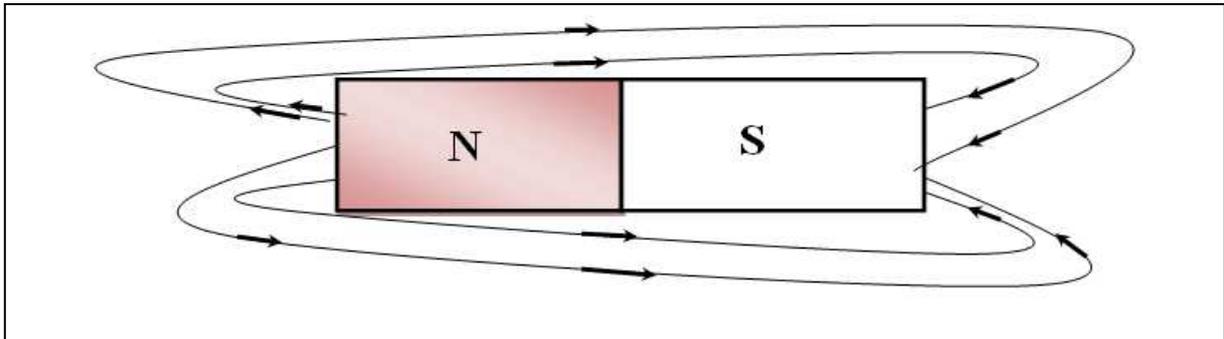
3.2.2 Les lignes de champ

Ce sont des courbes qui en chacun de leurs points sont tangentes au vecteur champ magnétique. Elles ont le même sens que le vecteur champ magnétique.

L'ensemble des lignes de champs est appelée spectre magnétique.

Illustration : Spectre de champ magnétique d'un barreau aimanté et d'un aimant en

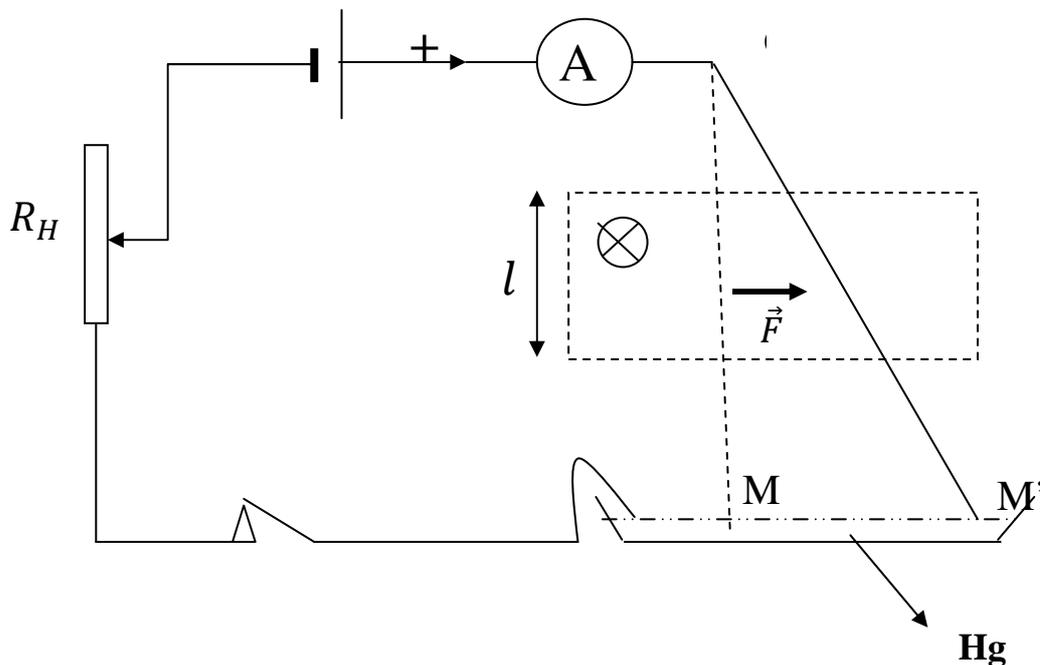
U



Remarque : On appelle **Champ magnétique uniforme**, toute région de l'espace où les lignes de champs sont parallèles ; le vecteur champ \vec{B} est constant en tout point.

3.3 Interaction d'un champ magnétique avec un courant électrique : La loi de Laplace

Lorsqu'un conducteur OM placé dans un champ magnétique \vec{B} est parcouru par un courant électrique d'intensité I , il est soumis à l'action d'une force \vec{F} appelée **force de Laplace**.



Enoncé de la loi de Laplace :

Une portion rectiligne de conducteur de longueur « a » parcourue par un courant d'intensité I et placée dans un champ magnétique uniforme \vec{B} , est soumise à une force électromagnétique uniforme \vec{F} , est soumise à une force électromagnétique \vec{F} dite de Laplace appliquée au milieu de la portion et donnée par l'expression :

$$\vec{F} = i\vec{L} \wedge \vec{B}$$

Ses caractéristiques sont tel que :

- Le point d'application : milieu de l'élément du circuit qui baigne effectivement dans le champ magnétique.

➤ La direction est orthogonale au plan formé par les vecteurs \vec{L} , \vec{B} et \vec{F} soit direct.

➤ L'intensité est donnée par la relation : $F = iLB \sin(\widehat{IL, B})$

$$F(N) ; I(A) ; L(m) ; B(T)$$

Remarques

- Le sens de $I\vec{L}$ est celui de I
- Le sens de la force de Laplace est donné par les règles des trois doigts de la main droite.

3.4 Interaction entre un champ magnétique et une charge électrique : La force de Lorentz

Une particule chargée de charge q en mouvement avec une vitesse \vec{V} dans un champ magnétique \vec{B} est soumise à une force magnétique appelée force de Lorentz :

$$\vec{F} = q\vec{V} \wedge \vec{B} \quad F(N) ; q(C) ; B(T)$$

Des caractéristiques sont :

- Le point d'application : La particule chargée
- La direction est perpendiculaire au plan formé par \vec{V} et \vec{B}
- Le sens est tel que le trièdre \vec{V} , \vec{B} et \vec{F} soit direct.
- Le module est : $F = |q|VB \sin(\widehat{V, B})$

PDF Compressor Free Version

CHAPITRE 2: LES LOIS DE NEWTON

La dynamique est l'étude générale des lois des mouvements des corps ou des solides soumis ou non à l'action des forces extérieures. Ces forces peuvent dépendre des temps, de la position ou de la vitesse du solide, elles peuvent aussi être courantes.

1 Le principe de l'inertie

En dynamique, on s'intéresse beaucoup plus à forces extérieures appliquées à un système, c'est-à-dire aux interactions du système avec l'extérieur.

Si le système n'est soumis à aucune force extérieure, on dit qu'il est isolé.

Dans la réalité, les systèmes isolés sont rares. L'on ne rencontre que des systèmes dit pseudo-isolés, c'est-à-dire : $\sum(\vec{F}_{ext}) = \vec{0}$

1.1 Enoncé du principe

Un système libre de toute contraintes extérieures, isolé ou pseudo-isolé, en mouvement rectiligne uniforme ou au repos, conserve cet état de mouvement ou de repos aussi longtemps qu'aucune contrainte extérieure ne l'oblige à le changer.

1.2 Définition

On appelle mouvement du centre d'inertie, le mouvement d'un corps ou d'un système en l'absence de toute contrainte extérieure.

Remarque : dans l'étude d'un mouvement, il est nécessaire de définir au préalable un référentiel, de même que le système étudié.

1.3 Les référentiels galiléens

On appelle référentiel galiléen tout référentiel dans lequel les lois de la mécanique sont utilisées. Ce référentiel est rigoureusement vuie absolument au repos. On peut citer comme référentiel galiléen, le référentiel de Copernic, ou héliocentrique (centre au soleil, axes dirigés vers 3 étoiles fixes). Tout référentiel en mouvement rectiligne uniforme ou au repos par rapport au référentiel se Copernic sera galiléen. On utilisera

pour cela lorsque le mouvement est de faible amplitude, des référentiels terrestres, ou de labo, géocentriques etc.

PDF Compressor Free Version

2 Le théorème du centre d'inertie (2^{ième} loi de newton)

2.1 La loi fondamentale de la dynamique

Supposons qu'entre deux instants t_1 et t_2 , un point matériel reçoive une impulsion $\vec{I} = \vec{F}(t_2 - t_1)$, pendant que la quantité de mouvement passe de \vec{p}_1 à \vec{p}_2 pendant l'instant Δt tel que $\vec{F}(t_2 - t_1) = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$ ceci équivaut à $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$.

Etant donné que : $\vec{p} = m\vec{V}$ entraîne $\Delta \vec{p} = m\Delta \vec{V}$ ceci nous permet d'écrire $\vec{F} = m\vec{a}$

\vec{F} étant la somme de toutes les forces appliquées sur le système, on peut écrire

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a} \quad F(\text{N}) ; m(\text{Kg}) ; a(\text{m/s}^2).$$

Attention: cette relation n'est valable que pour des vitesses relativement faibles c'est-à-dire inférieures à 0,14 C.

Où C est la vitesse de la lumière $C=3.10^8$ m/s.

Enoncé du théorème fondamental de la dynamique :

Dans un référentiel galiléen, le produit de la masse d'un point matériel entre deux instants t_1 et t_2 par la variation temporelle de sa vitesse est égale à la force qui lui imprime cette vitesse entre 2 instants.

2.2 Dynamique du solide en translation : Théorème du centre d'inertie (TCI)

Du point de vue de la dynamique, un solide de masse M en mouvement de translation est équivalent à un point matériel de même masse et de même vitesse V. Il est donc par conséquent possible pour ce solide d'appliquer en son centre d'inertie la loi fondamentale de la dynamique.

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = m\vec{a}_G \text{ entraîne } \vec{F} = m\vec{a}_G$$

Sous cette forme, la LFD devient le TCI. $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$

Remarque : la méthode de résolution générale des problèmes de mécanique est la suivante :

- a. Définition du système
- b. Choix du référentiel (généralement galiléen dans notre cas)

- c. Représentation du système dans le référentiel choisi
PDF Compressor Free Version
 d. Inventaires de toutes les forces extérieures appliquées au système.
 e. Applications des lois et résolution des équations.

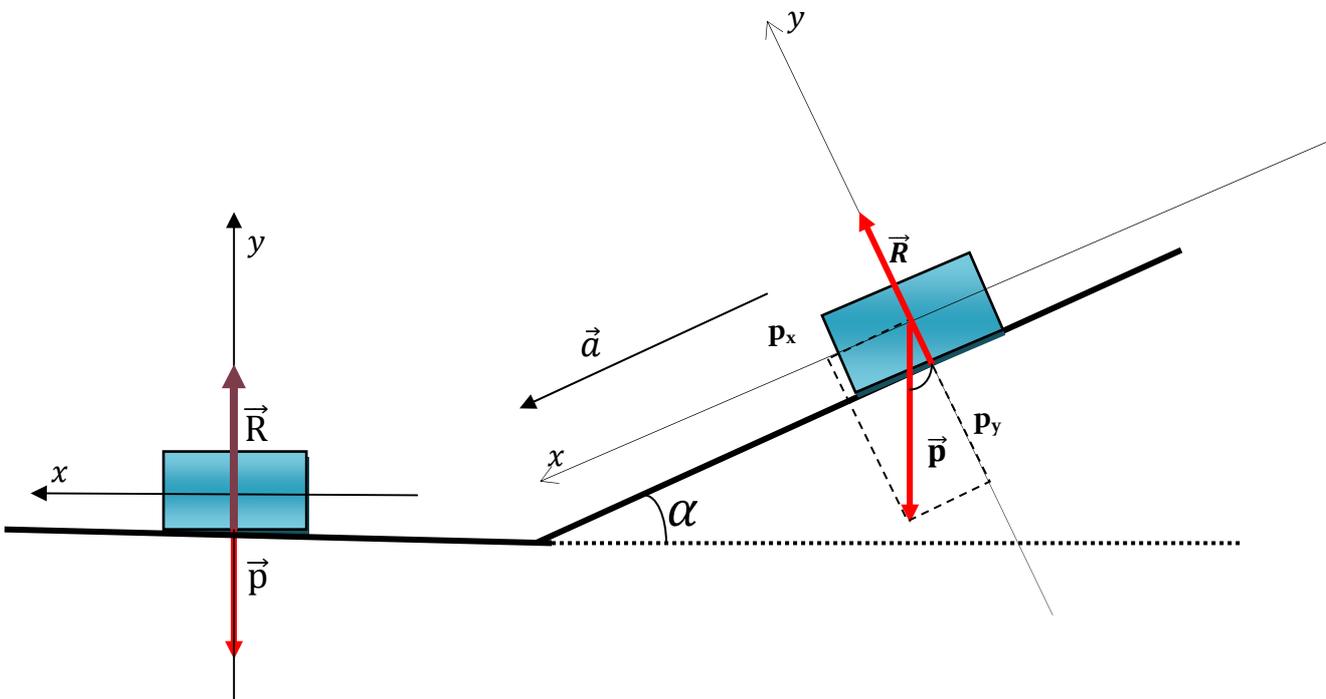
Exercices d'applications :

Un solide de masse M abandonné sans vitesse initiale glisse en translation le long de la ligne de plus grande pente s'un plan incliné de α par rapport à l'horizontale. Au bout d'un certain temps, il atteint le bas du plan incliné et poursuit sa route sur le plan horizontal. ON suppose négligeables toutes les forces de frottements.

1. Déterminer l'accélération puis la nature du mouvement sur le plan incliné et sur le plan horizontal.

Résolution :

- a. Système : Solide de masse M
 b. Référentiel : Terrestre
 c. Représentation du système :



- d. Forces extérieures :
 e. Forces à distances ou de champs : le poids \vec{p} du solide.
 Forces de contact : la réaction \vec{R} du sol.

f. Applications des lois et résolution des différentes équations.

PDF Compressor Free Version

S'après la RFD $\sum \vec{F}_{est} = m \vec{a}$ on écrit donc $\vec{P} + \vec{R} = m\vec{a}$

Projection sur les axes du repère :

$$\begin{cases} p_x = ma \\ -p_y + R = 0 \end{cases}$$

On constate aussi que $\sin \alpha = \frac{p_x}{p} \Rightarrow p_x = mg \sin \alpha$.

Ceci nous amène à écrire $a = g \sin \alpha$

$a > 0$ Le mouvement du solide est rectiligne uniformément accéléré.

Sur la deuxième partie du trajet, nous avons : $\sum \vec{F}_{est} = m \vec{a}$;

$\vec{P} + \vec{R} = m\vec{a}$ par projection nous obtenons : $\vec{a} = \vec{0}$ $a=0$

Le mouvement ici est dit rectiligne uniforme.

3 Dynamique du point matériel et du solide en rotation

Un solide est en mouvement de rotation lorsque ses différents points décrivent des trajectoires circulaires par rapport à un point ou un axe fixe dans un repère donné.

3.1 Notion de moment d'inertie

3.1.1 Définition

Le moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe (Δ) est par définition la somme des produits des masses des parties ponctuelles i de ce solide par le carré de la distance de ces parties à l'axe.

$$J_{\Delta} = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots + m_n r_n^2$$

On obtient finalement $J_{\Delta} = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$

M en (Kg) ; r en (m) ; J_{Δ} en (Kg.m²)

Exercice d'application :

Déterminer le moment d'inertie d'un système formé de deux points matériels de masses respectives $m_1 = 4 \text{ kg}$, $m_2 = 7 \text{ kg}$; $r_1 = 2 \text{ m}$; $r_2 = 6 \text{ m}$ de l'axe de rotation.

AN: $J_{\Delta} = 4(2)^2 + 7(6)^2 = 268 \text{ kg/m}^2$

3.1.2 Le Théorème de Huygens

Le moment d'inertie d'un système de masse (m) par rapport à un axe de rotation quelconque (Δ) ne passant par son centre de gravité, est égal à son moment d'inertie par

rapport à un axe passant par son centre d'inertie et parallèle à (Δ) , augmenté du produit de la masse du système par le carré de la distance qui sépare les deux axes.

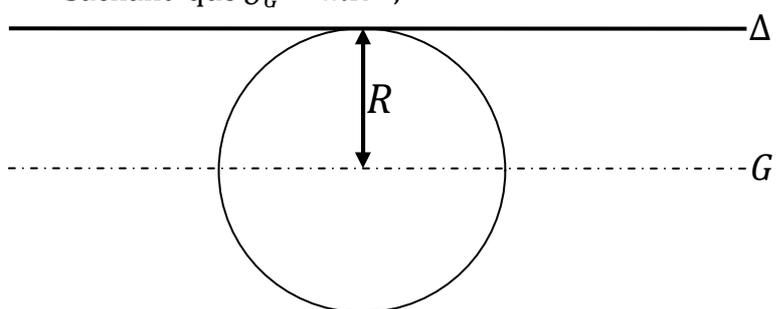
$$J_{\Delta} = J_G + md^2 \quad J_{\Delta} \text{ et } J_G \text{ en } (kg.m^2) \quad m \text{ en } (Kg) \quad d \text{ en } (m)$$

Exercice d'application :

Déterminer le moment d'inertie d'une circonférence de rayon R par rapport à un axe horizontal perpendiculaire au plan de la circonférence et passant par un point de cette circonférence.

Résolution :

Sachant que $J_G = mR^2$;



$$J_{\Delta} = J_G + md^2$$

$$R = d$$

$$J_{\Delta} = mR^2 + mR^2$$

$$J_{\Delta} = 2mR^2$$

3.2 La loi fondamentale de la dynamique(LFD) appliqué à un point matériel en mouvement de rotation.

3.2.1 Enoncé de la LFD

Le produit d'un moment d'inertie d'un système en mouvement de rotation par rapport à un axe (Δ) par la variation temporelle de sa vitesse angulaire est égale au moment de la force extérieure qui lui exprime ce mouvement.

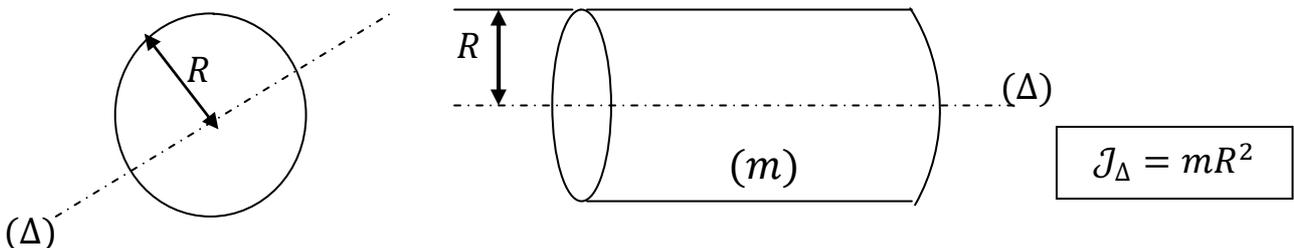
$$\mathcal{M}_{\Delta}(\sum \vec{F}_{ext}) = J_{\Delta}.\ddot{\theta}$$

$\ddot{\theta}$ (rad/s²) Accélération angulaire

(kg.m²) Moment d'inertie du système.

3.2.2 Quelques moments d'inertie

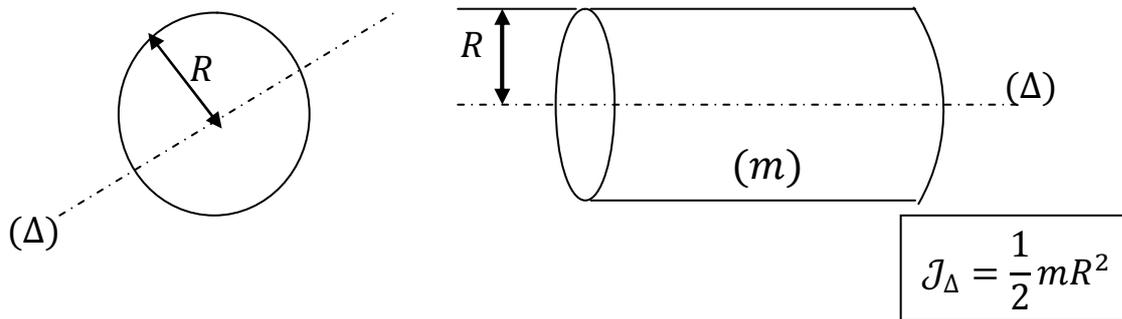
3.2.2.1 Circonférence pesante ou cylindre plein



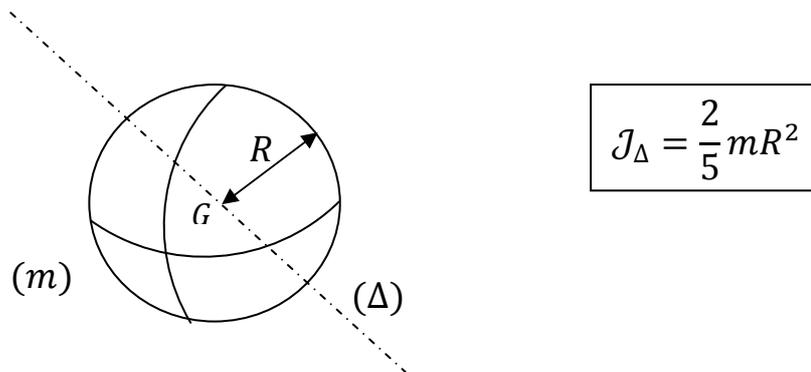
$$J_{\Delta} = mR^2$$

3.2.2.2 Disque plein ou cylindre homogène plein

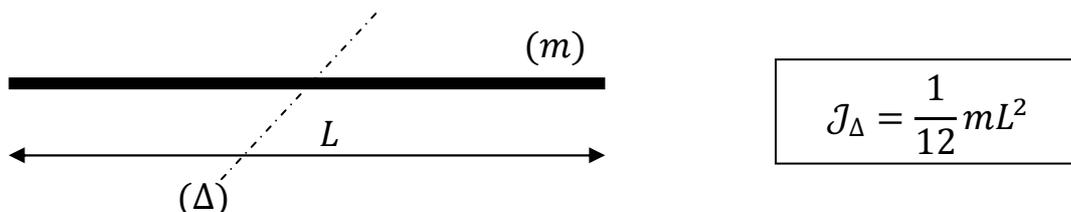
PDF Compressor Free Version



3.2.2.3 Sphère homogène pleine



3.2.2.4 Tige homogène de longueur l



4 Enoncé du principe des actions réciproques (3^{ème} loi de Newton)

Lorsqu'un solide A exerce sur un solide B une force $\vec{F}_{A/B}$, B exerce en même temps une force $\vec{F}_{B/A}$ sur A de même direction, de même intensité et de sens contraires.

TAF : exercices 16 ;17 ;18 ;22 ;13 ;27 pages 48 à 51

CHAPITRE 3: Application des lois de newton

1 Applications aux mouvements rectilignes

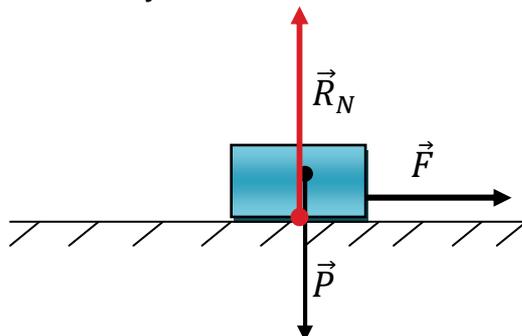
1.1 Solide en mouvement sur le plan horizontal

Un solide se déplace sur une petite piste horizontale ; sa vitesse passe de 0 à 10m/s en $t = 5\text{s}$; $m = 1\text{kg}$.

1. En l'absence de tout frottement, donner la force de traction et calculer son travail au terme de la distance parcourue.
2. La vitesse de 10m/s étant maintenu, l'ensemble des forces de frottement opposées au déplacement est de $F = 150\text{N}$
 - 2.1. Déterminer la nouvelle force de traction
 - 2.2. Déterminer la durée du trajet se faisant sur 1 km
 - 2.3. Déterminer le travail de toutes les forces appliquées au solide
3. Le solide aborde une dernière phase, ralentit et s'arrête complètement après 200 m
 - 3.1. Donner son accélération
 - 3.2. Donner la force de freinage
 - 3.3. Donner la durée de la phase

Résolution :

1. Système : Solide
Référentiel : Terrestre
Représentation du système



➤ Force de traction :
PDF Compressor Free Version

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G \quad \vec{R}_N + \vec{P} + \vec{F} = m\vec{a}_G$$

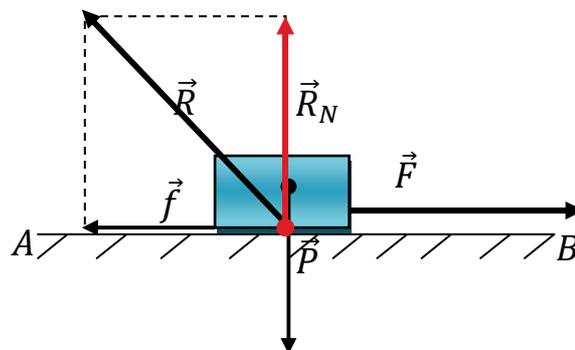
Or $v = at + v_0$ entraîne que $a = \frac{v-v_0}{t} = \frac{v}{t}$ donc $F = m\frac{v}{t}$ d'où $F = 2N$

➤ Travail de \vec{F}

$$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F \cdot AB = F \cdot x$$

$$\text{Or } x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}\frac{v}{t}t^2 = \frac{1}{2}vt \quad \text{donc} \quad W_{AB}(\vec{F}) = \frac{1}{2}Fvt \quad W_{AB}(\vec{F}) = 50 J$$

2.



2.1. Application du Théorème de l'énergie cinétique

$\Delta E_C = \sum W(\vec{F}_{ext})$ ceci nous entraîne à dire que :

$$\frac{1}{2}mV_f^2 - \frac{1}{2}mV_i^2 = W(\vec{f}) + W(\vec{P}) + W(\vec{F})$$

$$V_i = V_f \quad \text{donc } -f \cdot AB + F \cdot AB = 0 \text{ on obtient } F = f = 150 N$$

2.2. Le mouvement étant rectiligne uniforme,

$$t = \frac{AB}{V} = 100 s$$

2.3. Calcul des travaux de s forces :

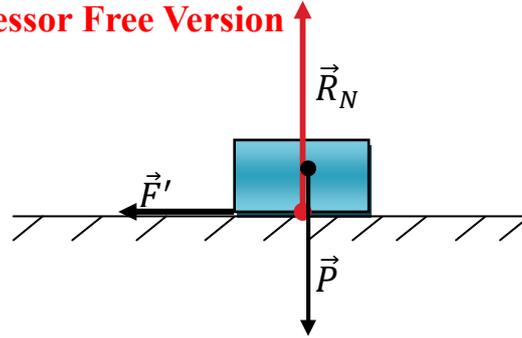
$$W_{AB}(\vec{F}) = F \cdot AB = 1,5 \cdot 10^5 J$$

$$W_{AB}(\vec{f}) = -f \cdot AB = -1,5 \cdot 10^5 J$$

$$W_{AB}(\vec{R}) = 0$$

$$W_{AB}(\vec{P}) = 0$$

3. PDF Compressor Free Version



3.1. $V_f^2 - V_i^2 = 2a\Delta x$ entraîne que $a = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2\Delta x} = -0,25 \text{ m/s}^2$

3.2. L'Application du TCI nous donne :

$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G \quad \text{ceci revient à } -F' = ma \quad \text{AN : } F' = 0,25N$$

3.3. $v = at + v_0$ d'où $t = \frac{v - v_0}{a}$ AN : $t = 40 \text{ s}$

1.2 Mouvement d'un solide sur un plan incliné

Un mobile lancé à la vitesse de 20 m/s aborde un plan incliné à 10%

1. Déterminer l'accélération
2. Donner la distance parcourue avant l'arrêt
3. Donner la durée du parcours.

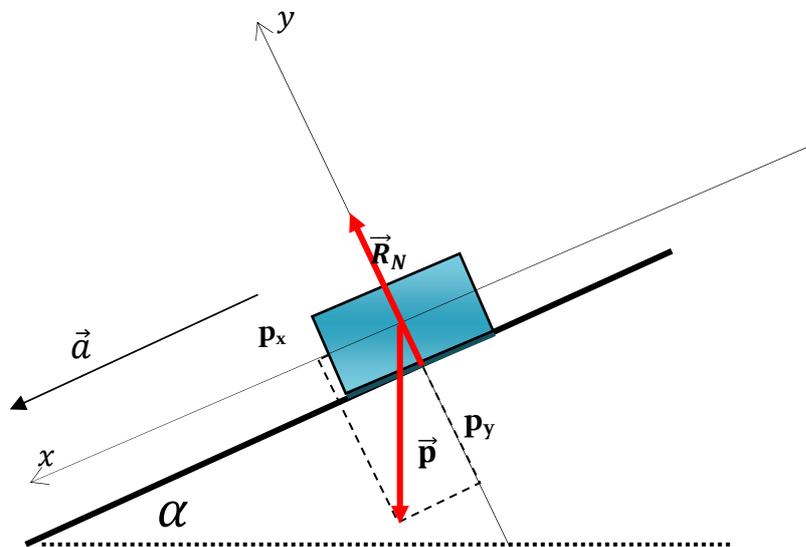
On donne $m = 500 \text{ kg}$

Résolution :

1. Système : Solide

Référentiel : Terrestre

Représentation du système



1. Le TCI nous donne $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$ ce qui entraine $\vec{P} + \vec{R}_N = m\vec{a}_G$

Par projection on obtient $\begin{cases} -p_y + R_N = 0 & (1) \\ P_x + 0 = -ma_G & (2) \end{cases}$

On aura donc $p_x = p \sin \alpha$ d'où $a_G = -g \sin \alpha$ AN : $a_G = -1m/s^2$

Le mouvement est rectiligne uniformément retardé.

2. $\Delta x = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2a}$ AN : $\Delta x = 200 \text{ m}$

3. $v = at + v_0$ d'où $t = \frac{v - v_0}{a}$ AN : $t = 20 \text{ s}$

1.3 Mouvement de chute libre

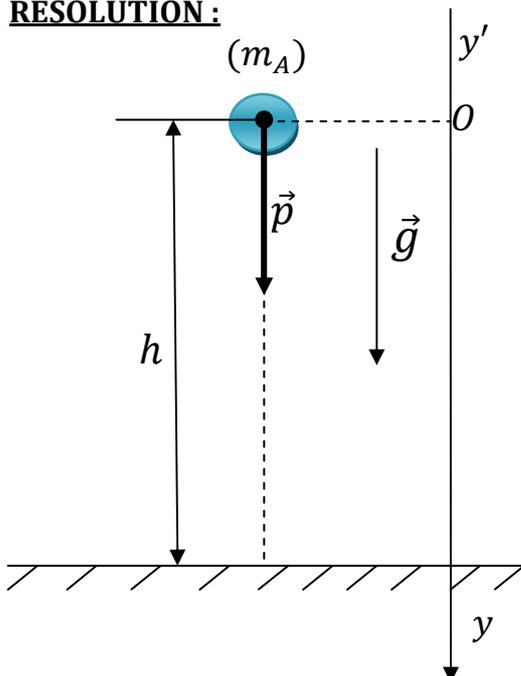
On appelle chute libre : le mouvement d'un corps soumis à la seule action de son poids.

NB : ce mouvement n'est pas toujours vertical

Exercice : une bille A de masse m_A est lâchée sans vitesse initiale d'une hauteur h pris comme référence.

1. Etablir les équations paramétriques du mouvement de cette bille
2. Déduire son équation horaire
3. Calculer le temps mis pour son parcours
4. Calculer sa vitesse à son arrivé sur le sol
5. Application numérique : $m = 200g$; $g = 10 \text{ N/kg}$; $h = 3m$

RESOLUTION :



1.

Représentation du système (voir plus haut)

$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$ L'unique force qui s'exerce sur le système choisi est le poids du solide d'où $\vec{p} = m\vec{a}_G$ ceci nous permet d'écrire $\vec{a} = \vec{g}$. Écrivons les équations paramétriques.

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = g \end{cases} \quad \vec{V}_0 \begin{cases} V_{0x} = 0 \\ V_{0y} = 0 \end{cases} \quad \vec{V} \begin{cases} V_x = 0 \\ V_y = gt \end{cases} \quad \overline{OM} \begin{cases} x = 0 \\ y = \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

2. Son équation horaire est :

$$y = \frac{1}{2}gt^2$$

3. Temps de parcours

Il arrive sur le sol lorsque $y = h$ d'où $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$

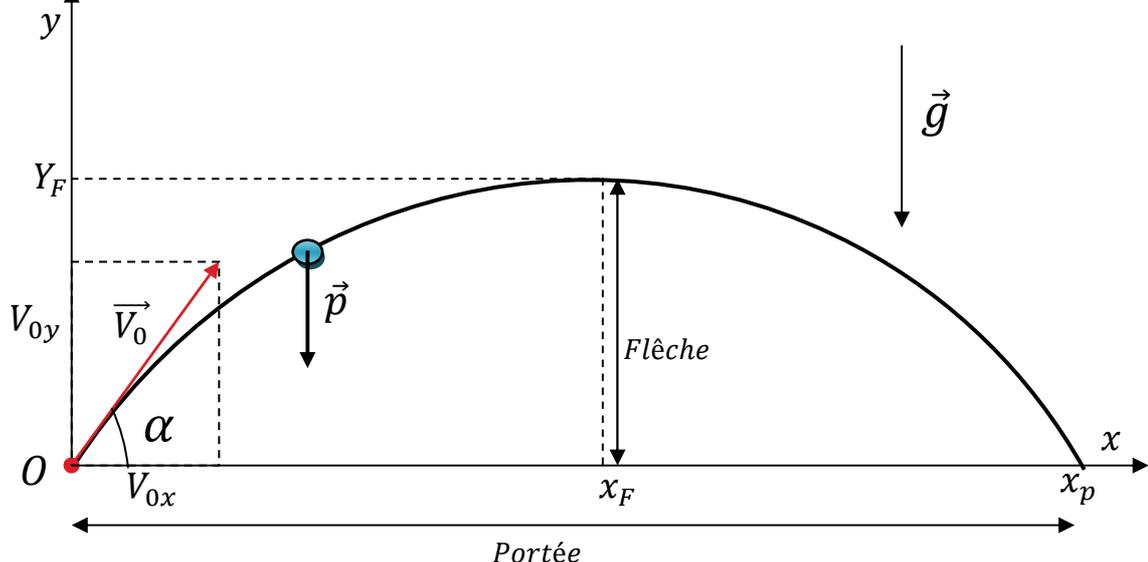
4. Vitesse à l'arrivée sur le sol : nous partons de l'équation paramétrique de la vitesse

$$V = g \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2h}{g}} g^2 = \sqrt{2gh}$$

2 Applications aux mouvements plans

2.1 Mouvement d'un projectile dans le champ de pesanteur

Un projectile S de masse m est lancée dans le champ de pesanteur à partir d'un point O considéré comme origine des espaces avec une vitesse V_0 faisant un angle α avec l'horizontale.



On appelle portée, l'abscisse x_p d'un projectile, le point P d'ordonnée nulle (c'est le point de chute du projectile). On appelle flèche, la hauteur maximale h atteinte par le projectile.

1. Déterminer les équations horaires et de la trajectoire de ce projectile.
2. Calculer la portée et la flèche

Résolution :

1. Système : Solide

Référentiel : Terrestre

Représentation du système

Le TCI nous donne $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$ ce qui entraîne $\vec{p} = m\vec{a}_G$ d'où $\vec{a} = \vec{g}$

$$\vec{a} \left| \begin{array}{l} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{array} \right. \quad \vec{V}_0 \left| \begin{array}{l} V_{0x} = V_0 \cos \alpha \\ V_{0y} = V_0 \sin \alpha \end{array} \right. \quad \vec{V} \left| \begin{array}{l} V_x = V_0 \cos \alpha \\ V_y = -gt + V_0 \sin \alpha \end{array} \right. \quad \overrightarrow{OM} \left| \begin{array}{l} x = V_0 t \cos \alpha \\ y = -\frac{1}{2}gt^2 + V_0 t \sin \alpha \end{array} \right. \quad (1)$$

Pour déterminer l'équation de la trajectoire on remplace le temps dans l'équation horaire $y(t)$

$$(1) \Rightarrow t = \frac{x}{V_0 \cos \alpha} \quad (3) \quad (3) \text{ Dans (2) nous donne}$$

$$y = -\frac{1}{2}g \frac{1}{V_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + V_0 \frac{x}{V_0 \cos \alpha} \sin \alpha \text{ ce qui nous donne au final}$$

$$y = -\frac{1}{2}g \frac{1}{V_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + x \tan \alpha$$

2. Calcul de la flèche et de la portée :

La portée correspond à l'ordonnée nul donc $y = 0$. Soit la portée de point

$P(0 ; x_p)$ en posant $y = 0$ dans l'équation de la trajectoire on obtient

$$0 = -\frac{1}{2}g \frac{1}{V_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + x \tan \alpha \Rightarrow x \left(-\frac{1}{2}g \frac{1}{V_0^2 \cos^2 \alpha} x + \tan \alpha \right) = 0$$

$$\text{Donc après calcul on obtient } x = 0 \text{ ou } x = \frac{2V_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g} = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

On retiendra donc que la portée à pour valeur $\frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

Calcul de la flèche :
PDF Compressor Free Version
Première méthode :

La trajectoire étant parabolique, l'abscisse de la flèche est égal à la moitié de celle de la portée, donc $x_F = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{2g}$ nous remplaçons cette expression dans l'équation de la trajectoire, c.-à-d.

$$y = -\frac{1}{2}g \frac{1}{V_0^2 \cos^2 \alpha} \left(\frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{2g}\right)^2 + \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{2g} \tan \alpha \text{ Par transformation, on obtient}$$

$$y_F = \frac{V_0^2}{2g} \sin^2 \alpha$$

Deuxième méthode :

La portée est obtenue lorsque la vitesse s'annule. Le sommet de la trajectoire correspond donc au point pour lequel la dérivée de la trajectoire s'annule.

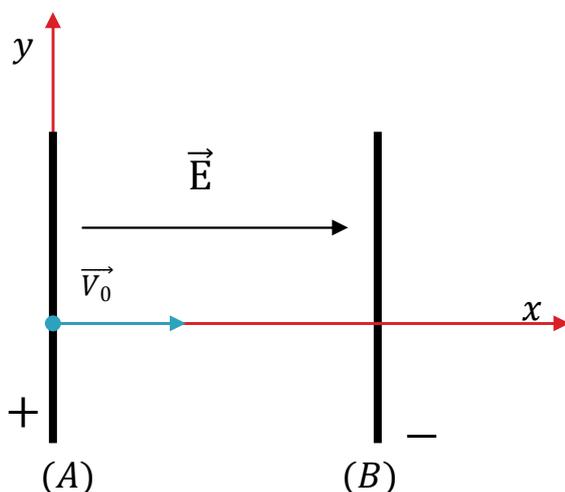
$$\frac{dy}{dx} = 0 = \frac{d}{dx} \left(-\frac{1}{2}g \frac{1}{V_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + x \tan \alpha\right)$$

Ceci nous permettra d'obtenir l'abscisse de la flèche puis son ordonnée. (le soin de cette démonstration est laissé aux apprenants).

2.2 Mouvement d'une particule chargée dans un champ électrostatique uniforme

On considère un champ électrostatique uniforme \vec{E} produit par deux plaques parallèles (A) et (B) entre lesquelles il est établi une différence de potentiel $V_A - V_B$ constante. Une particule de charge q lancée d'un point O dans le champ avec une vitesse V_0 est soumise à la force électrostatique $\vec{F} = q\vec{E}$. Le poids de la charge est négligeable devant \vec{F} .

2.2.1 V_0 Perpendiculaire aux plaques



Ecrire les équations paramétriques du mouvement.

PDF Compressor Free Version

Résolution :

Système : Particule chargée

Référentiel : Terrestre

Représentation du système (voir figure ci dessus).

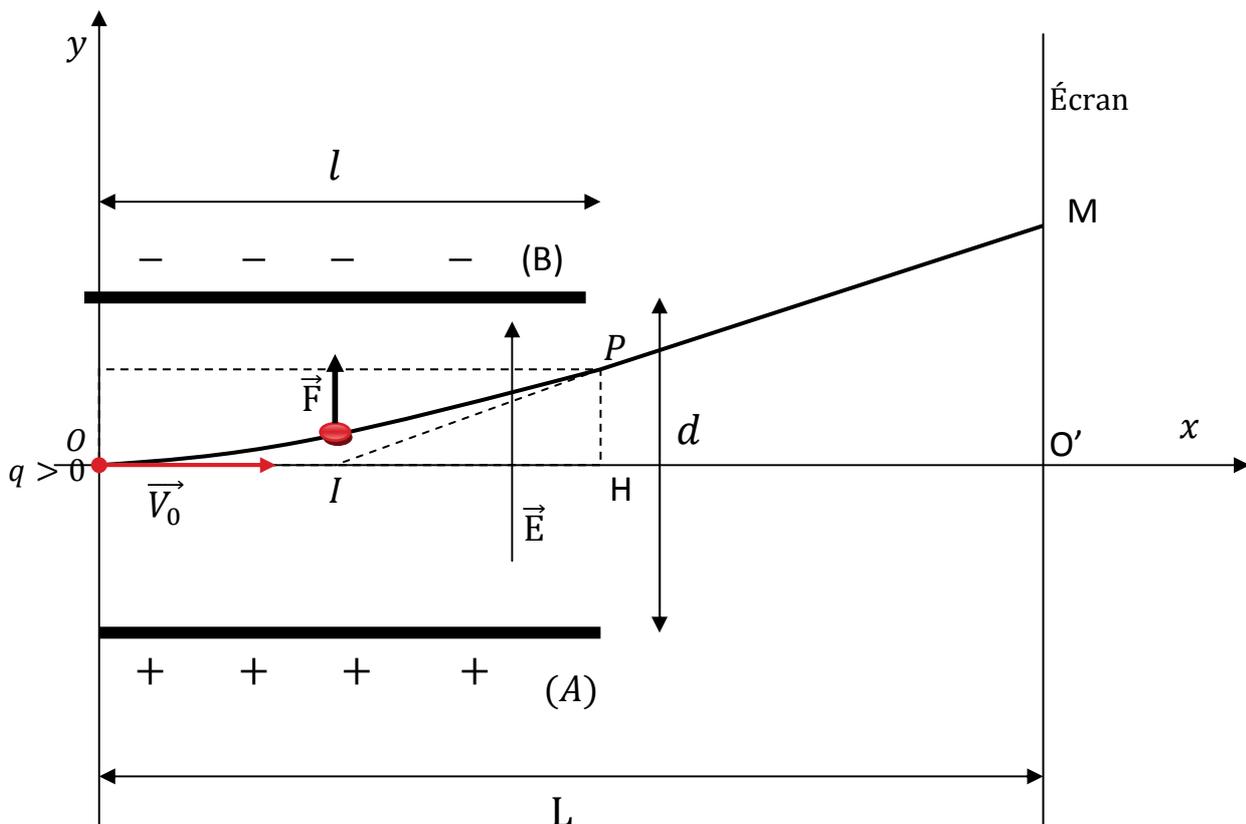
D'après le TCI $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$ notre seule force étant la force électrique $q\vec{E} = m\vec{a}$

Donc $\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$

$$\vec{a} \left| \begin{array}{l} a_x = \frac{q}{m}E \\ a_y = 0 \end{array} \right. \quad \vec{V}_0 \left| \begin{array}{l} V_{0x} = V_0 \\ V_{0y} = 0 \end{array} \right. \quad \vec{V} \left| \begin{array}{l} V_x = \frac{q}{m}Et + V_0 \\ V_y = gt \end{array} \right. \quad \overrightarrow{OM} \left| \begin{array}{l} x = \frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2 + V_0t \\ y = 0 \end{array} \right.$$

Le mouvement s'effectue suivant l'axe ox ; c'est un mouvement rectiligne uniformément varié.

2.2.2 V_0 Parallèle aux plaques



PDF Compressor Free Version

La vitesse initiale V_0 est horizontale et à l'instant $t = 0$ la particule de charge positive entre en $o(0;0)$. Ecrire les équations paramétriques du mouvement et déduire l'équation de la trajectoire. Puis calculer la déflexion ou déviation linéaire c'est-à-dire l'ordonnée de la tâche sur l'écran.

1. Système : particule chargée

Référentiel : Terrestre

Représentation du système (voir figure).

D'après le TCI nous avons $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$ n'ayant pour seule force que la force électrique nous obtenons comme accélération $\vec{a} = \frac{q}{m}\vec{E}$

$$\vec{a} \begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = \frac{q}{m}E \end{cases} \quad \vec{V}_0 \begin{cases} V_{0x} = V_0 \\ V_{0y} = 0 \end{cases} \quad \vec{V} \begin{cases} V_x = V_0 \\ V_y = \frac{q}{m}Et \end{cases} \quad \vec{OM} \begin{cases} x = V_0t \\ y = \frac{1}{2}\frac{qE}{m}t^2 \end{cases}$$

Equation de la trajectoire :

$$x = V_0t \Rightarrow t = \frac{x}{V_0} \quad \text{donc} \quad y = \frac{1}{2}\frac{qE}{m}\frac{x^2}{V_0^2}$$

2. A la sortie des armatures, on est au point P c'est-à-dire $x=l$ et $y=HP$.

Pour trouver l'ordonnée M de l'impact sur l'écran, on utilise les triangles IMO' et IPH.

On pose $\tan \alpha = \frac{PH}{IH} = \frac{O'M}{IO'}$ ce qui nous permet d'écrire $\frac{O'M}{HP} = \frac{O'I}{HI} \Rightarrow O'M = HP \frac{O'I}{HI}$

Ceci nous permet au final d'avoir $O'M = \frac{1}{2}\frac{qE}{m}\frac{l^2}{V_0^2}\frac{(L-l/2)}{l/2}$ au final on obtient

$$O'M = (L - l/2) \frac{qEl}{mV_0^2}$$

CHAPITRE 4: Application des lois de Newton aux mouvements circulaires uniformes

1 Les mouvements circulaires uniformes

On dit d'un mouvement qu'il est circulaire uniforme si :

- Sa trajectoire est un cercle
- Ses vitesses tangentielle et angulaire sont constantes.

Dans ces mouvements $a_t = \frac{dv}{dt} = 0$ et $a_n = \frac{v^2}{R}$.

Lorsqu'un mobile est animé d'un mouvement circulaire uniforme repasse par la même position à intervalles de temps réguliers.

La valeur de la période d'un mouvement circulaire uniforme est $T = \frac{2\pi}{\omega}$ ou encore

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

2 Mouvement d'un satellite dans le champ de gravitation terrestre

Un satellite de la terre est un solide de masse m évoluant sur une orbite circulaire à la distance $r = R_T + h$ du centre de la terre.

h : altitude du satellite

R_T : le rayon de la terre.

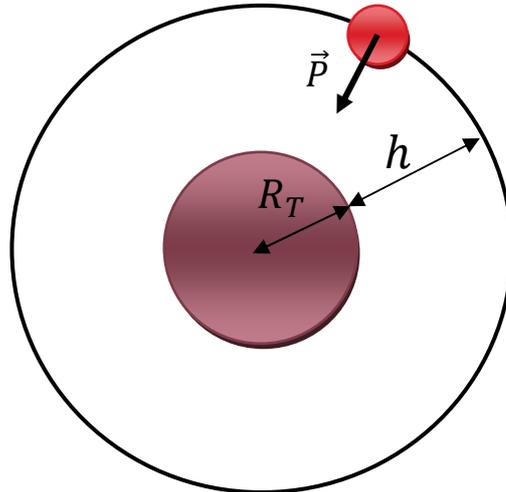
Le système considéré étant le satellite, on choisit le référentiel géocentrique ; les forces appliquées sont réduites au poids du satellite.

On appelle satellite géostationnaire, tout satellite dont la période de révolution est égale à celle de la terre. Egal à un jour sidéral, égal à 23h 56min 4 s=86164 s. ce sont des satellites qui conservent une position fixe par rapport à un observateur placé sur la surface de la terre, ils évoluent à une altitude de 35768 km au dessus de l'équateur sur une trajectoire appelé géosynchrone.

Exercice :**PDF Compressor Free Version**

Soit un satellite de la terre gravitant à une altitude h , déterminé :

1. L'expression du champ de gravitation qui s'exerce sur le satellite
2. Calculer la vitesse du satellite
3. Calculer sa période de révolution.



1. Dans la loi gravitationnelle de Newton entre 2 corps, la force d'interaction est :

$$F = \frac{\varepsilon M_T m_s}{r^2} = \frac{\varepsilon M_T m_s}{(R_T + h)^2} \quad m_s \text{ est la masse du satellite.}$$

Etant donné que $F = P = m g_h$

$$m g_h = \frac{\varepsilon M_T m_s}{(R_T + h)^2} \quad \text{ceci nous donne } g_h = \frac{\varepsilon M_T}{(R_T + h)^2}$$

Par analogie à la surface de la terre $g_0 = \frac{\varepsilon M_T}{R_T^2}$

En effectuant une division membre à membre de ces deux expressions, on obtient :

$$g_h = g_0 \frac{R_T^2}{(R_T + h)^2}$$

2. Le mouvement du satellite est circulaire uniforme. L'accélération est donc normale ou centripète ou centrale.

$$a_n = \frac{v^2}{R_T + h} = g_h \quad \text{donc } V^2 = g_h (R_T + h) = g_0 \frac{R_T^2}{R_T + h}$$

On en déduit que $V = R_T \sqrt{\frac{g_0}{R_T + h}}$

3. Etant donné que $V = (R_T + h)\omega$ avec $\omega = \frac{2\pi}{T}$

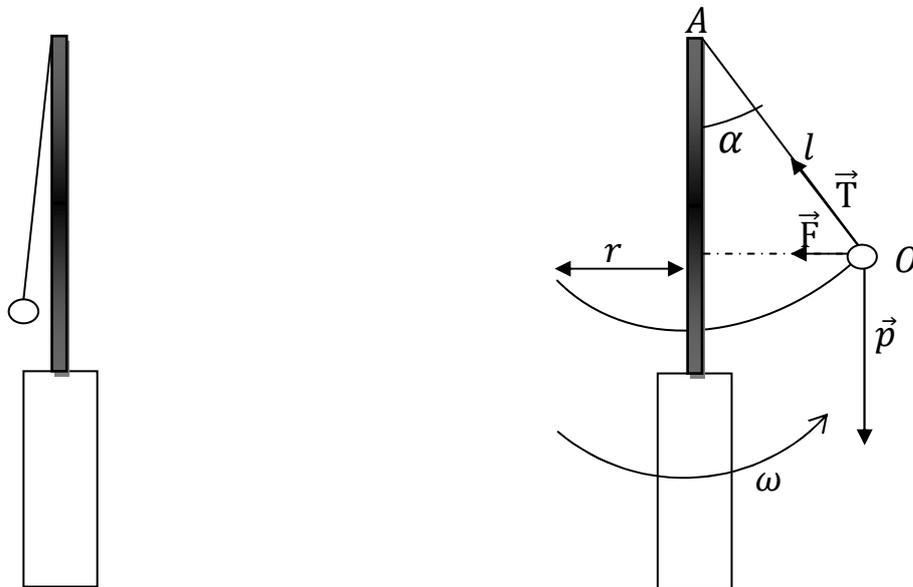
$V = \frac{2\pi}{R_T} (R_T + h) \Rightarrow T = \frac{2\pi(R_T+h)}{V}$ par calcul on obtient finalement

$$T = \frac{2\pi}{R_T} \sqrt{\frac{(R_T+h)^3}{g_0}}$$

T s'exprime en seconde

3 Le pendule conique

Considérons un point matériel m fixé à l'extrémité d'un fil inextensible de masse négligeable. L'autre extrémité du fil est fixée au point A d'une tige de l'arbre d'un moteur. L'ensemble constitue un pendule conique.



En faisant tourner le moteur, le point matériel s'écarte de la tige d'un angle α et effectue un mouvement de rotation.

Le système étant le point matériel, nous choisissons le référentiel de laboratoire. Comme forces appliquées, nous avons le poids et la tension du fil.

D'après le TCI :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$$

$$\vec{P} + \vec{T} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = m\vec{a}$$

Sachant entre autre que $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t$

PDF Compressor Free Version $\vec{a}_t = \frac{dV}{dt} = \frac{dR\omega}{dt} = 0 \Rightarrow \vec{a}_t = 0$ d'où $\vec{a} = \vec{a}_n$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(R\omega)^2}{R} = R\omega^2 \Rightarrow F = mR\omega^2$$

D'autre part $\tan \alpha = \frac{F}{P} = \frac{mR\omega^2}{mg} = \frac{R\omega^2}{g}$ avec $\sin \alpha = \frac{R}{l}$ on peut écrire

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{R\omega^2}{g} = \frac{\frac{R}{l}}{\cos \alpha} \Leftrightarrow \cos \alpha = \frac{g}{l\omega^2}$$
 sachant que $\cos \alpha \leq 1$, on peut écrire

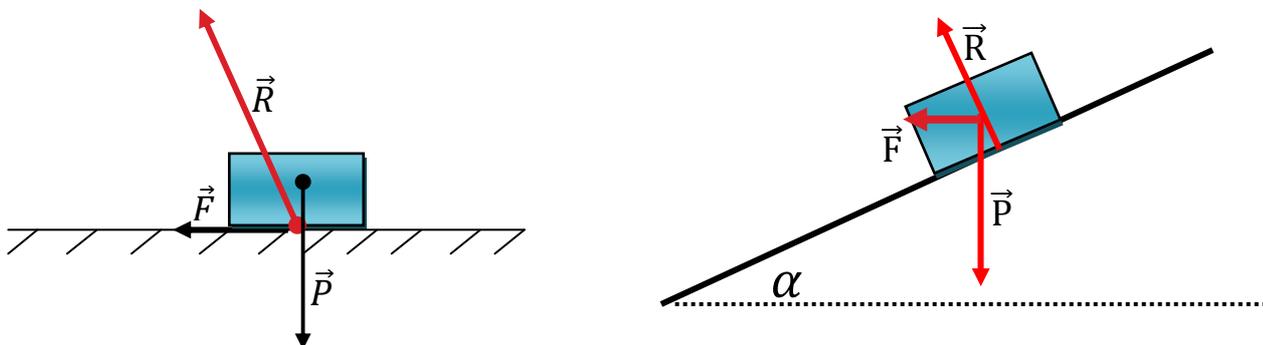
$$\frac{g}{l\omega^2} \leq 1 \Rightarrow \omega \geq \sqrt{\frac{g}{l}} \text{ en posant } \sqrt{\frac{g}{l}} = \omega_0 \text{ la boule s'écarte de la tige pour toute}$$

vitesse angulaire $\omega \geq \omega_0$. La tension du fil est :

$$\cos \alpha = \frac{p}{T} = \frac{mg}{T} \Rightarrow T = \frac{mg}{\cos \alpha} = \frac{mg}{\frac{g}{l\omega^2}} \Rightarrow T = ml\omega^2$$

4 Mouvement d'un véhicule dans un virage

Sur une piste horizontale et lisse, un véhicule lancé à une vitesse constante, ne peut effectuer un virage. Pour négocier le virage, il faut les conditions suivantes : soit la route admet des frottements, soit elle est inclinée par rapport à l'horizontale d'un angle α .



Considérons la situation où la piste est relevée d'un angle α par rapport à l'horizontale. Le système est le véhicule. Notre référentiel étant galiléen, on peut écrire :

$$\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}$$

$$\vec{P} + \vec{R} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F} = m\vec{a} \text{ } F \text{ étant la force d'inertie}$$

Pour le raisonnement utilisé plus haut, $\vec{F} = m\vec{a}_n \Rightarrow F = ma_n = m \frac{v^2}{R}$ où R est le rayon de la

trajectoire (virage) $\tan \alpha = \frac{F}{P} = \frac{\frac{v^2}{R}}{mg} = \frac{v^2}{Rg}$

PDF Compressor Free Version

CHAPITRE 5: Généralités sur les systèmes oscillants

1 Notions

Un phénomène est dit périodique ou oscillatoire lorsqu'il se répète identique à lui-même pendant des intervalles de temps successifs et égaux appelé période.

Si le phénomène est rapide, on l'appelle mouvement vibratoire et il est caractérisé par sa fréquence. $f = \frac{1}{T} = N$ f en hertz (Hz) ; T en (s)

N représente le nombre de période par unité de temps.

Un mouvement vibratoire est dit sinusoïdal lorsque l'élongation du solide en mouvement ou d'un point vibrant est une fonction sinusoïdale de temps.

$$\begin{cases} x = x_m \cos(\omega t + \varphi) \\ y = y_m \sin(\omega t + \varphi) \end{cases}$$

x ; y : Représente l'élongation

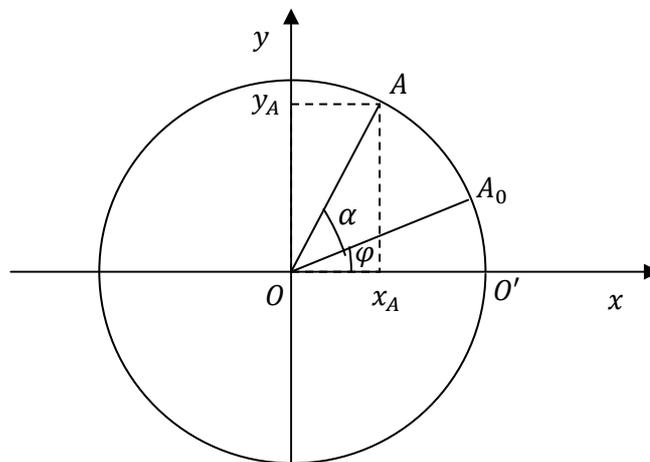
x_m ; y_m : représente l'amplitude ou ;l'élongation maximale

ω (rad/s) : est la pulsation ; $\omega t + \varphi$: est la phase du mouvement ;

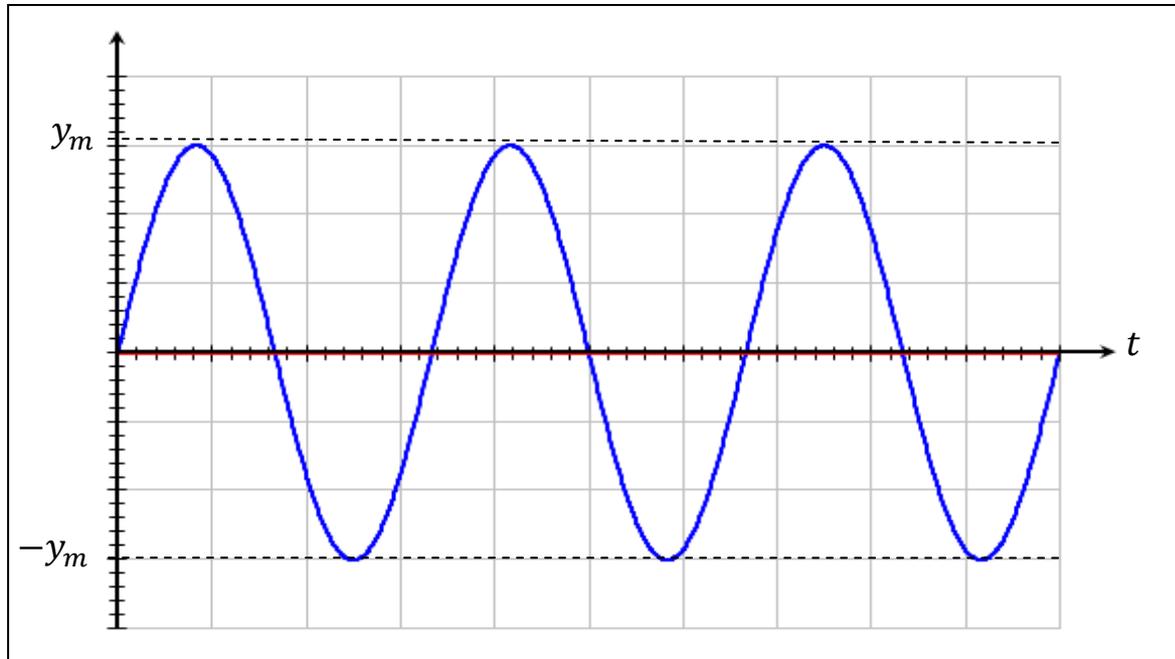
φ (rad) : la phase initiale.

Pour les commodités de travail, on représentera une fonction sinusoïdale de temps, équivalente à un mouvement vibratoire par un vecteur tournant \vec{OA} , vecteur de Fresnel dont le caractéristiques sont les suivantes.

Soit $x = \cos(\omega t + \varphi)$ on posera $\vec{u} = \vec{OA}$; $U_m = OA$; $\varphi = (\vec{Ox}, \widehat{\vec{OA}_0})$



D'après notre schéma nous pouvons écrire
 $\cos(\alpha + \varphi) = \frac{x_A}{OA} \Rightarrow x_A = OA \cos(\alpha + \varphi)$ sachant que $\alpha = \omega t$ on peut écrire
 $x_A = x_m \cos(\omega t + \varphi)$ ou encore $y_A = y_m \sin(\omega t + \varphi)$
 Le tracé de la deuxième expression nous donne :



2 Construction de FRESNEL

2.1 Le vecteur de FRESNEL

Toute fonction sinusoïdale de la forme $y = a \cos(\omega t + \varphi)$ ou encore $y = a \sin(\omega t + \varphi)$, peut être représentée au moyen d'un vecteur \vec{OM} tournant dans le sens trigonométrique avec une vitesse angulaire ω . Appelé vecteur de FRESNEL. Sa norme $\|\vec{OM}\|$ est égal à l'amplitude de la fonction sinusoïdale et que fait \vec{OM} avec l'axe des abscisses correspond à la phase φ .

Exemple : Faire la construction de FRESNEL des deux fonctions suivantes :

$$y_1 = 3 \sin(100\pi t) ; y_2 = 4 \sin(100\pi t + \frac{\pi}{2})$$

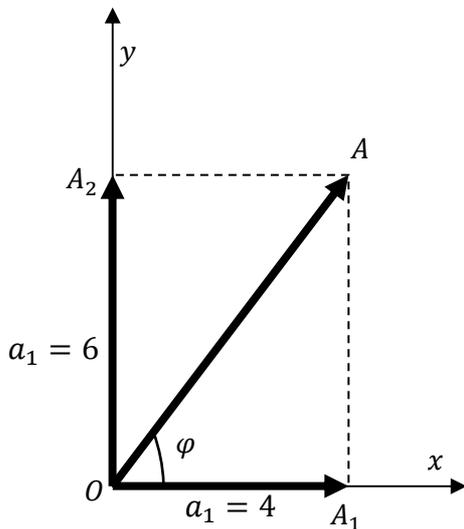
2.2 Somme de deux fonctions sinusoïdales

Soit les fonctions $y_1 = a_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ et $y_2 = a_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$ D'après le théorème de FOURRIER, il existe toujours une fonction somme de deux fonctions tel que $y = y_1 + y_2$. La fonction y s'écrit sous la forme $y = a \cos(\omega t + \varphi)$ ou a et φ sont à déterminer.

Exemple : faire la construction de FRESNEL et déterminer la fonction somme des deux fonctions suivantes :

a) $y_1 = 4 \sin(100\pi t)$; $y_2 = 6 \sin(100\pi t + \frac{\pi}{2})$

b) $y_1 = 4 \cos(100\pi t)$; $y_2 = 3 \cos(100\pi t - \frac{\pi}{2})$



$$a = OA$$

$$OA^2 = OA_1^2 + OA_2^2 \Rightarrow OA = 2\sqrt{13}$$

$$\tan \varphi = \frac{OA_2}{OA_1} = \frac{3}{2} \Rightarrow \varphi = 56,30^\circ = 0,98 \text{ rad}$$

D'où

$$y = 2\sqrt{13} \sin(100\pi t + 0,98)$$

La question deux sera résolu par l'apprenant.

Exercice 136 Pages 129.

REMARQUE 1 : De manière générale lorsque l'on effectue la somme de deux fonctions le déphasage et l'amplitude sont respectivement :

$$\tan \varphi = \frac{a_1 \sin \varphi_1 + a_2 \sin \varphi_2}{a_1 \cos \varphi_1 + a_2 \cos \varphi_2} \quad \text{et} \quad y = \sqrt{y_1^2 + y_2^2 + 2y_1y_2 \cos(\widehat{y_1, y_2})}$$

REMARQUE 2 : si l'amplitude des deux fonctions sont identique l'on peut utiliser l'expression mathématique .

$$\cos p + \cos q = 2 \cos\left(\frac{p+q}{2}\right) \cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

$$\sin p + \sin q = 2 \sin\left(\frac{p+q}{2}\right) \cos\left(\frac{p-q}{2}\right)$$

2.3 Comparaison des fonctions

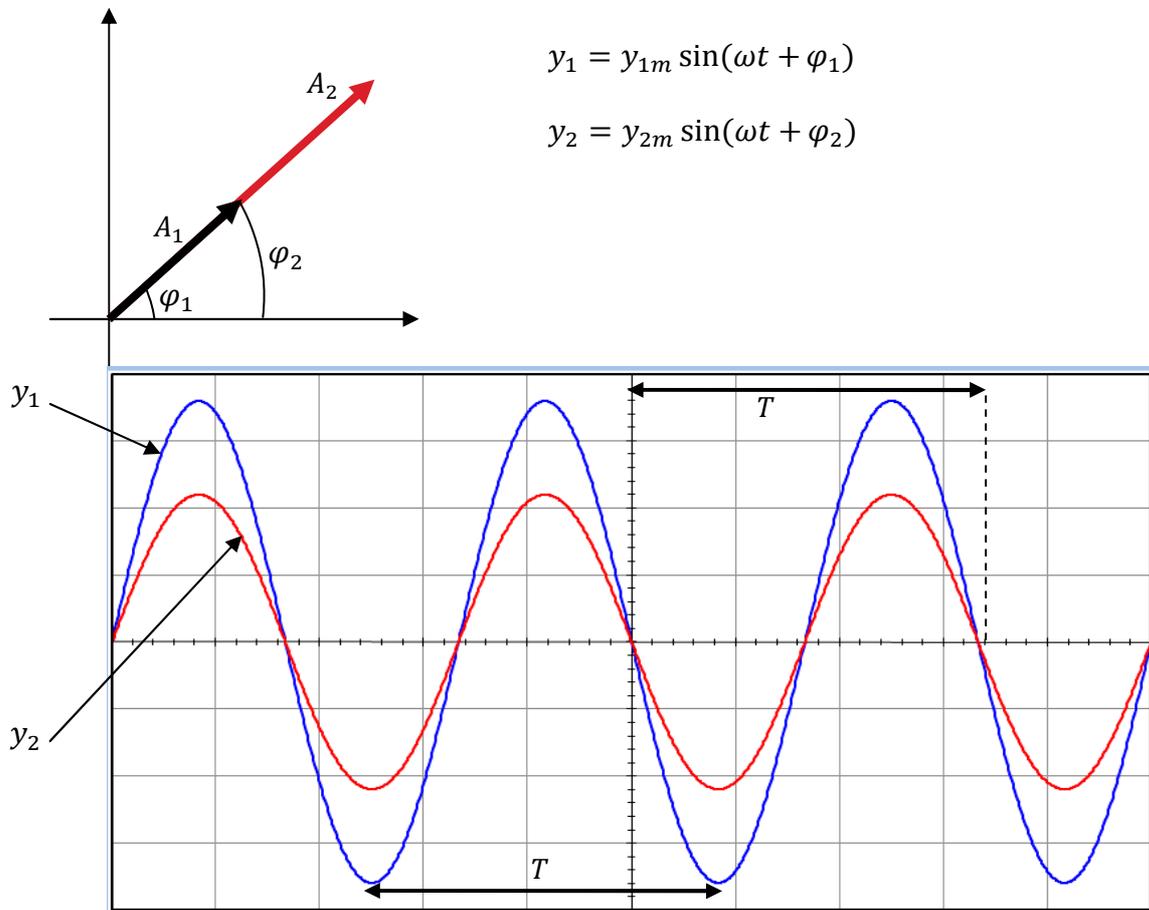
On appelle déphasage ou déphasage angulaire entre deux fonctions y_1 et y_2 cde phases respectives φ_1 et φ_2 , la grandeur notée $\Delta\varphi$ tel que : $\Delta\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1|$.

Ce déphasage équivaut au décalage horaire, c-a-d le temps mis par l'onde pour repasser au même point. $\theta = \frac{\Delta\varphi}{\omega}$.

- Si $\Delta\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1| > 0$, φ_2 est en avance sur φ_1 .
- Si $\Delta\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1| < 0$ φ_2 est en retard sur φ_1 .

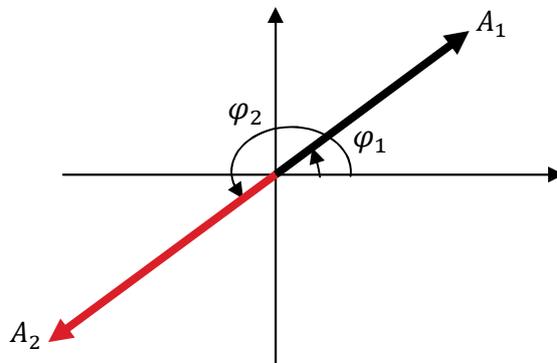
2.3.1 Si $\Delta\varphi = 0$ ou $\Delta\varphi = 2k\pi$
PDF Compressor Free Version

Les deux fonctions sont dites en phases

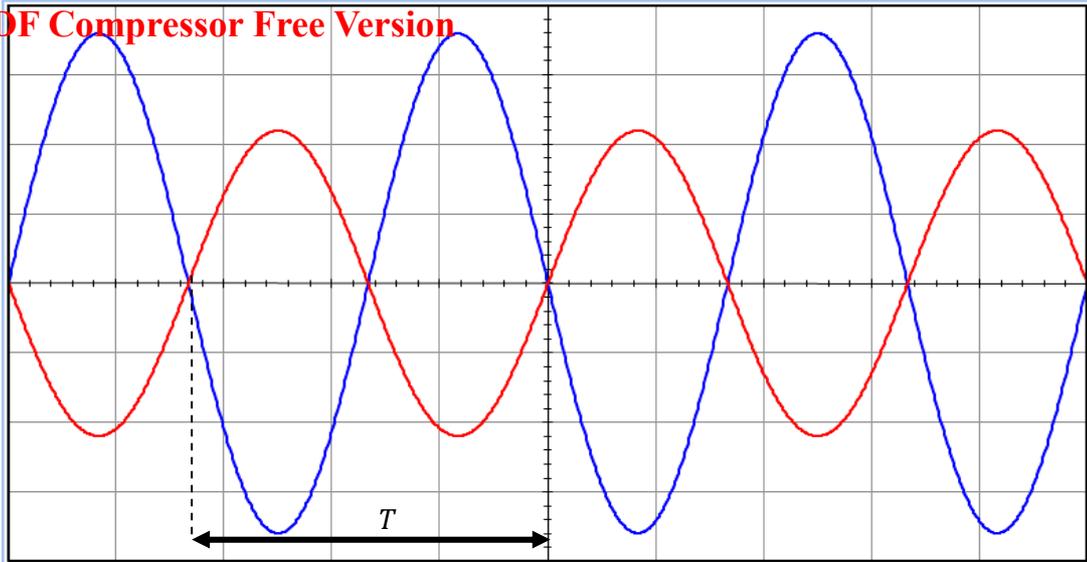


2.3.2 $\Delta\varphi = \pi + 2k\pi$

Les deux fonctions sont dites en opposition de phase

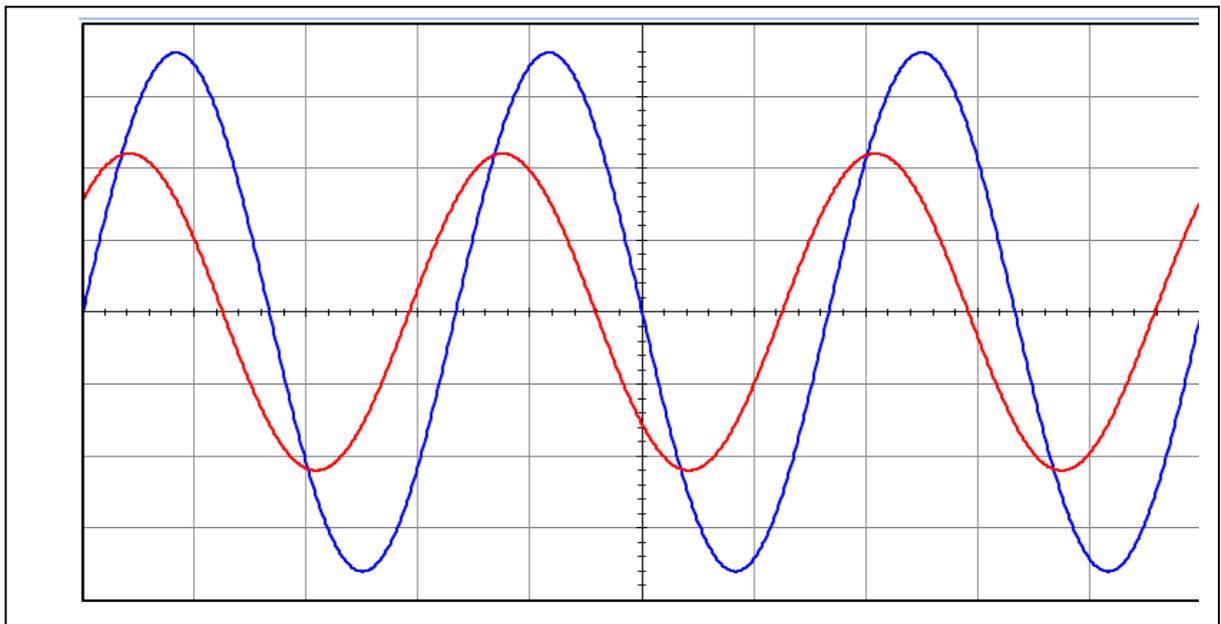
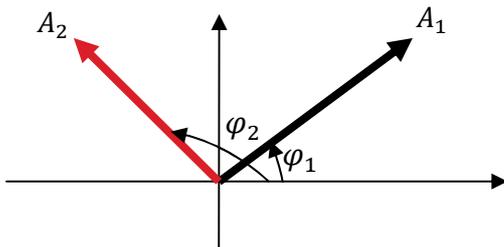


$$\Delta\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1| = \pi + 2k\pi$$



2.3.3 $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2} + 2k\pi$

Les deux fonctions sont dites en quadrature de phase.



3 Etude expérimentale d'un mouvement vibratoire : La stroboscopie

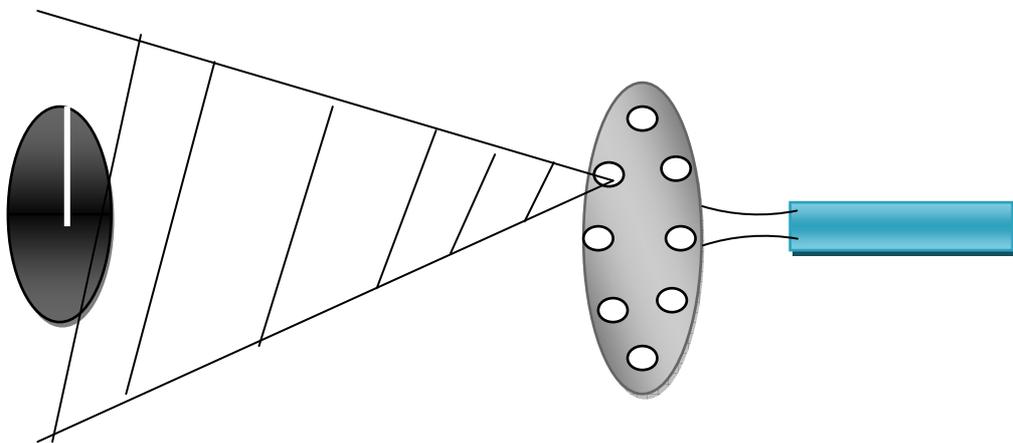
PDF Compressor Free Version

La stroboscopie est le procédé original pour l'étude des mouvements vibratoires. Elle consiste à ralentir voire immobiliser de façon apparente le phénomène.

3.1 Principe

Pour observer un phénomène périodique de période T , on éclaire le dispositif par une suite d'illuminations très claires de période T_e ou T' (période des éclairs). On substitue ainsi aux phénomènes réels un mouvement apparent dont les caractéristiques dépendent de T_e et T' .

Cette source d'illumination peut être obtenue soit en perforant une plaque à l'aide des trous régulièrement espacés ou encore en utilisant une source de lumière intermittente.



Si N est la vitesse de rotation du disque comportant des trous et n le nombre de trous, alors, la fréquence N_e des éclairs est de : $N_e = N \cdot n$

Et la période des éclairs est : $T_e = \frac{1}{N_e}$

La fréquence des éclairs doit être au moins égale à 20 Hz et leur durée assez brève (environ le centième de la période du mouvement à étudier). Du fait de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, l'expérimentateur pâ l'illusion d'une observation continue.

3.2 L'immobilité apparente

3.2.1 Aspect unique d'un système

Supposons $T_e = T$. Chaque éclair surprend le rayon blanc OA du disque (D) à la même position. Le rayon semble donc immobile, il en est de même si la période T_e des éclairs est un multiple entier de la période T du disque.

On pose donc : $T_e = kT$ avec $k \in \mathbb{N}^*$

Ceci nous permet d'écrire $\frac{1}{N_e} = \frac{k}{N} \Rightarrow N_e = \frac{N}{k}$ ($k \in \mathbb{N}^*$)

En effet, le rayon est éclairé tous les k tours et sur le fond noir du disque il y'a immobilité apparente de l'unique rayon.

De manière générale pour un disque possédant plusieurs rayon peint ou encore système possédant plusieurs fois le même motif, on applique plutôt la formule :

$$T_e = k \frac{T}{p} \quad k \in \mathbb{N}^* \quad \text{ou } p \text{ désigne le nombre de répétition du motif}$$

3.2.2 Immobilité apparente avec k motif

Si la période T du disque est un multiple entier de la période T_e des éclairs c.-à-d.

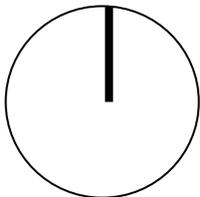
$T = kT_e \Rightarrow N = \frac{N_e}{k}$, alors le rayon est éclairé k fois par tour sur le fond noir du disque, il apparait donc une immobilité apparente à k rayons.

3.3 Mouvement de ralenti apparent

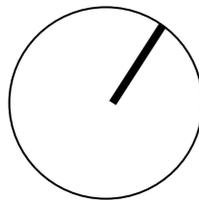
Le rayon étant éclairé dans une position choisi, le prochain éclair se produit à près un temps légèrement supérieur ou inférieur à T .

3.3.1 T_e Légèrement supérieur à T . $T_e \approx kT$ avec $T_e > kT$ ou $f_e \approx \frac{f}{k}$ avec $f_e < \frac{f}{k}$

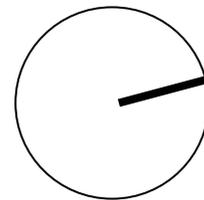
Dans ces conditions, entre deux éclairs consécutif, le disque effectue k tours plus une fraction de tour : l'on observe dans ce cas un mouvement apparent ralenti de même sens que le sens réel de rotation. Ci-dessous illustration du mouvement apparent direct



Premier éclair



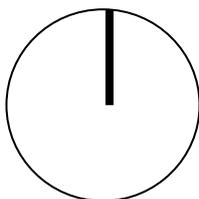
Deuxième éclair



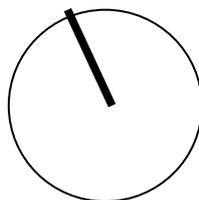
Troisième éclair

3.3.2 T_e Légèrement inférieur à T . $T_e \approx kT$ avec $T_e < kT$ ou $f_e \approx \frac{f}{k}$ avec $f_e > \frac{f}{k}$

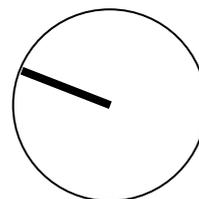
Dans ces conditions, entre deux éclairs consécutifs, le disque effectue k tours moins une fraction de tour : l'on observe dans ce cas un mouvement apparent ralenti de sens contraire au sens réel de rotation. Ci-dessous illustration du mouvement apparent rétrograde.



Premier éclair



Deuxième éclair



Troisième éclair

4 Calcul de la fréquence du mouvement apparent ralenti

PDF Compressor Free Version

La valeur algébrique de la fréquence du mouvement apparent est donné par :

$$f_a = f - kf_e$$

Si $f_a > 0$ le mouvement apparent est direct

Si $f_a < 0$ le mouvement apparent est rétrograde.

(A démontrer en exercice)

Faire l'exercice d'application pages 119

PDF Compressor Free Version

CHAPITRE 6: Les Systèmes oscillants : Application aux pendules simples

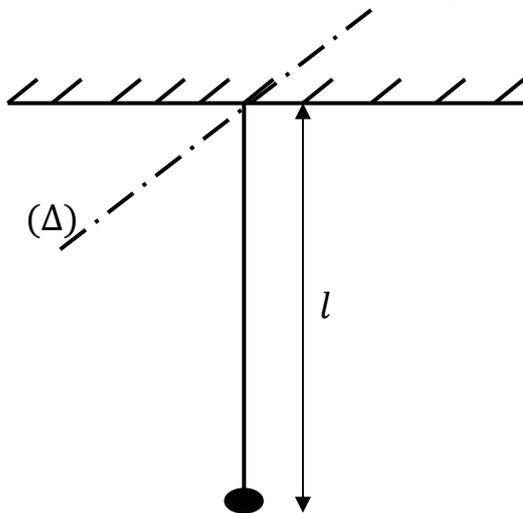
1 Généralités

Un pendule pesant est un solide mobile autour d'un axe horizontal ne passant pas par son centre de gravité. C'est un solide pouvant effectuer un mouvement oscillatoire par rapport à cet axe. Le pendule simple nous vient du pendule pesant, il est dit simple parce qu'il est constitué d'une masse ponctuelle et d'un fil inextensible et de masse négligeable, le tout fixé sur une potence.

1.1 Définition

Un pendule simple est constitué d'un point matériel oscillant sous l'action de la pesanteur, à une distance constante l d'un axe horizontal (Δ) .

l : longueur du fil constituant le pendule simple



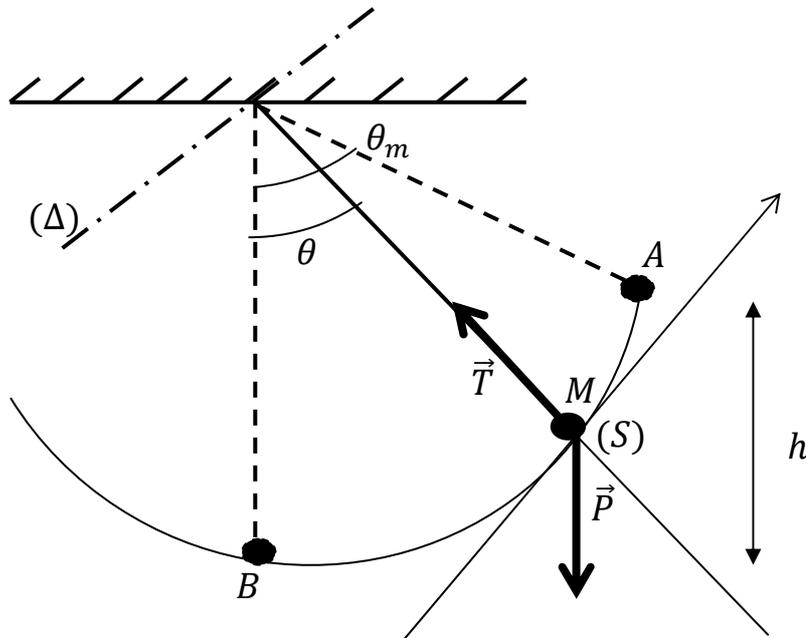
1.2 Dispositif expérimental

La réalisation d'un tel pendule étant difficile, on fabrique un pendule assez proche du pendule simple à l'aide d'une petite bille (très dense), suspendu à un fil très fin, très léger et inextensible ; le rayon de la bille étant très petit, (sera considéré comme négligeable) par rapport à la longueur du fil.

2 Etude dynamique

PDF Compressor Free Version

On écarte le pendule simple d'un angle θ_m , on lâche le pendule sans vitesse initiale. Il s'ensuit une série d'oscillations autour de la position d'équilibre. A un instant quelconque t , l'angle est θ .



Dans le référentiel terrestre, le système constitué du solide (S) est soumis à l'action de son poids \vec{P} et de la tension \vec{T} du fil, si on néglige la résistance de l'air.

Le TCI nous permet d'écrire

$$\Sigma(\vec{F}_{ext}) = m\vec{a}_G \text{ on peut écrire } \vec{P} + \vec{T} = m\vec{a}_G$$

$$\begin{cases} -P_y + T = ma_n \\ -P_x = ma_t \end{cases} \text{ or } a_t = l\ddot{\theta} \text{ et } P_x = mg \sin \theta \text{ d'où}$$

$$-mg \sin \theta = ml\ddot{\theta} \Rightarrow ml\ddot{\theta} + mg \sin \theta = 0$$

pour les petits angles $\sin \theta \approx \theta$ (en radian).

$\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = 0$ en posant $\omega^2 = \frac{g}{l}$ on obtient une équation différentiel de la forme

$$\ddot{\theta} + \omega^2\theta = 0.$$

Nous pouvons obtenir le même résultat en appliquant le TCI pour un solide en rotation, tout en sachant que le moment d'inertie du pendule simple est $J_\Delta = ml^2$.

Ceci est une équation différentielle de second ordre qui admet une solution sinusoïdale cde la forme :

$$\theta = \theta_m \sin(\omega t + \varphi)$$

Ceci montre que le solide, effectue un mouvement oscillatoire de période

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \left\{ \begin{array}{l} T(s); l(m) \\ g(m/s^2); \omega(rad/s) \end{array} \right.$$

3 Etude énergétique

Lorsque le pendule est écarté de θ_m , l'énergie mécanique à l'instant où il est lâché est :

$$E_{m_A} = E_C + E_{P_p} = 0 + mgh \Rightarrow E_{m_A} = mgl(1 - \cos \theta_m)$$

Lorsque le solide est à la position B, l'énergie mécanique est réduite à l'énergie cinétique : $E_{m_B} = \frac{1}{2}mV^2 + 0$ au point M,

$$E_{m_M} = \frac{1}{2}mV_M^2 + mgl(1 - \cos \theta)$$

Le système étant pseudo-isolé, l'Energie mécanique se conserve donc :

$$\frac{dE_m}{dt} = 0 \Rightarrow \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2}ml^2\dot{\theta}^2 + mgl(1 - \cos \theta) \right) = 0 \quad \text{le développement de cette expression}$$

nous permet d'obtenir $l\ddot{\theta} + g \sin \theta = 0$ pour les petits angles, on a $\sin \theta = \theta$

On réobtient bel et bien

$$\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\theta = 0 \quad \text{en posant } \omega^2 = \frac{g}{l} \quad \text{ceci nous donne } \ddot{\theta} + \omega^2\theta = 0$$

REMARQUES :

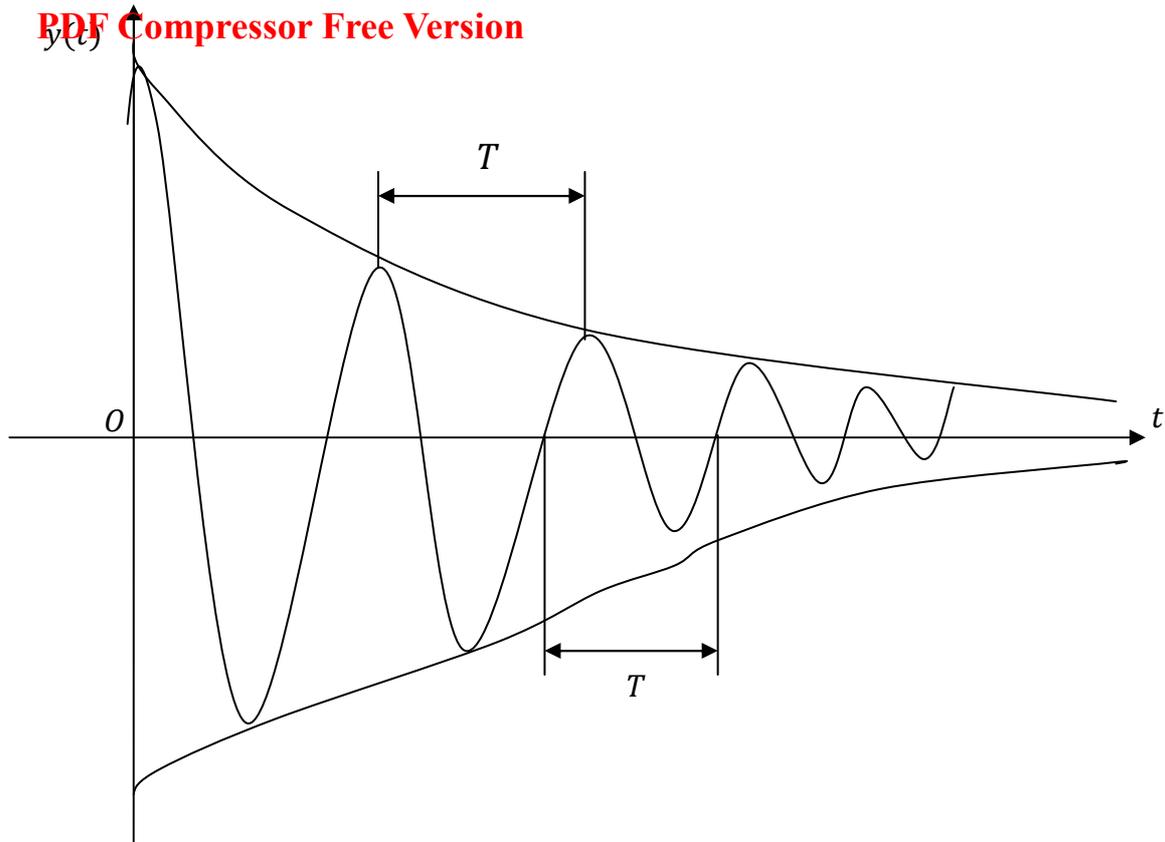
- La période T des oscillations d'un pendule simple ne dépend pas de la masse du solide suspendu au fil.
- Pour les oscillations de faible amplitude c'est-à-dire $\theta < 9^\circ$, la période d'un pendule est indépendante de l'amplitude ; on dit qu'on a des oscillations isochrones.
- La période T des oscillations d'un pendule simple est proportionnelle à la racine carré de la longueur du pendule et inversement proportionnelle à la racine carré de l'intensité g de la pesanteur.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

4 Amortissement des oscillateurs

Dans les systèmes mécaniques réels l'énergie mécanique diminue au cours du temps et l'amplitude des oscillations décroît. Les oscillations sont dites amorties.

PDF Compressor Free Version



On distingue deux types d'amortissements :

- L'amortissement par frottement secs entre deux solides
- L'amortissement par frottement visqueux ente solide et fluide.

A cause des amortissements, les périodes des oscillations sont qualifiés de pseudo-périodes c'est-à-dire que la durée t d'une oscillation est appelée pseudo-période.

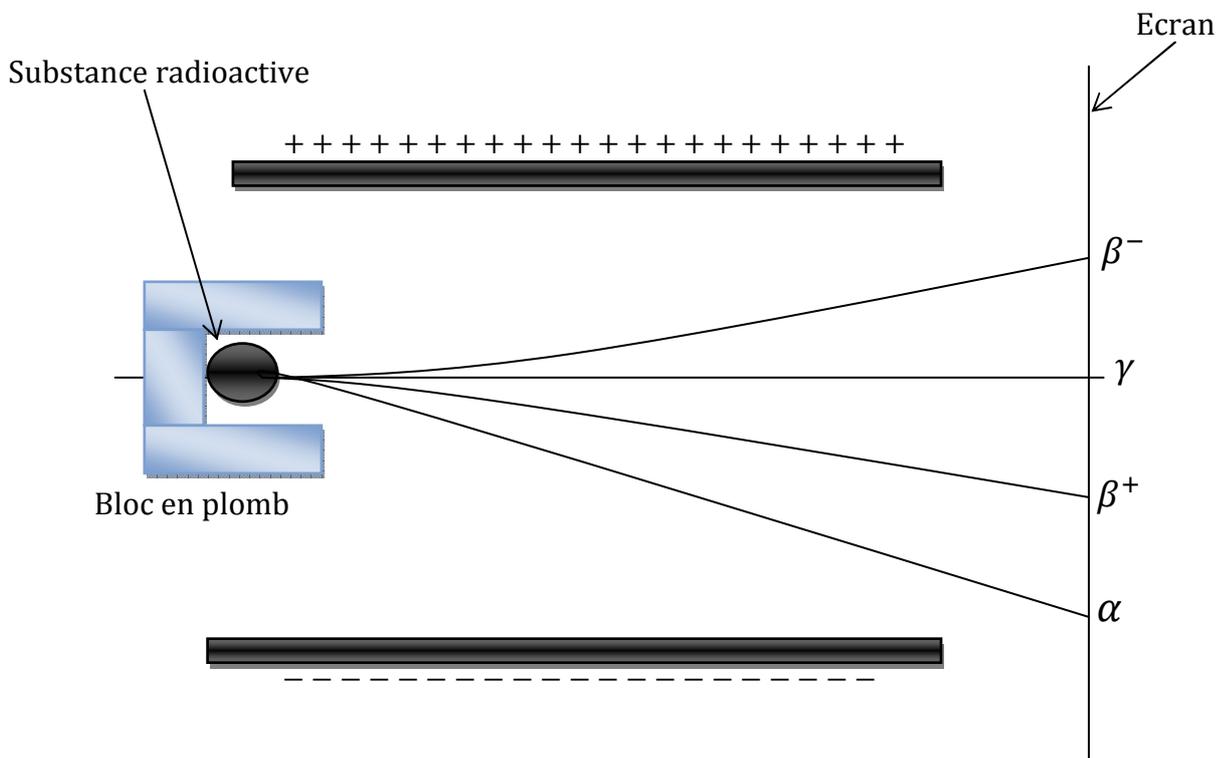
PDF Compressor Free Version

CHAPITRE 7: La radioactivité

1 Amortissement des oscillateurs

La radioactivité est un phénomène qui consiste en l'émission d'un ou de plusieurs rayonnements. Pour mettre en évidence les rayonnements radioactifs, un mélange de substance

Radioactive est placée dans la cavité étroite d'un bloc de plomb. Les rayonnements émis par cette substance sont soumis à un champ électrostatique accélérateur.



- Les particules contenues dans le rayonnement α ont été identifiées comme étant des noyaux d'atomes d'hélium. Les particules α sont très ionisantes, mais très peu pénétrantes (traversent difficilement les substances).
- Le rayonnement β^- émet des électrons à très grande vitesse environ 280 000 km/s. le rayonnement est plus pénétrant que celui des particules α , mais moins ionisantes que ces dernières.

- Le rayonnement γ entre dans la catégorie des ondes électromagnétiques de courte longueur d'onde, c'est un rayonnement très pénétrant (Il traverse 20 cm de plomb) et il s'accompagne des rayonnements α ; β^- et β^+ .
- Les particules issues du rayonnement β^+ sont appelées positons ou positrons (électrons positifs). Leurs caractéristiques sont en tout point comparables à celles de β^- .

2 Equations des réactions de désintégration

Dans toutes les interactions radioactives, les trois lois suivantes sont vérifiées.

- Conservation du nombre total de nucléons ou du nombre de masse.
- Conservation du nombre total de protons ou nombre de charges.
C'est-à-dire que la somme des nombres de charges des noyaux disparus est égal à la somme des nombres de charges des noyaux apparus.
- Conservation de l'énergie totale.

Au cours de la réaction nucléaire, la différence des masses entre les produits et les réactifs entraîne la naissance d'une énergie appelée énergie de désintégration.

2.1 Rappels

- On appelle nucléide l'ensemble des atomes dont les noyaux ont le même nombre de nucléons. On le note : A_ZX

Où A : est le nombre de nucléons ou nombre de masse .

Z : est le nombre de protons, ou de charges, ou d'électrons.

On sait que A et Z sont liés par la relation $N = A - Z$

X : représente le symbole des éléments.

- On appelle isotope, l'ensemble des nucléides ayant le même nombre de charge mais différent par leur nombre de masse.

Exemple : ${}^1_1H, {}^2_1H, {}^3_1H; {}^{12}_6C, {}^{14}_6C; {}^{16}_8O, {}^{17}_8O, {}^{18}_8O$

Dans la pratique, la masse d'un noyau est toujours inférieure à la somme des masses de ses nucléons. La différence est appelée défaut de masse et est noté Δm . A ce défaut de masse correspond une énergie appelée énergie de liaison ou de cohésion. Cette énergie se note :

$$\Delta E = mc^2 \text{ avec } \begin{cases} \Delta m \text{ en (kg)} \\ C \text{ est la célérité de la lumière dans le vide } 3.10^8 \text{ m/s} \\ \Delta E \text{ en J} \end{cases}$$

$$\Delta m = |m_{\text{noyau}} - Am_{\text{protons}}|$$

$$\Delta m = Zm_p + Nm_N - m({}_Z^AX) \Rightarrow \Delta m = [Zm_p + (A - Z)m_N] - m({}_Z^AX)$$

La masse des électrons n'est pas prise en compte parce que sa masse est négligeable devant celle des protons.

Cet énergie représente l'énergie qu'il faut fournir pour séparer les différents nucléons du noyau les un des autres.

L'unité de masse atomique (*uma*) ou (*u*) est par définition le douzième de la masse d'un atome de carbone 14.

$$m_c = \frac{12}{N} \Rightarrow 1u = \frac{12}{12} \times \frac{1}{N} = \frac{1}{N} \text{ au final } 1u = 1,60 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow 1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$$

2.2 Equivalence masse énergie : relation d'Einstein

Pour apporter une explication à ce défaut de masse, Einstein postula en 1905 : que toute particule même au repos, possède du simple fait de sa masse, une énergie E_0 appelée énergie de masse et dont la valeur est donné par la relation

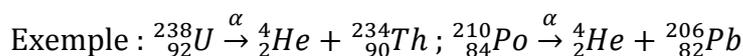
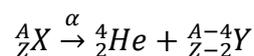
$$E_0 = mc^2.$$

2.3 La radioactivité α



D'après la conservation des nombres de masses et des nombres de charges.

$$\begin{cases} A = 4 + A' \Rightarrow A' = A - 4 \\ Z = 2 + Z' \Rightarrow Z' = Z - 2 \end{cases} \text{ on obtient finalement}$$



Au cours de cette désintégration, le noyau père perd quatre nucléons dont deux protons et deux neutrons.

2.4 La radioactivité β^-

Considérons que les réactions de désintégrations ne concernent que les noyaux et que la radioactivité β^- consiste en l'émission d'électrons, on admet que dans le noyau, un neutron se transforme en un proton et un électron. Ceci se transforme selon la réaction :

$1n \rightarrow 1n + 0e$. L'équation de la désintégration est : ${}^A_ZX \xrightarrow{\beta^-} {}^0_{-1}e + {}^A_{z+1}Y$

Exemple : ${}^{210}_{83}Bi \xrightarrow{\beta^-} {}^0_{-1}e + {}^{210}_{84}Po$

2.5 La radioactivité β^+

Les positons ou positrons ne se trouvent pas dans le noyau. On admet que dans celui-ci un proton se transforme en un neutron et un positron.

$1p \xrightarrow{\beta^+} 0e + 1n$ l'équation de la RA β^+ est ${}^A_ZX \xrightarrow{\beta^+} {}^0_{+1}e + {}^A_{z-1}Y$.

Exemple : ${}^{30}_{15}P \xrightarrow{\beta^+} {}^0_{+1}e + {}^{30}_{14}Si$

Remarque :

Les RA α ; β^+ ; β^- s'accompagnent généralement des rayonnements γ émis par le noyau fils pour passer de l'état excité à l'état fondamental. Dans la radioactivité β^+ et β^- la conservation de l'énergie s'explique par l'existence d'une particule de masse et de charge nulle, notée ${}^0_0\nu$ appelée neutrino.

3 Loi de la décroissance radioactive

La désintégration radioactive est un phénomène aléatoire, le décompte des particules émises montre que le nombre de désintégrations $dN(t)$ qui se produisent pendant une durée dt est :

- ✓ Proportionnel à la durée t
- ✓ Proportionnel au nombre $N(t)$ de noyaux présents à la date t
- ✓ Proportionnel à un coefficient λ qui dépend de la nature du radioélément étudié appelée constante radioactive.

$$dN(t) = -\lambda N(t)dt \Rightarrow N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N(t)$ est le nombre de noyaux présents à l'instant t

N_0 est le nombre de noyaux présents à l'instant $t = 0$.

On appelle demi-vie d'un radioélément ou période radioactive la durée T au terme de laquelle la moitié des noyaux présents aux dépôts sont désintégrés.

A $t = T$ on a $N(t) = \frac{N_0}{2} \Rightarrow \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$ ceci permet d'obtenir l'expression :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \quad \begin{cases} T \text{ en (s)} \\ \lambda \text{ en } s^{-1} \end{cases}$$

Au cours d'une désintégration, l'énergie produite est donnée par la relation :

$$E = \Delta m c^2 \quad \Delta m = |\sum \text{masse des réactifs} - \text{masses des produits}|$$

Attention : Δm n'est pas le défaut de masse.

PDF Compressor Free Version

Exemple : ${}_{84}^{210}\text{Po} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{82}^{206}\text{Pb}$

On donne : $m_\alpha = 4,00150 u$; $m_{\text{Po}} = 210,0482 u$; $m_{\text{Pb}} = 206,0385 u$;

$1u = 931,5 \text{ MeV}/c^2$.

Calculer l'énergie dégagée par cette réaction :

$$E = |210,0482 - (4,00150 + 206,0385)| \cdot 931,5 = 7,6383 \text{ MeV}.$$

Une partie de cette énergie sert à accélérer les particules émises : c'est l'énergie cinétique.

Une autre partie est absorbée par les noyaux fils pour élever leur niveau d'énergie ou leur état d'excitation. Lorsque les noyaux reviennent à l'état fondamental, l'énergie est restitué sous forme de rayonnements de longueur d'onde λ tel que :

$$E = \frac{hc}{\lambda} \begin{cases} h \text{ est la constante de planck } h = 6,62 \cdot 10^{-34} \\ C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \\ \lambda \text{ en (m)}; E \text{ en (J)} \end{cases}$$

Nous pouvons noter les conversions d'énergies suivantes :

$$\left| \begin{array}{l} 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} ; 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} \\ 1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J} \end{array} \right.$$

On appelle famille radioactive d'un radioélément l'ensemble constitué du radioélément et de tout ses descendants jusqu'au dernier noyau fils stable.

4 L'activité radioactive

L'activité radioactive d'un échantillon radioactif est le nombre de désintégration qu'il produit par unité de temps.

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N(t) \begin{cases} A \text{ est en becquerel (Bq)} \\ \text{ou en désintégration par seconde dp/s} \end{cases}$$

N est le nombre de noyaux présents à l'instant t .

Par démonstration nous montrons que : $A = A_0 e^{-\lambda t}$

Où A_0 est l'activité de l'échantillon à l'instant initial.

5 Les applications de la radioactivité

PDF Compressor Free Version

La radioactivité est utilisée en chimie et en biologie comme traceur radioactif et pour des mécanismes réactionnels. La cinétique des réactions de biosynthèse en médecine pour l'étude du fonctionnement de certains organes. La radiothérapie est également une technique thérapeutique dans le traitement du cancer. Elle consiste à exposer la partie du corps malade à des rayonnements ionisants comme ceux du cobalt 60 et iode 131.

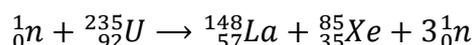
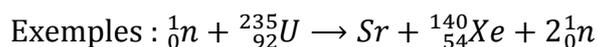
Le carbone 14 est radioactif β^- et est produit de façon permanente dans l'atmosphère. Les atomes de carbone 14 et carbone 12 sont dans un rapport constant chez les êtres vivants, animaux et végétaux. Mais à la mort de l'individu le carbone 14 commence à diminuer à cause de sa radioactivité.

6 Les réactions nucléaires provoquées

Ce sont des réactions nucléaires provoqués par l'homme par le fruit des manipulations.

6.1 La fission nucléaire

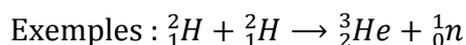
La fission nucléaire est une réaction au cours de laquelle un noyau lourd se scinde pour donner deux ou plusieurs noyaux légers. La fission naturelle est extrêmement rare



Cette réaction à une grande application dans le domaine des centrales nucléaires, elle sert à produire de l'énergie électrique.

6.2 La fusion nucléaire

la fusion nucléaire est une réaction nucléaire au cours de laquelle deux noyaux légers s'unissent pour former un noyau lourd.



Ces réactions dégagent une énorme quantité d'énergies et sont extrêmement dangereuses pour la terre lorsqu'elles sont mal utilisées.

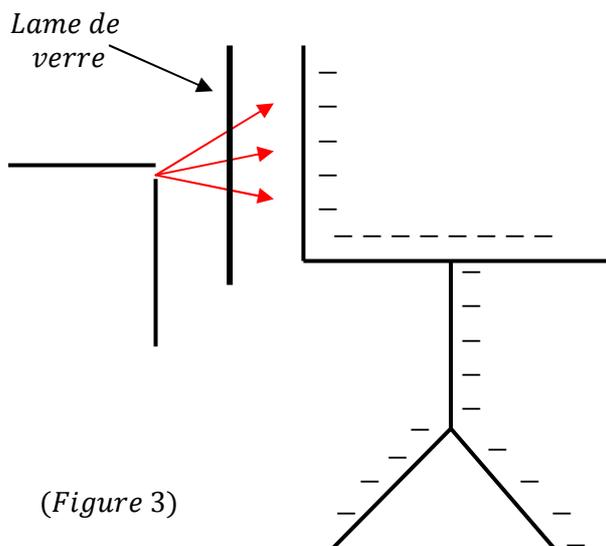
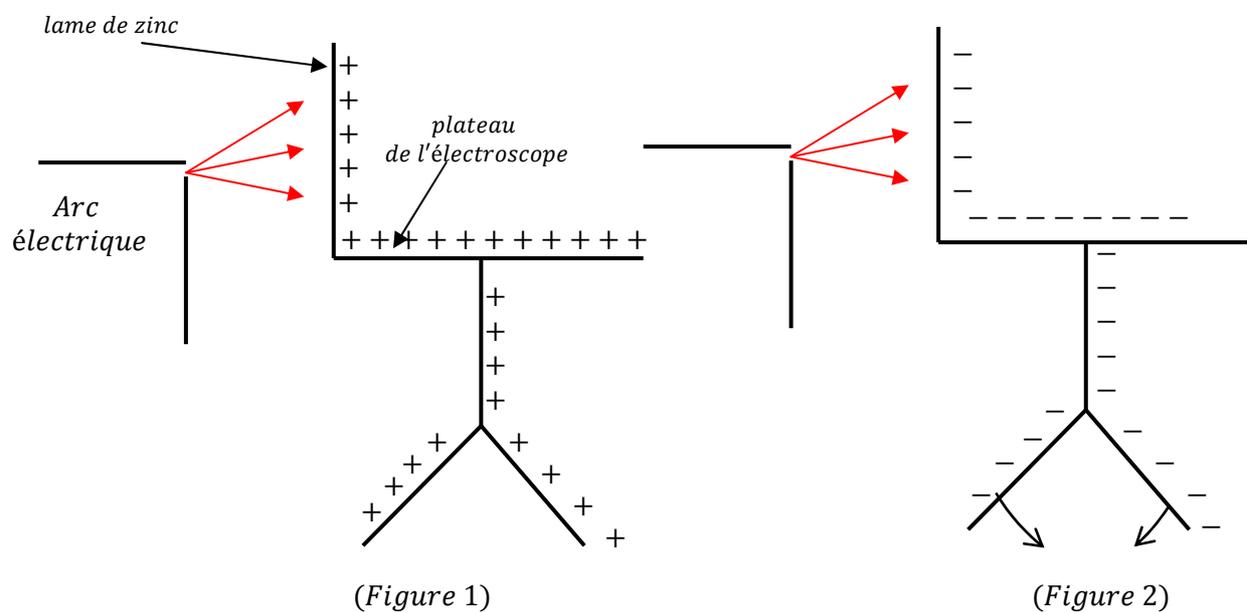
PDF Compressor Free Version

CHAPITRE 8: L'effet photoélectrique

1 Mise en évidence

1.1 Expérience

Eclairons à l'aide d'un arc électrique une lame de zinc fixée sur le plateau d'un électroscope (appareil qui détecte et peut mesurer les compteurs électrique).

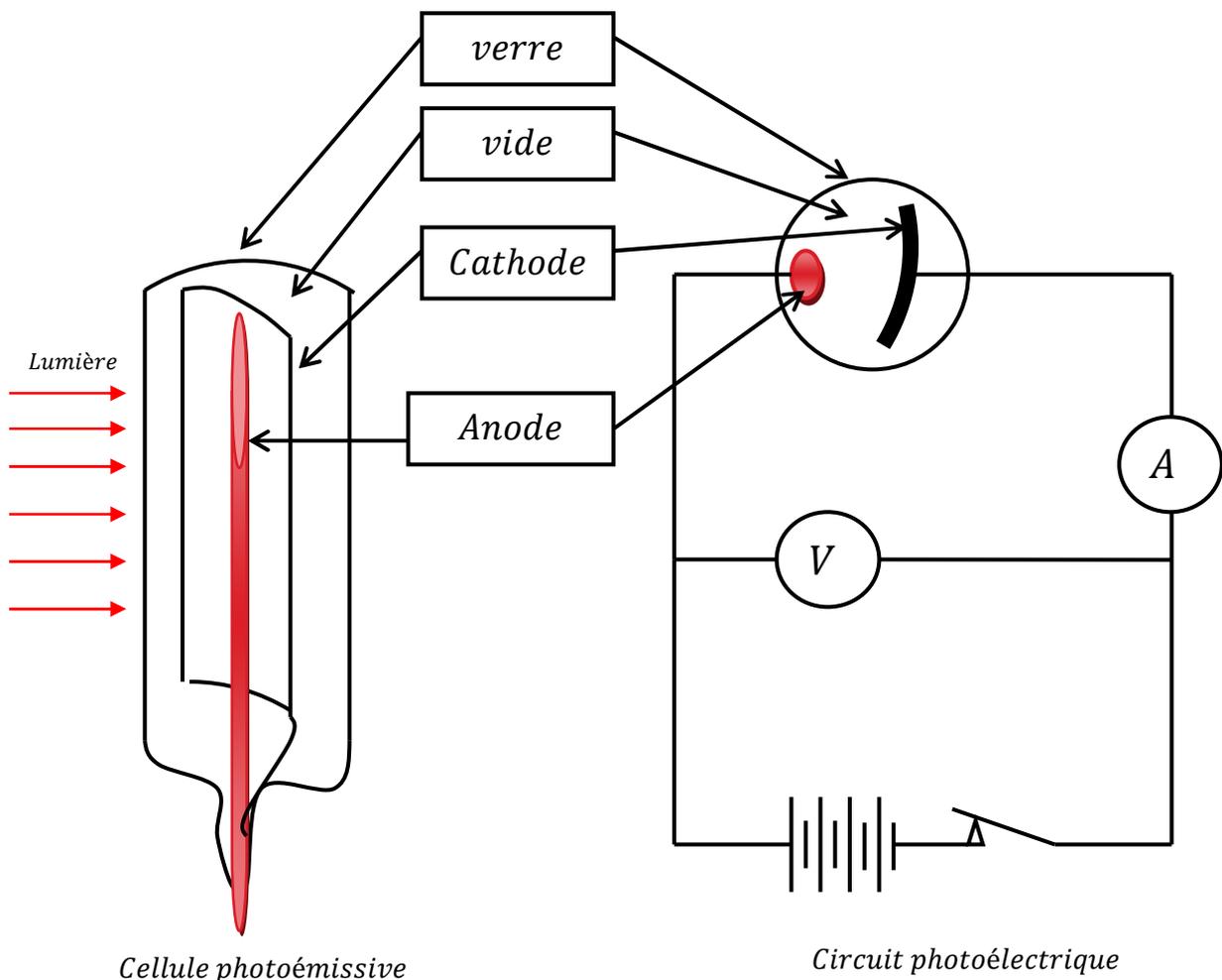


- ✓ Dans la (figure 1), la lame de zinc de l'électroscope sont chargés positivement, les feuilles de l'électroscope restent écartés lorsqu'on envoie la lumière : l'électroscope conserve la charge.
- ✓ Dans la (figure 2), l'ensemble étant chargé négativement, les feuilles de l'électroscope lorsqu'on envoie la lumière tombent. On conclut qu'il se décharge : l'électroscope perd des électrons.
- ✓ Dans la (figure 3), la lame de verre imperméable aux rayons UV empêche l'électroscope de se décharger.

1.2 Conclusion

Les radiations ultra Violet (UV) sont capables d'extraire les électrons de la lame de zinc. Ce phénomène d'extraction est appelé : effet photoélectrique.

2 Les lois de l'effet photoélectrique



Une cellule photoémissive ou photoélectrique est une ampoule de verre transparent à UV, scellée et dans laquelle on fait un vide poussé. Elle est constituée d'une cathode métallique C et d'une anode A généralement en platine. Si on envoie sur la cellule une lumière monochromatique de longueur d'onde de plus en plus petite, on constate qu'il y a apparition d'un courant dans le circuit pour toute longueur d'onde $\lambda \leq \lambda_0$

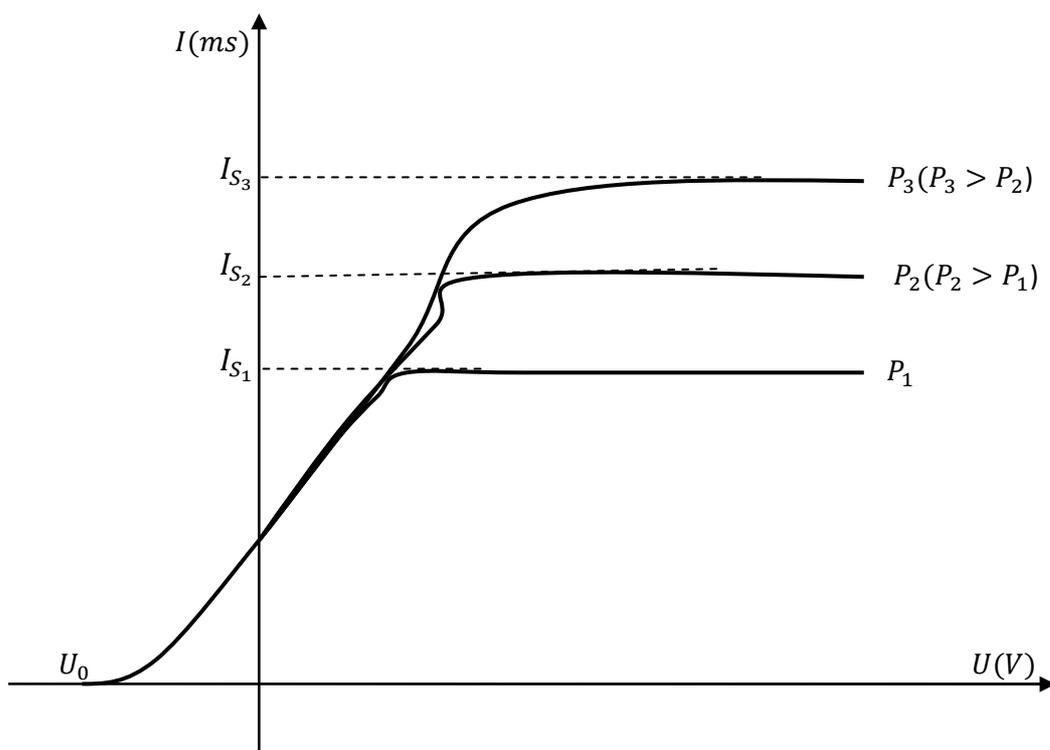
Où λ_0 est la longueur d'onde du seuil photoélectrique et dépend de la nature du métal de la cathode.

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad \text{et} \quad \lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} \Rightarrow \nu_0 = \frac{c}{\lambda_0} \begin{cases} \nu_0 \text{ en (Hz)} \\ \lambda_0 \text{ en (m)} \end{cases}$$

ν_0 est la fréquence seuil photoélectrique

REMARQUE :

1. L'effet photoélectrique est instantané, la déviation de l'ampèremètre est immédiate dès que la cellule est convenablement éclairée et cesse avec l'arrêt de l'illumination.
2. Si on change le métal de la cathode, la fréquence seuil (ou λ_0 (longueur d'onde seuil)) change également.
3. Si l'on fait varier la tension U du générateur, l'intensité du courant photoélectrique augmente avec U . A partir d'une certaine valeur de la tension, l'intensité I n'augmente plus, Tous les électrons extraits par la lumière monochromatique atteignent l'anode ; l'intensité a alors atteint sa valeur maximale I_s (appelée Intensité de saturation).
4. L'effet photoélectrique ne dépend pas de la puissance lumineuse à priori mais, si la loi du seuil est satisfaite, alors le courant de saturation augmente avec la puissance lumineuse.



Caractéristique d'une cellule photoélectrique

Quelque soit la puissance lumineuse, l'intensité de saturation s'annule pour une valeur négative de la tension ; cette tension notée U_0 est appelée tension ou potentiel d'arrêt ; on montre que : $eU_0 = \frac{1}{2} mV_{max}^2$

Où V_{max} est la vitesse maximale de sortie des électrons du métal de la cathode.

e : charge de l'électron $e = 1,6 \times 10^{-19} C$

$U_0(V)$; $m(Kg)$; $V_{max}(m/s)$.

eU_0 : Est l'énergie électrostatique qu'on oppose à l'énergie cinétique de sortie des électrons du métal.

U_0 : permet de connaître l'énergie cinétique de l'électron à la sortie du métal. Cette énergie est indépendante de la puissance lumineuse reçue par la cathode, mais elle est plutôt une fonction croissante de la fréquence de la radiation (ou lumière incidente).

3 Hypothèse des photons

Pour qu'un électron puisse être extrait sous l'action d'une radiation convenable, il doit absorber un quantum. Cette énergie doit être au moins égale au travail d'extraction W_0 de l'électron du métal.

Pour un rayonnement monochromatique de fréquence ν , le quantum d'énergie est :
PDF Compressor Free Version
 E_0 ou $W = h\nu$.

Un rayonnement monochromatique de fréquence ν est considéré comme un flux de particules relativistes nommées photons. Chaque photon transporte un quantum d'énergie $W = h\nu$

$$h: \text{Constante de Planck: } h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

L'électron extrait suite au choc avec le photon, quitte le métal avec une énergie cinétique maximale : $E_{C_{max}} = \frac{1}{2} m V_{max}^2$

$$\text{Tel que } W = W_0 + E_{C_{max}} \quad \Leftrightarrow \quad h\nu = h\nu_0 + \frac{1}{2} m V_{max}^2 \quad \text{on obtient}$$

$$V_{max} = \sqrt{\frac{2}{m} h(\nu - \nu_0)}$$

W : Energie incidente lumineuse

W_0 : Energie minimale d'extraction

$E_{C_{max}}$: L'Energie de déplacement de l'électron après la sortie du métal.

Les applications de l'effet photoélectrique sont multiples. On peut citer entre autres : les photopiles, les panneaux solaires, les photodiodes et bien d'autre.

PDF Compressor Free Version

CHAPITRE 9: Notion d'ondes progressives et d'interférence

1 Les ondes progressives

1.1 Définition

Si on laisse tomber une goutte d'eau à la surface libre d'un liquide au repos, on observe qu'il nait au point de chute des rides circulaires qui s'agrandissent progressivement en s'éloignant de ce point de chute ; ceci est dû à la propagation dans toutes les directions à la surface du liquide de la déformation créée au point de chute. La cause de la perturbation est appelée l'émetteur ; la déformation qui se propage est appelée : onde progressive. Le point où la perturbation est créée s'appelle la source et l'environnement qui permet la propagation de l'onde est appelée : Milieu de propagation.

Dans un milieu homogène, une onde se propage à la même vitesse et dans toutes les directions. La période T imposée à la source par l'émetteur est une constante. L'équation de l'élongation est :

$$y = y_m \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \text{ Ou } y(m); y_{max}(m); \varphi(rad); T(s); t(s)$$

On appelle longueur d'onde, la distance parcourue par l'onde pendant une période de mouvement de la source.

$$\lambda = CT = VT = \frac{V}{f} \quad T(s); f(Hz); V(m/s); \lambda(m)$$

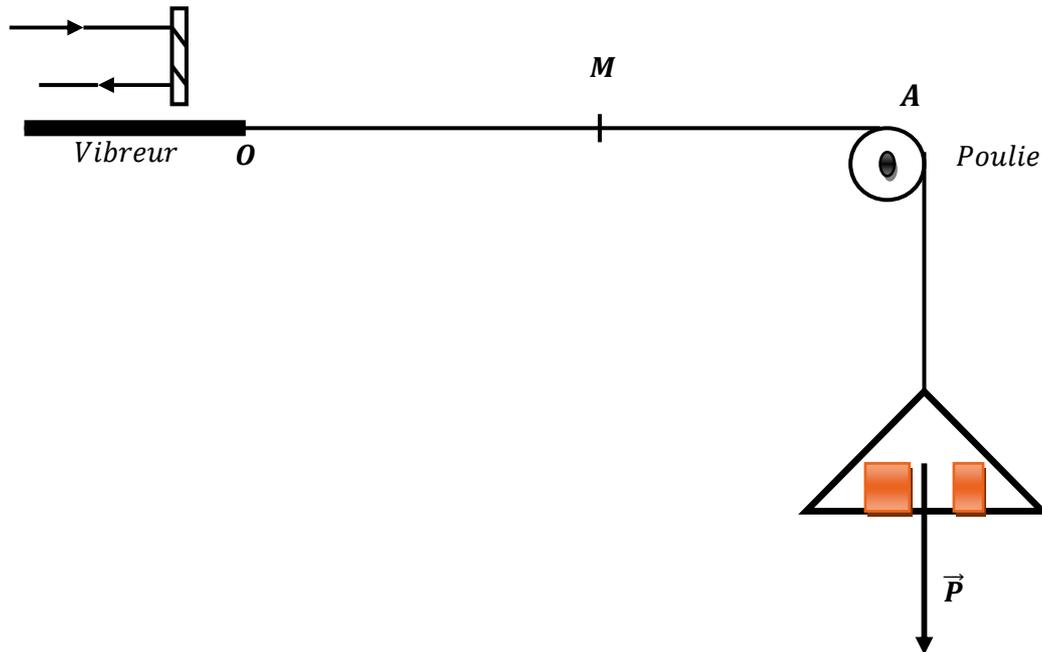
Lorsqu'une onde se propage dans la direction de perturbation, on dit que l'onde est longitudinale (ressort comprimé...)

Lorsqu'une onde se déplace dans une direction perpendiculaire à celle de la perturbation, elle est dite transversale (mouvement imprimé par une goutte à la surface d'un liquide..)

1.2 Equation de l'onde en un point M du milieu de propagation

Considérons une corde OA tendu à l'aide des masses marquées suspendues à l'une des extrémités de la corde passant par la gorge d'une poulie de masse négligeable.

L'autre extrémité O est fixée à une lame vibrante (vibreur) dont la vibration est entretenue par un électroaimant.



Le mouvement transversal appliqué à la source O a pour équation :

$$y_0 = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)$$

Un point M tel que $OM = x$ reproduit le mouvement de la source avec un retard $\theta = \frac{x}{v}$ ainsi l'élongation au point M sera :

$$y_M = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}(t - \theta) + \varphi\right) \Rightarrow y_M = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi\theta}{T} + \varphi\right)$$

$$y_M = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi x}{T v} + \varphi\right) \Rightarrow y_M = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi\right)$$

D'après l'équation précédente, l'onde au point M présente une double périodicité temporelle de période T et spatiale de période λ .

On montre que l'ébranlement créé en O se propage à la vitesse où à la célérité :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \begin{cases} v(m/s) \\ F(N) \text{ tension de la corde} \\ \mu(kg/m) \text{ masse linéaire ou linéique de la corde} \end{cases}$$

REMARQUES :

- 1) Pour deux points $M_1; M_2$ d'abscisses respectives $OM_1 = x_1$ et $OM_2 = x_2$ en posant :

$-\frac{2\pi x_1}{\lambda} + \varphi = \varphi_1$ et $-\frac{2\pi x_2}{\lambda} + \varphi = \varphi_2$, on a :

$$y_{M_1} = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_1\right) \text{ et } y_{M_2} = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi_2\right)$$

$\Delta\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1|$ est le déphasage entre les points M_1 et M_2

✓ M_1 et M_2 vibrent en phase si $\Delta\varphi = 2k\pi$

$$\Delta\varphi = |\varphi_2 - \varphi_1| = \left| -\frac{2\pi x_2}{\lambda} + \frac{2\pi x_1}{\lambda} \right| = 2k\pi \Rightarrow |x_2 - x_1| = k\lambda \quad (k \in \mathbb{Z}).$$

✓ M_1 et M_2 vibrent en opposition de phase si $\Delta\varphi = (2k + 1)\pi$

$$|x_2 - x_1| = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$$

✓ M_1 et M_2 vibrent en quadrature de phase si $\Delta\varphi = (2k + 1)\frac{\pi}{2}$

$$|x_2 - x_1| = (2k + 1)\frac{\lambda}{4}$$

Exercice d'application :

Une onde se déplace le long d'une corde à la vitesse de $5,4 \text{ cm/s}$. Sachant que la fréquence du vibreur est 6 Hz , donner l'état vibratoire des points M_1 et M_2 d'abscisses respectives 5 et $6,8 \text{ cm}$ d'une part, 5 cm et $6,35 \text{ cm}$ d'autre part.

Résolution par les apprenants.

2) La célérité du son se donne par la relation

$$v = \sqrt{\frac{C_p p}{C_v \rho}} \quad \left\{ \begin{array}{l} C_p: \text{Chaleur massique à pression constante} \\ C_v: \text{Chaleur massique à volume constant} \\ P \text{ pression du gaz} \\ \rho: \text{masse volumique du gaz} \end{array} \right.$$

On l'écrit aussi sous la forme :

$$v = \sqrt{\frac{C_p P_0 T}{C_v a_0 d T_0}} \quad \left\{ \begin{array}{l} P_0 = 1,013 \times 10^5 \\ d: \text{densité du gaz} \\ a_0: \text{masse volumique de l'air} \\ T_0 = 273,14^\circ \text{K} \end{array} \right.$$

On sait aussi que $\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad \left\{ \begin{array}{l} \gamma \text{ est le même pour tous les gaz de même atomicité.} \\ \text{monoatomique } 1,67 \\ \text{diatomique } 1,4 \\ \text{triatomique } 1,33 \end{array} \right.$

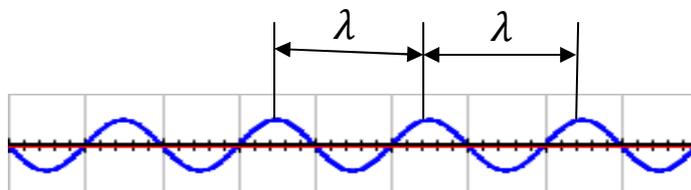
3) On montre que la vitesse du son dans un gaz est proportionnelle à la racine carrée de la température.

$$v = k\sqrt{T} \Rightarrow \frac{v_1}{\sqrt{T_1}} = \frac{v_2}{\sqrt{T_2}}$$

4) Pour deux gaz de même atomicité pris à la même température, la vitesse du son est inversement proportionnelle à la racine carrée de la densité.

$$v_1\sqrt{d_1} = v_2\sqrt{d_2}$$

5) Les ondes mécaniques sur la surface d'un liquide tout comme le long d'une corde sont dites transversales. **La longueur d'onde** est la distance qui sépare deux crêtes consécutives de même nature.



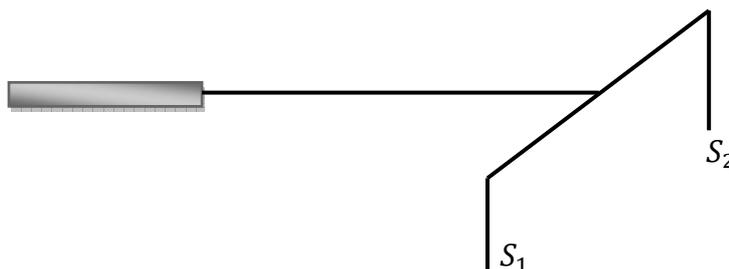
2 Les interférences d'ondes

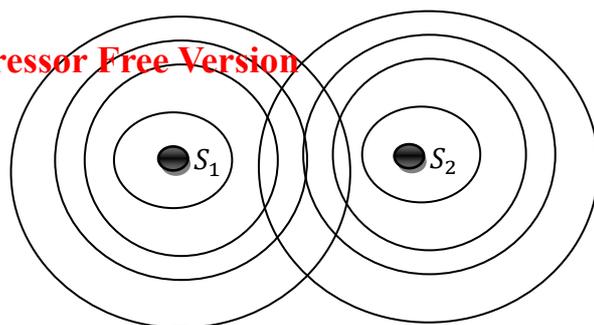
2.1 Définition et exemples

On appelle interférence, le phénomène résultant de la superposition d'au moins deux ondes progressives de même nature et même direction, de même fréquence et de sens contraires. Pour que telles ondes interfèrent, elles doivent être synchrones et cohérentes ; c'est-à-dire que les fonctions mathématiques qui leur sont associées doivent avoir une relation de phase constante.

2.2 Exemple d'interférence à la surface de l'eau

Une fourche munie de deux pointes est actionnée par un vibreur de pulsation ω créée en deux points S_1 et S_2 à la surface de l'eau au repos, des ondes circulaires qui se propagent dans tous les sens.





En éclairage normal, on observe à la surface de l'eau, dans la zone située entre les sources S_1 et S_2 , des lignes de crêtes en forme d'arc d'hyperboles.

En dehors de cette zone, on observe des rides circulaires qui s'agrandissent en s'éloignant de S_1 et de S_2 .

On appelle champ d'interférence, la zone située entre S_1 et S_2 , où se superposent des rides circulaires.

En éclairage stroboscopique, on observe que les franges d'interférences sont de deux types.

- ✓ Des franges au repos (ensemble des points ayant une amplitude nulle).
- ✓ Des franges d'interférences ou d'agitation maximale (l'ensemble des points vibrant avec une amplitude plus grande de celle des sources (ou maximale)).

2.3 Analyse mathématique

2.3.1 Equation d'un point M impulsé par une source

Soit un M situé à une distance d d'une source et reproduisant le mouvement impulsé par la source S d'équation : $y_S = a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right)$

L'onde se propageant à une vitesse V , le mouvement de M s'effectue avec un retard horaire $\theta = \frac{d}{V}$. D'où ; l'équation de M sera sous la forme : $y_{SM} = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}(t - \theta) + \varphi\right)$

Par développement l'on obtient : $y_{SM} = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi d}{TV} + \varphi\right)$

Sachant que $\lambda = VT$ on peut écrire $y_{SM} = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi d}{\lambda} + \varphi\right)$

2.3.2 Equation d'un point M imprimé par deux sources

Considérons deux sources S_1 et S_2 , l'élongation de S_1 est égale à

$$y_{S_1} = y_{S_2} = a \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \varphi\right)$$

Soit un point M situé à d_1 de S_1 et d_2 de S_2 . Dans le champ d'interférence.
PDF Compressor Free Version
 Soient à déterminer les équations des ondes issues de S_1 et de S_2 au point M. puis d'établir l'équation décrivant le phénomène au point λ .

Si S_1 vibrait seule, l'équation du point M serait vibrerait en retard de phase par rapport à la source (1) d'où son équation serait de la forme :

$$y_{M_1} = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi d_1}{\lambda} + \varphi\right)$$

Si S_2 vibrait seule, l'équation du point M serait vibrerait en retard de phase par rapport à la source (2) d'où son équation serait de la forme :

$$y_{M_2} = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi d_2}{\lambda} + \varphi\right)$$

La résultante de ses deux équations au point M s'obtient en additionnant les deux équations du point M : $y_M = y_{M_1} + y_{M_2}$

Cette équation peut s'obtenir soit par construction de Fresnel ou par calcul mathématique.

$$y_M = y_{M_1} + y_{M_2} = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi d_1}{\lambda} + \varphi\right) + a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi d_2}{\lambda} + \varphi\right)$$

Ceci peut se mettre sous la forme $y_M = a(\sin P + \sin Q)$

$$\text{Sachant que } \sin p + \sin q = 2 \cos \frac{p-q}{2} \sin \frac{p+q}{2}$$

On obtient finalement $y_M = 2a \cos \frac{\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) \sin\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{\pi}{\lambda}(d_1 + d_2) + \varphi\right)$

On l'écrit aussi $y_M = \mathcal{A} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t + \Phi\right)$

Où $\mathcal{A} = 2a \cos \frac{\pi}{\lambda}(d_2 - d_1)$ et $\Phi = -\frac{\pi}{\lambda}(d_1 + d_2) + \varphi$

La grandeur $\delta = |d_2 - d_1|$ est appelée différence de marche des ondes au point M.

✓ Si $\delta = 0$ c'est-à-dire $d_2 = d_1$, le point M est situé sur la médiatrice de $[S_1 S_2]$

✓ Le point M appartient à une frange d'agitation maximale si et seulement si

$$\cos \frac{\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) = \pm 1 \quad \mathcal{A} = \pm 2a \quad \text{c'est-à-dire } \frac{\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) = k\pi$$

C'est-à-dire $|d_2 - d_1| = k\lambda$ k appartient \mathbb{Z}

✓ Le point M appartient à une frange au repos si $\mathcal{A} = 0$

$$\text{C'est-à-dire } \frac{\pi}{\lambda}(d_2 - d_1) = (2k + 1)\frac{\pi}{2}$$

$$\text{C'est-à-dire } d_2 - d_1 = (2k + 1)\frac{\lambda}{2}$$

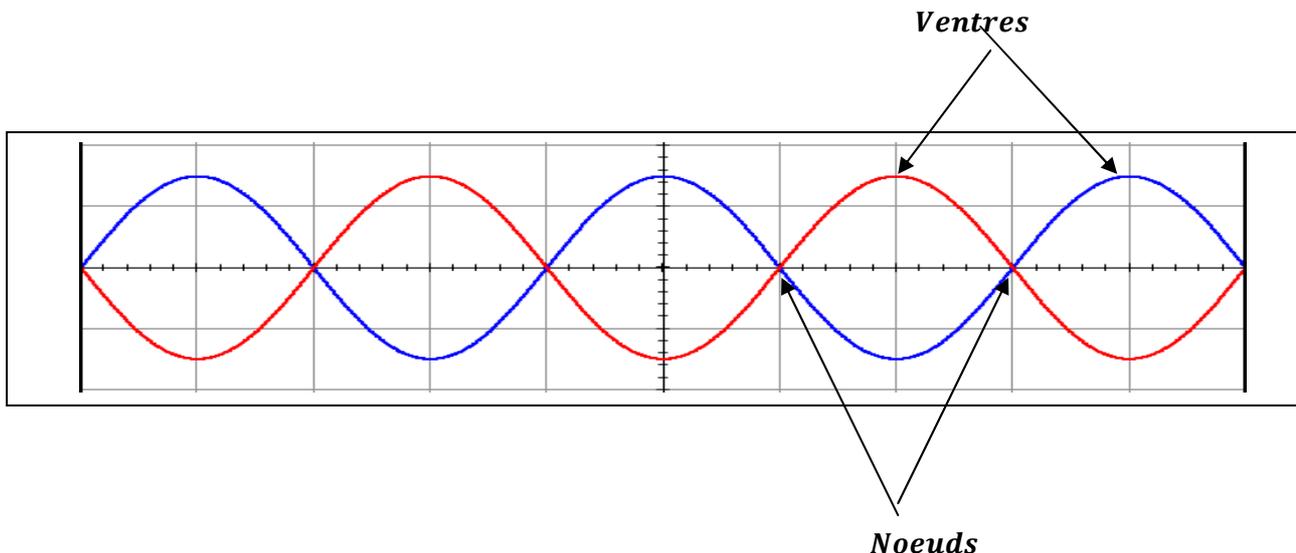
✓ On appelle ordre d'interférence, le réel p

$$p = \frac{d_2 - d_1}{\lambda}$$

Qui traduit l'état vibratoire d'un point M ans le milieu de propagation.
PDF Compressor Free Version

REMARQUE : les interférences mécanique le long d'une corde prennent le nom d'ondes stationnaires, corde présentant alternativement des renflements appelés ventres séparés par des points au repos appelés nœuds.

Les nœuds et les ventres se présentent comme suit :



On montre que la distance entre deux ventres ou deux nœuds consécutifs est égale à une demi-longueur d'onde.

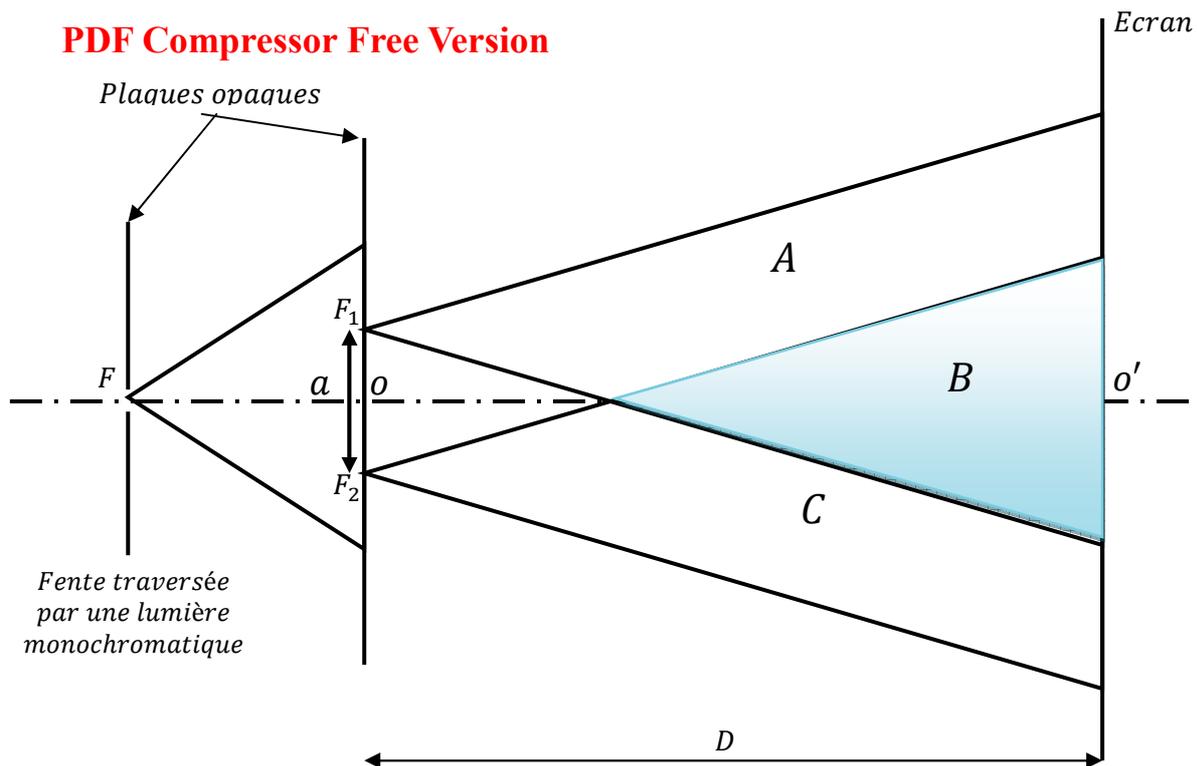
$$N_1 N_2 = V_1 V_2 = \frac{1}{2} \lambda$$

3 Les interférences lumineuses

3.1 Généralités

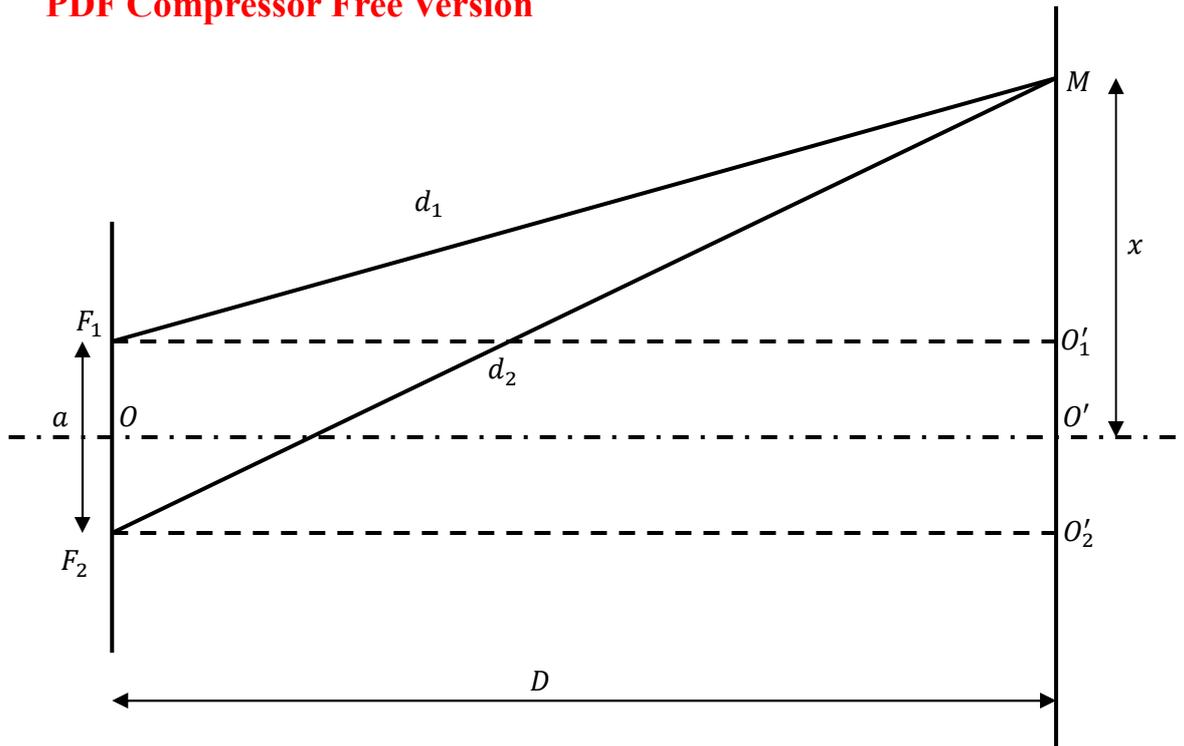
La notion d'interférence lumineuse renvoie à l'étude de la nature ondulatoire de la lumière. La lumière est une onde qui se comporte a la fois comme une onde et comme une particule. Son aspect corpusculaire ayant été étudié dans l'effet photoélectrique, nous étudierons la lumière ici uniquement comme une onde. la lumière tout comme les ondes mécaniques et acoustiques se propagent dans un milieu matériel. L'étude du phénomène d'interférence lumineuse à partir de l'expérience des fentes de Young

3.2 Expérience des fentes de Young



F_1 et F_2 sont deux sources secondaires à cause de la diffraction de la lumière. Lorsque la lumière issue de la source F arrive sur la plaque opaque, les sources secondaires F_1 et F_2 émettent à leur tour et simultanément deux faisceaux de lumière qui éclairent l'écran E ; sur cet écran, on observe un éclairement uniforme sur les parties A et C , une alternance des bandes brillantes et obscures sur la partie B ; ces bandes sont appelées franges d'interférences. Ce phénomène se rapproche de celui des interférences mécaniques pour lesquelles on avait, un mouvement plus intense et l'immobilité. Ici on a une lumière intense (frange brillante) et l'obscurité (frange sombre).

3.3 Différence de marche et notion d'interférence



$$F_1 F_2 = a \quad OO' = D \quad F_1 M = d_1 \quad O' M = x \quad F_2 M = d_2$$

3.3.1 La différence de marche

$$F_1 M^2 = F_1 O_1'^2 + O_1' M^2 \Rightarrow d_1^2 = D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2$$

$$F_2 M^2 = F_2 O_2'^2 + O_2' M^2 \Rightarrow d_2^2 = D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2$$

En faisant la soustraction on obtient

$$\begin{aligned} d_2^2 - d_1^2 &= \left(D^2 + \left(x + \frac{a}{2}\right)^2\right) - \left(D^2 + \left(x - \frac{a}{2}\right)^2\right) \\ &= \left(x + \frac{a}{2}\right)^2 - \left(x - \frac{a}{2}\right)^2 \\ &= \left(x + \frac{a}{2} + x - \frac{a}{2}\right) \left(x + \frac{a}{2} - x + \frac{a}{2}\right) \\ &= 2xa \end{aligned}$$

$$d_2^2 - d_1^2 = (d_2 - d_1)(d_2 + d_1) \Rightarrow d_2 - d_1 = \frac{d_2^2 - d_1^2}{d_2 + d_1}$$

En posant $d_2 + d_1 = 2D$

$$d_2 - d_1 = \frac{2ax}{2D} = \frac{ax}{D} \text{ on retiendra donc que } d_2 - d_1 = \frac{ax}{D}$$

L'ensemble des points vibrant avec une amplitude maximal, c'est-à-dire les franges brillantes, sont tels que :

$d_2 - d_1 = k\lambda$ en posant ceci équivaut à l'expression plus haut $x = k \frac{\lambda D}{a}$

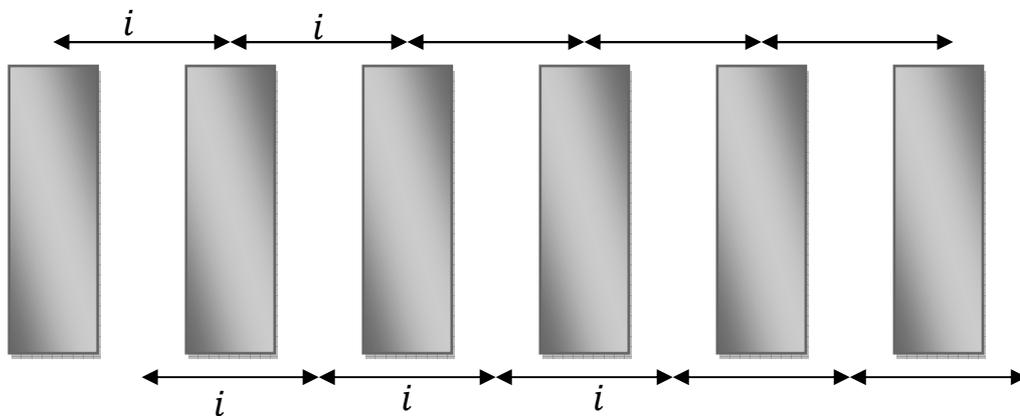
L'ensemble des points immobiles c'est-à-dire les franges sombres sont tels que :

$$d_2 - d_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{ax}{D} = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \text{ on obtient finalement}$$

$$x = \frac{2k + 1}{2} \times \frac{\lambda D}{a}$$

3.3.2 Notion d'interfrange

On appelle interfrange, la distance qui sépare les milieux de deux franges consécutives de même nature.



Désignons par i_b la distance qui sépare deux franges brillantes.

$$i_b = x_2 - x_1 = 2 \frac{\lambda D}{a} - 1 \frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a}$$

Désignons par i_s la distance qui sépare deux franges sombres.

$$\begin{aligned} i_s &= x_2 - x_1 = 2 \times \frac{2 + 1}{2} \times \frac{\lambda D}{a} - 2 \times \frac{1 + 1}{2} \times \frac{\lambda D}{a} \\ &= \frac{5}{2} \times \frac{\lambda D}{a} - \frac{3}{2} \times \frac{\lambda D}{a} = \frac{\lambda D}{a} \end{aligned}$$

On constate que $i_b = i_s = i = \frac{\lambda D}{a}$ ou $(i(m); \lambda(m); D(m); a(m))$

ON appelle ordre d'interférence, le réel $p = \frac{d_2 - d_1}{\lambda}$

Pour une frange brillante, p est un entier.

Pour une frange sombre, p est un demi-entier. L'ordre d'interférence renseigne sur la notion de la frange comptée à partir de la frange centrale qui est brillante et pour laquelle $p = 0$.

La lumière du soleil est blanche, lorsqu'elle traverse un prisme elle se révèle être composée de plusieurs couleurs appelées radiation lumineuses.