



RÉPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE

Honneur - Fraternité - Justice

MINISTRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE
ET DE LA RÉFORME DU SYSTÈME ÉDUCATIF

INSTITUT PÉDAGOGIQUE NATIONAL

PHYSIQUE

الكتاب الإلكتروني الوطني
6C&D

2023



المعهد التكنولوجي الوطني

PRÉFACE

Collègues Educateurs,

Chers élèves,

Dans le cadre des efforts visant à améliorer la qualité du système éducatif national et en accompagnement de la révision des programmes de l'enseignement secondaire opérée en 2020 et des innovations nationales et internationales, l'Institut Pédagogique National cherche à concrétiser cette tendance à travers l'élaboration et la publication d'un manuel scolaire de qualité qui occupe une place de choix dans le développement et l'amélioration des pratiques pédagogiques.

Dans ce contexte, nous sommes heureux de mettre entre les mains des élèves de la 6^{ème} du secondaire, le manuel de physique dans sa version expérimentale.

Nous espérons que ce manuel constituera une aide précieuse pour améliorer l'efficacité de construction des savoirs chez les élèves.

Tout en souhaitant recevoir de la part des collègues enseignants, toute observation, suggestion ou proposition de nature à améliorer la version finale de cet ouvrage, nous ne pouvons qu'adresser nos vifs remerciements aux concepteurs :

Dah Mohamed El Moctar Inspecteur Pédagogique de L'Enseignement Secondaire

Souleymane Md Amar Directeur adjoint de la Promotion de l'Enseignement des Sciences

Ahmed Jidein Inspecteur Pédagogique de L'Enseignement Secondaire

Cheikh Ahmedou

المعهد التكنولوجي الوطني

AVANT-PROPOS

**Chers collègues Professeurs,
Chers élèves,**

C'est dans le cadre des énormes efforts que fournit l'Institut Pédagogique National pour mettre à votre disposition, dans les meilleurs délais, un outil pouvant vous aider à accomplir votre tâche que s'inscrit l'élaboration de ce manuel intitulé : **physiques 6^{ème} AS** pour la sixième année du lycée.

Celui-ci est conçu conformément aux nouveaux programmes en vigueur. Il vise à offrir aussi bien au professeur qu'à l'élève une source d'informations pour aider le premier à préparer son cours et le second à mieux assimiler son programme de l'année et même à élargir son horizon. Il importe cependant de bien noter qu'il ne peut en aucun cas être le seul support, ni pour l'un, ni pour l'autre et doit être renforcé et enrichi à travers la recherche d'autres sources d'informations.

Le contenu de ce manuel est réparti en huit chapitres. Chaque chapitre renferme tous les savoirs énoncés dans le programme dégagés à partir de l'étude d'exemples ou de situations décrites dans divers documents choisis et adaptés à nos réalités.

Dans ces chapitres aussi les **activités expérimentales** sont intégrées au cours pour aider l'élève à découvrir et à observer les phénomènes en jeu afin de comprendre les lois étudiées.

Ensuite chaque chapitre est sanctionné par une **série d'exercices** pour évaluer les notions fondamentales abordées.

Enfin nous attendons vos précieuses remarques et suggestions en vue d'améliorer ce manuel dans ces prochaines éditions.

Les auteurs

Souleymane Md Amar

Directeur Adjoint de la Promotion
de l'Enseignement des Sciences

Dah Mohamed El Moctar

Inspecteur Pédagogique de
L'Enseignement Secondaire

Ahmed Jidein

Inspecteur Pédagogique de
L'Enseignement Secondaire

Maquettiste:

Oumry Ahmed Bebba

Maquettiste I.P.N

المعهد التكنولوجي الوطني

LA CINEMATIQUE



OBJECTIFS

- Comprendre la nécessité d'un référentiel et d'un repère pour étudier un mouvement.
- Savoir comment calculer une grandeur d'évolution comme : le vecteur position, le vecteur vitesse ou le vecteur accélération.
- Savoir comment exploiter un enregistrement pour calculer la vitesse et l'accélération d'un mobile.
- Savoir l'équation horaire de chacun des mouvements étudiés
- Pouvoir établir l'équation horaire d'un mouvement à partir d'un diagramme des espaces ou des vitesses par exemple.

I - Introduction

La cinématique est l'étude des mouvements des points au cours du temps indépendamment des causes qui produisent le mouvement. Les objectifs sont la détermination des grandeurs cinématiques telles que les vecteurs accélération, vitesse, position et l'équation horaire de la trajectoire de ce point par rapport à un référentiel choisi par l'observateur

II - Relativité du mouvement

Un objet est en mouvement par rapport à un autre objet qui sert de référence si sa position change par rapport à cet objet. C'est à dire s'il :

- se rapproche de lui
- s'éloigne de lui
- tourne autour de lui
- se rapproche ou s'éloigne en tournant autour de lui.

Exemple 1 :

Observons l'image ci-contre.

La voiture est en mouvement par rapport à la route, aux arbres aux maisons,...

Fatimetou, la passagère, endormie est en mouvement par rapport à la route ; mais elle est immobile par rapport à la carrosserie de la voiture.

Exemple2 :

Deux voyageurs A et B sont assis dans un wagon en mouvement

Le voyageur A observe B. il conclut : « B est immobile »

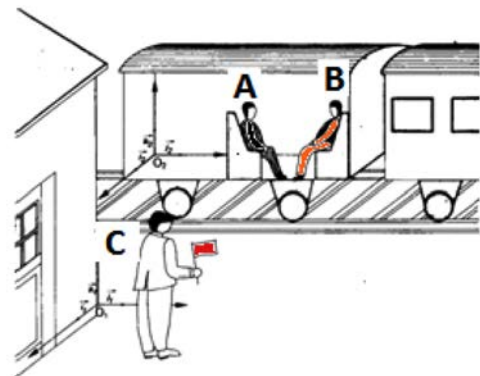
La chef de gare C observe B il conclut « B est en mouvement »

Ces deux observations sont-elles contradictoires ? Non , elles ne le sont pas car elles sont faites dans deux référentiels différents :

A fait ses observations dans le référentiel du wagon.

C fait ses observations dans le référentiel de la terre.

Ces expériences montrent que les notions de mouvement ou de repos sont relatives à un référentiel choisi

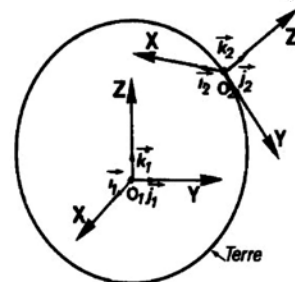


III - Référentiel

1 - Définition

Le référentiel est l'objet ou le solide de référence par rapport auquel on étudie le mouvement. Il n'est pas toujours matérialisé par un seul corps comme le train ou la terre.

Il peut être constitué par un ensemble de corps qui restent à distance constante les uns des autres.



2- Exemples de référentiels

a- Référentiel terrestre : également appelé référentiel local ou encore référentiel du laboratoire.

Un point lié à la surface de la terre est immobile dans ce repère.

Le système d'axes $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ est lié au point de la surface de la terre, où l'étude est faite.

Le référentiel terrestre est bien adapté pour l'étude locale de tout mouvement se produisant à la surface de la terre : déplacement de train, expériences faites au laboratoire.

b- Référentiel géocentrique (ou de Coriolis) :

Le référentiel géocentrique, est constitué par le centre de la terre et trois étoiles très éloignées quasiment fixes dont l'une est l'étoile polaire.

C'est dans ce référentiel que l'on étudie le mouvement des satellites, des avions, de tout ce qui évolue autour de la terre d'une manière générale.

c- Référentiel de Copernic :

Le référentiel de Copernic est formé par le centre d'inertie, G du système solaire, (presque confondu avec celui du soleil) et par trois étoiles très lointaines. Ce référentiel est utilisé pour étudier le mouvement des planètes, des étoiles, des comètes.

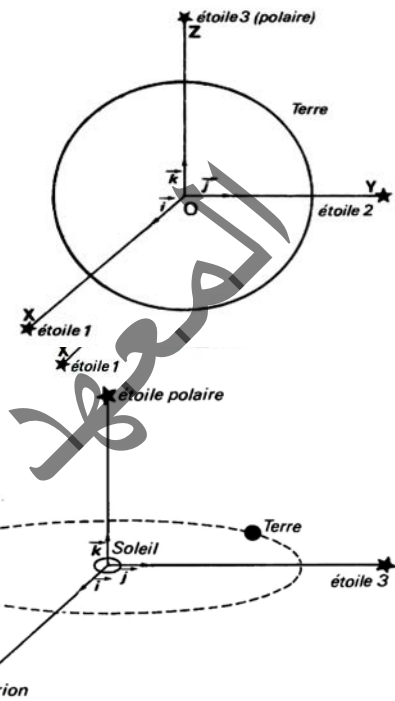
Remarque : Quel référentiel choisir ?

Dans la vie courante, la terre et tout ce qui s'y rattache (routes, arbres, maisons) constituent notre référentiel.

Lorsque nous parlons de mouvement sans préciser par rapport à quoi c'est qu'il s'agit implicitement de référentiel terrestre (local)

Un oiseau qui vole est en mouvement par rapport à la terre et aussi par rapport aux nuages.

Ceux-ci se déformant aux grés des vents ne peuvent servir de référentiel ; on choisit pour référentiel des systèmes qu'on peut considérer comme indéformables ou « solide de référence ».

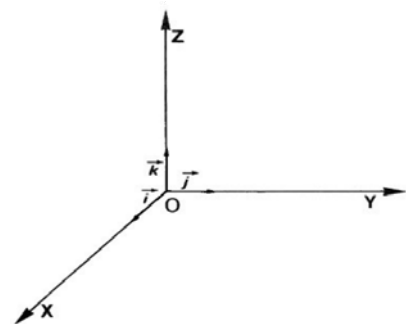


VI – Notion de repères

1- Repère d'espace

Pour décrire mathématiquement les caractéristiques d'un mouvement un observateur utilise un repère lié au référentiel d'observation.

Un repère est généralement déterminé par une origine O, liée au référentiel d'observation et par une base (O, \vec{i}) ou (O, \vec{i}, \vec{j}) ou $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, le plus souvent orthonormé.



Les vecteurs \vec{i} , \vec{j} et \vec{k} sont unitaires : $\|\vec{i}\| = \|\vec{j}\| = \|\vec{k}\| = 1$

Le repère d'espace est donc la base (O, \vec{i}) ou (O, \vec{i}, \vec{j}) ou $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ dont on munit le référentiel, pour positionner un corps mobile au cours du temps.

Exemple : Un oiseau en vol est en mouvement par rapport au référentiel terrestre. Sa position par rapport à un point O situé sur la terre change à chaque instant. Pour situer l'oiseau à un instant donné, on associe un repère d'espace, orthonormé, au point O, situé sur la terre, et choisi arbitrairement.

Ce repère comporte, en plus de l'originel O trois axes, ox, oy, oz perpendiculaires et orientés par les vecteurs \vec{i} , \vec{j} et \vec{k} . L'ensemble constitue le repère $\mathcal{R}(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$.

2 - Repère de temps

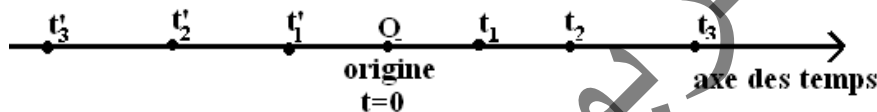
Il permet d'associer une date à chaque position d'un point en mouvement.

Il se définit par le choix d'une origine des dates et d'une unité de temps.

L'origine des dates peut-être choisie par exemple à l'instant du début du mouvement. Elle se note $t=0$ et correspond à l'instant où on met en marche un chronomètre ou une horloge électronique. Elle peut-être donnée aussi par une horloge parlante :

« Au quatrième top, il sera ».....

Quant à l'unité de temps c'est la seconde(s) qui est adoptée dans le système, international d'unités (S.I)



Conventions

Tous les instants qui suivent l'origine du temps sont comptés positivement.

Exemples : t_1, t_2, t_3, \dots

Tous les instants qui précèdent l'origine du temps sont comptés négativement.

Exemple cas précédent : Une horloge permet d'associer une date t à chaque position de l'oiseau par rapport au repère \mathcal{R}

Conclusion : Un repère d'espace et un repère de temps permettent de situer un point, dans l'espace et dans le temps.

V - Mobile

Dans notre étude, nous considérons que tout corps en mouvement par rapport à un référentiel donné est un mobile, noté M. C'est le cas, par exemple d'une voiture roulant sur une route, par rapport au référentiel terrestre. Le cas également d'un avion en vol, d'un ballon mis en mouvement, par un joueur par rapport au même référentiel précédent.

Pour la définition de quelques grandeurs cinématiques, tel que le vecteur position, le vecteur vitesse, nous utiliserons la notion de « point matériel mobile » dans le souci de simplifier.

VI- Notion de point matériel

Le ballon de football est « petit » quand on le compare aux dimensions du stade sur lequel il roule, mais ce même ballon est gros dans les mains d'un jeune enfant, il est alors comparé à la taille de cet enfant et aux courts trajets que celui-ci peut lui imposer en le frappant du pied.

Nous voyons à travers cet exemple dans quelles conditions un corps est considéré comme un point matériel.

Il faut que ses dimensions soient petites par rapport aux dimensions qui caractérisent sa trajectoire,

« **Un point matériel est un corps pesant dont les dimensions sont petites devant celles de sa trajectoire.** »

VII -Trajectoire

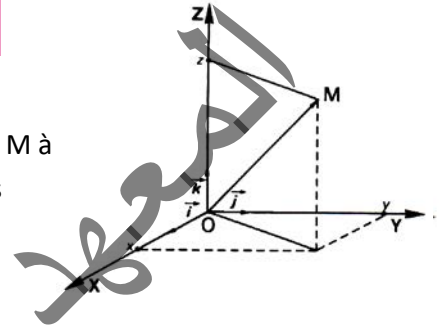
C'est l'ensemble des positions occupées par le mobile au cours du temps. Si la trajectoire est une droite le mouvement est rectiligne. Il sera dit curviligne dans tous les autres cas.

VIII -Vecteur position ou vecteur espace

Il donne la position d'un mobile à un instant donné.

Soit M le point mobile et $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ le repère choisi, la position de M à chaque instant est donnée par les composantes ou les coordonnées cartésiennes x, y, z du vecteur position

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



S'il y a un mouvement, au moins l'une des coordonnées x, y, z varie en fonction du temps. Dans le cas général, on a :

$$\begin{cases} x = f(t) & (1) \\ y = g(t) & (2) \\ z = h(t) & (3) \end{cases}$$

Les équations (1) ; (2) et (3) sont appelées équations horaires ou équations paramétriques du mouvement.

Application

Dans le repère $(O, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ la position d'un point M est définie à chaque instant par :

$$\vec{OM} \begin{cases} x = 2t \\ y = 4t + 3 \\ z = 0 \end{cases}$$

Donner les positions respectives du point M aux instants 0s ; 1 s ; 2 s ; 3s ; 4s ;

Solution : $z=0$ quel que soit t , le mouvement a donc lieu dans le plan xOy .

Portons les valeurs successives des coordonnées de M dans un tableau :

t	0	1	2	3	4
x	0	2	4	6	8
y	3	7	11	15	19

Le vecteur position : $\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

$$(\overline{OM})^2 = (\vec{x}\vec{i} + \vec{y}\vec{j} + \vec{z}\vec{k})^2$$

$$(\overline{OM})^2 = \overline{OM} \cdot \overline{OM} = OM^2$$

$$(\vec{x}\vec{i})^2 = \vec{x}\vec{i} \cdot \vec{x}\vec{i} = x^2 \text{ de même } (\vec{y}\vec{j})^2 = y^2 \text{ et } (\vec{z}\vec{k})^2 = z^2$$

$$\left. \begin{array}{l} \vec{i}^2 = 1 \\ \vec{j}^2 = 1 \\ \vec{k}^2 = 1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \vec{i} \cdot \vec{j} = 0 \\ \vec{j} \cdot \vec{k} = 0 \\ \vec{k} \cdot \vec{i} = 0 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \vec{i}^2 = 1 \\ \vec{j}^2 = 1 \\ \vec{k}^2 = 1 \end{array}} \right\} \text{Vecteurs unitaires } \left. \vphantom{\begin{array}{l} \vec{i}^2 = 1 \\ \vec{j}^2 = 1 \\ \vec{k}^2 = 1 \end{array}} \right\} \text{Vecteurs orthogonaux}$$

Donc :

$$OM^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

$$\text{d'où } OM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

OM représente à un instant donné, la distance qui sépare le point mobile M au point origine O.

Exemple : si $t = 2s$ on a d'après le tableau précédent $\overline{OM} \begin{cases} x = 4 \\ y = 11 \\ z = 0 \end{cases}$ ou $\overline{OM} = 4\vec{i} + 11\vec{j} + 0\vec{k}$

$$OM = \sqrt{4^2 + 11^2} = \sqrt{137} = 11,7m$$

Si les coordonnées x ; y ; z sont exprimées en mètre, OM est exprimée également en mètre

La construction de \overline{OM} se fait en sommant géométriquement les trois vecteurs $\vec{x}\vec{i}$; $\vec{y}\vec{j}$ et $\vec{z}\vec{k}$

Exemple cas précédent : $\overline{OM} = 4\vec{i} + 11\vec{j} + 0\vec{k}$

Donc la construction de \overline{OM} donne :

l'origine du vecteur position ;

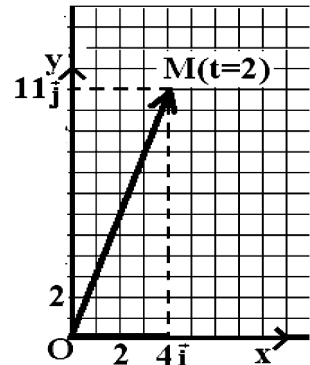
sa direction et son sens.

la norme OM du vecteur position \overline{OM} donne la distance qui sépare le mobile à l'instant considéré de l'origine O, choisie.

Notation et vocabulaire : l'intensité d'un vecteur \vec{V} est notée V.

Exemple : l'intensité du vecteur position \overline{OM} est notée OM ;

l'intensité du vecteur vitesse \vec{V} sera notée V ; celle du vecteur accélération \vec{a} sera notée a.



Les termes : intensité, module ou norme d'un vecteur sont équivalents

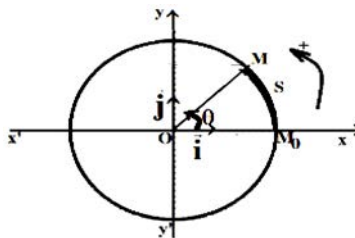
Remarque 1 :

L'abscisse curviligne : si la trajectoire d'un point est connue ; on peut l'orienter et choisir un point origine M_0 ;

La valeur algébrique de l'arc M_0M est

l'abscisse curviligne S du point M :

L'abscisse curviligne est liée au temps par la relation $S = f(t)$ appelée équation horaire du mouvement.



Exemple : Sur une carte routière les écarts entre les villes sont déterminés à partir des abscisses curvilignes de ces dernières.

Si l'origine M_0 est choisie à NKTT l'abscisse d'un mobile M (une voiture par exemple) qui part de NKTT et arrive à Rosso est $S = 204\text{km}$.

Remarque 2 :

Considérons les deux exemples suivants :

Exemple 1 : (cas d'une course de 100 m sur un chemin bien droit, mouvement d'une voiture sur une route goudronnée bien droite) le vecteur position s'écrit :

$$\vec{OM} = x\vec{i} \Leftrightarrow \|\vec{OM}\| = OM = x$$

O: origine choisie sur l'axe considéré ; M le mobile, en effet $y=0$ et $z=0$

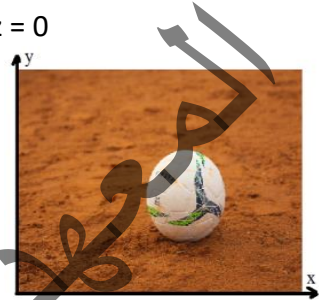
Exemple 2 :

Considérons le cas d'un ballon qui roule sur terrain sans qu'elle vole ; le vecteur position

$$\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} \Leftrightarrow \|\vec{OM}\| = OM = \sqrt{x^2 + y^2}$$

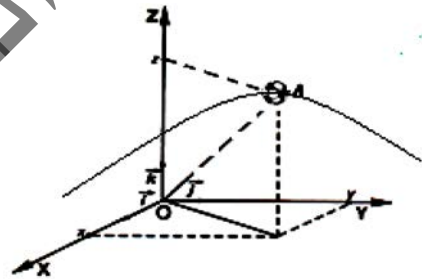
O: un point origine choisi sur la table ; OX et OY sont deux axes orthogonaux choisis sur la table.

En effet, tant que la mouche ne vole pas elle est dans le plan de la table $z=0$.



Pour repérer la position d'un ballon en air à un instant t donné, on a besoin d'une troisième coordonnée supplémentaire (la cote z) et le vecteur position s'écrit alors :

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



IX -Le vecteur vitesse

1 -L'accroissement du vecteur position

Soit M_1 la position du point mobile M à l'instant t_1 et M_2 sa position à l'instant t_2 .

Le vecteur position à l'instant t_1 est :

$$\vec{OM}_1 = x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k}$$

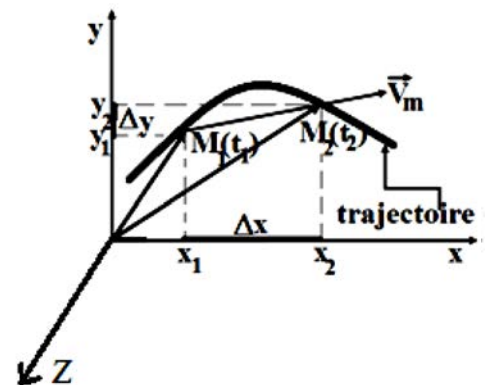
Le vecteur position à l'instant t_2 est

$$\vec{OM}_2 = x_2\vec{i} + y_2\vec{j} = (x_1 + \Delta x)\vec{i} + (y_1 + \Delta y)\vec{j}$$

$$\text{avec } \begin{cases} x_2 = (x_1 + \Delta x) \\ y_2 = (y_1 + \Delta y) \\ z_2 = (z_1 + \Delta z) \end{cases}$$

L'accroissement du vecteur position est le vecteur

$$\begin{aligned} \Delta\vec{OM} &= \vec{OM}_2 - \vec{OM}_1 = [(x_1 + \Delta x)\vec{i} + (y_1 + \Delta y)\vec{j} + (z_1 + \Delta z)\vec{k}] - (x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k}) \\ &= \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k} \end{aligned}$$



2 - Le vecteur vitesse moyenne \vec{V}_m

Le vecteur vitesse moyenne du point mobile entre les instants t_1 et t_2 est par définition le rapport de l'accroissement du vecteur position à la durée $\Delta t = t_2 - t_1$

$$\overline{\Delta OM} = \overline{OM_2} - \overline{OM_1} = \overline{OM_2} + \overline{M_1O} = \overline{M_1O} + \overline{OM_2} = \overline{M_1M_2}$$

$$\text{Donc } \vec{V}_m = \frac{\overline{M_1M_2}}{\Delta t} = \left(\frac{1}{\Delta t}\right) \cdot \overline{M_1M_2}$$

Comme $\frac{1}{\Delta t} > 0$ (car $t_2 > t_1 \Rightarrow \Delta t > 0$) alors les vecteurs \vec{V}_m et $\overline{M_1M_2}$ ont même direction et même sens. Le vecteur vitesse moyenne est donc porté par la sécante ($M_1 M_2$).

3 - Le vecteur vitesse instantanée

Le vecteur vitesse instantanée ou vecteur vitesse \vec{V} donne des renseignements plus précis que \vec{V}_m . Il définit la vitesse d'un mobile à chaque instant.

Le compteur de vitesse d'une automobile indique la valeur de la vitesse instantanée

Il est obtenu en réduisant l'intervalle de temps de mesure, c'est - à dire en faisant tendre t_2

$$\text{vers } t_1 \quad \vec{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{V}_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\overline{\Delta OM}}{\Delta t} = \frac{d\overline{OM}}{dt}$$

Le vecteur vitesse est donc la dérivée par rapport au temps du vecteur position

$$\overline{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

Soit :

$$\vec{V} = \frac{d}{dt}(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}) = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k}$$

$$= V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k}$$

$$= x'\vec{i} + y'\vec{j} + z'\vec{k}$$

$$V_x = \frac{dx}{dt} = x' ; V_y = \frac{dy}{dt} = y' ; V_z = \frac{dz}{dt} = z'$$

sont respectivement les composantes du vecteur vitesse sur les axes Ox ; Oy et Oz.

* **Conséquence géométrique** : lorsque $\Delta t \rightarrow 0$ ou $t_2 \rightarrow t_1$

le point M_2 se rapproche indéfiniment de M_1 . La sécante (M_1M_2) tend vers la tangente à la trajectoire au point M_1 .

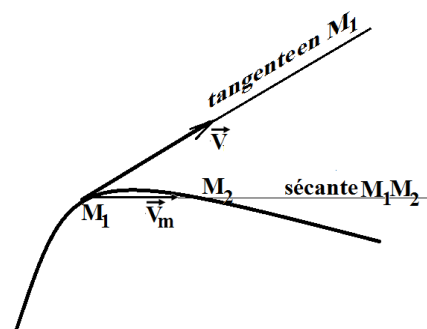
Donc le vecteur vitesse (ou vecteur vitesse instantanée) est à chaque instant tangent à la trajectoire.

Son sens est celui du mouvement.

* **Calcul de l'intensité V du vecteur vitesse** :

$$\vec{V} = V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k}$$

$$(\vec{V})^2 = (V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k})^2 \Rightarrow V^2 = V_x^2 + V_y^2 + V_z^2 \text{ d'où } V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$



Unités : Dans le système international, l'intensité de la vitesse s'exprime en mètre par seconde m/s ou $m \cdot s^{-1}$

Application la position d'un point mobile M est donnée à chaque instant, dans le repère

$$(\mathbf{O}, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k}) \text{ par } \overline{OM} \begin{cases} x = 2t \\ y = t^2 + 3 \\ z = 0 \end{cases}$$

Calculer les composantes et l'intensité du vecteur vitesse du point M aux instants $t=0$, $t = 1s$; $t=2s$; $t=3s$ et $t=4s$

Solution

$$\vec{V} = \frac{d\overline{OM}}{dt}; \vec{V} \begin{cases} V_x = \frac{dx}{dt} = 2 \\ V_y = \frac{dy}{dt} = 2t \\ V_z = \frac{dz}{dt} = 0 \end{cases} \quad V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$$

Rassemblons les résultats dans le tableau ci-dessous

t	0	1	2	3	4
$v_x(m/s)$	2	2	2	2	2
$v_y(m/s)$	0	2	4	6	8
$V (m/s)$	2	2.82	4.47	6.32	8.24

X - L'accélération

L'accélération, tout comme la vitesse est une grandeur d'évolution. L'accélération caractérise la variation du vecteur vitesse pendant une durée donnée.

Exemple : Deux véhicules partent du repos et acquièrent respectivement les vitesses de 10m/s et 20m/s, en 10secondes.

Intuitivement, nous disons que le deuxième véhicule accélère davantage que le premier ; ce qui

revient à comparer le rapport: $\mathbf{a} = \frac{\text{variation de la vitesse}}{\text{durée de la variation}}$

Pour le 1^{er} véhicule : $a = 1m/s^2$

Pour le 2^{eme} véhicule : $a = 2m/s^2$.

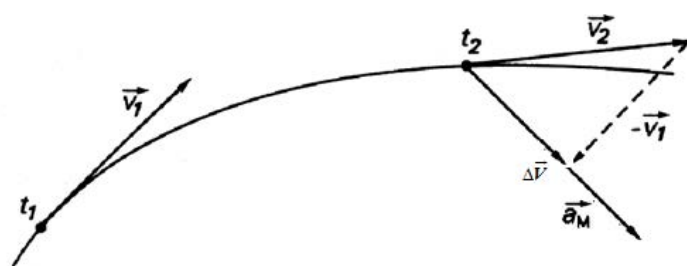
La valeur a est l'intensité de l'accélération moyenne.

1- Accélération moyenne

Considérons deux instants t_1 et t_2 correspondant aux positions respectives M_1 et M_2 d'un point M. Les vecteurs vitesses instantanées du point mobile M à ces instants sont \vec{V}_1 et \vec{V}_2

Par définition, l'accélération moyenne du point mobile M est

$$\vec{a}_m = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} = \frac{\vec{V}_2 - \vec{V}_1}{\Delta t} = \left(\frac{1}{\Delta t} \right) \cdot \Delta \vec{V}$$



Construction de \vec{a}_m : Comme $\frac{1}{\Delta t} > 0$ (car $t_2 > t_1 \Rightarrow \Delta t > 0$) alors les vecteurs \vec{a}_m et $\Delta\vec{V}$ ont même direction et même sens $\Delta\vec{V} = \vec{V}_2 - \vec{V}_1 = -\vec{V}_1 + \vec{V}_2$

On construit d'abord $\Delta\vec{V}$ puis \vec{a}_m ; \vec{a}_m est toujours dirigé vers le centre de la concavité de la trajectoire.

2 Vecteur accélération instantanée \vec{a}

Comme pour la vitesse, on fait tendre t_2 vers t_1 , l'accélération moyenne tend vers l'accélération

$$\text{instantanée : } \vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{a}_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{V}}{\Delta t} = \frac{d\vec{V}}{dt}$$

On peut écrire aussi :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\vec{OM}}{dt} \right) = \frac{d^2\vec{OM}}{dt^2}$$

L'accélération instantanée ou accélération est la dérivée par rapport au temps du vecteur vitesse. C'est aussi la dérivée seconde par rapport au temps du vecteur position.

\vec{a} : caractérise les variations au cours du temps du vecteur vitesse \vec{V}

- Si $\vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{0} \Rightarrow \vec{V} = \text{cte}$. Le vecteur vitesse ne varie, ni en sens ni en direction ni en intensité

- Si $\vec{a} \neq \vec{0} \Rightarrow \frac{d\vec{V}}{dt} \neq \vec{0} \Rightarrow \vec{V}$ varie.

Cette variation de \vec{V} peut résulter d'une variation de direction ou d'une variation de sens de \vec{V} ou encore d'une variation de l'intensité V de \vec{V} .

3 - Expression du vecteur accélération

- Dans la base cartésienne $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} \text{ avec } \vec{V} = V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k}$$

$$\text{donc } \vec{a} = \frac{d}{dt}(V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k}) = \frac{dV_x}{dt}\vec{i} + \frac{dV_y}{dt}\vec{j} + \frac{dV_z}{dt}\vec{k}$$

$$\text{soit } \begin{cases} \frac{dV_x}{dt} = a_x \\ \frac{dV_y}{dt} = a_y \\ \frac{dV_z}{dt} = a_z \end{cases} \text{ ou } \vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}$$

Lorsqu'on remplace V_x , V_y et V_z par leurs valeurs $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$ et $\frac{dz}{dt}$ il vient

$$\vec{a} = \begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} = a_x \\ \frac{d^2y}{dt^2} = a_y \\ \frac{d^2z}{dt^2} = a_z \end{cases} \quad \text{d'où} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d^2\overline{OM}}{dt^2}$$

Intensité :

$$\vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} \Leftrightarrow a^2 = (a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k})^2$$

$$\text{alors } a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Unité : Dans le système international d'unités l'intensité du vecteur accélération s'exprime en m/s² ou m.s⁻²

Application Dans le repère d'espace, la position d'un point mobile M est définie à chaque

$$\text{instant par } \overline{OM} \begin{cases} x = 2t \\ y = -0,4t^3 \\ z = 0 \end{cases}$$

Calculer les composantes et l'intensité du vecteur accélération du point M aux instants t=0; t = 1s; t = 2s.

Solution Déterminons d'abord les composantes du vecteur vitesse $\vec{V} = \frac{d\overline{OM}}{dt}$;

$$\vec{V} \begin{cases} V_x = \frac{dx}{dt} = 2 \\ V_y = \frac{dy}{dt} = -1,2t^2 \\ V_z = \frac{dz}{dt} = 0 \end{cases}$$

Les composantes du vecteur accélération sont obtenues en dérivant les composantes du

$$\text{vecteur vitesse : } \vec{a} \begin{cases} a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = 2 \\ a_y = \frac{d^2y}{dt^2} = -2,4t \\ a_z = \frac{d^2z}{dt^2} = 0 \end{cases}$$

L'intensité du vecteur accélération est: $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

Les valeurs numériques sont regroupées dans le tableau:

t	0	1	2
a _x	0	0	0
a _y	0	-2.4	-4.8
a (m/s ²)	0	2.4	4.8

Dans cet exemple :

$$a = \sqrt{a_y^2} = |a_y|$$

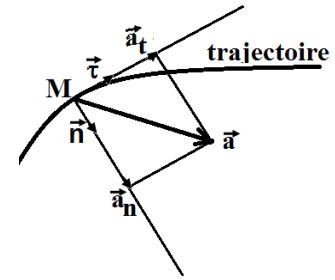
Dans la base curviligne : $(\vec{\tau}, \vec{n})$

Considérons une trajectoire plane:

Soit : M un point quelconque de cette trajectoire

$\vec{\tau}$ un vecteur unitaire tangent à la trajectoire, orienté selon le sens positif choisi, \vec{n} est le vecteur unitaire perpendiculaire à $\vec{\tau}$ et orienté vers le centre de la concavité de la trajectoire. $\vec{\tau}$ et \vec{n} déterminent une base orthonormée.

Dans cette base, le vecteur accélération possède deux composantes : \vec{a}_τ et \vec{a}_n



On montre et nous admettons que: $\vec{a} \begin{cases} \vec{a}_\tau = \frac{dV}{dt} \\ \vec{a}_n = \frac{V^2}{\rho} \end{cases}$

- \vec{a}_τ : est la composante tangentielle de l'accélération, elle caractérise les variations du module de la vitesse.
- \vec{a}_n : est la composante normale de l'accélération (accélération normale), elle caractérise les variations de la direction du vecteur vitesse
- V^2 : carré du module de la vitesse.
- ρ : rayon de courbure de la trajectoire.

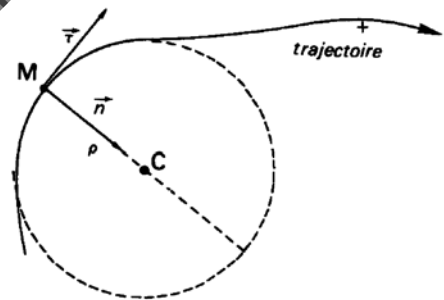
Le rayon de courbure ρ est le rayon du cercle tangent à la trajectoire sur une petite portion autour du point M,

*Si la trajectoire est un cercle de rayon R, $\rho = R$.

*Si la trajectoire est une droite, ρ tend vers l'infini (lorsque le rayon tend vers l'infini ; l'arc de cercle correspondant tend vers un segment de droite).

Conséquences : Dans ce dernier cas (Mouvement Rectiligne)

$$\rho \rightarrow \infty \Rightarrow \vec{a}_n \rightarrow \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{a}_\tau$$



Remarque

V^2 est toujours positif, de même que ρ donc a_n est toujours positif.

XI- Mouvement accéléré - Mouvement retardé

Le mouvement est accéléré lorsque le module du vecteur vitesse augmente au cours du temps : c'est le cas du démarrage d'une voiture.

Il est retardé dans le cas contraire: c'est le cas de l'arrêt d'une voiture.

Si le mouvement est accéléré, les vecteurs \vec{V} et \vec{a} ont même sens ce qui implique que le produit scalaire $\vec{a} \cdot \vec{V} > 0$.

A l'inverse; le mouvement est retardé si $\vec{a} \cdot \vec{V} < 0$

Remarque

Si $\vec{a} \cdot \vec{V} = 0$ deux possibilités

- $\vec{V} \neq \vec{0}$ Le mouvement est uniforme $\left\{ \begin{array}{l} \vec{a} = \vec{0} \Leftrightarrow \text{m.r.u} \\ \vec{a} \neq \vec{0} \Leftrightarrow \text{m.c.u} \end{array} \right.$
- $\vec{V} = \vec{0}$ Le mobile est au repos.

XII -Les enregistrements chrono graphiques

S'il est assez facile de déterminer la position d'un objet immobile, il est beaucoup plus difficile de déterminer la position d'un point M en mouvement et déterminer en même temps l'instant de passage de ce point en cette position.

Cependant les méthodes expérimentales suivantes vont nous montrer que ce problème peut être résolu de façon satisfaisante.



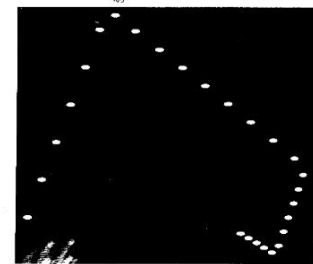
aérotable

1 - L'aérotable

L'aérotable est une grande caisse dont la partie supérieure est un plan percé de nombreux trous de très faible diamètre.

De l'air émis par une soufflerie sort par ces trous, suivant des jets verticaux qui soutiennent la base d'un objet assez léger. Cet objet que nous appelons dans la suite, le palet peut dès lors glisser sur la table sans rencontrer de résistance appréciable. On réalise ainsi un contact qui est pratiquement sans frottements.

Pour étudier le mouvement d'un point de ce palet on colle sur celui-ci un petit cercle de papier. Il suffit alors de prendre une série de photographies successives de ce point pour mettre en mémoire le mouvement. La figure ci-contre représente un exemple d'enregistrement ainsi effectué.



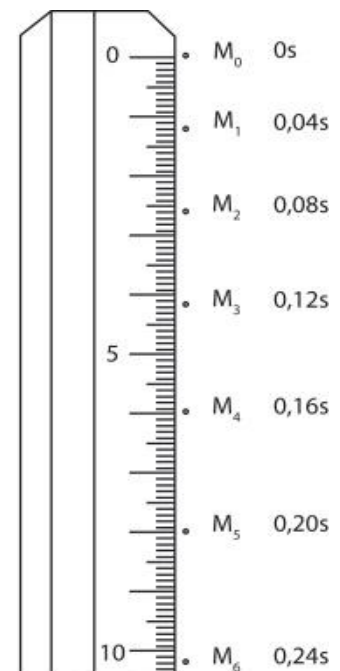
2- Calcul de la vitesse

2.1- Cas des mouvements rectilignes :

L'intervalle de temps τ ou θ étant assez petit par rapport à la durée totale du mouvement la vitesse instantanée d'un point mobile à l'instant t est égale à sa vitesse moyenne entre les instants t- Δt et t+ Δt

En un point M_i la vitesse du point mobile lors de son passage par M_i est :

$$\vec{V}_i = \frac{\vec{M}_{i-1}M_{i+1}}{2\tau}$$



Exemple : Sur la figure ci-contre : la vitesse du point mobile lors de son passage au point M_4 est

$$V_4 = \frac{M_3 M_5}{2\tau} \text{ soit } V_4 = 47,5 \text{ cm/s}$$

On peut calculer de même les vitesses du mobile en tout

point de cet enregistrement (à l'exception des deux points extrêmes).

2.2 -Calcul de l'accélération :

Les méthodes expérimentales d'enregistrement ont été exposées au paragraphe 10.

Si $\vec{V}_0, \vec{V}_1, \vec{V}_2, \vec{V}_3, \dots, \vec{V}_{i-1}, \vec{V}_{i+1}, \dots, \vec{V}_n$ sont respectivement les vecteurs vitesse aux points $M_0, M_1, M_2, \dots, M_{i-1}, M_{i+1}, \dots, M_n$.



Le vecteur accélération: \vec{a} en un point quelconque M_i est: $\vec{a}_i = \frac{\vec{V}_{i+1} - \vec{V}_{i-1}}{2\tau}$

τ est l'intervalle de temps entre deux marquages consécutifs

Exemple:

$$a_2 = \frac{V_3 - V_1}{2\tau} \text{ et } a_3 = \frac{V_4 - V_2}{2\tau}$$

Remarque : Comme dans le cas des vitesses on confond l'accélération moyenne avec une accélération instantanée car la durée de marquage est très petite $a_m \approx a$

Application

Soit l'enregistrement chronophotographique du mouvement du centre d'inertie d'un anneau décrivant une trajectoire verticale dans son mouvement descendant avec $\tau = 1/10$ de seconde. L'observateur est un spectateur immobile, lié au référentiel terrestre, muni du repère (O, \vec{j}) . l'origine 0 étant choisie au sommet de la trajectoire.

Le chronomètre est déclenché lors du passage par la position G_0 .

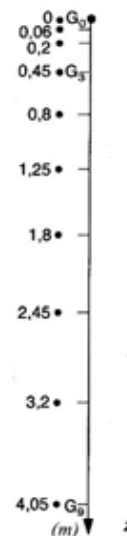
A la date t , la position du point G est définie par $y = \overline{OG}$;

à $t=0$ $y_0 = \overline{OG_0} = 0,45\text{m}$

Déterminons les vitesses de direction verticale.

V_i	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8
m/s	3	4	5	6	7	8

$$a_4 = \frac{V_5 - V_3}{2\tau} = \frac{5 - 3}{2 \cdot 0,1} = 10 \text{ m/s}^2$$

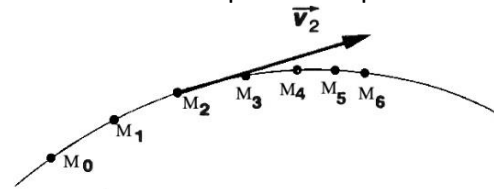


2.3- Cas des mouvements curvilignes :

La définition est la même que dans le cas d'une trajectoire rectiligne ; « l'intervalle de temps Δt étant suffisamment petit la vitesse à l'instant t d'un point mobile sur une trajectoire quelconque est égale à sa vitesse moyenne entre les instants $t-\Delta t$ et $t+\Delta t$.

Dans le cas d'une automobile, par exemple, c'est l'indication donnée par le compteur de vitesse quelle que soit la forme de la trajectoire.

Si les points $M_1 ; M_2 ; M_3 \dots$ sont assez rapprochés les uns des autres, ce qui est le cas de la figure ci-contre : la longueur M_1M_3 mesurée sur la trajectoire est très voisine de la longueur du segment rectiligne $M_1 M_3$ la vitesse au point



Échelle :
1 cm représente $10 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$

$$\overline{M_1M_3} \approx \overline{M_1M_3} = 1,6 \text{ cm}$$

$$\Delta t = 0,04 \text{ s}$$

$$v_2 = 20 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$M_2 \text{ par exemple est } \vec{V}_2 = \frac{\overline{M_1M_3}}{2\Delta t}$$

$$v_2 = 20 \text{ cm/s} ; M_1M_3 = 1,6 \text{ cm} ; \Delta t = 0,04 \text{ s}$$

1 - Le mouvement rectiligne uniforme

1.1- Définition :

Dans un repère donné un point est animé d'un mouvement rectiligne uniforme ($M ; R ; U$) si et seulement si son vecteur vitesse reste constant en direction, sens et intensité

$$\vec{V} = \text{cte} \Rightarrow V = V_x = \frac{dx}{dt} = \text{cte}$$

1.2- L'équation horaire :

C'est la relation qui donne l'abscisse du mobile à chaque instant.

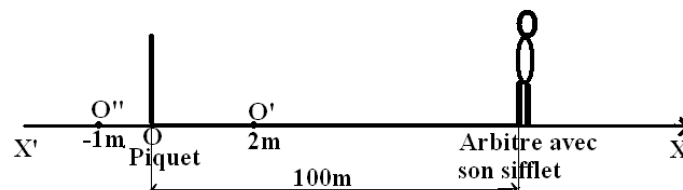
L'équation horaire du mouvement s'écrit :

$$x = \mathbf{V} \cdot \mathbf{t} + x_0$$

$\uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow \quad \uparrow$
 $(\text{m}) \quad (\text{m/s}) \quad (\text{s}) \quad (\text{m})$

Bien faire la différence, entre x et x_0 , x est l'abscisse ou élongation du mobile à un instant t quelconque alors que x_0 est l'abscisse ou l'élongation du mobile à l'instant initial $t=0$. La détermination de x_0 dépend des conditions initiales.

Exemple:



On considère une course de 100m, l'origine de l'axe $X' X$ est choisie au point situé sur un piquet pris comme référence.

Pour un élève « sérieux » se trouvant à genoux au piquet origine, la course commence quand l'arbitre donne un coup de sifflet.

Ce dernier déclenche en même temps son chronomètre ($t = 0$).

Dans ces conditions $x_0=0$ car le mobile (l'élève) se trouvait à l'origine des abscisses à $t=0$.

-Pour un élève « malin » qui avance un peu avant que l'arbitre donne un coup de sifflet et déclenche le chronomètre, la course commence de O' .

Quand l'arbitre donne le coup de sifflet et déclenche en même temps son chronomètre ($t=0$) l'abscisse de cet élève est alors $x_0=2m$ à $t=0$.

-Pour un troisième élève qui voulait prendre son élan, il recule et commence sa course de O'' .

Lorsque l'arbitre déclenche son chronomètre et donne le coup de sifflet l'abscisse de l'élève est alors $x_0=-1m$.

Remarque

- Lorsque $x_0 = 0$, alors l'équation horaire s'écrit : $x = V \cdot t$
- Dans le cas de l'exemple précédent, on s'était intéressé à la définition de x_0 même si le mouvement peut ne pas être rectiligne uniforme.

1.3- L'accélération du mobile :

Dans un M.R.U $a = \frac{dV}{dt} = 0$ car $V = cte$

1.4- Diagrammes :

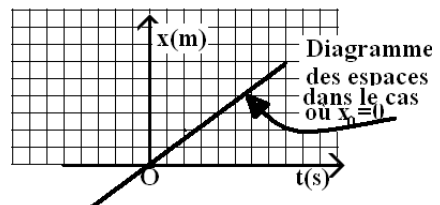
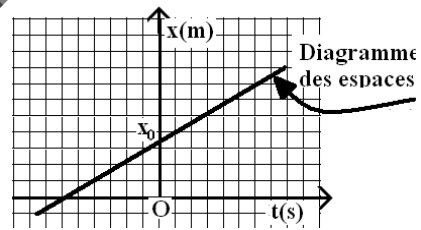
1.4.1 - Des espaces :

C'est la représentation graphique de x en fonction du temps

Dans un M.R. U, le diagramme des espaces est une droite qui ne passe pas en général par l'origine.

Si $x_0=0$ alors $x=Vt$

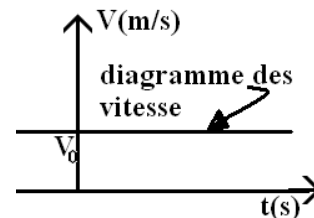
Le diagramme, est une droite qui passe par l'origine.



1.4.2-Des vitesses :

C'est la représentation graphique de V en fonction du temps

Dans un M .R . U ; le diagramme des vitesses est une droite parallèle à l'axe des temps .



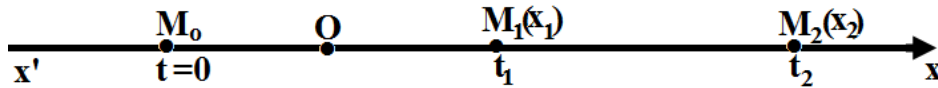
Application

Un mobile M est animé d'un M. R.U. A l'instant $t_1 = 2s$ son abscisse est $x_1=2m$. A l'instant $t_2=4s$ son abscisse est $x_2= 6m$. Donner son équation horaire.

Solution

$$\begin{cases} x_1 = Vt_1 + x_0 \\ x_2 = Vt_2 + x_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2 = V \cdot 2 + x_0 \\ 6 = V \cdot 4 + x_0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V = 2 \text{ m/s} \\ x_0 = -2 \text{ m} \end{cases}$$

Donc l'équation horaire est : $x = 2t - 2$



XV-Le mouvement rectiligne uniformément varié

1 - Définition

Dans un repère donné un point est animé d'un M.R. U. V, si son vecteur accélération \vec{a} reste constant, en direction, sens et intensité

$$\vec{a} = \overline{a_x} \cdot \vec{i} \text{ avec } a_x = \frac{dV_x}{dt} = \text{cte}$$
$$\|\vec{a}\| = |a_x| \cdot \|\vec{i}\| = a_x \text{ car } \|\vec{i}\| = 1$$

2- Le vecteur vitesse

$$\mathbf{V} = \mathbf{a} \cdot t + \mathbf{V}_0 \quad (1) \text{ car } a_x = a \text{ puisque } a_y = a_z = 0$$

Si à l'instant $t = 0$, $V_0 = 0$ alors $V = a t$

Il faut bien faire la différence entre V et V_0

V : la vitesse du mobile à un instant t quelconque alors que V_0 est sa vitesse à l'instant origine $t = 0$; la valeur de V_0 dépend des conditions initiales, Voici un exemple.

Reprenons l'exemple de la course 100m (paragraphe 2.2)

Lorsque l'arbitre donne un coup de sifflet et déclenche son chronomètre ($t=0$), l'élève « sérieux » qui était à genoux donc était immobile, commence son mouvement sans vitesse initiale ($V_0 = 0$)

Lorsque l'élève qui voulait prendre son élan passe devant le piquet origine, O ; l'arbitre déclenche son chronomètre ($t = 0$)

A cet instant $t = 0$ l'élève a déjà acquis une certaine vitesse, grâce à son élan, cette vitesse représente une vitesse initiale pour cet élève.

3 - L'équation horaire

L'équation horaire est de la forme : $x = \frac{1}{2} a t^2 + V_0 t + x_0$ (2) avec x_0 l'abscisse du mobile à

l'instant $t=0$; appelé abscisse initiale.

4 - Relation indépendante du temps

De l'équation (1)

$$\mathbf{V} = \mathbf{a}t + \mathbf{V}_0 \Rightarrow t = \frac{\mathbf{V} - \mathbf{V}_0}{\mathbf{a}} \text{ en remplaçant dans (2)}$$

$$x - x_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{V - V_0}{a} \right)^2 + V_0 \left(\frac{V - V_0}{a} \right)$$

$$D'où \quad V^2 - V_0^2 = 2a(x - x_0) \quad (3)$$

L'équation (3) est appelée relation indépendante du temps.

Application :

1 - A l'instant initial $t=0$, une moto démarre. Son mouvement est R. U.V.
Elle atteint la vitesse de 72km/h en 10s, calculer la valeur de l'accélération de cette moto.

Solution

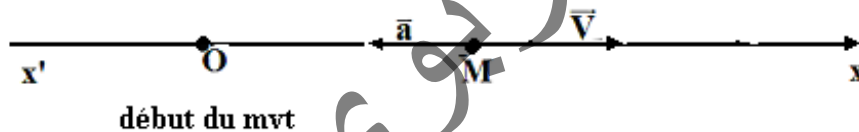
Prenons un axe $X'X$ confondu avec la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement

$$V=72\text{km/h}=72 \times 1000 / 3600 = 20\text{m/s} : V=at+V_0 \Rightarrow a = \frac{V - V_0}{t} = 2\text{m/s}^2$$

2 - Une voiture roulant en ligne droite à la vitesse 36km/h, s'arrête en 5s.
Déterminer les caractéristiques de l'accélération supposée constante, au cours du mouvement.

Solution

Vitesse finale $V = 0$ car il y a arrêt ; vitesse initiale $V_0=10\text{m/s}$ $V - V_0 = at \Rightarrow a = \frac{V - V_0}{t} = -2\text{m/s}^2$



5 - Une propriété caractéristique du M.R.U.V

« Les espaces parcourus pendant des intervalles de temps successifs et égaux, forment une progression arithmétique de raison « $r=a.\theta^2$ »

Démonstration : Considérons des intervalles de temps successifs égaux : $t; t+\theta; t+2\theta; \dots; t+k\theta$. $k \in \mathbb{N}$

Le mobile occupe les positions successives : $x; x_1; x_2; \dots; x_k$

Les espaces parcourus pendant les intervalles de temps successifs θ sont :

$$d_1 = x_1 - x; d_2 = x_2 - x_1; \dots; d_k = x_k - x_{k-1}$$

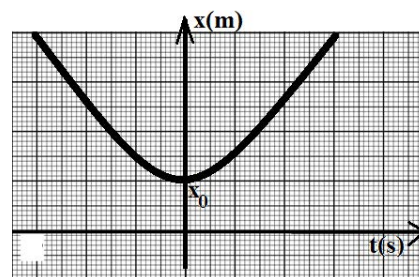
$$d_k = \left[\frac{1}{2}a(t+k\theta)^2 + V_0(t+k\theta) + x_0 \right] - \left[\frac{1}{2}a(t+(k-1)\theta)^2 + V_0(t+(k-1)\theta) + x_0 \right]$$

$$d_1 = x_1 - x = \frac{1}{2}a(t+\theta)^2 + V_0(t+\theta) + x_0 - \left[\frac{1}{2}a.t^2 + V_0.t + x_0 \right]$$

$$d_2 = x_2 - x_1 = \frac{1}{2}a(t+2\theta)^2 + V_0(t+2\theta) + x_0 - \left[\frac{1}{2}a(t+\theta)^2 + V_0(t+\theta) + x_0 \right]$$

$$d_2 - d_1 = d_3 - d_2 = \dots = d_k - d_{k-1} = a\theta^2$$

Réciproquement si les espaces parcourus au cours d'un M.R. pendant des durées successives égales à θ croissent en progression arithmétique de raison r , le mouvement est uniformément varié d'accélération $\boxed{a=r/\theta^2}$



6 - Diagrammes

6.1- des vitesses :

C'est la courbe représentative de la fonction $V(t) = at + V_0$

Dans le cas général c'est une droite qui coupe l'axe des vitesses au point de coordonnées $(0, V_0)$.

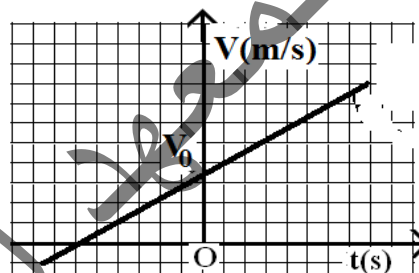
Dans le cas où V_0 est nulle la droite passe par l'origine

6.2-des espaces :

La courbe représentative de la fonction

$x = f(t)$ est appelée diagramme des espaces.

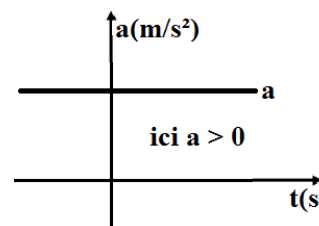
Ici le diagramme des espaces est une parabole car la fonction $x = f(t)$ est une fonction du 2^{ème} degré de temps.



6.3-des accélérations :

C'est la représentation de $a = f(t)$.

C'est une droite horizontale



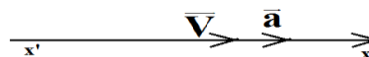
Remarque : il ne faut pas confondre la trajectoire du mouvement qui est une droite et le diagramme des espaces qui est ici une parabole.

7 - Phases du mouvement

7.1-phase accélérée :

Si la vitesse augmente les vecteurs \vec{V} et \vec{a} ont même sens. Les valeurs algébriques V et a ont même signe, le produit $a \cdot V > 0$.

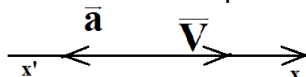
Exemple : Le démarrage d'une voiture est une phase accélérée



7.2 -Phase retardée ou décélérée :

Si le module de la vitesse diminue, les vecteurs \vec{V} et \vec{a} sont de sens contraires : donc $a \cdot V < 0$.

Exemple : Au cours de l'arrêt d'une voiture on a une phase décélérée.



Application

Application(1) : Les coordonnées d'un point M en mouvement dans le repère (O, i, j) sont données par : $X = 2t + 1$ et $Y = t^2$

- Donner l'expression de \overrightarrow{OM} et calculer son module à $t = 0$
- Donner l'expression de \vec{v} et calculer son module à $t=0$
- Donner l'expression de \vec{a} et calculer son module
- Donner l'équation de la trajectoire et en déduire sa nature

Corrigé

$$1^\circ) \overrightarrow{OM} = x.\vec{i} + y.\vec{j} \quad \overrightarrow{OM} = (2t+1)\vec{i} + t^2\vec{j} \text{ donc } OM = \sqrt{(2t+1)^2 + (t)^2}$$

$$\text{à } t = 0 \quad OM_o = \sqrt{(2.0+1)^2 + (0)^2} \Rightarrow OM_o = 1m$$

$$2^\circ) \vec{v} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt} \quad \vec{v} = 2.\vec{i} + 2t.\vec{j} \text{ donc } v = \sqrt{(2)^2 + (2t)^2}$$

$$\text{à } t = 0 \quad v_o = \sqrt{(2)^2 + (2.0)^2} \Rightarrow v_o = 2m/s$$

$$3^\circ) \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow \vec{a} = 2.\vec{j} \text{ donc } a = \sqrt{(2)^2} \Rightarrow a = a_o = 2m/s^2$$

$$4^\circ) x = 2t + 1 \quad (1) \quad \text{et} \quad y = t^2 \quad (2) \quad \text{de (1) } t = \frac{x-1}{2} \text{ dans (2) } y = \left(\frac{x-1}{2}\right)^2 \quad y = \frac{x^2}{4} - \frac{x}{2} + \frac{1}{4}$$

Nature de la trajectoire : parabole

Application 2 :

L'accélération d'un mobile en M. R. U. V. est $a = 8m/s^2$.

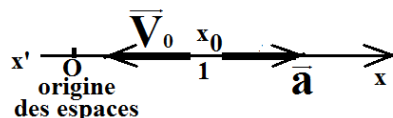
A l'instant $t = 0s$, sa vitesse est $V_0 = -5m/s$ et son élongation $x_0 = 1m$

- Etablir L'équation horaire du mouvement
- Quelles sont les différentes phases du mouvement ?
- Quelle est l'élongation du mobile lorsque sa vitesse s'annule
- Tracer le diagramme des espaces et celui des vitesses

Solution

a, V_0, x_0 sont des valeurs algébriques, si les valeurs algébrique a, V_0, x_0 sont positives alors les vecteurs \vec{V}_0 et \vec{a} ont même sens positif choisi sur l'axe .

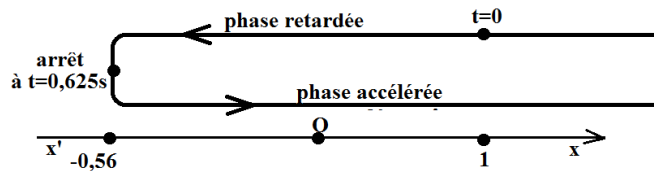
Dans le cas contraire, ils ont le sens contraire



$$1) \text{ L'équation horaire est } x = \frac{1}{2}at^2 + V_0t + x_0 \text{ soit } x = 4t^2 - 5t + 1$$

2) Les phases du mouvement : $V = 8t - 5 \Rightarrow V = 0 \Rightarrow t = 5/8s$

t	5/8=0,625	$+\infty$
V	-	+
a	+	+
aV	-	+
Phase	retardée	accélérée



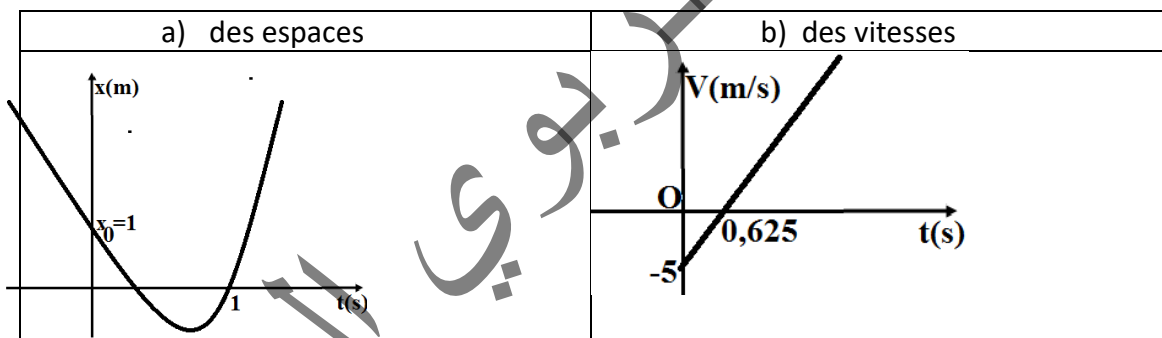
Le mobile est donc en mouvement retardé pour $t < 0,625s$

Il rebrousse chemin à $t=0,625s$ et prend ensuite un mouvement accéléré.

L'élongation lorsque la vitesse s'annule :

$$V^2 - V_0^2 = 2a(x - x_0) \text{ si } V = 0 \quad x = \frac{-V_0^2}{2a} + x_0 = -0,56m$$

3) Diagrammes



L'Essentiel

1) Définition :

La cinématique étudie les mouvements sans se préoccuper de leurs causes (c'est-à-dire des forces).

2) Relativité du mouvement :

La notion de mouvement ou de repos est relative, d'où la nécessité de définir un référentiel.

3) le référentiel :

Le référentiel ou solide de référence est le solide par rapport auquel on décrit le mouvement d'un mobile.

4) Repère :

4-a) Repère d'espace :

C'est une base (o, \vec{i}) , (o, \vec{i}, \vec{j}) ou $(o, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ dont on munit le référentiel pour

positionner le mobile au cours du temps.

4-b) Repère de temps :

IL est défini par le choix d'une origine des dates ($t=0$) et d'une unité de temps (seconde en SI).

5) Vecteur position :

C'est le vecteur (\vec{OM}) qui donne la position du mobile à l'instant t

Mouvement sur une droite	$\vec{OM} = x\vec{i}$
Mouvement dans un plan	$\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j}$
Mouvement dans l'espace	$\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

6) Trajectoire :

C'est l'ensemble des positions occupées par le mobile au cours du temps.

Si la trajectoire est une droite, le mouvement est rectiligne. Dans les autres cas le mouvement est curviligne.

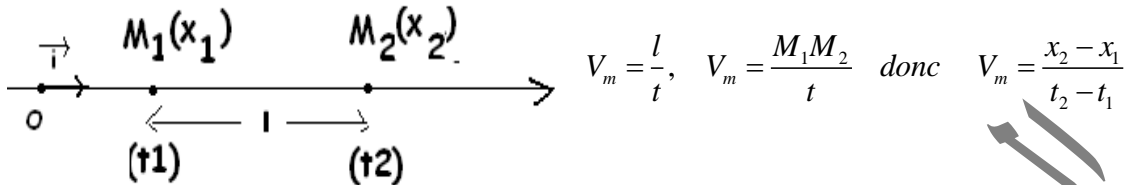
7) Vitesse d'un mobile

7-1) Vitesse moyenne :

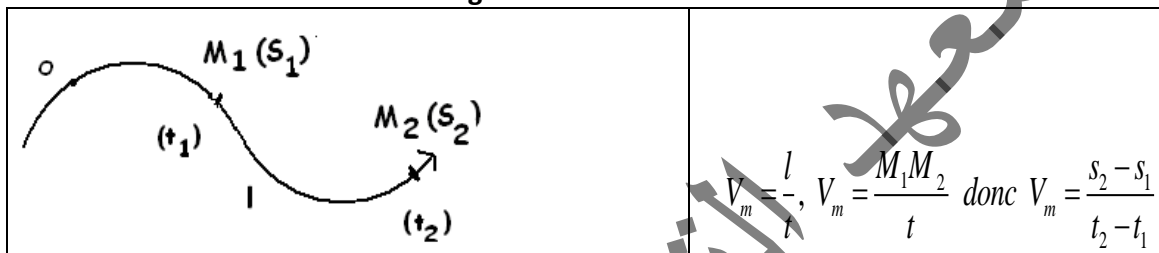
$$V_m = \frac{\text{distance parcourue}}{\text{temps mis}} = \frac{l}{t}$$

l en mètre et t en seconde

- Cas d'un mouvement rectiligne



- Cas d'un mouvement curviligne

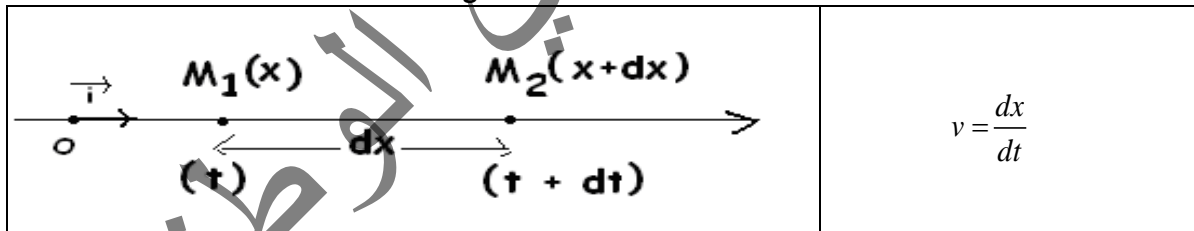


7-2) Vitesse instantanée :

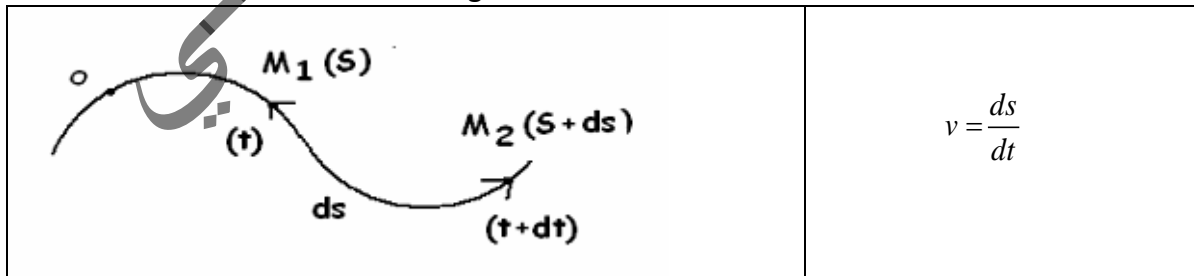
La vitesse instantanée V est la dérivée du vecteur position par rapport au temps

$$\vec{V} = \lim_{t_1 \rightarrow t_2} v_m = \frac{d(OM)}{dt}$$

- Cas d'un mouvement rectiligne :



- Cas d'un mouvement curviligne:




7-3) Caractéristiques du vecteur vitesse :

- Origine : la position du mobile à l'instant t
- Direction : la tangente en M à la trajectoire
- Sens : celui du mouvement

Intensité: $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$ avec v en m/s

8) Accélération d'un mobile :

8-1) Accélération moyenne :

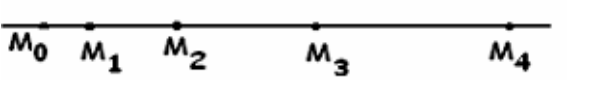
	$a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \quad a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad \text{avec } a_m \text{ en } m/s^2$
---	--

8-2) Accélération instantanée : $\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} a_m = \frac{d\vec{V}}{dt}$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{d\vec{OM}}{dt} \right) = \frac{d^2\vec{OM}}{dt^2}$$

9) Les enregistrements

Dans un enregistrement la durée entre deux marquages successifs est constante et petite par rapport à la durée totale du mouvement notée τ .

	<p>En un point M_i : $V_i = \frac{M_{i+1}M_{i-1}}{2\tau} = \frac{X_{i+1} - X_{i-1}}{2\tau}$</p> $\vec{a}_i = \frac{\vec{V}_{i+1} - \vec{V}_{i-1}}{2\tau}$
--	---

10- Les mouvements rectilignes

a- Le mouvement rectiligne uniforme

Equations

$$\begin{cases} a = 0 \\ V = V_0 = Cte \\ x = Vt + V_0 \end{cases}$$

b- Le mouvement rectiligne uniformément varié

Equations

$$\begin{cases} a = Cte \\ V = at + V_0 \\ x = \frac{1}{2}at^2 + V_0t + x_0 \\ V^2 - V_0^2 = 2a(x - x_0) \end{cases}$$

Exercices

Exercice 1 :

Les équations horaires des coordonnées cartésiennes d'un mobile sont :

$$\begin{cases} x = t^2 + 1 \\ y = t - 1 \end{cases} ; x \text{ et } y \text{ sont en m}$$

- 1 - Quelle est l'équation de la trajectoire du mobile ?
- 2 - Donner les caractéristiques (composantes, module) du vecteur vitesse du mobile à l'instant t .
- 3 - Donner les caractéristiques (composantes, module) du vecteur accélération à l'instant t .

Exercice 2 :

Les équations paramétriques de la trajectoire d'un mobile sont:

$$\begin{cases} x(t) = t - 1 \\ y(t) = 2t + 3 \end{cases}$$

- 1) Donner les caractéristiques (composantes, module) du vecteur vitesse du mobile à l'instant t .
- 2) Donner les caractéristiques (composantes, module) du vecteur accélération à l'instant t .
- 3) Donner l'équation de la trajectoire et préciser le sens du déplacement du mobile.

Exercice 3 :

A l'instant $t=0$ un mobile M se trouve en un point M de coordonnées x_0 et y_0 (en cm). Sa vitesse est donnée par : $v_x = v_0$; $v_y = 2t$ (en cm/s).

- 1- Donner les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$.
- 2- En déduire l'équation de la trajectoire ainsi que le module V de la vitesse de M . A.N : $x_0=1\text{cm}$; $y_0=0$; $v_0=1\text{cm/s}$.

Exercice 4 :

On considère le mouvement d'un mobile M dont les coordonnées dans un repère (ox, oy) sont

données par les équations :
$$\begin{cases} x = t \\ y = t^2 - 2t + 2 \end{cases}$$
 x, y sont en m, t en seconde.

- 1- Déterminer la trajectoire du mobile M .
- 2- Calculer sa vitesse et son accélération.
- 3- En déduire les composantes normale et tangentielle de l'accélération.
- 4- Etablir l'expression du rayon de courbure de la trajectoire en fonction du temps.

Exercice 5 :

Un point matériel M se déplace dans un plan (ox, oy) . Les lois horaires sont en unités S.I :

$$\begin{cases} x = \frac{1}{2}t^2 \\ y = 1 - t^2 \end{cases}$$

- 1- Représenter quelques positions occupées par M pendant l'intervalle de temps $[0s, 1s]$. Choisir une échelle . Que remarque-t-on ?
- 2- Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire du mobile.

3-Déterminer le vecteur vitesse et le vecteur accélération du mobile à un instant t quelconque, puis représenter ces vecteurs sur le graphique précédant à la date $t=0,5s$.

4-Déterminer le module de la vitesse et celui de l'accélération du point M à la date $t=0,5s$.

On oriente la trajectoire vers le bas .Déterminer la valeur algébrique a de l'accélération que peut-on en déduire ?

Exercice 6 :

Les équations paramétriques du mouvement d'un point matériel sont données par

$$\vec{OM} \begin{cases} x = 2t + 1 \\ y = \frac{1}{2}t^2 \end{cases}$$

- Donner les coordonnées du mobile aux instants: $t=1$; 3 ; 5 s.
- Donner les composantes du vecteur vitesse.
- Calculer la vitesse à l'instant $t = 3s$.
- Donner les composantes du vecteur accélération.
- Donner l'équation de la trajectoire.

Exercice 7

Un mobile M est animé d'un m.r.u.v, à l'instant $t = 0s$, il se trouve à l'abscisse $x_0 = 1m$; à $t_1=1s$ il est au point d'abscisse $x_1 = 0$ m ; à $t_2 = 2$ s il est au point d'abscisse $x_2 = -7$ m.

- 1 -Déterminer les valeurs de l'abscisse initiale x_0 , de l'accélération a , de la vitesse initiale v_0 .
- 2- Ecrire les équations horaires $x(t)$ et $v(t)$.
- 3 -Déterminer les caractéristiques du mouvement.

Exercice 8

Un mobile est abandonné sans vitesse initiale et tombe. Dans le repère (O, \vec{i}) (orienté verticalement vers le haut), l'abscisse de la position du mobile est donnée par l'équation :

$$x = -4t^2 + 4$$

- 1 - Où est le mobile à la date $t = 0$ s ?
- 2 - Exprimer sa vitesse en fonction de t ;
- 3 - Quelles sont les abscisses x_1 et x_2 des positions A et B du mobile aux dates $t_1 = 1$ s et $t_2 = 2$ s et les vitesses correspondantes ?

Exercice 9

1- Une bille est lancée sur un plan incliné et le remonte.

Dans le repère (O, \vec{i}) (ascendant), à la date $t=0$, la bille occupe la position

M_0 ($x_0 = -4,5$ m) et a une vitesse $\vec{v}_0 = 8\vec{i}$. Elle est soumise à l'accélération $\vec{a} = -4\vec{i}$.

- 1.1- Ecrire les équations horaires du mouvement de la bille.
- 1.2 - À quelle date t_1 et en quel point M_1 la bille s'arrête-t-elle ?
- 1.3- À quelle date t_2 repasse-t-elle en M_0 ? Quelle est alors sa vitesse ?
- 1.4 - À quelle date t_3 passe-t-elle à l'origine ?
- 1.5 - Préciser les phases du mouvement.
- 2- Une autre bille se déplaçant sur la même gouttière d'un mouvement rectiligne uniforme, passe par le point d'abscisse $x_1' = -5,5m$ à $t_1 = 0,5s$ et par le point d'abscisse $x_2' = 1,5m$ à $t_2 = 1s$.
 - 2.1- Ecrire l'équation horaire du mouvement de la deuxième bille.
 - 2.2- Quand et où les deux billes se rencontrent-elles ?

Exercice 10

Un point mobile M se déplace dans un repère (Ox,Oy). Les lois horaires de son mouvement sont : $x = t^2/2$; $y = 1 - t^2$.

- 1- Déterminer l'équation cartésienne de la trajectoire.
- 2- Déterminer les vecteurs vitesse et accélération de M à un instant quelconque.
- 3- Déterminer les valeurs de la vitesse et de l'accélération de M à la date $t = 0,5$ s.

Exercice 11

Une locomotive initialement au repos démarre avec une accélération $a = 2\text{m/s}^2$. Lorsque sa vitesse atteint 72 km/h , elle garde cette vitesse pendant 30 s.

- 1- Etudier les deux mouvements et calculer la distance totale parcourue.
- 2- Alors que la locomotive avance à la vitesse de 72 km/h , elle freine avec la décélération de 2m/s^2 en parcourant 100 m. Calculer la durée de son freinage.

Exercice 12

Une automobiliste roule à la vitesse de 90 km/h . Un motard démarre au moment précis où elle arrive à son niveau d'un m.r.u.v et atteint la vitesse de 90 km/h en 10 s.

- 1- Combien de temps lui faudra-t-il pour la rattraper ?
- 2- Quelle distance aura-t-il parcourue avant de la rattraper ? Quelle est sa vitesse à ce moment ?

Exercice 13

Un mobile se déplace sur un axe xx' de telle façon qu'il passe par les positions A, B, C, D, E, F et G. Le tableau ci-dessous donne les différentes abscisses de ces positions et les instants de passages respectifs correspondants.

Positions	A	B	C	D	E	F	G
x(cm)	-4	-2,5	0	3,5	8	13,5	20
t(ms)	0	40	80	120	160	200	240

- 1- Déterminer la nature du mouvement et calculer son accélération.
- 2- Déterminer les vitesses du mobile aux points B, C, D, E, et F.
- 3- Calculer les vitesses aux points A et G.
- 4- Ecrire les équations horaires du mouvement.

Exercice 14

Une automobile est arrêtée au feu rouge. Quand le feu passe au vert l'automobiliste accélère uniformément pendant 8 s avec une accélération de 2 m/s^2 , en suite l'auto se déplace à vitesse constante. A l'instant de son démarrage, un camion la dépasse avec une vitesse constante de 12 m/s .

- 1- Ecrire les équations horaires du mouvement de l'auto et du camion
- 2- Au bout de combien de temps et à quelle distance du feu l'auto rattrapera-t-elle le camion ?

Exercice 15

On considère un mobile de vecteur vitesse $\vec{V} = 2\vec{i} + (6t - 12)\vec{j}$. A l'instant $t = 0$ s il se trouve au point O origine du repère.

- 1- Donner les expressions des vecteurs positions \vec{OM} et accélération \vec{a}
- 2- Combien faut-il de temps pour qu'il passe par le point où sa vitesse fait 45° avec i ?
- 3- Déterminer la position du mobile à $t = 2$ s. Déterminer en ce point les composantes tangentielle et normale du vecteur accélération ainsi que le rayon de courbure.

Exercice 16

Un mobile parcourt les distances suivantes pendant des intervalles de temps successifs et égaux $\theta=20\text{ms}$



1 - Compléter le tableau ci-contre et déterminer la nature du mouvement.

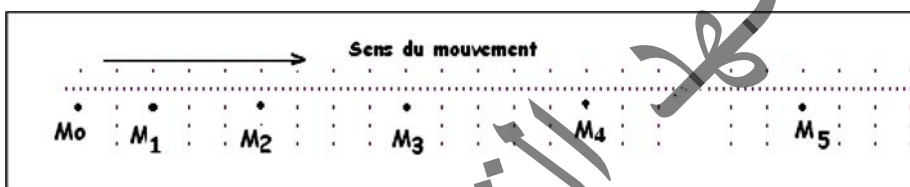
t	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
$V_i(\text{m/s})$						
$a_i(\text{m/s}^2)$						

2 - En considérant le point A_1 comme origine du repère des espaces et l'instant d'enregistrement du point A_3 comme origine des temps ; trouver l'équation horaire du mouvement puis calculer

par deux méthodes différentes la vitesse au point A_5 .

Exercice 17

Un mobile parcourt les distances suivantes pendant des intervalles de temps successifs et égaux 50ms.



Echelle: 1cm = deux carreaux

1. Calculer les vitesses de ce mobile aux points $M_1, M_2, M_3,$ et M_4 .

2. Calculer les accélérations de ce mobile aux points M_2 et M_3 .

Exercice 18 :

Calculer la distance qui sépare les surfaces de la terre et de la lune sachant qu'un signal lumineux produit par un laser et qui subit une réflexion sur un réflecteur déposé sur la lune par des astronautes d'une mission Apollo met un temps de 2,5s pour effectuer le trajet aller et retour.

On donne la vitesse de la lumière dans le vide $V=300\,000\text{Km/s}$

Exercice 19

Un train roule sur une voie rectiligne à la vitesse de 260 Km/h. La longueur du convoi vaut 400m.

1) Un hélicoptère volant à 300 Km/h le long de la même voie et dans le même sens que le train arrive à l'aplomb de la queue du convoi. Quel temps mettra-t-il pour en atteindre la tête ?
Même question si l'hélicoptère vole à 265 Km/h.

2) On suppose maintenant que le train roulant à 260 Km/h et l'hélicoptère volant à 300 Km/h se croisent sur la voie rectiligne. Calculer le temps pendant lequel l'hélicoptère va rester à l'aplomb du train. Même question si l'hélicoptère vole à 250 Km/h.



OBJECTIFS

- Connaitre la définition d'une force constante
- Savoir calculer le travail d'une force constante
- Savoir calculer la puissance moyenne et la puissance instantanée

I-Travail d'une force

1 - Définition

Le **travail d'une force** est l'énergie fournie par cette force lorsque son point d'application se déplace (l'objet subissant la force se déplace ou se déforme). Si par exemple on pousse une voiture, le travail de la poussée est **l'énergie** produite par cette **poussée**. Le travail est exprimé en joules (J), et est souvent noté W , initiale du mot anglais *Work* qui signifie *travail*. Le travail est une notion liée aux forces et aux déplacements de leurs points d'application. Considérons une force constante \vec{F} dont le point d'application subit un déplacement rectiligne de A vers B.

Le travail W de cette force \vec{F} est égal au produit scalaire des vecteurs \vec{F} et \vec{AB} , $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$ où α est l'angle formé par les deux vecteurs \vec{F} et \vec{AB} .



2 - Cas particuliers

- Si $\alpha=0$ Le travail est : $w_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} \cos \alpha = F \cdot AB \cdot \cos \alpha$



Force orientée dans le même sens et la même direction que le déplacement AB

- Si $\alpha = \frac{\pi}{2}$ le travail est nul $w_{AB}(\vec{F}) = 0$



Une force perpendiculaire à la direction du déplacement ne travaille pas.

- Si $\alpha = \pi$ le travail est : $w_{AB}(\vec{F}) = -F \cdot AB$



Force orientée dans le sens opposé au déplacement AB

Remarque

Le travail est une grandeur algébrique. Selon la valeur de l'angle α , $0 \leq \alpha \leq \pi$, le travail d'une force est positif, négatif ou nul

- $\alpha < \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos \alpha > 0, W_{AB}(\vec{F}) > 0$



La force \vec{F} favorise le mouvement, son travail est dit moteur.

- $\alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos\alpha = 0, W_{AB}(\vec{F}) = 0$



La force \vec{F} ne travaille pas

- $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi \Rightarrow \cos < 0, W_{AB}(\vec{F}) < 0$



La force \vec{F} s'oppose au mouvement, son travail est dit résistant

3-Travail de quelques forces particulières

a-Travail du poids

Considérons le travail du poids d'un solide lors du déplacement rectiligne de son centre de gravité G de A vers B.

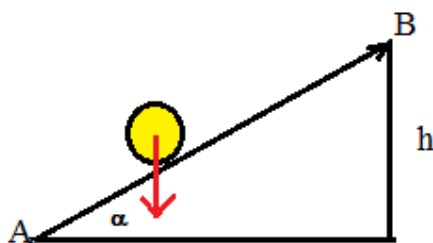
Comme le poids est une force constante et que le déplacement est rectiligne nous pouvons appliquer la définition du travail.

-Lorsque le centre de gravité du solide descend le travail du poids est moteur (figure a).

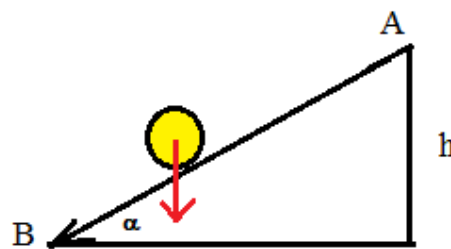
$$w_{AB}(\vec{P}) = P \cdot AB \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = P \cdot AB \sin\alpha = P \cdot h \quad (a)$$

-Lorsque le centre de gravité du solide monte le travail est résistant (figure b).

$$w_{AB}(\vec{P}) = P \cdot AB \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) = -P \cdot AB \sin\alpha = -P \cdot h \quad (b)$$



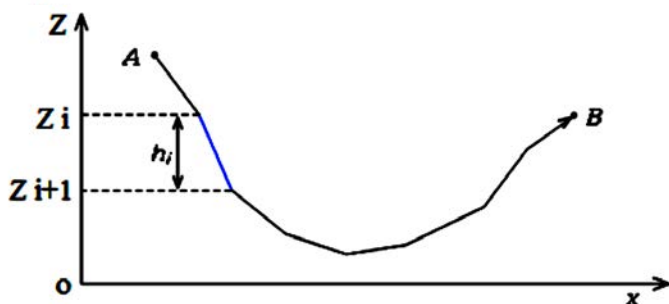
(b) travail résistant



(a) travail moteur

nous divisons la trajectoire en n déplacements élémentaires. Le travail du poids sur le premier déplacement élémentaire s'écrit : $\delta w_i(\vec{P}) = Ph_i = P(z_i - z_{i+1})$

On vérifie que le travail élémentaire est moteur si l'altitude z diminue et qu'il est résistant si z augmente.



Le travail total du poids entre A et B est alors, en écrivant la somme de façon explicite : $w_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \vec{AB}$

Lorsque le centre de gravité G d'un solide se déplace d'un point A à un point B le travail du poids de ce solide est indépendant de la trajectoire suivie par G entre A et B. Cette force est dite conservative. $w_{AB}(\vec{P}) = P(z_A - z_B)$

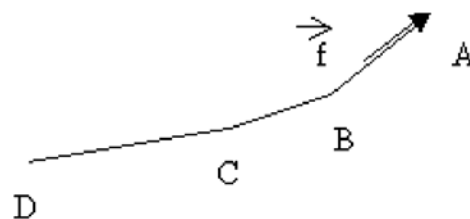
b-Travail de la force de frottement

1- Définition :

La **force de frottement** est une force créée par l'interaction de deux surfaces en contact qui glissent l'une sur l'autre et qui s'oppose au mouvement.

Le frottement est causé par les irrégularités d'une surface. Bien qu'une surface puisse paraître lisse à l'œil nu, des petites aspérités (des irrégularités) sont présentes sur la surface d'un objet lorsqu'on le regarde au microscope. Des surfaces lisses offrent généralement moins de frottement que des surfaces rugueuses.

Le travail d'une force de frottement est toujours négatif : $W = -f \cdot \text{distance réellement parcourue}$.

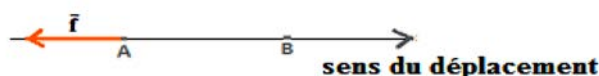


Sur le trajet AD, $w_{A-D}(\vec{f}) = -f \cdot (AB + BC + CD)$

Les forces de frottements sont des forces non conservatives et leur travail dépend donc du trajet suivi.

2- Travail de la force de frottement pour un déplacement rectiligne :

Les forces de frottements sont toujours opposées aux mouvements ainsi,

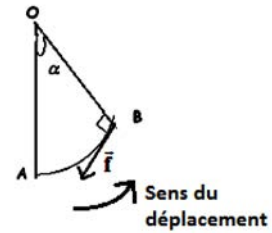


géométriquement les forces de frottements lors d'un mouvement rectiligne, sont toujours orientées avec un angle de 180° par rapport au déplacement. Leur travail s'exprime alors par la relation : $w_{AB}(\vec{f}) = -f AB$

3- Travail de la force de frottement pour un déplacement curviligne :

$$W_{AB}(\vec{f}) = -f \cdot (\widehat{AB}) \quad \text{avec } OA = OB = R \text{ et } \widehat{AB} = R \alpha$$

$$\text{donc } W_{AB}(\vec{f}) = -f \cdot R \cdot \alpha$$



II - Puissance mécanique d'une force

1 - Puissance moyenne

a- Définition

La puissance moyenne P_m d'une force est le quotient du travail qu'elle effectue entre les points A et B par la durée Δt correspondante : $P_m(\vec{F}) = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{\Delta t}$

b- **Unité** : Dans le système international l'unité (S.I) de la puissance est le watt notée (**W**) dont les multiples sont :

- $1\text{Kw} = 10^3\text{w}$
- $1\text{Mw} = 10^6\text{w}$
- $1\text{Gw} = 10^9\text{w}$

2- Puissance instantanée d'une force

Lorsque la force varie au cours du déplacement ou quand le mouvement de point d'application n'est pas rectiligne et uniforme, il est utile de considérer la puissance instantanée à une certaine date t

Soit δw le travail élémentaire effectué par une force \vec{F} entre les instants t et $t + \delta t$

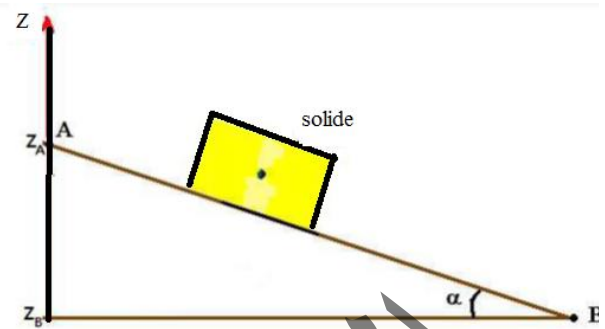
.La puissance instantanée à une date t est : $P_{\text{inst}} = \frac{\delta w}{\delta t}$ avec

$$\delta W = \vec{F} \cdot \delta \vec{S} \Rightarrow P = \frac{\vec{F} \cdot \delta \vec{S}}{\delta t} = \vec{F} \cdot \vec{V}$$

Application

Un solide de masse $m = 200g$ glisse sans frottement sur un plan incliné d'un angle de 30° par rapport à l'horizontale. Donnée : $g = 9,8N \cdot kg^{-1}$

- 1- Quelles sont les forces exercées sur le solide.
- 2- Calculer le travail de ces forces pour un déplacement égal à $L = 1m$.
- 3- Calculer la puissance moyenne du travail du poids si la durée du trajet est égale à $\Delta t = 1,5s$.



Corrigé

1- Bilan des forces exercées sur le solide :

\vec{P} : Poids ; \vec{R} : Réaction normale au plan
(voir schéma)

2- Travail de ces forces pour un déplacement égal à $L = 1m$:

$w(\vec{R}) = \vec{R} \cdot \vec{AB} = 0$ Car le vecteur force \vec{R} est perpendiculaire au vecteur déplacement.

$$w(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$$

$$\text{Or: } \sin \alpha = \frac{z_A - z_B}{AB} \Rightarrow z_A - z_B = AB \sin \alpha$$

Le travail du poids est : $w(\vec{P}) = mg \cdot AB \cdot \sin \alpha$

Application numérique : $w(\vec{P}) = 200 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8 \cdot 1 \cdot \sin 30 = 0,98J$

3- la puissance moyenne du travail du poids :

$$P_m = \frac{w}{\Delta t} \text{ Application numérique : } P_m = \frac{0,98}{1,5} = 0,65w$$

Application 2

Un enfant tire un camion en bois à l'aide d'une petite corde. Le travail effectué pendant une demi-minute est égal 2 kJ. Calculer la puissance moyenne de cette force exercée sur le camion.

Corrigé

Exprimons le temps en seconde : $1/2 \text{ min} = 0,5 \times 60s = 30s$

Exprimons le travail en J : $w = 2kj = 2 \cdot 10^3 J$

Exprimons de la puissance moyenne : $P_m = \frac{w}{\Delta t}$ Application numérique : $P_m = \frac{2 \cdot 10^3}{30} = 67w$

L'Essentiel

Le travail W d'une force \vec{F} est donné par l'expression :

$W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \vec{AB} = FAB \cos \alpha$ où α est l'angle formé par les deux vecteurs \vec{F} et \vec{AB} .

Si $\alpha < \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos \alpha > 0, W_{AB}(\vec{F}) > 0$

Si $\alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos \alpha = 0, W_{AB}(\vec{F}) = 0$

Si $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi \Rightarrow \cos < 0, W_{AB}(\vec{F}) < 0$

Le travail du poids est donné par la relation : $W_{AB}(\vec{P}) = P(z_A - z_B)$.

Le travail d'une force de frottement au cours d'un déplacement AB est donné par : $W_{AB}(\vec{f}) = -f AB$

La puissance moyenne P_m d'une force est le quotient du travail qu'elle effectue entre les points A et B par la durée Δt correspondante :

$$P_m(\vec{F}) = \frac{W_{AB}(\vec{F})}{\Delta t}$$

La puissance instantanée à une date t est : $P_{inst} = \frac{\delta w}{\delta t}$ avec

$$\delta W = \vec{F} \cdot \delta \vec{S} \Rightarrow P = \frac{\vec{F} \cdot \delta \vec{S}}{\delta t} = \vec{F} \cdot \vec{V}$$

Exercices

Exercice 1

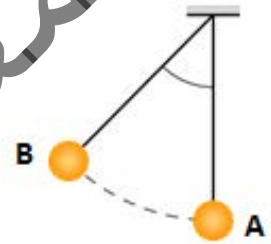
Une automobile de masse 1100 kg roule à vitesse constante sur un tronçon rectiligne de 2 km, puis monte une pente de 8 % sur une distance de 1500 m. On supposera que les forces de frottement qui s'opposent au déplacement gardent une valeur constante de 1850N tout au long du trajet.

- 1- Calculer le travail du poids sur le trajet complet.
- 2- Calculer le travail de la force de frottement sur le trajet complet.

Exercice 2

Un pendule simple est constitué d'une boule de masse 50 g accrochée au bout d'un fil de longueur 30cm, de masse négligeable. La boule reçoit en A une impulsion qui la fait remonter jusqu'en B, de telle manière que le pendule fait alors un angle $\alpha = 30^\circ$ avec la verticale.

- 1- Calculer le travail du poids de la boule entre A et B.
- 2- Quel est le travail entre A et B de la force exercée par le fil sur la boule ?
- 3- Quel serait le travail du poids de la boule, si le pendule faisait un tour complet ? Expliquer



Exercice 3

Une boule de flipper de masse 150 g est lancée à l'aide d'un ressort de raideur 60N/m, comprimé de 10cm. La boule quitte le ressort quand la compression s'annule.

- 1- Calculer le travail effectué par la tension du ressort lors du lancement.
- 2- En déduire la vitesse de la boule après le lancement.

Exercice 4

Calculer la puissance moyenne fournie par une machine qui soulève une caisse de 500kg à une hauteur de 20m en 60s.

Exercice. 5

Une voiture de 1000 kg monte une pente de 3 % à 20 m/s. Trouver la puissance nécessaire, sans tenir compte du frottement.

Exercice 6

De l'eau coule d'un réservoir avec un débit de 3000kg/min vers une turbine qui se trouve à 120 m plus bas. Si le rendement de la turbine est de 80 %, calculer la puissance fournie par la turbine.

Exercice 7

Une voiture de masse 1,5t roule à la vitesse constante de 108km/h sur un sol horizontal.

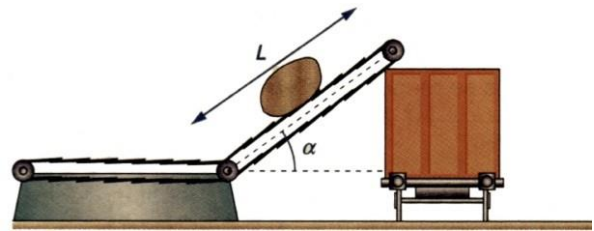
- 1- Faites le bilan des forces qu'elle subit et précisez quelles forces font un travail moteur, lesquelles un travail résistant, lesquelles un travail nul.
- 2- La force de frottement vaut 1800N. Calculer le travail du poids et de la force motrice sur un trajet de 10km.
- 3- Calculer la puissance de la voiture.
- 4- Reprendre l'exercice en supposant que la voiture monte un col avec une pente de 12%.

1-Faire le bilan des forces s'exerçant sur un bloc de minerai de masse $m=2\text{kg}$ qui est entraîné à vitesse constante sur le tapis roulant.

2- Calculer la valeur de la force de frottement \vec{f} exercée par le tapis roulant sur le bloc de minerai.

3- Calculer le travail de cette force de frottement le long du tapis roulant.

4-Quelle est la puissance des forces exercées par le tapis sur le minerai transporté si la vitesse de chargement du wagon est de 1,55t par minute ?



Exercice 9

Lorsqu'une voiture roule à vitesse constante sur une route horizontale, le travail fourni par la force motrice sert uniquement à vaincre les frottements. Pour des vitesses assez élevées, le frottement est presque entièrement aérodynamique. La force de frottement de l'air est proportionnelle au carré de la vitesse.

1- Comparer les valeurs de la puissance motrice aux vitesses de 100km/h et de 130km/h.

2- Calculer la consommation d'essence à 130km/h sachant qu'elle est de 6l pour 100km à 100km/h.

Exercice 10

On exerce sur un corps solide une force \vec{F} constante d'intensité $F=200\text{N}$ à l'aide d'un fil inextensible comme l'indique la figure suivante :



Sachant que le corps se déplace d'un point A vers un point B ($AB=30\text{m}$) et que ce déplacement a duré 2,5mn :

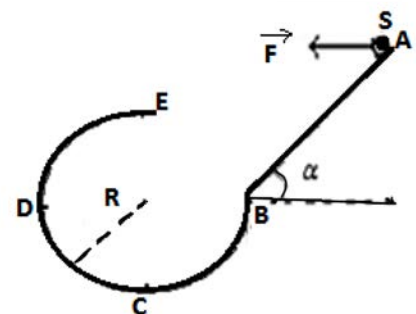
- Calculer le travail de la force \vec{F} pendant ce déplacement
- Calculer la puissance de la force \vec{F} pendant la durée précédente
- Même questions si la force \vec{F} forme un angle $\alpha=20^\circ$, avec l'horizontale



Exercice 11

Un solide S de masse $m=2\text{kg}$ supposé ponctuel est soumis à une force constante horizontale d'intensité $F=2\text{N}$, parcourt le trajet $AB=0,5\text{m}$ sur un plan incliné d'un angle α .

- Déterminer l'expression du travail de cette force durant le trajet AB
 - Sachant que $W_{\vec{F}} = 0,92\text{ J}$, déterminer la valeur de l'angle α
- Calculer le travail du poids du corps S durant le trajet AB
- Sachant que la vitesse du corps S est constante le long du trajet AB ; Quelle est le



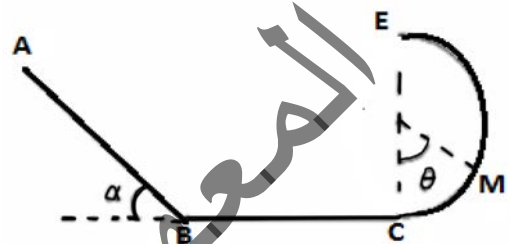
travail de la réaction \vec{R} du plan incliné sur S.
En déduire la nature du contact ($g=10\text{N/kg}$)

4.
 - a. Déterminer la valeur de la vitesse du corps S le long du trajet AB, sachant que la puissance développée par la force est $14,9\text{W}$
 - b. Calculer la durée mise par le solide pour parcourir le trajet AB
5. Lorsque le corps arrive au point B il poursuit son mouvement sur un rail BCDE de rayon $R=0,4\text{m}$. Calculer le travail du poids S le long du trajet BCDE.

Exercice 12

Un solide S de masse $m=2\text{kg}$ supposé ponctuel parcourt un rail comprenant une partie inclinée d'un angle $\alpha=30^\circ$ et de longueur $AB=2\text{m}$ puis une partie rectiligne $BC=1\text{m}$ et une partie circulaire de rayon $r=0,5\text{m}$ (voir figure)

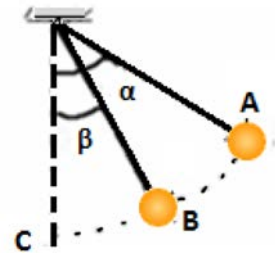
1. Calculer le travail du poids de S au cours des déplacements AB et BC
2. Donner l'expression du travail du poids de S long du trajet CM
3. Quel doit être la valeur de l'angle θ pour $W_{\vec{P}}=0$?



Exercice 13

Une boule de masse $m=50\text{g}$ est suspendue à un fil de masse négligeable et inextensible de longueur $L=40\text{cm}$. On écarte le corps de sa position d'équilibre d'un angle $\alpha=60^\circ$ à la position A puis on le lâche sans vitesse initiale et il passe par le point B repéré par l'angle $\beta=30^\circ$ par rapport à la verticale (Voir figure)

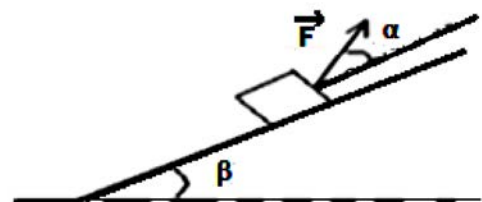
1. Sachant que les frottements sont négligeables, représenter (sans échelle) les forces qui s'exercent sur la boule
2. Donner l'expression du travail du poids de la boule durant le déplacement de A à B puis calculer sa valeur
3. Déduire l'expression du travail du poids de la boule durant le déplacement de A à C puis calculer sa valeur. On prend $g=10\text{N/kg}$



Exercice 14

On utilise un moteur pour tirer un corps avec une vitesse constante sur un plan horizontal, à l'aide d'une corde qui forme un angle $\alpha=30^\circ$ avec l'horizontale.

1. Lors du fonctionnement du moteur avec une puissance $P=400\text{W}$, la force exercée par le moteur a pour intensité $F=140\text{N}$. Déterminer la vitesse du corps
2. Déterminer l'intensité de la force exercée par le plan de contact sur le corps.
3. Le corps se déplace du plan horizontal à un autre plan incliné d'un angle $\beta=15^\circ$ par rapport à l'horizontale.
4. Quelle est la puissance supplémentaire que le moteur doit fournir pour qu'il garde son mouvement précédent. On donne : $g=9,8\text{N/kg}$ et $m=20\text{kg}$.



Exercice 15

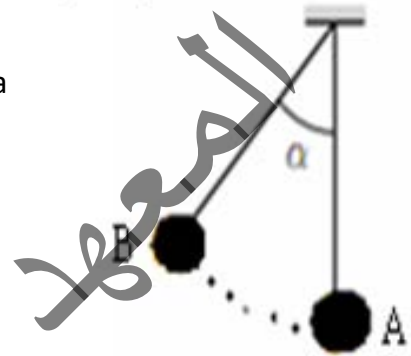
Sur la ligne de plus grande pente inclinée de 2% se déplace une voiture de masse = 100kg, sans frottement à vitesse constante (vers le haut). La vitesse de la voiture reste constante sur une distance de $AB=50m$.

1. Quelle est l'intensité de la force motrice
2. Calculer le travail de chacune des forces appliquées sur la voiture au cours de ce déplacement
3. Quelle est la puissance de la force motrice lorsque la voiture se déplace à la vitesse de 60km/h. On donne $g=10N/kg$

Exercice 16

Un Pendule simple est constitué d'une boule de masse $M=50g$ accrochée au bout d'un fil de longueur $L=30cm$, la boule reçoit en A une poussée qui la fait remonter jusqu'aux points B, de telle façon que le pendule forme alors un angle $\alpha=30^\circ$ avec la verticale

1. Calculer le travail du poids de la boule de A à B
2. Quelle est le travail de la force exercée par le fil sur la boule durant le déplacement de A à B.
3. Quel sera le travail du poids de la boule, si le pendule effectue un tour complet ?

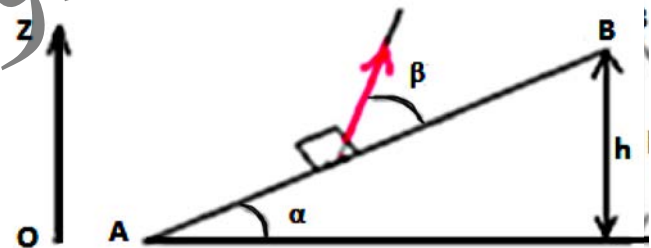


Exercice 17

On tire un corps S de masse $m=4kg$ le long d'un plan incliné d'un angle $\alpha=30^\circ$ par rapport à horizontale avec une force

constante \vec{F} d'intensité $F=44N$ et qui forme un angle $\beta=60^\circ$ avec la ligne de plus grande pente. Sachant que le corps durant son mouvement est soumis à une force de frottement \vec{f} opposée au sens du mouvement d'intensité $f=2N$ le long du trajet AB de longueur $AB=3m$.

1. Donner le bilan des forces qui s'exercent sur le corps S. Représenter ces forces (sans cho d'échelle)
2. Calculer le travail de chacune des forces, lorsque le corps se déplace de A à B avec une vitesse constante $v=9km/h$
3. Calculer la somme des travaux des forces. Conclure.
4. Calculer la puissance moyenne développée par la force précédente pour déplacer le corps S de A à B. $g=10N/kg$



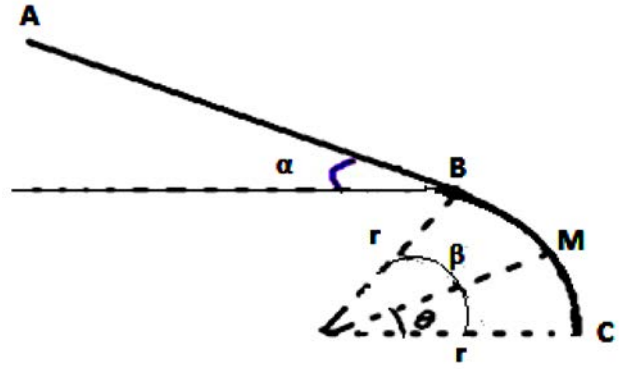
Exercice 18

Un corps S de masse $m=400g$ se déplace sur un rail ABC formé de deux portions :

- Une portion AB = 1,2m rectiligne et inclinée d'un angle $\alpha=30^\circ$ par rapport à l'horizontale
- Une portion CD circulaire de rayon $r=0,8m$ de centre O et limitée par l'angle $\beta=60^\circ$

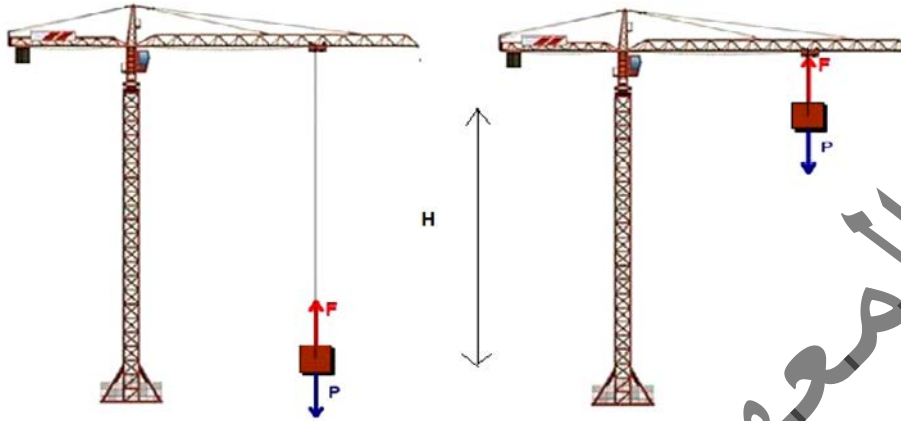
(Voir figure). Le corps passe par le point M repéré par l'angle $\theta=45^\circ$, On prend $g=10\text{N/kg}$

1. Déterminer l'expression du travail du poids du corps S durant le déplacement de A à B puis calculer sa valeur.
2. Même question pour le travail du poids du corps S durant le déplacement de B à M.
3. Même question pour le travail du poids du corps S durant le déplacement de M à C.



المعهد التكنولوجي الوطني

Énergie mécanique



Système mécanique

OBJECTIFS

- Utiliser l'expression de l'énergie cinétique d'un solide en translation.
- Appliquer le théorème de l'énergie cinétique.
- Savoir calculer l'énergie potentielle et cinétique
- Exprimer et calculer l'énergie potentielle d'un solide au voisinage de la terre.
- Expliciter la transformation d'énergie potentielle en énergie cinétique
- Savoir définir et utiliser l'énergie mécanique :
- Savoir mettre en évidence le caractère conservatif d'une force.
- Exploiter la relation entre l'énergie cinétique, la masse et la vitesse.
- Utiliser l'énergie cinétique dans le cadre de la sécurité routière.
- Exploiter la conservation de l'énergie mécanique.

I - Système mécanique

1) Définition

On appelle système mécanique ou système matériel un ensemble d'objets parfaitement identifiés, pouvant être liés entre eux ou non, rigides ou déformables.

Un système mécanique peut être, un point matériel, un solide, un ensemble de solides, une partie d'un solide, un échantillon de fluide, ou tout autre association de corps physiques souvent affectés d'une masse.

2) Forces intérieures et extérieures

Les forces intérieures sont celles qui sont exercées par des objets intérieurs au système.

Les forces extérieures sont celles qui sont exercées par des objets extérieurs au système.

Exemple :

Si le système étudié est un véhicule, son poids est une force extérieure car il est appliqué par la Terre (qui n'appartient pas au système).

Mais si le système étudié est formé de la Terre et du véhicule, le poids du véhicule est une force intérieure

3) Force conservative

Une force est dite **conservative** lorsque le travail produit par cette force est indépendant du chemin suivi par son point d'action. Ce travail ne dépend alors que de son état initial et de son état final.

Exemple :

- Le poids
- La force de rappel d'un ressort
- La force électrique

3) Force non conservative

Une **force** est dite **non conservative** lorsque le travail qu'elle fournit à un objet dépend du chemin suivi par l'objet.

Exemple :

- les forces de frottement (le travail est converti en chaleur)

II . Energie cinétique

1) Définition

Lorsqu'un système est en mouvement dans un référentiel donné, il possède une énergie de mouvement dite cinétique, notée **E_c** , qui dépend de sa masse **m** et de sa vitesse **v** . Cette grandeur ne peut être que positive ou nulle.

2 . Expression de l'énergie cinétique

a) Energie cinétique d'un point matériel

L'énergie cinétique d'un point matériel de masse m se déplaçant à la vitesse V a pour

$$\text{expression : } E_c = \frac{1}{2} m V^2 \text{ avec } \begin{cases} E_c : \text{Joules (J)} \\ m : \text{kilogrammes (kg)} \\ V : \text{mètres par seconde (m/s)} \end{cases}$$

b) Energie cinétique d'un solide en translation

On peut considérer un solide comme un ensemble de points matériels animés de la même vitesse

$$\vec{V}_i = \vec{V}_1 = \vec{V}_2 = \vec{V}_G = \vec{V} \text{ Pour un point } i \text{ l'énergie cinétique } E_{c_i} = \frac{1}{2} m_i V_i^2 .$$

Pour le solide

$$E_c = \sum \frac{1}{2} m_i V_i^2 = \frac{1}{2} V^2 \sum m_i = \frac{1}{2} M V^2 \begin{cases} E_c : \text{énergie cinétique du solide en (J)} \\ M : \text{masse du solide en (kg)} \\ V : \text{vitesse de translation du solide en (m/s)} \end{cases}$$

Application

Calculer l'énergie cinétique :

- 1) D'une balle de fusil de masse 2g animée d'une vitesse de 600m/s.
- 2) D'une voiture de masse 1 tonne roulant sur une route droite à 90km/h.
- 3) D'un électron se déplaçant à la vitesse de 250 000km/s.

3) Théorème de l'énergie cinétique

Dans un référentiel galiléen tel que le référentiel terrestre, la variation de l'énergie cinétique d'un système de masse m entre un point A et un point B pendant un intervalle de temps, est égale à la somme des travaux des forces extérieures agissant sur le système :

$$\Delta E_c(A \rightarrow B) = E_c(B) - E_c(A) = \sum W_{AB}(F).$$

Application

En supposant les forces de frottement négligeables, utiliser le théorème de l'énergie cinétique pour calculer l'altitude maximale atteinte par une balle de tennis lancée à la vitesse V_A verticalement depuis 2,0 m au-dessus du sol.

Corrigé

Comme les frottements de l'air sont négligés, la balle n'est soumise qu'à son poids. D'après le théorème de l'énergie cinétique, on a :

$$\Delta E_c(A \rightarrow B) = W_{AB}(P) = m \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$

$$\Delta E_c(A \rightarrow B) = \frac{1}{2} m V_B^2 - \frac{1}{2} m V_A^2 = m g (z_A - z_B) \text{ Or, } V_B = 0 \text{ en haut de la trajectoire donc}$$

$$\text{en simplifiant on trouve : } z_B = z_A + \frac{V_A^2}{2g} = 2 + \frac{7^2}{2 \cdot 9,81} = 4,5 \text{ m}$$

III . Énergie potentielle

Dans le cas d'un travail effectué par des forces de pesanteur ou par des forces engendrées par des ressorts, on parle d'énergie potentielle. C'est l'énergie que possède un système déformable spontanément car ses différentes parties sont en interaction conservative

1) Energie potentielle de pesanteur

L'énergie potentielle (E_p), aussi appelée énergie de position, est l'énergie que possède un objet du fait de sa capacité à entrer en mouvement.

- Par exemple, plus l'objet est placé en altitude, plus il possède d'énergie potentielle.
- L'énergie potentielle est une «réserve» d'énergie qui se transforme en une énergie cinétique lors d'une chute libre.

L'énergie potentielle de pesanteur (E_{pp}) est due à l'interaction gravitationnelle qui existe entre le solide et la terre. Elle dépend de l'altitude z à laquelle se trouve le solide étudié, c'est-à-dire de sa position par rapport à la surface de la terre.

L'énergie potentielle de pesanteur E_{pp} d'un solide est définie par $E_{pp} = mgz$ en prenant comme état de référence $E_{pp} = 0$, où le niveau $z = 0$.

E_{pp} : Énergie potentielle de pesanteur (J)
 m : Masse du solide (kg)
 z : Altitude du solide (m)
 g : Intensité de la pesanteur (N/kg)

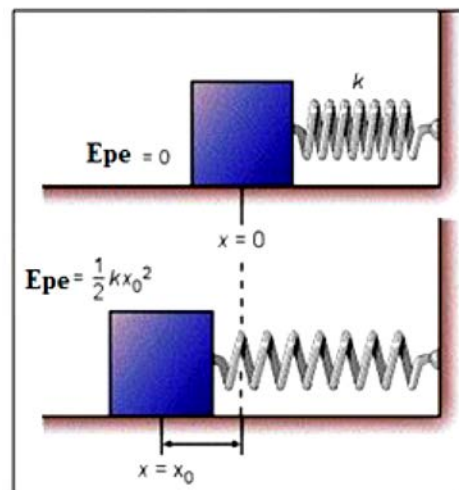
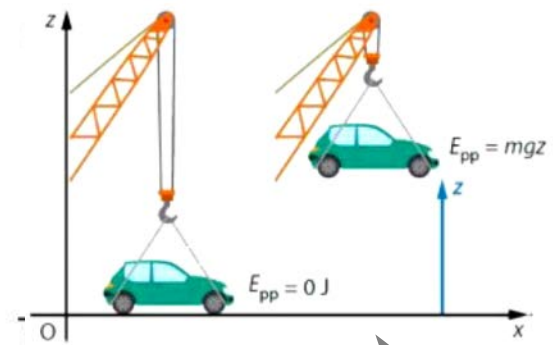
Remarque

- -si le solide se trouve au-dessous du niveau de la référence choisie l'énergie potentielle de pesanteur est négative.
- -si le solide se trouve au-dessus du niveau de la référence choisie l'énergie potentielle de pesanteur est positive.
- -l'énergie potentielle de pesanteur est indépendante du sens de l'orientation de l'axe.

2) Energie potentielle élastique

C'est l'énergie emmagasinée par un solide au cours de sa déformation élastique sous l'effet d'un ensemble d'actions mécaniques. L'énergie potentielle produite par un ressort est donnée par la relation

suivante : $E_{pe} = \frac{1}{2} K x^2$



$$E_p = \frac{1}{2} K x^2 \begin{cases} E_{pe} : \text{Énergie potentielle élastique (J)} \\ K : \text{Raideur du ressort (N / m)} \\ x : \text{longueur de déformation du ressort (m)} \end{cases}$$

3) Variation d'énergie potentielle

- L'énergie potentielle de pesanteur augmente avec l'altitude.
- Le travail du poids sur un trajet AB est égal à l'opposé de la variation d'énergie potentielle entre les points A et B, en effet

$$\begin{aligned} \Delta E_{pp}(AB) &= E_{pp}(B) - E_{pp}(A) \Rightarrow \Delta E_{pp}(AB) = m \cdot g \cdot z_B - m \cdot g \cdot z_A \\ &\Rightarrow \Delta E_{pp}(AB) = m \cdot g \cdot (z_B - z_A) \Rightarrow \Delta E_{pp}(AB) = -m \cdot g \cdot (z_A - z_B) \\ &\Rightarrow \Delta E_{pp}(AB) = -W_{AB}(\vec{P}) \end{aligned}$$

Remarque

- l'altitude z est définie par rapport à une origine
- l'énergie potentielle de pesanteur dépend du choix de cette origine
- par contre une variation d'énergie potentielle ne dépend que de la différence d'altitude.

IV - Energie mécanique

1) Définition

L'énergie mécanique E_m d'un système est la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle E_p : $E_m = E_c + E_p$

2) Théorème de l'énergie mécanique

La variation de l'énergie mécanique d'un système est égale à la somme des travaux des forces intérieures non conservatives et de la somme des forces extérieures :

$$\Delta E_m = \sum w_{AB}(\vec{F}_{ext}) + \sum w_{AB}(\vec{F}_{int.nc})$$

a) Conservation de l'énergie mécanique

Lorsqu'un système est soumis uniquement à des forces conservatives ou à des forces dont le travail est nul, alors son énergie mécanique se conserve. Par conséquent l'énergie mécanique est constante et ses variations sont nulles : $\Delta E_m(A \rightarrow B) = E_m(B) - E_m(A) = 0 \Leftrightarrow E_m(B) = E_m(A)$

De plus, comme on a : $\Delta E_m(A \rightarrow B) = \Delta E_c(A \rightarrow B) + \Delta E_{pp}(A \rightarrow B)$ $\Delta E_c(A \rightarrow B) = -\Delta E_{pp}(A \rightarrow B)$.

Dans le cas où l'énergie mécanique d'un système se conserve, alors toute l'énergie cinétique perdue est convertie en énergie potentielle et inversement

b) Non conservation de l'énergie mécanique

Lorsque la somme : $\sum w_{AB}(\vec{F}_{ext}) + \sum w_{AB}(\vec{F}_{int.nc}) \neq 0$ le système est non conservatif.

Si la somme des travaux des forces extérieures est nulle on peut écrire :

$$\Delta E_m(A \rightarrow B) = E_m(B) - E_m(A) = \sum_{AB} W(F_{nc})$$

avec $\sum W(\mathbf{F}_{nc})$: la somme des travaux des forces non conservatives s'appliquant sur le système.

Par exemple la force de frottement est une force non conservatrice ; on peut écrire :

$$\Delta E_m = W(\mathbf{f})$$

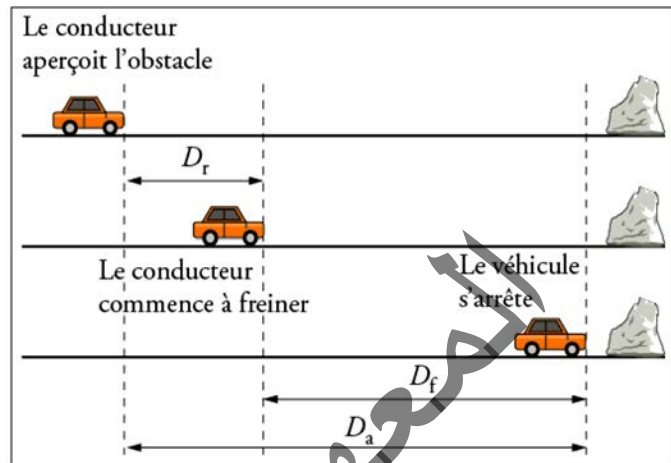
V : Distance d'arrêt

La distance d'arrêt D_a est la distance parcourue par un véhicule entre le moment où le conducteur aperçoit un obstacle et l'arrêt complet du véhicule. Elle est la somme de deux termes : $D_a = D_r + D_f$

D_r : est la distance de réaction. C'est la distance parcourue par le véhicule entre le moment où le conducteur voit l'obstacle et celui où il commence à freiner. Elle est proportionnelle au temps de réflexe du conducteur. Celui-ci vaut environ 1s, mais peut atteindre 2s dans d'autres cas. D_r dépend aussi de la vitesse du véhicule.

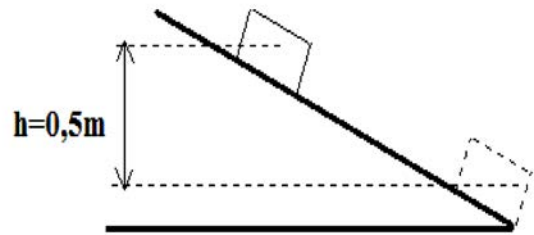
D_f : est la distance de freinage. Elle dépend :

- de la vitesse du véhicule.
- De l'état du véhicule (principalement des freins et des pneus).



Application

Application 1 : Un mobile autoporteur de masse $m=500\text{ g}$ descend d'une hauteur de 50 cm sur un plan incliné. Au départ sa vitesse est nulle. Quelle est sa vitesse lorsqu'il arrive en bas ?



Corrigé

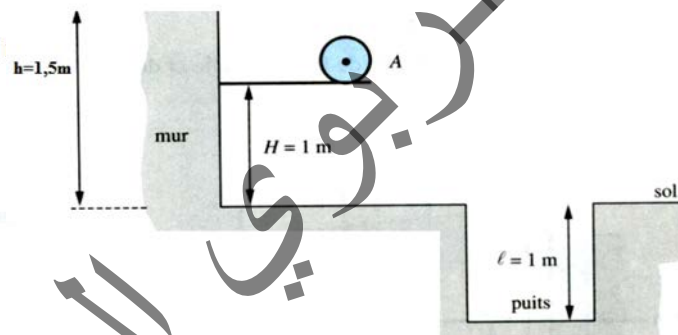
L'énergie mécanique est : $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}mV^2 + m.g.h = 0 + 0,5.10.0,5 = 2,5\text{ J}$

D'après la conservation de l'énergie mécanique, comme l'énergie potentielle sera nulle en bas

du plan incliné : $E_m = E_c' = \frac{1}{2}m.V'^2 \Rightarrow V' = \sqrt{\frac{2.E_m}{m}} = 3,16\text{ m/s}$

Application 2

Une petite bille de masse $m = 100\text{ g}$ est placée en A sur une plate forme fixée à un mur et au voisinage d'un puits (voir la figure).



Donner l'énergie potentielle de pesanteur du système bille-terre en prenant successivement comme plan d'altitude nulle, les plans horizontaux contenant :

Le fond du puits

Le sol,

La plateforme ;

Le sommet du mur.

On lâche la bille sans vitesse initiale. Calculer sa vitesse à son arrivée au sol. On négligera toute la résistance de l'air.

a) La bille est lancée verticalement vers le sol avec une vitesse initiale de 3 m/s . Calculer sa vitesse à son arrivée au sol.

b) Même question, la bille étant cette fois lancée verticalement vers le haut.

4. La bille est cette fois lancée obliquement, toujours avec une vitesse initiale de 3 m/s , de telle sorte qu'elle tombe au fond du puits. Calculer sa vitesse à son arrivée au fond du puits.

On prendra $g = 10\text{ N/kg}$.

Réponse :

1. On assimile la bille à un objet ponctuel ; son énergie potentielle de pesanteur du système bille-terre est : $E_p = mgz$ où z est l'altitude du centre d'inertie de la bille. Celle-ci dépend du plan de référence (figure).

E_{pa} et E_{pb} sont positives car la bille est au dessus du plan de référence.

E_{pc} est nulle car la bille est dans le plan de référence.

E_{pd} est négative car la bille est en dessous du plan de référence.

$$E_{pa} = mgz_a = mg(l+H) = 0,1 \times 10 \times (1+1) = 2 \text{ J.}$$

$$E_{pb} = mgz_b = mgH = 0,1 \times 10 \times 1 = 1 \text{ J.}$$

$$E_{pc} = mgz_c = 0$$

$$E_{pd} = mgz_d = mg(H-h) = 0,1 \times 10(1-1,5) = -0,5 \text{ J.}$$

2. Le système isolé conservatif est ici le système bille-terre. Son énergie mécanique se conserve : elle est la même au moment du lâcher (en A) et à l'arrivée au sol S. $E_m(A) = E_m(S)$

Cette énergie mécanique est la somme de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle :

$$E_{cA} + E_{pA} = E_{cS} + E_{pS}.$$

Les deux énergies potentielles doivent être exprimées en fonction de la même référence ; un choix simple est ici de prendre le sol comme plan de référence. Dans ce cas, $z_S = 0$ et $E_{oS} = 0$. De plus, le mobile étant lâché en A sans vitesse, on a : $v_A = 0$ et $E_{cA} = 0$ l'égalité devient donc :

$$E_{pA} = E_{cS} \Rightarrow mgH = \frac{1}{2}mv_S^2 \Rightarrow v_S = \sqrt{2gH} \Rightarrow v_S = \sqrt{2 \times 10 \times 1} \approx 4,5 \text{ m/s.}$$

3.a- Le système bille – terre est toujours isolé et conservatif (on fait son étude immédiatement après le lancer).

On a toujours : $E_{mA} = E_{mS}$.

La vitesse initiale n'est pas nulle : $E_{cA} = \frac{1}{2}mv_A^2$

$$E_{cA} + E_{pA} = E_{cS}$$

$$\frac{1}{2}mv_A^2 + mgH = \frac{1}{2}mv_S^2 \Rightarrow v_S = \sqrt{v_A^2 + 2gH} \Rightarrow v_S = \sqrt{3^2 + 2 \times 10 \times 1} \approx 5,4 \text{ m/s}$$

b) La direction du vecteur vitesse n'intervient pas dans l'expression de l'énergie cinétique. Le raisonnement est donc identique à celui de la question précédente. On trouve, de nouveau : $v_S = 5,4 \text{ m/s}$.

Remarque :

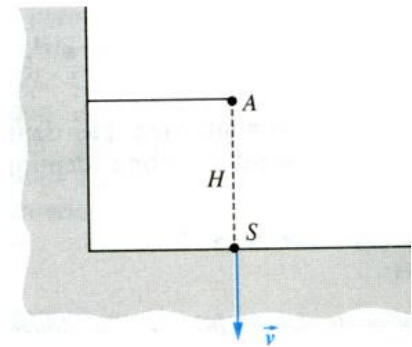
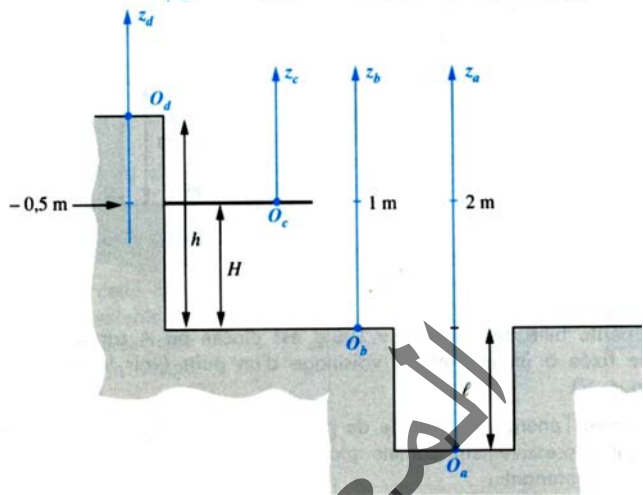
Dans ce cas, le mouvement de la bille est toujours vertical. Il est ascendant jusqu'à un point C où sa vitesse s'annule puis il redescend passant de nouveau par A avant d'atteindre le sol.

4. On considère toujours le système bille-terre. La situation initiale est celle qui suit immédiatement le lancer et la situation finale l'arrivée au fond du puits (D).

$$E_{mA} = E_{mD} \Rightarrow E_{cA} + E_{pA} = E_{cD} + E_{pD}$$

$$mgH + \frac{1}{2}mv_A^2 = \frac{1}{2}mv_D^2 + mgl$$

le niveau de référence pour l'énergie potentielle est celui du sol.



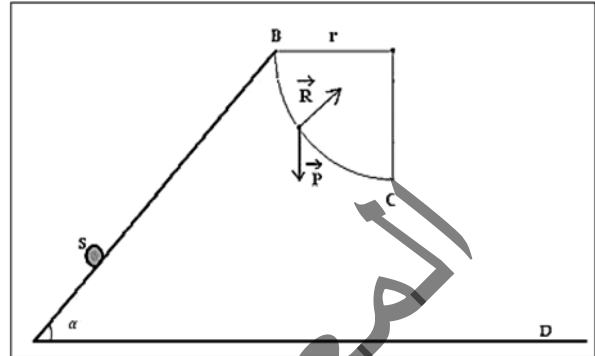
$$V_D = \sqrt{v_A^2 + 2g(H + l)} = \sqrt{3^2 + 2 \times 10(1 + 1)} \approx 7,0 \text{ m/s.}$$

Remarque:

En utilisant la conservation de l'énergie mécanique, on n'obtient aucun renseignement sur la direction de \vec{V}_D ni sur la trajectoire suivie entre A et D.

Application 3 :

Un solide S assimilable à un point matériel de masse $m = 50g$ est en mouvement sur une piste constituée d'une partie rectiligne AB inclinée d'un angle $\alpha = 60^\circ$ par rapport à l'horizontale et d'une partie circulaire BC de centre I et de rayon $r = 0,5$ (voir figure ci-dessous).



1- Le point matériel S est lancé du point A avec une vitesse $V_A = 6 \text{ m/s}$. Il arrive au point B avec une vitesse nulle. Calculer la distance AB sachant que le point matériel est soumis à une force f parallèle et de sens contraire à celui de sa vitesse à chaque instant, d'intensité constante $f = 10^{-2}N$.

2- On néglige les frottements sur la partie circulaire BC. Calculer la vitesse V_C de S au point C.

3- Le point matériel quitte le point C avec la vitesse V . Calculer la vitesse V_D du point matériel au point D.

Corrigé

1- La distance AB :

L'inventaire des forces extérieures appliquées sur le point matériel S :

P : le poids vertical,

R : la réaction normale de la pente,

f : la force de frottement parallèle à la pente et de sens contraire au déplacement.

On applique le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta E_C = E_{CB} - E_{CA} = W_{A \rightarrow B}(P) + W_{A \rightarrow B}(R) + W_{A \rightarrow B}(f)$$

$$1/2m \cdot V_B^2 - 1/2m \cdot V_A^2 = P \cdot AB + R \cdot AB + f \cdot AB$$

$$-1/2m \cdot V_A^2 = m \cdot g \cdot (z_A - z_B) + 0 + f \cdot AB \cdot \cos 180^\circ$$

$$-1/2m \cdot V_A^2 = -m \cdot g \cdot AB \cdot \sin \alpha - f \cdot AB$$

$$1/2m \cdot V_A^2 = (m \cdot g \cdot \sin \alpha + f) \cdot AB$$

$$AB = m \cdot V_A^2 / 2(m \cdot g \cdot \sin \alpha + f)$$

$$AB = 50 \cdot 10^{-3} \times 6^2 / 2 \times (50 \cdot 10^{-3} \times 10 \times \sin(60^\circ) + 10^{-2}) \approx 2,0 \text{ m}$$

2- La vitesse de S au point C :

L'inventaire des forces extérieures appliquées sur le point matériel S entre B et C :

P : le poids vertical,

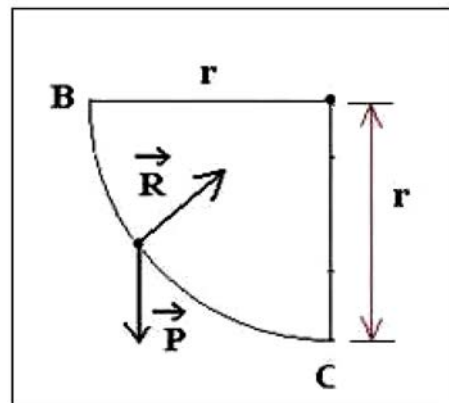
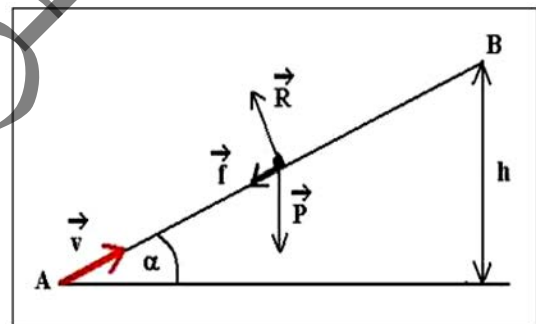
R : la réaction normale de la pente (les frottements étant négligés).

On applique le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta E_C = E_{CC} - E_{CB} = W_{B \rightarrow C}(P) + W_{B \rightarrow C}(R)$$

$$1/2m \cdot V_C^2 - 1/2m \cdot V_B^2 = (z_C - z_B) \cdot m \cdot g$$

$$1/2V_C^2 = g \cdot r \Rightarrow V_C = \sqrt{2g \cdot r}$$



$$v_O = \sqrt{2} \times 10 \times 0,5 \Rightarrow v_O \approx 3,16 \text{ m/s}$$

3- La vitesse de S au point D :

L'inventaire des forces extérieures appliquées sur le point matériel S entre B et C :

P^{\rightarrow} : Le poids vertical (corps en chute libre).

On applique le théorème de l'énergie cinétique entre C et D :

$$\Delta E_C = E_{CD} - E_{CC} = W_C \rightarrow (P^{\rightarrow})$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_D^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_C^2 = m \cdot g(z_D - z_C)$$

$$\frac{1}{2} v_D^2 - \frac{1}{2} v_C^2 = (AB \cdot \sin \alpha - r)$$

$$v_D^2 = 2 \cdot g(AB \cdot \sin \alpha - r) + v_C^2$$

$$v_D = \sqrt{2 \cdot g(AB \cdot \sin \alpha - r) + v_C^2}$$

$$v_D = \sqrt{2 \times 10 \times (2,0 \times \sin(60^\circ) - 0,5) + 3,16^2}$$

$$v_D \approx 5,88 \text{ m/s}$$

Application 4

Un petit solide (S) de masse 2 kg, glisse sans vitesse initiale du sommet A du plan incliné OA = 4 m, jusqu'au point O.

En B, milieu de OA, sa vitesse est v_B et arrive au point O avec une vitesse $v_O = 2\sqrt{10} \text{ m/s}$.

Le plan horizontal passant par O est pris comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur. $g = 10 \text{ m/s}^2$.

1- Conservation de l'énergie mécanique.

a- Calculer l'énergie mécanique du système ((S), Terre) au point A.

b- Calculer l'énergie mécanique du système ((S), Terre) au point O. Conclure.

c- Déterminer la vitesse v_B de (S) au point B.

2- Non conservation de l'énergie mécanique.

a- On suppose que (S) descend le plan incliné de A à O avec une vitesse constante de valeur 4 m/s.

i- Calculer la variation ΔE_m de l'énergie mécanique du système ((S), Terre) pendant la descente de A à B.

ii- Sous quelle forme d'énergie apparaît cette diminution ?

iii- A quoi est due cette diminution de l'énergie mécanique.

b- L'énergie mécanique du système ((S), Terre) est-elle conservée ? Justifier.

Corrigé

1- a- $E_m = E_c + E_p + mgh = 0 + mgAC = 2 \times 10 \times 2 = 40 \text{ J}$. avec $AC = AO \cdot \sin(\alpha) = 2 \text{ m}$

b- Au point O : $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} mv^2 + 0 = \frac{1}{2} \times 2 \times 40 = 40 \text{ J}$

Conclusion : E_m est conservée

c-

2- a- i- Au point A : $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} mv^2 + mgh = 16 + 40 = 56$

Au point B : $E_m = \frac{1}{2} mv^2 + mgBD = (\frac{1}{2} \times 2 \times 16) + 2 \times 10 = 36 \text{ J}$.

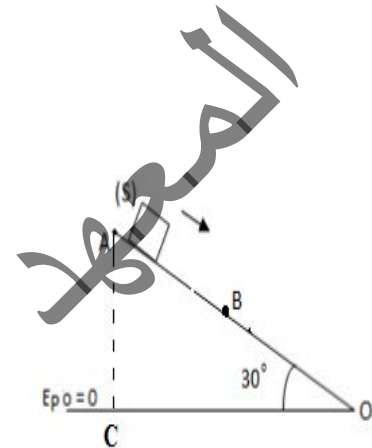
($BD = \sin 30 \times BO = 1 \text{ m}$)

$\Delta m = E_{m_B} - E_{m_A} = 36 - 56 = -20 \text{ J}$

ii- Sous forme de chaleur

iii- Aux forces de frottement.

b- Non, car $E_{m_B} \neq E_{m_A}$



L'Essentiel

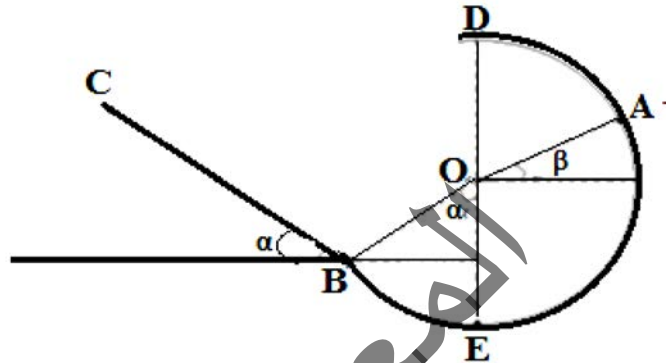
- Un solide de masse m animé d'un mouvement de translation à la vitesse V possède une énergie cinétique : $E_c = \frac{1}{2}m.v^2$ avec E_c en joule(j), m , la masse en (kg) et V , en mètre par seconde (m/s).
- Dans un référentiel galiléen, la variation d'énergie cinétique d'un solide, entre deux instants t_1 et t_2 , est égale à la somme des travaux des forces appliquées à ce solide : $\Delta E_c(A \rightarrow B) = E_c(B) - E_c(A) = \sum W_{AB}(F)$.
- L'énergie potentielle de pesanteur, dans le champ de pesanteur uniforme g , d'un objet de masse m est définie par : $E_p = m.g.z$ avec les conventions : $E_p=0$ dans le plan horizontal de $z=0$.
- La variation de l'énergie potentielle de pesanteur est égale au travail de la force intérieure conservative \vec{P} , changé de signe : $\Delta E_p = -W_{1 \rightarrow 2} \vec{P}$
- Toute variation d'énergie potentielle d'un système conservatif s'accompagne d'une variation de même valeur, de signe contraire de son énergie cinétique : $\Delta E_p = -\Delta E_c$
- L'énergie mécanique E_m d'un solide est la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle E_p : $E_m = E_c + E_p$
- L'énergie mécanique E_m se conserve si $\sum w_{AB}(\vec{F}_{ext}) + \sum w_{AB}(\vec{F}_{int.nc}) = 0$.

Exercices

Exercice N°1

Un solide de masse m se déplace dans une glissière constituée d'une partie rectiligne BC suivie d'une partie circulaire de centre O et de rayon R. Les frottements existent tout le long du parcours de C à A et gardant une intensité constante $f=0,02N$. On donne $m=100g$; $R=0,5m$; $BC=2m$; $\alpha=30^\circ$; $\beta=60^\circ$ et $g=10N/kg$

- 1) Représenter les forces qui s'exercent sur les tronçons CB, BE et EA
- 2) Calculer le travail de chacune des forces sur l'ensemble du parcours de C à A



Exercice N°2:

Du bord d'un pont, Sidi lance verticalement vers le haut une pierre de masse $m = 65 g$ à une vitesse $V=5m/s$. le point de lancement de la pierre se trouve à une hauteur $h = 4,5 m$ au-dessus du niveau de l'eau de la rivière. L'eau de la rivière sert de référence pour l'énergie potentielle. La pierre monte, puis redescend et pénètre dans l'eau. Soit A le point de départ, B le point le plus haut et C le niveau de l'eau. Les frottements sont considérés comme négligeables.

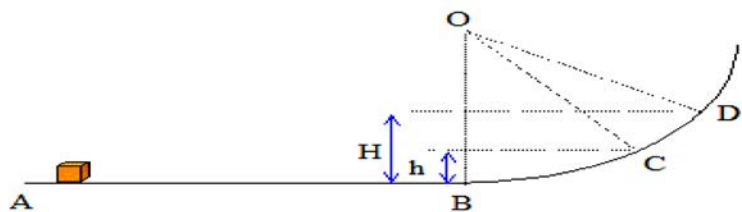
- 1) Exprimer et calculer l'énergie cinétique $E_c(A)$, potentielle $E_{pp}(A)$ et mécanique $E_m(A)$ de pierre au moment où elle quitte la main de Sidi.
- 2) Que peut-on dire de la valeur de E_m au cours du mouvement de la pierre. Justifier.
- 3) Soit H la hauteur atteinte par la pierre. Que vaut l'énergie cinétique $E_c(B)$ de la pierre à cette hauteur ? En déduire la valeur de H.
- 4) Que vaut l'énergie potentielle $E_{pp}(C)$ de la pierre au moment où elle pénètre dans l'eau ?
- 5) Exprimer puis calculer la vitesse $V(C)$ en km/h de la pierre à cet instant.

Donnée : Intensité de la pesanteur $g = 9,81 N/kg$.

Exercice N°3

I. Un solide (S) de masse $m = 5 kg$ est mobile sur des rails ABC situés dans un plan vertical. $AB= 4,0 m$; BD est un arc de cercle de rayon $R = 10 m$. (S) est initialement immobile en A.

On exerce entre A et B, sur (S), une force F parallèle à AB et de valeur constante. Le solide monte jusqu'en D puis revient en arrière. $H= 3 m$; $g = 9,8 m s^{-2}$. Les frottements sont négligeables.



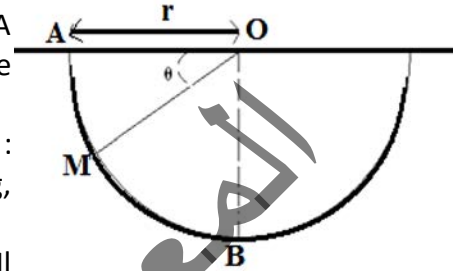
1. Exprimer puis calculer la vitesse de (S) en B.
2. Exprimer puis calculer la valeur de F.
3. Exprimer puis calculer la vitesse de (S) en C. ($h = 1,5 m$). Montrer que la vitesse en C est la même à l'aller et au retour.

II- Les frottements ne sont plus négligés. La valeur f des frottements est constante. Le solide s'arrête au retour en B.

1. Exprimer puis calculer f et F .
2. Comparer à l'aller et au retour :
 - les valeurs de la vitesse en un point quelconque de l'arc BD
 - la durée des trajets BC et CB.

Exercice N°4

Dans tout l'exercice on prendra $g=10\text{m/s}^2$. Un solide S de petite dimension assimilable à un point matériel de masse $m=10\text{g}$ peut glisser à l'intérieur d'une demi-sphère de centre O et de rayon $r=1,8\text{m}$. On le lâche du point A sans vitesse initiale. Sa position à l'intérieur de la demi-sphère est repérée par l'angle θ .

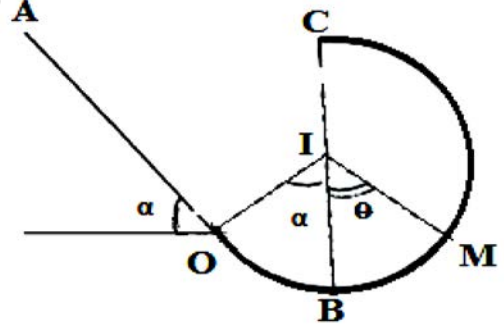


1. En admettant que le solide S glisse sans frottement : exprimer littéralement sa vitesse au point M en fonction de g , r et θ . La calculer au point B .

2. En réalité le solide S arrive en B avec une vitesse de 4m/s . Il est donc soumis à une force de frottement f dont on admettra quelle est de même direction que la vitesse du mobile mais de sens opposé et d'intensité constante. Calculer l'intensité de f .

Exercice N°5:

Les frottements sont négligeables. Une bille supposée ponctuelle de masse m est abandonnée en un point A d'une piste dont la figure représente le tracé $AOBC$ dans un plan vertical. La bille passe par le point O avec une vitesse V_0 . AO fait un angle α avec l'horizontale ; OBC circulaire, de rayon r , tangente en O à AO (voir figure).



1. Vitesse en O :

- a. Etablir en fonction de OA , g et α , l'expression de la vitesse V_0 du mobile au point O
- b. Application numérique : Calculer V_0

2. Vitesse en B :

- a. Etablir en fonction de V_0 , r , g et α , l'expression de la vitesse V_B du mobile au point B
- b. Application numérique : Calculer V_B

3. Vitesse en M :

- c. Etablir en fonction de V_0 , r , g , α et θ , l'expression de la vitesse V_M du mobile au point M ?
- d. Application numérique : Calculer V_M

4. Vitesse en C :

- e. Etablir en fonction de V_0 , r , g , et α , l'expression de la vitesse V_C du mobile au point C
- f. Application numérique : Calculer V_C

On donne : $g=10\text{N/kg}$; $OA=90\text{cm}$; $r=25\text{cm}$; $\alpha=30^\circ$ et $\theta=60^\circ$

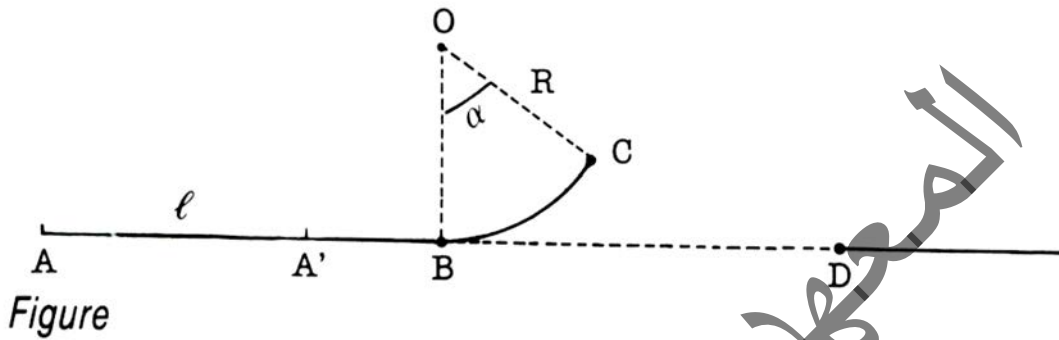
Exercice N°6:

On lance un projectile M de masse m sur une piste dont la trace ABC est représentée dans un plan vertical (fig)

AB est horizontal, BC circulaire, de rayon R tangente en B à AB les frottements ainsi que la résistance de l'air sont négligeables. Le lancement est effectué en faisant agir sur M

initialement au repos en A une force \vec{F} horizontale d'intensité F constante sur la longueur $AA' = l$.

- Déterminer la vitesse V_B du projectile au point B en fonction de F , m et l
- Déterminer la vitesse V_C du projectile au point C en fonction de F , m , R , l , g et α . Quelle doit être la valeur minimale de F pour que M atteigne C ? Application numérique : $m = 0,1 \text{ Kg}$ $R = 0,8 \text{ m}$ $\alpha = 60^\circ$; $l = 0,5 \text{ m}$; $g = 10 \text{ N/kg}$.
- Représenter les vecteurs vitesses \vec{V}_C au point C ou le projectile quitte la piste et \vec{V}_D au point D où il reprend contact avec le sol horizontal.



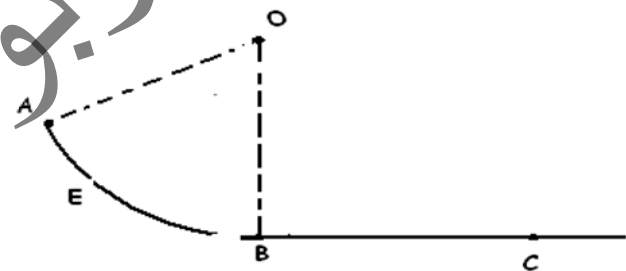
Exercice N°7:

Un cube M de masse $m=1\text{Kg}$ assimilable à un point matériel glisse sur une piste formée de deux parties AB et BC contenues dans un même plan vertical. AB Représente $1/6$ de circonférence, de centre O, de rayon $r = 15\text{m}$ et BC une partie rectiligne de longueur $l=15\text{m}$.

Le cube est lancé en A avec une vitesse initiale \vec{V}_A telle que $V_A = 6\text{m/s}$.

- On néglige les frottements. Calculer la vitesse acquise au point E tel que $\angle AOE = \frac{\pi}{6}$ ainsi que celle acquise au point C.

2) En fait sur le trajet ABC existent des forces de frottement assimilables à une forces unique \vec{f} , tangente à la trajectoire, d'intensité considérée comme constante. Sachant que le mobile arrive en C avec la vitesse $12,5 \text{ m/s}$, en déduire l'intensité de la force de frottement ($g=9,8\text{m/s}^2$)



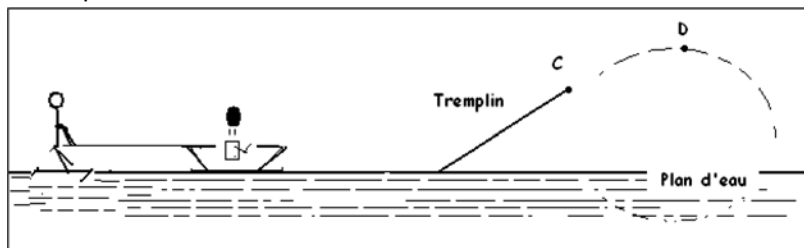
Exercice N°8:

On étudie le mouvement d'un skieur nautique lors d'un saut au tremplin.

1^{ère} Phase :

Le skieur de masse 70Kg partant sans vitesse initiale du point A est tracté par un canot par l'intermédiaire d'un câble tendu, parallèle au plan d'eau.

Après un parcours de 200m le skieur atteint la vitesse de 72Km/h au point B. Le frottement de l'eau est équivalent à une force constamment opposée à la vitesse, d'intensité moyenne 200N .



- 1) Quelle est l'énergie cinétique du skieur au point B ?
- 2) Quel est, au cours de cette phase, l'intensité moyenne de la force de traction exercée par le câble sur le skieur ?
- 3) Calculer la puissance moyenne du moteur du canot au cours de cette phase, si elle dure **20 S**.

2^{ème} Phase :

Le skieur lâche le câble et aborde un tremplin de longueur **BC= 10m** et de hauteur **CH= 5m** au dessus du plan d'eau. Les frottements moyens le long du tremplin sont équivalents à une force de **500N**.

- 4) Calculer la vitesse du skieur au point **C**, sommet du tremplin.

3^{ème} Phase :

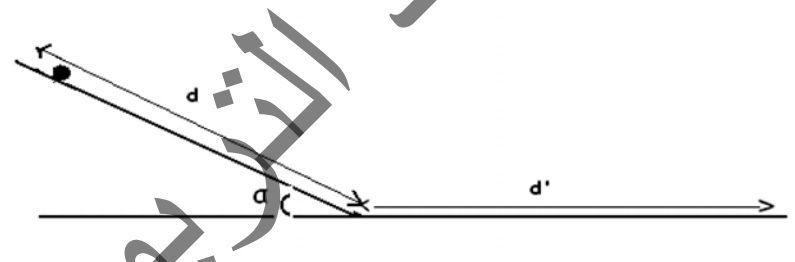
Le skieur effectue le saut. On suppose les frottements de l'air négligeables.

- 5) La vitesse au sommet de la trajectoire du skieur est **V=9m/s**. Quelle est la hauteur du point **D**, sommet de sa trajectoire ?
- 6) Quelle est la vitesse **VE** du skieur lorsqu'il reprend contact avec l'eau ? Indiquer le sens et la direction des vectrices vitesses en C et D ($g=10 \text{ m/s}^2$)

Exercice N°9:

Un solide **S** de masse **400g** abandonné sans vitesse initiale, glisse sur un plan incliné d'un angle $\alpha=35^\circ$ par rapport au plan horizontal. Le plan incliné est raccordé à un plan horizontal. On prend $g=9,80\text{m/s}^2$.

S assimilable à un point matériel, a été lâché d'une distance **d=2m** de la ligne de raccordement. (On admettra que le passage de **S** sur cette ligne ne produit pas de choc susceptible de modifier la valeur **v** de sa vitesse).



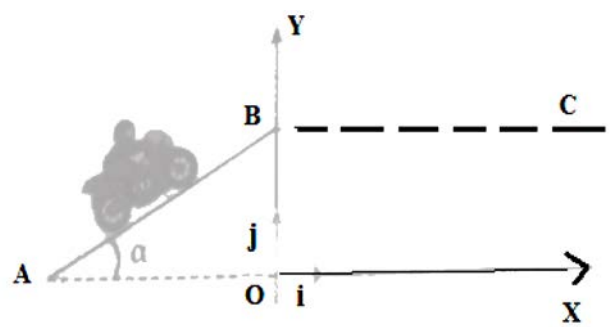
Quelle distance **d'** le solide **S** parcourt-il sur le plan horizontal avant de s'arrêter si on suppose que les frottements sont représentés par une force unique \vec{f}' d'intensité $f' = 0,75\text{N}$ pendant toute la durée du mouvement ?

Exercice N°10

Soit un tremplin incliné d'un angle $\alpha = 27^\circ$ par rapport à l'horizontale. On considère que le motoriste a parcouru le tremplin **AB** avec une vitesse de valeur constante égale à **160 km.h⁻¹**. Au point **B**, il s'est envolé pour un saut d'une portée **BC = 107 m**.

Entre **B** et **C**, toute force autre que le poids est supposée négligeable.

On choisit l'altitude du point **A** comme référence des énergies potentielles de pesanteur.



1. Exprimer l'altitude y_B du point **B** en fonction d'**AB** et de α .
2. Calculer l'énergie mécanique du système {motard + moto} aux points **A** et **B**.
3. Comment évolue l'énergie mécanique du système lorsqu'il passe de **A** à **B**? Justifier la réponse.

4. En déduire l'expression de la variation d'énergie potentielle de pesanteur du système, lorsque le système passe du point **A** au point **B**. Calculer cette variation d'énergie.
5. Comment évolue l'énergie mécanique du système lorsqu'il passe de **B** à **C**? Justifier la réponse.
6. En déduire sa vitesse au point **C**.

Données : • intensité de la pesanteur : $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$; • masse du système : $m = 180 \text{ kg}$; • $AB = 7,86 \text{ m}$.

Exercice N°11

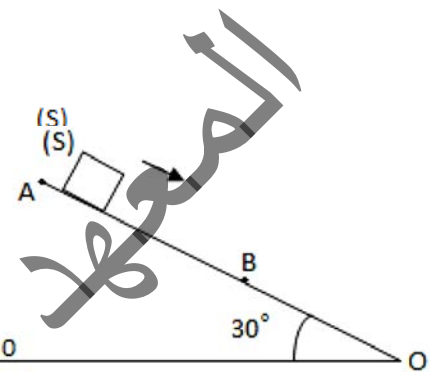
Un petit solide (S) de masse **2 kg**, glisse sans vitesse initiale du sommet **A** du plan incliné $OA = 4 \text{ m}$, jusqu'au point **O**. En **B**, milieu de OA , sa vitesse est \mathbf{VB} et arrive au point **O** avec une vitesse $\mathbf{VO} = 2\sqrt{10} \text{ m/s}$. Le plan horizontal passant par **O** est pris comme niveau de référence de l'énergie potentielle de pesanteur. $g = 10 \text{ N/kg}$.

1- Conservation de l'énergie mécanique.

- a) Calculer l'énergie mécanique du système ((S), Terre) au point **A**.
- b) Calculer l'énergie mécanique du système ((S), Terre) au point **O**. Conclure.
- c) Déterminer la vitesse \mathbf{VB} de (S) au point **B**.

2- Non conservation de l'énergie mécanique.

- a- On suppose que (S) descend le plan incliné de **A** à **O** avec une vitesse constante de valeur **4 m/s**.
 - i) Calculer la variation ΔE_m de l'énergie mécanique du système ((S), Terre) pendant la descente de **A** à **B**.
 - ii) Sous quelle forme d'énergie apparait cette diminution ?
 - iii) A quoi est due cette diminution de l'énergie mécanique.
- b- L'énergie mécanique du système ((S), Terre) est-elle conservée ? Justifier.
- c) Calculer la valeur de la force de frottement si elle existe.



Exercice : 12

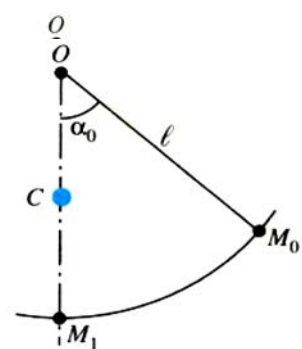
Un pendule est constitué d'un fil inextensible de longueur $l = 1,0 \text{ m}$ attaché à une de ses extrémités en **O** et portant à son autre extrémité un solide **M** supposé ponctuel de masse $m = 100 \text{ g}$ (fig). On néglige la masse du fil, ainsi que tout frottement.

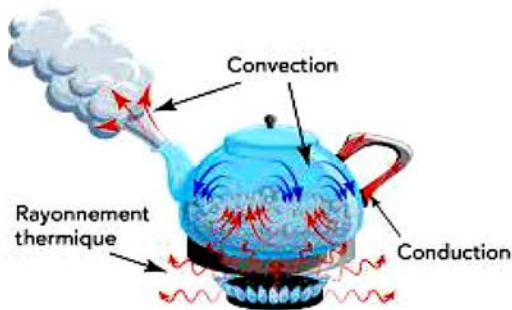
A la verticale du point **O** et à la distance $OC = \frac{l}{2}$ on place un clou **C** sur lequel le fil vient buter.

Le fil est écarté de $\alpha_0 = 50^\circ$ par rapport à la verticale et il est ensuite lâché sans vitesse initiale.

- a) (A2) Déterminer la vitesse de **M** à son passage à la verticale de **O**.
- b) (B3) Déterminer l'angle maximal β_m que fait le fil avec la verticale lors de sa remontée à gauche.
- c) (A1) Reprendre les deux mêmes questions en prenant $\alpha'_0 = 30^\circ$ puis $\alpha'_0 = 70^\circ$

On prendra : $g = 9,8 \text{ N/kg}$.





Chaleur et température

OBJECTIFS

- Connaître les modes de transfert d'énergie
- Faire la distinction entre température et chaleur
- Connaître l'expression de la quantité de chaleur
- Distinguer les notions de chaleur massique et de capacité calorifique
- Savoir comment s'effectuent les mesures calorimétriques.
- Faire la distinction entre chaleur échangée avec changement d'état du système et chaleur échangée sans changement d'état du système
- Distinguer les notions de chaleur latente de fusion et chaleur latente de vaporisation
- Savoir les modes de propagation de chaleur

I. Transformation de travail en chaleur

1) Origine de la chaleur

- Lorsqu'on frotte les mains l'une contre l'autre, le travail des forces de frottements s'accompagne d'une production de chaleur.
- Une voiture roule avec une vitesse V sur une voie horizontale ; un obstacle survient, qui nécessite un freinage jusqu'à l'arrêt. Au cours de ce freinage l'énergie mécanique n'est pas conservée. On observe une élévation de température du disque de frein. La variation de l'énergie mécanique est due au travail des forces de freinage (force de frottement) $\Delta E_m = W(f)$. Ce travail des forces de frottements s'est transformé en chaleur.

Les particules, atomes, molécules ou ions qui forment la matière possèdent de l'énergie mécanique

- énergie cinétique due à l'agitation thermique
- énergie potentielle due aux forces d'interactions entre les particules.

Le frottement de deux corps modifie la structure des particules au niveau des surfaces en contact. Les particules se cognent, les positions et les vitesses sont modifiées, leur énergie mécanique varie. La variation globale macroscopique au niveau du solide correspond à la chaleur apparue.

2) Modes de propagation de la chaleur

La chaleur peut se propager par :

➤ **Conduction** : Dans ce mode de transfert, l'agitation des particules se transmet de proche en proche aux particules voisines.

Exemple : Une tige métallique chauffée à l'une de ses extrémités.

➤ **Convection** : Dans ce mode de transfert, la chaleur se transmet avec les mouvements d'un fluide.

Exemple : l'eau chauffée dans une marmite.

3) Notion de quantité de chaleur

Les frottements sont dus aux chocs entre les particules au niveau de la surface de contact. Ces chocs entraînent une augmentation de l'agitation des particules, qui se traduit à l'échelle macroscopique par l'apparition de chaleur. L'augmentation de l'énergie d'agitation des particules est appelée quantité de chaleur. Elle est égale à la perte d'énergie mécanique, donc au travail des forces de frottements. La quantité de chaleur est notée Q et s'exprime en joule.

4) Température

a) Echelle Celsius

L'échelle Celsius satisfait aux trois conditions suivantes :

- la température de la glace fondante est fixée à 0°C ;
- la température d'ébullition de l'eau à pression atmosphérique est fixée à 100°C ;
- il y a 100 divisions égales entre le point 0 et le point 100.

Donc, pour graduer un thermomètre en degrés Celsius

1. on le plonge dans un récipient contenant de l'eau et de la glace sous la pression atmosphérique normale et on grave le trait zéro à l'endroit où le liquide affleure ;
2. on le plonge dans la vapeur surmontant de l'eau qui bout sous la pression atmosphérique normale et on trace le trait 100 au niveau d'affleurement du liquide ;
3. on divise l'intervalle compris entre les traits 0 et 100 en 100 parties égales.

Chaque division correspond à un degré Celsius. La graduation peut être continuée en dessous de zéro et au-dessus de cent.

b) Echelle absolue

L'étude des propriétés des gaz (la pression d'une quantité donnée de gaz dans un volume donné augmente linéairement avec la température et s'annule au zéro absolu du fait que les molécules sont immobiles et ne cognent plus contre les parois du récipient) conduit à définir une autre température que la température Celsius θ : la température absolue T . La température absolue s'exprime en kelvin (symbole K). Le kelvin est l'unité de température dans le système international d'unités. La température absolue T et la température Celsius θ sont liées par la relation : $T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273$. Les deux échelles sont donc simplement décalées de 273° .

Remarque

Une variation de température exprimée en $^{\circ}C$ se traduit par la même variation exprimée en Kelvin (K)

5) Chaleur et Température :

Lorsqu'un corps reçoit de la chaleur sa température augmente. La température caractérise l'agitation des particules du corps. C'est la vitesse d'agitation au sein de la structure solide ou liquide ou bien la vitesse de déplacement dans un gaz.

La chaleur est un mode de transfert d'énergie d'un corps à un autre. Il est éventuellement possible de l'utiliser pour s'en servir (pour chauffer par exemple, ou alimenter un moteur).

Plus la température est élevée, plus le corps est susceptible de produire de la chaleur, et donc de libérer de l'énergie thermique.

II . Calorimétrie

La calorimétrie est la mesure de la quantité de chaleur

1) Echange de chaleur

a) Expérience

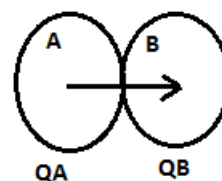
Lorsqu'on met en contact deux corps à des températures différentes, le corps chaud se refroidit, le corps froid se réchauffe.

b) Sens des échanges

La chaleur passe spontanément du corps chaud au corps froid. Après un certain temps les températures deviennent égales : les deux corps sont en équilibre thermique.

On compte positivement la chaleur reçue et négativement la chaleur cédée.

Exemple : A est plus chaud que B : $Q_A > Q_B$



Pour atteindre l'équilibre thermique :

A échange avec B la quantité de chaleur Q_A , $Q_A < 0$ A cède de la chaleur à B

B échange avec A la quantité de chaleur Q_B , $Q_B > 0$ B reçoit de la chaleur de A

Si A et B n'échangent que de la chaleur qu'entre eux, alors $Q_A + Q_B = 0$ donc $Q_A = -Q_B$

III . Chaleur échangée sans changement d'état du système

1 . Expression de la quantité de chaleur

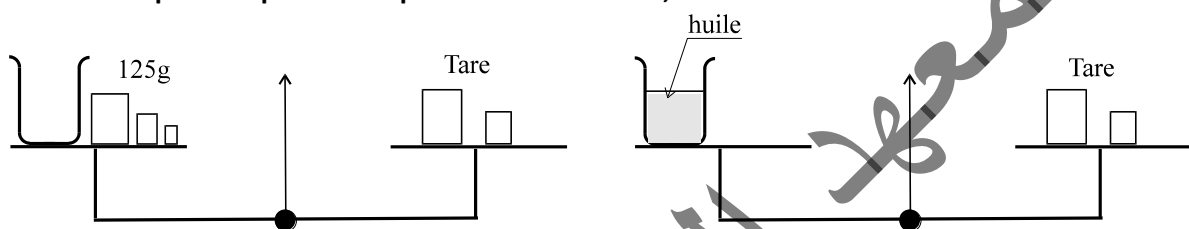
a) Expériences

Matériel :

Trois béchers de 250 mL, un labo-gaz avec un trépied et une toile métallique, allumettes, eau et huile de table, un thermomètre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$; $+110\text{ }^{\circ}\text{C}$ suspendu à un support (prévoir noix et pince), une éprouvette graduée de 250 mL, une balance et des masses marquées, un chronomètre ou une montre.

Manipulation :

On prépare trois béchers dans lesquels on verse respectivement 250 g d'eau, 125 g d'eau, 125g d'huile. Pour l'eau, il suffit de mesurer avec l'éprouvette graduée des volumes de 250 mL et 125 mL. Pour l'huile on procède par double pesée avec la balance, comme ci-dessous.



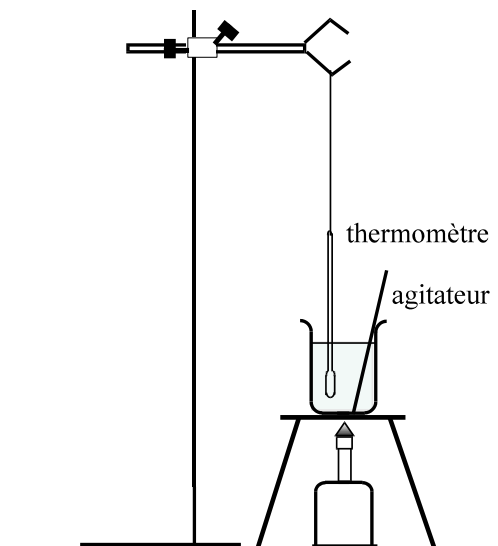
On règle le labo-gaz pour un chauffage moyen et régulier (éviter les courants d'air)

Expérience 1 : Bécher contenant 250 g d'eau :

On note la température θ avant le chauffage.

Le but est ensuite de relever au cours du chauffage la température de l'eau à intervalles de temps réguliers (30"). Placer le labo-gaz sous le bécher, et après 10 ou 20 secondes déclencher le chronomètre

Temps (seconde)	Température $^{\circ}\text{C}$
0	
30	
60	
90	
120	
150	
180	
210	



A la fin de l'expérience qui ne dure que 4 ou 5 minutes, la température ne doit pas dépasser 70°C .

Expérience 2. béccher contenant 125 g d'eau

On relève la température initiale et on recommence la même expérience avec le deuxième béccher. Elle ne durera que 2 ou 3 minutes

Temps (seconde)	Température °C
0	
30	
60	
90	
120	
150	
180	
210	

Expérience 3 béccher contenant 125 g d'huile

On relève la température initiale et on recommence la même expérience avec le troisième béccher. Il faut arrêter le chauffage quand la température atteint 45°C.

Temps (seconde)	Température °C
0	
30	
60	
90	
120	
150	
180	
210	

b) Exploitation des résultats

1ère expérience : On trace la courbe représentant la variation de température $\theta - \theta_i$, en fonction de t la durée de chauffage. Le choix des échelles est à préciser.

Aux incertitudes près la courbe est une droite. L'élévation de température $\theta - \theta_i$ est proportionnelle à t. Pour un chauffage régulier, on peut admettre que la quantité de chaleur reçue par l'eau est proportionnelle à la durée de chauffage, et donc proportionnelle à $\theta - \theta_i$

Expériences 1 et 2 : On compare l'élévation de température obtenue en 4 minutes dans la première expérience et celle obtenue en 2 minutes dans la deuxième. On constate que les résultats sont assez voisins. Expliquer (faire remarquer que le même béccher intervient alors que les masses d'eau contenues sont dans le rapport 2) et conclure.

La quantité de chaleur reçue pour une même élévation de température est proportionnelle à la masse d'eau. (la différence provient de la participation du béccher aux échanges de chaleur).

Expériences 2 et 3 : Pour une même durée de chauffage, et pour une même masse l'élévation de température de l'huile est plus grande. La nature du corps intervient.

Les résultats précédents montrent que la quantité de chaleur échangée par un corps homogène est proportionnelle à la variation de température, à sa masse, et dépend de sa nature.

c) Expression de la quantité de chaleur

Si un système solide ou liquide, de masse m (en kg), échange de l'énergie que par transfert thermique et ne change pas d'état physique lors de cet échange, la quantité de chaleur échangée, lorsque sa température varie de θ_i à θ_f s'exprime de la manière suivante : $Q = m.c.(\theta_f - \theta_i)$

c est une constante liée à la nature du corps, et appelée chaleur massique (capacité thermique massique) du corps.

Si $\theta_f > \theta_i$ $Q > 0$ la chaleur est reçue par le corps

Si $\theta_f < \theta_i$ $Q < 0$ la chaleur est cédée par le corps

Unités : Q s'exprime en Joules et $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$ en Kelvin (même valeur qu'en °C) Masse m en kg

et c en J/kg/K ou (J.kg⁻¹.K⁻¹)

La capacité thermique massique est l'énergie qu'il faut fournir pour augmenter de 1 °K (ou de 1 °C) la température d'un corps de 1 kg.

Exemple de capacité thermique massique

Corps	C (J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)	Corps	C(J.kg ⁻¹ .K ⁻¹)
Eau	4,1855.10 ³	Aluminium	0,92.10 ³
Glace	2,1.10 ³	Fer	0,75.10 ³
Vapeur d'eau	1,9.10 ³	Air	1.10 ³

Exercice : Quelle quantité de chaleur faut-il fournir à un vase métallique pesant 190 g pour élever sa température de 21 °C à 41 °C ? Dans l'intervalle considéré, la chaleur massique du métal est 380 J.kg⁻¹.K⁻¹.

Remarques : La formule précédente s'applique aux solides, liquides et gaz (dans ce dernier cas, il faut distinguer les effets thermiques à pression constante et volume constant). Elle n'est plus valable si une modification d'état physique intervient.

d) Capacité calorifique

Dans l'expression de la quantité de chaleur, le produit mc est appelé capacité calorifique du corps (en J.K⁻¹). Cette grandeur intervient surtout lorsqu' on étudie un système formé de corps de matière différente. Par exemple, on peut appeler μ la capacité calorifique du système formé de l'eau et du bécher qui la contient. La chaleur échangée par cet ensemble s'écrit alors : $Q = \mu \cdot (\Delta\theta - \theta_i)$

La capacité calorifique s'écrit sous la forme $\mu = m_1 c_1 + m_2 c_2$ ou plus généralement

$$\mu = \sum_i m_i c_i$$

e) Mesures calorimétriques : Le calorimètre

Si l'on veut se limiter à l'équilibre entre les deux corps, il faut les enfermer dans une enceinte adiabatique c'est-à-dire un récipient qui empêche les échanges avec le milieu extérieur. Le calorimètre est une enceinte adiabatique dans lequel les échanges thermiques s'effectuent dans le vase calorimétrique.

2) Principe des mesures. Méthodes des mélanges.

a). Principe de l'égalité des échanges de chaleur

Si dans une enceinte thermiquement isolée, on place deux groupes de corps, A et B ayant des températures différentes, ceux-ci évoluent vers un équilibre thermique. La quantité de chaleur reçue par un groupe est égale à celle cédée par l'autre.

$$Q_A = m_A \cdot C_A \cdot (T_f - T_A) \quad \text{et} \quad Q_B = m_B \cdot C_B \cdot (T_f - T_B)$$

$$Q_A = - Q_B \quad \text{donc} \quad Q_A + Q_B = 0$$

On place dans le vase calorimétrique des corps à des températures différentes. Le système ainsi constitué (corps et vase calorimétrique) atteint une température d'équilibre. Chacune des parties échange de la chaleur avec le reste du système. Soit Q_i la quantité de chaleur échangée par le corps noté i , avec le reste du système. L'absence d'échanges avec l'extérieur permet d'affirmer que la somme des quantités de chaleur échangées entre les différentes parties du système est nulle.

$$\sum_i Q_i = 0$$

b). Calorimétrie et mélanges

Dans un calorimètre de capacité thermique μ , on introduit une masse m_1 d'un liquide de capacité calorifique massique c_1 , ayant une température initiale θ_1 (après quelque temps, la température initiale du calorimètre est donc aussi égale à θ_1). On ajoute un corps de masse m_2 , ayant une température initiale $\theta_2 > \theta_1$. Sa capacité calorifique massique c_2 est inconnue.

Après peu de temps, la température d'équilibre du mélange (calorimètre + liquide + corps inconnu) mesurée vaut θ_e .

- chaleur reçue par le calorimètre : $Q_0 = \mu \cdot \Delta\theta_0 = \mu \cdot (\theta_e - \theta_1)$

- chaleur reçue par le liquide : $Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta\theta_1 = m_1 c_1 \cdot (\theta_e - \theta_1)$

- chaleur cédée par le corps inconnu : $Q_2 = m_2 \cdot c_2 \Delta\theta_2 = m_2 c_2 (\theta_e - \theta_2)$

Comme les parois du calorimètre sont adiabatiques, aucune chaleur n'est échangée avec l'extérieur et on a donc l'équation thermique suivante : $Q_0 + Q_1 + Q_2 = 0 \Leftrightarrow \mu (\theta_e - \theta_1) + m_1 c_1 \cdot (\theta_e - \theta_1) + m_2 c_2 \cdot (\theta_e - \theta_2) = 0$

Il faut noter que le calorimètre participe aux échanges et que la connaissance de sa capacité calorifique est indispensable pour effectuer des mesures.

c) Détermination de la capacité calorifique du calorimètre

Matériel :

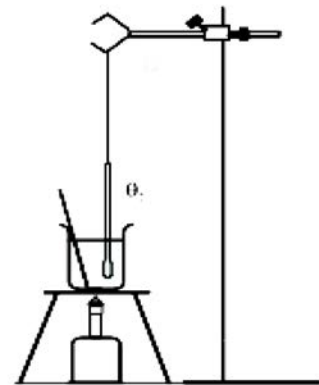
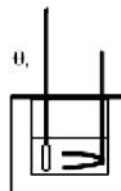
Deux calorimètres, un bécher de 250 mL, un labo-gaz avec un trépied et une toile métallique, allumettes, eau, un (ou deux) thermomètres $-10 ; +110$ °C suspendus à un support (prévoir noix et pince) une éprouvette graduée de 250 mL.

Manipulation :

L'un des thermomètres est en place dans le calorimètre (maintenu dans le logement par un bracelet de caoutchouc ou un morceau de papier). Il indique la température θ_1 du vase calorimétrique (c'est aussi celle de la pièce).

On chauffe 250 g d'eau dans un bécher. On relève la température θ_2 (thermomètre suspendu au support).

On verse ensuite rapidement l'eau chaude dans le vase calorimétrique (s'assurer que le thermomètre plonge dans l'eau). On agite, et après quelques minutes la température se stabilise à la valeur θ_f température d'équilibre



Exploitation des résultats

Dans un calorimètre à la température θ_1 , on introduit 250 g d'eau à la température θ_2 . La température finale est θ_f . On écrit la relation $\sum_i Q_i = 0$ et on la développe pour obtenir la valeur de la capacité calorifique μ du calorimètre. Ordre de grandeur de μ : 100 J.K^{-1} .

Remarque

Ce résultat dépend beaucoup de la qualité des mesures de température. On peut montrer rapidement comment est modifié le résultat si la température n'est mesurée qu'à 0,5 degrés près.

d) Détermination d'une chaleur massique.

Matériel :

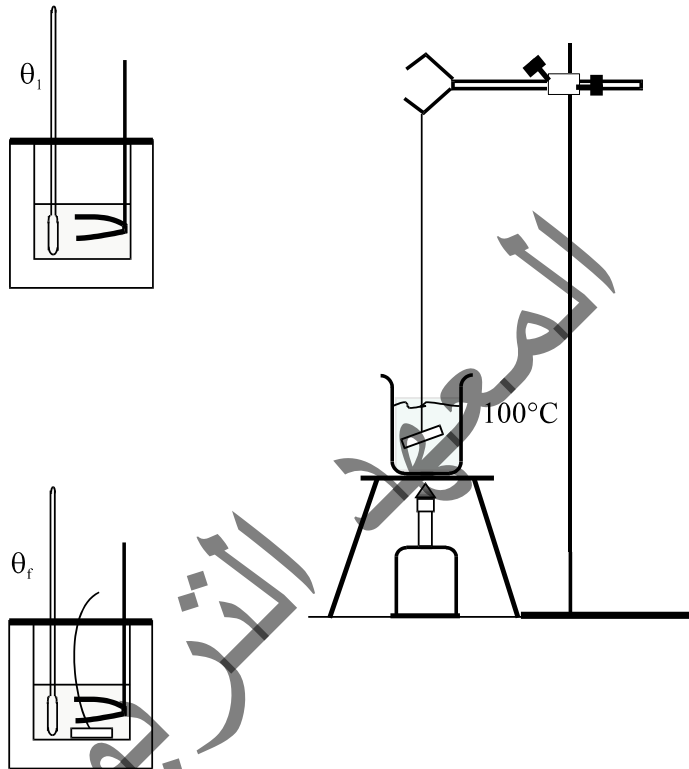
Un calorimètre, un bécher de 250 mL, un labo-gaz avec un trépied et une toile métallique, des allumettes, de l'eau, un thermomètre $-10 ; +110$ °C un morceau de fer suspendu à un support (prévoir une noix et une pince), une éprouvette graduée de 250 mL, une balance et des masses marquées.

Manipulation

On verse 250 g d'eau dans le vase calorimétrique. Le thermomètre en place dans le calorimètre (maintenu comme précédemment) indique la température $\theta_1 = \dots\dots\dots$

On pèse le morceau de fer et on le suspend au support. Il plonge dans de l'eau que l'on chauffe. Quand l'eau arrive à ébullition, la température du morceau de fer est 100°C . On détache le fil du support. Par son intermédiaire on sort le morceau de fer de l'eau et on l'introduit rapidement dans le calorimètre par l'ouverture (munie d'une trappe) percée dans le couvercle.

On agite, et après quelques minutes la température se stabilise à la valeur $\theta_f = \dots\dots\dots$: température d'équilibre.



Exploitation des résultats

Dans un calorimètre contenant 250 g d'eau à la température θ_1 , on introduit un morceau de fer qui se trouvait dans l'eau bouillante ($\theta_2 = 100^\circ\text{C}$). La température finale est θ_f . On écrit la relation $\sum_i Q_i = 0$ et on la développe pour obtenir la valeur de la chaleur massique du fer.

Remarque La calorie est une unité (*hors système international*) qui est encore parfois utilisée. Une calorie vaut 4,18 J.

Application

Application (1) : Quelle quantité de chaleur faut-il fournir pour augmenter la température de:

- 1) 150 l d'eau d'un ballon de chauffe eau de 20°C à 80°C ?
- 2) Une casserole en cuivre de masse 450g, de 20°C à 150°C ?
- 3) Une poutre d'acier de masse 200Kg de 24°C à 600°C ?

On donne : $C(\text{eau}) = 4180 \text{ J.Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$; $C(\text{cuivre}) = 384 \text{ J.Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$; $C(\text{acier}) = 450 \text{ J.Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

Corrigé

$$1) Q_1 = m.C.\Delta\theta_1 \quad \text{AN : } Q_1 = 150.4180.60 \quad Q_1 = 37620\text{Kj}$$

$$2) Q_2 = m.C.\Delta\theta_2 \quad \text{AN : } Q_2 = 0,45.384.130 \quad Q_2 = 22,230\text{Kj}$$

$$3) Q_3 = m.C.\Delta\theta_3 \quad \text{AN : } Q_3 = 200.450.576 \quad Q_3 = 51840\text{Kj}$$

Application (2) :

Un calorimètre contient une masse $m_1=250\text{g}$ d'eau. La température initiale de l'ensemble est $\theta_1=18^\circ\text{C}$. On ajoute une masse $m_2=300\text{g}$ d'eau à la température $\theta_2=80^\circ\text{C}$.

1. Quelle serait la température d'équilibre thermique θ_e de l'ensemble si la capacité calorifique du calorimètre et de ses accessoires était négligeable?
2. On mesure en fait une température d'équilibre thermique $\theta_e=50^\circ\text{C}$. Déterminer la capacité calorifique μ du calorimètre et de ses accessoires.

Données:

Chaleur massique de l'eau : $c_e=4185 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

Masse volumique de l'eau : $\mu=1000 \text{ kg.m}^{-3}$.

Corrigé

1. Quantité de chaleur captée par l'eau froide: $Q_1 = m_1.c_e.(\theta_e - \theta_1)$

Quantité de chaleur cédée par l'eau chaude: $Q_2 = m_2.c_e.(\theta_e - \theta_2)$

Le système {eau + calorimètre} est isolé: $Q_1 + Q_2 = 0$ donc $m_1.c_e.(\theta_e - \theta_1) + m_2.c_e.(\theta_e - \theta_2) = 0$

$$\theta_e = \frac{m_1\theta_1 + m_2\theta_2}{m_1 + m_2} \quad \text{AN : } \theta_e = \frac{250.10^{-3}.18 + 300.10^{-3}.80}{250.10^{-3} + 300.10^{-3}} = 51,8^\circ\text{C}$$

2. Quantité de chaleur captée par l'eau froide et le calorimètre: $Q_1 = (m_1.c_e + C).(\theta_e - \theta_1)$

Quantité de chaleur cédée par l'eau chaude: $Q_2 = m_2.c_e.(\theta_e - \theta_2)$

Le système {eau + calorimètre} est isolé: $Q_1 + Q_2 = 0$ $(m_1.c_e + C).(\theta_e - \theta_1) + m_2.c_e.(\theta_e - \theta_2) = 0$

$$C.(\theta_e - \theta_1) = -m_1.c_e.(\theta_e - \theta_1) - m_2.c_e.(\theta_e - \theta_2) = 0 \quad C = \frac{-m_1.c_e.(\theta_e - \theta_1) - m_2.c_e.(\theta_e - \theta_2)}{\theta_e - \theta_1}$$

$$C = \frac{250.10^{-3}.4185.(50 - 18) + 300.10^{-3}.4185.(50 - 80)}{18 - 50} = 130,8 \text{ J.K}^{-1}$$

Application (3) :

Un calorimètre contient 1000 g d'eau à 15 °C. On y verse 1000 g d'eau à 65,5 °C. La température du mélange étant à l'équilibre de 40 °C, calculer la capacité thermique du calorimètre.

Corrigé

L'eau ajoutée passe de $t'_i = 65,5$ °C à $t_f = 40$ °C : $Q_1 = m'c(t_f - t'_i)$

Le calorimètre, les 1000 g d'eau passent de t_i à t_f : $Q_2 = (\mu + m)c(t_f - t_i)$

Comme $Q_1 + Q_2 = 0$: $m'c(t_f - t'_i) + (\mu + m)c(t_f - t_i) = 0$

- $m'c(t_f - t'_i) = (m + \mu)c(t_f - t_i)$

$25,5 = (1 + \mu)25$ donc $\mu = 25,5/25 - 1 = 1,02 - 1$ AN : $\mu = 20$ g

$C = \mu c = 0,02 \times 4186C = 83,7$ J.K⁻¹

Application (4) :

On désire obtenir un bain d'eau tiède à la température $\theta = 37$ °C, d'un volume total $V = 250$ litres, en mélangeant un volume V_1 d'eau chaude à la température initiale $\theta_1 = 70$ °C et un volume V_2 d'eau froide à la température initiale $\theta_2 = 15$ °C.

Déterminer V_1 et V_2 en supposant négligeables toutes les fuites thermiques lors du mélange.

Corrigé

Soit Q_1 la quantité de chaleur cédée par l'eau chaude : $Q_1 = m_1 c_e (\theta - \theta_1)$.

Soit Q_2 la quantité de chaleur captée par l'eau froide : $Q_2 = m_2 c_e (\theta - \theta_2)$.

Le système {eau} est isolé : $Q_1 + Q_2 = 0$

soit $m_1 c_e (\theta - \theta_1) + m_2 c_e (\theta - \theta_2) = 0$

d'où $m_1 (\theta - \theta_1) + m_2 (\theta - \theta_2) = 0$

A. N :

$m_1 (37 - 70) + m_2 (37 - 15) = 0$ d'où $-33 m_1 + 22 m_2 = 0$

D'autre part, le volume total du bain est de 250 L ; sa masse est de 250 kg. On a donc : $m_1 + m_2 = 250$

D'où le système :
$$\begin{cases} -33m_1 + 22m_2 = 0 \\ m_1 + m_2 = 250 \end{cases} \quad m_1 = 100\text{kg} \text{ et } m_2 = 150\text{kg}$$

Il faut donc **150 L** d'eau froide à **15°C** et **100 L** d'eau chaude à **70°C** pour obtenir **250 L** d'un bain à **37°C**.

III Chaleur échangée avec changement d'état du système

Lors d'un changement d'état, la température d'un corps pur reste constante. En recevant de l'énergie par transfert thermique (chaleur), ce corps pur passe à un état moins ordonné (solide → liquide → gazeux). Cet état moins ordonné se traduit par des molécules en mouvement plus important. La température est la grandeur qui mesure cette agitation des molécules.

1. Fusion et chaleur latente de fusion

Cependant, si le corps se trouve à sa température de fusion, un apport de chaleur ne va plus augmenter sa température, mais toute la chaleur reçue sera utilisée pour changer le corps de l'état solide à l'état liquide. La quantité de chaleur absorbée par un corps de masse m au cours de sa fusion est donnée par la relation : $Q = m.L_f$ Q en J, m en kg et L_f en J/kg

– Le coefficient de proportionnalité L_f s'appelle la chaleur latente de fusion du corps.

2. Solidification

Tout corps pur se solidifie à une température qui lui est propre. Cette température de solidification est la même que la température de fusion θ_F . Durant ce changement d'état, le liquide cède de l'énergie thermique à son environnement. La chaleur Q cédée par un corps liquide de masse m lors de sa solidification se calcule par la formule : $Q = -m \cdot L_F < 0$

3. Vaporisation et chaleur latente de vaporisation

Comme l'eau, toute substance pure entre en vaporisation (c'est-à-dire passe de l'état liquide à l'état gazeux) à une température qui lui est propre : sa température de vaporisation, notée θ_v . Le tableau suivant donne les températures de vaporisation de quelques substances courantes : La chaleur Q nécessaire à la vaporisation d'un liquide de masse m se calcule par la formule :

$$Q = m L_V > 0 \quad Q \text{ en J, } M \text{ en kg et } L_V \text{ en J/kg}$$

Le coefficient de proportionnalité L_V s'appelle la chaleur latente de vaporisation du corps.

4 Condensation

Tout corps pur passe de l'état gazeux à l'état liquide à sa température de liquéfaction, qui est la même que la température de vaporisation θ_v . Durant ce changement d'état, le gaz cède de l'énergie thermique à son environnement La chaleur Q cédée par un gaz de masse m lors de sa condensation se calcule par la formule : $Q = -m \cdot L_V < 0$

Chaleur latente de vaporisation L_V est la quantité d'énergie qu'on doit fournir à 1 kg d'eau à $T=100^\circ\text{C}$ pour la transformer en gaz.

Valeurs typiques pour l'eau:

	Vaporisation	Fusion
T (°C)	100	0
L (J.kg ⁻¹)	$L_{vap}=2,26 \cdot 10^6$	$L_{fus}=334 \cdot 10^3$

Application (5)

Quelle est la quantité de chaleur nécessaire pour transformer **10g** de glace à **-10°C** en **10g** d'eau à **+10°C**. On donne : $C(\text{eau})=4180 \text{ J.Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$; $C(\text{glace})=2100 \text{ J.Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$; $L_f=334000 \text{ J.kg}^{-1}$

Corrigé

Cette transformation comporte trois phases :

Phase 1 : élévation de la température de la glace de -10°C à 0°C

$$Q_1 = m \cdot C_{\text{glace}} \cdot \Delta T = 0,01 \cdot 2100 \cdot 10 = 210 \text{ J}$$

Phase 2 : Transformation à 0°C de 10g de glace en 10g d'eau :

$$Q_2 = m \cdot L_f = 0,01 \cdot 335000 = 3350 \text{ J}$$

Phase 3 : élévation de la température de l'eau de 0°C à $+10^\circ\text{C}$

$$Q_3 = m \cdot C_{\text{eau}} \cdot \Delta T = 0,01 \cdot 4180 \cdot 10 = 418 \text{ J}$$

$$\text{Au total } Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 3978 \text{ J}$$

Application (6)

Sur un bloc de glace à 0°C , on place un morceau de fer pesant 250 g et chauffé à 80°C .

Quelle est la masse de glace qui fond ?

Chaleur de fusion de la glace : $3,3 \cdot 10^5 \text{ J.kg}^{-1}$.

Chaleur massique du fer : $460 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Corrigé

On suppose que l'eau de fonte reste à 0 °C, c'est-à-dire qu'il y a assez de glace pour qu'il en reste à la fin.

$$mL = mc(t_f - t_i) \quad \text{AN : } m = 0,25 \times 460 \times 80 / 3,3 \cdot 10^5 = 0,0279 \text{ kg } m = 27,9 \text{ g}$$

Application (7)

Cent tonnes de ferrailles sont chauffées dans un four électrique afin d'obtenir du fer liquide 1535°C. La température initiale est 20°C. L'opération dure 5 heures et le rendement du four est de 70%. $C_{\text{fer}} = 450 \text{ Jkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. $L_{\text{fusion fer}} = 270 \text{ kJ kg}$

Quelle est l'énergie électrique nécessaire. En déduire la puissance du four.

Corrigé

Calculons la quantité de chaleur nécessaire pour :

- porter le solide de 20 à 1535°C : $Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 10^5 \cdot 450 \cdot 1515 = 6,8 \cdot 10^{10} \text{ J}$

- réaliser la fusion du fer à 1535°C : $Q_2 = m \cdot L = 10^5 \cdot 2,7 \cdot 10^5 = 2,7 \cdot 10^{10} \text{ J}$

Au total : $Q = 9,5 \cdot 10^{10} \text{ J}$ soit, en tenant compte du rendement, l'énergie électrique nécessaire est : $E = Q/r = 9,5 \cdot 10^{10} / 0,7 = 1,36 \cdot 10^{11} \text{ J}$

$$P(W) = E(J) / t(s) \text{ soit : } P = 1,36 \cdot 10^{11} / (5 \cdot 3600) = 7,5 \cdot 10^6 \text{ W}$$

L'Essentiel

- Relation entre la température absolue T et la température Celsius θ

$$T(K) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$$

- Expression de la quantité de chaleur : $Q = m.c.(\theta - \theta_i)$
- La capacité calorifique : $\mu = m_1 c_1 + m_2 c_2$ ou plus généralement $\mu = \sum_i m_i c_i$
- Principe de l'égalité des échanges de chaleur : $Q_A + Q_B = 0$ $\sum_i Q_i = 0$
- Chaleur échangée avec changement d'état du système :
- Chaleur latente de fusion : $Q = m.L_f$
- Chaleur latente de solidification : $Q = - m.L_f$
- Chaleur latente de vaporisation : $Q = m L_v$
- Chaleur latente de condensation : $Q = -m L_v$

Exercices

Exercice 1 : Un calorimètre en laiton pesant 100 g contient 200 g d'eau et un bloc d'aluminium pesant 140 g. La température initiale étant 15 °C, on ajoute 300 g d'eau à 60 °C; la température finale est de 40 °C. Calculer la chaleur massique de l'aluminium, celle du laiton étant de $418 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Exercice 2: Le vase calorimétrique d'un calorimètre est en aluminium, sa masse est $m = 50 \mu\text{g}$

a) Calculer la capacité thermique de ce vase sachant que la capacité thermique massique de l'aluminium vaut $920 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

b) Le calorimètre contient une masse d'eau de 100 g ($c_e = 4,19.10^3 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$); le thermomètre et les accessoires du calorimètre ont une capacité thermique de 15 J.K^{-1} , calculer la capacité thermique totale C du calorimètre.

c) La température initiale du calorimètre contenant les 100 g d'eau est $T_1 = 17,2 \text{ °C}$. On introduit dans le calorimètre une certaine quantité d'eau à la température $T_2 = 100 \text{ °C}$, la température d'équilibre s'établit à $T_e = 38,5 \text{ °C}$.

- Calculer la capacité thermique C' de l'eau introduite.
- En déduire la valeur de la masse d'eau.

Exercice 3 : On veut refroidir un verre de jus de fruit pris à 30 °C . La capacité calorifique du verre et du jus est de 550 J.K^{-1} . On introduit alors une certaine masse m de glace à 0 °C . On veut que la température finale de l'ensemble soit de 10 °C .

On admet qu'il n'y a échange de chaleur qu'entre la glace et le verre de jus de fruit. Calculer la masse de glace nécessaire.

Exercice 4: On place dans un calorimètre une masse $M = 400 \text{ g}$ d'eau que l'on chauffe à l'aide d'une résistance électrique alimentée par un courant d'intensité $0,85 \text{ A}$, sous une tension de 220 V . Il en résulte un accroissement régulier de la température de l'eau de $4,86 \text{ °C}$ par minute.

- 1) Quelle est la capacité thermique C du calorimètre ?
- 2) Trouvez la valeur en eau du calorimètre.

Exercice 5 : Un calorimètre, de capacité thermique $C = 120 \text{ J.K}^{-1}$, contient 250 g d'eau et 40 g de glace en équilibre thermique.

1) Quelle est sa température?

2) On chauffe lentement l'ensemble avec une résistance électrique. La température de l'eau du calorimètre atteint $28,8 \text{ °C}$ lorsque la quantité de chaleur dissipée par la résistance est égale à 51530 J .

En déduire la valeur de la chaleur latente de fusion de la glace.

Exercice 6:

1) Écrire la réaction de combustion du propane.

2) Quelle est l'énergie dégagée par la combustion de 10 g de propane sachant que le pouvoir calorifique d'un alcane à n atomes de carbone vaut $(662 \times n + 260) \text{ kJ.mol}^{-1}$?

3) Cette combustion a servi à chauffer 3 kg d'eau, dont la température de départ était de 15 °C . Quelle est la température finale de l'eau ? Masse molaire atomique en g.mol^{-1} : $C = 12$; $H = 1$.

Exercice 7 :

On désire obtenir un bain d'eau tiède à la température $\Theta=37^\circ\text{C}$, d'un volume total $V=250$ litres, en mélangeant un volume V_1 d'eau chaude à la température initiale $\Theta_1=70^\circ\text{C}$ et un volume V_2 d'eau froide à la température initiale $\Theta_2=15^\circ\text{C}$. Déterminer V_1 et V_2 en supposant négligeables toutes les fuites thermiques lors du mélange.

Données:

Chaleur massique de l'eau : $c_e=4185 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Masse volumique de l'eau : $\mu=1000 \text{ kg.m}^{-3}$.

Exercice 8 :

Un morceau de fer de masse $m_1=500\text{g}$ est sorti d'un congélateur à la température $\Theta_1=30^\circ\text{C}$.

Il est plongé dans un calorimètre, de capacité thermique négligeable, contenant une masse $m_2=200\text{g}$ d'eau à la température initiale $\Theta_2=25^\circ\text{C}$

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

Données :

Chaleur massique de l'eau : $c_e=4185 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Chaleur massique de la glace: $c_g=2090 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Chaleur massique du fer: $c_{\text{Fe}}=460 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Chaleur latente de fusion de la glace: $L_f=3,34.10^5 \text{ J.kg}^{-1}$

Exercice 9 :

On sort un bloc de plomb de masse $m_1 = 280 \text{ g}$ d'une étuve à la température $\theta_1 = 98^\circ\text{C}$. On le plonge dans un calorimètre de capacité thermique $C = 209 \text{ J.K}^{-1}$ contenant une masse $m_2 = 350 \text{ g}$ d'eau. L'ensemble est à la température initiale $\theta_2 = 16^\circ\text{C}$. On mesure la température d'équilibre thermique $\theta_e = 17,7^\circ\text{C}$.

Déterminer la chaleur massique du plomb.

Exercice 10 :

Un morceau de fer de masse $m_1 = 500 \text{ g}$ est sorti d'un congélateur à la température $\theta_1 = -30^\circ\text{C}$.

Il est plongé dans un calorimètre, de capacité thermique négligeable, contenant une masse $m_2 = 200 \text{ g}$ d'eau à la température initiale $\theta_2 = 20^\circ\text{C}$.

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

Exercice 11:**Fusion d'un glaçon (version 1)**

Un calorimètre de capacité thermique $C = 150 \text{ J.K}^{-1}$ contient une masse $m_1 = 200 \text{ g}$ d'eau à la température initiale $\theta_1 = 70^\circ\text{C}$. On y place un glaçon de masse $m_2 = 80 \text{ g}$ sortant du congélateur à la température $\theta_2 = -23^\circ\text{C}$.

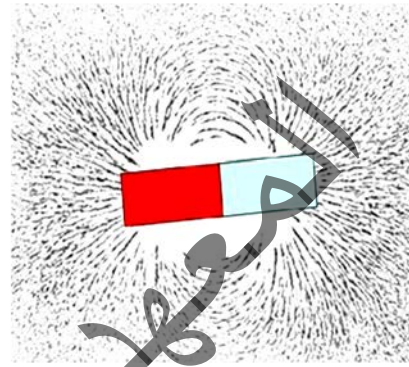
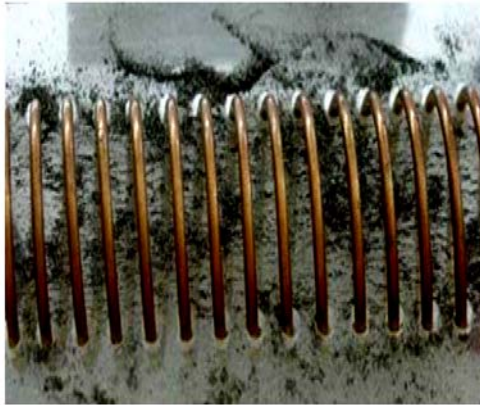
Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

Exercice 12:**Fusion d'un glaçon (version 2)**

Un calorimètre de capacité thermique $C = 150 \text{ J.K}^{-1}$ contient une masse $m_1 = 200 \text{ g}$ d'eau à la température initiale $\theta_1 = 50^\circ\text{C}$. On y place un glaçon de masse $m_2 = 160 \text{ g}$ sortant du congélateur à la température $\theta_2 = -23^\circ\text{C}$.

Déterminer l'état final d'équilibre du système (température finale, masse des différents corps présents dans le calorimètre).

المعهد التكنولوجي الوطني



OBJECTIFS

- Connaître les sources du champ magnétique .
- Réaliser un spectre magnétique .
- Dégager les caractéristiques du champ magnétique créé dans un solénoïde.
- Maîtriser les règles mnémotechniques de détermination du sens du champ magnétique créé dans un solénoïde .
- Pouvoir faire la composition de deux champs magnétiques.

I - Généralités

1 - Les aimants

a- Définition :

Un aimant est un objet qui a la propriété d'attirer les petits matériaux en fer (clous, aiguilles etc.).

On distingue deux types d'aimants :

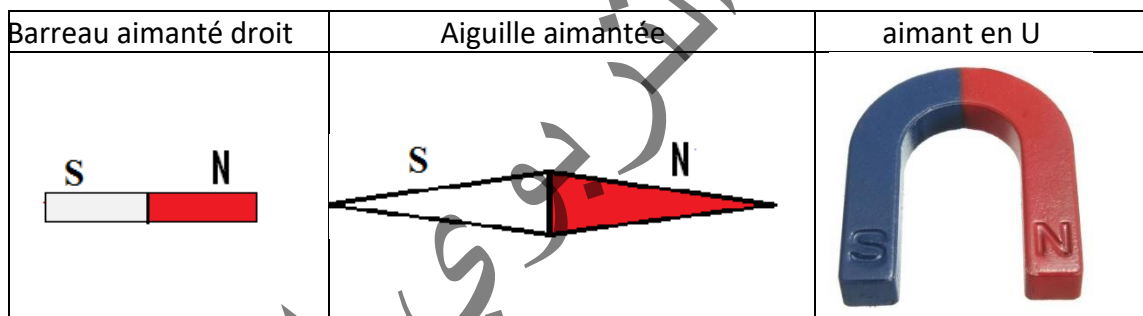
- Un aimant naturel : c'est un aimant constitué d'oxyde de fer (Fe_3O_4), appelé magnétite
- Un aimant artificiel : C'est un aimant réalisé facilement en frottant toujours, dans le même sens des barreaux en acier contre un autre aimant naturel.

Les aimants artificiels peuvent être permanents tels que le barreau aimanté, l'aimant en U, l'aiguille magnétique ou temporaire tels que les électroaimants.

La persistance de l'aimantation dépend de la durée de la force de frottement et de la nature de la matière aimantée (acier, fer, ...etc).

b- Les formes d'aimants du laboratoire

La forme habituelle des aimants est celle d'un barreau droit, d'une aiguille de boussole ou d'un fer à cheval (aimant en U) mais beaucoup d'autres formes se rencontrent comme les aimants cylindriques de haut-parleurs, par exemple.



c- Les pôles d'un aimant :

Une aiguille aimantée, mobile autour d'un axe vertical qui est placée dans une région d'espace ne contenant ni aimant, ni circuit électrique ni masse ferreuse s'oriente, de telle façon que l'une des ses extrémités pointe vers le nord alors que l'autre pointe vers le sud. Il en est de même si on suspend un barreau aimanté.

Un aimant possède une dissymétrie avec deux pôles :

- son extrémité dirigée naturellement vers le nord est appelée pôle nord N (généralement de couleur rouge ou noir pour le distinguer du pôle sud)
- son extrémité dirigée naturellement vers le sud est appelée pôle sud S.

d- L'aimant brisé :

On constate que si l'on vient à briser en deux un aimant ayant un pôle sud et un pôle nord, chacune des parties obtenues aura un pôle sud et un pôle nord.

Cette expérience peut-être renouvelée jusqu'à ce que l'on se trouve en présence de la particule minimale de l'aimant original ("aimant élémentaire") qui, elle aussi, aura son pôle nord et son pôle sud.



Diviser un aimant en deux revient donc à fabriquer deux aimants plus petits. L'aimantation est une propriété microscopique de la matière. En effet chaque atome se comporte comme une petite boucle de courant.

Dans la matière non aimantée, ces boucles s'orientent au hasard et compensent ainsi leurs effets magnétiques.

Dans la matière aimantée ces boucles de courant sont orientées dans une position déterminée et leurs effets s'ajoutent. Il est donc impossible de séparer un pôle nord d'un pôle sud.

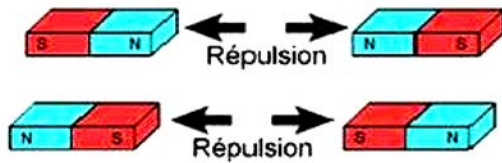
e- Interaction entre aimants :

Un aimant peut attirer un autre aimant. Toutefois cette attraction entre deux aimants ne s'exerce qu'entre deux pôles de noms contraires : un pôle sud attire un pôle nord et réciproquement.

Par contre deux pôles de mêmes noms se repoussent.

Deux pôles de même nature se repoussent.

Deux pôles de nature contraire s'attirent.



2 - Champ magnétique

a- Mise en évidence du champ magnétique :

Matériel :

- aiguilles aimantées
- Aimant droit
- rétroprojecteur

Manipulation 1

On place un aimant à proximité d'une aiguille aimantée, on constate que:

- L'aiguille prend une nouvelle direction.
- L'aiguille oriente son pôle nord vers le pôle sud de l'aimant.
- L'aiguille est attirée "plus ou moins fortement" selon sa position et la nature de l'aimant..

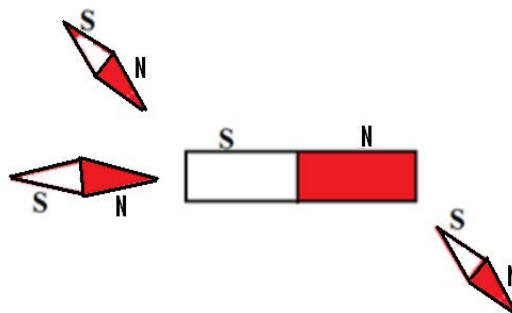
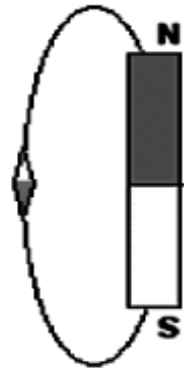
L'aimant provoque une modification des propriétés de l'espace environnant (mouvement de particules chargées, aiguille aimantée).

On dit que cet espace est le siège d'un champ magnétique.

b- Vecteur champ magnétique

Manipulation:

Au voisinage de l'aimant on place plusieurs aiguilles aimantées.

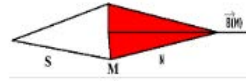


Observation : les aiguilles aimantées prennent différentes orientations selon l'endroit où elles sont placées.

Conclusion

Le champ magnétique en un point M de l'espace est une grandeur vectorielle, notée \vec{B} , il se caractérise donc en son point d'application par une direction, un sens et une norme B.

- Direction: droite SN indiquée par une aiguille aimantée en ce point.
- Sens: Celui allant du pôle sud S au pôle nord N de l'aiguille aimantée.
- Norme: à mesurer à l'aide d'un Teslamètre ou à calculer.
- Unité: T (Tesla)



c- Représentation du vecteur champ magnétique

Le champ magnétique peut être représenté par un vecteur, noté \vec{B}

- son point d'application correspond au centre de l'aiguille aimantée
- son sens est identique à celui d'une aiguille aimantée (Sud vers Nord) \vec{SN}
- sa direction: celle prise par l'aiguille aimantée
- sa longueur représente son intensité (valeur)

d-Mesure des champs magnétiques

L'intensité du champ magnétique notée B, s'exprime en teslas (T) du nom d'un physicien américain Nikola Tesla (1856-1943). L'appareil permettant de mesurer l'intensité d'un champ magnétique s'appelle le tesla-mètre.

La valeur d'un champ magnétique en un point dépend de la position de ce point par rapport à la source (ou aux sources) du champ magnétique

REMARQUE :

L'aiguille aimantée est un véritable détecteur de champ magnétique:

- En l'absence de tout autre champ que le champ magnétique terrestre l'aiguille aimantée indique la direction nord-sud appelée méridien magnétique.



3- Spectres magnétiques

a- Mise en évidence :

Matériel :

- limaille de fer -aimant droit-plaque de verre- rétroprojecteur-aimant en U- aiguilles aimantées -bobine

➤ **Spectres magnétiques d'un aimant droit**

Déroulement : On saupoudre de la limaille de fer sur une plaque de verre recouvrant un aimant droit.

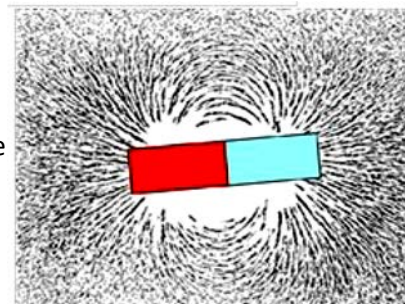
Observation : on constate que les grains se disposent de façon bien précise suivant des lignes appelées lignes de champ.

L'ensemble de ces lignes constituent le spectre magnétique.

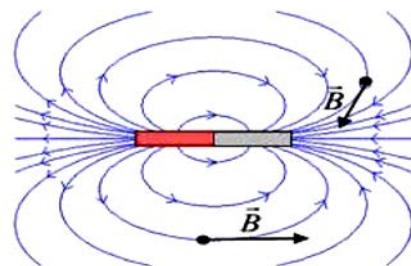
Ces lignes existent dans tout l'espace entourant l'aimant et non pas simplement sur le plan formé par la feuille.

La ligne de champ est une courbe tangente en tout point au vecteur .

De plus, si l'on place aiguilles aimantées dans cette zone de lignes de champ nous nous apercevons qu'elles sont orientées.



Spectre magnétique de l'aimant droit :

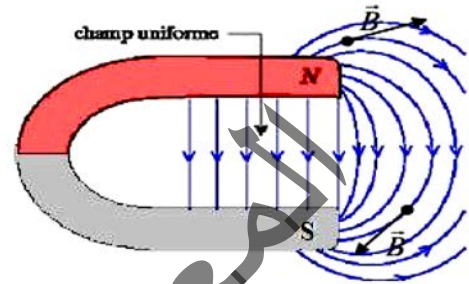


Par convention nous dirons que ces lignes de champ sortent par le pôle nord pour entrer par le pôle sud.
 Nous supposons également que chaque ligne de champ se referme à l'intérieur de l'aimant de façon à compléter une boucle.

➤ **Spectres magnétiques d'un aimant en U**

En procédant de la même manière que pour l'aimant droit, on réalise le spectre de l'aimant en U. Les lignes de champ sont parallèles entre les branches de l'aimant, on dit que le champ est uniforme. A l'extérieur, elles forment des courbes. Le champ magnétique est plus intense près des pôles.

Spectre magnétique de l'aimant en U :



II- Autres sources de champ magnétique

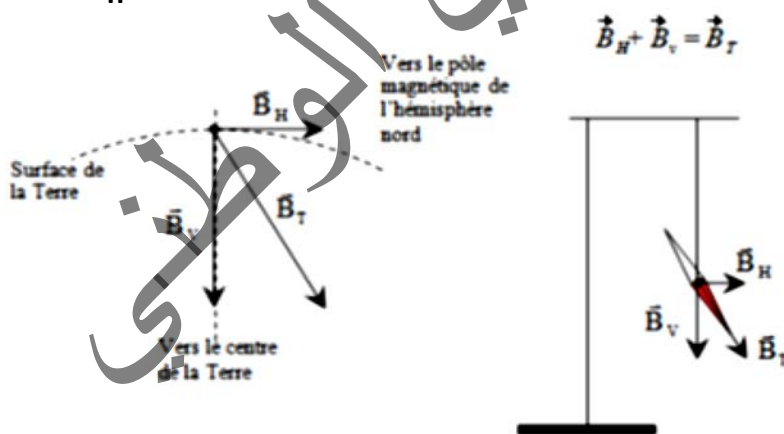
1- champ magnétique terrestre

a- Origine

La Terre possède un **champ magnétique** produit par les déplacements de son noyau externe composé essentiellement de fer et de nickel

b- Propriétés du champ magnétique

En un point donné du champ magnétique terrestre, le vecteur d'induction magnétique \vec{B} possède une composante verticale \vec{B}_v (dirigée vers le centre de la Terre) et une composante horizontale \vec{B}_h .



L'aiguille de la boussole s'oriente suivant la composante horizontale \vec{B}_h

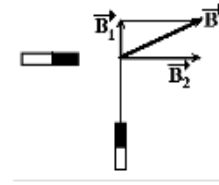
En un lieu, une aiguille aimantée se place suivant les lignes de champ du champ magnétique terrestre

Le champ magnétique est un vecteur qui se décompose suivant deux directions : \vec{B}_h et \vec{B}_v .

2- Superposition de champs magnétiques

D'une manière générale l'aiguille indique la résultante des champs qu'elle subit. Soient deux aimants notés 1 et 2. Soit \vec{B}_1 le champ magnétique créé par l'aimant 1 en un point M et soit \vec{B}_2 le champ magnétique créé par l'aimant 2 en ce même point M.

Le champ résultant est égal à la somme vectorielle des champs créés par chaque source au point M. $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$



3- Champ magnétique créé par un courant

a- Mise en évidence:

Matériel: Générateur- aiguille aimantée- interrupteur- ampèremètre-fil conducteur- fils de connexions.

Manipulation: Réalisons le circuit ci-contre

Observation :

Lorsqu'on établit le courant dans le fil, on constate que l'aiguille dévie preuve qu'elle a subit un nouveau champ magnétique.

Si le courant n'est pas établi dans le circuit, l'aiguille aimantée s'oriente suivant le champ magnétique terrestre.

Conclusion :

Un fil parcouru par un courant électrique se comporte comme un aimant. Il crée un champ magnétique. Le vecteur champ magnétique créé par un courant dépend de l'intensité de ce courant et de son sens mais aussi de la forme du circuit.

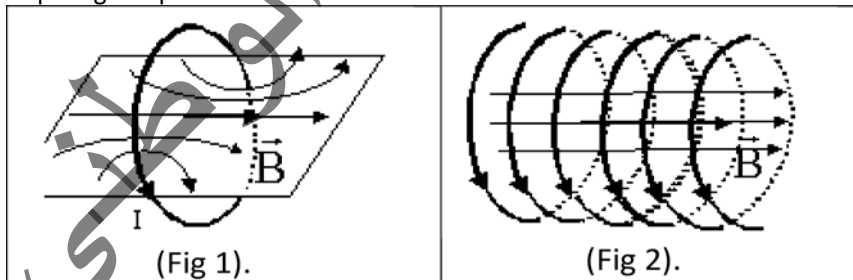
b- Cas d'une bobines :

Une bobine est constituée par un fil électrique enroulé régulièrement sur un cylindre de section généralement circulaire. Les extrémités du fil constituent les deux bornes de la bobine et les extrémités du cylindre ses deux faces.

Une bobine est caractérisée par sa longueur L, son rayon r et le nombre de ses spires N.

- Si $r \gg L$, la bobine est dite plate ; elle est caractérisée par r et N (Figure 1).
- Si $r \ll L$ la bobine est un solénoïde « infini » caractérisé par le nombre de spires par unité de longueur $n=N/L$ (Figure 2).

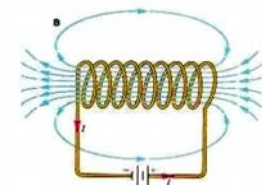
Une bobine (ou un solénoïde) traversée par un courant se comporte comme un aimant. Elle crée un champ magnétique.



Spectre d'une bobine :

On procède comme pour les aimants pour réaliser des spectres pour les bobines :

Les lignes de champ entrent dans les bobines par la face Sud et sortent par la face Nord.



Leur sens est donné à partir du sens du courant par des règles mnémotechniques.

Le spectre magnétique donne la topographie d'un champ magnétique.

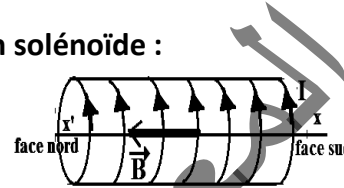
La forme du spectre dépend de la nature de la source du champ. L'orientation des lignes de champ est déterminée à l'aide d'une aiguille aimantée.

Champ magnétique créé au centre d'un solénoïde :

- Les lignes de champ sont parallèles (les vecteurs champs sont colinéaires et de même sens) pas très proche des extrémités.
- Le champ magnétique conserve la même valeur.
- D'après les deux remarques précédentes, nous pouvons affirmer que:
- Dans un solénoïde long, le vecteur champ magnétique est constant. On dit que le champ magnétique est uniforme à l'intérieur du solénoïde.

Caractéristiques du champ magnétique créé au centre d'un solénoïde :

- Point d'application : milieu du solénoïde
- Direction : parallèle à l'axe du solénoïde
- Sens : Il est dirigé de la face sud vers la face nord
- Intensité :
- B est proportionnel à l'intensité I du courant qui circule dans le solénoïde.
- B est proportionnel à $n = \frac{N}{l}$ (nombre de spires par mètre du solénoïde).
- μ_0 est indépendant du rayon et de la longueur du solénoïde.



On en déduit $B = k.n.I$.

On montre que $k = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{S.I.}$ (Perméabilité magnétique du vide), d'où : $B = \mu_0.n.I$

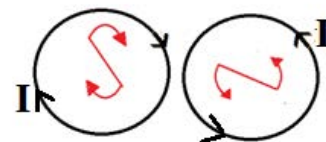
Règles mnémotechniques pour déterminer le sens de \vec{B} :

Le sens de \vec{B} peut être obtenu par l'une des règles suivantes :

- **L'observateur d'Ampère** : Un bonhomme d'Ampère placé sur une spire du solénoïde, le courant entrant par ses pieds et sortant par sa tête, indique le sens du champ magnétique par son bras gauche lorsqu'il regarde le centre de la spire.
- **Règle de la main droite** : On place la main droite sur une spire de telle manière que le courant sort par les bouts des doigts que la paume soit tournée vers le centre de la spire alors le pouce indique le sens \vec{B} .

Remarque

- La bobine (ou le solénoïde) parcourue par un courant présente une face nord et une face sud qui s'inversent si on change le sens du courant.
- La face Nord est la face devant laquelle on se place pour voir circuler le courant dans le sens trigonométrique.
- La face Sud est la face devant laquelle on se place pour voir circuler le courant dans le sens contraire du sens trigonométrique.
- Pour reconnaître les faces, on peut utiliser la règle illustrée par le schéma suivant :



Comme pour les aimants, les faces de mêmes noms se repoussent et les faces de noms différents s'attirent. C'est le champ magnétique qui est responsable de ces interactions.

Application

Application 1

Une petite aiguille aimantée tournant librement autour d'un axe vertical est placée au centre O d'un long solénoïde.

L'axe xx' du solénoïde est initialement perpendiculaire à l'aiguille aimantée.

On fait passer un courant d'intensité constante $I = 0,5$ A dans le solénoïde ($n = 100$ spires/mètre).

1. Déterminer le champ créé au centre du solénoïde.
2. Déterminer l'angle α dans le quel tourne l'aiguille aimantée. (composante horizontale du champ terrestre $2 \cdot 10^{-5} \text{T}$)

Corrigé

1. Le vecteur champ créé par la bobine en son centre :

- direction : colinéaire à l'axe du solénoïde
- sens : donné par la règle de l'observateur d'Ampère
- norme : $4\pi \cdot 10^{-7} \cdot n \cdot I = 4,3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 0,5 = 6,28 \cdot 10^{-5} \text{T}$.

2. L'aiguille aimantée s'oriente suivant la somme vectorielle des champs magnétiques.

$$\tan(\alpha) = 6,28 \cdot 10^{-5} / 2 \cdot 10^{-5} = 3,14 \text{ d'où } \tan(\alpha) = 63,4$$

Application 2

Un solénoïde comportant $N = 1000$ spires jointives a pour longueur $L = 80 \text{cm}$.

Il est parcouru par un courant d'intensité I .

a- Faire un schéma sur lequel vous représenterez:

- Le spectre magnétique du solénoïde
- Les faces Nord et Sud
- Le vecteur champ magnétique au centre du solénoïde

On suppose le solénoïde suffisamment long pour être assimilable à un solénoïde de longueur infinie.

b- Quelle est l'expression de l'intensité du champ magnétique au centre du solénoïde

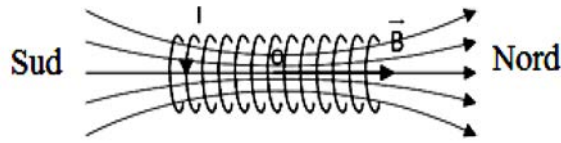
A.N. Calculer B si $I = 20 \text{mA}$.

L'axe du solénoïde est placé perpendiculairement au plan du méridien magnétique. Au centre du solénoïde on place une petite boussole mobile autour d'un axe vertical. Quelle est l'orientation de la boussole pour $I = 0$?

Quand le courant d'intensité $I = 20 \text{mA}$ parcourt le solénoïde, la boussole tourne d'un angle $\alpha = 57,5^\circ$.

c) En déduire l'intensité B_h de la composante horizontale du champ magnétique terrestre.

a)



Le spectre magnétique d'un solénoïde est semblable à celui d'un aimant droit. On oriente les lignes de champ avec la règle de la main droite (il faut au préalable définir le sens du courant). On en déduit les faces nord et sud du solénoïde. Le champ magnétique au centre du solénoïde est tangent à la ligne de champ passant par O et de sens donné par l'orientation de la ligne de champ.

b) On suppose qu'à l'intérieur du solénoïde le champ est uniforme et qu'à l'extérieur il est nul.

La circulation du champ magnétique le long du contour (C) est: $C=BL$ (voir figure)

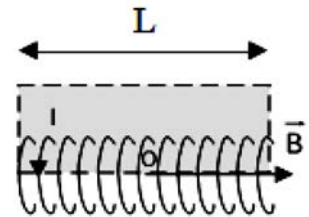
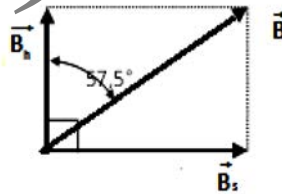
L'application du théorème d'Ampère donne: $C=N\mu_0 I$

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I \quad ; \text{A.N. } B = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

)L'aiguille s'oriente vers le nord magnétique (champ magnétique terrestre)

$$\vec{B}_{\text{résultant}} = \vec{B}_h + \vec{B}_{\text{solénoïde}}$$

$$\tan 57,5 = \frac{B_h}{B_{\text{solénoïde}}} \quad ; \text{A.N. } B_h = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$



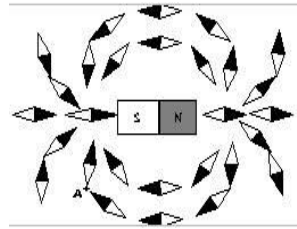
L'Essentiel

- Un aimant possède deux pôles un pôle nord N et un pôle sud S.
- Deux pôles de noms différents s'attirent alors que deux pôles de mêmes noms se repoussent
- Un champ magnétique est créé par un aimant soit par un courant soit par la terre.
- Le spectre magnétique donne la topographie du champ magnétique \vec{B} , le vecteur \vec{B} est tangent aux lignes de champ. Le sens de \vec{B} est donné par le bipôle \overrightarrow{SN} d'une petite aiguille aimantée
- La valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre $B_h = 2.10^{-5} \text{ T}$
- Un solénoïde est analogue à un aimant droit. Les deux extrémités ou faces se comportent comme les pôles de l'aimant.
- Les lignes de champ entrent par la face Sud et sortent par la face Nord. A l'intérieur du solénoïde le champ est uniforme et son intensité est donnée par la relation $B = \mu_0 n I$
- La règle du « bonhomme d'Ampère » ou de la main droite permettent de lier le sens de \vec{B} au sens du courant.

Exercices

Exercice 1 :

- 1- Représenter le spectre de l'aimant représenté ci-contre.
- 2- On place au point A un capteur de champ magnétique, de sensibilité : $20\text{mV} / \text{mT}$. Celui-ci indique 227mV .
 - a- Calculer l'intensité du champ magnétique au point A.
 - b- Tracer le vecteur champ magnétique en ce point.



Exercice 2 :

- 1- Tracer le spectre de l'aimant en U entre les deux pôles.
- 2- Orienter les lignes de champ.
- 3- Identifier les pôles de cet aimant.
- 4- Quelle propriété possède le vecteur dans cette région de l'espace champ magnétique? Comment appelle-t-on un tel champ. B

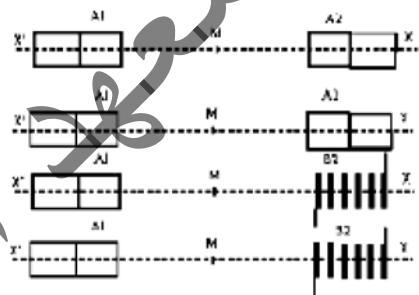


Exercice 3 :

Deux aimants droits A1 et A2 sont placés sur l'axe x'x.

Chacun d'eux crée au point M situé à égale distance des deux sources, un champ magnétique de 20mT .

- 1- Représenter le vecteur champ magnétique en M, lorsque les deux pôles en regard sont de même nom.
- 2- Même question lorsque les deux pôles sont de noms différents.
- 3- On remplace l'aimant A2 par une bobine B2. On désire qu'au point M le champ résultant ait une norme égale à 60mT .



Quelle doit être la norme du champ magnétique créé par la

bobine? (Deux cas sont envisageables). Pour chaque cas, quel est le sens du courant dans la bobine.

Exercice 4 :

Un solénoïde AC comporte N spires. Sa longueur est l et le rayon moyen des spires est r .

Un courant continu d'intensité I circule de A vers C. Représenter le solénoïde et le sens de parcours du courant. Donner les caractéristiques du champ magnétique à l'intérieur du solénoïde et le représenter. On donne : $N=500$ spires ; $l=30\text{cm}$; $I=2\text{A}$.

Exercice 5 :

Une aiguille aimantée est placée au point M de la figure ci-dessous.

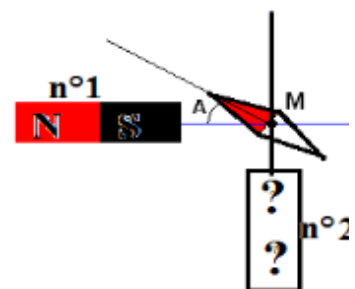
Son extrémité « nord » est orientée vers le pôle sud d'un aimant n°1.

Le champ mesuré au point M créé par l'aimant est égal à $B_1 = 3,5 \text{ mT}$.

Dans le plan de la figure est placé un autre aimant n°2.

L'aiguille aimantée dévie et forme un angle égal à $A = 35^\circ$.

- 1- Pourquoi dans cet exercice peut-on négliger la composante horizontale du champ magnétique terrestre.
- 2- Trouver le pôle « nord » de l'aimant n°2. Justifier votre réponse
- 3- Calculer la valeur du champ magnétique B_2 créé par l'aimant n°2 au point M. En déduire la valeur du champ résultant B_M au point M.



Exercice 6 :

Une bobine longue de 20 cm, dont l'axe est perpendiculaire au plan du méridien magnétique terrestre, est formée de 2000 spires jointives.

- 1- La bobine est traversée par un courant d'intensité $I = 50\text{mA}$. Déterminer le vecteur champ magnétique créé par le courant au centre de la bobine. A.N : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI B}$
- 2- On place au centre de la bobine une petite aiguille aimantée pouvant pivoter autour d'un axe vertical.
- 3- Quelles sont les positions de cette aiguille en l'absence de courant dans la bobine, puis quand le courant d'intensité I traverse cette bobine ? Dans chaque cas déterminer l'angle que fait l'aiguille avec l'axe de la bobine. (Faire des schémas dans le plan horizontal.) On donne $B_H = 2 \cdot 10^{-5} \text{T}$.

Exercice 7 :

On considère un solénoïde de longueur $l = 50\text{cm}$ comportant $N = 200$ spires. L'axe xx' du solénoïde est horizontal et perpendiculaire au méridien magnétique. On fait passer dans le solénoïde un courant d'intensité $I = 50\text{mA}$.

- 1- Déterminer les caractéristiques du champ \vec{B}_S créé au centre du solénoïde.
- 2- Dessiner sans échelle, le vecteur \vec{B}_S , la composante horizontale \vec{B}_H du champ magnétique terrestre et le champ magnétique résultant $B = \vec{B}_H + \vec{B}_S$
- 3- On place au centre du solénoïde une aiguille aimantée pouvant tourner autour d'un axe vertical.

On constate qu'elle fait avec l'axe du solénoïde un angle α .

- 3-1 Calculer l'intensité du champ magnétique subi par l'aiguille.
- 3-2 Calculer l'angle α . On donne : $\vec{B}_H = 2 \cdot 10^{-5} \text{T}$; $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$

Exercice 8 :

1- Donner les caractéristiques du champ magnétique B à l'intérieur d'un solénoïde S de longueur l constitué de N spires lorsqu'il est traversé par un courant d'intensité I . Quelle serait la valeur de I pour que la mesure du champ magnétique soit $2 \cdot 10^{-5} \text{T}$. On donne $N = 1000$ spires ; $l = 60\text{cm}$.

2- Sachant qu'une aiguille aimantée placée en son centre au point O serait perpendiculaire à son axe lorsqu'il n'est pas traversé par un courant. Déterminer l'angle dont dévie cette aiguille si on fait passer dans le solénoïde le courant d'intensité précédente

Exercice 9 :

Une bobine de longueur $l = 0,5\text{m}$ est constituée de 1000 spires. L'axe de cette bobine est perpendiculaire au méridien magnétique.

- 1- En l'absence de courant dans la bobine, on place à son intérieur et en son centre O une aiguille aimantée. Représenter la position de l'aiguille.
- 2- On fait passer dans la bobine un courant d'intensité I . L'aiguille dévie alors de 30° .
 - 2-1 Expliquer pourquoi l'aiguille dévie.
 - 2-2 En déduire la valeur de I et calculer l'intensité du champ dans la bobine. On donne $B_H = 2 \cdot 10^{-5} \text{T}$.
- 3- On donne au courant l'intensité $I' = 2I$. Représenter la nouvelle position de l'aiguille et déterminer l'angle θ dont dévie l'aiguille par rapport à sa position initiale.

Exercice 10

Un solénoïde de grande longueur ℓ par rapport à son diamètre comporte N spires jointives.

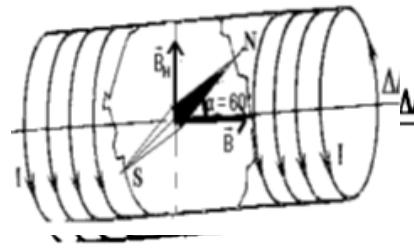
1- Déterminer les caractéristiques du champ magnétique

\vec{B} qui s'exerce au centre de la bobine quand elle est traversée par un courant d'intensité I (Direction, sens et intensité).

A.N : $N=1000$, $I = 2A$, $\ell = 1,5m$, $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}SI$

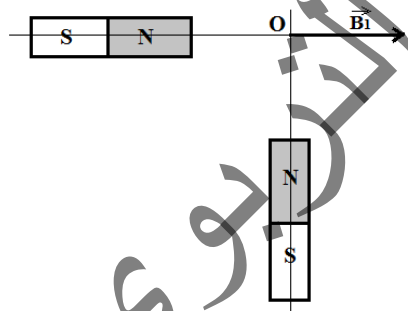
2- L'axe Δ du solénoïde est perpendiculaire au méridien magnétique du lieu d'expérience et la composante horizontale

du champ magnétique terrestre est $\vec{B}_H = 2 \cdot 10^{-5} T$ Une petite aiguille aimantée \vec{SN} mobile au tour d'un axe vertical placée au centre de la bobine s'établit dans une position d'équilibre telle que l'angle de la ligne des pôles \vec{SN} et l'axe Δ soit $\alpha = 60^\circ$. Calculer la valeur du champ magnétique \vec{B} qui s'exerce lors du passage d'un courant dans le solénoïde et en déduire l'intensité I_1 de ce courant ?



Exercice 11 :

Une aiguille dont le centre O est placé sur l'axe de l'aimant 1 s'aligne sur cet axe suivant le vecteur \vec{B}_1 de valeur $5 mT$. On place l'aimant 2 comme c'est montré sur la figure : l'aiguille tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre d'un angle $\alpha = 24^\circ$



Déterminer les caractéristiques du champ magnétique B_2 créé en O par l'aimant 2 ainsi que les caractéristiques du champ magnétique résultant B_T .

Exercice 12 :

Deux aimants droits sont placés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre à la même distance du point M , comme l'indique la figure ci-contre.

1) Sachant que $B_1 = 4 \cdot 10^{-3} T$ et $B_2 = 3 \cdot 10^{-3} T$, représenter à l'échelle : $B_2 = 2 \cdot 10^{-3} T \rightarrow 1Cm$

a. B_1 Le vecteur champ magnétique créé par l'aimant A_1 au point M .

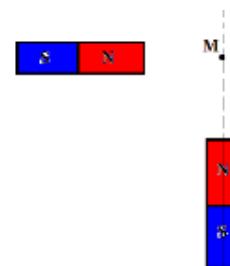
b. B_2 Le vecteur champ magnétique créé par l'aimant A_2 au point M .

2) a. Exprimer le vecteur champ magnétique résultant B en fonction de B_1 et B_2 , représenter B

b. Schématiser l'aiguille aimantée placée au point M .

c. Déterminer graphiquement et par calcul la valeur du champ magnétique B résultant

d. Déterminer la valeur de l'angle $\alpha = (\vec{B}_1, \vec{B}_2)$

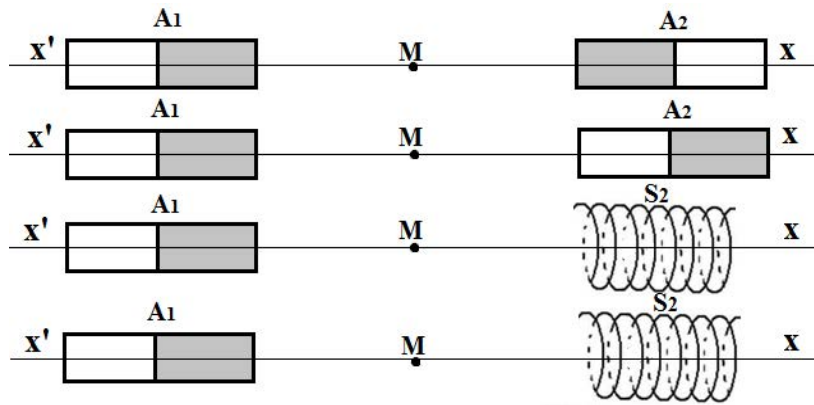


3) On enlève l'aimant A_2 . Est-ce que l'angle α augmente, diminue ou reste constant ? Justifier.

Exercice 13 :

La figure ci-dessous montre deux aimants droits A_1 et A_2 sont placés sur l'axe $x'x$

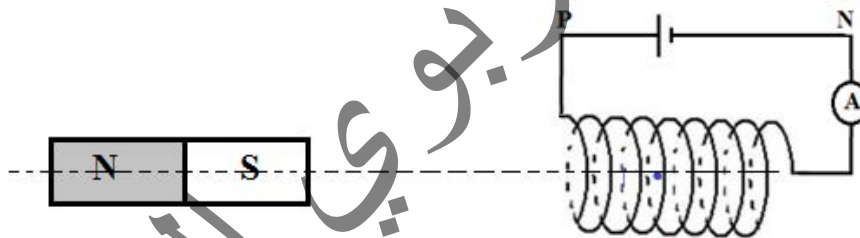
Chacun d'eux crée au point M situé à égale distance des deux sources, un champ magnétique de $20 mT$.



- 1) Représenter le vecteur champ magnétique en M, lorsque les deux pôles en regard sont de même nom.
- 2) Même question lorsque les deux pôles sont de noms différents.
- 3) On remplace l'aimant A2 par un solénoïde S2.
On désire qu'au point M le champ résultant ait une norme égale à 60 mT.
- 4) Quelle doit être la norme du champ magnétique créé par le solénoïde ? (Deux cas sont envisageables).
- 5) Pour chaque cas, quel est le sens du courant dans le solénoïde ?

Exercice 14 :

Un aimant droit crée en un point P à l'intérieur d'un solénoïde de 140 spires et de longueur 16 cm un champ magnétique de valeur 2,5 mT. Déterminer le sens et l'intensité du courant électrique qui va annuler le champ magnétique en P.



Exercice 15 :

On étudie le champ magnétique dans une bobine longue avec un dispositif donné. Le tableau suivant donne les valeurs de B_0 mesurées en fonction de l'intensité I du courant :

- 1) Tracer la courbe $B_0(I)$
- 2) Déterminer graphiquement son coefficient directeur ; En déduire le nombre de spires de la bobine sachant que sa longueur est égale à 25cm.
- 3) Si l'on souhaite doubler le nombre de spires et garder la même intensité et le même champ $B_0(I)$, quelle doit être la longueur de la spire ?

Exercice 16 :

- 1) On dispose d'un solénoïde de 50 cm de long comportant 250 spires. Il est traversé par un courant électrique d'intensité $I = 2.5$ A. Déterminer l'intensité du champ magnétique généré au centre de ce solénoïde.
- 2) Un autre solénoïde génère un champ magnétique $B = 5.0$ mT, il est traversé par un courant d'intensité $I = 2.5$ A. Combien comporte-t-il de spires par mètre ?
- 3) Un solénoïde de 80 cm de long comporte 1500 spires par mètre. Il est traversé par un courant électrique d'intensité $I = 1.2$ A. Déterminer l'intensité du champ magnétique généré au centre de ce solénoïde.
- 4) Déterminer la longueur d'un solénoïde comportant 1500 spires qui génère un champ $B = 7.5$ mT lorsqu'il est parcouru par un courant électrique d'intensité $I = 3.0$ A.

Exercice 17 :

Une bobine parcourue par un courant d'intensité I , crée en M un champ magnétique de norme $B_1 = 2 \text{ mT}$. Un aimant A crée au même point un champ magnétique de norme $B_2 = 4 \text{ mT}$.

- 1) Représenter les vecteurs champs magnétiques créés en M par chacune des deux sources.
- 2) Représenter le vecteur champ magnétique résultant.
- 3) Déterminer sa norme

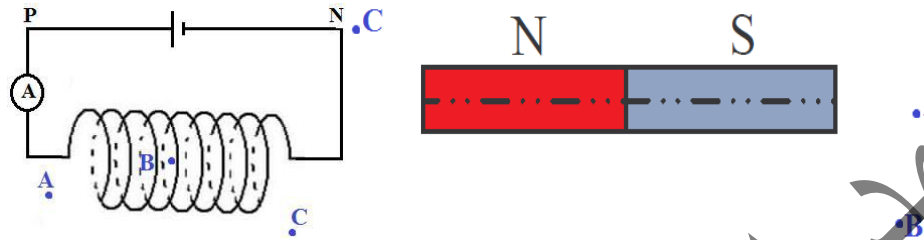
Exercice 18 :

Un solénoïde de longueur $L = 20 \text{ cm}$ comporte $N = 1000$ spires de diamètre $d = 3 \text{ cm}$. Il est traversé par un courant d'intensité $I = 200 \text{ mA}$.

- 1) Quelle est la valeur du champ magnétique à l'intérieur ?
- 2) Pour quelle valeur de I , l'intensité du champ est-elle égale à $B_h = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

Exercice 19 :

On dispose d'un aimant droit et d'un solénoïde de 80 cm de long qui comporte 200 spires.



- 1) Représenter le spectre magnétique de l'aimant ainsi que des vecteurs champs magnétiques et des boussoles aux points A, B et C du schéma. Le champ magnétique généré par cet aimant est-il uniforme ?
- 2) Le solénoïde est inséré dans un circuit électrique. Il est parcouru par un courant d'intensité $I = 2 \text{ A}$. Représenter le spectre magnétique de ce solénoïde ainsi que des vecteurs champs magnétiques et des boussoles aux points A, B et C du schéma. Le champ magnétique généré par ce solénoïde est-il uniforme ?
- 3) Déterminer l'intensité du champ magnétique généré en B.

Exercice 20 :

On souhaite étudier la valeur B du champ magnétique créé en son centre par un solénoïde comportant un nombre total de spires $N = 200$.

On fait varier la valeur de l'intensité I du courant dans le solénoïde et on mesure, à l'aide d'un teslamètre, la valeur du champ magnétique. Les résultats des mesures sont consignés dans le tableau suivant :

- 1) Proposer un schéma du montage permettant de réaliser l'expérience, en précisant le sens de branchement de l'ampèremètre.
- 2) Dans cette expérience le teslamètre, mesure la composante horizontale du champ magnétique résultant, en un point de l'espace.

Que peut-on dire de l'influence de la composante horizontale du champ magnétique terrestre sur le champ magnétique résultant ?

- 4) Tracer la courbe d'évolution du champ magnétique $B = f(I)$.

Echelles : 5 cm pour 1A et 1 cm pour 0.1 mT.

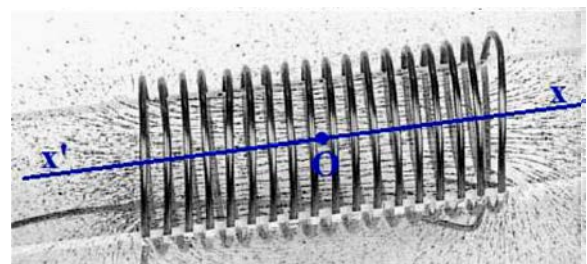
- 4) Le solénoïde comporte n spires par mètre. $n = 485$.

Calculer, à l'aide de la courbe, la valeur expérimentale de la perméabilité du vide μ_0 .

Données :

Valeur du champ magnétique créé par un solénoïde en son centre : $B = \mu_0 \cdot n \cdot I$

Valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre : $B_h = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.

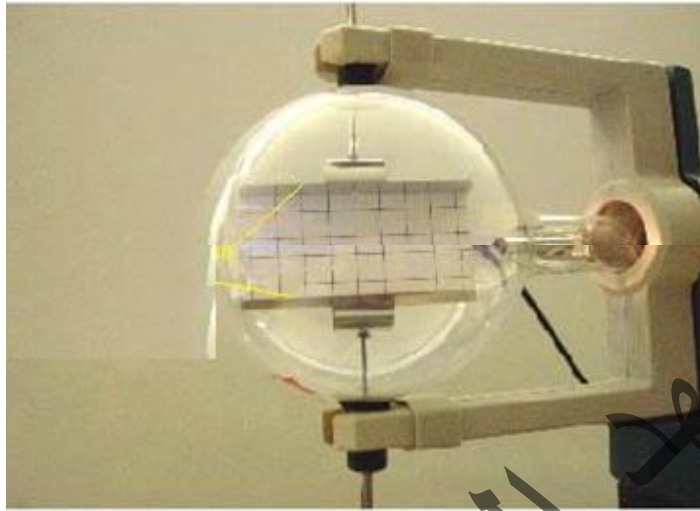


Exercice 21 :

Une aiguille aimantée est disposée au point O à l'intérieur d'un solénoïde. En l'absence de courant électrique, la direction horizontale nord-sud de l'aiguille est perpendiculaire à l'axe xx' horizontal du solénoïde. L'aiguille tourne d'un angle $\alpha=30^\circ$ quand un courant d'intensité I circule dans le solénoïde.

- 1) Quelle est en O la direction du champ magnétique terrestre ?
- 2) Déterminer le champ magnétique B_0 créé par le solénoïde et le champ magnétique résultant B sachant que l'intensité du champ terrestre est de $B_h = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$
- 3) Déterminer le sens du courant électrique dans le solénoïde. Quelle est la face nord de ce dernier?
- 4) Quelle est la nouvelle valeur de l'angle α quand $I'=2I$?

المعهد
التربوي
الوطني



OBJECTIFS

- ✓ Savoir électriser un corps par :
 - Frottement
 - Influence
 - Contact.
- ✓ Savoir les deux types d'électricité
- ✓ Savoir appliquer la loi de Coulomb
- ✓ Connaître les caractéristiques du champ électrostatique uniforme.
- ✓ Savoir calculer le travail de la force électrostatique lors d'un déplacement quelconque dans un champ électrique uniforme
- ✓ Savoir calculer le potentiel et l'énergie électrostatique

I - Rappel sur l'électrostatique

1 - l'électrisation

a-Electrisation par frottement

On électrise les corps par frottement : un bâton de verre frotté par un drap attire de petits bouts de papier ; il a été électrisé **par frottement**. Cette expérience répétée avec différents matériaux permet de les classer en deux familles :-les conducteurs (comme les métaux) pour lesquelles les charges électriques se répartissent sur tout l'objet.

-les isolants (comme le verre, la résine.....) pour lesquelles les charges électriques demeurent à l'endroit où elles sont apparues.



b-Electrisation par influence

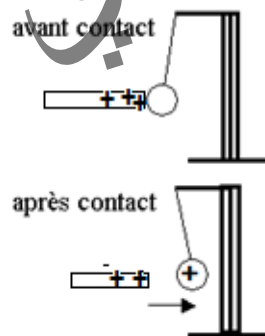
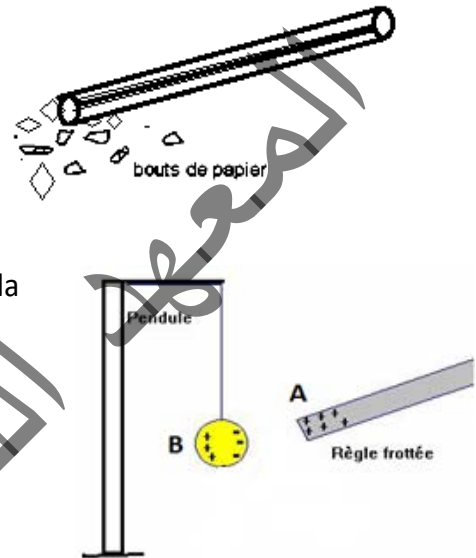
Soit une règle chargée A (règle frottée) .On l'approche d'un autre objet neutre B (boule)

La règle chargée positivement attire les électrons libres de la boule conductrice. Le côté de la boule devient chargé négativement (électrons) et l'autre côté est chargé positivement (ions positifs) .

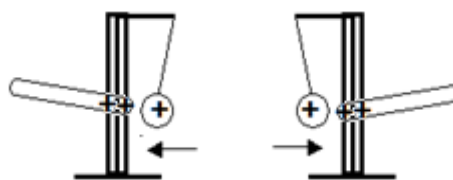
On appelle ce phénomène l'électrisation par influence.

c-Electrisation par contact :

Touchons un pendule avec un bâton de verre électrisé, on constate que le pendule s'écarte aussitôt du verre car des charges se sont fixées sur lui. Il a été **chargé par contact**.

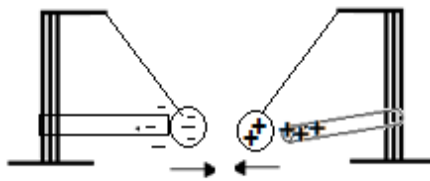


Deux pendules chargés par contact sur un bâton de verre électrisé, se repoussent.(figure)



**les charges de meme
signe se repoussent**

Si l'un de deux pendules est chargé par contact avec du verre électrisé et l'autre par contact avec la résine électrisée, les pendules s'attirent. (figure)



deux charges de signes opposés s'attirent

Les conséquences de ces expériences sont les suivantes :

- il existe deux types de charges. On les appelle **charge positive** et **charge négative** ;
- **des charges de même signe se repoussent** alors que **deux charges de signes opposés s'attirent**.

2 - la charge électrique

La charge électrique d'un porteur de charges, peut être positive ($q > 0$) ou négative ($q < 0$), est un multiple entier de la charge élémentaire (e) $q = n \cdot e$ avec $q_e = -e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

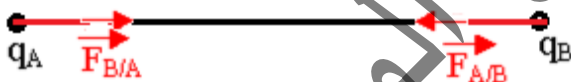
3 - loi de coulomb

Deux corps ponctuels A et B, séparés par une distance AB et portant respectivement les charges q_A et q_B sont soumis à une force telle que :

$$F_{A/B} = F_{B/A} = k \cdot \frac{q_A \cdot q_B}{AB^2}$$

q_A, q_B : Charges mesurées en coulomb (C)
 k : Constante dans le vide ou l'air $k = 9 \cdot 10^9 \text{ SI}(\text{Nm}^2\text{C}^2)$
 AB : Distance en mètre (m)
 F : Intensité de la force en Newton (N)

* si A et B ont des charges de même signes



* si A et B ont des charges de signes contraires

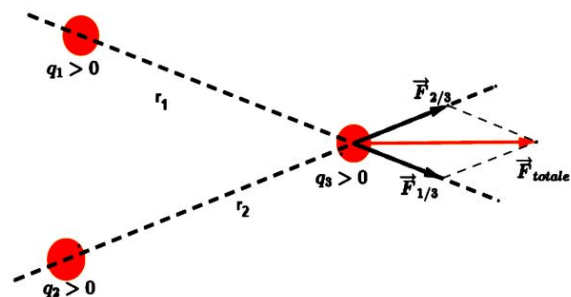


4 - Principe de superposition des forces

Considérons trois charges ponctuelles q_1, q_2 et q_3 fixées respectivement en O_1, O_2 et M

(voir figure), on veut déterminer la force totale subite par la particule de charge q_3 .

La loi de Coulomb décrit uniquement l'interaction entre deux charges. Mais l'expérience montre que lorsque deux charges exercent simultanément une force sur une troisième



charge, la force totale sur cette dernière est la somme vectorielle des forces que les deux charges exercent individuellement. On a donc simplement $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_{\text{totale}}$. Ce résultat se généralise à une distribution quelconque de plusieurs charges.

Il s'agit du principe de superposition qui joue un rôle très important dans l'étude de l'électromagnétisme.

5-Champ électrostatique

a-Définition

Par définition, on dit qu'il existe un champ électrostatique \vec{E} en un point donné de l'espace où se trouve une charge q_0 si cette charge est

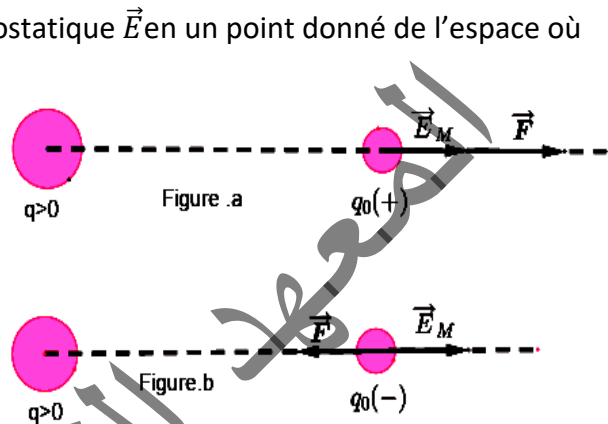
soumise à une force \vec{F}_e telle que : $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0}$.

Dans le système international l'unité de \vec{E} est $(V.m^{-1})$ \vec{E} est colinéaire à \vec{F}_e

Les sens de \vec{E} et \vec{F}_e dépendent de signe de q_0 :

Si $q_0 > 0$; \vec{E} et \vec{F}_e de même sens (figure. a).

Si $q_0 < 0$; \vec{E} et \vec{F}_e sont de sens opposés (figure.b).



b-Champ électrostatique uniforme

- Définition

Un **champ électrique** est dit **uniforme** dans une zone de l'espace où il est constant en direction, en sens et en valeur : les lignes de **champs** sont alors toutes parallèles.

- Obtention

Il est possible de produire un champ électrique uniforme grâce à un condensateur plan. Il s'agit d'un composant électrique constitué de deux plaques métalliques parallèles, appelées armatures, séparées par un isolant (air, vide, matière plastique...). L'une des armatures du condensateur porte une charge positive q^+ tandis que l'autre porte une charge négative q^- . (Figure ci-contre)

L'étude du champ électrostatique dans l'espace situé entre les deux plaques montre que :

-Les lignes de champ sont des droites parallèles, orthogonales aux plaques (sauf au voisinage des bords).

-La norme du vecteur \vec{E} est constante en tout point de l'espace situé entre les plaques. Le vecteur \vec{E} est orienté de l'armature chargée positivement vers l'armature chargée négativement.

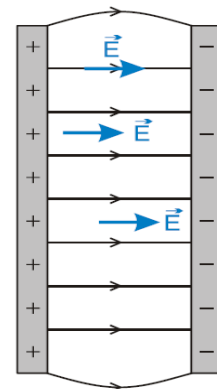
Le champ électrique est noté E (toujours en majuscule).

Son unité est le volt par mètre (V/m) mais il peut aussi être exprimé en une unité équivalente qui est Newton par coulomb (N/C).

- Action d'un champ électrique uniforme sur des charges électriques

Toute particule possédant une charge q située dans un champ électrique est soumise à une force électrique donnée par l'expression : $\vec{F}_e = q\vec{E}$

De même direction que le champ



De même sens que le champ pour une charge positive et de sens opposé pour une charge négative.

Application

a-Pendule électrique dans un champ uniforme

La boule d'un petit pendule électrostatique, de masse 2,5 g, porte une charge de $q = 0,5 \mu\text{C}$. Elle est placée dans un champ électrique uniforme et horizontal. A l'équilibre, le fil du pendule s'incline d'un angle de 30° par rapport à la verticale.

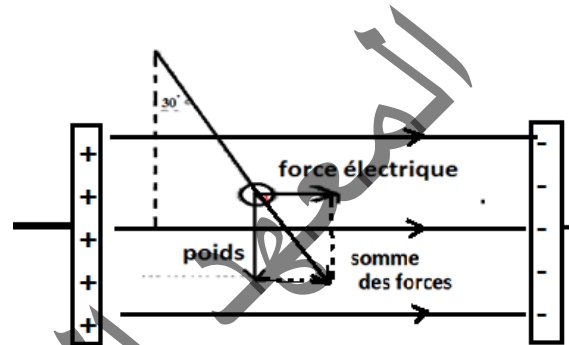
Déterminer l'intensité du champ électrostatique \vec{E} qui existe entre les plateaux

Corrigé

$$q = 5 \cdot 10^{-7} \text{ C} \quad m = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\tan g(30) = \frac{qE}{mg} \Rightarrow E = \frac{mg \cdot \tan g(30)}{q}$$

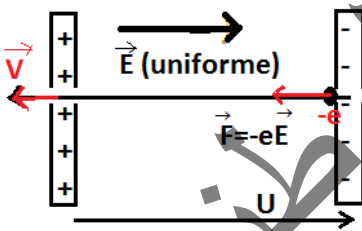
$$\text{A.N : } E = \frac{(2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8)}{(0,577 \cdot 5 \cdot 10^{-7})} = 2,9 \cdot 10^4 \text{ Vm}^{-1}$$



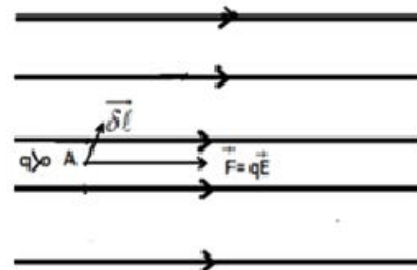
b-Electron dans un champ uniforme

L'électron de charge $q = -e$ est produit au voisinage de O avec une vitesse sensiblement nulle. Il est soumis à la force : $\vec{F}_e = -e\vec{E}$

qui est parallèle à \vec{E} , mais de sens inverse.



Sous l'action de cette force, il se déplace de droite à gauche et sort du dispositif avec le vecteur vitesse \vec{V} ; on a accéléré l'électron.



6 -Travail de la force électrostatique dans le cas d'un champ uniforme

a-Travail élémentaire

Soit une charge q qui effectue un déplacement élémentaire $\vec{\delta l}$ quelconque dans une région

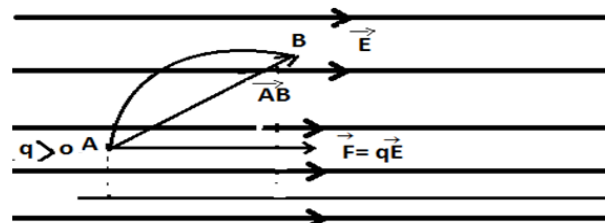


figure 1

de l'espace où règne un champ électrique \vec{E} uniforme.

Le travail élémentaire de la force électrique appliquée sur cette charge $\vec{F}_e = q\vec{E}$ lors de ce déplacement est : $\delta W = \vec{F}_e \cdot \delta \vec{l} = F_e \delta l \cdot \cos(\vec{F}_e, \delta \vec{l})$.

b-Déplacement quelconque dans un champ uniforme

Lorsque le champ est uniforme, la force \vec{F}_e est constante en chaque point du déplacement et le travail de la force entre le point A et le point B s'écrit :

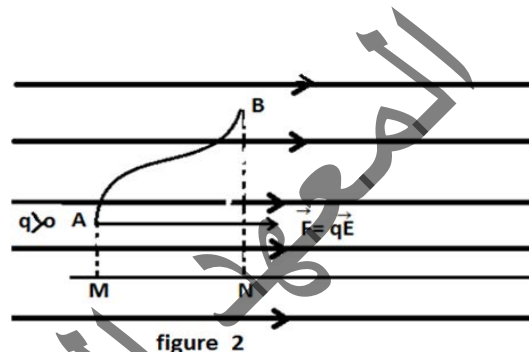
$$W_{AB}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = FAB \cos(\vec{F}, \vec{AB}). \text{(figure 1)}$$

Le travail de cette force est indépendant du déplacement. La force électrostatique est une force conservative.

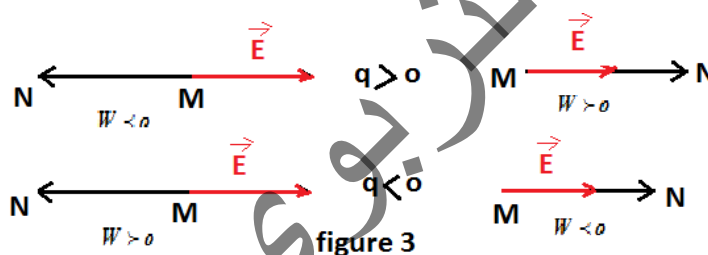
La force électrique est : $\vec{F}_e = q\vec{E}$

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q\vec{E} \cdot \vec{AB} = qEAB \cos(\vec{E}, \vec{AB}).$$

En projetant les points A et B en M et N sur une droite parallèle au champ électrique, on obtient : $W_{AB}(\vec{F}_e) = q\vec{E} \cdot \vec{MN}$ (figure 2)



- Si \vec{E} et \vec{MN} sont de même sens, le travail de la force est du même signe que la charge électrique (figure 3)



II - Potentiel et énergie électrostatique

1 – Potentiel électrique associé à un champ uniforme

Calculons le travail de la force électrique \vec{F} qui s'exerce sur une charge positive ponctuelle q soumise à un champ électrique uniforme \vec{E} ,

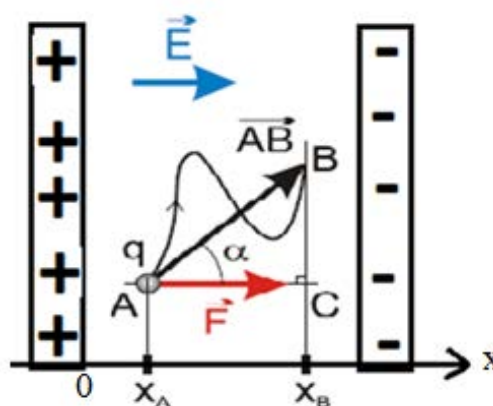
lorsqu'elle est déplacée d'un point A à un point B sur une trajectoire (voir figure).

(Pour que ce déplacement se fasse il faut qu'il y ait des forces extérieures appropriées agissant sur q).

Considérons le repère d'axe Ox (parallèle au champ électrique \vec{E} et orienté dans le sens de \vec{E}).

Le champ électrique \vec{E} est constant.

La force électrique $\vec{F}_e = q\vec{E}$ est donc constante au cours du déplacement, son travail est indépendant du chemin suivi.



$$\begin{aligned}
 W_{AB}(\vec{F}_e) &= q\vec{E} \cdot \vec{AB} = qE \cdot AB \cdot \cos(\alpha) \\
 &= qE \cdot AC = qE(x_C - x_A) \quad \text{or } x_C = x_B \\
 &= qE(x_B - x_A) \\
 &= q(Ex_B - Ex_A) = -qEx_A - (-qEx_B)
 \end{aligned}$$

Observons que le résultat obtenu ne dépend pas du chemin suivi.

Introduisons l'expression suivante, dite **potentiel électrique associé au champ uniforme** $V(\mathbf{x}) = -\mathbf{E} \cdot \mathbf{x} + V_0$, V_0 : est le potentiel de l'état de référence 0.

V : est le produit d'un champ exprimé en V/m par une longueur exprimée en m. L'unité de V est donc le **volt** comme l'unité des tensions électriques.

Le travail de la force électrostatique se calcule donc grâce à la différence de potentiel entre les points de départ et d'arrivée : $W_{AB}(\vec{F}_e) = q(V_A - V_B) = qU_{AB}$

2 - Différence de potentiel et tension dans l'espace délimité par deux plateaux électrisés parallèles

Considérons deux plateaux conducteurs parallèles distants de d (figure). Entre deux points A et B qui se font face, la différence de potentiel vaut :

$$V_A - V_B = (-\mathbf{E} \cdot \mathbf{x}_A + V_0) - (-\mathbf{E} \cdot \mathbf{x}_B + V_0) = E \cdot d$$

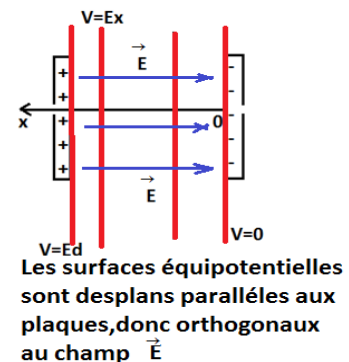
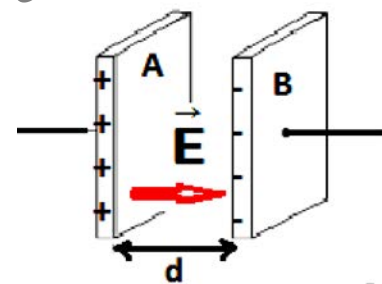
Par suite, le champ s'exprime à partir de la différence de potentiel suivant la formule:

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

Pour un champ uniforme nous admettons dans tous les cas, que le champ est orienté vers les potentiels décroissants.

c-Surfaces équipotentielles

On appelle surfaces équipotentielles, les surfaces dont tous les points sont au même potentiel électrostatique. Dans le cas d'un champ électrostatique uniforme, ces surfaces sont des plans parallèles entre eux. Les lignes de champ, sont des courbes orthogonales en chacun de leurs points aux surfaces équipotentielles (figure)



D'après la relation : $V_A - V_B = \vec{E} \cdot \vec{AB}$

Si \vec{AB} est orthogonal à \vec{E} , $V_A - V_B$ est nul et $V_A = V_B$. Donc si on se déplace orthogonalement à \vec{E} , on reste sur une surface équipotentielle.

Pour le champ uniforme, les lignes de champ sont des droites orthogonales aux plans équipotentiels

3 - Energie potentielle d'une charge dans un champ

L'expression du travail de la force qui s'exerce sur une charge q placée dans un champ uniforme, s'écrit :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q(Ex_B - Ex_A)$$

Ce travail ne dépendant que du point de départ **A** et du point d'arrivée **B**, on définit l'énergie potentielle électrostatique d'une charge q placée en un point **M** d'abscisse x_M du champ par :

$$E_P(M) = -qE \cdot x_M + Cte$$

Cte : est une constante que l'on détermine à partir du choix arbitraire d'un état de référence 0 et de la valeur de l'énergie potentielle dans cet état.

En **A** : $E_P(A) = -qE \cdot x_A + Cte = qV_A + Cte$ et en **B** :

$$E_P(B) = -qE \cdot x_B + Cte = qV_B + Cte$$

$$\text{Et : } W_{AB}(\vec{F}_e) = E_P(A) - E_P(B) = -\Delta E_P$$

Le travail de la force électrostatique appliquée à une charge entre deux points est égal à la diminution de l'énergie entre les deux points.

On voit que l'énergie potentielle est définie à une constante additive près.

En fait seule la différence de deux énergies potentielles intervient. Le plus souvent, on pose : **Cte = 0**. D'où la valeur de l'énergie potentielle de la charge q placée au point où le potentiel

$$\text{est } V : E_P = qV \begin{cases} E_P \text{ en joules (J)} \\ q \text{ en coulombs (C)} \\ V \text{ en volts (V)} \end{cases}$$

4 - Conservation de l'énergie

Considérons une particule de masse m et de charge q qui se déplace dans un champ électrostatique. Négligeons le poids de la particule devant la force électrique $\vec{F}_e = q\vec{E}$.

Appliquons le théorème de l'énergie cinétique à la particule entre les instants t_1 et t_2 où elle se situe aux points **A** et **B**. $\Delta E_c = E_c(B) - E_c(A) = W_{AB}(\vec{F}_e)$

Or le travail est l'opposé de la variation d'énergie potentielle soit :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = E_p(A) - E_p(B)$$

$$E_c(B) - E_c(A) = E_p(A) - E_p(B)$$

$E_c(B) + E_p(B) = E_p(A) + E_c(A)$, on peut considérer que la somme $E_c + E_p$ représente l'énergie totale E_T de la particule : $E_T(B) = E_T(A)$.

L'énergie totale d'une particule chargée évoluant spontanément et sans frottement dans un champ électrostatique demeure constante. $E_T = \frac{1}{2}mv^2 + qV = Cte$

5 - L'électron- volt(ev), unité d'énergie

Lorsque la valeur de la charge totale q mise en mouvement est très faible, il est commode d'utiliser une unité d'énergie dont l'ordre de grandeur est mieux adapté que le joule, c'est l'électron- volt(ev).

l'électron- volt est égal à la valeur de l'énergie acquise par une charge élémentaire

($e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$) soumise à une différence de potentiel d'un volt. On a alors

$$W = q(V_A - V_B) = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 = 1,6 \cdot 10^{-19} J = 1eV$$

$$1 eV = 1,6 \cdot 10^{-19} j$$

Avec comme multiples :

$$1KeV = 10^3 eV ;$$

$$1 MeV = 10^6 eV ;$$

$$1 GeV = 10^9 eV$$

Application

Application 1

Quelle est, en MeV, l'énergie acquise par une particule α (ion He^{2+}) accélérée sous une d.d.p de 10^6V ?

Corrigé

Cette énergie acquise est égale au travail fourni à la particule α par le champ électrostatique accélérateur, soit $W = q \cdot U$.

D'où, avec $q = 2e$: $W = 2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 10^6\text{J} = 2 \cdot 10^6 \text{ eV}$.

L'énergie cinétique de la particule α a augmenté de 2 MeV.

Application 2

Un faisceau d'électrons pénètre entre deux plaques parallèles chargées. Il subit une déviation selon la trajectoire représentée sur la figure .

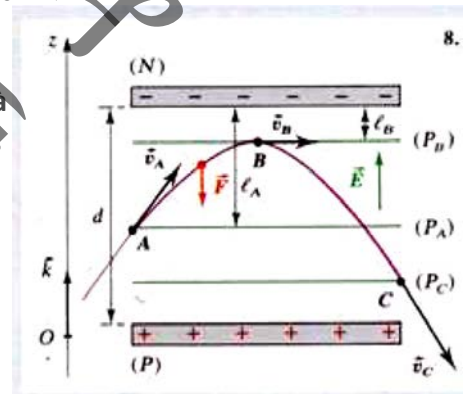
1) Peut-on expliquer simplement, par analogie, la forme de la trajectoire ?

2) Les points A, B et C de la trajectoire sont respectivement à $l_A = 16 \text{ mm}$, $l_B = 4 \text{ mm}$ et $l_C = 25 \text{ mm}$ de la plaque négative (N). La distance entre les plaques est $d = 30 \text{ mm}$ et la tension

$U_{PN} = U = 1000\text{V}$. La vitesse initiale des électrons est $V = 1,3 \cdot 10^7 \text{ m/s}$ et $m_e = 9,31 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

a) Calculer l'énergie totale de l'électron au cours de son mouvement entre les plaques. On admettra qu'il est soumis à la seule force électrostatique et on prendra $V_N = 0$.

b) En chacun des points B et C, calculer l'énergie potentielle électrostatique et l'énergie cinétique, exprimées en électron- volts.



Corrigé

1/ Orientons le dispositif à l'aide d'un axe (Oz) perpendiculaire aux plaques. L'électron est soumis à une force constante $\vec{F} = -eE\vec{k}$, puisque le champ est uniforme.

Lorsqu'on lance un projectile de masse m vers le haut, il est soumis à une force constante $\vec{F} = -mg\vec{k}$. Si sa vitesse initiale n'est pas verticale, la trajectoire a une forme parabolique.

Par analogie, on peut en déduire que la trajectoire de l'électron a, elle aussi, une forme parabolique.

2/ a) L'électron est soumis à la seule force d'origine électrostatique ; le système est conservatif, et $E_t = \text{Cte}$. Effectuons le calcul en A.

La plaque (N) est prise comme plaque de référence. L'énergie potentielle de l'électron ne dépend que de la différence de potentiel qui existe entre le plan équipotentiel (PA) passant par A et la plaque (N).

Or : $V_A - V_N = E.l_A$ D'où : $E_A - E_N = qE.l_A$ Il vient alors, avec $\varepsilon_{FN} = 0$

$$\text{et } E_{pA} = q \frac{U}{d} l_A$$

Soit, avec $q = -e = -1,6.10^{-19} C$: $E_{pA} = -533eV$

- L'énergie cinétique de l'électron en A vaut : $E_{cA} = \frac{1}{2} m_e V_A^2 = 8,79.10^{-17} J$

Soit, en électronvolts : $E_{cA} = \frac{8,79.10^{-17}}{1,6.10^{-19}} = 549eV$

- L'énergie totale de l'électron au cours de son mouvement est donc :

$$E_t = Cte = E_{cA} + E_{pA} = -533 + 549eV = 16eV .$$

2/ b) On a :

$$E_{pB} = -e \frac{U}{d} l_B = -133eV \quad \text{Et : } E_{CB} = E_t - E_{pB} = 149eV$$

On obtient de même : $E_{pC} = -e \frac{U}{d} l_C = -833eV$, $E_{CC} = E_t - E_{pC} = 849eV$

L'Essentiel

- Il existe deux espèces d'électricité et deux seulement :

-l'électricité positive

-l'électricité négative

- L'unité S.I. de charge électrique est le coulomb (C).
- Deux corps chargés d'électricité de même signe se repoussent
- Deux corps chargés d'électricité de signes contraires s'attirent
- Un champ électrostatique règne en une région de l'espace si, dans cette région, un corps électrisé est soumis à des actions d'origine électrostatique.
- On appelle vecteur-champ électrostatique en M, le vecteur défini par la relation : $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$.
- Le champ électrostatique est uniforme dans une région de l'espace si, en tout point de cette région, il conserve la même direction, le même sens et la même intensité.
- Dans une région où le champ électrostatique est uniforme les lignes de champ sont des droites parallèles.
- On obtient un champ électrique uniforme en appliquant une tension continue entre deux plaques planes et parallèles.
- Dans un champ électrostatique uniforme, le travail de la force électrostatique est indépendant du chemin suivi ; il ne dépend donc que du point de départ et du point d'arrivée. $W_{AB}(\vec{F}_e) = q\vec{E} \cdot \vec{AB} = qEAB \cos(\vec{E}, \vec{AB})$.
- Le travail de la force électrostatique exercée sur une charge q qui se déplace de A, où le potentiel est V_A , en B, où le potentiel est V_B est : $W_{AB}(\vec{F}_e) = q(V_A - V_B)$
- La quantité $(V_A - V_B)$ représente la différence de potentiel U_{AB} entre les points A et B : $(V_A - V_B) = U_{AB}$
- Le potentiel électrostatique en un point d'abscisse x d'un champ uniforme est : $V(x) = -E \cdot x + V_0$
- La différence de potentiel (d.d.p) entre deux points A et B d'une région de champ uniforme \vec{E} est : $V_A - V_B = q(x_A - x_B)$
- Le champ électrostatique entre deux points A et B distantes de d et soumis à une d.d.p. $V_A - V_B$ est :

- perpendiculaire aux plaques
- dirigé de la plaque positive vers la plaque négative.

- de valeur : $E = \frac{|V_A - V_B|}{d}$

- L'énergie potentielle d'une charge q en un point M d'abscisse x d'un champ uniforme est : $E_P(M) = -qE \cdot x_M + Cte$
- L'énergie totale d'une particule chargée évoluant spontanément et sans frottement dans un champ électrostatique demeure constante.
- $E_t = \frac{1}{2}mv^2 + qV = Cte$

المعهد
التربوي
الوطني

Exercices

Dans tous les exercices suivants, on prendra : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$.

Exercice 1

Quelle est la valeur du champ électrique créé par un proton à une distance de celui-ci égale à 10^{-10} m ?

Exercice 2

Une charge ponctuelle q crée un champ dont la valeur est 10 N/C à 1 cm de la charge.

a) Quelle est la valeur de q ?

b) Quel est le champ créé aux distances (en cm) égales à 2, 3, 4, 5 ? Représenter graphiquement la variation du champ en fonction de la distance à la charge q .

Exercice 3

Deux charges $+q$ sont situées en deux sommets opposés d'un carré de côté a . Le troisième sommet porte la charge $-q$. Quel est le champ électrique créé par ces trois charges au quatrième sommet du carré ?

Exercice 4

Aux sommets ABCD d'un carré de côté $a = 5 \text{ cm}$ sont placées les charges $+q, +q, +3q, +3q$ ($q = 1,0 \text{ nC}$). Déterminer les caractéristiques du vecteur champ électrique créé au centre du carré.

Exercice 5

- Lorsqu'une charge q passe d'un point N (où le potentiel est V_N) à un point M (où le potentiel est V_M), quelle est l'expression du travail de la force électrostatique ?

- Quelle est l'expression de l'énergie potentielle électrostatique d'une particule chargée dans un champ électrostatique ? Cette énergie dépend-elle d'un état de référence ?

- Donner l'expression de l'énergie mécanique totale d'une particule chargée placée dans un champ électrostatique.

- Que représente $q \cdot (V_A - V_B)$? Cette relation n'est-elle valable que pour un champ uniforme ?

- Quelle est en joules la valeur d'un méga-électron-volt (1 MeV).

Exercice 6

Dans un accélérateur de particules, un proton est soumis à une tension de 1MV entre son point d'émission et la sortie de l'accélérateur.

1/ Calculer le travail de la force électrostatique qui lui est appliquée. Ce travail peut-il être positif ou négatif ?

2/ Donner, en MeV, l'énergie acquise.

Exercice 7

Un électron passe d'un point A ($V_A = 10\text{V}$) à un point B ($V_B = 100\text{V}$)

1/ Calculer le travail de la force électrostatique qui lui est appliquée.

2/ Cet électron a initialement en A une vitesse de 105 m.s^{-1} . Quelle est sa vitesse en B ?

Exercice 8

Un proton se déplace d'un point A ($V_A = 10\text{V}$) à un point B ($V_B = 50\text{V}$). Sa vitesse en M est nulle.

1/ Quelle est l'énergie totale de cette particule ?

2/ En déduire son énergie cinétique en N, puis sa vitesse.

Données : $\alpha = \text{He}^{2+}$; $m_\alpha = 6,68 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. Donnée : $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Exercice 9

Un électron pénètre dans une région de l'espace où règne un champ électrostatique. Sa trajectoire passe par deux points A et B. En A, où le potentiel électrique est $V_A = 100V$, sa vitesse est $V_A = 5.10^6 \text{ m.s}^{-1}$.

Quel doit être le potentiel V_B au point B pour que l'électron arrive en B avec une vitesse nulle ? Peut-il atteindre un point C dont le potentiel serait égal à $V_C = 10V$? On donne $m_e = 9,1.10^{-31} \text{ kg}$.

Exercice 10

Un proton pénètre dans une région de l'espace où règne un champ électrostatique. Il passe en un point D de potentiel électrique $V_D = -500V$, avec une vitesse $V_D = 10^5 \text{ m.s}^{-1}$.

Peut-il atteindre un point C de potentiel $V_C = -100V$?

On donne : $m_p = 1,67.10^{-27} \text{ kg}$

Exercice 11

Dans un canon à électrons, un électron quitte le filament ; il est accéléré par un champ électrique créé entre deux plaques. Il passe d'un point K de potentiel électrique $V_K = -20V$ à un point C de potentiel électrique $V_C = 20V$.

1/ Calculer la variation d'énergie potentielle de l'électron lorsqu'il passe de K en C.

2/ Calculer le travail de la force électrique appliquée à l'électron entre K et C.

3/ Calculer sa variation d'énergie cinétique entre K et C

Exercice 12

Un générateur maintient une tension $U = 200V$ entre deux plaques conductrices parallèles situées dans le vide.

1/ Un électron quitte la plaque négative pour être capté par la plaque positive. Calculer le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur cet électron (en joules et en électronvolts).

2/ La distance séparant les plaques est $d = 2 \text{ cm}$. Caractériser le champ électrostatique en tout point de l'espace compris entre les plaques.

3/ On écarte les plaques, toujours parallèles, à $d' = 4 \text{ cm}$; la tension de $200V$ est maintenue. Reprendre les questions précédentes. Conclure.

4/ Les plaques sont déplacées de façon quelconque et ne sont plus parallèles. Peut-on toujours calculer simplement le travail de la force électrostatique qui s'exerce sur l'électron allant de la plaque positive à la plaque négative ?

Exercice 13

Soit un champ électrostatique uniforme d'intensité $200V.m^{-1}$, parallèle à un axe $x'Ox$ et dirigé suivant Ox . L'origine de l'énergie potentielle est le point O. Au point A, la différence de potentiel est :

$$V_A - V_O = -10V$$

1/ Donner l'abscisse du point A.

2/ Un proton H^+ est situé en A. Quelle est son énergie potentielle ? Quel est le travail de la force électrostatique si l'on déplace le proton en O ?

3/ Mêmes questions avec un électron initialement situé en A.

Exercice 14

Un proton de masse $m_p = 1,67.10^{-27} \text{ kg}$ est libre de se déplacer dans un champ électrostatique uniforme de norme $E = 200V.m^{-1}$. On le suppose soumis à la seule force électrostatique. En un point A, sa vitesse est nulle.

- 1/ Dans quel sens le proton va-t-il se déplacer ?
- 2/ Il parcourt une distance $AB = 2\text{cm}$ parallèlement à la direction du champ. Calculer sa variation d'énergie potentielle lorsqu'il passe de A en B.
- 3/ Quelle est sa vitesse au point B ?
- 4/ Quelle est alors la puissance de la force électrostatique en B ?
- 5/ Faire un schéma en représentant les vecteurs champ électrostatique \vec{E} , déplacement \vec{AB} et vitesse \vec{V} .

Exercice 15

On maintient une d.d.p de 1 000V entre deux plaques conductrices identiques, parallèles, distantes de 5cm. Une charge $q = 10^{-12}\text{C}$ se déplace entre les plaques d'un point A, situé à 1cm de la plaque positive, à un point B, situé à 2cm de la plaque négative.

- 1/ Calculer le champ électrostatique entre les deux plaques.
- 2/ Calculer la d.d.p $V_B - V_A = U_{BA}$.
- 3/ Calculer l'énergie potentielle de la charge q en A, puis en B, en prenant comme référence la plaque négative.
- 4/ Calculer le travail de la force électrostatique s'exerçant sur la charge q pour aller de A à B.

Exercice 16

Dans un tube de Crookes, un faisceau d'électrons est émis d'une cathode C, sans vitesse initiale. La tension entre l'anode A et la cathode C est $U_{AC} = 3\,000\text{V}$. Déterminer l'énergie cinétique (en eV) des électrons arrivant sur A, ainsi que leur vitesse.

Donnée : $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$.

Exercice 17

Soit $R(\vec{o}, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ un repère orthonormé associé à une région de l'espace. On crée un champ uniforme $\vec{E} = -E\vec{i}$ avec $E = 15 \cdot 10^3 \text{V/m}$

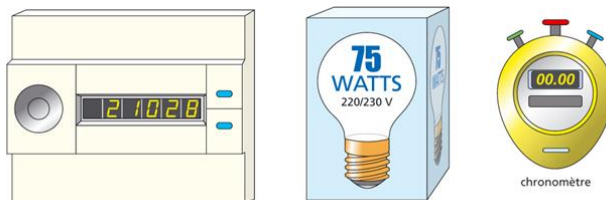
- 1/ En un point $M(x, y, z)$, on place une charge q ; déterminer son énergie potentielle. On prendra $E_p(\vec{0}) = 0$
- 2/ Un proton passe du point A(0, 1, 2) au point B(4, 1, 4) ; l'unité de longueur est le centimètre. Calculer sa variation d'énergie potentielle.
- 3/ En déduire le travail de la force électrostatique lorsque la particule passe de A à B. Le proton est-il freiné ou accéléré ?

Exercice 18

Soit $R(\vec{o}, \vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ un repère orthonormé associé à une région de l'espace. On crée un champ uniforme $\vec{E} = E\vec{k}$ avec $E = 005\text{V/m}$

- 1/ Calculer l'énergie potentielle d'un porteur de charge q en un point $M(x, y, z)$ de cette région. On prendra $E_p(\vec{0}) = 0$.
- 2/ Un ion Cl^- passe d'un point A(1, 1, 1) au point B(-4, 3, -1) ; calculer la variation d'énergie potentielle de cet ion. En déduire le travail d'énergie potentielle de cet ion. En déduire le travail de la force électrostatique au cours de ce déplacement. On exprimera les résultats en joules et en électronvolts. L'unité de longueur est le cm.
- 3/ L'ion Cl^- est-il freiné ou accéléré lorsqu'il passe de A à B ?

Puissance électrique dans une portion de circuit



$$E = P \cdot t$$

(J) (W) (s)
(Wh) (W) (h)

L'électricité, une énergie dont plus personne ne pourrait se passer.

OBJECTIFS

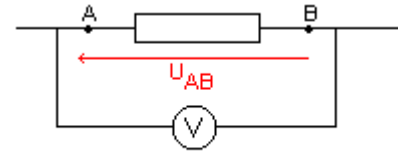
- Identifier un dipôle générateur dans un montage ou sur un schéma électrique.
- Réaliser le montage d'étude du dipôle générateur.
- Tracer la caractéristique $U = f(I)$ du dipôle générateur.
- Déterminer graphiquement la f.e.m. et la résistance interne du dipôle générateur.
- Appliquer la loi d'Ohm relative à un dipôle générateur
- Caractériser le générateur équivalent à une association de générateur en série et à une association en parallèle.
- Identifier un récepteur actif dans un montage ou sur un schéma électrique.
- Réaliser le montage d'étude d'un récepteur actif.
- Tracer la caractéristique $U = f(I)$ d'un récepteur actif
- Déterminer graphiquement les grandeurs caractérisant un récepteur actif.
- Appliquer la loi d'Ohm relative à un récepteur actif.
- Déterminer graphiquement le point de fonctionnement d'un circuit.
- Appliquer la loi de Pouillet pour la détermination de l'intensité du courant qui circule dans un circuit comportant des générateurs et des récepteurs montés en série.

I - Rappel

1) Circuit électrique en courant continu

a) La tension électrique

La tension électrique est une grandeur que l'on mesure à l'aide d'un voltmètre; elle s'exprime en volts (V). Le voltmètre se branche en dérivation. La tension électrique existant entre deux points A et B est notée U_{AB} .



Le voltmètre se branche en dérivation

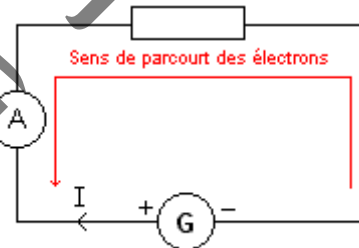
$$U_{AB} = V_A - V_B \text{ avec } \begin{cases} V_A : \text{Potentiel de A en volt (V)} \\ V_B : \text{Potentiel de B en volt (V)} \\ U_{AB} : \text{Tension électrique existant entre les points A et B en volt (V)} \end{cases}$$

Remarque: La tension électrique est une grandeur algébrique:

$$U_{AB} = V_A - V_B = -(V_B - V_A) = -U_{BA}$$

b) Intensité du courant électrique

L'intensité du courant électrique se mesure à l'aide d'un ampèremètre, elle s'exprime en ampères (A). L'ampèremètre se branche en série.



L'ampèremètre se branche en série

Le sens conventionnel du courant est celui du parcours du circuit, à l'extérieur du générateur, de la borne positive à la borne négative.

II) Conducteur ohmique

1) Expérience : la caractéristique tension-intensité d'un conducteur ohmique

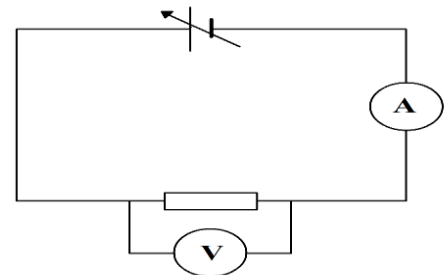
a) Matériel :

- Pile de 4,5V avec potentiomètre ou générateur variable
- Dipôle ohmique
- Voltmètre
- Ampèremètre
- Fils de connexions

b) Montage du circuit électrique

c) Manipulation

Faire varier l'intensité du courant I grâce au rhéostat, pour chaque valeur de I , mesurer U_{PN}



d) Résultats

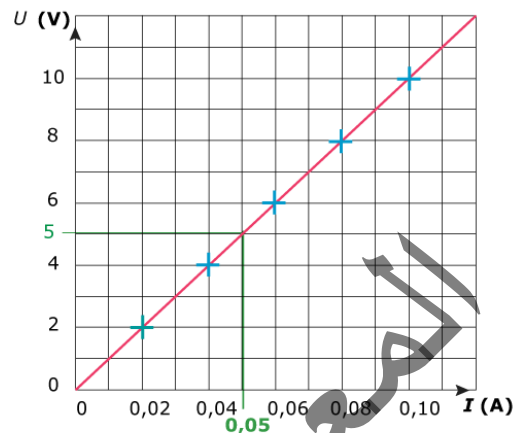
Tension (V)	0	2	4	6	8	10
Intensité (A)	0	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10

e) Tracé de la caractéristique $U = f(I)$.

c) Exploitation des mesures

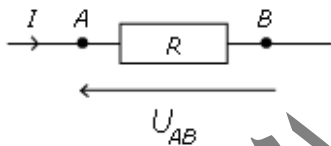
L'équation de cette droite est $U = a.I$. La grandeur a est égale au coefficient directeur de la droite moyenne tracée.

$$\frac{U}{I} = \frac{5}{0,05} = 100$$



f). Conclusion :

- Un conducteur ohmique est un dipôle qui transforme la totalité de l'énergie électrique en chaleur.
- La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse. Le coefficient de proportionnalité correspond à la résistance du conducteur ohmique.



$$U_{AB} = R.I \quad \text{avec} \quad \begin{cases} R : \text{résistance du conducteur ohmique en volt } (\Omega) \\ I : \text{Intensité du courant traversant le conducteur ohmique en ampères (A).} \\ U_{AB} : \text{Tension électrique existant aux bornes du conducteur ohmique en volt (V)} \end{cases}$$

2) Energie électrique mise en jeu dans un dipôle passif

a –Energie reçue par un dipôle passif

On considère le cas d'un dipôle passif branché entre deux bornes A et B dans un circuit électrique.

Si $U_{AB} > 0$, un courant I_{AB} circule de A vers B à travers le dipôle :

Dans un dipôle passif, le courant circule dans le sens des potentiels décroissants.

Pendant une durée de temps t , le dipôle est traversé par une charge électrique totale q . Si les porteurs de charge sont des électrons, alors : $q = n e$ avec $e = 1,6.10^{-19} \text{ C}$, charge élémentaire.

n désigne le nombre d'électrons qui, se dirigeant de B vers A , traversent le conducteur pendant la durée t .

Le travail des forces électrostatiques pour amener la charge q de A à B est :

$$W = q (V_A - V_B) = q U_{AB}$$

W représente l'énergie reçue par le dipôle ou l'énergie fournie par le circuit au dipôle.

Comme $q = I_{AB} t$ on peut aussi écrire : $W = U_{AB} I_{AB} t$

Pour simplifier, on pose : $U_{AB} = U$ et $I_{AB} = I$

L'unité d'énergie est le joule (J).

b - Puissance électrique reçue par un dipôle passif

La puissance électrique reçue par un dipôle représente l'énergie fournie par le circuit au dipôle

pendant une seconde. $P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t}$ on a :

$$P = U \cdot I \text{ avec } \begin{cases} P : \text{puissance en watts (W)} \\ U : \text{Tension en volts (V)} \\ I : \text{Intensité du courant en Ampères (A)} \end{cases}$$

Remarque L'unité de puissance est le watt (W).

Dans la pratique on exprime l'énergie électrique consommée en kWh (kilowatt heure) : c'est l'énergie consommée par un appareil de puissance 1000W (ou 1kW) fonctionnant pendant 1 h.

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

3) Cas des résistances électriques ; loi de Joule

a) *Expérience*

Matériel :

Un calorimètre (avec agitateur, thermomètre et résistance de 2Ω), un litre d'eau, une éprouvette avec graduation, un ampèremètre, un chronomètre, un interrupteur, une alimentation stabilisée de 6V et des fils électriques.

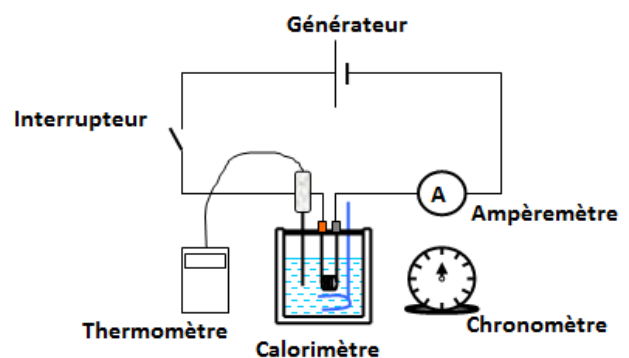
Manipulations :

Réaliser le montage ci-contre:

- Verser 500 mL d'eau dans le calorimètre (ce qui correspond à une masse $m = 500\text{g}$). Prendre la température initiale θ_0 une fois l'équilibre thermique atteint.
- Simultanément, fermer l'interrupteur pour laisser passer un courant I et démarrer le chronomètre.
- Au bout d'un temps t , ouvrir l'interrupteur et arrêter le chronomètre. Bien agiter et relever la valeur de la température θ .
- Recommencer la manipulation précédente plusieurs fois.
- Reporter les valeurs de I , θ et t dans un tableau.

Attention : t est la durée entre l'instant où la température est θ_0 et l'instant où elle est θ .

La capacité thermique C du calorimètre doit être connue c une valeur de l'ordre de 180 J.K^{-1} .



t (mn)	0	2	4	6	8	10	12
θ (°C)	26,2	26,8	27,4	27,9	28,5	29,1	29,6
$\Delta\theta$	X	0,6	1,2	1,7	2,3	2,9	3,4
Q (J)	X	1370	2740	3880	5240	6610	7750
W (J)	X	1270	2540	3810	5080	6350	7620

Calculer d'une part la valeur de $(mc + C)(\theta - \theta_0)$ et d'autre part la valeur de $R I^2 t$ pour chaque manipulation.

b) Interprétation

Au bout du temps t , le calorimètre reçoit une énergie : $Q = (mc + C)(\theta - \theta_0)$

Cette énergie est proportionnelle à l'augmentation de température $\theta - \theta_0$.

La résistance R traversée par le courant électrique d'intensité I reçoit une quantité d'énergie W (dipôle passif) de la part du circuit électrique :

$$W = U I t \quad \text{avec} \quad U = R I \quad W = R I^2 t$$

Les résultats de l'expérience montre que : $Q = W$ ou $(mc + C)(\theta - \theta_0) = R I^2 t$

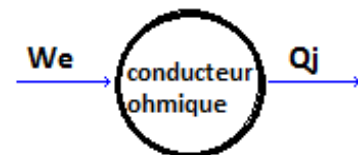
c) Conclusion

Toute l'énergie électrique reçue par le dipôle R est convertie en chaleur par effet Joule.

d) Loi de Joule:

On appelle effet Joule l'effet thermique associé au passage du courant électrique dans un conducteur.

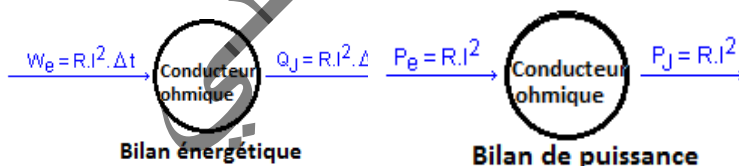
Un conducteur ohmique est un dipôle passif. Toute l'énergie électrique qu'il reçoit est transformée en énergie thermique par effet Joule.



On en déduit que:

$$W_e = Q_j \quad \text{or} \quad W_e = U_{AB} \cdot I \cdot t \quad \text{et} \quad U_{AB} = R \cdot I \quad \text{donc} \quad W_e = R \cdot I^2 \cdot t$$

Remarque: Il est évident que $P_e = P_j = R \cdot I^2$ (P_j : puissance consommée par effet Joule).



e) Application de l'effet joule

Les applications de l'effet Joule sont multiples. Certaines sont utiles, d'autres nuisent au fonctionnement des circuits.

Parmi les effets utiles, citons:	Parmi les effets nuisibles, citons:
<ul style="list-style-type: none"> Le chauffage électrique L'éclairage par incandescence. Le disjoncteur thermique. Le fusible. 	<ul style="list-style-type: none"> L'échauffement des circuits électriques. Les pertes en lignes.

II. Générateur

1) Caractéristiques

Pour caractériser un composant électrique (dipôle), on trace sa caractéristique $U = f(I)$ c'est-à-dire la courbe représentant les variations de la tension U à ses bornes en fonction des variations de l'intensité I du courant qui le traverse.

a) Matériel :

1 pile de 1,5V (on branche en série avec la pile un conducteur ohmique de résistance $R = 100 \Omega$ pour éviter qu'elle débite trop de courant et s'use trop vite)

2 multimètres

1 rhéostat (500Ω),

1 interrupteur

5 fils de connexions

b) Montage

Câblons le générateur à étudier en série avec un interrupteur, un ampèremètre et une résistance réglable. Un voltmètre relié aux bornes du générateur indique la tension délivrée.

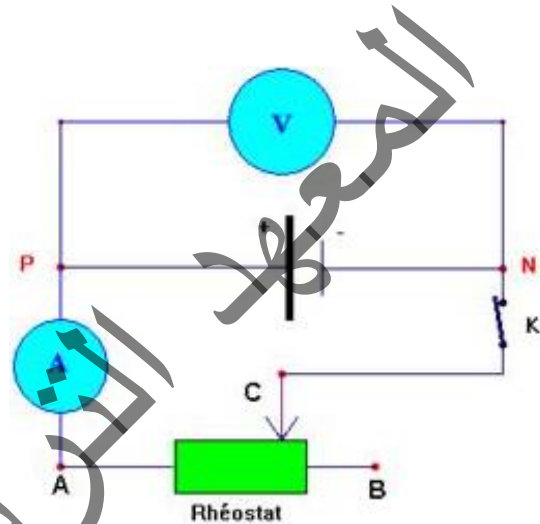
c) Manipulation

Faire varier l'intensité du courant I grâce au rhéostat, pour chaque valeur de I , mesurer U_{PN} la première mesure étant faite interrupteur ouvert.

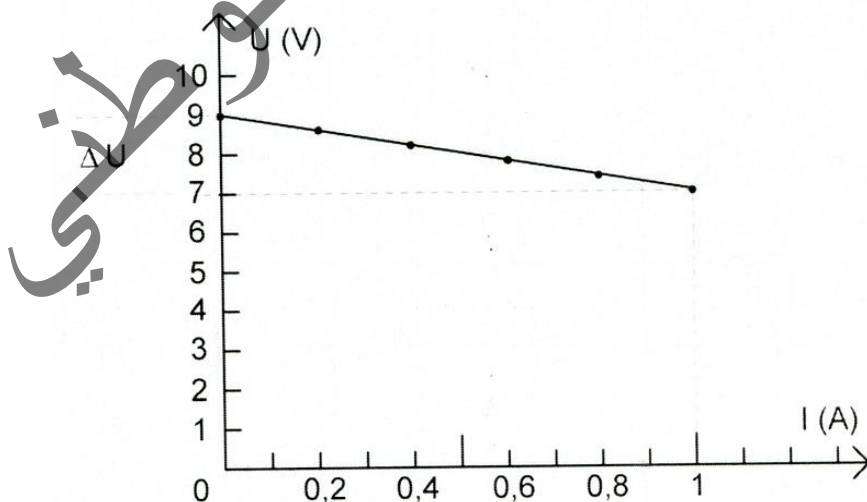
d) Résultats

Les mesures sont portées dans le tableau ci-dessous :

$I(A)$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$U(V)$	9	8,6	8,2	7,8	7,4	7



e) Tracé de la caractéristique $U = f(I)$.



f) Exploitation des mesures

L'équation de cette droite $U_{PN} = aI + b$

Détermination du coefficient a et de la valeur b

La grandeur a est égale au coefficient directeur de la droite moyenne tracée.

La tension U diminue lorsque l'intensité I débitée augmente. La perte de tension ΔU est proportionnelle à I

En se référant au graphe pour $I=1A$ on trouve $U=7V$ et pour $I=0$ $U=9V$ d'où $a = \frac{7-9}{1-0} = -\frac{2}{1} = -2$

Cette grandeur représente l'opposée de la résistance interne r de la pile ou générateur : $r = -a = 2\Omega$
 La grandeur b est l'ordonnée à l'origine de la droite moyenne tracée. Pour $I=0$ on trouve $U=9V$; cette valeur particulière est appelée la tension à vide ou la force électromotrice (f.e.m) du générateur notée E .

On en déduit que les paramètres du générateur étudié sont : $r \approx 2\Omega$ et $E = 9. V$

e) Conclusion :

Un générateur électrique est un appareil capable de fournir de l'énergie à un circuit. Il reçoit lui-même cette énergie sous forme mécanique, chimique, lumineuse, ...etc, et la restitue en énergie électrique.

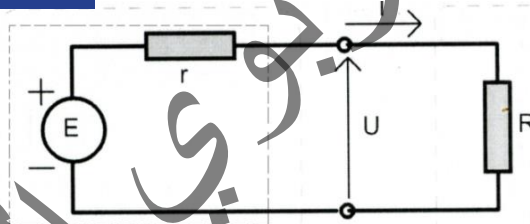
La caractéristique est une portion de droite qui ne passe pas par l'origine d'équation :

$$U = E - r \cdot I$$

Loi d'Ohm pour un générateur :



2) Application de la loi d'Ohm



R est la résistance équivalente du circuit extérieur purement résistif (par exemple les phares d'une voiture). La loi des mailles et la loi d'Ohm permettent d'écrire :

$$U = E - r \cdot I \text{ et } U = R \cdot I \text{ d'où } I = \frac{E}{R + r}$$

3) Bilan de puissance

$U = E - r \cdot I$ en multipliant par I ; on trouve $U \cdot I = E \cdot I - r \cdot I^2 \Rightarrow E \cdot I = U \cdot I + r \cdot I^2$

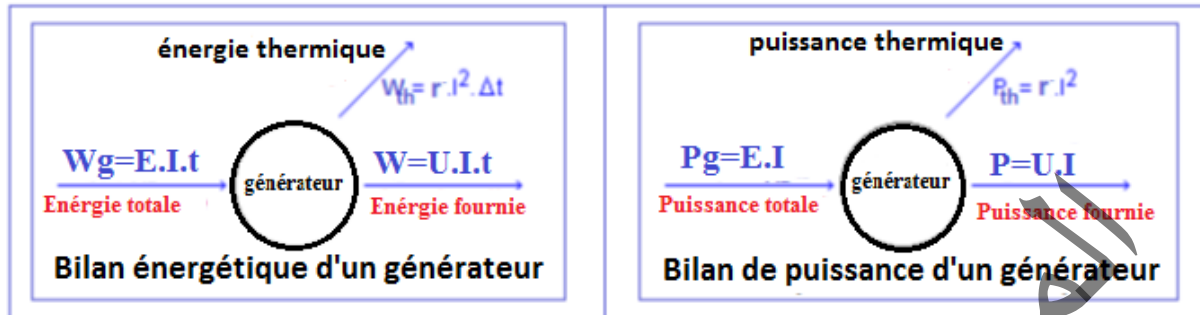
- $P = U_{PN} \cdot I$ Puissance fournie par le générateur au reste du circuit.
- $P_g = E \cdot I$ Puissance électrique totale disponible.
- $P_j = r \cdot I^2$ Puissance électrique dissipée par effet joule

4) Rendement d'un générateur

Le rendement d'un générateur est défini comme suit

$$\rho = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance totale}} = \frac{U \cdot I}{E \cdot I} = \frac{U}{E}$$

5) Les bilans



6) Groupement de générateurs identiques

6.1 Groupement en série

Le pôle "plus" d'un générateur est relié au pôle "moins" de son voisin.

La loi des mailles permet d'écrire : $U = E_1 - r_1 I + E_2 - r_2 I + E_3 - r_3 I$

$U = (E_1 + E_2 + E_3) - (r_1 + r_2 + r_3) \times I = E - r I$ avec

$E = E_1 + E_2 + E_3$ et $r = r_1 + r_2 + r_3$

Le groupement en série de plusieurs générateurs est équivalent à un générateur unique ayant pour f.e.m la somme des f.e.m et pour résistance interne la somme des résistances internes.

6.2 Groupement en parallèle

Cette association de générateurs implique qu'ils ont tous des caractéristiques strictement identiques :

$E_1 = E_2 = \dots = E_n$ et $r_1 = r_2 = \dots = r_n$

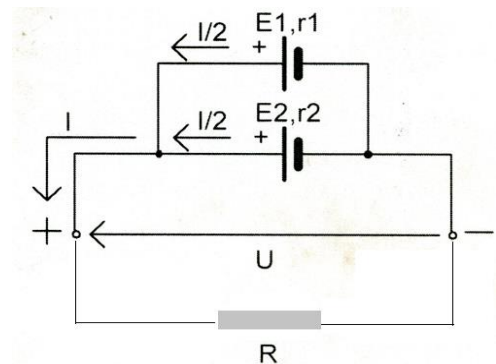
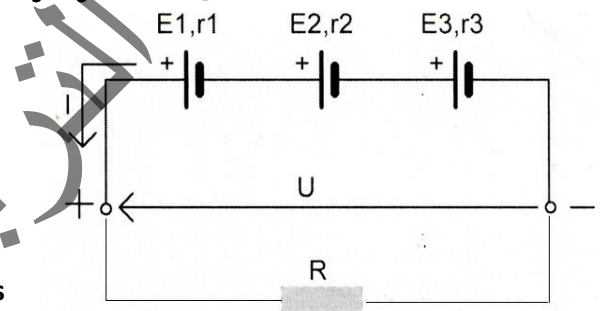
Exemple avec 2 générateurs

$$U = E_1 - \frac{r_1 \cdot I}{2} = E_2 - \frac{r_2 \cdot I}{2} = E - r \cdot I$$

par identification : $E = E_1 = E_2$ et $r = \frac{r_1}{2} = \frac{r_2}{2}$

De cet exemple on peut tirer le résultat général suivant :

Le groupement en parallèle de n générateurs identiques est équivalent à un générateur unique, dont la f.e.m E est égale à la f.e.m de chaque générateur et dont la résistance interne r est n fois plus petite que celle de l'un d'eux.

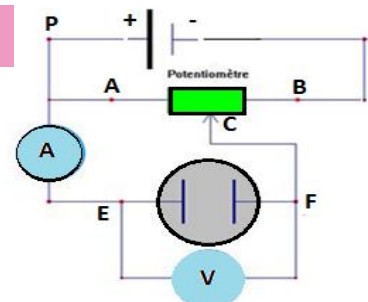


II . Récepteur

1) Caractéristique d'un récepteur

a) Matériel :

1 générateur, 1 pile (on branche en série avec la pile un conducteur ohmique de résistance $R = 100 \Omega$ pour éviter qu'elle



débite trop de courant et s'use trop vite)

2 multimètres, 1 rhéostat (500 Ω),

1 interrupteur, Récepteur

b) Montage

Réaliser le montage ci-contre :

c) Manipulation

Faire varier l'intensité du courant I grâce au rhéostat, pour chaque valeur de I , mesurer U_{EF} la première mesure étant faite interrupteur ouvert.

d) Résultat

Les mesures sont portées dans le tableau ci-dessous :

I(A)	6	6,4	6,8	7,2	7,6	8
U(V)	0	0.5	1	1.5	2	2.5

e) Représentation graphique $U=f(I)$

f) Exploitation des mesures

L'équation de cette droite $U = a \cdot I + b$

Détermination du coefficient a et de la valeur b

La grandeur a est égale au coefficient directeur de la droite moyenne tracée.

En se référant au graphe pour $I=2.5A$ on trouve $U=8V$

et pour $I=0$ on trouve $U=6V$ d'où $a = \frac{8-6}{2.5-0} = 0,8$

Cette grandeur représente la résistance interne r' du récepteur : $r = a = 0,8\Omega$

La grandeur b est l'ordonnée à l'origine de la droite moyenne tracée. Pour $I=0$ on trouve $U=6V$; cette valeur particulière est appelée la tension à vide ou la force contre électromotrice (f.c.e.m) du récepteur notée E' .

On en déduit que les paramètres du récepteur étudié sont : $r' \approx 0,8\Omega$ et $E' = 6. V$

g) Conclusion

La caractéristique d'un récepteur est une portion de droite qui ne passe pas par l'origine d'équation : $U = r' \cdot I + E'$

• E' est la valeur de la tension minimale à donner au récepteur pour qu'il fonctionne normalement. Cette constante est appelée force contre électromotrice (f.c.é.m) du dipôle récepteur actif.

• r' est la résistance interne du récepteur.

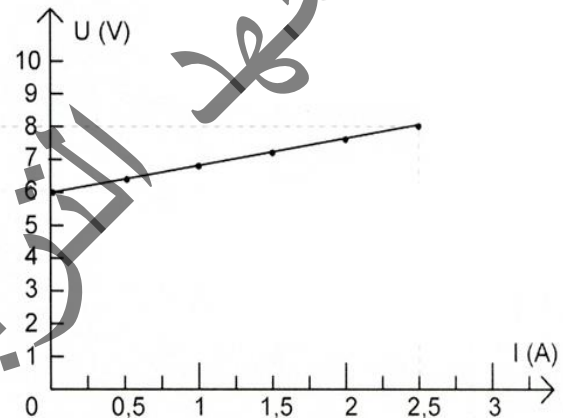
Un récepteur est un appareil qui absorbe de l'énergie électrique et la restitue sous une autre forme (mécanique, chimique, lumineuse, ...etc).

Exemple : Electrolytiques qui transforment l'énergie électrique en énergie chimique.

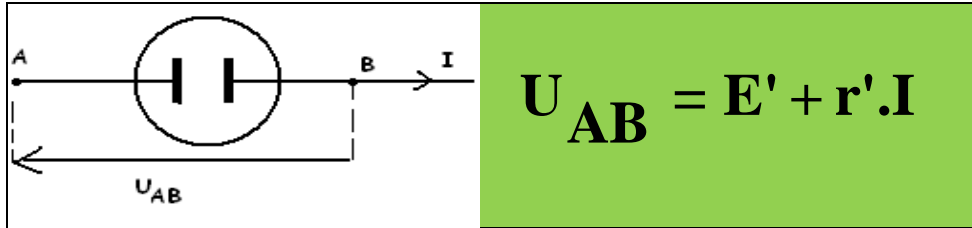
Les moteurs qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique.

Un récepteur est dit passif si toute l'énergie qu'il reçoit est convertie en énergie thermique (conducteur ohmique par exemple).

Un récepteur est dit actif s'il convertit une partie de l'énergie électrique qu'il reçoit en une autre forme d'énergie que l'énergie thermique.



Convention d'orientation d'un récepteur :



U_{AB} : Tension aux bornes du récepteur en (V)

E' : Force contre- électromotrice en (V)

r' : Résistance interne du récepteur en (Ω)

I : Intensité du courant qui traverse le récepteur (A)

2) Puissances

$U = E' + r'I$ en multipliant par I , on trouve $U.I = E'.I + r'.I^2 \Leftrightarrow P_r = P_u + P_{th}$

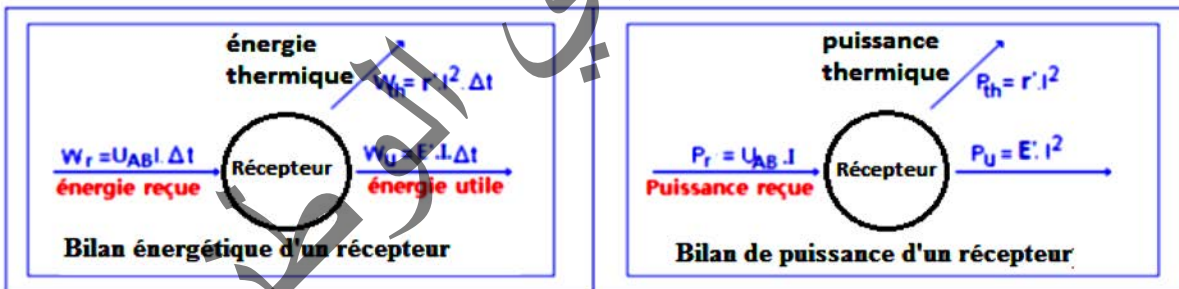
- $P_r = U \cdot I$ Puissance reçue par le récepteur.
- $P_u = E' \cdot I$ Puissance utile.
- $P_j = r' \cdot I^2$ Puissance dissipée par effet joule.

3) Rendement d'un récepteur

Le rendement d'un récepteur est défini comme suit :

$$\eta = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance totale reçue}} = \frac{E'.I}{U.I} = \frac{E'}{U}$$

4) Les bilans

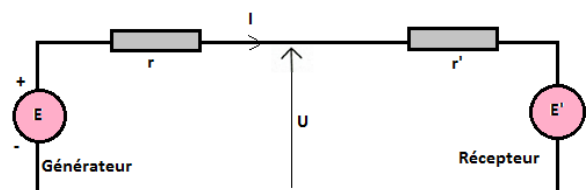


5) Loi de Pouillet

L'intensité I du courant dans un circuit série est donnée par la relation

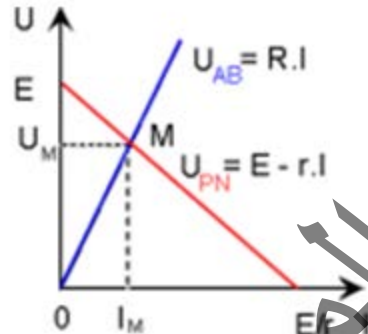
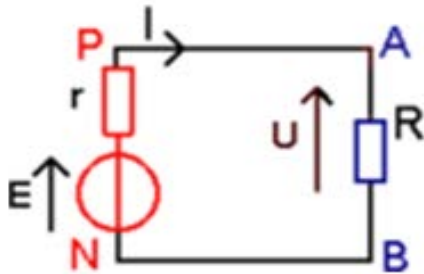
$$U_{\text{générateur}} = U_{\text{récepteur}} \Leftrightarrow E - r.I = E' + r'.I \Rightarrow I = \frac{E - E'}{r + r'}$$

$$\text{On en déduit : } I = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum r}$$



III. Point de fonctionnement d'un circuit

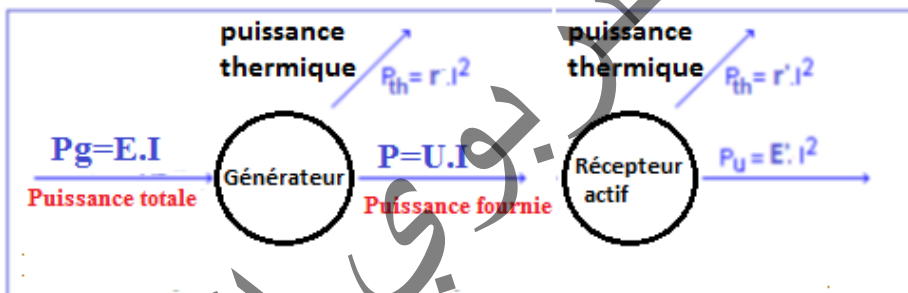
Le branchement d'un dipôle passif aux bornes d'un dipôle actif forme un circuit électrique. Les deux dipôles associés étant donnés, on n'obtient qu'un seul état de fonctionnement possible du circuit caractérisé par le couple de valeurs commun (I,U) appelé point de fonctionnement du circuit.



IV. Rendement global d'un circuit simple

Le rendement global de circuit est défini comme le rapport de l'énergie utile du circuit par

l'énergie totale (du générateur). $\eta = \frac{E'}{E}$



Application

Application (1)

L'étude expérimentale d'un générateur a donné les résultats consignés dans le tableau ci-dessous :

I (A)	0	2	4	6	8	10
U (V)	12	11,9	11,8	11,7	11,6	11,5

- Tracer sa caractéristique (U en fonction de I).
- Déterminer sa f.e.m E et sa résistance interne r.
- Calculer la tension U à ses bornes lorsqu'il débite un courant d'intensité $I = 6,5$ A.
- Quelle est la valeur de la résistance équivalente du circuit extérieur qui lui permettrait de fournir un maximum de puissance ?
- Calculer la puissance maximale qu'il pourrait fournir.

Application (2) :

Un générateur (E,r) avec $E=4,5$ V et $r=1,5$ Ω , alimente un conducteur ohmique de résistance R.

- Quelle doit être la valeur de R pour que la puissance libérée par effet Joule dans le conducteur ohmique soit maximale ?
- Quelle est l'expression de cette puissance ? Quelles sont alors l'intensité du courant, la puissance libérée par effet Joule dans le générateur, la tension à ses bornes ?

Application (3) :

Un générateur de f.e.m 24 V et de résistance interne 1 Ω est en série avec un moteur de résistance interne 5 Ω . Quelle est l'intensité du courant du circuit ?

- Lorsque le moteur est bloqué ?
- Lorsque le moteur fournit une puissance de 24 w ?

Corrigé

Application (1)

a)

I(A)	0	2	4	6	8	10
V(v)	12	11,9	11,8	11,7	11,6	11,5

b)

Pour $I = 0$ on a $U = 12$ V donc $E = 12$ V

$$r = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0,5V}{10A} = 0,05 \Omega$$

Calcul de U :

$$c) U = E - r \times I = 12 - 0,05 \times 6,5 = 11,675 \text{ V.}$$

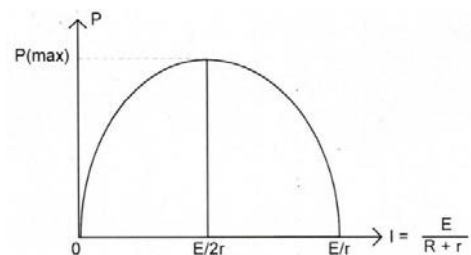
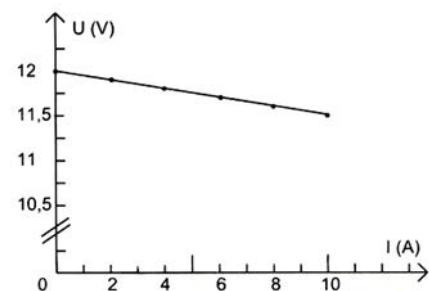
d) Valeur de la résistance pour une puissance maximale fournie par un générateur

$$P = U \cdot I = (E - r \cdot I) \cdot I = E \cdot I - r \cdot I^2 ;$$

On représentera la courbe P en fonction de I :

$$P = E \cdot I - r \cdot I^2 = 0 ; \text{ Elle s'annule pour } I = 0 \text{ et } I = \frac{E}{R}$$

Elle est maximale $\frac{dP}{dI} = 0$ ce qui donne



$$E - 2rI = 0 \Rightarrow I = \frac{E}{2r}$$

La courbe représentant la puissance P en fonction du courant I est une parabole. La puissance est maximale pour $2rI = E$ et comme $E = (R + r)I$ on peut écrire $E = (R + r)I = 2rI \Leftrightarrow R = r$

La puissance délivrée est maximale lorsque la résistance de charge R est égale à la résistance interne r du générateur : $R = r = 0,05 \Omega$

e) Dans ce cas le courant est égal à : $I = \frac{E}{R+r} = \frac{12}{0,05+0,05} = 120 \text{ A}$.

Le générateur délivre alors une puissance de : $P = R \times I^2 = 0,05 \times (120)^2 = 720 \text{ W}$.

On peut également calculer P par $P = UI = (12 - (0,05 \times 120)) \times 120 = 720 \text{ W}$.

Application (2) :

1) Le bilan énergétique s'écrit

$$E \cdot I = r \cdot I^2 + P_J \quad \text{Avec } P_J = RI^2, \text{ Puissance consommée par le conducteur ohmique}$$

$$\text{d'où } E \cdot I = r \cdot I^2 + RI^2 \Rightarrow I = \frac{E}{r+R} \text{ donc } P_J = RI^2 = E^2 \cdot \frac{R}{(r+R)^2}$$

Pour obtenir le maximum de cette fonction P de R , dérivons P par rapport à R :

$$P' = E^2 \cdot \left[\frac{1(r+R)^2 - R \cdot 2 \cdot (r+R)}{(r+R)^4} \right] \text{ Cherchons la valeur de } R \text{ qui annule la dérivée. On en}$$

déduit l'équation résolvante, R étant l'inconnue

$$(r+R)^2 - 2R(r+R) = 0 \Rightarrow r^2 + R^2 + 2rR - 2rR - 2R^2 = 0 \text{ d'où } r = R = 1\Omega$$

2) Le générateur fournit le maximum de puissance au circuit qu'il alimente lorsque la résistance de ce circuit est égale à sa résistance interne. La puissance P fournie vaut :

$$P = E^2 \cdot \frac{r}{(2r)^2} = \frac{E^2}{4r} = 5 \text{ w} ; \text{ L'intensité du courant est } I = \frac{E}{2r} = 2,25 \text{ A}$$

La puissance libérée par effet Joule dans le générateur s'exprime par $P_J = r \cdot I^2$ et, comme $r = R$, elle

est égale à celle fournie par le conducteur ohmique, soit : $\frac{E^2}{4 \cdot r}$; La tension aux bornes du

générateur est : $U = E - r \cdot I$

$$\text{Soit : } U = E - r \cdot \frac{E}{2r} = \frac{E}{2} = 2,25 \text{ V}$$

Application (3) :

a) Lorsque le moteur est bloqué, la puissance mécanique $E' \cdot I$ est nulle. Le bilan de puissance dans le circuit s'écrit :

$$E \cdot I = r \cdot I^2 + r' \cdot I^2 + E' \cdot I \Rightarrow I = \frac{E - E'}{r + r'} \quad \text{AN : } I = 4 \text{ A}$$

b) Lorsque le moteur tourne, le bilan de puissance s'écrit :

$$E \cdot I' = rI'^2 + r' \cdot I'^2 + E' \cdot I' \Rightarrow I' = \frac{E - E'}{r + r'} \quad \text{An : } I' = 2 \text{ A}$$

L'Essentiel

- La tension aux bornes d'un conducteur ohmique est proportionnelle à l'intensité du courant qui le traverse: $U_{AB} = R.I$.
- L'énergie reçue par le dipôle ou l'énergie fournie par le circuit au dipôle : $W=UIt$
- On appelle effet Joule l'effet thermique associé au passage du courant électrique dans un conducteur.
- Toute l'énergie électrique qu'il reçoit est transformée en énergie thermique par effet Joule :

$$W_e = Q_j = R.I^2.t$$

- Un générateur électrique est un appareil capable de fournir de l'énergie à un circuit.
- Loi d'Ohm pour un générateur : $U_{PN} = E - r.I$
- Puissance fournie par le générateur au reste du circuit : $P = U_{PN}.I$
- Puissance électrique totale disponible : $P_g = E.I$.
- Puissance électrique dissipée par effet joule : $P_j = r.I^2$.
- Le rendement d'un générateur est défini comme suit : $\rho = \frac{U}{E}$
- Groupement de générateurs identiques en série : $E = E_1 + E_2 + E_3$ et $r = r_1 + r_2 + r_3$
- Groupement de générateurs identiques en parallèle : $E = E_1 = E_2$ et $r = \frac{r_1}{2} = \frac{r_2}{2}$
- Un récepteur est un appareil qui absorbe de l'énergie électrique et la restitue sous une autre forme (mécanique, chimique, lumineuse, ...etc).
- Loi d'Ohm pour un récepteur : $U_{AB} = E' + r'.I$
- Puissance reçue par le récepteur : $P_r = U . I$
- Puissance utile : $P_u = E'.I$
- Puissance dissipée par effet joule : $P_j = r'.I^2$
- Le rendement d'un récepteur est défini comme suit : $r = \frac{E'}{U}$
- Loi de Pouillet : L'intensité I du courant dans un circuit série est donnée par la relation : $I = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum r}$
- Le rendement global de circuit est défini comme le rapport de l'énergie utile du circuit par l'énergie totale (du générateur). $r = \frac{E'}{E}$

Exercices

Exercice 1

Un récepteur de **1200 W** a un rendement de **65%**.

- 1). Représenter le schéma de bilan de puissance de ce récepteur.
- 2) Calculer les puissances utile et thermique
- 3). Calculer l'énergie perdue si le récepteur fonctionne **2 min**.

Exercice 2

Un générateur (**$E = 6 \text{ V}$ et $r = 4$**) est branché aux bornes d'une résistance de valeur **$R = 50 \Omega$**

- 1). Faire le schéma du montage.
- 2). Représenter le sens du courant électrique et le sens de déplacement des électrons.
- 3). Déterminer graphiquement les coordonnées du point de fonctionnement de ce montage.

Exercice 3

Un générateur ($E = 6 \text{ V}$ et $r = 4$) est branché aux bornes d'une résistance de valeur $R = 50$.

- a. Faire le schéma du montage.
- b. Représenter le sens du courant électrique et le sens de déplacement des électrons.
- c. Déterminer graphiquement les coordonnées du point de fonctionnement de ce montage.
- d. En déduire la valeur de la puissance dissipée par effet Joule dans la résistance.

Exercice 4

Un four à micro ondes de 1200 W a un rendement de 65% . Pour élever la température de 1 mL d'eau de 1°C il faut fournir une énergie de $4,18 \text{ J}$.

- a. Représenter le schéma de conversion d'énergie de ce four.
- b. Calculer l'énergie perdue si le four fonctionne 2 min .
- c. Déterminer la durée minimale nécessaire pour faire bouillir 500 mL d'eau initialement à 20°C .

Exercice 5

Un générateur électrique convertit de l'énergie, autre qu'électrique, en énergie électrique. Ainsi une pile convertit de l'énergie chimique en énergie électrique.

1) Le générateur (PN) étudié obéit bien à la loi d'Ohm : $U_{PN} = E - r I$

On a tracé le graphe associé à cette relation. Ce graphe est représenté par une droite.

1.1) Déterminer la force électromotrice E de la pile (générateur PN).

1.2) Calculer la résistance interne r du générateur (PN).

2) Le rhéostat est maintenant réglé pour obtenir un courant électrique d'intensité $I = 0,300 \text{ A}$

2.1) Calculer la puissance électrique

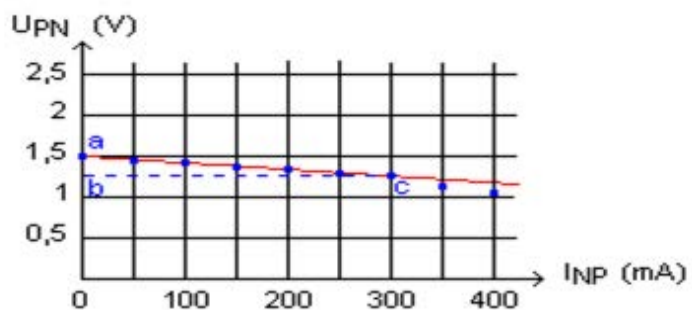
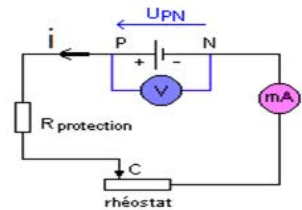
consommée par le circuit électrique extérieur au générateur (partie PCN).

PCN).

2.2) Calculer la puissance électrique

consommée par la résistance

interne r du générateur.



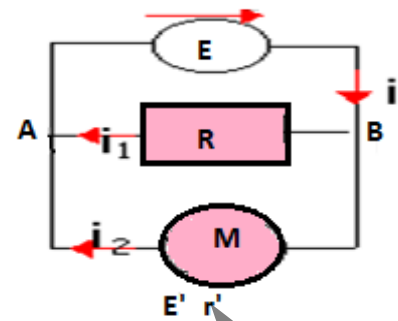
2.3) Le générateur (PN) est une pile qui transforme de l'énergie chimique en énergie électrique. Calculer la puissance chimique transformée en puissance électrique dans la pile (PN).

Exercice 6

Soit le circuit électrique ci-contre :

$E=20V$; $R=200\Omega$ $E'=16V$ $r'=10\Omega$

- 1) Quelle est valeur de la tension U_{AB} ?
- 2) Que vaut l'intensité i_1 ?
- 3) Que vaut l'intensité i ?
- 4) Quelle est la puissance fournie par le générateur ?
- 5) Quel est le rendement du moteur ?



Exercice 7 :

On utilise une batterie d'accumulateurs pour alimenter une veilleuse dont les caractéristiques sont (5Ω ; $12V$). La résistance interne de la batterie est $r = 120$ mohm, sa f.é.m $E = 12V$ et sa capacité est $Q = 35Ah$. On suppose que la valeur de E reste constante tant que la batterie délivre un courant électrique.

- 1) Calculer la résistance de la lampe, puis calculer l'intensité qui traverse la batterie en fonctionnement.
- 2) Calculer la durée de l'éclairage de la veilleuse.
- 3) La batterie complètement déchargée est mise en charge par l'intermédiaire d'un chargeur maintenant une tension $U' = 13,9V$ à ses bornes. La f.c.é.m de la batterie est alors $E' = 13,2V$.

Calculer l'intensité I' du courant électrique passant dans la batterie.
Calculer la puissance électrique P' consommée au cours de cette charge.

Réponses : 1) $R=28,8\Omega$; $I=4,15A$; 2) $t=84H$; 3) $I'=5,8A$; $P=80,6W$

Exercice 8 :

Un générateur de force électromotrice $E=6V$ et de résistance interne $r=1\Omega$ alimente un moteur de force contre-électromotrice $E'=4V$ et de résistance interne $r'=2\Omega$.

- 1) Après avoir fait le bilan énergétique du circuit, en déduire l'intensité du courant.
- 2) Que devient cette intensité si l'on bloque le moteur ?
- 3) Quelle est l'intensité du courant obtenu en mettant le générateur en court-circuit ?

Exercice 9:

Durant une électrolyse réalisée dans une enceinte thermiquement isolée, la température de l'électrolyte s'est élevée de $1,5^\circ C$ en 10 minutes. La capacité calorifique de l'électrolyte et du calorimètre est $\mu=500J.K^{-1}$. L'intensité du courant vaut $1A$.

- 1) Quelle est la puissance en Joule apparue dans l'électrolyseur ?
- 2) Quelle est la résistance interne de l'électrolyseur ?
- 3) Quelle est la force contre électromotrice sachant que son rendement est de 80%.
- 4) Le rendement global du circuit est de 0,56. Déterminer la force électromotrice et la résistance interne du générateur.

Exercice 10 :

On associe en série une batterie d'accumulateurs G ($E=12V$; $r=1\Omega$), un moteur M (E' ; r') et un conducteur ohmique de résistance $R=3,2\Omega$.

- 1) Faire le schéma du circuit électrique.
- 2) Faire le schéma énergétique du montage :
 - a) Le moteur étant libre.
 - b) Le moteur étant bloqué.

3) Lorsque le moteur est bloqué, l'intensité passant dans le circuit est de 2,5A. Lorsque le moteur est libre, l'intensité est de 0,6A. Déterminer la force contre-électromotrice E' et la résistance interne r' du moteur.

4) Calculer les rendements, lorsque le moteur est libre :

a) de la batterie d'accumulateurs.

b) du moteur.

c) de l'ensemble du circuit électrique (c'est-à-dire le rapport entre l'énergie mécanique fournie par le moteur et l'énergie chimique consommée dans la batterie).

5) Le moteur est destiné à faire monter une charge de masse $m=200\text{g}$ sur un plan incliné sans frottement faisant un angle de 30° avec l'horizontale. Le rendement des transmissions est de 60%. A quelle vitesse constante cette masse se déplace-t-elle si l'intensité du courant dans le moteur est 0,6A ? $g=9,8\text{N/Kg}$.

Exercice 11

Un générateur de fém E et de résistance interne r est relié à un récepteur de fém E' et de résistance r' .

1.) Donner l'expression de la tension aux bornes du générateur en fonction de E , r et I .

2.) Donner l'expression de la tension aux bornes du récepteur en fonction de E' , r' et de l'intensité I du courant qui le traverse. En déduire l'expression de I en fonction de E , E' , r et r' .

3.) On se place dans le cas où $E'=0$:

a) Comment se comporte alors le récepteur ?

b) Donner l'expression de la puissance P_j dissipée par effet joule dans le récepteur en fonction de E , r et r' .

c) Donner l'expression de la puissance P_g générée par le générateur.

d) En déduire l'expression du rendement global du circuit, appelé encore rendement du transfert de puissance. Pour quelle relation entre r et r' ce rendement est-il proche de 1 ?

e) La puissance P_j est maximale lorsque $r = r'$. Donner dans ce cas l'expression de P_j , P_g et la valeur du rendement du transfert de puissance.

4.) Supposons que E' soit différent de zéro :

a) Donner l'expression de P_g en fonction de E , E' , r et r' .

b) Donner l'expression de la puissance utile P_u convertie par le récepteur.

c) En déduire le rendement du transfert de puissance du circuit. Pour quelle condition entre E et E' ce rendement est-il proche de 1 ?

d) La puissance P_u passe pour un maximum pour : $E' = E/2$. Quelle est alors la valeur du rendement correspondant au transfert de puissance ?

Exercice 12

1. Une maquette pédagogique destinée aux travaux pratiques d'électricité permet d'associer en série une lampe (6V/100mA) et un conducteur ohmique constitué par une des deux résistances "1 watt" fournies ($R_1=22\ \Omega$ et $R_2=47\ \Omega$), ou l'association en dérivation des deux réunies.

L'alimentation doit être faite par un générateur non fourni.

On désire associer la lampe en série avec les deux conducteurs ohmiques montés en dérivation.

a) Schématiser le circuit électrique correspondant.

b) Quelle est la résistance équivalente de circuit lorsque la lampe est en fonctionnement nominal ?

c) Quelle doit être la valeur de la tension aux bornes du générateur utilisé pour obtenir le fonctionnement de la lampe dans les conditions nominales.

d) L'intensité du courant circulant dans les résistances est elle alors adaptée? Justifier la réponse.

2) Puissance électrique maximale fournie par un générateur.

Le but de cet exercice est d'étudier comment évolue la puissance électrique fournie par un générateur en fonction de l'intensité du courant qui circule dans le circuit. On considère un générateur électrochimique de force électromotrice $E=8,0V$ et de résistance $r=4\Omega$

- Rappeler les expressions de la puissance totale convertie par le générateur et de la puissance liée aux effets thermiques.

- Exprimer la puissance électrique P_{el} du générateur en fonction de ses caractéristiques et de l'intensité I du courant.

- Déterminer les valeurs de l'intensité pour lesquelles la puissance électrique fournie est nulle. Justifier physiquement l'existence de ces deux intensités.

- Pour quelle valeur de l'intensité la puissance électrique du générateur est-elle maximale? En déduire l'allure de la courbe $P_{el}=f(I)$

Exercice 13

Considère le circuit électrique ci-contre :

Afin de ne pas perturber le fonctionnement du circuit, l'ampèremètre doit être très peu résistant et le voltmètre très résistant.

Le générateur réglable PN permet de faire varier l'intensité I du courant lancé dans le circuit.

Le courant lancé par le générateur passe dans le fil PA puis dans la résistance AB, puis dans l'ampèremètre BN. On a $I_{PA} = I_{AB} = I_{BN} = I_{NP}$

Le voltmètre étant très résistant par rapport à la résistance R, le courant passe pratiquement totalement dans R.

Le graphe donnant U_{AB} en fonction de I_{AB} a été construit à partir des mesures suivantes :

U_{AB} (V)	1	2	3	4	5	6
I_{AB} (A)	1,2	2,5	3,8	5	6,2	7,4

On règle maintenant le générateur PN afin que la tension aux bornes du conducteur ohmique reste égale à $5,0 V$ ($U_{AB} = + 5,0 V$).

1- L'ampèremètre indique alors constamment $I_{AB} = 6,3 A$.

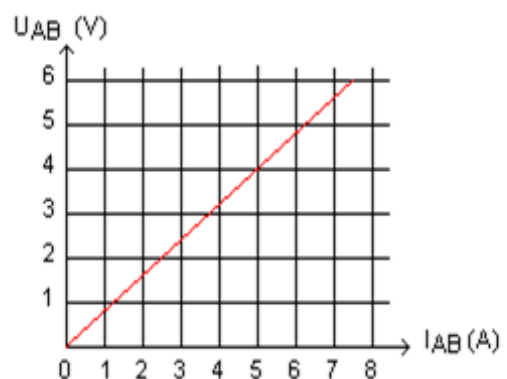
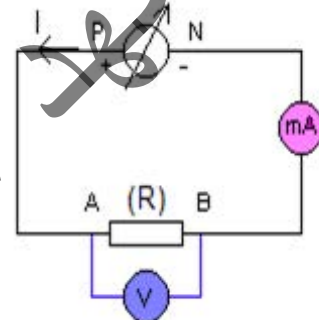
En appliquant la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique calculer la résistance R_{AB} du conducteur ohmique.

2- Calculer la puissance électrique reçue par le conducteur ohmique.

3- Calculer l'énergie électrique reçue par AB en 20 min. Que devient cette énergie ?

4- Le voltmètre doit être très résistant. Pourquoi ?

5- L'ampèremètre doit être très peu résistant. Pourquoi ?



Condensateur



OBJECTIFS

- Expliquer la charge et la décharge d'un condensateur
- Savoir calculer la capacité d'un condensateur
- Savoir calculer la capacité équivalente des condensateurs associés en série et en dérivation
- Savoir calculer l'énergie emmagasinée dans un condensateur

I - Mise en évidence

1 - Expériences

Matériel :

-Electroscope-Bâton d'ébonite-Morceau de tissu-Disque

Manipulation 1

a- Déroulement:

-Frottons le bâton d'ébonite avec un morceau de tissu.

-Posons le bâton frotté sur le disque 1

Un électroscope est chargé négativement au moyen d'un bâton d'ébonite frotté avec un morceau de tissu(fourrure...)

b- Observation :

La tige et l'aiguille se repoussent L'aiguille dévie d'un angle α .

c- Interprétation :

Des charges identiques se répartissent sur la tige et l'aiguille, cette dernière dévie d'un angle α .

Manipulation 2:

a- Déroulement:

On rapproche très près du disque 1 un disque 2 métallique relié à la terre

b- Observation:

l'angle α diminue

c- Interprétation :

En approchant le disque 2 initialement neutre du disque 1, la charge négative du disque 1 repousse vers la terre quelques électrons du disque 2 : le disque 2 se charge positivement par influence.

La charge positive du disque 2 attire des électrons supplémentaires du disque 1 qui lui, repousse davantage de charges négatives du disque 2 vers la terre.

Finalement le disque 1 est fortement chargé négativement et le disque 2 est fortement chargé positivement.

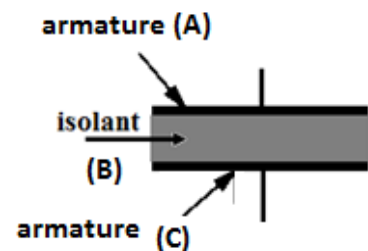
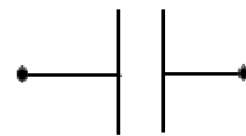
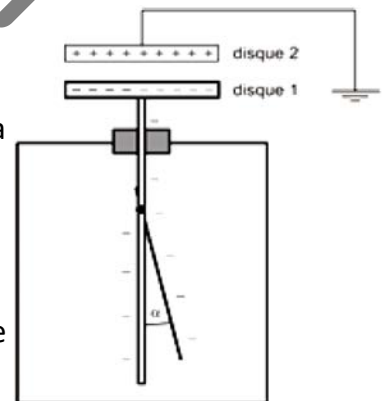
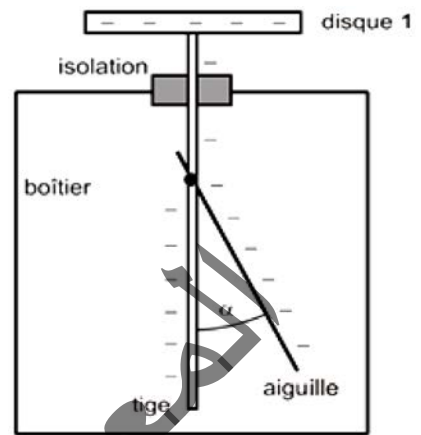
Les charges positives et négatives des deux disques sont d'ailleurs égales en valeur absolue

Conclusion :

Grâce à la présence du disque 2, une quantité de charge plus importante s'accumule sur le disque 1 (et donc aussi sur le disque 2), l'assemblage des deux disques avec l'isolant entre eux est appelé condensateur.

2 - Définition

On appelle condensateur l'ensemble de deux surfaces conductrices ou armatures, séparées par un isolant ayant une permittivité (ou constante diélectrique) donnée.



3 - Description

D'une manière générale, la constitution d'un condensateur est semblable quel que soit le type. Un condensateur est composé de deux électrodes ou armatures conductrices d'une surface déterminée, placées en regard et séparées par une distance.

Cette dernière est définie par un isolant qui garantit l'isolation entre les deux plaques et porte le nom de diélectrique.

Ce diélectrique d'épaisseur constante doit être de superficie égale à celles des armatures métalliques du condensateur.

La composition d'un condensateur : l'armature supérieure «A», le diélectrique «B» et l'armature inférieure «C».

Le diélectrique :

Le diélectrique est un matériau isolant qui sépare les deux armatures. Il doit avoir une bonne rigidité diélectrique. Autrement dit, il doit offrir une bonne résistance à la perforation ou supporter des tensions très élevées.

Un bon diélectrique permettra de rapprocher les armatures pour obtenir des capacités élevées. Le diélectrique peut être du type gazeux (air), liquide (huile ou électrolyte) ou solide (papier, mica, céramique, polyester).

Les divers types de diélectriques donnent lieu à différentes familles de condensateurs.

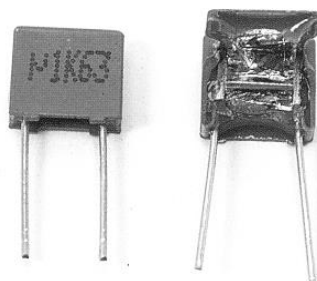
Quelques valeurs de la constante diélectrique relative ϵ_r

Substance	Permittivité relative
air(sec)	1,0006
Papier	3,7
Verre	4-6
Paraffine	2,2
Huile d'olive	3

4 - Exemples de condensateurs

a- Condensateur à film plastique

Les condensateurs qui utilisent un film plastique en guise de diélectrique sont largement répandus et très économiques :



Les diélectriques les plus courants sont le polyester, le polycarbonate, le polystyrène, le téflon, le styroflex,...

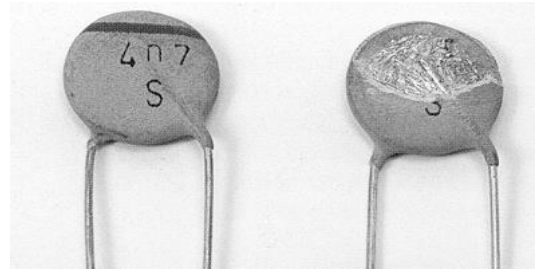
Ce genre de condensateur est constitué de fines lames d'aluminium entrecroisées ou enroulées sur des lames de plastique.

N'ayant pas de polarité, l'une et l'autre de ses bornes peuvent être indifféremment connectées au pôle positif.

b- Condensateur céramique

Cette famille de condensateurs est largement utilisée. Elle englobe des modèles bon marché et des modèles de grande précision et stabilité.

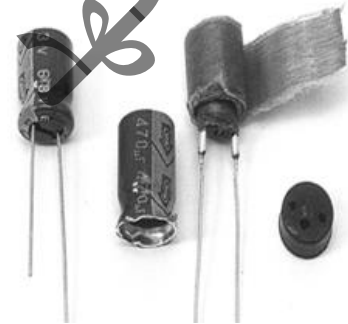
On retiendra particulièrement ceux du type NPO, à savoir des condensateurs à coefficient de température zéro. Autrement dit, leur capacité ne varie pas en présence de grands écarts thermiques. Ils sont utilisés dans des circuits où la stabilité de la capacité constitue un paramètre fondamental. Ils sont formés d'une fine couche métallique, d'aluminium ou d'argent, appliquée sur un élément de céramique. Ils ne sont pas polarisés



c- Condensateur électrolytique

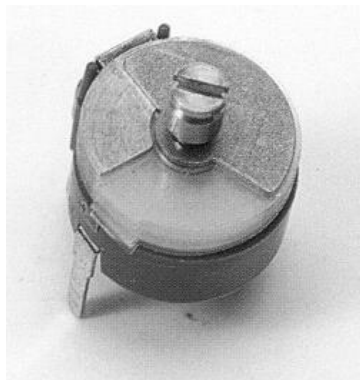
Ces condensateurs sont polarisés, c'est à dire qu'ils ont un pôle positif et un pôle négatif, dont il faudra tenir compte au moment de les connecter à un circuit électrique. Dans ce cas, la polarité est marquée sur le corps du condensateur afin d'éviter toute erreur, car toute inversion pourrait le détruire, voire le faire exploser.

A l'origine, le condensateur est formé par un enroulement entre deux couches d'aluminium d'un matériau imprégné d'électrolyte.



d- Condensateur à air ou ajustable

Ce type de composants constituent des condensateurs ajustables de quelques dizaines de pF au maximum et servent de condensateurs d'accord sur les récepteurs radios analogiques. Réglés au maximum, leur capacité ne dépasse pas 200pF.



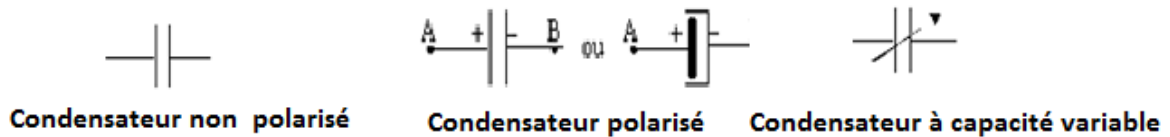
5 - Application pratique

Le condensateur est utilisé dans tout genre de circuit électronique.

Sa première raison d'utilisation est d'emmagasiner temporairement des charges électriques et donc de l'énergie électrique.

De plus, les condensateurs jouent un rôle important dans les circuits de synchronisation électronique (radio, TV), dans les filtres électroniques de fréquences et dans les circuits de transmission de signaux.

6- Symbole de différents types de condensateur



II - Condensateur plan

1 - Constitution

Les condensateurs plans se présentent sous différentes formes. Le plus commun est formé par deux feuilles d'aluminium séparées par une feuille de diélectrique (papier, mica,...), le tout enroulé en un petit cylindre et scellé.

2 - Charge et décharge d'un condensateur : étude expérimentale

Matériel

- L'interrupteur **K** a deux positions (position 1 et position 2).
- **A** est un ampèremètre très sensible
- **V** voltmètre
- Condensateur
- Générateur variable Générateur de courant continu
- Fils de connexions

Manipulation1 : Charge du condensateur

-Réalisons le montage ci-contre

Le générateur de courant délivre une tension constante U .

-A l'instant $t = 0$ s, on bascule l'interrupteur sur la position 1

Observation :

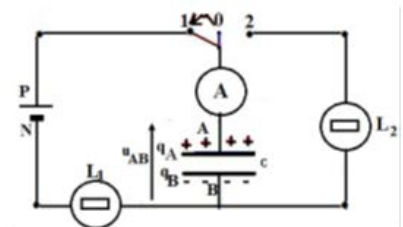
- Un courant dont l'intensité décroît rapidement apparaît.
- La lampe L_1 s'allume et le condensateur se charge.

Interprétation :

Au cours de la charge, l'armature **A** se charge positivement. Elle présente un déficit d'électrons $q_A > 0$. L'armature **B** se charge négativement. Elle présente un excès d'électrons : $q_B < 0$. $q_A = -q_B$ à chaque instant.

-La quantité $q_A = -q_B$ représente la charge du condensateur, c'est une grandeur positive. Elle s'exprime en Coulomb C , on l'appelle aussi quantité d'électricité emmagasinée.

-Une tension u_{AB} apparaît entre les plaques **A** et **B** lorsque le condensateur se charge.



-Lorsque le condensateur est chargé, la valeur de l'intensité s'annule et la tension u_{AB} prend sa valeur maximale

Manipulation 2 : Décharge du condensateur

On bascule l'interrupteur sur la position 2

Observation :

Quand on bascule l'interrupteur sur la position 2 un courant dont l'intensité décroît rapidement circule dans le sens opposé. La lampe L_2 s'allume pendant un court instant.

Interprétation :

Au cours de la décharge, le condensateur se comporte comme un générateur et donne un courant électrique pendant un court instant.

Conclusion :

Un condensateur relié à un générateur se charge. Une fois chargé le condensateur se comporte comme un générateur et se décharge

3- Charge et intensité

Le but est de rechercher la relation qui existe entre l'intensité du courant et les charges portées par les armatures.

- Considérons que le condensateur porte la charge q_A à l'instant t et que pendant l'intervalle de temps dt , le courant circule dans le sens indiqué par la flèche.

Pendant la durée très courte dt , la charge varie de $dq_A = q_A(t + dt) - q_A(t)$ Le courant circule dans le sens arbitraire choisi :

- Considérons que le courant circule dans le sens inverse du sens indiqué par la flèche. Pendant la durée très courte dt , la charge varie de dq_A .

Le courant circule dans le sens inverse du sens arbitraire choisi

Par définition : L'intensité du courant dans un fil conducteur correspond au débit de charges transportées : On écrit que $I = \frac{dq_A}{dt}$

Remarque : Cette relation découle de la relation suivante $Q = I \cdot \Delta t$ valable pour le courant continu

4) Relation entre la charge Q d'un condensateur et sa capacité C

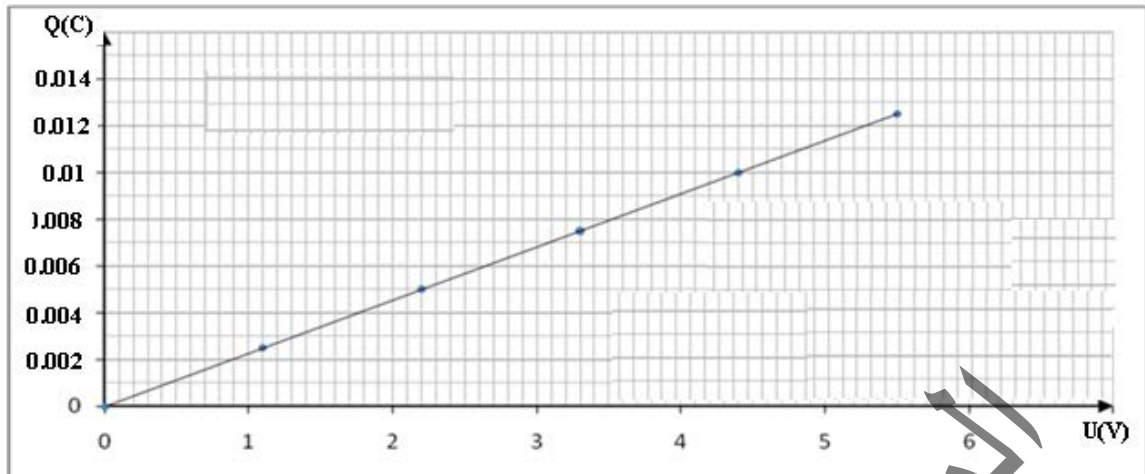
Expérience

On charge un condensateur avec un générateur de courant constant et on relève les valeurs de tension à ses bornes au cours du temps.

L'intensité du courant est fixée à $I = 0,5 \text{ mA}$.

t(s)	5	10	15	20	25
U_C (v)	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5
$Q=I \times t$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	$12,5 \cdot 10^{-3}$

Exploitation des résultats : Courbe $Q = f(U)$



Interprétations

La courbe obtenue est une droite passant par l'origine.

La charge Q d'un condensateur est donc une fonction linéaire de la tension à ses bornes,

$$\text{d'où : } Q = k \times \Delta U \quad k = \frac{\Delta Q}{\Delta U} \quad \text{AN : } k = \frac{(10 - 5) \cdot 10^{-3}}{(4,4 - 2,2)} = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ SI}$$

La pente k de la droite est caractéristique du condensateur. Elle ne dépend ni de la durée de charge ni de la tension appliquée entre les armatures.

Conclusion

La charge de l'armature positive d'un condensateur est proportionnelle à chaque instant à la tension à ses bornes.

Le facteur de proportionnalité noté C est appelé capacité du condensateur.

$$Q_A = C \cdot U_{AB} \Rightarrow C = \frac{Q_A}{U_{AB}}$$

Unité : La capacité s'exprime en Farad (F).

Si $Q = 1 \text{ C}$ et $U = 1 \text{ V}$, alors $C = 1 \text{ F}$. Une capacité de 1 F étant extrêmement grande, on utilise les sous-multiples du farad :

Le microfarad : $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$

Le nanofarad : $1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F}$

Le picofarad : $1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$

5 - Capacité d'un condensateur plan

En étudiant la charge Q_A en fonction de U_{AB} on constate que le rapport reste constant quel que soit la tension. Cette constante dépend uniquement du condensateur ; on l'appelle capacité C du condensateur. On constate que la capacité d'un condensateur mesure son aptitude à emmagasiner (ou stocker) des charges électriques sur ses armatures.

La capacité d'un condensateur est déterminée par : $C = \frac{Q}{U_{AB}}$

La capacité s'exprime en farad notée F.

Par sa construction mécanique, la capacité d'un condensateur est déterminée par :

$$C = \epsilon \frac{S}{e} \begin{cases} S : \text{Surface des armatures} \\ e : \text{épaisseur du diélectrique (distance entre les armatures)} \\ \epsilon : \text{nature du diélectrique (permittivité absolue)} \end{cases}$$

• Si le diélectrique est le vide on a : $C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$ avec $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9} = 8,84 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$

• Pour un diélectrique quelconque $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$

ϵ_0 : Constante diélectrique ou permittivité du vide

ϵ_r : Permittivité relative du diélectrique

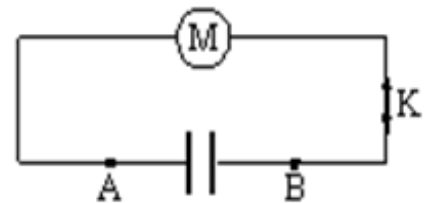
Remarque

Sur un condensateur, il est toujours indiqué la valeur de la capacité et la tension maximale d'usage appelée tension de rupture ou de claquage.

III- Energie emmagasinée dans un condensateur

1 - Mise en évidence expérimentale

Lorsqu'on ferme l'interrupteur K, le moteur se met en marche. Il reçoit donc de l'énergie provenant du condensateur initialement chargé : Un condensateur chargé emmagasine de l'énergie



2 - Expression de l'énergie emmagasinée dans un condensateur

Lors de la décharge, il y a dissipation d'énergie par effet Joule dans le circuit. Cette énergie provient du condensateur, dans lequel elle est emmagasinée. Un condensateur de capacité C chargé sous la tension U emmagasine l'énergie électrique

L'énergie stockée dans un condensateur chargé de capacité C et décharge Q est donnée par l'expression:

$$\text{Joule (J)} \leftarrow W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \rightarrow \begin{matrix} \text{Coulomb (C)} \\ \text{Farad (F)} \end{matrix}$$

Comme $Q = C \cdot U \Rightarrow W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$

- W : énergie en joule
- C : capacité en farad F
- Q : charge du condensateur en coulomb C
- U : tension aux bornes du condensateur en volt V

VI - Association de condensateurs

1- Association en série

$$\text{On a } U_{AB} = U_{AM} + U_{MB} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$$

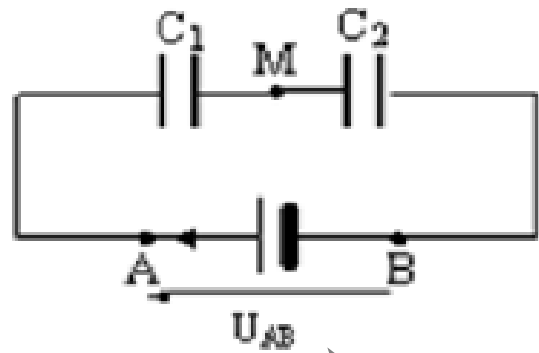
Dans un circuit série Q est constante \Rightarrow
d'où $Q_1 = Q_2$

$$\Rightarrow U_{AB} = Q_1 \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

Le condensateur équivalent ($C_{\text{éq}}$) porte la charge Q : $U_{AB} = \frac{Q}{C_{\text{éq}}}$

$$\text{Comme } Q = Q_1 = \frac{1}{C_{\text{éq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \text{ soit } C_{\text{éq}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Pour n condensateurs en série, on a : $\frac{1}{C_{\text{éq}}} = \sum_i^n \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$



2- Association en parallèle

$$\text{On a } Q_1 = C_1 U_{AB} \text{ et } Q_2 = C_2 U_{AB}$$

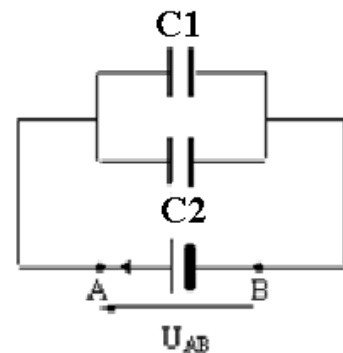
Le condensateur équivalent ($C_{\text{éq}}$) porte la charge Q telle que :

$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1 U_{AB} + C_2 U_{AB} = (C_1 + C_2) U_{AB}$$

$$\text{Or } Q = C_{\text{éq}} U_{AB} \Rightarrow C_{\text{éq}} = C_1 + C_2$$

Pour n condensateurs en dérivation, on a :

$$C_{\text{éq}} = \sum_i^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



Applications

Application 1

Calculer la capacité totale de:

- a) 3 condensateurs en série: $10\mu\text{F}$, $10\mu\text{F}$ et $22\mu\text{F}$;
- b) 4 condensateurs en parallèle: 10pF , 10pF , 33pF et 33pF ;
- c) 2 condensateurs en parallèle (100pF et 220pF) placés en série avec un 3^{ème} de 220pF .

Corrigé :

$$\text{a) } \frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{22} \quad \Rightarrow C_{\text{eq}} = 4,07 \mu\text{F}$$

$$\text{b) } C_{\text{eq}} = 10 + 10 + 33 + 33 \quad \Rightarrow C_{\text{eq}} = 86\text{pF}$$

$$\text{c) } \frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{100 + 220} + \frac{1}{220} \quad \Rightarrow C_{\text{eq}} = 130 \mu\text{F}$$

Application 2

Un condensateur de $100\mu\text{F}$ est chargé sous une tension de 30V .

- a) Quelle est la quantité d'électricité emmagasinée ?
- b) Quelle est l'énergie électrique emmagasinée ?

Corrigé :

$$\text{a) } Q = C.U = 100.30 = 3000\mu\text{C} = 3\text{mC}$$

$$\text{b) } W = C. \frac{U^2}{2} = 0,045 \text{ J}$$

Application 3

Un condensateur de $47\mu\text{F}$ et un autre de $33\mu\text{F}$ supportent la même tension maximale soit 25V . On les branche en série puis en parallèle. Calculer dans chaque cas:

- a) La capacité équivalente.
- b) La tension maximale que peut supporter le groupement.
- c) L'énergie emmagasinée par le groupement lorsqu'il est chargé sous la tension maximale.

Application

- a) $\frac{1}{C_{\text{éq}}} = \frac{1}{47} + \frac{1}{33} \Rightarrow C_{\text{éq}} = 19,4 \mu\text{F}$
- b) $U_{\text{max}} = U_{1\text{max}} + U_{2\text{max}} = 25 + 25 = 50 \text{ V}$
- c) $W = C \cdot \frac{U_{\text{max}}^2}{2} = 0,024 \text{ J}$

Branchement en parallèle :

- a) $C_{\text{éq}} = 47 + 33 = 80 \mu\text{F}$
- b) $U_{\text{max}} = U_{1\text{max}} = U_{2\text{max}} = 25 \text{ V}$
- c) $W = C \cdot \frac{U_{\text{max}}^2}{2} = 0,025 \text{ J}$

Corrigé

Application 4 :

1. Un condensateur de capacité $C=2\mu\text{F}$ est chargé sous une tension $U_0 = 1000\text{V}$ puis isolé.

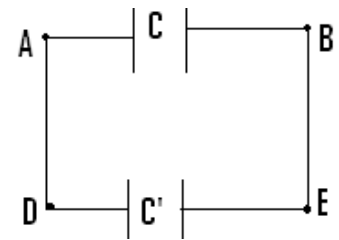
Calculer :

- a. La charge Q_0 du condensateur.
- b. L'énergie emmagasinée par le condensateur.

2. On branche alors ce condensateur chargé aux bornes d'un deuxième condensateur de capacité $C'=0,5\mu\text{F}$ initialement déchargé (voir figure).

Calculer :

- a. La tension U aux bornes des condensateurs associés à l'équilibre.
- b. La charge Q et Q' de chaque condensateur à l'équilibre.



Corrigé

Solution:

1.

- a. $Q_0 = CU_0$ AN : $Q_0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ C}$
- b. $W_{\text{elec}} = \frac{1}{2} Q_0 U_0$ AN : $W_{\text{elec}} = 1 \text{ J}$

2.

- a. Pour le condensateur de capacité C : $Q = CU$
 Pour le condensateur de capacité C' : $Q' = C'U$
- b. La charge initiale Q_0 se répartit entre les condensateurs : $Q_0 = Q + Q'$
 $CU_0 = CU + C'U$
 $U = \frac{CU_0}{C + C'}$ AN: $U = 800 \text{ V}$
- b- $Q = CU$ AN : $Q = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ C}$
 $Q' = C'U$ AN : $Q' = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ C}$

Capacité d'un condensateur. $Q_A = C \cdot U_{AB} \Rightarrow C = \frac{Q_A}{U_{AB}}$

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

L'énergie emmagasinée dans un condensateur :

Un condensateur de capacité C chargée sous la tension U emmagasine l'énergie :

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad W = \frac{1}{2} CU^2$$

q : charge du condensateur

W : énergie en joule J

C : capacité en farad F

Capacité équivalente ($C_{\text{éq}}$):

En série

$$\frac{1}{C_{\text{éq}}} = \sum_i^n \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

En dérivation

$$C_{\text{éq}} = \sum_i^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

EXERCICES

Exercice 1

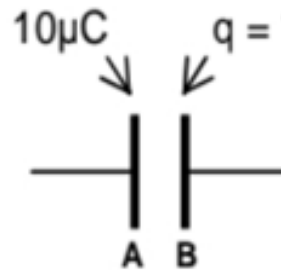
Choisir et justifier la (ou les) bonne(s) réponse(s) pour les questions ci-dessous:

1. L'espace situé entre les armatures d'un condensateur est :

- conducteur
- isolant
- semi-conducteur

2. La valeur de la charge q accumulée sur l'armature **B** du condensateur ci-contre est :

- $10\mu\text{C}$
- $-10\mu\text{C}$
- $0\mu\text{C}$



3. Deux condensateurs $C_1 = 47\mu\text{F}$ et $C_2 = 100\mu\text{F}$ (initialement déchargés)

ont associés en série et l'ensemble est soumis à une tension.

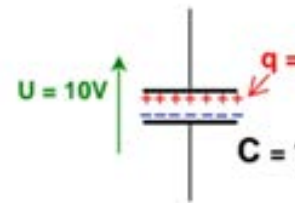
On a alors à tout instant pour les tensions :

- $U_{C1} > U_{C2}$
- $U_{C1} < U_{C2}$
- $U_{C1} = U_{C2}$

4. Un condensateur soumis à la tension $U = 10\text{V}$ présente, sur une

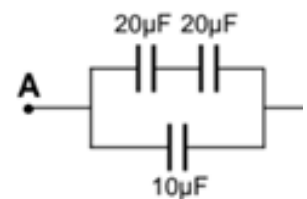
plaque, la charge $q = 10^{-5}\text{C}$ (schéma ci-contre): Sa capacité est de :

- 100kF
- $100\mu\text{F}$
- $1\mu\text{F}$



5. La capacité équivalente C_{AB} de l'association de condensateur ci-contre est :

- $20\mu\text{F}$
- $10\mu\text{F}$
- $8\mu\text{F}$



6. Un condensateur $C = 4700\mu\text{F}$ a été chargé avec un courant constant

$I = 0,5\text{mA}$ pendant $t = 1\text{min}$.

La tension à ses bornes est :

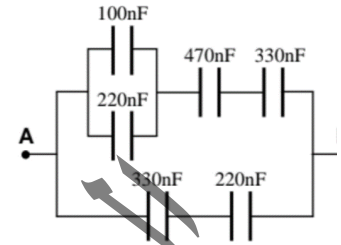
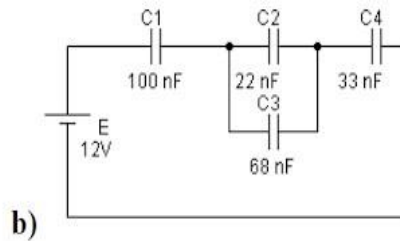
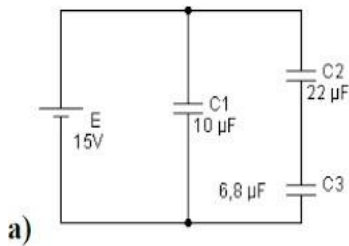
- 30mV
- 30V

Exercices

• 23,55

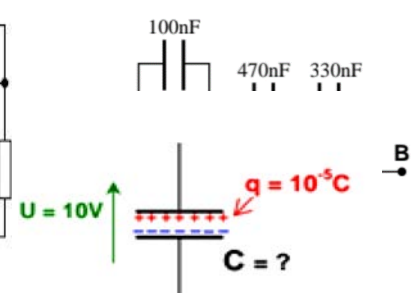
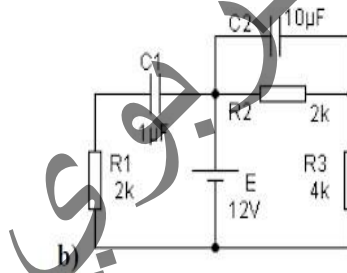
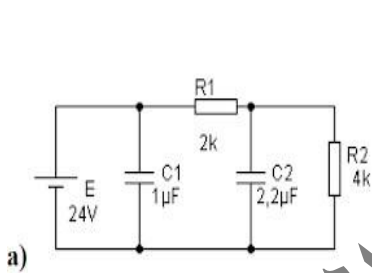
Exercice 2

Calculer la charge et la tension aux bornes de chacun des condensateurs des circuits suivants :



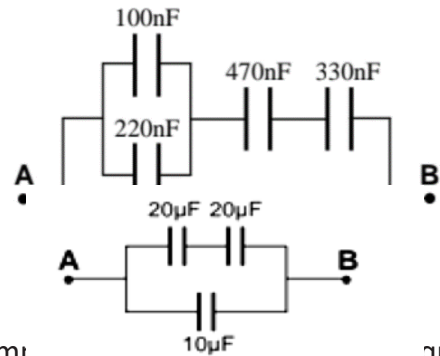
Exercice 3

Calculer la charge et la tension aux bornes de chacun des condensateurs, lorsque ceux-ci sont chargés à leur tension finale.



Exercice 4

Déterminer la capacité du condensateur équivalent représenté ci-contre :



Exercice 5

On a utilisé un condensateur de capacité $C = 2200\mu\text{F}$ pour emi $W = 58,19\text{J}$.

Déterminer la valeur de la tension U aux bornes du condensateur.

Exercice 6

Un condensateur de capacité $C = 1\text{F}$ comporte deux armatures ayant chacune une surface S séparées par un diélectrique d'épaisseur $e = 0,1\text{mm}$.

Sachant que le diélectrique a une permittivité relative $\epsilon_r = 5$, calculer la surface S des armatures.

Exercice 7

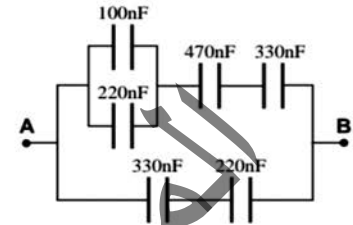
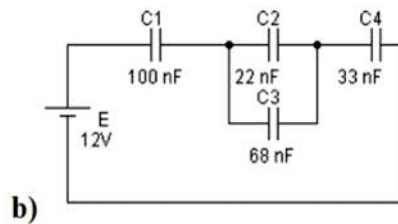
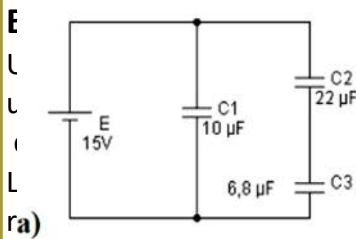
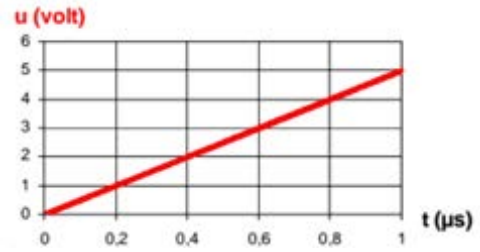
Un condensateur de capacité C est traversé par un courant

Constant $I = 0,5\text{mA}$.

La tension $u(t)$ aux bornes du condensateur est représentée

ci-contre :

Question : déterminer la valeur de la capacité C .



Déterminer la valeur de l'intensité du courant I .

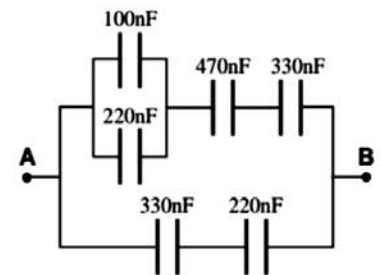
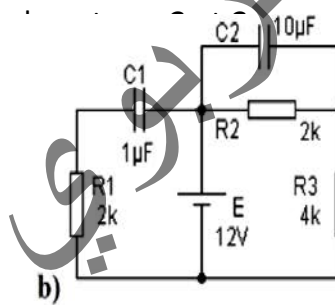
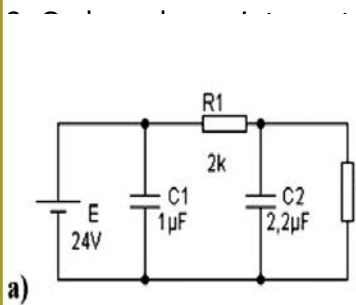
Exercice 9

1- On prend un condensateur de capacité $C_1 = 470\mu\text{F}$ et chargé avec la tension $U_1 = 24\text{V}$.

• Calculer la valeur de l'énergie W_1 emmagasinée par C_1 .

2- On prend un deuxième condensateur de capacité $C_2 = 1000\mu\text{F}$ déchargé ($U_2 = 0\text{V}$).

• Quelle est la valeur de l'énergie W_2 emmagasinée par C_2 .



2. Quelle est sa charge :

Exercice 11

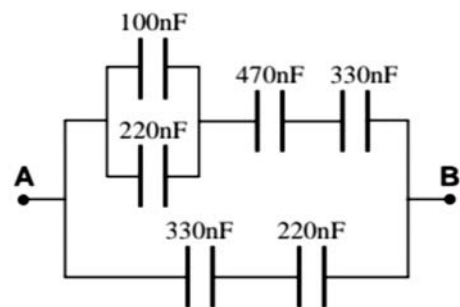
Un condensateur de capacité C est chargé par un générateur dont le courant est constante et égale à $0,14\text{mA}$.

A l'instant origine, la tension U_{AB} aux bornes du condensateur est égale à 0V . On suit l'évolution de la tension U_{AB} au cours du temps.

Après 10s , la tension aux bornes du condensateur est égale à $0,5\text{V}$.

1- Tracer la courbe représentant les variations de U_{AB} en fonction du temps.

2- Calculer la capacité du condensateur.



Exercice 12

Un condensateur plan à air est constitué par deux armatures de rayon $r=2,0\text{ cm}$ et distantes de $d = 2,0\text{mm}$.

Ce condensateur (noté 1), est chargé sous une tension $U_1=10\text{V}$.

Un second condensateur identique (noté 2), est chargé sous une tension $U_2= 20\text{V}$.

1. Calculer la charge de chaque condensateur et son énergie.

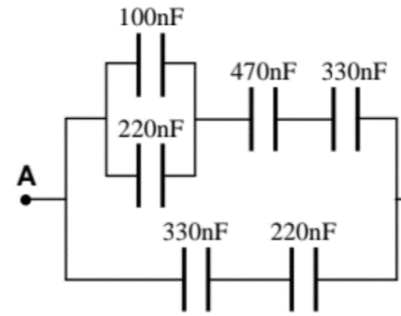
2. Les deux condensateurs étant isolés, on relie entre elles les armatures portant des charges de même signe.

- Déterminer la somme des charges des deux condensateurs dans ces conditions.
- En déduire la charge prise par chaque condensateur.
- Déterminer la tension entre leurs armatures.
- Déterminer l'énergie de l'association.

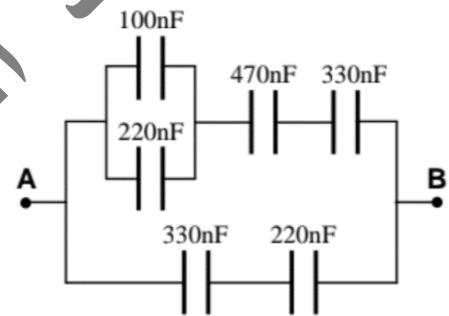
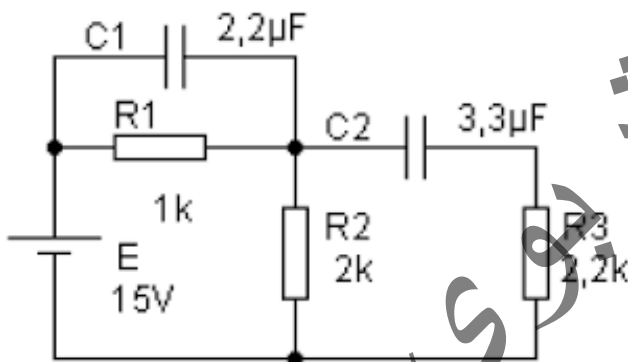
Exercice 13

Un condensateur de $47\mu\text{F}$ chargé sous une tension de 25V et un autre de $33\mu\text{F}$ chargé sous une tension de 10V .

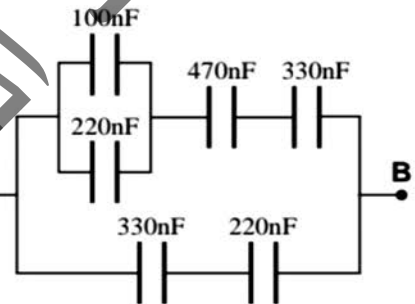
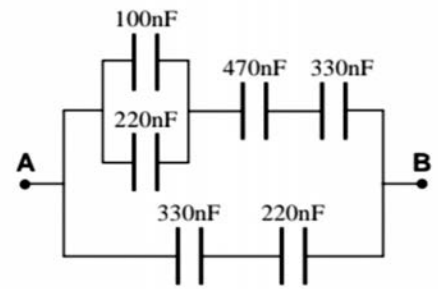
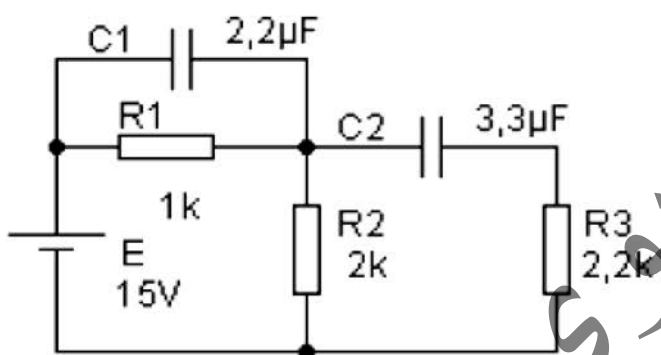
- Calculer la charge et l'énergie emmagasinée par chaque condensateur
- On les branche en parallèle (la borne + de l'un avec la borne+ de l'autre), calculer la nouvelle tension des condensateurs et l'énergie emmagasinée par le groupement.
- On les branche en parallèle (la borne+ de l'un avec la borne- de l'autre), calculer la nouvelle tension des condensateurs et l'énergie emmagasinée par le groupement.



Exercice 14

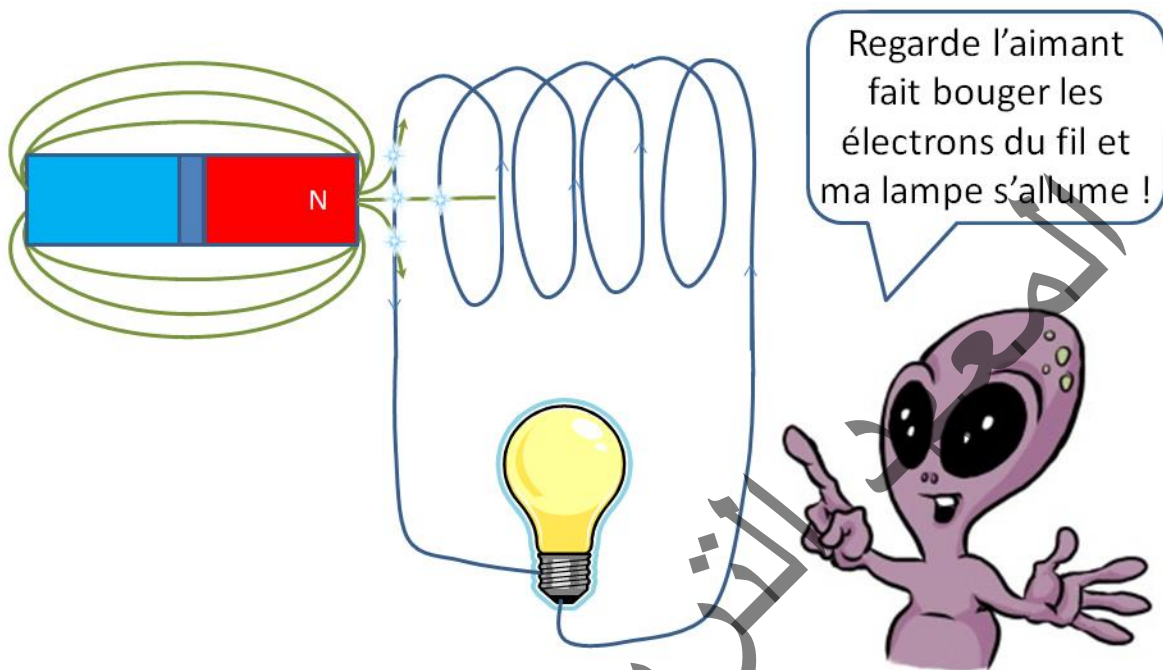


- Initialement les condensateurs sont complètement déchargés. Calculer les courants I_1 , I_2 et dans les résistances R_1 , R_2 et R_3 .
- Calculer la charge et la tension aux bornes de chacun des condensateurs, si chacun d'eux est chargé sa tension finale. Calculer les courants I_1 , I_2 et I_3 dans les résistances R_1 , R_2 et R_3 .



المعهد الوطني
البيئي

Notion du courant alternatif sinusoïdal



OBJECTIFS

- **Connaître les notions de base du courant alternatif sinusoïdal**
- **Savoir identifier une tension alternative**
- **Savoir mesurer à l'oscilloscope les grandeurs caractéristiques du courant alternatif**
- **Savoir décrire les grandeurs caractéristiques utilisées en alternatif et effectuer des calculs sur ces grandeurs**
- **Savoir le rôle des transformateurs dans le transfert de l'énergie**
- **Connaître la relation entre le rapport de transformation et les nombres de spires au primaire et au secondaire**

Introduction

L'électricité, une énergie dont plus personne ne pourrait se passer. De nombreux appareils utilisent de l'énergie électrique et fonctionnent en se faisant traverser par des courants continus ou variables. Le courant électrique alternatif sinusoïdal en est un type de courant variable. Il est engendré par une tension alternative. Comment caractériser une tension alternative ?

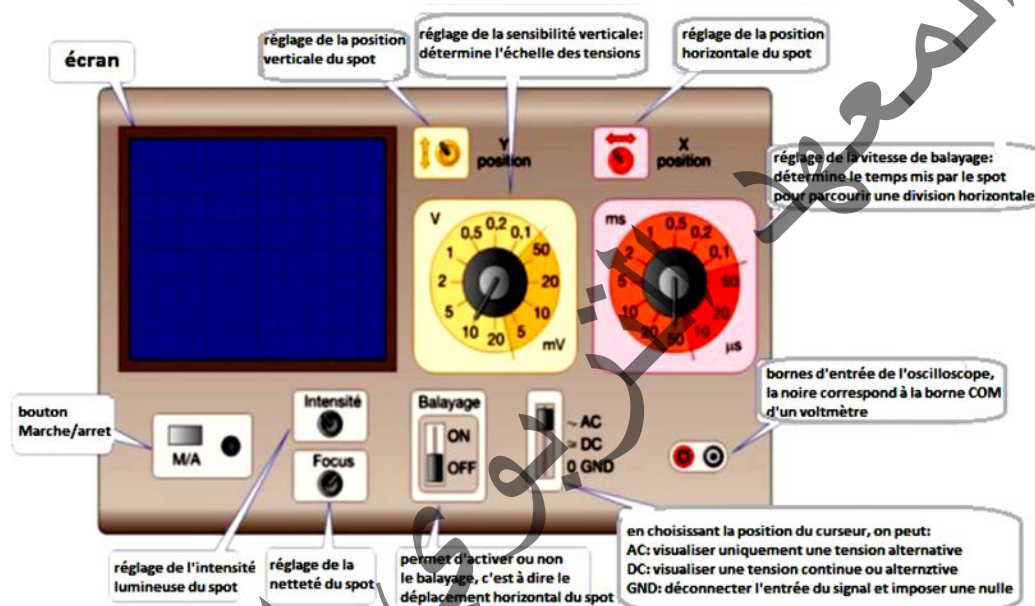
I . l'oscilloscope

1 - définition

L'**oscilloscope** est un appareil qui permet de mesurer et de visualiser la variation de la tension en fonction du temps. Il se branche en parallèle (comme un voltmètre) aux bornes des éléments d'un circuit électrique

La courbe obtenue sur l'écran d'un oscilloscope est appelée un **oscillogramme**.

2 - description de l'oscilloscope



- La **sensibilité verticale** correspond à l'échelle verticale de l'oscillogramme représentant la tension. On la note S_v et elle s'exprime en **Volt par division (v/div)**.

Exemple : Si l'on choisit une sensibilité verticale de $S_v = 2 \text{ V/div}$ alors une division verticale représente 2V.

- La **sensibilité horizontale** est l'échelle de l'axe horizontal représentant le temps, on l'appelle aussi **vitesse de balayage** notée S_h ou **B**. Elle s'exprime en **S/div** ou **ms / div** ou **µs/div**.

Exemple : Si l'on choisit une sensibilité horizontale de $S_h = 20 \text{ ms/div}$ alors une division horizontale représente 20ms

II . Principe de l'alternateur

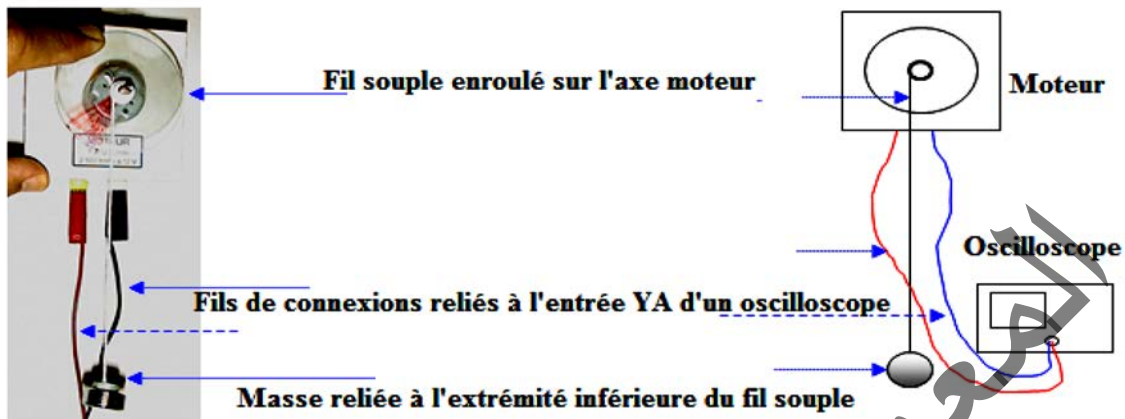
1 – Expérience1

Matériel

- Un moteur
- Une Bobine de fil souple (utilisé pour la couture),
- Une Masse M d'environ 60 g,
- Un Oscilloscope
- Des Fils électriques.

Manipulations :

- Attacher la masse M à une extrémité du fil souple de 1,5 m de long et enrouler le fil, en commençant par l'autre extrémité, autour de l'axe du moteur.
- Relier les deux bornes du moteur à l'entrée Y_A de l'oscilloscope.
- Tenir le moteur de façon à maintenir son axe horizontal puis lâcher la masse M.



Observation :

Tandis que la masse M descend sous l'action de son poids, une tension apparaît aux bornes du moteur. Cette tension est visualisée sur l'écran de l'oscilloscope. Le moteur est utilisé ici comme un générateur : il est capable de produire de l'énergie électrique.

En branchant un voltmètre à la place de l'oscilloscope, on peut même mesurer la tension produite (valeur approximative car elle dépend de la vitesse de rotation du moteur).

Conclusion :

Le moteur utilisé de cette manière convertit le travail mécanique (travail du poids de la masse M) en énergie électrique. C'est un convertisseur électro-mécanique.

2 – Expérience2

Matériel

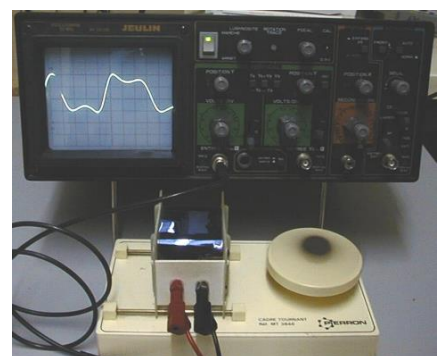
- Dispositif à *aimant tournant*
- Oscilloscope
- Fils électriques.

Manipulations :

- Relier les deux bornes de la bobine à l'entrée Y_A de l'oscilloscope.
- Lancer l'aimant droit à la main.

Observation :

Pendant que l'aimant tourne en présentant successivement son pôle Nord puis son pôle Sud devant la bobine, on voit apparaître une tension alternativement positive puis négative sur l'écran de l'oscilloscope.



Cette tension serait périodique si on arrivait à entraîner l'aimant droit dans une rotation uniforme. Le dispositif « aimant-bobine » est le siège d'une **force électromotrice induite**.

Conclusion :

Le dispositif constitué d'un aimant droit tournant régulièrement devant une bobine fixe est un alternateur car il est capable de fournir une tension électrique périodique alternative.

II . Tension continue

1) Définition

Une tension continue : est une tension qui garde le même signe et la même valeur au cours du temps. C'est -à- dire qu'elle est constante et ne varie pas au cours de temps

Exemple : tension aux bornes de la pile, de la batterie, des cellules photovoltaïques...

2) Expériences

a) matériel

Générateur continu (pile)

Deux diodes électroluminescentes (DEL)

Voltmètre

Fils de connexions

b) 1^{ère} Manipulation.

On branche deux diodes électroluminescentes (DEL) en dérivation, aux bornes d'un générateur continu (pile).

Observations :

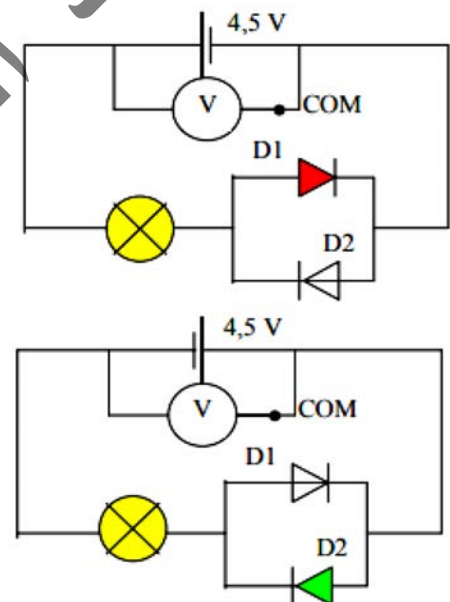
- On constate que la tension ne varie pas.
- La lampe brille.
- D1 brille, D2 ne brille pas.

c) 2^{ème} Manipulation

On branche deux diodes électroluminescentes (DEL) en dérivation, aux bornes d'un générateur continu (pile) après avoir inversé la polarité.

Observations :

- On constate que la tension ne varie pas mais elle est négative.
- La lampe brille.
- D2 brille, D1 ne brille pas.



Conclusion :

Quand un circuit est alimenté par un générateur de tension continue, le courant circule toujours dans le même sens : **c'est un courant continu.**

III. Mise en évidence d'une tension alternative

1) Définition

Une tension alternative : est une tension variable qui prend alternativement des valeurs positives puis négatives. C'est -à- dire qu'elle varie au cours de temps.

Exemple : tension aux bornes d'un générateur alternatif, d'une dynamo, prise de secteur...

Comment distinguer une tension continue et une tension alternative ?

2) Expérience

a) Matériel

- Générateur alternatif
- Deux diodes électroluminescentes (DEL)
- Voltmètre
- Fils de connexions

b) Manipulation

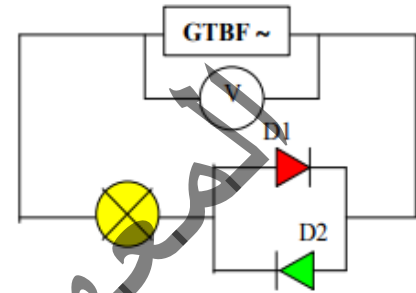
On branche deux diodes électroluminescentes (DEL) en dérivation **dans des sens opposés** aux bornes d'un générateur

c) Observations :

On observe dans ce circuit que l'une des diodes brille alors que l'autre reste éteinte.

Régulièrement la situation s'inverse: la diode qui brillait s'éteint et l'autre s'allume. Les deux DEL sont branchés dans des sens inverses et lorsque l'une est dans le sens passant l'autre est bloquante.

Lorsque le sens du courant s'inverse la DEL bloquante laisse passer le courant et celle qui était dans le sens passant devient bloquante.



d) Conclusion :

Quand un circuit est alimenté par un générateur de tension alternative, le courant circule alternativement dans un sens puis dans l'autre : **c'est un courant alternatif.**

3). Deux types de tensions - Visualisation à l'oscilloscope.

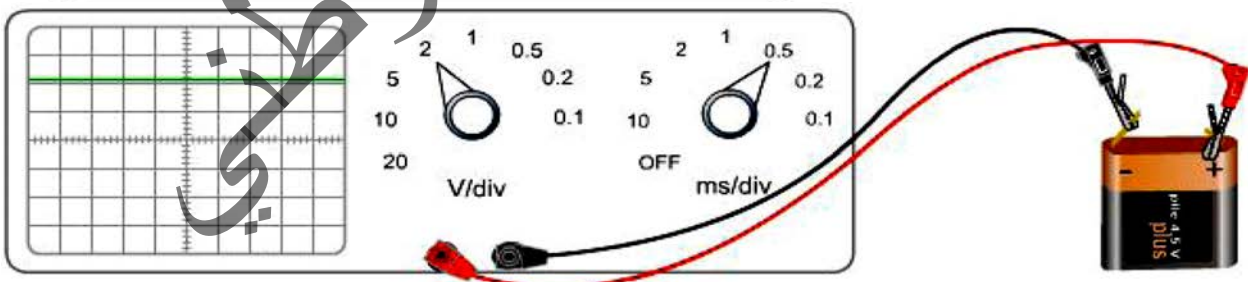
a) Tension continue

Matériel :

- Oscilloscope
- Pile
- Fils de connexions
- Pinces crocodiles

Manipulation

Un générateur de tension continue est relié aux bornes d'un oscilloscope. La sensibilité verticale est de 2 V/div (2 volts par division) et on met le sélecteur en mode DC.



Observation :

On observe sur l'écran d'oscilloscope un trait horizontal au-dessus de l'axe de temps. On dit que la tension continue reste constante au cours de temps.

L'apparition d'une tension de 4V ($U = S.V. Y=4V$) qui ne varie pas au cours du temps

Conclusion

La tension est dite **continue** (=) **ou(DC)**si, elle est constante, elle ne varie pas au cours du temps exemple : tension aux bornes de la pile, de la batterie...

Pour calculer cette tension électrique, on utilise la formule suivante : $U = S_V \cdot Y$

U = tension en volt (V)

S_V = sensibilité verticale (V/div)

Y = nombre de graduation (div)

Exemple : On a : $S_V = 2V/div$ et $Y = 2,2 div$ Donc $U = S_V \times Y = 2V/div \times 2,2 div = 4,4 V$

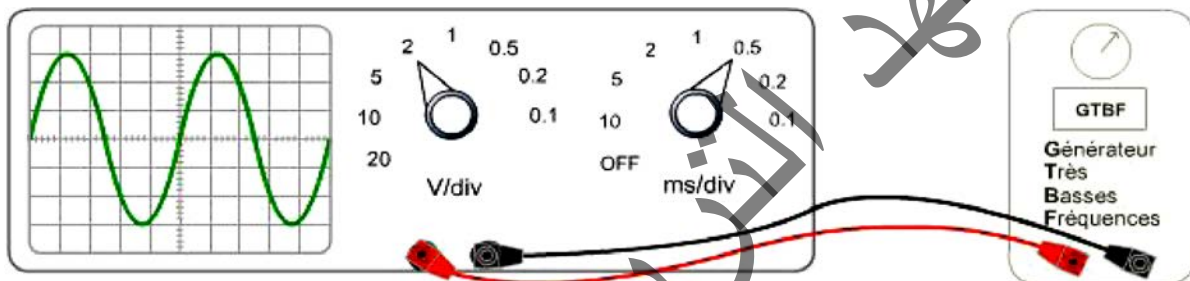
b) Tension alternative

Matériel :

- Oscilloscope
- Fils de connexions
- Générateur de basse fréquence ou alimentation alternative

Manipulation

Un générateur de tension alternative sinusoïdale est relié aux bornes d'un oscilloscope. La sensibilité verticale est de $S_V = 2 V/div$ (2 volts par division) et la durée de balayage est de $S_H = 0,5 ms/div$ et on met le sélecteur en mode AC.



Observation :

On obtient une tension :

- **Variable** : elle change de valeur au cours du temps
- **alternative**: elle prend des valeurs positives et négatives
- **périodique**: elle se répète régulièrement et se reproduit identique à lui-même au cours du temps
- **sinusoïdale**: elle forme des vagues

Conclusion

La tension est dite **alternative** (~) **ou (AC)**si, elle varie au cours du temps exemple : tension aux bornes d'une dynamo, prise de secteur...

4) les caractéristiques d'une tension alternative :

a) Tension maximale :

La tension maximale notée U_{max} est l'amplitude de la tension. Elle se mesure entre l'axe des temps et la valeur maximale.

Pour calculer la tension maximale on utilise la formule suivante : $U_{max} = S_V \cdot Y$

U_{max} : Tension maximale en volt (V)

S_V : Sensibilité verticale (V/div)

Y : Nombre de graduation (div)

b) La période :

- La période notée T représente la durée minimum après laquelle une tension alternative reprend la même valeur, et dans le même sens.
- L'unité légale de la période est la **seconde** de symbole s.

- Pour calculer la période on utilise la formule suivante : $T = S_h \cdot X$

T : La période en seconde (S)

Sh: Sensibilité horizontale (S/div)

X: Nombre de graduations (div)

c) La fréquence :

- La fréquence notée **f** d'une tension alternative est le nombre de périodes par seconde.
- C'est l'inverse de la période.
- L'unité légale de la fréquence est en **hertz** (symbole: **Hz**).
- Pour calculer la fréquence on utilise la formule suivante : $f = \frac{1}{T}$

Exemple :

$T = 20 \text{ ms} = 0.02\text{s}$,

La fréquence est : $f = 1/T = 1 / (0.02\text{s}) = 50 \text{ Hz}$ parfois on note la fréquence par la lettre **N**.

d) Tension efficace :

Expérience :

Matériel

- Oscilloscope
- Fils de connexions
- Générateur
- Voltmètre

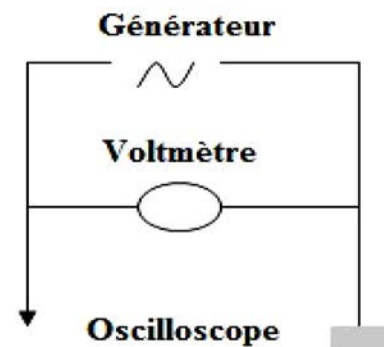
Manipulation

On mesure à l'oscilloscope les valeurs maximales U_{max} de deux tensions sinusoïdales différentes, tout en lisant la valeur U affichée sur un voltmètre en mode alternatif.

On trouve les résultats suivants :



Schéma du montage



Résultats

	Générateur sur 6V	Générateur sur 12V
U (V)	6	12,5
U_{max} (V)	8,4	17,5
$\frac{U_{\text{max}}}{U}$	1,42	1,42

Sortie 12 V :

La sensibilité verticale est sur **5V/div**. On peut lire pour la tension maximale : 3,5 divisions

On déduit : $U_M = 17,5 \text{ V}$

Le voltmètre indique : $U = 12,5 \text{ V}$, cette valeur est appelée la tension efficace notée U_{eff}

On divise U_M par $\sqrt{2}$: $\frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{17,5}{\sqrt{2}} = 12,37 \approx 12,5 \text{ V}$ On vérifie ainsi que : $U_{eff} = \frac{U_M}{\sqrt{2}}$

Sortie 6 V : On peut recommencer les mêmes manipulations avec la sortie 6 V alternatif

Conclusion :

La valeur de la tension obtenu par le voltmètre est appelée **la valeur efficace de la tension**, elle est notée **U_{eff}** .

U_{max} et U_{eff} sont donc des grandeurs **proportionnelles**. Elles sont liées par la relation :

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

2 – Etude théorique d'une tension sinusoïdale

Puisque la tension fournie par le générateur utilisé est sinusoïdale, son équation se présente sous la forme : $u = A \cos(Bt)$ où A et B sont des constantes.

a) Amplitude :

La plus grande valeur de $\cos Bt$ est 1 (si nécessaire, revoir la trigonométrie en mathématiques).

Donc la valeur maximale de u est A que l'on préfère notée U_M ou U_{max} : c'est l'amplitude de u .

b) Période de temps :

La période est le temps T au bout duquel u retrouve la même valeur. On sait que pour cela il faut ajouter 2π (radians) à l'angle du cosinus Bt donc on trouve : $B(t+T) = Bt + 2\pi$

En développant on trouve $Bt + B.T = Bt + 2\pi$

Par identification on déduit : $BT = 2\pi$ ou $B = \frac{2\pi}{T}$

La constante B est appelé **pulsation** du mouvement. On préfère la représenter par ω :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

c) Equation horaire

La tension sinusoïdale se présente sous la forme : $u = U_{max} \cos \omega t = U_{max} \cos \frac{2\pi}{T} t$

d) Intensité sinusoïdale et intensité efficace

Lorsqu'on applique une tension alternative sinusoïdale u aux bornes d'un conducteur ohmique de résistance R , il est traversé par un courant i qui vérifie, à chaque instant, la loi d'Ohm : $u = Ri$

si $u = U_{max} \cos \omega t$ alors $U_{max} \cos \omega t = Ri$ d'où $i = \frac{U_{max}}{R} \cos \omega t$

On pose l'intensité maximale : $I_{max} = \frac{U_{max}}{R}$ on peut écrire : $i = I_{max} \cos \omega t$

La tension et le courant ont même pulsation donc même période (et même fréquence).

Le courant électrique qui traverse le conducteur ohmique est, comme la tension entre ses bornes, alternatif sinusoïdal. Par définition, l'intensité efficace d'un courant alternatif sinusoïdal s'obtient en divisant par $\sqrt{2}$ l'intensité maximale I_{max} .

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \quad I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R}$$

Application

Application 1

Reliez chaque élément de la colonne A à un élément de la colonne B

A	B
Tension alternative	valeur ne change pas au cours du temps
L'oscilloscope	elle varie en prenant des valeurs positives et négatives
Oscillogramme	La courbe obtenue sur l'écran d'un oscilloscope
Tension continue	appareil utilisé pour visualiser et étudier une tension continue ou variable en fonction du temps.
Sensibilité verticale	s'exprime en seconde par division
Sensibilité horizontale	s'exprime en Volt par division

Application 2

L'oscillogramme représenté ci-contre a été obtenu avec les réglages :

- Sensibilité verticale : 5V /div

1- Quelle est le type de la tension visualisé ?

2- Calculer la tension maximale U_{max}

3- Déduire la valeur de la tension efficace U_{eff}

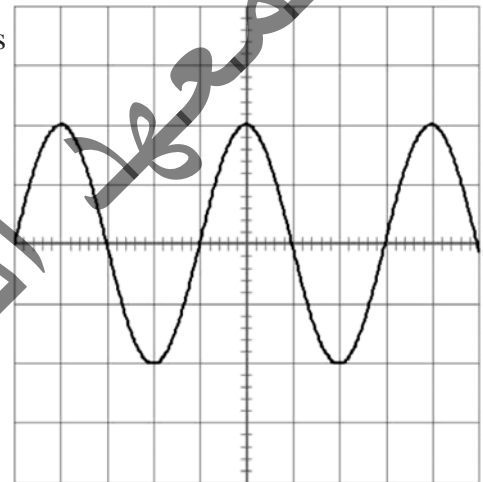
Corrigé :

1- Tension alternative sinusoïdale

2-On a : $S_v = 5V/div$ et $Y = 2 div$ Donc $U_{max} = S_v \times Y = 5V/div \times 2div$

D'ou $U_{max} = 10V$

3- La tension efficace $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{10}{1,41} = 7,09V$



Application 3

Voici l'oscillogramme obtenu aux bornes d'une prise électrique chez un particulier.

Les réglages de l'oscilloscope sont les suivants :

- Sensibilité verticale : 100 V par division
- Balayage horizontal : $S_h = 5 ms$ par division

1. Sur quel axe est représenté le temps ?

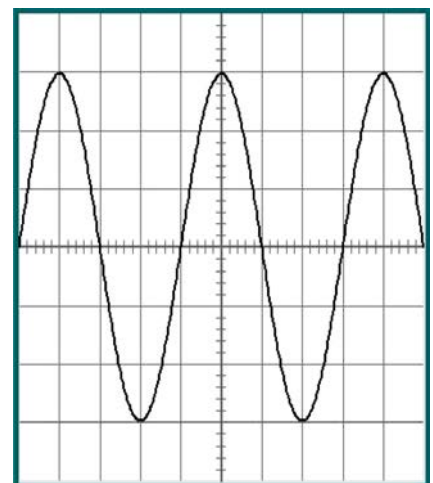
2. Sur quel axe est représentée la tension ?

3. Parmi les termes suivants : continue, alternative, sinusoïdale, variable, périodique, quels sont ceux qui caractérisent cette tension ?

4. A partir de l'oscillogramme, déterminer la tension maximale U_{max} et cette tension. Expliquer votre calcul.

5. A partir de l'oscillogramme, déterminer la période T de cette tension en expliquant votre calcul. Donner le résultat en ms et en s.

6. Rappeler la relation liant la fréquence f et la période T .



Donner les unités de ces 2 grandeurs.

7. Calculer la valeur de la fréquence f de cette tension. Expliquer votre calcul.

Corrigé

1. Le temps est représenté sur l'axe horizontal
2. La tension est représentée sur l'axe vertical
3. Les termes qui caractérisent cette tension sont : sinusoïdale, variable, alternative et périodique.

4. A partir de l'oscillogramme :

$U_{max} = \text{Nombre de divisions} \times \text{Sensibilité verticale}$

$$U_{max} = 3 \times 100 = 300 \text{ V}$$

5. La période (durée du motif élémentaire) est :

$$T = X \times Sh$$

$$T = \text{Nombre de divisions} \times \text{Balayage horizontal} \quad T = 4 \times 5 = 20 \text{ ms} = 0,02 \text{ S}$$

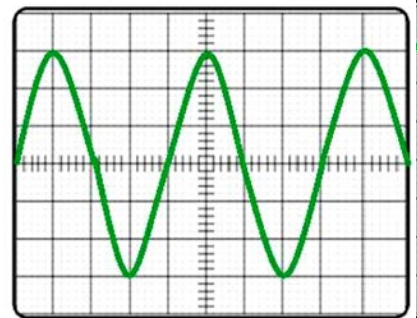
6. La relation est $T = \frac{1}{f}$ avec T en seconde (s) et f en Hertz (Hz).

7. On sait que : $f = \frac{1}{T}$ avec $T = 0,02 \text{ s}$ donc $f = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ Hz}$ La fréquence de cette tension est 50 Hz.

Application 4

On considère le schéma suivant sachant que : la sensibilité verticale est $S_v = 2 \text{ V/div}$ et la sensibilité horizontale est $S_h = 1 \text{ ms/div}$.

1. Quel est le type de cette tension.
2. Calculer la tension U_{max} de cette tension.
3. Déduire la valeur de la tension efficace U_{eff} .
4. Calculer la période T de cette tension.
5. Déduire la valeur de la fréquence f .



Corrigé

1. Le type de cette tension est sinusoïdale.
2. On sait que : $U_{max} = S_v \times Y$ Et on a : $S_v = 2 \text{ V/div}$ et $Y = 3 \text{ div}$ A.N : $U_{max} = 2 \text{ V/div} \times 3 \text{ div} = 6 \text{ V}$
3. On a $U_{eff} = U_{max} / 1.41 = 6 \div 1.41 = 4.25 \text{ V}$
4. On sait que : $T = S_h \times X$ Et on a : $S_h = 1 \text{ ms/div}$. et $X = 4 \text{ div}$. A.N : $T = 1 \text{ ms/div} \times 4 \text{ div} = 4 \text{ ms} = 0.004 \text{ S}$
5. On a : $f = 1/T$ A.N : $f = 1 \div 0.004 = 250 \text{ Hz}$

V) Transformateur

1) définition

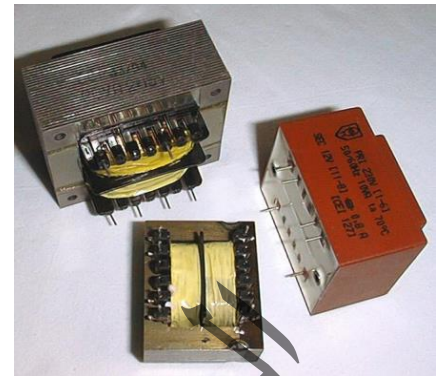
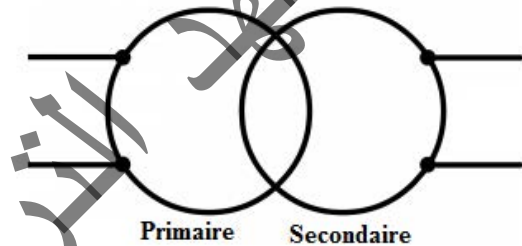
Un transformateur électrique est une machine électrique permettant de modifier les valeurs de tension et d'intensité du courant délivrées par une source d'énergie électrique alternative, en un système de tension et de courant de valeurs différentes, mais de même fréquence et de même forme.

2) Description

Un transformateur est constitué de deux bobines comprenant respectivement N_1 et N_2 tours. Ces enroulements se font autour d'une même carcasse de fer en forme d'anneau. Pour éviter certains phénomènes qui peuvent provoquer un échauffement de la carcasse, celle-ci est constituée de feuillets de fer isolés les uns des autres et accolés ensemble.

La construction d'un transformateur nécessite deux bobines enroulées séparément autour d'un noyau magnétique en fer :

- Une bobine appelée primaire ;
- Une bobine appelée secondaire.
- La primaire, appelé parfois enroulement primaire, est la bobine alimentée par la source d'alimentation à courant alternatif.
- La secondaire, ou enroulement secondaire, est la bobine raccordée à la charge (récepteur).



3) Etude expérimentale

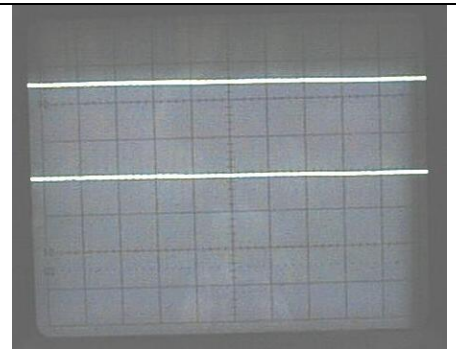
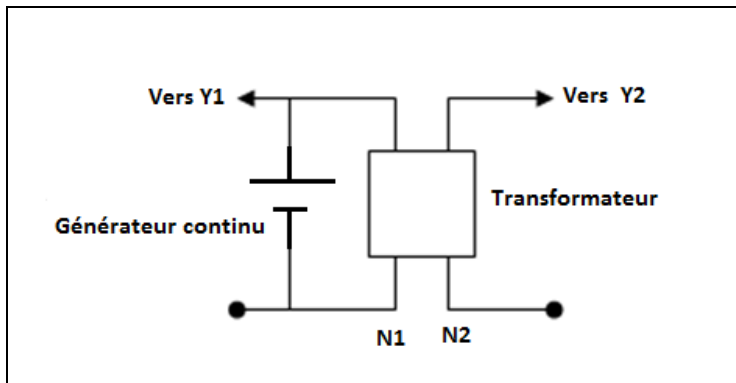
a) Expérience 1

Matériel :

- une alimentation de 12V régime continu,
- un transformateur 220V/9V (2,6VA),
- un oscilloscope
- des fils de connexions

Manipulation :

- Brancher la sortie du générateur aux bornes de l'enroulement primaire du transformateur (côté 220V) et à l'entrée Y_1 de l'oscilloscope.
- Relier les deux bornes de l'enroulement secondaire (côté 9V) à l'entrée Y_2 de l'oscilloscope.



Observation

L'entrée Y₂ indique une **tension nulle** (quel que soit le réglage de la sensibilité verticale).

Ne pas laisser branché le primaire trop longtemps car le transformateur risque de chauffer

Conclusion :

Un transformateur ne présente aucun intérêt en régime continu. Il ne fonctionne pas.

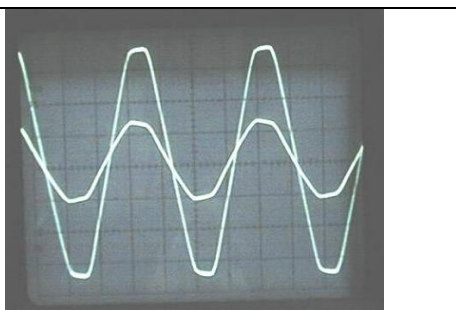
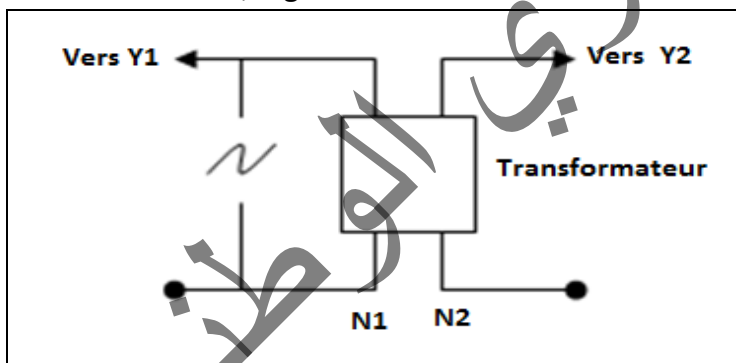
b) Expérience 2

Matériel

une alimentation de 12V **régime alternatif**,
un transformateur 220V/9V (2,6VA),
un oscilloscope
des fils de connexion

Manipulation :

Remplacer dans le montage ci dessus l'alimentation de 12V, régime continu, par une alimentation 12V, **régime sinusoïdal**.



Observation

L'entrée Y₂ indique la présence d'une tension sinusoïdale aux bornes de l'enroulement secondaire, tension d'amplitude plus faible que celle appliquée aux bornes de l'enroulement primaire mais de même période.

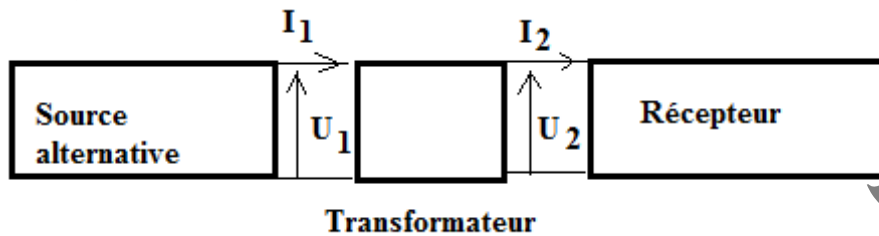
Mesurer U_{1max} et U_{2max} . Déduire U_1 et U_2 (tensions efficaces). Comparer.

Conclusion :

Le transformateur donne d'une tension sinusoïdale u_1 appliquée à l'enroulement primaire une tension également sinusoïdale u_2 à l'enroulement secondaire, de même fréquence.

4) Principe

Lorsqu'une tension alternative est appliquée à l'enroulement primaire d'un transformateur, un courant circule. Cela crée un flux magnétique à l'intérieur de cet enroulement. Ce flux magnétique sera acheminé vers l'enroulement secondaire grâce au noyau magnétique en fer du transformateur. Comme le courant qui circule dans l'enroulement primaire varie continuellement en fonction de la tension alternative appliquée, le flux magnétique créé par ce courant variera également.



U_1 et U_2 sont les valeurs efficaces de u_1 et u_2

- Si $U_2 > U_1$, le transformateur est élévateur de tension .
- Si $U_2 < U_1$, il est abaisseur de tension .
- Si $U_2 = U_1$, il assure l'isolement électrique entre la source et la charge.

5) Puissance apparente nominale

Lorsqu'un circuit électrique est relié aux deux bornes de l'enroulement secondaire du transformateur, il est parcouru par un courant électrique sinusoïdal de valeur efficace I_2 tandis que la tension efficace entre ses bornes est U_2 .

La puissance apparente transmise par le transformateur est : $P_2 = U_2 I_2$

Cette puissance apparente ne doit pas dépasser la valeur nominale indiquée par le constructeur, souvent exprimée en voltampères (ou VA). Cette valeur est gravée sur le transformateur.

6- Rendement d'un transformateur :

Le rendement d'un transformateur est le rapport entre la puissance apparente P_2 et la puissance disponible au primaire P_1 :

$$\rho = \frac{P_2}{P_1}$$

En général, P_2 est légèrement inférieur à P_1 : (la puissance disponible au primaire) la différence se retrouve sous forme de puissance thermique à l'intérieur du transformateur. Dans la pratique, on cherche à limiter au mieux cet échauffement.

6) Rapport de transformation

Le rapport de transformation d'un transformateur, symbolisé par m , se définit comme le nombre de spires (tours) de l'enroulement secondaire divisé par le nombre de spires de

l'enroulement primaire, comme le représente la formule suivante $m = \frac{N_2}{N_1}$

Où : $\left\{ \begin{array}{l} m : \text{rapport de transformation} \\ N_1 : \text{nombre de spires de l'enroulement primaire} \\ N_2 : \text{nombre de spires de l'enroulement secondaire} \end{array} \right.$

Ce **rapport de transformation détermine** ainsi le rapport entre la tension appliquée au primaire du transformateur et celle induite dans le secondaire. $m = \frac{U_2}{U_1}$

Où : $\left\{ \begin{array}{l} m : \text{rapport de transformation} \\ U_1 : \text{tension appliquée à l'enroulement primaire} \\ U_2 : \text{tension induite dans l'enroulement secondaire} \end{array} \right.$

U_1 et U_2 étant les tensions efficaces respectivement au primaire et au secondaire du transformateur. On montre que :

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

N_1 : nombre de tours du bobinage **primaire**
 N_2 : nombre de tours du bobinage **secondaire**.

Si $N_1 > N_2$: le transformateur est utilisé en abaisseur de tension
 Si $N_1 < N_2$: le transformateur est utilisé en élévateur de tension.

Remarque :

Si le transformateur est parfait : $\rho = \frac{P_2}{P_1} = 1$. La puissance disponible à l'enroulement primaire se retrouve intégralement au secondaire : $P_1 = U_1 I_1$ et $P_2 = U_2 I_2$ donc $U_1 I_1 = U_2 I_2$.

On déduit : $\frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}$

Ainsi, de façon générale, le **rapport de transformation** d'un transformateur peut être déterminé :

- soit par le rapport de spires,
- soit par le rapport de tension,
- soit par le rapport de courant.

La formule suivante exprime ces différentes possibilités de déterminer le rapport de

transformation : $m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$

Application

Application 1

Un transformateur est constitué de 600 spires pour son enroulement primaire et de 50 spires pour son enroulement secondaire.

- Calculez le rapport de transformation.
- Calculez, en volts (V), la tension du secondaire si une tension de 240 volts est appliquée au primaire.

Application 2

L'enroulement primaire d'un transformateur possède 1000 spires le secondaire 500 spires. En fonctionnement, la tension efficace aux bornes du primaire est de 100 V, l'intensité efficace du courant qui le traverse 4A. Sachant que le rendement du transformateur est de 70%, calculer la tension efficace aux bornes du secondaire ainsi que l'intensité efficace du courant débité par le secondaire.

Application 3 :

Un transformateur abaisseur de tension alimente un jouet sous une tension efficace de 6V à partir de la tension du secteur de 220V. Le primaire comportant 880 spires est traversé par un courant d'intensité efficace $I_1=0,10A$. Le rendement du transformateur est de 90%.

- Quel est le nombre de spires de l'enroulement secondaire ?
- Quelle est l'intensité efficace du courant au secondaire ?

Application 4 :

Soit l'enroulement d'un transformateur ci-contre dont le rapport du nombre de spires : $\frac{N_1}{N_2} = 20$

et la résistance de l'enroulement primaire : $R_1 = 10 \Omega$

1- On suppose le transformateur parfait pour les

courants : $\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$

Calculer la résistance de l'enroulement secondaire R_2 pour que les pertes Joule au secondaire soient égales aux pertes Joule au primaire.

2- La résistance R d'un fil électrique est donnée

par la relation : $R = \rho \frac{L}{S}$

Que désigne ℓ ?

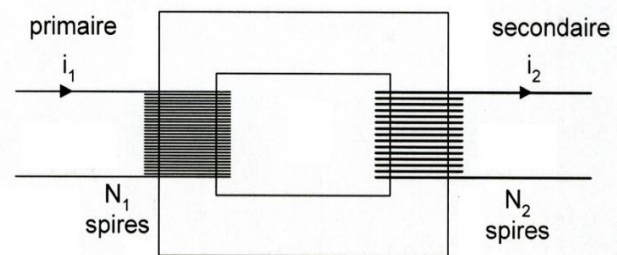
Que désigne L ?

Que désigne S ?

3- Les spires des enroulements secondaires et primaires sont de mêmes circonférences.

Calculer le rapport entre la section du fil de l'enroulement secondaire et la section du fil du

primaire : $\frac{S_2}{S_1}$



En déduire le rapport entre le diamètre du fil de l'enroulement secondaire et le diamètre du fil

de l'enroulement primaire : $\frac{D_2}{D_1}$

4- On note m_1 la masse de cuivre de l'enroulement primaire et m_2 la masse de cuivre de

l'enroulement secondaire. Montrer que : $\frac{m_2}{m_1} = 1$

Corrigé

Application 1

a) Calcul du rapport de transformation :

Formule pour le calcul : $m = \frac{N_2}{N_1}$ Où : $N_1 = 600$ tours et $N_2 = 50$ tours.

Donc : $m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{50}{600} = 0,083$. Le rapport de transformation de ce transformateur est égal à 0,083.

b) Calcul de la tension du secondaire :

Formule pour calculer la tension : $m = \frac{U_2}{U_1}$

Alors : U_2 peut être déterminée par : $U_2 = mU_1$ Où : $U_1 = 240$ volts et $m = 0,083$

Donc $U_2 = m.U_1 = 240.0,083 = 20V$: La tension du secondaire est égale à 20 volts.

Application 2

Le rapport des tensions efficaces est le même que celui des nombres de spires :

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow U_2 = \frac{N_2}{N_1} . U_1 \quad \text{AN : } U_2 = \frac{500}{1000} . 100 = 50V$$

$$P_{\text{él}2} = U_2 . I_2 = P_{\text{él}1} = P_{\text{él}1} = \rho . U_1 . I_1 \Rightarrow I_2 = \frac{\rho . U_1 . I_1}{U_2} \quad \text{AN : } I_2 = \frac{0,7 \times 100 \times 4}{50} = 5,6A$$

Application 3

1)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow N_2 = \frac{U_2}{U_1} . N_1 \quad \text{AN : } N_2 = \frac{6}{220} . 880 = 24$$

Le secondaire comporte 24 spires

$$P_{\text{él}2} = \rho \cdot P_{\text{él}1} \Leftrightarrow U_2 \cdot I_2 = \rho \cdot U_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_2 = \frac{\rho \cdot U_1 \cdot I_1}{U_2} \quad \text{AN: } I_2 = \frac{0,9 \times 220 \times 0,10}{6} = 3,3 \text{ A}$$

Application 4 :

Rapport du nombre de spires : $\frac{N_1}{N_2} = 20$

Résistance de l'enroulement primaire : $R_1 = 10 \text{ W}$

1- On suppose le transformateur parfait pour les courants : $\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$

Calculer la résistance de l'enroulement secondaire R_2 pour que les pertes Joule au secondaire soient égales aux pertes en Joule au primaire.

$$R_1 \cdot I_1^2 = R_2 \cdot I_2^2 \quad R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = \frac{10}{20^2} = 25 \text{ m}\Omega$$

2- La résistance R d'un fil électrique est donnée par la relation : $R = \ell \frac{\rho}{S}$

ρ : résistivité électrique du matériau (en $\text{W}\times\text{m}$)

L : longueur du fil (en m)

S : section du fil (en m^2)

3- Les spires de l'enroulement secondaire et de l'enroulement primaire sont de mêmes circonférences.

Calculer le rapport entre la section du fil de l'enroulement secondaire et la section du fil de l'enroulement primaire.

$$R_1 = \ell \frac{L_1}{S_1} = \ell \frac{N_1 \cdot L}{S_1} \quad \text{et} \quad R_2 = \ell \frac{L_2}{S_2} = \ell \frac{N_2 \cdot L}{S_2} \quad \text{avec } L : \text{longueur moyenne d'une spire.}$$

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{N_2 \cdot R_1}{N_1 \cdot R_2} = 20$$

En déduire le rapport entre le diamètre du fil de l'enroulement secondaire et le diamètre du fil de l'enroulement primaire.

$$S_1 = \pi \frac{D_1^2}{4} \quad \text{et} \quad S_2 = \pi \frac{D_2^2}{4} \quad \frac{D_2}{D_1} = \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} = \sqrt{\frac{N_1}{N_2}} = \sqrt{20} = 4,47$$

4- On note m_1 la masse de cuivre de l'enroulement primaire et m_2 la masse de cuivre de l'enroulement secondaire.

Volume de cuivre de l'enroulement primaire : $V_1 = L_1 S_1 = N_1 L S_1$

$$\text{Masse de cuivre de l'enroulement primaire : } m_1 = \rho V_1 = \rho N_1 L S_1 \quad \left. \vphantom{m_1} \right\} \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{N_1 \cdot S_1}{N_2 \cdot S_2} = 1$$

Masse de cuivre de l'enroulement secondaire : $m_2 = \rho V_2 = \rho N_2 L S_2$

L'Essentiel

- La sensibilité verticale correspond à l'échelle verticale de l'oscillogramme représentant la tension. On la note S_v et elle s'exprime en Volt par division (v/div).

- La sensibilité horizontale est l'échelle de l'axe horizontal représentant le temps, on l'appelle aussi vitesse de balayage notée S_h ou B. Elle s'exprime en S/div ou ms / div ou $\mu\text{s}/\text{div}$.

- Quand un circuit est alimenté par un générateur de tension alternative, le courant circule alternativement dans un sens puis dans l'autre : c'est un courant alternatif.

- Pour calculer cette tension électrique, on utilise la formule suivante :
 $U = S_v \cdot Y$

U = tension en volt (V)

S_v = sensibilité verticale (V/div)

Y = nombre de graduations (div)

- Pour calculer la période on utilise la formule suivante : $T = S_h \cdot X$

T : La période en seconde (S)

S_h : Sensibilité horizontale (S/div)

X: Nombre de graduations (div)

- La fréquence notée f d'une tension alternative est le nombre de périodes par seconde. C'est l'inverse de la période. Pour calculer la fréquence on utilise la formule suivante : $f = \frac{1}{T}$ L'unité légale de la fréquence est en hertz

(symbole: Hz).

- U_{\max} et U_{eff} sont donc des grandeurs proportionnelles. Elles sont liées par la relation : $U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}$

- Par définition, l'intensité efficace d'un courant alternatif sinusoïdal s'obtient en divisant par $\sqrt{2}$ l'intensité maximale I_{\max} . $I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}$

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{R}$$

- La tension sinusoïdale se présente sous la forme : $u = U_{\max} \cos \omega t = U_{\max} \cos \frac{2\pi}{T} t$

Exercices

Exercice 1

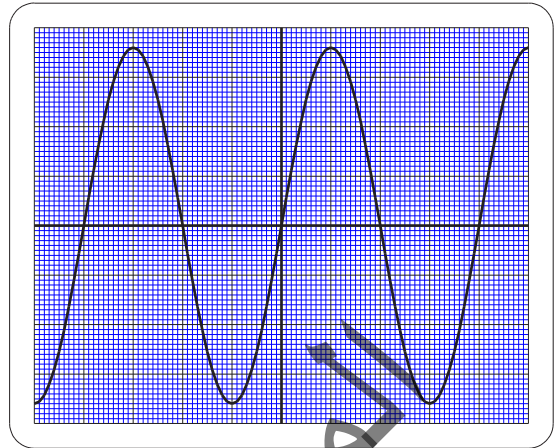
On étudie la tension aux bornes d'une lampe et l'intensité du courant qui la traverse. Pour cela, on utilise : un voltmètre, un ampèremètre, un oscilloscope.

Ce qui apparaît sur l'écran de l'oscilloscope est représenté ci-contre :

Sensibilité verticale : 5 V/div

Vitesse de balayage : 5 ms/div.

1. évaluer la valeur de la période T .
2. Evaluer la valeur de la tension maximale U_{\max} aux bornes de la lampe.
3. Le voltmètre indique 12 Volts. Que représente cette mesure ?
4. Quelle est la mesure de la résistance de la lampe si l'ampèremètre indique 0,5 A ? On rappelle $U = R \times I$.



Exercice 2

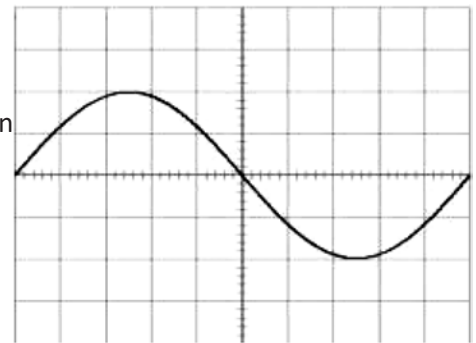
La fréquence de tension sinusoïdale est $f = 100$ Hz. La tension efficace vaut : $U_{\text{eff}} = 1,44$ V.

- a) Calculer la période T de cette tension
- b) Calculer U_{\max}
- c) Calculer la vitesse de balayage B de l'oscilloscope sachant que $X=10$ div :
- d) Calculer la sensibilité verticale S_v de l'oscilloscope avec : $Y=2$ div

Exercice 3

La fréquence de cette tension sinusoïdale est $f = 100$ Hz. La tension maximale U_{\max} de cette tension est $U_{\max} = 1$ V.

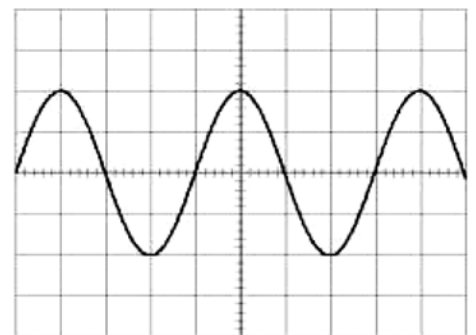
- a) Calculer la période T de cette tension.
- b) Calculer la vitesse de balayage B de l'oscilloscope.
- c) Calculer la sensibilité verticale S_v de l'oscilloscope.



Exercice 4 :

La vitesse de balayage de l'oscilloscope est $B = 1$ ms/div. La sensibilité verticale de l'oscilloscope est $S_v = 2$ V/div.

- a) Combien de périodes compte-t-on sur cet oscillogramme ?
- b) Calculer la période T de cette tension.
- c) Calculer la fréquence f de cette tension.
- d) Calculer la tension U_{\max} de cette tension.

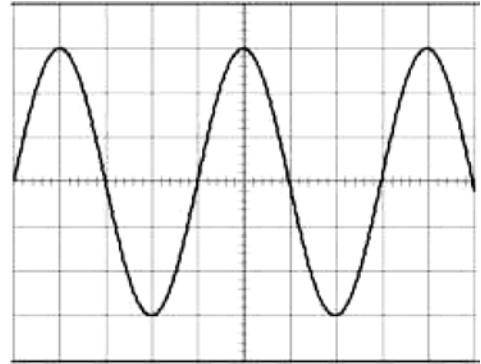


Exercice 5 :

La fréquence de la tension est $f = 50 \text{ Hz}$.

La sensibilité verticale S_v de l'oscilloscope vaut 5 V/div .

- Calculer la période T de cette tension.
- Calculer la base de temps B de l'oscilloscope.
- Calculer la tension maximale U_{max} de cette tension.



Exercice 6 :

On a relevé dans le tableau ci-dessous les valeurs de la tension toutes les 5 secondes :

t (s)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
U (V)	0	2,6	5,8	7,4	8,5	7,4	5,8	2,6	0	2,6	5,8	7,4	8,5	7,4	5,8	2,6	0

Sans tracer la courbe, déterminer la période T , la fréquence f , la valeur maximale U_{max} et la valeur efficace U_{eff} de cette tension.

Exercice 7

I - Sur un **fer à repasser**, on lit : 220 V , $2\,200 \text{ W}$ et 50 Hz . Que signifient ces 3 valeurs ?

- Quelle est la période T de la tension ?
- Avec quel appareil de mesure pourrait-on vérifier la valeur efficace U de la tension fournie ?
- Quelle est l'intensité efficace I du courant qui parcourt la résistance R de ce fer ?
- Quelle est la valeur maximale I_{max} du courant ? ?
- Donner son expression mathématique : $i = f(t) = I_{\text{max}} \cos(\omega t)$
- Représenter : $i = f(t)$ sur 2 périodes.
- Quelle est la valeur de la résistance R du fer ?
- D'un point de vue électrique, un fer à repasser peut-il être considéré comme une « résistance pure », une bobine ou un condensateur ?

II - En **parallèle** sur le fer à repasser, on branche une **lampe de 100 W**

- Tracer le schéma électrique du circuit comprenant le fer à repasser, la lampe et le générateur de tension.
- Quelle est l'intensité efficace I_l du courant qui parcourt la lampe ?
- Quelle est l'intensité totale I_t du courant débité dans le circuit ?
- Noter I , I_l et I_t sur le schéma électrique et la tension aux bornes du générateur.
- Une installation électrique est composée de plusieurs lignes munies chacune d'un fusible protecteur de 10 A ou de 16 A , pour éviter un échauffement excessif des fils constituant la ligne et donc éviter un risque d'incendie.

Dans le cas étudié, quel fusible doit équiper la ligne ?

Réponses :

I) $T = 0,02 \text{ s}$; $I = 10 \text{ A}$; $R = 22 \Omega$; $I_{\text{max}} = 14,1 \text{ A}$; $i = 14,1 \sin(314 t)$ II) $I_l = 0,45 \text{ A}$; $I_t = 10,45 \text{ A}$; fusible de 16 A .

Exercice 8

Le rapport de transformation d'un transformateur parfait est égal à $0,127$.

- Calculer la valeur efficace de la tension secondaire lorsque $U_1 = 220 \text{ V}$.
- L'enroulement secondaire comporte 30 spires, quel est le nombre de spire au primaire.
- En charge, l'enroulement primaire absorbe une intensité efficace de $0,5 \text{ A}$. calculer la valeur efficace du courant à l'enroulement secondaire.

Exercice 9 :

Une lampe fonctionne en courant sinusoïdal en consommant une puissance de 6 W sous une tension efficace de 6 V. Les fils 1 et 2 amenant la puissance électrique depuis le générateur ont chacun une résistance de 2Ω . Tous les autres fils sont supposés de résistances négligeables.

1) On réalise tout d'abord une alimentation directe de la lampe (figure 1).

a) Après avoir fait le bilan énergétique de la lampe, déterminer l'intensité efficace du courant qui la traverse.

b) En déduire la puissance Joule dégagée dans les fils 1 et 2.

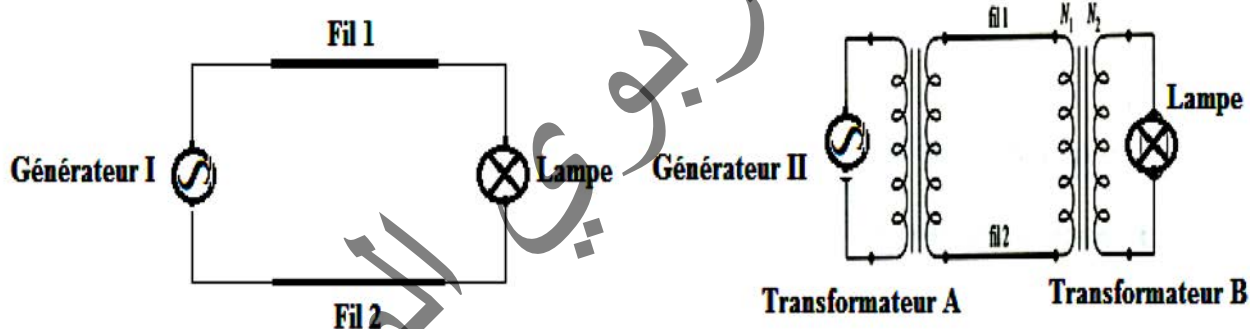
c) Donner la puissance électrique fournie par le générateur ainsi que la tension efficace à ses bornes.

2) L'alimentation est cette fois indirecte et utilise deux transformateurs supposés idéaux (figure 2). Le transformateur proche de la lampe possède $N_1=500$ spires à l'enroulement primaire et $N_2=5$ spires à l'enroulement secondaire.

a) Déterminer l'intensité efficace du courant circulant dans les fils 1 et 2. En déduire la puissance Joule consommée dans ces fils.

b) Calculer la puissance électrique fournie par le générateur. La comparer avec celle déterminée à la question a).

c) Quel doit être le rapport de transformation m (tension secondaire/ tension primaire) du transformateur proche du générateur pour que la tension aux bornes du générateur soit la même que dans la question 1) ?



Bibliographie

- Manuel physique 7AS.....édition IPN
- Physique Magnard 1^{ere} CCollection G.G.E
- physique 1^{ere} C et ECollection eurin gié
- ABC du BAC physique 1^{re} S..... édition Nathan
- physique 1^{ere} S et ECollection NATHAN
- physique 1^{ere} S / ECollection BELIN
- physique 1^{ere} C et ECollection HACHETTE
- http://old.al.lu/physics/deuxieme/mousset/potentiel_electrique.pdf
- <http://www.web-sciences.com/>

Table de Matières

PRÉFACE	3
AVANT-PROPOS	5
CHAPITRE I : CINEMATIQUE	7
CHAPITRE II: TRAVAIL ET PUISSANCE	35
CHAPITRE III: ÉNERGIE MECANIQUE	47
CHAPITRE IV: TRANSFERTS THERMIQUES	63
CHAPITRE V: CHAMP MAGNETIQUE	79
CHAPITRE VI: CHAMP ELECTROSTATIQUE DIFFERENCE DE POTENTIEL	95
CHAPITRE VII: PUISSANCE ELECTRIQUE DANS UNE PORTION DE CIRCUIT	111
CHAPITRE VIII: CONDENSATEUR	129
CHAPITRE IX: NOTION DU COURANT ALTERNATIF SINUSOIDAL	146
TABLE DE MATIÈRES	168