

REPUBLIQUE ISLAMIQUE DE MAURITANIE
Honneur - Fraternité - Justice



MINISTERE DE L'EDUCATION ET DE LA REFORME DU
SYSTEME D'ENSEIGNEMENT
INSTITUT PEDAGOGIQUE NATIONAL

Physique SN

6^{ème} AS

Les auteurs

Souleymane Md Amar

Dah Mohamed El Moctar

Ahmed Jidein

Directeur Adjoint de la Promotion
de l'Enseignement des Sciences

Inspecteur Pédagogique de
l'Enseignement Secondaire

Inspecteur Pédagogique de
l'Enseignement Secondaire

l'illustratrice / maquettiste :

Nejdi Sid'Ahmed Ejayed Maquettiste /IPN

2026

IPN

PREFACE

Dans le cadre de la mise en œuvre des orientations nationales visant l'amélioration de la qualité de l'enseignement et l'adaptation des apprentissages aux exigences du développement, l'Institut Pédagogique National a le plaisir de mettre à la disposition des enseignants et des élèves cette nouvelle collection de manuels scolaires scientifiques destinés au second cycle de l'enseignement secondaire.

Ces ouvrages couvrent l'ensemble des filières du lycée, aussi bien scientifiques que littéraires, dans les disciplines des Mathématiques, des Sciences de la Nature, de la Physique et de la Chimie. Ils ont été élaborés conformément aux programmes officiellement en vigueur et traduisent la volonté des autorités éducatives de garantir à tous les apprenants des ressources pédagogiques de qualité, adaptées aux objectifs de formation et aux réalités de notre système éducatif.

Depuis la réécriture des programmes en 1999 jusqu'à la validation des programmes actuellement en vigueur en 2022, notre système éducatif a connu plusieurs étapes de réforme et de modernisation curriculaires. Toutefois, cette collection marque une avancée historique, puisqu'il s'agit de la première fois que les filières littéraires, notamment les Lettres Modernes (LM) et les Lettres Originelles (LO), bénéficient de manuels scolaires dans les disciplines scientifiques pour tous les niveaux du second cycle, de la 5^e à la 7^e année. Les filières LO ont, en outre, bénéficié de manuels rédigés en langue arabe afin de répondre aux spécificités linguistiques et pédagogiques de ces séries et de garantir une meilleure accessibilité des contenus scientifiques aux apprenants concernés.

Le travail réalisé dans le cadre de ce projet a consisté, d'une part, à la révision de douze titres correspondant aux manuels des disciplines de base dans les différents niveaux du lycée et, d'autre part, à la conception de vingt-deux nouveaux titres couvrant les autres. Cette entreprise éditoriale d'envergure témoigne de l'engagement des autorités éducatives à renforcer les ressources pédagogiques nationales et à accompagner efficacement la mise en œuvre des nouveaux programmes.

Conscient de l'importance stratégique du manuel scolaire dans le processus d'enseignement-apprentissage, l'Institut Pédagogique National a mobilisé les meilleures compétences nationales pour la réalisation de cette tâche. Des inspecteurs, des conseillers pédagogiques et des professeurs expérimentés, reconnus pour leur expertise scientifique et pédagogique, ont ainsi été sélectionnés afin de concevoir et de réviser des ouvrages répondant aux exigences de qualité académique, pédagogique et didactique.

Les équipes de conception se sont attachées à produire des manuels clairs, structurés et accessibles, favorisant le développement des connaissances, des compétences et de l'esprit scientifique chez les apprenants. Une attention particulière a été accordée à la cohérence des contenus, à la progressivité des apprentissages, à l'intégration des activités pratiques ainsi qu'à l'exploitation d'illustrations et de situations d'apprentissage adaptées au contexte national.

L'Institut Pédagogique National tient à exprimer sa profonde gratitude à la Banque Islamique de Développement pour l'appui précieux qu'elle a apporté à ce projet. Grâce à son financement, toutes les étapes de cette importante œuvre éducative ont pu être réalisées, depuis la rédaction et la révision des manuscrits jusqu'à leur édition, leur correction et leur impression. Cet accompagnement constitue une contribution majeure au développement de l'éducation et au renforcement de la qualité des apprentissages dans notre pays.

L'Institut Pédagogique National adresse également ses sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à l'aboutissement de cette œuvre : auteurs, relecteurs, inspecteurs, équipes techniques et partenaires ayant accompagné les différentes phases de conception et de production.

Nous espérons que ces manuels constitueront des outils pédagogiques efficaces au service des enseignants et des élèves et qu'ils contribueront au renforcement de l'enseignement des sciences, à l'amélioration des performances scolaires et à la formation d'une génération capable de participer activement au développement national.

Le Directeur Général
Dr. Cheikh Mouadh Sidi Abdalla

IPN

AVANT-PROPOS

Chers collègues Professeurs,
Chers élèves,

Au regard des programmes innovés au niveau de l'enseignement secondaire, l'Institut Pédagogique National (IPN), au prix d'importants efforts déployés sous le sceau de l'urgence, a le plaisir de mettre à votre disposition ce manuel intitulé : Physique SN, 6e AS. Il vise ainsi à servir à la fois le professeur et l'apprenant.

En effet, avec ce document, à défaut de prétendre bénéficier d'un cours préparé, le professeur dispose au moins d'un canevas précis lui permettant de conduire les apprentissages. Quant à l'apprenant, il a un support qui, en plus de la revue des cours et des applications, lui fournit des opportunités de perfectionnement à travers les exercices de consolidation ; il pourra ainsi assimiler plus facilement le programme.

Il va sans dire que bien qu'il soit la déclinaison du programme officiel, ce manuel n'en est pas pour autant le support exclusif. Loin s'en faut ! Il est d'ailleurs conseillé voire souhaité que vous consultiez d'autres documents pour varier, enrichir et renforcer vos connaissances.

De la composition du manuel

De par son contenu, ce manuel comprend neuf chapitres

Chapitre 1 : La cinématique.

Chapitre 2 : Travail et puissance.

Chapitre 3 : Energie et mécanique.

Chapitre 4 : Transferts thermiques.

Chapitre 5 : Champ magnétique.

Chapitre 6 : Champ électrostatique-Différence de potentiel.

Chapitre 7 : Puissance électrique dans une portion de circuit.

Chapitre 8 : Condensateur

Chapitre 9 : Notion de courant alternatif sinusoïdal.

De la méthodologie

Chaque chapitre renferme l'ensemble des savoirs énoncés dans le programme. Notre démarche a consisté à dégager ces savoirs à partir :

- De l'étude d'exemples ;
- Des descriptions de situations tirées de différents documents et adaptées à nos réalités.

De la composition d'un chapitre

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.

La réalité du terrain, à travers l'exécution d'un programme dans les classes, révèle souvent que bien des aspects n'ont pas été pris en compte lors de sa conception. C'est pour cela que nous prêtons une oreille très attentive aux remarques et suggestions qui permettront sans doute, dans les futures éditions, d'améliorer ce manuel tant dans le fond que dans la forme.

Les auteurs

IPN

Table de matières

-Préface	3
-Avant-propos	5
-Table des matières	7
-Chapitre I : La Cinématique	9
-Chapitre II : Travail et Puissance	37
-Chapitre III : Energie mécanique	49
-Chapitre IV : Transferts thermiques	67
-Chapitre V : Champ magnétique	79
-Chapitre VI : Champ électrostatique – Différence de potentiel	95
-Chapitre VII : Puissance électrique dans une portion de circuit	111
-Chapitre VIII : Condensateur	129
-Chapitre IX : Notion de courant alternatif	143

IPN

CHAPITRE I : 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.

IPN

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 »

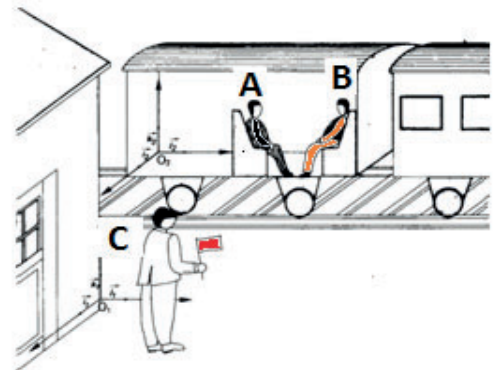
Le chef de gare C observe B il conclut « B est en mouvement »

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

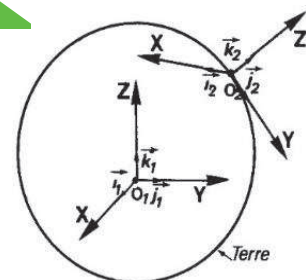


III -Référentiel

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.

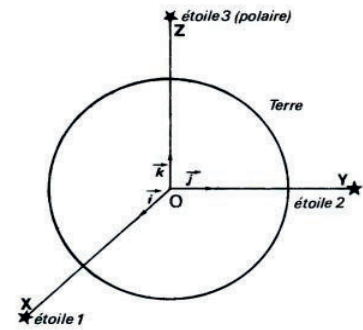
Le système d'axes $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ est lié au point de la surface de la terre, où l'étude est faite.

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) :

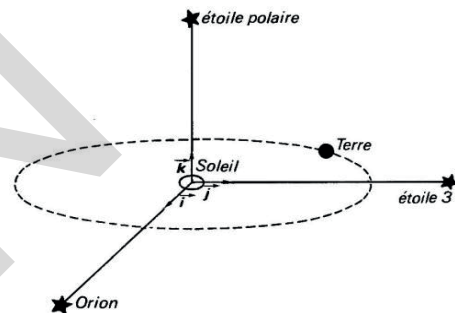
Le référentiel géocentrique, est constitué par le centre de la terre et trois étoiles très éloignées quasiment fixes dont l'une est l'étoile polaire.

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 au gré des vents ne peuvent servir de référentiel ; on choisit pour référentiel des systèmes qu'on peut considérer comme indéformables ou « solide de référence ».

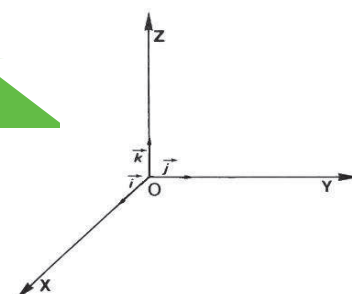
IV – Notion de repères :

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 :

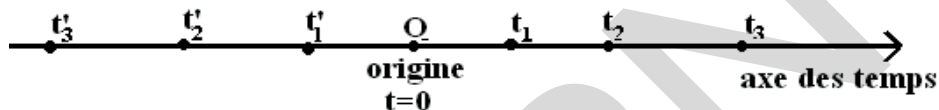
Il permet d'associer une date à chaque position d'un point en mouvement.

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 d'un 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 :

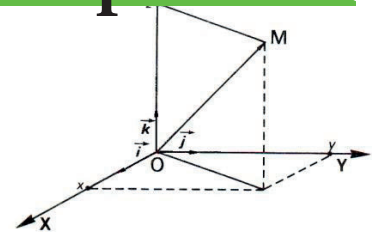
C'est l'ensemble des positions occupées par le mobile au cours du temps. Si la trajectoire est une droite le mouvement est rectiligne. Il sera dit curviligne dans tous les autres cas.

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

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



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 :

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

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

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

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

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

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

Donc :

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

$$d'où OM = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

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 $\overrightarrow{OM} \begin{cases} x = 4 \\ y = 11 \\ z = 0 \end{cases}$ ou $\overrightarrow{OM} = 4\vec{i} + 11\vec{j} + 0\vec{k}$
 $OM = \sqrt{4^2 + 11^2} = \sqrt{137} = 11,7m$

Si les coordonnées x ; y ; z sont exprimées en mètre, OM est exprimée également en mètre
 La construction de $\overrightarrow{OM}$ se fait en sommant géométriquement les trois vecteurs $x\vec{i}$; $y\vec{j}$ et $z\vec{k}$

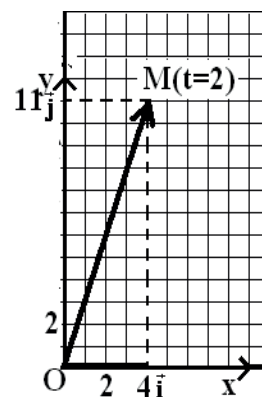
Exemple cas précédent : $\overrightarrow{OM} = 4\vec{i} + 11\vec{j} + 0\vec{k}$

Donc la construction de $\overrightarrow{OM}$ donne :
 l'origine du vecteur position ;
 sa direction et son sens.

la norme OM du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ 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 .

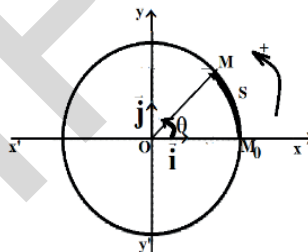
Exemple : l'intensité du vecteur position $\overrightarrow{OM}$ est notée OM ; l'intensité du vecteur vitesse $\vec{V}$ sera notée V ; celle du vecteur accélération $\vec{a}$ sera notée a .



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 $\widehat{M_0M}$ 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 NKT l'abscisse d'un mobile M (une voiture par exemple) qui part de NKT et arrive à Rosso est $S = 204km$.

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 :

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

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

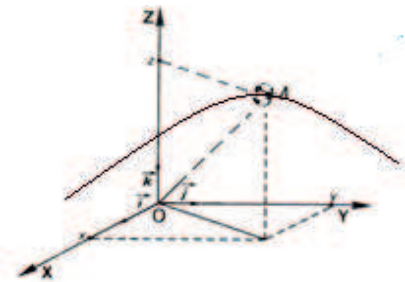
O: un point origine choisi sur la table ; OX et OY sont deux axes orthogonaux choisis sur la table.

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 :

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



IX -Le vecteur vitesse :

1 La variation 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 :

$$\overrightarrow{OM_1} = x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k}$$

Le vecteur position à l'instant t_2 est

$$\overrightarrow{OM_2} = x_2\vec{i} + y_2\vec{j} = (x_1 + \Delta x)\vec{i} + (y_1 + \Delta y)\vec{j}$$

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

La variation du vecteur position est le vecteur

$$\begin{aligned} \Delta\overrightarrow{OM} &= \overrightarrow{OM_2} - \overrightarrow{OM_1} \\ &= [(x_1 + \Delta x)\vec{i} + (y_1 + \Delta y)\vec{j} + (z_1 + \Delta z)\vec{k}] - (x_1\vec{i} + y_1\vec{j} + z_1\vec{k}) \\ &= \Delta x\vec{i} + \Delta y\vec{j} + \Delta z\vec{k} \end{aligned}$$

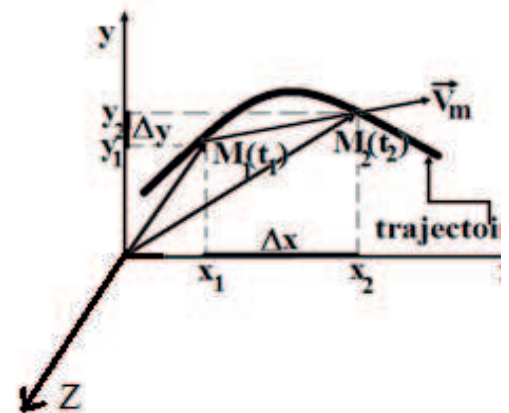
2 - Le vecteur vitesse moyenne $\vec{V}_m$:

Le vecteur vitesse moyenne du point mobile entre les instants t_1 et t_2 est par définition le rapport de la variation du vecteur position à la durée $\Delta t = t_2 - t_1$

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

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

Comme $\frac{1}{\Delta t} > 0$ (car $t_2 > t_1 \Rightarrow \Delta t > 0$) alors les vecteurs $\vec{V}_m$ et $\overrightarrow{M_1M_2}$ 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 vers

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

Le vecteur vitesse est donc la dérivée par rapport au temps du vecteur position $\vec{OM} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$

Soit :

$$\begin{aligned} \vec{V} &= \frac{d}{dt}(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}) = \frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k} \\ &= V_x\vec{i} + V_y\vec{j} + V_z\vec{k} \\ &= x'\vec{i} + y'\vec{j} + z'\vec{k} \\ V_x &= \frac{dx}{dt} = x'; V_y = \frac{dy}{dt} = y'; V_z = \frac{dz}{dt} = z' \end{aligned}$$

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 .

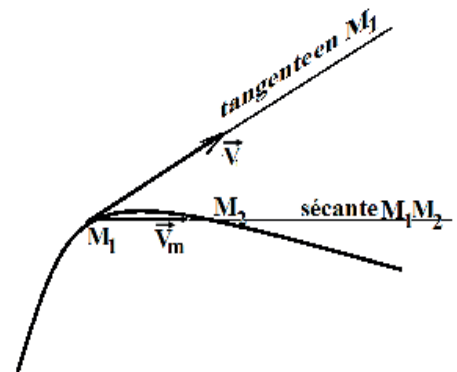
Donc le vecteur vitesse (ou vecteur vitesse instantanée) est à chaque instant tangent à la trajectoire.

Son sens est celui du mouvement.

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

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

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



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

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

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

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 :

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

Rassemblons les résultats dans le tableau ci-dessous

t	0	1	2	3	4
$v_x(\text{m/s})$	2	2	2	2	2
$v_y(\text{m/s})$	0	2	4	6	8
$V(\text{m/s})$	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 10 secondes.

Intuitivement, nous disons que le deuxième véhicule accélère davantage que le premier ; ce qui revient à comparer le rapport: $a = \frac{\text{variation de la vitesse}}{\text{durée de la variation}}$

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

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

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 $\vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v} = \vec{cte}$. 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 $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \frac{d\vec{v}}{dt} \text{ avec } \vec{v} = V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k} \\ \text{donc } \vec{a} &= \frac{d}{dt} (V_x \vec{i} + V_y \vec{j} + V_z \vec{k}) = \frac{dV_x}{dt} \vec{i} + \frac{dV_y}{dt} \vec{j} + \frac{dV_z}{dt} \vec{k} \\ \text{soit } \begin{cases} \frac{dV_x}{dt} = a_x \\ \frac{dV_y}{dt} = a_y \\ \frac{dV_z}{dt} = a_z \end{cases} &\text{ ou } \vec{a} = a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} \end{aligned}$$

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

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

Intensité :

$$\begin{aligned} \vec{a} &= a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k} \Leftrightarrow a^2 = (a_x \vec{i} + a_y \vec{j} + a_z \vec{k})^2 \\ \text{alors } a &= \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \end{aligned}$$

Unité : Dans le système international d'unités l'intensité du vecteur accélération s'exprime en m/s^2 ou $m.s^{-2}$

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

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

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 $\vec{V} = \frac{d\overrightarrow{OM}}{dt}$;

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

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

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

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
$a \text{ (m/s}^2\text{)}$	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

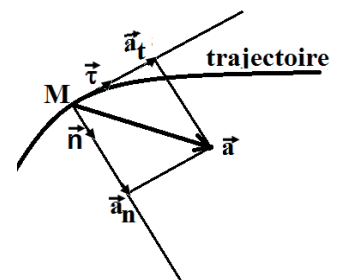
positif choisi, $\vec{n}$ est le vecteur unitaire perpendiculaire à $\vec{\tau}$ et

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 : $\vec{a}_\tau$ et $\vec{a}_n$



On montre et nous admettons que: $\vec{a} \begin{cases} a_\tau = \frac{dv}{dt} \\ a_n = \frac{v^2}{\rho} \end{cases}$

- $\vec{a}_\tau$: 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.

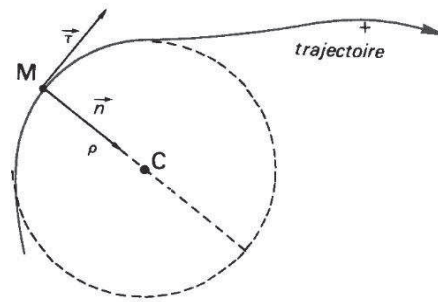
- ρ : rayon de courbure de la trajectoire.

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)



$$\rho \rightarrow \infty \Rightarrow a_n \rightarrow 0 \Rightarrow a = a_t$$

Remarque 1

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

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

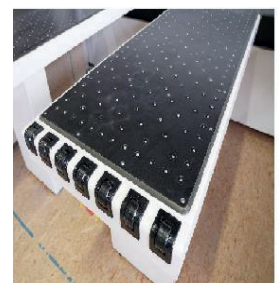
XII -Les enregistrements chrono graphiques :

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.

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.



aérotable

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

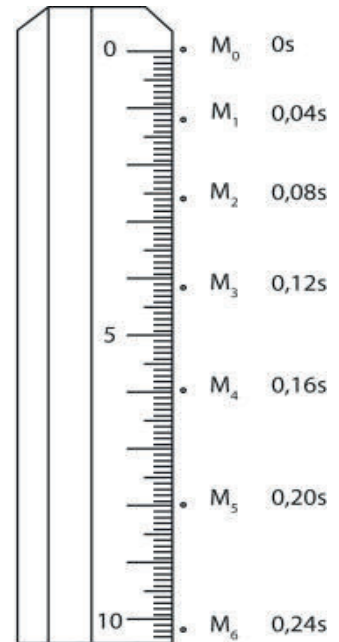
$$t - \tau \text{ et } t + \tau$$

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

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

Exemple : Sur la figure ci-contre : la vitesse du point mobile lors de son passage au point M_4 est $V_4 = \frac{M_3M_5}{2\tau}$ 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 $t=0$ $y_0 = \overline{OG_0} = 0,45m$

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

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

2.3- Cas des mouvements curvilignes :

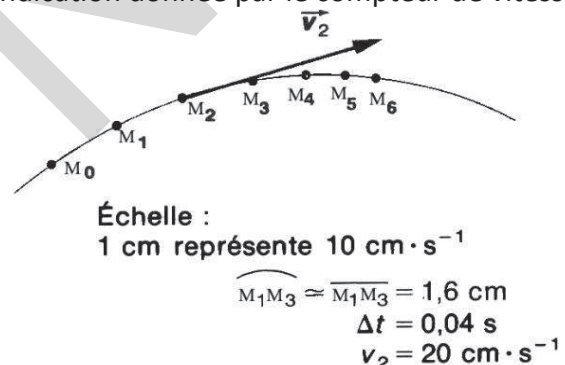
La définition est la même que dans le cas d'une trajectoire rectiligne ; « l'intervalle de temps Δt étant suffisamment petit la vitesse à l'instant t d'un point mobile sur une trajectoire quelconque est égale à sa vitesse moyenne entre les instants $t-\Delta t$ et $t+\Delta t$.

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 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_1M_3 la vitesse au point

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

$V_2=20cm/s$; $M_1M_3=1,6cm$: $\Delta t=0,04s$



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

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

1.2- L'équation horaire :

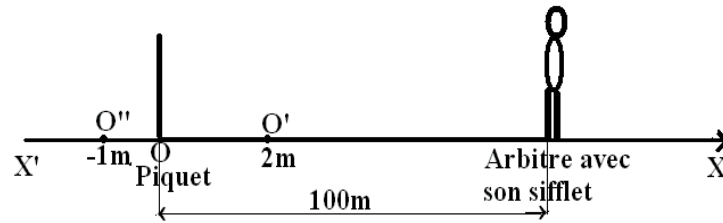
C'est la relation qui donne l'abscisse du mobile à chaque instant.

L'équation horaire du mouvement s'écrit :

$$\begin{array}{ccccccc} x & = & V \cdot t & + & x_0 \\ \uparrow & & \uparrow \uparrow & & \uparrow \\ (m) & & (m/s) (s) & & (m) \end{array}$$

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 $x_0 = 2\text{m}$ 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 $x_0 = -1\text{m}$.

Remarques :

- 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 $V = cte$

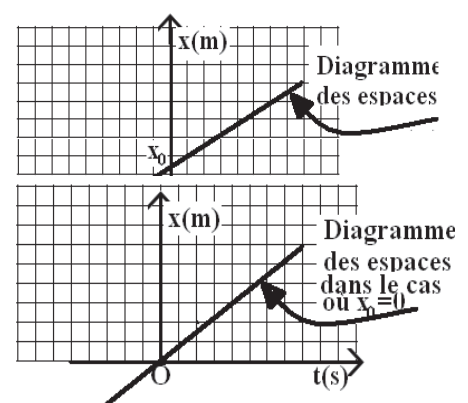
1.4 - Diagrammes :

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.

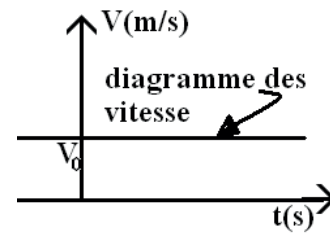
Si $x_0 = 0$ alors $x = Vt$

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.



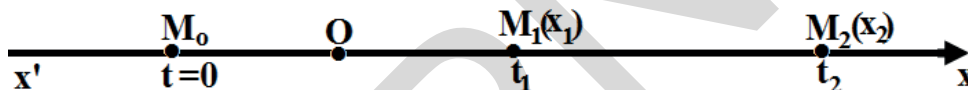
- Application:

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:

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

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



VIII-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

$$\vec{a} = \overrightarrow{cte} = \vec{a}_x \cdot \vec{i} \text{ avec } a_x = \frac{dV_x}{dt} = cte$$

$$\|\vec{a}\| = |a_x| \cdot \|\vec{i}\| = a_x \text{ car } \|\vec{i}\| = 1$$

2- La vitesse:

$$v = a \cdot t + V_0$$

car $a_x = a$ 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 : $x = \frac{1}{2}at^2 + V_0t + x_0$ (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)

$$V = at + V_0 \Rightarrow t = \frac{V-V_0}{a} \text{ en remplaçant dans (2)}$$

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

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

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

Rq : De façon générale, entre chaque deux positions M_I et M_F on a $\boxed{v_F^2 - v_I^2 = 2a(x_F - x_I)}$.

Applications :

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

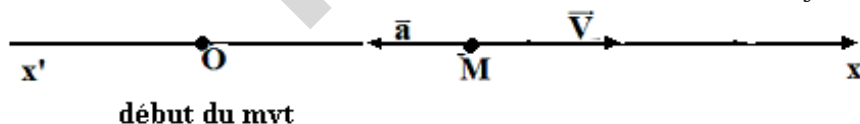
$$V=72\text{km/h}=72 \times 1000 / 3600 = 20\text{m/s} : V=at+V_0 \Rightarrow a = \frac{V-V_0}{t} = 2\text{m/s}^2$$

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:

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



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

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

Démonstration : Considérons des intervalles de temps successifs égaux : t ; $t+\theta$; $t+2\theta$; ; $t+k\theta$.

$k \in \mathbb{N}$

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

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

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

$$d_k = \left[\frac{1}{2} a(t + k\theta)^2 + V_0(t + k\theta) + X_0 - \frac{1}{2} a(t + (k-1)\theta)^2 - V_0(t + (k-1)\theta) - X_0 \right].$$

$$d_1 = x_1 - x = \frac{1}{2}a(t + \theta)^2 + V_0(t + \theta) + X_0 - \left(\frac{1}{2}at^2 + V_0t + X_0\right). d_2 = x_2 - x_1 = \frac{1}{2}a(t + 2\theta)^2 + V_0(t + \theta) + X_0 - \left[\frac{1}{2}a(t + \theta)^2 + V_0(t + \theta) + X_0\right].$$

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

Réciproquement si les espaces parcourus au cours d'un M.R. pendant des durées successives égales à θ varient suivant une suite arithmétique de raison r , le mouvement est uniformément varié d'accélération $a=r/\theta^2$

Si $r > 0$, le mouvement est accéléré.

Si $r < 0$, le mouvement est décéléré

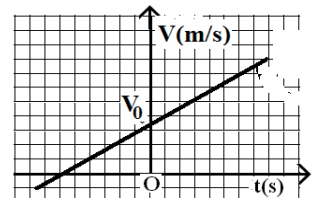
6 - Diagrammes :

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 $(0, V_0)$.

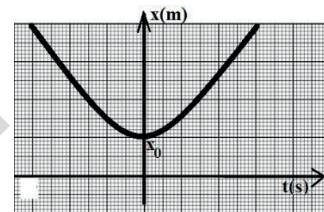
Dans le cas où V_0 est nulle la droite passe par l'origine



6.2-des espaces :

La courbe représentative de la fonction $x = f(t)$ est appelée diagramme des espaces.

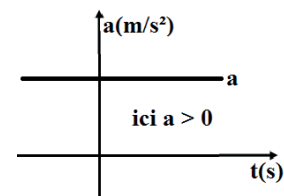
Ici le diagramme des espaces est une parabole car la fonction $x = f(t)$ est une fonction du 2^{ème} degré de temps.



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 $a.V > 0$.

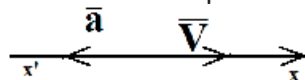
Exemple : Le démarrage d'une voiture est une phase accélérée



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 $a.V < 0$.

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



Applications

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

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

Corrigé :

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

$$\text{à } t = 0 \Rightarrow OM_0 = \sqrt{(2.0 + 1)^2 + (0)^2} \Rightarrow OM_0 = 1\text{m}$$

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

$$\text{à } t = 0 \Rightarrow v_0 = \sqrt{(2)^2 + (2.0)^2} \Rightarrow v_0 = 2\text{m/s}$$

$$3^\circ) \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \Rightarrow \vec{a} = 2.\vec{j} \text{ donc } a = \sqrt{(2)^2} \Rightarrow a = a_0 = 2\text{m/s}^2$$

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

Nature de la trajectoire : parabole

Application 2 :

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

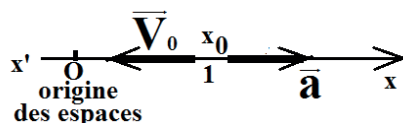
A l'instant $t = 0\text{s}$, sa vitesse est $V_0 = -5\text{m/s}$ et son élongation $x_0 = 1\text{m}$

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

Solution:

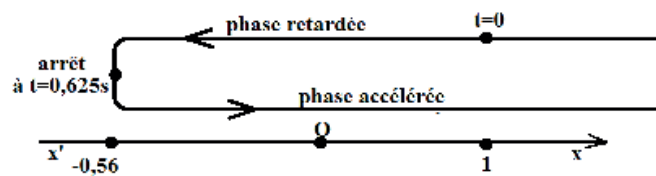
a, V_0, x_0 sont des valeurs algébriques, si les valeurs algébriques a, V_0, x_0 sont positives alors les vecteurs $\vec{V}_0$ et $\vec{a}$ ont même sens positif choisi sur l'axe.

Dans le cas contraire, ils ont le sens contraire



- 1) L'équation horaire est $x = \frac{1}{2}at^2 + V_0t + x_0$ soit $x = 4t^2 - 5t + 1$
- 2) Les phases du mouvement : $V = 8t - 5 \Rightarrow V = 0 \Rightarrow t = 5/8\text{s}$

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



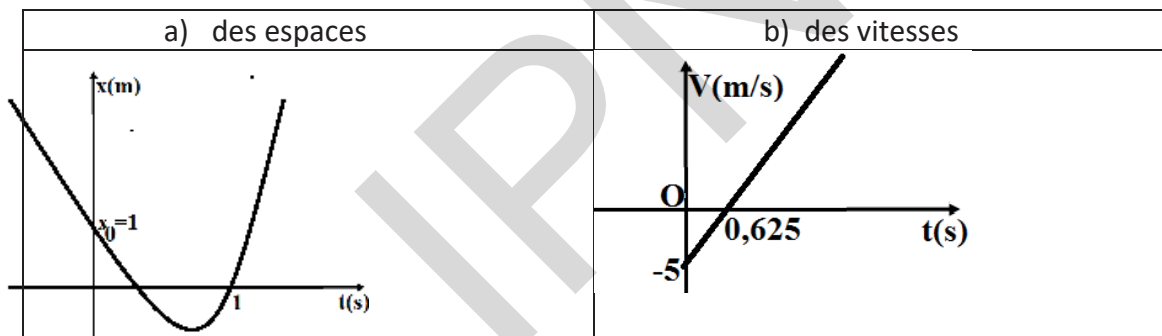
Le mobile est donc en mouvement retardé pour $t < 0,625s$

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

3) L'élongation lorsque la vitesse s'annule :

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

4) 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 $(\overrightarrow{OM})$ qui donne la position du mobile à l'instant t

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

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.

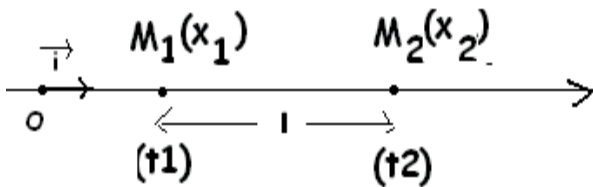
7) Vitesse d'un mobile

7-1) Vitesse moyenne :

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

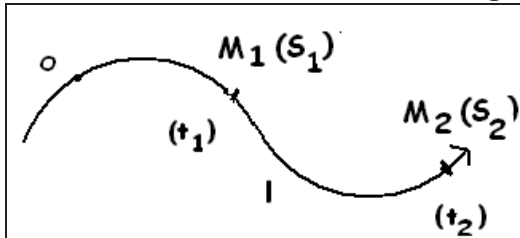
l en mètre et t en seconde

- Cas d'un mouvement rectiligne



$$m = \frac{l}{t}, V_m = \frac{M_1 M_2}{t} \text{ donc } V_m = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

- Cas d'un mouvement curviligne



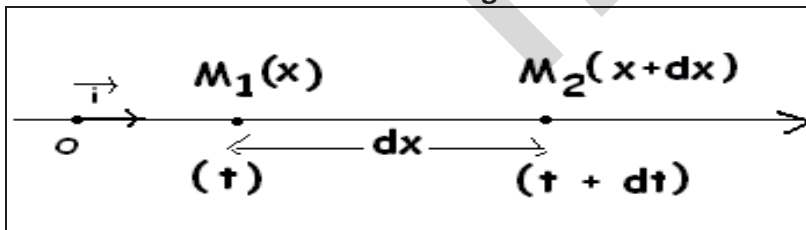
$$V_m = \frac{l}{t}, V_m = \frac{\overline{M_1 M_2}}{t} \text{ donc } V_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

7-2) Vitesse instantanée :

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

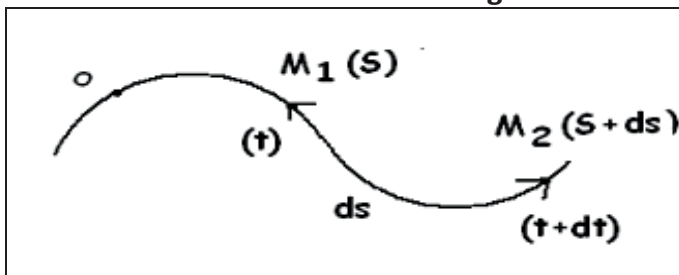
$$\vec{V} = \lim_{t_1 \rightarrow t_2} \vec{V}_m = \frac{d(\vec{OM})}{dt}$$

- Cas d'un mouvement rectiligne :



$$v = \frac{dx}{dt}$$

- Cas d'un mouvement curviligne:



$$v = \frac{ds}{dt}$$

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 .

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

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 :

Un signal radar revient à son point d'émission 4ms après avoir été émis. La vitesse de la lumière est $C=3.10^8\text{m/s}$. A quelle distance de l'émetteur se situe l'obstacle réfléchissant.

- 1) $d=700\text{ km}$
- 2) $d=600\text{ km}$
- 3) $d=500\text{ km}$
- 4) $d=400\text{ km}$

Exercice 2 :

L'expression du vecteur-position d'un mobile dans un repère orthonormé $(\mathbf{O}, \vec{i}, \vec{j})$ est :

$$\overrightarrow{OM} = (2t^2 - 3)\vec{i} + (-t^2 + 5)\vec{j}.$$

L'accélération a du mobile est :

- 1) 20m.s^{-2}
- 2) $\sqrt{20}\text{ m.s}^{-2}$
- 3) 5m.s^{-2}
- 4) $-\sqrt{20}\text{ m.s}^{-2}$

Exercice 3 :

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

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

- 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 4 :

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 5 :

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 6:

On considère le mouvement d'un mobile M dont les coordonnées dans un repère (ox,oy) sont données par les équations : $\begin{cases} x = t \\ y = t^2 - 2t + 2 \end{cases}$, 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 7 :

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 8 :

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 9

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 10

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 11

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 12

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 13

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 14

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 15

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 ?

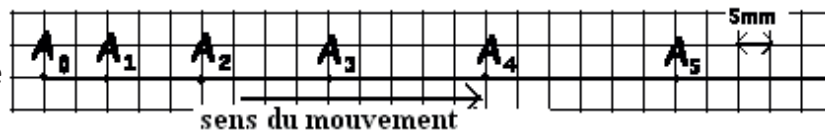
Exercice 16

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

- 1- Donner les expressions des vecteurs positions $\overrightarrow{OM}$ 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 $t = 2\text{ s}$. Déterminer en ce point les composantes tangentielle et normale du vecteur accélération ainsi que le rayon de courbure.

Exercice 17

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.

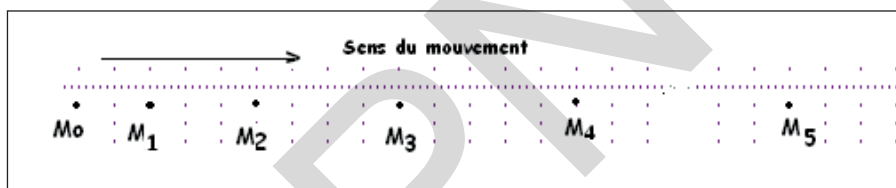
t	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
$V_i(\text{m/s})$						
$a_i(\text{m/s}^2)$						

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 18

Un mobile parcourt les distances suivantes pendant des intervalles de temps successifs et égaux $\theta = 50\text{ms}$.



Echelle: $1\text{cm} = \text{deux carreaux}$

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 19 :

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 $2,5\text{s}$ pour effectuer le trajet aller et retour.

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

CHAPITRE II : TRAVAIL ET PUISSANCE



OBJECTIFS

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

IPN

I-Travail d'une force

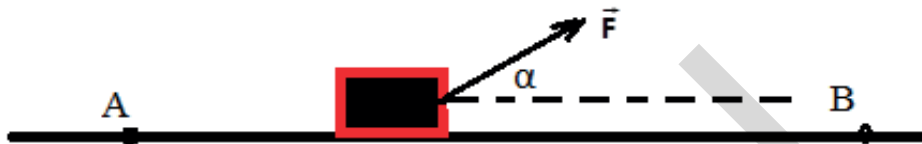
1 -Définition :

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



2 - Cas particuliers

- Si $\alpha = 0$ Le travail est : $W_{AB} = F \cdot AB$



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 : $w_{AB}(\vec{F}) = -F \cdot AB$

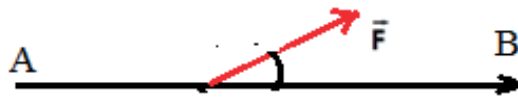


Force orientée dans le sens opposé au déplacement AB

Remarque

Le travail est une grandeur algébrique .Selon la valeur de l'angle $\alpha, 0 \leq \alpha \leq \pi$, 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

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



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.

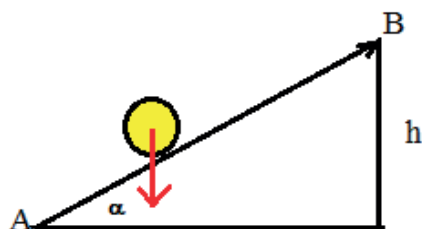
Comme le poids est une force constante et que le déplacement est rectiligne nous pouvons appliquer la définition du travail.

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

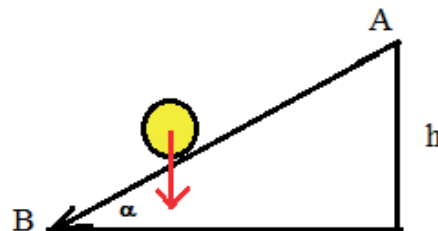
$$w_{AB}(\vec{P}) = P \cdot AB \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) = P \cdot AB \sin \alpha = P \cdot h(a)$$

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

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



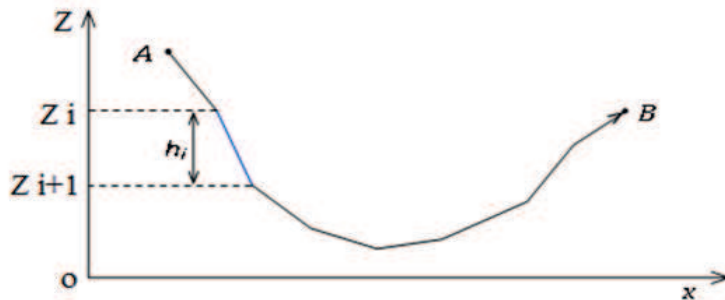
(b) travail résistant



(a) travail moteur

Dans le cas général d'un déplacement curviligne du centre de gravité G d'un solide, nous divisons la trajectoire en n déplacements élémentaires. Le travail du poids sur le premier déplacement élémentaire s'écrit : $\delta w_i(\vec{P}) = P h_i = P(z_i - z_{i+1})$

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 : $w_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB}$

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 :

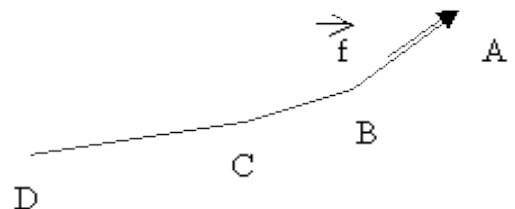
La **force de frottement** est une force créée par l'interaction de deux surfaces en contact qui glissent l'une sur l'autre et qui s'opposent au mouvement.

Le frottement est causé par les irrégularités d'une surface. Bien qu'une surface puisse paraître lisse à l'œil nu, de 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, $W_{A-D}(\vec{f}) = -f \cdot (AB + BC + CD)$

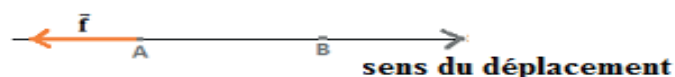
Les forces de frottements sont des forces non conservatives et leur travail dépend donc du trajet suivi.



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

Les forces de frottement sont toujours opposées aux mouvements ainsi,

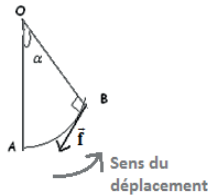
géométriquement les forces de frottements lors d'un mouvement rectiligne, sont toujours orientées avec un angle de 180° par rapport au déplacement. Leur travail s'exprime alors par la relation : $W_{AB}(\vec{f}) = -fAB$



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

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

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



c- Travail de la tension du ressort.

Soit un ressort de raideur K dont la déformation passe de la position définie par x_1 à la position définie par x_2 . On définit le travail de sa tension $\vec{T}$ entre ces deux positions par la relation :

$$W(\vec{T})_{(1 \rightarrow 2)} = \frac{K}{2} x_1^2 - \frac{K}{2} x_2^2$$

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 :

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

2 - Puissance instantanée d'une force

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 + δt
La puissance instantanée à une date t est :

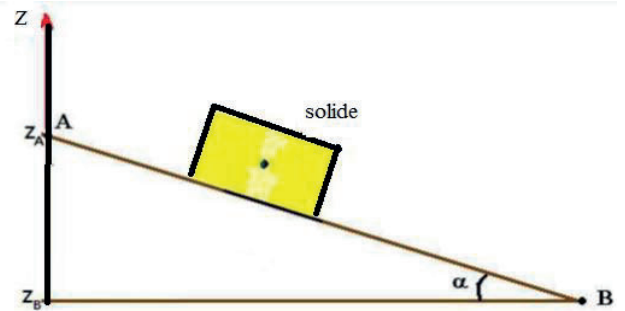
$$P_{inst} = \frac{\delta w}{\delta t} \text{ avec } \delta W = \vec{F} \cdot \delta \vec{S} \Rightarrow P = \frac{\vec{F} \cdot \delta \vec{S}}{\delta t} = \vec{F} \cdot \vec{V}$$

Applications

Application 1

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.

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

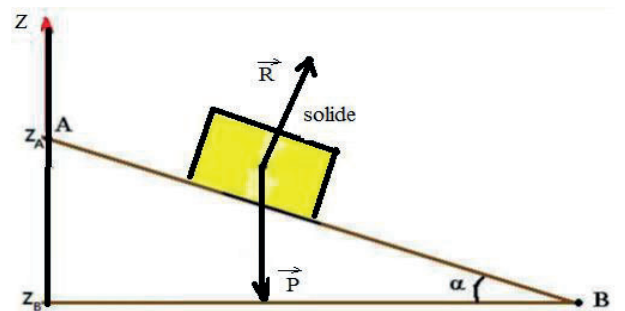
$$\text{Or: } \sin \alpha = \frac{z_A - z_B}{AB} \Rightarrow z_A - z_B = AB \sin \alpha$$

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 : $w = 2kj = 2 \cdot 10^3J$

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 : $W_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB} = F AB \cos \alpha$ où α est l'angle formé par les deux vecteurs $\vec{F}$ et $\overrightarrow{AB}$.
- 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 $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi \Rightarrow \cos \alpha < 0, W_{AB}(\vec{F}) < 0$
- 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 voiture de masse 1,2t, en panne, est poussée par trois personnes sur une route horizontale. La valeur de la vitesse du véhicule passe de 0 à 9Km.h^{-1} après un parcours de 10m.

La valeur du travail de la force résultante exercée sur la voiture est :

- 1) 5400J
- 2) 37,5J
- 3) 3750 J
- 4) 3,75J

Exercice 2

Un camion de masse 4,5 tonnes, initialement au repos développe une puissance constante égale à 20KW.

La vitesse acquise en une minute est égale à :

- 1) 23m/s
- 2) 35m/s
- 3) 20m/s
- 4) 30m/s

Exercice 3

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 4

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 5

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 6

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

Exercice. 7

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

Exercice 8

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 9

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%.

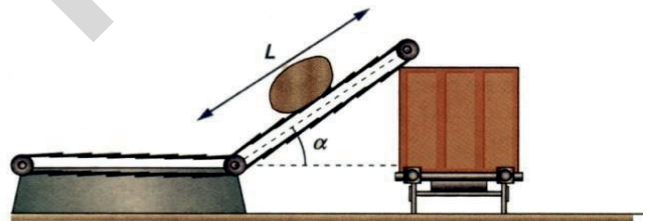
Exercice 10

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 11

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 12

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 :



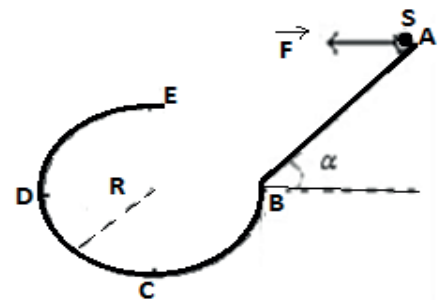
Sachant que le corps se déplace d'un point A vers un point B ($AB=30\text{m}$) et que ce déplacement a duré 2,5mn :

- 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 13

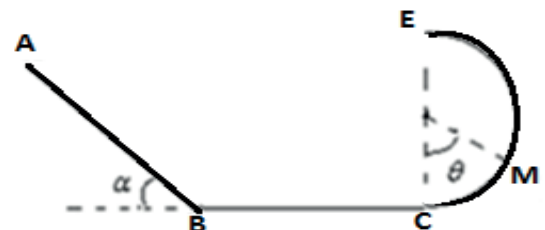
Un solide S de masse $m=2\text{kg}$ supposé ponctuel est soumis à une force constante horizontale d'intensité $F=2\text{N}$, parcourt le trajet $AB=0,5\text{m}$ sur un plan incliné d'un angle α .



- 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 ($g=10\text{N/kg}$)
- Déterminer la valeur de la vitesse du corps S le long du trajet AB, sachant que la puissance développée par la force est $14,9\text{W}$
 - Calculer la durée mise par le solide pour parcourir le trajet AB
- 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 14

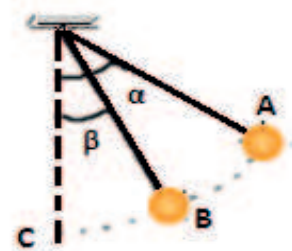
Un solide S de masse $m=2\text{kg}$ supposé ponctuel parcourt un rail comprenant une partie inclinée d'un angle $\alpha=30^\circ$ et de longueur $AB=2\text{m}$ puis une partie rectiligne $BC=1\text{m}$ et une partie circulaire de rayon $r=0,5\text{m}$ (voir figure)



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

Exercice 15

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)



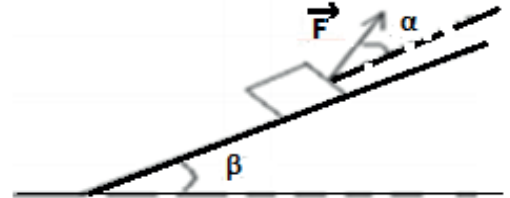
- Sachant que les frottements sont négligeables, représenter (sans échelle) les forces qui s'exercent sur la boule
- Donner l'expression du travail du poids de la boule durant le déplacement de A à B puis calculer sa valeur

- 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 16

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.

- 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
- Déterminer l'intensité de la force exercée par le plan de contact sur le corps.
- Le corps se déplace du plan horizontal à un autre plan incliné d'un angle $\beta=15^\circ$ par rapport à l'horizontale.
- 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 17

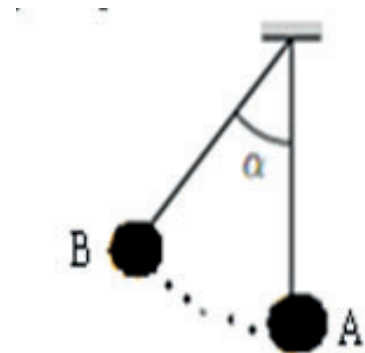
Sur la ligne de plus grande pente inclinée de 2% se déplace une voiture de masse $m=100\text{kg}$, sans frottement à vitesse constante (vers le haut). La vitesse de la voiture reste constante sur une distance de $AB=50\text{m}$.

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

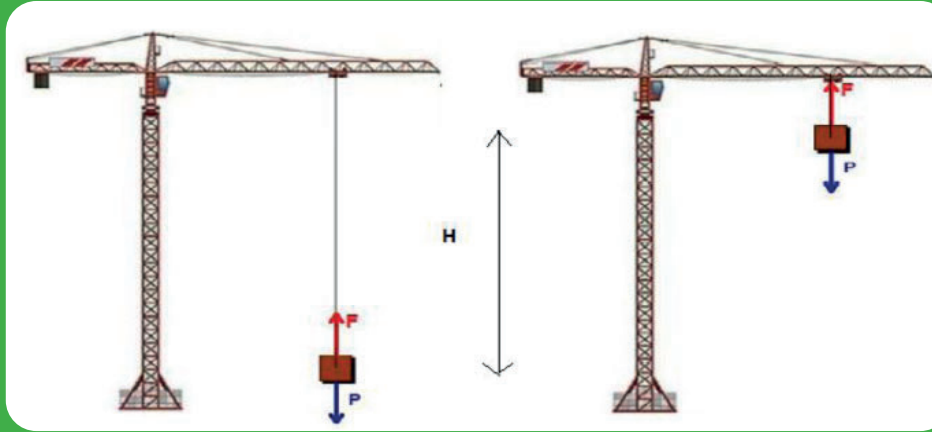
Exercice 18

Un Pendule simple est constitué d'une boule de masse $M=50\text{g}$ accrochée au bout d'un fil de longueur $L=30\text{cm}$, 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

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



Chapitre III : 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.

IPN

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 **Ec**, 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

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

b) Energie cinétique d'un solide en translation

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

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

$$\text{Pour le solide } Ec = \sum \frac{1}{2}m_i V_i^2 = \frac{1}{2}V^2 \sum m_i =$$

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

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 :

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

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

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

III. Énergie potentielle

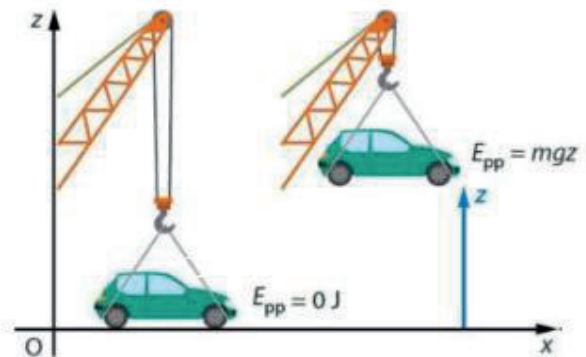
Dans le cas d'un travail effectué par des forces de pesanteur ou par des forces engendrées par des ressorts, on parle d'énergie potentielle. C'est l'énergie que possède un système déformable spontanément car ses différentes parties sont en interaction conservative

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 $z = 0$.

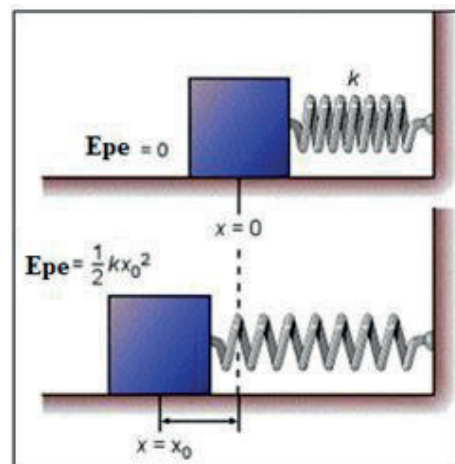
$$\begin{cases} E_{pp}: \text{Énergie potentielle de pesanteur (J)} \\ m: \text{Masse du solide (kg)} \\ z: \text{Altitude du solide (m)} \\ g: \text{Intensité de la pesanteur (N/kg)} \end{cases}$$

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



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

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 : $\Delta E_{m(A \rightarrow B)} = \Delta E_{c(A \rightarrow B)} + \Delta E_{p(A \rightarrow B)}$ $\Delta E_{c(A \rightarrow B)} = -\Delta E_{p(A \rightarrow B)}$.

Dans le cas où l'énergie mécanique d'un système se conserve, alors toute l'énergie cinétique

b) Non conservation de l'énergie mécanique

b) Non conservation de l'énergie mécanique

Le système est non conservatif si $\Delta E_m = \sum W_{AB}(\vec{F}_{ex}) + \sum W_{AB}(\vec{F}_{inc}) \neq 0$.

Deux cas à envisager :

- Si le support du mobile ne fait pas partie du système, alors $\sum W_{AB}(\vec{F}_{inc}) = 0$ et $\Delta E_m =$

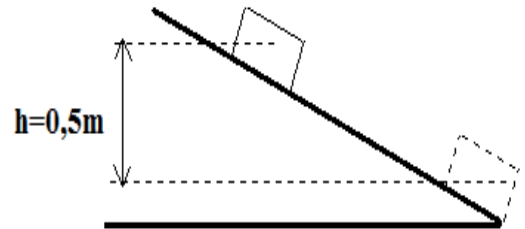
$$\sum W_{AB}(\vec{F}_{ex}).$$

- Si le support appartient au système et

que $\sum W_{AB}(\vec{F}_{ex}) = 0$, on a $\Delta E_m = \sum W_{AB}(\vec{F}_{inc}) = W_{\vec{f}}$.

Applications

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

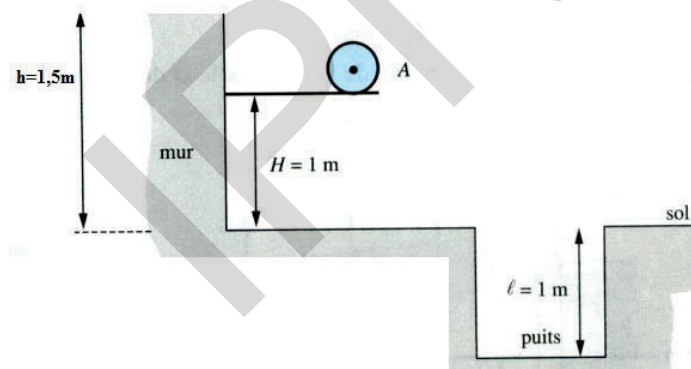
L'énergie mécanique est : $E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2}mV^2 + m \cdot g \cdot h = 0 + 0,5 \cdot 10 \cdot 0,5 = 2,5\text{ J}$

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

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

Application 2

Une petite bille de masse $m = 100\text{ g}$ est placée en A sur une plateforme 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.
- La bille est lancée verticalement vers le sol avec une vitesse initiale de 3 m/s . Calculer sa vitesse à son arrivée au sol.
 - Même question, la bille étant cette fois lancée verticalement vers le haut.
- 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.

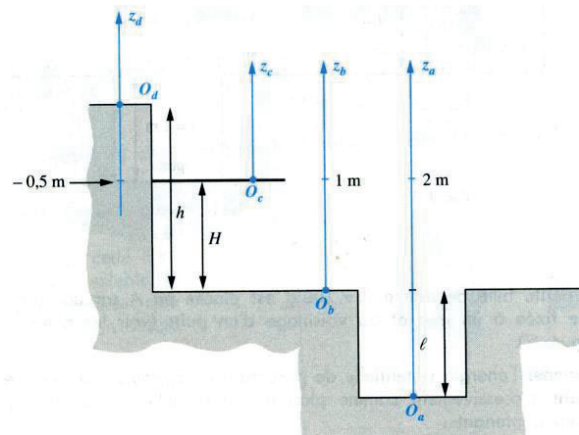
E_{pd} est négative car la bille est en dessous du plan de référence.

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

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

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

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



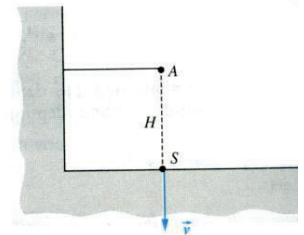
2. Le système isolé conservatif est ici le système bille-terre. Son énergie mécanique se conserve : elle est la même au moment du lâcher (en A) et à l'arrivée au sol S. $E_m(A) = E_m(S)$

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 $E_{ps} = 0$. 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.

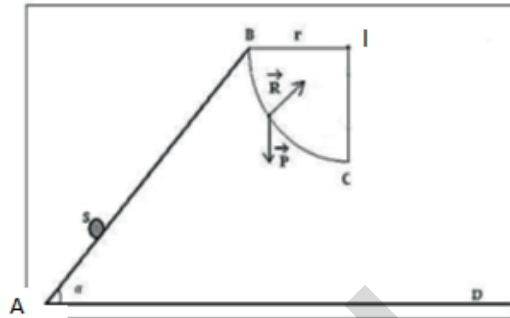
$$v_D = \sqrt{v_A^2 + 2g(H+l)} = \sqrt{3^2 + 2 \times 10(1+1)} \approx 7,0 \text{ m/s.}$$

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 $\vec{f}$ parallèle et de sens contraire à celui de sa vitesse à chaque instant, d'intensité constante $f = 10^{-2} \text{ N}$.
- 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_C . 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 :

$\vec{P}$: le poids vertical,

$\vec{R}_N$: la réaction normale de la pente,

$\vec{f}$: la force de frottement parallèle à la pente et de sens contraire au déplacement.

On applique le théorème de l'énergie cinétique :

$$\Delta E_C = E_C(B) - E_C(A) = W_{A \rightarrow B}(\vec{P}) + W_{A \rightarrow B}(\vec{R}_N) + W_{A \rightarrow B}(\vec{f}).$$

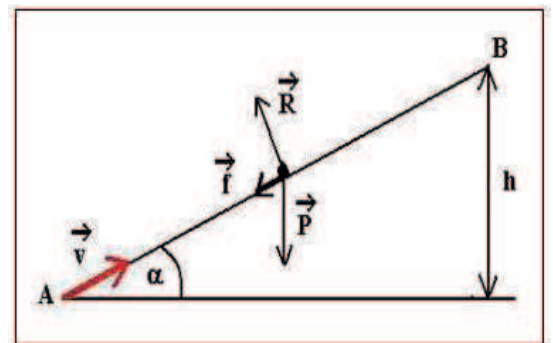
$$\begin{aligned} 1/2 m \cdot V_B^2 - 1/2 m \cdot V_A^2 &= \vec{P} \cdot \vec{AB} + \vec{R}_N \cdot \vec{AB} + \vec{f} \cdot \vec{AB} \\ -1/2 m \cdot V_A^2 &= m \cdot g \cdot (z_A - z_B) + 0 + f \cdot AB \cdot \cos 180^\circ \\ -1/2 m \cdot V_A^2 &= -m \cdot g \cdot AB \cdot \sin \alpha - f \cdot AB \end{aligned}$$

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

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

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

- 2- La vitesse de S au point C :



L'inventaire des forces extérieures appliquées sur le point matériel

S entre B et C :

$\vec{P}$: le poids vertical,

$\vec{R}$: la réaction normale de la pente (les frottements étant négligés).

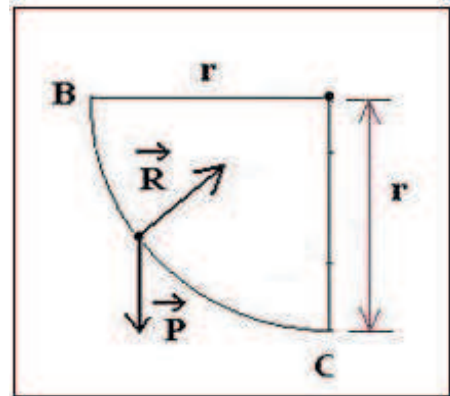
On applique le théorème de l'énergie cinétique :

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

$$\frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 = -mg \cdot (z_C - z_B)$$

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

$$v_C = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 0,5} \Rightarrow v_C \approx 3,16 \text{ m/s.}$$



3- La vitesse de S au point D :

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

$\vec{P}$: Le poids vertical (corps en chute libre).

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

$$\Delta E_C = E_C(D) - E_C(C) = W_{C \rightarrow D}(\vec{P})$$

$$\frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_C^2 = -mg(z_D - z_C)$$

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

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

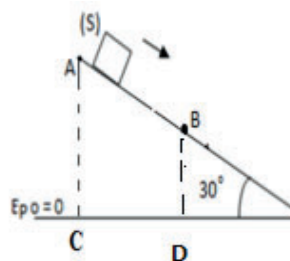
$$v_D = \sqrt{2g(AB \cdot \sin \alpha - r + v_C^2)}$$

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

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

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 inclinée 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- $E_m(A) = E_c(A) + E_p(A) = 0 + mg.AC = 2 \times 10 \times 2 = 40 \text{ J}$. avec $AC = AO.\sin(\alpha) = 2\text{m}$

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

Conclusion : E_m est conservée

$$c- E_m(B) = \frac{m}{2} v_B^2 + mg.BD \Rightarrow v_B^2 = \frac{2E_m}{m} - 2g.OB\sin\alpha \Rightarrow.$$

$$v_B = \sqrt{2 \frac{E_m}{m} - 2g.OB\sin 30^\circ}; \text{ soit } v_B = 2\sqrt{5} \text{ m/s}$$

2- a- i- Au point A : $E_m(A) = E_c(A) + E_p(A) = \frac{1}{2} m v_A^2 + mgh = 16 + 40 = 56 \text{ J}$

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

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

$\Delta E_m = E_m(B) - E_m(A) = 36 - 56 = -20 \text{ J}$

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 1

Donnée : les frottements sont négligeables.

Une voiturette est abandonnée depuis le point A d'une piste dont le profil est donné ci-contre.

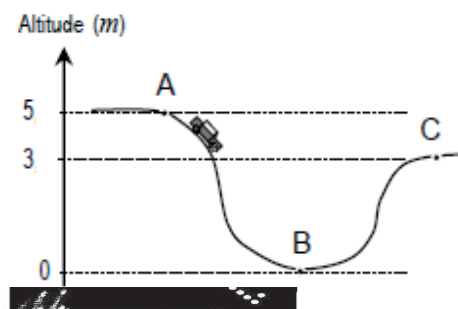
Sa vitesse en C est donnée par la relation :

1) $V_C = \sqrt{g}$

2) $V_C = \sqrt{2g}$

3) $V_C = \sqrt{\frac{g}{2}}$

4) $V_C = 2\sqrt{g}$



Exercice 2

Deux objets ponctuels A et B en interaction avec la Terre sont à la même altitude. Les vitesses de A et de B sont liées par la relation $v_A = 2 v_B$ et leurs masses par $m_B = 4 m_A$.

Leurs énergies cinétique, potentielle et mécanique sont telles que :

1) $E_C(A) = E_C(B)$

2) $E_P(A) = E_P(B)$

3) $E_M(A) = E_M(B)$

4) $E_C(A) = -E_C(B)$

Exercice 3

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 $m=100g$; $R=0,5m$;

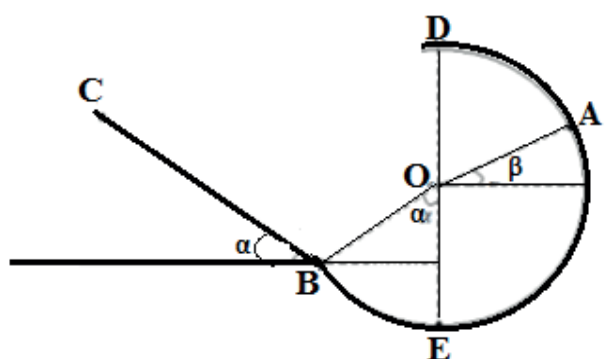
$BC=2m$; $\alpha=30^\circ$; $\beta=60^\circ$ et $g=10N/kg$

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 4

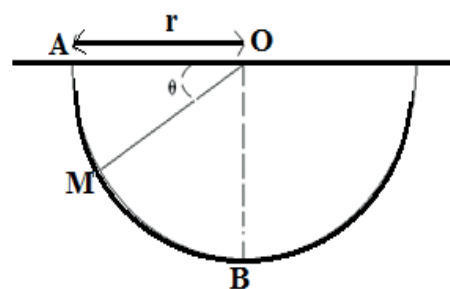
Du bord d'un pont, Sidi lance verticalement vers le haut une pierre de masse $m = 65 g$ à une vitesse $V=5m/s$. le point de lancement de la pierre se trouve à une hauteur $h = 4,5 m$ au-dessus du niveau de l'eau de la rivière. L'eau de la rivière sert de référence pour l'énergie potentielle. La pierre 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 la 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 $g = 9,81 \text{ N/kg}$.

Exercice 5

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 .

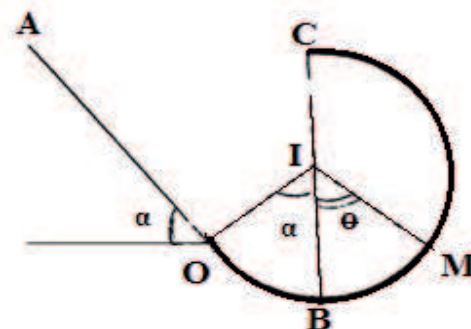


① En admettant que le solide S glisse sans frottement : exprimer littéralement sa vitesse au point M en fonction de g , r et θ . La calculer au point B .

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 qu'elle est de même direction que la vitesse du mobile mais de sens opposé et d'intensité constante. Calculer l'intensité de f .

Exercice 6:

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_o . 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_o du mobile au point O
- b. Application numérique : Calculer V_o

2. Vitesse en B :

- a. Etablir en fonction de V_o , 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_o , 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_o , 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 7:

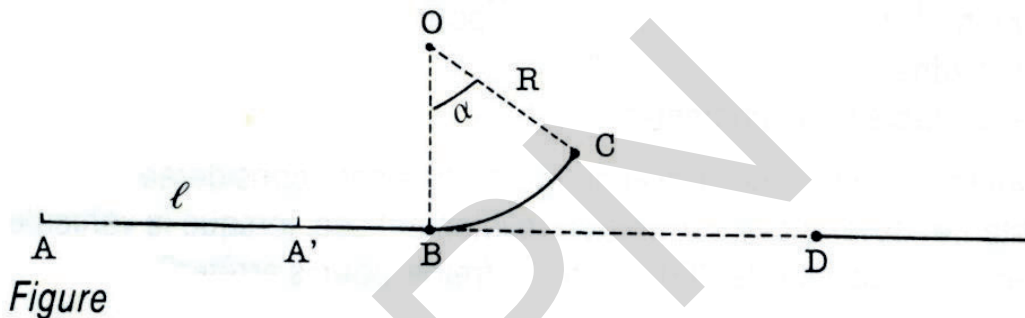
On lance un projectile M de masse m sur une piste dont la trace ABC est représentée dans un plan vertical (fig)

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 $AA' = l$.

- 1) Déterminer la vitesse V_B du projectile au point B en fonction de F , m et l
- 2) 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 : $m = 0,1 \text{ Kg}$ $R = 0,8 \text{ m}$ $\alpha = 60^\circ$; $l = 0,5 \text{ m}$; $g = 10 \text{ N/kg}$.

- 3) Représenter les vecteurs vitesses $\vec{V}_C$ au point C où le projectile quitte la piste et $\vec{V}_D$ au point D où il reprend contact avec le sol horizontal.

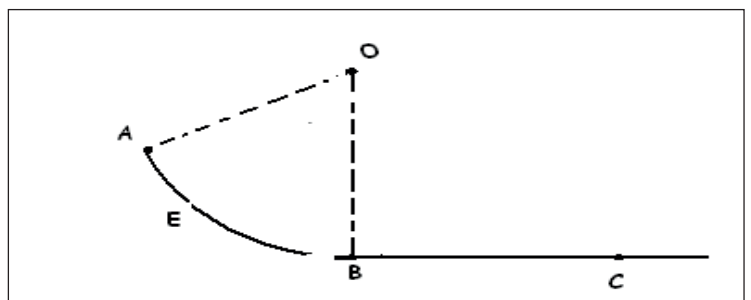


Exercice 8:

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. $\widehat{AOE}$ 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 $V_A = 6\text{m/s}$.

- 1) On néglige les frottements. Calculer la vitesse acquise au point E tel que $\widehat{AOE} = \frac{\pi}{6}$ ainsi que celle acquise au point C.
- 2) En fait sur le trajet ABC existent des forces de frottement assimilables à une force 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 ($g=9,8\text{m/s}^2$)



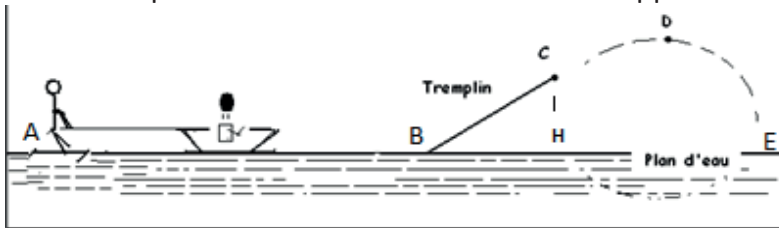
Exercice 9:

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 **2000N**.



- 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.

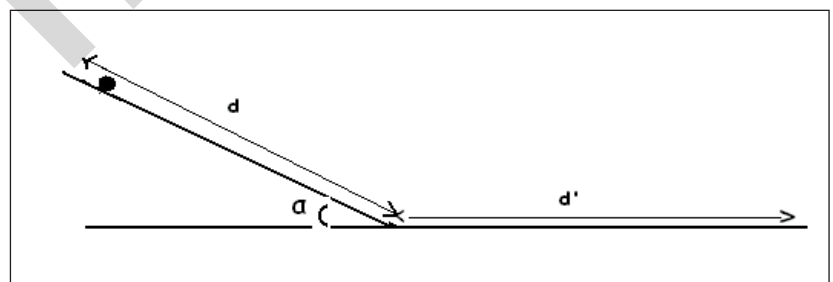
- 5) La vitesse au sommet de la trajectoire du skieur est **V=9m/s**. Quelle est la hauteur du point **D**, sommet de sa trajectoire ?
- 6) Quelle est la vitesse **VE** du skieur lorsqu'il reprend contact avec l'eau ? Indiquer le sens et la direction des vectrices vitesses en C et D ($g=10 \text{ m/s}^2$)

Exercice 10:

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 **$d=2\text{m}$** 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 ?

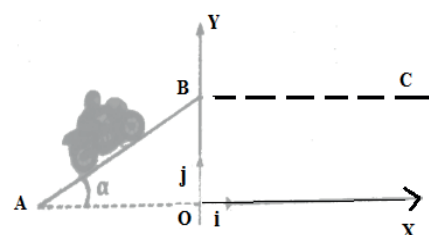
Exercice 11

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 **$BC = 107 \text{ m}$** .

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 12

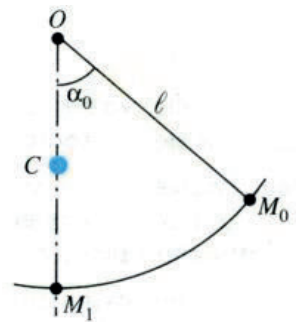
Un pendule est constitué d'un fil inextensible de longueur $l = 1,0 \text{ m}$ attaché à une de ses extrémités en **O** et portant à son autre extrémité un solide **M** supposé ponctuel de masse $m = 100 \text{ g}$ (fig). On néglige la masse du fil, ainsi que tout frottement.

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.

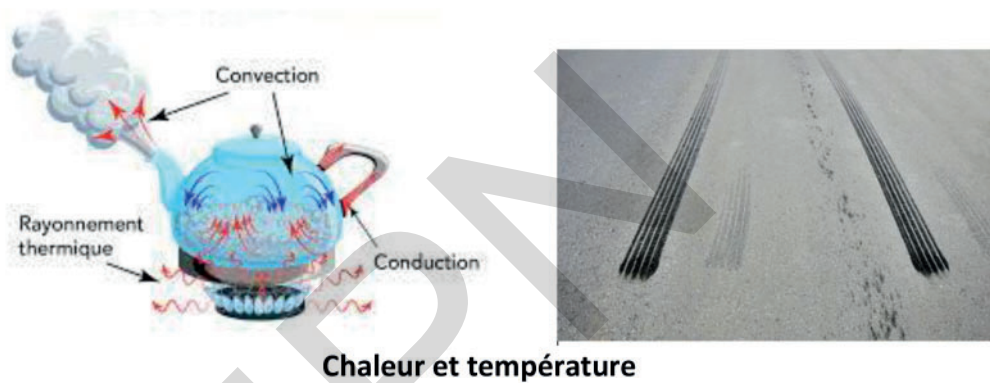
- a) (A2) Déterminer la vitesse de **M** à son passage à la verticale de **O**.
- b) (B3) Déterminer l'angle maximal β_m que fait le fil avec la verticale lors de sa remontée à gauche.
- c) (A1) Reprendre les deux mêmes questions en prenant $\alpha'_0 = 30^\circ$ puis $\alpha'_0 = 70^\circ$

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



IPN

Chapitre IV : Transferts Thermiques



OBJECTIFS :

- Connaître les modes de transfert thermique
- 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

IPN

I-Température :

1. Notion de La température

La température est une grandeur physique qui traduit l'état thermique d'un corps. Elle sert à mesurer le degré de chaud ou de froid et indique la direction du transfert d'énergie thermique entre les corps, qui va toujours du corps le plus chaud vers le plus froid.

2-Mesure et unité de la température: on la mesure avec un thermomètre gradué en échelle Celsius ou en échelle absolue.

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 : $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$. Les deux échelles sont donc simplement décalées de 273° .

Remarque :

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

II. Chaleur

1. Définition

C'est l'énergie thermique qui se transfère d'un corps plus chaud vers un corps plus froid.

Unité : joule (J) dans le Système international ; on trouve aussi la calorie ($1 \text{ cal} \approx 4,18 \text{ J}$).

2. Modes de transfert de chaleur

La chaleur peut se transférer par :

➤ **Conduction (contact direct)** : 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.

➤ **Rayonnement** : émission d'ondes électromagnétiques, exemple. Chaleur du Soleil.

III. Equilibre thermique :

1-Quantité de chaleur

a-Définition : : La **quantité de chaleur** (notée Q) est l'énergie thermique **échangée** entre deux corps ou un corps et son environnement lorsqu'il y a une différence de température.

b) Sens des échanges

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

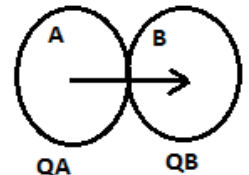
La chaleur passe spontanément du corps chaud au corps froid. Après un certain temps les températures deviennent égales : les deux corps sont en équilibre thermique.

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 entre eux, alors $Q_A + Q_B = 0$ donc $Q_A = -Q_B$



c. Expression de la quantité de chaleur échangée lors d'une variation de température

Si un corps homogène, de masse m (en kg), échange de l'énergie par transfert thermique sans changement d'état physique, sa température varie de θ_i à θ_f .

La quantité de chaleur échangée lors de cette variation de température est donnée par :

$$Q = m \cdot c \cdot (\theta_f - \theta_i)$$

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 $^{\circ}\text{C}$) Masse m en kg et c en $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ ou $(\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1})$

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 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	Corps	c ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
Eau	$4,1855 \cdot 10^3$	Aluminium	$0,92 \cdot 10^3$
Glace	$2,1 \cdot 10^3$	Fer	$0,75 \cdot 10^3$
Vapeur d'eau	$1,9 \cdot 10^3$	Air	$1 \cdot 10^3$

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 $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$). 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 b  cher qui la contient. La chaleur échangée par cet ensemble s'écrit alors : $Q = \mu \cdot \Delta\theta$

La capacité calorifique d'un système est égale à la somme des capacités calorifiques de ses constituants.

$$\mu = \sum_i m_i c_i$$

e) Expression de la quantité de chaleur échangée lors d'un changement d'état

Lors d'un changement d'état d'un corps pur de masse m , sa température reste constante. Ce corps échange avec son environnement une quantité de chaleur donnée par : $Q = L \cdot m$

L : appelé latente de changement d'état. Q en J, m en kg et L en J/kg.

On distingue :

☞ 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 : $Q = m \cdot L_f > 0$ 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.

☞ 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 : $Q = m \cdot L_s < 0$

L_s : chaleur latente de solidification. $L_s = -L_f$

☞ 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 . La chaleur Q nécessaire à la vaporisation d'un liquide de masse m se calcule par la formule :

$$Q = m \cdot L_v > 0$$

L_v : Chaleur latente de vaporisation du corps.

☞ 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 : $Q = m \cdot L_v < 0$

L_v : Chaleur latente de vaporisation

2. Bilan thermique

a) 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 thermiques avec le milieu extérieur. Le calorimètre est ie.

b) Equilibre thermique

b) Equilibre thermique

Si dans une enceinte thermiquement isolée, on place deux corps, A et B ayant des températures différentes θ_A et θ_B , ceux-ci évoluent vers un équilibre thermique auquel les deux corps A et B ont la même température θ_e (température d'équilibre).

Si les deux corps A et B ne subissent de changement d'état, la quantité de chaleur échangée par le corps A est $Q_A = m_A \cdot c_A \cdot (\theta_e - \theta_A)$ et celle échangée par le corps B est $Q_B = m_B \cdot c_B \cdot (\theta_e - \theta_B)$

c) Bilan thermique :

On place dans la 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. $\sum_i Q_i = 0$

Exemple :

Dans un calorimètre de capacité thermique μ et de température θ_0 , on introduit simultanément une masse m_1 d'un liquide de capacité calorifique massique c_1 , ayant une température initiale $\theta_1 > \theta_0$ et une masse m_2 , d'un corps ayant une température initiale $\theta_2 > \theta_1$ et de capacité calorifique massique c_2 inconnue.

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

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

- chaleur échangée 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 : $Q_2 = m_2 \cdot c_2 \Delta\theta_2 = m_2 c_2 (\theta_e - \theta_2)$

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

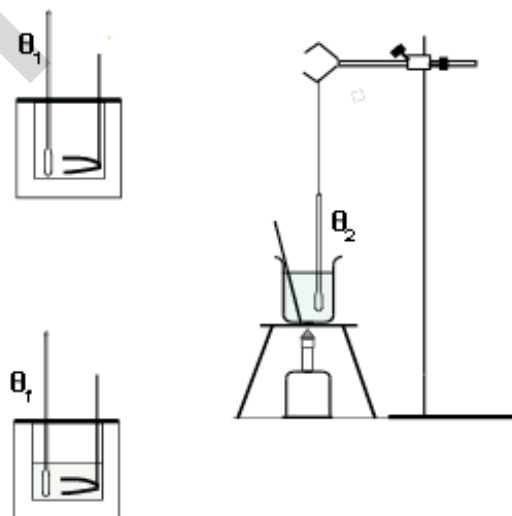
Matériel :

Deux calorimètres, un bécher de 250 mL, un labo-gaz avec un trépied et une toile métallique, allumettes, eau, un (ou deux) thermomètres $-10 ; +110^\circ\text{C}$ 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 $-10 ; +110^\circ\text{C}$ un morceau de fer suspendu à un support

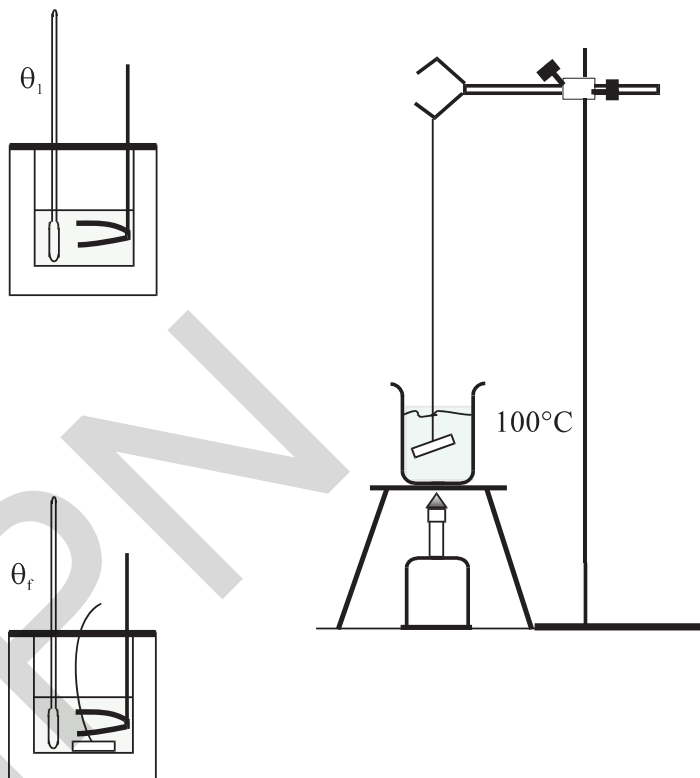
(prévoir une noix et une pince), une éprouvette graduée de 250 mL, une balance et des masses marquées.

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.

Exercices d'applications

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

$$\begin{aligned} 1) Q_1 &= m \cdot C \cdot \Delta\theta_1 \text{ AN: } Q_1 = 150 \cdot 4180 \cdot 60 Q_1 = 37620 \text{ KJ} \\ 2) Q_2 &= m \cdot C \cdot \Delta\theta_2 \text{ AN: } Q_2 = 0,45 \cdot 384 \cdot 130 Q_2 = 22,230 \text{ KJ} \\ 3) Q_3 &= m \cdot C \cdot \Delta\theta_3 \text{ AN: } Q_3 = 200 \cdot 450 \cdot 576 Q_3 = 51840 \text{ KJ} \end{aligned}$$

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 C 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 : $\rho=1000 \text{ kg.m}^{-3}$.

Corrigé :

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

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

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

$$\theta_e = \frac{m_1 \theta_1 + m_2 \theta_2}{m_1 + m_2} \text{ AN: } \theta_e = \frac{250 \cdot 10^{-3} \cdot 18 + 300 \cdot 10^{-3} \cdot 80}{250 \cdot 10^{-3} + 300 \cdot 10^{-3}} = 51,8^\circ\text{C}$$

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

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

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

$$\begin{aligned} C \cdot (\theta_e - \theta_1) &= -m_1 \cdot c_e \cdot (\theta_e - \theta_1) - m_2 \cdot c_e \cdot (\theta_e - \theta_2) = 0C \\ &= \frac{-m_1 \cdot c_e \cdot (\theta_e - \theta_1) - m_2 \cdot c_e \cdot (\theta_e - \theta_2)}{\theta_e - \theta_1} \end{aligned}$$

$$C = \frac{250 \cdot 10^{-3} \cdot 4185 \cdot (50 - 18) + 300 \cdot 10^{-3} \cdot 4185 \cdot (50 - 80)}{18 - 50} = 130,8 \text{ J.K}^{-1}$$

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.

Donnée : $C = 4186 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Corrigé

L'eau ajoutée passe de $t_i = 65,5 \text{ °C}$ à $t_f = 40 \text{ °C}$ $Q_1 = m'c(t_f - t_i)$

Le calorimètre, les 1000 g d'eau passent de t_i à t_f :

$$Q_2 = (\mu + mc)(t_f - t_i). \text{ Comme } Q_1 + Q_2 = 0 : m'c(t_f - t_i') + (\mu + mc)(t_f - t_i) = 0.$$

$$-m'c(t_f - t_i') = (mc + \mu)(t_f - t_i) \Rightarrow mc + \mu = \frac{-m'c(t_f - t_i')}{t_f - t_i} \Rightarrow \boxed{\mu = \frac{-m'c(t_f - t_i')}{t_f - t_i} - m}$$

A.N : $\mu \approx 83,7 \text{ J.K}^{-1}$.

Application (4) :

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

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 : $Q_1 = m_1 c (\theta - \theta_1)$.

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

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

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

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 :
$$\begin{cases} -33m_1 + 22m_2 = 0 \\ m_1 + m_2 = 250 \end{cases} \Rightarrow m_1 = 100 \text{ kg} \text{ et } m_2 = 150 \text{ kg}$$

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**.

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 $+10 \text{ °C}$

$Q_3 = m \cdot C_{\text{eau}} \cdot \Delta T = 0,01 \cdot 4180 \cdot 10 = 418 \text{ J}$

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 : $3,3 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Chaleur massique du fer : $460 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

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.

$$mL = mc(t_f - t_i) \quad \text{AN : } m = 0,25 \times 460 \times 80 / 3,3 \cdot 10^5 = 0,0279 \text{ kg} \quad m = 27,9 \text{ g}$$

Application (7)

Cent tonnes de ferrailles sont chauffées dans un four électrique afin d'obtenir du fer liquide à 1535°C. La température initiale est 20°C. L'opération dure 5 heures et le rendement du four est de 70%. $C_{\text{fer}} = 450 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. $L_{\text{fusion fer}} = 270 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

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: $Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 10^5 \times 450 \times 1515 = 6,8 \cdot 10^{10} \text{ J}$

- réaliser la fusion du fer à 1535°C : $Q_2 = m \cdot L = 10^5 \times 2,7 \cdot 10^5 = 2,7 \cdot 10^{10} \text{ J}$

Au total : $Q = 9,5 \cdot 10^{10} \text{ J}$ soit, en tenant compte du rendement, l'énergie électrique nécessaire est

$$E = Q / r = 9,5 \cdot 10^{10} / 0,7 = 1,36 \cdot 10^{11} \text{ J}$$

$$P(W) = E(J) / t(s) \quad \text{soit : } P = 1,36 \cdot 10^{11} / (5 \times 3600) = 7,5 \cdot 10^6 \text{ W}$$

L'Essentiel

- Relation entre la température absolue T et la température Celsius θ

$$T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273$$

- Expression de la quantité de chaleur : $Q = m \cdot c \cdot (\theta - \theta_i)$
- 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 : $Q_A + Q_B = 0 \quad \sum_i Q_i = 0$
- Chaleur échangée avec changement d'état du système :
- Chaleur latente de fusion : $Q = m \cdot L_f$
- Chaleur latente de solidification : $Q = - m \cdot L_f$
- Chaleur latente de vaporisation : $Q = m L_v$
- Chaleur latente de condensation : $Q = - m L_v$

Exercices

Un bloc de cuivre de masse $m=220\text{g}$ reçoit une quantité de chaleur égale à $3,6\text{ KJ}$. Sa température s'accroît de 43°C .

La valeur de la capacité calorifique du cuivre est :

- 1) $83,72\text{K.J}^{-1}$
- 2) $837,2\text{J.K}^{-1}$
- 3) $837,2\text{K. J-1}$
- 4) $83,72\text{J.K}$

Exercice 2 :

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 3:

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 $T_1 = 17,2^\circ\text{C}$. On introduit dans le calorimètre une certaine quantité d'eau à la température $T_2 = 100^\circ\text{C}$, la température d'équilibre s'établit à $T_e = 38,5^\circ\text{C}$.
 - Calculer la capacité thermique C' de l'eau introduite.
 - En déduire la valeur de la masse d'eau.

Exercice 4 :

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 5:

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 $4,86^\circ\text{C}$ par minute.

- 1) Quelle est la capacité thermique C du calorimètre ?
- 2) Trouvez la valeur en eau du calorimètre.

Exercice 6 : 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 $28,8^\circ\text{C}$ 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 7:

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 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 : $c_{Fe} = 460 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

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:

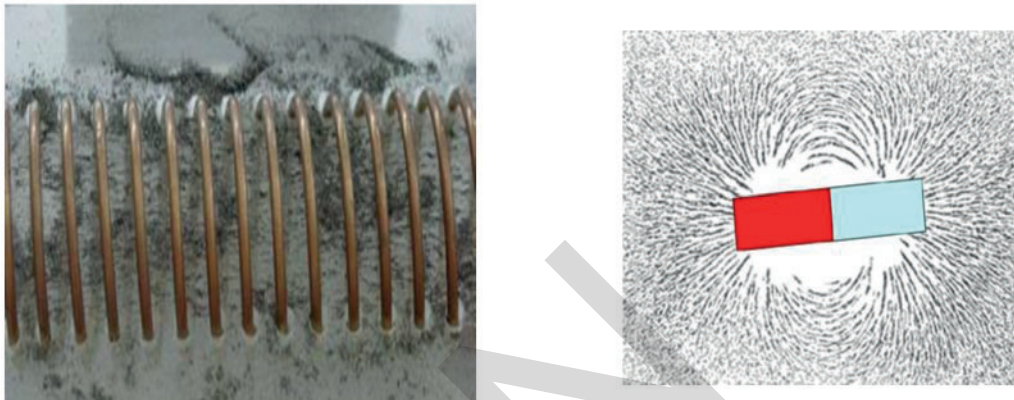
Fusion d'un glaçon (version 2)

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).

IPN

CHAPITRE V : CHAMP MAGNETIQUE



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.

barreau aimanté droit	Aiguille aimantée	aimant en U
		

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 n'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.

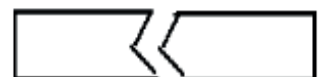
Un aimant possède une dissymétrie avec deux pôles :

- 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 originel ("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.

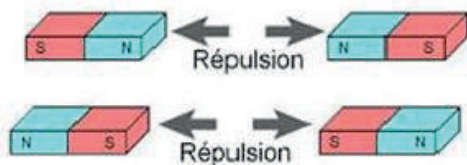
e- Interaction entre aimants :

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.



II- 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).

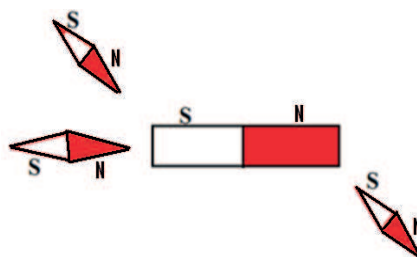
On dit que cet espace est le siège d'un champ magnétique.



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) $\overrightarrow{SN}$
- 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 teslamètre.

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.



III- 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.

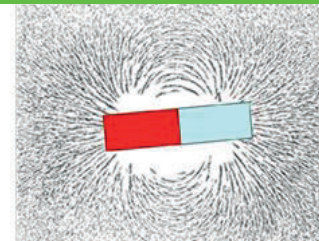
Ces lignes existent dans tout l'espace entourant l'aimant et non pas simplement sur le plan formé par la feuille.

La ligne de champ est une courbe tangente en tout point au vecteur.

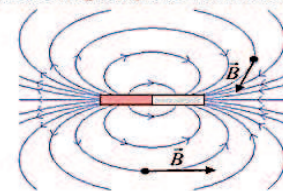
De plus, si l'on place aiguilles aimantées dans cette zone de lignes de champ nous nous apercevons qu'elles sont orientées.

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



Spectre magnétique de l'aimant droit :



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.

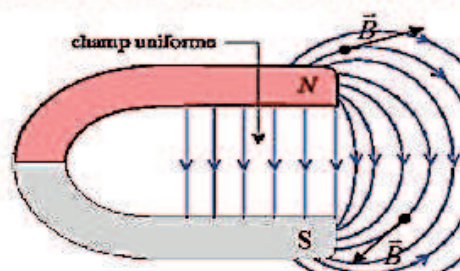
Les lignes de champ sont parallèles entre les branches

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 :



IV- Autres sources de champ magnétique :

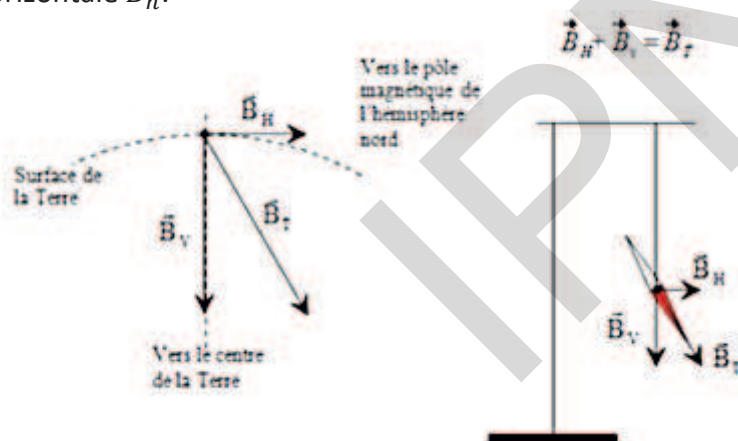
1- champ magnétique terrestre

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

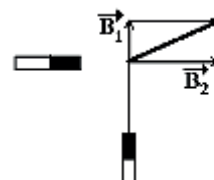
qu'elle subit. Soient deux aimants notés 1 et 2. Soit $\vec{B}_1$ le champ

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 (Expérience d'Oersted) :

Matériel : Générateur- aiguille aimantée- interrupteur- ampèremètre-fil conducteur- fils de connexions.

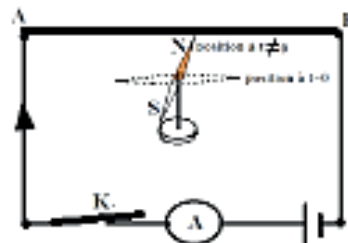
Manipulation : Réalisons le circuit ci-contre

Observation :

Lorsqu'on établit le courant dans le fil, on constate que l'aiguille dévie, preuve qu'elle a subi 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.



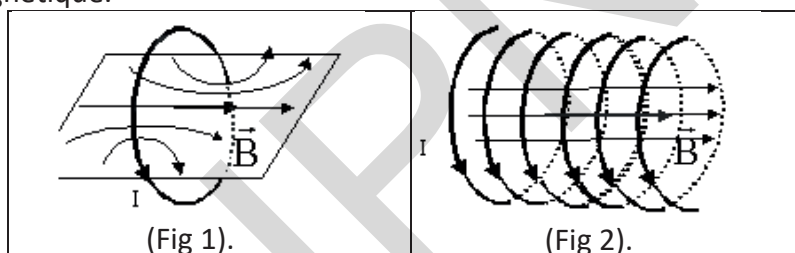
b- Cas d'une bobine :

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.

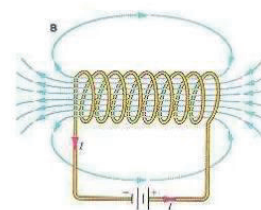
Le spectre magnétique donne la topographie d'un champ magnétique.

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.

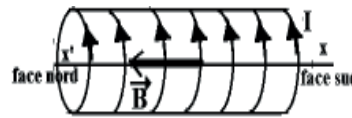
Champ magnétique créé au centre d'un solénoïde :

- 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 : $B = \mu_0.n.I$

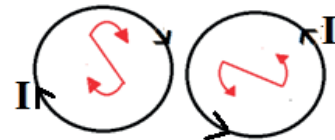
Règles mnémotechniques pour déterminer le sens de $\vec{B}$:

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.

Applications

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 $I = 0,5 \text{ A}$ dans le solénoïde ($n = 100 \text{ spires/mètre}$).

1. Déterminer le champ créé au centre du solénoïde.
2. Déterminer l'angle α dans lequel 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 : $4\pi \cdot 10^{-7} \cdot n \cdot I = 4,3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 100,0,5 = 6,28 \cdot 10^{-5} \text{ T}$.
2. L'aiguille aimantée s'oriente suivant la somme vectorielle des champs magnétiques.
 $\tan(\alpha) = 6,28 \cdot 10^{-5} / 2 \cdot 10^{-5} = 3,14$ d'où $\alpha = 72,3^\circ$

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 $I=20\text{mA}$.

c) 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 $\alpha=57,5^\circ$.

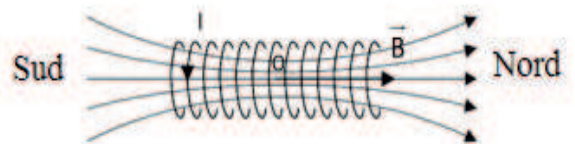
En déduire l'intensité B_h de la composante horizontale du champ magnétique terrestre.

Corrigé

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.

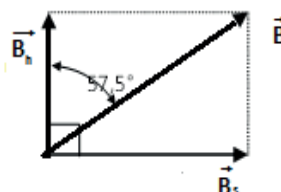


c) L'expression du champ magnétique au centre du solénoïde est :

$$B = \mu_0 \cdot \frac{N}{L} \cdot I ; \text{AN : } B = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

c) L'aiguille s'oriente vers le nord magnétique (champ magnétique terrestre)

$$\vec{B}_{\text{résultant}} = \vec{B}_h + \vec{B}_{\text{solénoïde}} \quad \tan 57,5 = \frac{B_{\text{solénoïde}}}{B_h} ; \text{A.N. } B_h = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$



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 même nom 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 :

Le champ magnétique autour d'un aimant permanent :

- 1) Est nul à l'extérieur de l'aimant
- 2) Sort du pôle nord et entre par le pôle sud
- 3) Sort du pôle sud et entre par le pôle nord
- 4) Est toujours parallèle au sol

Exercice 2 :

Quelle est l'origine principale d'un champ magnétique ?

- 1) La présence d'une charge électrique au repos
- 2) Le mouvement de charges électriques (courant électrique)
- 3) La gravitation entre les particules
- 4) La lumière qui traverse un milieu

Exercice 3 :

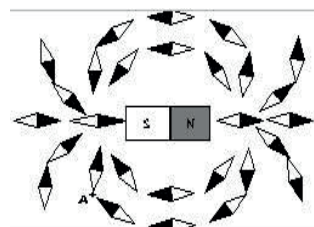
Les deux solénoïdes S et S' s'attirent :

- 1) si un courant électrique d'intensité I' circule de A vers B dans le solénoïde S'.
- 2) si le courant électrique d'intensité I' circule de B vers A.
- 3) quel que soit le sens du courant I' .
- 4) s'il n'y a pas de courant dans le solénoïde S'



Exercice 4 :

- 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 5 :

- 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

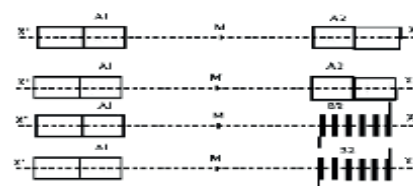


Exercice 6 :

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 7 :

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 8 :

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 9 :

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 : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$

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 10 :

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 .

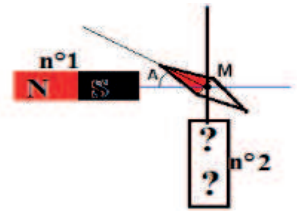
3-1. Calculer l'intensité du champ magnétique subi par l'aiguille.

3-2. Calculer l'angle α . On donne : $B_H = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T}$; $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ SI}$

Exercice 11 :

1- Donner les caractéristiques du champ magnétique $\vec{B}$ 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 12 :

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.

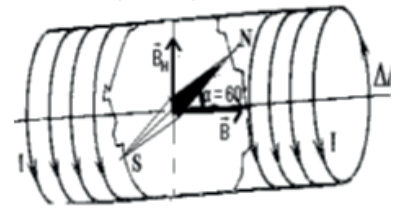
Exercice 13

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).

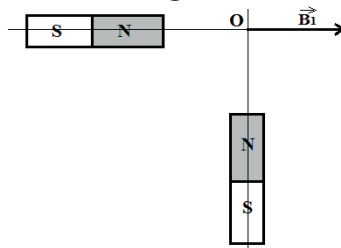
A.N : $N=1000$, $I = 2\text{A}$, $\ell = 1,5\text{m}$, $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}\text{SI}$

2- L'axe Δ du solénoïde est perpendiculaire au méridien magnétique du lieu d'expérience et la composante horizontale du champ magnétique terrestre est $B_H = 2 \cdot 10^{-5}\text{T}$. Une petite aiguille aimantée $\overrightarrow{SN}$ mobile autour 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 $\overrightarrow{SN}$ 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 14 :

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 $\vec{B}_T$.

Exercice 15 :

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 $B_1 = 4.10^{-3} \text{ T}$ et $B_2 = 3.10^{-3} \text{ T}$, représenter à l'échelle : $2.10^{-3} \text{ T} \rightarrow 1\text{cm}$

a. $\vec{B}_1$ Le vecteur champ magnétique créé par l'aimant A1 au point M.

b. $\vec{B}_2$ Le vecteur champ magnétique créé par l'aimant A2 au point M.



M

2) a. Exprimer le vecteur champ magnétique résultant $\vec{B}$ en fonction de

$\vec{B}_1$ et $\vec{B}_2$, représenter $\vec{B}$

b. Schématiser l'aiguille aimantée placée au point M.

c. Déterminer graphiquement et par calcul la valeur du champ magnétique B résultant

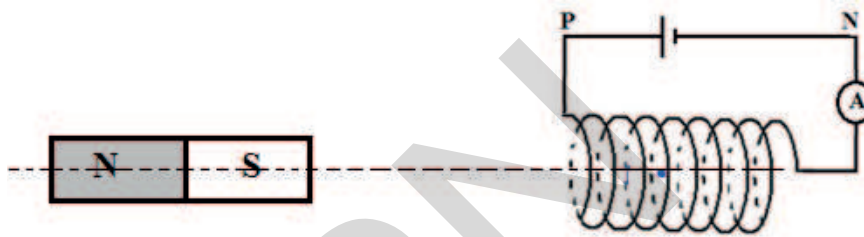
d. Déterminer la valeur de l'angle $\alpha = (\vec{B}_1, \vec{B}_2)$



3) On enlève l'aimant A2. Est-ce que l'angle α augmente, diminue ou reste constant ? Justifier.

Exercice 16 :

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 17 :

1) On dispose d'un solénoïde de 50 cm de long comportant 250 spires. Il est traversé par un courant électrique d'intensité $I = 2.5 \text{ A}$. Déterminer l'intensité du champ magnétique généré au centre de ce solénoïde.

2) Un autre solénoïde génère un champ magnétique $B = 5.0 \text{ mT}$, il est traversé par un courant d'intensité $I = 2.5 \text{ A}$. 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 $I = 1.2 \text{ A}$. 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 $B = 7.5 \text{ mT}$ lorsqu'il est parcouru par un courant électrique d'intensité $I = 3.0 \text{ A}$.

Exercice 18 :

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 19 :

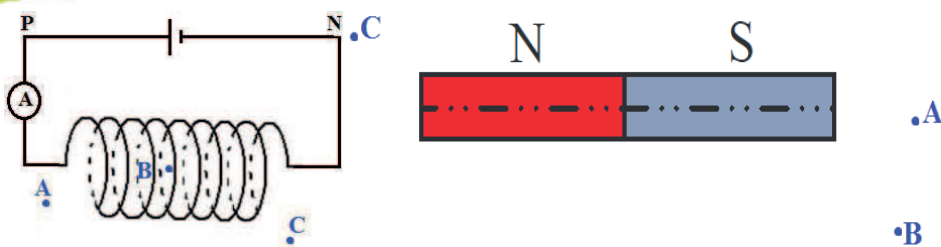
Un solénoïde de longueur $L = 20 \text{ cm}$ comporte $N = 1000$ spires de diamètre $d = 3 \text{ cm}$. Il est traversé par un courant d'intensité $I = 200 \text{ mA}$.

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 20 :

On dispose d'un aimant droit et d'un solénoïde de 80 cm de long qui comporte 200 spires.



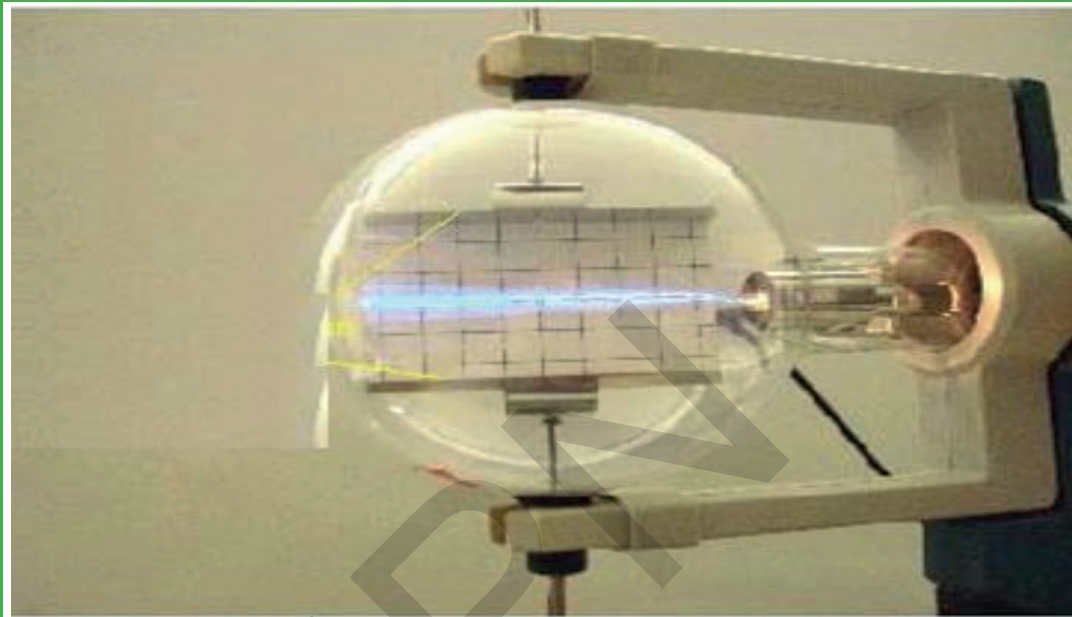
- 1) Représenter le spectre magnétique de l'aimant ainsi que des vecteurs champs magnétiques et des boussoles aux points A, B et C du schéma. Le champ magnétique généré par cet aimant est-il uniforme ?
- 2) Le solénoïde est inséré dans un circuit électrique. Il est parcouru par un courant d'intensité $I = 2 \text{ A}$. 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 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 $\vec{B}_0$ créé par le solénoïde et le champ magnétique résultant $\vec{B}$ 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 $I' = 2I$?

CHAPITRES VI : CHAMP ELECTROSTATIQUE – DIFFERENCE DE POTENTIEL



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

IPN

I-Rappel sur l'électrostatique

1-l'électrisation

a- Electrification 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.

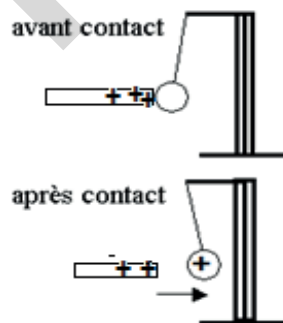
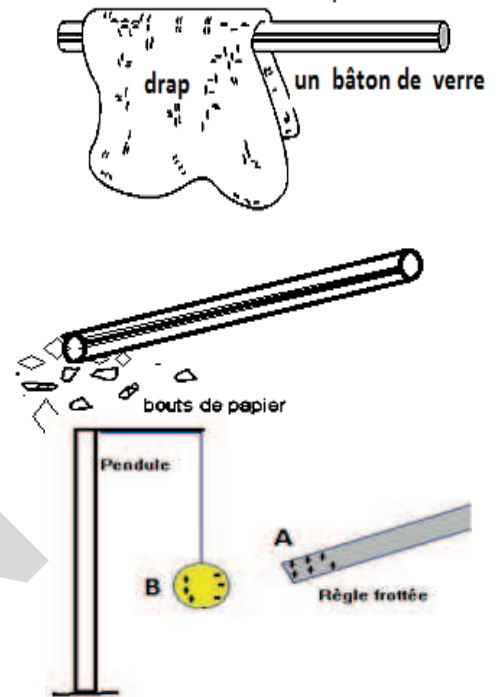
-les isolants (comme le verre, la résine.) pour lesquelles les charges électriques demeurent à l'endroit où elles sont apparues.

b- Electrification par influence

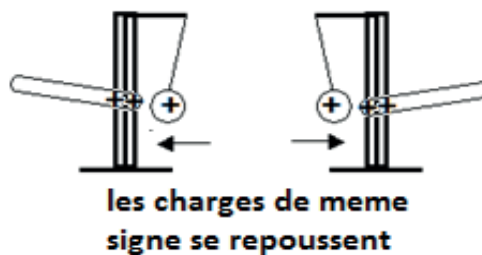
Soit une règle chargée A (règle frottée). On l'approche d'un autre objet neutre B (boule). La règle chargée positivement attire les électrons libres de la boule conductrice. Le côté de la boule devient chargé négativement (excès d'électrons) et l'autre côté est chargé positivement (déficit d'électrons). On appelle ce phénomène l'électrification par influence.

c- Electrification par contact :

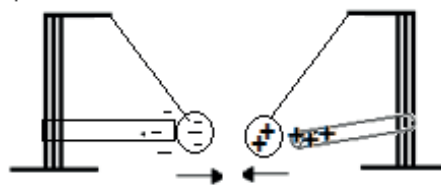
Touchons un pendule avec un bâton de verre électrisé, on constate que le pendule s'écarte aussitôt du verre car des charges se sont fixées sur lui. Il a été chargé **par contact**.



Deux pendules chargés par contact sur un bâton de verre électrisé, se repoussent. (Figure)



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 $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$

3- loi de coulomb

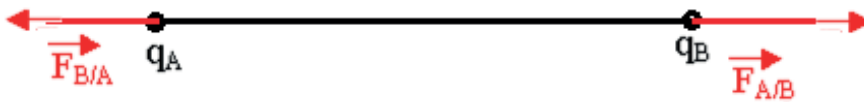
Deux corps ponctuels A et B, séparés par une distance AB et portant respectivement les charges q_A et q_B exercent, chacun sur l'autre, une force électrique telle que : $\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A}$

Alors $\vec{F}_{A/B}$ et $\vec{F}_{B/A}$ on :

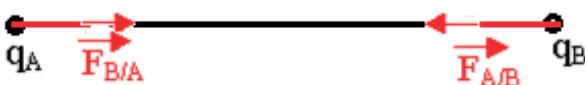
- La même direction
- Deux sens opposés
- La même intensité tel que :

$$F_{A/B} = F_{B/A} = K \cdot \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{AB^2} \begin{cases} q_A, q_B: \text{charges mesurées en coulomb (C).} \\ K: \text{constante dans le vide ou l'air } K = 9 \cdot 10^9 SI (N \cdot m^2 \cdot C^{-2}) \\ AB: \text{distance en mètre (m)} \\ F: \text{intensité de la force en Newton (N)} \end{cases}$$

* si A et B ont des charges de mêmes signes elles se repoussent



* si A et B ont des charges de signes contraires elles s'attirent



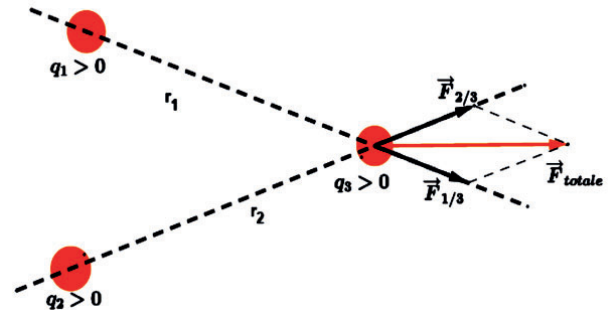
4-Principe de superposition des forces

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'électrostatique.



5-Champ électrostatique :

a- Définition

Par définition, on dit qu'il existe un champ électrostatique noté $\vec{E}$ en un point donné de l'espace où se trouve une charge q_0 si cette charge est soumise à une force électrostatique $\vec{F}_e$ telle que : $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q_0}$.

Dans le système international l'unité de E est $(V.m^{-1})$ et on a :

- $\vec{E}$ 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 $\vec{F}_e$ ont le même sens (figure. a).

Si $q_0 < 0$; $\vec{E}$ et $\vec{F}_e$ ont des sens opposés (figure. b).

- L'intensité du champ est : $E = \frac{F_e}{|q|}$

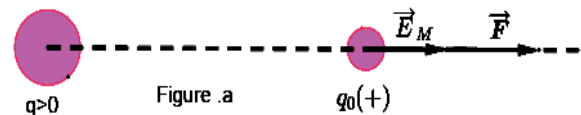


Figure .a

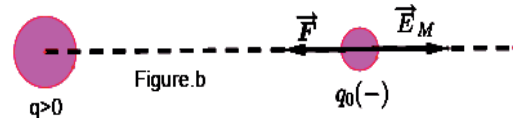


Figure.b

b- Champ électrostatique uniforme

☞ Définition

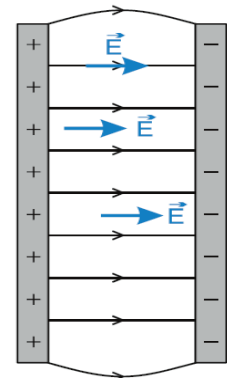
Un **champ électrique** est dit **uniforme** dans une zone de l'espace s'il est constant en direction, en sens et en intensité : les lignes de **champs** sont alors toutes parallèles.

🔑 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 :

- La direction de ce champ est constante : Les lignes de champ sont des droites parallèles, orthogonales aux plaques (sauf au voisinage des bords).
- L'intensité du vecteur $\vec{E}$ est constante en tout point de l'espace situé entre les plaques.
- Le vecteur $\vec{E}$ se dirige de l'armature chargée positivement vers l'armature chargée négativement.



Le champ électrique peut être exprimé aussi en Newton par coulomb (N/C).

🔑 Action d'un champ électrique uniforme sur des charges électriques

Tout corps 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.

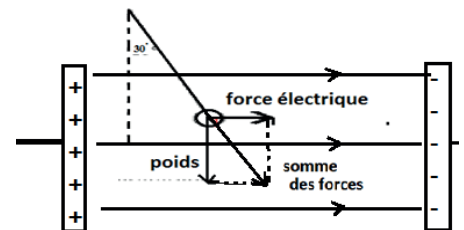
Applications

a-Pendule électrique dans un champ uniforme

La boule d'un petit pendule électrostatique, de masse 2,5 g, porte une charge de $q = 0,5 \mu C$

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

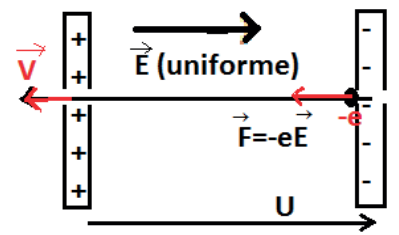
$$q = 5 \cdot 10^{-7} \text{ C} \quad m = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\tan g(30) = \frac{qE}{mg} \Rightarrow E = \frac{mg \cdot \tan g(30)}{q}$$

$$\text{A.N : } E = \frac{(2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,8)}{(0,577 \cdot 5 \cdot 10^{-7})} = 2,9 \cdot 10^4 \text{ Vm}^{-1}$$

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 $\vec{\delta\ell}$ quelconque dans une région 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 :

$$\delta W = \vec{F}_e \cdot \vec{\delta\ell} = F_e \delta\ell \cos(\vec{F}_e, \vec{\delta\ell}).$$

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 : $W_{AB}(\vec{F}_e) = \vec{F}_e \cdot \vec{AB} = F_{AB} \cos(\vec{F}, \vec{AB})$. (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 :

$$W_{AB}(\vec{F}_e) = q\vec{E} \cdot \vec{MN} \text{ (figure 2)}$$

- 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)

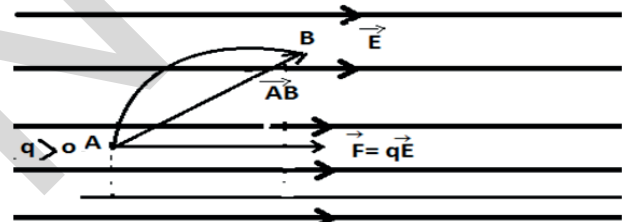
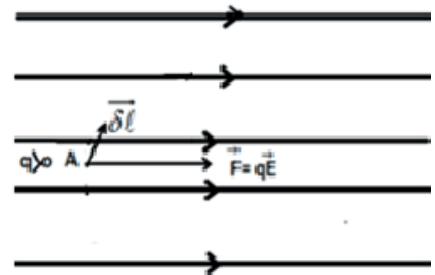


figure 1

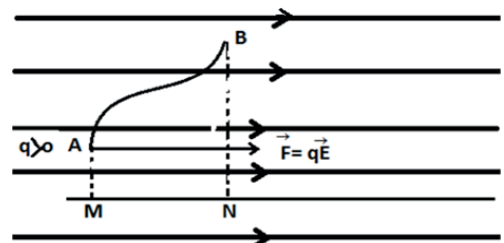


figure 2

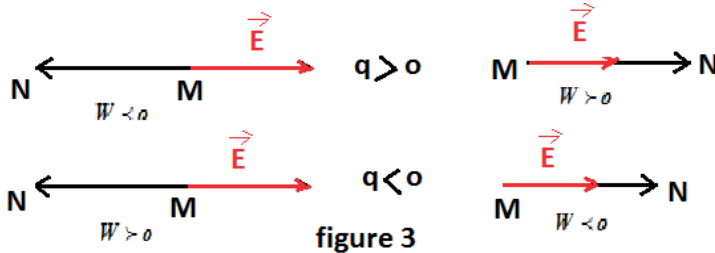


figure 3

II - Potentiel et énergie électrostatique

1 – Potentiel électrique associé à un champ uniforme

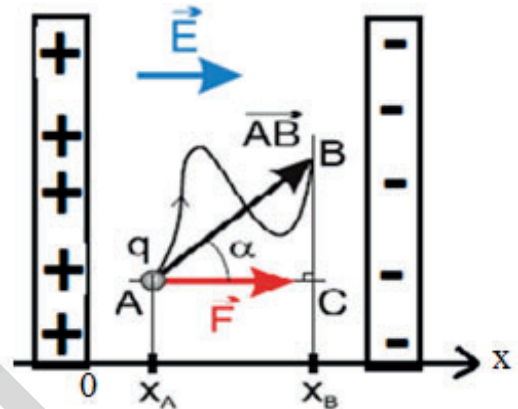
Calculons le travail de la force électrique $\vec{F}_e$ qui s'exerce sur une charge positive ponctuelle q soumise à un champ électrique uniforme $\vec{E}$, lorsqu'elle est déplacée d'un point A à un point B sur une trajectoire (voir figure).

(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.



$$\begin{aligned} W_{AB}(\vec{F}_e) &= q\vec{E} \cdot \vec{AB} = qE \cdot AB \cdot \cos(\alpha) \\ &= qE \cdot AC = qE(x_B - x_A) \text{ or } x_C = x_B \\ &= qE(x_B - x_A) \\ &= q(Ex_B - Ex_A) = -qEx_A - (-qEx_B) \end{aligned}$$

Observons que le résultat obtenu ne dépend pas du chemin suivi.

Introduisons l'expression suivante, dite **potentiel électrique associé au champ uniforme** :

$V(x) = -E \cdot x + V_0$, 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.

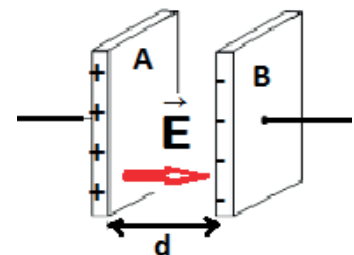
Le travail de la force électrostatique se calcule donc grâce à la différence de potentiel entre les points de départ et d'arrivée : $W_{AB}(\vec{F}_e) = q(V_A - V_B) = qU_{AB}$

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 : $V_A - V_B = (-E \cdot x_A + V_0) - (-E \cdot x_B + V_0) = E \cdot d$

Par suite, le champ s'exprime à partir de la différence de potentiel

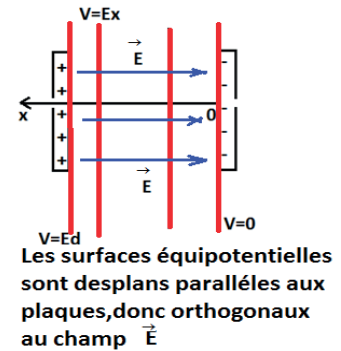
suivant la formule : $V_A - V_B = d \cdot E \Rightarrow E = \frac{V_A - V_B}{d}$



Pour un champ uniforme nous admettrons 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 : $V_A - V_B = \vec{E} \cdot \overrightarrow{AB}$

Si $\overrightarrow{AB}$ 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 : $E_p(B) = -qE \cdot x_B + Cte = qV_B + Cte$

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 l'opposé de la variation de l'énergie potentielle électrique entre ces 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

$$W = q(V_A - V_B) = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 = 1,6 \cdot 10^{-19} J = 1eV \text{ et } 1eV = 1,6 \cdot 10^{-19} J$$

Avec comme multiples :

$$1\text{KeV} = 10^3 \text{eV} ;$$

$$1\text{ MeV} = 10^6 \text{eV} ;$$

$$1\text{ GeV} = 10^9 \text{eV}$$

Applications

Application 1

Quelle est, en MeV, l'énergie acquise par une particule α (ion He^{2+}) accélérée sous une d.d.p de $10^6 V$?

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 $q = 2e$: $W = 2 \times 1,6 \cdot 10^{-19} \times 10^6 J = 2 \cdot 10^{-13} J$

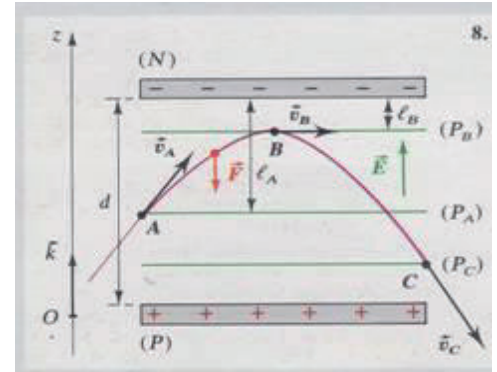
L'énergie cinétique de la particule α a augmenté de 2 MeV.

Application2

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 $U_{PN} = U = 1\,000 \text{ V}$. 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 : $V_A - V_N = E \cdot l_A$ d'où : $E_p(A) - E_p(N) = qE \cdot l_A$ Il vient alors, avec $E_p(N) = 0$ et $E_p(A) = q \frac{U}{d} l_A$

Soit, avec $q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$: $E_p(A) = -533 \text{ eV}$

- L'énergie cinétique de l'électron en A vaut : $E_c(A) = \frac{1}{2} m_e V_A^2 = 8,79 \cdot 10^{-17} \text{ J}$

Soit, en électronvolts : $E_c(A) = \frac{8,79 \cdot 10^{-17}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 549 \text{ eV}$

- L'énergie totale de l'électron au cours de son mouvement est donc :

$E_t = \text{Cte} = E_c(A) + E_p(A) = -533 + 549 \text{ eV} = 16 \text{ eV}$.

2/ b) On a :

$E_p(B) = -e \frac{U}{d} l_B = -133 \text{ eV}$ et : $E_c(B) = E_t - E_p(B) = 149 \text{ eV}$

On obtient de même : $E_p(C) = -e \frac{U}{d} l_C = -833 \text{ eV}$, $E_c(C) = E_t - E_p(C) = 849 \text{ eV}$

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

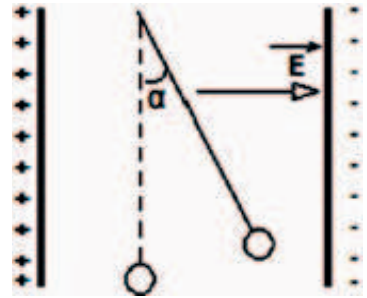
Exercices

Dans tous les exercices suivants, on prendra: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$.

Exercice1

Données : $q = 2 \cdot 10^{-6} \text{C}$, $m = 100 \text{g}$ et $g = 10 \text{N/Kg}$.

Un pendule électrostatique est placé dans un champ électrostatique $E = 2 \cdot 10^5 \text{V/m}$.



La valeur de l'angle α à l'équilibre est égale à :

- 1) 30°
- 2) $42,5^\circ$
- 3) $21,8^\circ$
- 4) 60°

Exercice2

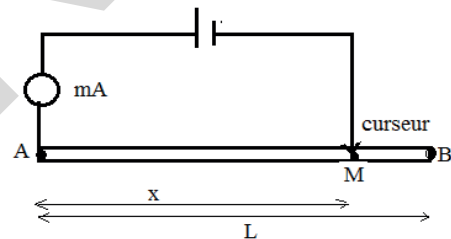
Données : $L = 20 \text{cm}$; $x = \text{AM}$; $R_{\text{AM}} = r = Kx$ (avec $K > 0$) On applique entre deux points A et

M d'un rhéostat AB de longueur L une tension constante $U_{\text{AM}} = 6 \text{V}$

Lorsque le curseur (point M) est en B, on note une intensité $I_{\text{AB}} = 65 \text{mA}$.

La résistance totale de ce rhéostat est égale à :

- 1) $92,3 \Omega$
- 2) $42,5 \Omega$
- 3) $10,2 \Omega$
- 4) $100,2 \Omega$



Exercice3

Quelle est la valeur du champ électrique créé par un proton à une distance de celui-ci égale à 10^{-10}m ?

Exercice4

Une charge ponctuelle q crée un champ dont la valeur est 10N/C à 1cm 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 5

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 6

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 7

- 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 ?

- 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 8

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 9

Un électron passe d'un point A ($V_A = 10V$) à un point B ($V_B = 100V$)

- 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 10

Un proton se déplace d'un point A ($V_A = 10V$) à un point B ($V_B = 50V$). 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 : $\alpha = \text{He}^{2+}$; $m_\alpha = 6,68.10^{-27} \text{ kg}$. Donnée : $m_e = 9,1.10^{-31} \text{ kg}$.

Exercice 11

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 $V_A = 5.106 \text{ m.s}^{-1}$.

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 12

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 13

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 14

Un générateur maintient une tension $U = 200\text{V}$ 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 15

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 : $V_A - V_O = -10\text{V}$

- 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 16

Un proton de masse $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}\text{kg}$ est libre de se déplacer dans un champ électrostatique uniforme de norme $E = 200\text{V.m}^{-1}$. 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 à 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 $\overrightarrow{AB}$ et vitesse $\vec{v}$.

Exercice 17

On maintient une d.d.p de $1\,000\text{V}$ 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 .

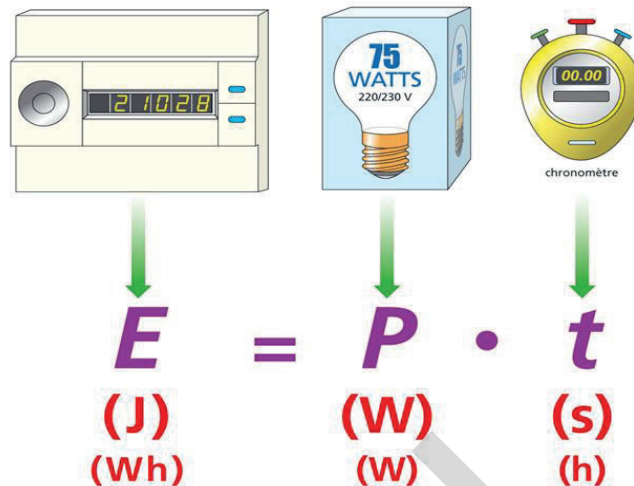
Exercice 18

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 : $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{kg}$.

IPN

Chapitre VII : Puissance électrique dans une portion de circuit

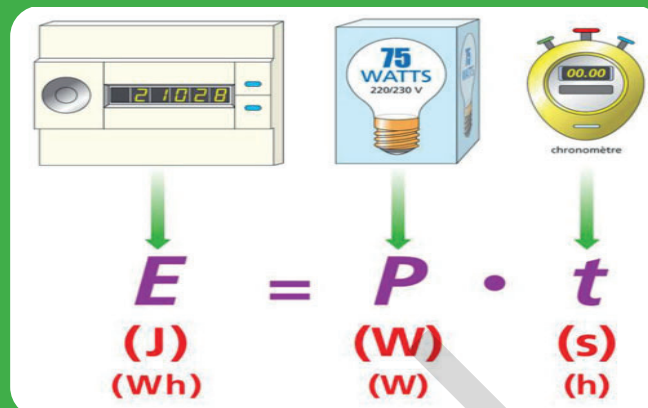


L'électricité, une énergie dont plus personne ne pourrait se passer.

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.

Chapitre VII : Puissance électrique dans une portion de circuit



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.

IPN

I - Rappel

1- Circuit électrique en courant continu

a - La tension électrique

☞ Le potentiel électrique

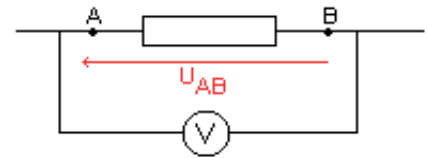
Le potentiel électrique d'un point est l'énergie électrique par unité de charge en ce point, par rapport à un point de référence (souvent la borne négative ou la « masse » que l'on choisit comme potentiel nul).

- Symbole : V
- Unité : le volt (V).

☞ La tension électrique

La différence de potentiel entre deux points d'un circuit électrique est appelée tension électrique notée : $U_{AB}=V_A-V_B$ (différence de potentiel entre A et B) ou $U_{BA}=V_B-V_A$ (différence de potentiel entre B et A)

- Mesure :



La tension électrique est une grandeur que l'on mesure à l'aide d'un voltmètre.

Le voltmètre se branche en dérivation avec le dipôle dont on mesure la tension.

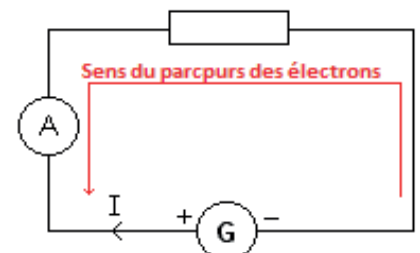
Remarque : La tension électrique est une grandeur algébrique :

$$U_{AB} = V_A - V_B = -(V_B - V_A) = -U_{BA}$$

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.

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 $U = f(I)$.

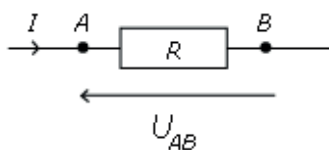
f) Exploitation des mesures

L'équation de cette droite est $U = a.I$. La grandeur a est égale au coefficient directeur de la droite moyenne tracée.

$$\frac{U}{I} = \frac{5}{0,05} = 100$$

g) 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.



$$U_{AB}$$

$$= R.I \text{ avec } \begin{cases} R: \text{résistance du conducteur ohmique en ohm}(\Omega) \\ I: \text{Intensité du courant traversant le conducteur ohmique en ampères (A).} \\ U_{AB}: \text{Tension électrique existant aux bornes du conducteur ohmique en volt(V)} \end{cases}$$

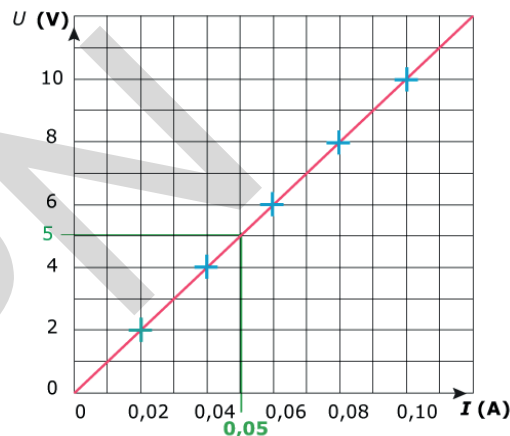
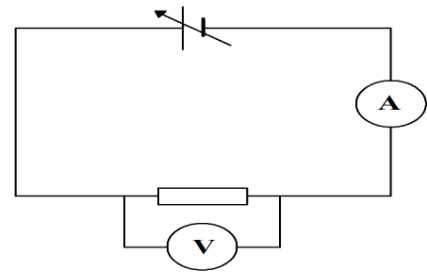
2) Énergie électrique mise en jeu dans un dipôle passif

a - Énergie 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 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 $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, charge élémentaire. n désigne le nombre d'électrons qui 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 $q = I t$ on peut aussi écrire : $W = U_{AB} I t$

Pour simplifier, on pose : $U_{AB} = U$ et $I_{AB} = I$, soit $w = U \cdot I \cdot t$

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. $P = \frac{W}{t} = \frac{U I t}{t}$ on a : $P = U \cdot I$ avec $\begin{cases} P: \text{puissance en watts (W)} \\ U: \text{Tension en volts (V)} \\ I: \text{Intensité du courant en Ampères (A)} \end{cases}$

Remarques : 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.

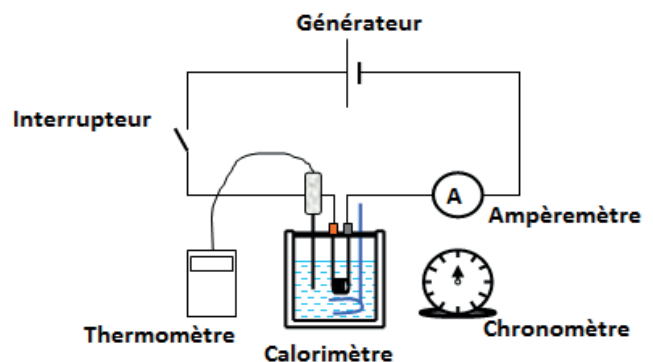
Manipulations :

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 montrent que : $Q = W$ ou $(mc + C) (\theta - \theta_0) = R I^2 t$

c) Conclusion

Toute l'énergie électrique reçue par le dipôle ohmique R est convertie en chaleur par effet Joule.

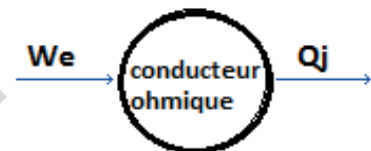
d) Loi de Joule :

On appelle effet Joule l'effet thermique associé au passage du courant électrique dans un conducteur.

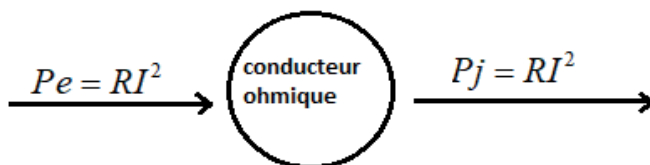
Donc : $W_e = Q_j$ or $W_e = U_{AB} \cdot I \cdot t$ et $U_{AB} = R \cdot I$

alors $W_e = R \cdot I^2 \cdot t$

Remarque : Il est évident que $P_e = P_j = R \cdot I^2$ (P_j : puissance consommée par effet Joule).



Bilan énergétique



Bilan de puissance

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 :
- Le chauffage électrique - L'éclairage par incandescence. - Le disjoncteur thermique. - Le fusible.	- L'échauffement des circuits électriques. - Les pertes en lignes.

III. Générateur.

1) Caractéristique :

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.

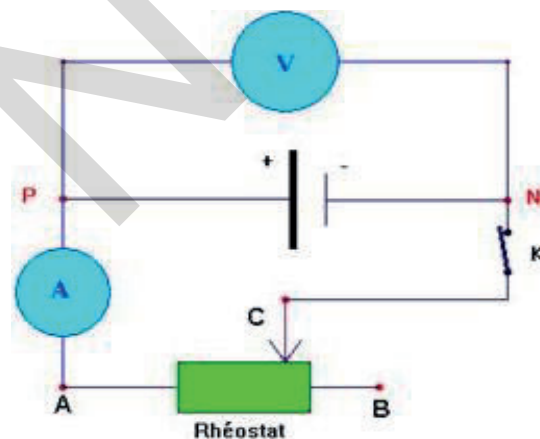
c) Manipulation

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

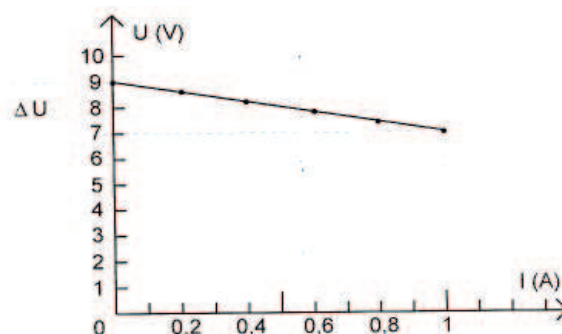
Les mesures sont portées dans le tableau ci-dessous :

$I(A)$	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 $U = f(I)$.

Le tracé de la caractéristique de $U = f(I)$ d'un dipôle générateur donne une droite décroissante ne passant pas l'origine



f) Exploitation des mesures

La fonction $U_{PN} = f(I)$ est une fonction affine : $U_{PN} = aI + b$

Ce qui donne :

- Si $I = 0$ alors $U_{PN} = b$ c'est la tension aux bornes du générateur en circuit ouvert, qui représente la force électromotrice du générateur notée E . Donc : $b = E$
- Si $U_{PN} = 0$ alors $I = -\frac{b}{a} = -\frac{E}{a}$ donc a est équivalent à une résistance appelée résistance interne du générateur notée r

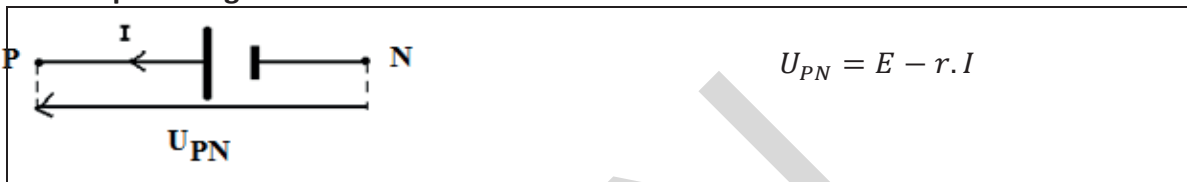
g) Conclusion :

Un générateur électrique est un dipôle qui possède une en circuit ouvert. Il produit et fournit l'énergie au circuit.

Sa caractéristique est une portion de droite qui ne passe pas par l'origine d'équation :

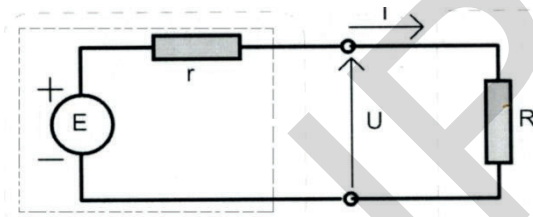
$$U = E - r \cdot I$$

Loi d'Ohm pour un générateur :



2) Application de la loi d'Ohm

Exprimer dans le circuit ci-après contre l'intensité du courant I en fonction de E , R et r .



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

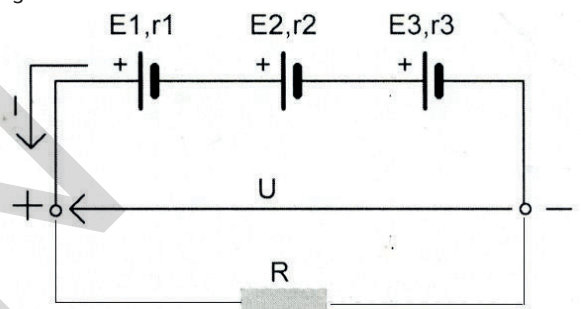
Le pôle "plus" d'un générateur est relié au pôle "moins" de son voisin.

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 $r_1 = r_2 = \dots = r_n$

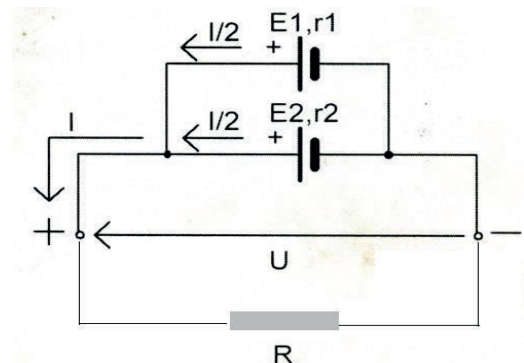
Exemple avec 2 générateurs

$$U = E_1 - \frac{r_1 \cdot I}{2} = E_2 - \frac{r_2 \cdot I}{2} = E - r \cdot I$$

$$\text{par identification: } E = E_1 = E_2 \text{ et } r = \frac{r_1}{2} = \frac{r_2}{2}$$

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.



IV. Récepteur actif (électrolyseur)

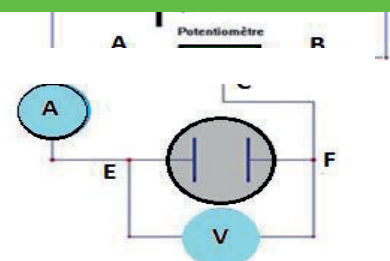
1). Caractéristique d'un récepteur actif

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 (500Ω),

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.

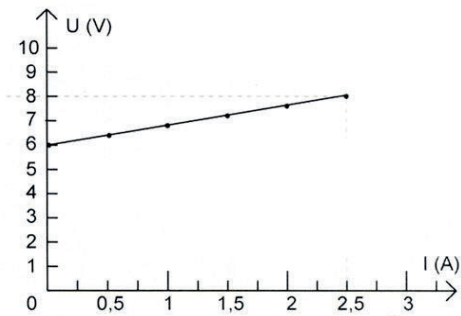
d) Résultat

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 $U=f(I)$

Le tracé de la caractéristique de $U = f(I)$ d'un dipôle générateur donne une droite décroissante ne passant pas l'origine



f) Exploitation des mesures

La fonction $U = f(I)$ est une fonction affine : $U = a'I + b'$

Ce qui donne :

- Si $I = 0$ alors $U = b'$ c'est la tension aux bornes du récepteur actif (électrolyseur) en circuit ouvert, qui représente la force contre électromotrice du récepteur actif notée E' . Donc : $b' = E'$
- Si $U = 0$ alors $I = -\frac{b'}{a'} = -\frac{E'}{a'}$ donc a' est équivalent à une résistance appelée résistance interne du récepteur actif notée r'

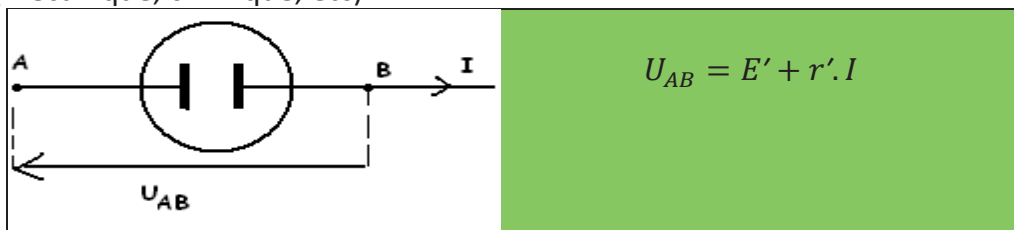
g) Conclusion :

Un récepteur actif est un dipôle qui possède une tension en circuit ouvert, mais il ne produit et ne fournit pas de l'énergie au circuit.

Sa caractéristique est une portion de droite croissante qui ne passe pas par l'origine d'équation : $U = E' + r' \cdot I$

- U : Tension aux bornes du récepteur en (V)
- E' est la valeur de la force contre électromotrice du récepteur actif, c'est sa tension en circuit ouvert.
- r' est la résistance interne du récepteur actif.

Un récepteur actif est un appareil qui reçoit de l'énergie électrique et la convertit sous une autre forme (mécanique, chimique, etc).



Exemples :

- L'électrolyseur qui transforme l'énergie électrique en énergie chimique.
- Les moteurs qui transforment l'énergie électrique en énergie mécanique.

2) Puissances

$U = E' + r'I$ en multipliant par I , on trouve $U \cdot I = E' \cdot I + r' \cdot I^2 \Leftrightarrow P_r = P_u + P_{th}$

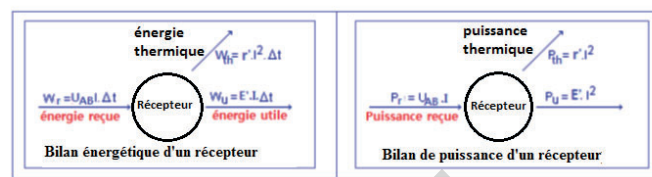
- $P_r = U \cdot I$ Puissance reçue par le récepteur.
- $P_u = E' \cdot I$ Puissance utile.
- $P_j = r \cdot I^2$ Puissance dissipée par effet joule.

3) Rendement d'un récepteur :

Le rendement d'un récepteur est défini comme suit :

$$r = \frac{\text{Puissance utile}}{\text{Puissance totale reçue}} = \frac{E' \cdot I}{U \cdot I} = \frac{E'}{U}$$

4) Les bilans

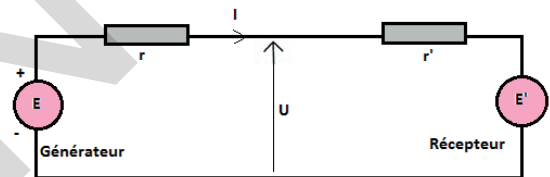


5) Loi de Pouillet :

L'intensité I du courant dans un circuit série est donnée par la relation

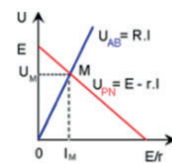
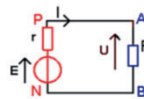
$$U_{\text{générateur}} = U_{\text{récepteur}} \Leftrightarrow E - r \cdot I = E' + r' I \Rightarrow I = \frac{E - E'}{r + r'}$$

On en déduit : $I = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum r}$



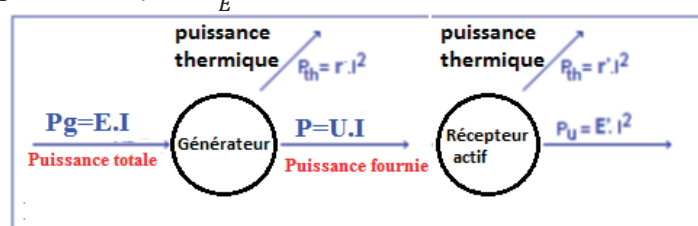
V. Point de fonctionnement d'un circuit

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.



VI. 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). $r = \frac{E'}{E}$



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) :

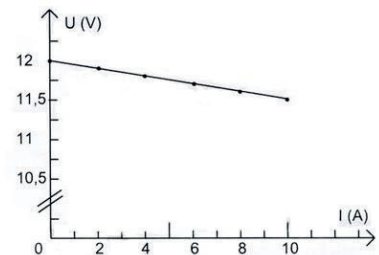
Un générateur de f.e.m **24V** et de résistance interne **1 Ω** est en série avec un moteur de résistance interne **5 Ω** . Quelle est l'intensité du courant du circuit

- Lorsque le moteur est bloqué ?
- Lorsque le moteur fournit une puissance de **24w** ?

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
- $r = \frac{\Delta U}{I} = \frac{0,5V}{10A} = 0,05$ Ω
- Calcul de U :

c) $U = E - r \times I = 12 - 0,05 \times 6,5 = 11,675$ 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 : $P = E \cdot I - r \cdot I^2 = 0$, Elle s'annule pour $I = 0$ 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 : $P = R \cdot I^2 = 0,05 \times (120)^2 = 720 \text{ W}$.

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

$E \cdot I = r \cdot I^2 + P_J$ Avec $P_J = RI^2$, Puissance consommée par le conducteur ohmique

$$d'où $E \cdot I = r \cdot I^2 + RI^2 \Rightarrow I = \frac{E}{r+R}$ donc $P_J = RI^2 = E^2 \cdot \frac{R}{(r+R)^2}$$$

Pour obtenir le maximum de cette fonction P de R, dérivons P par rapport à R :

$$P' = E^2 \cdot \left[\frac{1(r+R)^2 - R \cdot 2 \cdot (r+R)}{(r+R)^4} \right]$$
 Cherchons la valeur de R qui annule la dérivée. On en déduit

l'équation résolvante, R étant l'inconnue

$$(r+R)^2 - 2R(r+R) = 0 \Rightarrow r^2 + R^2 + 2rR - 2rR - 2R^2 = 0 d'où r = R = 1 \Omega$$

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 : $\frac{E^2}{4r}$; La tension aux bornes du générateur est :

$$U = E - r \cdot I$$

$$\text{Soit : } U = E - r \cdot \frac{E}{2r} = \frac{E}{2} = 2,25 \text{ V}$$

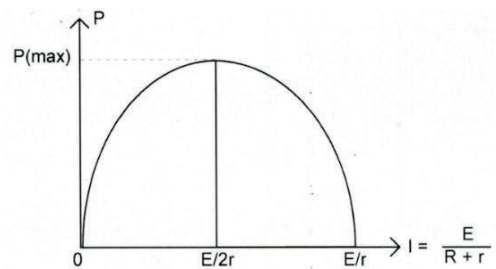
Application (3) :

a) Lorsque le moteur est bloqué, la puissance mécanique E' est nulle. Le bilan de puissance dans le circuit s'écrit :

$$E \cdot I = r \cdot I^2 + r' \cdot I^2 + E' \cdot I \Rightarrow I = \frac{E - E'}{r + r'} \text{ AN : } I = 4 \text{ A}$$

b) Lorsque le moteur tourne, le bilan de puissance s'écrit :

$$E \cdot I' = r I'^2 + r' \cdot I'^2 + E' \cdot I' \Rightarrow I' = \frac{E - E'}{r + r'} \text{ AN : } I' = 2 \text{ A}$$



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

La puissance maximale admissible par un conducteur ohmique, $P_{\max}$, la tension maximale $U_{\max}$, entre ses bornes et sa résistance R , sont liées par la relation :

$$1) U_{\max} = R \cdot P_{\max}$$

$$2) U_{\max} = R \sqrt{\frac{P_{\max}}{R}}$$

$$3) U_{\max} = R \cdot P_{\max}$$

$$4) U_{\max} = R \sqrt{P_{\max}}$$

Exercice 2

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 utiles et thermique

3). Calculer l'énergie perdue si le récepteur fonctionne **2 min**.

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 $r = 4 \Omega$) 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 microondes 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 .

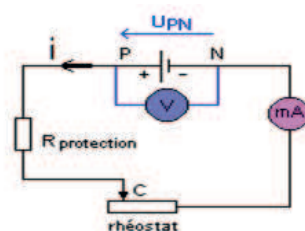
Exercice 5

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 : $UPN = E - r I$

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).

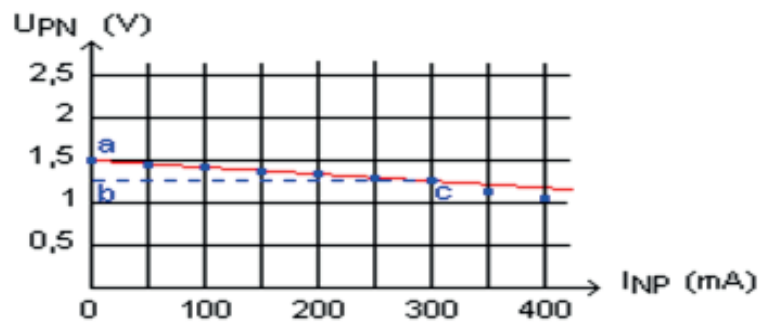


1.2) Calculer la résistance interne r du générateur (PN).

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).

2.2) Calculer la puissance électrique consommée par la résistance interne r du générateur.



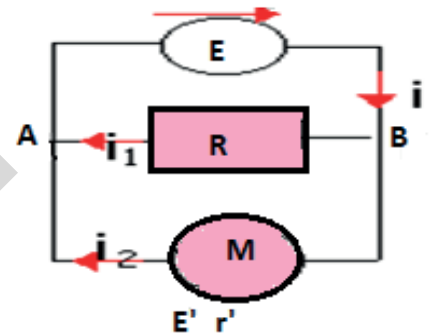
2.3) Le générateur (PN) est une pile qui transforme de l'énergie chimique en énergie électrique. Calculer la puissance chimique transformée en puissance électrique dans la pile (PN).

Exercice 6

Soit le circuit électrique ci-contre :

$E=20\text{V}$; $R=200\Omega$; $E'=16\text{V}$; $r'=10\Omega$

- 1) Quelle est la 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 $r = 120 \text{ m}\Omega$, sa f.é.m $E = 12\text{V}$ et sa capacité est $Q = 35\text{Ah}$. 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 $U' = 13,9\text{V}$ à ses bornes. La f.c.é.m de la batterie est alors $E' = 13,2\text{V}$.

Calculer l'intensité I' du courant électrique passant dans la batterie.

Calculer la puissance électrique P' consommée au cours de cette charge.

Réponses : 1) $R=28,8\Omega$; $I=4,15\text{A}$; 2) $t=84\text{h}$; 3) $I'=5,8\text{A}$; $P=80,6\text{W}$

Exercice 8 :

Un générateur de force électromotrice $E=6\text{V}$ et de résistance interne $r=1\Omega$ alimente un moteur de force contre-électromotrice $E'=4\text{V}$ 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 $1,5^\circ\text{C}$ en 10 minutes. La capacité calorifique de l'électrolyte et du calorimètre est $\mu=500\text{J.K}^{-1}$. 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 $m=200g$ 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 ? $g=9,8N/Kg$.

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

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 : $I = I_{PA} = I_{AB} = I_{BN} = I_{NP}$

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.

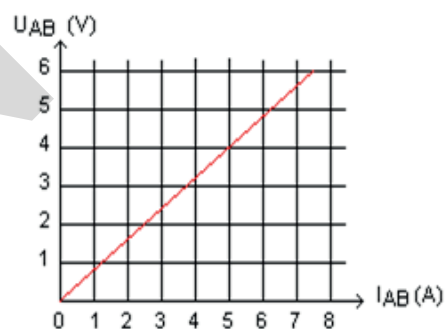
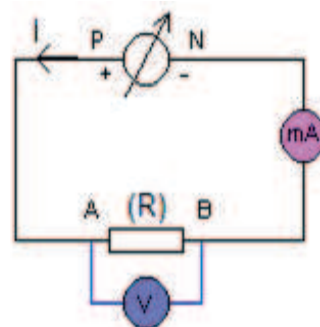
En appliquant la loi d'Ohm pour un conducteur ohmique calculer la résistance R_{AB} du conducteur ohmique.

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 ?



IPN

Chapitre VIII : 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

IPN

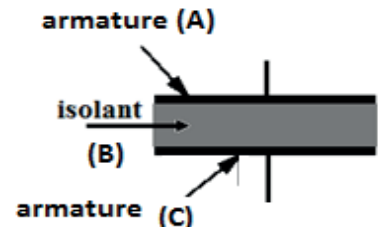
I. Le condensateur

1- Constitution :

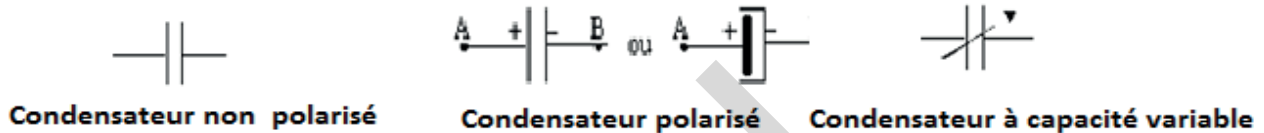
Un condensateur est constitué de deux surfaces conductrices (armatures du condensateur), séparées par un isolant qui garantit l'isolation entre les deux plaques et porte le nom de diélectrique dont l'épaisseur est constante.

La composition d'un condensateur :

L'armature supérieure «A», le diélectrique «B» et l'armature inférieure «C».



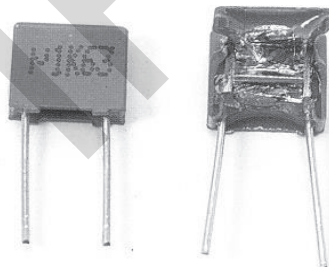
2. symbole du condensateur



3- 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.

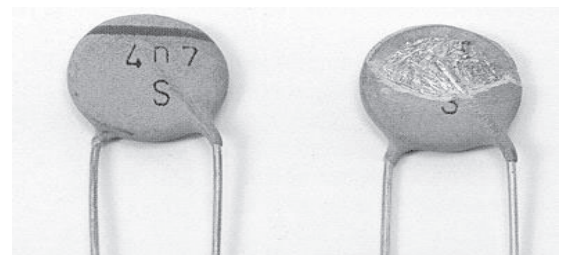
N'ayant pas de polarité, l'une et l'autre de ses bornes peuvent être indifféremment connectées au pôle positif.

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

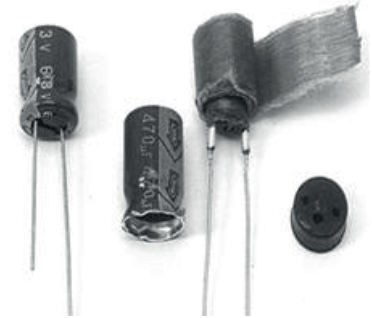


capacité constitue un paramètre fondamental. Ils sont formés d'une fine couche métallique, d'aluminium ou d'argent, appliquée sur un élément de céramique. Ils ne sont pas polarisés

c- Condensateur électrolytique

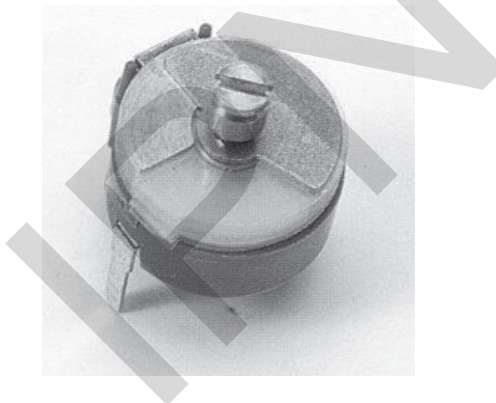
Ces condensateurs sont polarisés, c'est à dire qu'ils ont un pôle positif et un pôle négatif, dont il faudra tenir compte au moment de les connecter à un circuit électrique. Dans ce cas, la polarité est marquée sur le corps du condensateur afin d'éviter toute erreur, car toute inversion pourrait le détruire, 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.



4- 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.

II- Condensateur plan

1- Constitution :

Les condensateurs plans se présentent sous différentes formes. Le plus commun est formé par deux feuilles (plaques) métalliques séparées par un 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.

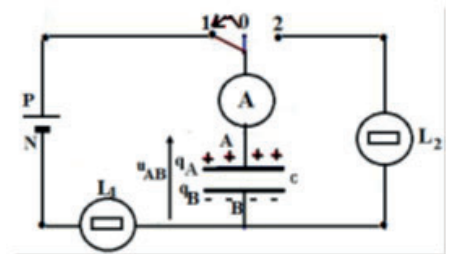
Interprétation :

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 qui est égale à la f.e.m du générateur.



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 une durée très courte.

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

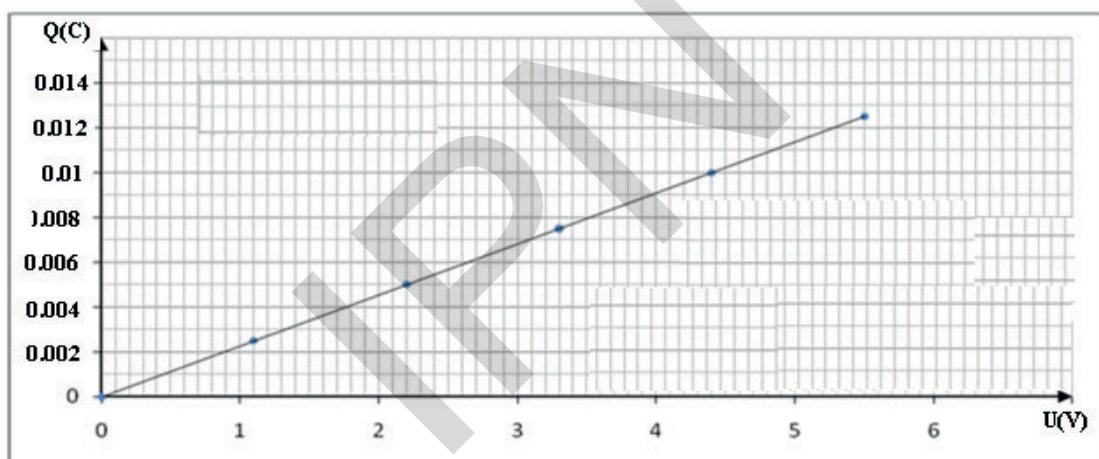
Expérience

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×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

$$, d'où : Q = k \times U \Rightarrow K = \frac{Q}{U}$$

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 du condensateur est proportionnelle à chaque instant à la tension à ses bornes.

Le facteur de proportionnalité est appelé capacité du condensateur noté C.

$$Q = C \cdot U_{AB} \Rightarrow C = \frac{Q_A}{U_{AB}}$$

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

Par sa construction, la capacité d'un condensateur plan est déterminée par :

$$C = \epsilon \frac{S}{e} \begin{cases} S: \text{Surface de l'une de ses armatures} \\ e: \text{épaisseur du diélectrique (distance entre les armatures)} \\ \epsilon: \text{permittivité du diélectrique} \end{cases}$$

- 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. Voici quelques exemples :

Matière	Permittivité relative (ϵ_r)
Air	1
Paraffine	2,3
Mica	8

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

Lors de la charge, le condensateur emmagasine de l'Energie électrique qu'il restitue au cours de sa décharge.

- Expression de l'énergie emmagasinée dans un condensateur :

L'énergie stockée dans un condensateur de capacité C , de charge Q est donnée par l'expression :

$$\begin{array}{ccc} \text{Joule (J)} & \leftarrow & W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \end{array} \begin{array}{l} \nearrow \text{Coulomb (C)} \\ \searrow \text{Farad (F)} \end{array}$$

$$\text{Comme } Q = C \cdot U \Rightarrow W = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \begin{cases} W: \text{énergie en joule} \\ C: \text{capacité en farad } F \\ Q: \text{charge du condensateur en coulomb } C \\ U: \text{tension aux bornes du condensateur en volt } V \end{cases}$$

IV- Association de condensateurs

1- Association en série

$$\text{On a } U_{AB} = U_{AM} + U_{MB} = \frac{Q_1}{C_1} + \frac{Q_2}{C_2}$$

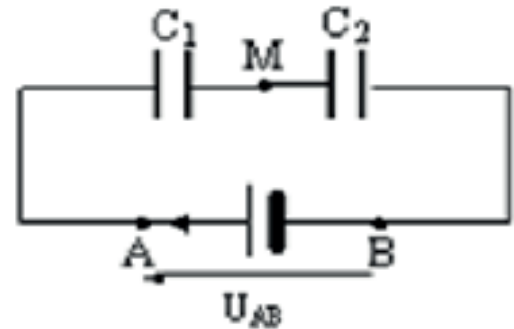
Dans un circuit série Q est constante $\Rightarrow$ d'où $Q_1 = Q_2$

$$\Rightarrow U_{AB} = Q_1 \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

Le condensateur équivalent (C_{eq}) porte la charge Q : $U_{AB} = \frac{Q}{C_{\text{eq}}}$

$$\text{Comme } Q = Q_1 = \frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \text{ soit } C_{\text{eq}} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Pour n condensateurs en série, on a : $\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \sum_i^n \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$



2- Association en parallèle

$$\text{On a } Q_1 = C_1 U_{AB} \text{ et } Q_2 = C_2 U_{AB}$$

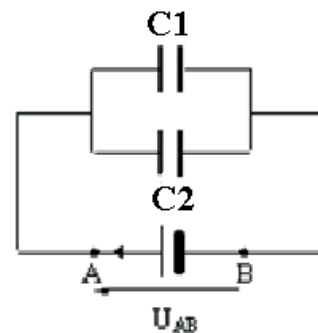
Le condensateur équivalent (C_{eq}) porte la charge Q telle que :

$$Q = Q_1 + Q_2 = C_1 U_{AB} + C_2 U_{AB} = (C_1 + C_2) U_{AB}$$

$$\text{Or } Q = C_{\text{eq}} U_{AB} \Rightarrow C_{\text{eq}} = C_1 + C_2$$

Pour n condensateurs en dérivation, on a :

$$C_{\text{eq}} = \sum_i^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



Applications

Application 1

Calculer la capacité totale de:

- a) 3 condensateurs en série : $10\mu F$, $10\mu F$ et $22\mu F$;
- 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 :

$$a) \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{22} \Rightarrow C_{eq} = 4,07 \mu F$$

$$b) C_{eq} = 10 + 10 + 33 + 33 \Rightarrow C_{eq} = 86 pF$$

$$c) \frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{100 + 220} + \frac{1}{220} \Rightarrow C_{eq} = 130 \mu F$$

Application 2

Un condensateur de $100\mu F$ est chargé sous une tension de $30V$.

- a) Quelle est la quantité d'électricité emmagasinée ?
- b) Quelle est l'énergie électrique emmagasinée ?

Corrigé :

$$a) Q = C \cdot U = 100 \cdot 30 = 3000 \mu C = 3 mC$$

$$b) W = C \cdot \frac{U^2}{2} = 0,045 J$$

Application 3

Un condensateur de $47\mu F$ et un autre de $33\mu F$ supportent la même tension maximale soit $25 V$. 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.

Corrigé :

Branchement en série :

$$a) \frac{1}{C_{\text{eq}}} = \frac{1}{47} + \frac{1}{33} \Rightarrow C_{\text{eq}} = 19,4 \mu F$$

$$b) U_{\text{max}} = U_{1\text{max}} + U_{2\text{max}} = 25 + 25 = 50V$$

$$c) W = C \cdot \frac{U_{\text{max}}^2}{2} = 0,024J$$

Branchement en parallèle :

$$a) C_{\text{eq}} = 47 + 33 = 80 \mu F$$

$$b) U_{\text{max}} = U_{1\text{max}} = U_{2\text{max}} = 25V$$

$$c) W = C \cdot \frac{U_{\text{max}}^2}{2} = 0,025J$$

Application 4 :

1. Un condensateur de capacité $C=2\mu F$ est chargé sous une tension $U_0 = 1000V$ puis isolé.

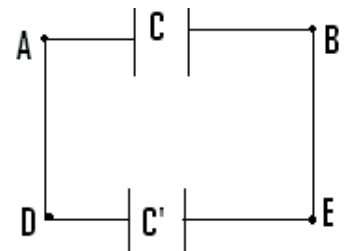
Calculer :

- La charge Q_0 du condensateur.
- L'énergie emmagasinée par le condensateur.

2. On branche alors ce condensateur chargé aux bornes d'un deuxième condensateur de capacité $C'=0,5\mu F$ initialement déchargé (voir figure).

Calculer :

- La tension U aux bornes des condensateurs associés à l'équilibre.
- La charge Q et Q' de chaque condensateur à l'équilibre.



Solution :

1.

a. $Q_0 = CU_0$ AN : $Q_0 = 2 \cdot 10^{-3}C$

b. $W_{\text{elec}} = \frac{1}{2} Q_0 U_0$ AN : $W_{\text{elec}} = 1J$

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 : $Q_0 = Q + Q'$

$$CU_0 = CU + C'U$$

$$U = \frac{CU_0}{C+C'} \text{ AN: } U = 800V$$

b- $Q = CU$ AN : $Q = 1,6 \cdot 10^{-3}C$

$$Q' = C'U \text{ AN : } Q' = 0,4 \cdot 10^{-3}C$$

L'Essentiel

Capacité d'un condensateur. $Q_A = C \cdot U_{AB} \Rightarrow C = \frac{Q_A}{U_{AB}}$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{S}{d} \quad \begin{cases} \epsilon_0 : \text{permittivité du vide} \\ \epsilon_r : \text{permittivité relative du diélectrique} \end{cases}$$

L'énergie emmagasinée dans un condensateur :

Un condensateur de capacité C chargée sous la tension U emmagasine l'énergie :

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad W = \frac{1}{2} C U^2$$

q : charge du condensateur

W : énergie en joule J

C : capacité en farad F

Capacité équivalente (C_{eq}):

En série

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_i^n \frac{1}{C_i} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

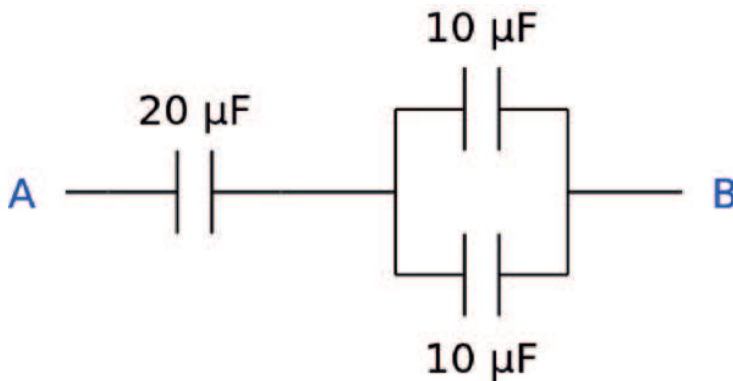
En dérivation

$$C_{eq} = \sum_i^n C_i = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Exercices

Exercice 1

Soit l'association de condensateurs ci-dessous :



La capacité équivalente C_{AB} de l'association de condensateurs est :

- 1) $10\ \mu\text{F}$
- 2) $20\ \mu\text{F}$
- 3) $25\ \mu\text{F}$
- 4) $40\ \mu\text{F}$

Exercice 2

Cocher 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 :
 - $10\ \mu\text{C}$
 - $-10\ \mu\text{C}$
 - $0\ \mu\text{C}$

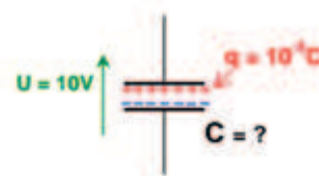


3. Deux condensateurs $C_1 = 47\ \mu\text{F}$ et $C_2 = 100\ \mu\text{F}$ (initialement déchargés) sont associés en série et l'ensemble est soumis à une tension.

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 :

- $20\ \mu\text{F}$

- $10\mu\text{F}$

- $8\mu\text{F}$

4. 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

- $6,38\text{V}$

- $141\mu\text{V}$

5. L'énergie emmagasinée dans un condensateur de 330nF ayant une tension de 10V est de :

- $1,65\mu\text{J}$

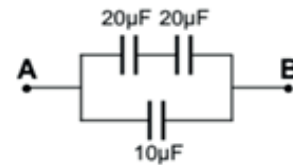
- $33\mu\text{J}$

8-On charge un condensateur $C=470\mu\text{F}$ avec un courant $I=0,1\text{mA}$ Le condensateur atteindra une tension $u = 5\text{V}$ au bout d'un temps de :

- $6\text{min } 48\text{s}$

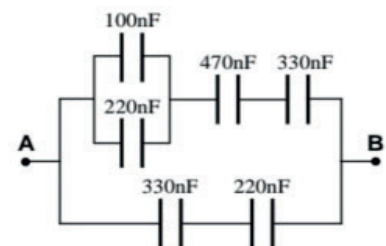
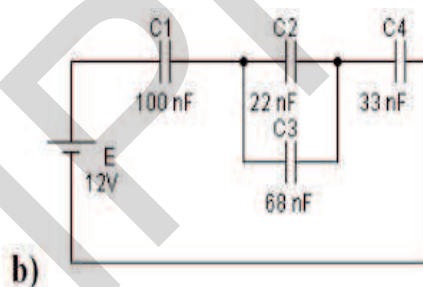
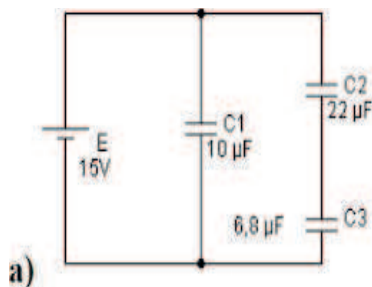
- 2jours

- $23,5\text{s}$



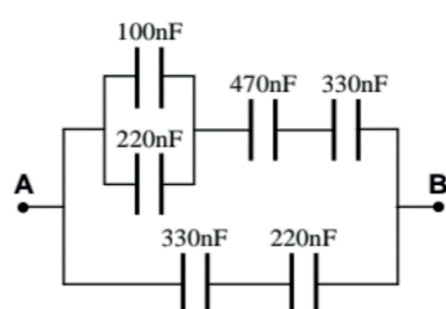
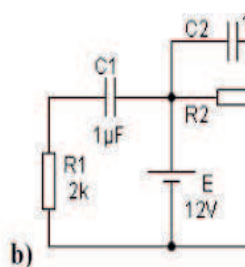
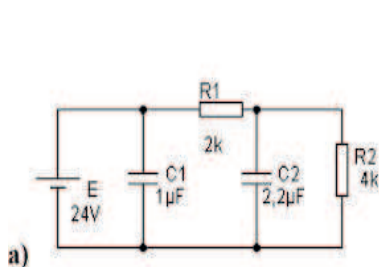
Exercice 3

Calculer la charge et la tension aux bornes de chacun des condensateurs des circuits suivants :



Exercice 4

Calculer la charge et la tension aux bornes de chacun des condensateurs, lorsque ceux-ci sont chargés à leur tension finale.



Exercice 5

Déterminer la capacité du condensateur équivalent représenté ci-contre :

$W = 58,19J$.

Déterminer la valeur de la tension **U** aux bornes du condensateur.

Exercice 7

Un condensateur de capacité **$C = 1F$** comporte deux armatures ayant chacune une surface **S** séparées par un diélectrique d'épaisseur **$e = 0,1mm$** .

Sachant que le diélectrique a une permittivité relative **$\epsilon_r = 5$** , calculer la surface **S** des armatures.

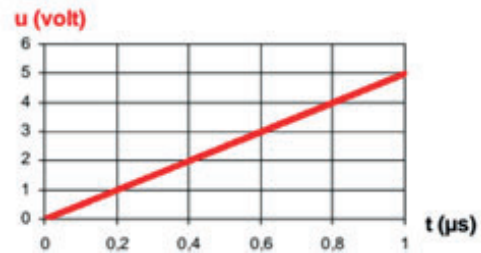
Exercice 8

Un condensateur de capacité **C** est traversé par un courant

Constant **$I = 0,5mA$** .

La tension **$u(t)$** aux bornes du condensateur est représentée ci-contre :

Question : déterminer la valeur de la capacité **C**.

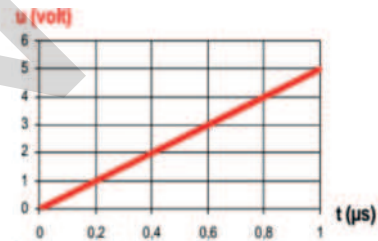


Exercice 9

Un condensateur de capacité **$C = 470pF$** est traversé par un courant constant **I**.

La tension **$u(t)$** aux bornes du condensateur est représentée ci-contre :

Déterminer la valeur de l'intensité du courant **I**.



Exercice 10

1- On prend un condensateur de capacité **$C_1 = 470\mu F$** et chargé avec la tension **$U_1 = 24V$** .

- Calculer la valeur de l'énergie **W_1** emmagasinée par **C_1** .

2- On prend un deuxième condensateur de capacité **$C_2 = 1000\mu F$** déchargé (**$U_2 = 0V$**).

- Quelle est la valeur de l'énergie **W_2** emmagasinée par **C_2** ?

3- On branche maintenant les deux condensateurs **C_1** et **C_2** en parallèle.

- Déterminer la valeur de la tension **U** aux bornes des deux condensateurs
- Calculer la valeur de l'énergie **W_{12}** emmagasinée par l'ensemble **$C_1 // C_2$** .
- Comparer **W_{12}** avec **$W_1 + W_2$** et donner une explication au résultat.

Exercice 11

L'énergie d'un condensateur chargé est égale à **$1.10^{-5}J$** . La tension à ses bornes est égale à **50V**.

1. Quelle est sa capacité ?
2. Quelle est sa charge ?

Exercice 12

Un condensateur de capacité **C** est chargé par un générateur de courant. L'intensité **I** du courant est constante et égale à **0,14mA**.

A l'instant origine, la tension **U_{AB}** aux bornes du condensateur est nulle et la charge commence.

On suit l'évolution de la tension **U_{AB}** au cours du temps. Après une durée de charge **t** égale à **10s**, la tension aux bornes du condensateur est égale à **0,64V**.

- 1- Tracer la courbe représentant les variations de **U_{AB}** en fonction du temps.
- 2- Calculer la capacité du condensateur.

Exercice 13

Un condensateur plan à air est constitué par deux armatures de rayon $r=2.0$ cm et distantes de $d = 2,0$ mm.

Ce condensateur (noté 1), est chargé sous une tension $U_1=10$ V.

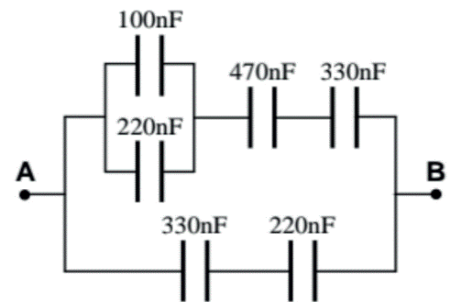
Un second condensateur identique (noté 2), est chargé sous une tension $U_2= 20$ V.

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.
 - a. Déterminer la somme des charges des deux condensateurs dans ces conditions.
 - b. En déduire la charge prise par chaque condensateur.
 - c. Déterminer la tension entre leurs armatures.
 - d. Déterminer l'énergie de l'association.

Exercice 14

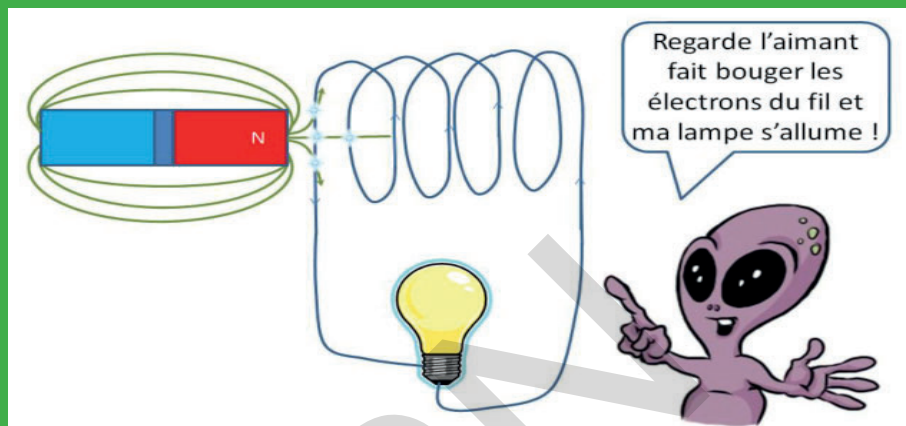
Un condensateur de $47\mu\text{F}$ chargé sous une tension de 25V et un autre de $33\mu\text{F}$ chargé sous une tension de 10 V.

1. Calculer la charge et l'énergie emmagasinée par chaque condensateur
2. 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.
3. 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.



IPN

CHAPITRE IX : Notion de 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 ?

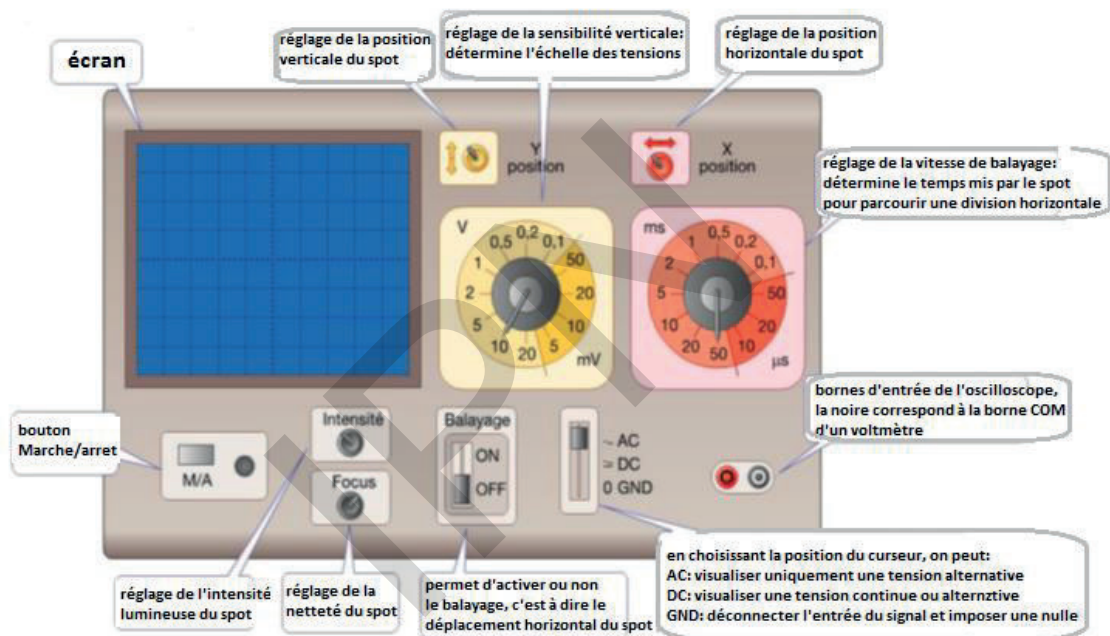
I. l'oscilloscope

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 parallèles (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 μ s/div.

Exemple : Si l'on choisit une sensibilité horizontale de $S_h = 20 \text{ ms/div}$ alors une division horizontale représente 20ms

II. Mise en évidence d'une tension alternative

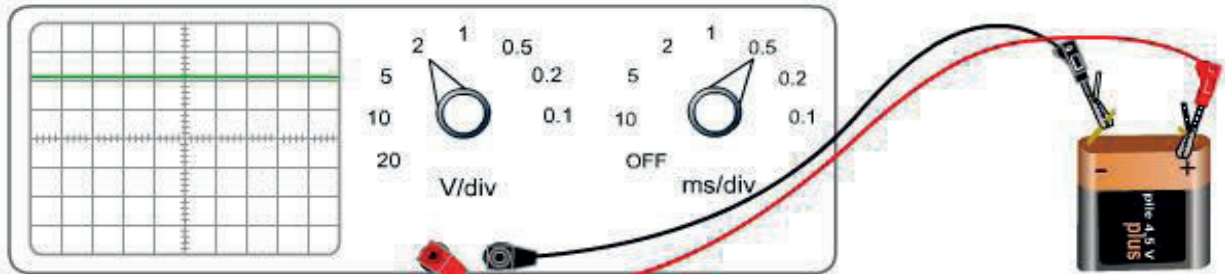
EXPERIENCE 1

Matériel :

- Oscilloscope
- Pile
- Fils de connexions
- Pincettes crocodiles

Manipulation

La pile est reliée aux bornes de l'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 de l'oscilloscope un trait horizontal au-dessus de l'axe de temps de deux divisions ce qui correspond à une tension de 4 volt ($U = S_V \cdot Y = 4V$). On dit que la tension aux bornes de la pile reste constante au cours de temps. Une telle tension est dite continue.

Définition

La tension est dite **continue** (=) ou **(DC)** si, elle reste constante, au cours du temps.

Le générateur qui délivre cette tension est un générateur de tension continue.

Exemple : piles, batteries...

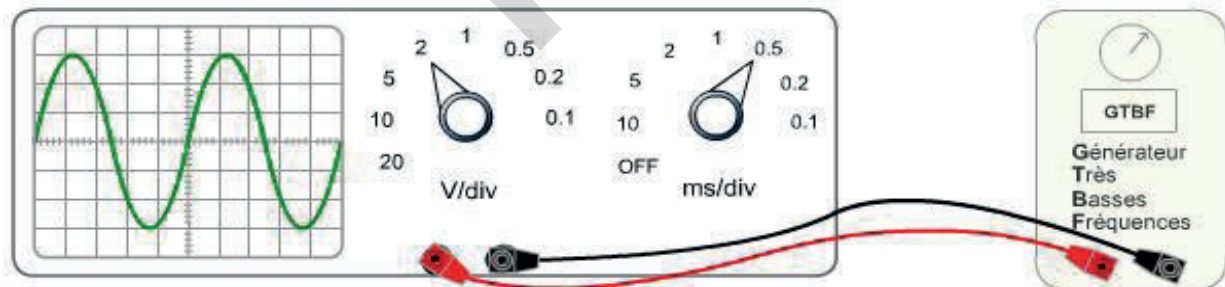
Expérience 2

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 périodiquement au cours du temps entre deux valeurs maximales positive et négative. Une telle tension est appelée tension alternative.

Définition

La tension est dite **alternative** (~) ou **(AC)** si, elle varie périodiquement au cours du temps. sa source est une source de tension alternative.

Exemples : prise de secteur, générateur basse fréquence (GBF)...

III - tension et intensité sinusoïdales

1- Tension sinusoïdale

a-Définition ;

Une tension sinusoïdale est une tension électrique dont la valeur varie au cours du temps suivant une fonction sinusoïdale de la forme : $u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$ ou $u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi)$.

où :

- ✓ $u(t)$: tension instantanée
- ✓ U_m : amplitude ou tension maximale (valeur maximale) en volt.
Sa valeur est déterminée à partir de l'oscillogramme.
- ✓ ω : pulsation valeur positive en rd/s.
- ✓ $(\omega t + \varphi)$: phase instantanée en rd
- ✓ φ : valeur algébrique appelée phase initiale en rd.

b-Période et fréquence

- La période T : c'est le temps T au bout duquel u retrouve la même valeur et s'exprime en seconde(s) $T = \frac{2\pi}{\omega}$.
- La fréquence N : c'est le nombre de périodes par seconde $N = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ et exprimée en Hertz (Hz).

c-Tension efficace U_{eff} :

Expérience :

Matériel

- Oscilloscope
- Fils de connexions
- Générateur
- Voltmètre

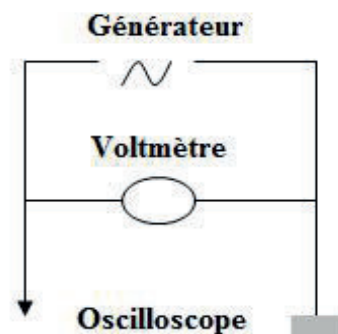
Manipulation

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 obtenue 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- Le courant sinusoïdal

a-Définition

Le courant sinusoïdale est un courant dont l'intensité varie au cours du temps suivant une fonction sinusoïdale de la forme : $i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$ ou $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$.

où :

- ✓ $i(t)$: intensité instantanée
- ✓ I_m : amplitude ou intensité maximale (valeur maximale) en ampère (A).
- ✓ ω : pulsation valeur positive en rd/s.
- ✓ $(\omega t + \varphi)$: phase instantanée en rd
- ✓ φ : valeur algébrique appelée phase initiale en rd.

b-Période et fréquence

- La période T : c'est le temps **T** au bout duquel **$i(t)$** retrouve la même valeur et

$$\text{s'exprime en seconde(s)} \quad T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

- La fréquence N : c'est le nombre de périodes par seconde $N = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ et

c-Intensité efficace I_{eff} :

c-Intensité efficace I_{eff} :

Par définition, l'intensité efficace d'un courant alternatif sinusoïdal s'obtient en

divisant par $\sqrt{2}$ l'intensité maximale I_{max} . $I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$

Applications

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}

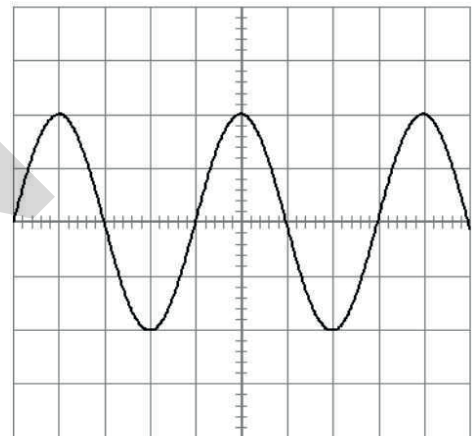
Corrigé :

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 ?

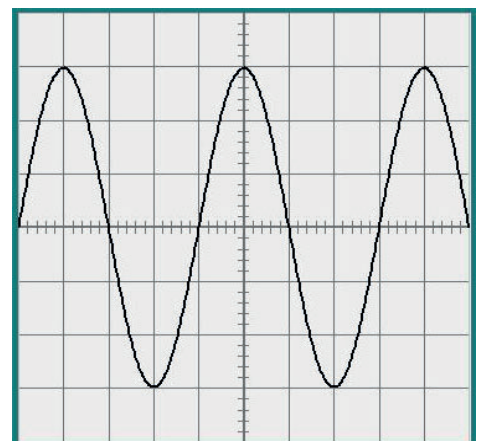
4. A partir de l'oscillogramme, déterminer la tension maximale U_{max} de cette tension. Expliquer votre calcul.

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.



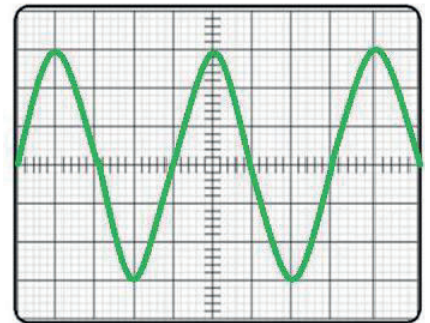
Corrigé

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}= Nombre de divisions x Sensibilité verticale
U_{max}= 3 x 100 = 300 V
5. La période (durée du motif élémentaire) est :
T = X x Sh
T = Nombre de divisions x Balayage horizontal T = 4 x 5 = 20 ms = 0,02 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 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 : $U_{\text{max}} = S_v \times Y$ Et on a : $S_v = 2 \text{ V/div}$ et $Y = 3 \text{ div}$ A.N : $U_{\text{max}} = 2 \text{ V/div} \times 3 \text{ div} = 6 \text{ V}$
3. On a $U_{\text{eff}} = U_{\text{max}} / 1.41 = 6 / 1.41 = 4.25 \text{ V}$
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 : $f = 1 / 0.004 = 250 \text{ Hz}$

IV) 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.

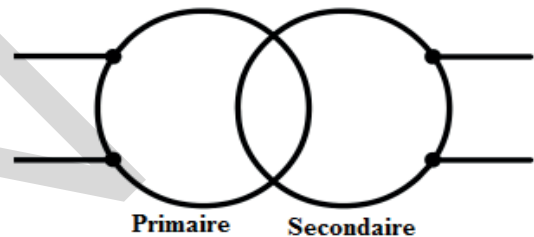
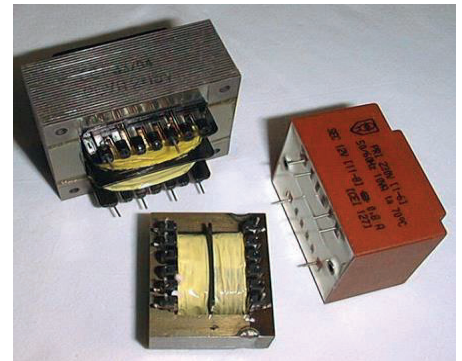
2) Description

Un transformateur est constitué de deux bobines comprenant respectivement N_1 et N_2 spires. 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

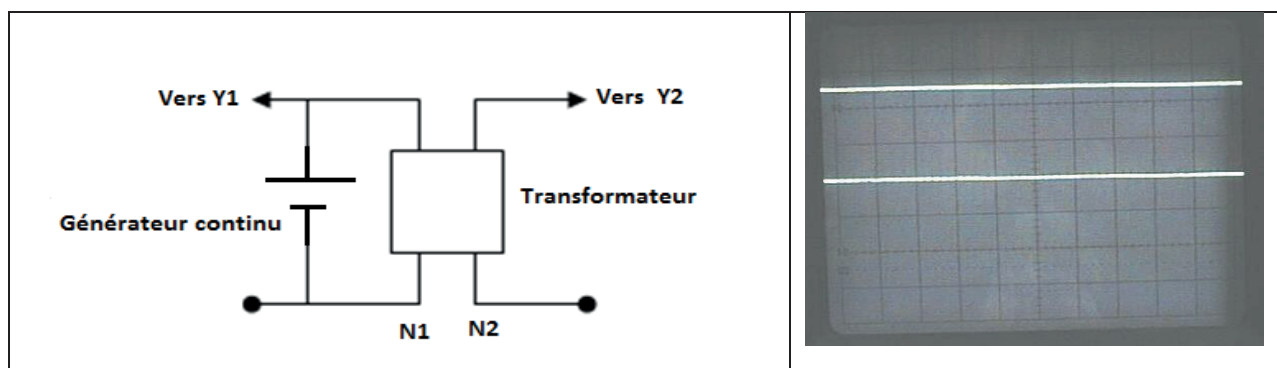
a) Expérience 1

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 Y_2 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**,

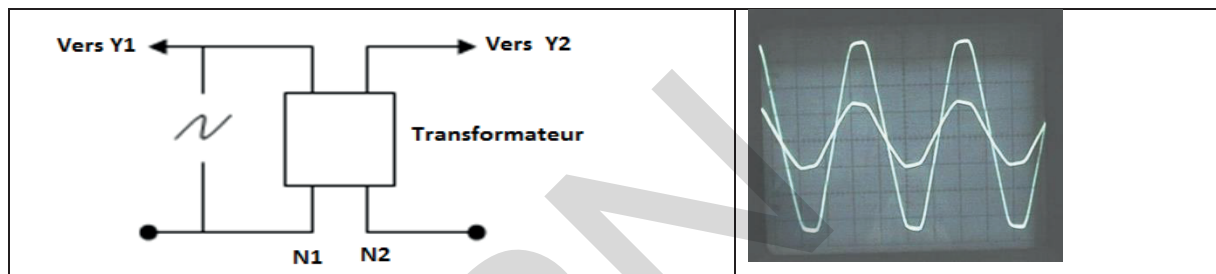
Un transformateur 220V/9V (2,6VA),

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**.



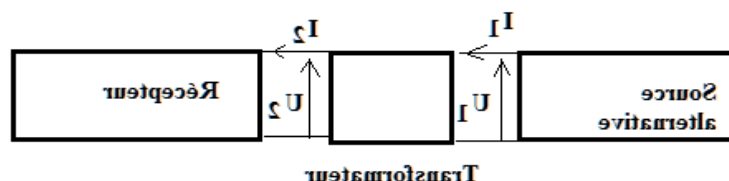
Observation

L'entrée Y_2 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.



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.

4) 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.

5- 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 :

$$r = \frac{P_2}{P_1}$$

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 : $\begin{cases} m: \text{rapport de transformation} \\ N_1: \text{nombre de spires de l'enroulement primaire} \\ N_2: \text{nombre de spires de l'enroulement secondaire} \end{cases}$

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 : $\begin{cases} m: \text{rapport de transformation} \\ U_1: \text{tension appliquée à l'enroulement primaire} \\ U_2: \text{tension induite dans l'enroulement secondaire} \end{cases}$

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 comme abaisseur de tension
 $N_1 < N_2$: le transformateur est utilisé comme élévateur de tension.

Remarque :

Si le transformateur est parfait : $r = \frac{P_2}{P_1} = 1$. 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 : $m = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$

Exercices d'applications

Application 1

Un transformateur est constitué de 600 spires pour son enroulement primaire et de 50 spires pour son enroulement secondaire.

- a) Calculez le rapport de transformation.
- b) 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%.

- 1) Quel est le nombre de spires de l'enroulement secondaire ?
- 2) 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 ρ ?

Que désigne L ?

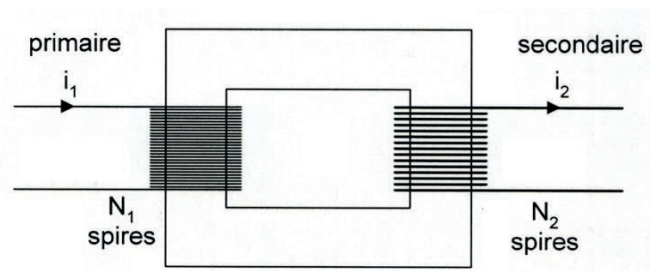
Que désigne S ?

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 $U_2 = m \cdot U_1 = 240 \cdot 0,083 = 20V$: 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 : $\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \Rightarrow U_2 =$

$$\frac{N_2}{N_1} \cdot U_1 \text{ AN: } U_2 = \frac{500}{1000} \cdot 100 = 50V$$

$$P_{\text{él}2} = U_2 \cdot I_2 = \rho \cdot P_{\text{él}1} = \rho \cdot U_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_2 = \frac{\rho \cdot U_1 \cdot I_1}{U_2} \text{ AN: } I_2 = \frac{0,7 \times 100 \times 4}{50} = 5,6A$$

Application 3

1)

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \text{ p } N_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot N_1 \text{ AN: } N_2 = \frac{6}{220} \cdot 880 = 24$$

Le secondaire comporte 24 spires

2)

$$P_{\text{él}2} = \rho \cdot P_{\text{él}1} \Leftrightarrow U_2 \cdot I_2 = \rho \cdot U_1 \cdot I_1 \Rightarrow I_2 = \frac{\rho \cdot U_1 \cdot I_1}{U_2} \text{ AN: } I_2 = \frac{0,9 \times 220 \times 0,10}{6} = 3,3A$$

Application 4 :

Rapport du nombre de spires : $\frac{N_1}{N_2} = 20$

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 en Joule au primaire.

$$R_1 \cdot I_1^2 = R_2 \cdot I_2^2 \quad R_2 = R_1 \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 = \frac{10}{20^2} = 25 m\Omega$$

2- La résistance R d'un fil électrique est donnée par la relation : $R = \rho \frac{L}{S}$

ρ : résistivité électrique du matériau (en $\Omega \cdot m$)

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.

$$R_1 = \rho \frac{L_1}{S_1} = \rho \frac{N_1 \cdot L}{S_1} \text{ et } R_2 = \rho \frac{L_2}{S_2} = \rho \frac{N_2 \cdot L}{S_2} \text{ avec } L : \text{longueur moyenne d'une spire.}$$

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{N_2 \cdot R_1}{N_1 \cdot R_2} = 20$$

En déduire le rapport entre le diamètre du fil de l'enroulement secondaire et le diamètre du fil de l'enroulement primaire.

$$S_1 = \pi \frac{D_1^2}{4} \text{ et } S_2 = \pi \frac{D_2^2}{4} \quad \frac{D_2}{D_1} = \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} = \sqrt{\frac{N_1}{N_2}} = \sqrt{20} = 4,47$$

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 : $V_1 = L_1 S_1 = N_1 L S_1$

Masse de cuivre de l'enroulement primaire : $m_1 = \rho V_1 = \rho N_1 L S_1$

Masse de cuivre de l'enroulement secondaire : $m_2 = \rho V_2 = \rho N_2 L S_2$

$$\Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{N_1 \cdot S_1}{N_2 \cdot S_2} = 1$$

L'Essentiel

La 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 . 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 : $U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$

Par définition, l'intensité efficace d'un courant alternatif sinusoïdal

s'obtient en divisant par $\sqrt{2}$ l'intensité maximale I_{max} . $I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{R}$$

La tension sinusoïdale se présente sous la forme : $u = U_{\text{max}} \cos \omega t =$

$$U_{\text{max}} \cos \frac{2\pi}{T} t$$

Exercices

Exercice 1

Le courant alternatif est caractérisé par :

- 1) Une intensité qui circule toujours dans le même sens
- 2) Une intensité qui varie périodiquement en sens et en valeur
- 3) Une intensité constante au cours du temps
- 4) Une intensité qui circule uniquement dans les métaux

Exercice 2

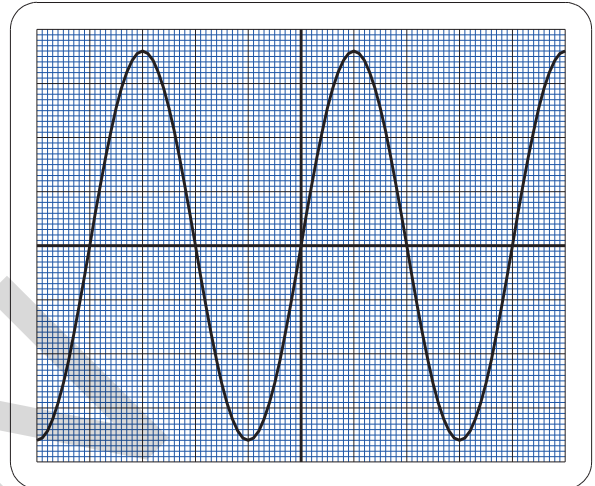
On étudie la tension aux bornes d'une lampe et l'intensité du courant qui la traverse. Pour cela, on utilise : un voltmètre, un ampèremètre, un oscilloscope.

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 3

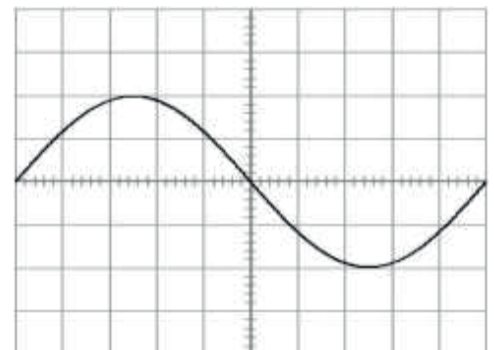
La fréquence de tension sinusoïdale est $f = 100$ Hz. La tension efficace vaut : $U_{\text{eff}} = 1,44$ V.

- 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 4

La fréquence de cette tension sinusoïdale est $f = 100$ Hz. La tension maximale $U_{\max}$ de cette tension est $U_{\max} = 1$ V.

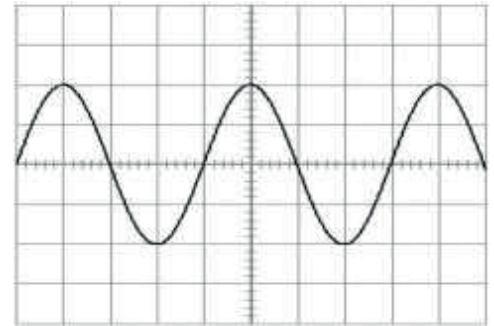
- a) Calculer la période T de cette tension.
- b) Calculer la vitesse de balayage B de l'oscilloscope.
- c) Calculer la sensibilité verticale S_v de l'oscilloscope.



Exercice 5:

La vitesse de balayage de l'oscilloscope est $B = 1 \text{ ms/div}$. La sensibilité verticale de l'oscilloscope est $S_v = 2 \text{ V/div}$.

- Combien de périodes compte-t-on sur cet oscillogramme ?
- Calculer la période T de cette tension.
- Calculer la fréquence f de cette tension.
- Calculer la tension U_{max} de cette tension.

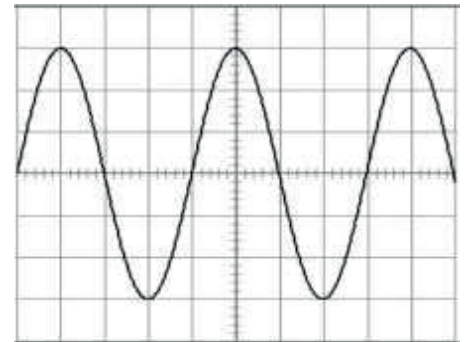


Exercice 6 :

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 7 :

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 8

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) $T = 0,02 \text{ s}$; $I = 10 \text{ A}$; $R = 22 \Omega$; $I_{\max} = 14,1 \text{ A}$; $i = 14,1 \sin (314 t)$ II) $I_l = 0,45 \text{ A}$; $I_t = 10,45 \text{ A}$; fusible de 16 A

Exercice 9

Le rapport de transformation d'un transformateur parfait est égal à 0,127.

- 1) Calculer la valeur efficace de la tension secondaire lorsque $U_1 = 220 \text{ V}$.
- 2) L'enroulement secondaire comporte 30 spires, quel est le nombre de spires au primaire ?
- 3) En charge, l'enroulement primaire absorbe une intensité efficace de $0,5 \text{ A}$. calculer la valeur efficace du courant à l'enroulement secondaire.

Bibliographie

- Manuel physique 7AS.....édition IPN
- Physique Magnard 1^{ere} CCollection G.G.E
- physique 1^{ere} C et ECollection eurin gé
- 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/>

IPN